

شبیه سازی کیفی آمونیوم و نیترات در طول رودخانه گرگر با استفاده از مدل QUAL2KW

ساناز شکری^۱عبدالرحیم هوشمند^۲هادی معاضد^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
۲. دانشیار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. استاد گروه آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات

sanaz.shokri66@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۳

کد مقاله: ۱۳۹۴۰۱۰۱۱۷

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

برای تعیین عکس العمل قابل انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده ها استفاده از مدل های ریاضی ضروری است. این مدل ها قادرند آثار بارگذاری های موجود و آتی را شبیه سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم گیری های خودیاری نمایند. به عبارت دیگر از آنجا که حفاظت کیفی رودخانه ها نیاز به سرمایه گذاری های اضافی برای تصفیه پساب ها و یا ایجاد سیستم های جمع آوری و کنترل زه آب ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیت ها در حوضه رودخانه گردد. حفاظت از رودخانه گرگر که یکی از شاخه های رودخانه کارون و منبع تأمین آب برای مصارف خانگی، شرب، کشاورزی و آبیروپروری می باشد اهمیت بسیاری دارد. از این رو اولین گام در مدیریت حفاظت از منابع آب آگاهی همه جانبه از تغییرات کیفی آن ها می باشد. برای این منظور در این تحقیق از مدل ریاضی QUAL2KW برای شبیه سازی کیفی رودخانه گرگر استفاده شد. به منظور اجرای مدل اطلاعات لازم برای سال های ۹۱-۱۳۸۹ از سازمان آب و برق خوزستان تهیه شد و به منظور اجرای مدل داده های موجود به دودسته تقسیم گردیدند، که از دسته اول (مهر ۱۳۸۹ الی اسفند ۱۳۹۰) در واسنجی مدل و از دسته دوم (اردیبهشت ۱۳۹۱ الی اسفند ۱۳۹۱) اطلاعات موجود به منظور آزمایش و صحت یابی مدل استفاده گردید. در ادامه پارامترهای آمونیوم و نیترات موجود در رودخانه گرگر به وسیله مدل شبیه سازی و ارزیابی گردید. نتایج حاصل از صحت سنجی نشان داد مدل تطابق خوبی با واقعیت دارد و با توجه به مطالعات و بررسی های به عمل آمده، اهم منابع و مراکز آلوده کننده رودخانه گرگر را می توان فاضلاب های روستاهای مسیر، پساب ها و فاضلاب های ماهی سراها و حوضچه های پرورش ماهی و زهکش های کشاورزی دانست.

واژگان کلیدی: رودخانه گرگر، مدل QUAL2KW، شبیه سازی.

مقدمه

آلودگی آب در دهه های اخیر تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم های طبیعی تلقی می شود به طوری که بررسی تغییرات کیفیت آب یکی از موضوعات مهم جهت استفاده بهینه از آن است (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). آب های سطحی جاری یا رودخانه ها از مهم ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. بسیاری از برنامه ریزی های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می باشد. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی های مهم در برنامه ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن ها می باشد. در عصر کنونی گسترش شهرها و احداث



واحدهای صنعتی و کشاورزی وابسته به وجود منابع آب کافی به ویژه رودخانه ها بوده است. در این مناطق رودخانه ها نه تنها تأمین کننده مصارف مختلف آب هستند، بلکه به عنوان مجاری طبیعی در انتقال پساب ها و فاضلاب های تولید شده عمل می نمایند. تخلیه انواع مختلف آلاینده های کشاورزی و صنعتی و پساب های شهری به رودخانه ها باعث شده است که در حال حاضر رودخانه ها به عنوان یکی از کانون های بحرانی از نقطه نظر آلودگی ها مطرح باشند (شکری و همکاران، ۱۳۹۳). رودخانه ها به عنوان یکی از مهم ترین منابع تأمین انتقال آب مصرفی بخش های صنعت، کشاورزی و مصارف شهری از اهمیت خاصی برخوردارند. حفظ کیفیت منابع آب به منظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیت ها و کاربری های تفریحی و ایجاد یک اکوسیستم مناسب برای ماهیان و حیات وحش، مستلزم کیفیت بالای آب رودخانه می باشد. به این دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰). می توان بیان کرد که کاربری های شهری و کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه تأثیر بسزایی دارد، به طوری که در حوضه هایی با کاربری کشاورزی و شهری بالا، نسبت به حوضه هایی که این کاربری ها در آن ها کمتر است، میزان pH و شوری بالاتر است (Chessman and Townsend, 2009). مقدار هدایت الکتریکی و TDS آب نیز در مناطق شهری و کشاورزی به علت ورود نمک های محلول از مناطق شهری و کشاورزی در مقایسه با سایر کاربری ها بیش تر است (Ngoye and Machiva, 2004).

هراتی و همکاران (۱۳۹۳) به شبیه سازی کیفی آب رودخانه کارون در بازه بند قیر تا اهواز با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که میزان آمونیوم و نیترات در پایین دست رودخانه افزایش یافته است و مدل QUAL2K از دقت خوبی برای شبیه سازی برخوردار است. هراتی و معاضد (۱۳۹۳) به بررسی شوری آب رودخانه کارون پرداختند و بیش ترین میزان شوری وارده به رودخانه کارون را ناشی از فاضلاب های شهری بیان نمودند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقاتی جامع پیرامون آلودگی کیفی و کمی رودخانه بابل رود که از رودخانه های مهم استان مازندران می باشد با استفاده از مدل QUAL2K دریافتند که عمده آلودگی های رودخانه بابل رود نه از واحدهای صنعتی، بلکه از فاضلاب های شهری می باشد. نجفی و محمودپور (۱۳۹۱) با بررسی مسائل کیفی رودخانه قره سو دریافتند این حوزه در مسیر خودپذیری آلودگی های نقطه ای و غیر نقطه ای، شهرها، کارخانه ها صنعتی، اراضی کشاورزی و غیره است و جهت درک بهتر از مسائل کیفی رودخانه از مدل QUAL2K استفاده نمودند و نتایج مدل نشان داد که مقدار اکسیژن محلول به طور کلی از مقادیر مجاز (۵ میلی گرم در لیتر) کمتر بوده و بحرانی ترین بازه، بازه بعد از کرمانشاه است. هاشمی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج داده های ۱۴ پارامتر کیفیت آب در ۴۲ ایستگاه را با استفاده از مدل QUAL2K بررسی کردند. شهریار و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات میزان جریان بر کیفیت آب رودخانه کارون پرداختند. برای این منظور از مدل ریاضی QUAL2KW برای شبیه سازی کیفی رودخانه استفاده نمودند. نتایج شبیه سازی نشان دهنده وضعیت نامطلوب رودخانه در ماه های خشک و کم آب بود.

میرباقری و همکاران (۱۳۹۰) در مدل سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس با استفاده از نرم افزار QUAL2K وضعیت رودخانه را مورد بررسی قرار داده و از نتایج حاصل استنتاج کردند که قدرت خود پالایی رودخانه کم بوده و روند افزایشی در میزان نیتروژن آلی هم زمان با ورود فاضلاب ها قابل ملاحظه می باشد. هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی بار آلودگی ورودی از زیر حوضه ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. یافته ها نشان داد که سهم بار آلودگی ورودی از شاخه های فرعی در آلودگی مخزن سد بیشتر از شاخه اصلی رودخانه است. اژدری و همکاران (۱۳۸۵) مدل سازی آمونیوم، نیترات و فسفات در رودخانه پسیخان در استان گیلان را با استفاده از مدل QUAL2K انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل مذکور قادر است با وجود اطلاعات کمی که در دسترس بود شبیه سازی را در حد قابل قبولی انجام دهد. Mathew و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب گل آلود رودخانه بستونبا استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. تجزیه و تحلیل آب این رودخانه با استفاده از این مدل نشان داد که کیفیت آب رودخانه کمتر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می گیرد. Bottino و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی کیفیت آب رودخانه کانها برزیل با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. نتایج حاکی از بالا بودن مقدار اکسیژن محلول در طول رودخانه بود. Helfrich و Selong (۲۰۰۲) اثر پنج کارگاه پرورش ماهی قزل آلا را بر روی کیفیت آب رودخانه ویرجینیا بررسی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که غلظت یون های آمونیوم و نیتريت به طور چشم گیری در پایین دست رودخانه افزایش یافته است. واقع شدن شهرها و روستاهای زیاد در حاشیه رودخانه گرگر و وجود مراکز صنعتی مهم و همچنین اجرای طرح های توسعه کشاورزی در این ناحیه و توجه به این نکته که بیش تر این مراکز پساب های خود را به صورت خام و تصفیه نشده به این رودخانه تخلیه می نمایند،

کیفیت آب رودخانه گرگر به طور جدی مورد تهدید قرار می گیرد (رمضانی، ۱۳۹۱). بنابراین حفاظت و حفظ کیفیت آب این رودخانه حائز اهمیت می باشد. در این تحقیق از مدل ریاضی QUAL2KW برای شبیه سازی کیفی رودخانه گرگر استفاده گردید.

مواد و روش ها

رودخانه گرگر واقع در حدفاصل شهرستان شوشتر تا بند قیر (در ۵۵ کیلومتری شمال اهواز)، شاخه شرقی رودخانه کارون بوده که در شمال شهر شوشتر توسط بند میزان از شاخه غربی آن یعنی شطیط جدا شده و با عبور از شوشتر و طی مسافتی حدود ۸۴ کیلومتر و با مسیری پریچ وخم در محل بند قیر در ۶۰ کیلومتری جنوب شوشتر، مجدداً به شاخه شطیط و دز پیوسته و کارون بزرگ را تشکیل می دهد. رودخانه گرگر از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی واقع شده است. دو ایستگاه آب سنجی شوشتر و بند قیر با کدهای مطالعاتی ۲۱-۲۵۰ و ۲۱-۴۴۵ بر روی رودخانه گرگر واقع شده اند. جدول ۱ مختصات جغرافیایی دو ایستگاه شوشتر و بند قیر، شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه ها و جدول ۲ متوسط دبی ماهانه در ایستگاه شوشتر و بند قیر را نشان می دهد (شکری و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه های آب سنجی در حوزه آبخیز گرگر.

ایستگاه	مختصات جغرافیایی	
	عرض شمالی	طول شرقی
شوشتر	۳۲ درجه و ۱ دقیقه	۴۸ درجه و ۵۱ دقیقه
بند قیر	۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه	۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه

جدول ۲: متوسط دبی ماهانه در ایستگاه شوشتر و بند قیر.

ماه	متوسط آبدی در ایستگاه شوشتر (مترمکعب بر ثانیه)	متوسط آبدی در ایستگاه بند قیر (مترمکعب بر ثانیه)
فروردین	۱۷/۵	۱۲
اردیبهشت	۱۴/۱	۹/۷
خرداد	۱۳/۴	۷/۵
تیر	۲۲/۳	۹/۷
مرداد	۲۲/۴	۱۴/۳
شهریور	۱۲/۶۵	۸
مهر	۱۱	۷/۸
آبان	۱۰/۰۵	۱۲/۸
آذر	۹/۵	۲۱/۵
دی	۱۱/۷۲	۱۹/۶
بهمن	۱۱	۱۸/۸
اسفند	۱۱/۹	۷/۸



شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه‌های رودخانه گرگر.

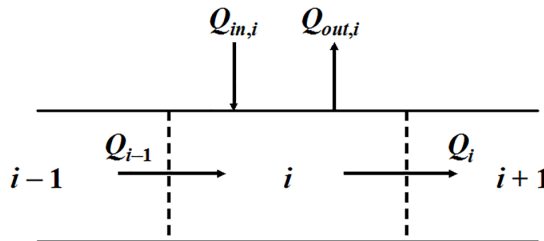
مدل سازی: برای تعیین اثر آلاینده‌ها بر بدنه آب‌های پذیرنده ضروری است که فرآیند فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی با بهره‌گیری از معادلات ریاضی و مدل‌ها توصیف شود تا بتوان نتایج کیفی آب را پیش‌بینی کرد. در ادامه پارامترهای NH_4 و NO_3 موجود در رودخانه کارون به‌وسیله مدل QUAL2KW شبیه‌سازی و ارزیابی گردید و داده‌های موردنیاز برای سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ از سازمان آب و برق خوزستان تهیه شد.

الف) مدل QUAL2kw: برای تعیین عکس‌العمل قابل‌انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده‌ها استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند آثار بارگذاری‌های موجود و آتی را شبیه‌سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم‌گیری‌های خود یاری نمایند. به عبارت دیگر از آنجاکه حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها و یا ایجاد سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل زه آب‌ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیت‌ها در حوضه رودخانه گردد، اثرات اقتصادی قابل توجهی می‌تواند داشته باشد. بنابراین وجود ابزاری نظیر یک مدل ریاضی به‌منظور نشان دادن شرایط موجود و محدودیت‌های لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی موردنظر، برای تصمیم‌گیران ضروری به نظر می‌رسد (Gordon et al., 1992). نرم‌افزار و یا به عبارت دیگر دیگر مدل QUAL2KW (Q2K) هم‌اکنون به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. مدل Q2K از یک برنامه اصلی که به‌وسیله زیر برنامه‌های مختلف پشتیبانی می‌شود تشکیل شده است. این مدل شامل اندرکنش‌های اصلی چرخه غذایی، تولید جلبک، اکسیژن‌خواهی کفزی‌ها، مصرف اکسیژن کربنی، بازدمش اتمسفری و آثار آن‌ها روی رفتار اکسیژن محلول است. کلی‌فرم‌ها و اجزای ناپایدار اختیاری به‌صورت اجزای ناپایدار زوال‌پذیری که با سایر اجزا اندرکنش ندارند، مدل می‌شوند (Rosen, 1996). همچنین اجزای پایدار، نه زوال‌پذیرند و نه با سایر اجزا واکنش می‌دهند. این برنامه قادر است پخش طولی مواد، اکسیژن موردنیاز رسوبات، ته‌نشینی مواد کربنی، نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی را در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب به حساب آورد. ازجمله توانایی‌های مدل این است که علاوه بر شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان در حالت ماندگار و غیریک‌نواخت، می‌تواند ترکیبی از شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه و عواملی چون تخلیه فاضلاب‌ها و همچنین جریان‌های افزایشی را در برگیرد (Chapra, 2007).

الف-۱) هندسه و هیدرولیک مدل: اولین قدم برای مدل‌سازی یک رودخانه، ساده‌سازی سیستم ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌منظور فرموله کردن ریاضی آن است. برای نیل به این هدف مسیر رودخانه به تعدادی بازه تقسیم می‌شود. که این تقسیم‌بندی می‌تواند در مقطعی که تغییر ناگهانی در میزان دبی رودخانه یا کیفیت آن صورت می‌گیرد، نظیر محل تخلیه فاضلاب‌های شهری یا صنعتی و یا محل ورود انشعابات فرعی رودخانه‌ها و یا در مقطعی که تغییری در شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ها ایجاد می‌شود، انجام می‌گیرد. بر مبنای این تقسیم‌بندی پارامترهای موردنظر در فرمول‌های کیفی در هر بازه محاسبه و در طول آن ثابت در نظر گرفته می‌شود. مدل Q2K نیز یک رودخانه را به‌صورت یک سری از بازه‌ها نمایش می‌دهد. بازه‌ها قطعاتی از رودخانه هستند که مشخصات هیدرولیکی ثابتی دارند (مانند: شیب کف، زبری مانینگ و ...). بازه‌ها به‌صورت صعودی و با شروع از بالادست جریان اصلی رودخانه شماره‌گذاری می‌شوند. ورودی‌ها

و خروجی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در هر جایی از طول مسیر رودخانه می‌توانند قرار بگیرند. همچنین مدل می‌تواند هر بازه‌ای را به تعداد دلخواهی عنصر با حجم کنترل (واحد محاسباتی بنیادی مدل) تقسیم‌بندی کند، که عناصر مربوط به هر بازه دارای طول یکسانی هستند و طول عناصر از بازه‌ای به بازه دیگر می‌تواند متفاوت باشد (رمضانی، ۱۳۹۱).

الف- ۲) موازنه جریان: برای هر عنصر محاسباتی موازنه جریان در حالت پایدار و ماندگار به صورت روابط ۱، ۲ و ۳ انجام می‌شود. شکل ۲ موازنه جریان برای هر عنصر را نشان می‌دهد.



شکل ۲: موازنه جریان برای هر عنصر.

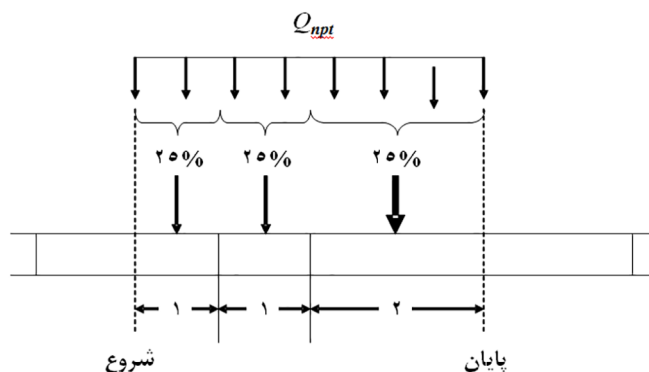
$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$Q_{in,i}$: کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به عنصر i (d/m^3); $Q_{out,i}$: کل جریان خروجی از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به عنصر i (d/m^3); Q_i : میزان جریان خروجی از عنصر i به عنصر $i+1$ (d/m^3) و Q_{i-1} : میزان جریان خروجی از عنصر $i-1$ به عنصر i (d/m^3) (Chapra, 2007).

مدل Q_2K ورودی‌ها و یا خروجی‌های غیر نقطه‌ای را به صورت خطی شبیه‌سازی می‌کند. شروع و پایان این منابع را به صورت شکل ۳ در نظر گرفته و با توجه به بار ورودی به هر عنصر، به آن وزن می‌دهد. بنابراین باید طول منابع ورودی یا خروجی غیر نقطه‌ای معلوم باشد (رمضانی، ۱۳۹۱).



شکل ۳: چگونگی در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای ورودی به یک عنصر در مدل Q_2K .

الف-۳) خصوصیات هیدرولیکی: برای محاسبه دبی خروجی از هر عنصر سه روش در مدل وجود دارد، شامل: روش سرریزها (اگر ارتفاع و عرض سرریزها وارد مدل شوند)، روش منحنی‌های سنج (اگر ضرایب و توان‌های a, b, α, β در معادلات $H = \alpha Q^\beta$ و $U = Q^b$ وارد مدل شوند) و روش معادلات مانینگ (اگر ضرایب معادله مانینگ وارد مدل شوند) (Chapra, 2007).

ب) داده‌های موردنیاز مدل: برای استفاده از مدل QUAL2KW جهت شبیه‌سازی رودخانه‌ها باید یک سری اطلاعات ورودی به مدل جمع‌آوری یا تعیین شوند. این داده‌ها به‌طور کلی عبارت‌اند از: داده‌های هندسی رودخانه، داده‌های هیدرولیکی، داده‌های هواشناسی، داده‌های کیفی آب رودخانه، ضرایب سینتیکی مورد استفاده در معادلات مدل و داده‌های کمی و کیفی منابع ورودی به رودخانه می‌باشند. مدل QUAL2KW قادر است مقدار غلظت آلودگی‌ها را در مرز پایین‌دست محاسبه نماید (رضانی، ۱۳۹۱). به این منظور اطلاعات کیفی در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۱ در ایستگاه شوشتر به‌عنوان شرایط مرزی بالادست انتخاب شده است. با توجه به ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی و آلاینده‌های واقع در مسیر جریان پارامترهای NH_4 و NO_3 برای شبیه‌سازی انتخاب شدند.

ج) واسنجی مدل: هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده است و این کار ممکن است به‌وسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا به‌وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. معمولاً رابطه خاص بین شکل عمومی مدل و سیستم فیزیکی مورد مطالعه از طریق پارامترهای مدل وجود دارد که این رابطه، دقت مقادیر پارامترها را برای برازش، بین خروجی مدل و خروجی ثبت‌شده تعیین می‌کند. ایده آل، آن است که مدل تا حد امکان واقعیت را منعکس کند (Rafiee et al., 2013).

د) صحت یابی مدل: برای ارزیابی دقت هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی‌شده، ضریب همبستگی R^2 ، متوسط خطای مطلق MAE استفاده می‌شود. در پارامترهای شبیه‌سازی‌شده هر چه میزان ضریب همبستگی به یک و متوسط خطای مطلق به صفر نزدیک‌تر باشد، کارکرد مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود. مقدار MAE مطابق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_P - X_O)_i \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه به ترتیب X_P و X_O مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر شبیه‌سازی‌شده و $\bar{X}_{ave}$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای هستند و N اندازه نمونه می‌باشد (شکاری، ۱۳۹۳).

و) بررسی منابع آلاینده رودخانه: وجود رودخانه‌های متعدد پر آب، طول و عاری از آلودگی عامل مهم و اساسی در شکوفایی و توسعه همه‌جانبه جوامع بوده است. آب‌های سطحی قادرند مواد آلی و آلوده‌کننده‌ای را که از طریق تخلیه فاضلاب‌های خام یا تصفیه‌شده دریافت می‌کنند به کمک میکرو ارگانیسم‌ها اکسید و تثبیت کنند. یکی از مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده آب‌ها، فاضلاب صنایع و خدمات شهری و مازاد آب کشاورزی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عواملی که همواره کیفیت آب رودخانه را تهدید می‌کند، تخلیه پساب‌های تصفیه نشده مراکز شهری، صنعتی و کشاورزی می‌باشد. واقع‌شدن شهر شوشتر و روستاهای زیاد در حاشیه رودخانه گرگر و وجود مراکز صنعتی و همچنین اجرای طرح‌های توسعه کشاورزی در این ناحیه و توجه به این نکته که بیشتر این مراکز پساب‌های خود را به‌صورت خام و تصفیه نشده به این رودخانه تخلیه می‌نمایند، کیفیت آب رودخانه گرگر به‌طور جدی مورد تهدید قرار می‌گیرد. شکل ۴ آلاینده‌های ورودی به رودخانه گرگر را در سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد (رضانی، ۱۳۹۱).



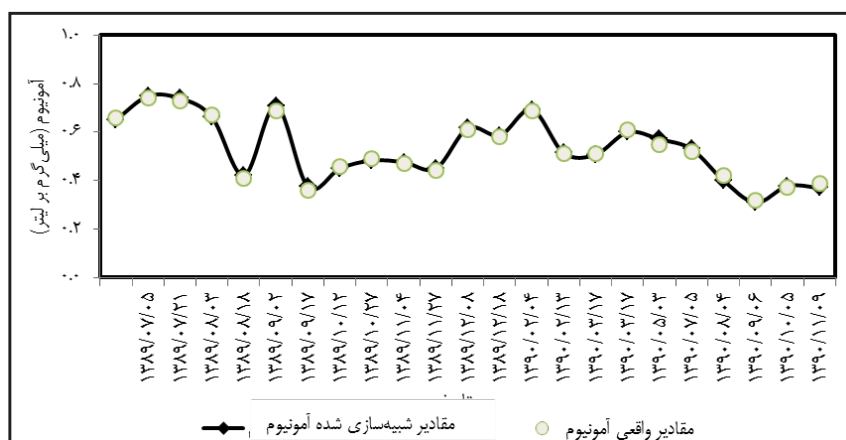
شکل ۴: آلاینده‌های ورودی به رودخانه گرگر (رمضانی، ۱۳۹۱).

نتایج

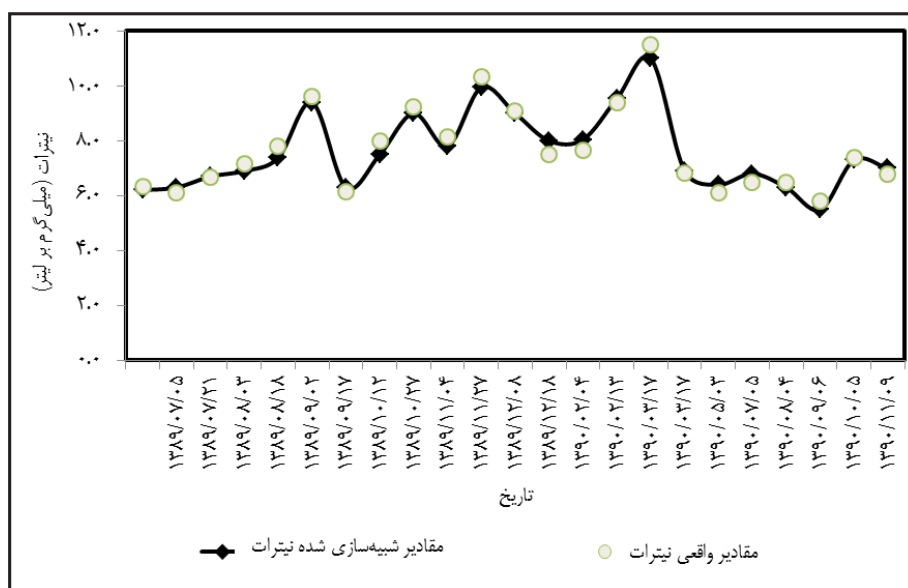
به‌منظور اجرای مدل داده‌های موجود به دودسته تقسیم گردیدند، که از دسته اول (مهر ۱۳۸۹ الی اسفند ۱۳۹۰) در واسنجی مدل و از دسته دوم (اردیبهشت ۱۳۹۱ الی اسفند ۱۳۹۱) اطلاعات موجود به‌منظور آزمایش و صحت یابی مدل استفاده گردید. نتایج حاصل از خروجی مدل در ماه‌های مختلف توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید که در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است. کالیبراسیون مدل با توجه به داده‌های موجود و داده‌های شبیه‌سازی شده به‌صورت سیستمیک انجام پذیرفت. با توجه به این که در شبیه‌سازی آمونیوم و نترات سه فرآیند نیتریفیکاسیون، دی‌نیتریفیکاسیون و دما مؤثر هستند در شبیه‌سازی ضرایب نیتریفیکاسیون، دی‌نیتریفیکاسیون و دما توسط مدل کالیبره گردیدند (جدول ۳). به‌منظور برآورد دقت مدل پارامترهایی از جمله ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مطلق خطا (MAE) محاسبه شد که نتایج حاصل از آن در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج کالیبراسیون.

پارامتر	مقدار	نماد	کم‌ترین مقدار	بیش‌ترین مقدار
نیتریفیکاسیون	۵/۵	k_{na}	۰	۱۰
اصلاح دما	۱/۰۰۶	q_{na}	۱	۱/۰۷
دی‌نیتریفیکاسیون	۰/۱۶	k_{dn}	۰	۲
اصلاح دما	۱/۰۰۶	q_{dn}	۱	۱/۰۷



شکل ۵: تغییرات آمونیوم در مرحله واسنجی مدل در ایستگاه بند قیر.



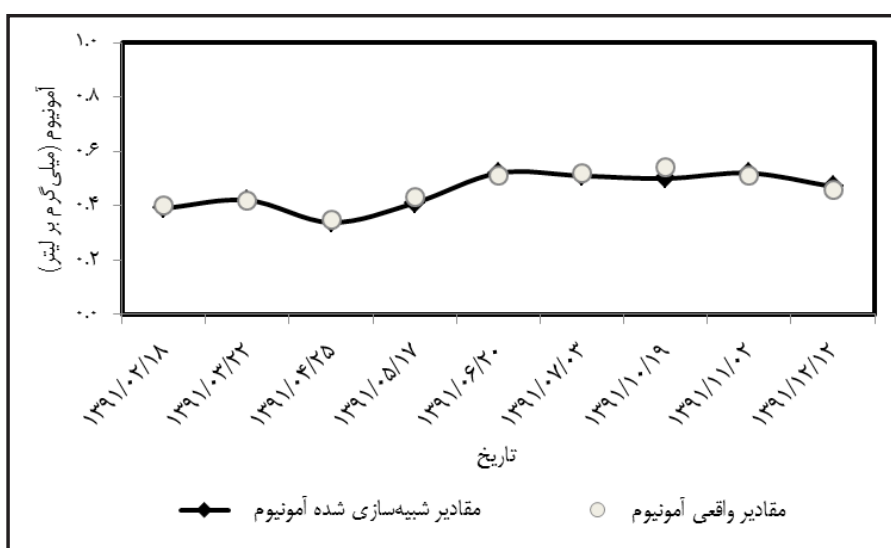
شکل ۶: تغییرات نیترات در مرحله واسنجی مدل در ایستگاه بند قیر.

جدول ۴: بررسی میزان دقت مدل در مرحله واسنجی.

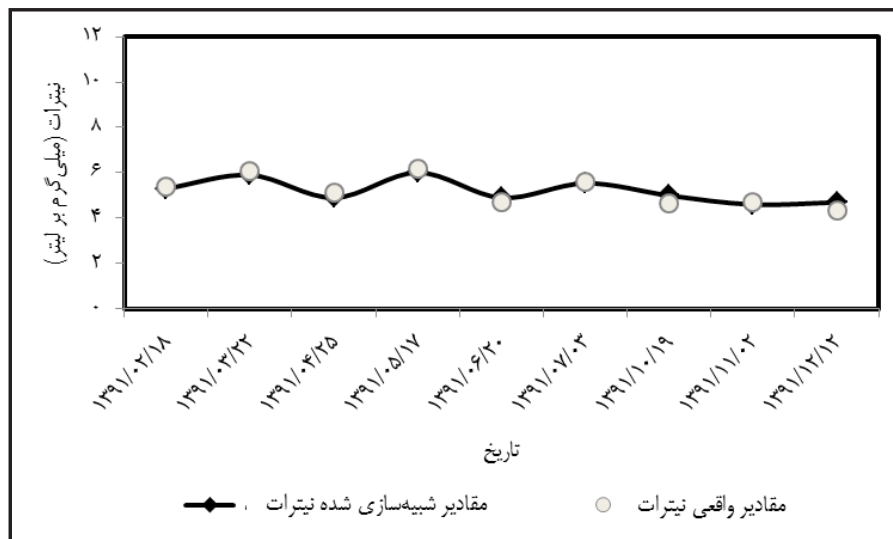
نیترات	آمونیوم	پارامتر
۰/۹۶۸	۰/۹۹۲	R^2
۰/۰۵۲	۰/۰۰۲	MAE

جدول ۵: بررسی میزان دقت مدل در مرحله صحت سنجی.

نیترات	آمونیوم	پارامتر
۰/۹۲	۰/۹۴	R^2
۰/۱	۰/۰۰۶	MAE

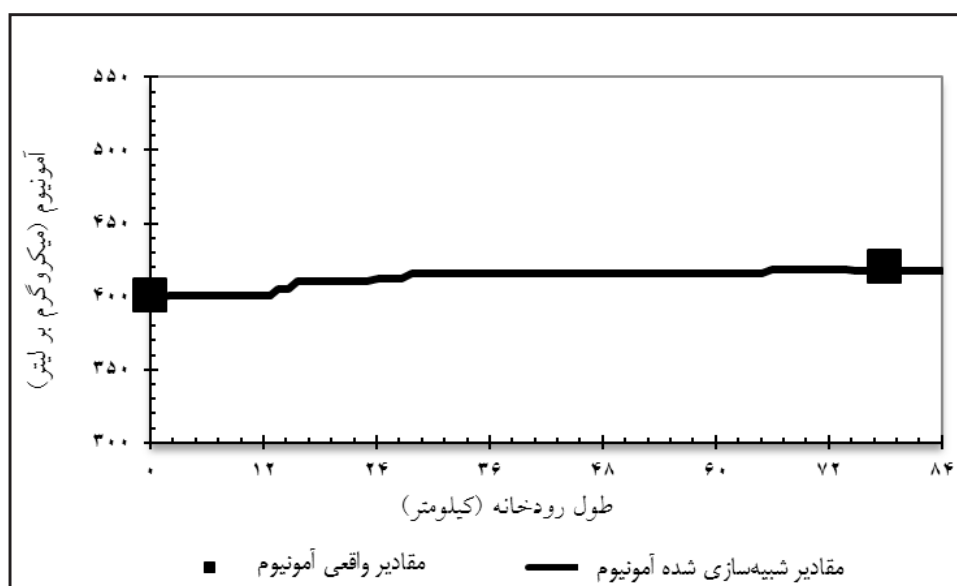


شکل ۷: تغییرات آمونیوم در مرحله صحت یابی مدل در ایستگاه بند قیر.

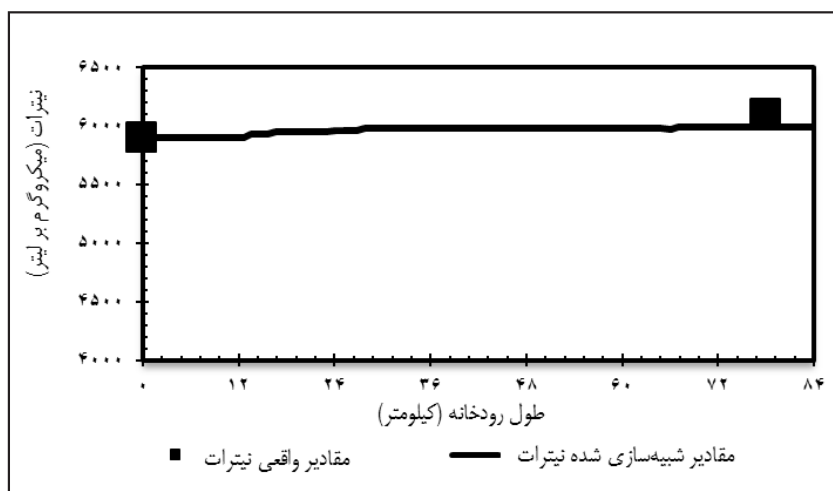


شکل ۸: تغییرات نیترات در مرحله صحت یابی مدل در ایستگاه بند قیر.

شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات را در خردادماه سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهند.

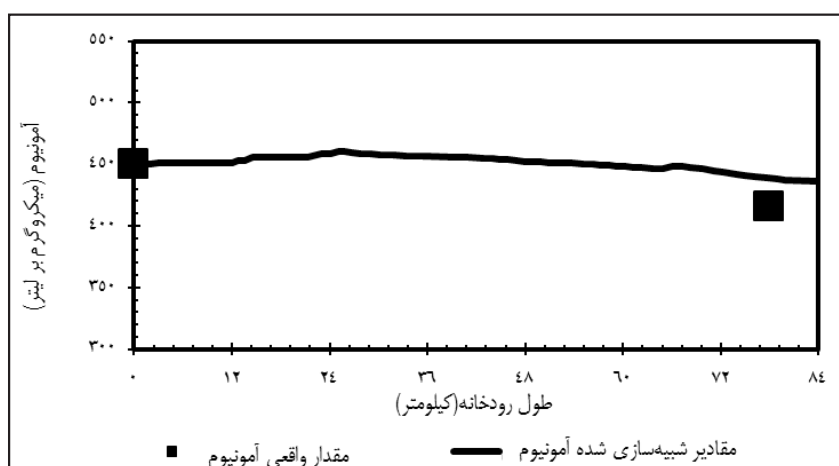


شکل ۹: شبیه‌سازی آمونیوم در خردادماه ۱۳۹۱.

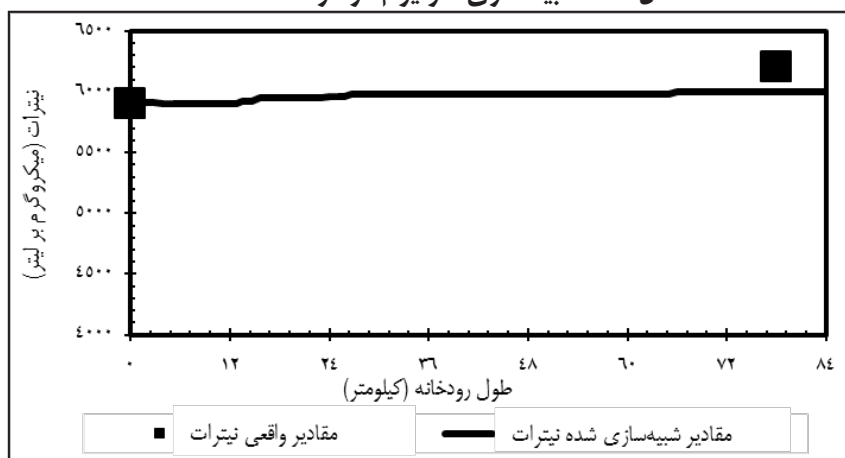


شکل ۱۰: شبیه سازی نیترات در خردادماه ۱۳۹۱.

شکل های ۱۱ و ۱۲ نتایج حاصل از شبیه سازی آمونیوم و نیترات را در خردادماه سال ۱۳۹۱ نشان می دهند.



شکل ۱۱: شبیه سازی آمونیوم در مردادماه ۱۳۹۱.



شکل ۱۲: شبیه سازی نیترات در مردادماه ۱۳۹۱.

بحث و نتیجه گیری

پس از واسنجی مدل نرم افزاری QUAL2KW صحت سنجی انجام گرفت. مطابق جدول ۵ و شکل های ۷ و ۸ نتایج حاصل از صحت سنجی نشان می دهد مدل تطابق خوبی با واقعیت دارد که این با نتایج مطالعات حاتمی بهمن بیگلر و همکاران (۱۳۹۰) بر روی رودخانه سبز کوه، عابدی کوپایی و نصری (۱۳۸۷) بر روی رودخانه زاینده رود، شهریاری و همکاران (۱۳۹۰) و هراتی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی رودخانه کارون هم خوانی دارد. شکل ۹ نتایج حاصل از شبیه سازی آمونیوم در خردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می دهد. همان طور که شکل ۹ دیده می شود مقدار آمونیوم در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده ها از زهکش های کشاورزی و پرورش ماهی مقدار آن افزایش می یابد و در انتهای مسیر به علت کاهش دبی و ورود آلاینده ها به میزان غلظت آن افزوده می شود و به حدود ۴۳۰ میکروگرم بر لیتر می رسد. شکل ۱۰ نیز نتایج حاصل از شبیه سازی نیترات در خردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می دهد. همان طور که شکل ۱۰ دیده می شود مقدار نیترات در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده ها از زهکش های کشاورزی و پرورش ماهی در کیلومترهای ۱۲، ۱۴، ۲۴، ۲۹ و ۶۶ مقدار آن افزایش می یابد و در انتهای مسیر به علت کاهش دبی و ورود آلاینده ها به میزان غلظت آن افزوده می شود و به حدود ۶۰۵۰ میکروگرم بر لیتر می رسد. شکل ۱۱ نتایج حاصل از شبیه سازی آمونیوم در مردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می دهد. همان طور که شکل ۱۱ دیده می شود مقدار آمونیوم در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده ها از زهکش های کشاورزی و پرورش ماهی مقدار آن افزایش می یابد و در انتهای مسیر یک روند کاهشی را طی می کند و از غلظت آن کاسته می شود که علت آن را می توان افزایش اسیدیته و دمای آب دانست زیرا محلول نمک های آمونیوم با بازها تولید آمونیاک می کند و از میزان آمونیوم کاسته می شود. شکل ۱۲ نتایج حاصل از شبیه سازی نیترات در مردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می دهد. همان طور که شکل ۱۲ دیده می شود. مقدار نیترات در ابتدای بازه حدود ۵۸۰۰ میکروگرم بر لیتر است و در کیلومترهای ۱۲ و ۱۴ به علت ورود پساب حاصل از زهکش های پرورش ماهی به مقدار ۵۹۵۰ میکروگرم بر لیتر در طول مسیر به علت ورود آلاینده ها مقدار آن افزایش می یابد همچنین این روند با ورود زهکش درب خزینه و نورعلی در کیلومتر ۲۴ و ۲۹ نیز مشاهده می گردد. در بعد از ورود زهکش نورعلی به دلیل این که منبع مشخص آلودگی به مدل وارد نگردیده، مدل تقریباً مقدار نیترات را ثابت در نظر گرفته است. اما در کیلومتر ۶۶ مقدار نیترات به حدود ۶۱۰۰ میکروگرم بر لیتر رسیده که علت آن را می توان ورود زه آب حاصل از زهکش سید حسن دانست. همان طور که در شکل های ۹، ۱۰ و ۱۲ مشاهده می گردد مدل مقدار نیتروژن و آمونیوم را کمتر از مقدار اندازه گیری شده پیش بینی می کند که به دلیل ورود زه آب های غیرمتمرکز کشاورزی به رودخانه بوده که در مدل، در نظر گرفته نشده است. همچنین با توجه به شکل های ۹، ۱۰ و ۱۲ مقدار آمونیوم در پایین دست به دلیل ورود مواد آلاینده بیش تر از مقدار آن در بالادست رودخانه است که با نتایج تحقیق Selong و Helfrich (۲۰۰۲) تطابق دارد. مجموع فاضلاب های شوستر و کشتارگاه و روستاهای مسیر رودخانه که حجمی معادل ۲۰۰ لیتر در ثانیه دارند و خود محتوی انواع میکروبها و مواد پاک کننده می باشند مستقیماً و بدون هیچ گونه عمل تصفیه و پالایش وارد رودخانه می شوند. وجود کارگاه های پرورش ماهی و ماهی سراهای موجود در سواحل گرگر طی دو دهه اخیر از اهم منابع آلوده کننده برای رودخانه گرگر به شمار می آید. رشد علف های هرز و بلاخص نی زاری شدن منطقه و انتقال بذر آن ها به پایین دست و زمین های زراعی، انواع فرسایش کناره های و خندقی و سواحل آبراهه های حمل و انتقال پساب و فاضلاب های مذکور و فرسایش کناره رودخانه، افزایش گل ولای رسوبات معلق به رودخانه، جزیره زایی و تعمیر مرفولوژیکی بستر و مسیر رودخانه از دیگر عواقب ناشی از تخلیه فاضلاب و پساب های حوضچه های پرورش ماهی می باشد.

حدود ۳۳ هزار هکتار از اراضی واقع در سواحل رودخانه گرگر در حفاصل شوستر و بند قیر اراضی کشاورزی می باشد که از این میزان حدود ۱۴ هزار هکتار آن آبی و بقیه به صورت دیم کشاورزی می شود. نکته ای که لازم است به آن اشاره گردد کشت برنج در فصل تابستان و ماه های کم آب و بحرانی سال است که با توجه به آبیاری شبانه روزی آن آب برگشتی مستمر با مواد معدنی و آلی قابل توجهی را به همراه خود به رودخانه تخلیه می نماید (جعفر زاده حقیق و همکاران، ۱۳۸۱). توضیح این که آلودگی ناشی از مواد زائد جامد و آلودگی آب با فرآورده های نفتی ناشی از نشت مواد سوختی و روغن مورد استفاده در موتور تلمبه های نصب شده در سواحل گرگر به درون آب از دیگر منابع آلاینده گرگر به حساب می آید. با توجه به مطالعات و بررسی های به عمل آمده، اهم منابع و مراکز آلوده کننده رودخانه گرگر را می توان فاضلاب های روستاهای مسیر، پساب ها و فاضلاب های ماهی سراه و حوضچه های پرورش ماهی و زهکش های کشاورزی دانست و این نتایج با نتایج مطالعات فلاحی و عباس زاده (۱۳۸۸) روی رودخانه عمارت و نوشادی و حاتمی زاده (۱۳۸۹) روی رودخانه کر مطابقت دارد.

منابع

- اژدری، م، سلامی، م. و محمدی، ک.، ۱۳۸۵. مدل سازی آمونیوم، نیترات و فسفات در رودخانه با استفاده از مدل QUAL2K. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- جعفرزاده حقیقی، ن، ا، توسلی، م، ف. و باروتکوب، ع.، ۱۳۸۱. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون با کاربرد Qual2E، تحقیقات منابع آب ایران، سال یکم، شماره ۲، ص ۸۵-۹۶.

- حاتمی بهمن بیگلر، س.، صمدی بروجنی، ح.، صدیقی، م. و حاتمی بهمن بیگلر، پ.، ۱۳۹۰، بررسی قدرت خود پالایی رودخانه سبز کوه در برابر آلودگی ناشی از مزارع پرورش ماهی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.
- رمضانی، ن.، ۱۳۹۱، شبیه سازی توأم جریان با استفاده از مدل های ریاضی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شکاری، س.، هوشمند، ع.، ا. و معاضد، ه.، ۱۳۹۳، بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه گرگر به وسیله روش های گرافیکی و تحلیل آماری چند متغیره. مجله علمی-پژوهشی اکو بیولوژی تالاب. شماره ۲۰، ص ۱۹-۳۳.
- شکاری، س.، ۱۳۹۳، پیش بینی غلظت کل مواد محلول در رودخانه گرگر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین همایش ملی آب، انسان و زمین. اصفهان.
- شهریاری، ف.، جوادی فر، ن. و آخوند علی، ع.، م.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات میزان جریان بر کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از مدل QUAL2K. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی محیط زیست، تهران.
- طهماسبی، س.، افخمی، م. و تکدستان، ا.، ۱۳۹۰، تحلیل وضعیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگر با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم بهداشتی، سال سوم، شماره ۴، ص ۵۵-۶۴.
- عابدی کوپایی، ج. و نصری، ع.، ۱۳۸۷، شبیه سازی کیفی آب رودخانه زاینده رود با استفاده از مدل QUAL2K. مجموعه مقالات دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، صفحه ۱۸۰۸، تهران ۱۳۸۷.
- فریادی، س.، شاهدهی، ک. و نباتپور، م.، ۱۳۹۱، مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک های آماری چند متغیره. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال سوم/ شماره ۶ ص ۷۵-۹۲.
- فلاحی، ر. و عباس زاده، ب.، ۱۳۸۸، بررسی تأثیر مجتمع پرورش ماهی عمارت بر روی کیفیت آب رودخانه عمارت یا گهر رود. مجله زیست شناسی شیل آمیش، سال یکم، شماره ۱، ص ۳۲-۴۰.
- میری باقری، س.، ا. محمودی، ش. و خضری، س.، م.، ۱۳۹۰، مدل سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس در سال ۱۳۸۷ با استفاده از نرم افزار QUAL2K. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۰، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰.
- میرزایی، م.، امینی راده، ح.، گلبابای کوتنایی، ف. و یوسفی کبریا، د.، ۱۳۹۱، مدل سازی کیفی رودخانه بابلرود توسط نرم افزار QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران
- نجفی، ح. و محمود پور، ط.، ۱۳۹۱، مدل سازی کیفی رودخانه قره سو با استفاده از مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران.
- نوشادی، م. و حاتمی زاده، م.، ر.، ۱۳۸۹، اندازه گیری و شبیه سازی کیفی رودخانه کر با استفاده از مدل QUAL2K. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۳، جلد ۴، ص ۳۳۸-۳۴۹.
- هاشمی، ح.، رنجکش، ی. و قاسمی زیارانی، ا.، ۱۳۸۹، سهم بندی بار آلودگی ورودی از زیر حوضه ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL2K. مجله محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، بهار ۹۰، صفحه ۱-۸.
- هاشمی، ح.، رنجکش، ی.، رمضانی، س. و قاسمی زیارانی، ا.، ۱۳۹۱، تحلیل مقایسه ای کیفیت آب رودخانه کرج با تکنیک آماری تحلیل عاملی و مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران.
- هراتی، ز. و معاضد، ه.، ۱۳۹۳، ارزیابی شوری آب رودخانه کارون برای استفاده در آبیاری در بازه ملاثانی-اهواز. اولین همایش ملی آب، انسان و زمین. اصفهان.
- هراتی، ز.، معاضد، ه. و هوشمند، ع.، ا.، ۱۳۹۳، شبیه سازی کیفی رودخانه کارون در بازه بندقیق-اهواز با استفاده از مدل QUAL2K. اولین همایش ملی آب، انسان و زمین. اصفهان.

Bottino, F., Ferraz, I. C., Mendiondo, E. M. and do Carmo Calijuri, M., 2011. Calibration of QUAL2K model in Brazilian micro watershed: effects of the land use on water quality. Acta Limnologica Brasiliensia, 2010, vol. 22, no. 4, p. 474-485.

Chapra, S. C., 2007. Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineering and Science, 2nd Ed., WCB/McGraw-Hill, New York, N.Y.

Chessman, B. and Townsend, S., 2009. Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behaviour of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia.

Gordon, N. D., McMahon, T. A. and B. L. Finlayson., 1992. Stream Hydrology, An Introduction for Ecologists. Published by John Wiley and Sons.

Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodan, Kh., Ghosh, I., Bucci, V., Leatao, Ch., Njoka, D., Wei, I. and Hellweger, L., 2011. Anatomy of an urban waterbody, A case study of bostons muddy river. Environmental Pollution 159. 1996-2002.

Ngoye, E., John, F. M., 2004. The influence of land use patterns in the Ruva river watershed on water quality in the river system. www. Elsevier. Com/ located/ pce. Physics and chemistry of the Earth 29, 1161- 1166.

Rafiee, M., Akhond Ali, A. M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N. and Zahraie, B., 2013. A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River, Iran. JOURNAL OF HYDRAULIC STRUCTURES. SPRING 2013. p 10-22.

Rosgen, D., 1996. Applied river morphology. Wildland Hydrology publishers. Pagosa Springs, CO.

Selong, J. H. and Helfrich, L. A., 2002. Impact of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia Headwater streams, The progressive fish culturist, 76: 247-262.