

تعیین تعداد ایستگاه‌های لازم در پایش کیفی آب رودخانه‌ها براساس ملاحظات زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی (رودخانه گدارچای)

اسفندیار عباس نوین پور*^۱؛ همایون مقیمی^۲؛ میرخالق فلاح^۳

۱- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور ابهر، ابهر، ایران

۳- کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور ابهر، ابهر، ایران

(تاریخ دریافت ۰۰/۰۲/۲۸- تاریخ پذیرش ۰۰/۰۹/۲۰)

چکیده:

افزایش تعداد ایستگاه‌های پایش کیفی آب و نمونه‌برداری‌های متعدد، از جمله اقدامات بهبود بهره‌وری عملیات کنترل کیفیت آب رودخانه‌ها به‌شمار می‌رود؛ ولی از آنجا که این کار، هزینه‌های سالانه پایش را به‌شدت افزایش خواهد داد، سعی می‌شود ایستگاه‌های بااهمیت، پارامترهای مهم و تواتر زمانی اندازه‌گیری آنها، با روش‌های علمی تعیین شوند؛ به‌طوری که بتوان بیشترین تغییرات سیستم تحت بررسی را تبیین کرد. آلودگی روزافزون رودخانه‌ها گاه سبب عدول از حد خودپالایی رودخانه می‌شود و خسارات زیادی به محیط زیست آن وارد می‌کند. بنابراین در این تحقیق ضمن مدل‌سازی رفتار رودخانه گدارچای با مدل QUAL2K در شرایط ورود پساب نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه (AHP) به اولویت‌بندی ایستگاه‌های پایش موجود در رودخانه پرداخته شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که پارامترهای کیفی در طول رودخانه با ورود فاضلاب‌های روستایی روند رو به افزایشی داشتند. نتایج شاخص کیفی با روش WQI نشان داد؛ کیفیت در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه یعنی ایستگاه‌های ۷ و ۸ در حالت خوب و به‌نسبت خوب است که علت آن افزایش بار آلودگی در این ناحیه از رودخانه نسبت به ایستگاه‌های بالادست است. در این پژوهش هشت ایستگاه پایش کیفی رودخانه گدارچای با معیارهای اصلی C1 (کاهش ریسک بهره‌برداری از آب رودخانه)، C2 (هزینه پایش کیفی آب در ایستگاه‌ها)، C3 (برانگیختن حداقل حساسیت‌های اجتماعی) و C4 (ملاحظات فنی) برای هشت ایستگاه با روش AHP بررسی و اولویت‌بندی شدند. نتایج وزن معیارها به‌صورت C1=0.483، C2=0.157، C3=0.272 و C4=0.088 و وزن ایستگاه‌های ۱ تا ۸ به‌ترتیب ۵/۱، ۷/۹، ۸/۶، ۱۶/۳، ۱۷/۵، ۱۶/۲ و ۱۲ به‌دست آمد که مؤید اهمیت و اولویت ایستگاه ۶ است.

کلید واژگان: ایستگاه پایش کیفی، تصمیم‌گیری چندشاخصه، کیفیت آب رودخانه، QUAL2K، WQI

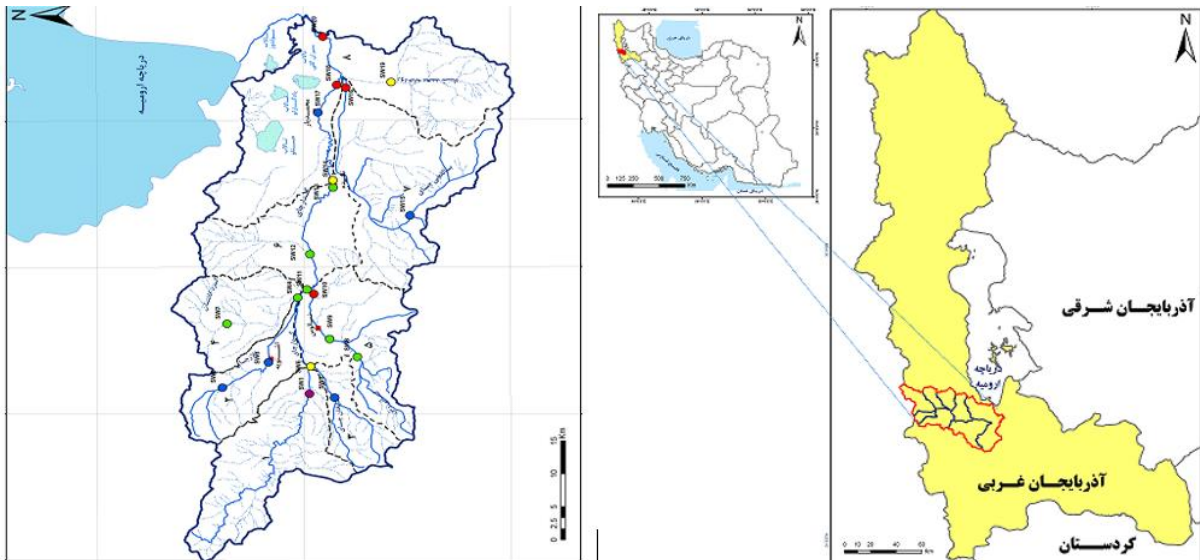
۱. مقدمه

آب با آنکه منبعی تجدیدپذیر است، به اندازه‌های محدود و معین در طبیعت وجود دارد. با رشد جمعیت و افزایش نیاز، فشار به این آبهای محدود رو به افزایش است. ایران از نظر جغرافیایی در منطقه نیمه‌خشک و خشک جهان قرار دارد، به طوری که میانگین بارش در حدود ۲۵۰ میلی‌متر است؛ در حالی که میانگین جهانی بارش در حدود ۸۵۰ میلی‌متر است که بیش از سه برابر بارش ایران است (Moghimi, 2019). از طرف دیگر پراکنش نزولات جوی در کشور بسیار ناموزون است، به گونه‌ای که در مناطق شرقی و مرکزی بارندگی‌های سالانه از حدود ۵۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند، در حالی که در مناطق شمالی این مقدار تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر در تغییر است. از دیگر سو، جمعیت ایران از سال ۱۳۰۰ تا ۱۳۹۲ از ۸ میلیون به حدود ۸۰ میلیون نفر رسید. بر این اساس، مقدار سرانه آب تجدیدپذیر از ۱۳۰۰۰ متر مکعب بر سال در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۴۰۰ متر مکعب بر سال در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته است و انتظار می‌رود این روند ادامه داشته باشد و به کمتر از ۱۴۰۰ متر مکعب بر سال برسد (Moghimi, 2019). این در حالی است که در حدود ۲۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر کشور در معرض آلودگی قرار دارند (Hakimpour, 2005). در صورتی که این رقم در جهان در حدود ۶۷۰۰ متر مکعب بر سال برای هر نفر است (Moghimi, 2019). محافظت از رودخانه‌ها و پاکسازی آنها به مثابه مهم‌ترین منابع آب سطحی در دسترس که تأمین‌کننده نیاز آبی بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت هستند، در سال‌های گذشته به طور ویژه مورد توجه سازمان‌های ملی و بین‌المللی مسئول کنترل کیفیت و حفاظت منابع

آب بوده است (Karamoz & Karachian, 2003). تحقیقات زیادی در زمینه پایش کیفی رودخانه‌ها با شاخص‌های مختلف در مناطق مختلف انجام گرفته است. Walker *et al.*, (2015) با استفاده از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، کیفیت آب رودخانه دانوب در صربستان را بررسی کردند. نتایج به دست آمده از داده‌های موجود در سال ۲۰۱۰ تجزیه و تحلیل شده و با شاخص کیفیت آب صربستان (SWQI) مقایسه شد. یافته‌های آنان نشان داد که کاربرد این روش‌ها در مقایسه با کاربرد فقط SWQI، اطلاعات بیشتری از داده‌های موجود استخراج می‌کند. (Elsayed (2014) از مدل QUAL2K و شاخص آلودگی رودخانه‌ها برای مدیریت کیفیت آب در کانال محمودیه مصر استفاده کرد و دریافت که در وضعیت فعلی کانال، بیشترین آلودگی در پاییز رخ می‌دهد و کیفیت پساب در همه ورودی‌های تصفیه‌خانه‌ها در امتداد کانال دارای آلودگی متوسط است. در فصول دیگر آلودگی پساب در بیشتر WTPها در استان بحیره در حد متوسط و در استان اسکندریه در حد ناچیز بود. وی نشان داد که با کنترل تخلیه فاضلاب Rahawy با تصفیه بارهای آلودگی قبل از مخلوط شدن با شاخه Rosetta مشکلات محمودیه حل خواهد شد و می‌توان از ایستگاه پمپ Edko در تابستان، زمستان و بهار از نو استفاده کرد. Chowdhury *et al.*, (2018) در تحقیقی به ارزیابی کیفیت آب و شبیه‌سازی تأثیر منابع آلودگی شهری حوضه سانکای سلانگور پرداختند. آنها وضعیت کیفیت آب رودخانه را با شاخص WQI و شبیه‌سازی را با مدل QUAL2K انجام دادند و به این منظور از پارامترهای کیفی BOD، DO و NH₃-N برای

مدلسازی استفاده کرده و پنج سناریو برای مدل‌سازی تعریف کردند. نتایج WQI نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های این حوضه در کلاس III قرار دارند. نتایج شبیه‌سازی برای سناریوهای مختلف نشان داد که در صورت استفاده کامل از سناریو پنج سطح BOD و NH₃-N به ترتیب ۵۵/۱ درصد و ۶۶/۱۸ درصد به دست می‌آید. Aghae et al., (2018) کیفیت آب رودخانه چهل‌چای را با استفاده از شاخص IRWQI_{sc} بررسی کردند و نتیجه گرفتند که براساس شاخص IRWQI_{sc} آب رودخانه چهل‌چای در رده کیفی به نسبت خوب قرار می‌گیرد. همچنین میزان شاخص IRWQI_{sc} در جهت جریان از بالادست به سمت خروجی حوضه کاهش می‌یابد که بیانگر کاهش کیفیت آب رودخانه است. نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی رابطه مستقیمی بین دبی رودخانه و شاخص IRWQI_{sc} وجود دارد، به طوری که با افزایش دبی رودخانه، شاخص IRWQI_{sc} نیز افزایش یافت. از نظر Khodamoradi, et al (2021) پایش و نظام پایش جزء موضوعات مهم و اساسی هر کشور است. از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی عملکرد شبکه پایش کیفی رودخانه‌های کشور با در نظر گرفتن معیارهای مختلف استفاده شده است. در این تحقیق کل ایستگاه‌های کیفی رودخانه‌ای کشور با چهار معیار اصلی اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، و مدیریتی و فنی در نظر گرفته شد. وزن معیارها توسط کارشناسان خبره در زمینه منابع آب مشخص شد. وزن گزینه‌ها با استفاده از استانداردهای ریاضیات و روش فرایند تحلیل شبکه‌ای محاسبه شد. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای به منظور اصلاح روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و

بر اساس روش سوپر ماتریس‌ها معرفی شده است. در نهایت، نتایج با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای، نسبت سازگاری و آنالیز حساسیت کنترل شد. بیشترین چالش‌ها در معیار مدیریتی و فنی خلاصه شد. معیار زیست‌محیطی و سلامت آب رتبه بعدی را داشت و در نهایت معیارهای بعدی اقتصادی و اجتماعی به دست آمد. Akhoni and Ebrahimi (2019) به ارزیابی کاربرد آنتروپی شانون در تعیین کیفیت آب‌های سطحی رودخانه‌های کارون و بابلرود پرداختند. در این پژوهش از داده‌های ماهانه کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، سدیم، سولفات، EC، pH و TDS از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۴ برای رودخانه‌های کارون در ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز، دارخوین، گتوند و ملاتانی و رودخانه بابلرود در ایستگاه‌های هیدرومتری قرآن‌تالار و کشتارگاه استفاده شد. نتایج نشان داد که آنتروپی شانون می‌تواند به خوبی وزن‌دهی را انجام دهد و اختلاف جزئی بین وزن‌دهی آنتروپی شانون و وزن‌دهی‌های سازمان بهداشت جهانی وجود دارد. وزن‌دهی‌های حاصل از آنتروپی شانون و پارامترهای مؤثر در کیفیت آب در رودخانه کارون در ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز $pH=0/15$ ، دارخوین $TDS=0/11$ ، گتوند $EC=0/13$ و ملاتانی $pH=0/15$ ، همچنین در رودخانه بابلرود در ایستگاه هیدرومتری قرآن‌تالار و کشتارگاه وزن‌دهی‌ها براساس آنتروپی شانون و پارامترهای مؤثر در کیفیت آب به ترتیب $pH=0/15$ و $TDS=0/14$ است. مقادیر شاخص کیفیت آب در رودخانه کارون با توجه به شاخص WQI در دامنه عالی و خوب و برای رودخانه بابلرود در وضعیت عالی است. ارزیابی کارایی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب و بهبود مؤلفه‌های مختلف این سامانه‌ها مانند مکان‌یابی محل



شکل ۱- نمای حوضه گدارچای و آبراهه‌های حوضه گدارچای و موقعیت ایستگاه‌ها

رودخانه دانست (Mohammadi Lord, 2009) در مدل تصمیم‌سازی مذکور، نتایج مدل‌سازی کیفی رودخانه به‌همراه دیگر اطلاعات مکانی و میدانی تجزیه و تحلیل می‌شود و بدین ترتیب می‌توان ایستگاه‌های جدیدی را در حاشیه رودخانه‌ای خاص، با توجه به وضع موجود آن و الزامات حداقلی زیست‌محیطی احداث کرد.

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲. منطقه پژوهش

منطقه پژوهش در حوضه آبریز رودخانه گدارچای در مجاورت حوضه‌های آبریز باراندوزچای، زاب و مهاباد قرار گرفته است. رودخانه اصلی این حوضه گدارچای است که از دامنه کوه‌های دالامپر بزرگ و بادگوله سرچشمه می‌گیرد و در طول مسیر جریان به سمت دریاچه ارومیه، شاخه‌هایی پرآب به نام رودخانه‌های قلازچای، کانی‌رش و شیخان‌چای به آن می‌ریزند. در پایین‌دست شهر نغده نیز دوشاخه کم‌آب‌تر یعنی رودخانه بالقچی‌چای و محمدشاه به آن می‌پیوندند. در نهایت رودخانه گدارچای پس از گذشتن از پل سنتو (بهراملو) به موازات مهابادچای به دریاچه ارومیه

احداث ایستگاه‌های پایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله روش‌های دستیابی به این هدف، ایجاد و افزایش ایستگاه‌های پایش کیفی آب و همچنین افزایش فراوانی نمونه‌برداری‌هاست، به گونه‌ای که متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده در این ایستگاه‌ها، تا حد امکان بیانگر کل تغییرات کیفی آب در این سیستم‌ها باشد. از آنجا که این موضوع هزینه‌های سالانه پایش را به شدت افزایش می‌دهد، تعیین ایستگاه‌های بااهمیت‌تر، پارامترهای اصلی و تواتر زمانی اندازه‌گیری آنها به طوری که بیشترین تغییرات سیستم را بیان کنند، می‌تواند در تصمیم‌گیری آینده برای بهینه‌سازی شبکه پایش موجود، حذف یا اضافه کردن ایستگاه‌ها و پارامترهای جدید و بهنگام‌سازی فراوانی نمونه‌برداری‌ها مؤثر باشد.

به‌طور کلی، اهداف اصلی پژوهش حاضر را می‌توان تعیین ظرفیت خود پالایی رودخانه و مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش با استفاده از خروجی‌های مدل QUAL و همچنین تهیه مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر تحلیل‌های سلسله‌مراتبی (AHP) برای مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید پایش کیفی آب در حاشیه

تعیین تعداد ایستگاه‌های لازم در پایش کیفی آب رودخانه‌ها...

جدول ۱- پارامترهای ورودی و خروجی مدل QUAL2K (Chapra & Pelletier, 2003)

خروجی مدل	ورودی مدل	پیش‌فرض مدل
دمای آب، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد معلق، DO، BOD5، آمونیوم، نیترات، فسفر کل، قلیابیت، pH	دبی، تخلیه و برداشت مازاد از آب رودخانه در طول بازه، دمای آب، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد معلق، DO، BOD5، آمونیوم، نیترات، فسفر کل، قلیابیت، pH	دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، میزان ابرناکی (پوشش ابری)، شدت سایه

جدول ۲- داده‌های کیفی رودخانه گدارچای

T °C	درجه حرارت	۱۰
μ mho/cm	EC	۱۹۰
mgD/L	Inorganic Solids	۱۵۰
mg/L	Dissolved Oxygen	۸/۲
mgO ₂ /L	CBOD _{fast}	۴/۸
μgN/L	NH ₄ -Nitrogen	۶۴
μgN/L	NO ₃ -Nitrogen	۱۰۰۰
μgP/L	Inorganic Phosphorus	۴۰
mgCaCO ₃ /L	Alkalinity	۱۱۰
---	pH	۸/۴۵

(بالقچی چای) به شاخه اصلی (رودخانه گدار) به صورت نقطه‌ای به شاخه اصلی می‌ریزد. قسمت اندکی از فاضلاب شهری نقده که هنوز به شبکه فاضلاب شهری متصل نشده و نیز فاضلاب روستاهای حاشیه رودخانه گدار به صورت غیرنقطه‌ای وارد رودخانه گدار می‌شود.

۲-۲. مدل QUAL2K

مدل QUAL2K یک قطعه از رودخانه را به چند المان محاسباتی تقسیم می‌کند و برای هر المان موازنه هیدرولوژیکی را برحسب دبی (m³/s)، موازنه حرارتی را برحسب دما (°C) و موازنه جرم را بر اساس غلظت (mg/l) انجام می‌دهد. معادله یک‌بعدی انتقال جرم، جابه‌جایی-انتشار، معادله اساسی و حاکم بر مدل QUAL2K که به صورت عددی است. برای هر پارامتر کیفی آب نسبت به مکان و زمان نوشته

می‌ریزد. مساحت گستره انتخاب شده ۱۰۷۴/۹ کیلومتر مربع و طول شاخه اصلی رودخانه گدارچای در آن ۱۰۷ کیلومتر است. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و نبود دسترسی و همچنین ناامنی ناشی از نزدیکی به مرز عراق، نقاط روستایی محدودی در این گستره وجود دارد و دسترسی به مناطق بالادست امکان‌پذیر نیست. با توجه به شرایط موجود، طول قسمت مدنظر رودخانه در این تحقیق ۷۷/۲ کیلومتر انتخاب شد. کاربری عمده اراضی، مراتع غنی و در برخی نواحی کشاورزی (اغلب مخلوط دیم و باغ) است. قسمتی از فاضلاب شهری نقده که به صورت شبکه فاضلاب جمع‌آوری می‌شود، پس از عبور از تصفیه‌خانه مرکزی شهر به صورت نقطه‌ای وارد یکی از شاخه‌های فرعی گدارچای به نام بالقچی چای می‌شود و در محل اتصال شاخه فرعی

جدول ۳- داده‌های کیفی در طول رودخانه گدارچای

NO3 (µgN/L)	NH4 (µgN/L)	CBODf (mgO2/L)	DO (mgO2/L)	EC (µmho/cm)	X (Km)	Station No
۱۰۰۰	۶۴	۴/۸	۸/۲	۱۹۰	۲/۵۴	۱
۱۰۰۰/۰۸	۶۳/۹۲	۴/۷۸	۸/۱۸	۱۹۰	۲/۳۹	۲
۱۲۲۸/۵۶	۱۰۲/۳۵	۵/۵	۷/۵۷	۲۱۳/۶۴	۲/۰۸	۳
۱۲۲۸/۷۱	۱۰۲/۲	۵/۴۷	۸/۵۱	۲۱۳/۶۴	۱/۷۲	۴
۱۲۲۸/۹۲	۱۰۱/۹۸	۵/۴۲	۸/۴۷	۲۱۳/۶۴	۱/۲۶	۵
۱۲۳۰/۸۴	۱۰۰/۰۵	۵/۴۱	۸/۴۹	۲۱۳/۶۴	۰/۷۶	۶
۱۲۳۲/۷۷	۹۸/۱۲	۵/۴	۸/۵۱	۲۱۳/۶۴	۰/۲۵	۷
۱۲۳۲/۷۷	۹۸/۱۲	۵/۴	۸/۵۱	۲۱۳/۶۴	۰	۸

جدول ۴- پارامترهای شاخص IRWQIsc و وزن‌های آنها

واحد	وزن	پارامتر	ردیف	واحد	وزن	پارامتر	ردیف
mg/l	۰/۰۹	آمونیم	۷	MNP/100ml	۰/۱۴	کلیفرم مدفوعی	۱
mg/l	۰/۰۸۷	فسفات	۸	mg/l	۰/۱۱۷	BOD5	۲
NTU	۰/۰۶۲	کدورت	۹	mg/l	۰/۱۰۸	نیتрат	۳
mg/l	۰/۰۵۹	سختی کل	۱۰	درصد اشباع	۰/۰۹۷	اکسیژن محلول	۴
استاندارد	۰/۰۵۱	pH	۱۱	میکروزیمنس بر سانتیمتر	۰/۰۹۶	هدایت الکتریکی	۵
				mg/l	۰/۰۹۳	COD	۶

شوند، گزینه سرریز کاربرد خواهد داشت؛ ۲- اگر به‌جای مشخصات سرریز، مقدار ضرایب منحنی سنجه وارد مدل شود، گزینه منحنی سنجه استفاده خواهد شد؛ ۳- در غیر این‌صورت مدل از گزینه معادله مانینگ استفاده خواهد کرد. برای استفاده از مدل QUAL2K برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه، به برخی اطلاعات و داده‌های اولیه نیاز است که در جدول ۱ آورده شده است (Chapra & Pelletier, 2003).

۲-۲-۱. کالیبراسیون (واسنجی) مدل

در این تحقیق واسنجی مدل به طریق تغییر در ضرایب سینتیکی اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، ضرایب هوادهی مجدد، آمونیاک، نیترات و فسفر غیر آلی در محدوده‌های ارائه‌شده در کتابچه راهنمای

می‌شود. مدل QUAL2K جریان را غیریکنواخت و پایدار فرض می‌کند. برای هر پارامتر کیفی آب (C)، این معادله به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$(1)$$

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{di}}{V_i} c_i + \frac{E_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E_i}{V_i} (c_i - c_{i+1}) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E_{0,gr}}{V_i} (c_{gr} - c_i)$$

که در آن c : غلظت (g/m³)؛ E : ضریب پخش بین المان i و $i+1$: Q : دبی (m³/d)؛ w : بار آلودگی خارجی ورودی به المان i : V : حجم المان i : S : منابع و مصارف ناشی از واکنش و انتقال جرم (g/m³d)؛ t : زمان (d).

مدل QUAL2K برای محاسبه عمق و سرعت آب، دو روش منحنی سنجه و معادله مانینگ را پیشنهاد می‌دهد. برنامه از بین این سه گزینه براساس اصول انتخاب خواهد کرد: ۱- اگر ارتفاع و عرض سرریز وارد

جدول ۵- مقدار عددی شاخص و مقدار توصیفی آن

مقدار شاخص	معادل توصیفی	مقدار شاخص	معادل توصیفی
۵۵/۱-۷۰	به نسبت خوب	کمتر از ۱۵	خیلی بد
۷۰/۱-۸۵	خوب	۱۵-۲۹/۹	بد
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب	۳۰-۴۴/۹	به نسبت بد
		۴۵-۵۵	متوسط

انتخاب شد. در این سناریوها مکان نقاط بحرانی از نظر آلودگی متغیر است و بسته به دبی جریان و نقاط اعمال آلودگی، شرایط متفاوتی خواهند داشت. در این تحقیق از نتایج نمونه برداری کیفیت آب رودخانه گذارچای در سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. دبی جریان در تاریخ یکم خرداد ۱۳۹۵، ۲۰ متر مکعب بر ثانیه بود. داده‌های کیفی از سراب تا پایین دست رودخانه گذارچای در ایستگاه‌های مختلف و در طول رودخانه در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

در حدفاصل نقطه اتصال بالقچی چای به گذارچای تا پل بهراملو، فاضلاب روستاهای موجود در مسیر و فاضلاب شهری محمدیار به دلیل نبود شبکه فاضلاب، به صورت غیرنقطه‌ای به رودخانه گذار وارد می‌شود. در این پژوهش سه سناریو تعریف شد. هدف از تعریف سناریوی اول، مدل‌سازی شرایط موجود و واقعی است. رویکرد اصلی تعریف سناریوی دوم حذف آلودگی‌هاست. در این سناریو با فرض استفاده از سپتیک در روستاهای حاشیه رودخانه و احداث شبکه فاضلاب شهری و تصفیه‌خانه در شهرهای واقع در حوزه آبخیز رودخانه گذارچای که موجب حذف آلودگی‌های ورودی به رودخانه می‌شود، تأثیر آن در محل قرارگیری ایستگاه‌های پایش کیفی بررسی می‌شود. سناریوی سوم با در نظر گرفتن دوبرابر شدن آلودگی‌های ورودی و تأثیر آن و محاسبات مربوط به نرم‌افزار تعریف شد. دلیل دوبرابر شدن آلودگی‌ها، تأثیر افزایش روزافزون جمعیت در حوضه آبخیز

مدل QUAL2K برای چهار دوره فصلی تا حد تطابق نتایج شبیه‌سازی مدل با داده‌های مشاهداتی انجام گرفت.

۲-۳. نحوه تعیین شاخص کیفیت آب رودخانه

(WQI)

این شاخص با مقیاسی نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است، دسته‌بندی می‌شود. مراحل محاسبه شاخص IRWQISC عبارت است از: ۱- انتخاب پارامترها بر اساس جدول ۴؛ ۲- تبدیل غلظت اکسیژن محلول (DO) برحسب میلی‌گرم بر لیتر (به درصد اشباع) در صورت نیاز؛ ۳- تعیین وزن هر پارامتر با استفاده از جدول ۴؛ ۴- به دست آوردن مقدار شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی (جدول ۵). مقدار شاخص با استفاده از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

(۲)

$$IRWQI_{sc} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

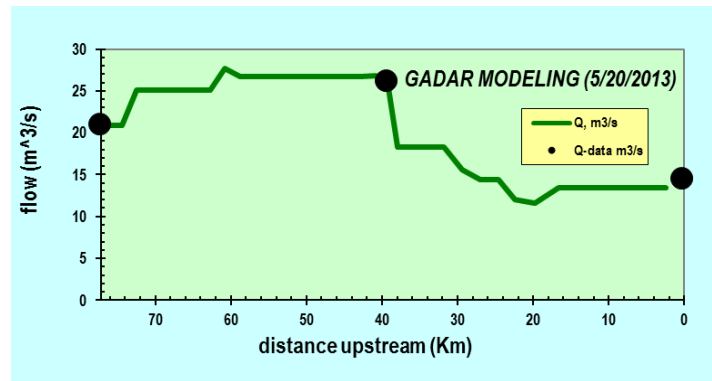
(۳)

$$\gamma = \sum_{i=1}^n w_i$$

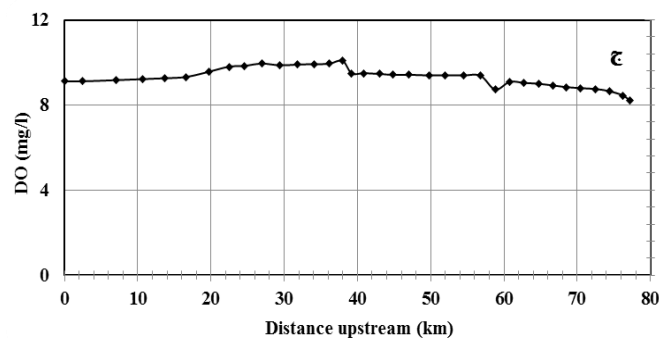
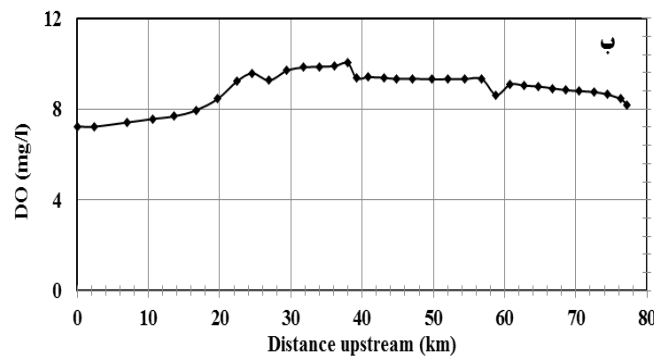
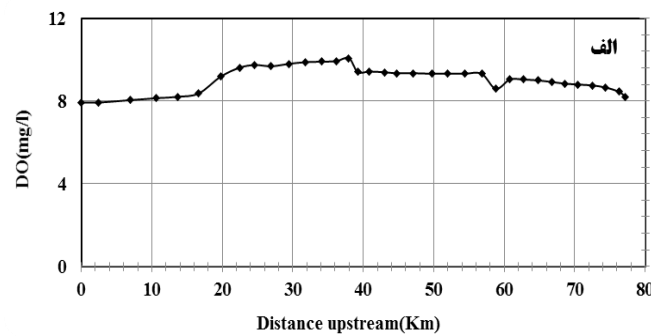
که در آن w_i : وزن پارامتر i ام، n : تعداد پارامترها و I_i : مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی است.

۲-۳-۱. سناریوها

در این تحقیق سه سناریو بسته به اهداف تعریف شده



شکل ۲- نمودار شبیه‌سازی شده شدت جریان رودخانه گذارچای در اردیبهشت ۱۳۹۲



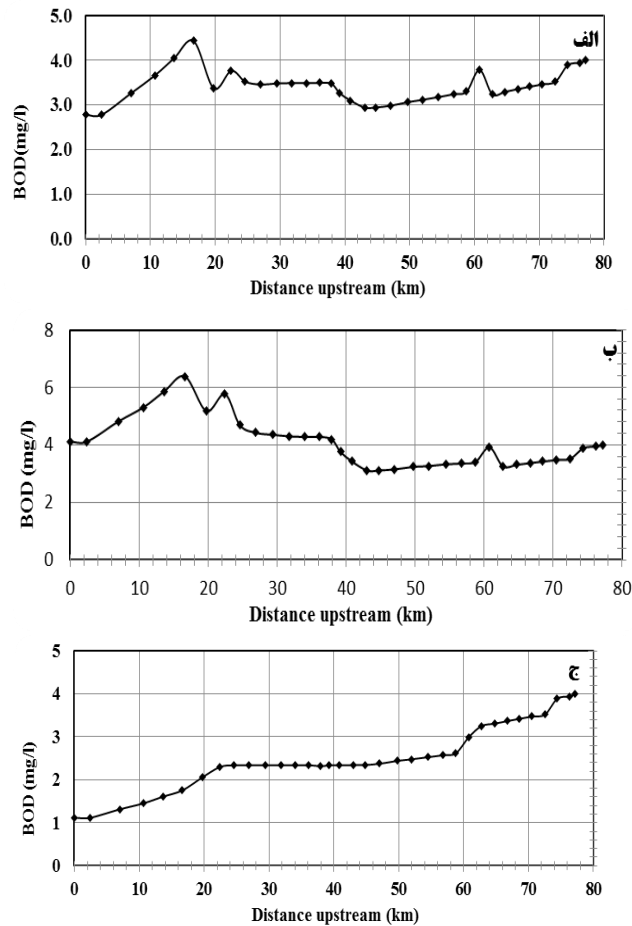
شکل ۳- الف) نمودار شبیه‌سازی شده اکسیژن محلول رودخانه گذارچای در اردیبهشت ۱۳۹۲؛ ب) سناریوی افزایش بار آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای رودخانه؛ ج) سناریوی حذف بار آلودگی غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای.

تعریف سناریوی سوم بوده است.

۲-۴- مدل AHP

مدل AHP یک رویه پشتیبانی تصمیم‌گیری است که

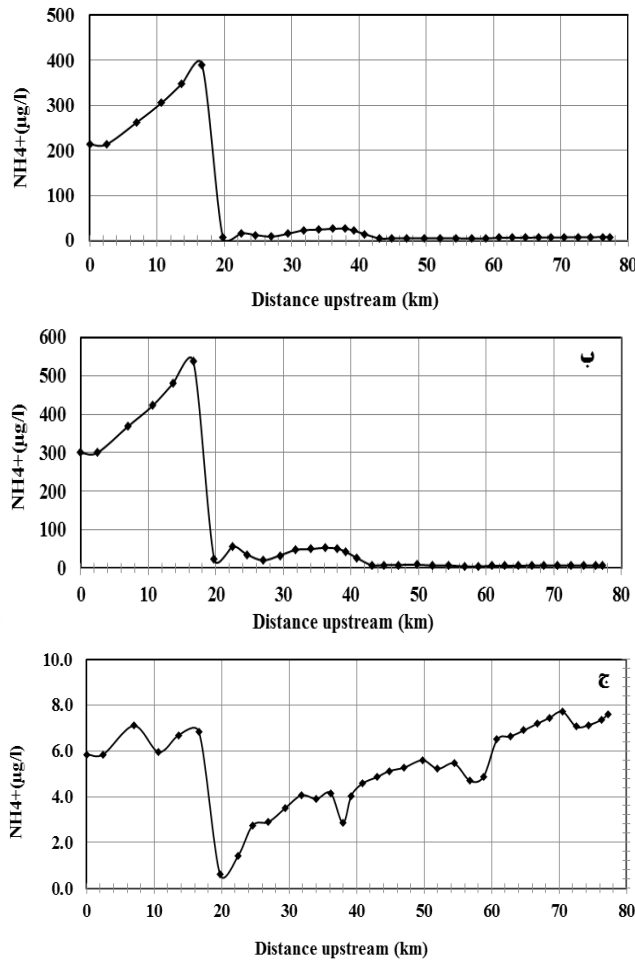
رودخانه و خروجی‌های پساب کشاورزی به داخل رودخانه بوده است افزون بر آن، تداوم آلودگی‌های موجود در طول مسیر رودخانه و اثر آن بر انتخاب بهترین فاصله بین ایستگاه‌های پایش، از دیگر اهداف



شکل ۴- الف) نمودار شبیه‌سازی شده اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی رودخانه گدارچای در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲؛ ب) سناریوی افزایش بار آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای رودخانه؛ ج) سناریوی حذف بار آلودگی غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای.

اصول بنا نهاد. این اصول عبارت‌اند از:
 اصل ۱: شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر 1/n خواهد بود؛
 اصل ۲: اصل همگنی: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد؛
 اصل ۳: وابستگی: هر عنصر سلسله‌مراتبی می‌تواند به عنصر سطح بالاتر خود وابسته باشد و به‌صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد؛
 اصل ۴: انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله‌مراتبی رخ دهد، فرایند ارزیابی باید از نو انجام

توسط ساعتی در سال ۱۹۸۸ برای مواجهه با تصمیم‌گیری‌های پیچیده، بی‌ساختار و چندمعیاره ایجاد شد. مدل AHP را می‌توان در زمینه‌های گوناگون تصمیم‌گیری به‌کار برد. سه مرحله اساسی و پایه‌ای AHP عبارت است از: ۱. تشریح یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده به‌صورت سلسله‌مراتبی؛ ۲. استفاده از تکنیک‌های مقایسه‌های زوجی برای تخمین اولویت‌های نسبی شاخص‌های گوناگون در هر مرحله از برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی؛ ۳. ترکیب این اولویت‌ها برای ارزیابی کلی گزینه‌های تصمیم‌گیری (Mohammadi Lord, 2009). ساعتی چهار اصل زیر را به‌عنوان اصول فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بیان کرد و همه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این



شکل ۵- نمودار الف) شبیه‌سازی شده نیتروژن آمونیاکی رودخانه گدارچای در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲؛ ب) سناریوی افزایش بار آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای رودخانه؛ ج) سناریوی حذف بار آلودگی غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای

۴. ملاحظات فنی (C4).

از مدل AHP برای اولویت‌بندی ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ی گدارچای استفاده شد و بدین منظور مدل در نرم‌افزار Expert Choise اجرا شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. نتایج مدل‌سازی QUAL2K

داده‌های نمودار شبیه‌سازی شده شدت جریان رودخانه گدارچای در اردیبهشت ۱۳۹۲ در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شدت جریان رودخانه در سرآب ۲۰/۹ متر مکعب بر ثانیه است. با ورود رودخانه‌های شیخان‌چای و گل‌زچای در کیلومترهای ۷۲/۷ و ۶۱/۴۴، شدت

گیرد.

مراحل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

مراحل تحلیل سلسله‌مراتبی عبارت‌اند از:

• ساختن سلسله‌مراتب و تشکیل جدول‌های مقایسه‌های زوجی؛

• مقایسه‌های زوجی و محاسبه اوزان؛

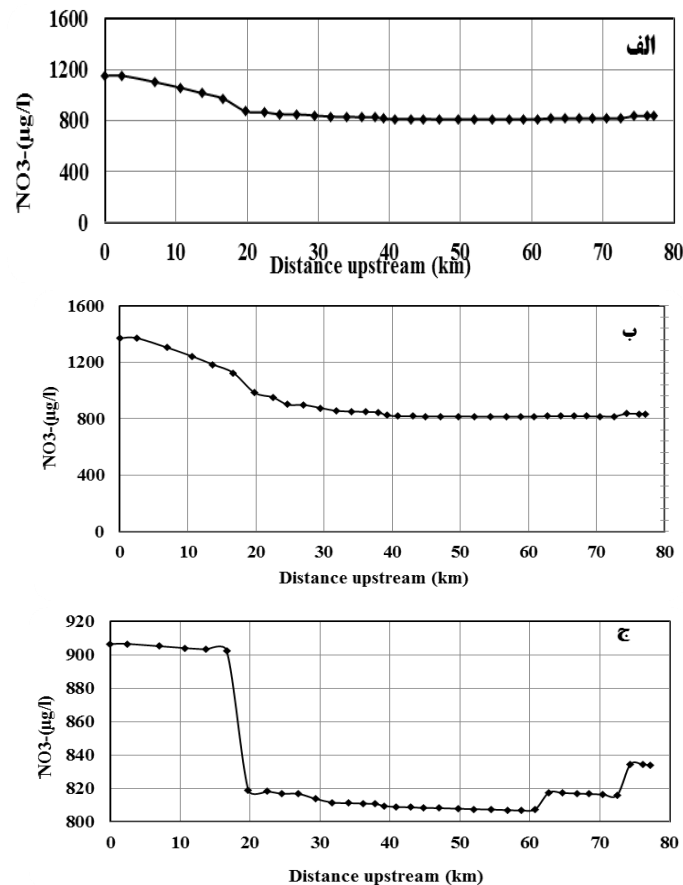
• ترکیب اولویت‌ها و محاسبه سازگاری سیستم.

فرایند تصمیم‌مبتهی بر چهار معیار اصلی است:

۱. کاهش ریسک بهره‌برداری از آب رودخانه (C1)؛

۲. هزینه پایش کیفی آب در ایستگاه‌ها (C2)؛

۳. برانگیختن حداقل حساسیت اجتماعی (C3)؛



شکل ۶- نمودار شبیه‌سازی شده نیترات رودخانه گذارچای در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲: (ب) سناریوی افزایش بار آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای رودخانه؛ (ج) سناریوی حذف بار آلودگی غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای

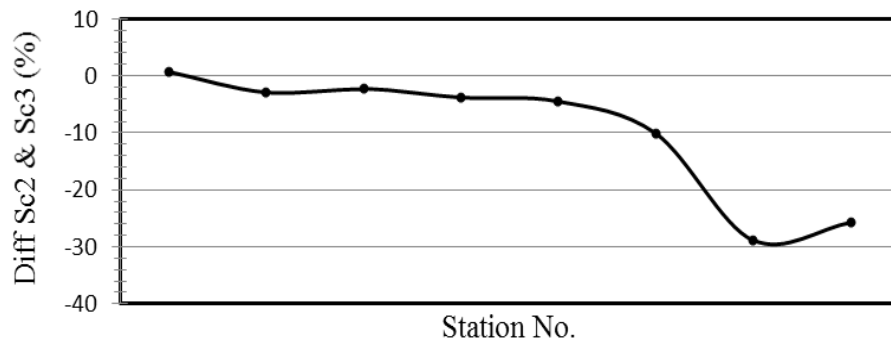
۳-۱-۱. اکسیژن محلول

همان‌طور که در شکل ۴-الف دیده می‌شود، مقدار اکسیژن محلول در سرآب رودخانه ۸/۲ میلی‌گرم بر لیتر است. تا محل ورود رودخانه کانیرش، به دلیل تخلیه نشدن آلودگی و زیاد بودن ضریب هوادهی رودخانه، نمودار اکسیژن محلول روند افزایشی دارد. اما در کیلومتر ۵۹/۳۲ با ورود رودخانه کانیرش، کاهش اکسیژن محلول محسوس بوده است. پس از طی ۰/۵ کیلومتر، به دلیل وجود آب‌بند ده شمس هوادهی مجدد اتفاق می‌افتد و اکسیژن محلول رودخانه افزایش می‌یابد. پس از گذشت از شهر نقده با توجه به وجود آب‌بندی همچون حسنلو و هوادهی مجدد در سرریز آب‌بند، اکسیژن محلول به ۱۰/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته و از این نقطه

جریان افزایش می‌یابد. در ادامه مسیر رودخانه، در کیلومتر ۵۸/۸ به دلیل برداشت آب در آب‌بند ده شمس، نمودار دبی با کاهش مواجهه شده است. شدت جریان تا کیلومتر ۴۰ به دلیل نبود شاخه فرعی و آب‌بند، به نسبت ثابت است و پس از آن با توجه به تعدد آب‌بندها کاهش چشمگیری داشته است. در نهایت در کیلومتر ۱۶/۶۵ به دلیل تخلیه رودخانه بالقچی‌چای دبی رودخانه افزایش یافته و در انتها در محل پل بهراملو به ۱۳/۵۸ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. با توجه به داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری و انطباق آن بر نمودار شبیه‌سازی شده مدل می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه گذار از دقت کافی برخوردار بوده است.

جدول ۶- مقادیر شاخص WQI برای ایستگاه‌های ۱ تا ۸ در سناریوهای مختلف

ایستگاه	سناریوی نرمال	سناریوی حذف آلودگی	سناریوی افزایش بار آلودگی
۱	۸۳/۹۲ (خوب)	۸۳/۲۶ (خوب)	۸۳/۷۶ (خوب)
۲	۸۵/۵۱ (خوب)	۸۸/۸۱ (بسیار خوب)	۸۶/۲۷ (بسیار خوب)
۳	۸۹/۳۸ (بسیار خوب)	۹۲/۶۸ (بسیار خوب)	۹۰/۵۶ (بسیار خوب)
۴	۹۰/۸۵ (بسیار خوب)	۹۴/۱۰ (بسیار خوب)	۹۰/۴۹ (بسیار خوب)
۵	۹۰/۰۹ (بسیار خوب)	۹۲/۷۵ (بسیار خوب)	۸۸/۵۹ (بسیار خوب)
۶	۸۷/۸۳ (بسیار خوب)	۹۰/۵۶ (بسیار خوب)	۸۱/۴۰ (خوب)
۷	۷۳/۱۳ (خوب)	۹۰/۹۹ (بسیار خوب)	۶۴/۷۴ (به نسبت خوب)
۸	۷۳/۵۲ (خوب)	۹۱/۲۶ (بسیار خوب)	۶۷/۸۱ (به نسبت خوب)



شکل ۷- نوسان مقادیر WQI مربوط به ایستگاه‌های هشت‌گانه در سناریوهای SC2 و SC3

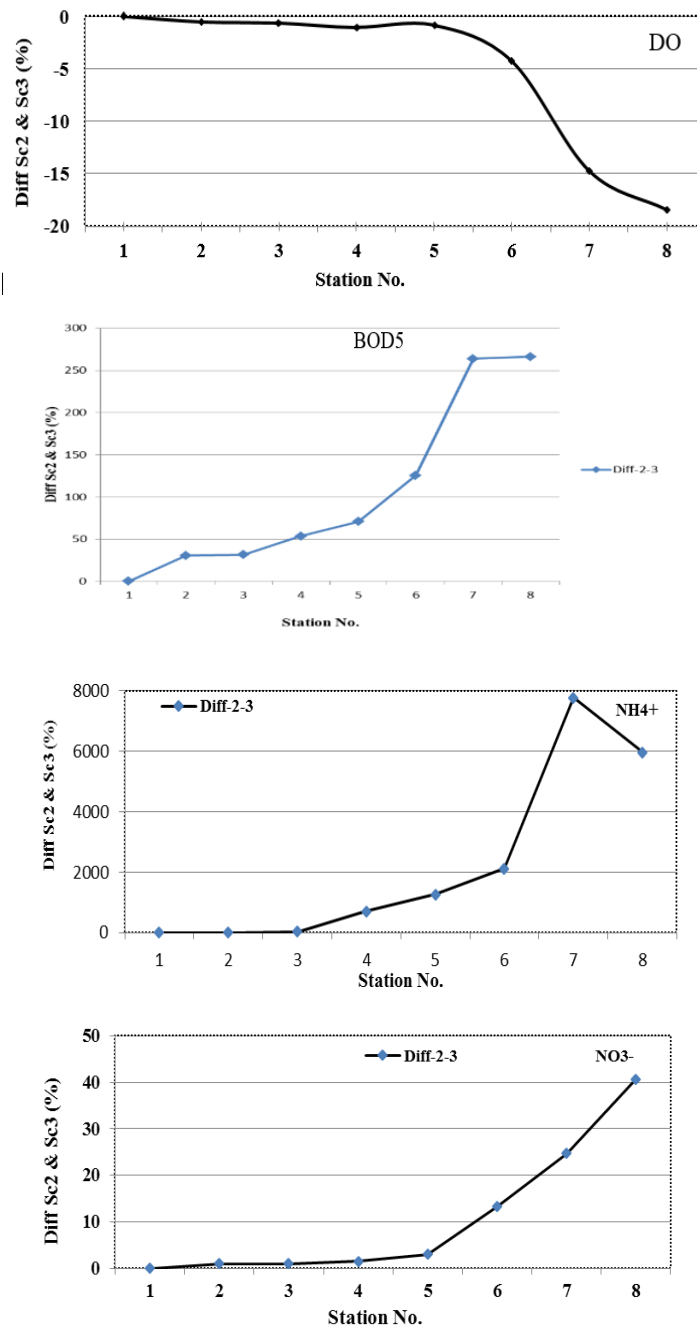
با این تفاوت که مقادیر اکسیژن محلول در این نمودار در کل مسیر بیشتر از مدل اصلی است.

۳-۱-۲. BOD5

همان‌طور که در شکل ۵-الف ملاحظه می‌شود، مقدار BOD5 در سرآب رودخانه ۴ میلی‌گرم در لیتر است. در ادامه مسیر به دلیل شیب به نسبت زیاد رودخانه و ضریب هوادهی به نسبت مناسب و به تبع آن تجزیه بار آلی، کاهش آلودگی سبب کاهش BOD5 شده است. از طرف دیگر به دلیل تخلیه رودخانه فرعی شیخان‌چای با BOD5 کمتر (۲ میلی‌گرم در لیتر)، ترقیق BOD5 رودخانه و در نهایت روند نزولی آن، مشهود است. در کیلومتر ۶۲ به دلیل ورود رودخانه گلازچای با BOD5 زیاد (۱۰ میلی‌گرم در لیتر)، افزایش ناگهانی در نمودار شبیه‌سازی شده ملاحظه

به بعد تا انتهای رودخانه، به دلیل ورود آلودگی‌های غیرنقطه‌ای فاضلاب‌های خانگی روستاهای مجاور شهر محمدیار، روند کاهشی داشته است. همان‌طور که در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود، نمودار شبیه‌سازی شده اکسیژن محلول در سناریوی افزایش بار آلودگی به دلیل مصرف اکسیژن در اثر تجزیه مواد آلی، نسبت به سناریوی نرمال کاهش بیشتری نشان می‌دهد. این مسئله ناشی از افزایش تخلیه فاضلاب‌های خانگی روستاها و شهرهای مجاور رودخانه و فاضلاب نقطه‌ای شهر نرده و اشنویه در محل تخلیه رودخانه‌های بالقچی‌چای و گلازچای است. همان‌طور که در شکل ۴-ج مشاهده می‌شود، در این نمودار با توجه به حذف آلودگی‌ها، روند تغییرات اکسیژن محلول مشابه سناریوی نرمال است،

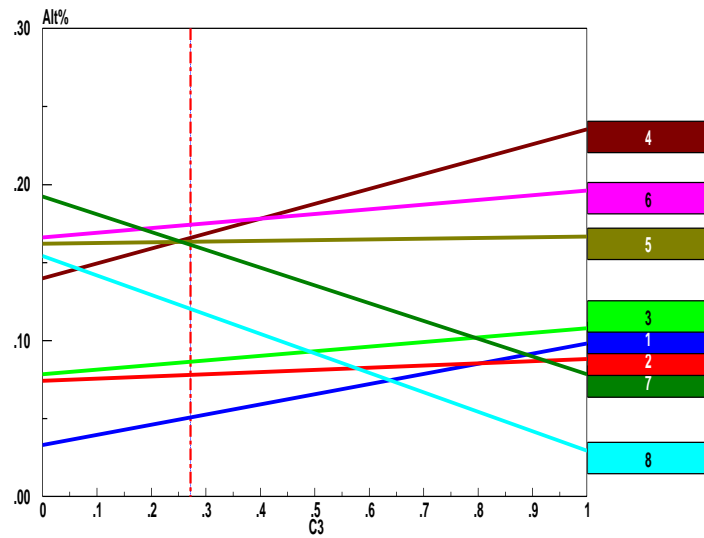
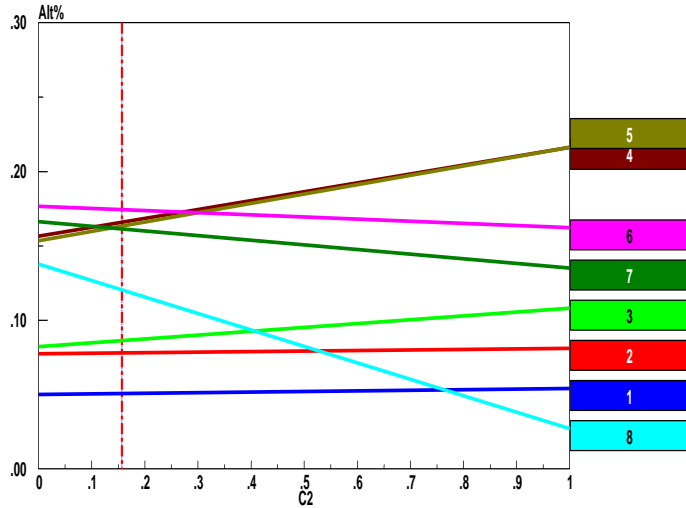
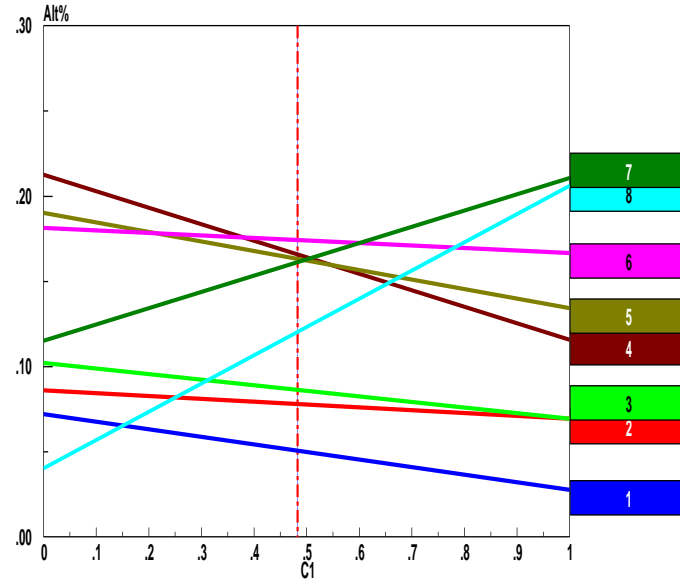
تعیین تعداد ایستگاه‌های لازم در پایش کیفی آب رودخانه‌ها...

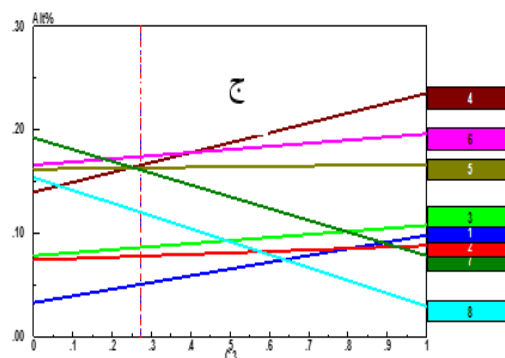
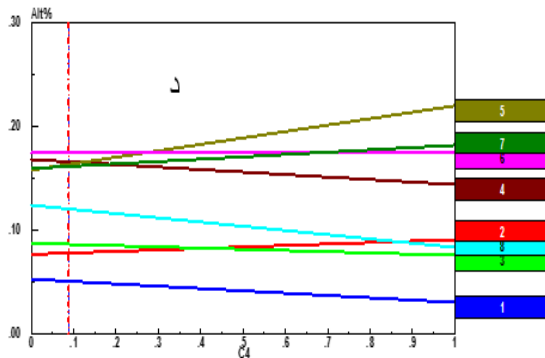
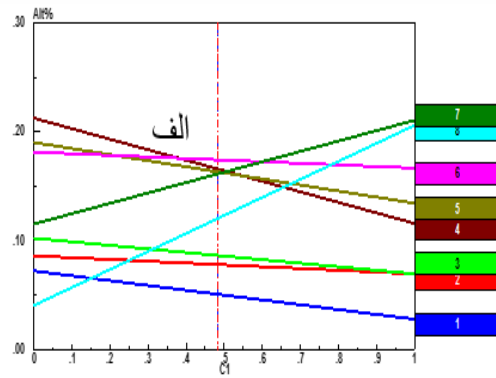
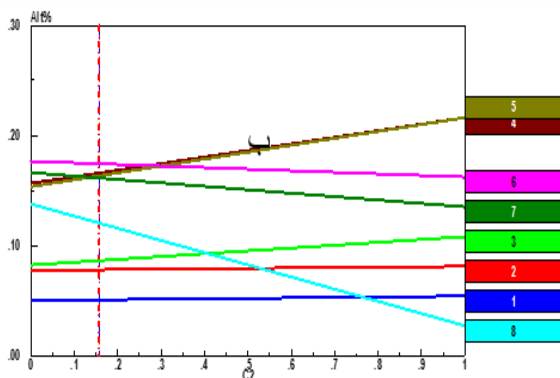
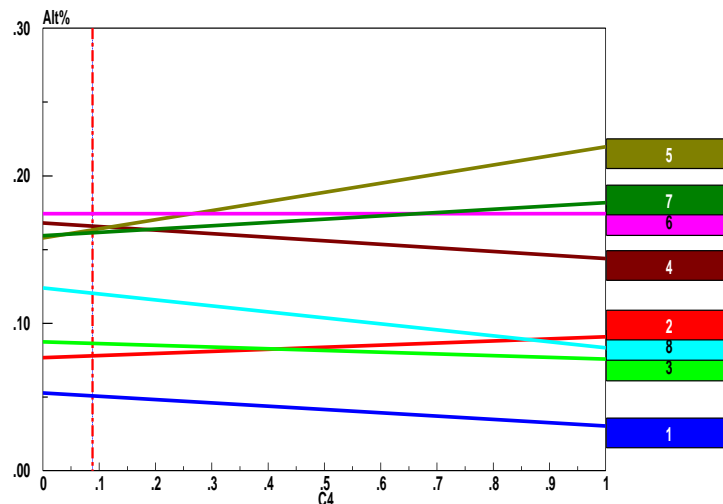


شکل ۸- نوسان مقادیر پارامترهای کیفی مربوط به ایستگاه‌های هشت‌گانه در سناریوهای SC2 و SC3

تخلیه فاضلاب‌های شهری نرده، رودخانه دوباره با افزایش BOD5 مواجه شده است. با ورود فاضلاب‌های غیرنقطه‌ای شهر محمدیار تغییرات BOD5 دوباره تا زمان رسیدن به آب‌بندهای محمدیار و قره‌قصاب، رو به افزایش بوده تا اینکه پس از عبور از آب‌بندهای مذکور و هوادهی رودخانه در کیلومتر ۱۹/۷۵، BOD5 به ۳/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر

می‌شود به طوری که مقدار آن به ۳/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. با وجود این، زیاد بودن ضریب هوادهی رودخانه و تخلیه جریان رودخانه فرعی کانی‌رش در کیلومتر ۵۹/۳۲ (با BOD5 ۲ میلی‌گرم در لیتر) موجب رقیق‌سازی بار آلودگی شده و روند کاهشی تا کیلومتر ۴۰/۶۵ (محل تخلیه فاضلاب‌های غیرنقطه‌ای شهر نرده) ادامه یافته است. پس از شروع





شکل ۹- آنالیز حساسیت الف) تصمیم نهایی نسبت به وزن معیار C1؛ ب) تصمیم نهایی نسبت به وزن معیار C2؛ ج) نسبت به وزن معیار C3؛ د) تصمیم نهایی نسبت به وزن معیار C4.

ابتدای بازه (کیلومتر ۷۷/۲) تا کیلومتر ۴۰/۸۵ رودخانه، روند تغییرات BOD5 مشابه با نمودار قبلی (مدل واقعی گذار) است، اما بعد از کیلومتر ۴۰/۸۵ با افزایش آلودگی رودخانه در اثر تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی، BOD5 به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. به‌طوری که در محل تخلیه

کاهش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش ناگهانی BOD5 رودخانه گذارچای مربوط به کیلومتر ۱۶/۶۵ بوده که به‌دلیل تخلیه رودخانه بالقچی‌چای با BOD5 معادل ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر به ۴/۴۳ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. همان‌طور که در شکل ۵-ب مشاهده می‌شود، از

رودخانه بالقچی چای، به حداکثر خود یعنی ۶/۳۹ میلی گرم بر لیتر رسیده است. همان طور که در شکل ۵-ج مشاهده می شود، روند تغییرات BOD5 در طول رودخانه کاهشی است. این موضوع با توجه به حذف آلودگی ها و وجود آب بندهای متعدد در طول رودخانه و همچنین هوادهی و خودپالایی رودخانه، تغییرپذیر است؛ به طوری که مقدار BOD5 آن در انتهای رودخانه در محل پل بهراملو به ۱/۱۲ میلی گرم بر لیتر رسیده است.

۳-۱-۳. آمونیاک

عامل ترکیبات آمونیاکی در منابع آب سطحی اغلب مربوط به زهاب های کشاورزی و در درجه دوم مربوط به فاضلاب های خانگی است. همان طور که در شکل ۶-الف مشاهده می شود، مقدار نیتروژن آمونیاکی رودخانه گدارچای در سرآب (ایستگاه پی قلعه) معادل ۷/۶ میکروگرم بر لیتر است. در ادامه مسیر رودخانه تا ۴۰/۶۵ کیلومتر (ورودی شهر نقده) به دلیل نبود آلودگی خاص و همچنین وجود فرایند نیتریفیکاسیون، روند تغییرات نیتروژن آمونیاکی به نسبت ثابت است. در ۴۰/۶۵ کیلومتر رودخانه به دلیل تخلیه بخشی از فاضلاب های شهری نقده به گدارچای شاهد افزایش نیتروژن آمونیاکی تا ۲۵/۸۴ میکروگرم بر لیتر رخ داده است. رودخانه گدارچای بعد از شهر نقده با وجود دریافت فاضلاب روستاهای مجاور به دلیل وجود هوادهی در آب بندهای خسروی، حسنلو، تازه قلعه، فرخ زاد، محمدیار و قره قصاب و در اثر فرایند نیتریفیکاسیون، دارای روند کاهشی غلظت نیتروژن آمونیاکی است تا اینکه در ۱۹/۷۵ کیلومتر به کمترین حد خود یعنی ۶/۵۵ میکروگرم بر لیتر می رسد. افزایش چشمگیر نیتروژن آمونیاکی رودخانه گدارچای در محل تخلیه رودخانه بالقچی چای در

کیلومتر ۱۶/۶۵ با مقدار ۳۹۰/۱۵ میکروگرم بر لیتر اتفاق افتاده است که علت اصلی آن تخلیه رودخانه بالقچی چای حاوی زهاب های کشاورزی دشت نقده و فاضلاب خام شهری نقده است. پس از این نقطه تا انتهای رودخانه در محل پل بهراملو، به دلیل وجود فرایند نیتریفیکاسیون، مقدار نیتروژن آمونیاکی گدارچای روند کاهشی دارد، به طوری که مقدار آن به ۲۱۸/۵ میکروگرم بر لیتر می رسد. همان طور که در شکل ۶-ب مشاهده می شود تا ۴۰/۸۵ کیلومتر روند تغییرات نیتروژن آمونیاکی رودخانه گدارچای افزایش ناچیزی دارد و علت آن نیز چنانکه پیشتر نیز ذکر شد، به دلیل تأثیر کمتر فاضلاب های خانگی نسبت به زهاب های کشاورزی است. در شکل ۶-ج همان طور که مشاهده می شود، روند تغییرات نیتروژن آمونیاکی به دلیل حذف آلودگی غیرنقطه ای و نقطه ای و با توجه به حذف مهم ترین عامل افزایش نیتروژن آمونیاکی یعنی زهاب های کشاورزی دشت نقده و نیز به علت هوادهی مجدد رودخانه در اثر سرریز از آب بندها و وقوع فرایند نیتریفیکاسیون در طول مسیر رودخانه، کاهشی است، به طوری که از ابتدای مسیر رودخانه تا ۰/۶۱ کیلومتر ۱۶/۶۵، از ۷/۶ میکروگرم بر لیتر به ۰/۶۱ میکروگرم بر لیتر رسیده است.

۳-۱-۴. نترات

مهم ترین عامل افزایش ترکیبات نیتروژن از جمله نترات در منابع آب سطحی (رودخانه ها) ناشی از زهاب های کشاورزی و در درجه دوم ورود فاضلاب های خانگی است. همان طور که در شکل ۷-الف مشاهده می شود، مقدار نترات رودخانه گدارچای به دلیل نبود آلودگی به خصوص آلودگی ناشی از زهاب های کشاورزی تا ۴۰/۶۵ کیلومتر رودخانه، روند ثابتی دارد. اما از ۴۰/۶۵ کیلومتر به بعد (محل ورود

شاخص کیفی برای هشت ایستگاه محاسبه و در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به بررسی شاخص WQI می‌توان نتیجه گرفت که به جز ایستگاه‌های ۷ و ۸، سناریوی افزایش بار آلودگی که شاخص کیفیت آنها به نسبت خوب به دست آمده است، در بقیه ایستگاه‌ها و سناریوها شاخص مربوط، حالت خوب و بسیار خوب را نشان می‌دهد. علت کیفیت به نسبت خوب در ایستگاه‌های ۷ و ۸ افزایش آلودگی‌های وارد شده به رودخانه در نقاط مذکور در سناریوی افزایش بار آلودگی است.

۱-۲-۳- آنالیز حساسیت پارامترهای کیفی رودخانه به ایجاد تغییرات انتخابی در بار آلودگی ورودی

در تحقیق حاضر پس از مدل‌سازی شرایط نرمال (SC1) رودخانه گدارچای، برای سنجش حساسیت رودخانه به تغییرات بار آلودگی ورودی، دو سناریوی SC2 مربوط به حالت بدون آلودگی و سناریوی SC3 با آلودگی دوبرابر ناشی از افزایش جمعیت، تعریف شد. بر این اساس در شکل‌های ۸ و ۹، میزان نوسان WQI، غلظت DO، مقدار BOD5، NH4+، NO3- آلوده شده است. شایان ذکر است که از نمودارهای اخیر در فرایند تصمیم‌گیری نهایی برای تعیین اولویت ایستگاه‌ها در عملیات پایش استفاده خواهد شد. مبنای محاسبات در این نمودارها رابطه زیر است.

$$\frac{P_{SC3} - P_{SC2}}{P_{SC2}} \times 100 = \text{نظر}$$

که در آن P_{SC2} و P_{SC3} مقدار پارامتر مدنظر به ترتیب در سناریوهای سوم و دوم است.

۳-۳. مدل AHP

پس از تحلیل این مدل در محیط Expert Choise، وزن ایستگاه‌ها (اولویت آنها در انتخاب به عنوان ایستگاه پایش) به دست آمد. آنالیز حساسیت مدل تصمیم‌سازی نسبت به ایجاد تغییرات انتخابی در وزن

منابع آلاینده غیرنقطه‌ای نقده و روستاهای مجاور رودخانه در پایین‌دست شهر نقده) روند افزایش تدریجی آن شروع می‌شود. به طوری که مقدار آن تا کیلومتر ۱۶/۶۵ (محل تخلیه رودخانه بالقچی چای به رودخانه گدار) به ۸۷۲ میکروگرم بر لیتر افزایش می‌یابد. همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، رودخانه بالقچی چای به عنوان زهکش دشت نقده عمل می‌کند و زهاب‌های کشاورزی دشت نقده را جمع‌آوری و در کیلومتر ۱۶/۶۵ به رودخانه گدارچای تخلیه می‌کند که سبب افزایش محسوس نیترات شده است. همچنین بخش مهمی از فاضلاب‌های خام جمع‌آوری شده توسط شبکه فاضلاب شهری نقده به زهکش اصلی دشت نقده و در نهایت به گدارچای منتقل می‌شود. همچنین رودخانه محمدشاه نیز با وجود دبی بسیار کم (۰/۰۵ متر مکعب در ثانیه) که در کیلومتر ۱۶/۵ به گدارچای تخلیه می‌شود، دارای مقدار زیادی نیترات است که مزید بر علت شده است. همان‌طور که در شکل ۷-ب مشاهده می‌شود، مقدار نیترات رودخانه گدارچای از سراب تا کیلومتر ۴۰/۶۵ (ورودی شهر نقده) روند ثابتی دارد که آن هم به دلیل نبود بار آلودگی است که بتواند نیترات رودخانه را افزایش دهد. اما به محض تخلیه منابع آلاینده غیرنقطه‌ای شهر نقده و دیگر آلاینده‌های مربوط به روستاهای مجاور رودخانه پس از شهر نقده، روند تغییرات آن افزایشی است با این تفاوت که نسبت به مدل اصلی رودخانه (شکل ۷-ج) با شیب به نسبت زیادی تغییر یافته است؛ به طوری که قبل از کیلومتر ۱۶/۶۵ (محل تخلیه بالقچی چای به رودخانه گدار) مقدار آن به ۹۸۵ میکروگرم بر لیتر رسیده است.

۲-۳. تحلیل سناریوها با استفاده از شاخص کیفی

WQI

وزن C3 در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها دارند. با توجه به اهمیت معیار C3 از لحاظ کمیت و کیفیت برداشت آب در پایین دست و ضروری بودن کنترل آن، سیستم حساسیت زیادی به ایستگاه‌های موجود در نزدیکی شهرها و روستاها و محل برداشت آب کشاورزی دارد؛ بنابراین اهمیت ایستگاه‌های ۴ و ۶ به دلیل قرارگیری قبل از شهرهای نقده و محمدیار از نظر کمیت و کیفیت آب برداشتی نسبت به وزن C3 حالت افزایشی داشته و در همه شرایط اولویت‌های اول و دوم هستند و تنها زمانی که وزن C3 کمتر از ۰/۱۷ در سلسله مراتب لحاظ شود، به عنوان ایستگاه‌های با اولویت دوم و سوم مطرح می‌شوند. ایستگاه‌های ۷ و ۸ با استقرار در انتهای حوضه از نظر سیستم‌های پایش نسبت به افزایش وزن C3 حالت کاهشی دارند و تنها در شرایطی که وزن C3 کمتر از ۰/۰۶ در سلسله مراتب لحاظ شود، می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های با اولویت اول و چهارم مطرح شوند. همان‌طور که در شکل ۱۰-د مشاهده می‌شود، سیستم حساسیت چندانی به وزن معیار C4 (ملاحظات فنی) نشان نداده است. تنها ایستگاه‌های ۵، ۲ و ۷ دارای شیب صعودی نسبت به افزایش وزن C4 بوده و ایستگاه ۸ شیب منفی دارد. ایستگاه‌های دیگر را می‌توان با شیب ناچیز در نظر گرفت، به طوری که با افزایش وزن C4 به حدود ۰/۲ اولویت‌های دوم و سوم و چهارم تغییر خواهند کرد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به آلودگی روزافزون رودخانه‌ها که گاه سبب عدول از حد خودپالایی رودخانه می‌شود و خسارات زیادی به محیط‌زیست آن وارد می‌کند، در تحقیق حاضر سعی شده است ضمن مدل‌سازی رفتار رودخانه‌ها در شرایط ورود پساب اعم از نقطه‌ای یا

معیار C1 (کاهش ریسک بهره‌برداری از آب رودخانه) آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰-الف مشاهده می‌شود، سیستم حساسیت زیادی نسبت به وزن معیار C1 دارد. به طوری که با اندک تغییر در وزن معیار C1، اولویت‌ها تغییر پیدا می‌کنند. از میان ایستگاه‌های هشت‌گانه، ایستگاه هشتم و پس از آن ایستگاه هفتم به دلیل شیب زیاد خط مربوط، حساسیت بیشتری نسبت به وزن C1 در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر دارند. ایستگاه ۱ در هر حال دارای اولویت آخر است و تنها در شرایطی که وزن معیار C1 به حدود ۰/۱۵ برسد (۶۹ درصد کاهش)، به عنوان اولویت هفتم شناخته می‌شود. دلیل این موضوع موقعیت این ایستگاه (در سرآب)، تغییرات چندانی طی سناریوی آلودگی دوبرابر نسبت به سناریوی بدون آلودگی در مقادیر شاخص‌های DO، BOD5، NH4+ و NO3- دیده نمی‌شود. با توجه به شکل ۱۰-ب سیستم تصمیم‌سازی نسبت به وزن معیار C2 (هزینه پایش کیفی آب در ایستگاه‌ها) دارای حساسیت به نسبت کمی است که در آن ایستگاه‌های ۴، ۵ و ۸، شیب‌های صعودی و نزولی چشمگیری نسبت به تغییر وزن معیار C2 دارند؛ به طوری که اگر وزن معیار C2 به بیشتر از ۰/۴ رسانده شود، اولویت‌بندی ایستگاه‌های ۴ و ۵ به اول و دوم تغییر پیدا می‌کند و ایستگاه ۸ نیز از اولویت پنجم به اولویت ششم می‌رسد. همان‌طور که از شکل ۱۰-ج پیداست، سیستم حساسیت زیادی به وزن معیار C3 دارد، به طوری که با اندک تغییری در وزن معیار C3 (برانگیختن حداقل حساسیت‌های اجتماعی) اولویت‌ها تغییر پیدا می‌کنند. از میان ایستگاه‌های هشت‌گانه، ایستگاه‌های ۴، ۷ و ۸ به دلیل شیب زیاد خط مربوط، حساسیت بیشتری نسبت به

حالت خوب و به نسبت خوب است و علت آن هم افزایش بار آلودگی در این ناحیه از رودخانه مشاهده گردید. محاسبات به روش AHP و خروجی نرم‌افزار Expert Choice، نشان داد که اولویت ایستگاه‌های پایش کیفیت آب به ترتیب شامل ایستگاه‌های ۶، ۴، ۵، ۷، ۸، ۳، ۲ و ۱ است. به عبارت دیگر مهم‌ترین ایستگاه برای پایش کیفی آب رودخانه گدارچای، ایستگاه ۶ خواهد بود. (Fathaei et al., 2013) و Norashikin et al., (2020) در تحقیقات خود با استفاده از شاخص‌های کیفی بیان کردند که کنترل آلودگی در تصفیه‌خانه‌ها باید بیش از ۹۰ درصد صورت گیرد. بنابراین براساس نتایج این تحقیق می‌تواند به ذی‌نفعان و مقامات مختلف در شناسایی مناطق مشکل‌دار، بررسی و حل نقاط آلوده‌کننده و تعیین درصد لازم کاهش آلودگی برای بهبود کیفیت آب رودخانه گدارچای کمک کند.

غیرنقطه‌ای و در نظر گرفتن معیارهای خودپالایی، با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، اولویت‌بندی عملیات پایش کیفی آب در ایستگاه‌های موجود، تعیین شود. از این‌رو هدف اصلی این تحقیق شناخت میزان خودپالایی رودخانه و تعیین مکان مناسب ایستگاه‌های پایش کیفی آب رودخانه است. اطلاعات مربوط به معیارهای کیفیت آب در مدل QUAL2K وارد شد. پس از تعریف چندین سناریو، نتایج خروجی مدل شبیه‌سازی آلودگی بررسی شد و تحلیل‌های فنی انجام گرفت. آن‌گاه با در نظر گرفتن دیگر عوامل، مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی آب مبتنی بر (AHP) انجام گرفت. شبیه‌سازی پارامترهای کیفی با مدل QUAL2K در طول رودخانه با تخلیه فاضلاب‌های روستایی روند افزایشی داشت. همین نتیجه در بررسی پارامترهای کیفی با شاخص WQI نشان داد که کیفیت در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه یعنی ایستگاه‌های ۷ و ۸ در

References

- Abrishamchi, A., 1999. Wastewater Engineering, University Publishing Center.
- Aghaee, M., Heshmatpoor. A., Ghara Mahmoodlu, M., Seyedian, S., M., 2020. Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. Scientific & Research Journals of Management System 22(5), 153-166. (In Persian)
- Akhoni Pourhosseini. F., Ebrahimi K., 2019. Shannon's Entropy Evaluation on Determination of Surface Water Quality, Case Studies: Karun and Babolrood River. Journal of water and Irrigation Management. 9(2): 171-183. (In Persian)
- Chapra. S.C., Pelletier. G.J., 2003. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and User Manual, Civil and Environmental Engineering Department Tufts University.
- Chowdhury. S.U., Othman. F., Jaafar. W., Che Mood. N., Adham. I., 2018. Assessment of Pollution and Improvement Measure of Water Quality Parameters using Scenarios Modeling for Sungai Selangor Basin. Sains Malaysiana 47(3), 457-469.
- Elsayed. E.A., 2014. Using QUAL2K Model and river pollution index for water quality management in Mahmoudia Canal, Egypt. Journal of Natural Resources and Development 4, 54-63.
- Fathaei. E., Seyyedsharifi1. S.A., Seiedsafaviyan. S.T., Nasrollahzadeh. S., 2013. Water Quality Assessment Based on WQI and CWQI Indexes in Balikhlou River, Iran. Journal Basic and Applied Scientific Research 3(3), 263-269.
- Hakimpour. K., 2005. A Study of Practical Methods and Strategies for the Prevention and Control of Water Resources Pollution and Restoration of Their Lost Capacity, Iran Water Resources Management Company, Applied Research Project, Volume 1, Final Report. pp: 5-

10. (In Persian)

Karamouz, M. and Kerachian, R., 2003. Water Quality Planning and Management. Amirkabir University of Technology (AUT), 173(1304-1308), 58.

Khodamoradi vatan. V., Mazaheri. M., Samani. J.M., 2021. Evaluation of the performance of river water quality monitoring stations of Iran. Journal of water and Irrigation Management. Online from October 2021. (In Persian)

Moghimi H. 2019. Advanced hydrology. Payam Noor University. pp: 4. (In Persian)

Mohammadi Lord A.M., 2009. Network Analysis

Processes (ANP) and Hierarchy (AHP), Alborz Fardanesh Publications. (In Persian)

Norashikin. A.K., Nur Shazwani. M., Jazuri. A., 2020. Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS. Environmental Pollution 259, 113909.

Walker. D., Jakovljević. D., Savić. D., Radovanović. M., 2015. Multi-criterion water quality analysis of the Danube River in Serbia: A visualisation approach. Water Research 79, 158-172.