اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۸۷-۲۷۵

تغییرات زمانی شاخص سلامت هیدرولوژیکی دبی جریان خروجی از تالاب نئور استان اردبیل

فریبا اسفندیاری‌درآباد[۱]، زهرا شهبازی‌شرفه[۲]، مصطفی ذبیحی‌سیلابی[۳]، رئوف مصطفی‌زاده[۴*]

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران

۳. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

٤. دانشیار، گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکدهٔ مدیریت آب دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت ۱٤۰۲/۰۲/۲۷؛ تاریخ بازنگری ۱٤۰۲/۰۳/۲۲؛ تاریخ تصویب ۱٤۰۲/۰٤/۳۱)

چکیده

کمیت و کیفیت آب رودخانه‌ها از عواملی است که با سلامت انسان و موجودات زنده در ارتباط بوده و به‌شدت از فعالیت‌های حوضهٔ آبخیز متأثر است که این فعالیت‌ها به طور طبیعی یا مصنوعی ناشی از اقدامات انسانی است. در همین ارتباط ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی از جمله احداث سدها بر تغییرات رژیم رودخانه به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آبی ضرورت دارد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی سلامت جریان خروجی از تالاب نئور در دو دورهٔ قبل (۱۳۵۳-۱۳٦٦) و بعد (۱۳٦٦-۱۳۹۸) از احداث سد نئور برنامه‌ریزی شد. از همین‌رو ابتدا تغییرات زمانی سلامت رودخانهٔ نئور با استفاده از نرم‌افزار Flow Health مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بود که در دورهٔ قبل از احداث سد نئور مقدار شاخص Flow Health برابر ۰/۷۷ بوده است. این در حالی است که در دورهٔ بعد از احداث سد یادشده مقدار شاخص سلامت جریان کاهشی و برابر ۰/۷٤ است. از بین ۹ شاخص مورد بررسی نیز شاخص‌های تداوم جریان حداقل و حداقل جریان ماهانه در دورهٔ مورد بررسی تغییری نداشته‌اند. در صورتی که شاخص وقوع جریان سیلابی بیشترین انحراف از شرایط طبیعی را داشته است. از سوی دیگر نتایج نشان داد بارش در محدودهٔ مطالعاتی روند افزایشی غیر معنادار داشته، در صورتی که دبی جریان روند کاهشی غیر معنادار داشته است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان مبنایی برای ارزیابی اثرات سد ذخیره‌ای بر تغییرات جریان و سلامت هیدرولوژیکی رودخانهٔ مد نظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: جریان کمینه، جریان محیط زیستی، سد تنظیمی، شاخص جریان سیلابی، Flow Health.

* نویسندهٔ مسئول
Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

مقدمه

کمیت و کیفیت آب رودخانه‌ها از جمله عوامل مهم مؤثر در سلامت موجودات زنده مخصوصاً انسان‌ها است و به‌شدت از فعالیت‌های حوضهٔ آبخیز تأثیر می‌پذیرد [۱]. همچنین رودخانه‌ها سامانه‌هایی باز هستند که همواره تلاش می‌کنند تا به تعادل نسبی در حوضه‌های آبخیز برسند [۲]. از سوی دیگر، علاوه بر ارائهٔ خدمات متعدد در زمینهٔ شرب، صنعت، کشاورزی و توریسم برای بشر، از عوامل اصلی پویایی بوم‌سازگان[1] نیز هستند. از سوی دیگر، رژیم طبیعی جریان رودخانه، یک عامل اولیه در تعیین ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌های آبی و حاشیهٔ رودخانه‌ها است که وضعیت کلیدی زیستگاه درون کانال رودخانه، سیلاب‌دشت و غیره را کنترل می‌کند [۳]. از این‌رو، تغییرات در رژیم جریان می‌تواند ضمن تغییر بسیاری از ویژگی‌های زیستگاه به پیوستگی بوم‌سازگان نیز آسیب رساند [۴]. از طرفی دیگر، حوضه‌های رودخانه‌ای از اشکال پویای طبیعت هستند که در بازهٔ زمانی مخصوص و در موقعیت‌های مختلف، در ارتباط با عوامل محیطی، ویژگی‌های متفاوتی و مشخصی از خود نشان می‌دهند. ایجاد تعادل و هماهنگی در شبکه‌های زهکشی به فاکتورهای مختلفی وابسته است و تعادل ایجادشده نیز در عناصر شبکهٔ زهکشی رودخانه به دست انسان و یا طبیعی صورت می‌گیرد [۵].

از سوی دیگر، به دلیل نبود توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به منابع آب و نیاز برای آن، در بیشتر مناطق دنیا از جمله ایران، ذخیره، نگهداری و تنظیم جریان طبیعی با ساخت‌وسازهای هیدرولوژیکی مانند سدها انجام می‌شود. ذخیره کردن آب توسط سدها باعث ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی بسیار زیادی در محیط و شرایط زمین‌شناسی می‌شود [۶]. سدها یکی از تأسیسات بزرگ آبی هستند که به منظور نگهداشت آب رودخانه‌ها برای ایجاد تعادل مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعت احداث می‌شوند. سدهای با وسعت زیاد تأمین‌کنندهٔ برق، آب، مهارکنندهٔ سیلاب‌ها، تولید اراضی کشاورزی و تضمین‌کنندهٔ استقلال ملی هر کشور هستند. هرچند احداث سدهای بزرگ به واسطهٔ مزایای اجتماعی و هزینه‌های زیاد آن‌ها و با وجود منافع زیاد آن، مضراتی نیز داشته که در برخی از موارد جبران‌ناپذیر هستند [۷].

از علت‌های توجیهی ساخت سد می‌توان به شرایط اقلیمی، بارش و جریان رودخانه و نیاز مبرم به استفاده از آب اشاره کرد. سدها روی محیط زیست دارای اثرات مثبت و منفی هستند. به بیان دیگر، از مزایای آن می‌توان به مدیریت رژیم جریان در نتیجهٔ جلوگیری از وقوع خطر سیلاب، تأمین آب کشاورزی، مصارف شهری از راه نگهداشت آب و تولید انرژی بیان کرد. سدها با ایجاد تغییرات در تراز بستر رودخانه، عرض کانال، عمق آب، اندازهٔ مواد و مصالح، بر هندسهٔ هیدرولوژیکی نقاط پایین‌دست تأثیر می‌گذارند [۸]. تغییرات زیاد هیدرولوژیکی در سدها از طریق تغییر در تنظیم سرعت جریان، حجم و فراوانی جریان‌های کمتر و بیشتر از حد نرمال، تأثیر بسیار زیادی بر رژیم جریان هیدرولوژیکی جریان‌های آبی دارند و رژیم هیدرولوژیکی جدیدی را ایجاد می‌کنند که با رژیم عادی جریان قبل از آب‌گیری سد کاملاً تفاوت دارد [۲]. تغییرات زیاد هیدرولوژیکی ناشی از ساخت سد و مشکلات محیط زیستی مربوط به آن باعث نگرانی‌های بسیاری برای هیدرولوژیست‌ها، بوم‌شناسان و سیاست‌گذاران شده است [۹]. در همین راستا بیش از ۱۷۰ شاخص هیدرولوژیکی برای تعریف اجزای مختلف رژیم جریان و سهم آن‌ها در تأثیر بر بوم‌شناسی سامانهٔ رودخانه و اثرات فعالیت‌های انسانی بر تغییر رژیم جریان رودخانه‌ای تدوین شده است [۱۰ و ۱۱].

پژوهش‌های متعددی نیز در داخل کشور به منظور ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ها با اهداف و روش‌های مختلف صورت پذیرفته است. به عنوان مثال، خورشیددوست و همکاران (۲۰۱۶) روند تغییرات دبی جریان زیرحوضه‌های رودخانهٔ کرخه را با استفاده از روش‌های ناپارامتریک[2] طی سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۸۹ بررسی کردند. بررسی نتایج نشان داد روند بارش در سری زمانی سالانهٔ ایستگاه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب افزایشی و کاهشی است. در مقیاس فصلی نیز روند بارش در فصل‌های بهار و پاییز افزایشی و در فصل زمستان کاهشی است، در حالی که روند دبی در مقیاس سالانه و

1. Ecosystem

2. Non-parametric Methods

فصلی کاهشی است. بر همین اساس، نتایج پژوهش بیانگر آن بود که دخالت‌های انسانی تغییرات دبی ناشی از بارش را شدیدتر و در برخی از سرشاخه ها وارد مرحله بحرانی کرده است. همچنین، خروشی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی و ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل با با استفاده از آزمون‌های آماری پرداختند. نتایج پژوهش روند کاهشی معنادار سلامت رودخانه در ایستگاه‌های مطالعه‌شده (۱۳ ایستگاه از ۲۴ ایستگاه) را نشان داد. ایستگاه‌های سولا و فیروزآباد روند افزایشی معناداری داشتند و در ایستگاه‌های باقی‌مانده روندی معنادار تشخیص داده نشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های تغییرات مکانی سلامت رودخانه، بیشترین تغییر وضعیت شاخص سلامت رودخانه در بخش مرکزی و کمترین تغییرات در قسمت‌های شمالی و جنوبی استان مشاهده شد. در مجموع، بیان کردند که میزان تغییرات و کاهش درجهٔ سلامت هیدرولوژیک جریان در دوره‌های اخیر بسیار بیشتر از گذشته بوده است که می‌تواند با افزایش شدت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و کاهش آبدهی بر اثر تغییرات اقلیمی مرتبط باشد [۱۳]. در پژوهشی دیگر، نصیری خیاوی و همکاران (۲۰۱۹) تغییر مؤلفه‌های جریان محیط زیستی تحت تأثیر سد سبلان در رودخانهٔ قره‌سو استان اردبیل را با استفاده از نرم‌افزار شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک[1] IHA در دورهٔ آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۳ ارزیابی و تحلیل کردند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد فراوانی جریان‌های حداقل در ایستگاه دوست‌بیگلو نسبت به ارباب‌کندی، ۵۹ درصد افزایش داشته است [۱۴]. همچنین، اسفندیاری‌درآباد و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تأثیر احداث سد در رودخانه‌های زرینه‌رود و ساروق‌چای استان آذربایجان غربی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن بود سدهای احمدآباد، گوگردچی، نوروزلو و شهید کاظمی در تغییر جریان طبیعی رودخانه‌های زرینه‌رود و ساروق‌چای نقش داشته و باعث تغییر شاخص‌های هیدرولوژیکی در دوره‌های مورد مطالعه شده‌اند [۱۵]. امینی و همکاران (۲۰۱۹) نیز اثر احداث سدهای یامچی و سبلان استان اردبیل را بر تغییرات رژیم جریان و خشکسالی رودخانه‌های پایین‌دست آن‌ها ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست سد یامچی سیر صعودی دارند و با افزایش تداوم خشکسالی شدت‌های خشکسالی هم در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد در ایستگاه بالادست سد سبلان (ارباب‌کندی)، فقط در دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله با افزایش تدام خشکسالی، شدت خشکسالی هم افزایش می‌یابد. در ایستگاه پایین‌دست سد سبلان (دوست‌بیگلو) نیز در دو دورهٔ بازگشت ۲ و ۱۰ ساله با افزایش تداوم خشکسالی هیدرولوژیک، شدت خشکسالی‌ها هم افزایش یافت، ولی در دورهٔ بازگشت‌های بالاتر شدت‌های خشکسالی به میزان بیشتری کاهش یافتند [۱۶]. در پژوهشی دیگر مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات کمی و مقایسهٔ آماری شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل را بررسی کردند. در پژوهش یادشده منحنی طول جریان[2] (FDC) و ۳۰ شاخص هیدرولوژیکی در ایستگاه های بالادست و پایین‌دست سد یامچی محاسبه و تجزیه‌وتحلیل آماری هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون‌های t زوجی و آنالیز FDC انجام شد. بررسی و تحلیل نتایج نشان داد میانگین دبی پرآبی در ایستگاه‌های نیر (بالادست) و پله الماس (پایین‌دست) به‌ترتیب برابر ۱/۴۳ و ۰/۷۳ مترمکعب بر ثانیه است. از سوی دیگر، دبی بیشینه و کمینه و آهنگ دبی ۵، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ و احتمال Q_{50}/Q_{90}، شیب، انحراف معیار و شاخص خط از نظر تأثیر ساخت سد اختلاف معناداری داشت و میانگین دبی نیز کاهش یافته بود. از همین‌رو نتایج نشان داد رژیم رودخانه در ایستگاه پل‌الماس تحت تأثیر سد یامچی قرار داشت [۱۷]. در پژوهشی دیگر کنعانی و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانهٔ لیقوان با استفاده از شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تغییرات متغیرهای اقلیمی در میانهٔ دههٔ ۱۹۹۰ معنادار بوده است. در همین راستا، مقادیر آبدهی دارای روند منفی بوده و در ایستگاه پایین‌دست هروی در سطح ۱۰درصد

1. Indicators of Hydrologic Alteration

2. Flow Duration Curve

معنادار است. همچنین، مقایسهٔ متوسط دبی در ایستگاه هروی در دو دوره نشان داد در دورهٔ اخیر نسبت به دورهٔ اول ۳۶ درصد کاهش یافته است. درصد تأثیر عوامل انسانی و اقلیمی بر کاهش رواناب در تمام مدل‌های مورد استفاده به‌ترتیب بین ۶۵ــ ۸۴ و ۱۶ــ ۳۵ درصد بود. بنابراین اثر فعالیت‌های انسانی بر تغییرات جریان رودخانه قابل توجه است [۷]. سلاجقه و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی روند تغییرات زمانی و مکانی سلامت رودخانهٔ قره‌سو با استفاده از نرم‌افزار Flow Health پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد ایستگاه نهارخوران روند کاهشی در سطح ۰/۹۵ داشته و دو ایستگاه پل اردوگاه و غاز محله روند کاهشی در سطح ۰/۹۹ داشته‌اند. ایستگاه یساقی کمترین میزان سلامت را داشته و ایستگاه غاز محله نیز در بین دیگر ایستگاه‌ها دارای بیشترین امتیاز شاخص سلامت بوده است. ایستگاه غاز محله با امتیاز ۰/۸۶ بیشترین امتیاز سلامت را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد و سالم‌ترین ایستگاه از نظر سلامت هیدرولوژیکی است. همچنین سلامت در ایستگاه‌های نهارخوران، پل اردوگاه و غاز محله دارای روند کاهشی در سطح ۹۹ درصد هستند و ایستگاه‌های یساقی و ورودی سد کوثر روند افزایشی داشته‌اند. همچنین ایستگاه غاز محله بیشترین شیب کاهشی را نشان داد [۱۸]. در مطالعه‌ای دیگر اصغری و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی و مؤلفهٔ جریان محیط زیستی[1] در رودخانهٔ خیاوچای در یک دورهٔ ۳۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار IHA پرداختند. بر اساس نتایج، مقادیر جریان‌های کمینه در دورهٔ اول (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) بالا بوده است، ولی در دورهٔ اخیر (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸) کاهش پیدا کرده است. همچنین، کاهش مقادیر دبی شاخص‌های جریان‌های حداکثر و افزایش تعداد روزهای دبی صفر به تعداد ۱۷۴ روز نیز ناشی از کاهش آبدهی رودخانه بوده است. مقدار مؤلفه‌های نرخ اوج‌گیری و نرخ فروکش در دوره‌های اخیر افزایش پیدا کرده است. مقادیر شاخص‌های تداوم جریان کمینه و فراوانی جریان کمینه در رودخانهٔ خیاوچای افزایش داشته است. بر اساس تغییر مقادیر شاخص پراکندگی جریان، وقوع جریان‌های شدید و یا بسیار کم در رودخانه به دلیل کاهش جریان‌های کمینه و افزایش دبی‌های سیلابی تشدید شده است. در پژوهش یادشده تغییر مؤلفه‌های محیط زیستی جریان به کاهش دبی جریان و افزایش روزهای با دبی صفر نسبت داده شد [۱۹]. اخیراً نیز کاظمی و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر احداث سد بر شاخص‌های هیدرولوژیکی سد شمیل و نیان استان هرمزگان را با استفاده از IHA ارزیابی و تحلیل کردند. تحلیل نتایج پژوهش یادشده بیانگر آن بود که که احداث سد شمیل و نیان باعث تغییر رژیم جریان شده است. به طوری که بعد از احداث سد شمیل و نیان، دبی جریان فقط در اواسط آبان تا اواخر بهمن‌ماه هم‌زمان با برداشت محصولات خارج فصل در استان هرمزگان کاهشی بوده و در بقیهٔ ماه‌ها دبی جریان رودخانهٔ شمیل افزایش یافته است. روند سیلاب‌های کوچک بعد از احداث سد منظم شده‌اند، به طوری که دبی اوج سیلاب‌های کوچک در دورهٔ قبل از احداث سد ۸۰/۲۳ و در دورهٔ بعد از احداث سد ۷۵/۵۰ متر مکعب بر ثانیه است و حدود ۶ درصد کاهش یافته است. از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان داد تعداد روزهای جریان کمینه از ۲۹۴ روز قبل از احداث سد به ۳۰۱ روز بعد از احداث سد رسیده و شاخص زمان‌بندی جریان حد پایین نشان داد کمترین حد جریان از روز ۴۶ در دورهٔ قبل از احداث سد به ۲۷۵ روز در دورهٔ بعد از احداث سد تغییر داشته است [۳].

در خارج کشور نیز پژوهش‌های متعددی در راستای ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی جریان انجام شده است. در این راستا Xiaoyan و همکاران (۲۰۰۶) سلامت رودخانهٔ زرد چین را با استفاده از شاخص‌های سلامت رودخانه از جمله جریان حداقل، ظرفیت دبی جریان حداکثر، شیب عرضی سیلاب‌دشت‌ها، درجهٔ کیفیت آب، مناطق تالاب‌ها، اکوسیستم آب، ظرفیت ذخیرهٔ آب با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و مشاهدات دورهٔ آماری (۱۹۵۶ــ ۲۰۰۴) ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند با بهبود سلامت رودخانهٔ زرد و توسعهٔ اجتماعی، اقتصادی، مناقشات بر سر استفاده از رودخانه تغییر خواهد کرد [۲۰]. Grill و همکاران (۲۰۱۵) به ارائهٔ چارچوبی مبتنی بر شاخص برای ارزیابی الگوها و روند در تقسیم‌بندی و جریان رودخانه و تنظیم توسط سدهای جهانی در مقیاس‌های مختلف در حوضهٔ آمازون پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد

1. Environmental flow component

در مقیاس جهانی ۴۸ درصد از حجم رودخانه به طور متوسط تا شدید تحت تأثیر تنظیم جریان، تکه‌تکه شدن یا هر دو قرار دارند. از سوی دیگر، نتایج بیانگر آن بود که در صورت اتمام سدهای برنامه‌ریزی شده و در حال ساخت ۹۳ جریان‌ها تحت تأثیر تغییرات خواهند بود [۲۱]. Wozniki و همکاران (۲۰۱۵) با انتخاب پارامترهای مدل اکوهیدرولوژیکی برای ارزیابی سلامت رودخانهٔ Raisin (رودخانه‌ای در جنوب شرقی میشیگان ایالات متحدهٔ آمریکا) شاخص‌های هیدرولوژیکی را به پنج بخش از رژیم جریان رودخانه شامل بزرگی، فراوانی، تداوم، زمان‌بندی و نرخ تغییرات جریان تقسیم کردند. ایشان از داده‌های جریان روزانه سال آبی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹ برای کار خود استفاده کردند و هر بخش را بر اساس نوع جریان در سه طبقهٔ متوسط، کم و زیاد کلاسه‌بندی کردند [۲۲]. Su و همکاران (۲۰۱۸) روند جریان درازمدت ۹۱۶ رودخانهٔ بزرگ و پرآب جهان را بررسی کردند. بررسی نتایج بیانگر آن بود که جریان در ۵۰۳ رودخانه کاهشی و در ۴۰۸ رودخانه افزایشی است. همچنین، آن‌ها دریافتند که افزایش جریان در عرض‌های جغرافیایی بالا غالب‌تر بوده، در حالی که روند کاهشی جریان در عرض‌های جغرافیایی پایین بیشتر است [۲۳]. Liu و همکاران (۲۰۲۱) روند جریان را در بخش میانی و فوقانی رودخانهٔ زرد چین بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد دبی رودخانهٔ زرد در ۵۰ سال گذشته کاهش یافته که این کاهش جریان در بخش میانی و پایینی رودخانه بیشتر به دلیل اجرای اقدامات و پروژه‌های صرفه‌جویی در آب و همچنین انتقال آب بوده است [۴]. بررسی پیشینه نشان داد بحران آب یک معضل جهانی است و لزوم برنامه‌ریزی در حفظ و بقای آب و استفادهٔ بهینه از منابع آب را دوچندان می‌کند. بر همین اساس، ارزیابی روند تغییرات شاخص‌های مختلف جریان در دوره‌های مختلف زمانی و از جمله تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی ضرورت دارد. اگر چه پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است، ارزیابی تغییرات سلامت جریان طی زمان و با لحاظ اثر احداث سدها در پژوهشی گزارش نشده است. از همین‌رو، در پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی شاخص سلامت هیدرولوژیکی جریان خروجی از تالاب نئور در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش

منطقهٔ مطالعه‌شده

دریاچهٔ نئور دریاچه‌ای است در استان اردبیل (طبق نقشهٔ سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۹۸) و در محدودهٔ جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی در ۴۸ کیلومتری جنوب شرقی اردبیل واقع شده و از سال ۱۳۴۸ تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست قرار گرفته است [۲۴]. این دریاچه در شرق جادهٔ اردبیل - خلخال و حدود ۱۸ کیلومتری این جاده، در بخش میانی ارتفاعات باغرو جای گرفته است. ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد ۲۴۸۰ متر است. این دریاچه به طور متوسط حدود ۱۸۰۰متر طول و ۶۵۰ متر عرض دارد. عمق دریاچه در نقاط مختلف متفاوت است، ولی به طور متوسط ۳ متر عمق دارد [۲۵]. برای تأمین مصارف کشاورزی، سد نئور در سال ۱۳۶۶ در خروجی دریاچهٔ نئور احداث شد. درخور یادآوری است که ایستگاه هیدرومتری نئور جریان خروجی از تالاب نئور را اندازه‌گیری می‌کند. در بالادست محدودهٔ مطالعاتی اراضی کشاورزی وجود ندارد و تغییری نیز در کاربری/پوشش اراضی مشاهده نمی‌شود. در همین ارتباط تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند برداشت در بخش بالادست تالاب نئور نیز حداقل است. بر همین اساس، می‌توان گفت که ماهیت سد نئور و جریان ثبت‌شده توسط ایستگاه هیدرومتری نئور استان اردبیل تا حد زیادی متفاوت از سایر سدها و ایستگاه‌های استان اردبیل است. در این پژوهش برای ارزیابی تغییرات سلامت جریان از داده‌های روزانهٔ دبی جریان ایستگاه هیدرومتری نئور در دورهٔ مطالعاتی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. مشخصات ایستگاه هیدرومتری نئور در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه واقع در خروجی تالاب نئور اردبیل

ایستگاه	کد ایستگاه باران‌سنجی	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دورهٔ آماری
نئور	۱۹۰۹۵	نئور	۰۰-۳۲-۴۸	۳۰-۵۵-۳۷	۲۴۸۰	۱۳۹۸-۱۳۵۳

روش‌پژوهش

در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانهٔ ایستگاه هیدرومتری نئور برای ارزیابی تغییرات زمانی سلامت جریان رودخانهٔ نئور تحت تأثیر احداث سد نئور استان اردبیل استفاده شد. بر همین اساس، ابتدا آمار بارش و دبی جریان به‌ترتیب از ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری نئور دریافت شد. سپس داده‌های ایستگاه‌های یادشده از حیث طول دوره و نواقص آماری بررسی و طول دورهٔ آماری (۱۳۵۳-۱۳۹۸) با توجه به موجودیت داده‌ها برای بررسی روند داده‌های بارندگی و دبی جریان و همچنین ارزیابی تغییرات زمانی سلامت جریان انتخاب شد.

تعیین روند بارش و دبی جریان در محدودهٔ مطالعاتی

به منظور ارزیابی روند بارش و دبی جریان ایستگاه‌های مطالعاتی طی دورهٔ آماری موجود از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. آزمون ناپارامتری من-کندال ازجمله روش‌های تحلیل روند داده‌ها است که اولین‌بار به وسیلهٔ من (۱۹۴۵) استفاده شد و سپس در سال (۱۹۷۵) توسط کندال توسعه داده شد [۱۳ و ۲۶]. این آزمون جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود. این روش قابلیت کاربرد برای انواع داده‌ها غیر نرمال ناقص و فصلی را دارد و دارای بیشترین توانایی ذاتی در تحلیل داده‌ها است. همچنین، این آزمون نسبت به دیگر آزمون‌های روند، برای تعیین روند سری‌های زمانی هیدرولوژیک مناسب‌تر است [۱۸].

ارزیابی تغییرات زمانی سلامت جریان رودخانهٔ نئور استان اردبیل در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تغییرات سلامت جریان رودخانهٔ نئور استان اردبیل از نرم‌افزار Flow Health استفاده شد. این نرم‌افزار برای ارزیابی انحراف جریان رودخانه و طراحی یک رژیم جریان ماهانهٔ محیطی ارائه شده است. این نرم‌افزار توسط Gippel و همکاران (۲۰۱۲) با هدف ارزیابی طراحی و مدیریت رژیم جریان رودخانه که هدف اصلی آن محاسبهٔ امتیاز سالانه برای سلامت هیدرولوژیک رودخانه است در کشور چین توسعه یافت [۲۷]. Flow Health یک برنامهٔ کمکی برای ارزیابی و مدیریت رژیم جریان رودخانه است که هدف اصلی آن، محاسبهٔ یک امتیاز سالانه برای ارزیابی سلامت هیدرولوژی رودخانه است. همچنین، می‌تواند به عنوان یک وسیله برای تعیین و ارزیابی جریان محیط زیستی استفاده شود [۱۸]. در این نرم‌افزار برای محاسبهٔ سلامت جریان از داده‌های دبی روزانه و یا ماهانه استفاده می‌شود که برای هر یک از معیارها یک امتیاز سالانه محاسبه می‌شود. اطلاعاتی ارائه‌شده توسط این نرم‌افزار شامل تغییرات زمانی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان، امتیاز سالانهٔ سلامت جریان، سری زمانی امتیاز جریان برای هر سال آزمون، سری زمانی امتیاز سلامت جریان و امتیازهای سالانه جریان است. رابط کاربر در این نرم‌افزار به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود. بخش بالایی رابط برای تعیین و مشاهدهٔ داده‌های ورودی است. بخش پایین نیز برای مشاهدهٔ نتایج است. در این نرم‌افزار خروجی‌ها به صورت یک فایل ارائه می‌شود که شامل خلاصه‌ای از داده‌های ورودی (گزینه‌های تعریف‌شده و سال‌های فاقد آمار)، سلامت جریان نهایی و سلامت جریان برای هر سال، حداقل جریان ماهانه، امتیاز زیرشاخص مبنا، حجم جریان سالانه و ماهانه، نتایج جریان طراحی، حجم جریان سالانه و ماهانه است [۱۸ و ۲۸].

برآورد تغییرپذیری زمانی امتیاز سلامت جریان تالاب نئور استان اردبیل

برای محاسبهٔ امتیاز سلامت هیدرولوژیک رودخانه در نرم‌افزار یادشده از میانگین دبی ماهانه حاصل از آمار دبی روزانهٔ ایستگاه نئور استفاده شده است. از همین‌رو ابتدا داده‌ها به فرمت مورد استفاده در نرم‌افزار Flow Health تبدیل شد. سپس، امتیازدهی سلامت هیدرولوژیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار صورت گرفت. قابل یادآوری است که فرمت داده‌های مورد استفاده در این نرم‌افزار به صورت CSV است.

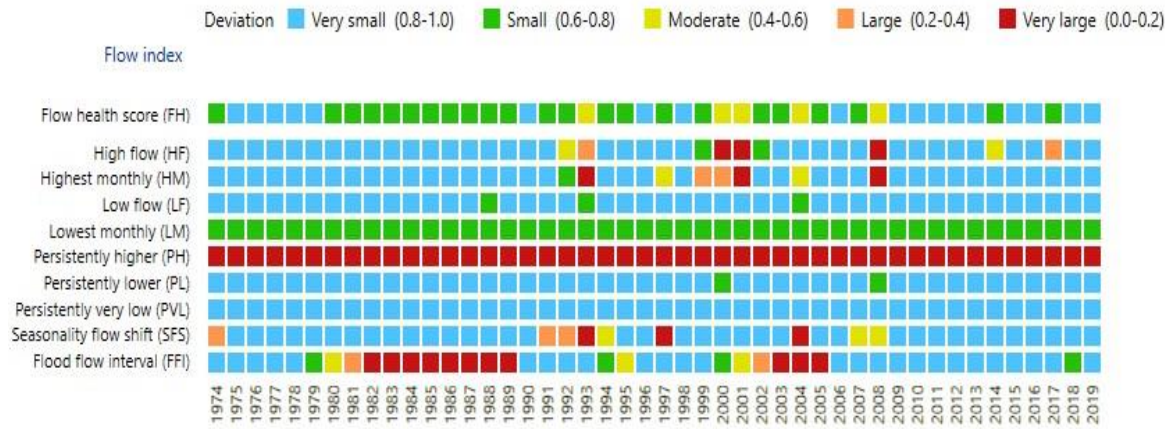
در این تحقیق از داده‌های بلندمدت ۴۰ ساله استفاده شد و تغییرات سلامت در منطقه مورد بررسی قرار گرفت و سپس، برای ارزیابی دقیق‌تر تغییرات سلامت در ایستگاه مورد مطالعه نتایج به صورت گرافیکی تحلیل شدند و کاهش یا افزایش شاخص سلامت بررسی شد. برای معنادار بودن یا نبودن این تغییرات از آزمون من-کندال استفاده شد.

نتایج و بحث

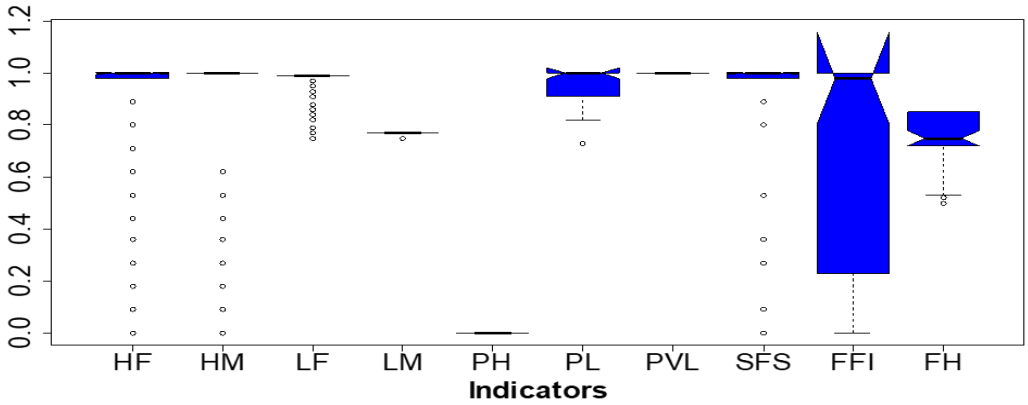
نتایج مربوط به تغییرات زمانی سلامت جریان و میزان تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی مورد بررسی به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. در شکل ۱ مقادیر انحراف در معیارهای مورد مطالعه طی زمان با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. درخور یادآوری است دامنهٔ تغییرات سلامت جریان و همچنین، شاخص‌های هیدرولوژیکی در محدودهٔ صفر تا یک (تغییرات بسیار بزرگ تا تغییرات بسیار کوچک) نمایش داده شده است.

براساس اطلاعات موجود در شکل‌های ۱ و ۲ مقدار شاخص تداوم جریان خیلی‌کم[1] (PVL)، در کل دورهٔ مطالعاتی دارای انحراف خیلی کم و میانگین مجموع امتیازهای این شاخص برابر ۱ است که در مقایسه با شاخص‌های دیگر دارای کمترین تغییرپذیری از شرایط طبیعی است.

تغییرپذیری شاخص‌های جریان حداقل ماهانه (بالا) و جریان حداقل (پایین) در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل در شکل ۳ ارائه شده است.

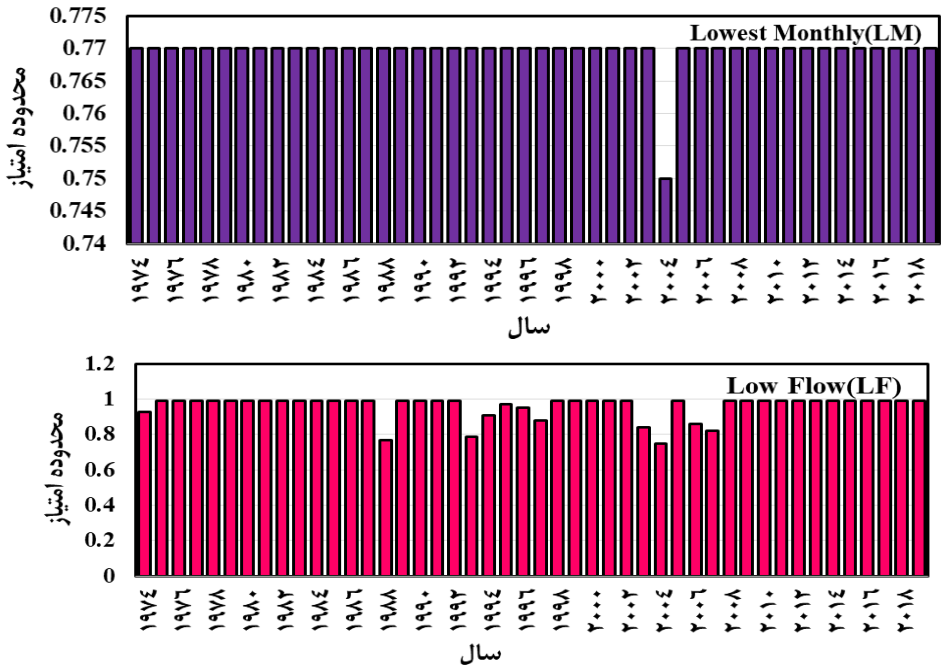


شکل ۱. نمای کلی از تمامی شاخص‌های ارزیابی تغییرات جریان طی دورهٔ مطالعاتی در ایستگاه نئور استان اردبیل



شکل ۲. میزان تغییرات شاخص‌های جریان رودخانهٔ نئور استان اردبیل

1. Persistently Very Low



شکل ۳. تغییرپذیری شاخص‌های جریان حداقل ماهانه (بالا) و جریان حداقل (پایین) در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل

بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۳، مقادیر کمترین جریان ماهانه (LF)[1] در دورهٔ مطالعاتی دارای انحراف بسیارکمی بوده و فقط در سال ۲۰۰۴ مقدار شاخص یادشده انحرافی کم از شرایط طبیعی جریان داشته است. با این‌حال اگر چه تغییرات جریان حداقل از شرایط طبیعی در دو دورهٔ قبل و بعد احداث سد نئور قابل مشاهده است، اما فراوانی این تغییرات در دورهٔ بعد از احداث سد (۹ سال) بیشتر از دورهٔ قبل از احداث سد (۲ سال) است (شکل ۳). در همین ارتباط باید توجه داشت حتی کاهش جزئی در جریان‌های حداقل می‌تواند تأثیر چشم‌گیری بر تنوع و فراوانی موجودات زنده در رودخانه‌ها داشته باشد. بر همین اساس، انحراف جریان‌های حداقل از شرایط طبیعی در برخی از سال‌ها پس از احداث سد نئور می‌توانند به عنوان تهدیدی برای کاهش تنوع زیستی رودخانهٔ نئور تلقی شود. این نتایج با نتایج پژوهش کاظمی و همکاران (۱۴۰۲) مبنی بر کاهش جریان‌های حداقل پس از احداث سد شمیل استان مازندران هم‌خوانی دارد [۱۲].

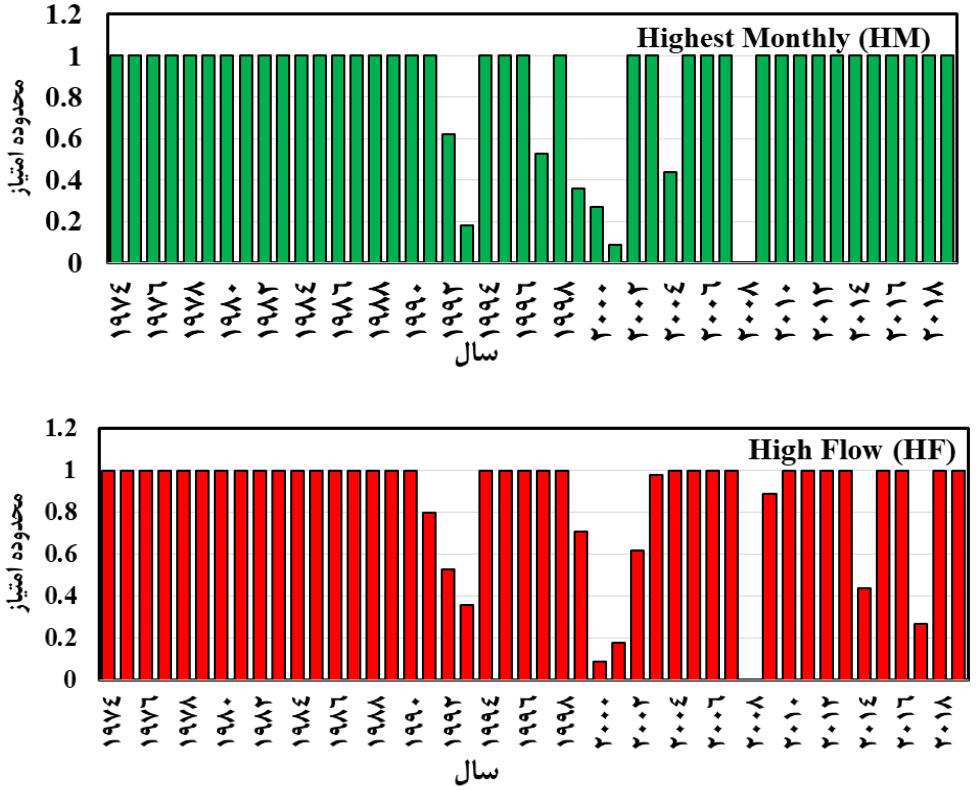
نتایج تغییرپذیری شاخص جریان حداکثر (بالا) و حداکثر جریان ماهانه (پایین) در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل در شکل ۴ ارائه شده است.

براساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۴ می‌توان دریافت مقادیر شاخص جریان حداکثر (HF)[2]، طی سال‌های قبل از احداث سد روند متعادلی داشته است. با این‌حال پس از احداث سد انحراف جریان حداکثر از شرایط طبیعی بسیار زیاد بوده است. در همین راستا سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به‌ترتیب بیشترین انحراف جریان حداکثر از شرایط طبیعی را داشته‌اند. از سوی دیگر، می‌توان دریافت طی دوره‌های زمانی ۱۹۹۸-۱۹۹۴، ۲۰۰۷-۲۰۰۳، ۲۰۱۳-۲۰۱۰ و ۲۰۱۶-۲۰۱۵ و ۲۰۱۸-۲۰۱۹ جریان حداکثر مشابه شرایط طبیعی بوده است. بررسی نتایج حاصل از امتیاز شاخص حداکثر جریان ماهانه (HM)[3] نیز نشان داد انحرافات جریان از شرایط جریان طبیعی چهار سال بعد از زمان بهره‌برداری از سد نئور شروع شده است. این در حالی است که قبل از احداث سد تغییری در شرایط طبیعی جریان رخ نداده است. با این‌حال پس از احداث سد نئور به‌ترتیب سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۱ و ۱۹۹۳ بیش‌ترین میزان انحراف از شرایط طبیعی جریان را داشته‌اند.

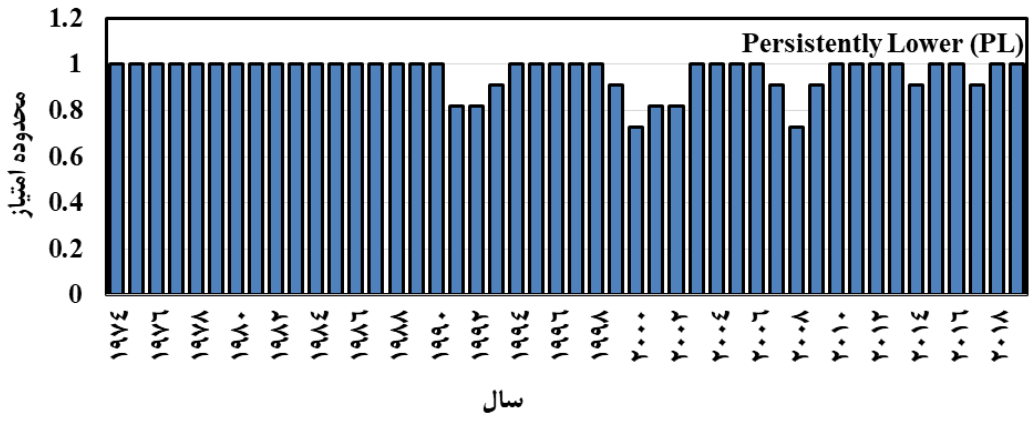
نتایج حاصل از تغییرپذیری شاخص تداوم جریان حداقل در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل در شکل ۵ ارائه شده است.

1. Low Flow

2. High Flow
3. Highest Monthly



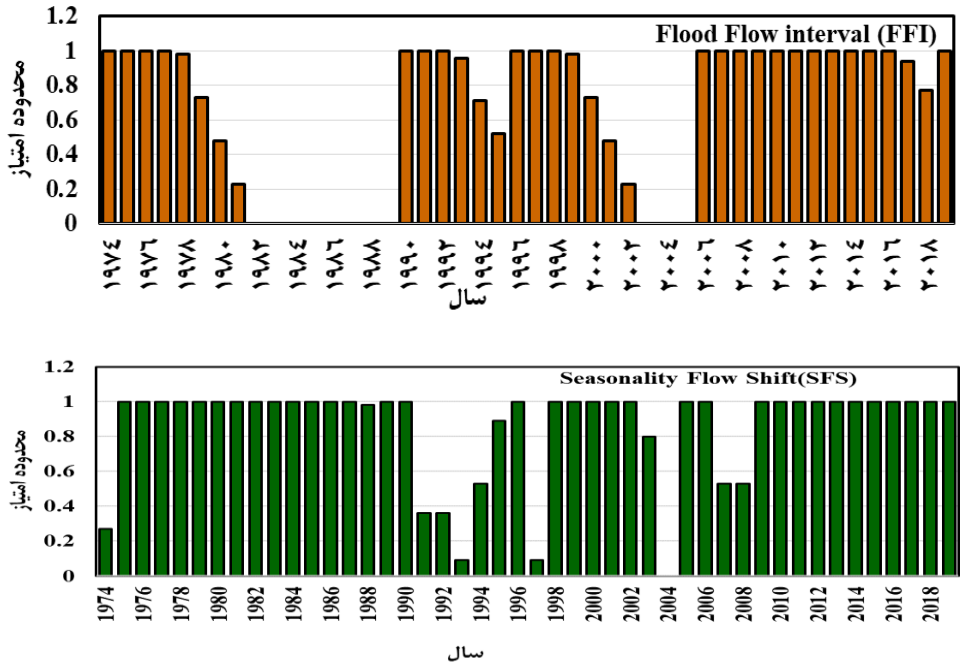
شکل ۴. تغییرپذیری شاخص جریان حداکثر (بالا) و حداکثر جریان ماهانه (پایین) در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل



شکل ۵. تغییرپذیری شاخص تداوم جریان حداقل در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل

بررسی تداوم جریان‌های حداقل (شکل ۵) بیانگر آن است که از سال ۱۹۹۱، تداوم جریان‌های حداقل با تغییراتی مواجه شده و بعد از احداث سد فراوانی این تغییرات افزایش پیدا کرده است. سلاجقه و همکاران (۲۰۲۲) بیان داشتند که تداوم جریان‌های حداقل رودخانهٔ قره‌سو استان گلستان در میانهٔ دورهٔ مطالعاتی ۱۹۹۲-۱۹۹۳ کاهشی بوده است [۱۸]. در پژوهش یادشده افزایش آشفتگی و بهره‌برداری از جریان رودخانه و نیز کنترل جریان‌ها و کمبود بارش‌ها از دلایل اصلی انحراف شاخص یادشده از شرایط طبیعی قلمداد شد. تغییرپذیری زمانی شاخص‌های تغییرات فصلی جریان (SFS)[1] و وقوع جریان‌ها سیلابی (FFI)[2] در شکل ۶ ارائه شده است.

1. Seasonality Flow Shift
2. Flood Flow interval

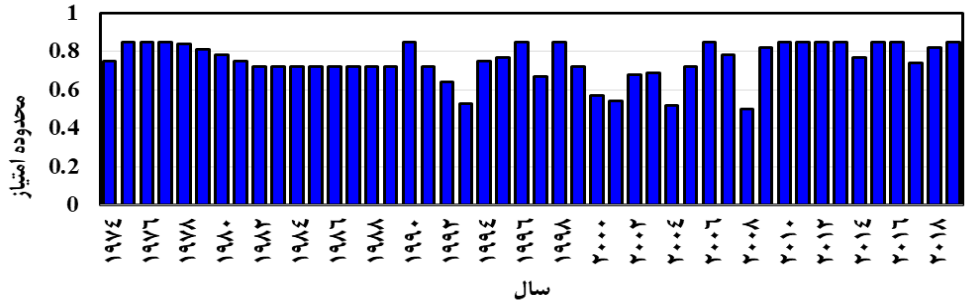


شکل ۶. تغییرپذیری زمانی شاخص‌های وقوع جریان‌های سیلابی (بالا) و تغییرات فصلی جریان (پایین) در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل

تحلیل نتایج نشان می‌دهد تغییرات فصلی جریان قبل از احداث سد فقط در دو سال ۱۹۷۴ و ۱۹۹۱ اتفاق افتاده است. در صورتی که بعد از احداث سد تغییر فصلی جریان در ۱۱ سال مختلف صورت پذیرفته است. همچنین، میانگین مجموع امتیازهای شاخص وقوع جریان‌های سیلابی ۰/۶۶ است که در مقایسه با سایر شاخص‌ها کمترین امتیاز را دارد. از همین‌رو، می‌توان دریافت دبی جریان رودخانهٔ نئور در فصل‌های پرآبی توسط سد نئور ذخیره و برای مصارف کشاورزی در سایر فصل‌ها رهاسازی می‌شود. ارزیابی تغییرپذیری زمانی وقوع جریان‌ها سیلابی نیز نشان می‌دهد انحراف جریان‌های سیلابی از شرایط طبیعی در دورهٔ قبل از احداث سد بیشتر از دورهٔ بعد از احداث سد است. بر همین اساس، می‌توان نتیجه گرفت که وقوع جریان‌های سیلابی پس از احداث سد نئور کاهشی بوده است. از این‌رو، می‌توان دریافت سد نئور با ذخیره و تنظیم جریان‌های با دبی بالا، به‌خصوص پس از ذوب برف‌های زمستانه باعث تنظیم جریان خروجی و کاهش جریان‌های با دبی زیاد در رودخانهٔ نئور شده است. با این‌حال، باید توجه داشت جریان‌های با دبی زیاد علاوه بر پر کردن مقطع عرضی، رسوبات ترسیب‌شده در سال‌های اخیر را انتقال می‌دهند. این امر باعث ترسیب رسوبات و مواد مغذی در سیلاب‌دشت می‌شود. انتقال مواد مغذی و رسوبات به سیلاب‌دشت علاوه بر فراهم کردن زیستگاه مناسب برای گیاهان و جانوران، احتمال مهاجرت گونه‌های آبزی و خشکی‌زی را نیز افزایش می‌دهد [۹]. نتایج مربوط به تغییرپذیری زمانی سلامت جریان در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل در شکل ۷ نشان داده شده است.

در نرم‌افزار Flow Health امتیاز سلامت جریان براساس ترکیب امتیازهای شاخص‌های نه‌گانه برآوردی محاسبه می‌شود (شکل ۷). از همین‌رو، نتایج نشان می‌دهد سلامت جریان قبل از احداث سد تغییرات چشم‌گیری نداشته و انحراف به صورت خیلی‌کم و کم بوده است. در صورتی که در دورهٔ بعد از احداث سد (۱۹۸۷-۲۰۱۹) روند تغییرات سلامت رودخانه متغیر است، به طوری که در برخی از سال‌ها (۱۹۹۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸) انحراف جریان از شرایط طبیعی در حد متوسط و در باقی سال‌ها در حد کم است.

پس از بررسی امتیاز سلامت جریان و محاسبهٔ تغییرپذیری شاخص‌های هیدرولوژیکی مختلف، روند بارش، دبی جریان و همچنین سلامت جریان برآورد شد که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۷. تغییرپذیری زمانی سلامت جریان در دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد نئور استان اردبیل

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون من‌ـ کندال برای ایستگاه‌های بارش و دبی جریان محدودهٔ مطالعاتی

ایستگاه / پارامتر آماری	نئور (بارش)	نئور (دبی)	Flow Haelth
M-K Test Value	۹۲	-۸۲	۴۳
Approximate P-Value	۰/۰۸۸۶	۰/۱۰۴۷	۰/۳۴۲۰
OLS Regression Slope	۳/۴۹۰۸	-۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۳
OLS Regression Intercept	۲۸۰/۶۳۵۳	۰/۱۴۵۶	۰/۷۴۳۲
نوع روند	افزایشی	کاهشی	کاهشی
معناداری	غیر معنادار	غیرمعنادار	غیرمعنادار

نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ نشان می‌دهد دبی جریان ایستگاه نئور دارای روند کاهشی غیرمعنادار و بارش در ایستگاه یادشده دارای روند افزایشی غیرمعنادار است. از همین‌رو، می‌توان دریافت به‌رغم افزایش غیرمعنادار بارش در محدودهٔ مطالعاتی دبی جریان کاهش غیرمعنادار داشته است. بنابراین، یک عامل ثانویه غیر از عامل بارش در کاهش دبی جریان رودخانهٔ نئور مؤثر بوده است. از آنجا که تالاب نئور در ارتفاعات بوده و حوضهٔ بالادست آن کاملاً مرتعی است، می‌توان دریافت به احتمال زیاد تغییر کاربری اراضی در کاهش دبی جریان نقشی نداشته و احداث سد نئور عامل اصلی کاهش دبی جریان بوده است. Kumar و Jayakumar (۲۰۲۰) بیان داشتند که تغییرات هیدرولوژیکی رودخانهٔ Krishna عوامل اقلیمی در تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک نقشی نداشته‌اند و عامل اصلی کاهش این تغییرات عوامل انسانی بوده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد [۲۹]. همچنین، روند تغییرات سلامت جریان نیز کاهشی معنادار است. از همین‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که اثر احداث سد نئور در کاهش سلامت جریان رودخانهٔ نئور کاهشی است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی مختلف و همچنین، سلامت جریان رودخانهٔ نئور در اثر احداث سد نئور استان اردبیل بررسی شد. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد رژیم جریان تالاب نئور تحت تأثیر احداث سد نئور تغییر پیدا کرده است، به طوری که اغلب شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تأثیر احداث سد یادشده تغییر داشته‌اند. این تغییرات باعث تغییر سلامت جریان رودخانهٔ نئور شده است، به طوری که در دورهٔ قبل از احداث سد ذخیره‌ای نئور (۱۳۵۳-۱۳۶۶) مقدار شاخص سلامت جریان برابر ۰/۷۷ و در دورهٔ بعد از احداث سد یادشده (۱۳۶۶-۱۳۹۸) مقدار شاخص سلامت جریان برابر ۰/۷۴ است. بنابراین می‌توان دریافت سلامت جریان تحت تأثیر سد نئور حدود ۴ درصد کاهش یافته است. در بین شاخص‌های مورد بررسی نیز تداوم جریان حداکثر بیشترین انحراف از شرایط طبیعی را داشته است. سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نیز در اغلب شاخص‌های مورد بررسی به عنوان سال‌های با بیشترین انحراف از شرایط طبیعی جریان شناسایی شدند. از همین‌رو، پیشنهاد می‌شود در

پژوهش‌های آتی عوامل مؤثر در انحراف بسیار زیاد سلامت جریان و همچنین، شاخص‌های مورد بررسی در سال‌های مختلف شناسایی شود. همچنین، می‌توان پژوهش حاضر را برای دوره‌های آتی با تعداد داده‌های بیشتر تکرار کرد. در همین راستا، پیشنهاد می‌شود تغییرات سلامت هیدرولوژیک در سایر ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل با شرایط متفاوت اقلیمی و نیز دخالت‌های انسانی مورد ارزیابی قرار گیرد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان دورنمای مفید برای نظارت و توسعهٔ پایدار منابع آب در رودخانهٔ نئور استان اردبیل مد نظر قرار گیرد.

منابع

[1]. Salajegheh, Ali, Samaneh Razavizadeh, Nematollah Khorasani, Mina Hamidifar, and Susan Salajegheh. "Land use changes and its effects on water quality (Case study: Karkheh watershed)." Environmental Studies. (2011), 37(58), 81-86. [Persian]

[2]. Woznicki, Sean A., A. Pouyan Nejadhashemi, Dennis M. Ross, Zhen Zhang, Lizhu Wang, and Abdol-Hossein Esfahanian. "Ecohydrological model parameter selection for stream health evaluation".Science of the Total Environment. 511 (2015), 341-353.

[3]. Kazemi, Mohamad, Mostafa Zabihi Silabi, Sudabe Gharemahmudli, Atefeh Jafarpoor, and Fariborz Mohammadi. "The effect of dam construction on the hydrological indicators of Shamil and Nyan dams in Hormozgan province .Iranian Journal of Ecohydrology. doi: 10.22059/ije.2023.354193.1709. [Persian]

[4]. Liu, Wei, Changxing Shi, and Yuanyuan Zhou." Trends and attribution of runoff changes in the upper and middle reaches of the Yellow River in China ".Journal of Hydro-Environment Research. (2011), 37, 57-66.

[5]. Ahmadzadeh, Maryam, Heeva Elmizadeh, and Ali Dadolahi Sohrab. "Prediction of Geometric Changes in Zohre River Meandering Range", Geographical Planning of Space. no. 36 (2020): 53-62. [Persian]

[6]. Hecht, Jory S., Guillaume Lacombe, Mauricio E. Arias, Thanh Duc Dang, and Thanapon Piman. "Hydropower dams of the Mekong River basin: A review of their hydrological impacts." Journal of Hydrology 568 (2019): 285-300.

[7]. Kanani, Reza, Ahmad Fakheri Fard, Mohammad Ali Ghorbani, and Yagob Dinpashoh. "Trend Analysis of the Streamflow in the Lighvan River hydrometric Stations (Upstream and Downstream)." Journal of Watershed Management Research 11, no. 22 (2020): 11-19. [Persian]

[8]. Sayfizadeh, Mina, Ali Reza Emadi, and Ramin Fazlola. "Polerood river morphological variations in the downstream of dam, pre and post dam construction in short term scale." Irrigation and Water Engineering 3, no. 4 (2013): 59-70. [Persian]

[9]. Zhang, Qiang, Xihui Gu, Vijay P. Singh, and Xiaohong Chen. "Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations." Journal of Hydrology 529 (2015): 711-722.

[10]. Richter, Brian D., Jeffrey V. Baumgartner, David P. Braun, and Jennifer Powell. "A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network." Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management 14, no. 4 (1998): 329-340.

[11]. Yang, Zhifeng, Yan Yan, and Qiang Liu. "Assessment of the flow regime alterations in the Lower Yellow River, China." Ecological Informatics 10 (2012): 56-64.

[12]. Khorshiddoust, A. M., M. Rezaei Banafsheh, Hamid Mirhashemi, and Yousef Kakolvand. "Studying the trend of changes in precipitation-discharge the Karkhe Rive Sub-Basin using non-parametric methods, case study: Kashkan Basin." Irrigation Sciences and Engineering 38, no. 4 (2016): 177-188. [Persian]

[13]. Khorooshi, Saeid, Raoof Mostafazadeh, Abazar Esmali Ouri, and Majid Raoof. "Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds." Iranian Journal of Ecohydrology 4, no. 2 (2017): 379-393. [Persian]

[14]. Nasiri Khiavi, Ali, Raoof Mostafazadeh, Abazar Esmali, Omid Ghafarzadeh, and Mohammad Golshan. "Changes in environmental flow components under the effect of Sabalan dam in the Qarehsou River of Ardebil Province." Journal of Watershed Management Research 10, no. 19 (2019): 85-94. [Persian]

[15]. Esfandyari Darabad, Fariba, Raoof Mostafazadeh, Reza Shahmoradi, and Ali Nasiri Khiavi. "The Analysis of the changes of the hydrological flow indices affected by dam construction in Zarrinehrood and Saruqchai rivers of West Azerbaijan Province." Hydrogeomorphology 6, no. 18 (2019): 57-77. [Persian]

[16]. Amini, H., A. Esmali-Ouri, R. Mostafazadeh, M. Sharari, and M. Zabihi. "Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province." Earth Space Phys 45, no. 2 (2019): 1-15. [Persian]

[17]. Mostafazadeh, Raoof, Fariba Esfandiyari Darabad, Leila Mohammadirad, and Khadijeh Haji. "Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran." Environment and Water Engineering 6, no. 2 (2020): 107-121. [Persian]

[18]. Salajegheh, Ali, Shahram Khalighi, Sharareh Pourebrahim, and Hamed Beigi. "Investigating the trend of temporal and spatial changes in river health using Flow Health (Case Study: Qarasu River)." Iranian journal of Ecohydrology 9, no. 1 (2022): 35-46. [Persian]

[19]. Asghari Saraskanrood, Sayyad, Hasan Setayeshi Nasaz, Raoof Mostafazadeh, and Aghil Madadi. "Investigating changes in the hydrological flow regime and the environmental flow component of EFCs in Khiauchai River in a 30-year period." Hydrogeomorphology (2023). doi: 10.22034/hyd.2023.54796.1672. [Persian]

[20]. Liu, X. Y., and Yuan-feng Zhang. "Essence and indicators of the healthy Yellow River." Journal of Hydraulic Engineering 6 (2006): 649-654.

[21]. Grill, Günther, Bernhard Lehner, Alexander E. Lumsdon, Graham K. MacDonald, Christiane Zarfl, and Catherine Reidy Liermann. "An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales." Environmental Research Letters 10, no. 1 (2015): 015001.

[23]. Su, Lu, Chiyuan Miao, Dongxian Kong, Qingyun Duan, Xiaohui Lei, Qianqian Hou, and Hu Li. "Long-term trends in global river flow and the causal relationships between river flow and ocean signals." Journal of Hydrology 563 (2018): 818-833.

[24]. General Department of Environmental Protection of Ardabil Province. Comprehensive Management Program of Ardabil Neor Wetland. (2019). 58pp. [Persian]

[25]. Fallahi Kapourchali, Maryam, Marzeayeh Makaremi, Sepidae Khatib, and Alireza Valipour. "Study on phytoplankton situation in Neor Lake after the arrival of the Carassius gibelio." Journal of Aquaculture Development 13, no. 3 (2019): 77-90. [Persian]

[26]. Kendall, Maurice George. "Rank correlation methods." (1948). (No. 310/K23).

[27]. Gippel, C. J., Nick Marsh, and Tory Grice. "Flow Health–Software to Assess the Deviation of River Flows from Reference and to Design a Monthly Environmental Flow Regime. Technical Manual and User Guide, Version 2.0." (2012).

[28]. Rosenberg, David M., Patrick McCully, and Catherine M. Pringle. "Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction." BioScience 50, no. 9 (2000): 746-751.

[29]. Kumar, A. Uday, and K. V. Jayakumar. "Hydrological alterations due to anthropogenic activities in Krishna River Basin, India." Ecological Indicators 108 (2020): 105663.