



ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی و سلامت جریان رودخانه بالیخلی چای در استان اردبیل با استفاده از نرم افزار Flow Health

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

چکیده

رودخانه‌ها به عنوان منابع اصلی آب سطحی نقش اساسی در تأمین آب کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی دارند. این پژوهش به بررسی تغییرات شاخص سلامت جریان رودخانه بالیخلی چای در استان اردبیل با استفاده از نرم افزار Flow Health پرداخته است. روش این پژوهش استفاده از نرم افزار Flow Health است که سلامت جریان رودخانه را با استفاده از داده‌های دبی و بارش برآورد می‌کند. داده‌های دبی روزانه از سه ایستگاه هیدرومتری یامچی، پل الماس و گیلانده جمع‌آوری و با استفاده از نرم افزار Flow Health نتایج سلامت جریان برای هر ایستگاه محاسبه شد. همچنین با استفاده از آزمون آماری من-کندال روند تغییرات تحلیل شد. نتایج حاصل از ارزیابی نرم افزار Flow Health در رودخانه بالیخلی چای نشان داد که ایستگاه یامچی با میانگین شاخص سلامت جریان ۰.۸۶ از پایداری بیش‌تری برخوردار بوده و کم‌ترین تغییرات را نشان می‌دهد. در حالی که ایستگاه‌های گیلانده و پل الماس با شاخص‌های سلامت جریان ۰.۷۹ و ۰.۸۰ دچار تغییرات بیش‌تری بوده‌اند که احتمالاً ناشی از عوامل انسانی نظیر سدسازی و برداشت بیش از حد منابع آبی است. این پژوهش بر لزوم مدیریت پایدار منابع آب و نظارت مستمر بر سلامت هیدرولوژیکی رودخانه‌ها تأکید دارد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد که تغییرات سلامت جریان در ایستگاه یامچی با مقدار ۰.۸۶ بیش‌ترین سلامت جریان را نسبت به سایر ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است. در نهایت پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی برای ارزیابی سلامت جریان هیدرولوژیک از داده‌های رسوب و ... نیز جهت برآورد نتایج دقیق‌تر استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه بالیخلی چای، سلامت جریان، دبی، نرم افزار Flow Health، تغییرات هیدرولوژیکی

^۱ دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل (نویسنده مسئول) abedini@uma.ac.ir

^۲ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل

مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان سیستم‌های پیچیده و پویای اکوهیدرولوژیکی، نقش کلیدی در تأمین منابع آب برای مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، صنعت و آشامیدنی دارند. امروزه، فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی و تغییر اقلیم سبب تخریب اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تغییر در کمیت و کیفیت آن‌ها شده است و احیا، حفاظت و نگهداری رودخانه‌ها امری ضروری تلقی می‌شود (Song et al, 2015). تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش کناره‌ای، رسوب گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تاسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود (Abedini et al, 2023). به دلیل عدم وجود 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 ساخت و سازهای هیدرولوژیکی مانند سدها انجام می‌شود. ذخیره کردن آب توسط سدها باعث ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی بسیار زیادی در محیط و شرایط زمین‌شناسی می‌شود (Mehta, et al, 2012).

سدها یکی از تاسیسات بزرگ آبی هستند که برای نگهداشت آب رودخانه‌ها برای ایجاد تعادل مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعت احداث می‌شوند. سدهای با وسعت زیاد تأمین‌کننده برق، آب، مهارکننده سیلاب‌ها، تولید اراضی کشاورزی و تضمین‌کننده استقلال ملی هر کشور هستند. هرچند احداث سدهای بزرگ به‌واسطه مزایای اجتماعی و هزینه‌های زیاد آن‌ها و با وجود منافع زیاد آن، مضراتی نیز داشته که در برخی از موارد جبران‌ناپذیر هستند (Kazemi et al, 2023). این تغییرات، به‌ویژه در مناطقی با مدیریت ناپایدار منابع آبی، منجر به کاهش دبی جریان، افزایش خطر خشکسالی، تغییرات شدید در توزیع زمانی و مکانی جریان‌ها و بروز بحران‌های زیست‌محیطی می‌شود (Khorrooshi et al, 2017) علاوه بر این، تغییرات اقلیمی نیز به شدت بر وضعیت رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد، که این مسئله ضرورت حفاظت و احیای رودخانه‌ها را افزایش می‌دهد (Kazemi et al, 2023).

سلامت رودخانه به‌عنوان معیاری جامع برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی و هیدرولوژیکی آن تعریف می‌شود. طبق تعریف نوریس (1999)، رودخانه سالم اکوسیستمی است که از یکپارچگی بیولوژیکی و پایداری اکولوژیکی برخوردار باشد. سلامت رودخانه شامل پارامترهایی چون یکپارچگی هیدرولوژیک، شرایط زیستگاهی، و پایداری شیمیایی و اکولوژیکی است (Norris & Thoms, 1999). در بسیاری از کشورها، به‌ویژه ایران، به دلیل عدم توازن مکانی و زمانی در دسترسی به منابع آب و نیاز به آن، ذخیره و تنظیم جریان طبیعی از طریق ساخت و سازهای هیدرولوژیکی، نظیر احداث سدها، انجام می‌شود که می‌تواند تغییرات عمده‌ای در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های رودخانه‌ای ایجاد کند (Rosenberg et al, 2000). امروزه بیش از ۱۷۰ شاخص هیدرولوژیکی برای ارزیابی رژیم جریان و اثرات فعالیت‌های انسانی بر بوم‌شناسی رودخانه‌ها تدوین شده است (Mehta et al, 2012). از جمله این شاخص‌ها، نرم‌افزار Flow Health یکی از ابزارهای کاربردی برای ارزیابی سلامت هیدرولوژیکی رودخانه‌ها است که انحراف جریان از وضعیت مرجع را تحلیل و امتیاز سلامت سالانه جریان را محاسبه می‌کند (Gippel et al, 2012).

رودخانه بالیخلی چای در مناطق پایین دست از شهر اردبیل عبور می کند اما فعالیت های انسانی مانند ساخت سدها و برداشت های بی رویه، همراه با تغییرات اقلیمی، موجب کاهش دبی و تغییرات هیدرولوژیکی در این رودخانه شده است. ارزیابی سلامت جریان با استفاده از نرم افزار Flow Health امکان پایش دقیق این تغییرات و شناسایی اثرات مداخلات انسانی را فراهم می کند. به همین دلیل، ارزیابی سلامت جریان این رودخانه از دیدگاه هیدرولوژیکی و اکولوژیکی ضروری است. این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات شاخص سلامت جریان رودخانه بالیخلی چای در استان اردبیل انجام شده است. در این تحقیق، داده های دبی روزانه از سه ایستگاه یامچی، پل الماس و گیلانده جمع آوری و با استفاده از نرم افزار Flow Health و آزمون آماری من-کندال تحلیل شده است. این روش به مدیران منابع آبی کمک می کند تا بر اساس داده های علمی و مستند، برنامه هایی برای مدیریت پایدار رودخانه و جلوگیری از بحران های زیست محیطی تدوین کنند. علاوه بر این، پایش مستمر و قابل اعتماد وضعیت رودخانه از طریق این نرم افزار، به پیش بینی بهتر و اتخاذ تصمیمات به موقع برای حفاظت از اکوسیستم های وابسته به رودخانه منجر می شود. همچنین این ارزیابی می تواند به عنوان مدلی برای بهبود مدیریت سایر رودخانه های منطقه نیز به کار گرفته شود.

مطالعات متعددی در داخل و خارج ایران در مورد سلامت جریان با اهداف و روش های مختلف صورت پذیرفته است. به عنوان مثال، (Khorrooshi et al, 2017). به بررسی و ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوضه های آبخیز استان اردبیل با استفاده از آزمون های آماری پرداختند. نتایج پژوهش روند کاهشی معنادار سلامت رودخانه در ایستگاه های مطالعه شده (۱۳ ایستگاه از ۲۴ ایستگاه) را نشان داد. در مجموع، می توان گفت که میزان تغییرات و کاهش درجه سلامت هیدرولوژیک جریان در دوره های اخیر بسیار بیش تر از گذشته بوده است که می تواند با افزایش شدت بهره برداری از منابع آب سطحی و کاهش آبدی بر اثر تغییرات اقلیمی مرتبط باشد. (Kanani et al, 2020) به تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه های بالادست و پایین دست رودخانه ليقوان با استفاده از شبیه سازی مدل هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده است که تغییرات متغیرهای اقلیمی در میانه دهه ۱۹۹۰ معنی دار بوده است. در همین راستا مقادیر آبدی دارای روند منفی بوده و در ایستگاه پایین دست هروی در سطح ۱۰ درصد معنی دار است. همچنین مقایسه متوسط دبی در ایستگاه هروی در دو دوره نشان داد در دوره اخیر نسبت به دوره اول ۳۶ درصد کاهش یافته است. درصد تاثیر عوامل انسانی و اقلیمی بر کاهش رواناب در تمام مدل های مورد استفاده به ترتیب بین ۸۴-۶۵ و ۳۵-۱۶ درصد بود. بنابراین اثر فعالیت های انسانی بر تغییرات جریان رودخانه قابل توجه است.

(Salajegheh et al, 2022) به ارزیابی روند تغییرات زمانی و مکانی سلامت رودخانه قره سو با استفاده از نرم افزار Flow Health پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد ایستگاه نهارخوران روند کاهشی در سطح ۹۵/۰٪ داشته و دو ایستگاه پل اردوگاه و غاز محله روند کاهشی در سطح ۹۹/۰٪ داشته اند. ایستگاه یساقی کم ترین میزان سلامت را داشته و ایستگاه غاز محله نیز در بین دیگر ایستگاه ها دارای بیش ترین امتیاز شاخص سلامت بوده است. ایستگاه غاز محله با امتیاز ۸۶/۰ بیش ترین امتیاز سلامت را در بین ایستگاه های مورد مطالعه دارد و سالم ترین 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. در مطالعه‌ای دیگر (Setayshi et al, 2023) با بررسی تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی و مؤلفه جریان محیط‌زیستی در رودخانه خیاوچای در یک دوره ۳۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار IHA پرداختند. بر اساس نتایج، مقادیر جریان‌های کمینه در دوره اول (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) بالا بوده است ولی در دوره 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 آبدی 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 رودخانه 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 مذکور تغییر مؤلفه‌های محیط‌زیستی جریان به کاهش دبی جریان و افزایش روزهای با دبی صفر نسبت داده شد.

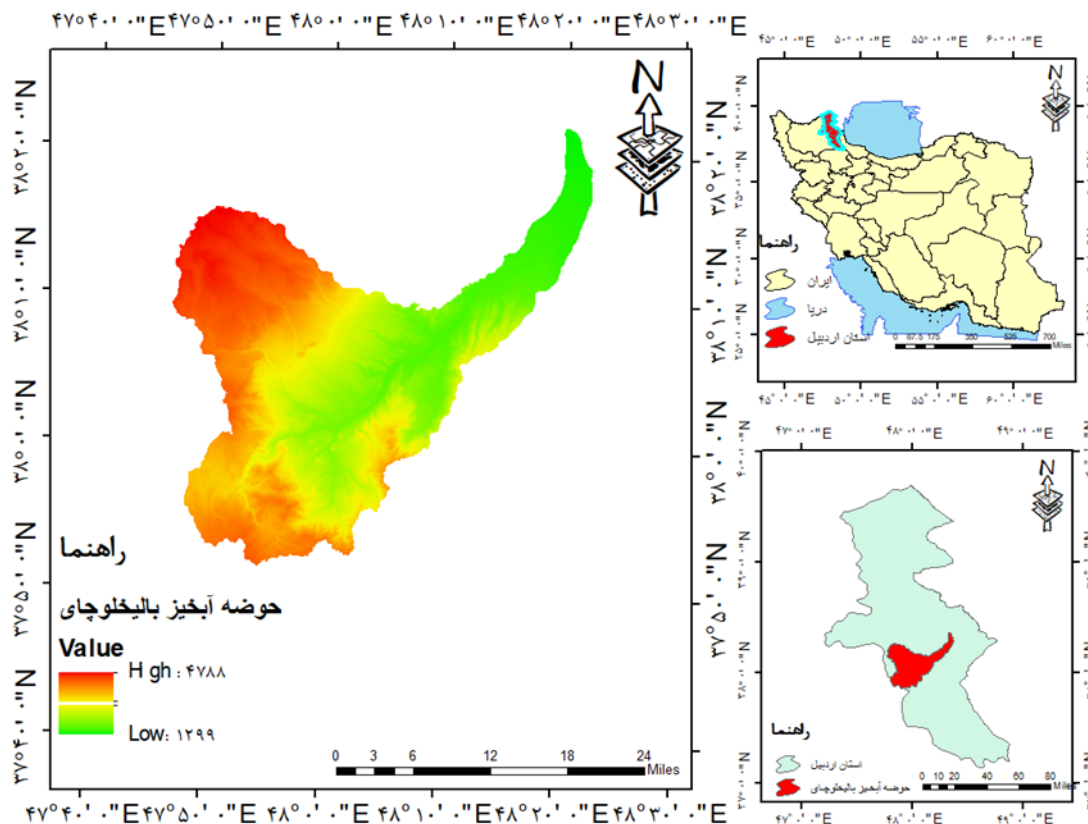
(Esfandyari Darabad et al, 2023) به بررسی تغییرات زمانی شاخص سلامت هیدرولوژیکی دبی جریان خروجی از تالاب نئور در دو دوره قبل (۱۳۵۳-۱۳۶۶) و بعد (۱۳۶۶-۱۳۹۸) از احداث سد نئور استان اردبیل پرداختند. در این پژوهش نتایج حاکی از آن بود که در دوره قبل از احداث سد نئور مقدار شاخص Flow Health برابر ۰/۷۷ بوده است، این درحالی است که در دوره بعد از احداث سد مذکور مقدار شاخص سلامت جریان کاهشی و برابر ۰/۷۴ است. از بین نه شاخص مورد بررسی نیز، شاخص‌های تداوم جریان حداقل و حداقل جریان ماهانه در دوره 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 محدوده مطالعاتی روند افزایشی غیر معنی‌دار داشته، در صورتی که دبی جریان روند کاهشی غیر معنی‌دار داشته است. همچنین مطالعاتی هم‌چون Abeddini et al, 2024 و Saghebian, 2023 و انجام گرفته است.

در خارج کشور نیز پژوهش‌هایی در راستای ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی جریان انجام شده است. به عنوان نمونه (Wozniki et al, 2015) با انتخاب پارامترهای مدل اکوهیدرولوژیکی برای ارزیابی سلامت رودخانه Raisin (رودخانه‌ای در جنوب شرقی میسیگان ایالات متحده آمریکا) شاخص‌های هیدرولوژیکی را به پنج‌بخش 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 طبقه متوسط، کم و زیاد کلاسه‌بندی کردند. (Liu et al, 2021) روند جریان را در بخش میانی و فوقانی رودخانه زرد چین بررسی کردند، نتایج نشان داد که دبی رودخانه 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. بررسی پیشینه نشان داد بحران آب یک معضل جهانی است لزوم برنامه‌ریزی در حفظ و بقای آب و استفاده بهینه از منابع آب را دوجندان

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. با این حال ارزیابی تغییرات سلامت جریان در طول زمان و با لحاظ اثر احداث سدها در پژوهشی گزارش نشده است. از همین رو در پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات شاخص سلامت جریان رودخانه بالیخلی چای استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است.

حوضه مورد مطالعه

رودخانه بالیخلی چای در استان اردبیل و از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو می‌باشد. این رودخانه در پایین‌دست خود از شهر اردبیل می‌گذرد و در دشت اردبیل به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد. حوضه رودخانه در شهرستان نیر در موقعیت "۲۸° ۴۷' ۴۶" تا "۴۸° ۴۲' ۱۱" طول شرقی و "۳۸° ۴۶' ۳۷" تا "۳۸° ۲۲' ۵۲" عرض شمالی واقع شده است. مساحت حوضه در حدود ۱۸/۱۰۳۶ کیلومتر مربع می‌باشد. سر شاخه اصلی آن، رودخانه بالیخلی است و از رودهای فرعی آن می‌توان به نیرچای اشاره کرد. طول رودخانه بالیخلی تا نقطه پایاب در ورودی شهر اردبیل ۶۵ کیلومتر می‌باشد. رودخانه بالیخلی از گردنه بالیخلی در جنوب غربی شهرستان نیر حد فاصل دو رشته کوه «بزقوش» و سبلان سرچشمه گرفته و در نهایت با الحاق به رودخانه «قره سو» در شمال اردبیل تخلیه می‌شود. میانگین بارشی حوضه بر اساس آمار ایستگاه‌های استفاده شده برابر با ۲۲۶ میلی‌متر است. بارش‌های منطقه تحت تأثیر اقلیم منطقه شمال غرب بوده و در اوایل فصل پاییز با ورود سیستم‌های باران‌زای غربی بارش‌ها شروع می‌شود. بیش‌ترین بارش مربوط به ماه اردیبهشت و کم‌ترین آن مربوط به مرداد ماه است (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۳). این حوضه به دلیل بهره‌برداری‌های متعدد از منابع آبی سطحی و فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی، نیازمند بررسی و ارزیابی دقیق وضعیت هیدرولوژیکی است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. هم‌چنین در جدول ۱ نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه آبخیز بالیخلی چای ارائه شده است.



شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی رودخانه بالیخلی چای در استان اردبیل

Figure No 1: Geographical location of Balkhli Chai river in Ardabil province

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبخیز بالیخلی چای

Table 1. Characteristics of the study stations in the Baliqlochay watershed

مختصات UTM		مختصات جغرافیایی			سال تاسیس	کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام رودخانه
UTMY	UTMX	ارتفاع	عرض	طول				
۴۲۲۶۵۶۲	۲۵۳۶۵۹	۱۴۳۵	۱۲-۰۹-۳۸	۱۹-۱۱-۴۸	۱۳۴۸	۱۹۰۵۳	پل الماس	بالیخلی چای
۴۲۱۳۶۵۶	۲۳۹۸۷۰	۱۵۸۴	۳۸-۶۰-۰۱	۱۰-۰۲-۴۸	۱۳۷۶	۱۹۹۱۰	یامچی	بالیخلی چای
۴۲۶۶۵۱۶	۲۸۳۹۶۵	۱۳۲۳	۳۸-۷۵-۳۰	۴۸-۳۶-۱۹	۱۳۵۰	۱۹۰۵۰	گیلانده	بالیخلی چای

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر اساس داده‌های دبی روزانه سه ایستگاه هیدرومتری اصلی (یامچی، پل الماس و گیلانده) که از سازمان آب منطقه‌ای و وزارت نیرو در دسترس قرار گرفته، انجام شده است. دوره آماری مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ انتخاب شد. هم‌چنین، داده‌های بارش از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه آبریز جمع‌آوری گردید تا اثر تغییرات بارش بر دبی جریان مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق از داده‌های بلندمدت ۴۵ ساله استفاده شد و

تغییرات سلامت در منطقه مورد بررسی قرار گرفت و سلامت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در هر بازه به دست آمد. و سپس، برای ارزیابی دقیق‌تر تغییرات سلامت در ایستگاه مورد مطالعه نتایج به‌صورت گرافیکی تحلیل شدند و کاهش یا افزایش شاخص سلامت بررسی شد. برای معنادار بودن یا نبودن این تغییرات از آزمون من-کندال استفاده شد. در بررسی دقیق طول دوره آماری و انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری بدون نواقص آماری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است

تعیین روند بارش و دبی جریان در محدوده مطالعاتی

به‌منظور ارزیابی روند بارش و دبی جریان ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری موجود از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. آزمون ناپارامتری من-کندال ازجمله روش‌های تحلیل روند داده‌ها است که اولین بار به‌وسیله من (۱۹۴۵) استفاده شد و سپس در سال (۱۹۷۵) توسط کندال توسعه داده شد. (Kendall, 1962., Khorooshi et al, 2017). این آزمون جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی به‌شمار 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 (Salajegheh et al, 2022).

روش ارزیابی سلامت جریان

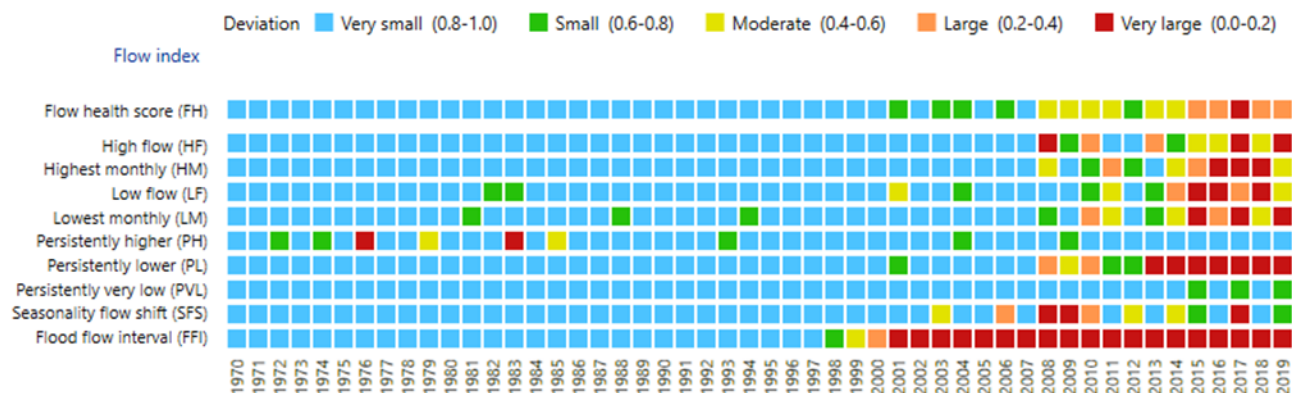
Flow Health نرم‌افزاری برای ارزیابی انحراف جریان رودخانه و طراحی یک رژیم جریان ماهانه محیطی است. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۲ توسط گپیل و همکاران (Gippel et al, 2012) باهدف ارزیابی طراحی و مدیریت رژیم جریان رودخانه که هدف اصلی آن محاسبه امتیاز سالانه برای سلامت هیدرولوژیک رودخانه است در کشور چین توسعه یافت. هم‌چنین، Flow Health یک برنامه کمکی برای ارزیابی و مدیریت رژیم جریان رودخانه است که هدف اصلی آن محاسبه یک امتیاز سالانه برای ارزیابی سلامت هیدرولوژی رودخانه است. هم‌چنین، می‌تواند به‌عنوان یک وسیله برای تعیین و ارزیابی جریان محیط‌زیستی استفاده شود (Salajegheh et al, 2022). در این نرم‌افزار برای محاسبه سلامت جریان از داده‌های دبی روزانه و ماهانه استفاده می‌شود که برای هر یک از معیارها یک امتیاز سالانه محاسبه می‌شود. اطلاعاتی که این نرم‌افزار نشان می‌دهد شامل جدول موزاییک، امتیاز سالانه سلامت جریان، نمودار خطی سری زمانی امتیاز جریان برای هرسال آزمون، نمودار ساختار تجمعی (سری زمانی امتیاز سلامت جریان) و جدول نمرات سالانه جریان است. رابط کاربر به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود. بخش بالایی رابط برای تعیین و مشاهده داده‌های ورودی است. بخش پایین برای مشاهده نتایج است. خروجی را به‌صورت یک فایل ارائه می‌دهد که این فایل شامل موارد زیر است: خلاصه‌ای از داده‌های ورودی، ازجمله هر گزینه‌ای که تعریف شده و سال‌هایی که داده وجود نداشته است، کل امتیازهای سلامت جریان و امتیاز برای هرسال که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حداقل جریان ماهانه، ازجمله امتیاز زیرشاخص مبنا، حجم جریان سالانه و ماهانه، نتایج جریان طراحی، حجم جریان سالانه و ماهانه و توصیف‌های آماری مختلفی از داده‌های به‌کاربرده شده را شامل می‌شود (Rosenberg et al, 2000., Salajegheh et al, 2022).

معیارهای مورد نیاز برای محاسبه سلامت جریان

برای محاسبه امتیاز سلامت هیدرولوژیکی رودخانه در نرم‌افزار مذکور، از پنج معیار مختلف که بر اساس ویژگی‌های جریان و دبی ماهانه استخراج می‌شوند، استفاده شده است. این معیارها شامل میانگین دبی ماهانه، دبی‌های حداقل و حداکثر، تغییرات زمانی دبی‌های حداقل و حداکثر در بازه‌های سالانه، فراوانی و تداوم جریان‌های زیاد و کم، و شدت و فراوانی تغییرات در حجم دبی می‌باشند. در ابتدا داده‌ها به فرمت CSV، که برای نرم‌افزار Flow Health مناسب است، تبدیل شده و سپس امتیازدهی سلامت هیدرولوژیکی رودخانه با استفاده از این نرم‌افزار انجام گرفت.

بحث و یافته‌های تحقیق

در شکل ۲، یک نمای کلی از شرایط هیدرولوژیکی رودخانه در ایستگاه پل الماس طی دوره آماری ارائه شده است که مقادیر انحراف معیارهای مورد بررسی را نشان می‌دهد. در این نمودار، موزایک رنگ‌ها بیانگر میزان انحراف معیارها است که دامنه تغییرات آن از صفر تا یک است. این جدول موزایک اطلاعات کلی درباره وضعیت معیارها ارائه می‌دهد. بر اساس داده‌های شکل، شاخص جریان حداکثر (HF) و حداکثر جریان ماهانه (HM) این شاخص‌ها در طول سال‌های اخیر به دلیل افزایش رواناب سطحی و بهره‌برداری‌های بیش از حد، انحرافات بالایی را نشان می‌دهند. افزایش انحرافات این شاخص‌ها می‌تواند به وقوع سیلاب‌های شدید و فشارهای زیاد بر منابع آبی منطقه اشاره کند. شاخص تداوم جریان حداکثر (PH) و شاخص تداوم جریان‌های کم (PL) این شاخص‌ها نشان‌دهنده پایداری و قابلیت پیش‌بینی جریان‌های حداقل و حداکثر در طول دوره مطالعه است. شاخص PH در سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۳ انحراف قابل‌توجهی داشته است، اما در سال‌های بعد تغییر محسوسی مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده دوره‌های سیلابی در آن زمان است. شاخص تغییرات فصلی جریان (SFS) و دامنه جریان‌های سیلابی (FFI) این شاخص‌ها نشان‌دهنده تغییرات در فصول بارشی و میزان وقوع جریان‌های سیلابی است. از سال ۲۰۰۰ به بعد، انحرافات زیادی در این شاخص‌ها مشاهده شده است که ناشی از تغییرات اقلیمی، برداشت‌های زیاد و انحراف جریان‌های طبیعی است. شاخص تداوم جریان بسیار کم (PVL) این شاخص با انحراف بسیار کمی مواجه بوده و در طول دوره مطالعاتی تغییرات کمی داشته است که نشان‌دهنده ثبات و پایداری جریان در برخی فصول خشکسالی است. هم‌چنین، انحراف شاخص تغییرات فصلی در برخی سال‌ها از حالت طبیعی دیده می‌شود که ممکن است به دلیل تغییرات در جریان سطحی و بهره‌برداری‌ها باشد. در شکل ۲، نمودار تجمعی زیرمعیارهای شاخص سلامت هیدرولوژیکی رودخانه (ایستگاه پل الماس) نمایش داده شده است. (شکل ۲).



شکل شماره ۲: نمای کلی از تمامی معیارهای ارزیابی تغییرات جریان طی دوره مطالعاتی در ایستگاه پل الماس

"Figure No 2: An overview of all assessment criteria for flow changes during the study period at the Pol Almas station

برای هر ایستگاه جدولی مشابه جدول ۲ تهیه شد که در این جا تنها جدول مربوط به ایستگاه پل الماس به عنوان نمونه ارائه شده است.

با توجه به اطلاعات جدول ۲ می توان گفت که شاخص PVL در طول کل دوره بیشترین امتیاز و کمترین تغییرات را نشان می دهد.

جدول شماره ۲: نمای کلی از تمامی معیارهای ارزیابی تغییرات جریان طی دوره مطالعاتی در ایستگاه پل الماس

Table No 2: An overview of all assessment criteria for flow changes during the study period at the Pol Almas station

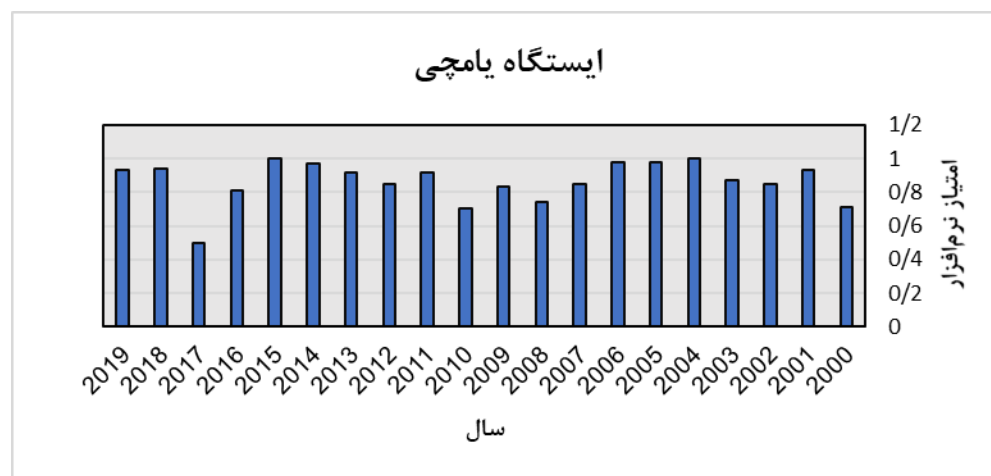
Year	(HF)	(HM)	(LF)	(LM)	(PH)	(PL)	(PVL)	(SFS)	(FFI)	(FH)
۱۹۷۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۷۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۹
۱۹۷۲	۱	۱	۰.۹۱	۱	۰.۶	۱	۱	۱	۱	۰.۹۴
۱۹۷۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۷۴	۱	۱	۱	۰.۸۱	۰.۶	۱	۱	۱	۱	۰.۹۳
۱۹۷۵	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۶
۱۹۷۶	۱	۱	۰.۸۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰.۸۸
۱۹۷۷	۱	۱	۰.۸۵	۰.۹۵	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۵
۱۹۷۸	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۶
۱۹۷۹	۱	۱	۰.۹۵	۱	۰.۴	۱	۱	۱	۱	۰.۹۲
۱۹۸۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۹
۱۹۸۱	۱	۱	۱	۰.۷۵	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۴
۱۹۸۲	۱	۱	۰.۷۷	۰.۸۹	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۴
۱۹۸۳	۱	۱	۰.۷۵	۰.۸۳	۰	۱	۱	۱	۱	۰.۸۵
۱۹۸۴	۱	۱	۱	۰.۹۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۹۹
۱۹۸۵	۱	۱	۰.۹۹	۱	۰.۴	۱	۱	۱	۱	۰.۹۲
۱۹۸۶	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۸
۱۹۸۷	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۶

۱۹۸۸	۱	۱	۱	۰.۷۹	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۵
۱۹۸۹	۱	۱	۰.۸۷	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۱	۱	۰.۹۵
۱۹۹۰	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۸
۱۹۹۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۹۲	۱	۱	۱	۰.۸۷	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۶
۱۹۹۳	۱	۱	۰.۸۳	۰.۸۵	۰.۶	۱	۱	۱	۱	۰.۹۲
۱۹۹۴	۱	۱	۰.۹۳	۰.۷۷	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۴
۱۹۹۵	۱	۱	۱	۰.۹۱	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۰.۹۶
۱۹۹۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۹۷	۱	۱	۰.۹۷	۰.۹۹	۰.۸	۱	۱	۱	۰.۹۸	۰.۹۷
۱۹۹۸	۱	۱	۱	۰.۹۷	۰.۸	۱	۱	۱	۰.۷۳	۰.۹۴
۱۹۹۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۴۸	۰.۹۳
۲۰۰۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۲۳	۰.۹
۲۰۰۱	۱	۱	۰.۵۷	۱	۱	۰.۷۳	۱	۱	.	۰.۷۹
۲۰۰۲	۱	۱	۰.۹۸	۱	۱	۱	۱	۱	.	۰.۸۷
۲۰۰۳	۱	۱	۱	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۰.۴۹	.	۰.۷۷
۲۰۰۴	۱	۱	۰.۷۹	۰.۹۸	۰.۶	۰.۹۱	۱	۰.۹	.	۰.۷۸
۲۰۰۵	۱	۱	۰.۸۹	۱	۰.۸	۰.۹۱	۱	۰.۹	.	۰.۸۲
۲۰۰۶	۰.۹۸	۱	۱	۱	۱	۰.۸۲	۱	۰.۲۴	.	۰.۷۶
۲۰۰۷	۱	۰.۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	۰.۸۶
۲۰۰۸	۰.۰۸	۰.۴۹	۰.۹	۰.۶۵	۰.۸	۰.۲۷	۱	.	.	۰.۴
۲۰۰۹	۰.۷۳	۰.۹۸	۱	۰.۸۲	۰.۶	۰.۵۵	۱	۰.۰۸	.	۰.۵۹
۲۰۱۰	۰.۲۴	۰.۶۵	۰.۷۳	۰.۲۴	۰.۸	۰.۲۷	۱	۰.۳۳	.	۰.۴۲
۲۰۱۱	۰.۸۲	۰.۳۳	۰.۴۱	۰.۵۷	۱	۰.۶۴	۱	۱	.	۰.۵۹
۲۰۱۲	۰.۹	۰.۷۳	۰.۸۲	۰.۹	۱	۰.۷۳	۱	۰.۴۹	.	۰.۷
۲۰۱۳	۰.۳۳	۰.۸۲	۰.۶۵	۰.۷۳	۱	۰.۱۸	۱	۰.۸۲	.	۰.۵۷
۲۰۱۴	۰.۶۵	۰.۴۱	۰.۳۳	۰.۴۱	۱	.	۱	۰.۴۱	.	۰.۴
۲۰۱۵	۰.۵۷	۰.۲۴	۰.۱۶	۰.۱۶	۱	.	۰.۶۷	۰.۶۵	.	۰.۳۱
۲۰۱۶	۰.۴۱	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۳۳	۱	.	۱	۱	.	۰.۳۶
۲۰۱۷	.	.	۰.۲۴	.	۱	.	۰.۶۷	۰.۰۸	.	۰.۱۲
۲۰۱۸	۰.۴۹	۰.۱۶	.	۰.۴۹	۱	.	۱	۱	.	۰.۳۹
۲۰۱۹	۰.۱۶	۰.۵۷	۰.۴۹	۰.۰۸	۱	.	۰.۶۷	۰.۶۵	.	۰.۳۳

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین سلامت جریان در ایستگاه پامچی، پالاماس، گیلانده و به ترتیب برابر ۰/۸۹، ۰/۸ و ۰/۷۹ بدست آمده است که نشان‌دهنده این است که ایستگاه یامچی از سلامت بیشتری برخوردار است و تغییرات چشمگیری نداشته ولی ایستگاه گیلانده و پل الماس دارای تغییرات بیشتری است که نشان‌دهنده تغییرات و انحراف در سلامت ایستگاه‌ها است.

بررسی سلامت جریان ایستگاه‌های مورد مطالعه:

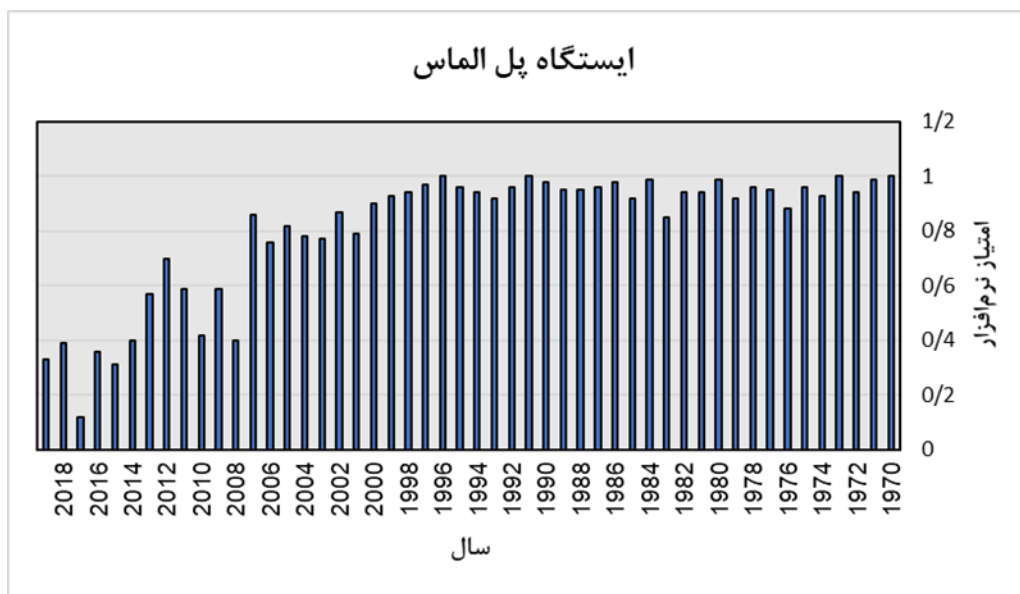
سلامت جریان در سه ایستگاه هیدرومتری یامچی، پل الماس و گیلانده با استفاده از نرم‌افزار Flow Health محاسبه شد و نتایج تغییر روند سلامت جریان ایستگاه‌ها به صورت نمودار ارائه شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌داری در سلامت جریان بین این ایستگاه‌ها است.



شکل شماره ۳: تغییر روند سلامت در ایستگاه یامچی

Figure No 3: Trend changes in health at the Yamchi station

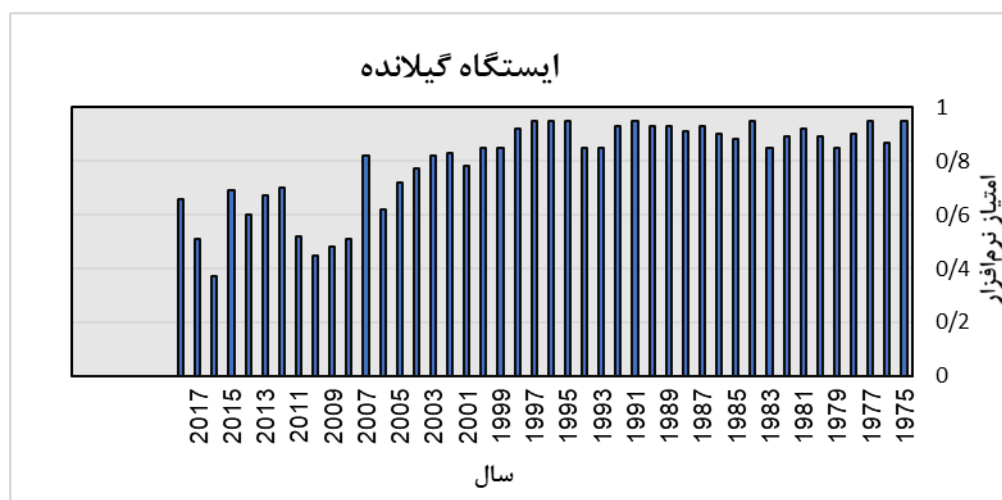
با توجه به نتایج شکل ۳ ایستگاه یامچی با میانگین شاخص سلامت جریان ۰.۸۶ بهترین وضعیت را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی داراست. بررسی نتایج نشان می‌دهد که این ایستگاه کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته و انحرافات کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته است. روند کاهشی در این ایستگاه غیرمعنی‌دار بوده و شاخص‌های مربوط به جریان‌های حداقل و حداکثر تغییرات چشمگیری نداشته‌اند. این ایستگاه به دلیل قرار داشتن در بخش بالادست و دوری از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی عمده، کمترین تأثیرات منفی را از مداخلات انسانی متحمل شده است. سلامت پایدارتر جریان در این ایستگاه نشان‌دهنده مدیریت مناسب‌تر منابع آبی در بالادست رودخانه است.



شکل شماره ۴: تغییر روند سلامت در ایستگاه پل الماس

Figure No 4: Trend changes in health at the Pol-e Almas station

ایستگاه پل الماس با میانگین شاخص سلامت جریان ۰.۸۰ در وضعیت متوسطی قرار دارد. با این حال، در این ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار در سلامت جریان مشاهده شد (شکل ۴). همچنین، شاخص‌های مربوط به جریان حداکثر (HF) و شاخص تداوم جریان‌های حداقل (PL) در سال‌های اخیر انحرافات زیادی از وضعیت مرجع نشان دادند که این موضوع نیز به‌عنوان یکی از عوامل تهدیدکننده سلامت جریان در این ایستگاه شناسایی شده است و بیانگر وقوع سیلاب‌های بیشتر و کاهش دبی در دوره‌های خشکسالی است. کاهش دبی در این ایستگاه ممکن است به دلیل احداث سدها و برداشت‌های بیش از حد از منابع آب در مناطق پایین‌دست باشد. همچنین، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های سطحی و توسعه کشاورزی بدون برنامه‌ریزی مناسب از عوامل تأثیرگذار بر سلامت جریان در این منطقه است.



شکل شماره ۵: تغییر روند سلامت در ایستگاه گیلانده

Figure No 5: Trend changes in health at the Gilandeh station

ایستگاه گیلانده با میانگین شاخص سلامت جریان ۰.۷۹ ضعیف‌ترین وضعیت را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که این ایستگاه تحت تأثیر شدید مداخلات انسانی قرار گرفته و شاخص‌های هیدرولوژیکی این ایستگاه انحرافات زیادی از وضعیت مرجع دارند. شاخص تغییرات فصلی جریان (SFS) و شاخص تداوم جریان حداکثر (PH) در این ایستگاه انحرافات زیادی نشان داده‌اند که احتمالاً ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه، انحراف جریان‌های طبیعی و اثرات سدهای بالادستی است. در این ایستگاه نیز مانند ایستگاه پل الماس، روند کاهشی سلامت جریان از نظر آماری معنی‌دار بوده است. کاهش دبی جریان در این ایستگاه می‌تواند به کاهش کیفیت زیستگاه‌های آبی و تهدید تنوع زیستی منجر شود (شکل ۵).

پس از بررسی امتیاز سلامت جریان و محاسبه تغییرپذیری شاخص‌های هیدرولوژیکی مختلف، روند بارش، دبی جریان برآورد شد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون من کندال برای ایستگاه‌های بارش محدوده مطالعاتی

Table 3: Results of the Mann-Kendall test for precipitation stations in the study area

Pro UCL	گیلانده	پل الماس	یامچی
M-K Test Value	-۱.۰۸۳	۲.۹۰۳	۱.۲۸۱
Approximate P-Value	۰.۱۳۲۲	۰.۲۸۲۴	۰.۰۹۴۵
OLS Regression Slope	-۰.۰۵۴۷	-۰.۰۰۰۱	۰.۰۴۱۶
OLS Regression Intercept	۲۶.۶۰۲۳	۲۴.۶۷۱۰	۲۳.۷۲۰۵
نوع روند	کاهشی غیرمعنی‌دار	کاهشی غیرمعنی‌دار	افزایشی غیرمعنی‌دار

بر اساس نتایج حاصل از آزمون نشان می‌دهد روند بارش در ایستگاه یامچی بصورت افزایشی است ولی در دو ایستگاه دیگر روند تغییرات میزان بارش بصورت کاهشی است ولی از لحاظ معنی‌داری در هر سه ایستگاه تغییرات غیرمعنی‌دار و نامحسوس است.

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمون من کندال برای ایستگاه‌های دبی جریان محدوده مطالعاتی

Table 4: Results of the Mann-Kendall test for flow rate stations in the study area

Pro UCL	گیلانده	پل الماس	یامچی
M-K Test Value	-۴۹.۰۵۵	-۷۶.۷۴۶	-۶۹۴

۰.۳۰۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	Approximate P-Value
-۰.۰۰۰۷	-۰.۰۰۷۷	-۰.۰۰۸۲	OLS Regression Slope
۲.۰۹۲۶	۵.۳۲۲۰	۴.۲۴۱۴	OLS Regression Intercept
کاهشی غیر معنی‌دار	کاهشی معنی‌دار	کاهشی معنی‌دار	نوع روند

نتایج ارائه شده در جدول ۳ و ۴ نشان می‌دهد دبی جریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی و معنی‌دار است. همین‌رو می‌توان دریافت علی‌رغم روند کاهش غیرمعنی‌دار بارش در محدوده مطالعاتی دبی جریان روند کاهشی معنی‌دار داشته است. بنابراین با وجود اینکه میزان بارش کاهشی است ولی غیر معنی‌دار می‌باشد پس یک عامل ثانویه غیر از عامل بارش در کاهش دبی جریان ایستگاه‌های مورد مطالعه موثر بوده است. می‌توان نتیجه گرفت که مداخلات انسانی، به‌ویژه در ایستگاه‌های پایین‌دست، تأثیرات بیش‌تری بر کاهش دبی جریان و سلامت رودخانه داشته‌اند. بر همین اساس می‌توان دریافت به احتمال زیاد احداث سد عامل اصلی کاهش دبی جریان در ایستگاه‌ها بوده است. Kumar و Jayakumar (Jayakumar & Kumar, 2020) بیان داشتند تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه 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. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سلامت جریان در رودخانه بالیخلی‌چای تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله مداخلات انسانی و تغییرات اقلیمی قرار دارد. ایستگاه یامچی به دلیل موقعیت جغرافیایی و دوری از مداخلات انسانی، وضعیت بهتری را نشان داده است. در مقابل، ایستگاه‌های پل الماس و گیلانده با کاهش معنی‌دار دبی جریان و انحرافات قابل‌توجه در شاخص‌های هیدرولوژیکی مواجه بوده‌اند که نیازمند مدیریت پایدارتر منابع آب در این مناطق است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از نرم‌افزار نشان داد که ایستگاه پل الماس دارای میانگین سلامت جریان ۰.۸۰ است، همچنین میانگین سلامت جریان ایستگاه گیلانده ۰.۷۹ و برای ایستگاه یامچی که این ایستگاه کم‌ترین تغییرات و بهترین وضعیت شاخص سلامت جریان را با میانگین ۰.۸۶ نشان داده است. دلیل این پایداری، موقعیت جغرافیایی ایستگاه در بالادست و عدم مداخلات انسانی عمده مانند کشاورزی یا برداشت بی‌رویه منابع آب است. ایستگاه پل الماس و گیلانده هر دو با کاهش چشمگیری در شاخص سلامت جریان مواجه بوده‌اند، که ناشی از ساخت سدها، برداشت‌های بی‌رویه و تغییرات اقلیمی است. براساس زیرمعیارهای استخراج شده از نرم‌افزار Flow Health، شاخص تداوم جریان حداکثر (PH) در ایستگاه الماس دارای انحراف زیادی بوده و در سال‌های بعد تغییر محسوسی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود که این موضوع احتمال وقوع جریان‌های با دبی بالای ماهانه را نشان می‌دهد. همچنین شاخص‌های تغییرات فصلی جریان (SFS) و دامنه وقوع

جریان‌های سیلابی (FFH) نیز از حالت طبیعی منحرف شده‌اند. در مورد فصلی بودن جریان رودخانه، می‌توان به اثرات احداث سد، انحراف جریان سطحی و تغییر در رژیم بهره‌برداری از جریان اشاره کرد. بر اساس تمامی شاخص‌های استفاده شده، ایستگاه یامچی سالم‌ترین ایستگاه در میان ایستگاه‌های مطالعه شده است. طبق آزمون من-کندال، روند تغییرات دبی جریان در ایستگاه یامچی به صورت کاهش غیرمعداری بوده که این وضعیت با سایر ایستگاه‌ها متفاوت است و نشان‌دهنده سلامت جریان در این ایستگاه است. کاهش شاخص سلامت هیدرولوژیک جریان می‌تواند شرایط بهره‌برداری از آب‌های سطحی را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش استفاده‌های اقتصادی از رودخانه‌ها شود. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد که تغییرات سلامت جریان در ایستگاه یامچی با مقدار ۰.۸۶ بیش‌ترین سلامت جریان را نسبت به سایر ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است. در نهایت پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی برای ارزیابی سلامت جریان هیدرولوژیک از داده‌های رسوب و ... نیز جهت برآورد نتایج دقیق‌تر استفاده گردد همچنین برای جلوگیری از تخریب بیش‌تر بهتر است پایش منظم سلامت هیدرولوژیکی جریان‌ها در ایستگاه‌های حساس مانند پل الماس و گیلانده باید با استفاده از ابزارهای پیشرفته مثل نرم‌افزار Flow Health ادامه یابد. همچنین باید برداشت‌های غیرمجاز منابع آب کنترل شده و یک برنامه پایدار برای مدیریت منابع آب در این منطقه تدوین گردد. همچنین، بازبینی در سیاست‌های سدسازی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آبی ضروری است. اجرای طرح‌های احیای محیط زیستی و استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار نیز به بهبود وضعیت این مناطق کمک خواهد کرد.

References

- Abeddini, M., Nazafat, B., pasban, A. (2024). Zoning of flood risk occurrence in Balikhli Chay river with different return periods using hydraulic model HEC-RAS. **Geographic Space**. ۲۳-۱: (۸۶) ۲۴; ۲۰۲۴. [In Persian]. URL: <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-4021-fa.html>. [In Persian]
- Abedini, M, Fatholahi, P, Nezafat, B (2023), Investigation of the erosion of the Darerud River bank and its classification using the Rasgen model (Case study: Horand County - East Azerbaijan), **Geography and Environmental Hazards**. Volume 13, 3, pp. 128-101 .10.22067/GEOEH.2022.78374.1272. [In Persian]
- Esfandyari Darabad, F., Shahbazi Sharfeh, Z., Zabihi Silabi, M., & Mostafazadeh, R. (2023), Temporal changes of the hydrological health index of the Neor wetland outflow in Ardabil province. **Iranian journal of Ecohydrology**, 10(2), 275-287. doi: 10.22059/ije.2023.359404.1728. [In Persian]
- Ezzat Allah Ghanavati, Amir Safari, Ebrahim Beheshti Javid, Esmaeil Mansourian, (2014), Flood Risk Zonation Using Compilation CN Model and AHP Via GIS (Case Study: River Basin Balekhlo), **Journal of Physical Geography**, 7(25), 67-80. magiran.com/p1575644. [In Persian]

- Gippel, C, Marsh N, Grice T. 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. ACEDP Australia-China Environment Development Partnership, River Health and Environmental Flow in China. International Water Centre, Brisbane, Fluvial Systems Pty Ltd, Stockton, and Yorlb Pty Ltd, Brisbane, September. (2012):1-44.
- Kanani R, Fakheri Fard A, Ghorbani M A, Dinpashoh Y. (2020). Trend Analysis of the Streamflow in the Lighvan River hydrometric Stations (Upstream and Downstream). **jwmr**. 11(22), 11-19. doi:10.52547/jwmr.11.22.11. URL: <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-960-fa.html>. [In Persian].
- Kazemi, M., Zabihi Silabi, M., Gharemahmudli, S., Atefeh Jafarpour, A., & Mohammadi, F., (2023). The effect of dam construction on the hydrological indicators of Shamil and Nyan dams in Hormozgan province. **Iranian journal of Ecohydrology**. 10(2), 263-274. doi: 10.22059/ije.2023.354193.1709. [In Persian].
- Kendall, M. G. (1962). Rank correlation methods (No. 310/K23).
- Khorrooshi, S., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., & Raoof, M., (2017). Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds **Ecohydrology**. 4(2), 379-393. [In Persian].
- Khosravi, G., Sadodin, A., Ownegh, M., Bahremand, A., & Mostafavi, H., (2019). Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study:(The Khormarud River-Tilabad Watershed-Golestan Province). **Iranian journal of Ecohydrology**. 6(3), 651-671. [In Persian].
- Kumar, A. U., & Jayakumar, K. V., (2020). Hydrological alterations due to anthropogenic activities in Krishna River Basin, India. **Ecological Indicators**. 108, 105663.
- Liu, W., Shi, C., & Zhou, Y., (2021). Trends and attribution of runoff changes in the upper and middle reaches of the Yellow River in China. **Journal of Hydro-Environment Research**. 37, 57-66.
- Mehta, R., Sharad, K., Jain, R., & Kumar, D. SG., (2012). Hydrological impacts of Dams: A Review, National Insti-tute of Hydrology, Roorkee. **Int. J. Water Res. Environ**. 3(1), 75-97.
- Norris, R. H., & Thoms, M. C., (1999). What is river health?. **Freshwater biology**. 41(2), 197-209.
- Pinto, U., Maheshwari, B. L., Shrestha, S., & Morris, C., (2012). Understanding the meaning of river health for a community: perspectives from the peri-urban region of the Hawkesbury-Nepean catchment, Australia. **Water Policy**. 14(5), 766-783.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., & Powell, J., (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. **Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management**. 14(4), 329-340.

- Rosenberg, D. M., McCully, P., & Pringle, C. M., (2000). Global-scale environmental effects of hydrological alterations: **introduction. BioScience**. 50(9), 746-751.
- Saghebian S M. ,. (۲۰۲۳). Comparative Study of Effective Parameters on Monthly Inflow of a Reservoir Dam via Meta Model Approaches. **Geographic Space**. ۱۴۳-۱۲۵: (۸۴) ۲۳ . [In Persian] URL: <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3377-fa.html>
- Salajegheh, A., khalighi, S., Pourebrahim, S., & Beigi, H.,. (2022). Investigating the trend of temporal and spatial changes in river health using Flow Health (Case Study: Qarasu River). **of Ecohydrology**. 9(1), 35-46. [In Persian]
- Salajegheh, A., Razavizadeh, S., Khorasani, N., Hamidifar, M., & Salajegheh, S.,. (2011). Land use Changes and its Effects on Water Quality (Case study: Karkheh watershed). **Environmental Studies**. 37(58), 81-86. [In Persian]
- Satayshi Nesaz, H., Asghari Saraskanroud, S., Mostafazadeh, R., ... & A.,. (2023). Investigating the changes of the hydrological flow regime and the environmental flow component of EFCs in the Khiauchai River in a 30-year period. **Hydrogeomorphology**. 10(37), 25-43. [In Persian]
- Song, J., Cheng, D., Li, Q., He, X., Long, Y., & Zhang, B.,. (2015). An evaluation of river health for the Weihe River in Shaanxi Province, China. **Advances in Meteorology**, 2015.
- Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P., Ross, D. M., Zhang, Z., Wang, L., & Esfahanian, A. H.,. (2015). Ecohydro-logical model parameter selection for stream health evaluation. **Science of the Total Environment**. 511, 341-353.
- Yang, Z., Yan, Y., & Liu, Q., (2012). Assessment of the flow regime alterations in the Lower Yellow River. China. **Ecological Informatics**. 10, 56-64.

References

- Mehta, R., Sharad, K., Jain, R., & Kumar, D. SG.,. (2012). Hydrological impacts of Dams: A Review, National Insti-tute of Hydrology, Roorkee. *Int. J. Water Res. Environ.* 3(1), 75-97.
 - Rosenberg, D. M., McCully, P., & Pringle, C. M.,. (2000). Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. *BioScience*. 50(9), 746-751.
- Song, J., Cheng, D., Li, Q., He, X., Long, Y., & Zhang, B.,. (2015). An evaluation of river health for the Weihe River in Shaanxi Province, China. *Advances in Meteorology*, 2015.

Hydrological Changes Assessment and River Flow Health of the Balikhli-Chay River in Ardabil Province Using Flow Health Software

Mousa Abedini

Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. -
abedini@uma.ac.ir

Zahra Shahbazi Sharfeh - PhD Student in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. University of Mohaghegh Ardabili Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

Rivers, as complex and dynamic ecohydrological systems, play a key role in providing water resources for various purposes, including agriculture, industry, and drinking water. Today, socioeconomic activities and climate change have led to the degradation of river ecosystems and alterations in their quantity and quality, making the restoration, conservation, and maintenance of rivers essential (Song et al., 2015). Due to the spatial and temporal imbalance between water resource availability and demand, in most parts of the world, including Iran, water storage, maintenance, and regulation of natural flow are achieved through hydrological structures such as dams. Water storage by dams leads to significant hydrological changes in the environment and geological conditions (Mehta et al., 2012). In many countries, especially Iran, the imbalance in the spatial and temporal availability of water resources and the demand for them has led to the construction of hydrological structures, like dams, which can cause major changes in the structure and function of river ecosystems (Rosenberg et al., 2000).

Keywords: Balikhli-Chay River, Flow Health, Discharge, Flow Health Software, Hydrological Changes.

Materials and Methods

The present study aims to investigate and assess the hydrological health and flow changes of the Balikhli-Chay River in Ardabil Province. Using daily discharge data from three hydrometric stations Yamchi, Pole Almas, and Gilandeh from 1969 to 2019, the river flow health index was analyzed using Flow Health software and the Mann-Kendall statistical test. This research relies on daily discharge data from the three main hydrometric stations (Yamchi, Pol-e-Almas, and Gilandeh), available from the Regional Water Authority and the Ministry of Energy. The statistical period studied was selected between 1969 and 2019. Additionally, precipitation data were collected from rain gauge stations within the river basin to examine the effect of precipitation changes on flow discharge. The study utilized long-term data spanning 45 years, allowing for an examination of health changes in the region, with health assessments obtained at each of the studied stations over different intervals. Subsequently, for a more precise assessment of health changes at each station, the results were analyzed graphically to examine any increase or decrease in the health index. The Mann-Kendall test was applied to determine the statistical significance of these changes. The choice of an extensive statistical period and hydrometric stations with complete records is crucial for accurate analysis. Flow Health software, a credible tool for evaluating the hydrological health of rivers, calculates various indicators, such as

minimum and maximum discharge, flow persistence, and intensity, and estimates an annual flow health score.

Results

The results show that among the stations studied, the Yamchi station, with an average flow health index of 0.86, is in the best condition. This station seems to experience the least negative impact from human interventions due to its geographic location and distance from industrial and agricultural activities, resulting in greater stability. In contrast, the Pol-e-Almas and Gilandeh stations, with flow health indices of 0.80 and 0.79, respectively, display less stability and more variability. These changes, primarily due to overexploitation and the impacts of dam construction, pose a serious threat to the ecosystems dependent on this river.

Statistical analyses and Flow Health software data revealed that the maximum flow persistence index (PH) and the seasonal flow shift index (SFS) have shown significant fluctuations at downstream stations. These fluctuations can lead to sudden flooding or seasonal droughts in these areas. Additionally, the low flow persistence index (PL), which indicates flow stability during dry periods, showed fewer changes at the Yamchi station, marking it as the most stable section of the river throughout the study period.

Conclusion

In conclusion, the flow health changes at Yamchi station, with a score of 0.86, indicate the highest flow health compared to other stations. For future studies, it is recommended to include sediment data and additional parameters to achieve more precise results in assessing hydrological flow health. To prevent further degradation, regular monitoring of hydrological flow health at sensitive stations like Pol-e-Almas and Gilandeh should continue using advanced tools such as Flow Health software. Additionally, unauthorized water withdrawals must be controlled, and a sustainable water resource management plan should be developed for this area. Furthermore, reviewing dam construction policies and optimizing water resource utilization is essential. Implementing environmental restoration projects and adopting sustainable agricultural practices will also improve the condition of these areas.