مجله علمی - پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال چهارم - شماره ۱۱ - تابستان ۱۳۸۹

Vol. 4, No. 11, Summer 2010

مکان‌یابی ایستگاه‌های باران‌سنجی با استفاده از آنتروپی

آزاده کریمی حسینی[۱]، امید بزرگ‌حداد[۲]، عبدالحسین هورفر[۳] و کیومرث ابراهیمی[۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۷/۲۵

چکیده

مناسب بودن تراکم و توزیع باران‌سنجها در شبکه‌های باران‌سنجی هر منطقه، گامی مؤثر در موفقیت طرحهای آبی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و استفاده مؤثر از اطلاعات می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مفهوم آنتروپی انتقال اطلاعات، موقعیت ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی در شبکه باران‌سنجی حوزه باتلاق گاوخونی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌ها (۱۳۸۵ - ۱۳۵۶) تعیین شد. برای مکان‌یابی باران‌سنج‌ها از دو الگوریتم ترتیبی و ژنتیک استفاده و برای هر الگوریتم دو هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات و بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات، تعریف و سپس عملکرد مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر و برتری نسبی الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم ترتیبی با هر دو هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی (حداکثر ۱/۳۱+، ۱/۳۴+ و ۰/۱۲+ درصد به ترتیب در نواحی یک، دو و سه) و بیشینه کردن متوسط آنتروپی (حداکثر ۰/۳۵+، ۰/۲۱+ و ۰/۰۲+ درصد به ترتیب در نواحی یک، دو و سه) بود.

واژه‌های کلیدی: باران‌سنج، مکان‌یابی، آنتروپی انتقال اطلاعات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترتیبی.

مقدمه

داده‌های بارندگی اغلب در مسایلی چون، مطالعات بیلان آب حوزه، برآورد نیاز آبی گیاهان، تجزیه و تحلیل دوره‌های ترسالی و خشکسالی، پیش بینی سیلاب، طراحی سیستم‌های زهکشی و محاسبه تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا اولین اقدام در اجرای پروژه‌های آبی، شناخت ویژگی‌های بارندگی و آگاهی از آب و هوا و اقلیم منطقه است. ویژگی‌های بارندگی مانند، شدت، مدت و فراوانی بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی اندازه‌گیری می‌شوند. از اینرو تراکم و توزیع مناسب باران‌سنج‌ها در شبکه‌های باران‌سنجی، در قالب مسأله طراحی شبکه، در موفقیت بیشتر طرحهای آبی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و استفاده مؤثر از اطلاعات تاثیرگذار می‌باشد. بارندگی به دلیل داشتن تغییرات مکانی و زمانی بسیار زیاد، در مقایسه با سایر عوامل هواشناسی، به شبکه متراکم‌تری برای دیدبانی نیاز دارد. علاوه بر توزیع مکانی و زمانی، عواملی چون شرایط جغرافیایی، توپوگرافی، هیدرولوژیکی و اقلیمی، پروژه‌های آبی در حال توسعه در منطقه، دقت مطلوب تعیین متوسط بارندگی، امکان احداث، بهره‌برداری و نگهداری ایستگاه، عوامل اقتصادی و جمعیت، بایستی در طراحی شبکه مدنظر قرار گیرند. از آن جا که لحاظ نمودن همه این عوامل در طراحی شبکه امری پیچیده می‌باشد، اغلب معیاری برای طراحی شبکه تعریف شده و مسأله طراحی شبکه به صورت تعیین مجموعه ایستگاه‌های تأمین‌کننده معیار طراحی مطرح می‌شود[۱۷]. تئوری اطلاعات یا آنتروپی، یکی از معیارهایی است که در طراحی شبکه‌های پایش کاربرد وسیعی داشته است. کراستانوویچ و سینگ [۱۰] و [۱۱]، تئوری آنتروپی را به منظور ارزیابی زمانی و مکانی شبکه باران‌سنجی در ایالت لوئیزیانا[۴] در آمریکا به کار برده و با استفاده از اصل آنتروپی بیشینه[۵]، توزیع‌های نرمال چندمتغیره را استنتاج و سپس آنتروپی‌های مشترک[۶]، شرطی[۷] و انتقال اطلاعات[۸] را محاسبه نمودند. آنها با رسم خطوط هم‌مقدار آنتروپی مرزی شدت بارندگی شبکه را ارزیابی کرده و در نهایت، منحنی‌های هم‌مقدار اطلاعات[۹] را جهت مکان‌یابی ایستگاه‌ها، ترسیم کردند. کسلتون و حسین [۳] و حسین [۸]، از مفهوم آنتروپی در برآورد عدم قطعیت و اطلاعات منطقه‌ای در نقاط یک شبکه منظم در حوزه، با استفاده از داده‌های بارندگی استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که روش آنتروپی ابزاری مناسب به منظور ارزیابی یک آرایش مکانی بهینه و تعیین

۱- نویسنده مسئول و کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
a.karimihosseini@gmail.com
۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

4- Louisiana
5- Maximum Entropy Principle (MEP)
6- Joint Entropy
7- Conditional Entropy
8- Transinformation Entropy
9- Transinformation Contours

تعداد و موقعیت ایستگاه‌های پایش می‌باشد. هارمانسیوگلو و آلپاسلان [۶]، از مفهوم آنتروپی در طراحی شبکه پایش کیفی آب بهره جستند. الزهرانی و حسین [۲]، از روشی بر پایه معیار اطلاعات شانون (آنتروپی) برای طراحی یک شبکه هیدرولوژیکی در منطقه‌ای واقع در جنوب غربی عربستان سعودی با دو هدف: ۱) کاهش ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود و ۲) ارتقاء شبکه، استفاده کردند. مطالعه آنها روی داده‌های بارندگی روزانه با توزیع گاما[1]، نشان داد که ۷۰ باران‌سنج شبکه موجود را می‌توان به حدود ۴۵ ایستگاه با جابه‌جایی برخی از آنها تقلیل داد. مهجوری مجد و کراچیان [۱]، در مطالعه‌ای از آنتروپی گسسته به منظور ارزیابی و مکان‌یابی مجدد ایستگاه‌های پایش موجود و تعیین فراوانی بهینه نمونه‌برداری متغیرهای کیفی شاخص در طول رودخانه جاجرود استفاده نمودند. ازکول و همکاران [۱۵]، از تئوری آنتروپی پیوسته در جهت ارزیابی سیستم‌های پایش کیفی رودخانه و تعریف بهتر مناطقی با عدم قطعیت‌های اطلاعاتی زیاد در طول رودخانه استفاده کردند.

موغیر و سینگ [۱۳]، آنتروپی انتقال اطلاعات را از میان چهار نوع آنتروپی (مرزی، مشترک، شرطی و انتقال اطلاعات)، بهترین و در عین حال مناسب‌ترین روش برای بررسی سیستم‌های پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی تشخیص داده و این سیستم‌ها را با استفاده از نقشه‌های خطوط هم‌مقدار آنتروپی مرزی، ارزیابی نمودند. کارآموز و همکاران [۹]، برای انتخاب بهترین ایستگاه‌های پایش از یک سری مناطق با پتانسیل پایش در طول یک رودخانه، از اطلاعات انتقالی استفاده کردند. ایشان سری زمانی داده‌های کیفیت آب ایستگاه‌های جدید با پتانسیل پایش را با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کیفی تولید نموده و با استفاده از آنتروپی پیوسته[2] موقعیت ایستگاه‌های جدید را با هدف بهبود عملکرد سامانه پایش ارائه کردند. معصومی و کراچیان [۱۲]، با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته در قالب الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی دشت تهران را ارزیابی نموده و موقعیت ایستگاه‌های جدید شبکه را تعیین کردند. در مسأله طراحی شبکه‌های باران‌سنجی، چن و همکاران [۴]، درجه اهمیت ایستگاه‌های جدید در شبکه را با محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات و آنتروپی مشترک، تعیین نمودند.

مسأله طراحی شبکه پایش را می‌توان به صورت انتخاب یک سری ایستگاه‌های جدید تعریف نمود، که انتقال اطلاعات در شبکه را بهبود بخشیده و به سطح مطلوب می‌رساند. در این مورد، آنتروپی انتقال اطلاعات که معیاری از انتقال اطلاعات در شبکه است، می‌تواند به عنوان معیار طراحی شبکه مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعه حاضر نیز، هدف تعیین موقعیت ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی در سطح حوزه باتلاق گاوخونی، با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات می‌باشد به طوری که با افزودن ایستگاه‌های پیشنهادی به شبکه باران‌سنجی موجود، بیشترین انتقال اطلاعات ممکن در شبکه باران‌سنجی صورت گیرد. در چنین موردی، اطلاعات نقاط جدید اندازه‌گیری در دست نیست. بنابراین، برای ارزیابی سطح منطقه از رابطه آنتروپی انتقال اطلاعات-فاصله زوج ایستگاه‌های شبکه موجود که بیانگر تغییرات مکانی آنتروپی انتقال اطلاعات در منطقه می‌باشد استفاده شده است. دو رهیافت می‌تواند در این باره مورد استفاده قرار گیرد. اول، بهبود حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات و دوم، بهبود متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات در منطقه. بنابراین برای مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید در شبکه، دو هدف تعریف شده است: ۱) بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات و ۲) بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات. الگوریتم جستجو نیز می‌تواند متفاوت باشد که در این پژوهش از دو الگوریتم ترتیبی و ژنتیک برای مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید استفاده شده است. سپس با استفاده از چهار مدل تعریف شده، موقعیت ایستگاه‌های جدید در منطقه تعیین و نتایج چهار روش با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

مفاهیم پایه

در این مطالعه از مفهوم آنتروپی انتقال اطلاعات به منظور طراحی شبکه و تعیین ایستگاه‌های جدید پیشنهادی استفاده شده است. برای تعیین موقعیت ایستگاه‌ها نیز از دو الگوریتم ترتیبی و ژنتیک بهره برده شده است.

۱- آنتروپی انتقال اطلاعات

در یک شبکه پایش، انتقال اطلاعات متغیر تصادفی و پیوسته Z بین دو نقطه i و j که کاهش عدم قطعیت Z_i بواسطه اطلاع از Z_j یا کاهش عدم قطعیت Z_j بواسطه اطلاع از Z_i است، آنتروپی انتقال اطلاعات نامیده شده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$T(Z_i, Z_j) = -\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} f_{ij}.\ln\left[\frac{f_{ij}}{f_i.f_j}\right]d_i d_j \qquad (۱)$$

که در آن، Z_i= متغیر تصادفی Z در نقطه i، Z_j= متغیر تصادفی Z در نقطه j، $T(Z_i,Z_j)$= آنتروپی انتقال اطلاعات متغیر Z بین دو نقطه i و j بر حسب نات، f_i = تابع چگالی احتمال متغیر Z_i، f_i= تابع چگالی احتمال متغیر Z_j و f_{ij}= تابع چگالی احتمال مشترک Z_i و Z_j می‌باشد. موغیر [۱۴]، رابطه (۱) را برای متغیری با توزیع نرمال، به صورت زیر ساده نمود:

$$T(Z_i, Z_j) = -\frac{1}{2}\ln(1-r^2_{Z_iZ_j}) \qquad (۲)$$

که در آن، $r_{Z_iZ_j}$ ضریب همبستگی بین Z_i و Z_j (مقادیر متغیر در دو ایستگاه i و j) می‌باشد.

1- Gamma Distribution

2- Continuous Entropy

۲- الگوریتم ترتیبی [1] (SA)

الگوریتم ترتیبی روشی ساده و گام به گام است که در برخی از مطالعات طراحی شبکه کاربرد داشته است (چنگ و همکاران [۵]). در این روش، موقعیت ایستگاه‌های جدید به ترتیب و یک به یک تعیین می‌شوند. به عبارت دیگر ابتدا یک ایستگاه جدید در شبکه با توجه به معیار طراحی، مکان‌یابی شده و فرض می‌شود که این ایستگاه در شبکه احداث گردیده و سپس به مکان‌یابی ایستگاه بعدی بر اساس تابع هدف، پرداخته می‌شود. در این صورت بایستی در هر مرحله، تمامی نقاط باقیمانده سطح بر اساس تابع هدف مورد نظر در جهت انتخاب برای احداث ایستگاه جدید، مورد ارزیابی قرار گیرند که کاری وقت گیر است.

۳- الگوریتم ژنتیک [2] (GA)

الگوریتم ژنتیک در حقیقت روش جستجوی تصادفی و بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که توسط هولند [۷] مطرح شد. این الگوریتم امروزه در بسیاری از علوم مختلف مثل زیست شناسی، علوم فنی و مهندسی، علوم پایه، علوم اجتماعی و ... کاربرد دارد. این الگوریتم یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای بسیار وسیع است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن جواب نزدیک به بهینه می‌شود و از این جهت در مسایل پیچیده طراحی شبکه در محدوده‌ای وسیع می‌تواند بسیار مفید واقع شود.

متغیرهای تصمیم (ژن‌ها) در این الگوریتم، ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی می‌باشند که از میان نقاط پتانسیل که به هر کدام شماره‌ای اختصاص داده شده است، انتخاب شده و کروموزوم را تشکیل می‌دهند. در هر تکرار، مجموعه این ژن‌ها و ایستگاه‌های موجود شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا در نهایت سری ایستگاه‌های مربوط به بهترین جواب، انتخاب شود.

مواد و روش‌ها

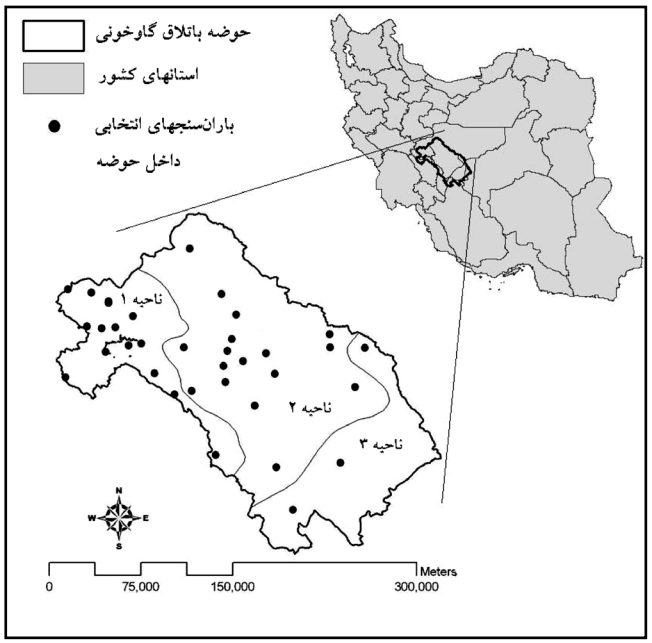
۱- منطقه مورد مطالعه و داده های بارندگی

منطقه مورد مطالعه، حوزه باتلاق گاوخونی به مساحت تقریبی ۴۱۵۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که در بخش مرکزی ایران، بین طول‌های جغرافیایی ″۰۱ °۵۰ و ″۲۴ °۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۱۱ °۳۱ و ″۴۲ °۳۳ شمالی واقع شده است (شکل ۱). این حوزه بخشی از حوزه اصفهان و سیرجان بوده و بخش اعظم زاینده رود، بزرگ‌ترین رودخانه حوزه اصفهان و سیرجان و سد زاینده رود در آن واقع شده است و از اینرو این حوزه به لحاظ مطالعات آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. حدود ۷۸ باران‌سنج، شامل ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۸ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی کشور و ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو در داخل این حوزه قرار گرفته‌اند.

پس از بررسی وضعیت آماری ایستگاه‌ها، دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۶ برای این مطالعه انتخاب شده و از میان کلیه ایستگاه‌های داخل حوزه و ایستگاه‌های مجاور حوزه تا فاصله تقریبی ۲۰۰ کیلومتری، ایستگاه‌هایی که تا سال ۱۳۸۵ دارای ۳۰ سال آمار کامل یا قابل بازسازی بارندگی سالانه بودند برای مطالعه برگزیده شدند که این تعداد به ترتیب در نواحی یک، دو و سه برابر با ۱۹، ۲۴ و ۶ ایستگاه است. تقویم داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو بصورت سال آبی شمسی و تقویم داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی به صورت سال میلادی می‌باشند که هر دو به سال شمسی تبدیل شده‌اند.

۲- ناحیه بندی منطقه

به واسطه بالا بودن تغییرپذیری متوسط بارندگی سالانه در منطقه، منطقه مورد مطالعه به ناحیه‌های کوچک‌تر با تغییرات کم‌تر میانگین بارندگی سالانه، تقسیم شده است. بدین منظور، تغییرپذیری میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌ها با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی آنها بررسی شده است (جدول ۱). این جدول نشان می‌دهد که ضریب همبستگی متوسط ۳۰ ساله بارنگی سالانه با طول جغرافیایی آنها، در مقایسه با ارتفاع و عرض جغرافیایی بیشتر می‌باشد. نتایج همچنین، وجود روندی محسوس از غرب به شرق حوزه و معنی‌داری همبستگی طول جغرافیایی ایستگاه‌ها با میانگین بارندگی سالانه آنها در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹درصد را نشان می‌دهد. بنابراین برای کاهش اثر روند، منطقه به ناحیه‌های کوچک‌تر تقسیم شده است. تقسیم‌بندی منطقه یا خوشه‌بندی ایستگاه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB [۱۸] و به روش



شکل ۱ - موقعیت عمومی منطقه مورد مطالعه در کشور (وزارت نیرو- تمآب) و سه ناحیه تعیین شده و ایستگاه‌های واقع در آنها

1- Sequential Algorithm
2- Genetic Algorithm

سلسله مراتبی صورت گرفته است. روش خوشه بندی سلسله مراتبی، یکی از انواع مهم روش های خوشه بندی می باشد که داده ها را به صورت سلسله مراتبی به خوشه های لانه ای تقسیم نموده و یک دنباله لانه ای تولید می کند که در آن یک خوشه در رأس قرار گرفته و خوشه های دیگر به دنبال آن در زیر آمده اند. دو خوشه در یک سطح میانی را می توان به عنوان انشعابات سطح بالایی در نظر گرفت. به همین نحو، هر خوشه را می توان به عنوان ترکیبی از دو خوشه در سطح پایینی در نظر گرفت. نمایش گرافیکی الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی، به شکل یک درخت می باشد. این درخت به لحاظ گرافیکی نشان دهنده فرآیند ترکیب در خوشه های میانی است (ریویچاندرا رائو [۱۶]).

با مقایسه نتایج دسته بندی ایستگاه ها بر اساس: ۱) میانگین ۳۰ ساله بارندگی سالانه و ۲) ضریب همبستگی مشاهدات جفت ایستگاه ها، در ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ خوشه، سه خوشه مناسب تشخیص داده شده است (جدول ۲). شکل (۱) سه ناحیه تعیین شده و ایستگاه های منتخب واقع در هر ناحیه را نشان می دهد.

۳- محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات

به منظور ارزیابی منطقه جهت تعیین نیاز به احداث باران سنج جدید، مجموعه ای از نقاط پتانسیل تهیه شده است. بدین صورت که ابتدا شبکه ای منظم به ابعاد ۵km × ۵km، در حوزه ی ایجاد شده و سپس در مرکز هر سلول یک نقطه به عنوان شاخص سلول در نظر گرفته شد. نقشه جاده ها و رودخانه های حوزه از سازمان جنگل ها تهیه شده و نقاطی که تا فاصله ۲۰ متری از محور مرکزی جاده ها و فاصله ۵۰ متری از خط مرکزی رودخانه ها قرار می گرفتند از مجموعه نقاط حذف شدند. مجموعه نقاط باقی مانده به عنوان نقاط پتانسیل باران سنج های جدید شبکه در نظر گرفته شده اند. برای استفاده از رابطه (۲) در تعیین آنتروپی انتقال اطلاعات زوج ایستگاه ها، ابتدا باید به بررسی برازش توزیع نرمال بر داده های بارندگی سالانه تمام ایستگاه های منطقه، پرداخته شود. در نتیجه انجام سه آزمون کلموگراف-اسمیرنوف[1]، اندرسون-دارلینگ[2] و کی-دو[3] توسط نرم افزار EasyFit 5.0 Professional روی داده ها، آزمون های K-S و A.D. در همه ایستگاه ها توزیع نرمال را قابل

جدول ۱ - بررسی همبستگی طول و عرض جغرافیایی با میانگین ۳۰ ساله بارندگی

متغیر مستقل	مدل رگرسیون	ضریب همبستگی	معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪	معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪
ارتفاع	خطی	۰/۵۵۲	+	+
	درجه ۲	۰/۵۹۷	+	+
	درجه ۳	۰/۶۰۵	+	+
طول جغرافیایی	خطی	۰/۶۰۳	+	+
	درجه ۲	۰/۶۶۰	+	+
	درجه ۳	۰/۶۶۱	+	+
عرض جغرافیایی	خطی	۰/۰۸۳	-	-
	درجه ۲	۰/۱۲۶	-	-
	درجه ۳	۰/۱۴۱	-	-

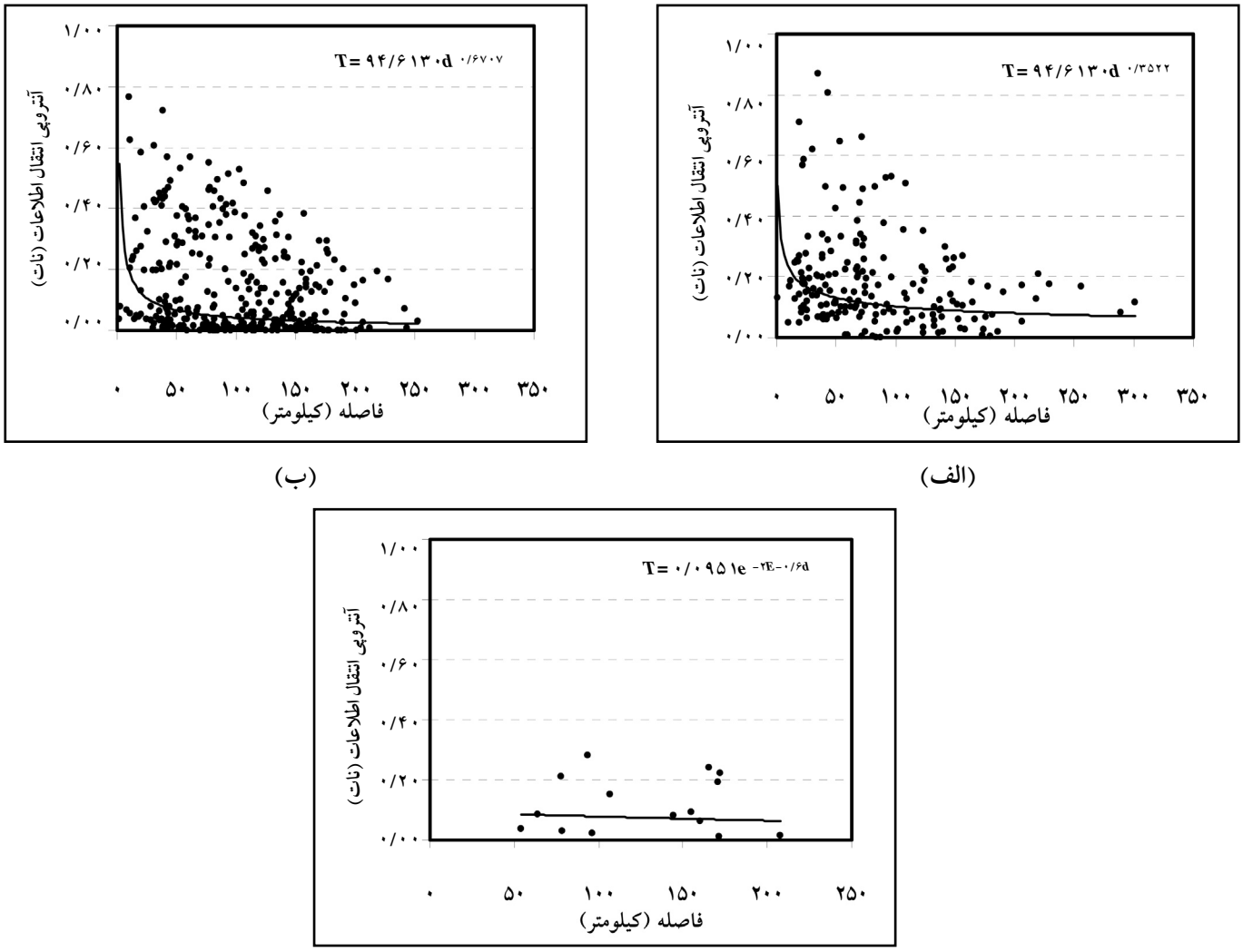
جدول ۲ - نتایج خوشه بندی ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

تعداد خوشه ها	۳	۴	۵
تعداد ایستگاه ها در هر خوشه	۳، ۲۵، ۱۹	۱ و ۳، ۱۳، ۳۰	۱ و ۱، ۳۰، ۲، ۱۳
تعداد خوشه ها	۶	۷	۸
تعداد ایستگاه ها در هر خوشه	۱ و ۱، ۱، ۱، ۱۲، ۳۰	۱ و ۱، ۱، ۳۰، ۹، ۴	۱ و ۱، ۱، ۱، ۲، ۴، ۲۸، ۹

1 - Kolmogorov- Smirnov (K-S) Test

2 - Anderson- Darling (A.D.) Test

3 - Chi- Square (χ^2) Test



شکل ۲ - رابطه آنتروپی انتقال اطلاعات- فاصله در الف) ناحیه ۱ ، ب) ناحیه ۲ و ج) ناحیه ۳

برازش بر داده‌ها نشان دادند و حتی آزمون χ^2 نیز در حدود ۷۵٪ از ایستگاه‌ها، این توزیع را پذیرفته است. بنابراین با توجه به نتایج این سه آزمون، می‌توان گفت که بارندگی سالانه در ایستگاه‌های منطقه می‌تواند از توزیع نرمال پیروی کرده و لذا رابطه (۲) قابل استفاده می‌باشد.

پس از تعیین ضریب همبستگی جفت ایستگاه‌های هر ناحیه، آنتروپی انتقال اطلاعات آنها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده و بر این اساس، نمودار نقاط آنتروپی انتقال اطلاعات-فاصله زوج ایستگاه‌ها رسم شده و بهترین منحنی بر این نقاط برازش داده شده است (شکل ۲). این شکل، گویای تغییرات مکانی آنتروپی انتقال اطلاعات در سطح سه ناحیه است.

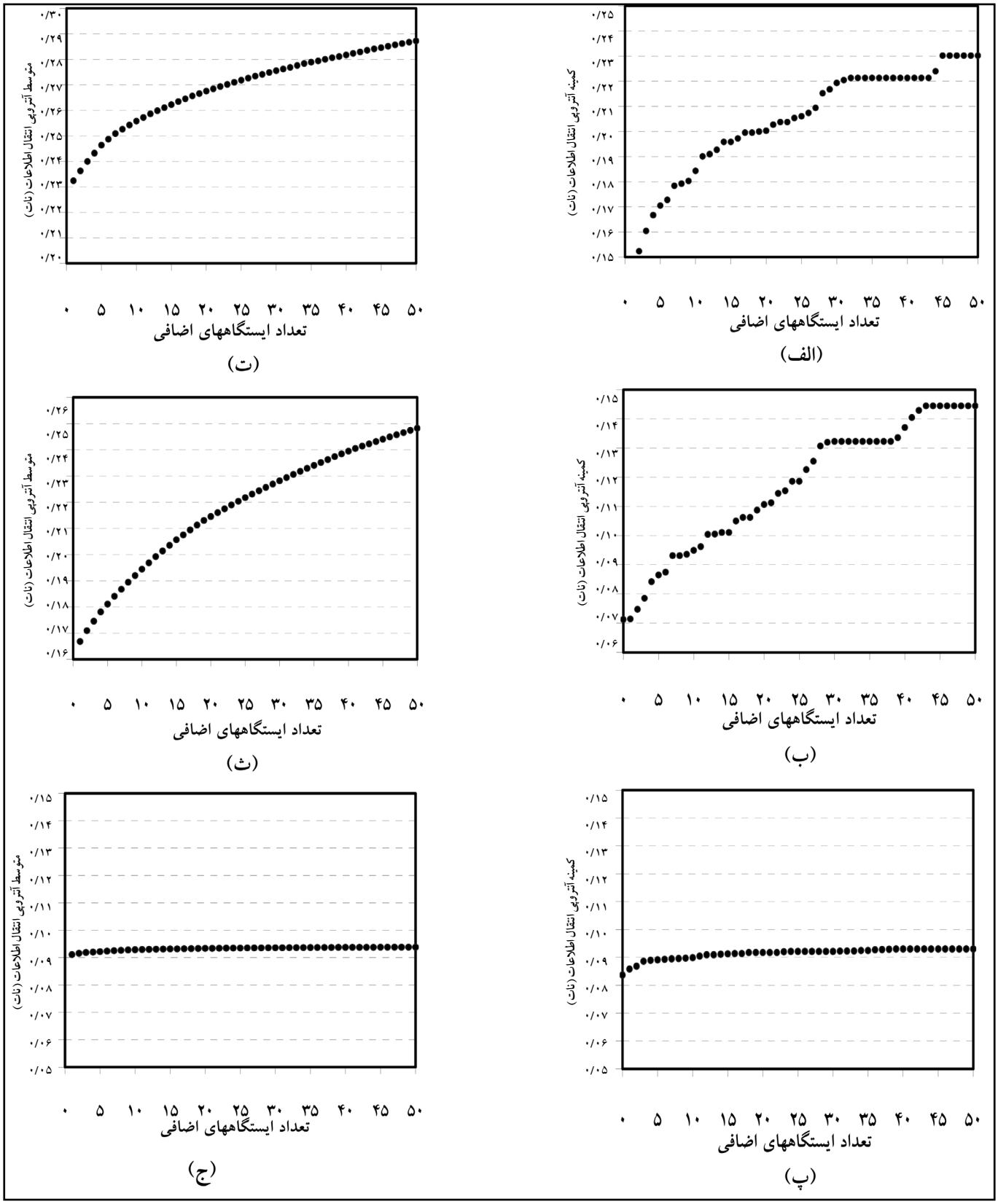
رابطه منحنی برازش داده شده بر نقاط در شکل نشان داده شده است که در آن، T= آنتروپی انتقال اطلاعات میانگین ۳۰ ساله بارندگی سالانه بر حسب نات و d= فاصله دو نقطه بر حسب کیلومتر می‌باشد. آنتروپی نقاط پتانسیل را که اطلاعی از آن در دست نیست، می‌توان با استفاده از روابط شکل (۲) که همان توزیع مکانی آنتروپی انتقال اطلاعات در سه ناحیه است، محاسبه کرد.

مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید

همان طور که ذکر شد برای نیل به هدف مورد نظر، یعنی تعیین موقعیت ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی، دو تابع هدف با دو الگوریتم SA و GA در نظر گرفته شده است.

۱ - SA با هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات

در این روش، در هر مرحله نقطه پتانسیلی که دارای کم‌ترین آنتروپی انتقال اطلاعات می‌باشد، به شبکه ایستگاه‌ها افزوده شده و مجددا آنتروپی انتقال اطلاعات سایر نقاط پتانسیل باقی‌مانده محاسبه شده و نقطه بعدی به شبکه افزوده می‌شود.



شکل ۳- تغییرات کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده، با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید توسط SA با هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات الف) ناحیه ۱ ، ب) ناحیه ۲ و پ) ناحیه ۳ و تغییرات متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده، با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید توسط SA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات: ت) ناحیه ۱ ، ث) ناحیه ۲ و ج) ناحیه ۳

۲ - SA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات

در این روش در هر مرحله، نقطه پتانسیلی به شبکه افزوده می شود که بیشترین تأثیر را در افزایش متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده (که معرف سطح می باشند)، داشته باشد.

۳ - GA با هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات

در این روش به تعداد متغیر تصمیم، ایستگاه جدید به شبکه افزوده می شود به طوری که حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده، بیشترین افزایش را داشته باشد. این مدل برای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متغیر تصمیم (تعداد ایستگاه جدید) به تعداد پنج بار با احتمال ترکیب ٪۷۰ و احتمال جهش ٪۵، اجرا شده است.

۴ - GA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات

مراحل محاسبات این مدل مشابه SA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات است، یعنی به تعداد متغیر تصمیم، ایستگاه جدید به شبکه افزوده می شود به طوری که متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده، بیشترین افزایش را داشته باشد. این الگوریتم نیز پنج مرتبه، برای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متغیر تصمیم (تعداد ایستگاه جدید) با احتمال ترکیب ٪۷۰ و احتمال جهش ٪۵، اجرا شده است.

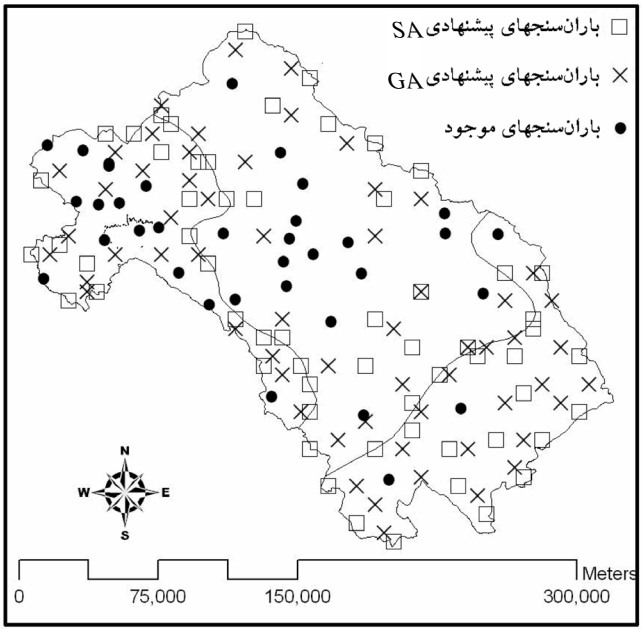
نتایج

شکل (۳- الف تا ج) تغییرات کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات در نواحی یک، دو و سه، با افزایش تعداد ایستگاه های جدید، توسط SA را نشان می دهد.

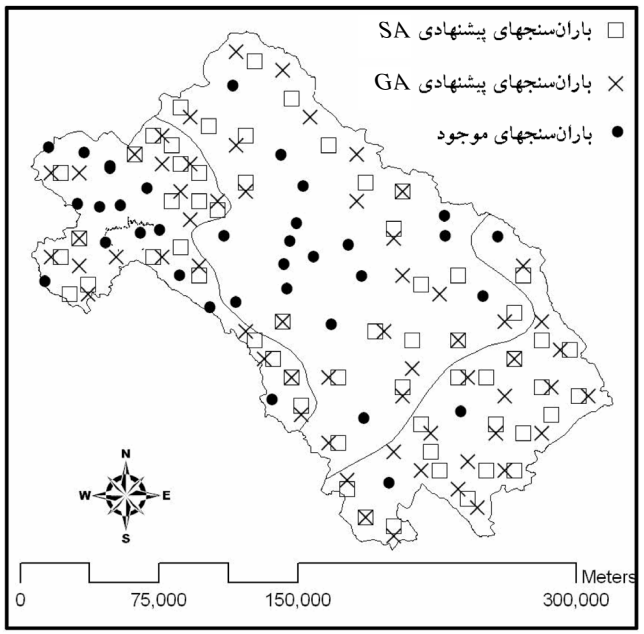
همان طور که از نمودارها پیداست، افزایش تعداد ایستگاه های جدید، در دو ناحیه یک و دو، تأثیر بسزایی در افزایش آنتروپی انتقال اطلاعات داشته اما تغییرات کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات با افزایش تعداد ایستگاه ها، در ناحیه سه بسیار کم تر از دو ناحیه دیگر است و تنها در دو یا سه نقطه اول نمودار کمی افزایش نشان داده و بعد از آن تقریبا به مقدار ثابتی می رسد. در شکل (۵-الف و ب) موقعیت پیشنهادی برای ۲۰ ایستگاه پیشنهادی SA در سه ناحیه حوزه، نشان داده شده است.

در شکل (۴-الف) در برخی قسمت ها، ایستگاه های جدید روی مرز بین دو ناحیه قرار گرفته اند که این امر موجب تداخل باران سنج های پیشنهادی دو ناحیه مجاور شده است. دلیل بروز چنین مشکلی آن است که الگوریتم مکان یابی، نقاط پتانسیل با کم ترین آنتروپی را جستجو می کند که در حواشی ناحیه ها واقع شده اند.

شکل (۴- ب) نشان می دهد که توزیع ایستگاه ها در قسمت های کم تراکم بوده و مشکل روش قبل (قرار گرفتن ایستگاه های جدید روی مرز بین دو ناحیه)، در این مورد دیده نمی شود. این امر ناشی از



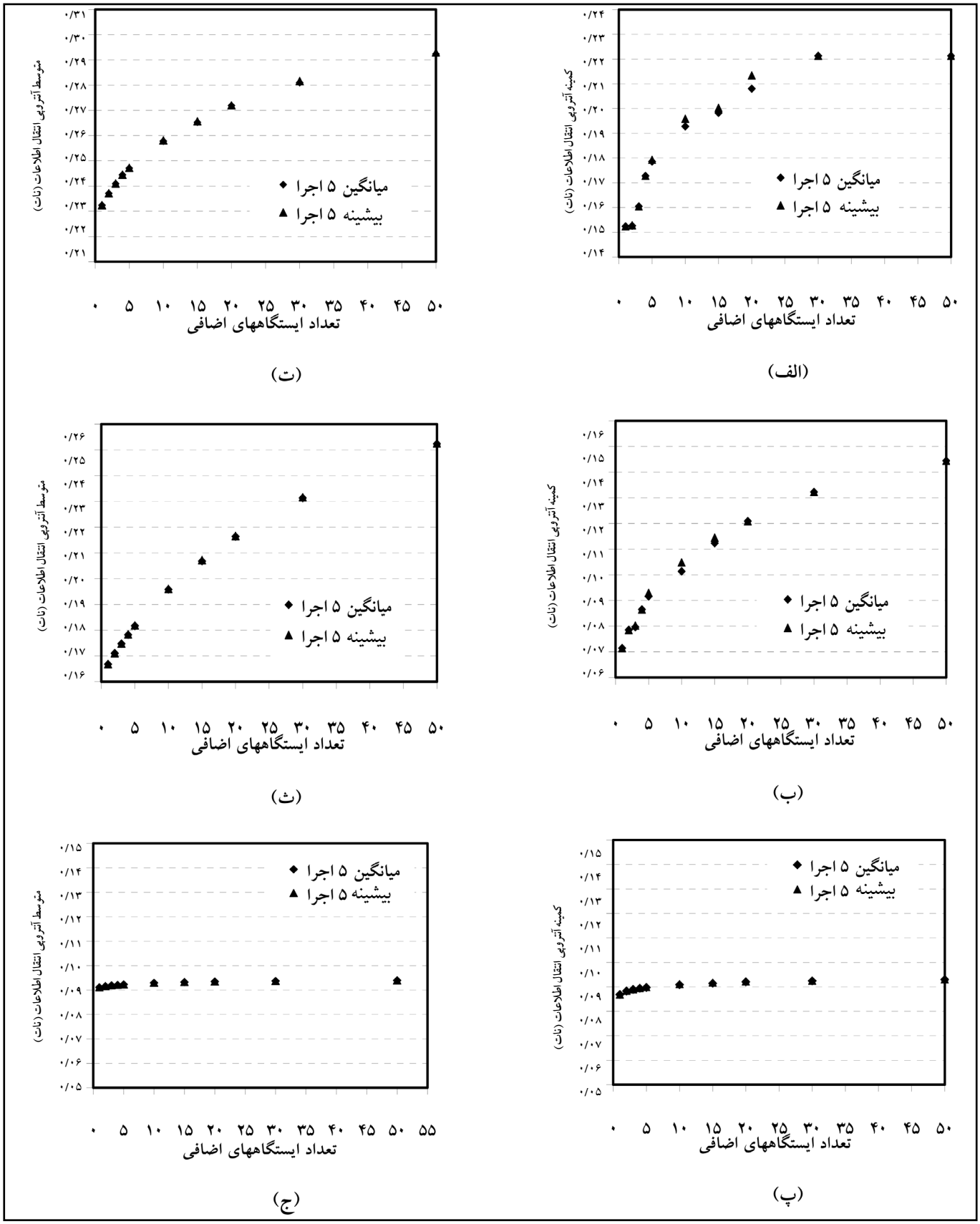
(الف)



(ب)

شکل ۴ - موقعیت ۲۰ ایستگاه جدید باران سنجی در حوزه توسط دو SA و GA، با هدف: الف) بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات و ب) بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات

تفاوت در هدف الگوریتم است. در الگوریتم با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی، جستجو برای نقاط با کم ترین آنتروپی انتقال اطلاعات صورت می گیرد و این نقاط شامل حاشیه های سه ناحیه است که شبکه تراکم کم تری دارد. لذا به نظر می رسد که روش بیشینه کردن متوسط آنتروپی، در مکان یابی ایستگاه ها عملکرد بهتری داشته است.



شکل ۵- تغییرات کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید توسط GA با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات: الف) ناحیه ۱ ، ب) ناحیه ۲ و پ) ناحیه ۳ و تغییرات متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید توسط GA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات ت) ناحیه ۱ ، ث) ناحیه ۲ و ج) ناحیه ۳

جدول ۳- کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی مانده، پس از اجرای SA و GA با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات (هدف ۱) و با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات (هدف ۲) در الف) ناحیه ۱ ، ب) ناحیه ۲ و ج) ناحیه (اعداد زیرخط دار نشان دهنده جواب های بهتر می باشند.)

(الف)

تعداد ایستگاه‌های جدید	کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه		متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه	
	SA (هدف ۱)	GA (هدف ۱)	SA (هدف ۲)	GA (هدف ۲)
۱	۰/۱۴۶۸	۰/۱۵۲۴	۰/۲۳۲۴	۰/۲۳۲۴
۲	۰/۱۵۲۴	۰/۱۵۲۸	۰/۲۳۶۳	۰/۲۳۷۱
۳	۰/۱۶۰۴	۰/۱۶۰۴	۰/۲۳۹۹	۰/۲۴۱۰
۴	۰/۱۶۶۷	۰/۱۷۲۸	۰/۲۴۳۲	۰/۲۴۴۴
۵	۰/۱۷۰۵	۰/۱۷۹۲	۰/۲۴۶۳	۰/۲۴۷۲
۱۰	۰/۱۸۴۳	۰/۱۹۵۹	۰/۲۵۵۸	۰/۲۵۸۰
۱۵	۰/۱۹۵۹	۰/۲۰۰۳	۰/۲۶۲۲	۰/۲۶۵۶
۲۰	۰/۲۰۰۳	۰/۲۱۳۴	۰/۲۶۷۵	۰/۲۷۱۰

(ب)

تعداد ایستگاه‌های جدید	کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه		متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه	
	SA (هدف ۱)	GA (هدف ۱)	SA (هدف ۲)	GA (هدف ۲)
۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۷۱۴	۰/۱۶۶۸	۰/۱۶۶۸
۲	۰/۰۷۴۷	۰/۰۷۸۵	۰/۱۷۰۹	۰/۱۷۱۰
۳	۰/۰۷۸۵	۰/۰۸۰۲	۰/۱۷۴۶	۰/۱۷۴۷
۴	۰/۰۸۴۲	۰/۰۸۶۵	۰/۱۷۸۱	۰/۱۷۸۳
۵	۰/۰۸۶۵	۰/۰۹۲۹	۰/۱۸۱۱	۰/۱۸۱۸
۱۰	۰/۰۹۴۹	۰/۱۰۴۸	۰/۱۹۴۴	۰/۱۹۶۰
۱۵	۰/۱۰۱۱	۰/۱۱۴۵	۰/۲۰۵۷	۰/۲۰۷۲
۲۰	۰/۱۱۰۶	۰/۱۲۰۹	۰/۲۱۴۵	۰/۲۱۶۶

در مورد GA، جواب پنج اجرای الگوریتم در هر سه ناحیه بسیار نزدیک به هم بوده و انحراف معیار و ضریب تغییرات آن بسیار کم و در مواردی برابر صفر می باشد. تغییرات کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات در سه ناحیه با افزایش تعداد ایستگاه های جدید، در شکل (۴- الف تا ج) نشان داده شده است. در این شکل میانگین و حداکثر جوابهای پنج اجرای الگوریتم نشان داده شده اند.

شکل (۴- الف و ب) موقعیت تعیین شده ۲۰ ایستگاه جدید در سه ناحیه حوزه توسط GA را نشان می دهد. همان طور که در شکل

(ج)

تعداد ایستگاه‌های جدید	کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه		متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از افزودن ایستگاه‌های جدید به شبکه	
	SA (هدف ۱)	GA (هدف ۱)	SA (هدف ۲)	GA (هدف ۲)
۱	۰/۰۸۵۸	۰/۰۸۶۹	۰/۰۹۱۱	۰/۰۹۱۱
۲	۰/۰۸۶۸	۰/۰۸۶۵	۰/۰۹۱۵	۰/۰۹۱۶
۳	۰/۰۸۸۶	۰/۰۸۸۹	۰/۰۹۱۸	۰/۰۹۱۹
۴	۰/۰۸۸۹	۰/۰۸۹۵	۰/۰۹۲۰	۰/۰۹۲۱
۵	۰/۰۸۹۱	۰/۰۸۹۹	۰/۰۹۲۲	۰/۰۹۲۳
۱۰	۰/۰۸۹۹	۰/۰۹۱۱	۰/۰۹۲۸	۰/۰۹۲۹
۱۵	۰/۰۹۱۲	۰/۰۹۱۷	۰/۰۹۳۱	۰/۰۹۳۲
۲۰	۰/۰۹۱۷	۰/۰۹۲۱	۰/۰۹۳۳	۰/۰۹۳۵

(۵-الف و ب) دیده می‌شود، توزیع باران‌سنج‌های پیشنهادی SA و GA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات، یکنواخت‌تر از توزیع باران‌سنج‌های پیشنهادی GA با هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات می‌باشد.

برای مقایسه نتایج SA و GA، از معیاری یکسان استفاده شده است. بدین منظور، مقدار کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی‌مانده پس از اجرای SA و GA با هر دو هدف، محاسبه شده و در جدول (۳) نشان داده شده است. جواب‌های (توابع هدف) بهتر در این جدول، با خط زیرین نشان داده شده‌اند. نتایج جدول (۳) حاکی از برتری GA نسبت به SA در بهبود نتایج می‌باشد. بیشینه تفاوت کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی‌مانده با استفاده از GA نسبت به SA، با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات، ۱/۳۱+٪، ۱/۳۴+٪ و ۰/۱۲+٪ به ترتیب در نواحی یک، دو و سه می‌باشد. بیشینه تفاوت متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقی‌مانده با استفاده از GA نسبت به SA، در مورد هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات، ۰/۳۵+٪، ۰/۲۱+٪ و ۰/۰۲+٪ به ترتیب در نواحی یک، دو و سه، می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۵-الف و ب)، توزیع باران‌سنج‌های پیشنهادی در نواحی کم تراکم بوده و برخلاف الگوریتم ترتیبی، مشکل تداخل باران‌سنج‌های پیشنهادی دو ناحیه مجاور نیز وجود ندارد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مناطق نیازمند ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی با استفاده از مفهوم آنتروپی مشخص و موقعیت ایستگاه‌ها تعیین شده است. با استفاده از معیار آنتروپی و به کمک SA و GA با دو هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی و بیشینه کردن متوسط آنتروپی، مناطق نیازمند باران‌سنج‌های جدید در منطقه مورد مطالعه، تعیین شده است و عملکرد چهار مدل مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور همگن‌سازی منطقه، حوزه به سه ناحیه تقسیم شده و مکان‌یابی ایستگاهها در هر ناحیه بصورت مستقل انجام شده است. پس از محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات زوج ایستگاه‌ها، رابطه آنتروپی انتقال اطلاعات-فاصله برای هر سه ناحیه به دست آمده و از این رابطه در تعیین آنتروپی نقاط پتانسیل استفاده شده است. با اعمال SA با دو هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی و بیشینه کردن متوسط آنتروپی، یک سری نقاط پیشنهادی برای احداث باران‌سنج‌ها به دست آمده است.

در مورد مدل اول، یعنی SA با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی، در برخی قسمت‌ها ایستگاه‌های جدید روی مرز بین دو ناحیه قرار گرفته‌اند، اما در مدل دوم، یعنی SA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی، توزیع ایستگاه‌های پیشنهادی بهتر از مدل اول بوده و

ایستگاه‌ها در قسمت‌های کم‌تراکم شبکه توزیع شده و مشکل قرار گرفتن ایستگاه‌های پیشنهادی در نزدیکی مرز بین دو ناحیه وجود ندارد.

GA نیز با دو هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی (مدل سوم) و بیشینه کردن متوسط آنتروپی (مدل چهارم) اعمال شده است و در هر مورد، نتیجه با SA مقایسه شده است. در مورد GA نیز توزیع باران‌سنج‌ها با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی (مدل چهارم) یکنواخت‌تر از مدل سوم (GA با هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات) می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که توزیع و آرایش باران‌سنج‌های جدید در SA و GA با هدف بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات، یکنواخت‌تر از هدف بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات می‌باشد. هر چند انتخاب هدف مدل به هدف استفاده از داده‌های شبکه نیز بستگی دارد، اما در صورتی که هدف بهبود برآوردهای نقطه‌ای بارندگی و اهداف خاصی چون پیش‌بینی سیلاب در یک نقطه معین یا مطالعات آبی پروژه‌های آبی در محلی خاص باشد، هدف اول یعنی بیشینه کردن کمینه آنتروپی انتقال اطلاعات مد نظر قرار می‌گیرد. اما در صورتی که هدف استفاده از داده‌ها، مدیریت جامع منابع آب حوزه یا برآورد بیلان آبی حوزه باشد، نیاز به بهبود وضعیت کلی شبکه در سطح حوزه بوده و هدف، بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات سطح خواهد بود.

در شکل (۴- الف و ب)، الگوی تقریبا مشخصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید توسط SA و GA، دیده می‌شود که حاکی از لزوم احداث ایستگاه جدید در مناطق تعیین شده می‌باشد. اما عملکرد SA و GA در تعیین اولویت احداث ایستگاه‌ها کمی متفاوت بوده و این تفاوت با افزایش تعداد ایستگاه‌های جدید بیشتر می‌شود.

موقعیت‌های تعیین شده برای احداث ایستگاه‌های جدید توسط دو الگوریتم، در نواحی یک و دو، بسیار به هم نزدیک بوده و در بیشتر موارد با یکدیگر مطابقت دارند. اما در ناحیه سه اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. در ناحیه سه که شبکه ایستگاه‌ها تراکم کم‌تری دارد، تفاوت‌های دو الگوریتم در تعیین اولویت احداث بیشتر است که ضعف روش را در مورد شبکه‌های کم تراکم نشان می‌دهد.

برای مقایسه نتایج SA و GA، مقدار حداقل و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات نقاط پتانسیل باقیمانده پس از اجرای الگوریتم با هر دو روش، محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که، GA در سطح هر سه ناحیه، تأثیر بیشتری در افزایش حداقل و متوسط انتقال اطلاعات نسبت به SA داشته است و با یک تعداد معین ایستگاه جدید، افزایش بیشتری در کمینه و متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات سطح ناحیه دیده می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به دلیل فراهم نمودن امکانات مالی انجام پژوهش، قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

۱. مهجوری‌مجد، ن. و کراچیان، ر. ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی سیستم‌های پایش کیفی رودخانه با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (رودخانه جاجرود)، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۲۸ اردیبهشت الی ۱ خرداد ۱۳۸۷، دانشگاه تهران.

2. Al-Zahrani, M. and Husain, T. 1998. An algorithm for designing a precipitation network in the south-western region of Saudi Arabia, Journal of Hydrology, Vol. 205: 205-216.

3. Caselton, W. F. and Husain, T. 1980. Hydrologic network: information transmission. J. Water Resources Planning and Management Division, ASCE, 106(WR2): 503-529.

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

5. Cheng, K. S., Lin, Y. C. and Liou, J. J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics, Hydrological Processes, 22(14): 2554-2564.

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

7. Holland, J. H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor.

8. Husain, T. 1989. Hydrologic uncertainty measure and network design, Water Resources Bulletin, 25(3): 527-534.

9. Karamouz, M., Hafez, B. and Kerachian, R. 2005. Water quality monitoring network for river systems using geostatistical methods, Proceedings of ASCE-EWRI World Water and Environmental Resources Congress, Alaska, USA.

10. Krstanovic, P. F. and Singh, V. P. 1988a. 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, 271pp.

11. Krstanovic, P. F. and Singh, V. P. 1988b.

Application of entropy theory to multivariate hydrologic analysis, Vol. 2. Technical Report WRR9, Water Resources Program, Dept. of Civil Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, 271-557.
12. Masoumi, F. and Kerachian, R. 2008. Assessment of the groundwater salinity monitoring network of the Tehran region: Application of the discrete entropy theory, Water Science and Technology, IWA, 58(4): 765-771.
13. Mogheir, Y. and Singh, V. P. 2002. Application of information theory to groundwater quality monitoring networks, Water Resources Management, 16: 37-49.
14. Mogheir, Y. 2003. Assessment and redesign of groundwater quality monitoring networks using the entropy theory-Gaza strip case study, PhD thesis, University of Coimbra, Coimbra, Portugal.
15. Ozkul, S., Harmancioglu, N. B. and Singh V. P. 2000. Entropy-based assessment of water quality monitoring networks. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE 5(1): 90-100.
16. Ravichandra Rao, I. K. 2003. Data Mining and Clustering Techniques. DRTC Workshop on Semantic Web, 8-10 December, DRTC, Bangalore.
17. World Meteorological Organization. 1994. Guide to hydrological practices: Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications, Fifth edition, WMO-No. 168.
18. U.S. patent. 2007. Matlab Tutorial, The MathWorks, Inc., www.mathworks.com.

مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 4, No. 11, Summer 2010
سال چهارم - شماره ۱۱ - تابستان ۱۳۸۹

Abstract

Rainfall Network Design Using Entropy Approach

A. Karimi Hosseini[1], O. Bozorg Haddad[2], A. Hoorfar[3] and K. Ebrahimi[4]

To Adequately design density and distribution of rain- gauges in rainfall networks of each region, is an effective step toward success of water projects, regional programming and proper use of information. In this research, the locations of new rain- gauges in rainfall network of Gav-khuni basin have been determined using transinformation entropy concept based on annual rainfall data of stations (1356-1385). Sequential and genetic algorithms have been used in order to seleet the proper rain- gauges sites. Two objectives of maximizing the minimum transinformation entropy and maximizing the mean of transinformation entropy have been defined for each algorithm. Then the performances of different models have been compared. The results imply on the better performance and relative supremacy of genetic algorithm, with maximizing the minimum entropy (maximum supremacy is +1.31, +1.34 and +0.12% in zone 1, 2 and 3, respectively) and maximizing the mean entropy (maximum supremacy is +0.35, +0.21 and +0.02% in zone 1, 2 and 3 respectively) objectives to sequential algorithm.

Keywords: Rain- gauge, Site Selection, Transinformation Entropy, Genetic Algorithm and Sequential Algorithm.

1- Master of Agrometeorology, Department of Irrigation and Reclamation Eng., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, a.karimihosseini@gmail.com
2- Assistant Professor, Irrigation and Reclamation Eng. Department, University of Tehran
3- Associate Professor, Irrigation and Reclamation Eng. Department, University of Tehran
4- Assistant Professor, Irrigation and Reclamation Eng. Department, University of Tehran