جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۳ زمستان ۱۳۹۷
وصول مقاله :۹۶/۰۳/۲۵
تأیید نهایی :۹۶/۱۱/۳۰
صفحات : ۱۸-۱

بررسی تغییرات کیفی آب رودخانهٔ زاینده‌رود با استفاده از منطق فازی

فریبا ره‌پو[۱]*، دکتر حسنعلی غیور[۲]، دکتر زهره رجبی[۳]

چکیده

رشد فزایندهٔ جمعیت و نیاز این جمعیت به محصولات کشاورزی و محدودیت آب برای تولیدات کشاورزی مسألهٔ کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشورمان قرار داده است. آمار بیانگر این است که سرانهٔ آب کشور از ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در دههٔ۳۰ شمسی به حدود ۱۴۳۱ مترمکعب در شرایط حاضر رسیده است و درصورت تداوم روند کنونی به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۴۰۰ خواهد رسید. در صورتی که جمعیت استان اصفهان از ۱۲۳۱۲۰۴ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۴۸۷۹۳۱۲ نفر در سال ۱۳۹۰ رشد جمعیت داشته است. داده‌های تحقیق، دوازده عنصر کیفی آب شامل شوری، اسیدیته، سدیم، بیکربنات، موادجامد محلول،کلسیم، منیزیم، پتاسیم، نسبت جذب سدیم، کلر، نیترات و سولفات را تشکیل می‌دهند. کاتیون‌ها و آنیون‌ها براساس آمارگیری در هفت ایستگاه آب‌سنجی رودخانهٔ زاینده‌رود در استان اصفهان از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان اخذ شد. بازهٔ زمانی داده‌ها مربوط به سال ۱۳۸۵ و سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ می‌باشند. به‌منظور مشخص‌کردن میزان آلودگی آب رودخانهٔ زاینده‌رود، از روش تحلیل طبقه‌بندی فازی استفاده شد. با تشکیل ماتریسی در ابعاد ۱۷×۷۶۰ سطر و ستون در نرم‌افزار متلب با روابط فازی، خوشه‌بندی فازی انجام شد. درنهایت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، حد مجاز تا غیرمجاز آب رودخانه با استفاده از نرم‌افزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی ترسیم شدند. نتایج نقشه‌های طبقه‌بندی‌شدهٔ آب زاینده‌رود نشان داد، از ایستگاه پل چوم تا تالاب گاوخونی مقدار همهٔ عناصر کیفی آب به‌جز کلر و سولفات برای استفادهٔ آب آشامیدنی بالا بوده و غیر مجاز می‌باشند و حتی در بعضی ایستگاه‌های نزدیک پایاب رودخانه برای کشاورزی و صنعت نیز آب در حد غیرمجاز اندازه‌گیری شده است.

واژه‌های کلیدی: رودخانهٔ زاینده‌رود، منطق فازی، تغییرات کیفی آب، تغییرات زمانی و مکانی عناصر آب زاینده‌رود، آلودگی آب، شهر اصفهان،

۱- استادیار مدیریت بحران پژوهشکده بین‌المللی شاخص پژوه *
۲- استاد جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استادیار جغرافیای طبیعی پژوهشگاه شاخص پژوه، پژوهشکده جغرافیا

farahpou@gmail.com
Ghayour316@gmail.com
rajabizohreh@gmail.com

مقدمه

کمبود و آلودگی آب رودخانهٔ زاینده‌رود در استان اصفهان بحران‌های بسیاری همراه آورده است، به‌طوری که آلوده‌شدن آب رودخانه با انواع آلوده‌کننده‌های معدنی و آلی و به‌دنبال آن شوری آب سبب ایجاد خطرات جدی برای سلامت محیط زیست و کشاورزی استان شده است. رودخانهٔ زاینده‌رود شریان حیاتی برای استان اصفهان و فلات مرکزی ایران است. این رودخانه به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانهٔ فلات مرکزی ایران در حوضهٔ آبریز گاوخونی واقع شده و نقش مهمی در تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی مناطق مرکزی ایران دارد. از طرفی شکوه و عظمت شهر تاریخی اصفهان همراه با توسعهٔ فرهنگ و تمدن و معرفی‌شدن این شهر به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعتی ایران، مرهون رودخانهٔ زاینده‌رود است *(جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۵)*. امروزه به‌دلیل کاهش شدید آب رودخانه به‌خاطر احداث چندین سد و آب‌بند برای برداشت آب به‌منظور مصارف کشاورزی، صنعتی، تفریحی و احداث چندین شهرک تفریحی در مسیر رودخانه، برداشت غیرمجاز آب به‌وسیلهٔ موتور پمپ‌های کشاورزی، کمبود بارش، تخلیهٔ انواع فاضلاب‌های انسانی، صنعتی و کشاورزی به رودخانه، مرگ رودخانه و تالاب گاوخونی را باعث شده‌اند. در رودخانهٔ زاینده‌رود به‌طور مستقیم پساب‌های سطح شهر اصفهان و سه تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری سرازیر می‌شود. انواع فاضلاب‌های صنعتی که در مقاطع مختلف رودخانه به آن سرازیر می‌شود، بار مواد آلی و انواع فلزات سنگین را که همگی آلوده‌کننده می‌باشند، به‌همراه دارد. از طرف دیگر فاضلاب‌های انسانی شهر اصفهان و روستاهای حاشیهٔ رودخانه، شهرک‌ها و روستاهایی که در مسیر رودخانه واقع شده‌اند، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب آلودگی آن شده‌اند. همچنین در بخش‌هایی از مسیر زاینده‌رود، زه‌آب‌های کشاورزی که سرشار از مواد آلی و معدنی نظیر کودهای شیمیایی و حیوانی، پسماندهای گیاهی، مواد شسته‌شدهٔ خاک و همچنین دارای مواد سمی مانند آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و نظایر آن که به‌طور عمده اغلب این‌ها از ناحیهٔ برنج‌زارهای اطراف زرین‌شهر آغاز شده و تا تالاب گاوخونی ادامه می‌یابد نیز در آن تخلیه می‌شوند *(حاجیان، ۱۳۹۵: ۱۸)*. این قبیل آلودگی‌ها باعث شده تا کیفیت آب رودخانه به حد آشکاری پایین بیاید و مصارف مختلف آن را با توجه به استانداردهای موجود دچار اشکال کند. رودخانهٔ زاینده‌رود از زمان‌های کهن به‌عنوان یک منبع آبی مهم در زندگی مردم منطقه نقش مهمی را ایفا کرده که بقایای راه‌های سنگی و آثار باستانی حاشیهٔ رودخانه نشان‌دهندهٔ این حقیقت است. امروزه نیز این رودخانه نقش مهمی در زندگی مردم منطقه به‌خصوص در بخش کشاورزی ایفا می‌کند؛ ولی متأسفانه عدم‌مدیریت صحیح آب آن و کم‌توجهی به آلودگی و حفاظت از این رودخانه و تخلیهٔ فاضلاب‌های صنعتی و شهری و روستایی به داخل رودخانهٔ زاینده‌رود باعث شده تا از کیفیت آن کاسته و بر آلودگی آن افزوده شود. با توجه به اهمیتی که آب رودخانهٔ زاینده‌رود در کشاورزی منطقهٔ حوضهٔ آبریز خود و به‌ویژه در محیط زیست دارد و همین‌طور با توجه به اهمیت حیات آبزیان، حفظ تعادل اکولوژیکی رودخانه و شناخت هرچه دقیق‌تر وضعیت کیفی آب رودخانه، انجام مطالعه‌ای در زمینهٔ بررسی مقدار آلودگی این رودخانه امری ضروری به‌نظر می‌رسد؛ بنابراین به‌منظور مدیریت صحیح برای جلوگیری از آلودگی بیشتر آب رودخانه، در این پژوهش سعی شده است تا آب رودخانه ازنظر تغییرات کیفی آب در زمان‌های مختلف و مکان‌های متفاوت بررسی شود؛ به این صورت که عناصر کیفی آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی از سراب تا پایاب رودخانه بررسی شود و

میزان آلودگی آب رودخانه با مشخص‌کردن حد مجاز و غیرمجاز آب برای استفاده‌های شرب، کشاورزی و صنعت بر روی نقشه تعیین شود.

یتیک و همکاران[1] (۲۰۰۹) مدل کیفی آب رودخانه را بووسیلهٔ نرم‌افزاری بر پایهٔ GIS واسنجی کرده‌اند. درنهایت یک نرم‌افزار در محیط GIS برای مدل‌سازی کیفیت آب ارائه کردند. سامانترای و همکاران[2] (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص NSFWQZ کیفیت رودخانهٔ ماهانادیا در ناحیهٔ پارادیپ هندوستان را بررسی کردند. برای این شاخص پارامترهای PH، اکسیژن محلول، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی و کلیفرم‌های مدفوعی را اندازه‌گیری کردند. نتایج مطالعات نشان داد، کیفیت آب براساس شاخص مورد استفاده به‌دلیل فعالیت‌های انسانی و صنایع کاهش یافته است.

کافمن و بلدن[3] (۲۰۱۰) کیفیت آب ۳۰ رودخانهٔ آمریکا را در فاصلهٔ زمانی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵ میلادی تحلیل کردند. ایشان با استفاده از آزمون کندال فصلی به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب در ۶۹ درصد از ایستگاه‌ها ثابت و یا بهبود پیدا کرده است. یانگ و جن[4] (۲۰۱۰) با استفاده از GIS کیفیت آب را در شبکهٔ رودخانهٔ یووا در آمریکا پیش‌بینی کرده و روابطی برای آن ارائه کردند. نتایج نشان داد که در پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه، رگرسیون مکانی دقت بیش‌تری نسبت‌به روش‌های سنتی حداقل مربعات دارند.

روسلی[5] و همکاران (۲۰۱۲) کیفیت آب رودخانهٔ سبک واقع‌در مالزی را با استفاده از شاخص WQI مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که رودخانه سطح پایینی از اکسیژن محلول و سطح بالایی از اکسیژن موردنیاز شیمیایی و سرب داشت و کیفیت آب رودخانه ازنظر شاخص مورد بررسی در محدودهٔ اندکی آلودگی (IV) قرار داشت.

پروتانو و همکاران[6] (۲۰۱۴) آلودگی فلزات سنگین را در رودخانه‌های جنوب ایتالیا بررسی کردند. در این مطالعه در طول یک سال غلظت فلزات در سطح آب و رسوبات در چهار رودخانه منطقهٔ کالابریا بررسی شد. آزمایشات فاکتورهای انباشتگی فلزات CD و Pb برای آب نسبت‌به رسوبات 10^3 - 10^5 و فاکتور انباشتگی Hg آب نسبت‌به رسوبات ۱۰-۱۰۰ را نشان داد.

واردیانتو و افندی[7] (۲۰۱۵) وضعیت کیفی آب رودخانهٔ چیبلاوینگ واقع‌در استان بن تن اندونزی را با استفاده از شاخص NSFWQZ و شاخص (PI) بررسی کردند. نمونه‌برداری از سه ایستگاه و در سه نوبت مطابق با فصل بارانی صورت گرفت. نتایج نشان داد، میزان شاخص NSFWQZ در محدودهٔ ۸۷-۸۸ و میزان شاخص آلودگی در محدوده ۵۶٪-۷۸٪ قرار می‌گیرد. براساس این شاخص‌ها کیفیت آب رودخانه چیبلاوینگ در محدودهٔ خوب قرار می‌گیرد.

مارینا و همکاران[8] (۲۰۱۶) تأثیر تخلیهٔ کودهای حیوانی برای کشاورزی در آب رودخانه‌های چین را مورد بررسی قرار دادند. محققان عوارض جانبی ورود کودهای حیوانی را بر نیتروژن محلول و مقدار فسفر آب رودخانه‌ای به‌طور نمونه اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که تخلیهٔ کودهای شیمیایی حیوانی در شمال و مرکز و جنوب رودخانه بیش از دو برابر مقدار مواد مغذی آب است؛ درنتیجه با توجه با اینکه در چین افزایش حیوانات و تولید کودهای حیوانی رو به افزایش است و باعث نابودی آبزیان می‌شود، این تحقیق می‌تواند یک سیگنال هشداردهنده برای بازیافت کود حیوانی در کشاورزی باشد.

1-Yetik et al
2 Samantray et al
3-Kauffman & Bellen
4-Yang&Jen
5-Rosli et al

6-Protano et al
7-Wardiatno et al
8-Maryna et al

عابدی‌کوپایی و همکارانش (۱۳۹۰) کیفیت شیمیایی و آلودگی آب زاینده‌رود را به حشره‌کش دیازینون مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق کیفیت شیمیایی آب زاینده‌رود با اندازه‌گیری برخی پارامترهای شیمیایی آب به‌همراه امکان آلودگی آب به حشره‌کش دیازینون به روش کروماتوگرافی مایع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دیازینون در آب زاینده‌رود و پساب‌ها وجود ندارد و عوامل مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی هیدرولیز دیازینون را درنتیجهٔ تماس با آب ایجاد کرده‌اند. شهسواری‌پور و همکاران (۱۳۹۰) مقدار آلودگی میکروبی رودخانهٔ هراز را با توجه به استانداردهای جهانی سنجیدند. به‌منظور مطالعه و تعیین کیفیت آب رودخانهٔ هراز نمونه‌برداری طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۲ به‌صورت ماهانه از ۱۷ ایستگاه انجام شد. نتایج نشان داد، میزان آلودگی در پایین‌دست رودخانه بیش‌تر از بالادست رودخانه است. همچنین آلودگی رودخانه در فصل بهار بیش‌تر از سایر فصل‌ها در تمام ایستگاهاست.

زارع‌گاریزی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی بر روی کیفیت آب روخانهٔ چهل‌چای انجام دادند. در این تحقیق روند تغییرات بلندمدت متغیّرهای کیفی ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه براساس آزمون ناپارامتری من-کندال و کندال فصلی صورت گرفت. نتایج نشان داد که در هفت متغیّر کیفی آب (سدیم، کلرید، SAR، پتاسیم، EC و TDS) روند افزایشی تنزل کیفی، چهار متغیّر، بی‌روند و تنها یک متغیّر (بی‌کربنات) روند کاهشی معناداری مشاهده شد که ناشی از عواملی نظیر تغییر کاربری اراضی، فرسایش خاک و ورود زائدات ناشی از فعالیت‌های انسانی به رودخانه می‌باشند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر سموم کودها و مواد شیمیایی را بر آلودگی آب رودخانهٔ زیلکی در استان گیلان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از پنج نقطهٔ رودخانه نمونه‌برداری شد و میزان املاح آب براساس شاخص حد مجاز تا غیرمجاز عناصر کیفی آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد مقدار فلز سنگین جیوه و مقدار دیازینون در آب رودخانه بسیار بیش‌تر از حداکثر مجاز می‌باشند.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) کیفیت آب رودخانهٔ آیدوغموش را با استفاده از شاخص LIOU بررسی کردند. در این مطالعه ویژگی‌های آب و مواد محلول در آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد کیفیت آب با استفاده از شاخص‌ها، در ردهٔ متوسط قرار دارد. جمشیدی و نیک‌سخن (۱۳۹۴) تخصیص بهینهٔ بار آلودگی کیفیت آب رودخانهٔ سفیدرود را سنجیدند. در این پژوهش رودخانه ازنظر کمّی و کیفی براساس پارامتر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آب با مدل QUAL شبیه‌سازی شده و مقدار بار مجاز تخلیهٔ آلودگی روزانه تعیین شده است. نتایج نشان داد، حفاظت از منابع آبی به روش متعارف کنترل دستوری سبب کاهش هزینه‌های کل تصفیه تا ۱۰ درصد خواهد شد، همچنین می‌توان انتظار داشت شاخص کیفی آب حدود ۲۰ واحد افزایش یابد. امینی پورشیانی و همکاران (۱۳۹۵) کیفیت آب رودخانهٔ گاز رودبار را با استفاده ازشاخص NSFWQZ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه پارامترهای کیفی آب نظیر اکسیژن محلول، نیترات، کل مواد جامد و چند پارامتر دیگر طبق روش استاندارد متد اندازه‌گیری و مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌برداری در طی ۱۲ ماه (شهریور ۱۳۹۳ تا مرداد ۱۳۹۴) در پنج ایستگاه منتخب صورت گرفت. نتایج نشان داد، براساس شاخص NSFWQZ رودخانهٔ گاز رودبار در ردهٔ کیفی متوسط (۵۰-۷۰) قرار می‌گیرد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، تخلیهٔ زباله و فاضلاب خانگی، روستایی و شهری، زهاب‌های کشاورزی، فضولات حیوانی و دبی

پایین رودخانه از علل اصلی کاهش کیفیت آب رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است.

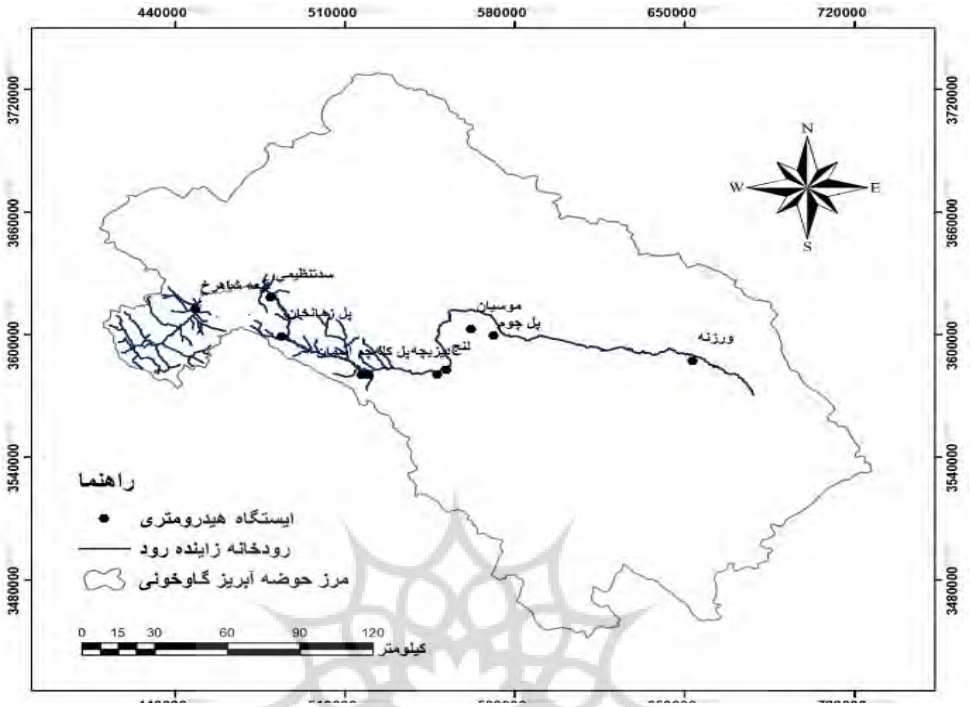
هدف از انجام این پژوهش، مشخص‌کردن مقدار آلودگی آب رودخانهٔ زاینده‌رود از سراب تا پایاب است، به‌نحوی که با مقایسهٔ میزان استاندارد مجاز و غیرمجاز بودن، حد عناصر کیفی آب نسبت‌به میزان کنونی آن‌ها در آب، میزان آلودگی آب ازنظر شرب و صنعت و کشاورزی مشخص می‌شود. از طرفی چون داده‌های آب جزو داده‌های پیوسته هستند و در طبیعت مرز مشخصی بین عناصر کیفی در آب وجود ندارد، از منطق فازی درجهت طبقه‌بندی عناصر کیفی آب استفاده شد. همچنین چون داده‌های کیفی اندازه‌گیری‌شده غیرخطی بوده، یعنی در هر ایستگاه آب‌سنجی مجزا از ایستگاه دیگر سنجیده می‌شوند و اعداد هر ایستگاه قابل پیش‌بینی نیستند. نوآوری این تحقیق از این جهت است که عناصر کیفی آب زاینده‌رود با استفاده از جدیدترین آمار اندازه‌گیری شرکت آب منطقه‌ای براساس روش ریاضی فازی طبقه‌بندی شدند و مقدار آلودگی آب به‌طور واقعی پهنه‌بندی شد. به این ترتیب می‌توان با مدیریت صحیح‌تر و واقعی‌تر در زمینهٔ استفاده از آب زاینده‌رود برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بهره برد.

داده‌ها و روش‌شناسی

حوضهٔ آبریز گاوخونی دارای مساحت ۴۱۵۵۰ کیلومترمربع که حدود ۸۷/۳ درصد واقع‌در استان اصفهان، ۴/۹ درصد در استان چهارمحال و بختیاری، ۴/۶ درصد در استان فارس و ۳/۲ درصد در استان یزد قرار گرفته است و در مختصات جغرافیایی ۵۰° ۰۲′، ۵۳° ۲۲′ طول شرقی و ۳۱° ۱۲′ تا ۳۳° ۴۲′ عرض شمالی واقع شده است. ۴۰ درصد حوضهٔ ارتفاعات، ۵۹ درصد آن دشت و کوه‌پایه و یک درصد گسترده تالاب است *(سالنامهٔ آماری آب، ۱۳۹۳: ۱۵)*.

رودخانهٔ زاینده‌رود یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های فلات‌مرکزی است که از دامنه‌های شرقی زاگرس و کوه‌های مرتفع زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و حوضهٔ آبریز گاوخونی را زهکشی و به تالاب گاوخونی ختم می‌شود و با کد یک رقمی (1) تعریف شده است. اختلاف ارتفاع بستر رودخانه از چلگرد تا تالاب گاوخونی حدود ۶۸۵ متر و طول رودخانه از سراب تا پایاب ۴۰۵ کیلومتر است. بلندترین نقطه در سراب حوضه دارای ارتفاع ۳۹۷۴ متر از سطح دریا و کم‌ترین ارتفاع ۱۴۶۶ متر در پایاب حوضه است *(مطالعات جامع حوضهٔ آبریز گاوخونی، ۱۳۸۹: ۳۴)*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱: موقعیت رودخانهٔ زاینده‌رود در حوضهٔ آبریز گاوخونی

تهیه و ترسیم : نگارندگان،۱۳۹۶

در این تحقیق از داده‌های دبی آب و عناصر کیفی آب رودخانه به صورت فایل‌های اکسل که توسط شرکت آب منطقه‌ایی استان اصفهان در ایستگاه‌های آب سنجی واقع بر روی رودخانه زاینده‌رود اندازه‌گیری و تهیه شده‌اند، استفاده شده است. بررسی میزان عناصر کیفی آب با سنجش مقدار حد مجاز آن از دیدگاه آب شرب، طی چهار سال ۱۳۹۰- ۱۳۹۱- ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ است. هفت ایستگاه آب‌سنجی از قسمت سراب تا پایاپ رودخانه به باتلاق گاوخونی انتخاب شده‌اند. ایستگاه‌ها به‌ترتیب از سراب تا پایاب رودخانه شامل ایستگاه قلعه شاهرخ، سد تنظیمی، پل زمانخان، پل کله، لنج (نکوآباد)، پل چوم و ورزنه می‌باشند. عناصر کیفی آلودگی آب در این تحقیق توسط کارشناسان آب شرکت آب منطقه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین عناصر نشان‌دهندهٔ کیفیت آب انتخاب شده‌اند. همچنین براساس بیشترین آمار اندازه‌گیری‌شدهٔ عناصر که دربانک اطلاعاتی آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان موجود بود، استفاده شد. عناصر کیفی شامل مقدار اسیدیته آب (PH)، مقدار مواد محلود جامد در آب (TDS)، میزان شوری آب (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، نیترات (NO3)، بی‌کربنات (HCO3)، کلر (CL)، پتاسیم (K)، سدیم (NA)، سولفات (CO4)، کلسیم (CA) و منیزیم (MG) می‌باشند. حد مجاز هر عنصر کیفی آب براساس جدول استاندارد آب مجاز توسط مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین شده است *(مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸)*. داده‌های خام عناصر کیفی آب در نرم‌افزار متلب براساس منطق فازی خوشه‌بندی شدند. بنیاد منطق فازی بر شالودهٔ نظریهٔ مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریهٔ تعمیمی از نظریهٔ کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها،

یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست. درحقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک و باینری تبعیت می‌کند، اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی‌شده را مطرح می‌کند؛ به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی -و نه کاملاً- عضو یک مجموعه باشد.

مجموعه‌های فازی[1] یک مجموعه از اعداد حقیقی را بر روی اعداد در بازهٔ صفر تا یک نگاشت می‌کنند. این نگاشت با تابع عضویت انجام می‌گیرد. عملگرهای مختلفی مانند اجتماع و اشتراک بر روی مجموعه‌های فازی تعریف می‌شوند.

نمایش مجموعه فازی A در فضای مرجع X مجموعه‌ای به‌صورت زیر است:

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

μA(x)، نمایانگر درجه عضویت متغیّر (از مجموعه مرجع X) در مجموعه فازی A است. اگر X مجموعه متناهی از داده‌ها به‌صورت {x1, x2,…, xn} باشد، مجموعه فازی A به‌صورت زیر نیز تعریف می‌شود:

$$A = \{\mu_A(x_1)|x_1, \mu_A(x_2)|x_2, \ldots, \mu_A(x_n)|x_n\}$$

از علامت "|" به‌منظور جدایی دو متغیّر استفاده شده است و هر متغیّر X در مجموعهٔ مرجع X دارای یک درجه عضویت در مجموعهٔ فازی است که این درجه عضویت عددی در فاصلهٔ [۰,۱] است؛ بنابراین می‌توان میزان تعلق یک گروه از داده‌ها را به مجموعه فازی A بیان کرد *(Lotfalizadeh, 1965:342)*.

توابع عضویت

توابع عضویت[2] همان منحنی‌های نمایانگر مجموعه مجموعه فازی هستند. این توابع به هر کدام از متغیّرهای فضای مرجع X یک درجه عضویت که در فاصلهٔ [۰,۱] است اختصاص می‌دهند؛ بنابراین کلیهٔ توابعی که بتوانند مقادیر X را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و خروجی در فاصلهٔ [۰,۱] تولید کنند، می‌توانند به‌عنوان توابع عضویت استفاده شوند.

رابطهٔ ریاضی یک تابع عضویت به‌صورت زیر است:

$$\Psi(x,\sigma,c) = Exp(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2})$$

σ و **c** دو پارامتر اصلی این تابع است که تغییردهندهٔ شکل آن به‌ازای متغیّر X خواهند بود.

خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی[3] به استخراج دسته‌هایی با حداکثر شباهت بین عناصر داخل دسته و حداقل شباهت با عناصر سایر دسته‌ها می‌پردازد. این تشابه یا عدم‌تشابه براساس معیارهای اندازه‌گیری فاصله تعریف می‌شود. خوشه‌بندی فازی، یک کلاس‌بندی[4] بدون نظارت است که در آن کلاس‌ها از پیش تعریف نشده‌اند. در خوشه‌بندی کلاسیک، هر نمونهٔ ورودی متعلق‌به یک و فقط یک خوشه است و نمی‌تواند عضو دو خوشه یا بیشتر باشد. به‌عبارتی، خوشه‌ها همپوشانی ندارند؛ در حالی که در خوشه‌بندی فازی یک نمونه می‌تواند متعلق‌به بیش از یک خوشه باشد، مثلاً هر یک از عناصر کیفی آب به‌عنوان یک نمونه می‌توانند عضو دو خوشه یا بیشتر باشند.

الگوریتم

الگوریتم فازی، یک خوشه‌بندی دقیق است که خوشه‌ها به‌طور مفروض تقریباً هم‌اندازه هستند. هر خوشه با مرکزش نمایش داده می‌شود. این نحوهٔ نمایش است که خوشه انگاشته می‌شود. به‌عنوان یک رابطه برای فاصله‌سنجی، فاصلهٔ اقلیدسی بین یک نقطه و یک نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در انتخاب مرکز خوشه، مقدار میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبهٔ مرکز خوشه، مجموع درجات

1-Fuzzy Set
2-Membership Functions
3-Clustering
4-Classification

عضویت هر عنصر به‌توان m در خودش به‌حاصل‌ضرب توان m درجه عضویت‌ها تقسیم می‌شود *(لطفعلی‌زاده، ۱۹۶۵: ۳۵۰)*.

حد مجاز هر عنصر کیفی آب زاینده‌رود براساس جدول استاندارد آب مجاز توسط مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین شد و سپس برای تعیین مرزهای ورودی و مشخصه‌های زبانی (مطلوب، مجاز و غیرمجاز) مورد استفاده قرار گرفتند. توابع عضویت نیز براساس نظر کارشناسان آب شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان برای پارامترهای مورد استفاده به‌صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای و با استفاده از حدود تعیین‌شدهٔ وزارت نیرو تعیین شد. تابع عضویت هر یک از پارامترهای ورودی (مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ هر یک از عناصر کیفی آب)، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، مجاز و غیرمجاز است. نقشه‌های طبقه‌بندی‌شدهٔ عناصر کیفی آب رودخانه در نرم‌افزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. نقشه‌ها براساس حد مجاز هر عنصر کیفی در هر ایستگاه ترسیم و داده‌ها با روش معکوس فاصلهٔ میانیابی شدند. براساس مطالعات شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، حریم واقعی رودخانه به‌طور متوسط حدود ۲ کیلومتر است و در نرم‌افزار GIS برای نمایش بصری با بزرگنمایی ۱۰ نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانهٔ زاینده‌رود

ردیف	نام ایستگاه	شهرستان	مختصات جغرافیایی				ارتفاع (متر)
			طول		عرض		
			دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
۱	پل زمان‌خان	سامان	۵۳	۵۰	۲۹	۳۲	۱۸۸۰
۲	پل کله	لنجان	۱۳	۵۱	۲۲	۳۲	۱۷۱۵
۳	ورزنه	اصفهان	۳۹	۵۲	۲۵	۳۲	۱۴۶۹
۴	لنج	مبارکه	۳۳	۵۱	۲۳	۳۲	۱۶۴۶
۵	قلعه شاهرخ	چادگان	۲۷	۵۰	۲۹	۳۲	۲۰۷۲
۶	سد تنظیمی	چادگان	۴۷	۵۰	۴۳	۳۲	۱۹۶۸
۷	پل چوم	اصفهان	۴۶	۵۱	۳۵	۳۲	۱۵۵۱

مأخذ: شرکت منطقه‌ای استان اصفهان

نتایج و بحث

بررسی کمیت آب رودخانهٔ زاینده‌رود و تغییرات زمانی و مکانی آن

نظر به اینکه زاینده‌رود به‌عنوان عامل اصلی حیات منطقه مطرح و در اثر فعالیت‌های ناسازگار و بار آلودگی زیاد حساس و آسیب‌پذیر شده است، توجه به آن ضروری تلقی شده و به‌عنوان یک اکوسیستم مستقل مورد بررسی قرار گرفته است. دبی رودخانهٔ زاینده‌رود در نقاط پایین‌دست سد زاینده‌رود به‌وسیلهٔ سد تنظیمی و مطابق رژیم معیّنی کنترل می‌شود که به میزان نزولات جوّی سالانه در سرچشمه‌ها، آب موردنیاز برای کشاورزی و سایر مصارف و بعضی عوامل دیگر بستگی دارد.

جدول ۲: میانگین دبی ایستگاه‌های رودخانهٔ زاینده‌رود (۱۳۶۰-۹۳)

دبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
قلعه شاهرخ	۱۳٫۶	۱۶/۷	۱۹	۱۷/۸	۲۰/۸	۴۳/۸	۹۰/۷	۱۰۱/۶	۷۱/۹	۴۷/۴	۲۷/۸	۱۶/۷
سد تنظیمی	۳۸	۳۷/۸	۳۴/۴	۱۴/۴	۱۰/۱	۱۹/۳	۴۵/۷	۷۱/۱	۷۰	۶۲/۸	۶۲/۹	۵۶/۵
پل زمانخان	۳۷/۹	۴۳	۳۴/۲	۱۸/۱	۱۲/۵	۲۱/۳	۴۷/۳	۷۱/۲	۶۸/۷	۶۰/۷	۵۹/۶	۵۴/۱
پل کله	۳۱/۷	۳۳/۱	۳۰	۱۱/۲	۷/۷	۱۶/۱	۴۱/۹	۶۵/۱	۶۰/۹	۵۱/۸	۵۱/۴	۴۶/۲
لنج	۱۷/۹	۲۲	۲۱/۷	۱۱/۹	۸/۸	۱۴/۷	۳۱/۳	۴۳/۳	۳۴/۱	۲۱/۹	۲۱/۴	۲۰/۷
پل چوم	۱۰/۱	۱۱/۷	۱۵/۶	۱۲	۷/۹	۱۰	۱۷/۹	۲۷/۷	۱۸/۹	۷/۷	۷/۲	۸/۶
ورزنه	۲/۷	۴/۵	۵/۹	۴	۲/۵	۲/۶	۴/۷	۹/۱	۴/۳	۱/۸	۱/۳	۱/۷

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

جدول ۳: مقدار دبی متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه) در ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانهٔ زاینده‌رود

سال آبی	ورزنه	پل چوم	لنج	پل کله	پل زمانخان	سد تنظیمی	قلعه شاهرخ
۶۵-۶۴	0/71	6/2	14/2	35/9	31/8	32/7	46/2
۶۶-۶۵	17/25	26/5	36/2	63/8	60/9	63/7	63/2
۶۷-۶۶	18/71	28/6	40/0	66/5	66/5	67/2	60/8
۶۸-۶۷	12/37	18/2	30/0	58/2	59/3	58/4	44/0
۶۹-۶۸	2/93	10/5	18/7	45/8	62/9	50/5	46/3
۷۰-۶۹	1/41	9/6	15/8	42/8	44/1	44/5	34/8
۷۱-۷۰	3/68	13/9	22/9	42/8	44/8	44/8	60/6
۷۲-۷۱	29/75	45/8	54/7	75/5	78/3	79/5	68/2
۷۳-۷۲	12/57	20/8	33/1	50/9	56/1	55/2	42/4
۷۴-۷۳	2/14	13/5	23/5	41/5	44/0	45/4	51/0
۷۵-۷۴	3/27	16/5	26/8	46/3	48/4	50/1	45/3
۷۶-۷۵	1/47	13/9	23/6	42/2	48/1	48/4	35/5
۷۷-۷۶	0/31	12/0	24/3	43/0	47/0	49/6	49/6
۷۸-۷۷	0/15	8/5	19/0	35/3	40/8	40/3	28/9
۷۹-۷۸	0/04	7/5	16/0	25/8	33/8	32/7	28/2
۸۰-۷۹	0/05	1/8	8/9	6/3	17/8	17/7	24/6
۸۱-۸۰	0/16	11/6	19/6	28/0	35/6	36/3	49/1
۸۲-۸۱	0/32	11/0	26/0	38/4	45/9	47/0	46/5
۸۳-۸۲	0/52	15/0	25/7	37/3	45/5	47/2	42/6
۸۴-۸۳	2/22	19/5	26/7	40/3	51/7	52/7	46/3
۸۵-۸۴	2/44	15/2	33/5	47/2	58/1	57/8	58/9
۸۶-۸۵	1/14	9/3	30/3	45/9	58/5	56/5	48/6
۸۷-۸۶	0/14	1/2	17/5	26/1	40/1	38/6	24/7
۸۸-۸۷	0/15	78/7	4/8	7/9	23/8	21/4	26/6
۸۹-۸۸	0/03	7/6	20/9	29/7	43/5	43/1	35/5
۹۰-۸۹	0/16	3/7	3/7	9/4	26/2	24/9	25/9
۹۱-۹۰	0/05	0/8	16/8	21/9	36/2	34/8	25/8
۹۲-۹۱	0/10	6/2	12/4	19/0	33/8	33/8	29/2
۹۳-۹۲	0/71	6/5	0/3	5/8	22/0	22/2	27/7
متوسط سالیانه	3/7	15/8	22/4	37/3	44	43/6	40/7

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

جدول (۲) نشان می‌دهد که در همهٔ ایستگاه‌ها، بالاترین دبی متوسط مربوط به اردیبهشت ماه و کمترین دبی متوسط به‌جز ایستگاه‌های پل چوم و ورزنه، مربوط به بهمن ماه است. متوسط دبی ایستگاه‌های قلعه شاهرخ، سد تنظیمی و پل زمانخان تا قبل از ایستگاه پل کله دارای دبی متوسط سالانه بیشتری می‌باشند. در جدول (۳) نیز مشاهده می‌شود مقدار دبی متوسط در سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۰ در کل ایستگاه‌ها نسبت‌به سال‌های قبل کاهش داشته است. همچنین بیشترین میانگین سالانهٔ دبی در ایستگاه پل زمانخان با مقدار ۴۴ مترمکعب در ثانیه و کمترین دبی مربوط به ایستگاه ورزنه با مقدار ۳/۷ مترمکعب در ثانیه مشاهده می‌شود. ایستگاه ورزنه به‌دلیل قرار داشتن در مسیر تالاب گاوخونی در شرق اصفهان به‌طور طبیعی با کاهش دبی همراه است.

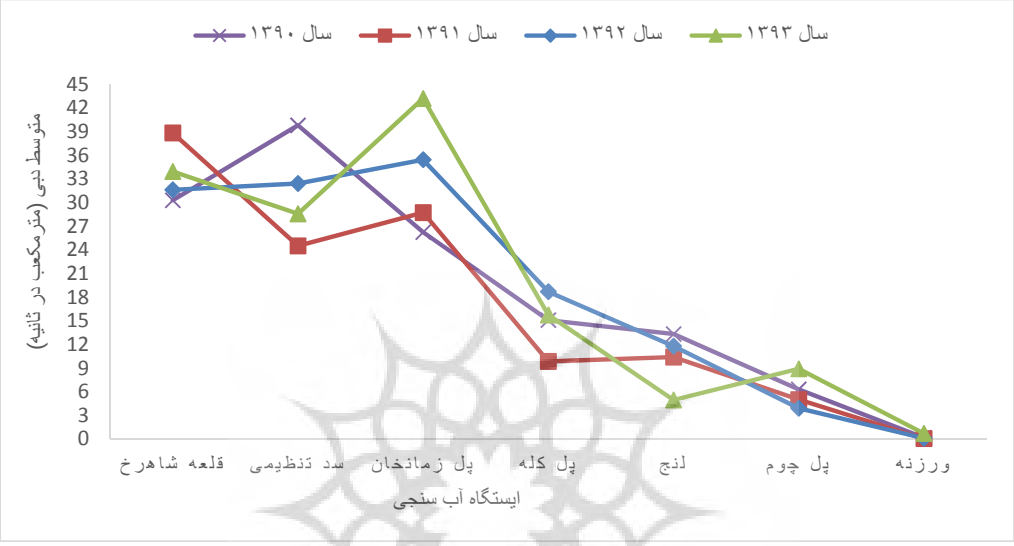
براساس شکل (۲) کاهش شدید دبی در فصل زمستان مربوط به بسته‌شدن دریچه‌های سد زاینده‌رود است که به‌منظور ذخیره‌کردن آب برای فصول بهار و تابستان است. بیشترین دبی متوسط در ایستگاه‌ها مربوط به فصل بهار و تابستان است. در این فصول به‌علت بازشدن دریچه‌های سد برای نیاز آبی در فصل گرم سال برای مصارف گوناگون ازقبیل کشاورزی و مصارف شهری، در ایستگاه‌ها بالاترین دبی‌ها ثبت شده‌اند. البتّه میزان ارقام دبی متوسط علاوه‌بر باز و بسته کردن دریچه‌های تنظیمی به میزان نزولات جوّی نیز بستگی دارد. ازطریق سد زاینده‌رود، دبی تنظیم‌شده و برنامه‌ریزی‌شده‌ای جریان پیدا می‌کند؛ اما تا ایستگاه پل کله از آب رودخانه استفادهٔ چندانی به‌عمل نمی‌آید. در فاصلهٔ سد تا پل کله، منطقه کوهستانی و سرد است و آب در بستری درّه‌ای شکل جریان دارد. زمین‌های کشاورزی و باغات این قسمت چندان گسترده نیست، به همین دلیل آب رودخانه تمیز است.

بهره‌برداری از آب رودخانه برای مصارف کشاورزی استان اصفهان براساس طومار شیخ بهایی از ایستگاه پل کله به پایین‌دست رودخانه آغاز می‌شود. به‌طوری که قسمت عمدهٔ اراضی کشاورزی در فاصلهٔ پل کله تا شهر اصفهان زیرکشت برنج است. در این منطقه گسترش زمین‌های کشاورزی و باغات در دو سوی رودخانه به‌نحو بارزی به چشم می‌خورد. در فاصلهٔ سد نکوآباد تا شهر اصفهان قسمت عمدهٔ اراضی حوضهٔ رودخانه کاربری کشاورزی دارد. در این فاصله استقرار صنایع مهم ازجمله کارخانهٔ ذوب‌آهن، فولاد مبارکه، صنایع دفاع، کارخانهٔ پلی اکریل، نیروگاه اسلام‌آباد، کارخانجات سیمان سپاهان و سیمان اصفهان، کارخانهٔ ایرانیت و بسیاری از واحدهای صنعتی کوچک و بزرگ در فاصلهٔ زرّین‌شهر تا اصفهان مستقرند؛ درنتیجه با استفاده از سدهای انحرافی و کانال‌ها آب از ایستگاه پل کله به پایین‌دست مورد استفادهٔ مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب قرار می‌گیرد *(آمارنامه‌های سالانهٔ کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان،۱۳۹۳)*.

بررسی کیفیت آب رودخانهٔ زاینده‌رود و تغییرات زمانی و مکانی آن

یکی از عوامل بسیار مهمی که بر آلودگی زاینده‌رود اثر مستقیم و قابل ملاحظه‌ای دارد، دبی آب رودخانه و تغییرات زمانی و مکانی آن در طول مسیر است. چنانچه مقدار آلاینده‌ها که به رودخانه تخلیه می‌شوند ثابت باشد، هر چقدر دبی بیشتر باشد، غلظت آلاینده‌ها در آب رودخانه کمتر می‌شود. تغییرات دبی با زمان عمدتاً مربوط به تغییرات دبی خروجی از سد زاینده‌رود است. این تغییرات براساس نیاز به آب به‌خصوص در بخش کشاورزی و همچنین ذخیرهٔ آب در دریاچه سد تنظیم می‌شود. به‌طور کلی میانگین دبی خروجی آب از سد زاینده‌رود در ماه‌های دی، بهمن و اسفند حداقل و در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به حداکثر می‌رسد. تغییرات دبی در طول مسیر رودخانه عمدتاً مربوط به مقدار دبی برداشتی از رودخانه و محل برداشت آن است. در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ به میزان ۱۳۸۵ میلیون مترمکعب آب

از رودخانه برای مصارف شرب، صنعت، کشاورزی، فضای سبز و غیره برداشت شده است که بیش از ۹۰ درصد آن در کشاورزی مصرف شده است. قسمت قابل توجهی از این برداشت در محل سد نکوآباد و سپس در سد آبشار قبل از ایستگاه پل چوم انجام می‌گیرد؛ بنابراین تغییرات دبی در این دو محل قابل‌توجه خواهد بود.



شکل ۲: تغییرات دبی متوسط ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانهٔ زاینده‌رود در سال‌های (۱۳۹۰-۹۳)

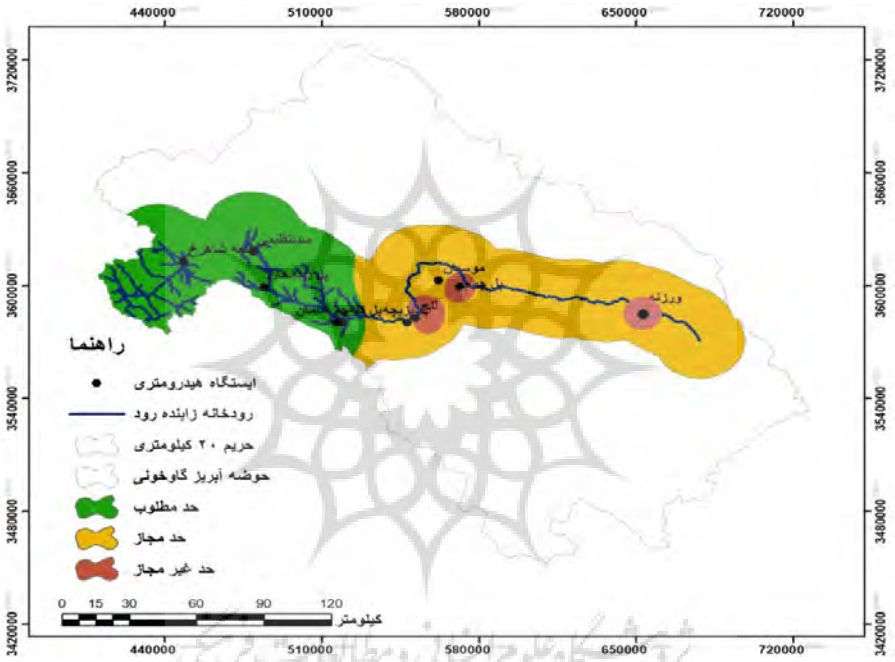
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

تغییرات دبی در شکل (۲) دقیقاً حجم آبدهی سالانهٔ حوضه و مکان‌های برداشت آب از حوضه را مشخص کرده است. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، در محل سد نکوآباد بعد از زرّین‌شهر و پل کله و کاهش دبی را می‌توان ملاحظه کرد؛ بنابراین زمانی که کیفیت عناصر مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود که میزان عناصر موجود در آب ازقبیل کاتیون‌ها و آنیون‌ها در مکان‌هایی که دبی بالاست، کمترین مقدار و برعکس مکان‌هایی که دبی پایین است، بیشترین مقدار عناصر کیفی را به خود اختصاص دهند.

طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانهٔ زاینده‌رود ازنظر آلودگی آب

در بحث ارزیابی و مدیریت کیفیت آب در طرح‌های توسعه و مدیریت منابع آب، روش تحلیل طبقه‌بندی فازی را می‌توان در جایی به‌کار برد که ترکیبی از پارامترهای مختلف و متعدد کیفیت که هر کدام به‌نحوی بر کیفیت آب مؤثرند، در پیش‌رو قرار گیرند. در روش تحلیل طبقه‌بندی فازی، طبقه‌بندی کیفیت آب با یک رابطهٔ فازی انجام می‌شود، بدین صورت که پس از تشکیل ماتریس تجانس یا تشابه فازی و تثبیت آن توسط خواص ریاضی روابط فازی، نمودار دینامیک طبقه‌بندی ایجاد می‌شود و با مشخص‌کردن حد آستانهٔ مناسب، طبقه‌بندی قابل‌قبول ارائه می‌شود. به‌طوری که در اشکال ۱۰ تا ۱۴مشاهده می‌شود، آلودگی آب رودخانه براساس عناصر کیفی اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی مشخص شده است. حد مطلوب آب از سرچشمهٔ رود در ایستگاه‌های بالادست رودخانه قرار دارد. در اشکال زیر از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۲ از

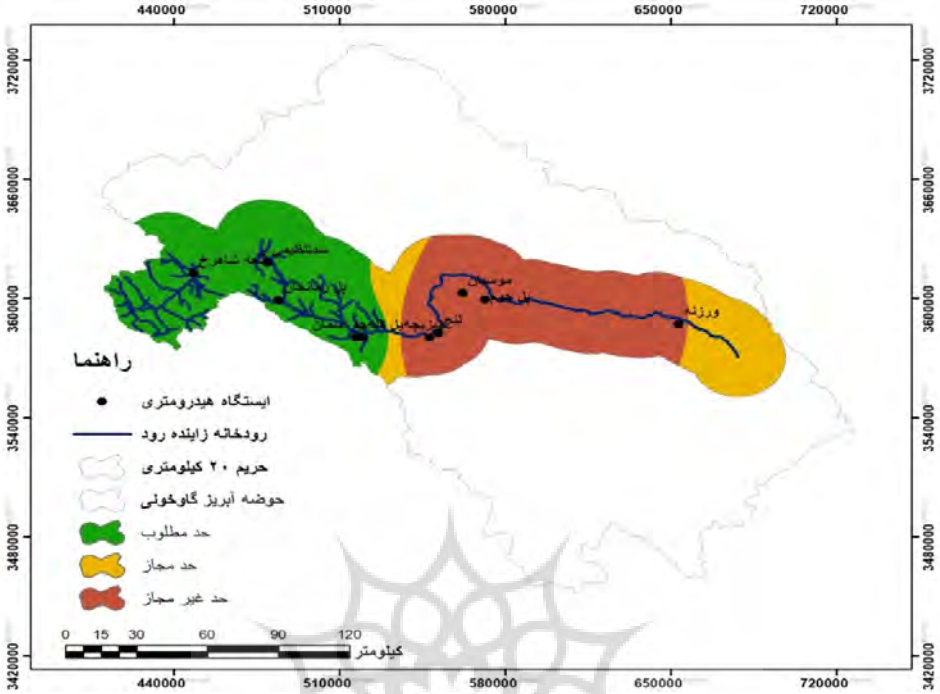
ایستگاه قلعه شاهرخ در استان اصفهان تا ایستگاه پل کله، آب در حد مطلوبی قرار دارد؛ ولی در سال ۱۳۹۳ حد مطلوب آب کمتر شده و تا پل زمانخان است. در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ از ایستگاه آب‌سنجی دیزیچه تا ورزنه حد غیرمجاز آب اندازه‌گیری شده که به‌دلیل ایجاد صنایع و زمین‌های کشاورزی در اطراف رودخانه، استفاده از آب ازنظر استاندارد جهانی غیرمجاز است. در صورتی که با مقایسه‌ای بین شکل ۱۰ با اشکال ۱۱ تا ۱۴ می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی غیرمجاز آب رودخانه در سال ۱۳۸۵ فقط به‌صورت لکه‌های کوچکی در اطراف سه ایستگاه لنج- پل چوم و ورزنه مشاهده می‌شود؛ در صورتی که حد غیرمجاز آب در سال ۱۳۹۳ تمام رودخانه از ایستگاه دیزیچه تا ورزنه را دربر گرفته است.



شکل ۳: طبقه‌بندی عناصر کیفی آب زاینده‌رود (۱۳۸۵)

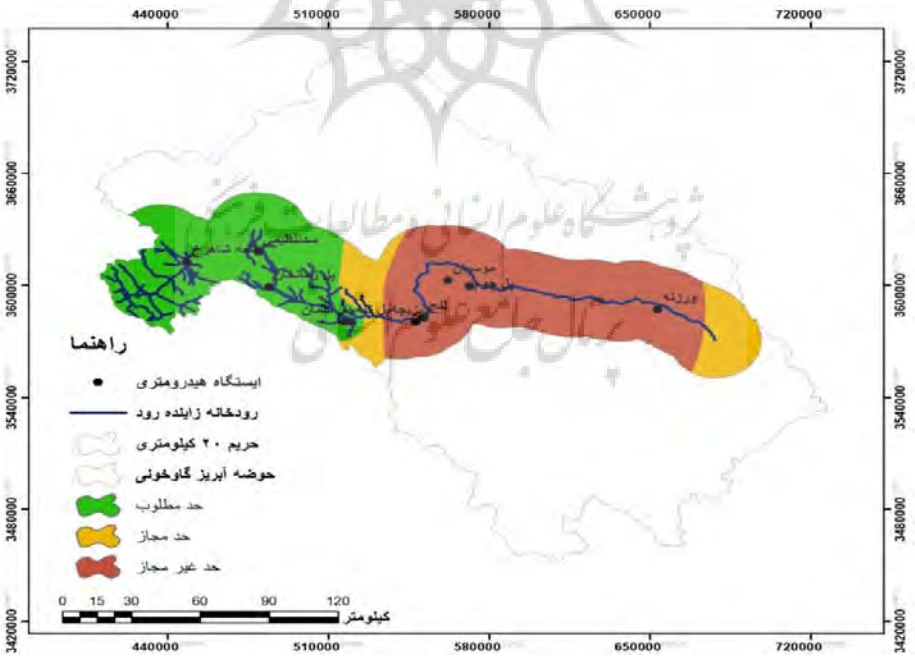
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

در سال ۱۳۸۵ از سراب به‌سمت پایاب رودخانه در ایستگاهای قلعه شاهرخ، سد تنظیمی، پل زمانخان، چم آسمان و پل کله، وضعیت آلودگی آب در حد مطلوبی قرار دارد. در این مناطق، رودخانه در بستر کوهستانی قرار گرفته است و امکان ایجاد صنایع بزرگ و زمین‌های کشاورزی گسترده در اطراف رودخانه میسر نیست؛ به همین دلیل آب تمیز و باکیفیت است. به‌طور کلی در سال ۱۳۸۵ در ایستگاه‌های لنج و دیزیچه و ورزنه حد آب غیرمجاز شده است. در این مناطق به‌خاطر زمین‌های گستردهٔ کشاورزی در اطراف رودخانه، سموم کشاورزی همهٔ زمین‌های به رودخانه سرازیر شده و آلودگی‌های فلزات سنگین صنایع به آب ریخته می‌شود. در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ در اشکال زیر حد مطلوب آب فقط در ایستگاه‌های سراب رودخانه وجود دارد و در ادامهٔ رودخانه ایستگاه‌ها به‌سمت پایاب میزان آب آلودگی غیرمجاز است.



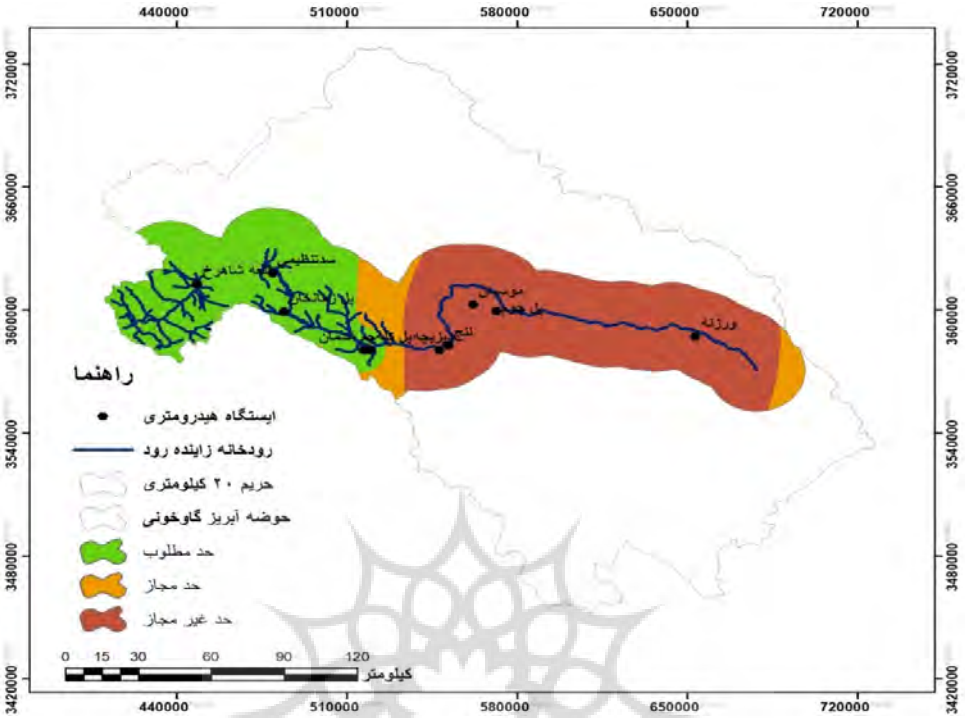
شکل ۴: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۰)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



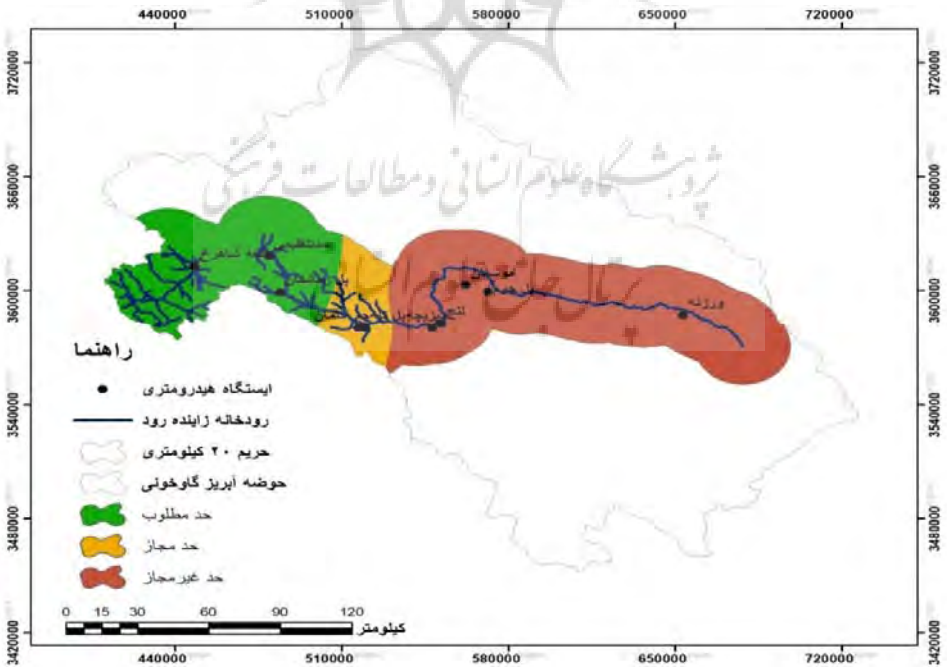
شکل ۵: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۱)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۶: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۲)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۷: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۳)

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

نتیجه

نتایج بررسی کیفیت آب رودخانهٔ زاینده‌رود نشان داد، در طول مسیر رودخانهٔ زاینده‌رود آلودگی آب در سه بخش محدودهٔ مورد مطالعه شناسایی شد:

بخش اول (ابتدای رودخانه از سد تنظیمی زاینده‌رود تا قبل از تصفیه‌خانهٔ باباشیخ علی): در این محدوده، آلودگی آب نسبت‌به سایر قسمت‌ها کمتر است و منابع آلاینده آن بیشتر از نوع آلودگی‌های شهری و روستایی و زهکش‌های کشاورزی مستقر در حاشیهٔ رودخانه است؛ ولی به‌علت بالابودن دبی رودخانه در این ناحیه، غلظت آلاینده‌ها اعماز فلزات سنگین، کاتیون‌ها و عناصر بیولوژیک کم است و آب این ناحیه از رودخانه، به‌علت بالابودن کیفیت آن به حد مطلوب، برای شرب، کشاورزی و آبزیان رودخانه قابلیت دارد.

بخش دوم (ادامهٔ رودخانه از بعد از تصفیه‌خانه شروع و تا پل چوم ادامه دارد): در این قسمت شدت انواع آلاینده‌های صنعتی و شهری به حدی است که آب رودخانه دیگر قابلیتِ مصرف شرب را ندارد و حتی در برخی قسمت‌ها، آلودگی به حدی است که حیات آبزیان را نیز تهدید می‌کند. آب رودخانه در این ناحیه فقط برای مصارف کشاورزی و صنعتی قابل استفاده است.

بخش سوم (این قسمت بخش انتهایی رودخانه از پل چوم به طرف تالاب گاوخونی است): در این بخش به‌علت کاهش دبی رودخانه، آب رودخانه به‌شدت آلوده است؛ به اندازه‌ای که برای مصارف کشاورزی نیز مناسب نیست و استفادهٔ آن برای کشاورزی باعث پایین‌آمدن کیفیت محصول می‌شود. نتایج به‌دست آمده در مطالعات بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه نیز نشان می‌دهد کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب رودخانه که ناشی از آلودگی‌ها یا عوامل طبیعی است، در بالادست رودخانه از غلظت ناچیزی برخوردارند و به‌علت بالابودن دبی رودخانه، مقدار آن‌ها حتی از حد مجاز استاندارد نیز کمتر است. همان‌طور که در اشکال ۳ تا ۷ مشاهده می‌شود، با اینکه در بالادست رودخانه تجمع روستاها و شهرهای کوچک در حاشیهٔ رودخانه زیاد است و آلاینده‌ها و پساب آن‌ها در برخی مناطق مستقیماً به رودخانه سرریز می‌شوند، ولی بالابودن دبی رودخانه این معضل را تا حدی جبران می‌کند. از طرفی به‌علت پایین بودن درجه حرارت آب و بالا بودن میزان اکسیژن محلول، قدرت خودپالایی در این ناحیه از رودخانه بیشتر از پایین‌دست است. در قسمت پایین‌دست رودخانه، درواقع از سد چم آسمان به‌طرف شهر اصفهان به‌علت وجود صنایع و شهرها و زمین‌های کشاورزی و سرریز شدن پساب آن‌ها به رودخانه، قدرت خودپالایی رودخانه کاهش پیدا کرده و میزان غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. این مسأله همین‌طور برای شرق اصفهان به‌طرف تالاب گاوخونی نیز قابل مشاهده است، به‌طوری که نقشه‌های طبقه‌بندی میزان آلودگی زاینده‌رود نشان می‌دهند که در سال ۱۳۸۵ در ایستگاه‌های لنج و دیزیچه و ورزنه حد آب غیرمجاز شده است. در این مناطق به‌خاطر زمین‌های گستردهٔ کشاورزی در اطراف رودخانه که سموم کشاورزی همهٔ زمین‌ها به رودخانه سرازیر شده و آلودگی‌های فلزات سنگین صنایع به آب ریخته می‌شود، همچنین در سال‌های ۱۳۹۰- تا ۱۳۹۳ در اشکال ۳ تا ۷، حد مطلوب آب فقط در ایستگاه‌های سراب رودخانه وجود دارد و در ادامهٔ رودخانه ایستگاه‌ها به سمت پایاب میزان آلودگی آب غیرمجاز است.

پیشنهادها

۱- تغییر الگوی کشت براساس تحقیقات انجام‌شده در وزارت جهاد کشاورزی، ازجمله توصیه درجهت توسعهٔ کشت‌های گلخانه‌ای در حاشیهٔ زاینده‌رود به‌منظور استفاده از حداقل نیاز آبی که موجب برگشت مطلوب عناصرکیفی آب در حدفاصل ایستگاه‌های هیدرومتری دیزیچه- ورزنه می‌شود.

۲- جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی که موجب بازگشت تعادل آب در سفره‌های آب زیرزمینی با عناصر شیمیایی استاندارد در آب می‌شود.

۳- جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی رودخانهٔ زاینده‌رود با تأکید بر احیای تالاب گاوخونی که موجب برگشت کیفیت مطلوب آب و حیات طبیعی در استان اصفهان از شهر اصفهان تا پایاب رودخانهٔ زاینده‌رود (منطقهٔ ورزنه) می‌شود.

۴- جایگزینی پساب‌ها برای استفاده در صنایع آب‌بر و همچنین در ایجاد فضای سبز و گیاهان غیرمثمر در حوضهٔ آبریز گاوخونی که موجب ترویج فرهنگ صرفه‌جویی در آب نیز می‌شود.

منابع

- امینی‌پورشیانی. سمانه؛ محسن محمدی؛ محمدرضا خالدیان؛ اعظم‌السادات میرروشندل (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ گاز رودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص LIOU فصلنامهٔ علمی- پژوهشی اکوبیولوژی تالاب. سال هشتم. شمارهٔ ۲۷. صفحات ۷۸- ۶۵.
- جمالی، سعید؛ احمد ابریشم‌چی؛ مسعود تجریدی (۱۳۸۴). ساخت مدل‌های پیش‌بینی جریان رودخانه و بهره‌برداری از مخزن سد زاینده‌رود با استفاده از سیستم استنباط فازی، مجله آب و فاضلاب، شمارهٔ ۶۴. صفحات ۳۴- ۲۵.
- جمشیدی، شروین؛ محمدحسین نیک‌سخن (۱۳۹۴). تخصیص بهینهٔ بار آلودگی برمبنای الگوی تجارت کیفیت آب در پایین‌دست رودخانهٔ سفیدرود، مجله مدیریت‌آب و آبیاری. دورهٔ ۵. شمارهٔ ۲۰. صفحات ۲۴۳-۲۵۹.
- حسین‌زاده، ادریس؛ حسن خرسندی؛ ناصر رحیمی؛ سامان حسین‌زاده؛ مهدی علیپور (۱۳۹۲). ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ آیدوغموش با استفاده از شاخص‌کیفی NSFWQI و شاخص LIOU، مجلهٔ پزشکی ارومیه. دورهٔ ۲۴. شمارهٔ ۲. صفحات ۱۶۲-۱۵۶.
- حاجیان، ناصر (۱۳۹۵). مرجع جامع زاینده‌رود، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. چاپ اول. صفحات ۵۷-۵۶ .
- زارع‌گاریزی. آرش؛ امیر سعدالدین؛ شیخ واحد بردی؛ عبدالرسول سلمان‌ماهینی(۱۳۹۱).بررسی روند تغییرات بلندمدت متغیّرهای کیفیت آب رودخانهٔ چهل‌چای (استان گلستان)، مجلهٔ پژوهشی آب‌ایران.سال ۶. شمارهٔ ۱۰. صفحات ۱۵۵-۱۶۵.
- سالنامهٔ آماری آب (۱۳۹۳). تهران، وزارت نیرو، انتشارات‌دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا- صفحه ۱۵.
- شهسواری‌پور، ناهید؛ علی اسماعیلی (۱۳۹۰). بررسی آلودگی میکروبی رودخانهٔ هراز و تعیین کاربری‌های مجاز آب رودخانه با توجه به استانداردهای جهانی، مجلهٔ علوم و تکنولوژی محیط زیست. دورهٔ ۱۳. شمارهٔ ۴. صفحات ۹۴-۸۱.
- عابدی‌کوپایی، جهانگیر؛ زهره نصری؛ خلیل طالبی؛ علیرضا مامن‌پوش؛ علیرضا موسوی (۱۳۹۰). مطالعه کیفیت شیمیایی و آلودگی آب زاینده‌رود در بالادست به دیازینون و توان خودپالایی آن، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک. سال ۱۵. شمارهٔ ۵۶. صفحات ۱۹-۱.
- مطالعات جامع حوضهٔ آبریز گاوخونی (۱۳۸۶). مهندسین مشاور یکم، بخش محیط زیست. صفحات ۳۴-۳۵ .

- مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۸). استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم.
- یوسفی‌فلکدهی، عذرا؛ غلامرضا گلپرور؛ علیرضا صافدل؛ میراحمد لشت‌نشایی (۱۳۹۱). بررسی آلودگی آب رودخانهٔ زیلکی رود در استان گیلان، مجلهٔ پژوهش آب ایران. سال ۶. شمارهٔ ۱۰. صفحات ۲۰۲-۱۹۷.
- Kauffman G.J. and Bellen A.C (2010). Water quality trends (1970 – 2005) along Delaw are streams in the Delaware and Chesapeake Bay watershed S, USA, Water Air Soil pollut 208: 345-375.
- Lotfalizadeh.l.A (1965). Fuzzy, Sets, Information and Control, Vol. 8, PP. 338-358.
- Lotfizadeh.l.a (1977). Fuzzy Sets and Their Application to Pattwern Recognition and Clustering Analysis,Classification & Clustering, San Francisco,California,PP.251-299.
- Maryna Strokal, LinMa, Zhaohai Bai, Shengji Luan, Carolien Kroeze1, Oene Oenema, Gerard Velthof and Fusuo Zhang (2016). Alarming nutrient pollution of Chinese rivers as a result of agricultural, Environmental Research letters, IOP, Publishing, 11,PP.1-10.
- Protano Carmela ,Loredana Zinna ,Saverio Giampaoli, Vincenzo Romano Spica, Salvatore Chiavarini (2014). Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risks in Rivers:A Case Study from Southern Italy, Bull Environ Contam Toxicol 92:75-80.
- Rosli, N. A., Zawawi, M. H. and Bustami, R. A (2012). Salak River Water Quality Identification and Classification According to Physico-Chemical Characteristics. Procedia Engineering, 50: 69-77
- Samantray P, Mishra BK, Panda CR, Rout SP (2009). Assessment of Water uality Index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. J Hum Ecol 2009;26(3):153-61.
- Wardiatno, R. Y and Effendi, H (2015). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. Procedia Environmental Sciences, 24: 228-237.
- Yang. X and .W (2010). GIS – based spatial regression and prediction of water quality in river networks : A case study in IOWA. J. Environ . Manage . 91 : 1934- 1951.
- Yetik . M . K , BERBER . R and karadurmus . E (2009). River water quality model verification through a GIS based software . p1-6 , APCHEM 2009 , IFAC , symposium on. Advanced control of chemical processes , July 12-15 ISTANBUL - Turkey.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی