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

چکیده

برای تعیین عکس‌العمل قابل‌انتظار رودخانه براثر 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 خودیاری نمایند. به‌عبارت‌دیگر ازآنجاکه 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. حفاظت از رودخانه گرگر که یکی از شاخه‌های رودخانه کارون و منبع تأمین آب برای مصارف خانگی، شرب، کشاورزی و آبزی‌پروری می‌باشد اهمیت بسیاری دارد. ازاین‌رو اولین گام در مدیریت حفاظت از منابع آب آگاهی همه‌جانبه از تغییرات کیفی آن‌ها می‌باشد. برای این منظور در این تحقیق از مدل ریاضی QUAL۲KW برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه گرگر استفاده شد. به‌منظور اجرای مدل اطلاعات لازم برای سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ از سازمان آب و برق خوزستان تهیه شد و 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. در ادامه پارامترهای آمونیوم و نیترات موجود در رودخانه گرگر به‌وسیله مدل شبیه‌سازی و ارزیابی گردید. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد مدل تطابق خوبی با واقعیت دارد و با توجه به مطالعات و بررسی‌های به‌عمل‌آمده، اهم منابع و مراکز آلوده‌کننده رودخانه گرگر را می‌توان فاضلاب‌های روستاهای مسیر، پساب‌ها و فاضلاب‌های ماهی سراها و حوضچه‌های پرورش ماهی و زهکش‌های کشاورزی دانست.

واژگان کلیدی: رودخانه گرگر، مدل QUAL2KW، شبیه‌سازی.

ساناز شکری[۱]
عبدالرحیم هوشمند[۲]
هادی معاضد[۳]

۱. دانش‌آموخته 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.

مقدمه

آلودگی آب در دهه‌های اخیر تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی تلقی می‌شود به‌طوری‌که بررسی تغییرات کیفیت آب یکی از موضوعات مهم جهت استفاده بهینه از آن است (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). آب‌های سطحی جاری یا رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب موردنیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق‌دارند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد. در عصر کنونی گسترش شهرها و احداث

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

واحدهای صنعتی و کشاورزی وابسته به وجود منابع آب کافی به‌ویژه رودخانه‌ها بوده است. در این مناطق رودخانه‌ها نه‌تنها تأمین‌کننده مصارف مختلف آب هستند، بلکه به‌عنوان مجاری طبیعی در انتقال پساب‌ها و فاضلاب‌های تولیدشده عمل می‌نمایند. تخلیه انواع مختلف آلاینده‌های کشاورزی و صنعتی و پساب‌های شهری به رودخانه‌ها باعث شده است که در حال حاضر رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از کانون‌های بحرانی ازنقطه‌نظر آلودگی‌ها مطرح باشند (شکری و همکاران، ۱۳۹۳). رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین و انتقال آب مصرفی بخش‌های صنعت، کشاورزی و مصارف شهری از اهمیت خاصی برخوردارند. حفظ کیفیت منابع آب به‌منظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیت‌ها و کاربری‌های تفریحی و ایجاد یک اکوسیستم مناسب برای ماهیان و حیات‌وحش، مستلزم کیفیت بالای آب رودخانه می‌باشد. به این دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰). می‌توان بیان کرد که کاربری‌های شهری و کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه تأثیر بسزایی دارد، به‌طوری‌که در حوضه‌هایی با کاربری کشاورزی و شهری بالا، نسبت به حوضه‌هایی که این کاربری‌ها در آن‌ها 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 نمک‌های محلول از مناطق شهری و کشاورزی در مقایسه با سایر کاربری‌ها بیش‌تر است (Ngoye and Machiva, 2004).

هراتی و همکاران (۱۳۹۳) به شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه کارون در بازه بند قیر تا اهواز با استفاده از مدل QUAL۲K پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میزان آمونیوم و نیترات در پایین‌دست رودخانه افزایش‌یافته است و مدل QUAL۲K از دقت خوبی برای شبیه‌سازی برخوردار است. هراتی و معاضد (۱۳۹۳) به بررسی شوری آب رودخانه کارون پرداختند و بیش‌ترین میزان شوری واردشده به رودخانه کارون را ناشی از فاضلاب‌های شهری بیان نمودند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقاتی جامع پیرامون آلودگی کیفی و کمی رودخانه بابل‌رود که از رودخانه‌های مهم استان مازندران می‌باشد با استفاده از مدل QUAL۲K دریافتند که عمده آلودگی‌های رودخانه بابل‌رود نه از واحدهای صنعتی، بلکه از فاضلاب‌های شهری می‌باشد. نجفی و محمودپور (۱۳۹۱) با بررسی مسائل کیفی رودخانه قره‌سو دریافتند این حوزه در مسیر خودپذیرای آلودگی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، شهرها، کارخانه‌ها صنعتی، اراضی کشاورزی و غیره است و جهت درک بهتر از مسائل کیفی رودخانه از مدل QUAL۲K استفاده نمودند و نتایج مدل نشان داد که مقدار اکسیژن محلول به‌طورکلی از مقادیر مجاز (۵ میلی‌گرم در لیتر) کم‌تر بوده و بحرانی‌ترین بازه، بازه بعد از کرمانشاه است. هاشمی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج داده‌های ۱۴ پارامتر کیفیت آب در ۴۲ ایستگاه را با استفاده از مدل QUAL۲K بررسی کردند. شهریاری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات میزان جریان بر کیفیت آب رودخانه کارون پرداختند. برای این منظور از مدل ریاضی QUAL۲KW برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه استفاده نمودند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب رودخانه در ماه‌های خشک و کم‌آب بود.

میرباقری و همکاران (۱۳۹۰) در مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس با استفاده از نرم‌افزار QUAL۲K وضعیت رودخانه را موردبررسی قرار داده و از نتایج حاصل استنتاج کردند که قدرت خود پالایی رودخانه کم بوده و روند افزایشی در میزان نیتروژن آلی هم‌زمان با ورود فاضلاب‌ها قابل‌ملاحظه می‌باشد. هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی بار آلودگی ورودی از زیر حوضه‌ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL۲K پرداختند. یافته‌ها نشان داد که سهم بار آلودگی ورودی از شاخه‌های فرعی در آلودگی مخزن سد بیشتر از شاخه اصلی رودخانه است. اژدری و همکاران (۱۳۸۵) مدل‌سازی آمونیوم، نیترات و فسفات در رودخانه پسیخان در استان گیلان را با استفاده از مدل QUAL۲K انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل مذکور قادر است باوجود اطلاعات کمی که در دسترس بود شبیه‌سازی را در حد قابل قبولی انجام دهد. Mathew و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب گل‌آلود رودخانه بستونبا استفاده از مدل QUAL۲K پرداختند. تجزیه‌وتحلیل آب این رودخانه با استفاده از این مدل نشان داد که کیفیت آب رودخانه کم‌تر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می‌گیرد. Bottino و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی کیفیت آب رودخانه کانها برزیل با استفاده از مدل QUAL۲K پرداختند. نتایج حاکی از بالا بودن مقدار اکسیژن محلول در طول رودخانه بود. Selong و Helfrich (۲۰۰۲) اثر پنج کارگاه پرورش ماهی قزل‌آلا را بر روی کیفیت آب رودخانه ویرجینیا بررسی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که غلظت یون‌های آمونیوم و نیتریت به‌طور چشم‌گیری در پایین‌دست رودخانه افزایش‌یافته است. واقع‌شدن شهرها و روستاهای زیاد در حاشیه رودخانه گرگر و وجود مراکز صنعتی مهم 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،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

کیفیت آب رودخانه گرگر به‌طورجدی مورد تهدید قرار می‌گیرد (رمضانی، ۱۳۹۱). بنابراین حفاظت و حفظ کیفیت آب این رودخانه حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق از مدل ریاضی QUAL۲KW برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه گرگر استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

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 جداشده و با عبور از شوشتر و طی مسافتی حدود ۸۴ کیلومتر و با مسیری پرپیچ‌وخم در محل بند قیر در ۶۰ کیلومتری جنوب شوشتر، مجدداً به شاخه شطیط و دز پیوسته و کارون بزرگ را تشکیل می‌دهد. رودخانه گرگر ازلحاظ 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 واقع‌شده است. دو ایستگاه آب‌سنجی شوشتر و بند قیر با کدهای مطالعاتی ۲۵۰-۲۱ و ۴۴۵-۲۱ بر روی رودخانه گرگر واقع‌شده‌اند. جدول ۱ مختصات جغرافیایی دو ایستگاه شوشتر و بند قیر، شکل ۱ نقشه منطقه موردمطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها و جدول ۲ متوسط دبی ماهانه در ایستگاه شوشتر و بند قیر را نشان می‌دهد (شکری و همکاران، ۱۳۹۳).

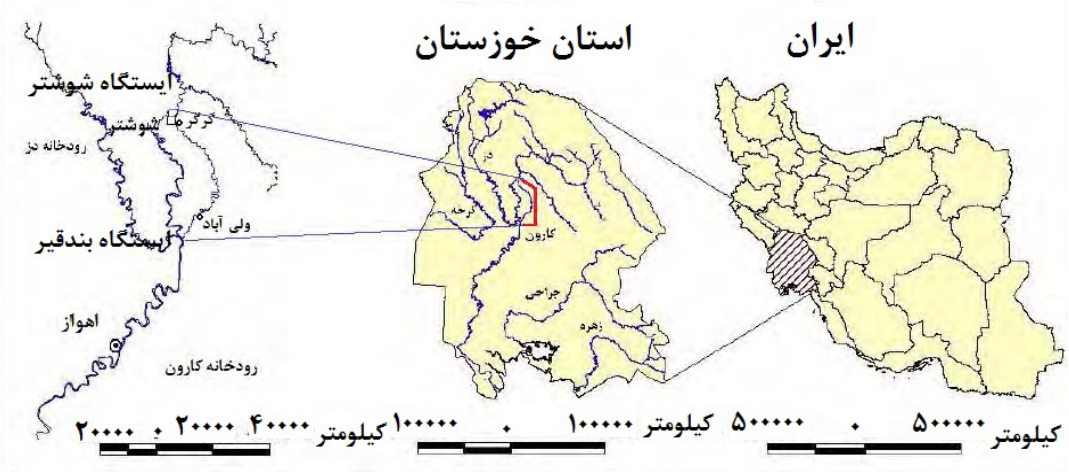
جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوزه آبخیز گرگر.

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

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

ماه	متوسط آبدهی در ایستگاه شوشتر (مترمکعب بر ثانیه)	متوسط آبدهی 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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]



شکل۱: نقشه موقعیت ایستگاه‌های رودخانه گرگر.

مدل‌سازی: 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 NO_3 و NH_4 موجود در رودخانه کارون به‌وسیله مدل QUAL۲KW شبیه‌سازی و ارزیابی گردید و داده‌های موردنیاز برای سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ از سازمان آب و برق خوزستان تهیه شد.

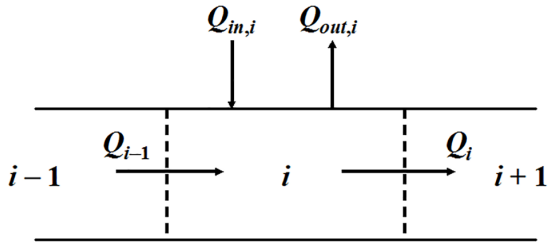
الف) مدل Qual۲kW: برای تعیین عکس‌العمل قابل‌انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده‌ها استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند آثار بارگذاری‌های موجود و آتی را شبیه‌سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم‌گیری‌های خود یاری نمایند. به‌عبارت‌دیگر ازآنجاکه حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری‌های 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 قابل‌توجهی 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 تصمیم گیران ضروری به نظر می‌رسد (Gordon *et al*., 1992). نرم‌افزار و یا به‌عبارت‌دیگر دیگر مدل QUAL۲KW (Q۲K) هم‌اکنون به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. مدل Q۲K از یک برنامه اصلی که به‌وسیله زیر برنامه‌های مختلف پشتیبانی می‌شود تشکیل‌شده است. این مدل شامل اندرکنش‌های اصلی چرخه غذایی، تولید جلبک، اکسیژن خواهی 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 (Rosgen, 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 به‌حساب 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 بربگیرد (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 مقاطعی 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 مقاطعی 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 Q۲K 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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

و خروجی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در هرجایی 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 به‌صورت روابط ۱، ۲ و ۳ انجام می‌شود. شکل ۲ موازنه جریان برای هر عنصر را نشان می‌دهد.



شکل ۲: موازنه جریان برای هر عنصر.

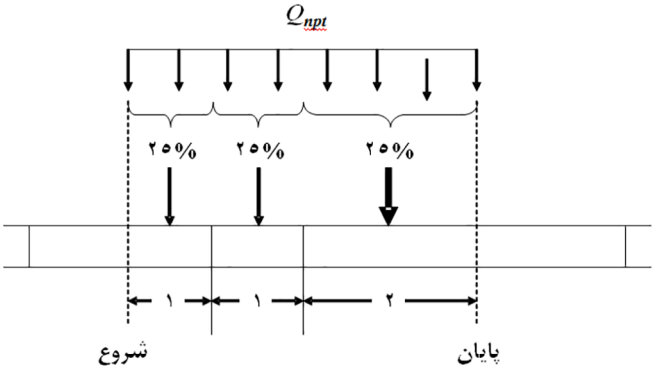
رابطه ۱:
$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i}$$

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

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

$Q_{in,i}$: 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+۱ (d/m^3) و Q_{i-1}: میزان جریان خروجی از عنصر i-۱ (d/m^3) (Chapra, 2007).

مدل Q2K ورودی‌ها و یا خروجی‌های غیر نقطه‌ای را به‌صورت خطی شبیه‌سازی می‌کند. شروع و پایان این منابع را به‌صورت 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 Q2K.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

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 سنجه (اگر ضرایب و توان‌های a، b، α، β در معادلات $H = \alpha Q^{\beta}$ و $U = \alpha Q^{b}$ وارد مدل شوند) و روش معادلات مانینگ (اگر ضرایب معادله مانینگ وارد مدل شوند) (Chapra, 2007).

ب) داده‌های موردنیاز مدل: برای استفاده از مدل Q۲K جهت شبیه‌سازی رودخانه‌ها باید یک سری اطلاعات ورودی به مدل جمع‌آوری یا تعیین شوند. این داده‌ها به‌طورکلی عبارت‌اند از: داده‌های هندسی رودخانه، داده‌های هیدرولیکی، داده‌های هواشناسی، داده‌های کیفی آب رودخانه، ضرایب سینتیکی مورداستفاده در معادلات مدل و داده‌های کمی و کیفی منابع ورودی به رودخانه می‌باشند. مدل QUAL۲KW قادر است مقدار غلظت آلودگی‌ها را در مرز پایین‌دست محاسبه نماید (رمضانی، ۱۳۹۱). به این منظور اطلاعات کیفی در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۱ در ایستگاه شوشتر به‌عنوان شرایط مرزی بالادست انتخاب‌شده 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 موردمطالعه 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).

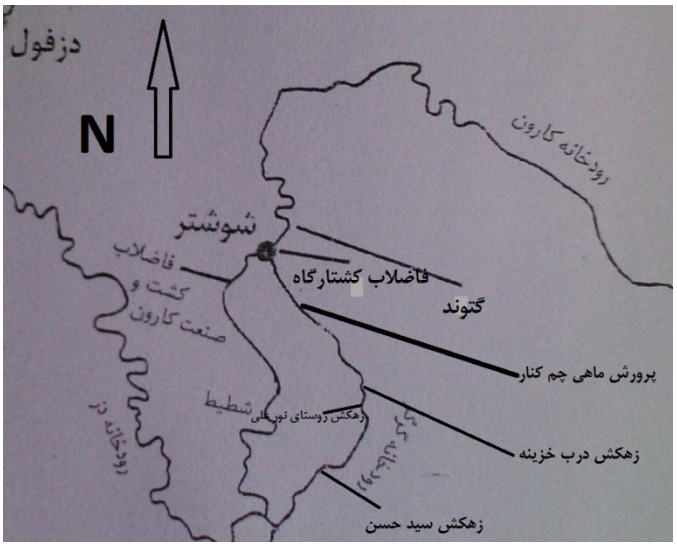
د) صحت یابی مدل: برای ارزیابی دقت هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی‌شده، ضریب همبستگی R^2، متوسط خطای مطلق MAE استفاده می‌شود. در پارامترهای شبیه‌سازی‌شده هر چه میزان ضریب همبستگی به یک و متوسط خطای مطلق به صفر نزدیک‌تر باشد، کارکرد مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود. مقدار MAE مطابق رابطه ۴ محاسبه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

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

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

و) بررسی منابع آلاینده رودخانه: وجود رودخانه‌های متعدد پر آب، طویل 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 ارگانیزم‌ها 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 به‌طورجدی مورد تهدید قرار می‌گیرد. شکل ۴ آلاینده‌های ورودی به رودخانه گرگر را در سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد (رمضانی، ۱۳۹۱).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]



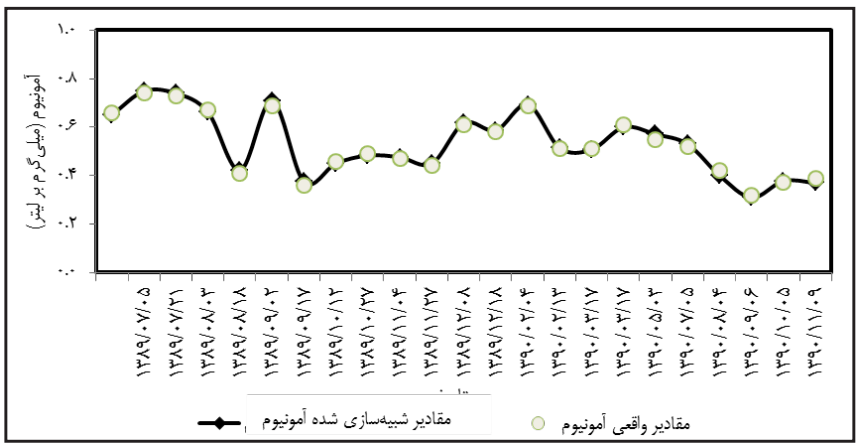
شکل ۴: آلاینده‌های ورودی به رودخانه گرگر (رمضانی، ۱۳۹۱).

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 داده‌شده است. کالیبراسیون مدل با توجه به داده‌های موجود و داده‌های شبیه‌سازی‌شده به‌صورت سیستمیک انجام پذیرفت. با توجه به این که در شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات 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 ازجمله ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مطلق خطا (MAE) محاسبه شد که نتایج حاصل از آن در جداول ۴ و ۵ نشان داده‌شده است.

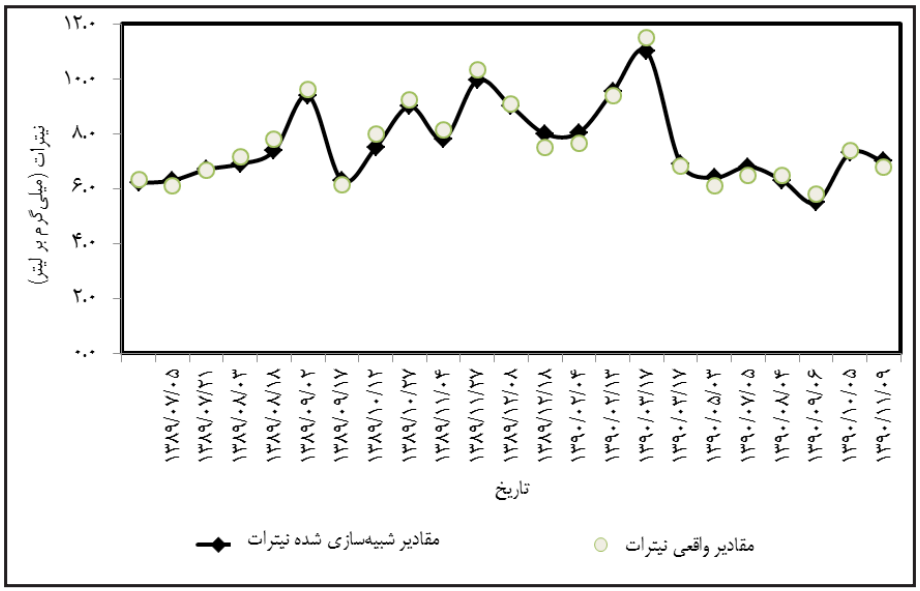
جدول ۳: نتایج کالیبراسیون.

	پارامتر	مقدار	نماد	کم‌ترین مقدار	بیش‌ترین مقدار
آمونیوم	نیتریفیکاسیون	۵/۵	k_{na}	۰	۱۰
	اصلاح دما	۱/۰۰۶	q_{na}	۱	۱/۰۷
نیترات	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.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]



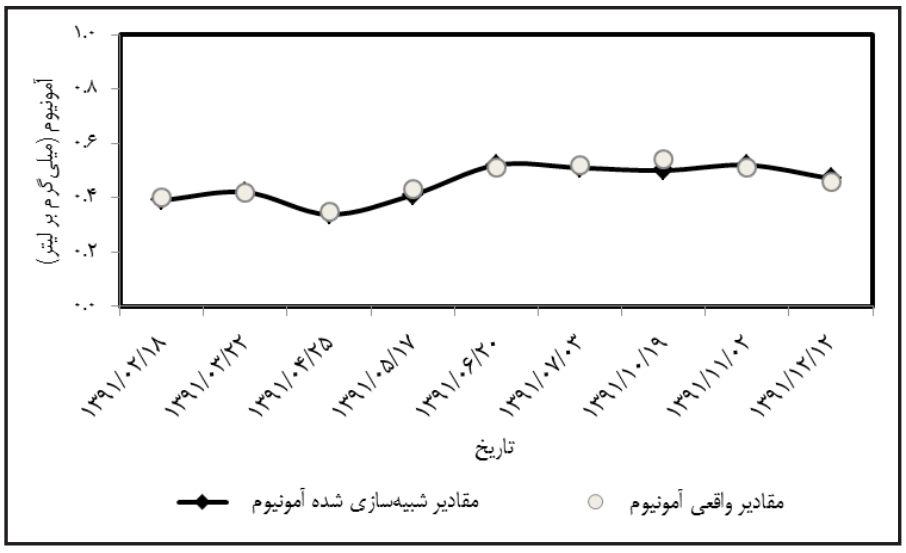
شکل ۶: تغییرات نیترات در مرحله واسنجی مدل در ایستگاه بند قیر.

جدول ۴: بررسی میزان دقت مدل در مرحله واسنجی.

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

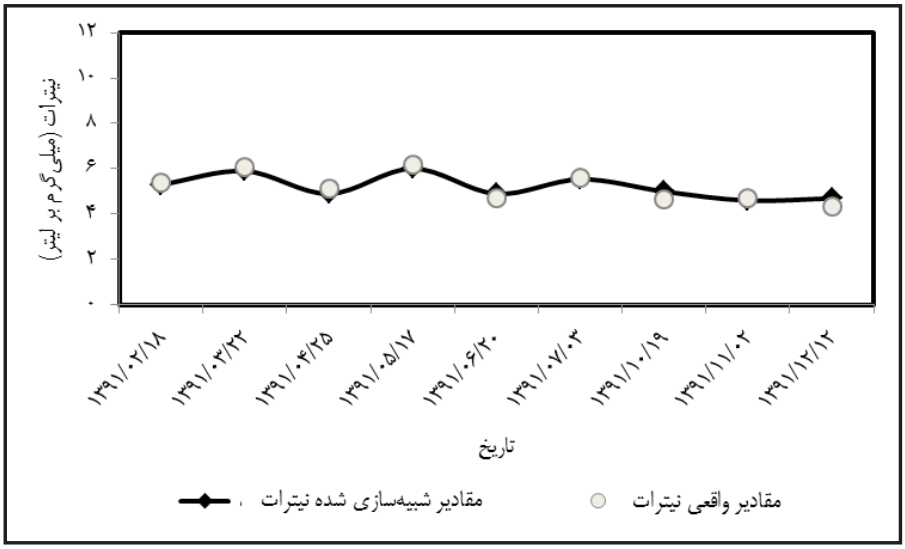
جدول ۵: بررسی میزان دقت مدل در مرحله صحت‌سنجی.

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



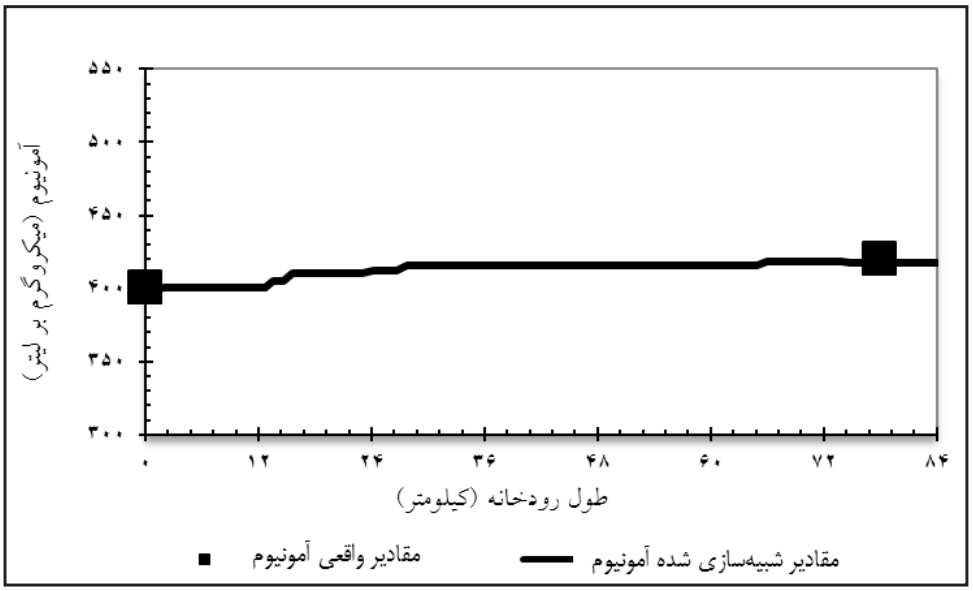
شکل ۷: تغییرات آمونیوم در مرحله صحت یابی مدل در ایستگاه بند قیر.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]



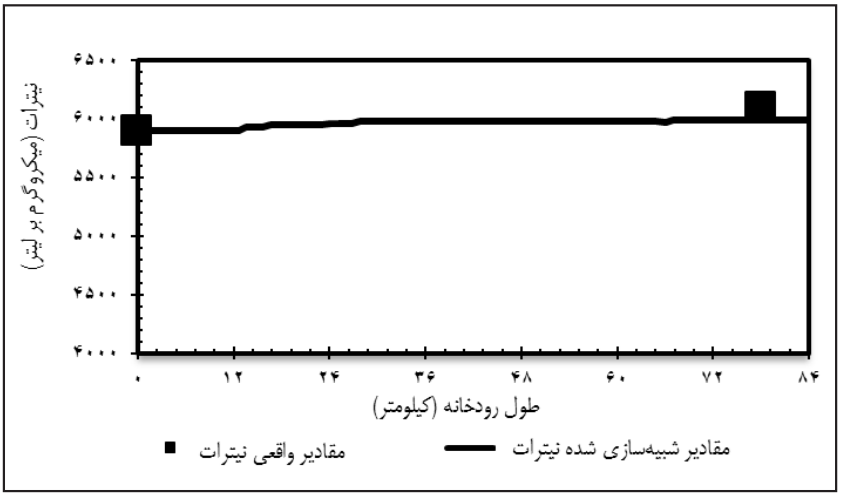
شکل ۸: تغییرات نیترات در مرحله صحت یابی مدل در ایستگاه بند قیر.

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



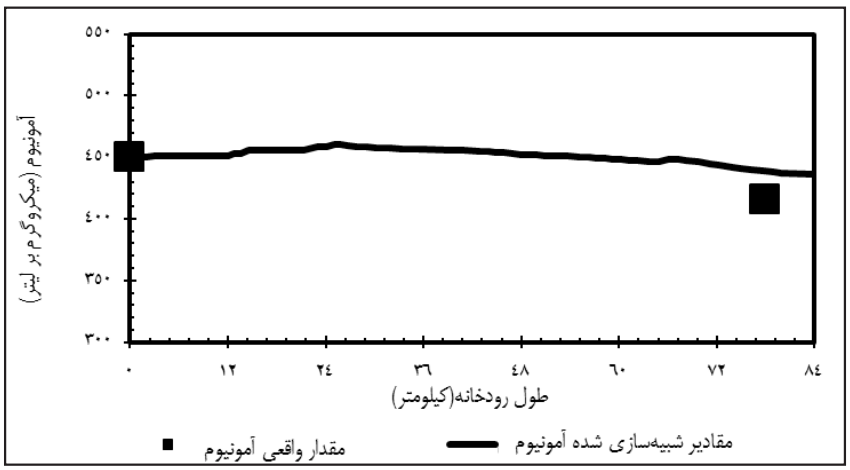
شکل ۹: شبیه‌سازی آمونیوم در خردادماه ۱۳۹۱.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

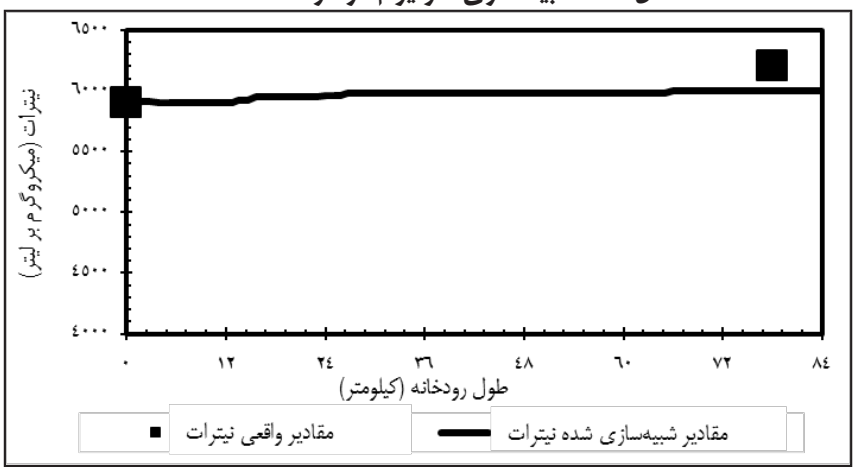


شکل ۱۰: شبیه‌سازی نیترات در خردادماه ۱۳۹۱.

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات را در خردادماه سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهند.



شکل ۱۱: شبیه‌سازی آمونیوم در مردادماه ۱۳۹۱.



شکل ۱۲: شبیه‌سازی نیترات در مردادماه ۱۳۹۱.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

بحث و نتیجه‌گیری

پس از واسنجی مدل نرم‌افزاری QUAL۲KW صحت‌سنجی انجام گرفت. مطابق جدول ۵ و شکل‌های ۷ و ۸ نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان می‌دهد مدل تطابق خوبی با واقعیت دارد که این با نتایج مطالعات حاتمی بهمن‌بیگلو و همکاران (۱۳۹۰) بر روی رودخانه سبز کوه، عابدی کوپایی و نصری (۱۳۸۷) بر روی رودخانه زاینده‌رود، شهریاری و همکاران (۱۳۹۰) و هراتی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی رودخانه کارون هم‌خوانی دارد. شکل ۹ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آمونیوم در خردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۹ دیده می‌شود مقدار آمونیوم در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده‌ها از زهکش‌های کشاورزی و پرورش ماهی مقدار آن افزایش می‌یابد و در انتهای مسیر به علت کاهش دبی و ورود آلاینده‌ها به میزان غلظت آن افزوده می‌شود و به حدود ۴۳۰ میکروگرم بر لیتر می‌رسد. شکل ۱۰ نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیترات در خردادماه سال ۱۳۹۱را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۱۰ دیده می‌شود مقدار نیترات در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده‌ها از زهکش‌های کشاورزی و پرورش ماهی در کیلومترهای ۱۲، ۱۴، ۲۴، ۲۹ و ۶۶ مقدار آن افزایش می‌یابد و در انتهای مسیر به علت کاهش دبی و ورود آلاینده‌ها به میزان غلظت آن افزوده می‌شود و به حدود ۶۰۵۰ میکروگرم بر لیتر می‌رسد. شکل ۱۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آمونیوم در مردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۱۱ دیده می‌شود مقدار آمونیوم در ابتدای بازه کم است اما در طول مسیر به علت ورود آلاینده‌ها از زهکش‌های کشاورزی و پرورش ماهی مقدار آن افزایش می‌یابد و در انتهای مسیر یک‌روند کاهشی را طی می‌کند و از غلظت آن کاسته می‌شود که علت آن را می‌توان افزایش اسیدیته و دمای آب دانست زیرا محلول نمک‌های آمونیوم با بازها تولید آمونیاک می‌کند و از میزان آمونیوم کاسته می‌شود. شکل ۱۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیترات در مردادماه سال ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۱۲ دیده می‌شود. مقدار نیترات در ابتدای بازه حدود ۵۸۰۰ میکروگرم بر لیتر است و در کیلومترها ۱۲ و ۱۴ به علت ورود پساب حاصل از زهکش‌های پرورش ماهی به مقدار ۵۹۵۰ میکروگرم بر لیتر در طول مسیر به علت ورود آلاینده‌ها مقدار آن افزایش می‌یابد همچنین این روند با ورود زهکش درب خزینه و نورعلی در کیلومتر ۲۴ و ۲۹ نیز مشاهده می‌گردد. در بعد از ورود زهکش نورعلی به دلیل این‌که 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 می‌توان ورود زه آب حاصل از زهکش سید حسن دانست. همان‌طور که در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ مشاهده می‌گردد مدل مقدار نیتروژن و آمونیوم را کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کند که به دلیل ورود زه آب‌های غیرمتمرکز کشاورزی به رودخانه بوده که در مدل، در نظر گرفته نشده است. هم‌چنین با توجه به شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ مقدار آمونیوم در پایین‌دست به دلیل ورود مواد آلاینده بیش‌تر از مقدار آن در بالادست رودخانه است که با نتایج تحقیق Selong و Helfrich (۲۰۰۲) تطابق دارد. مجموع فاضلاب‌های شوشتر و کشتارگاه و روستاهای مسیر رودخانه که حجمی معادل ۲۰۰ لیتر در ثانیه دارند و خود محتوی انواع میکروب‌ها و مواد پاک‌کننده می‌باشند مستقیماً و بدون هیچ‌گونه عمل تصفیه و پالایش وارد رودخانه می‌شوند. وجود کارگاه‌های پرورش ماهی و ماهی سراهای موجود در سواحل گرگر طی دو دهه اخیر از اهم منابع آلوده‌کننده برای رودخانه گرگر به شمار می‌آید. رشد علف‌های هرز و بلاخص نی‌زاری شدن منطقه و انتقال بذر آن‌ها به پایین‌دست و زمین‌های زراعی، انواع فرسایش کناره‌ای و خندقی و سواحل آبراهه‌های حمل و انتقال پساب و فاضلاب‌های مذکور و فرسایش کناره رودخانه، افزایش گل‌ولای رسوبات معلق به رودخانه، جزیره زایی و تعمیر مرفولوژیکی بستر و مسیر رودخانه از دیگر عواقب ناشی از تخلیه فاضلاب و پساب‌های حوضچه‌های پرورش ماهی می‌باشد.

حدود ۳۳ هزار هکتار از اراضی واقع در سواحل رودخانه گرگر در حدفاصل شوشتر و بند قیر اراضی کشاورزی می‌باشد که از این میزان حدود ۱۴ هزار هکتار آن آبی و بقیه به‌صورت دیم کشاورزی می‌شود. نکته‌ای که لازم است به آن اشاره گردد کشت برنج در فصل تابستان و ماه‌های کم آب و بحرانی سال است که با توجه به آبیاری شبانه‌روزی آن آب برگشتی مستمر با مواد معدنی و آلی قابل‌توجهی را به همراه خود به رودخانه تخلیه می‌نماید (جعفر زاده حقیق و همکاران، ۱۳۸۱). توضیح این‌که آلودگی ناشی از مواد زائد جامد و آلودگی آب با فرآورده‌های نفتی ناشی از نشت مواد سوختی و روغن مورداستفاده در موتور تلمبه‌های نصب‌شده در سواحل گرگر به درون آب از دیگر منابع آلاینده گرگر به‌حساب می‌آید. با توجه به مطالعات و بررسی‌های به‌عمل‌آمده، اهم منابع و مراکز آلوده‌کننده رودخانه گرگر را می‌توان فاضلاب‌های روستاهای مسیر، پساب‌ها و فاضلاب‌های ماهی سراها و حوضچه‌های پرورش ماهی و زهکش‌های کشاورزی دانست و این نتایج با نتایج مطالعات فلاحی و عباس‌زاده (۱۳۸۸) روی رودخانه عمارت و نوشادی و حاتمی‌زاده (۱۳۸۹) روی رودخانه کر مطابقت دارد.

منابع

اژدری، م.، سلامی، م. و محمدی، ک.، ۱۳۸۵. مدل‌سازی آمونیوم، نیترات و فسفات در رودخانه با استفاده از مدل QUAL۲K. هفتمین سمینار بین‌المللی 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 Qual۲E، تحقیقات منابع آب ایران، سال یکم، شماره ۲، ص ۸۵-۹۶.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]

حاتمی بهمن بیگلو، س.، صمدی بروجنی، ح.، صدیقی، م. و حاتمی بهمن بیگلو، 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. شبیه‌سازی توأم جریان با استفاده از مدل‌های ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

شکری، س.، هوشمند، ع، ا. و معاضد، ه.، ۱۳۹۳. بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه گرگر به‌وسیله روش‌های گرافیکی و تحلیل آماری چند متغیره. مجله علمی- پژوهشی اکو بیولوژی تالاب. شماره ۲۰. ص ۱۹-۳۳.

شکری، س.، ۱۳۹۳. پیش‌بینی 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 QUAL۲KW. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی محیط‌زیست، 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، شمارهٔ ۴. ص ۵۵-۶۴.

عابدی‌کوپایی، ج. و نصری، ع.، ۱۳۸۷. شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از مدل QUAL۲K. مجموعه مقالات دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، صفحه ۱۸۰۸، تهران ۱۳۸۷.

فریادی، س.، شاهدی، ک. و نباتپور، م.، ۱۳۹۱. مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک‌های 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 گهررود. مجله زیست‌شناسی شیل‌آمیش، سال یکم، شماره ۱، ص ۳۲-۴۰.

میرباقری، س، ا.، محمودی، ش. و خضری، س، م.، ۱۳۹۰. مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس در سال ۱۳۸۷ با استفاده از نرم‌افزار QUAL۲K. نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، جلد ۴۰، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰.

میرزایی، م.، امینی راده، ح.، گلبابای کوتنایی، ف. و یوسفی کبریا، د.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفی رودخانه بابلرود توسط نرم‌افزار QUAL۲K. همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران

نجفی، ح. و محمود پور، ط.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو با استفاده از مدلQUAL۲K. همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران.

نوشادی، م. و حاتمی‌زاده، م. ر.، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کیفی رودخانه کر با استفاده از مدل QUAL۲K. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۳، جلد ۴. ص ۳۳۸-۳۴۹.

هاشمی، ح.، رنجکش، ی. و قاسمی‌زیارانی، ا.، ۱۳۸۹. سهم‌بندی بار آلودگی ورودی از زیر حوضه‌ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL۲K. مجله محیط‌شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷ ، بهار ۹۰، صفحه ۱-۸.

هاشمی، ح.، رنج‌کش، ی.، رمضانی، س. و قاسمی‌زیارانی، ا. ۱۳۹۱. تحلیل مقایسه‌ای کیفیت آب رودخانه کرج با تکنیک آماری تحلیل عاملی و مدل QUAL۲K . 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. شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون در بازه بندقیر-اهواز با استفاده از مدل QUAL۲K. 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/Mc-Graw-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 mudyy river.Enviromental 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 communitiesin Virginia Headwater streams, The progressive fish culturist, 76: 247-262.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-27]