دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارایی شبکه‌های آب‌سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوزه بختگان- مهارلو)

ش. کریمی گوغری[۱] و س. خلیفه[۲]

۱- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسنده مسئول): shkarimi1352@gmail.com
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده:

کیفیت مناسب اطلاعات آبدهی ثبت شده در شبکه‌های آب‌سنجی در طراحی پایدار پروژه‌های آبی نقش مهمی ایفا می‌کند. از این نظر جهت ایجاد شبکه‌ای بهینه و کارآمد، شبکه‌های آب‌سنجی بایستی به‌صورت دوره‌ای با توجه به نیاز و طرح‌های توسعه منابع آب پیش روی، مورد ارزیابی قرار گیرند. در این پژوهش بر پایه تئوری آنتروپی، ارزش منطقه ای ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه آبخیز بختگان- مهارلو مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از تئوری آنتروپی گسسته، محدودیت نرمال بودن داده‌ها در تحقیقات قبلی را مرتفع می‌نماید. با در نظر گرفتن گروهی از شاخص‌های آنتروپی همانند آنتروپی مرزی، آنتروپی مشترک، شاخص‌های اطلاعات ارسال شده و دریافت شده توسط هر ایستگاه و شاخص انتقال اطلاعات بین ایستگاه به تعیین ایستگاه‌های شاخص و مناطق ضعیف ازنظر تبادل اطلاعات در شبکه پایش حوزه آبخیز پرداخته شده وپهنه بندی انجام شده است. آنالیز حساسیت نحوه کلاس بندی اطلاعات نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌های آنتروپی به تغییر فاصله کلاس بندی اطلاعات حساس، اما رتبه بندی ایستگاه‌ها حساسیت بسیار کمی را ازخود نشان می‌دهد. نتایج صحت سنجی حاکی ازاین است که تئوری آنتروپی قابلیت خوبی جهت کمی کردن ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی در یک شبکه آب‌سنجی دارد و مقایسه آن با ضریب همبستگی اطلاعات بین ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که جهت تعیین موثرترین و ضعیف‌ترین ایستگاه‌ها می‌توان از روش ساده ضریب همبستگی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، تئوری آنتروپی، فاصله کلاس‌بندی، شبکه آب‌سنجی، ضریب همبستگی

مقدمه

تولید اطلاعات صحیح و کارآمد همواره از مسائل و چالش‌های مهم زیر مجموعه منابع آب کشور بوده است. از این نظر چیدمان ایستگاه‌های آب‌سنجی بجا و مناسب در شبکه آبراهه‌ای یک حوزه آبخیز حائز اهمیت فراوان بوده و در درک صحیح ویژگی‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز تأثیری عمیق و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

مستقیم دارد. اما هزینه‌های نصب، تجهیز و نگهداری ایستگاه‌های آب‌سنجی را نیز نمی‌توان از نظر دور داشت. بنابراین تولید حداکثر آمار و اطلاعات مورد نیاز با استفاده از حداقل تعداد ایستگاه‌ها یک اصل در طراحی صحیح شبکه ایستگاه‌های آب‌سنجی یک حوزه آبخیز است. بر این اساس بررسی امکان حذف یا اضافه نمودن ایستگاه‌های شبکه پایش آب‌سنجی بحثی مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد.

تئوری آنتروپتی با نگرشتتی آماری- احتمالاتی به وضعیت ایستگاه‌های موجود در شبکه آبراهه‌ای و آمار و اطلاعات ثبت شده در آنها به همراه ارتباط ایستگاه‌های موجود با یکدیگر، ضمن بررسی اطلاعات مجموعه ایستگاه‌های موجود، امکان حذف ایستگاه‌های مازاد یا اضافه نمودن ایستگاه‌های جدید در مناطق دارای کمبود را فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان از این تئوری در مدیریت بهتر شبکه‌های آب‌سنجی و چیدمان مناسب ایستگاه‌ها استفاده نمود. همچنین آنتروپی 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 شانون (۱۵) تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه استفاده از این تئوری در علوم مختلف مانند ارزیابی سری‌های زمانی اقتصادی و مباحث اکولوژیکی انجام داد و بسیاری از مفاهیم ناشناخته این تئوری را توسعه داد. درزمینه ارزیابی و طراحی سامانه‌های پایش منابع آب با تئوری آنتروپی نیز مطالعاتی انجام شده است. هارمانسی‌اقلو و همکاران (۳) تحقیقاتی را در زمینه انتقال اطلاعات (همبستگی اطلاعات) بین دو دسته اطلاعات مشاهداتی از دو ایستگاه پایش کیفی آب انجام داد. آنها همچنین، استفاده از آنتروپی را برای مسائل چند متغیره توسعه داده و یک تعریف ریاضی از آنتروپی چند متغیره در حالت متغیرهای مستقل و غیرمستقل ارائه داد. چاپمن (۱) آنتروپی را به عنوان یک کمیت اندازه‌گیری عدم قطعیت داده‌های هیدرولوژیکی وکارایی مدل‌های هیدرولوژیکی بیان کرد. او همچنین به بررسی اثر کلاس بندی‌های متفاوت بر شاخص‌های آنتروپی پرداخت و به این نتیجه رسید که آنتروپی با تغییر تعداد کلاس‌ها مقادیر متفاوتی از خود نشان می‌دهد. حسین (۴) یک روش ساده را براساس تئوری آنتروپی به منظور تخمین عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای در یک حوزه آبخیز رودخانه‌ای ارائه و همچنین یک روش طراحی شبکه پایش براساس آنتروپی پیشنهاد کرد. کاواچی و همکاران (۸) از تئوری آنتروپی برای کمی کردن عدم قطعیت شبکه پایش بارندگی سراسر ژاپن استفاده کرده و نقشه هم‌آنتروپی ژاپن را تهیه و آنرا با نقشه هم‌باران منطقه مقایسه نمودند. این مقایسه آنها را قادر به ارزیابی نسبی و دسته‌بندی پتانسیل منابع آب موجود ژاپن کرد. موغیر و سینگ (۱۳) روشی را برای طراحی شبکه پایش کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی انتقالی توسعه دادند. آنها همچنین، با استفاده از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

نقشه‌های خطوط همسان آنتروپی مرزی روشی برای ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی آب‌های زیرزمینی ارائه کردند.

تمامی مطالعاتی که در بالا بیان شد با استفاده از تئوری آنتروپی پیوسته انجام شده اند و در آنتروپی پیوسته فرض بر توزیع احتمالاتی نرمال یا لوگ نرمال اطلاعات است که این فرض در بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی صدق نمی‌کند. موغیر و سینگ (۱۴) و موغیر و همکاران (۱۲) روشی برای ارزیابی کیفی سامانه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته پیشنهاد دادند. مارکوس و همکاران (۱۱) از دو روش تئوری آنتروپی و GLS[1] به منظور ارزیابی ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های پایش رودخانه‌ای در ایالت ایلی‌نویز امریکا استفاده نمود و نتایج هر دو روش را با هم مقایسه و مدل ترکیبی از دو روش را پیشنهاد کردند. کارآموز و همکاران (۵) از اطلاعات انتقالی برای انتخاب بهترین ایستگاه‌های پایش کیفی آب از یک سری مناطق با پتانسیل پایش در طول یک رودخانه استفاده کردند. برای هر ایستگاه جدید با پتانسیل پایش، سری زمانی داده‌های کیفیت آب با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کیفی تولید شد. بدین ترتیب ضمن به‌کارگیری روش آنتروپی پیوسته در ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها، با تلفیق روش آنتروپی و یک مدل شبیه‌ساز کیفی، موقعیت ایستگاه‌های جدیدی نیز برای بهبود عملکرد سامانه پایش پیشنهاد گردید. سرلک و همکاران (۱۶) به ارزیابی و انتخاب ایستگاه‌های شبکه آب‌سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی پرداختند. آنها به بررسی اثر انواع توزیع‌های نرمال، لوگ‌نرمال و گاما بر نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نوع توزیع در نظر گرفته برای داده‌های آبدهی در تئوری آنتروپی پیوسته مهم می‌باشد و موجب مقادیر متفاوتی در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها می‌شود. چن و همکاران (۲) روشی مرکب از زمین‌آمار (کریجینگ) و آنتروپی برای تعیین تعداد و توزیع مکانی بهینه ایستگاه‌های باران‌سنجی در شمال تایوان ارائه دادند. در این روش از کریجینگ برای درون‌یابی مقادیر مشاهده شده ماهانه بارندگی به‌منظور بررسی تغییرات مکانی بارندگی و تعیین مقدار بارندگی در موقعیت‌های جدید باران‌سنج‌ها (گره‌های یک شبکه) و از آنتروپی، برای یافتن تعداد کافی باران‌سنج‌ها به‌طوری که معرف پدیده بارندگی ماهانه باشند استفاده و با محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات و آنتروپی مشترک درجه اهمیت ایستگاه‌ها تعیین گردید. معصومی و کراچیان (۹) با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته، کارایی سامانه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تهران را از نظر پایش مکانی و توالی زمانی نمونه‌برداری‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل، نشان‌دهنده کارایی مناسب الگوریتم پیشنهادی در ارزیابی و بهنگام سازی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی بود. کریمی حسینی و بزرگ حداد (۶) با استفاده از تئوری آنتروپی و الگوریتم ژنتیک به ارزیابی و طراحی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه باتلاق گاوخونی پرداختند. بدین منظور با استفاده از مفهوم تئوری آنتروپی و به دو روش الگوریتم ترتیبی

1- Generalized Least Square

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

و الگوریتم ژنتیک و با بررسی آنتروپی انتقال اطلاعات یک سری نقاط پتانسیل، مکان‌های مناسب نصب ایستگاه باران‌سنجی جدید تعیین گردید. در نهایت با مقایسه نتایج این دو روش، مشخص گردید که الگوریتم ژنتیک با یک تعداد معین ایستگاه به جواب بهتری نسبت به الگوریتم ترتیبی می‌رسد.

در این تحقیق سعی شده است با توجه به محدودیت ذکر شده در مورد عدم پیروی اطلاعات آب‌سنجی از توزیع نرمال یا لوگ‌نرمال، توانایی تئوری آنتروپی گسسته در تعیین ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های موجود در شبکه آب‌سنجی حوزه آبخیز بختگان- مهارلو مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا با استفاده گروهی از شاخص‌های آنتروپی به رتبه‌بندی ایستگاه‌ها پرداخته شده و ضمن تشریح کاربرد تئوری آنتروپی گسسته، حساسیت این روش به نحوه کلاس بندی اطلاعات مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت به بررسی ارتباط بین شاخص‌های آنتروپی و ضریب همبستگی اطلاعات هر ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها و پهنه‌بندی حوزه آبخیز با استفاده از شاخص انتقال اطلاعات پرداخته شده است.

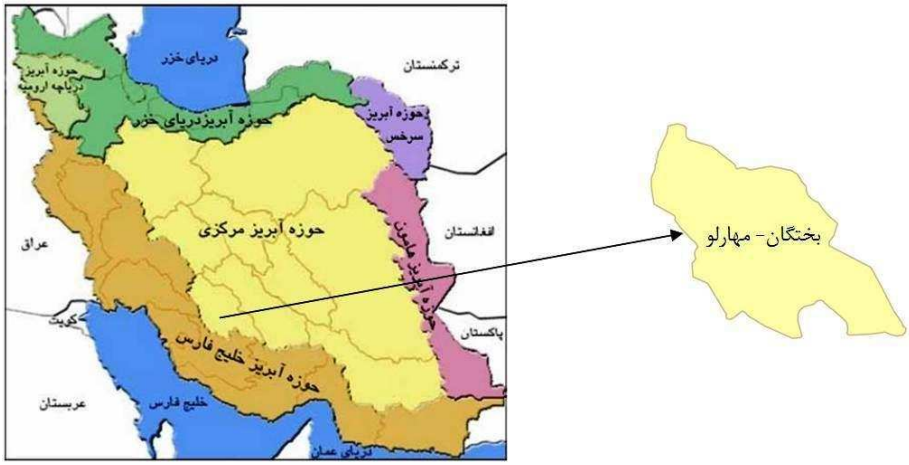
مواد و روش ها

۱- منطقه مورد مطالعه و اطلاعات

حوزه آبخیز بختگان- مهارلو یکی از ۳۰ حوزه آبخیز درجه ۲ کشور و بخشی از حوزه آبخیز اصلی مرکزی ایران می‌باشد. حوزه آبخیز بختگان- مهارلو در محدوده جغرافیایی ″۱۲ ′۴۹ °۵۱ تا ′۳۰ °۵۴ طول شرقی و ″۲۴ ′۵۹ °۲۸ تا ′۱۵ °۳۱ عرض شمالی گسترش یافته است. مساحت این حوزه آبخیز برابر با ۳۱۸۷۴ کیلومتر مربع است که تقریباً یک چهارم از استان فارس را تشکیل می‌دهد. محیط حوزه آبخیز برابر ۹۲۰/۶ کیلومتر بوده و از لحاظ تقسیم‌بندی اقلیمی بیشترین مساحت حوزه آبخیز را ناحیه نیمه‌خشک تشکیل داده است. در حوزه آبخیز بختگان- مهارلو ۵۲ ایستگاه آب‌سنجی توسط سازمان تحقیقات منابع آب ایران نصب گردیده که ۲۴ ایستگاه کماکان فعال می‌باشد (شکل ۲). در این پژوهش میانگین آبدهی سالانه ایستگاه‌های یاد شده به عنوان آمار و اطلاعات ثبت شده در هر ایستگاه مد نظر قرار گرفته است.

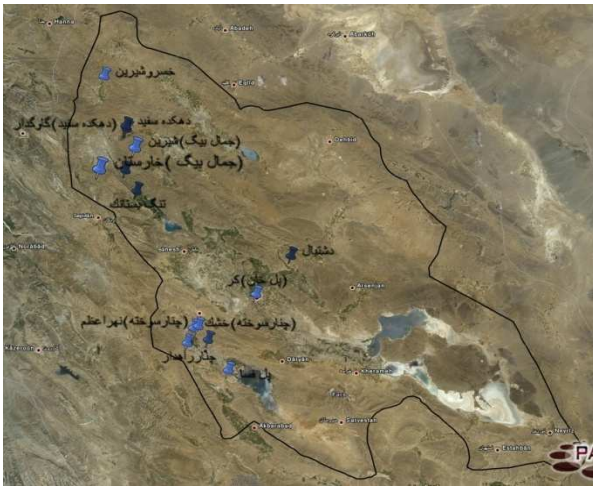
اولین گام در بررسی آمار و اطلاعات شبکه ایستگاه‌های آب‌سنجی یک حوزه آبخیز تشکیل دوره آماری مشترک است. در این ارتباط و براساس آمار و اطلاعات موجود، دوره آماری ۳۲ ساله از سال ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۵ شامل ۱۴ ایستگاه برای حوزه آبخیز تشکیل گردید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز بختگان- مهارلو (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۶).

بدیهی است 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 تعیین 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.



شکل ۲- تصویر ماهواره ای Google Earth از ۱۴ ایستگاه آب سنجی منتخب حوزه آبخیز بختگان- مهارلو.

۲- تئوری آنتروپی:

به طور کلی 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 لوگ‌نرمال پیروی می‌کند. ولی در حالت گسسته باتوجه به بازه تغییرات مقادیر متغیرها، اطلاعات موجود گسسته سازی شده و جداول توزیع متغیرها تهیه می‌شوند. سپس بر مبنای این جداول، مقادیر احتمال رخداد در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

هر حالت محاسبه می‌شود. اما تحقیقات اخیر همچون موغیر و سینگ (۱۳) نشان داده است که تابع توزیع احتمال بسیاری از متغیرهای کمی و کیفی در 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. در این راستا مقادیر آبدهی ۱۴ ایستگاه توسط نرم‌افزار MINITAB و روش آزمون Anderson-Darling مورد ارزیابی قرار گرفته و مشاهده شد که از تابع توزیع احتمال نرمال و لوگ‌نرمال پیروی نمی‌نمایند لذا در این تحقیق آنتروپی گسسته مورد استفاده قرار گرفته است. تعریف گروهی از شاخص‌های آنتروپی گسسته به صورت زیر می‌باشند.

الف- آنتروپی مرزی:

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

ب- آنتروپی مشترک:

$$H(x,y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln p(x_i, y_j) \qquad (۲)$$

ج- آنتروپی شرطی:

$$H(x|y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln p(x_i|y_j) \qquad (۳)$$

د- آنتروپی انتقال اطلاعات:

$$T(x,y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j) \ln\left[\frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)}\right] \qquad (۴)$$

در روابط بالا $p(x)$ احتمال روی‌دادن x، $p(x,y)$ احتمال روی دادن مشترک x و y و $p(x|y)$ احتمال رخداد ن x به شر ط y می‌باشد. اگرچه $T(x,y)$ به عنوان شاخصی برای تعیین انتقال اطلاعات مطرح است اما موغیر و سینگ (۱۲) شاخص زیر را برای نرمال کردن شاخص آنتروپی انتقال اطلاعات معرفی و آنرا شاخص انتقال اطلاعات[1] نامیدند.

$$ITI = \frac{T(x,y)}{H(x,y)} \qquad (۵)$$

مارکوس و همکاران (۱۱) سه شاخص R(i)، S(i) و N(i) را به شرح زیر و به صورت یک تبدیل کسری آنتروپی x با نماد R(x,y) که یک کاهش عدم قطعیت ازx اگر y معلوم باشد و در واقع اطلاعات دریافتی توسط x از y نیز می‌باشد، در آنتروپی گسسته تعریف نمودند:

$$R(x,y) = \frac{T(x,y)}{H(x)} \qquad (۶)$$

$$S(x,y) = \frac{T(x,y)}{H(y)} \qquad (۷)$$

اطلاعات دریافتی و ارسالی ایستگاه iام نیز این گونه تعریف می‌شود:

$$R(i) = R(x(i), \hat{x}(i)) \qquad (۸)$$

$x(i)$ بیان کننده داده‌های ایستگاه iام و $\hat{x}(i)$ از رابطه خطی زیر به دست می‌آید:

$$\hat{x}(i) = a(i) + \sum_{j=1}^{I-1} y_j(i) \times b_j(i) \qquad (۹)$$

y(i) ماتریس داده‌ها از تمام ایستگاه‌های دیگر و a(i) و b(i) پارامترهای رگرسیون بین ایستگاه iام و تمام ایستگاه‌های دیگر است که به صورت خطی برازش داده شده است.

به گونه‌ای مشابه:

$$S(i) = S(x(i), \hat{x}(i)) \qquad (۱۰)$$

روابط فوق به ویژه (۸) و (۱۰) بیانگر آن است که مقادیر بزرگ‌تر R(i) و S(i) به ترتیب به معنای دریافت و ارسال بیشتر اطلاعات بین ایستگاه iام و سایر ایستگاه‌های شبکه و یا برقراری بهتر ارتباط بین این ایستگاه و سایر

1- Information Transfer Index (ITI)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

ایستگاه‌ها است. بدین ترتیب مقادیر بیشتر R(i) و S(i) برای یک ایستگاه به معنای ارزش بیشتر ایستگاه یاد شده است و حفظ و نگهداری ایستگاه مزبور توصیه می‌شود.

اما شاخص N(i) با نام اطلاعات خالص تبادلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N(i) = S(i) - R(i) \qquad (۱۱)$$

شاخص N(i) از این نظر حائز اهمیت است که ارزش هر ایستگاه با این شاخص سنجیده می‌شود. شاخص N(i) بیان کننده اطلاعات کل خالص هرایستگاه بوده و هر ایستگاهی که کمترین میزان N(i) را داراست کمترین رتبه و اهمیت را در شبکه پایش به خود اختصاص می‌دهد.

۳- آنالیز حساسیت:

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 ۱). سپس با استفاده از این جداول، مقادیر احتمال رخداد در هر حالت محاسبه می‌شود (جدول ۲). 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[1] مشهور است تعداد کلاس‌های (بازه‌های) مناسب محاسبه شده است:

$$NCI = 1 + 3.322\log(n) \qquad (۱۲)$$

در رابطه بالا، n تعداد مشاهدات و NCI تعداد بازه‌ها (کلاس‌بندی) در سری زمانی متغیر مورد نظر است. البته در بسیاری از موارد، تعداد کلاس‌ها به طور دلخواه انتخاب می‌شود. در این حالت معمولاً تعداد کلاس‌ها کمتر از ۵ کلاس و بیشتر از ۲۰ کلاس نیست. اگر تعداد کلاس‌ها از ۵ کمتر انتخاب شود، داده‌ها اطلاعات خود را از دست خواهند داد. افزایش تعداد کلاس‌ها به بیش از ۲۰ کلاس نیز سبب طولانی و وقت‌گیر شدن محاسبات خواهد شد. اما در هر حال این روش، یک روش کاملاً سلیقه‌ای و عملی است. با توجه به مطالب مطرح شده در بالا و برای بررسی اثر کلاس بندی‌های مختلف بر مقادیر شاخص‌های آنتروپی و رتبه بندی ایستگاه‌ها در حوزه آبخیز چهار حالت کلاس‌بندی ۳، ۶، ۱۲ و ۱۸ در نظر گرفته شد. نتایج آنالیز حساسیت انجام شده در ادامه تشریح گردیده است.

۴- پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات (ITI(i)) در حوزه آبخیز:

اساس پهنه‌بندی بر درون‌یابی[2] 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 حوزه آبخیز مطالعاتی بر اساس شاخص ITI(i)، ازروش میان‌یابی Spline با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شد. در نهایت براساس حدود ذکر شده در جدول ۳ برای شاخص ITI(i) در حوزه آبخیز پهنه‌بندی انجام شده است (۱۰).

1- Storeajse

2- Interpolation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

جدول ۱- توزیع فراوانی ۶ کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار)

		$\hat{x}(i)$						
		۲/۶۷ -۴/۹۵	۴/۹۵ -۷/۲۲	۷/۲۲-۹/۵۰	۹/۵۰ -۱۱/۷۸	۱۱/۷۸ -۱۴/۰۵	۱۴/۰۵ -۱۶/۳۳	مجموع مشاهدات
$x(i)$	۲/۶۴-۴/۹۶	۵	۲	۰	۰	۰	۰	۷
	۴/۹۶-۷/۲۷	۱	۸	۱	۰	۰	۰	۱۰
	۷/۲۷-۹/۵۸	۰	۰	۹	۰	۰	۰	۹
	۹/۵۸ -۱۱/۸۹	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۴
	۱۱/۸۹ -۱۴/۲۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
	۱۴/۲۱ -۱۶/۵۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
	مجموع مشاهدات	۶	۱۰	۱۰	۵	۰	۱	۳۲

جدول ۲- توزیع احتمالاتی ۶ کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار)

		$\hat{x}(i)$						
		۲/۶۷-۴/۹۵	۴/۹۵-۷/۲۲	۷/۲۲-۹/۵۰	۹/۵۰-۱۱/۷۸	۱۱/۷۸-۱۴/۰۵	۱۴/۰۵-۱۶/۳۳	مجموع مشاهدات
$x(i)$	۲/۶۴-۴/۹۶	۰/۱۵۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱۹
	۴/۹۶-۷/۲۷	۰/۰۳۱	۰/۲۵۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۱۳
	۷/۲۷ -۹/۵۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۱
	۹/۵۸ -۱۱/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۵
	۱۱/۸۹ -۱۴/۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱
	۱۴/۲۱ -۱۶/۵۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱
	مجموع مشاهدات	۰/۱۸۸	۰/۳۱۳	۰/۳۱۳	۰/۱۵۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱	۱/۰۰۰

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) (10)

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

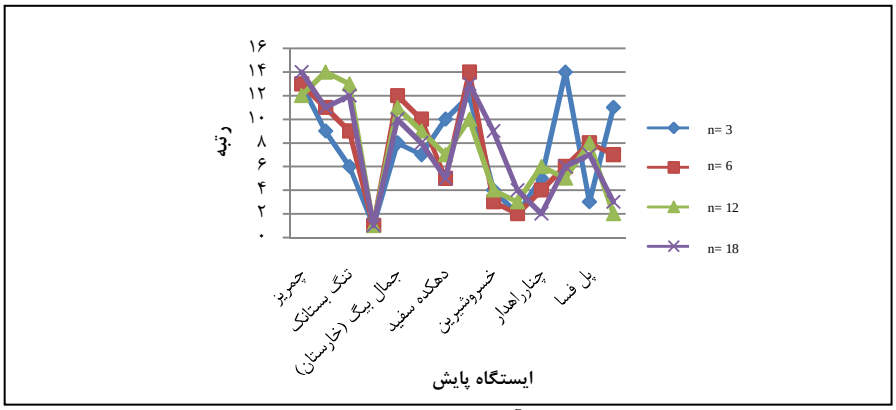
نتایج و بحث

۱- آنالیز حساسیت دسته‌بندی اطلاعات

ضرایب انتقال اطلاعات مانند ITI(i)، ارسال اطلاعات S(i) و یا دریافت اطلاعات R(i) و حتی مقادیر آنتروپی‌های مرزی و مشترک به تغییر فاصله دسته‌بندی اطلاعات و متعاقب آن تعداد دسته‌بندی‌ها حساس هستند. والدز و همکاران (۱۷) و چاپمن (۱) در تحقیقات خود بیان داشتند که انتخاب تعداد دسته‌بندی‌ها یک مسئله عملی و انتخابی است. مارکوس و همکاران (۱۴) گزارش دادند که تغییر تعداد کلاس‌ها بر میزان شاخص‌های آنتروپی تاثیر می‌گذارد در حالیکه تحقیقات میشرا و کولیبالی (۱۰)

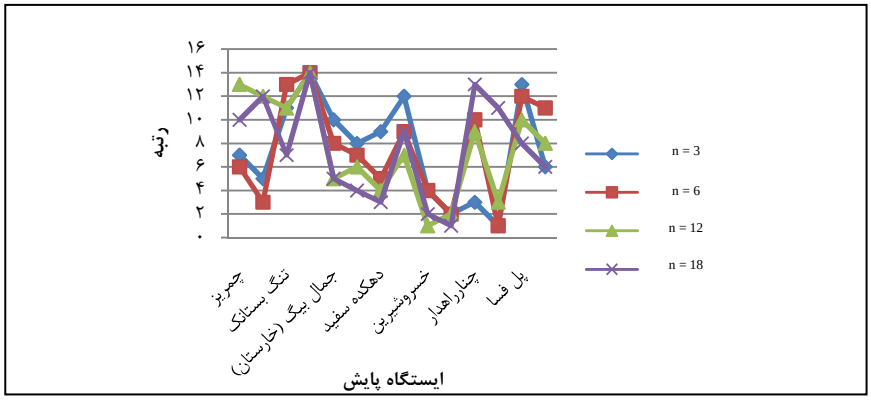
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

در کانادا تغییر تعداد کلاس‌بندی ها، n، را در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها بی‌تاثیر می‌داند. در این تحقیق تحلیل حساسیت فاصله دسته‌بندی‌ها بر مقادیر شاخص‌های آنتروپی ITI(i)، S(i)، R(i) و N(i) در ۱۴ ایستگاه منتخب حوزه آبخیز بختگان- مهارلو در ۴ حالت مختلف ۳، ۶، ۱۲، ۸ کلاسه انجام شده و نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۶ نمایش داده شده است. نتایج محاسبات مقادیر شاخص‌های آنتروپی در کلیه ایستگاه‌ها برای مقادیر مختلف n در جدول ۴ ارائه گردیده است و نتایج حاکی از تغییر مقادیر شاخص‌های آنتروپی و تاثیر در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها دارد اگرچه رتبه‌بندی ایستگاه‌ها به تغییرات n حساسیت کمتری نشان داده است. با توجه به رتبه‌بندی ایستگاه‌ها برای مقادیر مختلف n و شکل‌های ۳ تا ۶ می‌توان نتیجه گرفت که مقدار n=۳ بیشترین تغییرات مقادیر شاخص‌ها، رتبه بندی را در مقایسه با سایر مقادیر n ایجاد نموده است و حالت‌های ۶، ۱۲ و ۱۸ کلاسه رفتار کاملا مشابهی دارند، لذا با در نظر گرفتن حداقل محاسبات، حالت ۶ کلاسه (n=۶) برای حوزه آبخیز قابل توصیه است که این مقدار با رابطه استورجس نیز مطابقت دارد. همچنین بررسی شکل‌های ۳ تا ۶ نشان می‌دهد که تغییر در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص N(i)، تغییرات زیادی را با سه شاخص (ITI(i)، R(i) وS(i)) داراست. لذا می‌توان نتیجه گرفت این سه شاخص نسبت به تغییرات فاصله دسته‌بندی اطلاعات از حساسیت کمتری برخوردار می‌باشند. نتایج درحوزه آبخیز مورد مطالعه با نتایج مارکوس و همکاران (۱۴) درمورد تغییر میزان شاخص‌های آنتروپی همخوانی دارد در حالیکه نتایج میشرا و کولیبالی (۱۰) در مورد بی اثر بودن تعداد کلاس بندی‌ها، n، در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها کاملا تایید نمی‌شود.

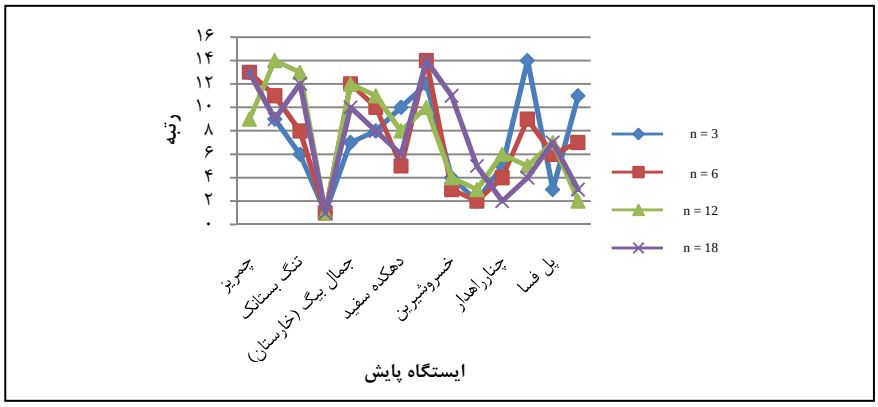


شکل ۳- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه آبخیز براساس شاخص ITI(i) برای مقادیر مختلف n.

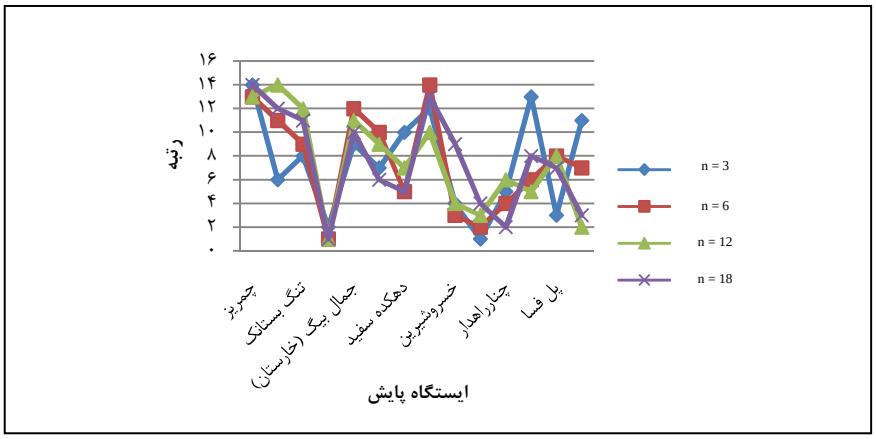
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]



شکل ۴- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه آبخیز براساس شاخص N(i) برای مقادیر مختلف n.



شکل ۵- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه آبخیز براساس شاخص R(i) برای مقادیر مختلف n.



شکل ۶- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه آبخیز براساس شاخص S(i) برای مقادیر مختلف n.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

جدول ۴- نتایج آنالیز حساسیت تعداد کلاس بندی بر مقادیر شاخص های ITI(i)، S(i)، R(i) و N(i)

نام ایستگاه	تعداد کلاس‌بندی (بازه)																			
	n= ۳				n= ۶				n= ۱۲				n= ۱۸			
	ITI(i)	R(i)	S(i)	N(i)	ITI(i)	R(i)	S(i)	N(i)	ITI(i)	R(i)	S(i)	N(i)	ITI(i)	R(i)	S(i)	N(i)
چم ریز	۰/۶۹۶	۰/۸۱۵	۰/۸۲۶	۰/۰۱۱	۰/۵۷۵	۰/۷۳۲	۰/۷۲۸	-۰/۰۰۴	۰/۵۷۰	۰/۷۰۴	۰/۷۵۰	۰/۰۴۵	۰/۶۷۱	۰/۷۹۲	۰/۸۱۴	۰/۰۲۲
پل خان (کر)	۰/۴۸۰	۰/۶۵۶	۰/۶۴۱	-۰/۰۱۵	۰/۵۵۸	۰/۷۲۲	۰/۷۱۰	-۰/۰۱۱	۰/۶۱۰	۰/۷۵۲	۰/۷۶۴	۰/۰۱۲	۰/۵۹۹	۰/۷۳۴	۰/۷۶۶	۰/۰۳۲
تنگ بستانک	۰/۴۴۳	۰/۵۸۷	۰/۶۴۳	۰/۰۵۶	۰/۴۶۶	۰/۶۲۲	۰/۶۵۰	۰/۰۲۷	۰/۵۸۳	۰/۷۳۳	۰/۷۳۹	۰/۰۰۶	۰/۶۰۷	۰/۷۵۸	۰/۷۵۳	-۰/۰۰۵
جمال بیگ (شیرین)	۰/۱۳۰	۰/۱۹۰	۰/۲۹۰	۰/۱۰۰	۰/۱۴۰	۰/۲۱۵	۰/۲۸۸	۰/۰۷۲	۰/۲۵۶	۰/۳۶۸	۰/۴۵۶	۰/۰۸۸	۰/۰۶۴	۰/۰۸۷	۰/۱۹۲	۰/۱۰۵
جمال بیگ (خارستان)	۰/۴۶۵	۰/۶۱۸	۰/۶۵۳	۰/۰۳۵	۰/۵۶۶	۰/۷۲۳	۰/۷۲۳	۰/۰۰۰	۰/۵۵۰	۰/۷۲۰	۰/۶۹۹	-۰/۰۲۲	۰/۵۷۳	۰/۷۳۹	۰/۷۱۹	-۰/۰۲۰
دشتبال	۰/۴۶۲	۰/۶۲۲	۰/۶۴۲	۰/۰۲۰	۰/۵۲۰	۰/۶۸۵	۰/۶۸۳	-۰/۰۰۲	۰/۵۴۱	۰/۷۱۲	۰/۶۹۳	-۰/۰۱۹	۰/۵۲۲	۰/۷۰۴	۰/۶۶۹	-۰/۰۳۵
دهکده سفید	۰/۵۳۵	۰/۶۸۶	۰/۷۱۰	۰/۰۲۴	۰/۴۰۶	۰/۵۷۹	۰/۵۷۵	-۰/۰۰۴	۰/۴۷۳	۰/۶۵۸	۰/۶۲۸	-۰/۰۳۰	۰/۴۸۳	۰/۶۷۵	۰/۶۲۹	-۰/۰۴۵
دهکده سفید (گاوگدار)	۰/۶۲۴	۰/۷۴۰	۰/۸۰۰	۰/۰۶۰	۰/۶۱۶	۰/۷۵۹	۰/۷۶۵	۰/۰۰۶	۰/۵۴۱	۰/۷۱۰	۰/۶۹۵	-۰/۰۱۵	۰/۶۶۷	۰/۷۹۳	۰/۸۰۷	۰/۰۱۴
خسرو شیرین	۰/۳۵۴	۰/۵۳۵	۰/۵۱۱	-۰/۰۲۴	۰/۲۹۱	۰/۴۵۶	۰/۴۴۵	-۰/۰۱۰	۰/۳۹۱	۰/۵۸۳	۰/۵۴۳	-۰/۰۴۰	۰/۵۶۵	۰/۷۴۷	۰/۶۹۹	-۰/۰۴۸
چنار سوخته (نهراعظم)	۰/۱۴۷	۰/۲۸۳	۰/۲۳۵	-۰/۰۴۸	۰/۲۶۸	۰/۴۵۰	۰/۳۹۸	-۰/۰۵۲	۰/۳۶۸	۰/۵۵۵	۰/۵۲۲	-۰/۰۳۳	۰/۴۷۲	۰/۶۷۲	۰/۶۱۳	-۰/۰۵۹
چنار راهدار	۰/۳۶۶	۰/۵۵۸	۰/۵۱۵	-۰/۰۴۴	۰/۳۴۷	۰/۵۰۹	۰/۵۲۱	۰/۰۱۲	۰/۴۴۱	۰/۶۱۳	۰/۶۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۳۳۱	۰/۴۵۸	۰/۵۴۳	۰/۰۸۴
چنار سوخته (خشک)	۰/۷۰۴	۰/۸۵۴	۰/۸۰۰	-۰/۰۵۴	۰/۴۶۸	۰/۶۷۷	۰/۶۰۳	-۰/۰۷۴	۰/۴۲۲	۰/۶۱۰	۰/۵۷۸	-۰/۰۳۲	۰/۵۱۲	۰/۶۶۳	۰/۶۹۲	۰/۰۲۹
پل فسا	۰/۲۹۶	۰/۴۲۸	۰/۴۸۸	۰/۰۶۰	۰/۴۲۵۴	۰/۵۸۴	۰/۶۱۱	۰/۰۲۷	۰/۴۸۱	۰/۶۵۰	۰/۶۴۹	-۰/۰۰۲	۰/۵۲۲	۰/۶۸۵	۰/۶۸۷	۰/۰۰۲
پل باغ صفا	۰/۵۸۰	۰/۷۳۵	۰/۷۳۴	۰/۰۰۰	۰/۴۲۴۹	۰/۵۸۷	۰/۶۰۶	۰/۰۱۹	۰/۳۲۰	۰/۴۸۸	۰/۴۸۳	-۰/۰۰۴	۰/۴۲۱	۰/۵۹۶	۰/۵۹۰	-۰/۰۰۶

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

۲- ارزیابی ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌ها

کارایی تئوری آنتروپی در رتبه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوزه آبخیز بختگان- مهارلو مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها براساس مقادیر شاخص‌های متفاوت آنتروپی برای n= ۶ ارائه شده است. چنان که در جدول ۵ دیده می‌شود چهار ایستگاه چنارسوخته (خشک)، چنارسوخته (نهراعظم)، خسروشیرین و جمال‌بیگ (شیرین) ضمن کسب رتبه‌های پایین در شبکه، وضعیتی بحرانی داشته و ادامه فعالیت آنها مستلزم تجدید نظر جدی است. از سوی دیگر ایستگاه‌های چمریز، دهکده‌سفید (گاوگدار) و جمال‌بیگ (خارستان) بالاترین رتبه‌ها را در میان سایر ایستگاه‌ها به‌خود اختصاص داده‌اند و سه ایستگاه مهم حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشند که مفیدترین اطلاعات در شبکه پایش را تولید می‌نمایند به‌منظور صحت‌سنجی کارکرد تئوری آنتروپی در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها، ضعیف‌ترین ایستگاه حوزه آبخیز (چنارسوخته (نهراعظم)) در شبکه پایش حذف و رتبه‌بندی ایستگاه‌ها مجددا با n= ۶ برای ۱۳ ایستگاه باقیمانده تکرار شد. مقادیر و رتبه‌بندی جدید شاخص‌های آنتروپی (۱۳ ایستگاه باقیمانده) در جدول ۶ ارائه شده است. با حذف ایستگاه مذکور شاخص‌های آنتروپی مقادیر متفاوتی کسب کردند، به طوریکه مقادیر شاخص‌ها در ایستگاه‌های پیرامون ایستگاه چنارسوخته (نهراعظم) افزایش یافت که نشان می‌دهد با حذف ایستگاه چنارسوخته (نهراعظم) عدم قطعیت در ایستگاه‌های همسایه مانند پل باغ‌صفا و چنارسوخته (خشک) و ایستگاه‌هایی با ضریب همبستگی بالاتر مانند دهکده‌سفید (گاوگدار) و چمریز به میزان بیشتری نسبت به سایرین کاهش یافته و به همان میزان ارزش اطلاعات نیز در این ایستگاه‌ها نسبت به سایرین افزایش یافته است. در بررسی رتبه‌های سیزده ایستگاه باقیمانده در شبکه پایش، ایستگاه‌های جمال‌بیگ (شیرین) و چنارسوخته (خشک) به عنوان ضعیف‌ترین ایستگاه‌ها و ایستگاه‌های دهکده‌سفید (گاوگدار) و چمریز نیز به عنوان مفیدترین ایستگاه‌ها موقعیت خود را در رتبه بندی ایستگاه‌های شبکه حفظ نموده‌اند که نشان از کارکرد صحیح روش آنتروپی در رتبه بندی ایستگاه‌ها دارد.

نتایج پهنه‌بندی حوزه آبخیز مورد مطالعه براساس شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) (شکل ۷) نشان داد نزدیک به ۶۵ درصد مساحت حوزه آبخیز فاقد ایستگاه و یا دارای کمبود شدید تبادل اطلاعات می‌باشد و به تبعیت از آن اطلاعات آب‌سنجی مناسبی نیز در این مناطق در اختیار نیست. ضروری است ایستگاه‌های تعطیل شده در این نواحی فعال شده و یا ایستگاه‌های جدید احداث گردد. همچنین ۲۶ درصد حوزه آبخیز دارای تبادل اطلاعات متوسط و یا بیشتر می‌باشد. در مجموع تراکم شبکه پایش حوزه آبخیز احتیاج به تجدید نظر کلی دارد.

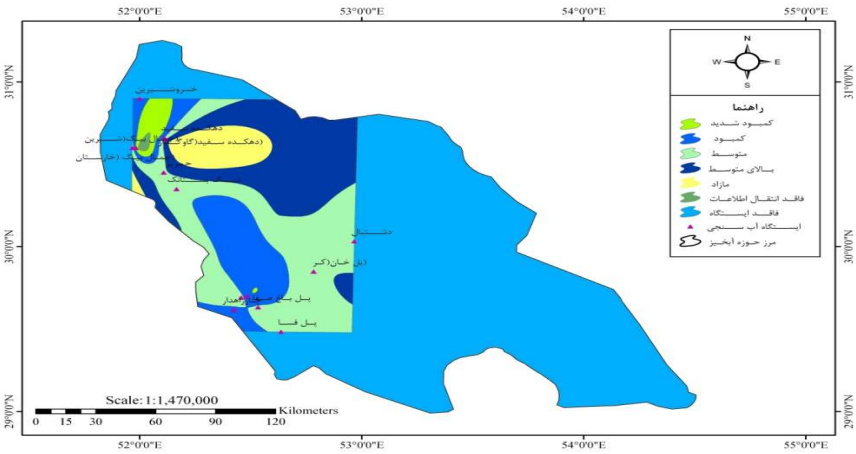
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

جدول ۵- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه آبخیز بختگان- مهارلو براساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی

نام ایستگاه	رتبه	$S(i)$	رتبه	$R(i)$	رتبه	$ITI(i)$	رتبه	$H(x(i),\hat{x}(i))$	رتبه	$H(\hat{x}(i))$	رتبه	$H(x(i))$
چمریز	۱۳	۰/۷۲۸	۱۳	۰/۷۳۲	۱۳	۰/۵۷۵	۸	۳/۰۲۲	۱۲	۲/۳۸۶	۱۳	۲/۳۷۴
پل خان (کر)	۱۱	۰/۷۱۰	۱۱	۰/۷۲۲	۱۱	۰/۵۵۸	۶	۲/۷۷۴	۸	۲/۱۷۷	۷	۲/۱۴۳
تنگ بستانک	۸	۰/۶۵۰	۸	۰/۶۲۲	۹	۰/۴۶۶	۷	۳/۰۰۷	۷	۲/۱۵۷	۱۰	۲/۲۵۱
جمال بیگ (شیرین)	۱	۰/۲۸۸	۱	۰/۲۱۵	۱	۰/۱۴۰	۱۲	۳/۳۳۲	۱	۱/۶۲۷	۸	۲/۱۷۲
جمال بیگ (خارستان)	۱۲	۰/۷۲۳	۱۲	۰/۷۲۳	۱۲	۰/۵۶۶	۱۰	۳/۰۵۲	۱۳	۲/۳۸۹	۱۴	۲/۳۸۹
دشتبال	۱۰	۰/۶۸۳	۱۰	۰/۶۸۵	۱۰	۰/۵۲۰	۹	۳/۰۳۸	۱۰	۲/۳۱۲	۱۱	۲/۳۰۴
دهکده سفید	۵	۰/۵۷۵	۵	۰/۵۷۹	۵	۰/۴۰۶	۱۱	۳/۱۳۵	۹	۲/۲۱۲	۹	۲/۱۹۵
دهکده سفید (گاو گدار)	۱۴	۰/۷۶۵	۱۴	۰/۷۵۹	۱۴	۰/۶۱۶	۲	۲/۵۲۷	۶	۲/۰۳۳	۵	۲/۰۵۰
خسرو شیرین	۳	۰/۴۴۵	۳	۰/۴۵۶	۳	۰/۲۹۱	۱۴	۳/۷۱۵	۱۴	۲/۴۲۵	۱۲	۲/۳۶۹
چنار سوخته (نهر اعظم)	۲	۰/۳۹۸	۲	۰/۴۵۰	۲	۰/۲۶۸	۱۳	۳/۵۴۳	۱۱	۲/۸۳□	۶	۲/۱۰۹
چنار راهدار	۴	۰/۵۲۱	۴	۰/۵۰۹	۴	۰/۳۴۷	۳	۲/۵۹۶	۲	۱/۷۲۸	۲	۱/۷۶۸
چنار سوخته (خشک)	۹	۰/۶۰۳	۹	۰/۶۷۷	۶	۰/۴۶۸	۱	۲/۳۴۸	۳	۱/۸۲۳	۱	۱/۶۲۴
پل فسا	۷	۰/۶۱۱	۶	۰/۵۸۴	۸	۰/۴۲۵۴	۵	۲/۷۲۳	۵	۱/۸۹۸	۴	۱/۹۸۴
پل باغ صفا	۶	۰/۶۰۶	۷	۰/۵۸۷	۷	۰/۴۲۴۹	۴	۲/۵۹۹	۴	۱/۸۲۳	۳	۱/۸۸۱

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آنتروپی گسسته ۱۳ ایستگاه حوزه آبخیز بختگان- مهارلو (۶ کلاسه)

نام ایستگاه	رتبه	$S(i)$	رتبه	$R(i)$	رتبه	$ITI(i)$	رتبه	$H(x(i),\hat{x}(i))$	رتبه	$H(\hat{x}(i))$	رتبه	$H(x(i))$
چمریز	۱۲	۰/۷۶۰	۱۱	۰/۷۵۱	۱۲	۰/۶۰۷	۷	۲/۹۳۶	۱۰	۲/۳۴۶	۱۲	۲/۳۷۴
پل خان (کر)	۱۱	۰/۷۳۲	۱۲	۰/۷۵۸	۱۱	۰/۵۹۳	۵	۲/۷۳۸	۹	۲/۲۲۰	۵	۲/۱۴۳
تنگ بستانک	۶	۰/۶۱۶	۷	۰/۶۴۴	۷	۰/۴۶۰	۱۰	۳/۱۵۳	۱۱	۲/۳۵۲	۹	۲/۲۵۱
جمال بیگ (شیرین)	۱	۰/۱۹۶	۱	۰/۱۲۰	۱	۰/۰۸۰	۱۲	۳/۲۴۶	۱	۱/۳۳۴	۶	۲/۱۷۲
جمال بیگ (خارستان)	۹	۰/۶۶۶	۸	۰/۶۷۴	۸	۰/۵۰۳	۱۱	۳/۱۹۸	۱۳	۲/۴۱۹	۱۳	۲/۳۸۹
دشتبال	۷	۰/۶۵۳	۶	۰/۵۹۱	۶	۰/۴۵۰	۸	۳/۰۲۶	۷	۲/۰۸۴	۱۰	۲/۳۰۴
دهکده سفید	۵	۰/۵۷۵	۵	۰/۵۷۹	۵	۰/۴۰۶	۹	۳/۱۳۵	۸	۲/۲۱۲	۷	۲/۱۹۵
دهکده سفید (گاوگدار)	۱۳	۰/۸۱۷	۱۳	۰/۷۶۳	۱۳	۰/۶۵۱	۳	۲/۵۸۴	۶	۲/۰۶۰	۸	۲/۲۰۶
خسرو شیرین	۲	۰/۴۳۷	۲	۰/۴۴۱	۲	۰/۲۸۱	۱۳	۳/۷۱۵	۱۲	۲/۳۸۹	۱۱	۲/۳۶۹
چنار راهدار	۳	۰/۴۷۵	۳	۰/۴۷۴	۳	۰/۳۱۱	۴	۲/۶۹۶	۲	۱/۷۶۶	۲	۱/۷۶۸
چنار سوخته (خشک)	۸	۰/۶۶۴	۱۰	۰/۷۲۶	۱۰	۰/۵۳۱	۱	۲/۳۸۷	۴	۱/۹۰۹	۱	۱/۷۴۶
پل فسا	۴	۰/۵۴۱	۴	۰/۵۱۷	۴	۰/۳۵۹	۶	۲/۸۵۵	۳	۱/۸۹۸	۴	۱/۹۸۴
پل باغ صفا	۱۰	۰/۶۶۶	۹	۰/۶۹۲	۹	۰/۵۱۴	۲	۲/۵۳۳	۵	۱/۹۵۳	۳	۱/۸۸۱



شکل ۷- پهنه‌بندی حوزه آبخیز بختگان- مهارلو براساس شاخص انتقال اطلاعات ITI(i).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

۳- بررسی ارتباط بین شاخص‌های آنتروپی و ضریب همبستگی اطلاعات ایستگاه‌ها

نتایج به دست آمده برای ایستگاه‌های دارای ضعیف‌ترین و بهترین رتبه‌ها بر اساس چهار شاخص R(i)، ITI(i)، S(i) و ضریب همبستگی اطلاعات هر ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها (r) قابل توجه است. چنانکه در جدول ۷ دیده می‌شود نتیجه رتبه‌بندی ایستگاه‌ها براساس r در ایستگاه‌های دارای اهمیت کم و زیاد در حوزه آبخیز با روش آنتروپی تطابق کامل داشته و در رتبه‌های میانی نیز در اکثر ایستگاه‌ها این تطابق برقرار است. جدول ۸ همبستگی میان شاخص‌های یاد شده را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر شاخص‌های S(i)، R(i) و ITI(i) نشان می‌دهد که ارتباط تقریباً مشخصی بین این شاخص‌ها وجود داشته که می‌توان ارتباط فوق را در قالب یک معادله خطی نشان داد. معادله ۱۳ بیانگر این ارتباط در تعیین شاخص تبادل اطلاعات براساس سایر شاخص‌های آنتروپی می‌باشد.

$$ITI(i) = 0.64S(i) + 0.31R(i) - 0.13 \quad (۱۳)$$

(n= 14, R^2= 0.99, F= 529.97, Sig= 0.000…)

همچنین رابطه تجربی بین ضریب همبستگی اطلاعات هر ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها (r) و شاخص‌های S(i)، R(i) و ITI(i) در حوزه آبخیز مورد مطالعه به‌صورت معادلات ۱۴ تا ۱۶ می‌باشد.

$$R(i) = 0.7r^{2.269} \quad (۱۴)$$

(n= 14, R^2= 0.85, Sig= 0.000…)

$$S(i) = 0.065e^{2.37r} \quad (۱۵)$$

(n= 14, R^2= 0.86, Sig= 0.000…)

$$ITI(i) = 0.17e^{3.4r} \quad (۱۶)$$

(n= 14, R^2= 0.84, Sig= 0.000…)

در نهایت پیشنهاد می‌شود تمامی بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش برای شبکه‌های پایش چند حوزه آبخیز دیگر انجام و نتایج با نتایج حاصل از این پژوهش مقایسه گردد. حصول نتایج مشابه می‌تواند اطمینان بیشتر از صحت نتایج به دست آمده و مباحث طرح شده در این پژوهش باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

جدول ۷- رتبه‌بندی ایستگاه‌ها براساس ضریب همبستگی (r) و شاخص‌های R(i)، S(i) و ITI(i)

نام ایستگاه	رتبه	r	رتبه	S(i)	رتبه	R(i)	رتبه	ITI(i)
دهکده سفید (گاوگدار)	۱۳	۰/۹۸۵	۱۳	۰/۷۲۸	۱۳	۰/۷۳۲	۱۳	۰/۵۷۵
چمریز	۱۲	۰/۹۸۳	۱۱	۰/۷۱۰	۱۱	۰/۷۲۲	۱۱	۰/۵۵۸
جمال‌بیگ (خارستان)	۱۰	۰/۹۷۶	۸	۰/۶۵۰	۸	۰/۶۲۲	۹	۰/۴۶۶
پل‌خان (کر)	۱	۰/۶۲۲	۱	۰/۲۸۸	۱	۰/۲۱۵	۱	۰/۱۴۰
دشتبال	۵	۰/۹۴۶	۱۲	۰/۷۲۳	۱۲	۰/۷۲۳	۱۲	۰/۵۶۶
تنگ‌بستانک	۴	۰/۹۴۵	۱۰	۰/۶۸۳	۱۰	۰/۶۸۵	۱۰	۰/۵۲۰
پل‌فسا	۸	۰/۹۶۲	۵	۰/۵۷۵	۵	۰/۵۷۹	۵	۰/۴۰۶
پل باغ صفا	۱۴	۰/۹۸۹	۱۴	۰/۷۶۵	۱۴	۰/۷۵۹	۱۴	۰/۶۱۶
چنار سوخته (خشک)	۳	۰/۸۶۹	۳	۰/۴۴۵	۳	۰/۴۵۶	۳	۰/۲۹۱
دهکده سفید	۲	۰/۷۴۵	۲	۰/۳۹۸	۲	۰/۴۵۰	۲	۰/۲۶۸
چنار راهدار	۶	۰/۹۵۰	۴	۰/۵۲۱	۴	۰/۵۰۹	۴	۰/۳۴۷
خسرو شیرین	۹	۰/۹۶۶	۹	۰/۶۰۳	۹	۰/۶۷۷	۶	۰/۴۶۸
چنار سوخته (نهراعظم)	۷	۰/۹۵۴	۷	۰/۶۱۱	۶	۰/۵۸۴	۸	۰/۴۲۵۴
جمال بیگ (شیرین)	۱۱	۰/۹۸۱	۶	۰/۶۰۶	۷	۰/۵۸۷	۷	۰/۴۲۴۹

جدول ۸- مقادیر ضریب همبستگی شاخص‌های R(i)، S(i) و ITI(i)

	r	S(i)	R(i)	ITI(i)
r	۱	۰/۵۱۶	۰/۵۴۲	۰/۵۲۲
S(i)	۰/۵۱۶	۱	۰/۹۹۱	۰/۹۴۷
R(i)	۰/۵۴۲	۰/۹۹۱	۱	۰/۹۳۹
ITI(i)	۰/۵۲۲	۰/۹۴۷	۰/۹۳۹	۱

منابع:

1. Chapman, T.G. 1986. Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance. Journal of Hydrology. 85: 111-126.
2. Chen, Y.C., C. Weiand and H.C. Yeh. 2008. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes. 22: 340-346.
3. Harmancioglu, N.B. and N. Alpaslan. 1981. Water quality monitoring network design: a problem of multi-objective decision making. AWRA Water Resources Bulletin. 28(1): 179-192.
4. Husain, T. 1989. Hydrologic uncertainty measure and network design. Water Resources Bulletin. 25: 527-534.
5. Karamouz, M., B. Hafez and R. Kerachian. 2005. Water quality monitoring network for river systems using geostatistical methods. Proceedings of ASCE-EWRI, World Water and Environmental Resources Congress, Alaska, USA.
6. Karimi Hosseini, A. and A. Bozorg Hadad. 2010. Evaluation and designing of Gavkhoni swamp using genetic algorithm and entropy. 10th irrigation and evaporation reduction conference. Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran. (in Persian), 62 pp.
7. Krstanovic, P.F. and V.P. Singh. 1988. Application of Entropy theory to multivariate hydrologic analysis. Vol. 1. Technical Report WRR9, Water Resources Program, Dept. of Civil Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, 0-271.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

Program, Dept. of Civil Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, 0-271.

8. Kawachi, T. 2001. Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. Journal of Hydrology. 246: 36-44.
9. Masoomi, F. and R. Karachian. 2009. Evaluation of groundwater quality monitoring network using entropy. Water and Waste Water Journal. 65: 2-12. (In Persian).
10. Mishra, A.K. and P. Coulibaly. 2010. Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. Journal of Hydrology. 380: 420-437.
11. Markus, M., H.V. Knapp and G.D. Tasker. 2003. Entropy and generalized least square methods in assessment of the regional value of stream gages. Journal of Hydrology. 283: 107-121.
12. Mogheir, Y., J.L. Lima and V.P. Singh. 2004. Characterizing the special variability of groundwater quality using the entropy theory. Hydrological Process. 18: 2165-2179.
13. Mogheir, Y. and V.P. Singh. 2002. Application of information theory to groundwater quality monitoring system. Water Resources Management. 16(1): 37-49.
14. Mogheir, Y. and V.P. Singh. 2003. Specification of information needs for groundwater management planning in developing country. Groundwater Hydrology. Balema Publisher. Tokyo, 2: 3-20.
15. Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal. 27: 379-423.
16. Sarlak, N. and A. Sorman. 2006. Evaluation and selection of streamflow network stations using entropy methods. Turkish J. Eng. Env. Sci., 30: 91-100.
17. Valdes, J.B., I. Rodriguez-Iturbe and G.J. Vicens. 1975. A Bayesian approach to multivariate hydrologic synthesis, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Report No. 201, School of Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]

Hydrometric Network Evaluation for Bakhtegan-Maharlu Watershed Using the Discrete Entropy

Sh. Karimi-Googhari[1] and S. Khalifeh[2]

1- Assistant Professor, Shahid- Bahonar University of Kerman (Corresponding author: shkarimi1352@gmail.com)
2- M.Sc. Student, Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Quality of streamflow information for a given watershed or region is primary information needed for the sustainable designing and operation of water resources systems. For an optimal hydrometric network design, they should be reviewed periodically based on the information needs and future water resources development plans. This study evaluates regional values of streamgages in Bakhtegan-Maharlu basin using the discrete entropy. Discrete entropy can overcome limits of data normality assumption in past research and applications for hydrological variables. To determine the regional value of each station within a region, several information parameters such as marginal entropy, joint entropy, information send and received by stations and transinformation index between stations, were calculated to identify essential streamflow stations and critical area. Sensitive analysis to number of discrete intervals show that the entropy is sensitive to changes, but the ranks based on entropy indices appear to be less sensitive. Validation result confirms that the entropy is useful and comparable with correlation to characterize the essential and excess station in the region.

Keywords: Evaluation, Entropy theory, Discrete intervals, Hydrometric networks, Correlation coefficient

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-10-25]