Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 296-308

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۰۸-۲۹۶

طراحی شبکه پایش ایستگاه‌های باران‌سنجی با استفاده از تئوری بی‌نظمی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه)

علی شهیدی[۱*]، عباس خاشعی سیوکی[۲]، یوسف رمضانی[۳]، محمد ناظری تهرودی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵

چکیده

طراحی سامانه‌های پایش کیفی و کمی منابع آب همواره به عنوان یکی از موضوعات پیچیده در زمینه منابع آب و محیط زیست مطرح بوده است. طراحی این سامانه‌ها برای دستیابی به اطلاعات پایه کمی و کیفی صورت می‌گیرد، در حالی که فرآیند طراحی خود نیازمند این اطلاعات پایه است. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب کشور می‌باشد. آنتروپی در لغت به معنای بی‌نظمی است. در این تحقیق از تئوری آنتروپی جهت پایش شبکه باران‌سنجی در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۴ استفاده شده است. هم‌چنین جهت بررسی روند تغییرات پارامترهای مورد بررسی از آزمون من – کندال اصلاح شده استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات مقادیر بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که تغییرات مقادیر بارش در این حوضه در طی دوره آماری مورد بررسی در مقیاس سالانه کاهشی بوده است. جهت بررسی و پایش شبکه باران‌سنجی با استفاده از تئوری بی‌نظمی از روش رگرسیون بردار پشتیبان جهت تخمین مقادیر بارش استفاده شد. نتایج بررسی مقادیر شاخص آنتروپی در سطح آبخوان نشان داد که تنها ۱/۴ درصد سطح حوضه مورد بررسی دچار کمبود شدید اطلاعات می‌باشد که احداث ایستگاه جدید در این منطقه را طلب می‌کند. اما از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد سطح حوضه از نظر انتقال اطلاعات در شرایط مازاد و نسبتاً مازاد قرار دارد، لذا منطقه مورد مطالعه از پایش نسبتاً خوبی برخوردار می‌باشد. به طور کلی نتایج بیانگر بالا بودن دقت روش بهینه شده رگرسیون بردار پشتیبان در برآورد مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه دریاچه ارومیه بود. نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نشان داد که ایستگاه‌های ژارآباد، باداملو و اوربان رتبه‌های ۱ تا ۳ را دریافت کردند که نشان دهنده انتقال و دریافت اطلاعات بیشتر نسبت به سایر ایستگاه‌ها است.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی شانون، انتقال اطلاعات، بی نظمی، دریاچه ارومیه

مقدمه

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 باران‌سنجی بایستی به‌صورت دوره‌ای با توجه به نیاز و طرح‌های توسعه منابع آب پیش روی، مورد ارزیابی قرار گیرند. 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. بر این 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

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
۴- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: (Email: ashahidi@birjand.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نیمه اول قرن بیستم، به دلیل پیچیدگی مفهومی و محاسباتی این تئوری، محققان علاقه چندانی به کاربرد آن به‌عنوان یک روش آماری پیدا نکردند تا اینکه شانون (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. طراحی برنامه‌های پایش و فعالیت‌ها باید بر اساس اهداف مشخص و از پیش معین باشند. به‌طورمعمول این برنامه‌ها با تهیه یک طرح مطالعاتی همراه هستند که در آن اهداف برنامه پایش، محدوده مطالعاتی و مدل درک مفهومی ارائه می شود. یک برنامه پایش ممکن است یک یا چند هدف داشته باشد. مهم‌ترین اهداف پایش کمی ایستگاه‌های باران‌سنجی عبارت‌اند از: بررسی وضعیت بارش، بررسی کمیت مقادیر آب حاصل از بارش برای کاربردهای مختلف، به دست آوردن اطلاعاتی در خصوص تراکم ایستگاه‌های منطقه، بررسی روندهای کوتاه‌مدت یا بلندمدت کیفیت آب زیرزمینی و جلوگیری از احداث ایستگاه‌های باران‌سنجی در مناطق غیر ضروری

با توجه به اهمیت اطلاعات و اطلاع‌رسانی، ارزیابی شبکه‌های پایش طراحی شبکه بهینه همواره در کانون توجهات بوده است. ارزیابی شبکه موجود به‌منظور طراحی شبکه بهینه ضروری به نظر می‌رسد و باید ابتدا شرایط اولیه بررسی شود؛ یعنی ابتدا لزوم شبکه بهینه بررسی‌شده و سپس شبکه بهینه ارائه گردد. تحقیقات جینز[1] (۱۹۵۷) و شانون[2] (۱۹۴۸) فضای تازه‌ای برای تحقیقات درزمینه‌ی استفاده از تئوری آنتروپی در حوزه وسیعی از علوم و فنّاوری ایجاد کرد. این حوزه شامل علوم ارتباطات، اقتصاد، ترمودینامیک، روانشناسی، هیدرولوژی، مهندسی عمران و مکانیک، آمار، تئوری تصمیم‌گیری و علوم اجتماعی هست.

اوزکل[3] و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از تئوری آنتروپی پیوسته روشی برای ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی رودخانه ارائه دادند. درواقع آن‌ها کار هارمانچی اغلو و الپاسالن (۱۹۹۲) را برای بهتر تعریف کردن مناطقی با عدم قطعیت‌های اطلاعاتی زیاد در طول رودخانه توسعه دادند. این مدل تنها برای کاهش چاه‌های اضافی یا کاهش تواتر نمونه‌برداری در یک سامانه پایش موجود یا اولیه مناسب است. کاواچی[4] (۲۰۰۱) از تئوری آنتروپی برای کمی کردن عدم قطعیت شبکه پایش بارندگی سراسر ژاپن استفاده کرده و نقشه‌های هم‌آنتروپی ژاپن را تهیه و آن را با نقشه هم باران مقایسه کردند که آن‌ها را قادر به ارزیابی نسبی و دسته‌بندی پتانسیل موجودی منابع آب ژاپن کرد. تمامی مطالعاتی که به آن‌ها اشاره شد با استفاده از تئوری آنتروپی انجام‌شده است و همان‌طور که در ادامه تشریح می‌گردد در آنتروپی پیوسته فرض بر این است که توزیع اطلاعات از توزیع احتمالاتی نرمال پیروی نمی‌کند که این فرض همیشه قابل کاربرد نیست. این به آن معنا است که برای داده‌های کیفی در یک بازه زمانی کوتاه ۱۰ ساله نمی‌توان از این روش استفاده نمود. 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. مارکوس[6] و همکاران (۲۰۰۳) از دو روش تئوری آنتروپی و GLS[7] به‌منظور ارزیابی ارزش منطقه‌ای چاه‌های پایش رودخانه‌ای در ایالت ایلی نویز آمریکا استفاده نمودند و نتایج هر دو روش را باهم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که در هر دو روش، رتبه‌های متفاوتی برای هر چاه تولید می‌شود و ضریب همبستگی میان رتبه‌های دو روش نشان داد که رتبه‌های روش GLS، نسبت برعکس با رتبه‌های شاخص‌های آنتروپی دارد. درنهایت مدل هیبریدی ترکیبی از هر دو روش را به‌عنوان تلاشی برای غلبه بر تفاوت‌های میان دو روش پیشنهاد کردند. نونس[8] و همکاران (۲۰۰۴) با کاهش افزونگی اطلاعاتی در برخی از چاه‌ها به این نتیجه رسیدند که می‌توان چاه‌هایی که دارای افزونگی اطلاعاتی زیادی نسبت به چاه‌های مجاور می‌باشند را به‌عنوان نماینده در شبکه نگاه داشت و تعداد چاه‌ها را تا رسیدن به یک شبکه بهینه کاهش داد. موغیر و همکاران (۲۰۰۶) چرخه پایش را در نوار غزه با استفاده از تئوری آنتروپی نشان دادند. آن‌ها فلوچارتی را برای ارزیابی رابطه بین اهداف، عملکردها، داده‌ها و فعالیت‌های پایشی با استفاده از تئوری پیشنهاد دادند. سرلک[9] (۲۰۰۵) از اطلاعات انتقالی برای انتخاب بهترین چاه پایش از یک سری مناطق با پتانسیل در طول یک رودخانه استفاده کردند. برای هر چاه جدید با پتانسیل پایش، سری زمانی داده‌های کیفیت آب با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کیفی تولید شد. به این ترتیب ضمن به‌کارگیری آنتروپی پیوسته در ارزیابی سامانه‌های پایش رودخانه‌ها، با تلفیق روش آنتروپی و یک مدل شبیه‌سازی کیفی، موقعیت چاه‌های جدیدی نیز برای بهبود عملکرد سامانه‌های پایش پیشنهاد گردید. سرلک و همکاران (۲۰۰۶) به ارزیابی و انتخاب چاه‌های شبکه هیدرومتری با استفاده از تئوری آنتروپی پرداختند. ایشان اثر انواع توزیع‌های نرمال، لوگ نرمال و گاما بر نتایج رتبه‌بندی چاه‌ها را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که نوع توزیع در نظر گرفته‌شده برای داده‌های آبدهی

1 - Jaynes
2 - Shannon
3 - Ozkul
4 - Kawachi

5 - Mogheir & Singh
6 - Markus
7 -Generalized Least Square
8 - Nunes
9 - ŞARLAK

www.SID.ir

Archive of SID

در تئوری آنتروپی پیوسته اهمیت داشته و موجب مقادیر متفاوتی در رتبه‌بندی چاه می‌شود. چن[1] و همکاران (۲۰۰۸) روش کریجینگ را برای درون‌یابی داده‌های بارش ماهیانه سیزده ایستگاه باران‌سنجی ثبت‌کننده ۸۷ ماه بارش منطقه شیمن تایوان را در شبکه‌ای به ابعاد ۷/۵×۷/۵ کیلومتر استفاده کردند. تعداد شبکه‌های حاصل در منطقه هفده مورد بود که در مرکز هر شبکه یک چاه قرار داده شد که مبنای بررسی‌های بعدی قرار گرفت. با توجه به آمار بارش آن‌ها از آنتروپی انتقال اطلاعات بین چاه‌ها برای اولویت‌بندی چاه‌های بارش جدید استفاده کردند. درنهایت، با توجه به ۹۵ درصد آنتروپی انتقال اطلاعات بین چاه‌ها، تعداد شش چاه برای منطقه مکان‌یابی شد. چاداوالادا[2] و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از عدم حتمیت (آنتروپی) و با استفاده از روش‌های ذکرشده، شبکه موردمطالعه را بهینه نمود. ژو[3] و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی در چین پرداختند. در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

معصومی و کراچیان (۱۳۸۵) با استفاده از تئوری آنتروپی به بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که کارایی الگوریتم پیشنهادی در ارزیابی و بهنگام‌سازی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی بسیار مناسب می‌باشد. میرعباسی و همکاران (۱۳۸۹)، شبکه کیفی آب زیرزمینی دشت اهر را از نظر میزان پارامتر EC با استفاده از تئوری آنتروپی مورد ارزیابی قرار دادند. به این منظور ساختار زمانی متغیر هدایت الکتریکی توسط شاخص انتقال اطلاعات به‌صورت تابعی از فاصله بین چاه‌ها توصیف گردید. فانی و همکاران (۱۳۹۲) ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبریز کارون بزرگ واقع در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تئوری آنتروپی قابلیت خوبی برای کمی کردن ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی یک شبکه باران سنجی دارد.

انتخاب محل مناسب جهت احداث ایستگاه باران‌سنجی و ارزیابی آن یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در زمینه اندازه‌گیری بارش‌ها در هر حوضه‌ای می‌باشد. کمبود آن مشکل‌ساز بوده و تعدد بیش از حد آن نیز در حوضه مشکلات اقتصادی زیادی را در بر خواهد داشت. هزینه-های تعمیر و نگهداری ادوات ثبت باران چه ثبات و چه غیر ثبات زیاد می‌باشد. از این رو تعداد بهینه این ایستگاه‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. برنامه‌های پایش منابع آب می‌توانند کمیت مناسب منابع آب برای کاربری‌های مختلف را تضمین کنند. امکان تعیین محل دقیق ایستگاه‌های مازاد و یا ایستگاه‌های کمبود توسط تئوری آنتروپی وجود ندارد ولی تلفیق تئوری آنتروپی گسسته و حاشیه‌ای می‌توانند تا حدودی این امکان را ایجاد کند که در مطالعات صورت گرفته این موضوع مدنظر قرار نگرفته است. در واقع رتبه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر انتقال اطلاعات می‌تواند در تصمیم‌گیری بهینه‌سازی پایش منابع آب باران از طریق کاهش و یا افزایش ایستگاه‌ها چاره‌ساز باشد. بر این اساس اهداف تحقیق حاضر به‌صورت الف) پایش شبکه باران‌سنجی جهت بررسی تعداد ایستگاه‌های مازاد و مورد نیاز در حوضه دریاچه ارومیه و رتبه‌بندی ایستگاه‌های موجود و ب) بررسی دقت مدل رگرسیون بردار پشتیبان جهت تخمین مقادیر بارش سالانه مورد نیاز در روش آنتروپی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه که کانون تجمع جریان‌های سطحی مازاد بر مصرف کلیه رودخانه‌های حوضه بسته ارومیه می‌باشد، با وسعت تقریبی ۵۱۸۰۰ کیلومتر مربع در میانه ناحیه شمالی حوضه قرار دارد. در اطراف دریاچه ارومیه تعداد ۱۶ تالاب با وسعت‌های ۵ تا ۱۲۰ هکتار (که بعضی خشک شده‌اند) وجود دارد که اکثراً دارای آب شیرین و یا شور و شیرین بوده و از ارزش اکوسیستمی بالایی برخوردار هستند. حوضه آبریز دریاچه ارومیه بین مختصات °۱۴ ′۴۴ تا °۵۳ ′۴۷ طول شرقی و °۴۰ ′۳۵ تا °۳۰ ′۳۸ عرض شمالی واقع شده است. تغییرات بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۲۲۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر و متوسط بارش ۲۶۳ میلی‌متر می‌باشد. موقعیت دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه به شرح شکل ۱ و مشخصات آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده به شرح جدول ۱ ارائه شده است.

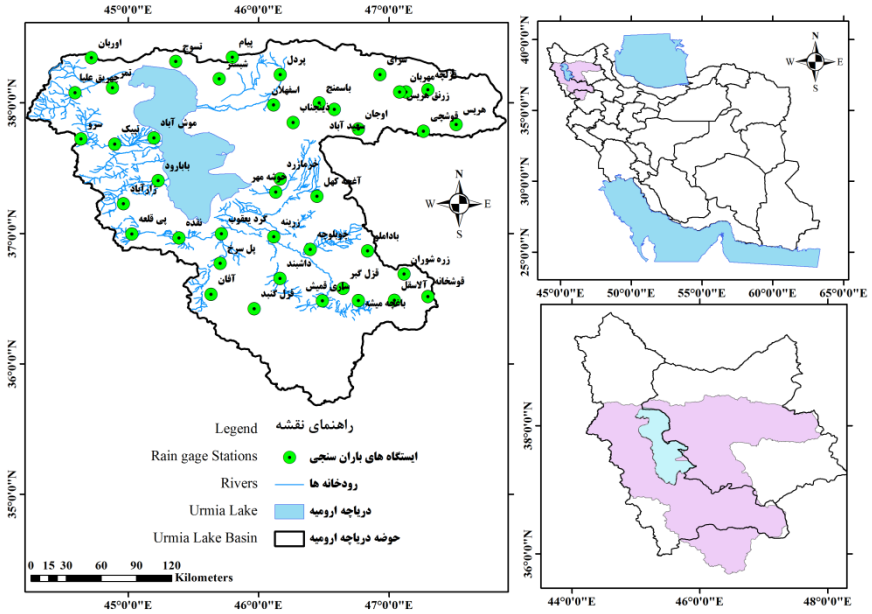
بررسی روند

در این مطالعه روند تغییرات سری‌های زمانی مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون به‌طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کلیماتولوژی و متئورولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌ها دارای خودهمبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف گردد تا بتوان از آزمون من - کندال استفاده نمود (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۶). به این منظور در مطالعه حاضر به‌جای آزمون من-کندال مرسوم (MK1) از ویرایش دیگر آن شامل آزمون من-کندال با حذف کامل ساختار خودهمبستگی (MK3) استفاده شد

1 - Chen
2 - Chadalavada
3 - Zhu

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- ارتفاعات حوضه دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۸٤

جدول ۱- مشخصات آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده واقع در حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۸٤

ایستگاه	بارش سالانه (mm/y)	طول جغرافیایی (m)	عرض جغرافیایی (m)	ارتفاع (m)	ایستگاه	بارش سالانه (mm/y)	طول جغرافیایی (m)	عرض جغرافیایی (m)	ارتفاع (m)
باداملو	۶۳۸/۴	۶۶۳۸۲۰	۴۰۸۱۳۶۵	۲۱۱۹	آغچه کهل	۴۲۴/۰	۶۲۸۵۳۹	۴۱۲۷۲۹۰	۱۷۱۰
باغچه میشه	۳۴۸/۳	۶۵۸۲۵۴	۴۰۳۹۰۱۸	۱۸۹۸	باشسیزاوجان	۳۵۲/۶	۶۵۵۵۳۵	۴۱۸۵۰۹۵	۱۸۵۰
چهریق	۳۶۶/۳	۴۶۴۳۶۳	۴۲۱۴۵۴۹	۱۶۱۱	باسمنج	۱۷۲/۰	۶۲۸۷۷۳	۴۲۰۶۸۳۰	۱۷۰۰
چوبلوچه	۳۰۶/۳	۶۲۴۵۴۹	۴۰۸۲۰۹۵	۱۳۶۱	قزلچه سادات	۳۳۹/۵	۷۰۱۶۷۲	۴۲۱۹۴۰۹	۱۸۴۴
داشبند	۳۹۷/۳	۶۰۴۲۲۹	۴۰۵۶۹۸۶	۱۳۱۸	قوشچی سراب	۷۶۸/۳	۶۹۹۶۰۴	۴۱۸۴۱۹۶	۱۹۸۰
گردیقوب	۲۶۸/۷	۵۶۳۷۸۸	۴۰۹۴۵۹۷	۱۲۸۰	هریس سراب	۴۶۳/۷	۷۲۱۴۷۴	۴۱۹۰۳۰۸	۱۶۹۰
قزل	۴۰۲/۵	۵۸۷۷۵۵	۴۰۳۱۱۰۶	۱۳۷۴	خوشه مهر	۳۰۹/۰	۶۰۰۴۲۲	۴۱۳۰۶۰۴	۱۳۲۰
قزل گبر	۳۲۲/۶	۶۴۷۵۸۰	۴۰۴۹۳۵۱	۱۶۵۷	خرمازرد	۳۹۸/۳	۶۰۳۲۳۸	۴۱۴۱۷۳۵	۱۵۵۶
قوشخانه	۳۷۹/۸	۷۰۵۹۶۰	۴۰۴۳۵۰۱	۲۲۶۰	مهربان	۳۲۷/۲	۶۸۷۰۹۹	۵۲۱۷۲۱۰	۱۶۰۸
موش آباد	۲۴۸/۴	۵۱۷۴۳۶	۴۱۷۵۹۹۲	۱۲۸۱	پردل	۲۳۸/۱	۶۰۲۱۳۰	۴۲۳۰۴۹۸	۱۴۱۵
نقده	۳۲۳/۲	۵۳۴۷۹۵	۴۰۹۰۹۹۵	۱۳۰۶	پیام	۴۵۷/۷	۵۶۹۹۰۳	۴۲۴۴۹۵۲	۱۷۹۰
پی‌قلعه	۴۸۶/۱	۵۰۲۶۶۳	۴۰۹۴۲۸۷	۱۳۰۶	سعیدآباد	۳۸۱/۳	۶۳۹۱۱۱	۴۲۰۱۴۵۰	۱۹۵۰
پل سرخ	۳۵/۰	۵۶۳۱۲۶	۴۰۶۹۴۸۰	۱۳۵۰	سرای	۲۸۷/۶	۶۶۹۲۴۸	۴۲۳۱۶۲۲	۱۵۴۵
ساری قمیش	۳۲۲/۵	۶۳۳۵۱۸	۴۰۳۸۴۳۵	۱۳۹۱	اسفهلان	۲۷۲/۶	۵۹۸۰۶۴	۴۲۰۴۵۵۴	۱۴۰۰
سرو	۳۶۰/۸	۴۶۸۲۳۱	۴۱۷۵۱۷۱	۱۶۲۸	شبستر	۲۹۷/۴	۵۶۱۳۰۵	۴۲۲۶۳۸۸	۱۴۰۰
تمر	۲۱۲/۶	۴۸۹۶۱۳	۴۲۱۸۵۶۳	۱۳۸۷	زرنق هریس	۳۷۲/۵	۶۸۲۷۱۴	۴۲۱۷۱۱۱	۱۳۹۰
تپیک	۳۶۸/۶	۴۹۰۹۸۸	۴۱۷۰۷۱۷	۱۳۹۸	تسوج	۲۹۷/۷	۵۳۲۰۵۳	۴۲۴۱۰۱۴	۱۶۰۰
اوربان	۳۱۰/۰	۴۷۵۴۴۵	۴۲۴۴۱۷۲	۱۸۴۰	زینجناب	۳۳۲/۹	۶۱۱۴۳۸	۴۱۸۹۹۲۸	۲۱۱۰
زرینه	۴۲۲/۵	۵۹۹۵۹۲	۴۰۹۲۴۱۳	۱۳۹۰	آفان	۵۷۸/۸	۵۵۷۰۵۲	۴۰۴۳۱۴۸	۱۶۲۰
زره شوران	۴۲۷/۶	۶۸۹۱۱۲	۴۰۶۲۲۳۴	۲۱۰۰	آلاسقل	۳۹۲/۷	۶۸۳۰۴۱	۴۰۳۹۸۷۷	۱۷۰۰
ژار آباد	۵۴۲/۳	۴۹۶۷۶۸	۴۱۱۹۹۰۴	۱۵۶۹	بابارود	۳۴۲/۸	۵۲۰۴۹۰	۴۱۳۹۵۸۱	۱۲۸۲

www.SID.ir

Archive of SID

. در ادامه روش‌های آزمون من-کندال شرح داده می‌شود (من[1]، ۱۹۴۵، تیل[2]، ۱۹۵۰، سن[3]، ۱۹۶۸، کندال[4]، ۱۹۷۵، حامد و رائو[5]، ۱۹۹۸ و کومار[6] و همکاران، ۲۰۰۹).

تئوری آنتروپی

از آنتروپی به‌عنوان یک مفهوم علمی در ابتدا در سال ۱۸۵۰ میلادی توسط کلاسیوس در ترمودینامیک استفاده شد. بعدازآن در سال ۱۹۸۸، بولتزمن یک تفسیر احتمالی در چارچوب مکانیک آماری ارائه داد. رابطه آشکار میان آنتروپی و احتمال در اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی توسط پلانک توسعه داده شد (هارمانچی اغلو و همکاران، ۱۹۹۹). آنتروپی در اصل به معنای بی‌نظمی است. شاخص‌های آنتروپی در دو حالت پیوسته و گسسته بررسی می‌شود.

آنتروپی پیوسته

فرض کنید یک متغیر تصادفی پیوسته با تابع توزیع چگالی احتمال f(x) موجود باشد، در این صورت احتمال اینکه x در i امین زیر بخش (بازه) قرار داشته باشد، عبارت است از:

$$P(x_i) = P(x_i - \frac{\Delta x}{2} \le x_i \le x_i + \frac{\Delta x}{2}) = \int_{x_i - \frac{\Delta x}{2}}^{x_i + \frac{\Delta x}{2}} f(x)dx \quad (۱)$$

اگر p(x) در معادله $H(x) = -k\sum_{i=1}^{\infty} p(x_i)\ln p(x_i)$ که توسط شانون در سال ۱۹۴۸ به‌عنوان تعریف آنتروپی مرزی ارائه شد، قرار گیرد:

$$H(x) = -\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\ln f(x)dx \quad (۲)$$

بنابراین H بیان‌کننده مقدار عدم قطعیتی است که درنتیجه عدم آگاهی کامل از یک سیستم به وجود می‌آید. این عدم قطعیت بیان‌کننده میزان هرج‌ومرج یا کمبود اطلاعات در خصوص یک سیستم است.

آنتروپی مشترک: آنتروپی مشترک دو متغیر x و y به‌صورت H(x, y) بیان می‌شود و صورت پیوسته آن اگر x و y غیر وابسته باشند برابر است:

$$H(x,y) = H(x) + H(y) \quad (۳)$$

که H(x) و H(y) آنتروپی مرزی x و y می‌باشند و اگر وابسته باشند:

$$H(x,y) = -\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)\ln f(x,y)dxdy \quad (۴)$$

که تابع f(x, y) چگالی احتمال مشترک x و y هست. آنتروپی شرطی: آنتروپی شرطی x به‌شرط y بیان‌کننده عدم قطعیت باقیمانده در x به‌شرط معلوم بودن y است:

$$H(x|y) = -\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x|y)\ln f(x|y)dxdy \quad (۵)$$

که در آن f(x | y) تابع توزیع چگالی احتمالی x به‌شرط y هست. آنتروپی انتقال اطلاعات: نوعی دیگر از آنتروپی است که برابر با تفاضل مجموع آنتروپی‌های حاشیه‌ای و آنتروپی مشترک است. آنتروپی انتقال اطلاعات بین دو متغیر x و y به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T(x,y) = H(x) + H(y) - H(x,y) \quad (۶)$$

$$T(x,y) = T(y,x) = -\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)\ln\left(\frac{f(x,y)}{f(x)f(y)}\right)dxdy \quad (۷)$$

T(x, y) را همچنین می‌توان به‌صورت محتوای اطلاعات مشترک x و y تعریف نمود (موغیر و سینگ، ۲۰۰۲). با توجه به رابطه نزدیک بین توزیع نرمال و لوگ نرمال، ضرایب آنتروپی را می‌توان با یک تغییر و تحول به دست آورد (حسین، ۱۹۸۷).

آنتروپی گسسته

طبق تعریف ارائه‌شده شانون از آنتروپی، برای دو متغیر گسسته x و y که x_i, i=1,2,3, …, n و y_i, j=1,2,3, …, m، در همان فضای احتمال باشند. هرکدام دارای یک احتمال گسسته وقوع $p(x_i)$، $p(x_i, y_j)$ احتمال وقوع مشترک x_i، y_j و $p(x_i | y_j)$ احتمال رخ دادن x_i به‌شرط y_j می‌باشند. تعریف شاخص‌های آنتروپی گسسته مشابه آنتروپی پیوسته است. تنها تفاوت در شکل معادلات است که در حالت گسسته به‌صورت رابطه ۸ می‌باشند.

$$E(I(x)) = H(x) = -\sum_{i=1}^{\infty} p(x_i)\ln p(x_i) \quad (۸)$$

که در آن E(I(x)) نشانگر امید ریاضی داده‌هاست. درواقع، طبق تعریف، از متوسط داده‌ها (میانگین I(x)) به‌عنوان یک اندازه‌گیری از

1 - Mann
2 - Theil
3 - Sen
4 - Kendall
5 - Hamed & Rao
6 - Kumar

www.SID.ir

Archive of SID

عدم قطعیت استفاده‌شده است. علاوه بر این در برخی کتاب‌ها از H(x) به‌عنوان معیاری برای سنجش عدم قطعیت داده‌ها نام‌برده‌اند. البته ازآنجایی‌که عدم قطعیت بیانگر اطلاعات بالقوه است می‌تواند درست باشد؛ بنابراین، برای یک متغیر تصادفی x، آنتروپی حاشیه‌ای، H(x)، می‌تواند به‌عنوان اطلاعاتی بالقوه متغیر تعریف شود. آنتروپی مشترک: نشان‌دهنده‌ی داده‌هایی است که هم در x هم و در y وجود دارند.

$$H(x,y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j)\ln p(x_i, y_j) \qquad (۹)$$

آنتروپی شرطی: برای دو متغیر تصادفی x و y که دو متغیر تصادفی باشند، آنتروپی شرطی نشان‌دهنده‌ی داده‌هایی از x است که در y موجود نیست (موغیر و سینگ، ۲۰۰۳).

$$H(x|y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i|y_j)\ln p(x_i|y_j) \qquad (۱۰)$$

آنتروپی انتقال اطلاعات: به‌عنوان کاهش در عدم قطعیت در x با توجه به آگاهی از متغیر تصادفی y تفسیر شده است. همچنین می‌توان به‌عنوان اطلاعاتی از x تعریف شود که در y موجود هستند (لوبی[1]، ۱۹۹۶).

$$T(x,y) = -\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} p(x_i, y_j)\ln\left(\frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)}\right) \qquad (۱۱)$$

که در روابط بالا p(x) احتمال روی دادن x، p(x, y) احتمال روی دادن مشترک x و y و p(x | y) احتمال رخ دادن x به‌شرط y می‌باشند. توجه داشته باشید که T(x,y)=T(y,x) (ژوزف[2]، ۱۹۹۵) و می‌توان به روش‌های زیر نیز محاسبه شود:

$$T(x,y) = H(x) - H(x|y) \qquad (۱۲)$$

$$T(x,y) = H(x) + H(y) - H(x,y) \qquad (۱۳)$$

$$T(y,x) = H(y) - H(y|x) \qquad (۱۴)$$

$$T(y,x) = H(y) + H(x) - H(y,x) \qquad (۱۵)$$

انتقال اطلاعات همچنین می‌تواند با استفاده از یک شاخص انتقال اطلاعات نرمال که با ITI[3] نشان داده می‌شود، بیان گردد؛ که میزان اطلاعات استانداردی که از یک مکان به مکان دیگری منتقل می‌شود را نشان می‌دهد. در نهایت شاخص N(i) با نام اطلاعات خالص تبادلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N(i) = S(i) - R(i) \qquad (۱۶)$$

که در آن S(i) اطلاعات ارسالی از هر ایستگاه و R(i) اطلاعات دریافتی از هر ایستگاه می‌باشد. شاخص N(i) از این نظر حائز اهمیت است که ارزش هر ایستگاه با این شاخص سنجیده می‌شود. شاخص N(i) بیان‌کننده اطلاعات کل خالص هر ایستگاه بوده و هر ایستگاهی که کمترین میزان N(i) را داراست کمترین رتبه و اهمیت را در شبکه پایش به خود اختصاص می‌دهد (مارکوس[4] و همکاران، ۲۰۰۳). درنهایت بر اساس حدود ذکرشده در جدول ۲ برای شاخص ITI(i) در دشت نقده پهنه‌بندی انجام‌شده است.

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

درجه اهمیت منطقه	شاخص ITI(i)
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

در این مطالعه جهت برآورد مقادیر تخمینی مورد بررسی از روش رگرسیون بردار پشتیبان استفاده شد. هم‌چنین جهت بهینه کردن پارامترهای مدل رگرسیون بردار پشتیبان از روش بهینه‌سازی الگوریتم مورچگان استفاده شده است که جهت اطلاعات بیشتر به دوریگو[5]، ۱۹۹۲، واپنیک، ۱۹۹۸، استاتزل و هووس[6]، ۲۰۰۰ و سوشا[7] و دوریگو، ۲۰۰۸ مراجعه کرد. هم‌چنین جهت بررسی میزان خطا و کارایی مدل رگرسیون بردار پشتیبان به ترتیب از دو آماره جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و نش – ساتکلیف (Nash) استفاده شد (نش و ساتکلیف[8]، ۱۹۷۰).

نتایج و بحث

همان‌طور که ذکر شد، در این مطالعه جهت پایش کمی آب بارش حوضه دریاچه ارومیه از داده‌های سالانه مقادیر بارش اندازه‌گیری شده از ۴۲ ایستگاه باران‌سنجی موجود در محدوده حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۴ استفاده شد. در این مطالعه روند تغییرات داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من- کندال اصلاح شده محاسبه شد. مقادیر آماره Z بارش-های حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس زمانی سالانه محاسبه و نتایج به شرح شکل ۲ ارائه گردید. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که روند غالب در سری‌های ماهانه و سالانه این حوضه کاهشی است. آماره Z آزمون من – کندال بیانگر افزایش یا کاهش معنی‌دار و

1 - Lubbe
2 - Jessop
3 - Information Transfer Index

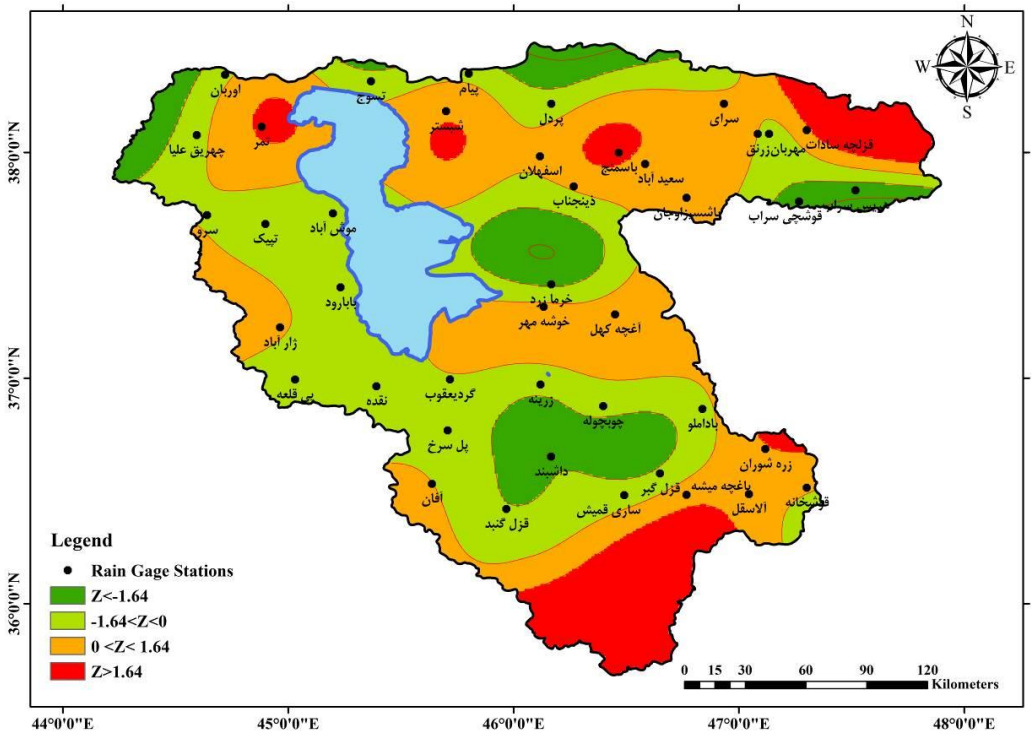
4 - Markus
5 - Dorigo
6 - Stützle and Hoos
7 - Socha
8 - Nash and Sutcliffe

www.SID.ir

Archive of SID

غیرمعنی‌دار پارامتر مورد بررسی می‌باشد که در سطح اعتماد نود درصد، دامنه تغییرات آن بین ۱/۶۴+ تا ۱/۶۴- می‌باشد. اعداد منفی نشان دهنده روند کاهشی و اعداد مثبت نشان دهنده روند افزایشی می‌باشد.

نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی و شرقی دریاچه ارومیه روندی کاهشی را شامل می‌شود. ایستگاه‌های شمال شرق و جنوبی حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی و شدید در بارش‌های سالانه مواجه هستند. سایر ایستگاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی روبرو هستند. بطور کلی نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی حوضه دریاچه با روندی کاهشی و ایستگاه‌های شرقی حوضه با روندی افزایشی روبرو هستند.



شکل ۲- نتایج آزمون من – کندال اصلاح شده در بررسی روند سالانه بارش

نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی و شرقی دریاچه ارومیه روندی کاهشی را شامل می‌شود. ایستگاه‌های شمال شرق و جنوبی حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی و شدید در بارش‌های سالانه مواجه هستند. سایر ایستاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی روبرو هستند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی حوضه دریاچه با روندی کاهشی و ایستگاه‌های شرقی حوضه با روندی افزایشی روبرو هستند که برخی معنی‌دار و برخی غیرمعنی‌دار می‌باشد. در این بین روند تغییرات مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های باسمنج، شبستر، تمر و مناطق جنوبی حوضه دریاچه ارومیه در طی دوره آماری مورد بررسی روندی کاهشی و معنی‌دار را تجربه کرده‌اند (مناطق قرمز رنگ). ایستگاه‌هایی همچون هریس سراب، قوشچی سراب و مناطقی در قسمت شرق دریاچه ارومیه با روندی افزایشی و معنی‌دار در مقادیر بارش سالانه مواجه بوده‌اند.

نتایج تخمین مقادیر اولیه با استفاده از مدل SVR

بعد از آماده‌سازی داده‌های مورد بررسی، مقادیر بارش سالانه هر ایستگاه با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان مقادیر ایستگاه-های دیگر تخمین زده شد. در این مرحله اقدام به تولید داده‌های جدید برای هر ایستگاه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های مجاور پرداخته شد. به‌عبارت‌دیگر بجای استفاده مستقیم از داده‌های یک ایستگاه، پیش‌بینی داده‌های ایستگاه مورد نظر انجام شد. مدل‌سازی مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق با استفاده از مقادیر بارش سالانه دیگر ایستگاه‌ها و روش رگرسیون بردار پشتیبان مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که در به کار گیری روش رگرسیون بردار پشتیبان، از الگوریتم جامع مورچگان جهت بهینه‌سازی پارامترهای مدل استفاده شد. در اجرای روش الگوریتم جامع مورچگان از ۱۰۰ تکرار در هر دوره استفاده شده و در نهایت مقادیر c، ε و δ مربوط به روش رگرسیون بردار پشتیبان به

www.SID.ir

Archive of SID

نحو مناسبی بهینه شدند. مقادیر بهینه پارامترهای مدل رگرسیون بردار پشتیبان در مدل‌سازی مقادیر بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه در یک ایستگاه به عنوان نمونه (آفان) به شرح جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۳- مقادیر بهینه مدل رگرسیون بردار پشتیبان در مدل‌سازی مقادیر بارش سالانه ایستگاه آفان

ایستگاه	مقادیر c	مقادیر ε	مقادیر سیگما
آفان	۶۰۳/۸۲	۱/۰۰	۲۰/۹۳

با استفاده از مقادیر بهینه پارامترهای مدل رگرسیون چند متغیره بردار پشتیبان و مقادیر بارش سایر ایستگاه‌های مورد بررسی، مدل‌سازی مقادیر بارش سالانه صورت پذیرفت. دقت مدل‌سازی و تخمین داده‌ها نیز با استفاده از آماره جذر میانگین مربعات خطا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی میزان دقت روش رگرسیون بردار پشتیبان نشان داد که بر اساس آماره خطا، کارایی مدل در تخمین مقادیر بارش سالانه مربوط به هر ایستگاه قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی دقت و میزان خطای تخمین مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه با ورودی‌های ذکر شده به صورت جدول ۴ ارائه گردید.

جدول ٤- نتایج بررسی میزان دقت و خطای روش رگرسیون بردار پشتیبان در تخمین داده‌های مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه

ایستگاه	r	RMSE	Nash	ایستگاه	r	RMSE	Nash
S1	۰/۹۹۹	۷/۵۸۴	۰/۹۹۷	S22	۱/۰۰۰	۲/۶۳۰	۰/۹۹۹
S2	۰/۹۹۸	۶/۸۱۱	۰/۹۹۷	S23	۰/۹۹۹	۳/۶۲۷	۰/۹۹۹
S3	۰/۹۹۵	۸/۱۰۸	۰/۹۹۱	S24	۱/۰۰۰	۴/۰۰۹	۱/۰۰۰
S4	۰/۹۹۹	۵/۷۲۸	۰/۹۹۸	S25	۰/۹۹۸	۳/۶۰۲	۰/۹۹۷
S5	۰/۹۹۸	۶/۰۹۶	۰/۹۹۶	S26	۰/۹۹۹	۳/۶۱۴	۰/۹۹۹
S6	۰/۹۹۸	۶/۰۲۶	۰/۹۹	S27	۰/۹۹۹	۳/۵۳۰	۰/۹۹۹
S7	۰/۹۹۸	۷/۵۲۹	۰/۹۹۵	S28	۱/۰۰۰	۰/۶۶۱	۱/۰۰۰
S8	۰/۹۹۹	۵/۴۰۷	۰/۹۹۹	S29	۱/۰۰۰	۷/۹۶۴	۰/۹۹۹
S9	۰/۹۹۹	۳/۹۷۳	۰/۹۹۹	S30	۱/۰۰۰	۶/۱۰۰	۰/۹۹۹
S10	۰/۹۹۹	۵/۳۰۹	۰/۹۹۸	S31	۰/۹۹۷	۷/۹۱۰	۰/۹۹۵
S11	۰/۹۹۸	۵/۰۷۰	۰/۹۹۷	S32	۰/۹۹۷	۶/۹۶۷	۰/۹۹۳
S12	۰/۹۹۹	۵/۸۶۶	۰/۹۹۷	S33	۰/۹۹۶	۷/۸۵۵	۰/۹۹۲
S13	۰/۹۹۹	۵/۱۷۱	۰/۹۹۸	S34	۰/۹۹۷	۷/۶۴۷	۰/۹۹۵
S14	۰/۹۹۸	۴/۶۵۸	۰/۹۹۶	S35	۰/۹۹۹	۶/۹۸۲	۰/۹۹۸
S15	۱/۰۰۰	۴/۲۶۰	۰/۹۹۹	S36	۰/۹۹۷	۶/۹۹۹	۰/۹۹۳
S16	۰/۹۹۹	۴/۰۲۳	۰/۹۹۸	S37	۰/۹۹۸	۶/۷۱۳	۰/۹۹۶
S17	۰/۹۹۸	۷/۱۴۰	۰/۹۹۷	S38	۱/۰۰۰	۰/۶۴۹	۱/۰۰۰
S18	۰/۹۹۸	۵/۲۸۳	۰/۹۹۶	S39	۱/۰۰۰	۰/۷۲۰	۱/۰۰۰
S19	۱/۰۰۰	۰/۷۵۲	۱/۰۰۰	S40	۱/۰۰۰	۰/۷۹۴	۱/۰۰۰
S20	۱/۰۰۰	۳/۵۶۷	۰/۹۹۹	S41	۱/۰۰۰	۰/۶۳۰	۱/۰۰۰
S21	۰/۹۹۹	۳/۳۵۴	۰/۹۹۹	S42	۱/۰۰۰	۰/۵۳۰	۱/۰۰۰

با توجه به جدول ۴ می‌توان مشاهده کرد که دقت محاسبات روش رگرسیون چند متغیره در برآورد مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی قابل قبول بوده و این روش به‌خوبی توانسته است که این مقادیر را شبیه‌سازی کند. در ای جدول نتایج حاصل از تخمین مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس سالانه با استفاده از سه معیار ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و نش – ساتکلیف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج بررسی هر سه معیار حاکی از دقت قابل قبول مدل SVR در شبیه‌سازی مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی نیز نشان داد که همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی بین ۱/۰۰ تا ۰/۹۸ می‌باشد. با توجه به آماره جذر میانگین خطا نیز مشخص گردید که بیشترین خطا مربوط به ایستگاه شماره ۱۰ با ۱۳/۲۳ میلی‌متر می‌باشد که با توجه مجموع مقادیر بارش سالانه در این ایستگاه حدود سه درصد خطا در تخمین داده‌ها وجود دارد. با توجه به شاخص نش – ساتکلیف نیز مشاهده می‌شود که مقادیر این شاخص همگی نزدیک به یک

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد که بیانگر کارایی بسیار خوب مدل SVR در شبیه‌سازی مقادیر بارش می‌باشد. در بیشتر ایستگاه‌های موجود کارایی صد درصد مدل SVR (Nash=1) مشاهده می‌شود.

نتایج بررسی و پایش شبکه باران‌سنجی

در نهایت داده‌های مورد بررسی در کلاس‌های مختلف تقسیم شد. جهت تقسیم‌بندی داده‌های موجود تقسیمات سه کلاسه، پنج کلاسه، نه کلاسه و دوازده کلاسه مورد بررسی قرار گرفت. دلیل انتخاب کلاس‌بندی‌های مختلف در واقع بررسی دقت پایش شبکه می‌باشد. با مشخص شدن تعداد کلاس‌های مورد بررسی ماتریس‌های مشاهداتی و ماتریس‌های احتمالات به‌دست آمد. با محاسبه ماتریس‌های فراوانی و احتمالاتی، مقادیر آنتروپی انتقال (T) برای تمامی کلاس‌های مورد بررسی، آماره T مدل با استفاده از روابط ارائه شده نیز برای تمامی کلاس‌ها محاسبه گردید. نتایج بررسی T مدل نشان داد که تقسیم‌بندی ۱۲ کلاسه از بین سایر کلاس‌ها دقت بیشتری در تخمین داده‌ها دارد. در این روش ابتدا آماره T برای داده‌های مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های موجود محاسبه و با استفاده از آن مقادیر انتقال اطلاعات هر ایستگاه (T) بر اساس فاصله بین آن‌ها تخمین زده شد. نتایج بررسی میزان خطای ناشی از کلاس‌های مورد بررسی به شرح جدول ۵ ارائه گردید.

جدول ۵- نتایج بررسی مقادیر انتقال اطلاعات کلاس‌بندی‌های مختلف

کلاس‌بندی	RMSE	R^2
سه کلاسه	۳/۰۹	۰/۳۲
پنج کلاسه	۳/۰۲	۰/۴۸
نه کلاسه	۵/۴۱	۰/۳۹
دوازده کلاسه	۲/۹۸	۰/۵۸

نتایج بررسی دقت کلاس‌بندی‌های مختلف در محاسبه مقادیر انتقال اطلاعات نشان داد که تقسیمات ۱۲ کلاسه کمترین میزان خطا و بیشترین همبستگی را در بین سایر کلاس‌ها دارد (جدول ۵). هم‌چنین نتایج تغییر کلاس‌بندی‌ها نشان داد که حساسیت مدل آنتروپی به تغییر کلاس‌ها زیاد می‌باشد که این موضوع با تحقیقات فانی و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. با انتخاب تعداد تقسیمات ۱۲ کلاسه و مقادیر تخمین زده شده توسط روش رگرسیون بردار پشتیبان، مقادیر شاخص آنتروپی تعیین و نتایج مربوط به پایش کمی شبکه باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه برآورد گردید. نتایج بررسی وضعیت شبکه پایش ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه دریاچه ارومیه به شرح شکل ۳ ارائه گردید. همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است، نتایج پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات (ITI) در سطح منطقه مورد مطالعه نشان داد که در قسمت‌هایی از شرق حوضه و در نزدیکی ایستگاه‌های قزلچه سادات و هریس شرایط متوسط بوده و حتی کمبود ایستگاه نیز احساس می‌شود. این موضوع بیانگر انتقال اطلاعات ضعیف یا فقدان ایستگاه بوده و نشان می‌دهد که ارتباط ایستگاه‌ها در این نواحی ضعیف می‌باشد اما کمبود ایستگاه در این منطقه شدید نبوده و نیاز شدیدی به احداث ایستگاه جدید احساس نمی‌شود. در بیشتر نواحی منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های مازاد دیده می‌شود. به عبارتی با پراکندگی موجود در بین ایستگاه‌های مورد بررسی به‌خوبی می‌توان اطلاعات کافی در مورد بارش در این حوضه کسب کرد. مساحت تحت پوشش هر یک از تقسیمات شاخص ITI به شرح جدول ۶ ارائه گردید. با توجه به شکل ۳ و جدول ۶ می‌توان مشاهده کرد که بیش از ۸۰ درصد منطقه مورد مطالعه پایش خوبی بر منابع آب باران از نظر پراکندگی ایستگاه‌ها دارد. در کمتر از ۱/۵ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه کمبود تعداد ایستگاه احساس می‌شود که بخش عمده آن در قسمت شمال شرقی حوضه قرار دارد.

جدول ٦- مناطق تحت پوشش تقسیمات شاخص ITI در سطح حوضه

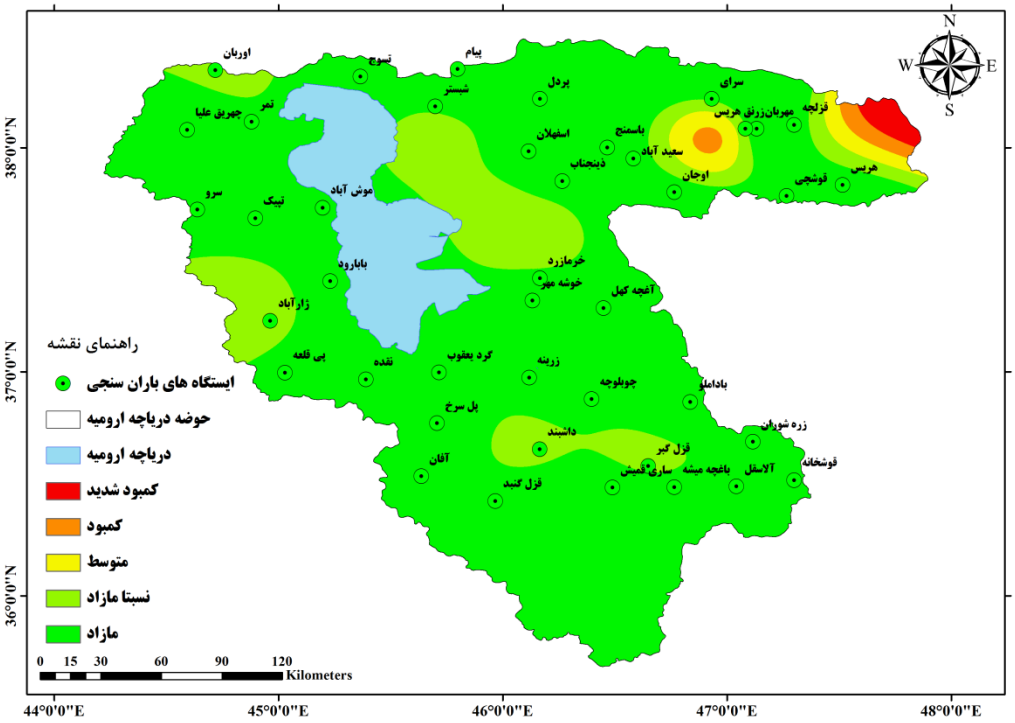
مساحت (Km^2)	درصد (٪)	درجه اهمیت منطقه
۳۰۹	۰/۶	کمبود شدید
۴۱۷	۰/۸	کمبود
۹۰۴	۱/۷۴	متوسط
۷۲۷۱	۱۴	نسبتاً مازاد
۴۲۸۹۹	۸۲/۸۶	مازاد
۵۱۸۰۰	۱۰۰	مجموع

همان‌طور که از جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد، بیشتر نواحی منطقه مورد مطالعه (۹۶ درصد) را مناطق با ایستگاه‌های نسبتاً مازاد و مازاد فرا گرفته است. ۰/۸ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را نواحی با کمبود ایستگاه و ۰/۶ درصد مساحت منطقه را کمبود شدید ایستگاه نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که حدود ۱/۵ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه با کمبود ایستگاه مواجه بوده و سایر مناطق از نظر پایش شبکه آب باران مشکلی ندارند. با استفاده از تقسیم‌بندی ۱۲ کلاسه تعداد ایستگاه‌های مازاد در سطح منطقه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که با توجه به فاصله موجود بین ایستگاه‌ها، تعداد ایستگاه مازاد در حوضه آبریز دریاچه ارومیه حدود ۱۷ ایستگاه می‌باشد. به دلیل پراکندگی نامنظم ایستگاه‌ها در سطح حوضه و هم‌چنین به دلیل یافتن محل‌هایی با کاهش یا افزایش اطلاعات از شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه کمک گرفته شد. در صورتی که هدف از پایش بهینه کردن و بهبود شبکه باران‌سنجی باشد، می‌توان بر اساس نتایج موجود گمانه‌های جدید ایجاد کرد و یا گمانه‌هایی که

www.SID.ir

Archive of SID

انتقال اطلاعات کمتری دارند را از سیستم حذف کرد. هم‌چنین نتایج این تحقیق همانند تحقیق فانی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که تئوری آنتروپی قابلیت خوبی برای کمی کردن ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک شبکه باران‌سنجی دارد.



شکل ۳- نتایج پهنه‌بندی مقادیر شاخص آنتروپی در کلاس ۱۲ طبقه‌ای جهت پایش شبکه کیفی آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی تئوری آنتروپی در رتبه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای شبکه باران‌سنجی حوضه دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس مقادیر شاخص‌های متفاوت آنتروپی برای تقسیمات ۱۲ کلاسه ارائه شد. در تئوری آنتروپی گسسته جهت تأثیر غیرمستقیم داده‌های سایر ایستگاه‌ها بر یکدیگر از روش‌هایی برای تخمین چندمتغیره استفاده می‌شود که در این مطالعه از رگرسیون بردار پشتیبان استفاده شد. در ابتدا دقت مدل یاد شده (رگرسیون بردار پشتیبان) در تخمین مقادیر بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از اطلاعات سایر ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا جهت بهینه‌یابی پارامترهای مدل رگرسیون بردار پشتیبان از الگوریتم مورچگان استفاده شد. بعد از بهینه‌یابی پارامترهای مدل رگرسیون بردار پشتیبان، مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مقادیر بارش تمامی ایستگاه‌ها تخمین زده شد. نتایج همبستگی و میزان خطای بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی نشان داد که روش رگرسیون بردار پشتیبان بهینه شده به‌خوبی رابطه بین ایستگاه‌ها را برقرار نموده است. جهت انتخاب کلاس‌های تقسیم‌بندی داده‌ها از معیارهای بررسی خطا و همبستگی استفاده شد. در این روش ابتدا مقادیر و ضرایب آنتروپی در کلاس‌های مختلف طبقه محاسبه و در نهایت دقت محاسبات در تخمین مقادیر انتقال اطلاعات مورد ارزیابی واقع شد. در نهایت نتایج نشان داد که طبقه‌بندی ۱۲ کلاسه با توجه به معیار خطا و معیار کارایی به‌عنوان بهترین طبقه‌بندی انتخاب گردید. نتایج بررسی تئوری آنتروپی در پایش شبکه باران‌سنجی نشان داد که بیشتر نواحی منطقه مورد مطالعه را نواحی مازاد از نظر تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در بر گرفته است. هدف از مطالعات پایش شبکه آب زیرزمینی یا باران‌سنجی، بهبود تراکم شبکه می‌باشد که این موضوع با افزایش یا کاهش تعداد ایستگاه همراه باشد لذا توصیه می‌شود جهت کاهش یا افزایش تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه مورد مطالعه از آماره رتبه‌بندی ایستگاه‌ها استفاده شده و رتبه ایستگاه‌ها از نظر انتقال اطلاعات در نظر گرفته شود. نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نشان داد که ایستگاه‌های شماره ۲۴، ۸ و ۱۹ رتبه‌های ۱ تا ۳ را دریافت کردند که نشان دهنده انتقال و دریافت اطلاعات بیشتر نسبت به سایر ایستگاه‌ها است. به عبارت دیگر این ایستگاه‌ها ارزش حفظ بیشتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر دارند و داده‌های این ایستگاه‌ها را می‌توان با اطمینان کامل استفاده کرد. این ایستگاه‌ها در نقاط مختلف حوضه

www.SID.ir

Archive of SID

قرار دارند. از طرف دیگر ایستگاه‌های شماره ۱۵، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۳ در بین سایر ایستگاه‌ها کمترین ارزش و اعتبار را کسب کرده‌اند. این ایستگاه‌ها دورترین فاصله را نسبت حوضه داشته و در منطقه بحرانی از نظر ITI قرار دارد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ابلاغ ۱۳۹۷/د/۸۷۴ مورخ ۱۳۹۷/۰۱/۲۶ با استفاده از اعتبارات دانشگاه بیرجند انجام شده لذا نویسندگان مقاله از دانشگاه بیرجند به دلیل حمایت از این مقاله کمال تشکر را دارند.

منابع

اکبرزاده، م.، قهرمان، ب. ۱۳۹۲. استفاده هم‌زمان از آنتروپی و کریجینگ فضایی- زمانی برای تعیین شبکه بهینه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مشهد، نشریه آب و خاک. جلد ۲۷. شماره ۳. صفحات ۶۲۹-۶۱۳.

فانی، مرتضی.، خلیفه، س.، خلیفه، ا.، افلاطونی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸(۴): ۱۳-۱.

فرجی، ح.، محمودی میمند، ه.، نظیف، س.، عباسپور، ر. ۱۳۹۳. توسعه بهینه شبکه باران‌سنجی با استفاده از کریجینگ و آنتروپی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرخه). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۶(۴): ۴۶۲-۴۴۵.

قهرمانی، ع.، شقاقیان، م. ۱۳۹۴. طراحی شبکه باران با استفاده از مفهوم آنتروپی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرخه). دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه تبریز.

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

مهجوری‌مجد، ن.، کراچیان، ر. ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی سیستم‌های پایش کیفی رودخانه با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (رودخانه جاجرود). دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیطزیست، دانشگاه تهران، تهران.

میرعباسی، ر.، دین‌پژوه، ی. ۱۳۸۷. ارزیابی شبکه پایش کیفیت دشت اهر براساس تئوری آنتروپی، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری.

Chadalavada,S., Datta,B., Naidu, R. 2011. Uncertainty based optimal monitoring network design for a chlorinated hydrocarbon contaminated site. Environmental monitoring and assessment. 173.1-4: 929-940.

Chen,Y.C., Wei,C., Yeh,H.C. 2008. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes. 22. 3: 340.

Dorigo,M., Maniezzo,V., Colorni,A. 1991. The ant system: An autocatalytic optimizing process.

Hamed,K.H., Rao,A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology. 204.1-4: 182-196.

Harmancioglu,N.B., Alpaslan,N. 1992. Water quality monitoring network design: A problem of multiobjective decision making . JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 28.1: 179-192.

Jaynes,E.T. 1957. Information theory and statistical mechanics. Physical review. 106.4: 620– 630.

Kawachi,T., Maruyama,T., Singh,V.P. 2001. Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. Journal of Hydrology. 246.1: 36-44.

Kendall,M.G. 1975. Rank Correlation Measures. Charles Griffin. London.

Khalili,K., Tahoudi,M.N., Mirabbasi,R., Ahmadi, F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 30.4: 1205-1221.

Kumar,S., Merwade,V., Kam,J., Thurner,K. 2009. Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology. 374.1: 171-183.

Lubbe,C. 1996. Information Theory ,Cambridge: Cambridge University Press.

Mann,H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society. 245-259.

Markus,M., Knapp,H.V., Tasker,G.D. 2003. Entropy and generalized least square methods in assessment of the regional value of streamgages. Journal of hydrology. 283.1: 107-121.

www.SID.ir

Archive of SID

Sen,P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association. 63.324: 1379-1389.

Shannon,C.E. 1948. A mathematical theory of communication, bell System technical Journal 27: 379-423 and 623–656. Mathematical Reviews (MathSciNet): MR10, 133e.

Socha,K., Dorigo,M. 2008. Ant colony optimization for continuous domains. European journal of operational research. 185.3: 1155-1173.

Stützle,T., Hoos,H.H. 2000. MAX–MIN ant system. Future generation computer systems. 16.8: 889-914.

Theil,H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, 3; confidence regions for the parameters of polynomial regression equations. Stichting Mathematisch Centrum. Statistische Afdeling, (SP 5a/50/R). 1-16.

Vapnik,V. 1998. Statistical learning theory. 1998. Wiley, New York.

Zhu,Q., Shen,L., Liu,P., Zhao,Y., Yang,Y., Huang,D. Yang,J. 2015. Evolution of the Water Resources System Based on Synergetic and Entropy Theory. Polish Journal of Environmental Studies. 24.6: 2727-2738.

Mishra,A.K., Coulibaly,P. 2010. Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. Journal of Hydrology. 380.3: 420-437.

Mogheir,Y., Singh,V.P. 2002. Application of information theory to groundwater quality monitoring networks. Water Resources Management. 16.1: 37-49.

Mogheir,Y., Singh,V.P. 2003. Specification of information needs for groundwater management planning in developing country. Groundwater Hydrology. Balema Publisher, Tokyo. 2: 3-20.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. Journal of hydrology, 10(3): 282-290.

Nunes,L.M., Cunha,M.C., Ribeiro,L. 2004. Groundwater monitoring network optimization with redundancy reduction. Journal of Water Resources Planning and Management. 130.1: 33-43.

Ozkul,S., Harmancioglu,N.B., Singh,V.P. 2000. Entropy-based assessment of water quality monitoring networks. Journal of hydrologic engineering. 5.1: 90-100.

ŞARLAK,N. 2005. Evaluation and modeling of sreamflow data: Entropy method, Autoregressive models with asymmetric innovation and artificial neural networks (Doctoral dissertation, Middle East Technical University).

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 296-308

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۰۸-۲۹۶

Designing Monitoring Network for Rain Gauge Stations Using Irregularity Theory (Case Study: Urmia Lake Basin)

A. Shahidi[1*], A. KhasheiSiuki [2], Y. Ramazani[3], M. Nazeri-Tahrudi[4]
Recived: Augu.20, 2018 Accepted: Nov.06, 2018

Abstract

Designing of water quantity and quality monitoring system has been raised as one of the most complex issues in the field of water resources and the environment. Designing of these systems used to achieve qualitative and quantitative information, while their design process requires basic information. The study area in this research is Urmia Lake basin that located in the North West of Iran. Entropy literally means disorder. In this study used entropy theory to rain gaging monitoring in period of 1984-2011. Also The modified Mann - Kendal test was used to study the trend of the studied parameters The results of the study of the trend of precipitation values of Urmia Lake basin at annual scale showed that rainfall changes in this basin have been decreasing in the annual scale. In order to study and monitoring the rain gauge network using Entropy theory, two methods of support vector regression and kriging were used to estimate precipitation values. Results indicated that the accuracy of the regression model was higher than the Kriging model. The results of the evaluation of the entropy index at the aquifer showed that only 1.4% of the studied basin had a severe shortage of information that required the construction of a new station in the area. However, since more than 90 percent of the basin area is in terms of data transmission in excess and relatively excessive condition, the study area is relatively good at its monitoring. In general, the results indicated that the accuracy of the optimized method of support vector regression was used to estimate the annual rainfall in the Urmia Lake basin. The results of the stations' ranking in the study area showed that the stations of Jharabad, Badamlou and Orban received ratings ranging from 1 to 3, which indicates the transfer and reception of more information than other stations.

Keywords: Irregularities, Shannon Entropy, Transfoinformation, Urmia Lake

1- Associate Professor, Sciences and Water Engineering Department, Faculty of Agricultural, Birjand University. Iran
2- Associate Professor, Sciences and Water Engineering Department, Faculty of Agricultural, Birjand University. Iran
3 - Assistant Professor, Sciences and Water Engineering Department, Faculty of Agricultural, Birjand University. Iran
4- Ph.D. Student of water Resources Management, Sciences and Water Engineering Department, Birjand University
(*- Corresponding Author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)

www.SID.ir