

جغرافیا و توسعه شماره ۵۳ زمستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۶/۰۳/۲۵

تأیید نهایی: ۹۶/۱۱/۳۰

صفحات: ۱-۱۸

## بررسی تغییرات کیفی آب رودخانه زاینده رود با استفاده از منطق فازی

فریبا رهپو<sup>۱\*</sup>، دکتر حسنعلی غیور<sup>۲</sup>، دکتر زهره رجبی<sup>۳</sup>

### چکیده

رشد فزاینده جمعیت و نیاز این جمعیت به محصولات کشاورزی و محدودیت آب برای تولیدات کشاورزی مسأله کم آبی را به گونه ای بسیار جدی فراوری کشورمان قرار داده است. آمار بیانگر این است که سرانه آب کشور از ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در دهه ۳۰ شمسی به حدود ۱۴۳۱ مترمکعب در شرایط حاضر رسیده است و در صورت 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. داده های تحقیق، دوازده عنصر کیفی آب شامل شوری، اسیدیته، سدیم، بیکربنات، مواد جامد محلول، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، نسبت جذب سدیم، کلر، نترات و سولفات را تشکیل می دهند. کاتیون ها و آنیون ها براساس آمارگیری در هفت ایستگاه آب سنجی رودخانه زاینده رود در استان اصفهان از شرکت آب منطقه ای اصفهان اخذ شد. بازه زمانی داده ها مربوط به سال ۱۳۸۵ و سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ می باشند. به منظور مشخص کردن میزان آلودگی آب رودخانه زاینده رود، از روش تحلیل طبقه بندی فازی استفاده شد. با تشکیل ماتریسی در ابعاد ۱۷×۷۶ سطر و ستون در نرم افزار متلب با روابط فازی، خوشه بندی فازی انجام شد. در نهایت نقشه های طبقه بندی شده، حد مجاز تا غیرمجاز آب رودخانه با استفاده از نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی ترسیم شدند. نتایج نقشه های طبقه بندی شده آب زاینده رود نشان داد، از ایستگاه پل چوم تا تالاب گاوخونی مقدار همه عناصر کیفی آب به جز کلر و سولفات برای استفاده آب آشامیدنی بالا بوده و غیر مجاز می باشند و حتی در بعضی ایستگاه های نزدیک پایاب رودخانه برای کشاورزی و صنعت نیز آب در حد غیرمجاز اندازه گیری شده است.

واژه های کلیدی: رودخانه زاینده رود، منطق فازی، تغییرات کیفی آب، تغییرات زمانی و مکانی عناصر آب زاینده رود، آلودگی آب، شهر اصفهان.

farahpou@gmail.com  
Ghayour316@gmail.com  
rajabzohreh@gmail.com

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

## مقدمه

کشاورزی که سرشار از مواد آلی و معدنی نظیر کودهای شیمیایی و حیوانی، پسماندهای گیاهی، مواد شسته شده خاک و همچنین دارای مواد سمی مانند آفت کش ها، علف کش ها و نظایر آن که به طور عمده اغلب این ها از ناحیه برنجزارهای اطراف زرین شهر آغاز شده و تا تالاب گاوخونی ادامه می یابد نیز در آن تخلیه می شوند (حاجیان، ۱۳۹۵: ۱۸). این قبیل آلودگی ها باعث شده تا کیفیت آب رودخانه به حد آشکاری پایین بیاید و مصارف مختلف آن را با توجه به استانداردهای موجود دچار اشکال کند. رودخانه زاینده رود از زمان های کهن به عنوان یک منبع آبی مهم در زندگی مردم منطقه نقش مهمی را ایفا کرده که بقایای راه های سنگی و آثار باستانی حاشیه رودخانه نشان دهنده این حقیقت است. امروزه نیز این رودخانه نقش مهمی در زندگی مردم منطقه به خصوص در بخش کشاورزی ایفا می کند؛ ولی متأسفانه عدم مدیریت صحیح آب آن و کم توجهی به آلودگی و حفاظت از این رودخانه و تخلیه فاضلاب های صنعتی و شهری و روستایی به داخل رودخانه زاینده رود باعث شده تا از کیفیت آن کاسته و بر آلودگی آن افزوده شود. با توجه به اهمیتی که آب رودخانه زاینده رود در کشاورزی منطقه حوضه آبریز خود و به ویژه در محیط زیست دارد و همین طور با توجه به اهمیت حیات آبریان، حفظ تعادل اکولوژیکی رودخانه و شناخت هرچه دقیق تر وضعیت کیفی آب رودخانه، انجام مطالعه ای در زمینه بررسی مقدار آلودگی این رودخانه امری ضروری به نظر می رسد؛ بنابراین به منظور مدیریت صحیح برای جلوگیری از آلودگی بیشتر آب رودخانه، در این پژوهش سعی شده است تا آب رودخانه از نظر تغییرات کیفی آب در زمان های مختلف و مکان های متفاوت بررسی شود؛ به این صورت که عناصر کیفی آب در ایستگاه های آب سنجی از سراب تا پایاب رودخانه بررسی شود و

کمبود و آلودگی آب رودخانه زاینده رود در استان اصفهان بحران های بسیاری همراه آورده است، به طوری که آلوده شدن آب رودخانه با انواع آلوده کننده های معدنی و آلی و به دنبال آن شوری آب سبب ایجاد خطرات جدی برای سلامت محیط زیست و کشاورزی استان شده است. رودخانه زاینده رود شریان حیاتی برای استان اصفهان و فلات مرکزی ایران است. این رودخانه به عنوان بزرگ ترین رودخانه فلات مرکزی ایران در حوضه 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 توسعه فرهنگ و تمدن و معرفی شدن این شهر به عنوان یکی از قطب های صنعتی ایران، مرهون رودخانه زاینده رود است (جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۴۵). امروزه به دلیل کاهش شدید آب رودخانه به خاطر احداث چندین سد و آب بند برای برداشت آب به منظور مصارف کشاورزی، صنعتی، تفریحی و احداث چندین شهرک تفریحی در مسیر رودخانه، برداشت غیرمجاز آب به وسیله موتور پمپ های کشاورزی، کمبود بارش، تخلیه انواع فاضلاب های انسانی، صنعتی و کشاورزی به رودخانه، مرگ رودخانه و تالاب گاوخونی را باعث شده اند. در رودخانه زاینده رود به طور مستقیم پساب های سطح شهر اصفهان و سه تصفیه خانه فاضلاب شهری سرازیر می شود. انواع فاضلاب های صنعتی که در مقاطع مختلف رودخانه به آن سرازیر می شود، بار مواد آلی و انواع فلزات سنگین را که همگی آلوده کننده می باشند، به همراه دارد. از طرف دیگر فاضلاب های انسانی شهر اصفهان و روستاهای حاشیه رودخانه، شهرک ها و روستاهایی که در مسیر رودخانه واقع شده اند، به طور مستقیم و غیرمستقیم سبب آلودگی آن شده اند. همچنین در بخش هایی از مسیر زاینده رود، زه آب های

اکسیژن موردنیاز شیمیایی و سرب داشت و کیفیت آب رودخانه از نظر شاخص مورد بررسی در محدوده اندکی آلودگی (IV) قرار داشت.

پروتانو و همکاران<sup>۶</sup> (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 منطقه کالابریا بررسی شد. آزمایشات فاکتورهای انباشتگی فلزات CD و Pb برای آب نسبت به رسوبات  $10^3 - 10^5$  و فاکتور انباشتگی Hg آب نسبت به رسوبات ۱۰-۱۰۰ را نشان داد.

واردیانتو و افندی<sup>۷</sup> (۲۰۱۵) وضعیت کیفی آب رودخانه چیبلاوینگ واقع در استان بن تن اندونزی را با استفاده از شاخص NSFQZ و شاخص (PI) بررسی کردند. نمونه برداری از سه ایستگاه و در سه نوبت مطابق با فصل بارانی صورت گرفت. نتایج نشان داد، میزان شاخص NSFQZ در محدوده ۸۷-۸۸ و میزان شاخص آلودگی در محدوده ۵۶-۷۸٪ قرار می‌گیرد. براساس این شاخص‌ها کیفیت آب رودخانه چیبلاوینگ در محدوده خوب قرار می‌گیرد.

مارینا و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۶) تأثیر تخلیه 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 تخلیه کودهای شیمیایی حیوانی در شمال و مرکز و جنوب رودخانه بیش از دو برابر مقدار مواد مغذی آب است؛ در نتیجه 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.

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

یتیک و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) مدل کیفی آب رودخانه را بوسیله نرم‌افزاری بر پایه GIS واسنجی کرده‌اند. در نهایت یک نرم‌افزار در محیط GIS برای مدل‌سازی کیفیت آب ارائه کردند. سامانترای و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص NSFQZ کیفیت رودخانه ماهانادیا در ناحیه پارادایپ 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 به دلیل فعالیت‌های انسانی و صنایع کاهش یافته است.

کافمن و بلدن<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) کیفیت آب ۳۰ رودخانه آمریکا را در فاصله 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<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از GIS کیفیت آب را در شبکه رودخانه یووا در آمریکا پیش‌بینی کرده و روابطی برای آن ارائه کردند. نتایج نشان داد که در پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه، رگرسیون مکانی دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی حداقل مربعات دارند.

روسلی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲) کیفیت آب رودخانه سبک واقع در 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

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

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

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 رودخانه 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 رده متوسط قرار دارد. جمشیدی و نیک‌سخن (۱۳۹۴) تخصیص بهینه بار آلودگی کیفیت آب رودخانه سفیدرود را سنجیدند. در این پژوهش رودخانه از نظر کمی و کیفی براساس پارامتر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آب با مدل QUAL شبیه‌سازی شده و مقدار بار مجاز تخلیه 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 رودخانه گاز رودبار را با استفاده از شاخص NSFQZ 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 NSFQZ رودخانه گاز رودبار در رده کیفی متوسط (۵۰-۷۰) قرار می‌گیرد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، تخلیه زباله و فاضلاب خانگی، روستایی و شهری، زهاب‌های کشاورزی، فضولات حیوانی و دبی

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 در نتیجه تماس با آب ایجاد کرده‌اند. شهسواری‌پور و همکاران (۱۳۹۰) مقدار آلودگی میکروبی رودخانه هراز را با توجه به استانداردهای جهانی سنجیدند. به‌منظور مطالعه و تعیین کیفیت آب رودخانه هراز نمونه‌برداری طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۳ 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 ایستگاه‌هاست.

زارع‌گاریزی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی بر روی کیفیت آب روخانه چهل‌چای انجام دادند. در این تحقیق روند تغییرات بلندمدت متغیرهای کیفی ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه براساس آزمون ناپارامتری من-کندال و کندال فصلی صورت گرفت. نتایج نشان داد که در هفت متغیر کیفی آب (سدیم، کلرید، SAR، پتاسیم، EC و TDS) روند افزایشی تنزل کیفی، چهار متغیر، بی‌روند و تنها یک متغیر (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 رودخانه زیلکی در استان گیلان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از پنج نقطه رودخانه

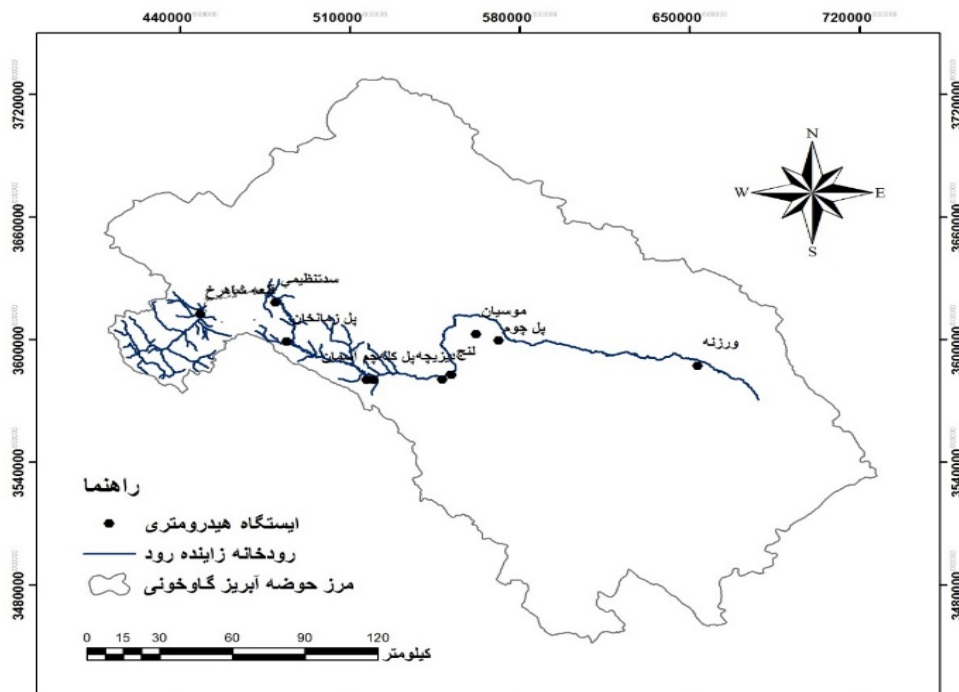
### داده‌ها و روش‌شناسی

حوضه آبریز گاوخونی دارای مساحت ۴۱۵۵۰ کیلومترمربع که حدود ۸۷/۳ درصد واقع در 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 ۰۲°، ۵۰ تا ۲۲°، ۵۳ طول شرقی و ۱۲°، ۳۱ تا ۴۲°، ۳۳ عرض شمالی واقع شده است. ۴۰ درصد حوضه ارتفاعات، ۵۹ درصد آن دشت و کوه‌پایه و یک درصد گسترده تالاب است (سالنامه آماری آب، ۱۳۹۳: ۱۵).

رودخانه زاینده‌رود یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های فلات مرکزی است که از دامنه‌های شرقی زاگرس و کوه‌های مرتفع زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و حوضه 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 حوضه آبریز گاوخونی، ۱۳۸۹: ۳۴)

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

هدف از انجام این پژوهش، مشخص کردن مقدار آلودگی آب رودخانه زاینده‌رود از سراب تا پایاب است، به نحوی که با مقایسه میزان استاندارد مجاز و غیرمجاز بودن، حد عناصر کیفی آب نسبت به میزان کنونی آن‌ها در آب، میزان آلودگی آب از نظر 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 منطبق فازی در جهت طبقه‌بندی عناصر کیفی آب استفاده شد. همچنین چون داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده 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 زمینه استفاده از آب زاینده‌رود برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بهره برد.



شکل ۱: موقعیت رودخانه زاینده رود در حوضه آبریز گاوخونی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

اندازه‌گیری شده عناصر که در بانک اطلاعاتی آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان موجود بود، استفاده شد. عناصر کیفی شامل مقدار اسیدیته آب (PH)، مقدار مواد محلول جامد در آب (TDS)، میزان شوری آب (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، نیترات (NO<sub>3</sub>)، بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub>)، کلر (CL)، پتاسیم (K)، سدیم (NA)، سولفات (CO<sub>4</sub>)، کلسیم (CA) و منیزیم (MG) می‌باشند. حد مجاز هر عنصر کیفی آب براساس جدول استاندارد آب مجاز توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین شده است (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸). داده‌های خام عناصر کیفی آب در نرم‌افزار متلب براساس منطق فازی خوشه‌بندی شدند. بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها،

در این تحقیق از داده‌های دبی آب و عناصر کیفی آب رودخانه به صورت فایل‌های اکسل که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان در ایستگاه‌های آب‌سنجی 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 پایاب رودخانه به باتلاق گاوخونی انتخاب شده‌اند. ایستگاه‌ها به ترتیب از سراب تا پایاب رودخانه شامل ایستگاه قلعه شاهرخ، سد تنظیمی، پل زمانخان، پل کلہ، لنج (نکوآباد)، پل چوم و ورزنه می‌باشند. عناصر کیفی آلودگی آب در این تحقیق توسط کارشناسان آب شرکت آب منطقه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین عناصر نشان‌دهنده کیفیت آب انتخاب شده‌اند. همچنین براساس بیشترین آمار

توابعی که بتوانند مقادیر  $X$  را به عنوان ورودی دریافت کرده و خروجی در فاصله  $[0,1]$  تولید کنند، می توانند به عنوان توابع عضویت استفاده شوند.

رابطه ریاضی یک تابع عضویت به صورت زیر است:

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

$\sigma$  و  $c$  دو پارامتر اصلی این تابع است که تغییردهنده شکل آن به ازای متغیر  $X$  خواهند بود.

### خوشه بندی فازی

خوشه بندی<sup>۳</sup> به استخراج دسته‌هایی با حداکثر شباهت بین عناصر داخل دسته و حداقل شباهت با عناصر سایر دسته‌ها می‌پردازد. این تشابه یا عدم تشابه بر اساس معیارهای اندازه‌گیری فاصله تعریف می‌شود. خوشه بندی فازی، یک کلاس بندی<sup>۴</sup> بدون نظارت است است که در آن کلاس‌ها از پیش تعریف نشده‌اند. در خوشه بندی کلاسیک، هر نمونه ورودی متعلق به یک و فقط یک خوشه است و نمی‌تواند عضو دو خوشه یا بیشتر باشد. به عبارتی، خوشه‌ها همپوشانی ندارند؛ در حالی که در خوشه بندی فازی یک نمونه می‌تواند متعلق به بیش از یک خوشه باشد، مثلاً هر یک از عناصر کیفی آب به عنوان یک نمونه می‌تواند عضو دو خوشه یا بیشتر باشند.

### الگوریتم

الگوریتم فازی، یک خوشه بندی دقیق است که خوشه‌ها به طور مفروض تقریباً هم‌اندازه هستند. هر خوشه با مرکزش نمایش داده می‌شود. این نحوه نمایش است که خوشه انگاشته می‌شود. به عنوان یک رابطه برای فاصله‌سنجی، فاصله اقلیدسی بین یک نقطه و یک نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در انتخاب مرکز خوشه، مقدار میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه مرکز خوشه، مجموع درجات

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 درجه بندی شده را مطرح می‌کند؛ به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی - نه کاملاً- عضو یک مجموعه باشد.

مجموعه‌های فازی<sup>۱</sup> یک مجموعه از اعداد حقیقی را بر روی اعداد در بازه 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 به صورت زیر است:

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

$\mu_A(x)$ ، نمایانگر درجه عضویت متغیر (از مجموعه مرجع  $X$ ) در مجموعه فازی  $A$  است. اگر  $X$  مجموعه متناهی از داده‌ها به صورت  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  باشد، مجموعه فازی  $A$  به صورت زیر نیز تعریف می‌شود:

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

از علامت "|" به منظور جدایی دو متغیر استفاده شده است و هر متغیر  $X$  در مجموعه مرجع  $X$  دارای یک درجه عضویت در مجموعه فازی است که این درجه عضویت عددی در فاصله  $[0,1]$  است؛ بنابراین می‌توان میزان تعلق یک گروه از داده‌ها را به مجموعه فازی  $A$  بیان کرد (Lotfalizadeh, 1965:342).

### توابع عضویت

توابع عضویت<sup>۲</sup> همان منحنی‌های نمایانگر مجموعه مجموعه فازی هستند. این توابع به هر کدام از متغیرهای فضای مرجع  $X$  یک درجه عضویت که در فاصله  $[0,1]$  است اختصاص می‌دهند؛ بنابراین کلیه

هر یک از پارامترهای ورودی (مقدار اندازه‌گیری شده هر یک از عناصر کیفی آب)، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، مجاز و غیرمجاز است. نقشه‌های طبقه‌بندی شده عناصر کیفی آب رودخانه در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. نقشه‌ها براساس حد مجاز هر عنصر کیفی در هر ایستگاه ترسیم و داده‌ها با روش معکوس فاصله میانایی 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.

عضویت هر عنصر به‌توان  $m$  در خودش به‌حاصل ضرب توان  $m$  درجه عضویت‌ها تقسیم می‌شود (طفعلی‌زاده، ۱۹۶۵: ۳۵۰).

حد مجاز هر عنصر کیفی آب زاینده‌رود براساس جدول استاندارد آب مجاز توسط مؤسسه 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 دوزنقه‌ای و با استفاده از حدود تعیین‌شده وزارت نیرو تعیین شده. تابع عضویت

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانه زاینده‌رود

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

مأخذ: شرکت منطقه‌ای استان اصفهان

مستقل مورد بررسی قرار گرفته است. دبی رودخانه زاینده‌رود در نقاط پایین‌دست سد زاینده‌رود به‌وسیله سد تنظیمی و مطابق رژیم معینی کنترل می‌شود که به میزان نزولات جوی سالانه در سرچشمه‌ها، آب موردنیاز برای کشاورزی و سایر مصارف و بعضی عوامل دیگر بستگی دارد.

## نتایج و بحث

### بررسی کمیت آب رودخانه 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



جدول ۲: میانگین دبی ایستگاه‌های رودخانه زاینده رود (۱۳۶۰-۹۳)

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	دبی
۱۶/۷	۲۷/۸	۴۷/۴	۷۱/۹	۱۰۱/۶	۹۰/۷	۴۳/۸	۲۰/۸	۱۷/۸	۱۹	۱۶/۷	۱۳/۶	قلعه شاهرخ
۵۶/۵	۶۲/۹	۶۲/۸	۷۰	۷۱/۱	۴۵/۷	۱۹/۳	۱۰/۱	۱۴/۴	۳۴/۴	۳۷/۸	۲۸	سد تنظیمی
۵۴/۱	۵۹/۶	۶۰/۷	۶۸/۷	۷۱/۲	۴۷/۳	۲۱/۳	۱۲/۵	۱۸/۱	۳۴/۲	۴۳	۳۷/۹	پل زمانخان
۴۶/۲	۵۱/۴	۵۱/۸	۶۰/۹	۶۵/۱	۴۱/۹	۱۶/۱	۷/۷	۱۱/۲	۳۰	۳۳/۱	۳۱/۷	پل کله
۲۰/۷	۲۱/۴	۲۱/۹	۳۴/۱	۴۳/۳	۳۱/۳	۱۴/۷	۸/۸	۱۱/۹	۲۱/۷	۲۲	۱۷/۹	لنج
۸/۶	۷/۲	۷/۷	۱۸/۹	۲۷/۷	۱۷/۹	۱۰	۷/۹	۱۲	۱۵/۶	۱۱/۷	۱۰/۱	پل چوم
۱/۷	۱/۳	۱/۸	۴/۳	۹/۱	۴/۷	۲/۶	۲/۵	۴	۵/۹	۴/۵	۲/۷	ورزنه

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

جدول ۳: مقدار دبی متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه) در ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانه زاینده رود

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

پل کله به پایین دست رودخانه آغاز می‌شود. به طوری که قسمت عمده اراضی کشاورزی در فاصله پل کله تا شهر اصفهان زیرکشت برنج است. در این منطقه گسترش زمین‌های کشاورزی و باغات در دو سوی رودخانه به نحو بارزی به چشم می‌خورد. در فاصله سد نکوآباد تا شهر اصفهان قسمت عمده اراضی حوضه رودخانه کاربری کشاورزی دارد. در این فاصله استقرار صنایع مهم از جمله کارخانه ذوب آهن، فولاد مبارکه، صنایع دفاع، کارخانه پلی اکریل، نیروگاه اسلام‌آباد، کارخانجات سیمان سپاهان و سیمان اصفهان، کارخانه ایرانیت و بسیاری از واحدهای صنعتی کوچک و بزرگ در فاصله زرین‌شهر تا اصفهان مستقرند؛ در نتیجه با استفاده از سدهای انحرافی و کانال‌ها آب از ایستگاه پل کله به پایین دست مورد استفاده مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب قرار می‌گیرد (آمارنامه‌های سالانه کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان، ۱۳۹۳).

### بررسی کیفیت آب رودخانه 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 ذخیره 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

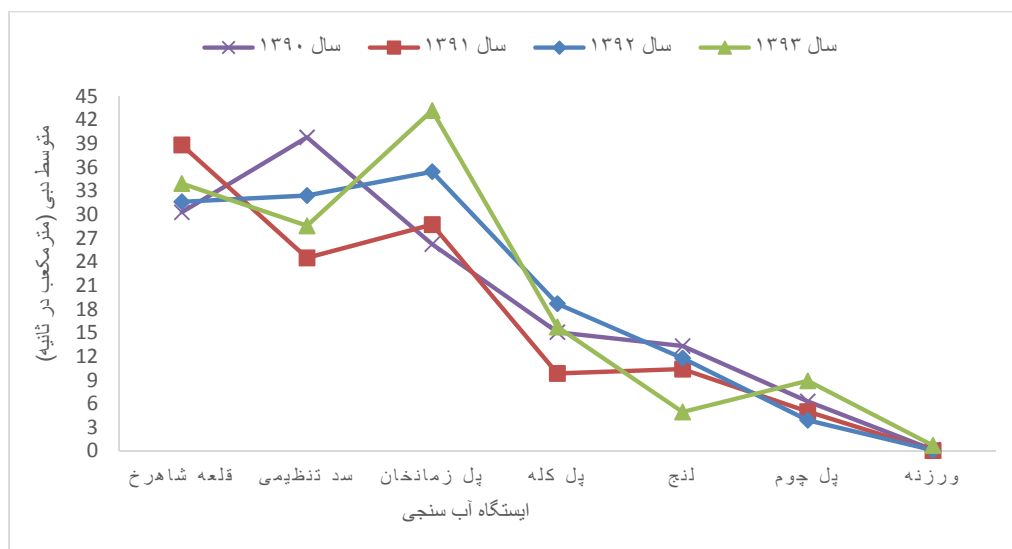
جدول (۲) نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌ها، بالاترین دبی متوسط مربوط به اردیبهشت ماه و کمترین دبی متوسط به‌جز ایستگاه‌های پل چوم و ورزنه، مربوط به بهمن ماه است. متوسط دبی ایستگاه‌های قلعه شاهرخ، سد تنظیمی و پل زمانخان تا قبل از ایستگاه پل کله دارای دبی متوسط سالانه بیشتری می‌باشند. در جدول (۳) نیز مشاهده می‌شود مقدار دبی متوسط در سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۰ در کل ایستگاه‌ها نسبت به سال‌های قبل کاهش داشته است. همچنین بیشترین میانگین سالانه 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 به دلیل 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 به علت بازشدن دریچه‌های سد برای نیاز آبی در فصل گرم سال برای مصارف گوناگون از قبیل کشاورزی و مصارف شهری، در ایستگاه‌ها بالاترین دبی‌ها ثبت شده‌اند. البته میزان ارقام دبی متوسط علاوه بر باز و بسته کردن دریچه‌های تنظیمی به میزان نزولات جوی نیز بستگی دارد. از طریق سد زاینده‌رود، دبی تنظیم شده و برنامه‌ریزی شده‌ای جریان پیدا می‌کند؛ اما تا ایستگاه پل کله از آب رودخانه استفاده چندانی به عمل نمی‌آید. در فاصله سد تا پل کله، منطقه کوهستانی و سرد است و آب در بستری دره‌ای 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

در سد آبشار قبل از ایستگاه پل چوم انجام می‌گیرد؛ بنابراین تغییرات دبی در این دو محل قابل توجه خواهد بود.

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



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

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

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 رابطه 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 مشخص کردن حد آستانه مناسب، طبقه‌بندی قابل قبول ارائه می‌شود. به‌طوری که در اشکال ۱۰ تا ۱۴ مشاهده می‌شود، آلودگی آب رودخانه براساس عناصر کیفی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی مشخص شده است. حد مطلوب آب از سرچشمه رود در ایستگاه‌های بالادست رودخانه قرار دارد. در اشکال زیر از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۲ از

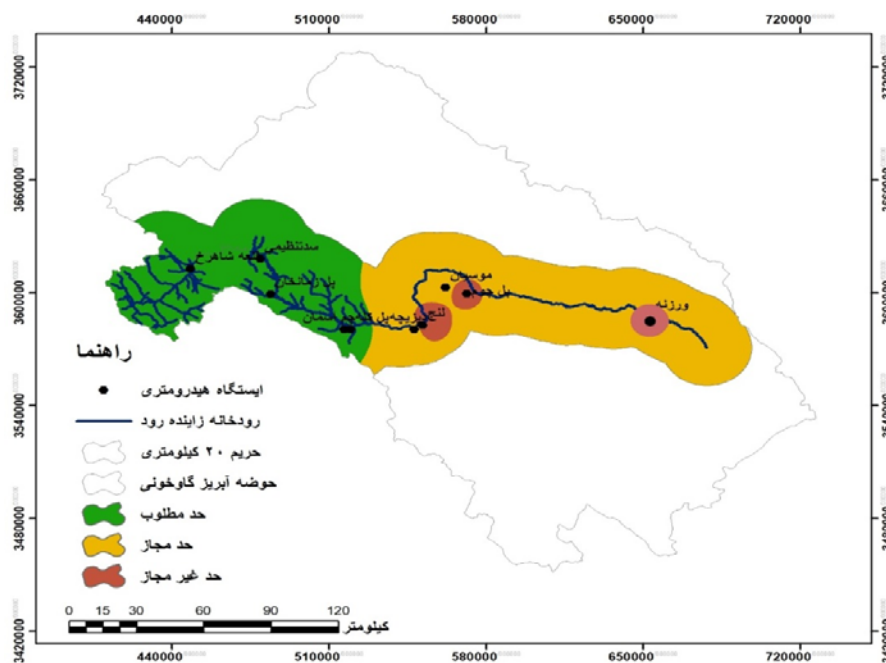
تغییرات دبی در شکل (۲) دقیقاً حجم آبدهی سالانه حوضه و مکان‌های برداشت آب از حوضه را مشخص کرده است. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، در محل سد نکوآباد بعد از زرين‌شهر و پل کله و کاهش دبی را می‌توان ملاحظه کرد؛ بنابراین زمانی که کیفیت عناصر مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود که میزان عناصر موجود در آب از قبیل 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 رودخانه زاینده‌رود از نظر آلودگی آب

در بحث ارزیابی و مدیریت کیفیت آب در طرح‌های توسعه و مدیریت منابع آب، روش تحلیل

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.

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 از نظر استاندارد جهانی

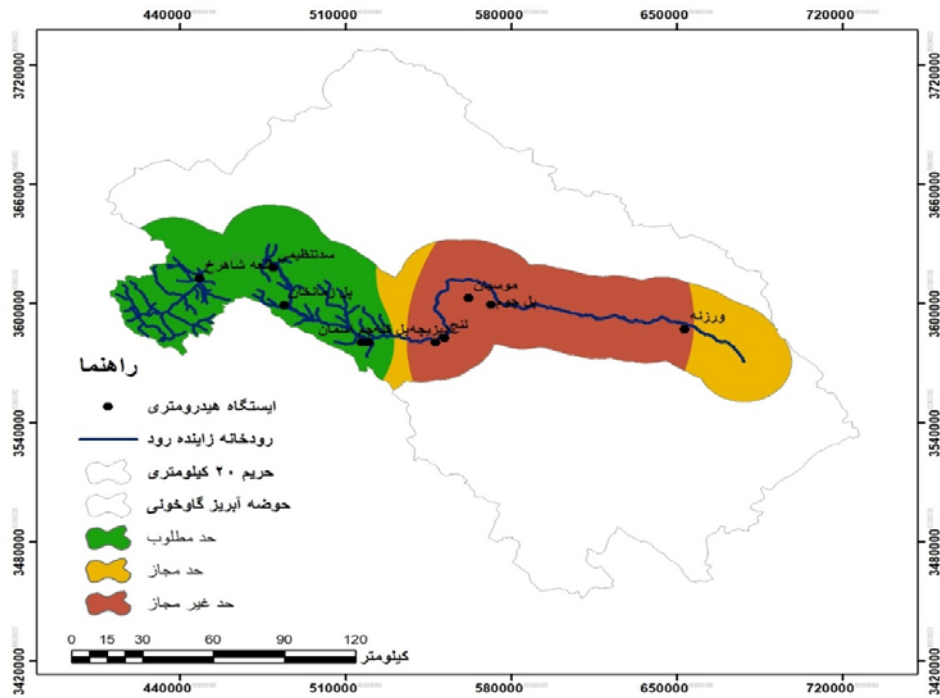


شکل ۳: طبقه‌بندی عناصر کیفی آب زاینده‌رود (۱۳۸۵)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

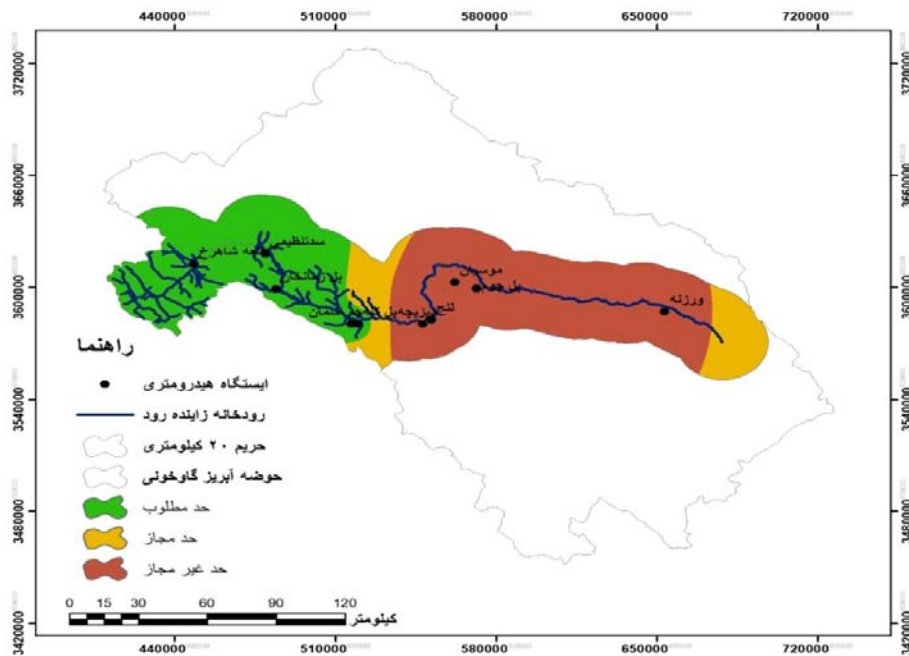
شده است. در این مناطق به‌خاطر زمین‌های گسترده کشاورزی در اطراف رودخانه، سموم کشاورزی همه زمین‌های به رودخانه سرازیر شده و آلودگی‌های فلزات سنگین صنایع به آب ریخته می‌شود. در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ در اشکال زیر حد مطلوب آب فقط در ایستگاه‌های سراب رودخانه وجود دارد و در ادامه رودخانه ایستگاه‌ها به سمت پایاب میزان آب آلودگی غیرمجاز است.

در سال ۱۳۸۵ از سراب به سمت پایاب رودخانه در ایستگاه‌های 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



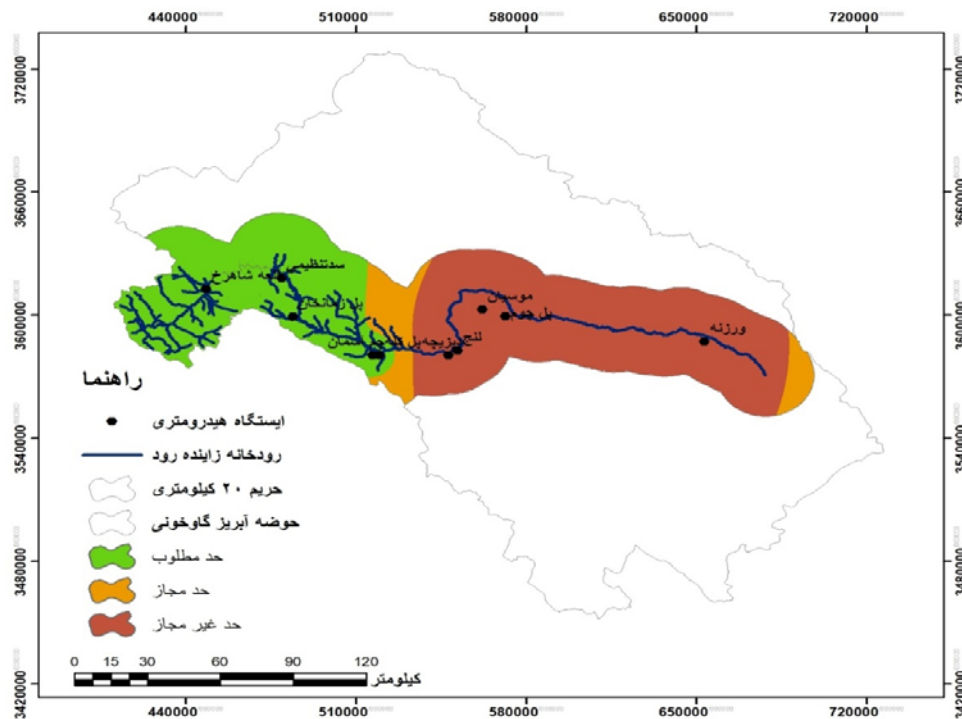
شکل ۴: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۰)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



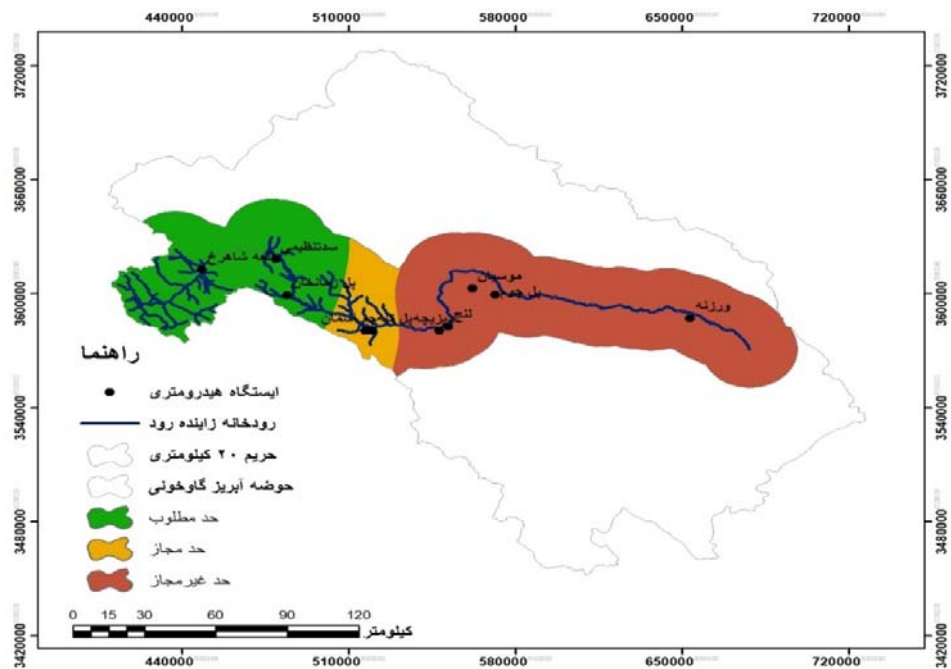
شکل ۵: طبقه‌بندی کیفیت آب زاینده‌رود (۱۳۹۱)

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

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 حاشیه 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 گسترده کشاورزی در اطراف رودخانه که سموم کشاورزی همه 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 ادامه رودخانه ایستگاه‌ها به سمت پایاب میزان آلودگی آب غیرمجاز است.

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

بخش اول (ابتدای رودخانه از سد تنظیمی زاینده‌رود تا قبل از تصفیه‌خانه باباشیخ علی): در این محدوده، آلودگی آب نسبت به سایر قسمت‌ها کمتر است و منابع آلاینده آن بیشتر از نوع آلودگی‌های شهری و روستایی و زهکش‌های کشاورزی مستقر در حاشیه رودخانه است؛ ولی به‌علت بالابودن دبی رودخانه در این ناحیه، غلظت آلاینده‌ها اعم از 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 آبیاری رودخانه قابلیت دارد.

بخش دوم (ادامه 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 قابلیت مصرف شرب را ندارد و حتی در برخی قسمت‌ها، آلودگی به حدی است که حیات آبیاری 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 استفاده 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

## پیشنهادها

- ۱- تغییر الگوی کشت براساس تحقیقات انجام شده در وزارت جهاد کشاورزی، از جمله توصیه درجهت توسعه کشت‌های گلخانه‌ای در حاشیه زاینده‌رود به منظور استفاده از حداقل نیاز آبی که موجب برگشت مطلوب عناصرکیفی آب در حدفاصل ایستگاه‌های هیدرومتری دیزپچه- 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 رودخانه زاینده‌رود با تأکید بر احیای تالاب گاوخونی که موجب برگشت کیفیت مطلوب آب و حیات طبیعی در استان اصفهان از شهر اصفهان تا پایاب رودخانه زاینده‌رود (منطقه ورزنه) می‌شود.
- ۴- جایگزینی پساب‌ها برای استفاده در صنایع آب‌بر و همچنین در ایجاد فضای سبز و گیاهان غیرمثمر در حوضه آبریز گاوخونی که موجب ترویج فرهنگ صرفه‌جویی در آب نیز می‌شود.
- منابع**
- امینی‌پورشینانی. سمانه؛ محسن محمدی؛ محمدرضا خالدیان؛ اعظم‌السادات میرروشندل (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت آب رودخانه گاز رودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و شاخص LIOU فصلنامه علمی- پژوهشی اکوبیولوژی تالاب. سال هشتم. شماره ۲۷. صفحات ۶۵-۷۸.
- 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، شماره ۶۴. صفحات ۳۴-۲۵.
- جمشیدی، شروین؛ محمدحسین نیک‌سخن (۱۳۹۴). تخصیص بهینه بار آلودگی برمبنای الگوی تجارت کیفیت آب در پایین‌دست رودخانه سفیدرود، مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۵. شماره ۲۰. صفحات ۲۴۳-۲۵۹.
- حسین‌زاده، ادریس؛ حسن خرسندی؛ ناصر رحیمی؛ سامان حسین‌زاده؛ مهدی علیپور (۱۳۹۲). ارزیابی کیفیت آب رودخانه آیدوغموش با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و شاخص LIOU. مجله پزشکی ارومیه. دوره ۲۴. شماره 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 متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای (استان گلستان)، مجله پژوهشی آب‌ایران. سال ۶. شماره ۱۰. صفحات ۱۵۵-۱۶۵.
- سالنامه آماری آب (۱۳۹۳). تهران، وزارت نیرو، انتشارات دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا- صفحه ۱۵.
- شهسواری‌پور، ناهید؛ علی اسماعیلی (۱۳۹۰). بررسی آلودگی میکروبی رودخانه هراز و تعیین کاربری‌های مجاز آب رودخانه با توجه به استانداردهای جهانی، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۱۳. شماره 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، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک. سال ۱۵. شماره ۵۶. صفحات ۱۹-۱.
- مطالعات جامع حوضه آبریز گاوخونی (۱۳۸۶). مهندسين مشاور یکم، بخش محیط زیست. صفحات ۳۴-۳۵.



- 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 quality 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.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۸). استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم.
- یوسفی فلکدهی، عذرا؛ غلامرضا گلپور؛ علیرضا صافدل؛ میراحمد لشتنشابلی (۱۳۹۱). بررسی آلودگی آب رودخانه زلیکی رود در استان گیلان، مجله پژوهش آب ایران. سال ۶. شماره ۱۰. صفحات ۲۰۲-۱۹۷.
- Kauffman G.J. and Bellen A.C (2010). Water quality trends (1970 – 2005) along Delaware streams in the Delaware and Chesapeake Bay watershed S, USA, *Water Air Soil pollut* 208: 345-375.
- Lotfalizadeh.I.A (1965). *Fuzzy, Sets, Information and Control*, Vol. 8, PP. 338-358.
- Lotfizadeh.I.a (1977). *Fuzzy Sets and Their Application to Pattwern Recognition and Clustering Analysis, Classification & Clustering*, San Francisco, California, PP.251-299.
- Maryna Stokal, 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.