ارزیابی اثرات احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و کشاورزی بر بهبود روند کیفی و آلودگی رودخانه دز

نفیسه رفیعی[۱] و آرش آذری*[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی
[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی

(دریافت: ۹۶/۸/۴، پذیرش: ۹۷/۶/۳۱، نشر آنلاین: ۹۷/۶/۳۱)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی شرایط کیفی و ارزیابی اجرای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی بر روند آلودگی و کیفیت رودخانه دز، در ۱۳۳ بازه و با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K انجام شد. مدل طی سناریوی اول با در نظر گرفتن شرایط واقعی تخلیه آلاینده‌ها برای تیرماه سال‌های ۸۷-۹۳ مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد از بین پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (CBOD)، نیتروژن نیتراتی (N-NO3) و هدایت الکتریکی (EC)، شدت آلودگی BOD و EC بالا می‌باشد. در سناریوی دوم طرح تصفیه‌خانه بر روی چهار منبع نقطه‌ای مشخص با آلودگی بالا انجام شد و وضعیت رودخانه از نظر آلودگی BOD تا حد قابل قبولی بهبود یافت. اجرای سناریوی سوم با توجه به استاندارد تخلیه فاضلاب‌ها به آب‌های سطحی (حداقل مقدار ۲ میلی‌گرم بر لیتر برای DO و حداکثر مقادیر ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای BOD و NO_3) انجام شد که ضمن کاهش BOD مقدار EC نیز کاهش یافت. در نهایت مشخص شد احداث تصفیه‌خانه به‌تنهایی برای تمامی منابع آلاینده امری پرهزینه و غیرممکن به نظر می‌رسد؛ بنابراین بهتر است فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه گردد؛ اما در خصوص زهکش‌های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم‌های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدل QUAL2K، تصفیه‌خانه، رودخانه دز، کیفیت، آلودگی.

۱- مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع حیاتی تأمین آب دریاها، دریاچه‌ها و در اکثر موارد اصلی‌ترین شریان‌های انتقال و توزیع آب بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری به شمار می‌آیند. نتایج بررسی وضعیت کیفی رودخانه‌های داخل کشور نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه‌ها پس از عبور از مناطق با کاربری شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی به واسطه ورود آلاینده‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش کیفیت اغلب در فصول خشک که حداقل جریان برقرار است اتفاق می‌افتد (هاشمی، ۱۳۸۸).

مدیریت امروز حوضه‌های آبریز و رودخانه‌ها ایجاب می‌کند که تعادل منطقی و مناسبی بین مصارف منابع آب و توانایی و قابلیت بازتاب رودخانه نسبت به تغییرات و فشارهای تحمیلی برقرار شود. نیل به این هدف جز با فهم و درک درستی از وظایف رودخانه و اثرات متغیرهای فیزیکی بر رفتار کلی رودخانه میسر نیست. مدل های شبیه‌ساز کیفیت آب، ابزاری کارآمد و رایج در امر برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی رودخانه‌ها به شمار می‌آیند. از بین مدل‌های شبیه‌ساز موجود، مدل QUAL2K به طورگسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته و قابلیت انجام تحلیل عدم قطعیت را داراست (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶).

هاشمی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج، ۱۴ پارامتر کیفی آب را در ۴۲ ایستگاه با استفاده از مدل QUAL2K و روش تحلیل عاملی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش تحلیل عاملی می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر رتبه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌ها استفاده شود. نجفی و محمودپور (۱۳۹۱) مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو را بر اساس آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای شهرها، کارخانه‌های صنعتی، اراضی کشاورزی با استفاده از مدل QUAL2K انجام دادند. نتایج نشان داد بحرانی‌ترین بازه، بازه بعد از شهر کرمانشاه است که بیشترین مقدار TN[۱]، TP[۲] و

1. Total nitrogen

2. Total phosphorus

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۹-۱۲۵۷۶۶۳
آدرس ایمیل: nafise.rafiee1990@gmail.com (ن. رفیعی)، a.azari@razi.ac.ir (آ. آذری).

کمترین مقدار DO[1] را داراست و اعمال سناریوی کاهش بار آلودگی‌های ورودی به رودخانه در اثر احداث تصفیه‌خانه سبب بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌شود.

بیگلری و سعادتپور (۱۳۹۵) با بررسی شرایط کیفی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل QUAL2K به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی بیش‌تر پارامترهای کیفیت آب رودخانه را دارد و مقادیر TN، TP و DO در شرایط بحرانی از حدود مجاز برای حیات آبزیان تجاوز نموده‌اند. همچنین از بین دو سناریوی افزایش جریان سرشاخه و کنترل منابع آلاینده جهت بهبود وضعیت کیفیت آب رودخانه، سناریوی دوم به‌عنوان سناریوی برتر معرفی گردید.

عاشق‌معلا و حمامی (۱۳۹۳) از مدل QUAL2K برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی DO و BOD[2] رودخانه قشلاق کردستان استفاده نمودند. در این پژوهش دو سناریوی تخلیه پساب طبق استانداردهای تخلیه (DO و BOD به‌ترتیب ۲ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) و تخلیه پساب براساس توان خودپالایی رودخانه رودخانه اجرا گردید. سناریوی دوم با صرفه اقتصادی ده میلیارد ریالی به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. نتایج نشان داد با استفاده بهینه از توان خودپالایی هر رودخانه می‌توان استانداردی تعیین کرد که توجیه اقتصادی مناسبی هم برای تخلیه‌کنندگان داشته باشد.

Bagherian Marzouni و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت آب رودخانه کارون را از نظر دو پارامتر DO و BOD مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با تغییر در موقعیت تخلیه آلاینده‌ها به رودخانه، اهداف زیست محیطی محقق می‌شود و این امر در آینده که جریان رودخانه کاهش خواهد یافت، مفید واقع می‌شود. Rafiee و همکاران (۲۰۱۳) در رودخانه گرگر، پارامتـرهای $N\text{-}NO_3$[3]، $N\text{-}NH_4$[4]، CBOD[5] و DO را با به‌کارگیری مدل QUAL2K مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل مذکور با وجود کمبود اطلاعات، ارزیابی قابل قبولی از وضعیت رودخانه ارائه می‌دهد. آنالیز حساسیت نشان داد مدل نسبت به دبی رودخانه، دبی منابع نقطه‌ای، نرخ نیتریفیکاسیون[6] و CBOD حساسیت بیشتری دارد. بررسی کیفیت آب گل‌آلود رودخانه بستونیا با استفاده از مدل QUAL2K نشان داد که کیفیت آب رودخانه کم‌تر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می‌گیرد (Mathew و همکاران، ۲۰۱۱). Zhang و همکاران (۲۰۱۲) با هدف ارائه مبنایی جهت تصمیم‌گیری مدیریت آب زیست محیطی، با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت رودخانه تایهو چین را مورد بررسی قرار دادند. ظرفیت بار آلودگی پارامترهای BOD، $NH3\text{-}N$[7]، TN، وTP به ترتیب ۱۷/۵۱، ۱/۵۲، ۲/۷۴، ۰/۳۷ تن به دست آمد. نتایج نشان داد که برای برآوردن اهداف کیفیت آب، بارهای آلودگی $NH_3\text{-}N$، TN و TP در رودخانه مورد مطالعه بایستی به ترتیب به میزان ۵۰/۹۶٪، ۴۴/۱۱٪ و ۲۲/۹۲٪ کاهش یابند. استفاده از مدل ترکیبی HEC-5 و QUAL2K تحت عنوان مدل‌سازی با رویکرد ابتکاری برای شناسایی اثر جزر و مد بر شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه، نشان داد که ترکیب این دو مدل برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌های جزر و مدی نتیجه قابل قبولی برای شبیه‌سازی خصوصیات کیفی آب خصوصاً در رودخانه‌های آلوده خواهد داشت (Fan و همکاران، ۲۰۰۹).

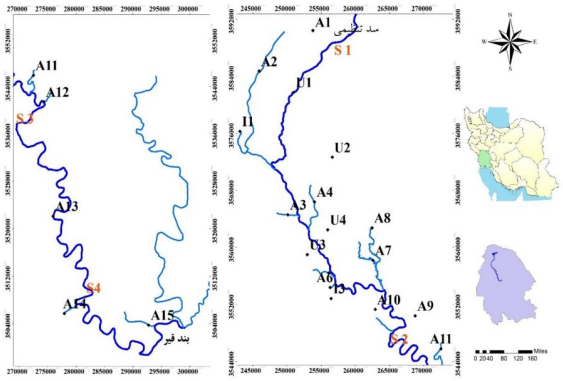
رودخانه دز به‌عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقشی اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شمال خوزستان دارد. تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و طرح نیشکر در مسیر رودخانه حیات رودخانه را به خصوص در مقاطع بحرانی با مشکل مواجه نموده است. همچنین افزایش جمعیت، کاهش آبدهی رودخانه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای اثر مستقیم در تشدید وضعیت آلودگی رودخانه دارد. با توجه به سرمایه‌گذاری اخیر دولت در راستای احداث تصفیه‌خانه‌ها در منطقه، هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات کیفی و تعیین نقاط بحرانی رودخانه از نظر شدت آلودگی است. همچنین ارزیابی اجرای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی و بررسی اثر اصلاح منابع آلاینده قبل از تخلیه به رودخانه بر بهبود روند کیفی و آلودگی رودخانه به‌خصوص در مقاطع حساس از اهداف اساسی این تحقیق می‌باشد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه دز از دو شاخه اصلی به نام سزار و بختیاری تشکیل شده که پس از خروج از منطقه کوهستانی شمال اندیمشک و دزفول، وارد جلگه خوزستان می‌شود. این رودخانه پس از عبور از شهرستان دزفول به سمت جنوب جریان یافته و طی مسافت پرپیچو خمی به طول تقریبی ۱۹۴ کیلومتر، در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان اهواز و در محلی به نام بند قیر پس از تلاقی با رودخانه‌های شطیط و گرگر، رودخانه کارون بزرگ را تشکیل می‌دهد. مطابق با شکل (۱)، منطقه مورد مطالعه، رودخانه دز حد فاصل سد تنظیمی دزفول تا محل اتصال به بند قیر می‌باشد. علامت‌های اختصاری S، A، U و I در این شکل به ترتیب مربوط به جانمایی محل ایستگاه‌های هیدرومتری و محل تخلیه پساب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی می‌باشد که در ادامه با ذکر جزئیات معرفی می‌گردند.

1. Dissolved oxygen
2. Biological Oxygen Demand
3. Nitrate nitrogen
4. Ammonia nitrogen
5. Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand
6. Nitrification
7. Ammonium nitrogen



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: الف) حد فاصل سد تنظیمی تا آبشیرین، ب) حد فاصل حرمله تا بند قیر

مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر رودخانه دز نیز در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه دز

ایستگاه	معرف ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
دزفول	S1	۲۵۶۸۶۴	۳۵۸۸۷۳۰	۱۹۳/۹
آبشیرین	S2	۲۶۵۱۴۴	۳۵۴۶۰۴۸	۱۲۵
حرمله	S3	۲۶۹۴۶۳	۳۵۳۷۱۷۳	۱۰۰
بامدژ	S4	۲۸۰۷۳۵	۳۵۰۷۳۲۳	۳۷

۲-۲- شبیه‌سازی کیفی رودخانه دز

بررسی تأثیر تصفیه‌خانه‌ها، اعم از کشاورزی، شهری و یا صنعتی بر روند کیفی رودخانه‌ها مستلزم بررسی اثر آلاینده‌ها بر آب رودخانه می‌باشد. بنابراین لازم است ابتدا فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب‌های پذیرنده با بهره‌گیری از معادلات ریاضی و مدل‌ها توصیف شود تا ضمن پیش‌بینی روند کیفی، هدف مورد نظر این پژوهش نیز محقق گردد. در این راستا از مدل QUAL2K بهره گرفته شد. این مدل قادر است معادلات مربوط به رودخانه را هم در شرایط دائمی و هم شبه‌دینامیکی حل کند، همچنین پارامترهایی چون اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، نیتروژن آمونیاکی و ... را در شبکه رودخانه شبیه‌سازی نماید (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶).

۱-۲-۲- معادلات حاکم بر مدل‌سازی

در طول رودخانه، با فرض اختلاط کامل، برای هر المان موازنه جریان در حالت پایدار طبق رابطه زیر صورت می‌گیرد (Pelletier و Chapra، ۲۰۰۸):

$$Q_i=Q_{i-1}+Q_{in,i}-Q_{ab,i} \quad (۱)$$

که در آن Q_i میزان جریان خروجی از بازه i، Q_{i-1} میزان جریان خروجی از بازه i-1، $Q_{in,i}$ جریان ورودی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به بازه i و $Q_{ab,i}$ جریان خروجی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای از بازه i می‌باشد.

همچنین یکی از اصول پایه در فرمول‌بندی مدل‌های کیفی آب، اصل تعادل جرم است. برای تمامی متغیرها به غیر از جلبک کف، معادله تعادل جرم در ستون آب از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pelletier و Chapra، ۲۰۰۸):

$$\frac{dc_i}{dt}=\frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1}-\frac{Q_i}{V_i}c_i-\frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i+\frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1}-c_i)+\frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1}-c_i)+\frac{W_i}{V_i}+S_i+\frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i}-c_i) \quad (۲)$$

که در آن Q_i دبی جریان عبوری از بازه و Q_{ab} دبی جریان برداشت شده از بازه رودخانه بر حسب m^3/day، V_i حجم بر حسب m^3، E_i ضریب پخشیدگی بین شاخه i و i+1 بر حسب m^3/day، W_i بار وارده آلاینده به شاخه بر حسب g/day، S_i منابع ورود و خروج آلاینده بر حسب g/m^3/day و $c_{2,i}$ غلظت جزء کیفی در منطقه زیرین بستر رسوبی[1] است که اشباع می‌باشد.

۲-۲-۲- هیدرولیک و بازه‌بندی رودخانه

جریان در مدل QUAL2K بر اساس بازه‌بندی مسیر رودخانه است. لذا با توجه به شرایط هیدرولیکی رودخانه دز، حد فاصل سد تنظیمی تا محل بند قیر به ۱۳۳ بازه با طول‌های متغیر تقسیم شد (شکل (۲)).

جدول ۲- منابع برداشت نقطه‌ای از رودخانه دز

ردیف	برداشت آب	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
۱	دز شرقی	۱۹۳/۵
۲	آبگیر شرقی و غربی	۱۸۸
۳	هفت‌تپه	۱۵۵
۴	میاناب	۱۲۱
۵	امام خمینی	۸۰
۶	شعیبیه	۷۲
۷	دهخدا	۸

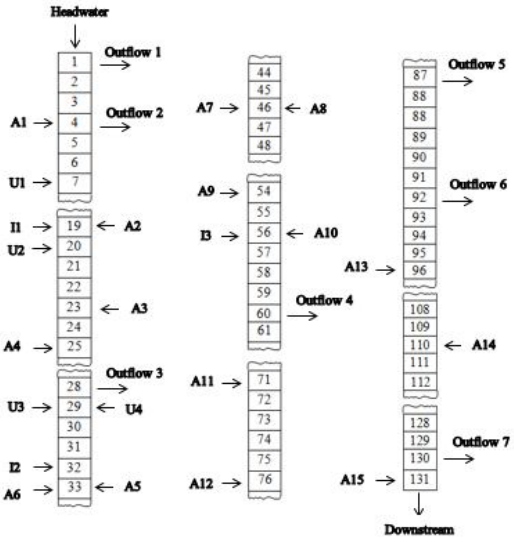
سپس در هر بازه مشخصات هندسی از قبیل شیب طولی کانال، شیب دیواره‌ها، عرض کف و ... در محیط نرم‌افزار Auto CAD 2007 محاسبه و وارد مدل شد. مدل QUAL2K با فرض ذوزنقه‌ای بودن مسیر رودخانه و با استفاده از معادله مانینگ[1]، عمق و سرعت جریان را محاسبه می‌کند. همچنین بر اساس اطلاعات

1. Manning

نشان داده شده در جدول (۲)، موقعیت محل‌های برداشت از رودخانه در محدوده بازه مطالعاتی در مدل تعریف شد.

۳-۲-۲- معرفی منابع نقطه‌ای و پارامترهای شبیه‌سازی شده

در حالت کلی آلاینده‌هایی که به رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند شامل بار نقطه‌ای و گسترده می‌باشد. زه آب اراضی کشاورزی دشت دزفول و پساب اراضی نیشکر هفت‌تپه، نیشکر میاناب، نیشکر امام خمینی و بخشی از پساب نیشکر کارون که بخش وسیعی از اراضی منطقه را در بر دارند، توسط ۱۵ زهکش به صورت نقطه‌ای وارد رودخانه می‌شود. همچنین شهرهای دزفول، صفی‌آباد، حر و میانرود که در حاشیه رودخانه دز واقع شده‌اند، فاضلاب خود را بدون تصفیه به رودخانه تخلیه می‌کنند. دفع فاضلاب مابقی شهرک‌ها و روستاهای دشت از طریق سیستم چاه فاضلاب[1] و جذبی انجام می‌شود. آب خروجی از حوضچه‌های پرورش ماهی حیات و فاضلاب مجتمع نیشکر هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس نیز مستقیماً و بدون تصفیه وارد رودخانه می‌شود. در جدول (۳) این آلاینده‌ها به تفکیک معرفی شده‌اند.



شکل ۲- بازه‌بندی رودخانه و منابع نقطه‌ای ورودی و خروجی

جدول ۳- منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه دز

نوع آلاینده	معرف آلاینده	نام جریان آلاینده	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
زهکش کشاورزی	A1	لور	۱۸۹
	A2	سبز آب	۱۷۰/۲۳
	A3	بنه‌حسن	۱۶۲/۳۶
	A4	ساغری	۱۶۰/۵۲
	A5	هفت‌تپه (۶)	۱۴۹/۴۳
	A6	هفت‌تپه (۸)	۱۴۹
	A7	سلیمه	۱۳۸/۴۱
	A8	عجیرب	۱۳۸
	A9	تاپ درین	۱۳۰/۵
	A10	عتیج	۱۲۸/۵
	A11	کهنک- لوره	۱۰۹/۷۷
	A12	کارون	۱۰۴/۹
	A13	میاناب	۶۶/۲
	A14	خارور	۳۹
	A15	شعیبیه	۶
فاضلاب شهری	U1	دزفول	۱۸۵/۱
	U2	صفی‌آباد	۱۶۸
	U3	حر	۱۵۴/۱
	U4	میانرود	۱۵۳/۲
فاضلاب صنعتی	I1	پرورش ماهی	۱۷۰/۵
	I2	مجموع کارخانه‌های هفت‌تپه	۱۵۰
	I3	کاغذسازی پارس	۱۲۷/۵

1. Hyporheic zone

با توجه به شرایط جریان و منابع آلاینده ورودی و همچنین قابلیت و توانایی تصفیه‌خانه‌ها در تصفیه پارامترهای خاص روند تغییرات پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) و هدایت الکتریکی (EC) در طول رودخانه شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۲-۲- واسنجی و صحت‌سنجی

در مرحله واسنجی مدل برای تیر ماه سال‌های ۸۷ تا ۹۰ اجرا شد. روند واسنجی در مدل QUAL2K به دو صورت خودکار و دستی انجام می‌شود، که واسنجی خودکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و توسط خود مدل اما در روش دستی، روند واسنجی کاملاً به صورت سعی و خطا می‌باشد. در این تحقیق از روش دستی استفاده شد، بدین صورت که برای داده‌های هر سال واسنجی ابتدا به صورت جداگانه انجام و درنهایت ضرایب واسنجی که برای تمامی این ۴ سال مشترک است، به‌دست آمد.

در مرحله صحت‌سنجی لازم است بدون تغییر در مقدار پارامترها و ضرایب، مدل مجدد اجرا و صحت آن مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین مدل برای تیر ماه سال‌های ۹۱ تا ۹۳ اجرا شد سپس مقدار خطا در شبیه‌سازی نیز به‌وسیله دو پارامتر ضریب همبستگی (r) و مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) محاسبه شد:

$$r = \frac{\sum(Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum(Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum(Y_p - \bar{Y}_p)^2}}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \qquad (۳)$$

که در آن Y_m مقدار مشاهداتی، $\bar{Y}_m$ میانگین مقادیر مشاهداتی، Y_p مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{Y}_p$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده، X_{max} و X_{min} به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مشاهداتی می‌باشد.

۳-۲- سناریوهای شبیه‌سازی و جانمایی مکان تصفیه‌خانه‌ها

اولین سناریوی مورد بررسی، شبیه‌سازی کیفیت رودخانه با توجه به شرایط واقعی و تخلیه آلاینده‌ها است. در این سناریو ضمن بررسی روند کیفی رودخانه، نقاط بحرانی نیز مشخص خواهند شد.

در سناریوی دوم با توجه به نقاط بحرانی از نظر شدت آلودگی، تصفیه‌خانه‌هایی در مسیر رودخانه در نظر گرفته خواهد شد تا تأثیر آن‌ها بر کاهش آلودگی رودخانه مشخص گردد. تصفیه‌خانه‌های مذکور با قابلیت تصفیه ۴۰ هزار متر مکعب در شبانه‌روز و با راندمان ٪۹۰ به ترتیب فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، کارخانه‌های هفت‌تپه، کارخانه کاغذسازی پارس و زهکش شعبیه را که سهم بیش‌تری در آلودگی رودخانه دارند را تصفیه و سپس به رودخانه تخلیه می‌کند. در سناریوی سوم، پارامترهای مورد بررسی این پژوهش در تمامی منابع نقطه‌ای با توجه با استاندارد تخلیه فاضلاب‌ها به آب‌های سطحی (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۷)، اصلاح شده و سپس به رودخانه تخلیه می‌گردند. طبق این استاندارد مقدار DO منبع تخلیه‌شونده بایستی حداقل ۲ میلی‌گرم بر لیتر باشد و مقدار BOD از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و NO_3 از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز ننماید.

۳- نتایج و بحث

ابتدا با هدف بررسی روند کیفی رودخانه دز، مدل در شرایط وضع موجود اجرا شد. بدین صورت که ابتدا تمامی داده‌های هیدرولیکی، هواشناسی و کیفی وارد مدل شد. سپس مدل برای تیر ماه سال‌های ۸۷ تا ۹۰ (۴ سال) مورد واسنجی قرار گرفت. بر این اساس ضرایب واسنجی شده مدل مطابق جدول (۴) به دست آمد. سپس برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی، مدل طی تیر ماه سه سال (۹۳-۹۱) مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفت. جدول (۵)، ارزیابی نتایج صحت سنجی بر اساس آماره‌های آزمون ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده را نشان می‌دهد. مقادیر ارائه شده در جدول حاکی از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در مرحله صحت‌سنجی دارد.

جدول ۴- ضرایب واسنجی مدل

پارامتر		مقدار	نماد	واحد	حد پایین	حد بالا
Fast CBOD	Oxidation rate	۰/۷	K_{dc}	d/	۰	۵
Ammonium	Nitrification	۰/۴	k_{na}	d/	۰	۱۰
Nitrate	Denitrification	۱/۲	k_{dn}	m/d	۰	۲
	Sediment Denitrification	۰/۵	V_{di}	m/d	۰	۱

1. Septic well

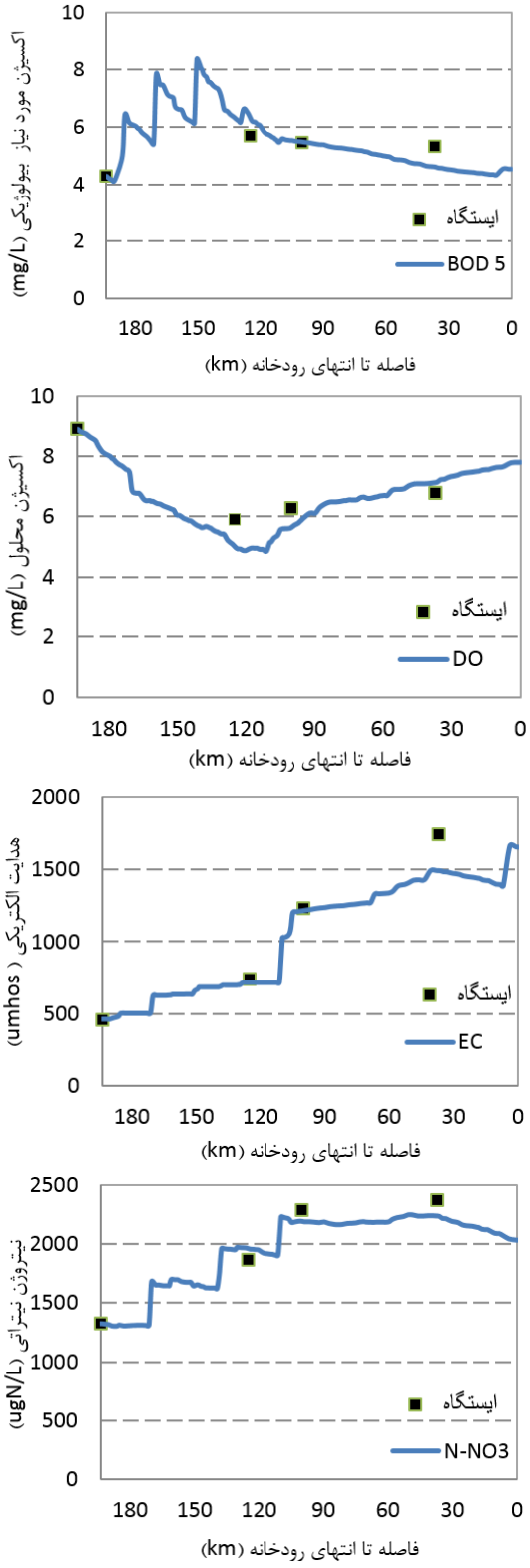
2. Electrical conductivity

جدول ۵- مقدار آماره‌های آزمون در مرحله صحت‌سنجی

پارامترها	r	NRMSE
DO	۰/۹۷	۰/۱۷
CBOD Fast	۰/۸۹	۰/۰۹
$N\text{-}NO_3$	۰/۹۸	۰/۰۹
EC	۰/۹۹	۰/۱

نتایج شبیه‌سازی پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (CBOD)، نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) و هدایت الکتریکی (EC) در شکل (۳) نشان داده شده است. به دلیل تخلیه متوالی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس با BOD بالا و از سوی دیگر برداشت آب توسط دو آبگیر بزرگ شرقی و غربی و کاهش قابل ملاحظه دبی رودخانه در نیمه ابتدایی مسیر، مطابق با استانداردهای 1A و 1B سازمان بهداشت جهانی، رودخانه از نظر میزان BOD در شرایط بحرانی قرار دارد. به همین دلیل اکسیژن محلول نیز در بخش وسیعی از مسیر رودخانه به کمتر از ۷ میلی‌گرم در لیتر رسیده که مطابق با استاندارد 1A سازمان بهداشت جهانی خارج از محدوده مجاز است (کارآموز و کراچیان، ۱۳۹۳). با وجود این که تخلیه زهکش‌های کشاورزی چون میاناب، خارور، شعیبیه و گسترش اراضی طرح نیشکر امام خمینی و شعیبیه در مجاورت رودخانه باعث افزایش میزان نیتروژن نیتراتی در طول رودخانه شده است که مغایرتی با استانداردهای مربوطه ندارد. اما میزان پارامتر EC از سرشاخه به سمت انتهای رودخانه سیر صعودی دارد.

مقایسه نتایج اجرای هر سه سناریو در شکل (۴) نشان داده شده است. با مشخص شدن نقاط بحرانی، در سناریوی دوم برای منابع آلاینده به‌شدت تأثیرگذار بر آلودگی رودخانه، تصفیه‌خانه‌هایی در نظر گرفته شد. پس از اجرای مدل در این شرایط نتایج آن با سناریوی اول مقایسه گردید. نتایج نشان داد احداث تصفیه‌خانه‌ها موجب بهبود نسبی در مقدار پارامترهای مورد نظر شده است. این امر باعث شد در مقاطع حساس مقدار BOD به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش و به دنبال آن اکسیژن محلول به میزان ۵ تا ۱۰ درصد نسبت به شرایط واقعی افزایش یابد. اما تأثیر چندانی بر مقدار نیتروژن نیتراتی و هدایت الکتریکی ناشی از تخلیه آلاینده‌های کشاورزی نداشت (شکل (۴)). مهراسبی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی اثر احداث تصفیه‌خانه‌ها در برخی از سناریوهای اصلاحی در رودخانه کینه ورس، به نتایج قابل قبولی به‌خصوص در کاهش غلظت BOD دست یافتند. اما برخی از فرض‌ها به‌خصوص در مورد پالایش ۷۰ تا ۹۰ درصدی آلاینده‌ها در تصفیه‌خانه‌های پیشنهادی اغراق‌آمیز بوده و به دور از واقعیت بود.

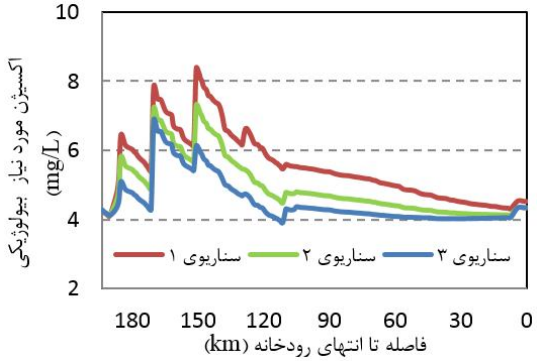


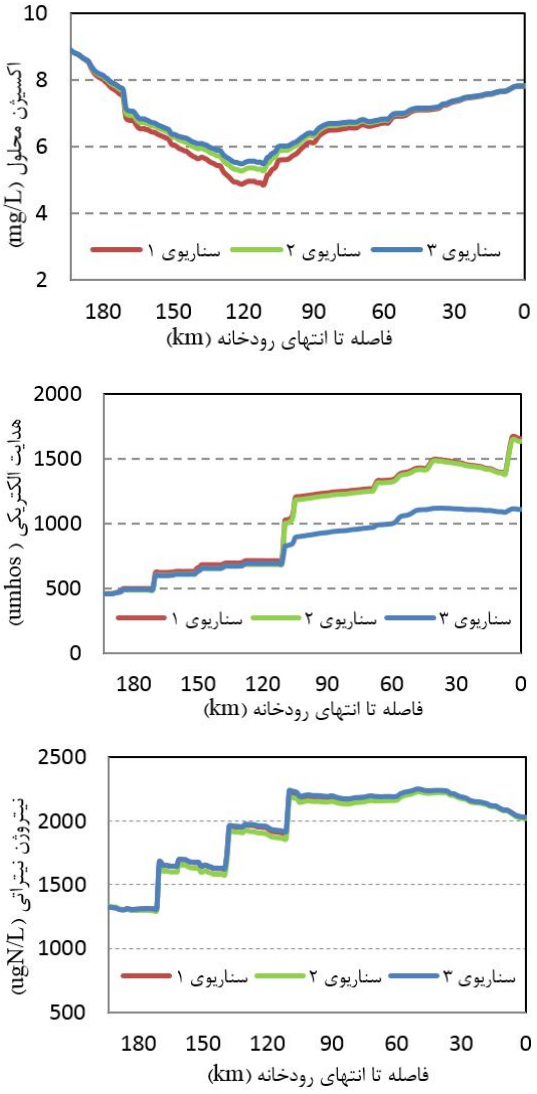
شکل ۳- نتایج واسنجی مدل برای تیرماه سال ۹۰ بر اساس وضع موجود (سناریوی ۱)

هدف از اعمال سناریوی سوم، بررسی تأثیر کاهش تمامی آلاینده‌ها طبق استانداردهای تخلیه آلاینده‌ها به آب‌های سطحی می‌باشد تا ضمن بهبود کیفیت زیست محیطی، برداشت آب رودخانه برای مصارف کشاورزی نیز محدودیتی نداشته باشد. با توجه به این که برای میزان غلظت EC منبع تخلیه شونده به رودخانه در استاندارد تخلیه فاضلاب‌ها به آب‌های سطحی معیاری مشخص نشده است، بنابراین در این سناریو میزان EC زهکش‌های کشاورزی به اندازه‌ای کاهش یافت که درنهایت هدایت الکتریکی رودخانه برای برداشت آب مصارف کشاورزی مناسب باشد. نتایج حاصل از این سناریو در مقایسه با سناریوی وضع موجود در شکل (۴) نشان داده شده است.

نتایج این سناریو نشان داد که تخلیه آلاینده‌ها مطابق استانداردهای مربوطه، باعث بهبود قابل قبولی در تمامی پارامترهای شبیه‌سازی شده می‌گردد. با توجه به این که میزان هدایت الکتریکی کمتر از ۷۰۰ میکروموس[1] بر سانتی‌متر جز طبقه‌بندی آب‌های غیرشور[2] بین ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر جز آب‌های کم‌شور[3] محسوب می‌شود (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۶)، بنابراین میزان EC حاصل از اعمال این سناریو برای آبیاری تمامی گیاهان و در خاک‌هایی با بافت سبک و متوسط، مناسب می‌باشد. در این سناریو مقدار BOD در مقاطع حساس به میزان ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش و به دنبال آن اکسیژن محلول به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد نسبت به شرایط واقعی افزایش داشت. همچنین مقدار غلظت EC در مقاطع حساس تا حدود ۲۵ درصد کاهش را نشان می دهد.

در خصوص نیترات نیز در هیچ یک از منابع آلاینده تخلیه شده به رودخانه دز مقدار آن از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز ننموده است بنابراین نیازی به کاهش در سناریوی سوم ندارد.





شکل ۴- مقایسه نتایج اجرای سناریوها

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با اهداف بررسی روند کیفی رودخانه دز به سبب تخلیه آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تعیین نقاط بحرانی از نظر شدت آلایندگی پارامترهای DO، BOD، $N\text{-}NO_3$ و EC و در نهایت بررسی اثر تصفیه‌خانه‌ها و کاهش آلودگی منابع نقطه‌ای در طول مسیر رودخانه انجام شد.

بدین منظور در سناریوی اول با استفاده از مدل QUAL2K برای تیر ماه به‌عنوان نماینده فصل خشک، مدل مورد واسنجی (۸۷-۹۰) و صحت‌سنجی (۹۳-۹۱) قرار گرفت. روند کیفی شبیه-سازی شده نشان داد که نیمه ابتدایی رودخانه دز به علت تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی دارای آلودگی BOD بالا و در نیمه

1. Micromus
2. Non- saline
3. Slightly saline

انتهایی مسیر به علت تخلیه زهکش اراضی کشت نیشکر دارای EC بالایی می‌باشد.

در سناریوی دوم تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت مشخص در طول مسیر در نظر گرفته شد که پساب منابع نقطه‌ای مورد نظر از نوع شهری و صنعتی را تصفیه و سپس به رودخانه تخلیه می‌نماید. نتیجه اعمال این سناریو کاهش قابل‌توجه در مقدار BOD و افزایش اکسیژن محلول بود و تأثیر چندانی بر بهبود مقدار دو پارامتر دیگر نداشت. در سناریوی سوم در منابع نقطه‌ای مطابق استاندارد تخلیه فاضلاب‌ها به آب‌های سطحی اصلاحاتی صورت گرفته و مدل مجدد اجرا شد. لازم به ذکر است که این اصلاحات بر روی همه پارامترها به جز نیترات انجام شد، چرا که میزان نیترات در هیچ یک از منابع ورودی بیش از حد مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) نبوده است. نتیجه این سناریو بهبود قابل قبول در میزان اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و هدایت الکتریکی گردید.

رودخانه دز به‌عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقش اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شمال خوزستان دارد. همچنین به دلیل تأمین آب بیش از ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی دشت دز و اراضی پایین دست این دشت تا محل بند قیر و تأمین بخش قابل توجهی از نیاز زیست محیطی رودخانه کارون بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش با اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف مشخص شد که رودخانه از لحاظ میزان BOD و EC در وضعیت بحرانی قرار دارد. احداث تصفیه‌خانه به‌عنوان یک راهکار برای تمامی منابع آلاینده امری پرهزینه و غیرممکن به نظر می‌رسد بنابراین پیشنهاد می‌شود تمامی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه و سپس تخلیه گردند اما در خصوص زهکش‌های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم‌های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد.

۵- مراجع

بیگلری م، سیما س، سعادتپور م، "شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه در شرایط بحرانی و اثر بخشی اقدامات مدیدیتی: مطالعه موردی زرینه رود"، کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، ۲۶ و۲۷ بهمن ماه، ۱۳۹۵.

پروژه تدوین برنامه بهره‌برداری از آب‌های شور، لب‌شور و غیرمتعارف در سطح حوضه‌های آبریز کشور، گزارش شماره ۶، "سیاست و استراتژی‌های مناسب برای استفاده از آب-های شور، لب‌شور و غیرمتعارف"، تهیه توسط مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۶.

سازمان حفاظت محیط زیست، "ضوابط و استانداردهای زیست محیطی (در زمینه محیط زیست انسانی)"، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۷.

عاشق‌معلا م، حمامی م، "نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها"، علوم و مهند سی محیط زیست، ۱۳۹۳، ۱ (۲)، ۳۷-۴۹.

کارآموز م، کراچیان ر، "برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران، ۱۳۹۳، ۳۵-۴۰.

میرباقری س ا، محمودی ش، خضری س م، "مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۹۰، ۴۰ (۳)، ۴۹-۶۰.

نجفی ح، محمود پور ط، "مدل‌سازی کیفی رودخانه قره سو با استفاده از مدل QUAL2K"، اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.

هاشمی ب، "اندازه‌گیری و مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه‌های شاپور، دالکی و حله"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۸۸.

هاشمی س ح، رنجکش ی، رمضانی س، قاسمی زیارانی ا، "تحلیل مقایسه‌ای کیفیت آب رودخانه کرج با تکنیک آماری تحلیل عاملی و مدل QUAL2K"، اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.

Bagherian Marzouni M, Akhondali AM, Moazed H, Jaafarzadeh N, Ahadian J, Hasoonizadeh H, "Evaluation of Karun River Water Quality Scenarios Using Simulation Model Results", International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2014, 2 (2), 339-358.

Chapra S, Pelletier G and Tao H, "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, 2006.

Fan C, Ko CH, Wang WS, "An innovative modeling approach using qual2k and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation", Journal of Environmental Management, 2009, 90 (5), 1824-1832.

Mathew M, Yao Y, Cao Y, Shodan Kh, Ghosh I, Bucci V, Leatao Ch, Njoka D, Wei I, Hellweger L, "Anatomy of an urban waterbody: A case study of bostons mudyy river", Enviromental Pollution, 2011, 159 (8-9), 1996-2002.

Mehrasbi MR, Farahmand Kia Z, "Water Quality Modeling and Evaluation of Nutrient Control Strategies Using QUAL2K in the Small Rivers", Journal of Human Environment and Health Promotion, 2015, 1 (1), 1-11.

Pelletier G, Chapra S, "QUAL2Kw theory and documentation A modeling framework for simulating river and stream water quality",

Environmental Assessment Program Olympia, Washington, 2008, 98504-7710.

Rafiee M, Akhond Ali AM, Moazed H, Jaafarzadeh N, Zahraie B, "A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River, Iran", Journal Of Hydraulic Structures, 2013, 1 (2), 10-22.

Zhang R, Qian X, Yuan X, Ye R, Xia B, Wang Y, "Simulation of Water Environmental Capacity and Pollution Load Reduction Using QUAL2K for Water Environmental Management", International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, 9 (12), 4504-4521.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 50 (2020), Issue 1 (Spring), 33-41

EXTENDED ABSTRACT

Evaluating the Effects of Constructing Urban and Agricultural Wastewater Treatment Plants on Improvement of Quality and Contamination Trends of Dez River

Nafise Rafiee, Arash Azari *

Faculty of Science and Agriculture Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 26 October 2017; **Accepted:** 22 September 2018

Keywords:
QUAL2K model, Treatment plants, Dez river, Quality, Contamination.

1. Introduction

Dez River, as the third largest river of Iran, plays a major role in the economic, social, and environmental life of the north part of Khuzestan Province. The urban, industrial, and agricultural wastewater along with the sugar cane project have confronted the river life with challenges, especially in critical sections. The population growth, the reduction in river discharge, and inter-basin water transfer projects have a direct effect on the escalation of river pollution. Considering the recent investments conducted by the government in order to construct treatment plants in the region, the aim of this study was to investigate the trend of qualitative changes and then to evaluate the effects of implementing municipal, agricultural, and industrial wastewater treatment plants on the quality and contamination of the river, especially in sensitive sections.

2. Methodology

2.1. Study area

Dez River consists of two main branches called Cezar and Bakhtiari, which enter the plain of Khuzestan after leaving the mountainous area in the north of Andimeshk and Dezful. After passing through the city of Dezful, the river flows southward and joins Shtuta and Gorgar rivers at a place called Band-e-Ghir to form the large Karoon River. The studied area is the Dez River between Dezful diversion dam and Band-e-Ghir station.

2.2. Qualitative simulation of Dez River

Investigating the effect of treatment plants, whether agricultural, urban, or industrial, on the qualitative trend of rivers requires the study of the effects of contaminants on river water. To simulate the quality trend of the river, the QUAL2K model was used. This model can solve river equations in both permanent and quasi-dynamic conditions (Chapra et al., 2006). Throughout the river, for each element, the flow equilibrium was carried out for steady state in according to equation (1) (Pelletier and Chapra, 2008):

$$Q_i=Q_{i-1}+Q_{in,i}-Q_{ab,i} \quad (1)$$

Where Qi is the output flow from the ith interval, Qi-1 is the output flow from the i-1th interval, Qin,i is the input flow from all point and non-point sources to the ith interval, and Qab,i is the output flow from all point and non-point sources existing from the ith interval. For all variables excluding algae, the equilibrium mass equation in the water column is calculated using the following equation (Pelletier and Chapra, 2008)

* Corresponding Author
E-mail addresses: nafise.rafiee1990@gmail.com (Nafise Rafiee), a.azari@razi.ac.ir (Arash Azari).

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i) \quad (2)$$

Where Qi is the discharge (m3/d), Qab (m3/d), Vi is the volume (m3), Ei is the diffusion coefficient between the ith and the i+1th branches (m3/d). Wi is the load by contaminant to the branch (g/d), Si is the input and output sources of contaminants (g/m3/d), and c2,i is the concentration of the quality component in the hyporheic sediment zone.

Regarding the hydraulic conditions of the Dez River, the distance between the diversion dam and Bande-Ghir dick was divided into 133 intervals. At each interval, the geometric attributes and point sources of input and output were considered into Dez River. In general, contaminants discharged into the river include the drainage water of Dezful plain and the sewage of sugar cane of Haft Tape, Miyanab, Imam Khomeini, and part of Karun sugar cane, which involve a large part of the lands in the region, discharge into the river by 15 drains as point outlets. In addition, the cities of Dezful, Safi Abad, Hor, and Miyanrud, which are located at the banks of Dez River, drain their sewage to the river without treating. The exiting water from Hayat fish farming ponds and sewage system of Haft Tape Sugar Cane Complex and Pars Paper Factory are also directly entering into the river. Considering the flow conditions and input contaminant sources, as well as the capabilities and abilities of treatment plants to refine specific parameters, the trends of parameters including dissolved oxygen (DO), biological oxygen demand (BOD), nitrogen nitrate (N-NO3), and electric conductivity (EC) were simulated along the river. Then the model was calibrated and validated.

2.3. Simulation scenarios and locating the refineries

Three scenarios were implemented separately. The first scenario is the simulation of river quality with regard to actual conditions and the evacuation of contaminants, through which critical intervals were also identified. In the second scenario, in the most critical intervals of contaminant intensity, for contaminant sources with the highest contamination, refineries were considered to determine the impact of these on reducing the river contaminant. In the third scenario, the parameters at all point sources were corrected according to the standard of sewage discharge into surface water and then were drained into the river.

3. Results and discussion

In the first scenario with the aim of assessing the quality of the Dez River, the model was implemented under the current conditions. First, all the hydraulic, meteorological, and qualitative data were entered into the model and the model coefficients were calibrated in accordance with Table 1.

Table 1. Results of calibration (model coefficients)

Parameter		Value	Symbol	Unit	Lower limit	Higher limit
Fast CBOD	Oxidation rate	0.706	Kdc	/ d	0	5
Ammonium	Nitrification	0.425	kna	/ d	0	10
Nitrate	Denitrification	1.23	kdn	m/d	0	2
	Sed Denitrification	0.5	Vdi	m/d	0	1

Then, in the validation step, the values of r and NRMSE statistics were obtained to be between 0.89 and 0.99, and between 09.09 and 0.17, respectively. Due to the frequent discharge of urban and industrial wastewater with high BOD and, on the other hand, a significant decrease in river discharge due to water withdrawal in the first half of the route, the river is in a critical condition in terms of BOD, which also has reduced dissolved oxygen. The results of the second scenario showed that despite the fact that the construction of refineries caused a relative improvement in the amount of the considered parameters, it further reduced the amount of BOD and had a small effect on electrical conductivity induced by the evacuation of agricultural contaminants.

The results of the third scenario showed that discharging contaminants in accordance with the relevant standards would improve the acceptability of all the simulated parameters. In addition, the amount of EC resulting from this scenario is suitable for irrigating all plants and in light and medium texture soils. In the case of nitrate, in any of the contaminants discharged into the river, the dose does not exceed 50 milligrams per liter, so there is no need to decrease in the third scenario.

4. Conclusions

The present study aims at studying the quality trend of Dez River due to the discharge of urban, industrial, and agricultural contaminants, determining the critical intervals for the contaminants intensity of DO, BOD, N-NO3, and EC, and finally, investigating the effect of the refinery plants and reducing the point sources along the

river. In this research, it was found that the river is in a critical condition in terms of BOD and EC by applying various managerial scenarios. Constructing a refinery for all sources of contamination seems to be an extremely costly and impossible solution. Therefore, it is suggested to first refine all sewage of Dezful, fish farming wastewaters, Haft Tape Complex, and Pars Paper Factory and discharge them. However, in the case of agricultural drains, corrective measures must be taken such as revising the type of irrigation systems, consuming fertilizers, modifying crop pattern of the region and so on.

5. References

Chapra S, Pelletier G and Tao H, "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, 2006.

Pelletier G and Chapra S, "QUAL2Kw theory and documentation A modeling framework for simulating river and stream water quality", Environmental Assessment Program Olympia, Washington, 2008, 98504-7710.