اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۶-۳۵

ارزیابی روند تغییرات زمانی و مکانی سلامت رودخانه با استفاده از نرم‌افزار Flow Health (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ قره‌سو)

علی سلاجقه[۱]، شهرام خلیقی سیگارودی[۲]، شراره پورابراهیم[۳]، حامد بیگی[۴*]

۱. استاد تمام گروه احیای مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه احیای مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۷/۰۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۰۸/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۱۱/۱۱)

چکیده

کیفیت آب رودخانه‌ها از عوامل مهمی است که با سلامت انسان و موجودات زنده ارتباط دارد و به‌شدت متأثر از شرایط حاکم بر حوضهٔ آبخیز است که این فعالیت‌ها به صورت طبیعی یا مصنوعی و با دخالت انسان انجام می‌گیرد. به این منظور، پژوهش حاضر به بررسی شاخص‌های هیدرولوژیکی و ادافیکی رودخانهٔ قره‌سو پرداخته است. در مورد روند داده‌های سلامت به‌دست‌آمده از نرم‌افزار، روند در هر ایستگاه به صورت جداگانه بررسی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مطالعه‌شده، سه ایستگاه روند کاهشی و دو ایستگاه دارای روند افزایشی است. ایستگاه نهارخوران روند کاهشی در سطح ۰/۹۵ داشته و دو ایستگاه پل اردوگاه و غاز محله روند کاهشی در سطح ۰/۹۹ داشته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد 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 و ایستگاه یساقی با امتیاز ۰/۷۲ کمترین امتیاز را در بین ایستگاه‌ها داشته است. 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. ایستگاه غاز محله بیشترین شیب کاهشی را دارد.

کلیدواژگان: رودخانه، سلامت، Flow Health، من‌ـ کندال، کیفیت آب.

* نویسندهٔ مسئول

Email: hamedz1373@gmail.com

مقدمه

کیفیت آب رودخانه‌ها از عوامل مهمی است که با سلامت انسان و موجودات زنده ارتباط دارد و به‌شدت متأثر از فعالیت‌های حوضهٔ آبخیز است که این فعالیت‌ها به صورت طبیعی یا مصنوعی و با دخالت انسان انجام می‌گیرد. از طرف دیگر، در وضعیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور و کمبود منابع آب شیرین، حساسیت نسبت به کیفیت آب رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها ضروری است [۱]. رودخانه‌ها، سیستم‌های پیچیده و پویای اکوهیدرولوژیک هستند که به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند [۲]. امروزه، فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی و تغییر اقلیم سبب تخریب اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تغییر در کمیّت و کیفیت آن‌ها شده است و احیا، حفاظت و نگهداری رودخانه‌ها امری ضروری تلقی می‌شود [۳] طبق تعریف نوریس، رودخانهٔ سالم اکوسیستمی است که یکپارچگی بیولوژیکی و پایداری داشته باشد. سلامت رودخانه برابر با یکپارچگی هیدرولوژیک، یکپارچگی اکولوژیکی، شرایط زیستگاهی و پارامترهای شیمیایی است [۴]. ژیائویان[1] و همکاران [۵] دبی رودخانه از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌ها است و تأثیر مستقیم و غیرمستقیمی بر سلامت اکوسیستم دارد، در حالی که دبی رودخانه به طور مستقیم نیازهای زیستی گونه‌های گیاهی و جانوری رودخانه را تأمین می‌کند به طور غیرمستقیم نیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب را تغییر می‌دهد. یزدیان و همکاران [۶]، طبقه‌بندی سلامت رودخانه برای اهداف استاندارد استفاده می‌شود که هریک از دسته‌بندی‌های سلامت رودخانه با ۱ سطح از سلامت اکوسیستم وابسته است. وانگ [۷][2] از طریق شاخص‌های شیمیایی، اکولوژیک و محیط زیست در حوضهٔ آبخیز میامی در آمریکا اطلاعات مختلفی را در زمینهٔ سنجش سلامت به دست آورد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش یادشده، شاخص‌های برنامه‌ریزی آب، زمین و پراکنش انسانی اطلاعات خوبی را در اختیار مدیران اجرایی قرار می‌دهد. ژیائویان و همکاران [۵] سلامت رودخانهٔ زرد چین را با استفاده از شاخص‌های سلامت رودخانه، مانند 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 مشاهداتی دورهٔ آماری (۱۹۵۶ـ 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. ژانگ و همکاران [۸] ارزیابی سلامت رودخانه را به عنوان ابزار مدیریت محیط‌های آبی و عنصر ضروری مدیریت پایدار حوضه‌های آبخیز معرفی کردند. آن‌ها بیان کردند مفهوم سلامت رودخانه و حوضهٔ آبخیز در سامانه‌های سنجش محیط زیست در نظر گرفته نشده و معرفی مجموعه‌ای از سامانه‌های ملی ارزیابی سلامت حوضهٔ آبخیز در کشور چین ضروری است. لو[3] و همکاران [۹] چارچوب جدیدی برای ارزیابی سلامت اکوسیستم رودخانهٔ شایینگ با در نظر گرفتن تقاضای خدمات انسان ارائه کردند. آن‌ها ابتدا چندین نقطه را در طول مسیر رودخانه انتخاب کردند و شاخص‌های دما، هدایت الکتریکی، اسیدیته، پتانسیل کاهش اکسیداسیون، میزان کلروفیل و همچنین، کیفیت زیستگاه محیط زیست رودخانه را با استفاده از شاخص‌های فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون بررسی کردند، نتایج نشان داد وضعیت هیدرولوژیکی آب در رودخانهٔ شایینگ به طور کلی ضعیف بوده و الگوی تغییر تدریجی در طول رودخانه را نشان می‌دهد. سطح سلامتی رودخانه به طور کلی در بالادست متوسط، اما در اغلب موارد بیماری‌زا در وسط و پایین‌دست را نشان می‌دهد آلودگی آب در رودخانهٔ شایینگ بیشتر در وسط و پایین‌دست متمرکز شده است. قربانی و همکاران [۱۰] ارزیابی وضعیت سلامت رودخانهٔ زیارت در استان گلستان را بر اساس شاخص کیفی NSFWQI مورد بررسی قرار دادند. به این منظور، نمونه‌برداری از ۱۰ ایستگاه آب‌سنجی در طول آبراههٔ زیارت در بهار و تابستان ۱۳۹۱ انجام گرفت و پارامترهای اکسیژن محلول، اسیدیته، اکسیژن مورد نیاز زیستی، آمونیاک، نیترات، فسفات، جامدات کل، دمای آب، کدورت و کمیت اندازه‌گیری شدند. درمجموع، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شرایط کیفی آبراههٔ زیارت نامطلوب معرفی شد.

کومار[4] و همکارانش برای شناسایی روند جریان در آمریکا، آزمون ناپارامتری من- کندال را با چهار روش مختلف روی آمار کمینه، میانگین و بیشینهٔ دبی جریان در مقیاس زمانی فصلی و سالانه انجام دادند. یافته‌های ایشان بیان‌کنندهٔ روند مثبت و معنادار در کمینه و میانگین جریان

1. Xiaoyan
2. Wang
3. Luo
4. Kumar

است [۱۱]. وزنیکی[1] و همکاران با انتخاب پارامترهای مدل اکوهیدرولوژیکی برای ارزیابی سلامت رودخانه، شاخص‌های هیدرولوژیکی را به پنج بخش از رژیم جریان رودخانهٔ شامل بزرگی، فراوانی، تداوم، زمان‌بندی و میزان تغییرات جریان تقسیم کردند و هر بخش را بر اساس نوع جریان در سه طبقهٔ متوسط، کم و زیاد کلاسه‌بندی کردند، داده شده است [۱۲]. پینتو[2] و ماهشواری[3] برای ارزیابی سلامت رودخانه در چشم‌اندازهای حومهٔ شهری به توسعهٔ ابزاری برای ارزیابی خطر در ارتباط با سلامت رودخانه برای فعالیت‌های تفریحی و رشد جلبک با استفاده از سه شاخص کلیدی پرداخته‌اند [۱۳]. گنزالس- اینکا[4] و همکاران (۲۰۱۶) سری‌های زمانی کیفیت آب و بار رسوبی حوضه‌های آبخیز کشاورزی یلنینجوکی[5] و پیهاجوکی[6] در جنوب غربی فنلاند را برای تشخیص روند مطالعه کردند. آن‌ها از آزمون‌های روند تک‌متغیره و چندمتغیرهٔ من-کندال برای داده‌های کیفیت آب استفاده کردند که نتایج همهٔ روش‌ها برای داده‌های غلظت مواد مغذی مشابه بود، ولی برای داده‌های بار رسوب متفاوت بود. ایشان بیان کردند که روند افزایشی در غلظت و بارهای مجموع نیتروژن، نیترات- نیتروژن و فسفر محلول و یک روند کاهشی در غلظت مواد معلق وجود دارد [۱۴]. ژائو[7] و همکاران (۲۰۱۷) سازگاری پایداری زیست‌بوم و سلامت اکوسیستم را با رویکرد سازگاری هیدرولیک محیطی، برای تخمین جریان‌های محیطی تحت تأثیر فعالیت‌های شدید انسان مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش گونه‌های کلیدی ماهی، شاخص سلامت بیولوژیکی، سرعت جریان و عمق آب به عنوان شاخص مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد مناطق شهری بالادست اثرات مخربی بر ژئومورفولوژی مسیر جریان رودخانه دارد که سبب غیرنرمال شدن جریان محیط زیستی می‌شود و بازه‌های بالادست بیشترین نیاز به جریان محیط زیستی را دارند [۱۵]. چنگ[8] و همکاران (۲۰۱۸) اثرات تغییر کاربری و توسعهٔ اجتماعی- اقتصادی را بر سلامت اکوسیستم رودخانه مورد بررسی قرار دارند و شاخص‌های کاربری، هدایت الکتریکی، نیتروژن آمونیاک، نیتروژن کل، فسفر و اکسیژن مورد نیاز را بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد وضعیت کلی رودخانه از لحاظ سلامت ضعیف است و کاربری‌های جنگل و مرتع اثرات مثبتی بر سلامت اکوسیستم رودخانه دارند و کاربری شهری اثرات منفی دارد [۱۶]. در این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی سلامت جریان در دوره‌های بلندمدت بررسی شد و استفاده از نرم‌افزار FLOW HEALTH و تقسیم‌بندی دورهٔ مطالعاتی به زیردوره‌ها برای نشان دادن دقیق‌تر تغییرات سلامت از نوآوری‌های این پژوهش است. اهداف مد نظر این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی سلامت هیدرولوژیک رودخانهٔ قره‌سو با استفاده از شاخص‌های مختلف.

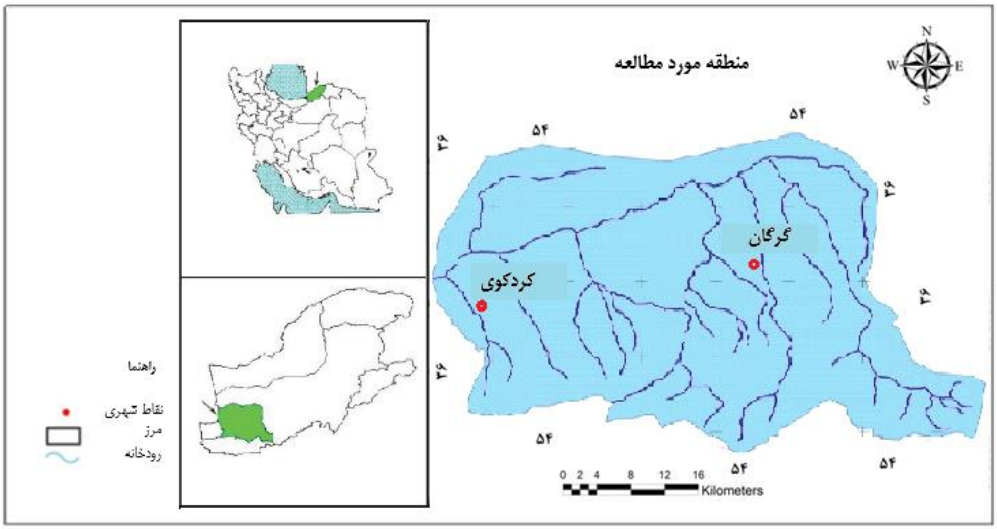
۲. شناسایی مناطق و مکان‌هایی که سلامت هیدرولوژیک در آن‌ها نسبت به سایر نقاط تفاوت چشمگیری داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

استان گلستان با وسعت ۲۴۶۰۷ کیلومترمربع در شمال شرقی ایران واقع شده است. حوضهٔ آبخیز قره‌سو- گرگان در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. استان گلستان بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقهٔ شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. دو رودخانهٔ قره‌سو و گرگان رود از مهم‌ترین رودخانه‌های این استان هستند. حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ قره‌سو ۱۷۶۱ کیلومترمربع مساحت دارد. میانگین سالیانه بارندگی در حوضهٔ گرگان‌رود -قره‌سو از حدود ۳۰۰ میلی‌متر در کناره‌های جنوبی و شمالی حوضه تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی آن متغیر است. میانگین سالیانه دما حدود ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد در نواحی پست تا ۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی حوضه کاهش می‌یابد. در شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ قره‌سو ارائه شده است.

1. Wozniki
2. Pinto
3. Maheshwari
4. Gonzales-Inca
5. Yläneenjoki
6. Pyhäjoki
7. Zhao
8. Cheng



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضهٔ آبخیز قره‌سو

ایستگاه	کد ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دورهٔ آماری
پل اردوگاه	۱۲-۰۸۵	گرمابدشت	۵۴-۳۵-۰۰	۳۶-۴۷-۱۲	۴۶۵	۱۳۶۲_۱۳۹۳
نهار خوران	۱۲-۰۴۳	زیارت	۵۴-۲۸-۳۲	۳۶-۴۵-۵۴	۵۵۰	۱۳۶۲_۱۳۹۳
غاز محله	۱۲-۰۴۹	کردکوی	۵۴-۰۷-۳۲	۳۶-۴۳-۵۱	۲۶۰	۱۳۶۲_۱۳۹۳
یساقی	۱۲-۰۹۵	یساقی	۵۴-۱۴-۰۰	۳۶-۵۰-۰	۶	۱۳۸۵_۱۳۹۳
ورودی سد کوثر	۱۲-۱۰۹	نومل	۵۴-۳۲-۵۰	۳۶-۴۷-۴۷	۲۵۰	۱۳۷۴_۱۳۹۳

معرفی نرم‌افزار Flow Health

نرم‌افزاری برای ارزیابی انحراف جریان رودخانه و طراحی یک رژیم جریان ماهانه محیطی است. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۲ توسط گیپل و همکاران [۱۷] باهدف ارزیابی طراحی و مدیریت رژیم جریان رودخانه که هدف اصلی آن محاسبهٔ امتیاز سالانه برای سلامت هیدرولوژیک رودخانه است در کشور چین توسعه یافت. همچنین، 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. در این نرم‌افزار برای محاسبهٔ 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 سالانهٔ 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 مشاهدهٔ داده‌های ورودی است. بخش پایین برای مشاهدهٔ نتایج است. خروجی را به صورت 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 تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته 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 به‌کاربرده‌شده را شامل می‌شود.

معیارهای مورد نیاز برای محاسبهٔ سلامت جریان

برای محاسبهٔ امتیاز سلامت هیدرولوژیک رودخانه در نرم‌افزار یادشده از پنج معیار مختلف که از خصوصیات جریان و بر اساس دبی ماهانه استخراج می‌شود، استفاده شده است.

معیارهای یادشده شامل میانگین دبی ماهانه، دبی‌های حداکثر و حداقل، تغییرات زمانی دبی‌های حداقل و حداکثر در مقیاس زمانی سالانه، فراوانی تداوم و قابلیت پیش‌بینی دبی‌های زیاد و کم وقایع و شدت و فراوانی تغییرات در حجم دبی است. ابتدا داده‌ها به فرمت مورد استفاده در نرم‌افزار Flow Healthتبدیل شد. سپس، امتیازدهی سلامت هیدرولوژیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار Flow Health صورت گرفت. قابل یادآوری است که فرمت داده‌های مورد استفاده در این نرم‌افزار به صورت CSV است.

روش‌های تعیین روند در یک رودخانه طی زمان

به منظور تعیین روند تغییرات زمانی امتیاز سلامت هیدرولوژیک رودخانه طی دورهٔ آماری موجود از دو آزمون ناپارامتری من -کندال و تخمینگر سن استفاده شد. آزمون‌های ناپارامتری به طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود. آزمون ناپارامتری من-کندال ازجمله روش‌های تحلیل روند داده‌ها است که اولین‌بار به وسیلهٔ من[1] (۱۹۴۵) استفاده شد و سپس در سال ۱۹۷۵ کندال[2] [۱۸] آن را بسط داده و این آزمون جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود، استفاده از این روش به این دلیل است که 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.

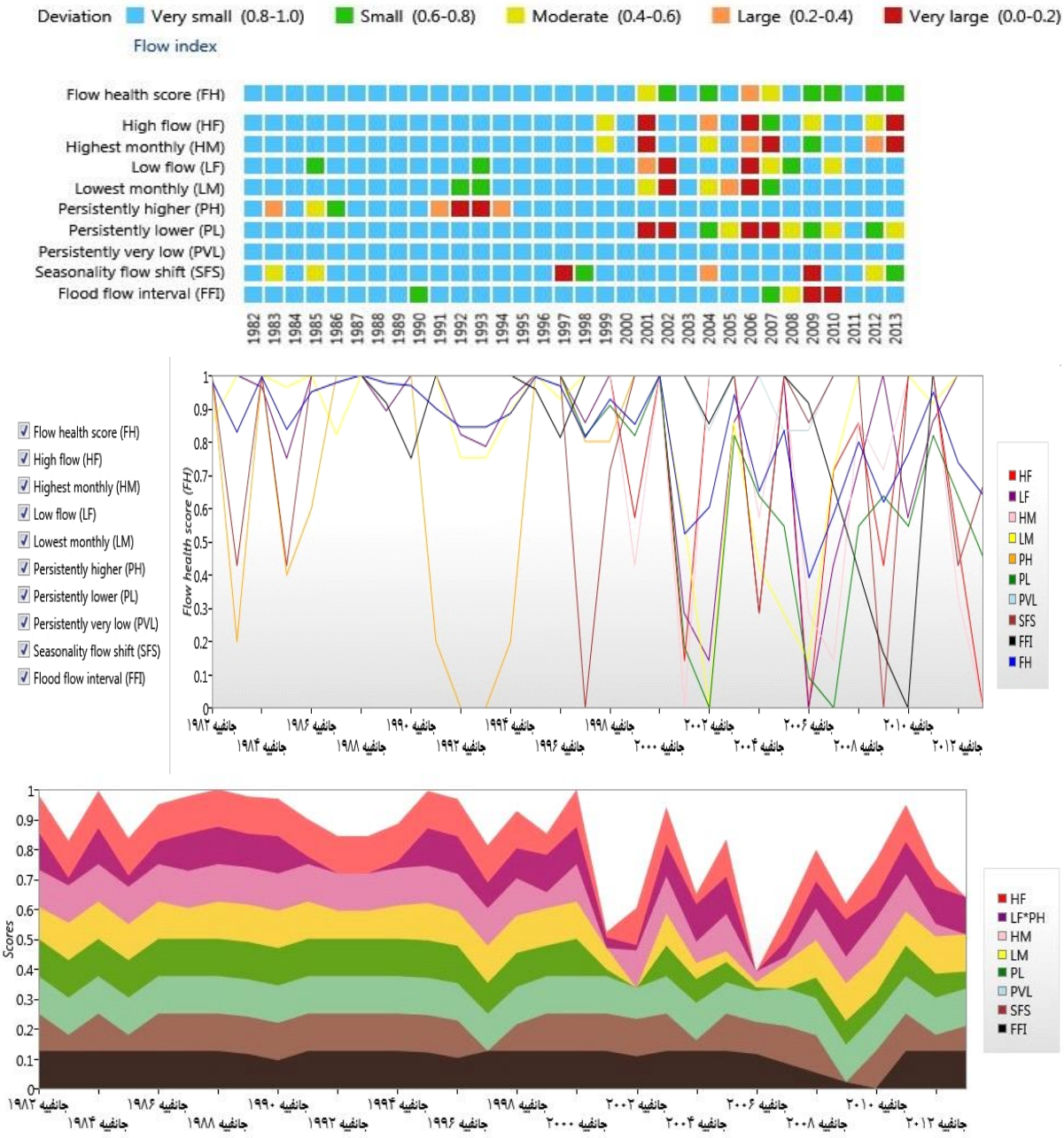
در این تحقیق از داده‌های بلندمدت ۳۰ ساله استفاده شد و تغییرات سلامت در منطقه مورد بررسی قرار گرفت و سپس، برای دقیق‌تر بودن تغییرات بازهٔ زمانی به چهار بخش تقسیم شد و سلامت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در هر بازه به دست آمد. کاهش یا افزایش شاخص سلامت بررسی شد. برای معنادار بودن یا نبودن این تغییرات از روش تخمینگر سن و من- کندال استفاده شد [۱۸].

نتایج

در شکل ۲ یک نمایش کلی (جدول موزاییک) از شرایط هیدرولوژیک رودخانه در ایستگاه پل اردوگاه طی دورهٔ آماری ارائه شده است که در آن مقادیر انحراف در معیارهای مورد مطالعه نشان داده شده است. در این نمودار موزاییک رنگ‌ها نشان‌دهندهٔ میزان انحراف معیارها هستند که دامنهٔ تغییرات از صفر تا یک است. در کل جدول موزاییک اطلاعات کلی از وضعیت معیارها را در اختیار قرار می‌دهد. بر اساس اطلاعات موجود در شکل مقدار شاخص تداوم جریان خیلی کم (PVL[3]) در دورهٔ مطالعاتی دارای انحراف بسیار کمی است. مقادیر شاخص‌های جریان حداکثر (HF[4])، حداکثر جریان ماهانه (HM[5]) تداوم جریان‌های حداقل (PL[6])و کمترین جریان ماهانه (LF[7]) در انتهای دورهٔ مورد مطالعه در ایستگاه پل اردوگاه دارای انحراف بسیار زیاد (۰ تا ۰/۲) هستند. با توجه به انحراف شاخص‌های یادشده می‌توان به وقوع سیلاب‌های شدید، افزایش تولید رواناب سطحی و نیز افزایش بهره‌برداری از جریان در ماه‌های خشکسالی اشاره کرد. مقدار شاخص تداوم جریان حداکثر (PH[8])در میانهٔ دورهٔ مطالعاتی (۱۹۹۲-۱۹۹۳) انحراف بسیار زیاد دارد و از این مدت تا انتهای دوره دارای تغییرات بسیار کم است. بر اساس این شاخص و تغییرات آن طی دوره، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در دوره‌های گذشته امکان وقوع جریان‌های با دبی‌های ماهانه زیاد وجود داشته است، در حالی که در سال‌های اخیر به علت افزایش آشفتگی و بهره‌برداری از جریان رودخانه و نیز کنترل جریان و کمبود بارش‌ها امکان وقوع جریان‌های متوالی با دبی زیاد کاهش پیدا کرده است. مقدار شاخص‌های تغییرات فصلی جریان (SFS[9]) و دامنه وقوع جریان‌ها سیلابی (FFI[10])که شاخص جریان‌های سیلابی در پایان دوره و سال‌های اخیر دارای انحراف بسیار زیاد بوده است و همچنین، شاخص تغییرات فصلی در بعضی از سال‌ها انحراف از حالت طبیعی دارد که ممکن است به دلیل تغییر و انحراف جریان سطحی و تغییراتی که در بهره‌برداری ایجاد شده است، باشد. در شکل ۲ نمودار تجمعی زیرمعیارهای شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه (ایستگاه پل اردوگاه) ارائه شده است.

1. Mann
2. Kendall

3. Persistently Very Lower
4. Hight Flow
5. Highest Monthly
6. Persistently Lower
7. Low Flow
8. Persistently Higher
9. Seasonality Flow Shift
10. Flow Flood Interval



شکل ۲. نمای کلی از تمامی معیارهای ارزیابی تغییرات جریان طی دورهٔ مطالعاتی در ایستگاه پل اردوگاه

برای هر ایستگاه یک جدول مانند جدول ۲ به دست آمد که در اینجا فقط یک جدول مربوط به ایستگاه پل اردوگاه به عنوان نمونه ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات جدول ۲ می‌توان گفت که مقدار شاخص PVL در کل دوره بیشترین امتیاز و کمترین تغییرات را دارد.

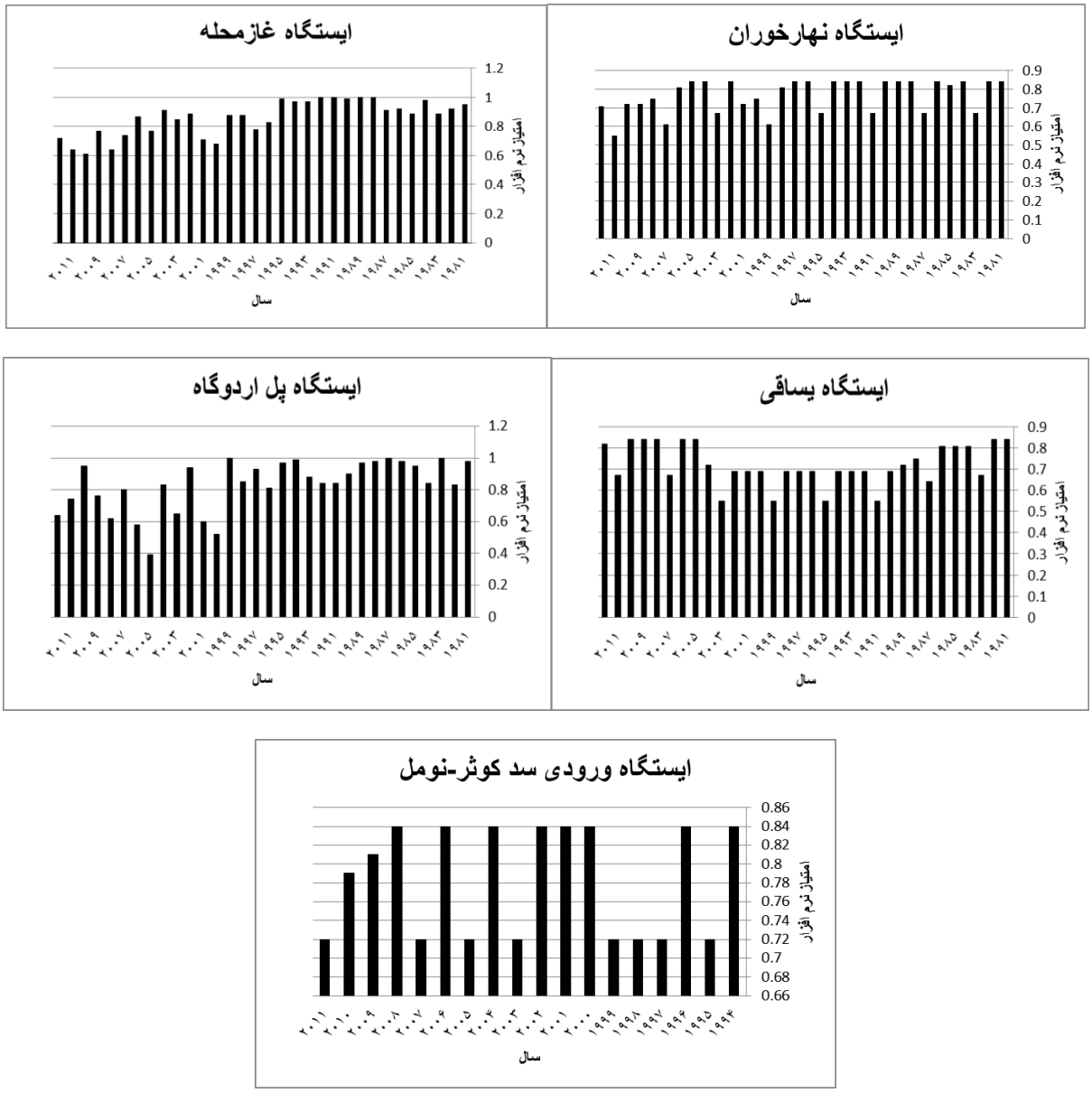
با توجه به شکل ۳ تغییر روند در ایستگاه غاز محله، نهارخوران و یساقی یک روند صعودی و نزولی است و همچنین، ایستگاه ورودی سد کوثر بین سال‌هایی که داده موجود بوده، در بعضی از سال‌ها کمترین امتیاز را دارد و نوسان این ایستگاه مشهودتر است.

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ نشان می‌دهد ایستگاه یساقی کمترین میزان سلامت را داشته و ایستگاه غاز محله نیز در بین دیگر ایستگاه‌ها بیشترین امتیاز شاخص سلامت بوده دارد.

آزمون من‌ـ کندال بیان‌کنندهٔ روند افزایشی و یا کاهشی است و آزمون سن مقدار شیب خط روند تغییر را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون من‌ـ کندال و سن که در جدول ۴ ارائه شده است، 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. ایستگاه غاز محله بیشترین شیب کاهشی دارد.

جدول ۲. نمای کلی از تمامی معیارهای ارزیابی تغییرات جریان طی دورهٔ مطالعاتی در ایستگاه پل اردوگاه

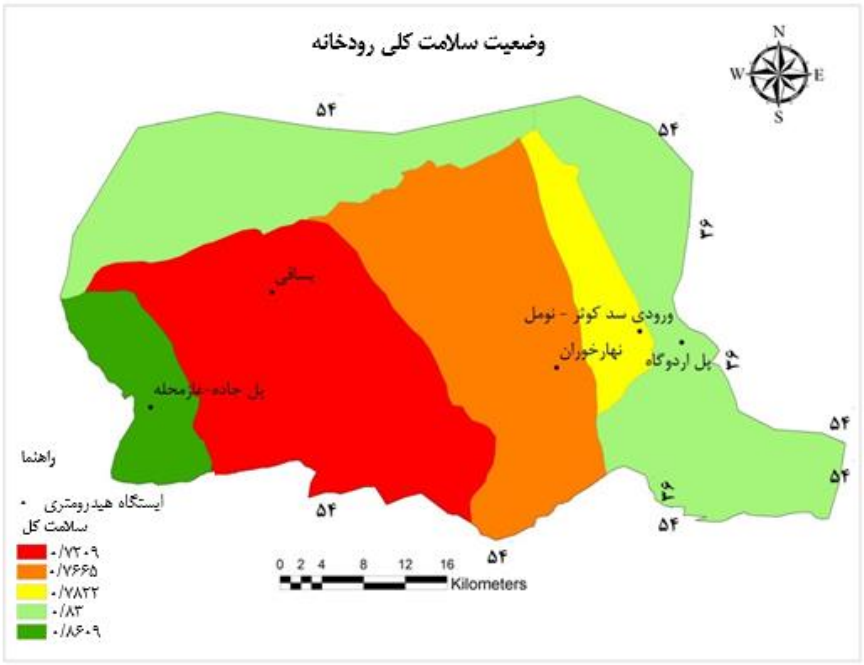
سال	HF	HM	LF	LM	PH	PL	PVL	SFS	FFI	FH
۱۹۸۲	۱	۱	۱	۰،۸۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۹۸
۱۹۸۳	۱	۱	۱	۱	۰،۲	۱	۱	۰،۴۳	۱	۰،۸۳
۱۹۸۴	۱	۱	۰،۹۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۸۵	۱	۱	۰،۷۵	۰،۹۶	۰،۴	۱	۱	۰،۴۳	۱	۰،۸۴
۱۹۸۶	۱	۱	۱	۱	۰،۶	۱	۱	۱	۱	۰،۹۵
۱۹۸۷	۱	۱	۱	۰،۸۲	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۹۸
۱۹۸۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹۸۹	۱	۱	۰،۸۹	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۹۲	۰،۹۸
۱۹۹۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۷۵	۰،۹۷
۱۹۹۱	۱	۱	۱	۱	۰،۲	۱	۱	۱	۱	۰،۹
۱۹۹۲	۱	۱	۰،۸۲	۰،۷۵	۰	۱	۱	۱	۱	۰،۸۴
۱۹۹۳	۱	۱	۰،۷۹	۰،۷۵	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۸۴
۱۹۹۴	۱	۱	۰،۹۳	۰،۸۹	۰،۲	۱	۱	۱	۱	۰،۸۸
۱۹۹۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰،۹۶	۰،۹۹
۱۹۹۶	۱	۱	۱	۰،۹۳	۱	۱	۱	۱	۰،۸۱	۰،۹۷
۱۹۹۷	۱	۱	۰،۸۶	۱	۰،۸	۰،۸۲	۱	۰	۱	۰،۸۱
۱۹۹۸	۱	۱	۱	۱	۰،۸	۰،۹۱	۱	۰،۷۱	۱	۰،۹۳
۱۹۹۹	۰،۵۷	۰،۴۳	۱	۱	۱	۰،۸۲	۱	۱	۱	۰،۸۵
۲۰۰۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۰۰۱	۰،۱۴	۰	۰،۲۹	۰،۵۷	۱	۰،۱۸	۱	۱	۱	۰،۵۲
۲۰۰۲	۱	۱	۰،۱۴	۰	۱	۰	۰،۸۳	۱	۰،۸۵	۰،۶
۲۰۰۳	۱	۱	۰،۸۶	۰،۸۶	۱	۰،۸۲	۱	۱	۱	۰،۹۴
۲۰۰۴	۰،۲۹	۰،۵۷	۱	۰،۴۳	۱	۰،۶۴	۱	۰،۲۹	۱	۰،۶۵
۲۰۰۵	۱	۱	۱	۰،۲۹	۱	۰،۵۵	۰،۸۳	۱	۱	۰،۸۳
۲۰۰۶	۰	۰،۲۹	۰	۰،۱۴	۱	۰،۰۹	۰،۸۳	۰،۸۶	۰،۹۲	۰،۳۹
۲۰۰۷	۰،۷۱	۰،۱۴	۰،۴۳	۰،۷۱	۱	۰	۱	۱	۰،۶۷	۰،۵۸
۲۰۰۸	۰،۶۸	۰،۸۶	۰،۷۱	۱	۱	۰،۵۵	۱	۱	۰،۴۲	۰،۸
۲۰۰۹	۰،۴۳	۰،۷۱	۱	۱	۱	۰،۶۴	۱	۰	۰،۱۷	۰،۶۲
۲۰۱۰	۱	۱	۰،۵۷	۱	۱	۰،۵۵	۱	۱	۰	۰،۷۶
۲۰۱۱	۱	۱	۰،۸۶	۰،۹۱	۱	۰،۸۲	۱	۱	۱	۰،۹۵
۲۰۱۲	۰،۴۹	۰،۳۳	۱	۱	۱	۰،۶۴	۱	۰،۴۳	۱	۰،۷۴
۲۰۱۳	۰	۰	۱	۱	۱	۰،۴۵	۱	۰،۶۷	۱	۰،۶۴



شکل ۳. تغییر روند سلامت در ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۳. امتیاز شاخص سلامت هیدرولوژیک جریان ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ استان گلستان

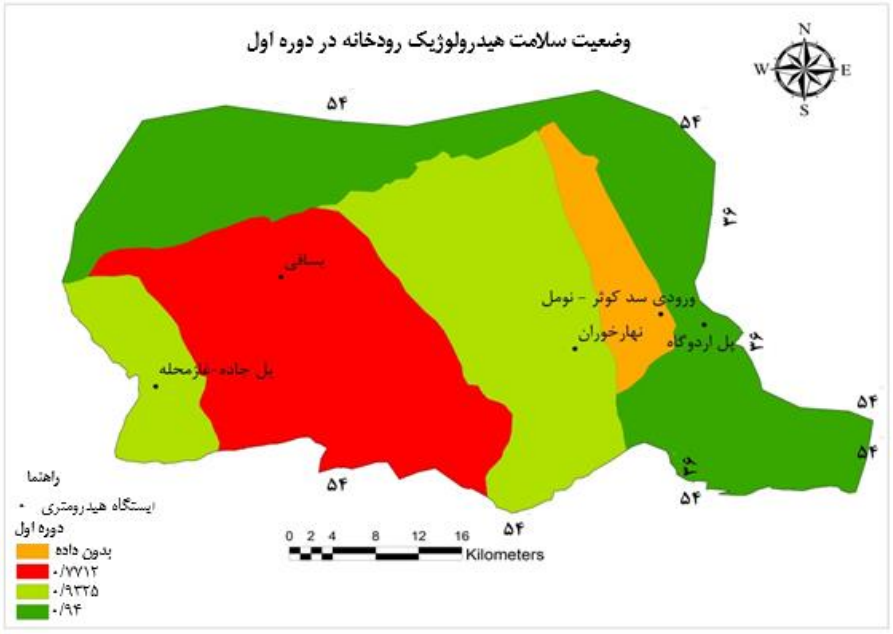
امتیاز سلامت جریان(%)	ایستگاه مورد مطالعه
۰/۷۶۶۵	نهارخوران
۰/۸۶۰۹	غازمحله
۰/۸۳	پل اردوگاه
۰/۷۲۰۹	یساقی
۰/۷۸۲۲	ورودی سد کوثر-نومل

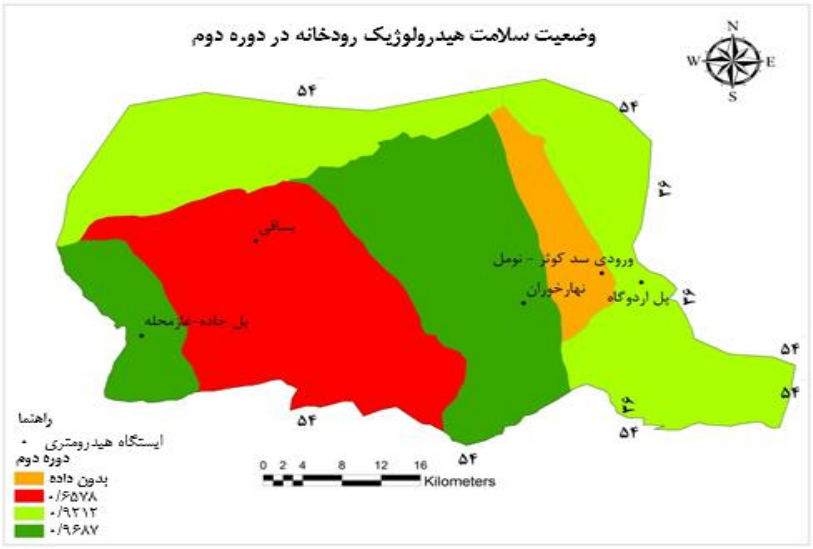


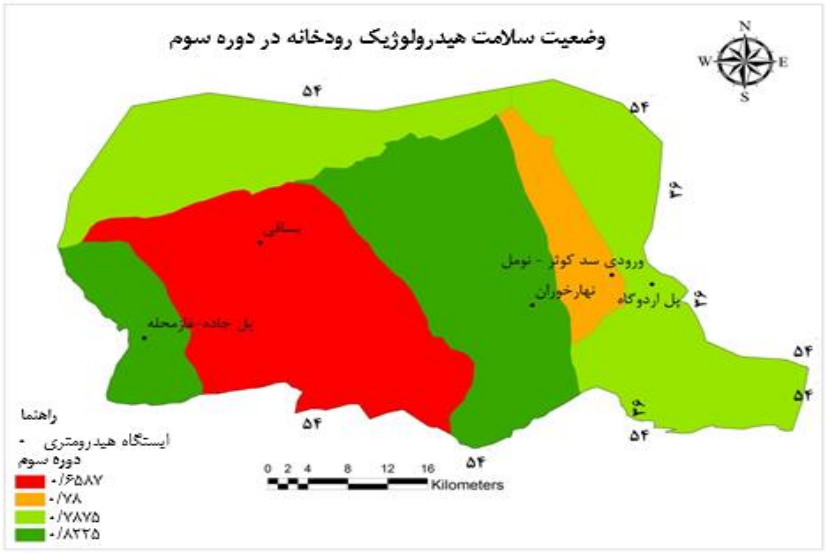
شکل ۴. تعمیم تغییرات مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌کل مساحت منطقه

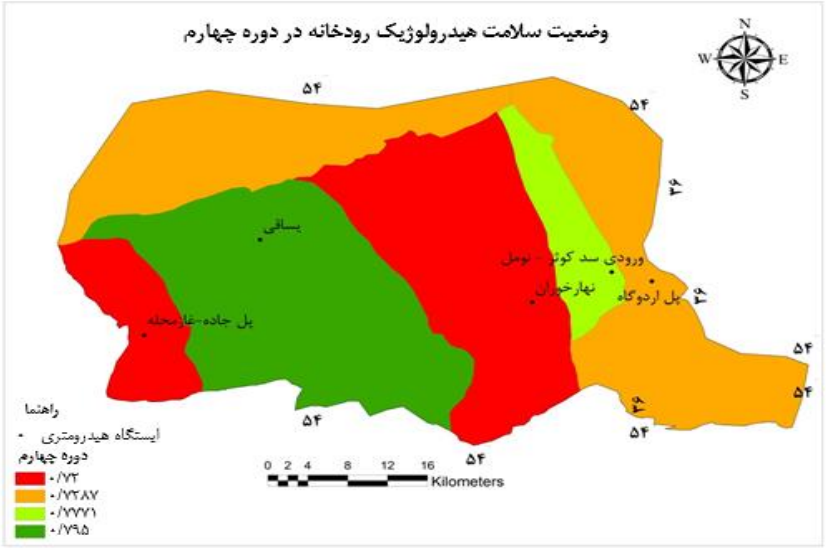
جدول ۴. روند تغییرات سلامت جریان ایستگاه‌های مطالعه‌شده با استفاده از روش من‌ـ کندال و تخمینگر سن

ایستگاه	کد ایستگاه	تخمینگر سن	من‌ـ کندال
پل اردوگاه	۱۲-۰۸۵	-۰/۹	-۰/۴۰۷ کاهشی
نهار خوران	۱۲-۰۴۳	-۰/۲	-۰/۳۲۷ کاهشی
غاز محله	۱۲-۰۴۹	-۰/۱	-۰/۵۴۱ کاهشی
یساقی	۱۲-۰۹۵	۰	۰/۵۶ بدون روند
ورودی سد کوثر	۱۲-۱۰۹	۰	۰/۲۸ بدون روند









شکل‌های ۵ـ ۸. تغییرات سلامت در بازه‌های مختلف دورهٔ مطالعاتی در ایستگاه‌های مورد نظر

با توجه به شکل‌های ۵ـ ۸، تغییرات مکانی سلامت در منطقهٔ مطالعه‌شده مشهود است. بیشترین تغییرات سلامت در دورهٔ چهارم مشاهده شد و کمترین تغییرات نیز در دوره‌های اول و دوم در قسمت شرقی منطقه بوده است. بخش اعظمی از منطقه در محدودهٔ ۰/۸۷ تا ۰/۹۴ قرار دارد که در دورهٔ چهارم کاهش چشمگیری داشته است. به عنوان مثال، ایستگاه‌های پل اردوگاه و غاز محله در دورهٔ اول در محدودهٔ ۰/۹ تا ۰/۹۴ سلامت هیدرولوژیک قرار دارند، در حالی که در دورهٔ چهارم ۰/۷ قرار گرفته‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار نشان داد ایستگاه غاز محله با امتیاز ۰/۸۶ بیشترین امتیاز سلامت را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه را دارد و سالم‌ترین ایستگاه از نظر سلامت هیدرولوژیکی است و ایستگاه یساقی با امتیاز ۰/۷۲ کمترین امتیاز را در بین ایستگاه‌ها داشته است. بر اساس زیرمعیارهایی که بر اساس نرم‌افزار Flow Health به دست آمده است در ایستگاه یساقی، تداوم حداکثر جریان انحراف زیاد از حد طبیعی دارد (۰/۲-۰) که امکان وقوع جریان‌های بالا با دبی ماهانه زیاد وجود داشته است. همچنین، مقدار شاخص‌های تغییرات فصلی جریان (SFS) و دامنهٔ وقوع جریان‌های سیلابی (FFH) در میانهٔ دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۹۰ــ ۲۰۰۴) دچار انحراف از شرایط طبیعی شده‌اند. در خصوص فصلی بودن جریان رودخانه می‌توان به اثرات احداث سد، تغییر رژیم بهره‌برداری از جریان و انحراف جریان سطحی اشاره کرد. در حالی که در ایستگاه غاز محله غیرمعیار دامنهٔ وقوع جریان‌های سیلابی (FFH) در انتهای دورهٔ مورد مطالعه (۲۰۰۸ــ ۲۰۱۲)، دارای انحراف از حالت طبیعی است و همچنین، غیرمعیارهای تغییرات فصلی جریان (SFS) و حداقل جریان نیز انحراف کمی داشته‌اند. بر اساس کل شاخص‌های مورد استفاده، ایستگاه غاز محله سالم‌ترین ایستگاه در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است. کاهش شاخص سلامت هیدرولوژیک جریان می‌تواند شرایط بهره‌برداری از آب‌های سطحی را متأثر کند و باعث کاهش استفاده‌های اقتصادی از رودخانه‌ها شود که ژیائویان و همکاران (۲۰۰۶) نیز به اهمیت کاهش سلامت هیدرولوژیک رودخانه و تأثیر آن بر فعالیت‌های اقتصاد و اجتماعی تأکید کرده‌اند. در مورد روند داده‌های سلامت به‌دست‌آمده از نرم‌افزار، روند در هر ایستگاه به صورت جداگانه بررسی شد با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مورد مطالعه، سه ایستگاه روند کاهشی و دو ایستگاه دارای روند افزایشی است، ولی از لحاظ آماری معنادار نیست (بدون روند) و در بین ایستگاه‌هایی که روند کاهشی داشته‌اند، ایستگاه نهارخوران روند کاهشی در سطح ۰/۹۵ داشته و دو ایستگاه پل اردوگاه و غاز محله روند کاهشی در سطح ۰/۹۹ داشته‌اند. بیشترین تغییرات سلامت در دورهٔ چهارم مشاهده شد و کمترین تغییرات نیز در دوره‌های اول و دوم در قسمت شرقی منطقه بوده است. بخش اعظمی از منطقه در محدودهٔ ۰/۸۷ تا ۰/۹۴ قرار دارد که در دورهٔ چهارم کاهش چشم‌گیری داشته است. به عنوان مثال، ایستگاه‌های پل اردوگاه و غاز محله در دورهٔ اول در محدودهٔ ۰/۹ تا ۰/۹۴ سلامت هیدرولوژیک قرار دارند در حالی که در دورهٔ چهارم ۰/۷ قرار گرفته‌اند. خروشی و همکاران [۱۹] تغییر روند و تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل را بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد بر اساس شاخص سلامت تعداد ۲۱ ایستگاه روند کاهشی و سه ایستگاه روند افزایشی داشته است و به طور کلی، روند کاهشی در مقادیر شاخص سلامت مشاهده شد. هسلر[1] [۲۰] در پژوهش خود به نتایج مشابهی دست یافت. او بیان کرده که کیفیت آب رودخانه‌های ایالت کالیفرنیا تحت تأثیر توسعهٔ کشاورزی و فعالیت‌های دامداری و دامپروری آلوده بوده، به طوری که این اقدامات باعث کاهش کیفیت آب بیشتر رودخانه‌ها در این ایالت شده است.

منابع

[1]. Salajegheh A, Razavizadeh S, Khorasani N, Hamidiphar M, Salajegheh S. Land use changes and its effects on water quality of river(Case study: Karkheh watershed). Environmental science. (2010);37(58):81-86. [Persian].

[2]. Pinto U, Maheshwari BL, Sherestha S, Morris C. Understanding the meaning of river health for community: perspectives from the periurban gion of the Hawkesbury-Nepean catchment, Australia. Water Policy. (2012); 766-783.

1. Hassler

[3]. Song J, Cheng D, Li Q, He X, Long Y, Zhang B. An Evaluation of River Health for the Weihe River in Shaanxi Province, China. Advances in Meteorology. (2015);1-13.

[4]. Norris RH, Thomas MS. What is river health?. Blackwell Science Ltd, Freshwater Biology. (1999);41:197-209.

[5]. Xiaoyan Liu, Yuanfeng Zhang, Jianzhong Zhang. Healthy Yellow River's essence and indicators. J Geographical Sciences. (2006); 16(3): 259-270.

[6]. Yazdian H, Jaafarzadeh N, Zahrai B. Relationship between benthic macroinvertebrate bio-indices and physicochemical parameters of water: atools for water resources manager. Journal of Environmental Health Sciences & Engineering. (2014);12:1-9. [Persian].

[7]. Wang X. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. J Environ Manage. (2001); 61(1): 25-36.

[8]. Zhang J, Liang T, Wang D. New Measurments of the River Environment: River Ecosystem Health Assesment in china. Advances in Biomedical Engineering. (2011);219-221.

[9]. Luo Z, Shao Q, Zuo Q. A new framework for assessing river ecosystem health with consideration of human service demand. Science of The Total Environment. (2018);640(641): 442–453.

[10]. Ghorbani R, Hajimoradlu A, Hedayati A, Malayi M, Naiimi A, Nouruzi N, et al. Assessment of health status of Ziartar River in Golestan province based on qualitative index NSFWQI. Iranian Journal of Exploitation and aquaculture. (2015); 4(2). [Persian].

[11]. Kumar S, Merwad V, Kam J, Thurner K. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology. (2009); 374:(1-2):171-183.

[12]. Wozniki S, Nejadhashemi, P, Ross D, Zhang Zh, Wang L, Esfahani A. Ecohydrological model parameter selection for stream health evaluation. Science of the Total Environment. (2015);511: 341–353.

[13]. Pinto U, Maheshwari BL.. A framework for assessing river haelth in peri-urban lanscapes. Ecohydrology & Hydrobiology. (2014);14:121-131.

[14]. Gonzales-Inca C, Lepistö A, Huttula T. Trend detection in waterquality and load time- series from agricultural catchments of Yläneenjoki and Pyhäjoki, SW Finland. Boreal Environment Research. (2016);21: 166-180.

[15]. Zhao CS, Yang ST, Zhang HT, Liu CM, Sun Y, Yang ZY, et al. Coupling habitat suitability and ecosystem health with AEHRA to estimate E-flows under intensive human activities. Journal of Hydrology. (2017);551: 470-483.

[16]. Cheng X, Chen L, Sun R, Kong P. Land use changes and socio-economic development strongly deteriorate river ecosystem health in one of the largest basins in China. Science of The Total Environment. (2018);616–617: 376-385.

[17]. 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 Yorb Pty Ltd, Brisbane, September. (2012):1-44.

[18]. Kendall MG. Rank Correlation Methods, 4th ed. London, UK: Charles Griffin. (1975)

[19]. Khorshiddoust, A, Rezaei B, Mirhashemi M, Kakolvand Y. Studying the trend of changes in precipitation – discharge the Karkhe River sub-basin by usinge non-parametric methods, case study: Kashkan basin. Journal of Irrigation Science and Engineering. (2015);4:177-188. [Persian].

[20]. Hassler,M. Animal grazing effects on runoff water quality in a semiarid grassland. Journal of Environmental. Quality. (2004);21:102- 105.