

## تحلیل منطقه‌ای و ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه آبخیز جراحی - زهره با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته

علمی پژوهشی

سید مرتضی طباطبائی<sup>۱</sup>، سید امیر شمس نیا<sup>۲</sup>، علیرضا والی پور<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

صفحات: ۴۴-۶۰

### چکیده

ارزیابی کیفیت اطلاعات ثبت شده مربوط به بارش و آبدهی ایستگاه‌ها نقش مهمی در بهبود کارایی و اصلاح نواقص آنها دارد. به همین علت جهت ایجاد و توسعه شبکه‌هایی مناسب و بهینه، شبکه‌ها باید مرتباً و در بازه‌های زمانی منظم براساس نیا-زهای پیش‌رو مورد ارزیابی و پایش قرار گیرند. در پژوهش حاضر با استفاده از تئوری آنتروپی، ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه آبخیز جراحی - زهره مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن گروهی از شاخص‌های آنتروپی، به تعیین ایستگاه‌های شاخص و مناطق ضعیف از نظر تبادل اطلاعات در شبکه پایش حوزه آبخیز پرداخته شده است و در نهایت پهنه‌بندی انجام گرفته است. براساس نتایج بدست آمده، ۷/۳۹ درصد از مساحت حوزه فاقد ایستگاه باران‌سنجی می‌باشد، در حالیکه نزدیک به ۵۳ درصد مساحت حوزه در کلاس کمبود، کمبود شدید و فاقد تبادل اطلاعات بوده و ۴۰ درصد از مساحت حوزه را کلاس متوسط، بالای متوسط و مازاد تشکیل داده است. بنابراین تراکم ۴۲ ایستگاه منتخب شبکه باران‌سنجی حوزه جراحی - زهره قابل قبول نمی‌باشد و ضروری است نسبت به پراکنش و چیدمان ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه تجدیدنظر جدی صورت گیرد. همچنین ۲۱/۱۶ درصد از مساحت حوزه فاقد ایستگاه آب‌سنجی می‌باشد. در حالیکه بالغ بر ۵/۷ درصد مساحت حوزه در کلاس کمبود، کمبود شدید و فاقد تبادل اطلاعات و بیش از ۷۳ درصد از مساحت حوزه را کلاس متوسط، بالای متوسط و مازاد تشکیل داده است. بنابراین تراکم ۱۶ ایستگاه منتخب شبکه آب‌سنجی حوزه جراحی - زهره بهینه می‌باشد.

واژگان کلیدی: بارش، تئوری آنتروپی، ایستگاه باران‌سنجی، شبکه آب‌سنجی

<sup>۱</sup> دانش آموخته گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

## مقدمه

اطلاعات بارش و آب‌سنجی یک حوزه جزء اطلاعات اولیه ای است که برای طراحی، اجرا، مدیریت سیستم‌های منابع آب، مطالعات تغییر اقلیم و مهیا نمودن داده‌های ورودی به مدل‌های عددی، مورد نیاز می‌باشد. براین اساس آمار و اطلاعات مربوط به بارش و آبدهی آبراهه کاربران بیشماری دارد. با توجه به پیچیدگی سامانه‌های منابع آب، در اغلب موارد تصمیم‌ها بدون اطلاعات کافی گرفته می‌شوند. معمولاً در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر عدم قطعیت، تمایل به تصمیم‌گیری محافظه‌کارانه وجود دارد. تقریباً در تمامی موارد، اطلاعات کافی برای توصیف رفتار اتفاقی چنین سامانه‌هایی در دسترس نیست. لذا برای داشتن یک شبکه بهینه اطلاعاتی که بتواند مورد استفاده کاربران با اهداف مختلف باشد، بازنگری و ارزیابی شبکه‌های پایش امری ضروری می‌باشد. تولید اطلاعات صحیح و کارآمد همواره از مسائل و چالش‌های مهم زیر مجموعه منابع آب کشور بوده است. از این نظر چیدمان ایستگاه‌های پایش بجا و مناسب در یک حوزه حائز اهمیت فراوان بوده و در درک صحیح ویژگی‌های هیدرولوژیک حوزه، تأثیری عمیق و مستقیم دارد (فانی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین تولید حداکثر آمار و اطلاعات مورد نیاز با استفاده از حداقل تعداد ایستگاه‌ها، به عنوان یک اصل مهم در طراحی صحیح شبکه ایستگاه‌های باران سنجی یک حوضه مطرح می‌باشد. براین اساس بررسی امکان حذف یا اضافه نمودن ایستگاه‌های شبکه پایش باران سنجی بحثی مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد (کریمی گوغری و خلیفه، ۱۳۹۰). تئوری آنتروپی با نگرشی آماری-احتمالاتی به وضعیت ایستگاه‌های موجود در شبکه پایش و اطلاعات ثبت

شده در آنها می‌پردازد. ضمن بررسی اطلاعات ایستگاه‌های موجود، امکان حذف ایستگاه‌های مازاد یا اضافه نمودن ایستگاه‌های جدید در مناطق دارای کمبود را نیز فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان از این تئوری در مدیریت بهتر شبکه‌های پایش و چیدمان مناسب ایستگاه‌ها استفاده نمود. در ارزیابی کارایی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی سفیددشت با استفاده از تئوری آنتروپی وضعیت چاه‌های بحرانی مشخص گردید و پیشنهادهای جهت بهینه سازی شبکه ارایه گردید (سیفی پور و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهشی مکانیابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب رودخانه با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته انجام شده و نتایج، نشان دهنده کارایی رویکرد پیشنهادی در بهینه کردن تعداد و پراکندگی ایستگاه‌های پایش آب رودخانه است (رجایی و همکاران، ۱۴۰۰). با وجود آنکه استفاده از تئوری آنتروپی پیشینه طولانی در علوم هیدرولوژی و منابع آب ندارد، اما یکی از روش‌های کارآمد در تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب محسوب می‌شود. تا نیمه اول قرن بیستم، به دلیل پیچیدگی مفهومی و محاسباتی این تئوری، محققان علاقه چندانی به کاربرد آن به عنوان یک روش آماری پیدا نکردند. تا اینکه تحقیقات گسترده ای در زمینه استفاده از این تئوری در زمینه های مختلف مهندسی مانند ارزیابی سری های زمانی اقتصادی و مباحث اکولوژیکی انجام گرفت و بسیاری از مفاهیم ناشناخته این تئوری توسعه داده شد (Shanon, ۱۹۴۸). در زمینه استفاده از تئوری آنتروپی تحقیقات مختلفی انجام گرفته است. تحقیقی در زمینه انتقال اطلاعات بین دو دسته اطلاعات مشاهداتی از دو ایستگاه پایش آبدهی انجام گرفته است. در این تحقیق استفاده از آنتروپی برای

خوبی برای کمی‌کردن ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک شبکه دارد. در تحقیقی دیگر از روش تئوری آنتروپی به منظور ارزیابی ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های پایش رودخانه‌ای در ایالت ایلینویز آمریکا استفاده گردید (Markus et al., ۲۰۰۳) و نتایج هر دو روش را با هم مقایسه و مدل ترکیبی از دو روش را پیشنهاد کردند. در تحقیقی در شمال تایوان روشی مرکب از زمین‌آمار (کریجینگ) و آنتروپی برای تعیین تعداد و توزیع مکانی بهینه ایستگاه‌های باران‌سنجی ارائه گردید (Chen et al., ۲۰۰۸). در این روش از کریجینگ برای درون‌یابی مقادیر مشاهده شده ماهانه بارندگی به‌منظور بررسی تغییرات مکانی بارندگی و تعیین مقدار بارندگی در موقعیت‌های جدید باران‌سنجی‌ها (گره‌های یک شبکه) و از آنتروپی، برای یافتن تعداد کافی باران‌سنجی‌ها به‌طوری که معرف پدیده بارندگی ماهانه باشند، استفاده و با محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات و آنتروپی مشترک، درجه اهمیت ایستگاه‌ها تعیین گردید. با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته شبکه‌های هیدرومتری حوزه‌های کانادا مورد ارزیابی قرار گرفت (Mishra and Coulibaly, ۲۰۱۰). ابتدا با استفاده از مقادیر شاخص انتقال اطلاعات، ارزیابی و رتبه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری انجام و سپس پهنه‌بندی آن به روش Spline در حوزه‌های کانادا انجام گرفت و درجه اهمیت مناطق از این نظر تعیین گردید. سپس با استفاده از نتایج به‌دست آمده کارایی شبکه‌های پایش سراسر کانادا بررسی و نتایج نشان داد که اکثر شبکه‌های پایش کانادا با کمبود تعداد ایستگاه هیدرومتری مواجه هستند و نیاز به بازنگری مجدد دارند. در تحقیقی به بررسی تکنیک‌ها، ابزارها و روش‌های به کارگرفته شده در پایش منابع آب

مسائل چند متغیره توسعه داده شده است و یک تعریف ریاضی از آنتروپی چند متغیره درحالت متغیرهای مستقل و غیرمستقل ارائه گردید (Harmancioglu, ۱۹۸۱). در تحقیقی از تئوری آنتروپی جهت طراحی شبکه پایش کیفی آب استفاده گردید (Harmancioglu and Alpaslan, ۱۹۹۲). نتایج تحقیقات ایشان نشان دهنده قابلیت‌های فراوان استفاده از تئوری آنتروپی در طراحی شبکه پایش کیفی بود، چرا که با استفاده از تئوری آنتروپی اطلاعات به‌دست آمده به صورت کمی بیان شد. در تحقیقی دیگر از تئوری آنتروپی برای کمی‌کردن عدم قطعیت شبکه پایش بارندگی سراسر ژاپن استفاده گردید (Kawachi, ۲۰۰۱) و نقشه هم‌آنتروپی ژاپن را تهیه و آنرا با نقشه هم‌باران منطقه مقایسه نمودند. معصومی و کراچیان (۱۳۸۷) با استفاده از تئوری آنتروپی، روشی را برای ارزیابی کارایی شبکه پایش مکانی آبهای زیرزمینی دشت تهران ارائه دادند. در تحقیقات مختلفی در نقاط مختلف جهان از تئوری آنتروپی جهت ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی آب استفاده شده است (مهجوری مجد و کراچیان، ۱۳۸۷؛ Mogheir and Singh, ۲۰۰۲؛ ۲۰۰۴؛ Karamoz et al., Mogheir et al., ۲۰۰۵). فانی و همکاران (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن گروهی از شاخص‌های آنتروپی به تعیین ایستگاه‌های شاخص و مناطق ضعیف از نظر تبادل اطلاعات در شبکه پایش حوضه آبریز کارون بزرگ پرداختند. تحلیل حساسیت نحوه کلاس‌بندی اطلاعات نشان داد که مقادیر شاخص‌های آنتروپی به تغییر فاصله کلاس‌بندی اطلاعات حساس، اما رتبه‌بندی ایستگاه‌ها حساسیت بسیار کمی را از خود نشان داد. در نهایت، نتایج حاکی از این است که تئوری آنتروپی قابلیت

سامانه‌های منابع آب از توزیع‌های نرمال یا لوگ نرمال تبعیت نمی‌کنند. آنتروپی گسسته راهی برای اصلاح این نقیصه مهم در کاربرد آنتروپی در مسائل مربوط به آب است. تعریف شاخص‌های آنتروپی گسسته مشابه آنتروپی پیوسته است، تنها تفاوت در شکل معادلات است که در ادامه تشریح گردیده‌اند (فانی و همکاران، ۱۳۹۴).

۱- آنتروپی مرزی:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{\infty} p(x_i) \ln p(x_i) \quad (1)$$

۲- آنتروپی مشترک:

$$H(x, y) = -\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln p(x_i, y_j) \quad (2)$$

آنتروپی شرطی:

$$H(x|y) = -\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln p(x_i|y_j) \quad (3)$$

۴- آنتروپی انتقال اطلاعات:

$$T(x, y) = -\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln \left[ \frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)} \right] \quad (4)$$

در روابط بالا  $p(x)$  احتمال روی دادن  $x$ ،  $p(x, y)$  احتمال روی دادن مشترک  $x$  و  $y$  و  $p(x|y)$  احتمال رخ دادن  $x$  به شرط  $y$  می‌باشد. اگر چه  $T(x, y)$  به عنوان شاخصی برای تعیین انتقال اطلاعات مطرح است اما شاخص زیر برای نرمال کردن شاخص آنتروپی انتقال اطلاعات معرفی و شاخص انتقال اطلاعات<sup>۱</sup> نامیده شد (Mogheir et al., ۲۰۰۴).

$$ITI = \frac{T(x, y)}{H(x, y)} \quad (5)$$

در نهایت نکته‌ای که باید بدان اشاره شود آن است که شاخص‌های فوق حسب بیت<sup>۲</sup> محاسبه می‌شوند. به

پرداخته شده است. در این تحقیق ضمن معرفی ضعف و قوت‌های تحقیقات قبلی، به ارزیابی پیشنهادتی برای تحقیقات آتی پرداخته شده است (Jiang et al., ۲۰۲۰). در پژوهشی با هدف بررسی شبکه باران‌سنج و رتبه‌بندی ایستگاه‌های باران‌سنج در جنوب غربی دریایچه ارومیه، با استفاده از رویکرد آنتروپی از داده‌های به‌دست‌آمده از شش ایستگاه باران‌سنجی در حوضه سیمینه‌رود در شمال غرب ایران بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۸، اثرات متقابل ایستگاه‌ها بررسی شد. برآورد شاخص‌های ITI و N(i) هر ایستگاه با استفاده از تئوری آنتروپی، کمبود ایستگاه‌ها را در منطقه مورد بررسی نشان داد. ایستگاه‌ها براساس شاخص ITI در حالت متوسط، بالاتر از متوسط و مازاد قرار داشتند. رتبه‌بندی مربوط به شاخص N(i) نشان داد که ایستگاه داشبند از نظر ارتباط با سایر ایستگاه‌ها، مناسبترین ایستگاه است (Tabatabaei et al., ۲۰۲۲). در بسیاری از تحقیقات ذکر شده از تئوری آنتروپی پیوسته استفاده گردیده و در آنتروپی پیوسته فرض بر توزیع احتمالاتی نرمال یا لوگ نرمال اطلاعات است که این فرض در بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی صدق نمی‌کند (کریمی گوگری و خلیفه، ۱۳۹۰؛ فانی و همکاران، ۱۳۹۴). تئوری آنتروپی به دو صورت گسسته و پیوسته تعریف شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آنتروپی پیوسته، فرض بر این است که توزیع احتمالاتی متغیرها، از توزیع نرمال یا لوگ نرمال پیروی می‌کند. ولی در حالت گسسته با توجه به بازه تغییرات مقادیر متغیرها، اطلاعات موجود گسسته سازی شده و جداول توزیع متغیرها تهیه می‌شوند. اما تحقیقات اخیر (Mogheir and Singh, ۲۰۰۳) نشان داده است که تابع توزیع احتمال بسیاری از متغیرهای کمی و کیفی در

<sup>۱</sup> Information Transfer Index (ITI)

<sup>۲</sup> Bits

همین دلیل در روابط و معادلات از لگاریتم مبنای ۲ به جای لگاریتم طبیعی استفاده شده است. لذا در تحقیق حاضر با توجه به اینکه اطلاعات باران‌سنجی و آب‌سنجی از توزیع نرمال یا لوگ‌نرمال پیروی نمی‌کند و این موضوع محدودیت استفاده از تئوری آنتروپی پیوسته به حساب می‌آید، توانایی تئوری آنتروپی گسسته در تعیین ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی و مقایسه آن‌ها در شبکه پایش حوزه آبخیز جراحی-زهره مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور با این فرضیه که جهت به‌دست آوردن فهم و آگاهی بهتر از توزیع مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی می‌توان از روش تئوری آنتروپی گسسته استفاده نمود، هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی شبکه باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه زهره با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته، حصول اطمینان یا عدم اطمینان از کارایی شبکه، رتبه‌بندی ایستگاه‌های موجود بر پایه اهمیت و ارزش آن‌ها و ارزیابی منطقه‌ای تراکم ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه می‌باشد. در نهایت بر پایه نتایج به‌دست آمده پیشنهادهایی در خصوص سازماندهی بهتر شبکه و حذف ایستگاه‌های غیرضروری ارائه گردیده است.

### روش پژوهش

در حوزه آبخیز جراحی-زهره، ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی و ۴۳ ایستگاه آب‌سنجی توسط سازمان تحقیقات منابع آب ایران نصب گردیده که ۶۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۲۶ ایستگاه آب‌سنجی آن فعال می‌باشند. مجموع بارش سالیانه و میانگین آبدهی ایستگاه‌ها به عنوان آمار و اطلاعات ثبت شده در هر ایستگاه مد نظر قرار گرفته است. اولین مرحله در

بررسی آمار و اطلاعات شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی یک حوزه، تشکیل دوره آماری مشترک است. در این ارتباط و براساس آمار و اطلاعات موجود، دوره آماری ۲۶ سال با تعداد ۱۶ ایستگاه برای ارزیابی و پایش شبکه آب‌سنجی و دوره آماری ۳۱ سال با تعداد ۴۲ ایستگاه برای بررسی و ارزیابی شبکه باران‌سنجی تشکیل گردید. در تشکیل دوره آماری یاد شده بازسازی آمار نیز صورت گرفته است. بدین منظور ابتدا رابطه رگرسیون خطی بین ایستگاه فاقد آمار و سایر ایستگاه‌ها برقرار گردید. سپس رابطه دارای بهترین ضریب تبیین، انتخاب و با استفاده از آن آمار ایستگاه فاقد آمار بازسازی شد. البته میزان بازسازی آمار در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰٪ طول دوره آماری بوده است. در تئوری آنتروپی در حالت گسسته، با توجه به بازه تغییرات مقادیر متغیرها، اطلاعات موجود گسسته‌سازی شده و جداول توزیع فراوانی مشاهدات متغیرها تهیه می‌شوند (جدول ۳). سپس با استفاده از این جداول، مقادیر احتمال رخداد در هر حالت محاسبه می‌شود (جدول ۴). اعداد داخل جدول، تعداد تکرار مقادیر یک متغیر مثل  $x$  را در یک بازه مشخص، زمانی که متغیر  $y$  در یک بازه دیگر قرار دارد، نشان می‌دهد. البته این دو بازه یکسان در نظر گرفته شده‌اند. از رابطه زیر که به نام دستور استورجس<sup>۳</sup> مشهور است تعداد کلاس‌های مناسب محاسبه شده است:

$$NCI = 1 + 3.322 \log(n) \quad (۶)$$

در رابطه بالا،  $n$  تعداد مشاهدات و  $NCI$  تعداد کلاس‌بندی در سری زمانی متغیر مورد نظر است. بعد از محاسبه تعداد بازه‌ها، سری زمانی دو ایستگاهی که

<sup>۳</sup>Storeajse

قرار است جدول توزیع احتمال آنها بررسی شود، ترسیم شده و با مشاهده تعداد تکرارها در هر بازه، جدول (۳) تکمیل می‌شود. با استفاده از جدول (۴)

می‌توان شاخص‌های مختلف آنتروپی گسسته را محاسبه نمود.

جدول ۳: توزیع فراوانی مشاهدات متغیرها (Mogheir and Singh, ۲۰۰۳:۷)

x	Y					Total
	۱	۲	۳	.....	u	
۱	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	.....	$f_{1u}$	$f_{1.}$
۲	$f_{21}$	$f_{22}$	.....	.....	$f_{2u}$	$f_{2.}$
۳	$f_{31}$	.....	.....	.....	$f_{3u}$	$f_{3.}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
v	$f_{v1}$	$f_{v2}$	$f_{v2}$	.....	.....	$f_{v.}$
Total:	$f_{.1}$	$f_{.2}$	$f_{.3}$	.....	$f_{.u}$	

جدول ۴: توزیع احتمالاتی متغیرها (Mogheir and Singh, ۲۰۰۳:۷)

x	Y					Total:
	۱	۲	۳	.....	u	
۱	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	.....	$P_{1u}$	$P_{1.}$
۲	$P_{21}$	$P_{22}$	.....	.....	$P_{2u}$	$P_{2.}$
۳	$P_{31}$	.....	.....	.....	$P_{3u}$	$P_{3.}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
v	$P_{v1}$	$P_{v2}$	$P_{v2}$	.....	.....	$P_{v.}$
Total:	$P_{.1}$	$P_{.2}$	$P_{.3}$	.....	$P_{.u}$	

حوزه مطالعاتی بر اساس شاخص  $ITI(i)$ ، روش میان‌یابی Spline استفاده گردید. در این روش مقادیر مجهول از طریق یک تابع ریاضی تخمین زده می‌شوند. این تابع با عبور دادن یک منحنی از نقاط معلوم این عمل را انجام می‌دهد. در نهایت براساس حدود ذکر شده در جدول (۵) برای شاخص  $ITI(i)$  در حوزه آبخیز پهنه‌بندی انجام شده است.

#### پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ( $ITI(i)$ ) در حوزه آبخیز:

اساس پهنه‌بندی بر درون‌یابی استوار است. درون‌یابی فرآیند به‌دست آوردن نقاط مجهول توسط نقاط معلوم است. داده‌هایی که به عنوان ورودی در عملیات درون‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نوع داده‌های نقطه‌ای می‌باشند. در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی

ل ۵: طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) (Mishra and Coulibaly, ۲۰۱۰)

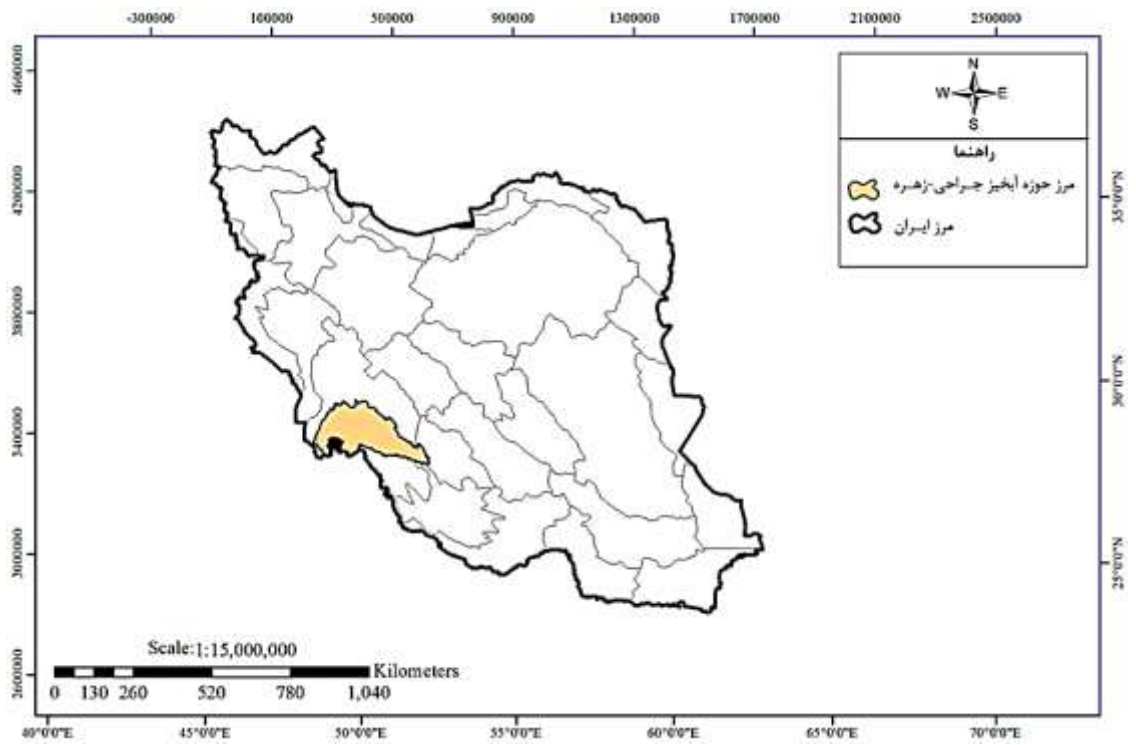
شاخص ITI	درجه اهمیت منطقه
۰/۰-۰/۲	کمبود شدید
۰/۲-۰/۴	کمبود
۰/۴-۰/۶	متوسط
۰/۶-۰/۸	بالای متوسط
۰/۸ و بالاتر	مازاد

#### محدوده مورد مطالعه:

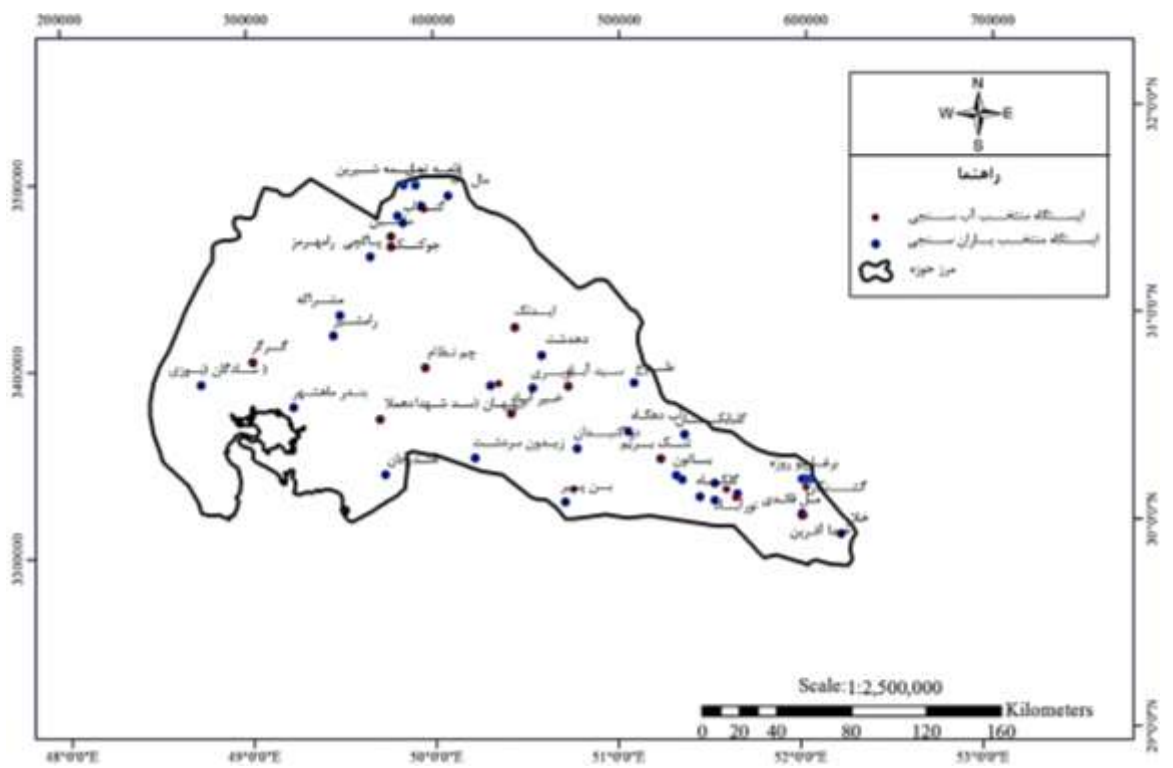
حوزه آبخیز جراحی-زهره یکی از ۳۰ حوزه آبریز درجه دو کشور و بخشی از حوزه آبریز اصلی خلیج فارس می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۲۴۹۰۸۴/۵ تا ۶۲۶۸۰۹/۹ متر طول شرقی و ۳۲۹۷۰۵۲/۱ تا ۳۵۰۵۴۵۴/۹ متر عرض شمالی منطقه ۳۹ سامانه UTM معادل ۴۸°۲۳'۲" تا ۵۲°۱۸'۵۰" درجه طول شرقی و ۲۹°۴۷'۵۳" تا ۳۱°۴۰'۵۲" درجه عرض شمالی گسترش یافته است. مساحت این حوزه برابر با ۴۱۲۹۴/۹ کیلومترمربع و محیط آن برابر ۱۳۷۰/۸ کیلومتر است (شکل ۱). براساس آمار و اطلاعات موجود، دوره آماری ۲۶ سال با تعداد ۱۶ ایستگاه برای ارزیابی و پایش شبکه آب‌سنجی و دوره آماری ۳۱ سال با تعداد ۴۲ ایستگاه برای بررسی و ارزیابی شبکه باران‌سنجی تشکیل گردید (شکل ۲).

#### ارزیابی منطقه‌ای تراکم ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی حوزه

بررسی تراکم ایستگاه‌های شبکه حوزه توسط آنالیز کردن مقادیر شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) توسط درون‌یابی مکانی و کلاس بندی مقادیر آن طبق جدول (۵) صورت می‌پذیرد. بر پایه این آنالیز، تراکم ایستگاه‌های یک شبکه هنگامی که درصد زیادی از مساحت حوزه در کلاس‌بندی متوسط (۰/۴-۰/۶) باشد قابل قبول و چنانچه درصد زیادی از مساحت حوزه در کلاس‌بندی بالای متوسط (۰/۶-۰/۸) باشد، بهینه می‌باشد (Mishra and Coulibaly, ۲۰۱۰).



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز جراحی - زهره



شکل ۲: پراکنش و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های منتخب باران سنجی و آب سنجی حوزه جراحی - زهره



## نتایج و بحث

### ارزیابی ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌ها

کارایی تئوری آنتروپی در رتبه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی در حوزه آبخیز جراحی-زهره مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها براساس مقادیر شاخص‌های متفاوت آنتروپی ارائه شده است. چنانچه در جدول ۶ و ۷ دیده می‌شود ایستگاه‌های آب‌سنجی دهملا، خیرآباد و چم نظام و ایستگاه‌های باران‌سنجی دوگنبدان، گلبابکان و بن‌پیر از آنجا که بالاترین رتبه‌ها را در میان سایر ایستگاه‌ها به‌خود

اختصاص داده‌اند، ایستگاه مهم آب‌سنجی و باران‌سنجی حوزه شناخته شده‌اند که مفیدترین اطلاعات در شبکه پایش را تولید می‌نمایند و به صورت فعال در شبکه باقی خواهند ماند. از سوی دیگر ایستگاه‌های آب‌سنجی ششپیر مل‌قائدی، پل-منجنیق و ماشین و همچنین ایستگاه‌های باران‌سنجی رامشیر، دهملای زیدون سردشت و چم نظام ضمن کسب رتبه‌های پایین در شبکه، وضعیتی بحرانی داشته و ادامه فعالیت آنها مستلزم تجدید نظر جدی است.

جدول ۶: رتبه‌بندی ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه جراحی-زهره بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی

نام ایستگاه	رتبه	$IT(I)$	رتبه	$H(x(i), \hat{x}(i))$	رتبه	$H(\hat{x}(i))$	رتبه	$H(x(i))$
تنگ بریم	۸	۰/۶۵	۱۲	۲/۹۱	۱۴	۲/۴۵	۸	۲/۳۵
پل زهره	۱۳	۰/۷۸	۹	۲/۷۲	۱۳	۲/۴۲	۱۴	۲/۴۳
گراب	۱۲	۰/۷۱	۸	۲/۷۱	۸	۲/۳۲	۷	۲/۳۳
کوسنگان	۵	۰/۶۱	۱۴	۳/۰۰	۱۰	۲/۳۷	۱۵	۲/۴۵
کرکر	۴	۰/۶۰	۱۶	۳/۱۷	۱۶	۲/۵۵	۱۶	۲/۵۳
بهبهان	۱۰	۰/۶۶	۱۳	۲/۹۱	۱۵	۲/۴۶	۱۱	۲/۳۷
دهملا	۱۶	۱/۰۰	۱	۲/۰۱	۱	۲/۰۱	۲	۲/۰۱
خیرآباد	۱۵	۰/۸۰	۶	۲/۶۷	۱۱	۲/۳۸	۱۳	۲/۴۱
جو کنک	۹	۰/۶۵	۲	۲/۴۵	۵	۲/۱۱	۱	۱/۹۵
پل منجنیق	۳	۰/۵۹	۵	۲/۶۴	۳	۲/۰۷	۵	۲/۱۱
چم نظام	۱۴	۰/۷۸	۷	۲/۷۰	۱۲	۲/۴۱	۱۲	۲/۴۱
ایدنک	۱۱	۰/۷۰	۳	۲/۵۸	۶	۲/۲۳	۶	۲/۱۶
ماشین	۱	۰/۳۷	۱۵	۳/۰۴	۴	۲/۱۰	۳	۲/۰۶
چم چنار	۷	۰/۶۴	۱۰	۲/۸۵	۹	۲/۳۳	۹	۲/۳۵
سیدآباد	۶	۰/۶۱	۱۱	۲/۸۶	۷	۲/۲۵	۱۰	۲/۳۶
ششپیرمل قائدی	۲	۰/۵۸	۴	۲/۶۱	۲	۲/۰۵	۴	۲/۰۸

جدول ۷: رتبه‌بندی ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه جراحی - زهره بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی

نام ایستگاه	رتبه	$IT(i)$	رتبه	$H(X(i), \hat{X}(i))$	رتبه	$H(\hat{X}(i))$	رتبه	$H(X(i))$
مل قاندی	۳۶	۰/۶۱	۶	۲/۷۸	۸	۲/۲۶	۸	۲/۲۱
باتون	۳۳	۰/۵۴	۱۲	۳/۱۴	۳۴	۲/۴۶	۳۵	۲/۳۷
کوسنگان	۳۴	۰/۵۴	۱۱	۳/۱۲	۳۸	۲/۴۹	۲۰	۲/۳۳
برغان	۳۰	۰/۴۸	۲۵	۳/۳۹	۴۰	۲/۵۱	۳۸	۲/۴۹
موروزه	۳۸	۰/۸۲	۵	۲/۶۶	۳۳	۲/۴۴	۲۹	۲/۳۹
بن پیر	۴۰	۱/۰۰	۲	۲/۴۰	۲۴	۲/۴۰	۳۱	۲/۴۰
نورآباد	۵	۰/۲۶	۳۸	۳/۶۹	۱۶	۲/۳۰	۲۳	۲/۳۶
تنک بریم	۳۱	۰/۵۱	۲۱	۳/۳۵	۳۹	۲/۵۱	۴۱	۲/۵۴
گلبابکان	۴۱	۱/۰۰	۳	۲/۴۱	۲۵	۲/۴۱	۳۳	۲/۴۱
آب دهگاه	۱۰	۰/۳۱	۳۹	۳/۷۷	۳۱	۲/۴۴	۳۹	۲/۵۰
بویری	۳۲	۰/۵۴	۹	۲/۹۷	۱۰	۲/۲۶	۱۵	۲/۳۰
سیدآباد	۱۴	۰/۳۴	۳۷	۳/۶۸	۳۶	۲/۴۸	۳۶	۲/۴۴
طسوج	۱۷	۰/۳۷	۳۲	۳/۵۰	۲۶	۲/۴۱	۳۰	۲/۳۹
گشکان	۸	۰/۲۸	۳۴	۳/۵۲	۱۴	۲/۲۹	۹	۲/۲۱
دو گنبدان	۴۲	۱/۰۰	۴	۲/۴۱	۲۸	۲/۴۱	۳۴	۲/۴۱
خدا آفرین	۲۶	۰/۴۲	۲۸	۳/۴۳	۳۰	۲/۴۳	۳۷	۲/۴۶
گلکاه	۲۴	۰/۴۲	۳۰	۳/۴۷	۴۱	۲/۵۳	۳۲	۲/۴۰
یل فهلیمان	۱۱	۰/۳۲	۳۵	۳/۶۱	۲۰	۲/۳۷	۲۴	۲/۳۷
بردنگان	۹	۰/۲۸	۴۰	۳/۸۳	۲۸	۲/۴۱	۴۰	۲/۵۰
زیدون سردشت	۳	۰/۲۴	۳۶	۳/۶۳	۱۲	۲/۲۷	۱۱	۲/۲۴
دهملا	۱	۰/۱۲	۴۲	۴/۱۵	۱۷	۲/۳۱	۱۹	۲/۳۲
خیرآباد	۳۵	۰/۵۶	۷	۲/۸۱	۵	۲/۲۰	۷	۲/۱۸
دهدشت	۲۸	۰/۴۵	۱۷	۳/۳۳	۲۱	۲/۳۸	۱۸	۲/۳۱
ایدنک	۲۳	۰/۴۱	۱۶	۳/۳۱	۱۳	۲/۲۸	۱۲	۲/۲۵
هندیجان	۱۳	۰/۳۳	۳۱	۳/۴۹	۴۲	۲/۵۵	۴	۲/۱۰
بهبهان	۲۵	۰/۴۲	۱۳	۳/۱۹	۱۹	۲/۳۵	۶	۲/۱۸
چم نظام	۴	۰/۲۵	۲۳	۳/۳۶	۱	۲/۱۱	۳	۲/۰۹
بندر ماهشهر	۱۵	۰/۳۴	۲۰	۳/۳۲	۱۸	۲/۳۳	۵	۲/۱۳
شادگان	۳۹	۱/۰۰	۱	۲/۲۷	۱۲	۲/۲۷	۱۳	۲/۲۷
باغ ملک	۳۷	۰/۶۵	۸	۲/۸۶	۲۲	۲/۳۸	۲۱	۲/۳۳
کرکر	۱۲	۰/۳۲	۲۲	۳/۳۶	۶	۲/۲۲	۱۰	۲/۲۲
رامشیر	۲	۰/۲۲	۱۹	۳/۳۹	۴	۲/۱۹	۲	۱/۸۲
مشراکه	۶	۰/۲۷	۱۰	۳/۰۷	۷	۲/۲۴	۱	۱/۶۶
پاگچی	۷	۰/۲۸	۴۱	۳/۸۵	۳۷	۲/۴۸	۳۵	۲/۴۳
چوکنک	۱۹	۰/۳۸	۲۷	۳/۴۰	۲۸	۲/۴۱	۱۴	۲/۲۹
ماشین	۲۰	۰/۳۸	۲۶	۳/۳۹	۱۵	۲/۲۹	۲۸	۲/۳۸
گنداب	۲۹	۰/۴۷	۱۸	۳/۲۸	۳۲	۲/۴۴	۲۶	۲/۳۸
ده سادات	۲۷	۰/۴۴	۳۰	۳/۴۷	۳۵	۲/۴۶	۴۲	۲/۵۵
مال آقا	۲۲	۰/۳۹	۱۵	۳/۱۹	۳	۲/۱۴	۱۷	۲/۳۱
چشمه شیرین	۲۲	۰/۳۹	۱۵	۳/۱۹	۳	۲/۱۴	۱۷	۲/۳۱
قلعه تل	۱۸	۰/۳۸	۲۴	۳/۳۷	۹	۲/۲۶	۲۸	۲/۳۸
خلار	۱۶	۰/۳۵	۳۳	۳/۵۱	۲۳	۲/۳۸	۲۲	۲/۳۵

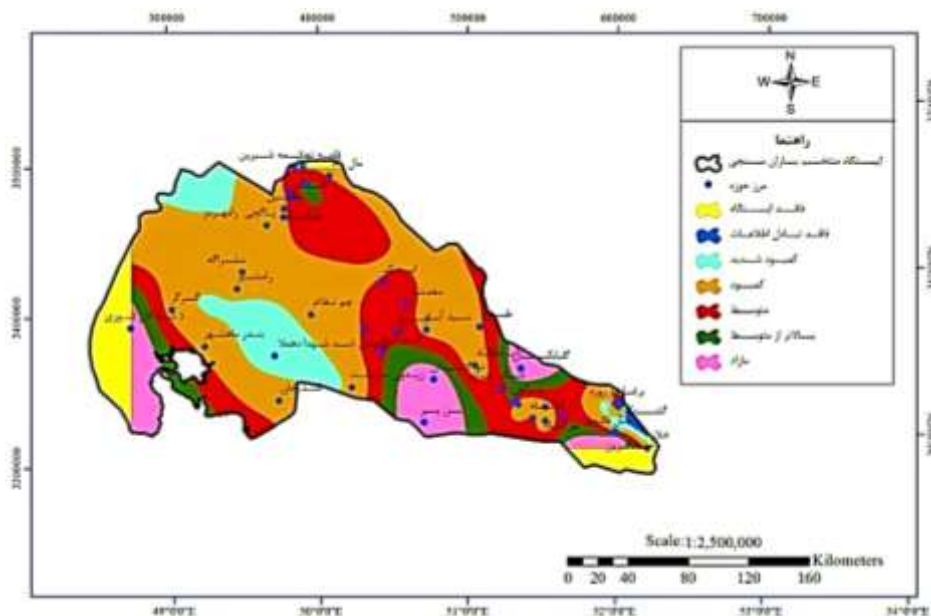
### ارزیابی منطقه‌ای تراکم ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی حوزه آبخیز

بر اساس نتایج بدست آمده از پهنه بندی مقادیر شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) (جدول ۸ و شکل ۳)، ۷/۳۹ درصد از مساحت حوزه فاقد ایستگاه باران‌سنجی می‌باشد؛ در حالیکه نزدیک به ۵۳ درصد مساحت حوزه در کلاس کمبود، کمبود شدید و فاقد تبادل اطلاعات بوده و مابقی آن به عبارتی دیگر ۴۰

درصد از مساحت حوزه را کلاس متوسط، بالای متوسط و مازاد تشکیل داده است. بنابراین تراکم ۴۲ ایستگاه منتخب شبکه باران‌سنجی حوزه جراحی- زهره قابل قبول نمی‌باشد و ضروری است نسبت به پراکنش و چیدمان ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه تجدید نظر جدی صورت گیرد.

جدول ۸: طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) برای شبکه باران‌سنجی

درجه اهمیت منطقه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
فاقد ایستگاه	۳۰۵۰/۹۴	۷/۳۹
فاقد تبادل اطلاعات	۸۸/۶۶	۰/۲۱
کمبود شدید	۴۲۲۵/۸۹	۱۰/۲۳
کمبود	۱۷۴۷۸/۲۵	۲/۳۳
متوسط	۹۷۱۶/۰۲	۲۳/۵۳
بالای متوسط	۲۹۹۶/۲۷	۷/۲۶
مازاد	۳۷۳۸/۹۲	۹/۰۵



شکل ۳: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوزه

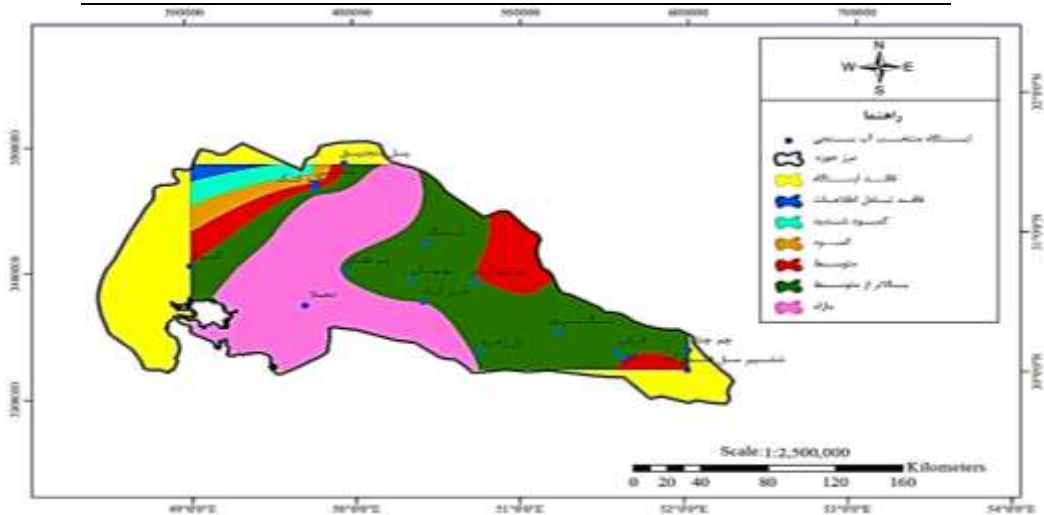
### ارزیابی منطقه‌ای تراکم ایستگاه‌های شبکه آب‌سنجی حوزه آبخیز

بر اساس نتایج به دست آمده از پهنه بندی مقادیر شاخص انتقال اطلاعات (ITI(i) ) جدول ۹ و شکل ۴)، ۲۱/۱۶ درصد از مساحت حوزه فاقد ایستگاه آب‌سنجی می‌باشد. در حالیکه بالغ بر ۵/۷ درصد مساحت حوزه در کلاس کمبود، کمبود شدید و فاقد تبادل اطلاعات و مابقی آن به عبارتی دیگر بیش از

۷۳ درصد از مساحت حوزه را کلاس متوسط، بالای متوسط و مازاد تشکیل داده است و با توجه به این که بیش از ۶۴ درصد از مساحت حوزه مناطقی با درجه اهمیت بالای متوسط و مازاد است بنابراین تراکم ۱۶ ایستگاه منتخب شبکه آب‌سنجی حوزه جراحی- زهره بهینه می‌باشد و می‌توان سایر ایستگاه‌های فعال آب سنجی را از شبکه پایش حوزه حذف نمود.

جدول ۹: طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) برای شبکه آب‌سنجی

درجه اهمیت منطقه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
فاقد ایستگاه	۸۷۳۸/۳۹	۲۱/۱۶
فاقد تبادل اطلاعات	۳۲۲/۰۴	۰/۷۸
کمبود شدید	۹۸۴/۶۴	۲/۳۸
کمبود	۱۰۴۲/۷۲	۲/۵۳
متوسط	۳۶۴۴/۱۵	۸/۸۲
بالای متوسط	۱۴۰۵۹/۸۸	۳۴/۰۵
مازاد	۱۲۵۰۳/۱۲	۳۰/۲۸



شکل ۴: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوزه

### مقایسه درجه اهمیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه آبخیز جراحی-زهره

باتوجه به مطالب فوق می‌توان چنین استنباط نمود که ایستگاه دهملا و چم نظام، ایستگاه‌های ضعیف شبکه باران‌سنجی به‌شمار می‌آیند؛ درحالی‌که در شبکه آب‌سنجی حوزه از ایستگاه‌های مهم شبکه می‌باشند. از این نظر صحت اطلاعات ثبت شده در این ایستگاه مورد تردید می‌باشد. دلایل عدم ارتباط مناسب اطلاعات این ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها در

شبکه باران‌سنجی نیز ممکن است سهل‌انگاری در جمع‌آوری و ثبت آمار و اطلاعات باشد. البته تفاوت رفتار در ایستگاه‌های خیرآباد، جوکنک و سیدآباد نیز مشاهده می‌شود (جدول ۱۰). به همین دلیل ضروری است محل نصب و نحوه ثبت آمار و اطلاعات ایستگاه‌ها به دقت مورد بررسی قرار گرفته و سپس در خصوص حذف و یا جابجایی آنها تصمیم‌گیری شود. در صورت تشخیص کارشناسان و مسئولان مربوطه تغییر محل ایستگاه نیز قابل طرح و بررسی است.

جدول ۱۰: مقایسه درجه اهمیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه جراحی-زهره

نام ایستگاه	درجه اهمیت ایستگاه در شبکه آب‌سنجی	درجه اهمیت ایستگاه در شبکه باران‌سنجی
تنگ بریم	بالاتر از متوسط	متوسط
پل زهره	بالاتر از متوسط	-----
گراب	بالاتر از متوسط	-----
کوسنگان	بالاتر از متوسط	متوسط
کرکر	متوسط	کمبود
بهبهان	بالاتر از متوسط	متوسط
دهملا	مازاد	کمبود شدید
خیرآباد	مازاد	متوسط
جوکنک	بالاتر از متوسط	کمبود
پل منجنیق	متوسط	-----
چم نظام	بالاتر از متوسط	کمبود
ایدنک	بالاتر از متوسط	متوسط
ماشین	کمبود	کمبود
چم چنار	بالاتر از متوسط	-----
سیدآباد	بالاتر از متوسط	کمبود
ششپیر مل قاندى	متوسط	-----

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش از تئوری آنتروپی گسسته به منظور ارزشیابی منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی حوزه جراحی-زهره

استفاده شده است. نتایج این ارزیابی حاکی از وجود ۵ ایستگاه بحرانی دهملا، چم نظام، خیرآباد، جوکنک و سیدآباد است که ضمن کسب درجه اهمیت‌های متفاوت در شبکه‌های

به دست آمده با واقعیت‌های موجود در شبکه موثر باشد.

#### منابع:

- ۱- رجایی، طاهر، معصومی، ف. و احمدی سیاوشانی، فاطمه سادات (۱۴۰۰). مکانیابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته. نشریه آبیاری و زهکشی / ایران. ۲(۱۵): ۲۹۵-۳۰۶. صفحه ۲۹۵.
- ۲- سیفی پور، کوثر، میرعباسی نجف آبادی، رسول. و میرزایی، م. (۱۳۹۸). کاربرد تئوری آنتروپی در ارزیابی کارایی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی سفیددشت. نشریه هیدروژئولوژی. ۴(۲): ۶۳-۷۳. صفحه ۶۹.
- ۳- فانی، مرتضی، خلیفه، سمیه، خلیفه، ابراهیم. و افلاطونی، محمد. (۱۳۹۴). ارزیابی شبکه ایستگاه های باران سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ). مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸(۴): ۱-۱۳. صفحه ۲.
- ۴- کریمی گوغری، شهرام. و خلیفه، سمیه. (۱۳۹۰). ارزیابی کارایی شبکه آب‌سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوضه بختگان و مهارلو). پژوهشنامه

باران‌سنجی و آب‌سنجی، وضعیت بحرانی داشته و ادامه فعالیت آنها مستلزم تجدیدنظر جدی است. بر اساس نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی مقادیر شاخص انتقال اطلاعات  $ATI(i)$  تراکم ۴۲ ایستگاه منتخب شبکه باران‌سنجی حوزه آبخیز قابل قبول نبوده و ضروری است نسبت به پراکنش و چیدمان ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه تجدید نظر صورت گیرد. اما تراکم ۱۶ ایستگاه منتخب شبکه آب‌سنجی حوزه جراحی-زهره بهینه می‌باشد و می‌توان سایر ایستگاه‌های فعال آب-سنجی را از شبکه پایش حوزه حذف نمود. در پژوهشی که توسط فانی و همکاران (۱۳۹۴) نیز انجام شده است کارایی تئوری آنتروپی گسسته تایید شده و براساس نتایج حاصل شده تراکم بهینه ایستگاه‌ها مشخص شده است. به طور کلی همانگونه که در این پژوهش نیز دیده شد، تئوری آنتروپی ایده‌های مهمی را در خصوص چگونگی تولید اطلاعات در شبکه پایش و همچنین وضعیت ایستگاه‌های موجود در شبکه طرح و بحث نموده است. البته با توجه به ماهیت آماری و احتمالاتی این روش ممکن است علل و عوامل برخی تفاوت‌ها و مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های این روش مفهوم و یا واضح نبوده و ارتباط روشی با واقعیت‌های فیزیکی شبکه پایش و یا ایستگاه مورد بررسی نداشته باشد. بدیهی است انجام بازدیدهای میدانی و استفاده از سایر روش‌های علمی در کنار این روش می‌تواند در درک بعضی از مغایرت‌های عددی

- assessment. ۱۶۱(۴): ۲۴۷-۲۵۷. Page ۲۵۰.
- ۱۱- Karamouz, M., Hafez, B. Kerachian, R. (۲۰۰۵). Water quality monitoring network for river systems using geostatistical methods. Proceedings of ASCE-EWRI, World Water and Environmental Resources Congress. Alaska. USA.
- ۱۲- Kawachi, T. (۲۰۰۱). Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. Journal of Hydrology ۲۴۶: ۳۶-۴۴. Page ۳۷.
- ۱۳- Mishra, A.K. & Coulibaly, P. (۲۰۱۰). Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. Journal of Hydrology ۳۸۰: ۴۲۰-۴۳۷. Page ۴۲۰.
- ۱۴- Markus, M., Knapp, H.V. Tasker, G.D. (۲۰۰۳). Entropy and generalized least square methods in assessment of the regional value of stream gages. Journal of Hydrology ۲۸۳: ۱۰۷-۱۲۱. Page ۱۰۷.
- ۱۵- Mogheir, Y., Lima, J.L. Singh, V.P. (۲۰۰۴). Characterizing the special variability of groundwater quality using the entropy theory. Hydrological Process ۱۸: ۲۱۶۵-۲۱۷۹. Page ۲۱۶۶.
- ۱۶- Mogheir, Y. Singh, V.P. (۲۰۰۲). Application of information theory to groundwater quality monitoring system. Water Resources Management ۱۶(۱): ۳۷- ۴۹. Page ۳۷.
- ۱۷- Mogheir, Y. Singh, V.P. (۲۰۰۳). Specification of information needs for groundwater management planning in developing country. Groundwater Hydrology. مدیریت حوزه آبخیز. ۲(۳): ۳۴-۵۰. صفحه ۳۵.
- ۵- معصومی فریبرز. و کراچیان رضا. (۱۳۸۷). بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی. مجله علمی و پژوهشی آب و فاضلاب. ۲-۶۵: ۱۲-۲. صفحه ۲.
- ۶- مهجوری مجد، نجمه. و کراچیان، رضا. (۱۳۸۷). ارزیابی کارایی سیستم‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (رودخانه جاجرود). دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. اردیبهشت ۸۷. صفحه ۲.
- ۷- Chen, Y.C., Weiland C. Yeh, H.C. (۲۰۰۸). Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes ۲۲:۳۴۰-۳۴۶. Page ۳۴۰.
- ۸- Harmancioglu, N.B. (۱۹۸۱). Measuring the information content of hydrological processes by the entropy concept. J. Civil Engineering, ۱۳, ۸۸-۹۲. Page ۹۰.
- ۹- Harmancioglu, N. B. Alpaslan, N. (۱۹۹۲). Water quality monitoring network design: a problem of multi-objective decision making. AWRA Water Resources Bulletin ۲۸(۱): ۱۷۹-۱۹۲. Page ۱۷۹.
- ۱۰- Jiang, J., Tang, S., Han, D., Fu, G., Solomatine, D. Zheng, Y. (۲۰۲۰). A comprehensive review on case study. Environmental monitoring and

- ۱۹- Tabatabaei, S.M. Dastourani, M. Eslamian, S. Nazeri Tahroudi, M. (۲۰۲۲). Ranking and optimizing the rain-gauge networks using the entropy-copula approach (Case study of the Siminehrood Basin, Iran). A  
۲۰- ppl Water
- Balema Publisher. Tokyo ۲: ۳-۲۰. Page ۴.
- ۱۸- Shannon, C. E. (۱۹۴۸). A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal ۲۷: ۳۷۹-۴۲۳. Page ۳۷۹.
- Sci ۱۲: ۲۱۴.



## **Regional analysis and evaluation of the rain-gauge and hydrometric station networks of Jarrahi- Zohre Basin using discrete transinformation entropy**

**Syed Murtaza Tabatabai <sup>۱</sup>, Syed Amir Shams Nia <sup>۲</sup>, Alireza Walipour <sup>۳</sup>**

### **Abstract**

Assess the quality of rainfall and stream flow information have an important role in improving the efficiency and correct their deficiencies. For an optimal monitoring network design, they should be reviewed periodically based on the information needs and future water resources development plans. In this study evaluates regional values of rain-gauges and stream-gauges in Jarrahi- Zohre basin using the discrete entropy. To determine the regional value of each station within a region, several information parameters, were calculated to identify essential rain gauge and critical area. Based on the obtained results, ۳۹,۷% of the area of the area does not have a rain-gauge station, while nearly ۵۳% of the area of the area is in the class of lack, severe lack and lack of information exchange, and ۴۰% of the area of the area is in the middle class. Therefore, the density of the ۴۲ selected stations of the rain gauge network in Jarrahi - Zohre basin is not acceptable and it is necessary to seriously reconsider the distribution and layout of the rain-gauge stations in the area. Also, ۲۱,۱۶% of the area of the area does not have a water measuring station. While more than ۵,۷% of the district area is in the class of deficiency, severe deficiency and lack of information exchange, and more than ۷۳% of the area of the district is in the middle, upper middle and surplus class. Therefore, the density of the ۱۶ selected stations of the water measurement network is optimal and other active water measurement stations can be removed from the monitoring network of the area.

**Keywords:** Rainfall, Discrete Entropy, Rain-gauge, Hydrometric network.