بررسی خودپالایی و شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه عباس‌آباد همدان با استفاده از نرم‌افزار QUAL2KW

علی ونائی[۱]، صفر معروفی[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۰۷

چکیده

حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه گذاری‌های اضافی برای ایجاد سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه پساب‌ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیت‌ها در حوضه رودخانه گردد. در این مطالعه ظرفیت خودپالایی رودخانه عباس‌آباد همدان با استفاده از مدل یک بعدی QUAL2KW، و شبیه‌سازی پارامترهای N-NH4، N-NO3 و $P\text{-}PO_4$ در دو بازه شرب و کشاورزی، در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل خودپالایی رودخانه با ورود مشخصات کمی و کیفی در ایستگاه‌های تعیین شده و پساب‌های ورودی به آن ساخته و کالیبره شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار خودپالایی پارامتر $N\text{-}NH_4$ در بازه کشاورزی در سال ۱۳۹۴ و معادل ۵۴ درصد می‌باشد. برای پارامترهای N-NO3 و P-PO4 بیشترین میزان خودپالایی در سال ۱۳۹۴ در بازه شرب و به‌ترتیب به میزان ۲۹ و ۳۸ درصد می‌باشد. میزان $P\text{-}PO_4$ در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است. بهترین شبیه‌سازی برای پارامتر $P\text{-}PO_4$ در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ می‌باشد که خطای استاندارد آن معادل ۰/۰۲ می‌باشد.

واژه های کلیدی: آلاینده، کیفیت آب، $N\text{-}NH_4$، $N\text{-}NO_3$، $P\text{-}PO_4$

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان. ۰۹۱۸۳۱۶۴۸۹۶، a.vanaei84@gmail.com.

[۲] استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۰۹۱۸۳۱۴۳۶۸۶، marofisafar59@gmail.com. (مسئول مکاتبه)

مقدمه

در بسیاری از کشورها، رایج‌ترین منابع آب مورد استفاده جهت مصارف مختلف آب‌های سطحی بویژه رودخانه‌ها می‌باشد. کیفیت آب‌های سطحی عمدتاً به‌دلیل عوامل انسانی مانند شهرسازی، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی کاهش می‌یابد (Zhang et al,; 2015; Singh et al., 2005; Gikas et al., 2006a, b; Boskidis et al., 2010). به‌طور کلی ورود فاضلاب‌ها به رودخانه‌ها و تجزیه آن‌ها در آب رودخانه‌ها منجر به کاهش کیفیت آب و به‌خصوص کاهش غلظت اکسیژن محلول[1] می‌گردد (Sarda and Sadgir., 2015). آلودگی آب، پدیده‌ای است که در آن کیفیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب‌های طبیعی به واسطه ورود فاضلاب‌ها، زباله-ها و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های صنعتی کشور کاهش می‌یابد. آگاهی از روند تغییرات کیفی رودخانه¬ها در مقاطع زمانی و مکانی مختلف، در جهت کنترل هرچه بهتر منابع آب موثر خواهد بود. بنابراین برای داشتن آبی با کیفیت مطلوب، ظرفیت پذیرش رودخانه‌ها باید در طول رودخانه مشخص شده و در حد قابل قبول باقی بماند (Campolo et al., 2002). جهت بررسی کیفی رودخانه در نظر گرفتن پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در فرآیند خودپالایی رودخانه دارند ضرورت دارد. لذا پارامترهای کیفی آب از قبیل N-NH42، N-NO33 و P-PO44 در رودخانه عباس‌آباد همدان مورد مطالعه قرار گرفته است. برای بررسی اثرات تخلیه پساب بر کیفیت آب رودخانه‌ها، لازم است مطالعات خودپالایی انجام شود. بدین‌منظور، نیاز به ابزارهایی می‌باشد تا بتوان در شرایط مختلف، کیفیت آب را پیش‌بینی کرد. شبیه‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه یکی از روش‌های مدیریت بهینه سیستم‌های آبی بوده و می‌تواند مدیران را در تصمیم‌گیری درست کمک نماید. در دهه‌های گذشته، استفاده از مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی اکولوژیکی و واکنش‌های کیفی در آب‌های سطحی رواج بسیاری یافته است و روش‌های شبیه‌سازی خط مش‌های جامع و مناسب برای ارزیابی روش‌های کاهش بار آلودگی ارایه داده‌اند (Chapra and Pelletier., 2006; Kannel et al., 2007). تاکنون مدل‌های مختلفی برای این منظور طراحی و آزمایش شده است. یکی از این مدل‌ها QUAL2KW می‌باشد (خدام محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). QUAL-1 اولین نسخه از مدل QUAL2KW بود که توسط سازمان تحقیقات آب تگزاس در اواخر دهه ۱۹۶۰ ارایه شد. مدل توسعه یافته آن، QUAL-11 می‌باشد، که به‌نام QUAL-2E معرفی گردید (عاشق معلا، ۱۳۹۴). در حال حاضر جدیدترین نسخه آن QUAL2KW می‌باشد. QUAL2KW به‌طور گسترده‌ای در مدل‌سازی فرآیندها در رودخانه‌ها و کانال‌ها و همچنین در ارزیابی اثرات آلاینده‌های کشاورزی مانند مواد مغذی (N ، P) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chapra and Pelletier, 2003). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی با این مدل انجام یافته است که به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. Rehana and Mujumdar. (2011) با استفاده از QUAL2KW، تاثیر شش سناریوی تغییرات آب و هوایی را بر روی کیفیت آب رودخانه تونگا-بادرا در هندوستان شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که تمامی سناریوهای تغییرات آب و هوایی فرضی باعث کاهش کیفیت آب می‌شود. Vivin Sintia et al. (2016) در مطالعه خود با استفاده از نرم‌افزار QUAL2KW به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب شامل دما، pH، DO، BOD5، TSS6، NO37، NH48 و PO49 در رودخانه کالی سورابایا[10] در اندونزی پرداختند. آن‌ها محاسبات لازم برای تعیین حداکثر ظرفیت پذیرش فاضلاب که می‌تواند به رودخانه تخلیه شود را انجام دادند. نتایج نشان داد حداکثر ظرفیت پذیرش NH_4 بین ۱۰۰ کیلوگرم بر روز تا ۳۵۶۳ کیلوگرم بر روز و NO_3 در بازه ۹۷۶ تا ۱۴۳۰۶ کیلوگرم بر روز می‌باشد. به‌طور مشابه Zhang et al. (2015) در تحقیقی با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت آب حوضه آبریز دریاچه تایهو[11] چین را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند بار آلاینده‌های COD12، NH313، نیتروژن کل، و فسفر کل برای تحقق اهداف کیفیت آب، به‌ترتیب به ۱۳/۳۵، ۲۷/۲۶، ۴۷/۷۵ و ۳۷/۰۸ درصد کاهش نیاز دارد.

[1] dissolved oxygen (DO)

[۲] نیتروژن آمونیاکی
[۳] نیتروژن نیتراتی
[۴] فسفر غیرآلی

[5] Biological Oxygen Demand
[6] total suspended solids
[7] nitrite
[8] ammonium
[9] phosphate
[10] Kali Surabaya
[11] Taihu
[12] Chemical Oxygen Demand
[13] Ammonia

Kalburgi et al. (2015) با به‌کارگیری مدل کیفیت آب QUAL2K برای رودخانه گاتاپراب‌ها[1] در هندوستان، پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مقادیر پارامترهای DO و BOD به پیش‌بینی کیفیت آب تحت شرایط مختلف داده‌ها پرداختند و دریافتند که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده تطابق نزدیکی دارد. Mathew et al. (2011) طی مطالعه‌ای به بررسی کیفیت آب گل‌آلود رودخانه بستون در ایالات متحده آمریکا با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. آنالیز آب این رودخانه با استفاده از مدل نشان داد که بارش و محل ورودی فاضلاب تاثیر کمی بر کیفیت آب رودخانه می‌گذارند، بالعکس رشد جلبک‌ها و ایجاد رسوب بستر، نقش بسزایی در کیفیت آب دارد و با یک رسوب زدایی می‌توان بهبود قابل توجهی را انتظار داشت. هراتی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل QUAL2K به شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه کارون در بازه بندقیر تا اهواز پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها 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. Mehrasbi and Farahmand Kia. (2015) به مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه کینه‌ورس در مجاورت شهرستان زنجان پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که داده‌های بدست آمده از مدل QUAL2K معتبر بوده و این مدل ابزار ساده برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب این رودخانه است. Gupta et al. (2013) نیز نشان دادند که مدل QUAL2KW بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی DO و BOD در رودخانه کشیپرا در هند عملکرد مناسبی داشته است و به‌عنوان ابزار مدیریتی قابل اعتماد، مورد استفاده است. همچنین مطالعاتی با مدل QUAL2KW برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها و حوضه‌ها توسط Xiaobo et al. (2008), Rafiee et al. (2013), Fan et al. (2009), Grabiç et al. (2011), Sarda and Sadgir. (2015) and Gikas. (2014) انجام شده است. این محققان بیان داشتند که مدل QUAL2KW ابزاری مناسب برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب رودخانه است. نتایج شبیه‌سازی، ابزاری مفید جهت مدیریت کیفی رودخانه است که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تعیین استراتژی‌های واقع‌بینانه با در نظر گرفتن شرایط خاص هر حوضه و همچنین در پیش‌بینی اثر تخلیه تصادفی یا بارهای آلاینده اضافی یاری رساند (Oliveira., 2012).

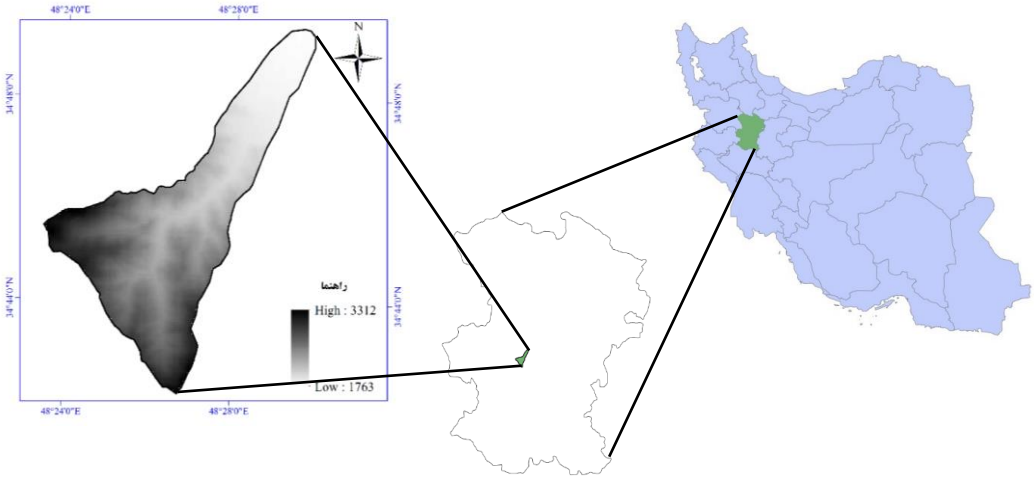
هدف از این پژوهش آگاهی از روند تغییرات و پیش¬بینی کیفیت آب رودخانه عباس‌آباد همدان، تعیین میزان بار آلاینده وارده، تعیین توان خودپالایی و ارایه راهکار برای بهبود کیفیتی و مدیریتی آن است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

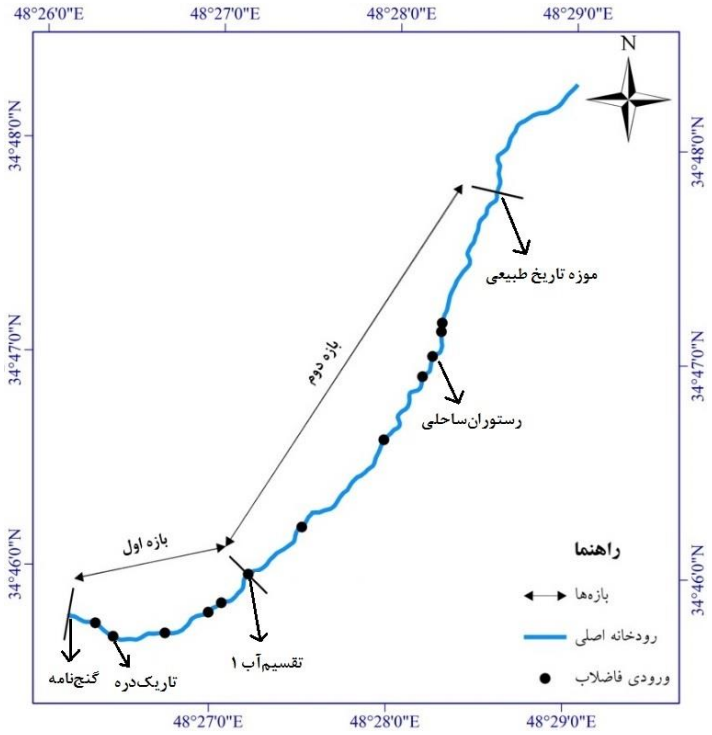
رودخانه عباس‌آباد یکی از منابع آبی با ارزش شهر همدان محسوب می‌شود، که از لحاظ تامین آب برای مصارف شهری، کشاورزی و تفریحی منطقه گنج‌نامه و تپه عباس‌آباد نقش مهمی دارد. در این پژوهش بازه‌ای از رودخانه که از منطقه گنج‌نامه به‌طول جغرافیایی ۲۶۵۳۹۶ و عرض جغرافیایی ۳۸۴۹۷۳۶ شروع و تا محل موزه تاریخ طبیعی با مختصات طول جغرافیایی ۲۶۹۷۹۴ و عرض جغرافیایی ۳۸۵۴۳۱۴ (پشت دانشکده کشاورزی) ادامه می‌یابد، مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به‌منظور شناسایی موقعیت رودخانه عباس‌آباد، حوضه آبریز این رودخانه، زمین‌های کشاورزی و باغات در دوسوی رودخانه، راه‌های دسترسی به رودخانه و منابع آلاینده نقطه‌ای شامل هتل‌ها، رستوران‌ها، اماکن عمومی و دولتی و تفریحی که فاضلاب خود را به رودخانه تخلیه می‌کنند، بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ تعیین شد. برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه عباس‌آباد دبی، شیب طولی رودخانه، عرض کف، ضریب مانینگ، شیب دیواره، فاصله بین هر کدام از ایستگاه‌ها، دمای متوسط هوا، دمای نقطه شبنم، دمای آب، سرعت باد، N-NH4، N-NO3، P-PO4، روزهای ابری، درصدی از رودخانه که در اثر موانع مانند کوه‌ها و پوشش گیاهی زیر سایه قرار گرفته‌اند و جلبک کف، مورد نیاز مدل می‌باشد که بر اساس بازدیدهای محلی در زمان‌های مختلف این شاخص‌ها تعیین شده است. داده‌های کیفی برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از اداره کل محیط زیست استان همدان و برای سال ۱۳۹۴ از طریق نمونه‌برداری انجام‌شده و داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی استان همدان تهیه و تعیین شد.

[1] Ghataprabha



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه با توجه به اینکه بخشی از آب رودخانه عباس‌آباد جهت تامین آب شرب شهر همدان و بخشی نیز به‌عنوان حقابه¬های کشاورزی جهت آبیاری باغات و زمین¬های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا به‌منظور بررسی درصد خودپالایی رودخانه دو بازه در نظر گرفته شد. بازه اول از محدوده گنج‌نامه تا محل تقسیم آب، جهت برداشت شرب (تقسیم آب یک) و بازه دوم از محل تقسیم آب یک تا محل برداشت آب برای مصارف کشاورزی (تقسیم آب دو) می‌باشد. شکل ۲ بازه‌بندی انجام شده، ایستگاه‌های نمونه‌برداری و محل ورود آلاینده‌های نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

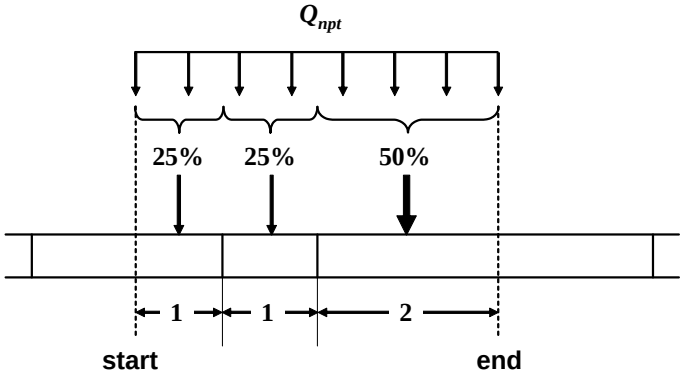


شکل (۲): موقعیت جغرافیایی منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای، بازه اول (شرب) و بازه دوم (کشاورزی) در محدوده مورد مطالعه

مدل QUAL2KW

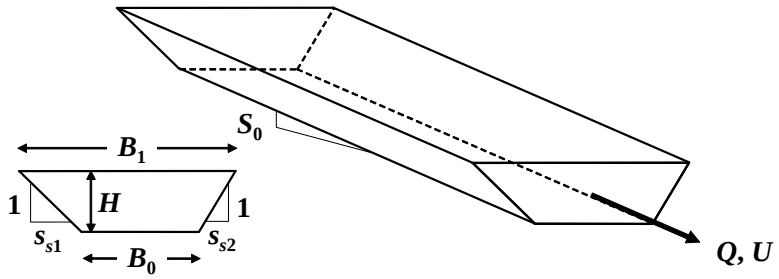
در رابطه با قابلیت مدل در تعریف فرآیندهای مختلف سیستم واقعی و نیز در نظر گرفتن انواع پارامترها و موجودات زنده در مدل، در حال حاضر مدل QUAL2KW را می‌توان به‌عنوان جامع‌ترین مدل شبیه-ساز معرفی نمود. مدل QUAL2KW از فضای بازه¬ای غیرمساوی برای شبیه¬سازی رودخانه استفاده می‌کند و متغیرهای کیفیت آب که با زمان تغییر می‌کنند را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت شبیه¬سازی می¬کند. QUAL2KW می‌تواند در حالت جریان یکنواخت برای تغییرات زمانی یک شبانه روز نیز مدل-سازی انجام دهد (Chapra and Canale, 2006).

مدل QUAL2KW ورودی‌ها و یا خروجی‌های غیرنقطه‌ای را به‌صورت 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 غیرنقطه‌ای معلوم باشد.



شکل (۳): چگونگی در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای ورودی به یک عنصر در مدل QUAL2KW

در این مطالعه برای تعیین عمق و سرعت جریان در هر بازه از روش معادلات مانینگ استفاده گردید (معادله ۱). در این روش با توجه به اینکه رودخانه‌ها شکل هندسی منظمی ندارند، بایستی مقطع رودخانه را به‌شکل ذوزنقه‌ای در نظر گرفت که در هر بازه پارامترهای هندسی آن مشخص است (Chapra et al., 2008) (شکل ۴).



شکل (۴): کانال ذوزنقه‌ای مفروض در روش معادلات مانینگ

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n}\frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (۱)$$

که در آن:

A_c: سطح مقطع ذوزنقه (مترمربع)

P: پیرامون مرطوب

n: ضریب مانینگ

S_0: شیب کف کانال

۱- $N\text{-}NH_4$

مطابق با رابطه ۲ مقدار $N\text{-}NH_4$ در طول فرآیند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتوپلانکتون¬ها افزایش می‌یابد. و در اثر فرآیندهای نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش پیدا می¬کند (Chapra et al., 2008).

$$S_{na} = \text{ONHydr} + r_{na}\,\text{PhytoResp} - \text{NH4Nitrif} - r_{na}P_{ap}\,\text{PhytoPhoto} + [J_{\text{NH4}} - P_{ab}\,\text{BotAlgUptakeN}(\text{NUpWCfrac})]\frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (۲)$$

۲- $N\text{-}NO_3$

مطابق با رابطه ۳ مقدار $N\text{-}NO_3$ در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرآیند دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Chapra et al., 2008).

$$S_{ni} = \text{NH4Nitrif} - \text{Denitr} - r_{na}(1-P_{ap})\,\text{PhytoPhoto} + [J_{\text{NO3}} - (1-P_{ab})\,\text{BotAlgUptakeN}(\text{NUpWCfrac})]\frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (۳)$$

۳- $P\text{-}PO_4$

مطابق با رابطه ۴ میزان $P\text{-}PO_4$ در فرآیندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Chapra et al., 2008).

$$S_{pi} = \text{DOPHydr} + r_{pa}\text{PhytoResp} - r_{pa}\text{PhytoPhoto} - \text{IPSettl} + [J_{\text{PO4}} - \text{BotAlgUptakeP}(\text{PUpWCfrac})]\frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (۴)$$

تعیین ظرفیت خودپالایی یا میزان بار ورودی

به‌منظور ارزیابی ظرفیت خودپالایی، نیاز به محاسبه بار ورودی و خروجی کل آلاینده‌ها از بازه مورد نظر رودخانه می‌باشد، که به کمک آن‌ها درصد خودپالایی از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد. در این مطالعه بررسی ظرفیت خودپالایی رودخانه در بازه‌های شرب (بازه اول) و کشاورزی (بازه دوم) در نظر گرفته شد (شکل ۲).

$$P_c = \frac{L_i - L_o}{L_i} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن:

P_c: میزان خودپالایی (به‌صورت درصد)

L_i و L_o: به‌ترتیب حداکثر میزان بار ورودی و خروجی کل هستند.

حداکثر میزان بار ورودی (L_i) از پارامترهای مورد بررسی بر حسب kg/day، در هر بازه از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$Li = (Qh \times Ch) + (Qp \times Cp) + (Qnp \times Cnp) \quad (۶)$$

که در آن:

Q: دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه

C: غلظت پارامترهای کیفی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

اندیس‌های h، np و p به‌ترتیب به سراب، منابع غیرنقطه‌ای و منابع نقطه‌ای اشاره دارد (عظیمی و همکاران، ۱۳۸۹).

میزان بار خروجی کل (L_o) در هر شاخه، با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$Lo = Q_{c.p} \times C_{c.p} \quad (۷)$$

که در آن:

Q: دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه

C: غلظت پارامترهای کیفی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

اندیس‌های c.p اشاره به نقطه کنترل دارد.

برای اعتبارسنجی نتایج مدل، از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)[1]، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[2] و خطای استاندارد (SE)[3] استفاده شد. شکل ریاضی این آماره‌ها در روابط ۸ تا ۱۰ ارایه گردیده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \overline{Y}_m)(Y_p - \overline{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \overline{Y}_m)^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_p - \overline{Y}_p)^2} \quad (۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n-1}} \quad (۹)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum (Y_m - Y_p)^2}}{\overline{Y}_m} \quad (۱۰)$$

که در این روابط:

n: تعداد نمونه‌های مورد مطالعه

Y_m: مقادیر اندازه‌گیری شده در هر روز

Y_p: مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل

$\overline{Y}_m$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده

$\overline{Y}_p$: میانگین داده‌های پیش‌بینی شده

در این مطالعه با توجه به آمار و داده‌های اندازه‌گیری شده در مورد کیفیت آب رودخانه در پنج ایستگاه (گنج نامه، تاریک دره، تقسیم آب ۱، رستوران ساحلی و موزه تاریخ طبیعی) وضعیت کیفی این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. مدل خودپالایی رودخانه با مشخصات کمی و کیفی رودخانه و پساب‌های ورودی به آن ساخته و واسنجی شد. بدین‌منظور داده‌های سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ برای واسنجی مدل و داده‌های سال ۱۳۹۴ برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

مشخصات جغرافیایی و میانگین داده‌های کیفی این پنج ایستگاه در جدول شماره ۱ ارایه شده است.

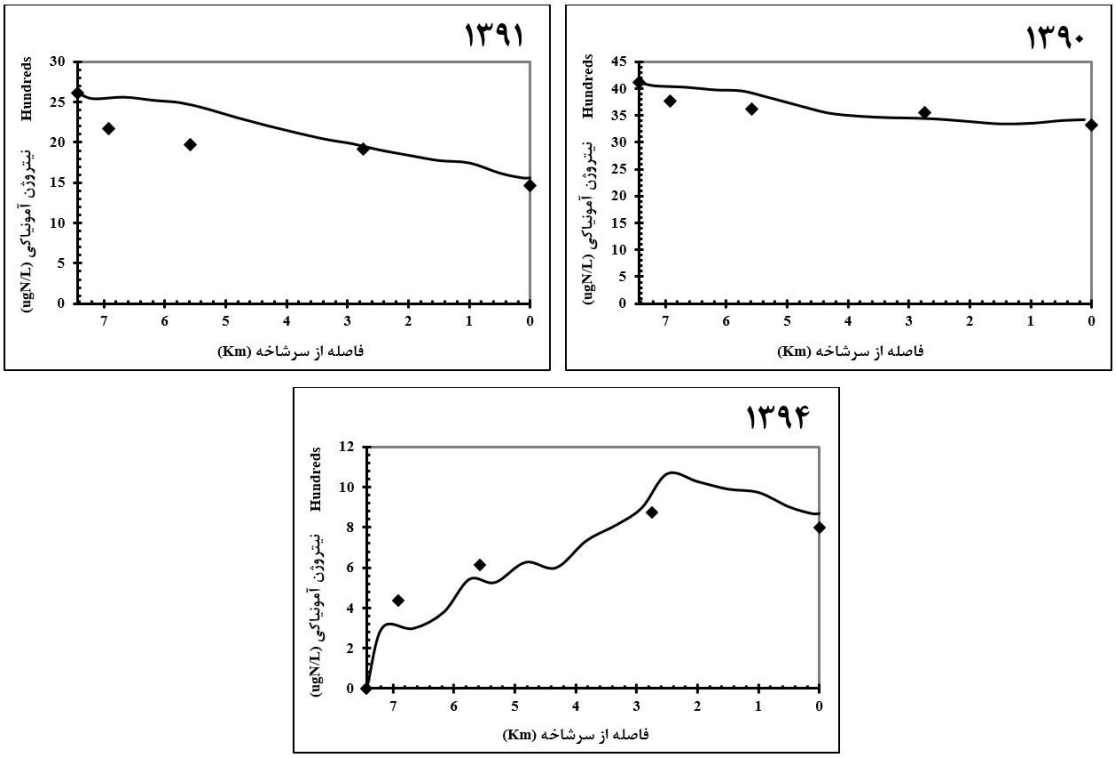
[1] Coefficient of Determination
[2] Root Mean Square Error
[3] Standard Error

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی و پارامترهای اندازه‌گیری شده بر حسب (میکروگرم در لیتر) **در پنج ایستگاه رودخانه عباس‌آباد**

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$
گنج نامه	۲۶۵۳۹۶	۳۸۴۹۷۳۶	۵۸۹۶	۵۵۷/۳	۱۶۷
تاریک دره	۲۶۵۸۰۳	۳۸۴۹۵۰۶	۷۳۸۰/۵	۷۱۱	۱۹۱
تقسیم آب ۱	۲۶۶۹۳۷	۳۸۵۰۰۹۲	۷۹۷۸	۷۱۶	۲۰۰
رستوران ساحلی	۲۶۸۶۳۵	۳۸۵۲۰۸۵	۷۷۸۳/۶	۷۱۸	۲۰۳/۶
موزه تاریخ طبیعی	۲۶۹۷۹۴	۳۸۵۴۳۱۴	۱۰۵۰۱/۵	۸۸۳/۵	۳۲۶/۵

نتایج و بحث

مقدار $N\text{-}NH_4$ شبیه‌سازی شده توسط مدل، با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شده است. شکل ۵ تغییرات N-NH4 در طول رودخانه طی سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. غلظت بالای آمونیاک، نشان دهنده ورود آلاینده¬ها به‌خصوص فاضلاب انسانی به رودخانه است. با توجه به‌شکل ۵ غلظت اولیه این پارامتر در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ بسیار بیشتر از سال ۱۳۹۴ بوده و در این سال‌ها تا انتهای مسیر روند کاهشی داشته که نشان از خودپالایی رودخانه می‌باشد. در سال ۱۳۹۴ به‌دلیل کنترل ورود آلاینده‌ها به رودخانه غلظت اولیه به‌مراتب کمتر بوده و در طول مسیر نیز با کاهش دبی، روند افزایشی را نشان داده ولی از کیلومتر ۲/۵ به بعد روند کاهشی داشته است. که به‌دلیل کاهش عمق آب در رودخانه و افزایش اکسیژن‌گیری می‌باشد (Chapra et al., 2008). که باعث شده است فرآیند نیتریفیکاسیون صورت گرفته و اکسیژن موجود سبب تبدیل آمونیوم به نیترات شده است. نتایج این تحقیق با نتایج Kannel et al. (2007), Bagherian Marzouni et al, (2014) همخوانی دارد. همانگونه که قبلا بیان گردید برای محاسبه توان خودپالایی رودخانه با توجه به نوع کاربری ۲ بازه در نظر گرفته شد بر این اساس و با توجه به نتایج جدول ۲ بیشترین توان خودپالایی رودخانه در سال ۱۳۹۴ در بازه دوم (بازه کشاورزی)، به‌میزان ۵۴ درصد می‌باشد. لازم به‌ذکر است که رودخانه در بازه اول نه‌تنها توانایی خودپالایی را نداشته بلکه غلظت اولیه آلاینده‌ها نیز بیش از حد مجاز و ظرفیت و توان خودپالایی رودخانه بوده و می‌بایست این میزان نیز کاهش پیدا کند که نیازمند کنترل هرچه بیشتر ورود آلاینده‌ها خصوصاً فاضلاب‌های مراکز اقامتی در این منطقه می‌باشد. براساس نتایج جدول ۳ بیشترین مقادیر R^2، و کمترین مقادیر SE و RMSE برای این پارامتر مورد بررسی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ (۰/۹۶)، ۱۳۹۰ (۰/۰۶) و ۱۳۹۴ (۷۵/۵۹ میکرو گرم بر لیتر) و همچنین کمترین مقادیر R^2 و بیشترین مقادیر SE و RMSE به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ (۰/۶۹)، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ (۰/۱۴) و ۱۳۹۱ (۲۹۱/۸۵ میکرو گرم بر لیتر) به‌دست آمد. که نشان دهنده شبیه‌سازی مناسب پارامتر مورد بررسی توسط مدل می‌باشد.



شکل (۵): تغییرات مقادیر $N\text{-}NH_4$ شبیه‌سازی شده توسط مدل QUAL2KW در طول رودخانه عباس‌آباد همدان

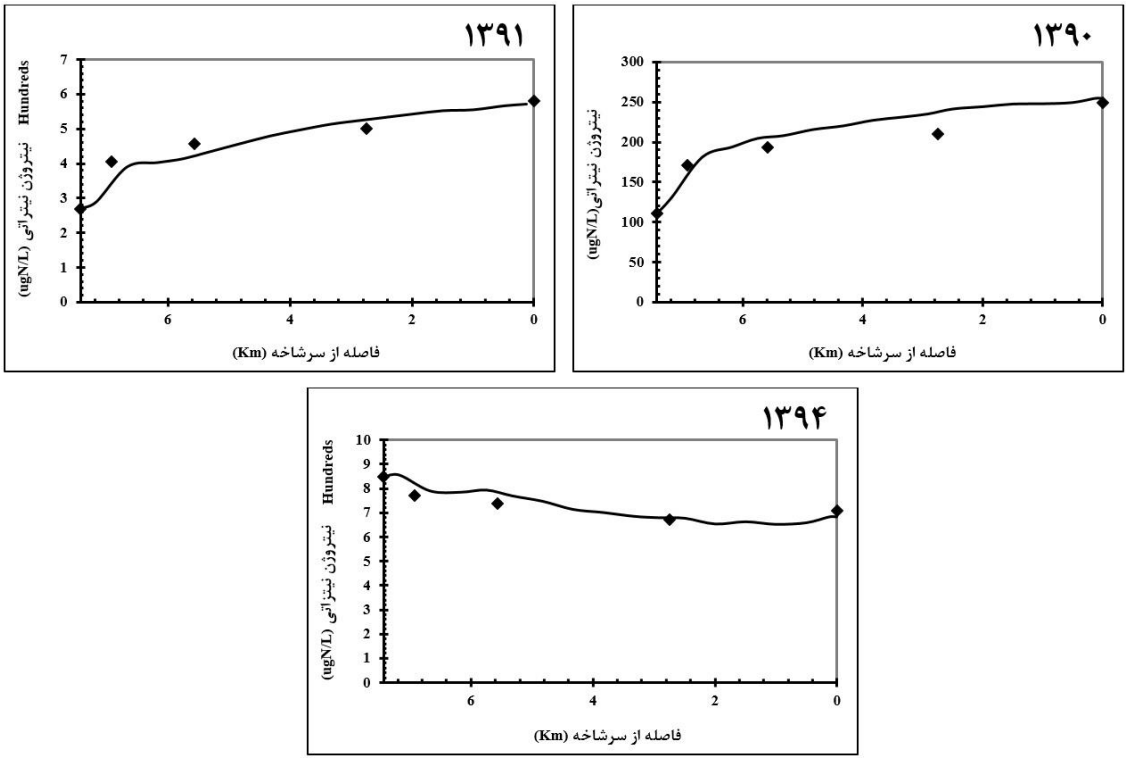
جدول (۲): درصد خودپالایی پارامترهای کیفی مورد مطالعه در دو بازه شرب و کشاورزی در رودخانه عباس‌آباد همدان

پارامتر	$P\text{-}PO_4$		$N\text{-}NO_3$		$N\text{-}NH_4$	
بازه / سال	بازه اول	بازه دوم	بازه اول	بازه دوم	بازه اول	بازه دوم
۱۳۹۰	0	٪۲۱	0	0	0	٪۳۵
۱۳۹۱	0	٪۲۵	0	٪۲۳	0	٪۳۹
۱۳۹۴	٪۳۸	٪۳۶	٪۲۹	٪۱	0	٪۵۴

جدول (۳): خطای استاندارد محاسبه شده بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

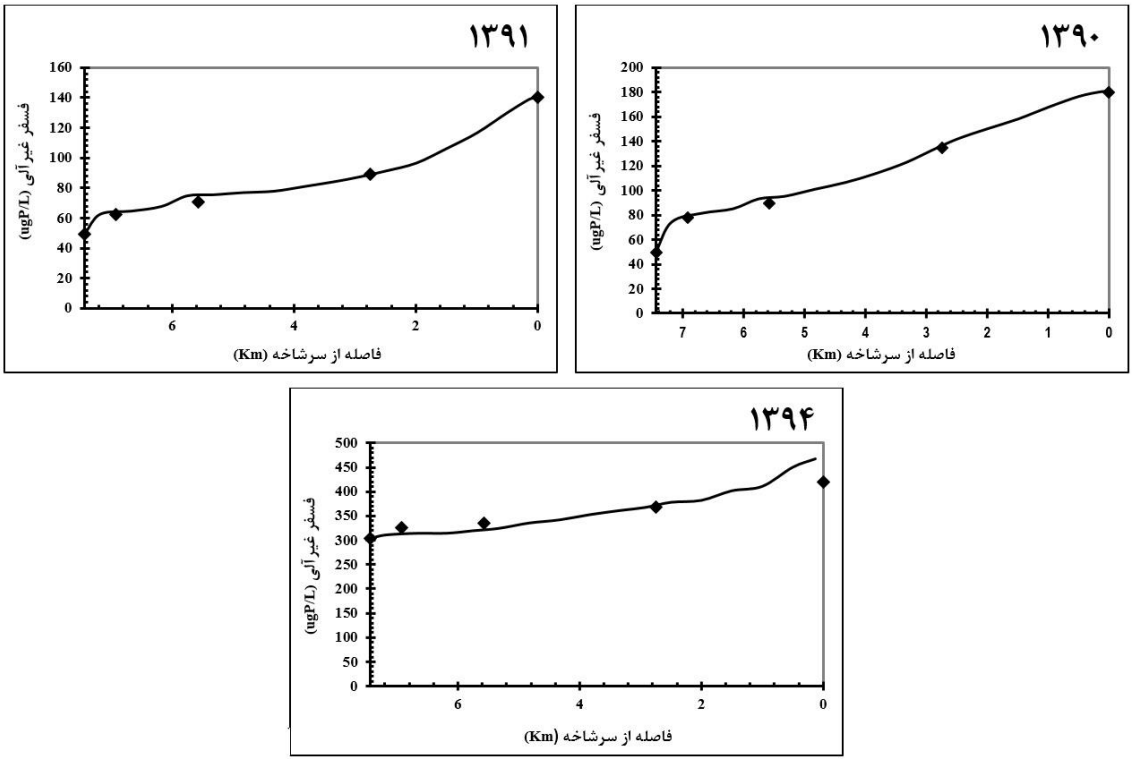
پارامتر / سال	$P\text{-}PO_4$	$N\text{-}NO_3$	N-NH4
		R2	
۱۳۹۰	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۶۹
۱۳۹۱	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۷۶
۱۳۹۴	۰/۹۵	۰/۷۴	۰/۹۶
		SE	
۱۳۹۰	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۶
۱۳۹۱	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۱۴
۱۳۹۴	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۴
		RMSE	
۱۳۹۰	۲/۴۹	۲۱/۴۶	۲۰۹/۰۷
۱۳۹۱	۱/۹۳	۵۶/۸۸	۲۹۱/۸۵
۱۳۹۴	۲۳/۲۴	۴۶/۳۶	۷۵/۵۹

شکل ۶ تغییرات $N\text{-}NO_3$ را در طول رودخانه طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. N-NO3 از طریق فاضلاب‌های شهری خصوصاً رستوران‌ها و مراکز اقامتی خصوصی و دولتی موجود در منطقه توریستی گنج‌نامه و کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رودخانه می‌شود. مقدار N-NO3 در اثر دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. میزان $N\text{-}NO_3$ شبیه‌سازی شده در مدل توسط رابطه ۳ محاسبه و تعیین شد. با توجه به‌شکل ۶ غلظت اولیه این پارامتر در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از ابتدای مسیر تا انتهای رودخانه روند افزایشی داشته است. در سال ۱۳۹۴ به‌دلیل کنترل ورود آلاینده‌ها به رودخانه در طول مسیر تا کیلومتر ۲/۵ روند کاهشی داشته ولی از این نقطه به بعد مقدار N-NO3 به‌میزان اندکی افزایش یافته است. نتایج این تحقیق با نتایج شبیه‌سازی Rafiee et al. (2013) که فاضلاب‌های شهری و پایاب کشاورزی را عامل آلودگی رودخانه بیان نمودند، همخوانی دارد. با توجه به نتایج جدول ۲ بیشترین توان خودپالایی رودخانه در سال ۱۳۹۴ در بازه اول (بازه شرب)، به‌میزان ۲۹ درصد می‌باشد. همچنین رودخانه در سال ۱۳۹۰ در بازه اول و دوم (شرب و کشاورزی) و در سال ۱۳۹۱ در بازه اول توان خودپالایی نداشته است. به‌طوری که در بعضی موارد غلظت اولیه آلاینده‌ها نیز بیش از حد مجاز و توان خودپالایی رودخانه بوده و می‌بایست این میزان نیز کاهش پیدا کند. براساس نتایج جدول ۳ بیشترین مقادیر R2 و کمترین مقادیر SE و RMSE برای این پارامتر مورد بررسی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ (۰/۸۷)، ۱۳۹۴ (۰/۰۶) و ۱۳۹۰ (۲۱/۴۶ میکرو گرم بر لیتر) و همچنین کمترین مقادیر R^2 و بیشترین مقادیر SE و RMSE به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ (۰/۷۴)، ۱۳۹۱ (۰/۱۳) و ۱۳۹۱ (۵۶/۸۸ میکرو گرم بر لیتر) می‌باشد. که نشان دهنده شبیه‌سازی مناسب پارامتر مورد بررسی توسط مدل می‌باشد.



شکل (۶): تغییرات مقادیر $N\text{-}NO_3$ شبیه‌سازی شده توسط مدل QUAL2KW در طول رودخانه عباس‌آباد همدان

تغییرات $P\text{-}PO_4$ در طول رودخانه در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ در شکل ۷ نشان داده شده است. میزان P-PO4 در فرآیندهای تنفس فیتوپلانتکتون‌ها و هیدرولیز فسفرآلی افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Chapra et al., 2008). مدل QUAL2KW برای محاسبه P-PO4 از رابطه ۴ استفاده می‌کند. به‌طور کلی میزان P-PO4 در طی سال‌های شبیه‌سازی شده در طول رودخانه روند افزایشی داشته است که از علل آن می‌توان به استفاده کشاورزان از کودهای فسفاته در زمین‌های کشاورزی و ورود پایاب این زمین‌ها و افزایش میزان فسفر آلی در طول رودخانه اشاره کرد. نتایج این تحقیق همراستا با نتایج تحقیقات Hossain et al. (2014) می‌باشد که نتایج آن ها نشان داد میزان $P\text{-}PO_4$ در طول رودخانه به‌دلیل ورود آلاینده‌ها دارای روندی افزایشی است. با توجه به نتایج جدول ۲ بیشترین توان خودپالایی رودخانه در سال ۱۳۹۴ در بازه اول (بازه شرب)، به میزان ۳۸ درصد می‌باشد. کمترین میزان خودپالایی نیز در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در بازه اول (شرب) می‌باشد. در مورد این پارامتر مورد بررسی نیز رودخانه در بعضی موارد نه تنها توانایی خودپالایی را نداشته بلکه غلظت اولیه آلاینده نیز بیش از حد مجاز و توان خودپالایی رودخانه بوده و می‌بایست این میزان نیز کاهش پیدا کند. براساس نتایج جدول ۳، بیشترین مقادیر R^2 و کمترین مقادیر SE و RMSE برای این پارامتر مورد بررسی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ (۰/۹۹)، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ (۰/۰۲) و ۱۳۹۱ (۱/۹۳ میکرو گرم بر لیتر) می‌باشد. همچنین کمترین مقادیر R^2 و بیشترین مقادیر SE و RMSE به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ (۰/۹۵)، ۱۳۹۴ (۰/۰۷) و ۱۳۹۴ (۲۳/۲۴ میکرو گرم بر لیتر) است. که نشان دهنده شبیه‌سازی مناسب پارامتر مورد بررسی توسط مدل می‌باشد.



شکل (۷): تغییرات مقادیر $P\text{-}PO_4$ شبیه‌سازی شده توسط مدل QUAL2KW در طول رودخانه عباس‌آباد همدان

همچنان که Xiaobo et al. (2008) بیان نمودند این مدل ابزاری مناسب برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب رودخانه است. Cristea et al. (2010) با استفاده از مدل QUAL2KW به بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه، بر دمای آب، طی چند دهه آینده پرداختند و با به‌کارگیری سناریوهای مختلف، افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه، به‌منظور حفظ حیات آبزیان را پیشنهاد دادند. نتایج آن‌ها نیز نشان می‌دهد که مدل QUAL2KW می‌تواند به‌عنوان یک ابزار موثر در برنامه‌های بهبود کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که Chang. (2004) and Carney. (2009) اشاره کردند، در این رودخانه نیز افزایش فعالیت‌های انسانی موجب افزایش سهم بار آلودگی به رودخانه عباس‌آباد شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح فعالیت‌های انسانی سهم بارآلودگی کاهش چشمگیری ندارد.

نتیجه‌گیری

آب رودخانه عباس‌آباد جهت تامین قسمتی از آب شرب شهر همدان، تامین آب منطقه توریستی تپه عباس‌آباد و همچنین آبیاری باغات و اراضی کشاورزی اطراف مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو کنترل کیفیت آب این رودخانه بسیار مهم و حیاتی است. برای شبیه‌سازی کیفیت آب این رودخانه از مدل QUAL2KW استفاده شد که مدلی دقیق می‌باشد و نتایج شبیه‌سازی، واسنجی و صحت‌سنجی نیز قابلیت دقیق این نرم‌افزار را تایید می‌کند. از نتایج به‌دست آمده در مقایسه با استانداردها، نتیجه‌گیری می‌شود در سال ۱۳۹۴ رودخانه در بازه اول (بازه شرب) از نظر پارامترهای N-NH4 و N-NO3 مشکلی نداشته ولی پارامتر P-PO4 بیش از استاندارد مربوطه بوده و برای مصرف آشامیدن انسان مناسب نیست، مگر اینکه مورد تصفیه فیزیکی و شیمیایی قرار گیرد. همچنین برای مصارف کشاورزی تغییرات پارامترهای مورد بررسی دارای یک روند طبیعی بوده و برای کشاورزی، مناسب است. منابع اصلی آلودگی رودخانه عباس‌آباد همدان رستوران‌ها، هتل‌ها، باغ‌ها و همچنین امکانات تفریحی و اردوگاه‌های سازمان‌های دولتی می‌باشند، که عمدتاً در بازه اول در مقطع رودخانه تخلیه می‌شوند. نتایج مدل‌سازی برای اهداف مدیریتی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه که با کمبود شدید داده در رودخانه‌ها مواجه می‌باشند، کاملا قابل قبول می‌باشد. همچنین این مدل برای تعریف سناریوهای مدیریتی برای منطقه مورد مطالعه در آینده

قابل قبول می‌باشد. براساس این نتایج، اقدامات اصلاحی کوتاه مدت، نظیر انجام مطالعات جامع شناسایی منابع نقطه¬ای و غیرنقطه¬ای و کنترل تخلیه آلاینده‌ها، به‌منظور بهبود کیفیت آب رودخانه عباس‌آباد همدان به‌منظور دستیابی به یک تعادل زیست محیطی سالم پیشنهاد می‌گردد.

منابع

خدام محمدی، م. م و ف. بوستانی. ۱۳۹۵. ارزیابی توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر (مطالعه موردی: پایین دست سد درودزن تا دریاچه طشک-بختگان). مجله مهندسی منابع آب، سال نهم، شماره ۳۰، ص ۸۷-۹۶.

عاشق معلا، م. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه با مدل QUAL2KW. چاپ اول، انتشارات نشر تالاب، ۸۸ صفحه.

عظیمی، م. م.، ا. غواصیه، س. ح. هاشمی و س. برکتین. ۱۳۸۹. ارزیابی قدرت خودپالایی رودخانه به کمک نتایج حاصل از شبیه سازی کیفی (مطالعه موردی: رودخانه سفید رود). همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباس پور).

هراتی، ز.، ه. معاضد و ع. ا. هوشمند. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون در بازه بندقیر-اهواز با استفاده از مدل QUAL2KW. اولین همایش ملی آب، انسان و زمین. اصفهان.

Bagherian Marzouni, M., A. M. Akhoundali, H. Moazed, N. Jaafarzadeh, J. Ahadian and H. Hasoonizadeh. 2014. Evaluation of Karun River Water Quality Scenarios Using Simulation Model Results. Int J Adv Biol Biom Res, 2(2): 339-358.

Boskidis, I., G. D. Gikas, V. Pisinaras and V. A. Tsihrintzis. 2010. Spatial and temporal changes of water quality, and SWAT modeling of Vosvozis river basin, North Greece. J Environ Sci Health-Part A, 45(11): 1421–1440.

Campolo, M., P. Andreussi and A. Soldati. 2002. Water quality control in the river Arno, Technical note. Water Research, 36: 2673–2680.

Carney, E. 2009. Relative influence of lake age and watershed land use on tropic state and water quality of artificial lakes in Kansas. J Lake Reserve Manage, 25: 199 207.

Chang, H. 2004. Water quality impacts of climate and land use changes on Southeastern Pennsylvania. The professional Geographer, 56: 240257.

Chapra, S. C and R. P. Canale. 2006. Numerical Methods for Engineers, 5th Ed. New York, McGraw-Hill.

Chapra, S. C., G. J. Pelletier and H. Tao. 2006. A Modeling framework for simulating river and stream water quality. Version 2.04, Documentation and user's manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Chapra, S. C and G. J. Pelletier. 2003. QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality (Beta Version): Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept. Tufts University, Medford.

Chapra, S. C., G. J. Pelletier and H. Tao. 2008. QUAL2K – a modeling framework for Simulation river and streams water quality (Version 2.11). Documentation and User Manual.

Cristea, N. C and S. J. Burges. 2010. An assessment of the current and future thermal regimes of three streams located in the Wenatchee River basin, Washington state. Some implicated for regional river basin systems. Climatic Change, 102: 493-520.

Fan, C., C. Ko and W. Wang. 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. J Environmental Management, 90(5): 1824–1832.

Gikas, G. D. 2014. Water Quality of Drainage Canals and Assessment of Nutrient Loads Using QUAL2Kw. Environ. Process, 1(4): 369–385.

Gikas, G. D., T. Yiannakopoulou and V. A. Tsihrintzis. 2006a. Modeling of non-point source pollution in a Mediterranean drainage basin. Environ Model Assess, 11: 219–233.

Gikas, G. D., T. Yiannakopoulou and V. A. Tsihrintzis. 2006b. Water quality trends in a coastal lagoon impacted by non-point source pollution after implementation of protective measures. Hydrobiologia, 563: 385–406.

Grabiç, J., A. Bezdan, P. Benka and A. Salvai. 2011. Spreading and transformation of nutrients in the Reacg of the Becej-Bogojeco Canal, Serbia. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 6(1): 277–284.

Gupta, R. C., A. K. Gupta and R. K. Shrivastava. 2013. Water quality modeling of a stretch of river Kshipra India. Nature Environment and Pollution Technology, 123: 511-516.

Hossain, M. A., I. M. Sujaul and M. A. Nasly. 2014. Application of QUAL2Kw for water quality modeling in the Tunggak River, Kuantan, Pahang, Malaysia. Research Journal of Recent Sciences, 3(6): 6-14.

Kalburgi, P. B., R. N. Shareefa and U. B. Deshannavar. 2015. Development and Evaluation of BOD–DO Model for River Ghataprabha near Mudhol (India), using QUAL2K. I.J Engineering and Manufacturing, 5(1): 15-25.

Kannel, P. R., S. Lee, S. R. Kanel, Y. S. Lee and K. H. Ahn. 2007. Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. Environmental monitoring and assessment, 125(1-3): 201-217.

Mathew, M., Y. Yao, Y. Cao, k. Shodan, I. Ghosh, V. Bucci, C. Leatao, D. Njoka, I. Wei and f. L. Hellweger. 2011. Anatomy of an urban waterbody: A case study of bostons Mudyy River. Environ Pollut, 159(8-9): 1996-2002.

Mehrasbi, M. R and Z. Farahmand Kia. 2015. Water quality modeling and evaluation of nutrient control strategies using qual2k in the small sivers. J. Hum. Environ. Health Promot, 1(1): 1-11.

Oliveira, B., J. Bola, P. Quinteiro, H. Nadais and L. Arroja. 2012. Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study. Environ Monti Assess, 184: 6197–6210.

Rafiee, M., A. M. Akhondali, H. Moazed, S. W. Lyon, N. e. Jaafarzadeh and B. Zahraie. 2013. A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River, Iran. Journal of hydraulic structures, 1(2): 10-22.

Rehana. S and P. P. Mujumdar. 2011. River water quality response under hypothetical climate change scenarios in Tunga-Bhadra river, India. Hydrological Processes, 25(22): 3373-3386.

Sarda, P and P. Sadgir. 2015. Water Quality Modeling and Management of Surface Water using Soft Tool. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), 4(9): 2988-2992.

Singh, K. P., A. Malik and S. Sinha. 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study. Analytica Chimica Acta, 538(1-2): 355–374.

Vivin Sintia, I., H. Wahyono and A. Masduqi. 2016. Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Kali Surabaya Segmen Jembatan Canggu-Tambangan Bambe dengan Pemodelan QUAL2Kw. Jurnal Teknik ITS, 5(2): 857-861.

Xiaobo, F., Z. Jianying, C. Yingxu and X. Xiangyang. 2008. QUAL2K model used in the water quality assessment of Qiantang River, China. Water Environment Research, 80: 2125–2133.

Zhang, R., H. Gao, W. Zhu, W. Hu and R. Ye. 2015. Calculation of permissible load capacity and establishment of total amount control in the Wujin River Catchment—atributary of Taihu Lake, China. Environ Sci Pollut Res, 22(15): 11493-503.

Investigation Self-purification and simulation of nitrogen and phosphorus changes along the Abbas Abad River of Hamedan using QUAL2KW

A.Vanaei[1], S. Marofi[2]

Abstract

River Qualitative conservation requires additional investment to create wastewater collection and treatment systems and may also limit the development of activities in the river basin. In this study, the self-purification capacity of Abbas-Abad river of Hamadan using QUAL2KW model and the parameters NH_4, NO_3 and PO_4 were evaluated in two longitudinal interval (Agriculture and Drinking) of the river periods in 2011-2012 and 2015. Self-purification model of the river was determined by inserting qualitative and quantitative data retrieved from the stations, and the entering wastewaters were created and calibrated. The results showed that the highest amount of self-purification of $N\text{-}NH_4$ parameter in the Agriculture interval in 2015 is equivalent to 54%. Parameter for the $N\text{-}NO_3$ and $P\text{-}PO_4$ parameters, the highest rate of self-purification capacity is in the Drinking interval in 2015 and is 29% and 38%, respectively. The amount of $P\text{-}PO_4$ has grown steadily along the river. The best modelling for $P\text{-}PO_4$ parameter was related to 2011 and 2012 with a standard error of 0.02.

Key Words: **$N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$, Pollutant, Water Quality.**

[1] M. Sc. Graduate of Water Resources, Department of Water Engineering, Bu Ali Sina University in Hamedan a.vanaei84@gmail.com
[2] Professor, Department of Water Engineering, Bu Ali Sina University in Hamedan marofisafar59@gmail.com