

ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب رودخانه مرزی ارس با استفاده از روش‌های آماری، مدل SWAT و شاخص WQI_{SC}

بهنام فرید گیگلو^۱، رضا قضاوی^{۲*} و سیامک دخانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان و ^۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۲

چکیده

رودخانه‌ها همیشه در طول حیات بشری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تامین آب آشامیدنی و کشاورزی مورد توجه جوامع انسانی بوده، در شکل‌گیری تمدن‌های بشری بسیار موثر بوده است. رودخانه ارس یک رودخانه مرزی است که یکی از مهمترین منابع تامین آب شرب بسیاری از شهرها و روستاهای اطراف آن می‌باشد. این پژوهش، با هدف ارزیابی کیفیت آب رودخانه ارس در حال حاضر و پیش‌بینی آن برای دوره آبی و تحت سناریوهای انتشار RCP انجام پذیرفته است. در این پژوهش، داده‌های ماهانه دبی، بارش، TDS، SO₄، EC، BOD، Do، COD، NO₃ و PO₄ طی دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۷ با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI تجزیه و تحلیل شد. همچنین، تغییرات میزان بارش و دما تحت سناریوهای انتشار RCP پیش‌بینی شد. برای بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب رودخانه، بین پارامترهای بارش، دبی و پارامترهای کیفیت آب روابط رگرسیونی برقرار شد و با توجه به پیش‌بینی انجام شده برای بارش و دبی در دوره ۲۰۳۶-۲۰۱۷، شرایط کیفیت آب با شاخص WQI برای سناریوهای RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 محاسبه شد. در ضمن، تاثیر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر پارامترهای کیفی فسفات و نترات با استفاده از مدل SWAT برای دوره آینده برآورد شد. نتایج بررسی‌های آماری نشان داد که میزان پارامترهای نترات، فسفات و COD در هر سه سناریو افزایشی خواهد بود. همچنین، نتایج شبیه‌سازی پارامترهای فسفات و نترات با استفاده از مدل SWAT نیز برای هر سه سناریو شرایط افزایشی را پیش‌بینی کرده است. نتایج تأثیر تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب با استفاده از شاخص WQI نشان داد که در شرایط پایه کیفیت آب در شرایط بد قرار دارد (شاخص WQI برابر ۱۵/۶۹) و تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و بر اساس سناریوهای RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 مقدار شاخص WQI به ترتیب ۱۱/۱۷؛ ۱۲/۲۳ و ۱۲/۴۵ شده و کیفیت آب به خیلی بد تغییر کرده است که نیازمند توجه به بحث کیفیت رودخانه ارس و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای انتشار، کیفیت فسفات، نترات، شاخص کیفیت آب، منابع آب شرب

مقدمه

حیاتی هر منطقه، یکی از مهمترین پایه‌های توسعه پایدار به شمار می‌رود (Ehteshami و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و

امروزه نقش منابع آب با کیفیت مناسب و مشخصاً نقش سامانه‌های رودخانه‌ای به‌عنوان شریان‌های

پارامترهای کیفی آب را نیز دارد. Ramos و همکاران (۲۰۱۶) دو رودخانه را در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ مورد مطالعه قرار دادند و کیفیت آن‌ها را متوسط و بد گزارش کردند و اظهار داشتند که کیفیت آب در فصول خشک و بارانی یکسان است. همچنین، Tiyan و همکاران (۲۰۱۹) کیفیت آب مناطق فوقانی و میانی جریان رودخانه لوآنه در شمال چین را با استفاده از شاخص کیفیت آب مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی و شهری از عوامل مهم مؤثر بر کاهش کیفیت آب در این منطقه هستند. همچنین، Mangadze و همکاران (۲۰۱۹) کیفیت آب رودخانه بلوکران در آفریقای جنوبی را با کاربرد تحلیل چندمتغیره و شاخص‌های دیاتوم (SADI) مورد ارزیابی قرار دادند. شاخص دیاتوم در آفریقای جنوبی نشان داد که رودخانه بلوکران تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. آن‌ها استفاده گسترده‌تر از SADI^۱ را به‌عنوان شاخص شرایط کیفیت آب در سامانه‌های لوتیک آفریقای جنوبی توصیه کردند. در مطالعه دیگری، Marara و Palamuleni (۲۰۱۹) خطر محیطی رودخانه Klip را با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب ارزیابی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که رودخانه Klip از نظر شاخص‌های HPI^۲ و PERI^۳ دارای شرایط مناسبی نبوده، یک خطر قابل توجهی برای جوامع زیست‌محیطی در رودخانه وجود دارد.

رودخانه ارس یکی از مهمترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های مرزی کشور است که آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعتی مناطق وسیعی از شمال غرب کشور را تأمین می‌کند و از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. همچنین، بر اساس بررسی‌های انجام شده، در کمتر مطالعه‌ای تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها با استفاده از روش‌های آماری و مدل هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا، اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از (۱) پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر آورد رودخانه ارس، (۲) پیش‌بینی و مقایسه تأثیر تغییرات اقلیمی بر

گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضع نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده است، به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات موضوع کیفیت آب رودخانه‌ها از اهمیت بیشتری نسبت به مسئله کمیت آب برخوردار است (Mangadze و همکاران، ۲۰۱۹). لذا، تخمین و مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب از مؤلفه‌هایی است که در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی باید مورد لحاظ قرار گیرد (Olyaie و همکاران، ۲۰۱۱).

شاخص‌های کیفیت آب از ترکیب داده‌های کمی پارامترهای کیفیت آب، تفسیر توصیفی سریع و قابل فهمی از کیفیت آب ارائه می‌کنند. یک شاخص کیفی منابع آب می‌تواند ضمن ردیابی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب، شرایط کلی منابع آبی را بر آینده پیش‌بینی کند (Shamsaie و همکاران، ۲۰۰۴). شاخص کیفیت آب‌های سطحی (WQI_{SC}) یکی از شاخص‌های تعیین کیفیت آب است که در مطالعات متعددی در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است از آن جمله Rosli و همکاران (۲۰۱۲) رودخانه سالاک در مالزی، Sanchez و همکاران (۲۰۰۷) رودخانه گواداراما و مانزانارز در مادرید اسپانیا، Fabiano و همکاران (۲۰۰۸) رودخانه ماکوکو و کیوکسادا در سانتوپائولوی برزیل، Rosli و همکاران (۲۰۱۲) رودخانه سبک واقع در مالزی، Vaheedunnisha و Sandeep (۲۰۱۳) کیفیت آب تالاب روب سیگار هند و Effendi و Wardiatno (۲۰۱۵) کیفیت آب رودخانه چیمبیلوینگ واقع در استان بن تن اندونزی را مطالعه کرده‌اند که همه این تحقیقات کارائی این شاخص را تأیید کرده‌اند. علاوه بر شاخص‌های کیفیت آب که اصولاً کیفیت آب را برای شرایط حاضر تبیین می‌کنند، استفاده از روش‌های آماری و مدل‌های هیدرولوژیکی نیز از جمله روش‌هایی است که می‌توان از آن‌ها به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب تحت شرایط مختلف و برای شرایط آینده استفاده کرد. مدل SWAT از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که از آن برای ارزیابی تغییرات کمی آب رودخانه‌ها تحت تأثیر شرایط اقلیمی استفاده می‌شود. این مدل، توانائی شبیه‌سازی برخی از

¹ South African Diatom Index

² Heavy Metal Pollution Index

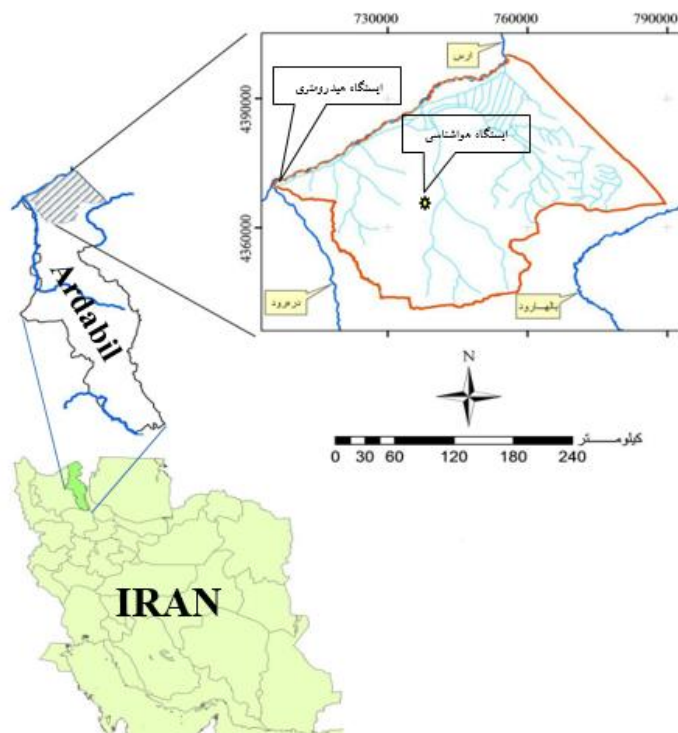
³ Potential Ecological Risk Index

استان اردبیل با مساحت ۲۴۴۱ کیلومتر مربع واقع شده و طبق سامانه مختصات جغرافیایی، در طول‌های $۳۹^{\circ} ۳۸'$ الی $۴۷^{\circ} ۵۵'$ تا $۴۷^{\circ} ۲۵'$ شرقی و عرض‌های $۳۹^{\circ} ۱۶'$ عرض شمالی، قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه منطقه $۲۷۱/۲$ میلی‌متر می‌باشد. محدوده مطالعاتی این تحقیق را بخشی از رودخانه ارس که در استان اردبیل واقع است، تشکیل می‌دهد (شکل ۱).

پارامترهای کیفی آب رودخانه با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و مدل SWAT و ۳) بررسی وضعیت کیفیت آب در شرایط حال و آینده با استفاده از شاخص کیفی WQI.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه رودخانه ارس در شمال



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز ارس در محدوده استان اردبیل

تابشی یا اقلیمی نامیده می‌شوند. در میان آن‌ها سناریو RCP2.6 سناریوهای انتشار و محرکه‌های تابشی کم و RCP8.5 سناریوهای انتشار و محرکه‌های تابشی زیاد است، در این سناریو اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش‌دهنده آثار مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین مطرح نیست که منجر به واداشت تابشی $۸/۵$ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. RCP4.5 شرایط متوسط را از نظر انتشار و محرکه‌های تابشی نشان می‌دهند (در اصل واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار $۴/۵$ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند) (Mehrotra و همکاران، ۲۰۱۴).

ریزمقیاس نمایی با مدل LARS-WG6: برای بررسی تغییرات اقلیمی منطقه، خروجی مدل HadGEM تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل LARS-WG برای دوره‌های ۲۰۱۷-۲۰۳۶ کوچک مقیاس شده و تغییرات اقلیمی دوره‌های آینده در مقایسه با دوره پایه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. سناریوهای RCP نشان‌دهنده واداشت تابشی^۱ هستند. در واقع توانایی‌های نفوذی که سبب ایجاد تغییر در سامانه آب و هوایی زمین شوند و تعادل تابشی زمین را دگرگون کنند و باعث افزایش یا افت دما شوند، واداشت‌های

^۱ Radiative forcing

پیش‌بینی تغییرات پارامترهای کیفی فسفات و

نیترات با استفاده از مدل SWAT: برای افزایش دقت شبیه‌سازی و بهبود نتایج اقدام به واسنجی، تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی مدل شد. برای این منظور، از داده‌های ماهانه فسفات و نیترات مربوط به سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ برای واسنجی و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ برای اعتبارسنجی استفاده شد. برای مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل و ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی فسفات و نیترات داده‌های ماهانه ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی رودخانه به مدت ۲۱ سال از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ در محل سد میل و مغان از ادارات محیط زیست و آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد.

به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان فسفات و نیترات از مدل SWAT استفاده شد. مؤلفه‌های اصلی SWAT شامل آب و هوا، هیدرولوژی، رسوب، رشد محصول، مواد غذایی، آفت‌کش‌ها، باکتری‌ها و پاتوژن‌ها و مدیریت کشاورزی می‌باشد. واسنجی مدل SWAT به دو صورت دستی و یا با استفاده از روش خودکار امکان‌پذیر است. در پژوهش حاضر، این مرحله به‌صورت خودکار و با استفاده از برنامه SUFI2 و بر اساس آمار کیفی و کمی اندازه‌گیری شده در ایستگاه سد میل و مغان بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰ انجام شد. برنامه SUFI2 یک الگوریتم اتوماتیک مدل‌سازی معکوس است. مراحل اجرای SUFI2 بدین‌صورت است که پس از تعیین محدوده منطقی و مناسب برای هر یک از عوامل مدل به‌وسیله کاربر و تعیین تعداد تکرار شبیه‌سازی، برنامه با نمونه‌گیری لاتین هاپرکیوب در فضای عوامل (بازه تعیین شده برای هر یک از عوامل) به‌صورت تصادفی مقادیری برای عوامل انتخاب می‌کند. بدین‌ترتیب، اگر n تکرار برای اجرای مدل در نظر گرفته شود، n ترکیب مختلف از عوامل ایجاد می‌شود. سپس، مدل SWAT، n بار اجرا می‌شود و سری زمانی خروجی‌های مدل در فایل‌هایی ذخیره می‌شود.

در الگوریتم SUFI-2، عدم قطعیت برای تمام منابع مؤثر همچون بارش باران، مدل مفهومی، پارامترهای اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. در این برنامه از عامل P-factor برای بیان میزان تأثیر تمام

پارامترهایی که باعث به‌وجود آمدن عدم قطعیت شده‌اند، استفاده می‌شود که بیانگر درصد داده‌هایی است که باعث به‌وجود آمدن عدم قطعیت در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. همچنین، R-factor از دیگر پارامترهای مشخص‌کننده تحلیل عدم قطعیت در برنامه SUFI-2 است که عبارت از متوسط پهنای نوار اطمینان ۹۵ درصد است که از تقسیم انحراف استاندارد داده‌های شبیه‌سازی بر داده‌های واقعی به‌دست می‌آید. از لحاظ تئوری مقادیر عددی R-factor و P-factor به‌ترتیب در محدوده صفر تا ۱۰۰ درصد و صفر تا بی‌نهایت قرار می‌گیرند. اما در عمل، امکان رسیدن به چنین ارقامی وجود ندارد.

در ادامه، معیارهای برآورد عدم قطعیت و شاخص‌های نیکویی برازش مانند ضریب تعیین و ضریب نش-ساتکلیف برای بهترین شبیه‌سازی محاسبه می‌شوند. با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت مدل، عوامل مهم و مؤثر شناسایی شده و در بهینه‌کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور واسنجی با استفاده از نرم‌افزار SWAT CUP، ابتدا پارامترهای حساس با استفاده از مطالعات انجام شده در آن حوضه (Fatayi, ۲۰۱۱؛ Shahmohammadi-Kalalagh و Habibzadeh, ۲۰۱۷؛ Solgi و Sheikhzadeh, ۲۰۱۶؛ Jamalabad و همکاران، ۲۰۱۷؛ Nasrullah و Zade Saravi و همکاران، ۲۰۱۷) و آزمون و خطا شناسایی شدند، سپس، این پارامترها وارد مدل شده و با مقادیر کمینه و بیشینه ورودی مورد واسنجی قرار گرفت، پس از چندین مرحله واسنجی که نتایج حاصل از توابع هدف ثابت شده و نتیجه نهایی کسب شد، در این مرحله پارامترهای حساس نیز ثابت شده و مقدار کمینه و بیشینه و بهینه آن‌ها به‌دست آمد. پس از به‌دست آمدن مقدار بهینه پارامتر، آن مقدار وارد مدل SWAT شده و مدل دوباره اجرا شد. همچنین، مقادیر بهینه، مقادیر آماده برای ورود به مدل نبوده و برای ورود به مدل برای واسنجی، بایستی روش‌هایی که در فوق ذکر شد، بر روی مقادیر پارامترها اعمال شده، سپس، وارد مدل شوند.

برای ارزیابی و مقایسه دقت داده‌های ریزمقیاس شده، مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تاریخی تولید شده به‌وسیله مدل با استفاده از نمودارهای

ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با سایر متغیرهای کیفیت آب (DO, EC, BOD, TDS, SO₄, COD, NO₃ و PO₄), ابتدا نرمال بودن متغیرهای مختلف به کمک آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد و پس از اطمینان از این که داده‌ها نرمال هستند، از آزمون همبستگی پیرسون به منظور بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با متغیرهای کیفیت آب استفاده شد. در ادامه، بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با متغیرهای کیفیت آب روابط رگرسیون چندمتغیره خطی با استفاده از متغیرهای مذکور برای برآورد متغیرهای کیفیت آب به دست آمد.

بررسی تغییرات کیفیت آب برای دوره پایه و آتی با استفاده از شاخص WQI: شاخص WQI در برگرفته پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند DO, BOD₅, کدورت، کل جامدات معلق، نیترات، فسفات، pH، دما و کالیفرم مدفوعی است. بیان ریاضی این شاخص به صورت رابطه (۳) است.

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i S_i \quad (3)$$

که در آن، W_i وزن پارامتر نام، n تعداد پارامترها و S_i مقدار شاخص نام از منحنی رتبه‌بندی، می‌باشد. در این روش، رتبه مختص به هر پارامتر از منحنی رتبه‌بندی یا معادله مربوط به آن پارامتر به دست می‌آید. همچنین، وزن هر پارامتر در منحنی مربوطه ارائه شده است و با مراجعه به منحنی مربوطه به دست می‌آید. جدول ۲، نشان‌دهنده طبقه‌بندی کیفیت آب بر مبنای WQI است. وزن هر یک از پارامترها نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE و NSE انجام شد. مقدار پارامتر NSE بین $-\infty$ و یک متغیر می‌باشد و هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده بیشتر بودن دقت مدل است (Fazeli و همکاران، ۲۰۲۰). پارامتر RMSE خطای مدل را نشان می‌دهند و پایین‌تر بودن مقادیر مربوط به این معیار نشان‌گر کارایی بهتر مدل است. آماره‌های مذکور با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شده‌اند.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (X_o - X_s)^2}{\sum (X_o - \bar{X}_o)^2} \right] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (2)$$

که در آن‌ها، X_o داده‌های مشاهده شده، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{X}_o میانگین داده‌های مشاهده شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

پیش‌بینی تغییرات فسفات و نیترات: بعد از واسنجی و ارزیابی مدل SWAT و مشخص شدن پارامترهای مدل، اثر تغییر اقلیم بر کیفیت آب (فسفات و نیترات) در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۶-۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ابتدا داده‌های روزانه سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شامل بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه (مربوط به ایستگاه پارس‌آباد) وارد مدل شدند و در نهایت، مقادیر متغیرهای کیفی آب در دوره آینده برای نیترات و فسفات شبیه‌سازی شد و تغییرات آن‌ها نسبت به میانگین ماهانه، فصلی و سالانه، مورد بررسی قرار گرفتند.

برآورد تغییرات پارامترهای کیفیت آب با استفاده از رگرسیون چندمتغیره: به منظور تحلیل

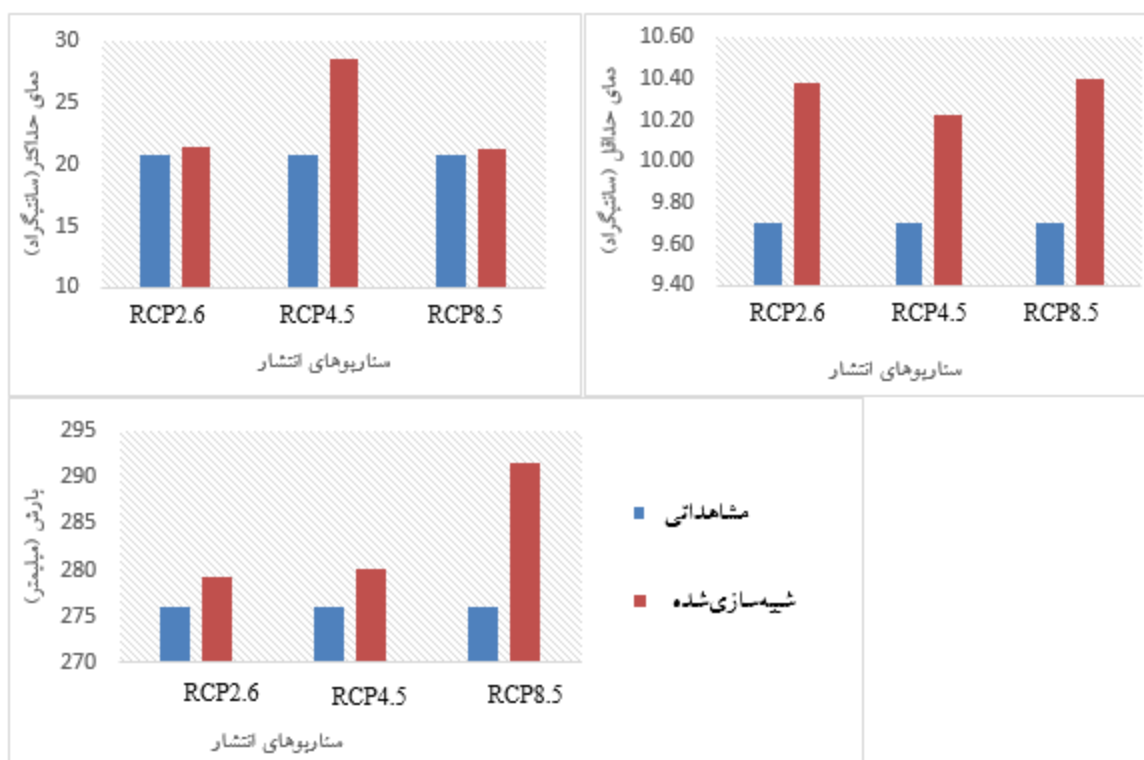
جدول ۱- پارامترهای کیفیت آب، وزن پارامترها و طبقه‌بندی آب بر اساس شاخص WQI

ردیف	پارامتر	واحد	وزن	دامنه تغییرات شاخص	طبقه‌بندی آب
۱	DO	درصد	۰/۱۷	۰-۲۵	خیلی بد
۲	کالیفرم مدفوعی	تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر	۰/۱۶	۲۶-۵۰	بد
۳	pH	واحد استاندارد	۰/۱۱	۵۱-۷۰	متوسط
۴	BOD	میلی‌گرم در لیتر	۰/۱۱		
۵	تغییرات دما	درجه سانتی‌گراد	۰/۱۰	۷۱-۹۰	خوب
۶	فسفات	میلی‌گرم در لیتر	۰/۱۰		
۷	نیترات کل	میلی‌گرم در لیتر	۰/۱۰		
۸	کدورت	NTU	۰/۰۸	۹۱-۱۰۰	عالی
۹	کل جامدات	میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۷		

نتایج و بحث

شکل ۲، تغییرات سالانه بارش، دمای کمینه و بیشینه دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۵ و دوره ۲۰۳۶-۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. با بررسی شکل ملاحظه می‌شود که دمای بیشینه در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 شبیه به شرایط پایه بوده ولی در سناریوی RCP4.5 افزایش دمای حدود هفت درجه‌ای را نسبت به شرایط پایه نشان می‌دهد. نتایج بررسی دمای کمینه حاکی از

آن است که در هر سه سناریو افزایش دما نسبت به شرایط پایه وجود دارد، لیکن، این افزایش دما در سناریوی RCP4.5 کمتر از دو سناریوی دیگر است. نتایج بررسی تغییرات سالانه بارش نیز نشان‌دهنده افزایش حدود ۱/۸۵ درصد بارش برای سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 و حدود ۳/۷ درصد برای سناریوی RCP8.5 است.



شکل ۲- تغییرات بارش و دمای سالانه دهه‌های آتی و پایه تحت سناریوهای انتشار RCP

ضریب تراوش نیتروژن (NPERCO)، حساس‌ترین پارامتر موثر بر میزان نیترات در حوزه آبخیز ارس است.

برای تعیین پارامترهای موثر بر شبیه‌سازی فسفات ابتدا، پنج پارامتر انتخاب شد. در جدول ۲، پارامترهای حساس مدل در شبیه‌سازی فسفات، دامنه تغییرات آن‌ها و مقدار بهینه به دست آمده پارامترها در واسنجی به ترتیب حساسیت ارائه شده است. سهم غلظت فسفر موجود در آب سطحی و زیرزمینی (GW-SLOP)، حساس‌ترین پارامتر موثر بر میزان فسفر در حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۲).

برای افزایش دقت شبیه‌سازی و بهبود نتایج اقدام به واسنجی، تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی مدل شد. از داده‌های ماهانه مربوط به سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ برای واسنجی و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ برای اعتبارسنجی نیترات و سولفات استفاده شد.

برای تعیین پارامترهای موثر بر شبیه‌سازی نیترات، ابتدا ۱۲ پارامتر انتخاب شدند (جدول ۲). سپس، پنج مورد از این پارامترها که در تعیین میزان غلظت نیترات تاثیر بیشتری داشتند، انتخاب شدند. در جدول ۲، پارامترهای حساس مدل در شبیه‌سازی، دامنه تغییرات آن‌ها و مقدار بهینه به دست آمده پارامترها به ترتیب حساسیت در واسنجی ارائه شده است. غلظت

جدول ۳- پارامترهای موثر در تعیین غلظت نیترات و فسفات در مدل SWAT

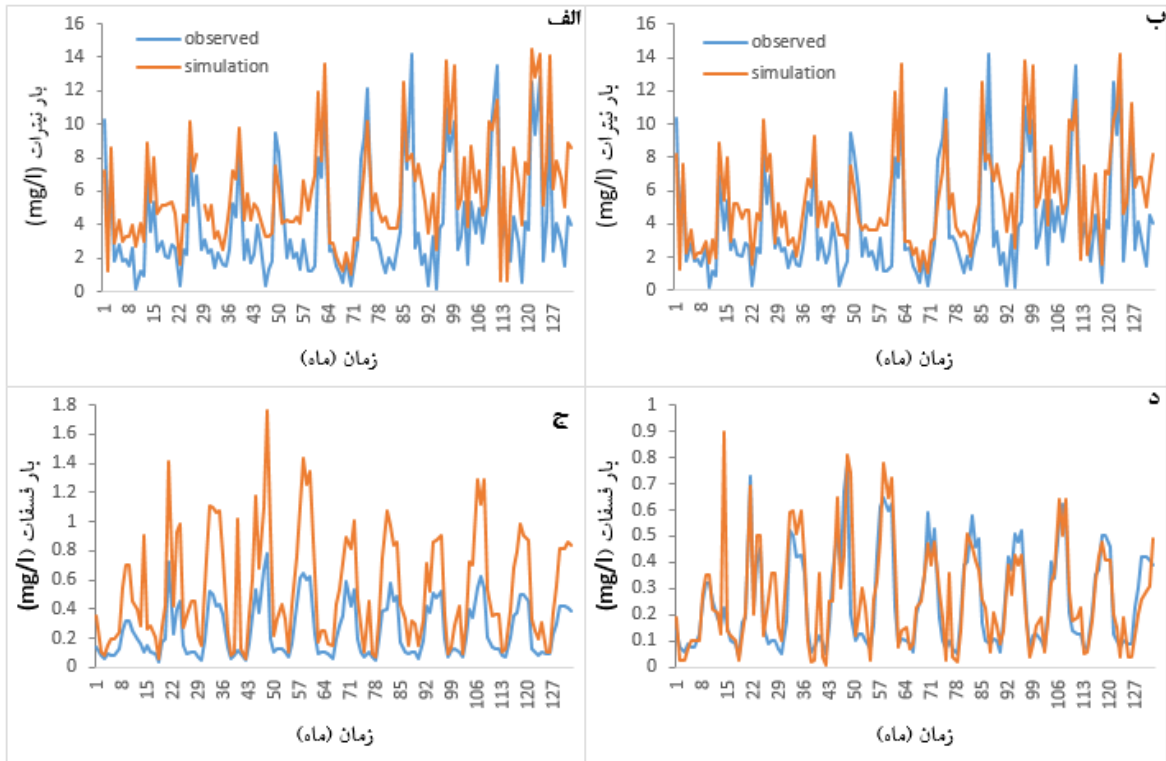
رتبه	نام پارامتر	مشخصه پارامتر	واحد	مقادیر اولیه مقدار کمینه	مقدار بیشینه	مقدار بهینه شده
۱	ضریب تراوش نیتروژن	NPERCO	-	۰	۱	۰/۳
۲	پارامتر توزیع جذب نیتروژن	N_UPDIS		۰	۱۰۰	۸۶/۱۳
۳	نسبت غنای نیتروژن در بار رسوب	ERORGN	-	۰	۵	۴/۶۹
۴	آستانه دینیتریفیکیشن آب	SDNCO		۰	۱	۰/۷۱
۵	ضریب تجزیه پسماند	RSDCO		۰/۰۲	۱	۰/۵۱
۶	غلظت نیتروژن در آب باران	RCN	$mg\ l^{-1}$	۰	۱۵	۳/۹۵
۷	مقدار اولیه نیتروژن آلی محلول در خاک	SOL-ORNG	$mg\ kg^{-1}$	۰	۱۰۰	۲/۳۵
۸	ضریب نرخ ترکیب نیترات	CDN	-	۰	۱	۰/۶۹
۹	ضریب نرخ معدنی شدن هوموس	CMN	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
۱۰	غلظت اولیه نیترات در آب‌های سطحی	SHALLST-N	$mg\ nl^{-1}$	۰	۱۰۰۰	۷۴۵
۱۱	مقدار اولیه نیترات محلول در خاک	SOL-NO3	$mg\ kg^{-1}$	۰	۱۰۰	۳۵/۷۱
۱۲	نرخ ثابت اکسیداسیون NO_2 به NO_3	BC2	-	۰/۲	۲	۰/۷۴۱
۱	سهم غلظت فسفر موجود در آب سطحی و زیرزمینی	GW-SLOP	$mg\ pl^{-1}$	۰	۱۰۰	۰/۷۴۲
۲	شاخص فسفر در دسترس	PSP	-	۰/۰۱	۰/۸	۰/۷
۳	ضریب نرخ معدنی شدن مواد مغذی	PSDCO	-	۰	۱	۰/۴۵
۴	مقدار اولیه فسفر محلول در خاک	SOL-LABP	$mg\ kg^{-1}$	۰	۱۰۰	۴/۵
۴	ضریب تراوش فسفر	PPERCO	$m^3\ kg^{-1}$	۰		
۵	نسبت غنای فسفر در بار رسوب	ERORGP	-	۰	۵	۰/۴۶

مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد. کم بودن تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده نیترات در حوزه آبخیز ارس از عوامل اصلی کاهش دقت شبیه‌سازی نیترات است (جدول ۳).

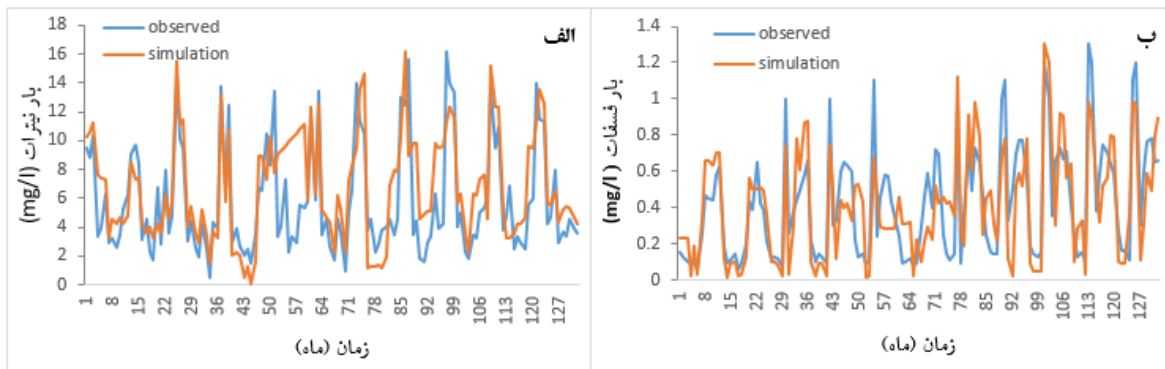
برای پارامتر فسفات ضریب نش-ساتکلیف در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۰/۵۸ می‌باشد که نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن مدل است (Fazeli و همکاران، ۲۰۲۰). ضریب تبیین در دور واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۶۷ و ۰/۶۱ است که بیانگر همبستگی تقریباً خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد (جدول ۳).

شکل‌های ۳ و ۴، مقادیر بار نیترات و فسفات مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به ترتیب در دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای ایستگاه سد میل و مغان نشان می‌دهد. شاخص‌های ارزیابی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۳ ارائه شده است.

برای پارامتر نیترات ضریب نش-ساتکلیف در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۵۱ و ۰/۴۸ می‌باشد که نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن مدل است (Fazeli و همکاران، ۲۰۲۰). ضریب تبیین در دور واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۵۷ است که بیانگر همبستگی تقریباً خوب بین داده‌های



شکل ۳- مقدار نیترات شبیه‌سازی شده و مشاهداتی قبل از واسنجی (الف) و دوره واسنجی (ب)؛ بار فسفات شبیه‌سازی شده و مشاهداتی قبل از واسنجی (ج) و در دوره واسنجی (د) در ایستگاه سد میل و مغان



شکل ۴- بار نیترات (الف) و فسفات (ب) شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی در ایستگاه سد میل و مغان

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی در ایستگاه سد میل و مغان

پارامتر	دوره	R ²	نش-سانتکلیف
نیترات	قبل از واسنجی	۰/۶۹	۰/۳۲
	واسنجی	۰/۷۳	۰/۵۱
	اعتبارسنجی	۰/۵۷	۰/۴۸
فسفات	قبل از واسنجی	۰/۵۶	۰/۳۸
	واسنجی	۰/۶۷	۰/۶۱
	اعتبارسنجی	۰/۶۱	۰/۵۸

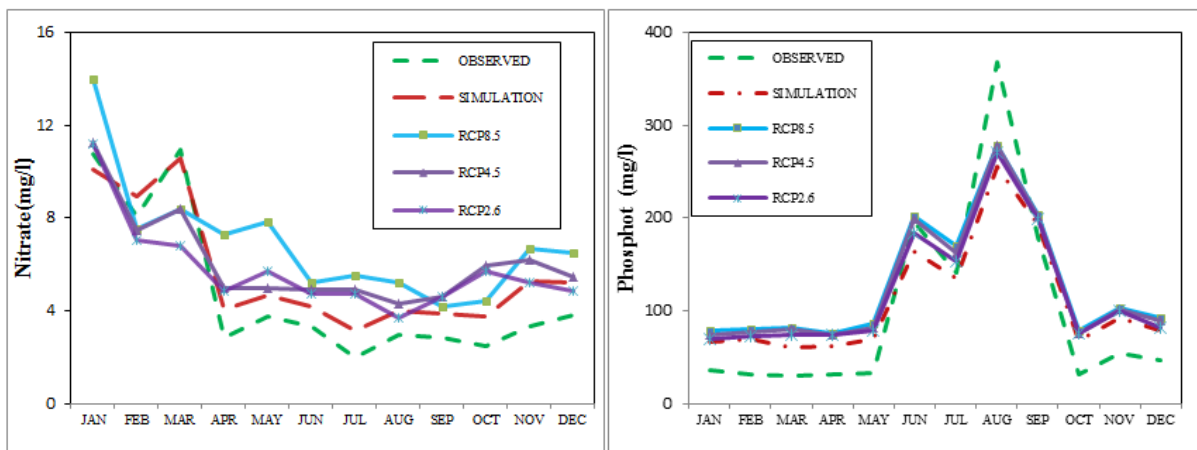
در آمد. بر این اساس، تغییرات نیترات در رودخانه ارس در مقیاس ماهیانه نیز در شکل ۵، در سناریوی

در ادامه، مدل واسنجی شده SWAT در مورد پارامتر کیفی نیترات برای شرایط تغییر اقلیم به اجرا

افزایش چشمگیر فسفات در رودخانه و تحت هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و همچنین، مقادیر شبیه‌سازی شده دیده می‌شود. این افزایش همچنین، در ماه‌های جولای، اکتبر، نوامبر و دسامبر نیز مشاهده می‌شود. هر سه سناریو برای ماه ژانویه مقادیری نزدیک به فسفات مشاهداتی پیش‌بینی کرده‌اند، لیکن تنها برای ماه آگوست سناریوهای مورد بررسی و مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر مشاهداتی هستند. بنابراین، به‌طور کلی هر سه سناریو افزایش فسفات را پیش‌بینی کرده‌اند. مقادیر متوسط فسفات سالانه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5، برابر با ۱۲۷/۷۸، ۱۲۴/۶۳ و ۱۱۹/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، در حالی‌که این مقدار برای دوره پایه برابر با ۹۸/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شده است (شکل ۵).
به‌منظور تحلیل ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با متغیرهای کیفی ابتدا نرمال‌بودن متغیرهای مختلف بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری ($P < 0.05$)، پیش فرض نرمال‌بودن برای تمامی متغیرها برقرار بوده است (جدول ۴).

پایه و آینده تحت هر سه سناریو انتشار RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، در ماه‌های آوریل تا دسامبر افزایش نیترات در رودخانه و تحت هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و همچنین، مقادیر شبیه‌سازی شده دیده می‌شود. این افزایش در سناریوی RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها بیشتر است. در ماه ژانویه سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 مقادیری نزدیک به مقادیر پایه و با اندکی افزایش را پیش‌بینی کرده‌اند، لیکن، در این ماه نیز سناریو RCP8.5 افزایش قابل توجهی را پیش‌بینی کرده است. در ماه فوریه و مارس هر سه سناریو کاهش نیترات در رودخانه ارس پیش‌بینی شده، لذا، به‌طور کلی در بیشتر ماه‌ها هر سه سناریو افزایش نیترات پیش‌بینی شده است. مقادیر متوسط سالانه نیترات در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5، برابر با ۶/۹، ۶/۱۲ و ۵/۷۶ است، در حالی‌که این مقدار برای دوره پایه برابر با ۴/۷۶ مشاهده شده است (شکل ۵).

نتایج بررسی پارامتر کیفی فسفات برای شرایط تغییر اقلیم نشان می‌دهد که در ماه‌های ژانویه تا می



شکل ۵- مقایسه نتایج میانگین ماهانه نیترات و فسفات تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5، RCP8.5 دوره ۲۰۱۷-۲۰۳۶ و دوره پایه

یک درصد وجود دارد. در مورد متغیر دبی نیز با تمام متغیرهای کیفیت آب دارای همبستگی معنی‌دار در سطوح مورد آزمون بوده است (جدول ۵).

پس از بررسی همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با متغیرهای کیفیت آب، روابط

در این مطالعه، از آزمون همبستگی پیرسون به-منظور بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با متغیرهای کیفیت آب استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که بین بارندگی با تمامی متغیرهای کیفیت آب همبستگی معنی‌داری در سطح

آزمون مدل‌ها استفاده شد؛ از این‌رو، معیارهای آماری ضریب ناش-ساتکلیف و RMSE برای این داده‌ها محاسبه شد. نتایج محاسبه این معیارها نیز حاکی از صحت قابل قبول روابط برای تمامی متغیرهای کیفیت آب بود. به طوری که در تمامی موارد ضریب NS در حد قابل قبول بود.

رگرسیون چندمتغیره خطی با استفاده از متغیرهای مذکور برای برآورد متغیرهای کیفیت آب شد. نتایج مربوط به مدل‌های رگرسیونی برآورد کننده ویژگی‌های مختلف کیفیت آب در جدول ۶ ارائه شد. این نتایج نشان داد که روابط مختلف رگرسیونی دارای ضرایب تبیین قابل قبولی هستند. با توجه به این که در مرحله مدل‌سازی رگرسیونی ۳۰ درصد از داده‌ها برای

جدول ۴- نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف به منظور تحلیل نرمال بودن داده‌های اقلیمی کیفیت آب

معنی‌داری	STATISTIC	متغیر
۰/۲۵۱	۰/۵۲۳	Discharge
۰/۰۶۵	۰/۲۶۹	PCP
۰/۱۲۷	۱/۳۲۱	TDS
۰/۵۴۸	۰/۶۳۴	SO4
۰/۷۲۱	۰/۹۷۳	EC
۰/۳۲۵	۰/۶۲۵	BOD
۰/۴۸۲	۰/۳۲۶	Do
۰/۶۹۱	۰/۵۸۲	COD
۰/۵۷۰	۰/۴۸۴	No3
۰/۵۶۲	۰/۶۰۷	Po4

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون پیرسون بین متغیرهای اقلیمی کیفیت آب

Po4	No3	COD	Do	EC	BOD	TDS	PCP	SO4	Discharge	
									۱	Discharge
									۱	SO4
							۱	۰/۰۱	۰/۰۳۰**	PCP
					۱	۰/۰۷۲	۰/۰۵۹**	۰/۱۹۳**	۰/۲۳۶**	TDS
				۱	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹**	۰/۰۹۱	۰/۳۶*	BOD
			۱	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۰۷**	۰/۱۷۱**	۰/۰۵۷*	EC
			۱	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۰۷**	۰/۱۷۱**	۰/۰۵۷*	DO
		۱	۰/۱۸۲**	۰/۰۸۸	۰/۱۱۲	۰/۲۵۲*	۰/۰۵۰**	۰/۰۶۶	۰/۵۰۵**	COD
	۱	۰/۴۲**	۰/۰۸۸	۰/۱۱۶	۰/۰۸۴	۰/۱۰۱	۰/۰۳۹**	۰/۱۵۲*	۰/۳۳۱**	No3
۱	۰/۰۹	۰/۱۶۱**	۰/۵۳۰**	۰/۲۰۵**	۰/۰۶۵	۰/۱۱۶	۰/۰۱۹**	۰/۵۱**	۰/۳۲۹**	Po4

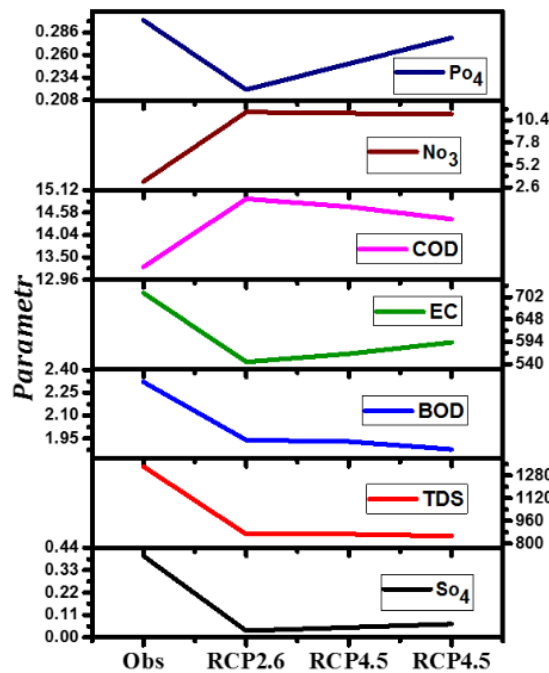
جدول ۶- مدل‌های رگرسیونی برآورد کننده ویژگی‌های مختلف کیفیت آب و شاخص‌های ارزیابی

RMSE	NS	R ²	رابطه	متغیر
۰/۹۳۸	۰/۵۹	۰/۶۱	$Y = -0.001P - 0.002Q + 0.758$	SO4
۲۴/۳۳	۰/۵۶	۰/۶۶	$Y = -1.216P - 0.114Q + 1231.38$	TDS
۰/۳۳	۰/۷۵	۰/۷۵	$Y = -0.005P - 0.005Q + 3.339$	BOD
۷۵/۲۹	۰/۶	۰/۷۱	$Y = -0.075P - 2.073Q + 1029.73$	EC
۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۲	$Y = -0.002P + 2.008Q + 6.46$	Do
۱/۵۳	۰/۶۵	۰/۶۸	$Y = -0.002P + 0.02Q + 11.006$	COD
۱/۰۰۷	۰/۶۹	۰/۷۶	$Y = -0.015P + 0.010Q + 5.19$	No3
۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۷۷	$Y = -0.0001P - 0.002Q + 0.648$	Po4

در نهایت، مقدار شاخص برای شرایط پایه و هر یک از سناریوها به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده و محاسبه شاخص WQI برای شرایط پایه و شاخص‌های RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 حاکی از آن است که در شرایط پایه کیفیت آب در شرایط بد قرار گرفته، نتایج پیش‌بینی‌ها نیز برای هر سه سناریو در شرایط خیلی بد قرار خواهد گرفت (جدول ۵).

در ادامه، با توجه به روابط رگرسیونی به دست آمده برای هر پارامتر، مقدار هر یک از پارامترها برای شرایط پایه و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به دست آمد (شکل ۶).

به منظور ارزیابی شرایط کیفی رودخانه ارس از نظر شاخص WQI شاخص معادل هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی و وزن هر پارامتر تعیین شد و



شکل ۶- نتایج مربوط به پارامترهای کیفیت آب در شرایط پایه و پیش‌بینی شده بر اساس سناریوهای انتشار RCP

جدول ۵- شرایط کیفی رودخانه ارس از نظر شاخص IRWQI_{sc} در شرایط پایه و سناریوهای مورد آزمون

مقدار شاخص پارامتر				وزن	پارامتر
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	مشاهداتی		
۶/۱۲	۶/۹	۵/۶۵	۴/۷۶	۰/۱۰۸	نیترات
۱۲۷/۷۸	۱۲۴/۶۳	۱۱۹/۲۹	۹۸/۴	۰/۰۷۸	فسفات
۰/۰۶۵	۰/۰۴۹	۰/۰۳۲	۰/۴	۰/۰۹	سولفات
۵۹۲/۵۲	۵۶۴/۹۲	۵۴۵/۴۲	۷۱۱/۶۴	۰/۰۹۶	Ec
۸۳/۳۲	۸۵/۱۸	۸۷/۷	۹۳/۵	۰/۰۹۷	DO%
۱/۸۸	۱/۹۳	۱/۹۴	۲/۳۲	۰/۱۱۷	BOD5
۱۴/۴۲	۱۴/۷۲	۱۴/۹۱	۱۳/۲۷	۰/۰۹۳	COD
۱۲/۴۵	۱۲/۲۳	۱۱/۱۷	۱۵/۶۹		مقدار شاخص IRWQI _{sc}

شرایط حال حاضر رودخانه و پیش‌بینی شرایط این رودخانه در آینده به کمک شاخص‌های کیفیت آب باعث می‌شود تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات زیست‌محیطی آن به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه آب‌های سطحی کشور باشد، با آگاهی بیشتری اتخاذ شود. نتایج بررسی

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت رودخانه ارس در تامین آب شرب و کشاورزی شهرها و رودخانه‌های اطراف این رودخانه و همچنین، تخلیه آلاینده‌های متعدد به آن، ارزیابی کیفی آب این رودخانه ضروری به نظر می‌رسید. از طرفی، بررسی

تغییرات اقلیمی در حوضه ارس نشان داد که دمای بیشینه در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 شبیه به شرایط پایه بوده، ولی در سناریوی RCP4.5 افزایش دمای نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد. نتایج بررسی دمای کمینه حاکی از آن است که در هر سه سناریو دما نسبت به شرایط پایه افزایش می‌یابد. لیکن، این افزایش دما در سناریوی RCP4.5 کمتر از دو سناریوی دیگر است. بنابراین، بر اساس نتایج به دست آمده از تغییرات اقلیمی در دشت مغان افزایش دما مشاهده خواهد شد که این نتیجه با نتایج مطالعه Fazeli و همکاران (۲۰۲۰) و Goudarzi و همکاران (۲۰۱۸) هم‌خوانی دارد. با توجه به افزایش سطح کشت اراضی کشاورزی با اجرای پروژه‌های بزرگ آبرسانی خداآفرین و عمارت در منطقه و افزایش دمای هوا و به تبع آن تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان، نیازمند تصمیم‌گیری و مدیریت درست و اصولی در جهت استفاده صحیح از منابع آبی و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی در این منطقه است تا بخش کشاورزی منطقه به‌عنوان مهمترین منبع تامین‌کننده معیشت مردم منطقه آسیب نبیند. اگرچه نتایج بررسی تغییرات سالانه بارش نیز نشان‌دهنده افزایش حدود ۱/۸۵ درصد بارش برای سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 و حدود ۳/۷ درصد برای سناریوی RCP8.5 می‌باشد. لیکن، با توجه به نیازهای آبی منطقه به‌خصوص در بخش کشاورزی مدیریت اصولی استفاده از منابع آبی و اصلاح الگوی کشت در جهت ذخیره‌سازی منابع آب برای مواقع ضروری را می‌طلبد.

سناریو کاهش نیترات را در رودخانه ارس پیش‌بینی کرده‌اند، لذا، به‌طور کلی در بیشتر ماه‌ها هر سه سناریو افزایش نیترات را پیش‌بینی کرده‌اند. در مورد پارامتر فسفات در ماه‌های ژانویه تا می افزایش چشمگیر فسفات در رودخانه و تحت هر سه سناریو و همچنین، مقادیر شبیه‌سازی شده به‌دست آمد. این افزایش همچنین، در ماه‌های جولای، اکتبر، نوامبر و دسامبر نیز مشاهده می‌شود. هر سه سناریو برای ماه ژانویه مقادیری نزدیک به فسفات مشاهداتی پیش‌بینی کرده‌اند. لیکن، تنها برای ماه آگوست سناریوهای مورد بررسی و مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر مشاهداتی هستند. بنابراین، به‌طور کلی هر سه سناریو افزایش فسفات را پیش‌بینی کرده‌اند. افزایش فسفات به‌دلیل گسترش استفاده از انواع کودهای شیمیایی در مزارع منطقه و ورود مستقیم پساب‌های کشاورزی بدون هیچ‌گونه تصفیه و فیلتری به رودخانه بوده که تأثیر قابل توجهی در آلودگی‌های کیفیت آب رودخانه دارد. عدم توجه به بحث کیفی رودخانه ارس موجب مشکلات فراوان زیست‌محیطی در منطقه شده، بسیاری از محققین و مطالعات انجام گرفته در منطقه شرایط نامناسب کیفیت رودخانه ارس را عامل گسترش بیماری‌ها در منطقه می‌دانند (Habibzadeh و Shahmohammadi-Kalalagh، ۲۰۱۷؛ Jamalabad و همکاران، ۲۰۱۷؛ Nasrullah و Zade Saravi و همکاران، ۲۰۱۷) که نیازمند تدابیر علمی و عملی برای کاهش آلودگی‌های ورودی به این رودخانه می‌باشد.

مدل واسنجی شده SWAT در مورد پارامترهای کیفی نیترات و فسفات برای شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار مورد آزمون نشان داد که در ماه‌های آوریل تا دسامبر افزایش نیترات در رودخانه، تحت هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و همچنین، مقادیر شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود که این افزایش در سناریوی RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها بیشتر است. در ماه ژانویه سناریوهای RCP4.5 و RCP2.6 مقادیری نزدیک به مقادیر پایه و با اندکی افزایش را پیش‌بینی کرده‌اند، لیکن، در این ماه نیز سناریوی RCP8.5 افزایش قابل توجهی را پیش‌بینی کرده است. در ماه فوریه و مارس هر سه

در این مطالعه، با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI شرایط کیفی و میزان آلودگی آب رودخانه ارس در شرایط پایه تعیین شد، سپس، با استفاده از مدل SWAT پیش‌بینی شرایط کیفی برای پارامترهای نیترات و فسفات برای آینده انجام شد و سایر پارامترهای کیفیت آب به کمک روابط رگرسیونی به‌دست آمده بین این پارامترها و بارش و دبی برای آینده پیش‌بینی شد و از این طریق شاخص کیفیت آب WQI برای سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شرایط کیفیت آب رودخانه ارس را پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که از نظر شاخص WQI شرایط پایه و حال حاضر رودخانه ارس بد بوده،

کشاورزی شهرها و روستاهای زیاد و هزاران نفر را بر عهده دارد، توجه ویژه‌ای در جهت کاهش آلاینده‌گی شود، چرا که رفته رفته از کیفیت آب رودخانه کاسته می‌شود.

برای هر سه سناریو انتشار در نظر گرفته شده نیز شرایط بدتر شده، در محدوده خیلی بد قرار خواهد گرفت. این نتیجه با نتایج مطالعه Fathi و همکاران (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. بنابراین، لازم است تا به این رودخانه با اهمیت بسیار بالا که تأمین آب شرب و

منابع مورد استفاده

1. Dos Santos Simoes, F., A.B. Moreira, M.C. Bisinoti, S.M.N. Gimenez and M.J.S. Yabe. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 8(5): 476-84.
2. Effendi, H. and R.Y. Wardiatno. 2015. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24: 228-237.
3. Ehteshami, M., N. Biglarijoo and M. Salari. 2014. Assessment and quality classification of water in Karun, Dez and Karkheh rivers. *Journal of River Engineering*, 2(8): 23-30.
4. Fabiano, D., S. Santos, B. Altair, M. Moreira and M. Sonia. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 8: 476-484.
5. Farayi, E. 2011. Investigation of qualitative parameters of water supply channels in Parsabad City. *Journal of Environmental Science*, 50: 72-81 (in Persian).
6. Fathi, P., I. Ebrahimi, N. Mirghafari and A.R. Esmaili. 2016. Investigation of temporal and spatial changes of water quality in Choghakhor Wetland using Water Quality Index (WQI). *Journal of Aquatic Ecology*, 5(3): 41-50 (in Persian).
7. Fazeli, A., B. Salahi and M. Godarzi. 2020. Evaluating the effects of climate change on potential evapotranspiration changes in the Moghan Plain with RCPs scenarios. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12: 977-993 (in Persian).
8. Goudarzi, M., B. Salahi and S.A. Hosseini. 2018. Estimation of evapotranspiration rate due to climate change in the Urmia Lake Basin, Iran. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(41): 1-12 (in Persian).
9. Hossieni, P., A.R. Ildoromi and A.R. Hossieni. 2013. Assimilative capacity of the River Karun using index NSFQI in the range Zergan-Kut Amir (during the five years). *Human and Environment*, 11(25): 1-11 (in Persian).
10. Lumb, A., D. Halliwell and T. Sharma. 2002. Canadian Water Quality Index (CWQI) to monitor the changes in water quality in the Mackenzie River, Great Bear. In: *Proceedings of the 29th Annual Aquatic Toxicity Workshop*, (Oct. 21-23), Whistler, B.C. Canada.
11. Mangadze, T., J.C. Taylor, W.P. Froneman and T. Dalud. 2019. Water quality assessment in a small austral temperate river system (Bloukrans River system, South Africa): application of multivariate analysis and diatom indices. *South African Journal of Botany*, 125: 353-359.
12. Marara, T. and L.G. Palamuleni. 2019. An environmental risk assessment of the Klip River using water quality indices. *Physics Indices, Physics and Chemistry of the Earth*, 8 pages.
13. Mehrotra, R., J.P. Evans, A. Sharma and B. Sivakumar. 2014. Evaluation of downscaled daily rainfall hindcasts over Sydney, Australia using statistical and dynamical downscaling approaches. *Hydrology Research*, 45(2): 226-249.
14. Mirmoshtaghi, M., R. Amirnezhad and M.R. Khaledian. 2013. Survey of water quality in Sefidrood by NSFQI and OWQI indexes. *Quarterly Journal of Wetland Ecobiology*, 3(9): 23-34 (in Persian).
15. Mohseni Bandpey, A., M. Majlesi and A. Kazempour. 2014. Evaluation of Golgol River water quality in Ilam Province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). *Journal of the Health in the Field*, 1(4): 45-54 (in Persian).
16. Mojaradi, B., F. Alizadeh Sanami and M. Samadi. 2018. Estimation of water quality index in Talar River using gene expression programming and artificial neural networks. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 12(41): 61-73.
17. Nasrullah Zade Saravi., R., M. Vahedi, F. Makhlug and A.M. Dostdar. 2017. Determination of effective water quality parameters of Aras River using principal component analysis. *Caspian Sea Aquatic Journal*, 3(3): 1-10 (in Persian).
18. Olyaie, E., H. Banejad, M.T. Samadi, A.R. Rahmani and M.H. Saghi. 2011. Performance evaluation of artificial neural networks for predicting rivers water quality indices (BOD and DO) in Hamadan Morad Beik River. *Journal of Soil and Water Knowledge*, 1(3): 199-210 (in Persian).

19. Ramos, M.A., E.S. Oliveira, A.C. Pião, D.A. de Oliveira Leite and D.D. de Angelis. 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(5): 1-4.
20. Rosli, N.A., M.H. Zawawi and R.A. Bustami. 2012. Salak River water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics. In *Proceedings of International Conference on Advances in Sciences and Contemporary Engineering*, 69-77.
21. Sadeghi, M., A. Bay, N. Bay, N. Soflaie, M. Mehdinejad and M. Mallah. 2015. The effect of agriculture drainage on water quality of the Zaringol in Golestan Province by the water quality index. *Journal of Research in Environmental Health* 2015, 1(3): 177-85 (in Persian).
22. Sadeghi, M., A. Bay, N. Bay, N. Soflaie, M. Mehdinejad and M. Mallah. 2016. The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. *Journal of Health in the Field*, 3(3): 27-34 (in Persian).
23. Saha, P.P., K. Zeleke and M. Hafeez. 2013. Streamflow modeling in a fluctuant climate using SWAT: Yass River Catchment in south eastern Australia. *Environmental Earth Sciences*, 71(12): 5241-5254.
24. Salari, M., F. Radmanesh and H. Zarei. 2012. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSF-WQI index and AHP method. *Journal of Human and Environment*, 23(34): 13-22 (in Persian).
25. Shahmohammadi-Kalalagh, Sh. and N. Habibzadeh. 2017. Assessment of geochemical and distribution of heavy metals Pb, Cu, Zn and Ni in the Aras free trade-industrial zone. *Journal of Water Resources Protection*, 6(4): 29-44 (in Persian).
26. Shamsaie, A., S. Oreei and A. Sarang. 2004. The comparison of water indices and zoning quality in Kroon and Dez rivers. *Journal of Water Wastewater*, 16(3): 39-48 (in Persian).
27. Solgi, E. and H. Sheikhzadeh. 2016. Study of water quality of Aras River using physico-chemical variables. *Iran Water Resources Research*, 12(3): 207-213 (in Persian).
28. Vaheedunnisha, S. and K. Sandeep. 2013. Water quality assessment of RoopSagar Pond of Satna using NSF-WQI. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(5): 1386-1388.
29. Yulu Tian, Y., Y. Jianga, Q. Liua, M. Dong, D. Xu, Y. Liua, Y. Liua and X. Xua. 2019. Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, Northern China. *Science of the Total Environment*, 667: 142-151.