

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 ۰/۱۴ - ۰ میلی گرم در لیتر می باشد. واژه های کلیدی: مخزن سد، HEC-5Q، WASP7، شبیه سازی، نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات

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

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 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 گرای، 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، WQRRS، HEC-RESSIM، CE-QUAL-W2، DYRESM و ... اشاره کرد. در این پژوهش براساس اندازه گیری های صورت گرفته مدل های HEC-5Q و WASP7 برای مخزن سد درودزن و اسنجی 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

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 ماه های 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 ماه های 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 ماه ها (فروردین، شهریور،

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)

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 لایه بندی مخزن را به خوبی پیش بینی نموده است. بنی سعید و همکاران [۲] تغییرات کیفیت آب و لایه بندی مخزن دریاچه ی سد چراغ ویس را با مدل HEC-5Q پیش بینی نمودند. آن ها با توجه به غلظت های مجاز نیتروژن و فسفر در آب خروجی از دریاچه سد، کم ترین 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 شبیه سازی روزانه ی لایه بندی حرارتی و کیفی به کمک مدل HEC-5Q استفاده کردند. ملکی و همکاران [۵] طی مطالعات خود روی رودخانه ی پسیخان در گیلان، پس از اندازه گیری آمونیوم، نترات، نیتروژن و فسفات، با استفاده از مدل WASP6، رودخانه را شبیه سازی کردند و نتیجه گرفتند که زهکش ها مهم ترین منبع آلوده کننده ی آب رودخانه ی پسیخان هستند و نشان دادند که مدل WASP6 از قابلیت بالایی در شبیه سازی کیفیت آب برخوردار است. تفرج نوروز و همکاران [۳] با استفاده از مدل HEC-5Q پارامترهای اندازه گیری شده TDS و دما را در سد کندک شبیه سازی کردند و نتیجه گرفتند که تخلیه ی انتخابی در ماههای غیرآبیاری به منظور ذخیره سازی سیلاب ها باعث بهبود نسبی کیفیت آب مخزن می گردد. مارکوفسکی و هارلمن [۷] یک مدل ریاضی کیفیت آب (DO) توسعه داده شده را ارایه نمودند که با مدل پیش بینی لایه بندی حرارتی در مخزن تلفیق شده بود. کو و یانگ [۶] طی مطالعات خود بر روی مخزن فیتسویی^۱ در تایوان با استفاده از مدل های WASP5 و CE-QUAL-W2 کیفیت آب مخزن را شبیه سازی کردند و نتیجه گرفتند که مخزن غنی از نیتروژن بوده، ولی به دلیل محدودیت مقدار فسفر رشد جلبک ها محدود شده بود.

مواد و روش ها

سد درودزن نزدیک به ۷۰ کیلومتری شمال غربی شیراز دارای مختصات ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی می باشد. طول مخزن از مبدأ سد به سمت بالادست، حدود ۳۰ کیلومتر است. اراضی آبخور سد به طول ۷۰ کیلومتر از تنگه ی درودزن تا بند امیر گسترده شده است و نزدیک به ۷۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی به وسیله ی این سد آبیاری می شود. بیشینه ی ظرفیت مخزن سد درودزن حدود ۹۹۳×۱۰۶ متر مکعب در تراز ۱۶۷۶/۵ (تراز تاج سرریز) است. با کسر حجم پیش بینی شده ۱۳۳×۱۰۶ مترمکعب برای رسوب گذاری، حجم مفید مخزن ۸۶۰×۱۰۶ مترمکعب می باشد.

برای محاسبه ی جریان ورودی به محل سد درودزن از اطلاعات

ایستگاههای هیدرومتری بالادست مخزن سد استفاده شده است. این ایستگاه ها عبارتند از: چم ریز روی رودخانه ی کر، هنجان روی رودخانه ی تنگ بستانک و بادامک روی رودخانه ی تنگ شول. میانگین دبی سالانه ی رودخانه ی کر که اصلی ترین تأمین کننده 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 آبیگری تعبیه شده است که در یک بخش دریاچه های آبیگری مخصوص کشاورزی (۶ دریاچه) در یک سطح و در رقوم ۱۶۵۶ متر از سطح قرار دارند و در بخش دیگر دریاچه های مخصوص آب شرب شهر شیراز تعبیه شده که در سه سطح گوناگون قرار دارند. دریاچه ی اصلی آب شرب شهر شیراز (دریاچه شماره دو) که در تراز ۱۶۵۶ و هم سطح دریاچه های کشاورزی است، دریاچه ی شرب ۱ که ۱۰ متر بالاتر از محل دریاچه های اصلی و برای زمانی که آب مخزن بالاست، استفاده می شود و دریاچه ی شرب ۳ که ۱۰ متر پایین تر از محل دریاچه های اصلی قرار دارد و اغلب به دلیل بوی بد آب در اعماق پایین مخزن از آن استفاده نمی شود مگر در مواقعی از سال که آب سد افت زیادی کرده باشد.

به منظور بررسی کیفیت آب و شبیه سازی کیفی مخزن سد درودزن پارامترهای نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات به مدت ۱۲ ماه از فروردین تا اسفند در عمق های گوناگون مخزن اندازه گیری شده است. نمونه گیری آب از محل برج آبیگر سد که در فاصله ی ۲۰۰ متری از دیواره سد قرار دارد و از سطح آب تا کف مخزن به فاصله های ۵ متر از یکدیگر انجام شده است.

مدل HEC-5Q و WASP7 برای شبیه سازی کیفی مخزن سد درودزن به داده های هواشناسی منطقه نیاز دارد. این داده ها شامل درصد ابری بودن، تشعشع موج کوتاه، نسبت ساعات آفتابی موجود به بیشینه ی ساعات آفتابی ممکن (n/N)، دمای خشک و تر، فشار بارومتریک، میانگین درجه ی حرارت هوا، فشار بخار، بارندگی، سرعت باد، تبخیر و تعرق و ... می باشد که این داده ها از ایستگاههای هواشناسی سد درودزن و شیراز استخراج شده است.

برای واسنجی مدل های یاد شده عمدتاً از پارامترهای مربوط به نفوذ نور، ضریب جذب انرژی خورشیدی، کم ترین 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 مدل ها

برای ارزیابی مدل های HEC-5Q و WASP7 از تحلیل های آماری شاخص تطابق^۱ (d)، ویلموت [۸] جذر میانگین مربعات

1- Index of agreement

1- Feitsui

خطا^۱ (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا^۲ (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 هر چه کم تر باشد، نشان دهنده دقت بیش تر است.

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

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

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

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

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

که در آن:

$\bar{p}_i$ = مقادیر پیش بینی شده

$\bar{o}_i$ = مقادیر مشاهده شده

$\bar{o}$ = میانگین مقادیر مشاهده شده

n = تعداد نمونه ها

بحث و نتیجه گیری

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

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

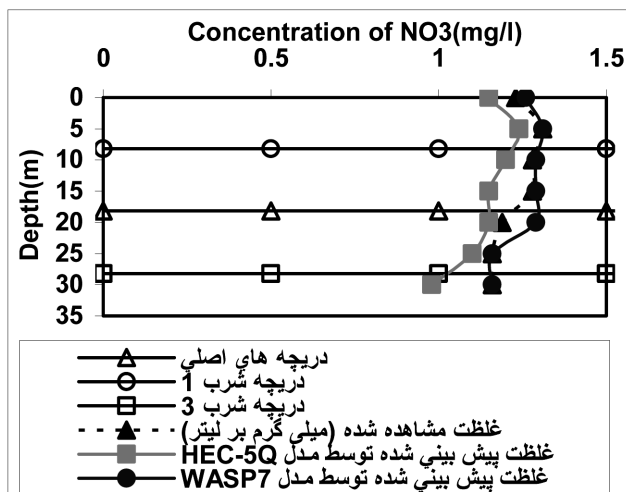
نمودار (۱ - الف) مقادیر غلظت را در ۳۰ فروردین نشان می دهد. براساس این شکل تغییرات غلظت نیترژن نیتراتی بین ۱/۲۳ میلی گرم در لیتر در سطح مخزن و ۱/۱۶ میلی گرم در لیتر در کف مخزن می باشد. بیش ترین غلظت نیترژن نیتراتی در این ماه در عمق ۵ متری (۱/۳۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت در اعماق ۲۵ و ۳۰ متری (۱/۱۶ میلی گرم در لیتر) می باشد. بر اساس شکل (۱ - الف) روند تغییرات غلظت نیترژن 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 نیترژن 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.

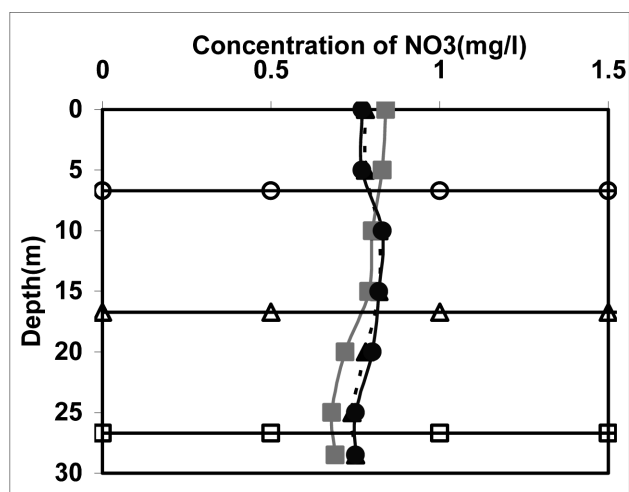
نمودار (۱ - ب) غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده ی نیترژن نیتراتی را در ۳۰ اردیبهشت نشان می دهد. بیش ترین غلظت مشاهده شده در اعماق ۱۰ و ۱۵ متری (۰/۸۲ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت آن در عمق ۲۵ متری (۰/۷۴ میلی گرم در لیتر) است. غلظت مشاهده شده در اعماق میانی از دیگر اعماق بیش تر است. غلظت نیترژن نیتراتی 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 نیترژن 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 نیترژن 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 نیترژن 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 نیترژن 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 نیترژن 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.

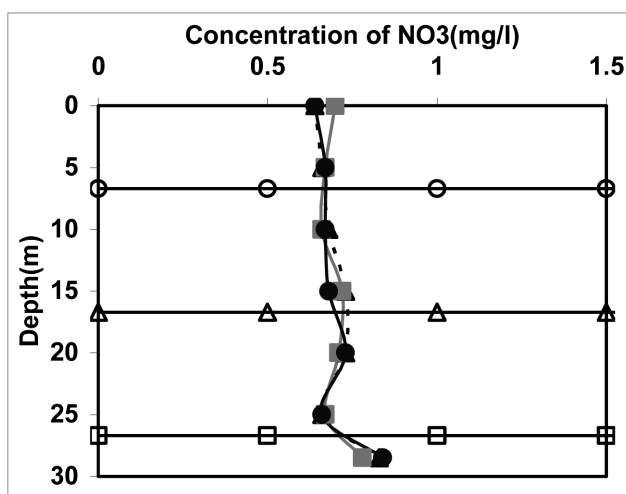
به طور کلی در فصل بهار مقادیر پیش بینی شده از سطح تا کف مخزن دارای تغییرات زیادی نبوده و روند تغییرات آن تقریباً با مقادیر مشاهده شده یکسان می باشد. همان گونه که در نمودار (۱) مشاهده



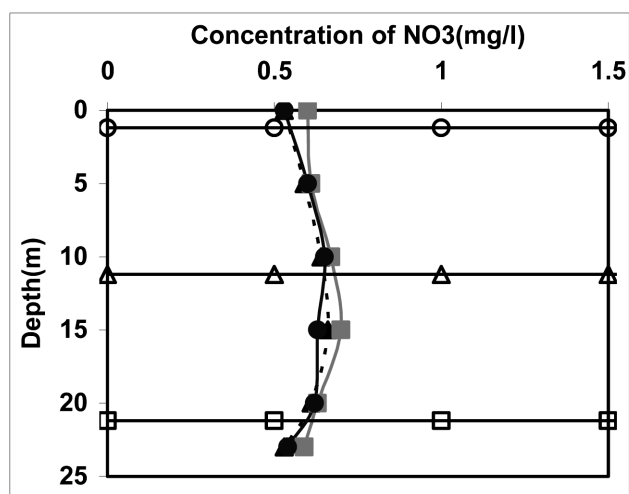
(الف)



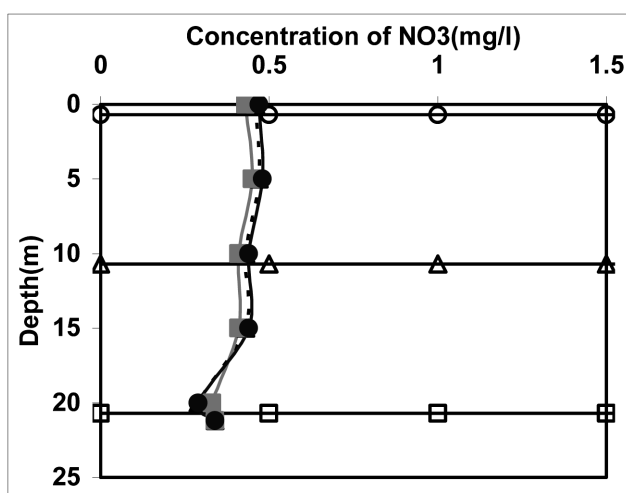
(ب)



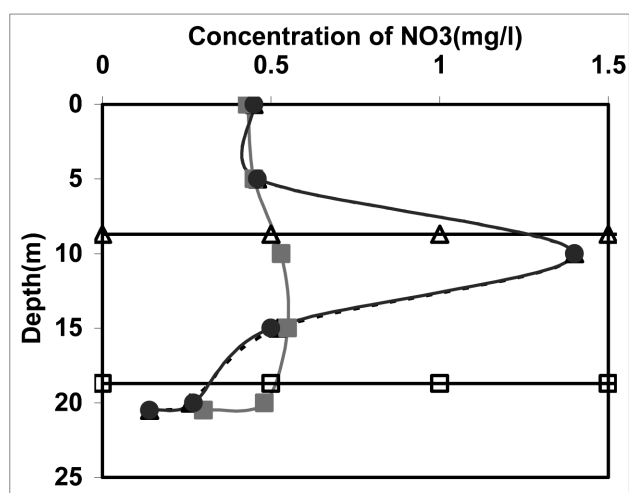
(ج)



(د)



(ه)



(و)

نمودار ۱ - نیمرخ غلظت نیترژن 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

می شود، مقدار غلظت نیتروژن نیتراتی از ابتدای فصل بهار رو به کاهش گذاشته که این روند نزولی به وسیله مدل ها نیز پیش بینی شده است. نمودار (۱-د) مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۲۷ تیر نشان می دهد. 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. بیش ترین 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 وسیله مدل HEC-5Q مشابه غلظت مشاهده شده بوده و از سطح مخزن تا عمق ۱۵ متری به صورت صعودی و از عمق ۱۵ متری تا کف مخزن به صورت نزولی بوده است که بیش ترین مقدار آن در عمق ۱۵ متری (۰/۷۰ میلی گرم در لیتر) و کم ترین مقدار آن در کف مخزن (۰/۵۹ میلی گرم در لیتر) می باشد. مقادیر d ، $RMSE$ 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 وسیله مدل WASP7 مشابه مدل HEC-5Q بوده و بیش ترین مقدار نیتروژن نیتراتی در عمق ۱۰ متری (۰/۶۵ میلی گرم در لیتر) و کم ترین مقدار آن در سطح مخزن (۰/۵۳ میلی گرم در لیتر) می باشد. مقادیر پارامترهای آماری d ، $RMSE$ 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 شده ی 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 کم ترین 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. بیش ترین غلظت آن در عمق ۵ متری (۰/۴۷ میلی گرم در لیتر) بوده است. بیش ترین غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله مدل HEC-5Q و WASP7 در عمق ۵ متری (به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۸ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت آن در عمق ۲۰ متری (به ترتیب 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 دهنده ی دقت بسیار خوب شبیه سازی این دو مدل بوده، ولی دقت شبیه سازی مدل WASP7 بیش تر است. روند تغییرات غلظت پیش بینی شده به وسیله مدل WASP7 و HEC-5Q شبیه تغییرات غلظت مشاهده شده است.

نمودار (۱-و) مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۷ شهریور نشان می دهد. تغییرات غلظت مشاهده شده زیاد بوده و بیش ترین غلظت آن در عمق ۱۰ متری (۱/۴ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در کف مخزن (۰/۱۴ میلی گرم در لیتر) می باشد، اما مقادیر پیش بینی شده به وسیله مدل

HEC-5Q تغییرات چندانی نداشته و بیش ترین غلظت آن در عمق ۱۵ متری (۰/۵۵ میلی گرم در لیتر) و کم ترین 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 می تواند به علت شستشوی کودهای شیمیایی داده شده به اراضی باشد. براساس بررسی های صورت گرفته در مخزن سد درودزن در این تاریخ لایه بندی در مخزن شدید است که این نیز می تواند 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 HEC-5Q نتوانسته شبیه سازی را به خوبی انجام دهد. مقادیر پیش بینی شده ی غلظت نیتروژن نیتراتی به وسیله مدل WASP7 در مخزن نیز تغییرات زیادی داشته است و بیش ترین غلظت آن در عمق ۱۰ متری (۱/۴ میلی گرم در لیتر) و کم ترین 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 بیش تر است.

بیش ترین غلظت مشاهده شده ی 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 لایه های پایینی مخزن کاهش زیادی داشته است. غلظت پیش بینی شده ی نیتروژن نیتراتی به وسیله مدل HEC-5Q نیز با غلظت مشاهده شده تقریباً یکسان بوده و بیش ترین 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) نشان دهنده ی شبیه سازی با دقت عالی برای مدل HEC-5Q است. غلظت پیش بینی شده ی نیتروژن نیتراتی به وسیله مدل WASP7 نیز با غلظت مشاهده شده تقریباً یکسان بوده و بیش ترین غلظت آن در عمق ۵ و ۱۰ متری (۰/۴۶ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در کف مخزن (۰/۲۵ میلی گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) نشانه ی 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) بیش ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در ۲۳ آبان ماه در سطح مخزن (۰/۶۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین 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 وسیله مدل HEC-5Q با مقادیر مشاهده شده یکسان بوده و بیش ترین غلظت در سطح مخزن (۰/۶۶ میلی گرم در لیتر) و کم ترین 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 وسیله مدل WASP7 نیز همانند تغییرات غلظت مشاهده شده

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 شبیه‌سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۲۵ آذر ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در کف مخزن (۰/۵۴ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در عمق ۱۵ متری (۰/۴۹ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز اندک بوده و بیش‌ترین آن ۰/۵۴ میلی‌گرم در لیتر در عمق ۱۰ متری و کم‌ترین آن ۰/۵۰ میلی‌گرم در لیتر در عمق ۱۵ متری می‌باشد. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به ترتیب ۳/۸۴، ۰/۵۵ و ۰/۰۲ بوده که نشان‌دهنده‌ی دقت نسبتاً خوب مدل است. تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز ناچیز بوده و بیش‌ترین آن ۰/۵۴ میلی‌گرم در لیتر در کف مخزن و کم‌ترین آن ۰/۴۸ میلی‌گرم در لیتر در سطح مخزن می‌باشد. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به ترتیب 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 مشاهده شده و شبیه‌سازی شده غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۹ دی ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در کف مخزن (۰/۷۴ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین غلظت آن در اعماق ۱۰ و ۱۵ متری (۰/۶۷ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. روند تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی از سطح مخزن تا عمق ۱۵ متری به صورت نزولی و از آن به بعد تا کف مخزن به صورت صعودی بوده است. غلظت‌های پیش‌بینی 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 به ترتیب 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 مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۷ بهمن ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در سطح مخزن (۰/۷۸ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین غلظت آن در کف مخزن (۰/۵۷ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. روند تغییرات غلظت از سطح تا عمق ۵ متری به صورت نزولی و از عمق ۵ متری تا ۱۰ متری با کمی افزایش به صورت صعودی و از عمق ۱۰ متری تا کف مخزن به صورت نزولی بوده است. غلظت پیش‌بینی 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

میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۶۵ میلی‌گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) 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.

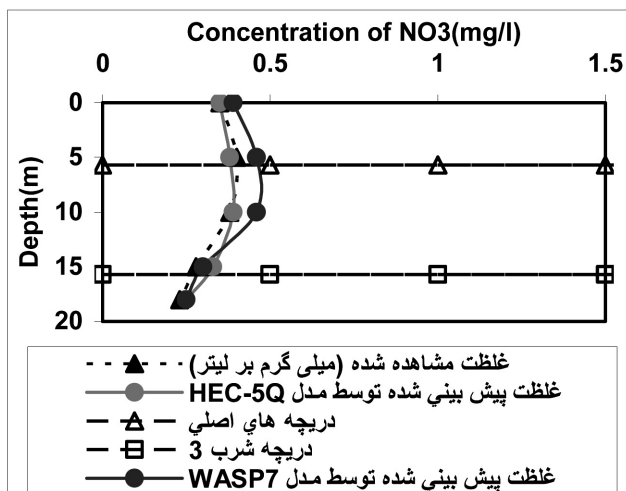
نمودار (۲-و) مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۱۸ اسفند ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. غلظت مشاهده شده‌ی نیتروژن نیتراتی در مخزن دارای نوسان ناچیزی بوده که بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۵ و ۲۷ متری (۱/۰۳ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در اعماق متوسط می‌باشد. غلظت پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز همانند غلظت مشاهده شده دارای یک نوسان ناچیز است که بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۲۷ متری (۱/۰۶ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در سطح مخزن (۰/۹۸ میلی‌گرم در لیتر) بوده است. مقادیر RMSE، d و MAE به ترتیب ۴/۰۵، ۰/۴۵ و ۰/۰۴ می‌باشد که بیانگر دقت متوسط مدل در شبیه‌سازی است. غلظت پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز همانند غلظت مشاهده شده 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 به ترتیب 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

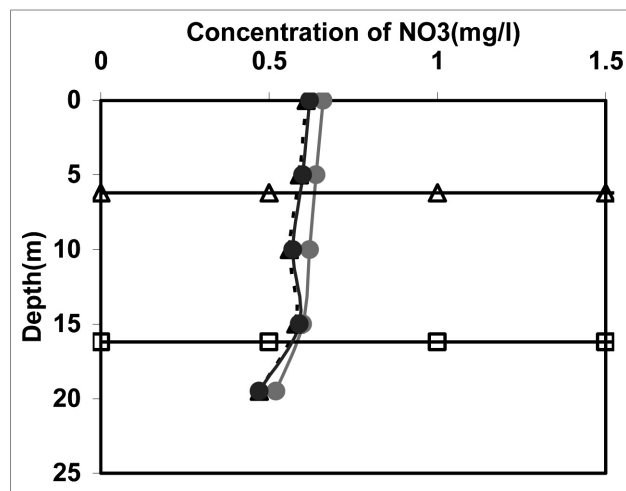
نمودارهای ۳ و ۴ تغییرات ارتوفسفات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی مدل‌های HEC-5Q و WASP7 را در عمق‌های گوناگون مخزن در طول سال نشان می‌دهند. جدول (۲) نیز نتایج ارزیابی مدل را نشان می‌دهد.

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

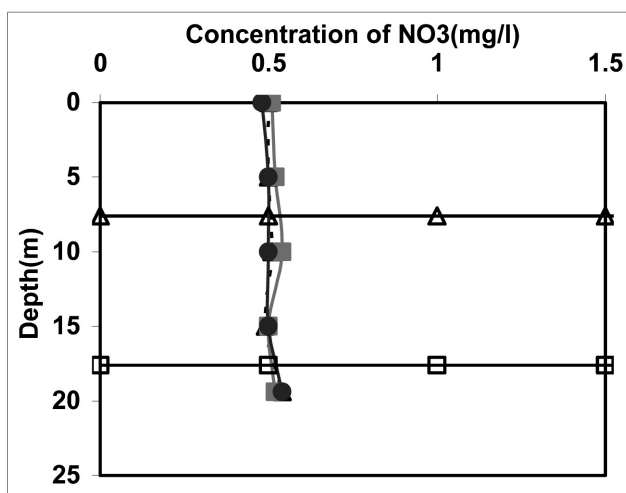
در ۳۰ اردیبهشت مخزن تقریباً حالت یکنواخت داشته است و غلظت ارتوفسفات بین صفر تا ۰/۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (نمودار ۳-ب). پیش‌بینی انجام شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q در



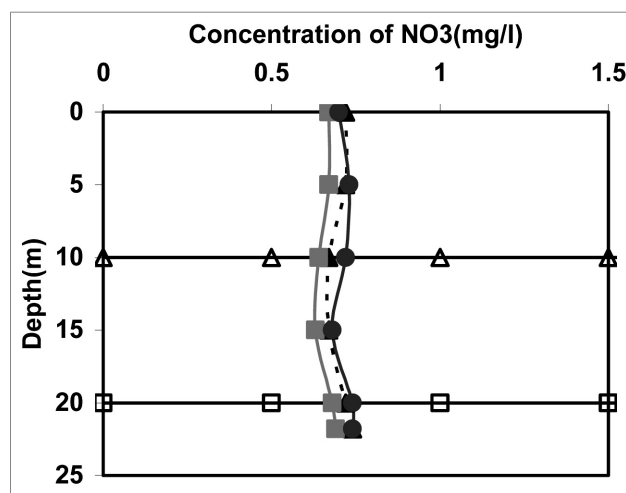
(الف)



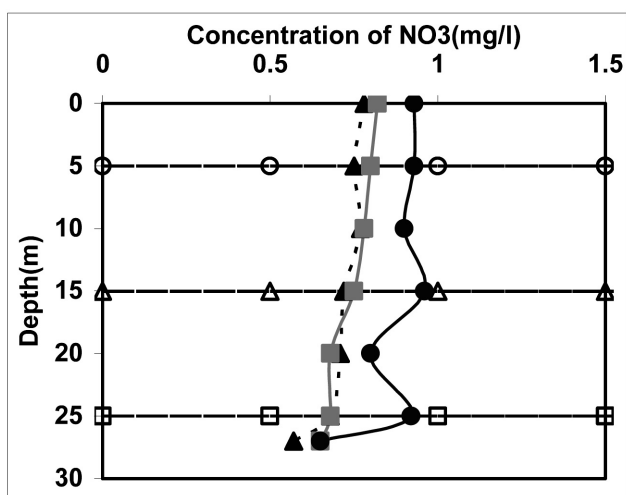
(ب)



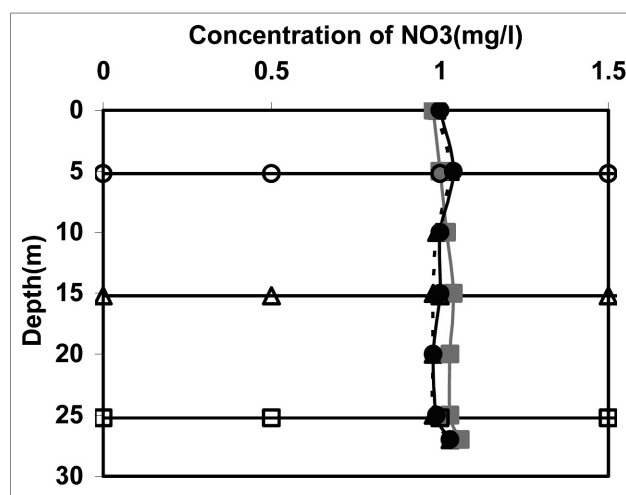
(ج)



(د)

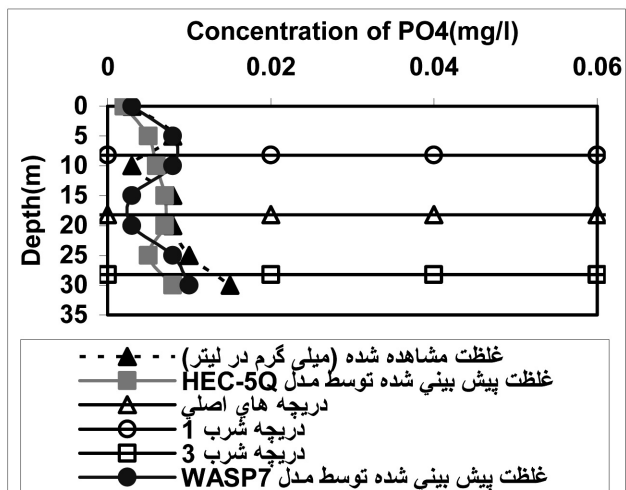


(ه)

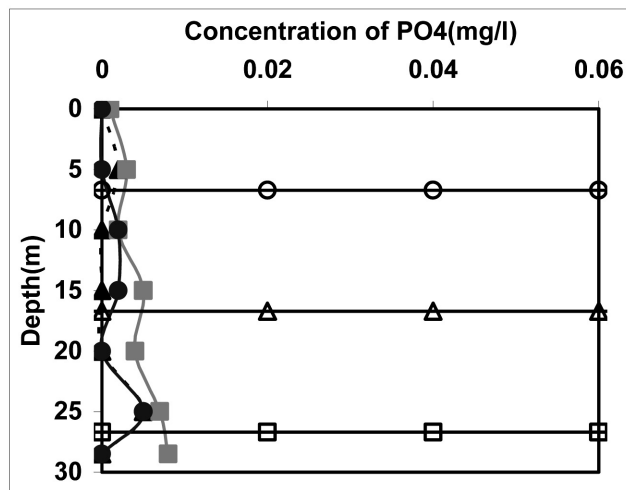


(و)

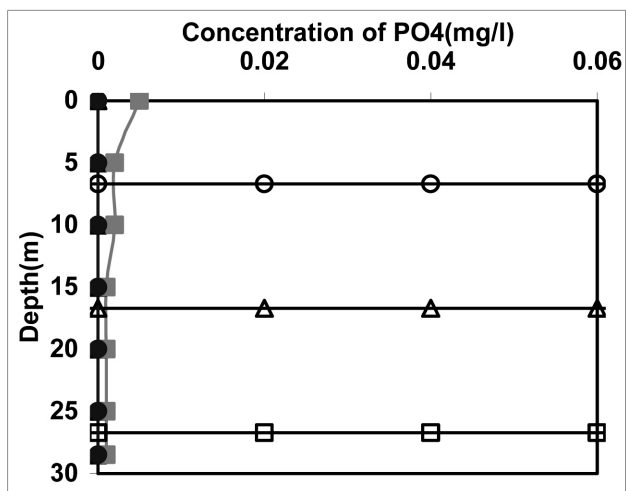
نمودار ۲ - نیمرخ غلظت نیترژن نیتراتی در مخزن سد درودزن در سال ۱۳۸۳: (الف) ۲۰ مهر، (ب) ۲۳ آبان، (ج) ۲۵ آذر، (د) ۹ دی، (ه) ۷ بهمن، (و) ۱۸ اسفند



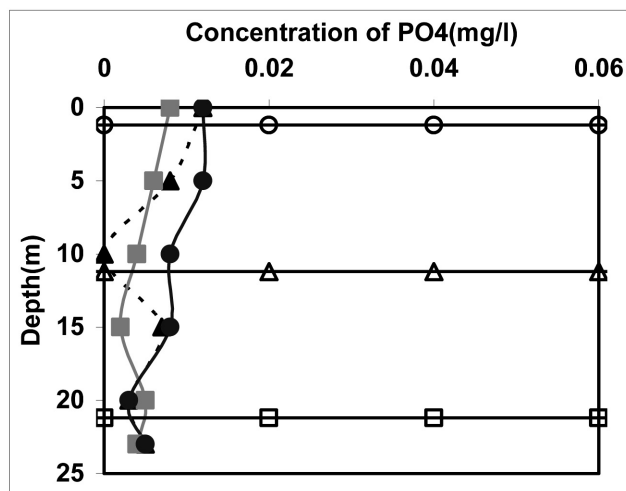
(الف)



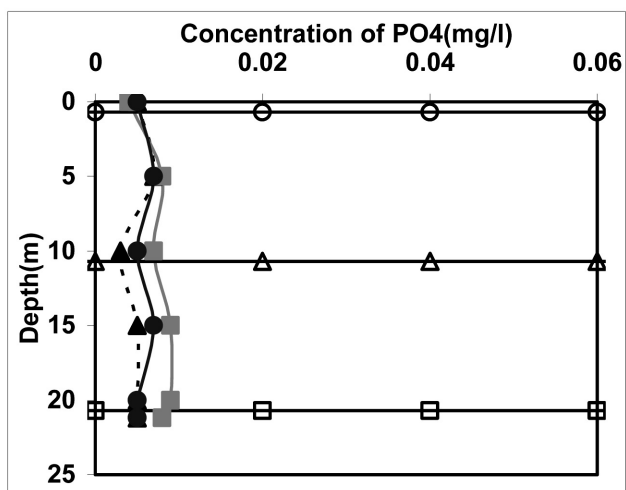
(ب)



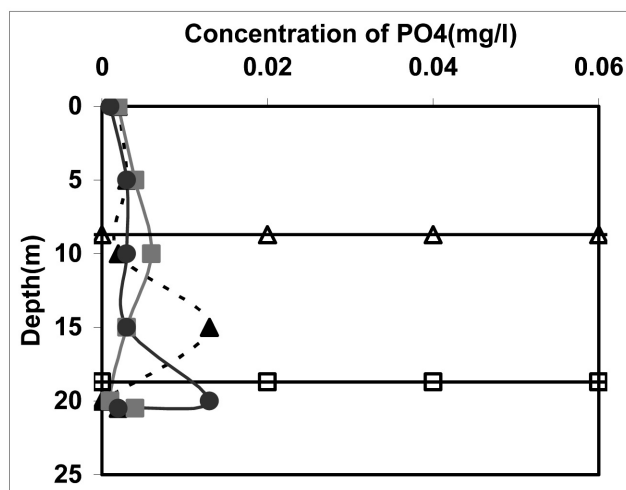
(ج)



(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

این ماه نیز یکنواختی مخزن را نشان داده و تقریباً 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.

بر اساس 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 ۰/۶۸، ۲۱/۶۷ 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.

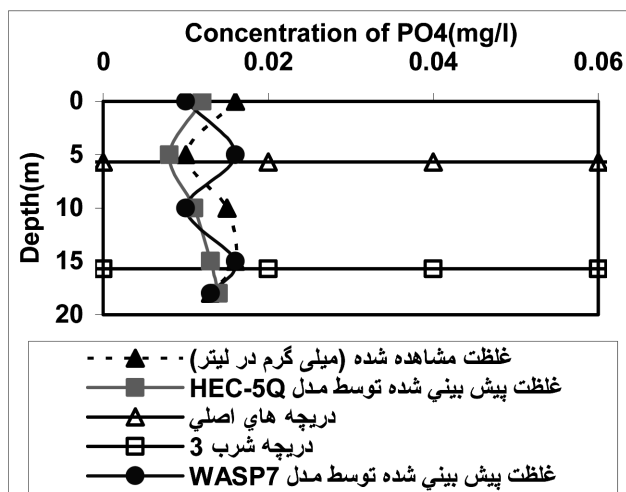
بیش ترین غلظت ارتوفسفات در ۲۳ آبان در اعماق ۱۵ و ۱۰ متری (۰/۰۱۰ میلی گرم در لیتر) و کم ترین میزان آن در سطح مخزن (۰/۰۰۲ میلی گرم در لیتر) می باشد (نمودار ۴-ب). روند تغییرات غلظت شبیه سازی شده به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7 در مخزن تطابق خوبی با مقادیر مشاهده شده دارد. جدول (۲) بیانگر برتری مدل WASP7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

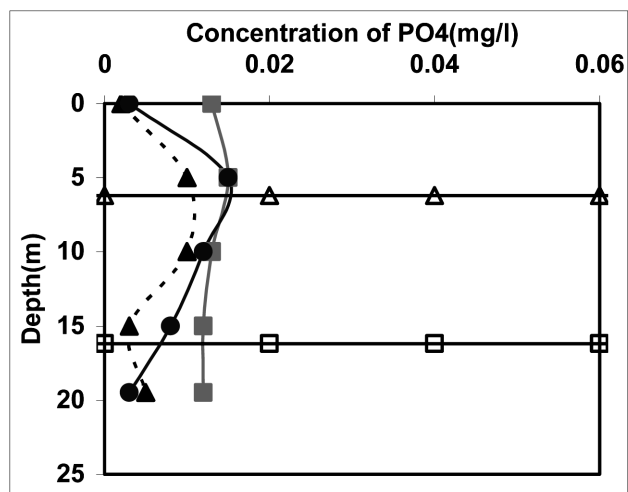
نمودار (۴-د) مقادیر غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ارتوفسفات را در ۹ دی نشان می دهد. بیش ترین غلظت ارتوفسفات در عمق ۱۵ متری (۰/۰۶۰ میلی گرم در لیتر) بوده و در دیگر اعماق مقدار آن صفر است. مدل HEC-5Q تغییرات غلظت ارتوفسفات در مخزن را ناچیز و مخزن را یکنواخت پیش بینی کرده و بیش ترین غلظت را نیز در کف 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.

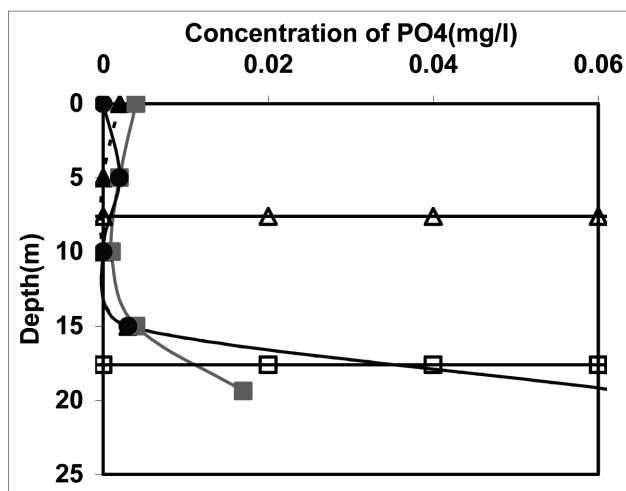
در ۱۸ اسفند بیش ترین غلظت ارتوفسفات در عمق ۲۵ متری (۰/۰۲۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۲۰ متری و به میزان صفر میلی گرم در لیتر می باشد (نمودار ۴-و). غلظت ارتوفسفات از سطح تا کف مخزن دارای تغییرات زیادی بوده است. افزایش غلظت ارتوفسفات در اواخر پاییز و زمستان می تواند به دلیل ورود بار مواد مغذی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



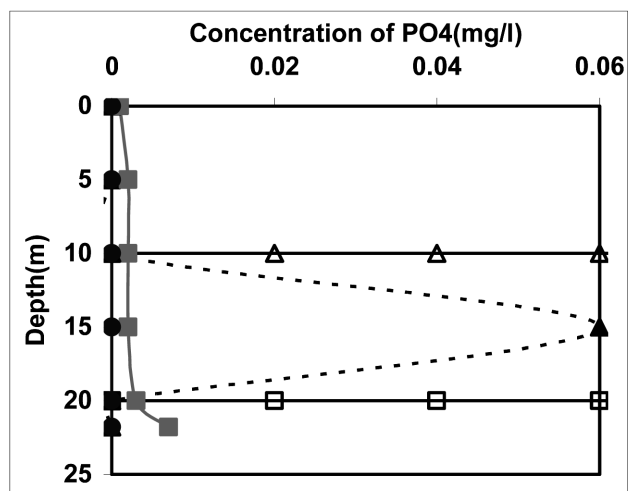
(الف)



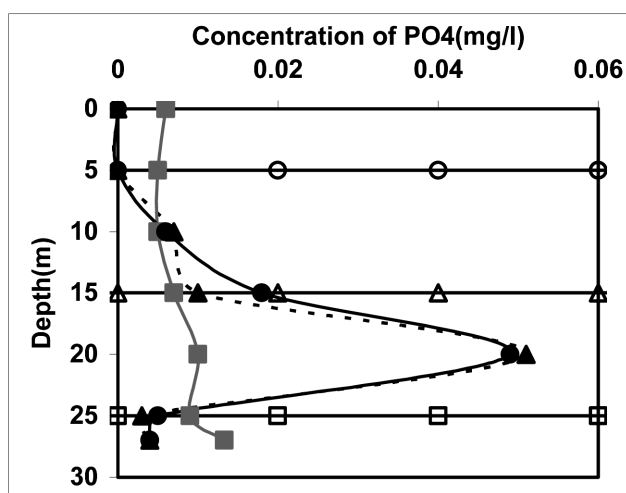
(ب)



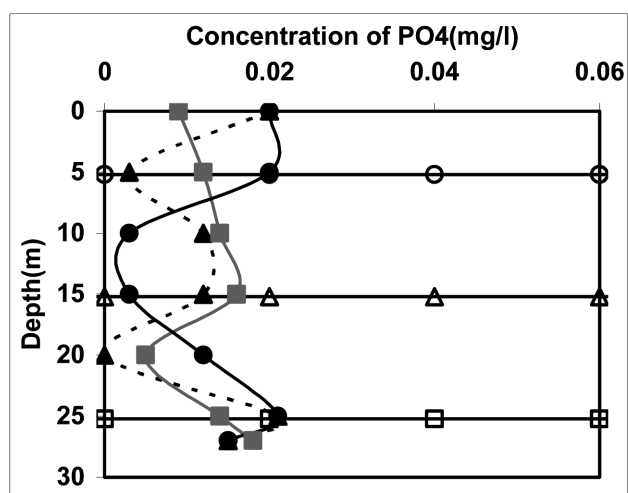
(ج)



(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

جدول ۱ - مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها برای نیتروژن نیتراتی

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

جدول ۲ - مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها برای ارتوفسفات

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

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

داده‌های شبیه‌سازی شده 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

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

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

۳- تفرج نوروز، ع.، رضایی بنیس، ف.، ایزدجو، ف.، اصغری پری، ا. و شفافی بجستان، م. ۱۳۸۵. مدل سازی کیفیت آب مخزن سد کندک با استفاده از مدل HEC-5Q. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز.

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

۵- ملکی، ر.، ولی سامانی، م. و محمدی، ک. ۱۳۸۵. بررسی اثر زهکش ها بر کیفیت آب رودخانه پسیخان به وسیله مدل WASP6. همایش ملی مدیریت شبکه های 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.

WASP7 بهتر بوده است. دقت شبیه سازی 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 داده ها که دارای غلظت اندکی هستند، مقادیر RMSE تقریباً در همه ی طول سال زیاد است و دقت شبیه سازی مانند نیتروژن نیتراتی نبوده است. میانگین پارامترهای آماری در کل طول سال نیز نشان می دهد که مدل WASP7 عملکرد بهتری داشته است.

جدول (۳) تغییرات میانگین غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات را در مخزن سد درودزن نشان می دهد. بر اساس این جدول تغییرات میانگین نیتروژن نیتراتی بین ۰/۳۳ تا ۱/۲۳ میلی گرم در لیتر و ارتوفسفات بین صفر تا ۰/۱۴ میلی گرم در لیتر می باشد که این تغییرات ناچیز بوده و مقادیر آنها نیز بسیار کم تر از حد مجاز می باشد. کو و یانگ [۶] نیز این غلظت کم را برای فسفات در مخزن فیتسوی گزارش کردند.

منابع

- ۱- ارحامی، م.، تجربشی، م. و ابریشم چی، ا. ۱۳۸۱. مطالعات شبیه سازی تغییرات کیفی آب مخزن سد لتیان. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۴، ۱۴-۲.
- ۲- بنی سعید، ن. رضایی، ن. و جعفرزاده حقیقی فرد، ن. ۱۳۸۱. پیش بینی تغییرات کیفیت آب و لایه بندی مخزن دریاچه سد چراغ ویس با کاربرد نرم افزار HEC-5Q. ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز.

گزارش فنی

 ارزیابی وقوع فرسایش خندقی در حوزه ی آبخیز سرخ آباد
مازندران با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات
جغرافیایی
بهنوش جعفری گرزین^۱ و عطاالله کاویان^۲

تاریخ دریافت: ۸۶/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۱

چکیده

عوامل زیادی در شکل گیری و توسعه ی فرسایش خندقی دخالت دارند، بنابراین شناخت این عوامل و چگونگی تاثیر آنها منجر به موفقیت در اجرای طرح های مهار فرسایش خندقی می شود. بخش گسترده ای از حوزه ی آبخیز سرخ آباد، در منطقه ی سوادکوه استان مازندران تحت تاثیر این فرسایش، به مشکلات اقتصادی و اجتماعی دچار شده است. در این پژوهش با استفاده از سنجش از دور و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی عواملی نظیر سنگ شناسی، شیب، جهت جغرافیایی، طبقات ارتفاعی، درصد پوشش گیاهی، کاربری اراضی، عمق خاک، گروه های هیدرولوژی خاک و فاصله از راه ها به عنوان عوامل موثر در شکل گیری و توسعه خندق مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور لایه های اطلاعاتی عوامل یاد شده، در ۵ منطقه ی خندقی حوضه مورد بررسی قرار گرفته و با محاسبه ی شاخص تراکم وزنی عوامل گوناگون، نقش این عوامل در وقوع فرسایش خندقی ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان داد نزدیک به ۴۸ درصد از سطح حوضه از نظر فرسایش خندقی، در نقشه حساسیت در طبقه ی بالا قرار دارند.

واژه های کلیدی: فرسایش خندقی، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سرخ آباد

مقدمه

خندق آبراهه ای نسبتاً دائمی است که جریانات موقت آب در هنگام بارندگی از آن گذشته و مقدار بسیار زیادی رسوب را با خود حمل می نمایند [۴]. طی دو دهه ی اخیر مطالعات زیادی در رابطه با فرسایش خندقی صورت گرفته است. از آن جمله پواسن و همکاران [۱۰] اظهار داشتند با وجود تلاش های انجام گرفته، تعریف نظام مندی از عوامل محیطی کنترل کننده ی فرسایش خندقی (نظیر توپوگرافی، نوع خاک، کاربری اراضی و هیدرولوژی) ارایه نشده است. پژوهش های قدوسی و داوری [۱] در منطقه ی زنجانرود نشان داد که تراکم خندق ها در خاک های ریزدانه و بافت سنگین زیاد بوده است. سلیمانپور و همکاران [۳] تخریب اکوسیستم طبیعی و رشد سطوح فاقد پوشش در اثر افزایش طرح های توسعه ی عمرانی را از عوامل مهم افزایش سطح اراضی دارای فرسایش آبکندی در استان فارس دانستند. زاخار [۱۵] بیان می کند که بیش تر خندق ها در کشور چکسلواکی در شیب ۱۰ درجه و در حدود ۹۰ درصد آن بین ۲ تا ۱۵ درجه تشکیل شده است. مطالعات زینک و همکاران [۱۶] بیانگر این نکته است که بیش از پنجاه درصد نواحی خندقی منطقه ی مورد مطالعه در محدوده ی شیب ۷-۴ درصد قرار داشته، اما شکل گیری فرسایش خندقی به تناسب شیب افزایش نمی یابد. صوفی [۱۱] طی مطالعه ای نشان داد که مهم ترین عوامل ایجاد خندق، شدت بالای بارندگی و تخریب پوشش گیاهی بوده و رواناب سطحی، فرآیند هیدرولوژیکی غالب در توسعه ی خندق است. گابریس و همکاران [۶] ایجاد و توسعه ی فرسایش خندقی را در تپه ماهورهای با شیب کم تر از ۱۲ درصد و اراضی شخم خورده در کشور مجارستان جدی ارزیابی نمودند.

با توجه به نتایج متفاوت به دست آمده از پژوهش های مورد اشاره، نظرات متنوعی در خصوص فرایند فرسایش خندقی و عوامل موثر در وقوع آن مشاهده شده است.

با توجه به این که حوزه ی آبخیز سرخ آباد تحت تاثیر شدید این نوع فرسایش قرار داشته، هدف از این پژوهش ارزیابی وقوع فرسایش خندقی جهت کسب اطلاعات دقیق تر در راستای کنترل اثرات تخریبی آن می باشد.

مواد و روش ها

این پژوهش در حوزه ی آبخیز سرخ آباد در جنوب شهرستان سوادکوه استان مازندران با وسعت ۲۵۰۰۰ هکتار واقع گردیده

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران

b_jafari96@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول و استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی

و منابع طبیعی ساری a.kelarestaghi@Sanru.ac.ir

بحث و نتیجه گیری

بررسی مقادیر شاخص وزنی نشان داد که مناطق واقع در شیب ۳۰ تا ۶۵ درصد، جهت تشکیل فرسایش خندقی مستعدتر بوده (۰/۱۵۴۰) و اراضی با شیب های کم تر به میزان کم تری در معرض فرسایش خندقی قرار دارند. نتایج پژوهش های کوکال و ماتارو [۸] نیز نشان داد در حوزه های آبخیز پر شیب، تراکم و ترکیب خندق نسبت به سایر حوضه ها بیش تر است. اگرچه نتایج به دست آمده از برخی پژوهش های (گابریس و همکاران [۶]، زاخار [۱۵] و زینک و همکاران [۱۶]) بیانگر وقوع پدیده ی فرسایش خندقی در اراضی کم شیب و در مواردی تحت تاثیر فرآیند انحلال می باشد، اما شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر منطقه ی مورد مطالعه در این پژوهش، موجب افزایش سرعت رواناب ناشی از اراضی بالادست و افزایش انرژی کنش و انتقال ذرات خاک در آبراهه های فرسایشی مربوط به شیب های ۳۰ تا ۶۵ درصد شده و امکان ایجاد فرسایش خندقی را فراهم نموده است.

مقادیر شاخص وزنی سنگ شناسی نشان داد که حساس ترین مناطق به فرسایش خندقی مناطق با تناوب سنگ های سخت و سست می باشند (تناوب ماسه سنگ، شیل مارن ماسه ای قرمز (۱/۱۶)، تناوب آهک و رس (۰/۹۸)، تناوب سنگ آهک خاکستری سیاه و مارن (۰/۵۹) که با توجه به تفاوت رفتار نسبت به رطوبت، فشار، حرارت، هوادیدگی و تجزیه ی شیمیایی بسیار ناپایدار بوده و شرایط را جهت تشکیل فرسایش خندقی فراهم می کنند. سنگ های سخت و آذرین و سنگ های خوب لایه بندی شده حساسیت پایینی به وقوع فرسایش خندقی نشان دادند.

از نظر کاربری اراضی، پتانسیل فرسایش خندقی در مناطق با پوشش درختچه ی تنک بیش تر از سایر مناطق بوده (۰/۶۲۸۳) و در اراضی جنگلی (۱/۸۲-) و اراضی درختچه ای انبوه (۰/۸۹-) با توجه به مقدار شاخص وزنی کم تر، پتانسیل وقوع فرسایش خندقی کم تر است. بالاترین شاخص وزنی درصد پوشش گیاهی که بیانگر پتانسیل زیاد وقوع فرسایش خندقی است، با مقدار ۰/۱۱، مربوط به مناطق با درصد پوشش گیاهی کم تر از ۳۰ درصد بوده و کم ترین مقدار شاخص وزنی با مقدار ۰/۱۳- مربوط به اراضی با درصد پوشش گیاهی ۷۰-۵۰ درصد است. نقش کنترلی و اثر مثبت پوشش گیاهی در کاهش فرسایش خندقی به وسیله ی سلیمانپور و همکاران [۳]، صوفی [۱۱]، بورکاد و کوستاشوک [۵]، وندال و همکاران [۱۲] نیز بیان شده است.

همچنین خاک های با عمق متوسط تا نسبتاً عمیق مقدار شاخص وزنی بالاتری داشته (۰/۳۰۸۵) و بیش تر در معرض تشکیل فرسایش خندقی قرار دارند. همچنین مقدار شاخص وزنی گروه های هیدرولوژیک B و D به ترتیب با مقادیر ۰/۲۱ و ۰/۱۵، بالاتر بوده، لذا این واحدها بیش تر در معرض تشکیل خندق قرار دارند. نتایج بررسی راه ها نشان داد شاخص وزنی مربوط به گروه ۱۰۰-۰ متر از دو طرف جاده ها بالاترین مقدار شاخص وزنی

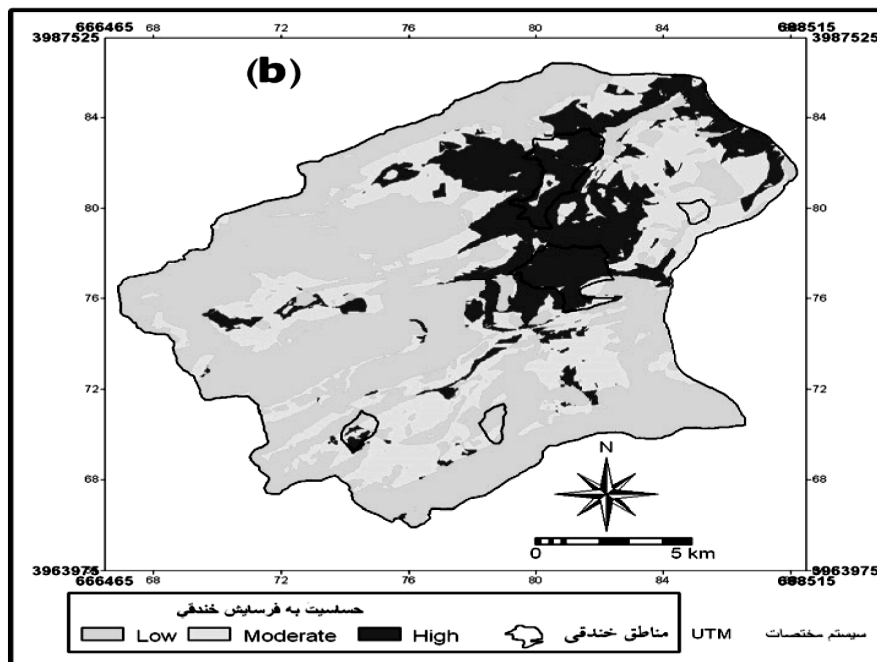
است. اقلیم حوزه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده، اقلیم کوهستانی و در بخش هایی نیز مرطوب و نیمه خشک سرد می باشد [۲]. در این پژوهش نقش و میزان دخالت عواملی نظیر توپوگرافی (پواسن و همکاران [۱۰]، گابریس و همکاران [۶]، زینک و همکاران [۱۶])، پوشش گیاهی و کاربری اراضی (کوکال و ماتارو [۸]، سنگ شناسی (اوستودیدنس و همکاران [۹])، اقلیم (واندکرف و همکاران [۱۳]) و خاک (استانبلوغلو و همکاران [۷]) در وقوع فرسایش خندقی مورد بررسی قرار گرفت. با ایجاد مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت تهیه گردید. نقشه ی زمین شناسی منطقه رقومی شد و با انجام اصلاحات بر اساس بازدهی های میدانی نقشه سنگ شناسی استخراج گردید. نقشه ی ژئومورفولوژی حوضه حاصل از مطالعات حوزه ی آبخیز سرخ آباد [۲] پس از انجام اصلاحات از طریق تفسیر چشمی تصویر باند پانکروماتیک سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷، تفسیر نقشه زمین شناسی و بازدید صحرایی، به هنگام سازی شد و نقشه ی سطح اراضی خندقی استخراج گردید.

نقشه ی فاصله از راههای حوزه با رقومی سازی نقشه ی راهها و تشکیل نقشه ی حایل (بافر) و کلاسه بندی نقشه به طبقات مشخص در محیط GIS ساخته شد. نقشه ی رقومی کاربری اراضی نیز با تفسیر چشمی تصویر باند پانکروماتیک سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷، سال ۲۰۰۲ و بازدیدهای صحرایی تهیه شد. نقشه های درصد پوشش گیاهی، عمق خاک، گروه های هیدرولوژیکی خاک حاصل از مطالعات شناسایی توجیهی حوزه ی آبخیز سرخ به وسیله ی مدیریت آبخیزداری استان مازندران [۲] پس از به هنگام سازی بر اساس تفسیر چشمی تصویر باند ۸ (پانکروماتیک) سنجنده ETM⁺ و بازدیدهای صحرایی مورد استفاده قرار گرفت. سپس مقادیر شاخص وزنی هر لایه ی اطلاعاتی و طبقات گوناگون آنها بر اساس رابطه ی ۱ مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت [۱۴]. مقادیر بیش تر شاخص وزنی نشان دهنده ی مشارکت بیش تر آن عامل در وقوع فرسایش خندقی دارد.

$$\ln W_i = \ln \left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{\sum \text{Npix}(\text{Si})}{\sum \text{Npix}(\text{Ni})}}{\frac{\sum \text{Npix}(\text{Si})}{\sum \text{Npix}(\text{Ni})}} \right) \quad (1)$$

که $\ln$: لگاریتم طبیعی، W_i : وزن یک طبقه یا کلاس معین از یک پارامتر، Densclas: تراکم مناطق خندقی در بین طبقات یک پارامتر Densmap: تراکم مناطق خندقی در کل حوزه، $\text{Npix}(\text{Si})$: تعداد پیکسل های خندقی در یک طبقه ی معین از یک پارامتر، $\text{Npix}(\text{Ni})$: تعداد کل پیکسل یک طبقه ی معین از یک پارامتر.

سپس لایه های اطلاعاتی اولیه با استفاده از مقادیر وزنی محاسبه شده بار دیگر طبقه بندی و نقشه ی پتانسیل وقوع فرسایش خندقی با استفاده از عملگر جمع نرم افزار ILWIS استخراج شد [۱۴].



شکل ۱ - نقشه‌ی نهایی پتانسیل وقوع خطر فرسایش خندقی

4- Bacellar, L.A.P., Netto, A.L.C. and Lacerada, W.A. 2000. Controlling factors of gullying in the Maracuja catchment, southeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms* 25(11), pp 1201-1220.

5- Burkard, M.B. and Kostaschuck, R.A. 1995. Initiation and evolution of gullies along the shore line of Lake Huron. *Geomorphology*. Vol.14: pp 211 - 219.

6- Gabris, G., Kertesz, A. and Zambo, L. 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in hilly catchment, Catena, 50, pp 151-164.

7- Istanbuluoglu, E., Bras, R.L. and Flores-Cervantes, H. 2005. Implication of bank failures and fluvial erosion for gully development: Field observations and modeling, *Journal of Geophysical Research*, 110, F01014, doi: 10.1029/2004JF145.

8- Kukal, S.S. and Matharu, G.S. 2002. Behavior of gully erosion in relation to catchment characteristics in foothills of lower Shivaliks. *Proc. 17th WCSS*, 14-21 August 2002, Thailand, pp 628-1 to 628-6.

(۰/۵۳۳۶) را به خود اختصاص داده است. افزایش جریان‌های سطحی در اثر جاده‌سازی و ایجاد ترانشه‌ها، برش‌های جاده و ناپایدار نمودن خاک‌ها (باسلار و همکاران [۴]) از دلایل در معرض خطر بودن مناطق نزدیک راه‌ها می‌باشد.

در مرحله‌ی بعد نقشه‌ی نهایی پتانسیل وقوع فرسایش خندقی با جمع جبری نقشه‌های وزنی لایه‌های اطلاعاتی اولیه در سه طبقه پتانسیل بالا، متوسط و پایین تفکیک گردید (شکل ۱).

نتایج نشان داد نزدیک به ۱۳۰۰۰ هکتار (۵۲ درصد) از سطح حوضه دارای پتانسیل پایین، ۷۴۰۰ هکتار (۳۰ درصد) پتانسیل متوسط و در حدود ۴۶۰۰ هکتار (۱۸ درصد) جزو نواحی با پتانسیل بالا جهت وقوع فرسایش خندقی پیش‌بینی می‌شوند.

منابع

۱- قدوسی، ج. و داوری، م. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات اقلیمی و مرفولوژیکی آبکندها (مطالعه موردی: استان قم). مجموعه مقالات سومین همایش فرسایش و رسوب، ۶ تا ۹ شهریور ۱۳۸۴. تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۳۴۲-۳۴۸.

۲- مدیریت آبخیزداری جهاد مازندران. ۱۳۷۳. مطالعات شناسایی توجیهی حوزه‌ی آبخیز سرخ‌آباد، ۶۷۵ ص.

۳- سلیمانپور، س.م.، صوفی، م. و احمدی، ح. ۱۳۸۷. بررسی نقش کاربری‌های گوناگون اراضی در ایجاد فرسایش آبکنده در استان فارس، مجله‌ی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۳، صفحات ۶۶-۶۸.

Deluna, E. 2000. Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments, *Journal of Geomorphology*, 33, pp 37-58.

14- Van Westen, C.J. 1997. Statistical landslide hazard analysis, Pp73-85, In: *The Integrated Land and Water Information System (ILWIS) Applications Guide*, Chapter 5. International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences Enschede, The Netherlands, ILWIS Department, ITC, October 1997.

15- Zachar, D. 1982. *Soil erosion*. Elsevier scientific publishing company. 584p .

16- Zinck, A., Lopez, J., Metternich, G.I., Shrestha, D.P. and Vazquez-Selem, L. 2001. Mapping and modelling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. *JAG*. Vol. 3(1) pp 44-53.

9- Oostwoud Wijdenes, D.J., Poesen, J., Vandekerckhove, L. and Ghesquiere, M. 2000. Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena*, 39, pp 147-167.

10- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. and Valentin, C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50, pp 91-133.

11- Soufi, M. 2002. Characteristics and causes of gully erosion in Iran. *Proc. 12th ISCO conference*. Beijing. pp 589-593.

12- Vandaele, K., Poesen, J., Govers, G. and Wesemael, B. 1995. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology*. Vol.16: 161 - 173 .

13- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Gyssels, G., Beuselinck L. and

گزارش فنی

مقدمه

گسترش شهرنشینی و توسعه‌ی شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت در کوتاه مدت به صورت امراض و بیماری‌های تنفسی و تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی، متوجه ساکنان شهرها می‌شود و در درازمدت به عنوان عاملی در تشدید نوسانات اقلیمی و تأثیرات زیست محیطی آن از جمله تغییر ماههای مناسب از نظر اقلیم آسایش ایفای نقش می‌کند.

کسمایی [۳] مشخص کرد که منظور از شرایط آسایش انسان مجموعه حالت‌هایی است که از نظر رژیم دما دست کم برای ۸۰ درصد از افراد مناسب باشد. قبادیان و فیض مهدوی [۲] در اصطلاح خنثی بودن رژیم دما را تعبیر دقیق‌تری می‌دانند زیرا انسان سرما و گرما و ناراحتی موضعی ناشی از مسائل اقلیمی را، احساس نمی‌کند. علیجانی [۱] بر این باور است که در بین این عناصر دما و رطوبت تأثیر بیش‌تری در سلامت و راحتی انسان دارند. از دیرباز تا به امروز اندیشمندان زیادی از جمله گایگر [۸]، بالا فوئیس و پایادی میتریو [۶]، دیر [۷]، گیونی [۹، ۱۰]، مک گری گور و نیو ولت [۱۱]، تامپسون و پری [۱۲]، هوشور [۴، ۵] بدان توجه داشته‌اند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش رابطه‌ی بین دو عنصر مهم اقلیمی، دما و رطوبت نسبی، برای پنج دوره‌ی ده ساله‌ی آماری از سال ۱۹۵۷ تا سال ۲۰۰۶ برای ایستگاه یزد شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است که با کمک مدل آسایش ماهانی، درجه‌ی آسایش برای دوره‌های پنجگانه‌ی ذکر شده، برآورد شد و در نهایت با استفاده از روش همبستگی خطی، مقادیر پیش‌بینی شده‌ی دما و رطوبت نسبی برای ده سال آینده که مختوم به سال ۲۰۱۶ میلادی است، به دست آمده و در نمودار ترسیم شده است.

شاخص آسایش مدل ماهانی

این شاخص نخستین بار در سال ۱۹۷۱ به وسیله‌ی کارل ماهانی عرضه شد. جدول ماهانی منطقه‌ی آسایش شب و روز هر ماه را با توجه به میانگین سالیانه‌ی دمای محل مورد مطالعه و میانگین رطوبت نسبی همان ماه تعیین می‌کند (جدول ۱).

مطالعه‌ی ویژگی‌های اقلیم آسایش شهر یزد با استفاده از مدل ماهانی (MAHANI) و تأثیر روند تغییر اقلیم بر روی آن

سعید نگهبان^۱، غلامرضا روشن^۲ و فرود آذری دهکردی^۳
تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۲۰

چکیده

شهرنشینی و توسعه‌ی شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت و توسعه‌ی فعالیت‌های صنعتی با مصرف بی‌رویه‌ی سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌ها را به شدت افزایش داده است که پیامدهای آن در کوتاه مدت بروز بیماری‌های گوناگون و در بلندمدت موجب تشدید برخی نوسانات اقلیمی و تأثیرات زیست محیطی آن، از جمله تغییر دوره‌های زمانی مناسب از نظر اقلیم آسایش است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های آب و هوایی ۵۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۵۷) دما و رطوبت نسبی ایستگاه یزد و نیز بهره‌گیری از مدل اقلیم آسایش ماهانی، ماههای مناسب برای آسایش فیزیولوژی انسان در ۵ دوره‌ی ده ساله تعیین و روند خطی این تغییرات برای ده سال بعد که مقارن با سال ۲۰۱۶ است پیش‌بینی شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روند دمایی در ایستگاه یزد در حال افزایش بوده و بیش‌تر ماهها روند گرمایش دارند، به گونه‌ای که انتظار می‌رود در آینده‌ی نزدیک، ماههای سرد جهت آسایش و راحتی فیزیولوژی برای انسان شرایط مساعدتری داشته باشند و متقابلاً در ماههای گرم تنش گرما، ازدیاد مشخصی یابد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، تغییر اقلیم، اقلیم آسایش، شهر یزد و ماهانی

۱. نویسنده‌ی مسئول و کارشناس ارشد برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران s_n1362@yahoo.com

۲. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکده‌ی محیط زیست، دانشگاه تهران

جدول ۱ - جدول ماهانی برای منطقه‌ی آسایش شب و روز

گروه اقلیمی	میانگین رطوبت نسبی به درصد	میانگین دمای سالیانه					
		بیش تر از ۲۰		۱۵ تا ۲۰		کم تر از ۱۵	
		روز	شب	روز	شب	روز	شب
۱	۰-۳۰	۳۴	۲۵	۳۲	۲۳	۳۰	۲۱
		۲۶	۱۷	۲۳	۱۴	۲۱	۱۲
۲	۳۰-۵۰	۳۱	۲۴	۳۰	۲۲	۲۷	۲۰
		۲۵	۱۷	۲۲	۱۴	۲۰	۱۲
۳	۵۰-۷۰	۲۹	۲۳	۲۸	۲۱	۲۶	۱۹
		۲۳	۱۷	۲۱	۱۴	۱۹	۱۲
۴	۷۰-۱۰۰	۲۷	۲۱	۲۵	۲۰	۲۴	۱۸
		۲۲	۱۷	۲۰	۱۴	۱۸	۱۲

ژوئن در منطقه‌ی آسایش قرار گرفته‌اند. با بررسی ۵ دوره‌ی یاد شده، تقریباً تمام نتایج برای دوره‌های گوناگون یکسان است، اما ۲ تغییر قابل ملاحظه بوده نخست این که در دوره‌های دوم و سوم اقلیم شبانه سپتامبر از محدوده‌ی آسایش خارج و به محدوده‌ی سرد جابه‌جا شده و دوم این که در دوره‌ی پنجم محدوده‌ی اقلیم شبانه در ماه جولای در طبقه‌ی گرم قرار گرفته است (جدول ۲).

ب) اقلیم آسایش روزانه

نتایج و تحلیل نتایج

نتایج اقلیم آسایش شهر یزد به روش ماهانی

الف) اقلیم آسایش شبانه

در مطالعه‌ی وضعیت اقلیم آسایش شبانه، برای ۵ دوره‌ی ده ساله در ایستگاه یزد این نکته‌ها استخراج شد که ماههای پاییز و زمستان به اضافه‌ی ماه آوریل در محدوده‌ی سرد قرار گرفته و از شرایط آسایش (معتدل) برخوردار نمی‌باشند، اما ماههای فصل تابستان به اضافه‌ی

جدول ۲ - محدوده‌ی آسایش برای ماههای گوناگون ایستگاه یزد با استفاده از جدول آسایش ماهانی

ماهها		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AGU	SEP	OCT	NOV	DEC
دوره‌ها	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	گرم	آسایش	سرد	سرد
دوره‌ی نخست	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	آسایش	سرد
دوره‌ی دوم	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	آسایش	سرد
دوره‌ی سوم	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	سرد
دوره‌ی چهارم	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	سرد
دوره‌ی پنجم	شبان	سرد	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	گرم	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	سرد
پیش بینی	شبان	سرد	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	آسایش	آسایش	سرد	سرد	سرد
	روزانه	سرد	سرد	آسایش	آسایش	آسایش	گرم	گرم	گرم	گرم	آسایش	آسایش	سرد

منابع

- ۱- علیجانی، ب. ۱۳۷۲. نگرش نو در کاربرد آب و هواشناسی در مدیریت منابع و توسعه کشور، نقش آب و هوا در طراحی مسکن، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۵.
- ۲- قبادیان، و. و فیض مهدوی، م. ۱۳۸۰. طراحی اقلیمی- اصول نظری و اجرای کاربردی انرژی در ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- کسمانی، م. ۱۳۷۰. اقلیم و معماری، انتشارات شرکت خانه سازی ایران، تهران.
- ۴- هوشور، ز. ۱۳۶۵. مقدمه‌ای بر جغرافیای پزشکی ایران، دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، تهران.
- ۵- هوشور، ز. ۱۳۸۱. پاتالوژی جغرافیای ایران، جلد اول: اصول و مبانی، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

6- Balafoutis, C. and Papadimitriout, A.A. 1987. A Study of Climatic Stress and Phsiological in Greece, Journal of Climatology Vol. 7, 303- 312 UK

7- Dear, R.J.DE. 1989. Diurnal and Seasonal variations in The Human Thermal Climate of Singapore , Singapore Journal of Tropical Geography , Vol 10, No 1, Singapore.

8- Geiger, R. 1965. The Climate Near The Ground. Cambrige. Mass: Harvard University Press.

9- Givoni, B. 1989. Urban design in different climates ,World Meteorology Organization TD, No. 366, Geneva.

10- Givoni, B. 1989. Man, Climate and Architecture, John , Willy USA.

11- McGregor, Gr. and Nieuwolt, S. 1998. Tropical Climatology, John Wiley and Sons, London,Uk.

12- Thompson, R.D. and Perry, A. 1997. Applied Climatology, Principles and Practice, Rutledge.

13- WWW.IRIMET.NET

در اقلیم روزانه، وضعیت متفاوت بوده، به گونه‌ای که ماههای فصل زمستان به اضافه‌ی دسامبر در محدوده‌ی سرد قرار دارند، اما ژوئن، جولای و آگوست و سپتامبر در محدوده‌ی گرم واقع شده‌اند، با این توضیح که ماه سپتامبر در دوره‌ی نخست، در محدوده‌ی آسایش قرار داشته است. در این بین ماههای آوریل، می، اکتبر و نوامبر از آسایش اقلیمی مناسب برای انسان برخوردار بوده‌اند. گفتنی است که ماه نوامبر در دوره‌ی نخست و ماه مارس در دوره‌ی چهارم در محدوده‌ی سرد قرار داشته‌اند (جدول ۲).

در بررسی‌های انجام شده، همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، مشخص شد که ماه می در هر دو حالت اقلیم شبانه و روزانه، به گونه‌ی کامل در محدوده‌ی آسایش قرار داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

نقش تغییرات اقلیمی روی آسایش ماهها، به دلیل وجود دامنه‌ی نسبتاً زیاد بین هر کدام از مولفه‌های اقلیمی دما و رطوبت نسبی در جدول ماهانی، برای هر محدوده‌ی ویژه، به خوبی نمایان نیست، یعنی اگر فاصله این محدوده‌ها کم‌تر بوده، مسلماً نقش تغییر اقلیم روی اقلیم آسایش ماهها به خوبی مشخص می‌گردید.

در فصل پاییز، ۲ ماه اکتبر و نوامبر در تمام دوره‌ها شرایط یکسانی داشته، به گونه‌ای که اقلیم روزانه در محدوده‌ی آسایش و اقلیم شبانه در محدوده‌ی سرد می‌باشد، اما دسامبر، در هر ۲ اقلیم شبانه و روزانه در محدوده‌ی سرد و عدم آسایش قرار گرفته است.

در فصل بهار، در ماه آوریل، برای تمام دوره‌ها دارای شرایط یکسانی هستند، به گونه‌ای که اقلیم شبانه در محدوده‌ی عدم آسایش و سرد قرار دارد و اقلیم روزانه در محدوده‌ی آسایش می‌باشد، اما برای ماه می وضعیت تغییر کرده و اقلیم روزانه و شبانه در تمام دوره‌ها در محدوده‌ی آسایش اقلیمی قرار گرفته است، اما در ژوئن با ۲ ماه تابستانی جولای و آگوست سازگاری دارد. بیش‌ترین نوسان در ماه تابستانی سپتامبر مشاهده شده. این نوسان‌ها نشان می‌دهد که اقلیم شبانه در دوره‌ی نخست، در محدوده‌ی آسایش بوده است اما در دوره‌های دوم و سوم، وارد محدوده‌ی سرد می‌شود. دوباره این ماه در دوره‌های چهارم و پنجم به محدوده‌ی آسایش وارد و پیش‌بینی می‌شود که اقلیم روزانه در سال ۲۰۱۶ از حیطه‌ی آسایش خارج و به محدوده‌ی عدم آسایش و گرم تغییر وضعیت دهد.

Abstract**Measuring and Simulating of Nitrate and Orthophosphate in Doroudzan Dam Reservoir Using HEC-5Q and WASP7 Models**M. Noshadi¹ and M.A. Sadeghnejad²

During the last decades, world has been faced with shortage of water resources, increase of the population and development of agricultural and industrial activities. Therefore, we should try to find reliable water sources such as new dams. But dam reservoir will change the water quality and river downstream. Thus, the investigation of water quality of dam reservoirs is very important. Doroudzan dam is located in north western part of Shiraz on the Kor River, 70 km far from this city. The dam was first operated in 1351 with a capacity of $993 \times 10^6 \text{ m}^3$. In this research nitrate and orthophosphate were measured in different depths of Doroudzan dam and simulated using calibrated HEC-5Q and WASP7 models. Then, these models were compared to determine suitable model. The evaluations of these models were showed that simulations of both models were acceptable. In Farvardin, Ordibehesht, Khordad, Tir, Mordad, Shahrivar, Aban, Azar, Dey, and Esfand months, simulation of nitrate with WASP7 model was better than HEC-5Q and in other months, Mehr and Bahman, HEC-5Q was better than WASP7. In general, according to the mean of measured and simulated data in dam reservoir profile, the simulation of WASP7 was better than HEC-5Q. For orthophosphate, the simulation of WASP7 in Ordibehesht, Tir, Mordad, Aban, Azar, Dey and Bahman months was better than HEC-5Q, and in other months, Farvardin, Shahrivar, Mehr, and Esfand, the HEC-5Q simulations was better than WASP7. In general, according to the mean of measured and simulated data, simulations of orthophosphate for WASP7 were better than HEC-5Q. Measured data, were showed that mean concentrations of nitrate and orthophosphate were between $0.33\text{-}1.23 \text{ mgL}^{-1}$ and $0\text{-}0.14 \text{ mgL}^{-1}$, respectively.

Keywords: *Dam reservoir, HEC-5Q, WASP7, Simulation, Nitrate and Orthophosphate.*

1- Assistant Prof. of Water Engineering Dep., College of Agriculture, Shiraz University, Iran, noshadi@shirazu.ac.ir

2- Former MSc. student of Environmental Eng., Water and Wastewater