نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۳۰۶-۲۹۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 295-306

مقاله پژوهشی

مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته

طاهر رجایی[۱]، فریبرز معصومی[۲*]، فاطمه سادات احمدی سیاوشانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴

چکیده

در این مطالعه بهینه‌سازی توزیع مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از تئوری آنتروپی اطلاعات در حوضه آبریز لواسانات و تهران-کرج با ۱۱ ایستگاه نمونه‌برداری و برای ۱۲ متغیر کیفی و کمی آب در یک دوره آماری ۲۱ ساله مدنظر بوده است. بدین ترتیب در ابتدا با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته انتقال اطلاعات، برای هر متغیر مورد مطالعه، نمودار توزیع فاصله بین ایستگاه‌ها و مقدار انتقال اطلاعات ترسیم شده و سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و با توجه به مصارف آب برای کشاورزی و شرب، وزن همه‌ی متغیرها با استفاده از نرم افزار Expert Choice تعیین گردید. بدین ترتیب فاصله بهینه بین ایستگاه‌های پایش به مقدار ۱۴/۱ کیلومتر بدست آمد. همچنین مقدار فاصله بهینه از روش AHP فازی نیز محاسبه شد که برابر با ۱۳/۸۳ کیلومتر بود. در ادامه با استفاده از نتایج گام قبلی و نیز استفاده از شاخص‌های دیگر همچون آنتروپی شانون و واریانس، سناریوهای مختلف جهت حذف یا افزایش تعداد ایستگاههای نمونه‌برداری معرفی و اجرا گردید. نتایج نشان‌دهنده کارآیی رویکرد پیشنهادی در بهینه‌کردن تعداد و پراکندگی ایستگاه‌های پایش کمی و کیفی آب در سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب سطحی، تصمیم گیری چند معیاره، تئوری آنتروپی، سیستم پایش، کیفیت آب

مقدمه

سامانه‌های پایش منابع آب یکی از مهم‌ترین اجزاء سیستم‌های مدیریت کمی و کیفی این منابع بوده و صحت، دقت و کفایت آمار و اطلاعات هر سامانه نقشی تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری‌های صحیح برای هر منطقه مطالعاتی دارد. زیاد بودن هزینه‌های جمع‌آوری آمار و اطلاعات از یک طرف و لزوم کفایت آمار و اطلاعات استخراجی از طرف دیگر بهنگام‌سازی و طراحی بهینه سامانه‌های پایش منابع آب را بیش از پیش ضروری می‌سازد. از این رو تعیین تعداد و پراکنش مناسب ایستگاه‌های شبکه پایش و همچنین ارزیابی کفایت ایستگاه-های شبکه‌های موجود به منظور حذف ایستگاه غیرضروری و مازاد و در نتیجه آن کاهش هزینه‌های تولید آمار چالشی است که پرداختن به آن ضروری به نظر می‌رسد.

در سالیان گذشته از ابزارها و رویکردهای متعددی برای بهنگام-سازی پراکندگی ایستگاههای پایش منابع آب سطحی و یا زیرزمینی استفاده شده است که تئوری آنتروپی[۴] یکی از این ابزارهاست. آنتروپی اطلاعات[۵] وسیله‌ای برای سنجش میزان ارزش اطلاعات موجود، اطلاعات انتقالی و نیز بی‌نظمی بین اطلاعات موجود است. از آنجایی که در این تحقیق نیز از تئوری آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته[۶] در کنار دیگر ابزارها برای بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاههای پایش استفاده شده است لذا بررسی مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد آنتروپی در بهینه‌سازی سیستم‌های پایش منابع آب ضروری می‌باشد. حسین یک روش ساده براساس تئوری آنتروپی به منظور تخمین عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی منطقه ای در هر دو نوع ایستگاه‌های پایش و غیر پایش در یک حوضه آبخیز به کار برد. او

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: f_masoumi@uma.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.4.6

4- Entropy theory
5- Information Entropy
6- Discrete transinformation entropy theory

همچنین امکانات تبادل اطلاعات یک شبکه در شرایط آنتروپی را بیان کرده و یک روش طراحی شبکه پایش براساس آنتروپی پیشنهاد کرد (Husain 1989). هارمانچیوغلو و باران از مفهوم اطلاعات انتقال یافته و قابل انتقال در جهت دستیابی به بیشترین اطلاعات درباره میزان رواناب عبوری از یک ایستگاه پایش در طول رودخانه استفاده کردند. مطالعه آن‌ها شامل تحلیل‌های اطلاعات انتقال داده شده بین فرآیندهای رواناب–رواناب و بارش–رواناب در حوضه‌ای با سیستم‌های تخلیه گوناگون بود (Harmancioglu and Baran., 1989). کرستانوویچ و سینگ از تئوری آنتروپی مرزی[1] برای ترسیم نقشه‌های خطوط هم بارش و ارزیابی شبکه باران سنجی با توجه به نقشه‌های آنتروپی استفاده نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان‌دهنده قابلیت استفاده از تئوری آنتروپی در ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه باران‌سنجی می‌باشد (Krastanovic and Singh., 1992). هارمانچیوغلو و آلپاسالن ازتئوری آنتروپی جهت طراحی شبکه پایش کیفی آب استفاده کردند. آن‌ها معیارهای زمانی، مکانی وترکیب زمانی و مکانی را بر پایه تئوری آنتروپی توسعه دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان‌دهنده قابلیت‌هایی فراوان استفاده از تئوری آنتروپی در طراحی شبکه پایش کیفی بود (Harmancioglu and Alpaslan., 1992). اوزکول و همکاران با استفاده از تئوری آنتروپی پیوست هروشی برای ارزیابی سامانه پایش کیفی رودخانه ارائه دادند (Ozkul et al., 2000). معصومی و کراچیان (۱۳۸۷) با تدوین یک مدل بهینه‌سازی و با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته، به ارزیابی کارآیی سیستم پایش کیفی آب زیرزمینی دشت کرج پرداختند. همچنین معصومی و کراچیان در ادامه تحقیق قبلی در مقالات منتشر شده در سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ با ترکیب خوشه‌بندی میانگین C ها و الگوریتم ژنتیک با آنتروپی گسسته انتقال اطلاعات، شبکه پایش کیفی آبخوان تهران را برای دو پارامتر کیفی EC و SAR بهینه نمودند (Masoumi and Kerachian., 2008; 2010). موندال و سینگ با استفاده از نظریه آنتروپی گسسته ایستگاه‌های شبکه پایش آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه کوداگانار در جنوب هند را ارزیابی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد ایستگاه‌های شبکه پایش کافی بوده ولی جانمایی و چیدمان آنها مناسب نیست. بدین ترتیب از تعداد ۲۸ ایستگاه موجود، ۱۵ ایستگاه برای سنجش تراز آب زیرزمینی ضروری و حیاتی تشخیص داده شد (Mondal and Singh., 2012). معمارزاده و همکاران از آنتروپی گسسته به منظور ارزیابی شبکه پایش موجود در رودخانه استفاده کردند (Memarzadeh et al., 2013). محمودی میمند و همکاران (۱۳۹۳) از روش کریجینگ[2] و آنتروپی در محیط GIS به منظور بهینه‌سازی شبکه‌ی باران سنجی حوضه آبریز کرخه استفاده کردند. هدف آن مطالعه پیدا کردن نقاطی با کمینه‌ی آنتروپی انتقال اطلاعات و بیشینه واریانس خطا تعریف شده بود. بالطبع هرچقدر مقدار واریانس داده‌ها در یک ایستگاه بیش‌تر باشد پیش‌بینی وضعیت متغیرهای اندازه‌گیری شده در آن ایستگاه مشکل‌تر است و لزوم وجود ایستگاه بیش‌تر می‌شود. ایستگاههایی هم که آنتروپی انتقال اطلاعات کم‌تری دارند دارای همپوشانی اطلاعات کمتری با دیگر ایستگاهها هستند و حذف آنها به کاهش اطلاعات قابل استحصال موجود می‌انجامد. در مجموع انتخاب ایستگاهها در نقاطی که واریانس بیش‌تر و آنتروپی انتقال اطلاعات کم‌تری دارند باعث افزایش دقت و ارزش داده‌ها شده و خطا و عدم قطعیت‌های ناشی از آمار و اطلاعات را کاهش می‌دهد.

برومند و همکاران رویکرد جدیدی را در طراحی ایستگاه‌های پایش کیفیت مطرح کردند. آنها با بکارگیری توام آنالیز شبه واریانس[3] و آنتروپی انتقال اطلاعات، دامنه فاصله بهینه بین ایستگاه‌های پایش مواد مغذی را در خور سانفرانسیسکو بدست آوردند و با استفاده از دامنه مذکور تعداد و آرایش جدید ایستگاه‌ها را پیشنهاد کردند. در شبکه پایش پیشنهادی آنان، فاصله بین ایستگاه‌ها به نحوی تنظیم شده بود که ضمن جمع‌آوری اطلاعات مکفی از شبکه پایش، از تولید اطلاعات مازاد و اضافی که موجب اتلاف هزینه می‌شود، جلوگیری شود (Boroumand et al., 2018). لی و همکاران با استفاده از درون یابی چند متغیره و آنتروپی انتقال اطلاعات در بهینه سازی شبکه باران‌سنج مکونگ از سه روش مربع مسافت معکوس (MRB)، کریجینگ معمولی (OK)، شیب بعلاوه مربع معکوس (GIDS) استفاده کردند که روش GIDE بهتراز دو روش دیگر بود. آنها در تحقیقشان با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات تعداد باران‌سنج ها را از ۵۷ به ۴۰ کاهش دادند(Li et al., 2019). کماسی و گودرزی (۱۳۹۸) با استفاده از تغییرات آنتروپی سری زمانی بارش و تاثیر آن بر میزان تغذیه‌ی آبخوان، در شبکه‌ی پایش آب زیرزمینی دریافتند که از میان ۲۹ ایستگاه، مقدار آنتروپی سری زمانی ۱۱ ایستگاه با سری بارش مطابقت دارد.

آنتروپی تنها ابزار مورد استفاده محققان جهت بهینه‌سازی شبکه-های پایش منابع آب سطحی و زیرزمینی نبوده است. میرزایی ندوشن و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی، روشی برای طراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II[4]) ارائه دادند. آنها برای بهینه‌سازی موقعیت چاه-های مشاهداتی دو سناریوی: ۱) انتخاب چاه‌های بهینه از بین چاه‌های مشاهداتی موجود در منطقه مطالعاتی و ۲) افزودن چاه‌های پایش بهینه به مجموعه چاه‌های مشاهداتی موجود در منطقه مطالعاتی در

1- Marginal Entropy
2- Kriging
3- Semivariance
4- Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II

نظر گرفتند. همچنین به‌منظور تهیه بانک اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی وضعیت آبخوان، از درون‌یابی کریجینگ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که به کمک روش پیشنهادی می‌توان در یک شبکه پایش موجود با دقت قابل قبول تعدادی از چاه‌های مشاهداتی اضافی را حذف کرد یا در صورت کمبود چاه در شبکه موجود، تعدادی چاه به شبکه اضافه نمود. جیانگ و همکاران در یک مقاله مروری به بررسی تکنیک‌ها، ابزارها و روش‌های به کارگرفته شده در پایش منابع آب سطحی پرداختند. در این تحقیق ضمن معرفی ضعف‌ها و قوت‌های تحقیقات قبلی انجام شده به بیان پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی نیز پرداخته شده است (Jiang et al., 2020) . در یکی از آخرین تحقیقات انجام شده، جنت‌رستمی و صلاحی (۱۳۹۹) به طراحی سیستم پایش کیفیت آب برای متغیر کیفی شوری پرداختند. آن‌ها در این تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک، شبکه بهینه را به نحوی طراحی کردند که داده‌های کیفی آب زیرزمینی برای مناطق آلوده را فراهم کند.

مروری بر تحقیقات گذشته انجام شده توسط محققان مختلف نشان می‌دهد که طراحی و مکان‌یابی سیستم پایش کیفی در سطح حوضه آبریز و سیستم‌های چند رودخانه‌ای به گونه‌ای که اولاً همزمان تعداد زیادی از متغیرهای کیفی موجود را لحاظ نماید، ثانیاً در یک سیستم چند رودخانه‌ای باشد و ثالثاً ارزش هر یک از متغیرهای کیفی مورد بررسی به نحو صحیح و علمی و با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان و با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در برآورد مکان ایستگاه‌های پایش مدنظر قرار بگیرد در هیچ تحقیقی نیامده است. از این رو مقاله حاضر تلاشی است در جهت کاهش ضعف‌ها و نقصان‌های قبلی. در مقاله حاضر مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفی چند متغیره چند رودخانه‌ای با ترکیب تئوری آنتروپی گسسته و روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی در دو حالت قطعی و فازی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

همانطور که گفته شد در این تحقیق از ترکیب تئوری آنتروپی و شاخص‌های آماری و نیز تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت بهینه‌سازی مکان ایستگاههای پایش(نمونه‌برداری) منابع آب سطحی استفاده می‌شود. در شکل (۱) روند کلی این فرایند نشان داده شده است.

در ادامه هر کدام از ابزارهای مورد استفاده و نیز روند کلی تحقیق بیش‌تر توضیح داده می‌شود.

آنتروپی اطلاعات

تئوری آنتروپی اطلاعات توسط شانون در سال ۱۹۴۸ مطرح و پایه‌گذاری شد[1]. طبق نظریه اطلاعات شانون وقایع با احتمال وقوع بالا اطلاعات کمتری در اختیار می‌گذارند و بالعکس (معصومی و کراچیان ۱۳۸۷) در یک تقسیم‌بندی کلی، تئوری آنتروپی را می‌توان به دو دسته آنتروپی گسسته و پیوسته تقسیم‌بندی نمود. در آنتروپی پیوسته، فرض بر این است که توزیع احتمالاتی متغیرها از توزیع نرمال یا لوگ نرمال پیروی می‌کند. درحالی که در حالت گسسته با توجه به بازه تغییرات مقادیر متغیرها، اطلاعات گسسته‌سازی شده و جداول توزیع متغیرها تهیه می‌شوند. سپس با استفاده از آن جداول، مقادیر احتمال رخداد در هر حالت محاسبه می‌شود. از آنجایی که در این تحقیق بسیاری از متغیرهای مورد بررسی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری از توزیع‌های نرمال یا لوگ‌نرمال پیروی نمی‌کنند، لذا در این تحقیق از تئوری آنتروپی در حالت گسسته استفاده می‌شود. در ادامه روابط مربوط به حالت‌های مختلف آنتروپی گسسته که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است آورده شده است:

۱-آنتروپی مرزی:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{\infty} p(x_i) \ln p(x_i) \qquad (۱)$$

۲-آنتروپی انتقال اطلاعات:

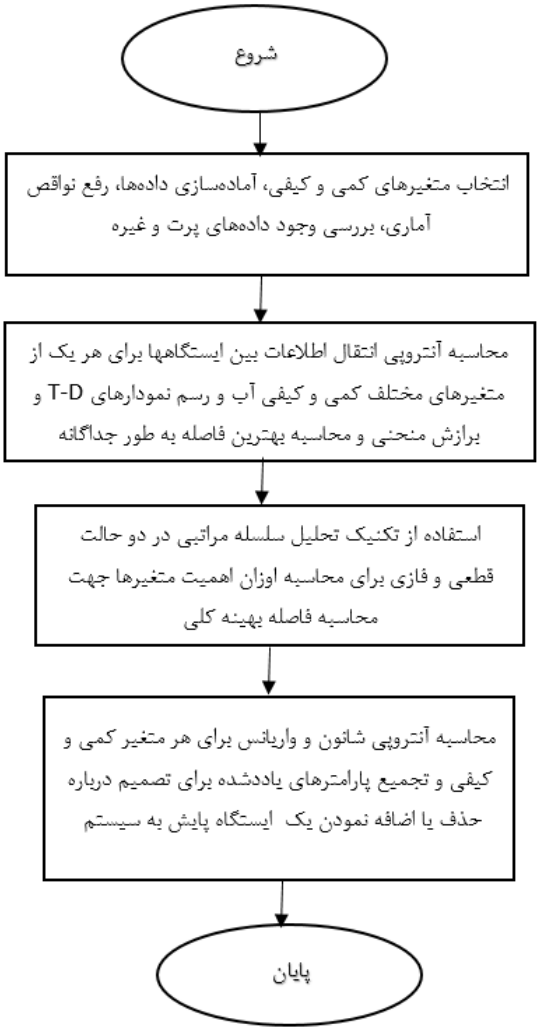
$$T(X,Y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i,y_j) \ln \left[\frac{p(x_i,y_j)}{p(x_i)p(y_j)}\right] \qquad (۲)$$

در روابط بالا، $H(X)$ آنتروپی مرزی برای داده‌های ایستگاه X ، و $T(X,Y)$ آنتروپی اطلاعات انتقالی بین داده‌های دو ایستگاه X و Y می‌باشند. همچنین در روابط بالا، $p(x_i)$ توزیع آماری ایستگاه x در حالت گسسته، $p(x_i,y_j)$ توزیع آماری مشترک دو ایستگاه x و y در حالت گسسته می‌باشد (معصومی و کراچیان ۱۳۸۷).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

همانطور که بیان شد در این تحقیق از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره جهت وزن‌دهی استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP[2]) می‌باشد که در تحقیق حاضر از این روش در دو حالت ساده و فازی استفاده شده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی در سطح اول هدف طرح، در سطح دوم، معیارها یا عوامل و در سطح سوم، گزینه‌ها قرار می‌گیرند. در این روش معیارها به عنوان فاکتورهای تصمیم‌گیری انتخاب طرح بهینه، مدنظر قرار می‌گیرند. اصول کلی روش AHP بر اساس مقایسه زوجی پارامترها که درایه‌های آن بیان کننده میزان اهمیت نسبی معیارها است می‌باشد.

1- Shanon Entropy
2- Analytical Hierarchy process



شکل ۱- مراحل کلی روند پیشنهادی برای بهینه‌سازی مکان ایستگاههای پایش منابع آب سطحی

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه تعیین و در صورت قابل قبول بودن قضاوت‌ها، وزن هر کدام از معیارها به دست می‌آید. وزن‌ها می‌تواند به صورت فردی محاسبه یا تلفیقی از قضاوت کارشناسان باشد که در این حالت جهت ترکیب نظرات مختلف کارشناسان در قضاوتی خاص، جواب‌ها با استفاده از میانگین هندسی تبدیل به یک جواب می‌شوند(Saaty., 1980).

لازم به ذکر است که در این تحقیق از نرم‌افزار Expert Choice به منظور تشکیل ماتریس مقایسه و محاسبه مقادیر نرخ ناسازگاری و اوزان نسبی و نهایی معیارها استفاده شده است. از امکانات این نرم-افزار می‌توان به ایجاد مدل سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی به صورت عبارات کلامی، انجام مقایسات زوجی با عبارات عددی و گرافیکی و وارد کردن مستقیم اوزان بدون نیاز به انجام مقایسات زوجی اشاره کرد. همچنین از جمله کاربردهای دیگر نرم‌افزار یادشده انجام تحلیل حساسیت در نرم افزار شامل تحلیل حساسیت عملکردی، تحلیل حساسیت پویا، تحلیل حساسیت گرادیانی، تحلیل حساسیت سربه سر و تحلیل حساسیت دو بعدی می‌باشد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

همانطور که در قسمت قبلی بیان شد، در این تحقیق برای وزن-دهی متغیرها از روش AHP در حالت فازی نیز استفاده شده است. تئوری فازی توسط پروفسور لطفی زاده، استاد دانشگاه برکلی، در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای به نام مجموعه‌های فازی معرفی شد (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۹۴). در این تحقیق در روش AHP فازی از اعداد فازی مثلثی برای فازی کردن مقادیر صریح ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است. یک ماتریس مقایسه زوجی مانند A که مقادیر آن از ۱/۹ تا ۹ متغیر است، به صورت زیر است:

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

با استفاده از اعداد فازی مثلثی f=(l,m,u) ماتریسPCM دارای مقادیر صریحA مطابق با رابطه(۴) تبدیل به مقادیر فازی می‌شود.

$$\mu\left(\frac{x}{M}\right)=\begin{cases} 1 & m2\geq m1 \\ 0 & l1\geq u2 \\ \frac{l1-u2}{(m2-u2)-(m1-l1)} \end{cases} \quad (۴)$$

مقادیرl حد پایین و u حد بالا محدوده عدم قطعیت ارجحیت‌های ارائه شده توسط تصمیم‌گیرندگان و کارشناسان را نشان می‌دهند. با استفاده از جدول ماتریس PCM فازی تشکیل می‌شود:

$$\overline{A}=\begin{bmatrix} (a111a11ma11u)(\ a121\ a12m\ a\ 12u\ ) & \dots & (a\ 1n1\ a\ 1nm\ a\ 1nu) \\ (a211a21ma21u)(a221\ a22m\ a\ 22u\ ) & \dots & (a\ 2n1\ a\ 2nm\ a\ 2nu) \\ & \vdots & \\ & \vdots & \\ (am11am1mam1u) & \dots & \dots\ (a\ mn1\ a\ mnm\ a\ mnu) \end{bmatrix} \quad (۵)$$

با استفاده از تحلیل توسعه فازی بر روی ماتریس بالا، ماتریس تصمیم فازی به دست می‌آید. برای به دست آوردن ماتریس تصمیم فازی (x) و وزن فازی (w) با استفاده از تحلیل توسعه فازی، فرمول زیر به کار می‌رود:

$$X_i or\ w_j=\frac{\sum_{j=1}^{k} a_j}{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} u_{lj}} \quad (۶)$$

$$X_i=\begin{bmatrix} x_{111} & \dots & x_{11n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i11} & \dots & x_{ijun} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

ماتریس وزن نیز به صورت زیر بیان می‌شود که n تعداد معیارها است.

$$w_j=[(w_{11}\quad w_{1m}\quad w_{1u})\dots.(w_{n1}\quad w_{nm}\quad w_{nu})] \quad (۸)$$

با ضرب ماتریس تصمیم‌گیری در ماتریس وزن، ماتریس تصمیم-گیری وزن‌دار بدست می‌آید که مطابق رابطه زیر است:

$$P=X_i*W=\begin{bmatrix} (W1x_{11} & \dots & Wmx_{1n}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ (Wmx_{i1l} & \dots & Wmx_{ijn}) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1u} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ P_{il} & \dots & P_{iu} \end{bmatrix} \quad (۹)$$

در ماتریس فوق، پارامترهایl و r به ترتیب بیان کننده مقادیر چپ و راست مجموعه بازه می‌باشند. در مرحله بعد با به کارگیری شاخص بهینه (λ)، ماتریس مقادیر صریح بدست می‌آید. شاخص بهینه در مجموعه بازه مقادیر v، مطابق با زیر اعمال شده و منجر به تولید ماتریس Cλ با مقادیر صریح می‌شود:

$$C_\lambda=\lambda*P_{1\alpha}+(1-\lambda)*P_{1\alpha} \quad (۱۰)$$

$$C_\lambda=\begin{bmatrix} c_{1\lambda} \\ \vdots \\ c_i \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

مقادیر شاخص بهینه (λ) در بازه صفر تا یک متغیر بوده، که در بدبینانه‌ترین حالت مقدارλ برابر صفر و در خوشبینانه‌ترین دیدگاه مقدار λ برابر یک در نظر گرفته می‌شود. در انتها با توجه به اینکه مقادیر ماتریس مقایسه دارای مقیاس یکسانی نیستند، بنابراین مقادیر صریح به دست آمده با استفاده از رابطه (۱۲) نرمال می‌شوند. لازم به ذکر است که برای مقایسه معیارها نیاز است که همگی دارای مقیاس یکسانی باشند.

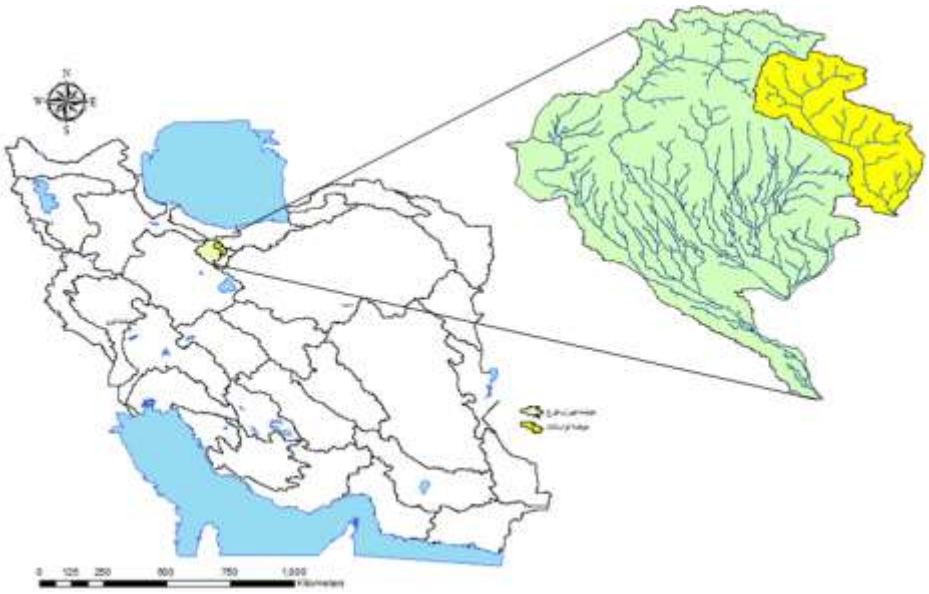
$$C_{i\lambda}=\frac{c_{i\lambda}}{\sum c_{i\lambda}} \quad (۱۲)$$

مطالعه موردی

همان‌طور که گفته شد تحقیق حاضر بر روی دو حوضه لواسانات و تهران–کرج که در همسایگی هم هستند، انجام شده است که در ادامه توضیح داده می‌شوند. این دو حوضه که از نظر عوامل جوی و زمین‌شناسی و نیز عوامل مصنوعی تولید آلودگی تقریباً شرایط مشابهی دارند، هر دو جزء زیرحوضه حوضه بزرگ مرکزی محسوب می‌شوند.

حوضه لواسانات: حوضه‌ی آبریز لواسانات، با مساحتی حدود ۹۸۳ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۱۶۷۱۲ کیلومتر یکی از زیر حوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی'۴۱ °۳۵ تا'۵ °۳۶ عرض شمالی و'۲۰ °۵۱ تا '۵۸ °۵۱ طول شرقی واقع گردیده است (شکل ۲). این حوضه در محدود شهرستان شمیرانات در شمال استان تهران قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۴۴ متر می‌باشد. این شهرستان بدلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی شمال استان تهران و نیز ضلع جنوبی البرز مرکزی دارای آب و هوای نیمه مرطوب و مرطوب با زمستان‌های طولانی و سرد می‌باشد، بطوری‌که متوسط درجه حرارت در سردترین ماه سال، تا پایین‌تر از منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (همتی و حجازی ۱۳۹۶). در این تحقیق از بین ایستگاه‌های حوضه لواسانات ایستگاه‌های لتیان، علی آباد لوارک، نارون، نجارکلا و رودک را که داده‌های آماری از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ به مدت ۲۱ سال آمار داشتند مورد بررسی قرار گرفت.

حوضه تهران-کرج: مساحت این حوضه در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی واقع شده ۵۰۸۷ کیلومترمربع بوده و در طول جغرافیایی از "۲۸ '۴۴ °۵۰ تا "۸ '۴۰ °۵۱ و عرض جغرافیایی از "۳۲ '۶ °۳۵ تا "۲۳ '۱۰ °۳۶ واقع شده است. بیشترین ارتفاع حوضه از سطح دریا به بیش از ۴۰۰۰ متر در شمال آن می‌باشد و کمترین ارتفاع ۱۳۲۰ متر در محدوده پایین سد می‌باشد، ارتفاع متوسط حوضه ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است و حدود ۶۱ درصد مساحت آن در ارتفاعی بیش از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد (ری آب ۱۳۷۱). این حوضه آبریز تامین‌کننده بخشی از نیازهای آبی شهرها تهران و کرج و نیز آبیاری ۲۱۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی دشت کرج و شهریار است (جباریان ۱۳۷۵). ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه تهران–کرج شامل: سیرا کرج، سیرا کلوان، پل خواب مورود، پل خواب نشترود، بیلقان و سولقان می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت حوضه لواسانات و حوضه تهران-کرج

در جدول شماره ۱ نام ایستگاه‌ها همراه با موقعیت آنها در دستگاه UTM آورده شده است.

جدول۱- موقعیت ایستگاه‌های پایش مورد مطالعه

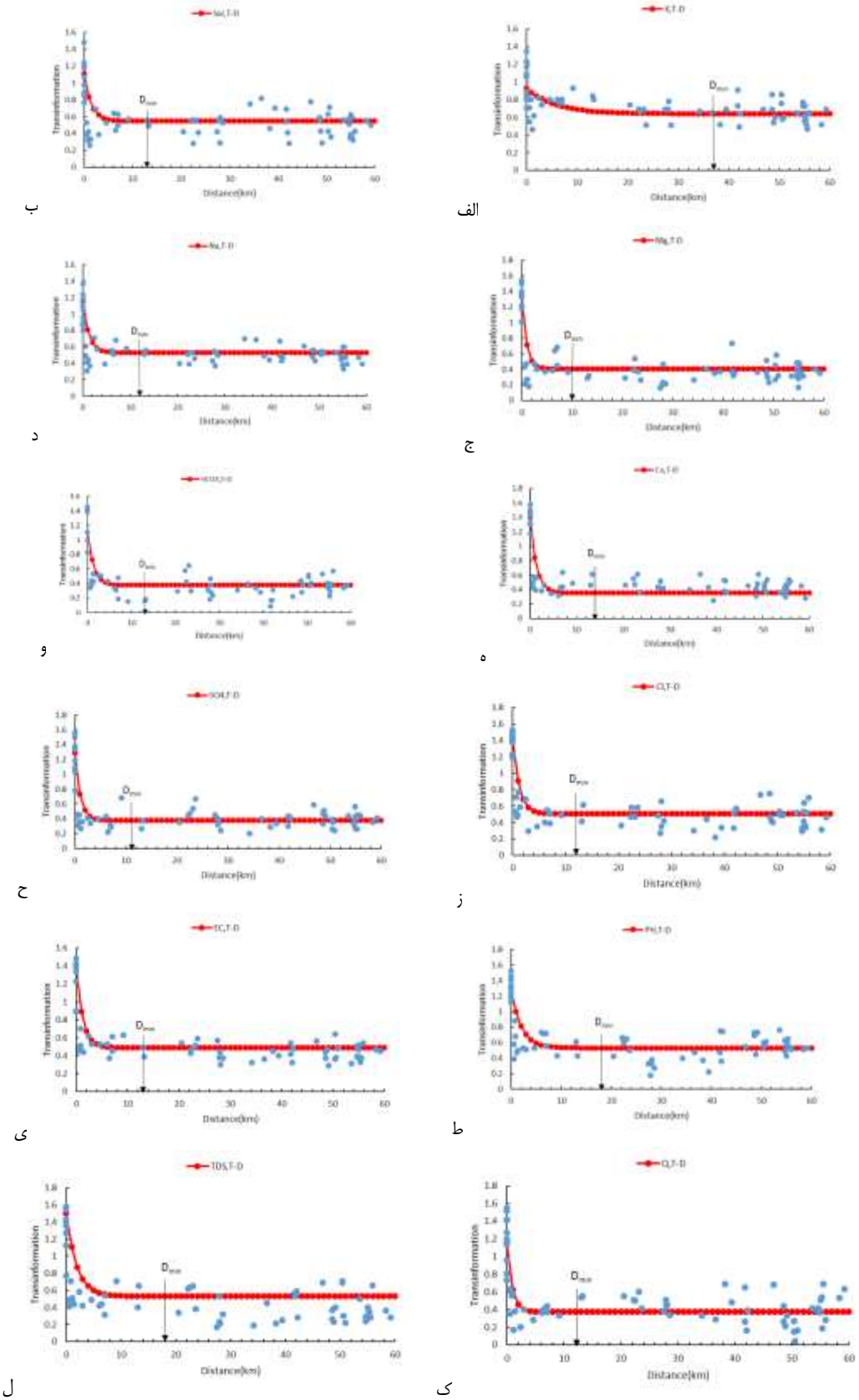
نام ایستگاه	بیلقان	سیراکرج	لتیان	پل خواب نشترود	پل خواب مورود	نجارکلا	سولقان	سیرا کلوان	لوارک	رودک	نارون
طول جغرافیایی	۵۰۳۹۳۸	۵۱۴۰۱۶	۵۶۱۹۳۷	۵۱۳۲۶۵	۵۱۳۶۴۱	۵۵۷۵۳۳	۵۲۳۶۴۷	۵۱۴۰۱۵	۵۶۳۰۲۲	۵۵۰۷۴۸	۵۵۹۸۶۱
عرض جغرافیایی	۳۹۶۵۵۵۶	۳۹۸۶۳۶۳	۳۹۵۹۲۷۱	۳۹۸۶۰۲۳	۳۹۸۵۵۶۱	۳۹۶۴۷۲۶	۳۹۵۹۹۸۰	۳۹۸۶۹۱۷	۳۹۶۲۰۸۳	۳۹۶۶۴۷۱	۳۹۶۵۴۵۰

نتایج و بحث

بعد از اخذ آمار و اطلاعات از شرکت مدیریت منابع آب ایران، داده‌ها از نظر داشتن روند و نیز پرت بودن مورد بررسی و تصحیح و تدقیق قرار گرفتند و سپس با استفاده از تئوری آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته برای ایستگاه‌های نارون، رودک، لوارک، سیراکلوان، سولقان، نجارکلا، پل خواب مورود، پل خواب نشترود، لتیان، سیراکرج و بیلقان و مقادیر پارامترهای مورد بررسی که شامل: نسبت جذب سدیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، کلر، بی‌کربنات، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و دبی بودند مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر انتقال اطلاعات بین ایستگاه‌ها محاسبه شدند. در ادامه نمودارهای توزیع مقادیر انتقال اطلاعات برحسب فاصله برای هر پارامتر کیفی ترسیم و به هر کدام یک منحنی نمایی برازش داده شد و مناسب‌ترین فاصله از روی نمودار استخراج گردید. نمودارهای T-D برای همه پارامترهای مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است. مقادیر مربوط به فاصله بهینه بین ایستگاه‌ها برای هریک از متغیرهای کمی و کیفی مورد مطالعه که از نمودارهای شکل (۳) استخراج گشته‌اند در جدول شماره ۲ زیر آورده شده است.

جدول ۲- مقادیر حداقل فاصله بهینه بین ایستگاه‌ها برای متغیرهای کمی و کیفی مورد مطالعه

متغیرهای مورد بررسی	دبی	SAR	K	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO3	PH	EC	TDS
فاصله برحسب کیلومتر	۱۲	۱۳	۳۶	۱۲	۱۰	۱۴	۱۱	۱۲	۱۳	۱۸	۱۳	۱۸



الف ب ج د ه و ز ح ط ی ک ل

شکل ۳- مقادیر انتقال اطلاعات برحسب فاصله برای پارامترهای کیفی مورد مطالعه

همانطور که گفته شد اهمیت هر یک از متغیرهای کمی و کیفی باید نسبت به هم در محاسبه بهنگام‌سازی مکان ایستگاههای پایش بررسی شود. در جدول ۳ با توجه به کسب نظر از خبرگان و کارشناسان و نیز نتیجه نرم‌افزارExpert Choice وزن هر یک از متغیرهای کمی و کیفی مورد مطالعه محاسبه و آورده شده است. بدین‌ترتیب فاصله بهینه نهایی به میزان ۱۴/۰۹۸ کیلومتر بدست می-آید. همچنین در ادامه با استفاده از روش AHP فازی نیز وزن متغیرهای کمی و کیفی مورد مطالعه محاسبه‌شده که نتایج آن نیز در جدول ۳ آمده است.

نرخ ناسازگاری کران میانی برای کاربری شرب ۰/۰۳ و کران بالا و پایین ۰/۰۸ می‌باشد. همچنین برای کاربری کشاورزی نرخ ناسازگاری کران میانی۰/۰۲و کران بالا و پایین ۰/۰۷ می‌باشد که همگی کمتر از ۰/۱ بوده و در کل معیارها و گزینه‌ها سازگارند. فاصله بهینه با توجه به وزن بدست آمده از روش AHP فازی به میزان ۱۳/۸۳ کیلومتر بدست می‌آید. جمع‌بندی کلی از فاصله بهینه مقدار ۱۳/۹۶ کیلومتر می‌باشد. برای تعیین اهمیت هر ایستگاه نیز از وزن آنتروپی مرزی(شانون) و وزن واریانس استفاده شده است. در جدول ۴ وزن آنتروپی شانون و وزن واریانس نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر وزن محاسبه‌شده برای هر کدام از متغیرهای کمی و کیفی مورد مطالعه با روش AHP و AHP فازی

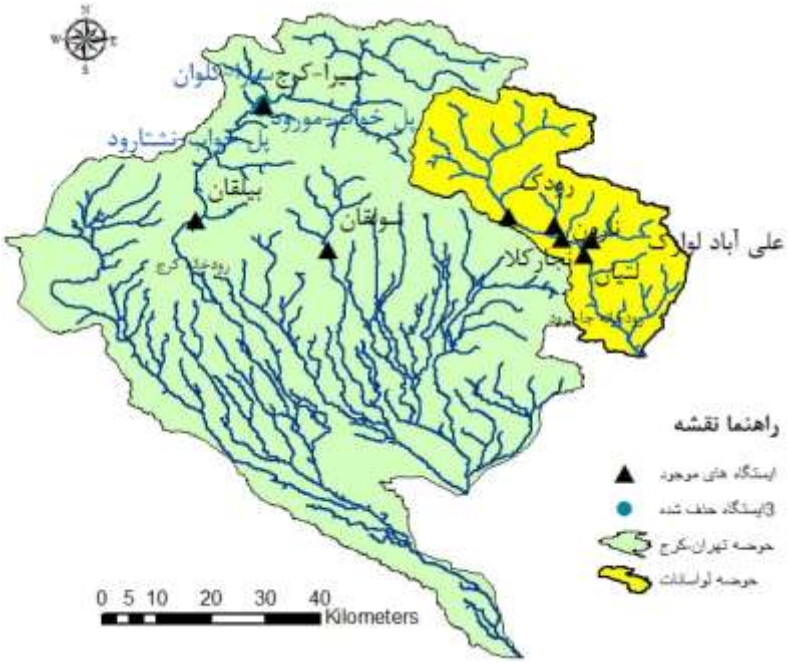
متغیرهای مورد بررسی	دبی	EC	Ca	TDS	HCO3	SAR	Cl	SO4	PH	Mg	Na	K
وزن مستخرج با AHP	۰/۲۱۹	۰/۱۴۰	۰/۱۲۲	۰/۱۰۹	۰/۰۷۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۶	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹
وزن مستخرج با AHP فازی	۰/۲۳۳	۰/۱۱۷	۰/۱۱۹	۰/۱۱۶	۰/۰۷۷	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۰۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۴۱	۰/۰۳۸	۰/۰۱۸

جدول ٤- وزن اهمیت هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	وزن آنتروپی شانون	وزن واریانس
نارون	۰/۶۶۱	۱۳۸۵
رودک	۰/۷۴۴	۳۳۱
علی آباد لوارک	۰/۸۰۴	۵۷۱۲
سیراکلوان	۰/۷۰۱	۲۰۹
سولقان	۰/۵۹۸	۱۴۸۷
نجارکلا	۰/۷۵۶	۵۱۲
پل خواب مورود	۰/۶۵۴	۲۳۹
پل خواب نشترود	۰/۷۵۱	۱۸۴
لتیان	۰/۶۸۷	۱۵۰۵
سیراکرج	۰/۸۰۴	۲۵۰
بیلقان	۰/۸۰۸	۲۲۵

اگر فاصله بین دو ایستگاه همجوار از فاصله بهینه کمتر باشد می‌توان پیشنهاد حذف ایستگاه دارای آنتروپی شانون کمتر را داد. فاصله ایستگاه‌های سیراکرج، سیراکلوان، پل خواب مورود و پل خواب نشترود از یکدیگر و همین‌طور ایستگاه‌های نارون و نجارکلا، علی آباد لوارک و لتیان از یکدیگر کم می‌باشد، بنابراین می‌توان پیشنهاد تعدادی از این ایستگاهها را داد و بین ایستگاه‌های بیلقان تا سولقان، سولقان تا رودک، پل خواب مورود تا بیلقان که فاصله زیادتری از فاصله بهینه دارند می‌توان پیشنهاد اضافه کردن ایستگاه جدید را داد. تعیین تعداد دقیق ایستگاه‌هایی که می‌توان به شبکه پایش حذف یا اضافه کرد، به محدودیت بودجه و امکانات کارفرما ارتباط دارد. بنابراین اگر کارفرما بخواهد یک تا سه ایستگاه را حذف کند به ترتیب ایستگاه‌های: پل خواب مورود، پل خواب نشترود، سیرا کلوان جهت حذف پیشنهاد می‌گردد. در شکل ۴ نمایش ایستگاه‌ها بعد از حذف سه ایستگاه پیشنهادی نشان داده شده است.

اگر بنابر خواسته کارفرما و با توجه به بودجه و امکانات قرار باشد سه ایستگاه به شبکه پایش اضافه شود پیشنهاد می‌شود به ترتیب: یک ایستگاه بین سولقان تا رودک با در نظر گرفتن فاصله بهینه، یک ایستگاه بین پل خواب مورود تا بیلقان و یک ایستگاه بین بیلقان تا سولقان اضافه گردد. در خصوص فاصله ایستگاه بیلقان تا سولقان که بیشتر از فاصله بهینه است برای از دست ندادن اطلاعات پایش بین این دو ایستگاه پیشنهاد تاسیس یک ایستگاه داده می‌شود که در شکل ۵ محل قرارگیری ایستگاه‌های به همراه سه ایستگاه پیشنهادی مشخص شده است.



شکل٤- نمایش ایستگاه‌ها بعد از حذف ایستگاه‌های پیشنهادی

شکل ٥- محل قرارگیری ایستگاههای پیشنهادی

نکته‌ای که در اینجا ذکر آن خالی از لطف نیست این است که با استفاده از تئوری آنتروپی و دیگر ابزارهای سنجش محتوای اطلاعات، به نوعی تاثیر همه عوامل آلاینده طبیعی و مصنوعی در قالب آمار و اطلاعات مورد استفاده در آنالیز و تصمیم‌گیری گنجانده و لحاظ می‌شود که این امر یک نقطه قوت برای این ابزارها می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه دو زیر حوضه لواسانات و تهران-کرج از زیرحوضه‌های دریاچه نمک برای ۱۱ ایستگاه که ۵ ایستگاه در حوضه لواسانات شامل ایستگاه‌های رودک، نجارکلا، نارون، علی آباد لوارک، لتیان و ۶ ایستگاه در حوضه تهران-کرج شامل ایستگاه‌های سیراکلوان، سیراکرج، پل خواب نشترود، پل خواب مورود، بیلقان و

سولقان، می‌باشد از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ در ۲۱ سال آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از تئوری آنتروپی انتقال اطلاعات فواصل بهینه برای هریک از پارامترهای مورد بررسیSAR ، K، Na، Mg، Ca، SO_4، Cl، HCO_3، PH، EC، TDS و Q محاسبه شد. از آنجایی که برای اندازه‌گیری هر پارامتر یک ایستگاه جداگانه در نظر گرفته نمی‌شود و در یک ایستگاه پایش همه متغیرهای کیفی و کمی پایش می‌شوند لذا مکان‌یابی ایستگاه نیازمند تعیین هر یک از متغیرهاست. بدین ترتیب وزن متغیرها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) شد. از روش AHP فازی هم به همین ترتیب وزن متغیرهای مورد اشاره تعیین گردید. فاصله‌ی بهینه از روش AHP ۱۴/۱کیلومتر و از روش AHP فازی ۱۳/۸۳ کیلومتر بدست آمد که جمع‌بندی کلی از فاصله بهینه مقدار ۱۳/۹۶ کیلومتر می‌باشد. به این معنا که اگر فاصله‌ی بین ایستگاه‌های پایش از ۱۳/۹۶ کیلومتر کمتر باشد اطلاعات اضافی تولید می‌گردد و اگر فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها بیش از ۱۳/۹۶ کیلومتر باشد امکان دارد اطلاعات مورد نیاز بدست نیاید. در ادامه اهمیت ایستگاه‌ها برای حفظ یا حذف براساس وزن آنتروپی شانون و واریانس تعیین شد. به این صورت که هر ایستگاه که وزن آنتروپی شانون و واریانس بیشتری دارد، برای ابقاء اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا هر چه مقدار آنتروپی شانون و واریانس بیشتر باشد، بی‌نظمی داده‌ها در آن ایستگاه بیشتر و اطلاعات مهم‌تر و غیرقابل‌پیش‌بینی‌تری دارد و برای از دست ندادن این اطلاعات باید این ایستگاه را حفظ کرد. در یک جمع‌بندی کلی رویکرد پیشنهادی توانست به‌طور کارا و مناسب در مکان‌یابی بهینه سیستم پایش سامانه‌های رودخانه‌ای مرود استفاده قرار گیرد. در ادامه تحقیق پیشنهاد می‌شود که کارآیی تئوری آنتروپی در ترکیب با دیگر ابزارها در تعیین تواتر زمانی نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گیرد.

قدردانی و سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی" مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب رودخانه و منابع آب سطحی" می‌باشد که به این وسیله از کارفرمای طرح یعنی شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی برای حمایت‌های مادی و معنوی قدردانی می‌شود.

منابع

جباریان امیری، ب.، ۱۳۷۵. ارزیابی آثار زیست‌محیطی سد امیر کبیر به روش مدل تخریب.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران.

جنت رستمی، س. و صلاحی، ع. ۱۳۹۹. طراحی شبکه پایش کیفی آبهای زیرزمینی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: آبخوان دشت گیلان). فصلنامه عبوم محیطی. ۱۸(۲). ۴۰-۱۹ .

ری آب ۱۳۷۱. اقلیم‌شناسی و آب‌های سطحی، طرح تامین آب مشروب شهر تهران، وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای تهران، گزارش مرحله اول جلد دوم.

فرجی سبکبار، ح.، محمودی میمند، ه.، نظیف، س.و عباسپور، ر.ع. ۱۳۹۳. توسعه‌ی بهینه‌ی شبکه‌ی باران‌سنجی با استفاده از روش کریجینگ و آنتروپی در محیط GIS. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۶(۴) ، ۱۰۱-۱۱۳.

کماسی، م.، گودرزی، ح.، ۱۳۹۸. بهره‌گیری از آنتروپی و کریجینگ بیزین تجربی در بهینه‌سازی و درون‌یابی مکانی تراز آب در شبکه‌ی پایش آب‌های زیرزمینی. هیدروژئومورفولوژی. ۱۹(۵) . ۱۴۵-۱۶۲.

کوره‌پزان دزفولی، ا. ۱۳۹۴. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدلسازی مسائل مهندسی آب. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ سوم

معصومی، ف. و کراچیان، ر.، ۱۳۸۷. بهینه‌سازی مکانیابی ایستگاههای پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با کاربرد تئوری آنتروپی گسسته. آب و فاضلاب. ۶۵. ۲-۱۲.

میرزائی ندوشن، فهیمه. بزرگ حداد، امید. خیاط خلقی، مجید. گزارش فنی: بهینه‌سازی و توسعه شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت اشتهارد .*مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۱(۱). ۲۷۳-۲۸۲.

همتی، ف.، حجازی، س. ا. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز لواسانات. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۴۵(۱۷) ش.ص. ۷-۲۴.

Boroumand, A., Rajaee, T. and Masoumi, F. 2018. Semivariance analysis and transinformation entropy for optimal redesigning of nutrients monitoring network in San Francisco bay. Marine Pollution Bulletin. 129: 689-694.

Harmancioglu N. B. and Baran T. 1989 .Effects of recharge systems on hydrologic information transfer along rivers. In Proceedings of the Third Scientific Assembly –New Directions for Surface Water Modelling, IAHS Publications. 181: 223.

Harmancioglu, N. B., Alpaslan, N., 1992. Water quality monitoring network design: a problem of multi-objective decision making. AWRA Water Resources Bulletin. 28 (1): 179-192.

Husain, T., (1989). Hydrologic uncertainty measure and network design. Water Resources Bulletin. 25: 527-534.

Jiang, J., Tang, S., Han, D., Fu, G., Solomatine, D. and Zheng, Y. 2020. A comprehensive review on

case study. Environmental monitoring and assessment. 161(4): 247-257.

Memarzadeh, M., Mahjouri, N., Kerachian, R., 2013. Evaluating sampling locations in river water monitoring networks: application of dynamic factor analysis and discrete entropy theory. Environmental Earth Sciences. 70: 2577-2585.

Mondal, N. and Singh, V. 2012. Evaluation of groundwater monitoring network of Kodaganar River basin from Southern India using entropy. Environmental Earth Sciences. 66 (4): 1183-1193.

Ozkul, S., Minsker, B., and Singh, V. P., 2000. Entropy-based assessment of water quality monitoring networks, Journal of Hydrology, ASCE. 5: 90–100.

Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York, McGraw-Hill International.

the design and optimization of surface water quality monitoring networks. Environmental Modelling & Software. 132. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104792.

Krastanovic, P. F. and Singh, V. P. 1992. Evaluation of rainfall networks using entropy. Water Resource Management. 6: 295-314.

Li, S., Heng, S., Siev, S., Yoshimura, C., Saavedra, O. and Ly, S. 2019. Multivariate interpolation and information entropy for optimizing rain gauge network in the Mekong River Basin. Hydrological Sciences Journal. 64(12), 1439-1452.

Masoumi, F. and Kerachian, R. 2008. Assessment of the groundwater salinity monitoring network of the Tehran region: application of the discrete entropy theory. Water science and technology. 58(4): 765-771.

Masoumi, F. and Kerachian, R., 2010. Optimal redesign of groundwater quality monitoring networks: a

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 295-306

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۳۰۶-۲۹۵

Optimal Location of Water Quality Monitoring Stations in River Systems by Discrete Transinformation Entropy

T. Rajaee[1], F. Masoumi*[2], F. S. Ahmadi Siavoshani[3]
Recived: Oct.24, 2020 Accepted: Feb.02, 2021

Abstract

In this study, optimization of location of sampling stations for water quality of river system using information entropy theory in Lavasanat and Tehran-Karaj catchments with 11 sampling stations for 12 water quality and quantity variables for a statistical period of 21 years has been considered. First, using the discrete transinformation entropy theory, a T-D diagram was drawn for each variable, which indicates the distance between stations and transinformation. Then, using analytical hierarchical process (AHP) method and according to water consumption for agriculture and drinking, the weight of all variables was determined using Expert Choice software. The optimal distance between monitoring stations was obtained based on the total weight of each qualitative variable at its optimal distance of 14.1 km. Also, the optimal distance was calculated by fuzzy AHP method, which was 13.83 km. Then different scenarios were performed to eliminate or increase the number of sampling stations. The results show the efficiency of discrete entropy theory in combination with multi-criteria decision–making method in optimizing the number and distribution of water quality monitoring stations in river systems.

Keywords: Entropy theory, Monitoring system, Multi criteria decision, Surface water, Water quality

1- Assocate Professor, Department. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran
2- Assistant Professor, Department. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3-MSc Graduate, Department. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran
(*- Corresponding Author Email: f_masoumi@uma.ac.ir)