ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ)

مرتضی فانی[1]، سمیه خلیفه[2]، ابراهیم خلیفه[3] و محمد افلاطونی[4*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد- مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشجوی دکترای عمران، گروه آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴*- نویسنده مسئول، استاد یار بخش مهندسی آب ، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۹

چکیده

کیفیت مناسب اطلاعات بارندگی ثبت شده در شبکه‌های باران‌سنجی در طراحی پایدار پروژه‌های آبی نقش مهمی ایفا می‌کند. از این نظر جهت ایجاد شبکه‌ای بهینه و کارآمد، شبکه‌های باران‌سنجی‌بایستی 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 منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبریز کارون بزرگ واقع در استان خوزستان 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 و شاخص انتقال اطلاعات بین ایستگاه‌ها، به تعیین ایستگاه‌های شاخص و مناطق ضعیف ازنظر تبادل اطلاعات در شبکه پایش حوضه آبریز پرداخته شده وپهنه بندی انجام شده است. تحلیل حساسیت نحوه کلاس‌بندی اطلاعات نشان داد که مقادیر شاخص‌های آنتروپی به تغییر فاصله کلاس‌بندی اطلاعات حساس، اما رتبه بندی ایستگاه‌ها حساسیت بسیار کمی را ازخود نشان داد. در نهایت، نتایج حاکی ازاین است که تئوری آنتروپی قابلیت خوبی برای کمی کردن ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی‌در یک شبکه باران‌سنجی دارد و تراکم ۳۱ ایستگاه شبکه باران‌سنجی حوضه بهینه می‌باشد و می‌توان سایر ایستگاه‌های باران‌سنجی را از شبکه پایش حذف نمود.

کلید واژه ها: ارزیابی، تئوری آنتروپی، فاصله کلاس‌بندی، شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی.

Raingauge Network Evaluation Using the Discrete Entropy (Case Study: Great Karoun Basin)

M. Fani[1], S. Khalife[2], E. Khalife[3] and M. Aflatooni[4*]

1- M.Sc. Graduated Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Shiraz, Iran
2- M.Sc. Graduated Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
3- Ph.D Student of Water- Civil, Khaje Nassiroddine Tosi University, Iran
4*- Ph.D , Assisstant Professor , Department of Water Science , Shiraz Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Received: 7 November 2012 Accepted:30 June 2013

Abstract

Quality of rainfall information for a given watershed or region is primary information needed for the sustainable designing and operation of water resources systems. For an optimal rainfall network design, they should be reviewed periodically based on the information needs and future

water resources development plans. This study evaluated regional values of raingages in great Karoun basin located in Khozestan , Iran, 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 and transinformation index between stations, were calculated to identify essential raingauge and critical area. Sensitivity analysis to number of discrete intervals showed that the entropy is sensitive to changes, but the ranks based on entropy indices appear to be less sensitive. Finally, results confirm that the entropy is useful to characterize the essential and excess station in the region and density of 31 raingauge network is optimal and other raingauge can be removed from monitoring network.

Keywords: Evaluation, Entropy theory, Discrete intervals, Raingauge network.

مقدمه

تولید اطلاعات صحیح و کارآمد همواره از مسائل و چالش‌های مهم زیر مجموعه منابع آب کشور بوده است. از این نظر چیدمان ایستگاه‌های باران‌سنجی بجا و مناسب در شبکه باران‌سنجی یک حوضه حائز اهمیت فراوان بوده و در درک صحیح ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه تأثیری عمیق و مستقیم دارد. اما هزینه‌های نصب، تجهیز و نگهداری ایستگاه‌های باران‌سنجی را نیز نمی‌توان از نظر دور داشت. بنابراین تولید حداکثر آمار و اطلاعات مورد نیاز با استفاده از حداقل تعداد ایستگاه‌ها، اصلی اساسی در طراحی صحیح شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی یک حوضه می‌باشد. براین اساس بررسی امکان حذف یا اضافه نمودن ایستگاه‌های شبکه پایش باران‌سنجی بحثی مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. تئوری آنتروپی با نگرشی آماری- احتمالاتی به وضعیت ایستگاه‌های موجود در شبکه پایش 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 باران‌سنجی و چیدمان مناسب ایستگاه‌ها استفاده نمود. 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[1] (۱۹۴۸) 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 آلپاسلان[2] (۱۹۸۱) تحقیقاتی را در زمینه انتقال اطلاعات (همبستگی اطلاعات) بین دو کلاس اطلاعات مشاهداتی از دو ایستگاه پایش کیفی آب انجام دادند. 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 نمودند. چاپمن[3] (۱۹۸۶) 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. کاواچی[4] (۲۰۰۱) از تئوری آنتروپی برای کمی کردن عدم قطعیت شبکه پایش بارندگی سراسر ژاپن استفاده کرده و نقشه هم‌آنتروپی ژاپن را تهیه و آن را با نقشه هم‌باران منطقه مقایسه نمودند. این مقایسه آنها را قادر به ارزیابی نسبی و کلاس‌بندی پتانسیل منابع آب موجود ژاپن کرد. موغیر و سینگ[5] (۲۰۰۲) روشی را برای طراحی شبکه پایش کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی انتقالی توسعه دادند. آنها همچنین، با استفاده از 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 (۲۰۰۲) و موغیر و همکاران[6] (۲۰۰۴) روشی برای ارزیابی کیفی سامانه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته پیشنهاد دادند. مارکوس و همکاران[7] (۲۰۰۳) از دو روش تئوری آنتروپی وحد اقل مربعات تعمیم یافته[8] 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 (۲۰۰۵) از اطلاعات انتقالی برای انتخاب بهترین ایستگاه‌های پایش کیفی آب

1- Shanon
2- Hamancioglu and Alpaslan
3- Chapman
4- Kawachi
5- Moghei and Singh
6- Mogheir *et al.*
7- Markus *et al.*
8- Generalised Least Squared

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 سرمان[1] (۲۰۰۶) به ارزیابی و انتخاب ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی 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 شده برای داده‌های بارندگی در تئوری آنتروپی پیوسته مهم می‌باشد و موجب مقادیر متفاوتی در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها می‌شود. چن و همکاران[2] (۲۰۰۸) روشی مرکب از زمین‌آمار و آنتروپی برای تعیین تعداد و توزیع مکانی بهینه ایستگاه‌های باران‌سنجی در شمال تایوان ارائه دادند. در این روش از کریجینگ[3] 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 شد. همچنین با محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات و آنتروپی مشترک درجه اهمیت ایستگاه‌ها تعیین گردید. معصومی و کراچیان (۱۳۸۷) 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 (۱۳۸۸) با استفاده از تئوری آنتروپی و الگوریتم ژنتیک به ارزیابی و طراحی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه باتلاق گاوخونی پرداختند. بدین منظور با استفاده از مفهوم تئوری آنتروپی و به دو روش الگوریتم ترتیبی 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 باران‌سنجی از توزیع نرمال یا لوگ‌نرمال، توانایی تئوری آنتروپی گسسته در تعیین ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های موجود در شبکه باران‌سنجی حوضه آبریز کارون بزرگ مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا با استفاده از شاخص‌های آنتروپی به رتبه‌بندی ایستگاه‌ها پرداخته شده و ضمن تشریح کاربرد تئوری آنتروپی گسسته، حساسیت این روش به نحوه کلاس‌بندی اطلاعات مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت به پهنه‌بندی حوضه آبریز با استفاده از شاخص انتقال اطلاعات و ارزیابی تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی شبکه پایش پرداخته شده است.

مواد و روش ها

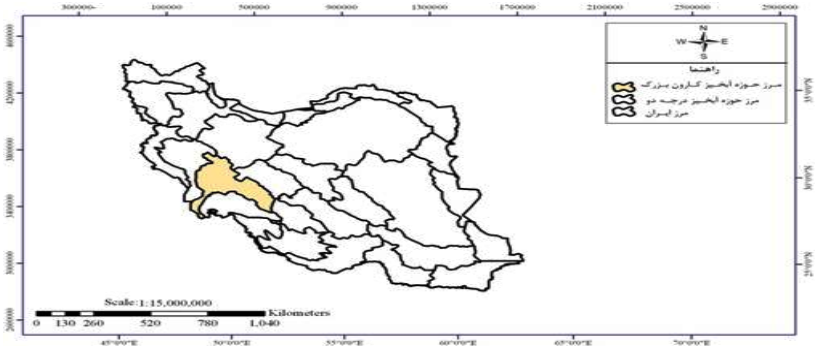
منطقه مورد مطالعه و اطلاعات

حوضه آبریز کارون بزرگ یکی از ۳۰ حوضه آبریز درجه دو کشور و بخشی از حوضه آبریز اصلی خلیج فارس می‌باشد. از نقطه نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبریز کارون در محدوده ″۹۵ ´۲۲ °۴۹ تا ″۳۸ °۵۲ طول شرقی و″۷۱ ´۱۶ °۳۰ تا ″۱ ´۳۸ °۳۲ عرض شمالی واقع شده است که با مساحتی بالغ بر ۶۸۹۲۰ کیلومتر مربع و محیط برابر ۱۹۴۶ کیلومتر یکی از حوزه‌های بزرگ آبریز خلیج فارس است که به ترتیب استان‌های چهارمحال و بختیاری(۵۴/۰۲)، اصفهان(۱۹/۵۳)، کهکیلویه و بویر احمد (۱۶/۰۹)، خوزستان (۹/۳۶) و فارس (۱) درصد از سطح حوضه را در بر می‌گیرند. (شکل ۱). در حوضه آبریزکارون بزرگ ۱۰۶ ایستگاه باران‌سنجی توسط سازمان تحقیقات منابع آب ایران نصب گردیده که ۹۱ ایستگاه

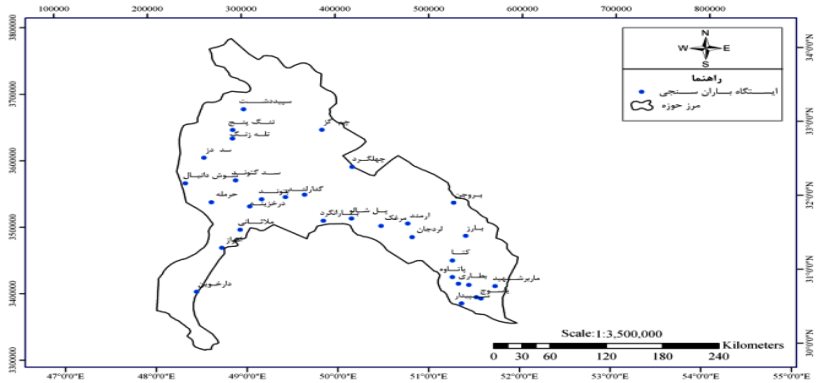
کماکان فعال می‌باشد. مجموع بارش سالیانه ایستگاه‌های یاد شده به عنوان آمار و اطلاعات ثبت شده در هر ایستگاه مد نظر قرار گرفته است. اولین گام در بررسی آمار و اطلاعات شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی یک حوضه تشکیل دوره آماری مشترک است. در تشکیل دوره آماری به دست آوردن دوره‌ای با بیشترین تعداد ایستگاه، بیشترین سال‌های آماری و کمترین نسبت بازسازی حائز اهمیت فراوان است. در این ارتباط و بر اساس آمار و اطلاعات موجود، دوره آماری ۳۳ ساله از سال

۱۳۵۱ تا ۱۳۸۴ شامل ۳۱ ایستگاه برای حوضه آبریز تشکیل گردید(جدول ۱ و شکل ۲). 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(جدول ۲). البته میزان بازسازی آمار در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰ درصد طول دوره آماری بوده است.

1- Sarlak and Sorman
2- Chen *et al.*
3- Kriging



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ



شکل ۲- پراکنش و موقعیت جغرافیایی ۳۱ ایستگاه منتخب باران‌سنجی حوضه آبریز کارون بزرگ

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 آنتروپی گسسته باتوجه به بازه تغییرات مقدار متغیرها، اطلاعات موجود گسسته سازی شده و جداول توزیع متغیرها تهیه می‌شوند. اما

تحقیقات اخیر همچون موغیر و سینگ (۲۰۰۳) 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. لذا آنتروپی گسسته راهی برای اصلاح این نقیصه مهم در کاربرد آنتروپی در مسائل مربوط به آب است. در این راستا مقادیر بارندگی ۳۱ ایستگاه منتخب توسط نرم‌افزار مینی تب[1] و روش آزمون اندرسن- دارلینگ[2] مورد ارزیابی قرار گرفته و مشاهده شد که از تابع توزیع احتمال نرمال و لوگ‌نرمال پیروی نمی‌نمایند (شکل‌های ۳ و ۴) لذا در این تحقیق آنتروپی گسسته مورد استفاده قرار گرفته است. . در این شکل ها محور عمودی بر حسب درصد و محور افقی، بارندگی بر حسب میلی متر می باشد تعاریف 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 رخدادن x به شرط y می‌باشد. اگر چه $T(x,y)$ به عنوان شاخصی برای تعیین انتقال اطلاعات مطرح است، اما موغیر و سینگ (۲۰۰۴) شاخص زیر را برای نرمال کردن شاخص آنتروپی انتقال اطلاعات معرفی و آنرا شاخص انتقال اطلاعات(ITI) نامیدند.

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

1 -Minitab
2 -Anderson-Darling

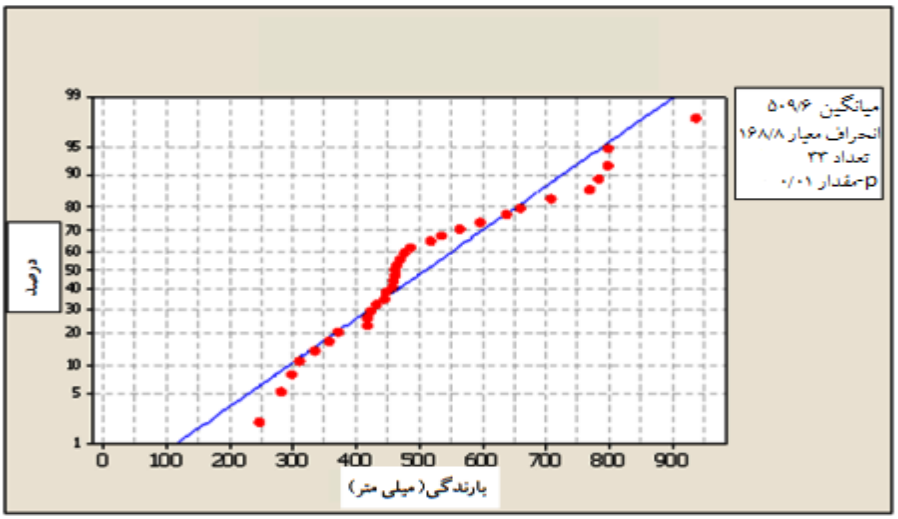
جدول ۱: اطلاعات دوره‌های آماری مختلف

ردیف	دوره آماری مشترک (سال)	طول دوره آماری (سال)	تعداد سال مجاز مفقودی	تعداد ایستگاه دوره آماری
۱	۱۳۴۵-۸۸	۴۳	۹	۸
۲	۱۳۴۸-۸۸	۴۰	۸	۵
۳	۱۳۴۹-۸۸	۳۹	۸	۷
۴	۱۳۴۷-۸۸	۳۸	۸	۱۶
۵	۱۳۵۰-۸۷	۳۷	۸	۱۸
۶	۱۳۵۱-۸۷	۳۶	۸	۱۸
۷	۱۳۵۱-۸۶	۳۵	۷	۱۷
۸	۱۳۵۰-۸۶	۳۶	۸	۲۴
۹	۱۳۵۰-۸۵	۳۵	۷	۲۴
۱۰	۱۳۴۹-۸۵	۳۶	۸	۲۷
۱۱	۱۳۵۳-۸۵	۳۲	۷	۲۷
۱۲	۱۳۵۵-۸۶	۳۱	۷	۱۸
۱۳	۱۳۵۶-۸۸	۳۲	۷	۸
۱۴	۱۳۵۳-۸۶	۳۳	۷	۱۸
۱۵	۱۳۵۳-۸۴	۳۱	۷	۳۱
۱۶	۱۳۵۰-۸۴	۳۴	۷	۲۹
۱۷	۱۳۵۱-۸۴	۳۳	۷	۳۱
۱۸	۱۳۴۸-۸۴	۳۶	۸	۲۷
۱۹	۱۳۵۲-۸۴	۳۲	۷	۳۱
۲۰	۱۳۵۴-۸۵	۳۱	۷	۲۷
۲۱	۱۳۵۰-۸۳	۳۳	۷	۲۹
۲۲	۱۳۵۱-۸۳	۳۲	۷	۳۱
۲۳	۱۳۵۲-۸۳	۳۱	۷	۳۱
۲۴	۱۳۵۳-۸۳	۳۰	۶	۳۱
۲۵	۱۳۵۸-۸۳	۲۵	۵	۳۲
۲۶	۱۳۵۸-۸۶	۲۸	۶	۸
۲۷	۱۳۵۲-۸۳	۳۰	۶	۳۱
۲۸	۱۳۵۷-۸۵	۲۸	۶	۱۹
۲۹	۱۳۵۵-۸۵	۳۰	۶	۱۸
۳۰	۱۳۶۲-۸۴	۲۲	۵	۳۲

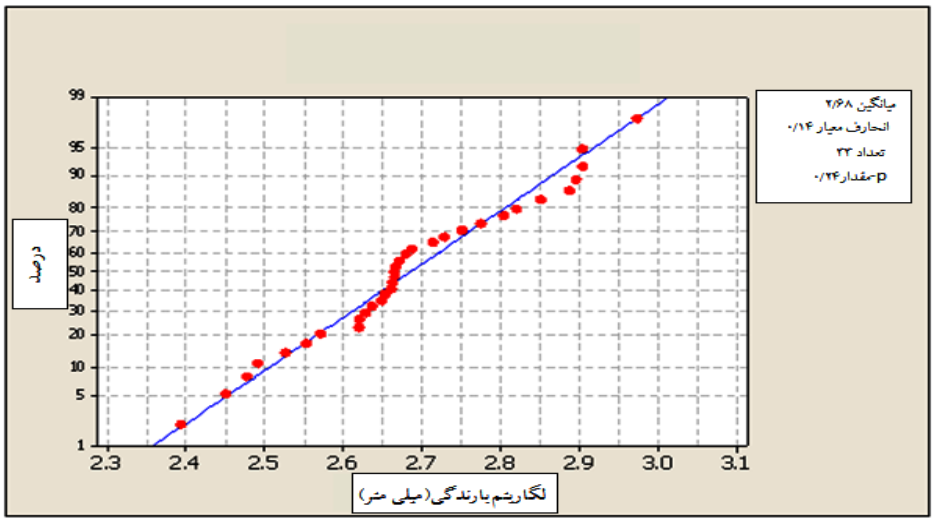
جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) (میشرا و کولیبالی[1]، ۲۰۱۰)

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

1- Mishra and Coulibali



شکل ۳- آزمون نرمالیتی اندرسن- دارلینگ برای مقادیر بارندگی ایستگاه پاتاوه



شکل ٤- آزمون نرمالیتی اندرسن- دارلینگ برای لگاریتم مقادیر بارندگی ایستگاه پاتاوه

تحلیل حساسیت

در تئوری آنتروپی در حالت گسسته، با توجه به بازه تغییرات مقدار متغیرها، اطلاعات موجود گسسته‌سازی شده و جداول توزیع فراوانی مشاهدات متغیرها تهیه می‌شوند. سپس با استفاده از این جداول، مقدار احتمال رخداد در هر حالت محاسبه می‌شود. اعداد داخل جدول توزیع فراوانی، تعداد تکرار مقدار 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 مناسب محاسبه شده است:

$$NCI = 1 + 3.322\log(n) \qquad (۶)$$

در رابطه بالا، n :تعداد مشاهدات و NCI :تعداد 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 پنج کلاس و بیشتر از بیست کلاس نیست. اگر تعداد کلاس‌ها از پنج کمتر انتخاب شود، داده‌ها اطلاعات خود را از دست خواهند داد. افزایش تعداد کلاس‌ها به بیش از بیست 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 حوضه آبریزسه حالت کلاس‌بندی ۶، ۹ و ۱۲ در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت انجام شده در ادامه تشریح گردیده است.

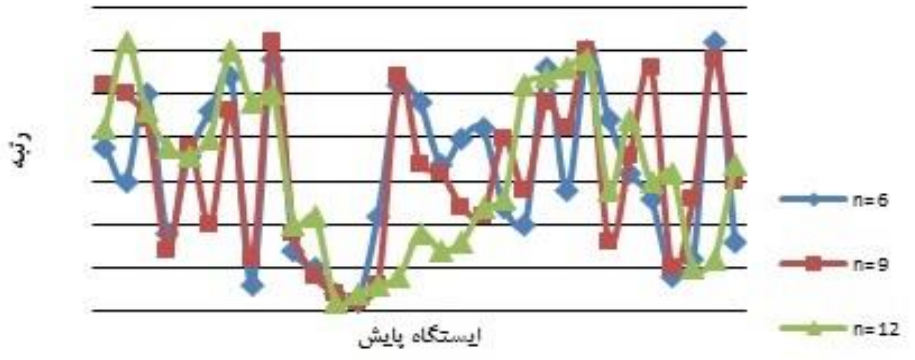
1 -Storeajse

جدول ۳- مقادیر ضریب تعیین هر ایستگاه نسبت به سایرایستگاه‌های حوضه آبریزکارون بزرگ

	بطاری	شاه مختار	یاسوج	پاتاوه	ماربر شهید	سی سخت	کتا	اهواز	ملاثانی	پل شالو	حرمله	درخزینه	بتوند	سپیددشت	چم گز	بارز	ارمند	بارانگرد	شوش دانیال	سد گتوند	تله زنگ	تنگ پنج	لردجان	بروجن	چهلگرد	سپیدار	دارخوین	گدارلندر	سد عباسپور	سد دز	مرغک
سی سخت	۰,۸۲	۰,۷۶	۰,۸۳	۰,۸۶	۰,۶۰	۱,۰۰	۰,۳۸	۰,۴۴	۰,۵۶	۰,۷۸	۰,۵۵	۰,۴۰	۰,۳۹	۰,۶۱	۰,۵۵	۰,۶۴	۰,۷۸	۰,۵۹	۰,۳۹	۰,۵۷	۰,۶۷	۰,۶۷	۰,۶۶	۰,۲۱	۰,۵۸	۰,۷۱	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۶۸	۰,۵۹	۰,۶۹
کتا	۰,۳۵	۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۳۸	۰,۲۲	۰,۳۸	۱,۰۰	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۴۵	۰,۳۴	۰,۰۶	۰,۱۵	۰,۳۴	۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۴۲	۰,۱۸	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۳۶	۰,۴۵	۰,۱۴	۰,۲۶	۰,۳۲	۰,۱۰	۰,۱۶	۰,۴۳	۰,۴۱	۰,۲۳
اهواز	۰,۵۱	۰,۵۵	۰,۶۱	۰,۴۹	۰,۳۶	۰,۴۸	۰,۳۳	۱,۰۰	۰,۵۵	۰,۵۳	۰,۶۲	۰,۳۹	۰,۳۷	۰,۳۴	۰,۴۲	۰,۵۴	۰,۵۴	۰,۴۶	۰,۵۸	۰,۴۸	۰,۴۴	۰,۴۰	۰,۵۱	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۴۷	۰,۵۴	۰,۲۰	۰,۴۴	۰,۴۰	۰,۲۷
ملاثانی	۰,۶۰	۰,۶۵	۰,۶۳	۰,۴۶	۰,۳۵	۰,۵۹	۰,۴۱	۰,۵۷	۱,۰۰	۰,۶۹	۰,۴۴	۰,۴۱	۰,۴۵	۰,۴۱	۰,۵۱	۰,۶۷	۰,۶۳	۰,۶۹	۰,۳۲	۰,۵۶	۰,۴۵	۰,۴۶	۰,۶۳	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۶۸	۰,۵۲	۰,۲۲	۰,۴۶	۰,۳۹	۰,۳۴
پل شالو	۰,۷۴	۰,۸۵	۰,۸۵	۰,۷۲	۰,۵۱	۰,۷۹	۰,۵۰	۰,۵۵	۰,۷۴	۱,۰۰	۰,۶۴	۰,۴۶	۰,۴۹	۰,۶۴	۰,۷۰	۰,۸۳	۰,۸۴	۰,۸۴	۰,۵۴	۰,۶۵	۰,۷۲	۰,۷۴	۰,۷۳	۰,۴۰	۰,۶۴	۰,۹۰	۰,۳۷	۰,۲۵	۰,۷۲	۰,۷۱	۰,۵۹
حرمله	۰,۵۷	۰,۶۱	۰,۶۴	۰,۶۰	۰,۴۷	۰,۵۸	۰,۳۵	۰,۶۴	۰,۵۱	۰,۶۸	۱,۰۰	۰,۳۹	۰,۶۳	۰,۳۴	۰,۴۳	۰,۵۶	۰,۵۹	۰,۴۵	۰,۶۹	۰,۶۵	۰,۶۵	۰,۶۵	۰,۴۷	۰,۳۱	۰,۵۰	۰,۶۵	۰,۳۹	۰,۱۰	۰,۵۵	۰,۶۳	۰,۳۲
درخزینه	۰,۲۱	۰,۳۷	۰,۳۴	۰,۲۷	۰,۱۳	۰,۴۰	۰,۰۶	۰,۳۹	۰,۴۱	۰,۴۶	۰,۳۹	۱,۰۰	۰,۵۲	۰,۳۲	۰,۲۵	۰,۴۹	۰,۴۳	۰,۵۰	۰,۳۱	۰,۴۲	۰,۵۶	۰,۳۷	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۳۷	۰,۴۶	۰,۱۱	۰,۰۴	۰,۲۳	۰,۳۳	۰,۲۳
بتوند	۰,۴۲	۰,۵۰	۰,۴۲	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۴۳	۰,۲۰	۰,۴۰	۰,۵۰	۰,۵۴	۰,۶۶	۰,۵۶	۱,۰۰	۰,۲۷	۰,۳۵	۰,۵۶	۰,۴۸	۰,۵۱	۰,۳۸	۰,۶۱	۰,۵۵	۰,۴۸	۰,۴۲	۰,۳۱	۰,۵۳	۰,۵۷	۰,۲۴	۰,۰۲	۰,۴۴	۰,۴۱	۰,۲۰
سپیددشت	۰,۵۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۴۹	۰,۲۵	۰,۶۵	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۴۸	۰,۶۹	۰,۴۱	۰,۳۸	۰,۳۳	۱,۰۰	۰,۶۶	۰,۵۳	۰,۵۶	۰,۴۰	۰,۳۹	۰,۳۶	۰,۷۱	۰,۸۵	۰,۴۲	۰,۳۱	۰,۴۴	۰,۵۹	۰,۱۳	۰,۱۰	۰,۴۹	۰,۶۱	۰,۳۷
چم گز	۰,۶۰	۰,۷۱	۰,۶۶	۰,۵۴	۰,۳۵	۰,۶۱	۰,۳۰	۰,۴۶	۰,۵۷	۰,۷۴	۰,۵۰	۰,۳۲	۰,۴۰	۰,۷۰	۱,۰۰	۰,۵۸	۰,۵۲	۰,۶۱	۰,۴۹	۰,۴۳	۰,۵۷	۰,۶۸	۰,۲۷	۰,۲۷	۰,۳۲	۰,۶۶	۰,۴۴	۰,۱۲	۰,۵۱	۰,۶۸	۰,۳۴
بارز	۰,۶۶	۰,۸۱	۰,۷۳	۰,۵۶	۰,۴۳	۰,۶۴	۰,۳۵	۰,۵۶	۰,۷۳	۰,۸۶	۰,۶۲	۰,۵۵	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۶۵	۱,۰۰	۰,۸۱	۰,۷۴	۰,۴۵	۰,۵۴	۰,۶۳	۰,۶۹	۰,۸۱	۰,۵۲	۰,۵۴	۰,۹۲	۰,۳۷	۰,۱۳	۰,۵۱	۰,۵۲	۰,۴۴
ارمند	۰,۷۶	۰,۷۶	۰,۷۰	۰,۵۶	۰,۵۳	۰,۷۹	۰,۴۶	۰,۵۷	۰,۶۸	۰,۸۷	۰,۶۴	۰,۵۰	۰,۵۳	۰,۶۲	۰,۵۹	۰,۸۴	۱,۰۰	۰,۶۸	۰,۴۸	۰,۷۱	۰,۷۱	۰,۷۲	۰,۷۸	۰,۴۴	۰,۵۹	۰,۸۰	۰,۳۵	۰,۲۸	۰,۶۳	۰,۵۹	۰,۷۰
بارانگرد	۰,۶۵	۰,۷۸	۰,۷۳	۰,۶۰	۰,۴۷	۰,۶۵	۰,۳۳	۰,۵۲	۰,۷۶	۰,۸۸	۰,۵۴	۰,۵۸	۰,۵۷	۰,۵۰	۰,۶۸	۰,۸۰	۰,۷۴	۱,۰۰	۰,۴۰	۰,۶۰	۰,۵۳	۰,۵۳	۰,۵۸	۰,۳۴	۰,۵۶	۰,۸۲	۰,۴۲	۰,۲۶	۰,۵۷	۰,۵۷	۰,۵۰
شوش دانیال	۰,۴۰	۰,۵۴	۰,۵۴	۰,۴۷	۰,۳۷	۰,۴۴	۰,۲۵	۰,۶۱	۰,۳۸	۰,۵۸	۰,۷۲	۰,۳۷	۰,۴۳	۰,۴۴	۰,۵۴	۰,۵۰	۰,۵۳	۰,۴۶	۱,۰۰	۰,۵۴	۰,۶۵	۰,۴۸	۰,۳۵	۰,۲۸	۰,۴۵	۰,۴۸	۰,۲۷	۰,۰۴	۰,۳۹	۰,۶۲	۰,۲۰
سد گتوند	۰,۵۹	۰,۵۶	۰,۵۹	۰,۵۴	۰,۴۶	۰,۶۳	۰,۳۰	۰,۵۱	۰,۶۳	۰,۷۱	۰,۶۸	۰,۴۷	۰,۶۵	۰,۴۶	۰,۵۲	۰,۶۱	۰,۷۶	۰,۶۵	۰,۵۹	۱,۰۰	۰,۷۵	۰,۵۳	۰,۴۴	۰,۳۸	۰,۵۳	۰,۶۹	۰,۳۳	۰,۲۷	۰,۶۴	۰,۶۷	۰,۵۳
تله زنگ	۰,۶۱	۰,۶۸	۰,۷۰	۰,۶۴	۰,۴۱	۰,۷۲	۰,۳۶	۰,۴۳	۰,۵۱	۰,۷۶	۰,۷۰	۰,۴۴	۰,۶۰	۰,۷۶	۰,۶۵	۰,۷۰	۰,۷۶	۰,۵۷	۰,۶۲	۰,۷۲	۱,۰۰	۰,۸۷	۰,۶۳	۰,۴۵	۰,۶۳	۰,۷۱	۰,۲۰	۰,۱۱	۰,۶۳	۰,۷۵	۰,۴۵
تنگ پنج	۰,۶۰	۰,۶۷	۰,۶۸	۰,۵۹	۰,۳۳	۰,۷۰	۰,۴۰	۰,۴۵	۰,۵۴	۰,۷۷	۰,۶۴	۰,۴۴	۰,۵۲	۰,۸۶	۰,۷۲	۰,۷۳	۰,۷۶	۰,۶۰	۰,۵۳	۰,۶۰	۰,۸۹	۱,۰۰	۰,۷۱	۰,۴۳	۰,۵۵	۰,۶۸	۰,۱۹	۰,۱۰	۰,۵۴	۰,۷۲	۰,۴۴
لردجان	۰,۷۴	۰,۷۵	۰,۷۳	۰,۵۸	۰,۴۲	۰,۶۷	۰,۵۱	۰,۵۴	۰,۶۹	۰,۷۸	۰,۵۴	۰,۳۷	۰,۴۹	۰,۶۰	۰,۵۹	۰,۸۵	۰,۸۲	۰,۶۶	۰,۳۵	۰,۵۲	۰,۶۳	۰,۷۲	۱,۰۰	۰,۳۸	۰,۴۲	۰,۷۶	۰,۳۸	۰,۱۴	۰,۴۹	۰,۴۱	۰,۴۴
بروجن	۰,۲۸	۰,۳۶	۰,۳۱	۰,۲۲	۰,۱۳	۰,۲۵	۰,۱۸	۰,۲۷	۰,۳۶	۰,۴۷	۰,۳۷	۰,۳۴	۰,۳۷	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۵۸	۰,۴۸	۰,۴۲	۰,۳۴	۰,۴۵	۰,۵۰	۰,۴۷	۰,۴۵	۱,۰۰	۰,۲۹	۰,۶۲	۰,۱۲	۰,۰۴	۰,۲۰	۰,۲۹	۰,۱۹
چهلگرد	۰,۵۱	۰,۴۹	۰,۵۲	۰,۵۳	۰,۳۸	۰,۶۱	۰,۳۰	۰,۳۱	۰,۴۶	۰,۷۰	۰,۵۶	۰,۴۴	۰,۵۷	۰,۴۸	۰,۳۹	۰,۶۱	۰,۶۵	۰,۶۲	۰,۴۵	۰,۵۹	۰,۶۴	۰,۵۹	۰,۵۰	۰,۳۴	۱,۰۰	۰,۶۹	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۵۶	۰,۴۸	۰,۴۳
سپیدار	۰,۶۵	۰,۸۲	۰,۷۱	۰,۵۵	۰,۴۷	۰,۵۸	۰,۳۳	۰,۴۷	۰,۶۸	۰,۸۵	۰,۵۹	۰,۵۰	۰,۵۶	۰,۵۴	۰,۶۳	۰,۹۴	۰,۷۸	۰,۷۶	۰,۴۹	۰,۵۸	۰,۶۸	۰,۶۵	۰,۷۸	۰,۵۷	۰,۵۸	۱,۰۰	۰,۳۳	۰,۰۶	۰,۴۴	۰,۴۶	۰,۳۶
دارخوین	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۴	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۱۹	۰,۵۸	۰,۵۳	۰,۳۹	۰,۴۰	۰,۱۴	۰,۲۷	۰,۱۷	۰,۴۲	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۴۲	۰,۲۸	۰,۳۶	۰,۲۳	۰,۲۳	۰,۴۱	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۳۳	۱,۰۰	۰,۲۹	۰,۳۴	۰,۲۲	۰,۳۰
گدارلندر	۰,۳۱	۰,۲۱	۰,۳۲	۰,۳۱	۰,۱۸	۰,۴۰	۰,۲۵	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۴	۰,۱۷	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۱۱	۰,۳۳	۰,۱۹	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۰۹	۰,۱۹	۰,۱۳	۰,۳۳	۱,۰۰	۰,۴۸	۰,۳۲	۰,۴۷
سد عباسپور	۰,۶۱	۰,۶۰	۰,۶۵	۰,۶۴	۰,۴۱	۰,۷۳	۰,۴۴	۰,۴۹	۰,۵۴	۰,۷۸	۰,۵۶	۰,۳۵	۰,۴۴	۰,۶۲	۰,۶۰	۰,۶۲	۰,۷۰	۰,۶۵	۰,۴۶	۰,۶۵	۰,۷۰	۰,۶۲	۰,۵۹	۰,۳۱	۰,۶۲	۰,۵۷	۰,۳۴	۰,۵۲	۱,۰۰	۰,۶۴	۰,۵۰
سد دز	۰,۴۸	۰,۶۰	۰,۶۵	۰,۵۶	۰,۳۴	۰,۶۳	۰,۳۶	۰,۴۳	۰,۴۴	۰,۷۲	۰,۶۳	۰,۳۶	۰,۴۵	۰,۴۴	۰,۴۲	۰,۴۹	۰,۵۵	۰,۶۰	۰,۶۵	۰,۶۷	۰,۷۸	۰,۷۵	۰,۴۵	۰,۳۲	۰,۵۱	۰,۵۰	۰,۲۴	۰,۳۱	۱,۰۰	۰,۶۴	۰,۴۴
مرغک	۰,۶۵	۰,۵۶	۰,۶۳	۰,۷۰	۰,۵۱	۰,۷۵	۰,۳۰	۰,۳۵	۰,۴۲	۰,۶۳	۰,۳۸	۰,۳۱	۰,۲۵	۰,۴۴	۰,۴۲	۰,۴۹	۰,۷۲	۰,۵۶	۰,۲۸	۰,۵۷	۰,۵۱	۰,۵۱	۰,۵۰	۰,۲۶	۰,۵۰	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۵۳	۰,۵۶	۰,۵۰	۱,۰۰



شکل ۵- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوضه آبریز بر اساس شاخص (H(x(i)) برای مقادیر مختلف n



شکل٦- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوضه آبریزبر اساس شاخص($H(x(i),\hat{x}(i))$ برای مقادیر مختلف n



شکل۷- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوضه آبریز ، بر اساس شاخص($H(\hat{x}(i))$ برای مقادیر مختلف n

پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات (ITI(i) در حوضه آبریز

اساس پهنه‌بندی بر درون‌یابی[1] 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 حوضه مطالعاتی بر اساس شاخص (ITI(i، روش کریجینگ در زمین‌آمار مد نظر قرار گرفت. این روش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شده است. در نهایت بر اساس حدود ذکر شده در جدول ۲ برای شاخص (ITI(i در حوضه آبریز پهنه‌بندی انجام شده است .

جدول ۳ مقادیر ضریب تعیین هر ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه ها را نشان میدهد. این جدول تراکم آیستگا ه های شبکه بارانسنجی حوضه توسط تحلیل شاخص اطلاعات با درون یابی مکانی و کلاس بندی را نشان می دهد.

1- Interpolation



شکل ۸- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوضه آبریز ، بر اساس شاخص ITI(i) برای مقادیر مختلف n

جدول٤- نتایج پهنه بندی حوضه آبریز کارون بزرگ بر اساس شاخص انتقال اطلاعات

درجه اهمیت منطقه	درصد مساحت
فاقد ایستگاه	۲۱/۵۲
متوسط	۷/۴۶
بالای متوسط	۵۳/۷۸
مازاد	۱۷/۲۳
مجموع	۱۰۰/۰۰

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت کلاس‌بندی اطلاعات

مقادیر شاخص‌های آنتروپی مرزی، مشترک و انتقال اطلاعات ITI(i) به تغییر فاصله کلاس‌بندی اطلاعات و متعاقب آن تعداد کلاس‌بندی‌ها حساس هستند. والدز و همکاران[1] (۱۹۷۵) و چاپمن (۱۹۸۶) در تحقیقات خود انتخاب تعداد کلاس‌های دسته‌بندی اطلاعات را سلیقه‌ای دانسته‌اند. مارکوس و همکاران (۲۰۰۳) نیز تغییر تعداد کلاس‌ها را بر مقدار شاخص‌های آنتروپی مؤثر می‌دانند. در حالی که تحقیقات میشرا و کولیبالی (۲۰۱۰) در کانادا تغییر تعداد کلاس‌بندی‌ها را در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها بی تاثیر اما در مقدار شاخص‌ها موثر می‌دانند. در این تحقیق تحلیل حساسیت فاصله کلاس‌بندی‌ها بر مقدار شاخص‌های‌آنتروپی ($H(x(i))$، $H(x(i),\hat{x}(i))$، $H(\hat{x}(i))$ و ITI(i) در ۳۱ ایستگاه منتخب حوضه آبریز کارون بزرگ در سه حالت مختلف ۶، ۹ و ۱۲ کلاسه انجام شده و نتایج رتبه‌بندی ایستگاهها به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۸ 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 مقدار شاخص‌های آنتروپی و تاثیر در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها دارد. اگر چه رتبه‌بندی ایستگاهها به تغییرات n حساسیت کمتری نشان داده است، با توجه به رتبه‌بندی ایستگاهها برای مقادیر مختلف n و شکل‌های ۶ تا ۹ می توان‌نتیجه گرفت که مقدار n=۱۲ بیشترین تغییرات مقادیر شاخص‌ها، رتبه بندی را در مقایسه با سایر مقادیر n ایجاد نموده است و حالت‌های ۶ و ۹ کلاسه رفتار کاملا مشابهی دارند، لذا با در نظر گرفتن حداقل محاسبات، حالت ۶ کلاسه (n=۶) برای حوضه آبریز قابل توصیه است که این مقدار با رابطه استورجس نیز مطابقت دارد. همچنین از بررسی شکل‌های ۵ تا ۸ می‌توان نتیجه گرفت، نتیجه درحوضه آبریز مورد مطالعه بانتیجه والدز و همکاران (۱۹۷۵)، چاپمن (۱۹۸۶) و مارکوس و همکاران (۲۰۰۳) درمورد تغییر میزان شاخص های آنتروپی هم خوانی دارد در حال‌ی که نتایج میشرا و کولی بالی (۲۰۱۰) در مورد بی اثر بودن تعداد کلاس بندی‌ها در رتبه‌بندی ایستگاهها کاملا تا**یید** نمی شود. می توان علت اصلی را ناشی از وجود داده ی گمشده و به تبع استفاده از مقدار بازسازی شده در دوره آماری دانست. نتایج آنالیز حساسیت تعداد کلاس بندی بر مقدار شاخص‌های $H(x(i))$، $H(\hat{x}(i))$، $H(x(i),\hat{x}(i))$ و ITI(i) در جدول ۵ ارائه شده است.

نکته مهمی که درا ین بخش بایستی بدان اشاره نمود تأثیر وضعیت‌های کلاس‌بندی اطلاعات بر نتایج به دست آمده است. به نظر می‌رسد تأثیر این مهم بر نتایج این روش به طرز قابل توجهی اطمینان خاطر را از نتایج به دست آمده دور می‌سازد. البته در پژوهش‌های پیشین توصیه‌هایی در این خصوص ارائه گردیده و روش‌هایی نیز پیشنهاد شده است. اما ضرورت این مسأله کماکان مورد توجه جدی قرار گرفته و احتیاط لازم در این خصوص باید به عمل آید.

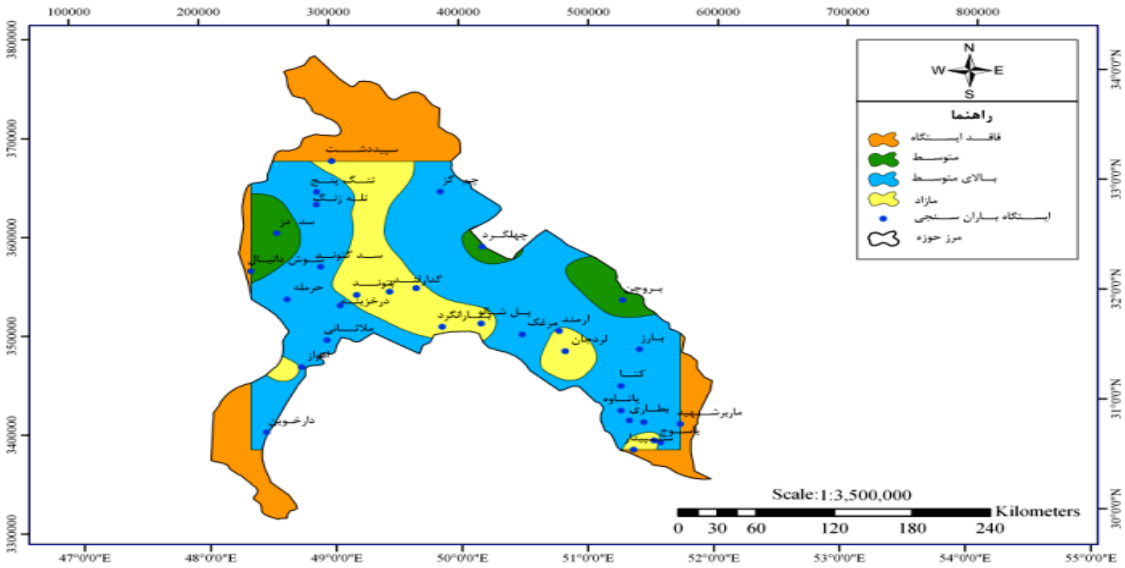
1- Valdes *et al.*

جدول۵- نتایج آنالیز حساسیت تعداد کلاس بندی بر مقیشاخص‌های ($H(x(i))$ ، $H(\hat{x}(i))$ ، $H(x(i),\hat{x}(i))$ و ITI(i)

نام ایستگاه	n=۶				n=۹				n=۱۲			
	ITI(i)	$H(x(i),\hat{x}(i))$	$H(\hat{x}(i))$	$H(x(i))$	ITI(i)	$H(x(i),\hat{x}(i))$	$H(\hat{x}(i))$	$H(x(i))$	ITI(i)	$H(x(i),\hat{x}(i))$	$H(\hat{x}(i))$	$H(x(i))$
بطاری	۰,۷۴۹	۲,۷۶۶	۲,۴۵۸	۲,۳۷۹	۰,۶۹۲	۳,۵۱۳	۳,۰۰۱	۲,۹۴۲	۰,۸۱۵	۳,۵۹۴	۳,۳۲۸	۳,۱۹۵
شاه مختار	۰,۹۰۵	۲,۶۵۰	۲,۵۲۴	۲,۵۲۴	۰,۷۶۵	۳,۴۸۴	۳,۰۹۵	۳,۰۵۵	۰,۷۳۴	۳,۸۷۰	۳,۲۹۹	۳,۴۱۲
یاسوج	۰,۷۴۳	۲,۸۴۷	۲,۵۲۱	۲,۴۴۱	۰,۷۷۲	۳,۴۰۹	۳,۰۴۴	۲,۹۹۸	۰,۸۴۶	۳,۶۴۲	۳,۴۱۵	۳,۳۰۹
پاتاوه	۰,۷۱۹	۲,۵۹۵	۲,۲۴۱	۲,۲۲۱	۰,۷۸۵	۳,۰۵۱	۲,۷۱۵	۲,۷۳۰	۰,۶۷۸	۳,۵۹۱	۳,۰۱۲	۳,۰۱۲
ماربرشهید	۰,۷۲۳	۲,۷۴۴	۲,۳۹۸	۲,۳۳۰	۰,۷۴۵	۳,۲۵۷	۲,۸۵۱	۲,۸۳۱	۰,۷۶۶	۳,۵۶۸	۳,۱۵۸	۳,۱۴۴
سی سخت	۰,۶۹۷	۲,۸۳۰	۲,۳۹۳	۲,۴۱۰	۰,۷۸۶	۳,۱۱۹	۲,۷۹۳	۲,۷۷۸	۰,۷۸۱	۳,۵۹۴	۳,۲۱۸	۳,۱۸۳
کتا	۰,۷۱۰	۲,۸۹۸	۲,۴۷۸	۲,۴۷۹	۰,۷۲۵	۳,۴۱۱	۲,۹۶۱	۲,۹۲۱	۰,۷۴۴	۳,۸۶۲	۳,۳۷۵	۳,۳۶۲
اهواز	۰,۸۲۶	۲,۳۱۶	۲,۱۴۹	۲,۰۷۹	۰,۹۲۴	۳,۰۲۰	۲,۹۲۱	۲,۸۸۸	۰,۷۵۹	۳,۶۸۸	۳,۲۹۴	۳,۱۹۵
ملاثانی	۰,۶۸۷	۲,۹۷۵	۲,۵۰۰	۲,۵۲۰	۰,۶۳۲	۳,۷۴۱	۳,۰۱۸	۳,۰۸۶	۰,۷۵۹	۳,۶۸۸	۳,۲۹۴	۳,۱۹۵
پل شالو	۰,۸۹۶	۲,۵۲۶	۲,۴۰۰	۲,۳۸۸	۰,۹۳۰	۳,۱۱۸	۳,۰۰۸	۳,۰۰۸	۰,۸۸۴	۳,۴۹۸	۳,۳۰۲	۳,۲۹۱
حرمله	۰,۷۹۵	۲,۴۹۷	۲,۲۴۱	۲,۲۴۱	۰,۹۵۰	۲,۸۹۰	۲,۸۰۷	۲,۸۲۹	۰,۸۸۴	۳,۴۹۸	۳,۳۰۲	۳,۲۹۱
درخزینه	۰,۷۴۲	۲,۲۲۸	۱,۹۵۰	۱,۹۳۲	۰,۷۷۸	۲,۶۲۰	۲,۳۷۰	۲,۲۸۸	۰,۸۲۴	۲,۸۴۷	۲,۵۹۷	۲,۵۹۷
بتوند	۰,۸۶۹	۲,۱۶۰	۲,۰۲۲	۲,۰۱۳	۱,۰۰۰	۲,۵۱۰	۲,۵۱۰	۲,۵۱۰	۰,۸۲۴	۲,۸۴۷	۲,۵۹۷	۲,۵۹۷
سپیددشت	۰,۸۹۵	۲,۶۰۴	۲,۴۶۲	۲,۴۷۲	۰,۹۳۲	۲,۸۳۷	۲,۸۳۷	۲,۶۴۵	۰,۹۲۲	۲,۹۵۲	۲,۸۵۴	۲,۸۲۱
چم گز	۰,۷۶۰	۲,۸۹۳	۲,۵۲۹	۲,۵۶۳	۰,۷۶۰	۳,۵۳۶	۳,۱۱۲	۳,۱۱۲	۰,۹۲۲	۲,۹۵۲	۲,۸۵۴	۲,۸۲۱
بارز	۰,۷۴۷	۲,۸۳۸	۲,۴۳۹	۲,۵۲۰	۰,۸۳۳	۳,۲۴۸	۳,۰۰۱	۲,۹۵۳	۰,۸۵۵	۳,۴۵۰	۳,۱۵۸	۳,۲۴۲
ارمند	۰,۸۳۰	۲,۷۱۳	۲,۴۹۴	۲,۴۷۲	۰,۸۰۸	۳,۲۴۵	۲,۹۵۴	۲,۹۱۲	۰,۸۹۵	۳,۳۶۳	۳,۲۰۴	۳,۱۷۰
بارانگرد	۰,۸۱۹	۲,۷۷۱	۲,۵۲۷	۲,۵۱۳	۰,۸۷۷	۳,۲۳۰	۳,۰۵۱	۳,۰۱۱	۰,۸۹۵	۳,۳۶۳	۳,۲۰۴	۳,۱۷۰
شوش دانیال	۰,۵۳۲	۲,۷۹۰	۲,۱۳۳	۲,۱۴۳	۰,۶۸۰	۳,۲۱۸	۲,۷۱۷	۲,۶۸۷	۰,۸۸۳	۳,۵۳۳	۳,۳۱۷	۳,۳۳۶
سد گتوند	۰,۷۳۸	۲,۶۰۹	۲,۲۸۰	۲,۲۵۴	۰,۶۵۰	۳,۲۶۵	۲,۶۷۴	۲,۷۱۴	۰,۸۸۳	۳,۵۳۳	۳,۳۱۷	۳,۳۳۶
تله زنگ	۰,۸۰۳	۲,۶۰۰	۲,۳۴۸	۲,۳۴۰	۰,۷۵۲	۳,۲۴۱	۲,۸۱۶	۲,۸۶۲	۰,۷۲۰	۳,۷۵۳	۳,۲۰۳	۳,۲۵۲
تنگ پنج	۰,۶۱۱	۲,۹۳۷	۲,۳۶۵	۲,۳۶۵	۰,۷۱۱	۳,۴۵۰	۲,۹۲۷	۲,۹۷۵	۰,۷۲۰	۳,۷۵۳	۳,۲۰۳	۳,۲۵۲
لردجان	۰,۹۰۸	۲,۶۴۸	۲,۵۲۲	۲,۵۲۹	۰,۸۱۲	۳,۳۳۷	۳,۰۳۷	۳,۰۱۱	۰,۸۲۷	۳,۸۰۱	۳,۴۶۱	۳,۴۸۳
بروجن	۰,۴۷۵	۳,۰۷۰	۲,۱۴۳	۲,۳۸۴	۰,۵۰۹	۳,۷۱۵	۲,۷۰۲	۲,۹۰۴	۰,۸۲۷	۳,۸۰۱	۳,۴۶۱	۳,۴۸۳
چهلگرد	۰,۵۴۶	۲,۸۱۶	۲,۱۶۸	۲,۱۸۵	۰,۶۶۲	۳,۱۰۶	۲,۵۷۸	۲,۵۸۵	۰,۶۶۶	۳,۵۳۳	۲,۹۵۳	۲,۹۳۴
سپیدار	۰,۸۱۴	۲,۶۸۲	۲,۴۴۲	۲,۴۲۵	۰,۸۲۷	۳,۲۵۶	۲,۹۸۸	۲,۹۶۰	۰,۸۴۲	۳,۵۹۴	۳,۳۱۷	۳,۳۰۲
دارخوین	۰,۷۵۸	۲,۶۴۰	۲,۳۶۱	۲,۲۸۰	۰,۶۱۳	۳,۵۷۱	۲,۸۸۹	۲,۸۶۹	۰,۷۸۷	۳,۵۵۳	۳,۲۳۹	۳,۱۱۰
گدارلندر	۰,۸۸۸	۲,۴۵۵	۲,۳۰۵	۲,۳۳۰	۰,۹۱۷	۲,۹۹۸	۲,۸۶۶	۲,۸۸۰	۰,۷۸۷	۳,۵۵۳	۳,۲۳۹	۳,۱۱۰
سد شهید عباسپور	۰,۸۰۸	۲,۵۱۶	۲,۲۷۵	۲,۲۷۵	۰,۶۵۷	۳,۲۳۷	۲,۷۳۰	۲,۶۳۳	۰,۷۸۰	۳,۰۸۵	۲,۶۴۷	۲,۸۴۴
سد دز	۰,۴۴۸	۳,۲۳۹	۲,۱۷۶	۲,۵۱۳	۰,۵۸۷	۳,۶۹۲	۲,۸۸۴	۲,۹۷۵	۰,۷۸۰	۳,۰۸۵	۲,۶۴۷	۲,۸۴۴
مرغک	۰,۶۲۱	۲,۵۶۰	۲,۰۸۵	۲,۰۶۶	۰,۵۹۱	۳,۲۴۵	۲,۵۲۹	۲,۶۳۵	۰,۵۶۰	۳,۵۶۰	۲,۵۶۸	۲,۹۸۵

جدول٦- رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ بر اساس مقدار شاخص‌های آنتروپی

نام ایستگاه	رتبه	$ITI(i)$	رتبه	$H(x(i),\hat{x}(i))$	رتبه	$H(\hat{x}(i))$	رتبه	$H(x(i))$
بطاری	۱۶	۰,۷۴۹	۱۹	۲,۷۶۶	۲۲	۲,۴۵۸	۱۶	۲,۳۷۹
شاه مختار	۳۰	۰,۹۰۵	۱۵	۲,۶۵۰	۲۹	۲,۵۲۴	۲۹	۲,۵۲۴
یاسوج	۱۴	۰,۷۴۳	۲۵	۲,۸۴۷	۲۷	۲,۵۲۱	۲۱	۲,۴۴۱
پاتاوه	۱۰	۰,۷۱۹	۹	۲,۵۹۵	۹	۲,۲۴۱	۷	۲,۲۲۱
ماربرشهید	۱۱	۰,۷۲۳	۱۸	۲,۷۴۴	۱۸	۲,۳۹۸	۱۲	۲,۳۳۰
سی سخت	۸	۰,۶۹۷	۲۳	۲,۸۳۰	۱۷	۲,۳۹۳	۱۹	۲,۴۱۰
کتا	۹	۰,۷۱۰	۲۷	۲,۸۹۸	۲۴	۲,۴۷۸	۲۴	۲,۴۷۹
اهواز	۲۴	۰,۸۲۶	۳	۲,۳۱۶	۶	۲,۱۴۹	۴	۲,۰۷۹
ملاثانی	۷	۰,۶۸۷	۲۹	۲,۹۷۵	۲۶	۲,۵۰۰	۲۸	۲,۵۲۰
پل شالو	۲۹	۰,۸۹۶	۷	۲,۵۲۶	۱۹	۲,۴۰۰	۱۸	۲,۳۸۸
حرمله	۱۹	۰,۷۹۵	۵	۲,۴۹۷	۱۰	۲,۲۴۱	۸	۲,۲۴۱
درخزینه	۱۳	۰,۷۴۲	۲	۲,۲۲۸	۱	۱,۹۵۰	۱	۱,۹۳۲
بتوند	۲۶	۰,۸۶۹	۱	۲,۱۶۰	۲	۲,۰۲۲	۲	۲,۰۱۳
سپیددشت	۲۸	۰,۸۹۵	۱۱	۲,۶۰۴	۲۳	۲,۴۶۲	۲۲	۲,۴۷۲
چم گز	۱۸	۰,۷۶۰	۲۶	۲,۸۹۳	۳۱	۲,۵۲۹	۳۱	۲,۵۶۳
بارز	۱۵	۰,۷۴۷	۲۴	۲,۸۳۸	۲۰	۲,۴۳۹	۲۷	۲,۵۲۰
ارمند	۲۵	۰,۸۳۰	۱۷	۲,۷۱۳	۲۵	۲,۴۹۴	۲۳	۲,۴۷۲
بارانگرد	۲۳	۰,۸۱۹	۲۰	۲,۷۷۱	۳۰	۲,۵۲۷	۲۵	۲,۵۱۳
شوش دانیال	۳	۰,۵۳۲	۲۱	۲,۷۹۰	۴	۲,۱۳۳	۵	۲,۱۴۳
سد گتوند	۱۲	۰,۷۳۸	۱۲	۲,۶۰۹	۱۲	۲,۲۸۰	۹	۲,۲۵۴
تله زنگ	۲۰	۰,۸۰۳	۱۰	۲,۶۰۰	۱۴	۲,۳۴۸	۱۴	۲,۳۴۰
تنگ پنج	۵	۰,۶۱۱	۲۸	۲,۹۳۷	۱۶	۲,۳۶۵	۱۵	۲,۳۶۵
لردجان	۳۱	۰,۹۰۸	۱۴	۲,۶۴۸	۲۸	۲,۵۲۲	۳۰	۲,۵۲۹
بروجن	۲	۰,۴۷۵	۳۰	۳,۰۷۰	۵	۲,۱۴۳	۱۷	۲,۳۸۴
چهلگرد	۴	۰,۵۴۶	۲۲	۲,۸۱۶	۷	۲,۱۶۸	۶	۲,۱۸۵
سپیدار	۲۲	۰,۸۱۴	۱۶	۲,۶۸۲	۲۱	۲,۴۴۲	۲۰	۲,۴۲۵
دارخوین	۱۷	۰,۷۵۸	۱۳	۲,۶۴۰	۱۵	۲,۳۶۱	۱۱	۲,۲۸۰
گدارلندر	۲۷	۰,۸۸۸	۴	۲,۴۵۵	۱۳	۲,۳۰۵	۱۳	۲,۳۳۰
سد شهید عباسپور	۲۱	۰,۸۰۸	۶	۲,۵۱۶	۱۱	۲,۲۷۵	۱۰	۲,۲۷۵
سد دز	۱	۰,۴۴۸	۳۱	۳,۲۳۹	۸	۲,۱۷۶	۲۶	۲,۵۱۳
مرغک	۶	۰,۶۲۱	۸	۲,۵۶۰	۳	۲,۰۸۵	۳	۲,۰۶۶



شکل ۹- پهنه‌بندی حوضه آبریز کارون بزرگ بر اساس شاخص انتقال اطلاعات

ارزشیابی منطقه‌ای ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی حوضه آبریز کارون بزرگ

کارایی تئوری آنتروپی در رتبه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای ایستگاه های باران سنجی در حوضه آبریزکارون بزرگ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج رتبه‌بندی ایستگاه ها بر اساس مقدار شاخص‌های متفاوت آنتروپی برای n=۶ ارائه شده است. چنان که در جدول ۶ دیده می‌شود ایستگاه‌های شاه مختار، پل شالو، سپید دشت، لردجان و گدارلندر از آنجا که بالاترین رتبه‌ها را در میان سایر ایستگاه‌ها به‌خود اختصاص داده‌اند ایستگاه مهم حوضه شناخته شده‌اند که مفید ترین اطلاعات در شبکه پایش را تولید می نماید و به صورت فعال در شبکه باقی خواهند ماند. از سوی دیگر ایستگاه‌های شوش دانیال، مرغک، سد دز، بروجن و چهلگرد ضمن کسب رتبه‌های پایین در شبکه، وضعیتی بحرانی داشته، از این نظر صحت اطلاعات ثبت شده در این ایستگاه‌ها مورد تردید می‌باشد. دلایل عدم ارتباط مناسب اطلاعات این ایستگاه‌ها با سایر ایستگاه‌ها ممکن است وجود عارضه‌ای طبیعی در نزدیکی محل ایستگاه و یا سهل انگاری در جمع‌آوری و ثبت آمار و اطلاعات باشد. البته بایستی در مورد پنج ایستگاه تجدید نظر کرده و بازدید میدانی از محل پنج ایستگاه به‌عمل آید و با در نظر گرفتن عواملی مانند موقعیت نصب و عوارض مجاور، امکان احداث، بهره برداری و نگهداری ایستگاه، عوامل اقتصادی و... ایستگاه مورد نظر را نصب و یا تجهیز مجدد نمود. در صورت تشخیص کارشناسان و مسئولان مربوطه تغییر محل ایستگاه نیز قابل طرح و بررسی است.

ارزیابی تراکم منطقه‌ای ایستگاه های شبکه باران‌سنجی حوضه آبری‌زکارون بزرگ

بررسی تراکم ایستگاه‌های شبکه حوضه توسطتحلیل کردن مقدار شاخص انتقال اطلاعات توسط درون یابی مکانی و کلاس‌بندی مقدار آن طبق جدول ۳ صورت می‌پذیرد. بر پایه این تحلیل، تراکم ایستگاه‌های یک شبکه هنگامی که درصد زیادی از مساحت حوضه در کلاس متوسط (۰/۶-۰/۴) باشد قابل قبول و چنانچه درصد زیادی از مساحت حوضه در کلاس بالای متوسط (۰/۸-۰/۶) باشد بهینه می‌باشد (میشرا و کولی بالی، ۲۰۱۰). بر اساس نتایج به دست آمده از پهنه بندی مقدار شاخص انتقال اطلاعات ۲۱/۵ درصد از مساحت حوضه فاقد ایستگاه باران‌سنجی می‌باشد در حالیکه بالغ بر ۷ درصد مساحت حوضه در کلاس متوسط و مابقی آن به عبارتی دیگر بیشتر از ۷۱ درصد از مساحت حوضه را کلاس بالای متوسط و مازاد تشکیل داده است (شکل ۹ و جدول ۵). بنابراین تراکم ۳۱ ایستگاه منتخب شبکه باران‌سنجی حوضه کارون بزرگ بهینه می‌باشد و می‌توان سایر ایستگاه‌های باران سنجی را از شبکه پایش حوضه حذف نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از تئوری آنتروپی گسسته به منظور ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه کارون بزرگ استفاده شده است. نتایج این ارزیابی حاکی از وجود ۵ ایستگاه شوش دانیال، مرغک، سد دز، بروجن و چهل گرد ضمن کسب رتبه‌های پایین در شبکه، وضعیتی بحرانی داشته و ادامه فعالیت آنها مستلزم تجدید نظر جدی است. بر اساس نتایج بدست آمده از پهنه بندی مقدار شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) تراکم ۳۱ ایستگاه منتخب شبکه باران‌سنجی حوضه کارون بزرگ بهینه می‌باشد و می‌توان سایر ایستگاه‌های باران سنجی را از شبکه پایش حوضه حذف نمود. همچنین استفاده از رابطه استورجس در تعیین تعداد کلاس‌بندی در تئوری آنتروپی گسسته نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از این رابطه در این تئوری توصیه می‌شود.در نهایت پیشنهاد می‌شود با انجام پژوهش‌هایی همراه با بازدیدهای میدانی، نتایج به دست آمده از روش آنتروپی و مقدار شاخص‌های آن با واقعیت‌های فیزیکی و شرایط نصب و عملکرد ایستگاه مقایسه شود. بدین ترتیب ممکن است از برخی نتایج این روش بدون انجام بازدیدهای میدانی یا صرف هزینه‌های بیشتر به علت تغییرات و نحوه کارکرد ایستگاه مورد نظر پی برد. بدیهی است نتایج به دست آمده از هر روش علمی که مبتنی بر آمار و اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه پایش است همواره متأثر از کیفیت، صحت و کمیت آمار و اطلاعات یاد شده خواهد بود. از این نظر توسعه شبکه‌های پایش، ضمن ارتقای کیفیت ثبت آمار و اطلاعات آنها، پیشنهادی بدیهی خواهد بود.

منابع

۱- کریمی حسینی، آ و ا. بزرگ حداد. ۱۳۸۸. ارزیابی و طراحی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه باتلاق گاوخونی با استفاده از تئوری آنتروپی و الگوریتم ژنتیک. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۱-۱۹ بهمن.

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

3- Chapman, T. G. 1986. Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance. Hydrology, 85: 111-126.

4- Chen, Y. C., C. Weiand. and H.C. Yeh. 2008. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes, 22: 340-346.

5- 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.

6- Karamouz, M., Hafez , B. 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.

7- Kawachi, T. 2001. Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. Hydrology, 246: 36-44.

8- 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. Hydrology, 283: 107-121.

9- Mishra, A. K. and P. Coulibaly. 2010. Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. Hydrology, 380: 420-437.

10- 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.

11- Mogheir, Y. and V. P. Singh. 2002. Application of information theory to groundwater quality monitoring system. Water Resources Management, 16(1): 37- 49.

12- 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.

13- Sarlak, N. and A. Sorman. 2006. Evaluation and selection of streamflow network stations using entropy methods. Turkish Journal of Engineering Environment, Science 30: 91-100.

14- Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27: 379-423.

15- 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.