



علوم محیطی

علوم محیطی سال هشتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۰
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.3, Spring 2011

۱۱۶-۱۰۹

بررسی کارایی روش رگرسیون فازی در بازسازی داده‌های گمشده سالیانه بارش در حوزه آبریز کارون

سیدجواد ساداتی‌نژاد^{۱*}، روح‌الله حسن‌شاهی^۲، محمد شایان‌نژاد^۳، خدایار عبدالمهی^۴

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- عضو هیأت علمی گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۵

Evaluation of Fuzzy Regression Efficiency for Reconstructing Missing Annual Precipitation Data in Karoon Basin

Seyyed Javad Sadatinejad,^{1*} Rohallah Hassanshahi,²
Mohammad Shayannejad³ and Khodayar Abdolahi⁴
1- Assistant professor, Department of Range and Watershed
Management, Faculty of Natural Resources, Shahrekord
University
2- M.Sc. in Watershed Management Engineering
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering,
Faculty of Agriculture, Shahrokrd University
4- Academic Member, Department of Range and Watershed
Management, Faculty of Natural Resources, Shahrekord
University

Abstract

Continuous and disperse blanks in most hydrological data (e.g. rainfall data) often occur due to data loss, elimination of incorrect data and the malfunctioning of measuring instruments; these then need to be estimated and/or evaluated for subsequent analysis. There are various methods available for estimating and regenerating these data, the accuracy of which depends very much on the specific conditions of the station, so that one specific method may suit a particular station. Generally, data from four adjacent stations are used for regenerating the missing data at a particular station. In this research, fuzzy regression efficiency is employed for reconstructing yearly rainfall data in Karoon basin. The results are compared with methods such as normal ratio, graphical, simple linear regression and multivariate linear regression. Reconstruction groups were formed using the clustering method in minitab software. Twenty-five stations, similar in their duration of data collection, were selected from among stations in the northern Karoon basin and these were classified into 5 clusters. Following data elimination by cross validation, their value was estimated using the above mentioned methods. Then, using the root mean square of errors (RMSE), the priority was evaluated for each method. The results of yearly data regeneration indicate that fuzzy regression yielded more accurate estimates in 12 out of the 25 stations studied, or in 3 clusters out of the 5 classified group, making it the most appropriate method for regenerating data for the whole of Karoon basin.

Keywords: Karoon basin, Rainfall reconstruction, Fuzzy regression, Clustering.

چکیده

خلأهای گسسته و پیوسته در اغلب داده‌های هیدرولوژی مانند داده‌های بارش به دلایلی نظیر عدم ثبت آمار، حذف آمار غلط و خرابی یا از بین رفتن دستگاه‌های اندازه‌گیری اتفاق می‌افتد و تخمین و برآورد این داده‌ها لازم و ضروری می‌باشد. بدین منظور روش‌های متعددی برای تخمین داده‌ها وجود دارد که بسته به شرایط هر ایستگاه ممکن است یک روش خاص بهترین نتیجه را در پی داشته باشد معمولاً برای برآورد داده‌های گمشده در یک ایستگاه از ایستگاه‌های مجاور آن که دارای همبستگی بیشتری هستند استفاده می‌شود. در این تحقیق کارایی استفاده از روش رگرسیون فازی در بازسازی داده‌های سالیانه ایستگاه‌های باران سنجی در حوزه آبریز کارون مورد ارزیابی قرار گرفت و با روش‌های نسبت نرمال، محورهای مختصات، رگرسیون ساده و رگرسیون چندگانه مقایسه گردید. گروه‌های بازسازی بوسیله روش خوشه‌بندی تعیین شده و ۲۵ ایستگاه که دارای طول آماره مشترک بودند در ۵ گروه بازسازی قرار گرفتند. سپس با استفاده از روش حذف اعتباری، مقادیر آن‌ها از طریق روش‌های مذکور برآورد گردید و با استفاده از آماره ریشه مجذور میانگین مربعات خطا اولویت هر یک از این روش‌ها شناسایی شد. نتایج بازسازی داده‌های سالیانه نشان دهنده برتری روش رگرسیون فازی در ۱۲ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه مورد مطالعه و در سه گروه از ۵ گروه بازسازی می‌باشد و در نهایت در کل حوزه، به عنوان اولویت اول در بازسازی داده‌های سالیانه شناخته شد.

کلید واژه‌ها: حوزه آبریز کارون، بازسازی بارش، رگرسیون فازی، خوشه‌بندی.

مقدمه

نواقص آماری همیشه در امور تحقیقی و مطالعاتی مشکل ساز بوده‌اند. در مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی هر منطقه وجود اطلاعات بارش از پارامترهای اساسی است که زیربنای مطالعات را تشکیل می‌دهد. اما برخی از مواقع این اطلاعات ناقص می‌باشد و استفاده از آن مشکل بوده و باعث بروز خطا در نتایج می‌گردد. تمام مطالعات هیدرولوژیکی براساس آمار مورد قبول پایه گذاری شده است و در صورتی که این اطلاعات ناقص باشد نمی‌توان آنالیز آماری صحیحی انجام داد (Naghdi, 2006). اگر در یک منطقه تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی کم باشد این موضوع واضح تر خواهد بود. بنابراین لازم است این نواقص آماری برطرف گردد.

ضرورت داشتن اطلاعات و آمار صحیح و قابل قبول در بررسی‌های علمی و مطالعات مهندسی پروژه‌های آبی، طرح‌های توسعه کشاورزی، آبخیزداری و نظایر آن اولین گام می‌باشد. این در حالی است که در کشور ما آمارهای موجود به دلایل گوناگون که ناشی از عدم دیدبانی یا مشکوک بودن ارقام است، دارای خلاء گسترده‌ای می‌باشد. قبل از بکارگیری این آمار در مطالعات می‌بایست نقایص آن‌ها را برطرف و داده‌های گمشده را بازسازی کرد. لذا دستیابی به یک روش صحیح بازسازی آمار گمشده ضروری به نظر می‌رسد.

دسترسی به داده‌های کافی و دقیق از یک طرف موجب کوتاهتر شدن مدت مطالعات و از طرف دیگر موجب برآورد دقیق‌تر پارامترهای هدف و کاهش هزینه‌های اجرایی و خسارات بعدی ناشی از اجرای طرح‌ها می‌گردد (Lookzadeh, 2005).

جهت بازسازی داده‌های بارش روش‌های متعددی وجود دارد که در این نوع تحقیق روش رگرسیون فازی را با روش‌های کلاسیک بازسازی در ایستگاه‌های

باران‌سنجی حوزه آبخیز کارون شمالی مورد مقایسه قرار گرفته است.

در این زمینه تحقیقات چندانی در ایران و جهان صورت نگرفته که در زیر به نمونه‌هایی از این تحقیقات اشاره شده است:

ساداتی نژاد (۱۳۷۶) در مقایسه آماری روش‌های مختلف بازسازی داده‌های بارش سالانه در استان اصفهان به منظور تعیین بهترین روش در هر اقلیم استان مذکور هفت روش بازسازی شامل ایستگاه معرف، نسبت نرمال، محور مختصاتی، رگرسیون خطی ساده، رگرسیون خطی چند متغیره و اتورگرسیون را مورد بررسی قرار داد که در این مقایسه روش نسبت نرمال را برای اقلیم‌های خشک و مدیترانه‌ای و روش رگرسیون خطی چند متغیره را برای اقلیم نیمه خشک به عنوان روش‌های برتر معرفی نمود.

لوک‌زاده (۱۳۸۳) مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف بازسازی خلاهای آماری بارندگی در مقاطع مختلف زمانی در منطقه البرز مرکزی با روش‌های رگرسیون خطی (یک، دو و سه متغیره مستقل) نسبت نرمال، عکس مجذور فاصله و روش‌های زمین آماری انجام داد. بدین منظور ۱۸ ایستگاه که دارای یک دوره ۲۷ ساله آماری کامل بدون خلا بود انتخاب گردید، با حذف ۲۰ درصد از آمار هر ایستگاه بطور مساوی بین سال‌های خشک، نرمال و تر (ایجاد خلا مصنوعی) در مقاطع زمانی سالانه، فصلی و ماهانه خلاهای آماری ایجاد شده بازسازی گردید. نتایج بازسازی با معیار $RMSE^1$ روش نسبت نرمال را با ۶۹/۲ درصد، با ضریب همبستگی در ۵۳/۳ درصد از موارد به عنوان مناسب‌ترین روش نشان داد هم‌چنین بررسی نتایج با آزمون t . student در سطح ۱ درصد نشان داد که برآورد در سال‌های منحصراً خشک فراتر از مقادیر حقیقی و برای سال‌های منحصراً تر کمتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد.

برای اولین بار به این مساله پرداختند. بدنبال آن بطور گسترده ای توسط محققین از جمله چنگ و همکاران (۲۰۰۱) و سانچز و همکاران (۲۰۰۳) تحقیقات در این زمینه ادامه یافت.

مواد و روش‌ها

مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی مورد استفاده

در این تحقیق از ایستگاه‌های واقع در حوزه کارون شمالی استفاده شد. اطلاعات این ایستگاه‌ها از وزارت نیرو گرفته شد و یک پایه زمانی مشترک ۱۵ ساله انتخاب گردید و ۲۵ ایستگاه با دوره آماری مشترک بدست آمد که بوسیله روش خوشه‌بندی با استفاده از نرم افزار Minitab به پنج گروه بازسازی به شرح جدول شماره ۱ تقسیم شده است:

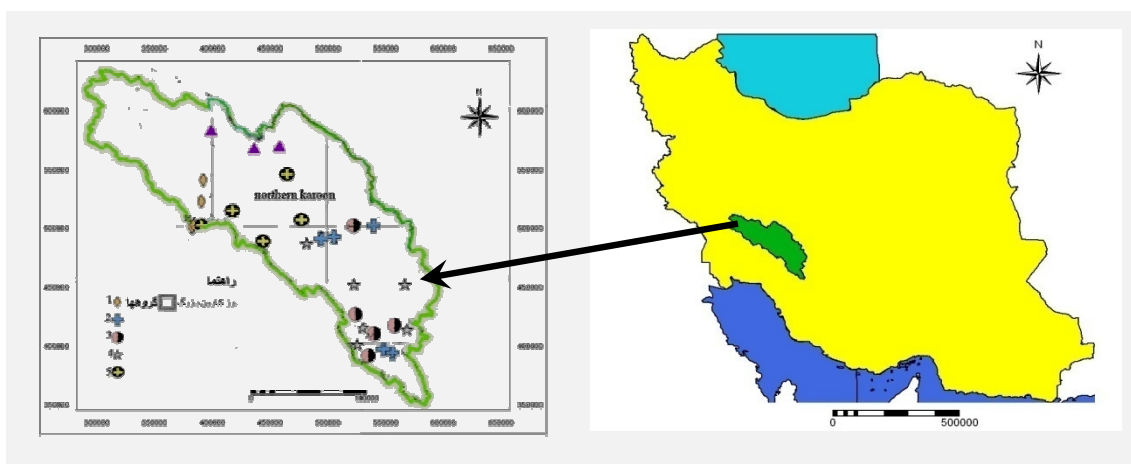
نقدی (۱۳۸۴) بازسازی داده‌های دبی را در حوزه آبریز کارون بزرگ به روش شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با دیگر روش‌ها انجام داد و برای گروه‌های بازسازی مختلف این روش‌ها را اولویت‌بندی نمود و مشخص کرد که روش رگرسیون ساده بهترین روش بازسازی داده‌های دبی در کل حوزه کارون بزرگ می‌باشد.

اب و همکاران (۲۰۰۰) برای بازسازی بارندگی‌های مفقوده روش استفاده از منطق فازی را با شبکه‌های عصبی مصنوعی و نسبت نرمال در سه ایستگاه باران سنجی واقع در شمال ایتالیا مورد مقایسه قرار دادند نتایج نشان داد که منطق فازی نسبت به دو روش دیگر خطای کمتری ایجاد می‌کند.

محققین زیادی روش‌های مختلفی را برای حل مسائل رگرسیون فازی ارائه نموده‌اند. تاناکا و همکاران (۱۹۸۲)

جدول ۱- گروه‌های بازسازی داده‌های سالیانه بارش در حوزه آبریز کارون شمالی

| گروه | ایستگاه‌ها |
|------|--|
| ۱ | سوسن- ایزده- ده بختیاری- چشمه شیرین |
| ۲ | آلونی- زرین درخت- یاسوج- تنگ زردآلو- شاه مختار |
| ۳ | سی سخت- پل کاریک- پتاوه - سپیدار- سولگان |
| ۴ | شهید- لردجان- باتاری- حنا- کتا- پیراشگفت |
| ۵ | بهشت آباد- پل شالو- بارز- آرمند- قلعه تل |



شکل ۱- نقشه موقعیت حوزه کارون شمالی در ایران و گروه‌های بازسازی بر روی نقشه

روش رگرسیون فازی

در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌گردد، در حالی که رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. توزیع این مقادیر بصورت تابع عضویت مشخص می‌شود.

بطور کلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل وجود دارد: ۱- مدل‌های رگرسیون امکانی فازی^۲ - ۲- مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات^۳ - ۳- مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای^۴.

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین بار توسط (Tanaka et al., 1982) ارائه گردید. این مدل‌ها بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن بدست می‌دهند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرائب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدل‌های رگرسیون فازی امکانی مدلی است که در آن ضرائب فازی است و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی است. در این تحقیق از این مدل استفاده شده است. این مدل با معادله ۱ بیان می‌شود.

۱-

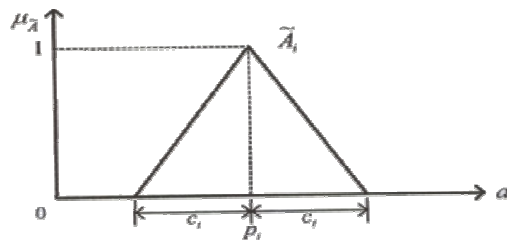
$$\tilde{y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 + \tilde{A}_3 x_3 + \dots + \tilde{A}_n x_n$$

ضرائب معادله فوق یعنی $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$

اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ و اعداد معمولی هستند برای هر n متغیر یک عدد فازی مانند \tilde{y} به عنوان خروجی محاسبه‌ای بدست می‌آید.

فرض کنید مقدار m سطر داده مشاهده‌ای وجود دارد و در هر سطر n متغیر ورودی (x_{ij}) و یک متغیر خروجی می‌باشد. همچنین فرض کنید عدد فازی

بصورت مثلثی متقارن به شکل ۲ باشد (در این شکل C_i = پهنای عدد و P_i = مرکز عدد فازی). در آن صورت می‌توان تابع عضویت را بصورت معادله ۲ نوشت.



شکل ۲- تابع عضویت ضرائب فازی

$$\mu_{\tilde{A}_i}(a_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|p_i - a_i|}{c_i} & p_i - c_i \leq a_i \leq p_i + c_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad 2$$

عدد فازی \tilde{A} در شکل ۲ برای نشان دادن مقدار " تقریباً برابر p_i " می‌باشد و C_i نشانگر میزان فازی بودن آن است که این مفهوم را می‌توان به شکل $\tilde{A}_i = (p_i, c_i)$ نمایش داد بنابراین معادله رگرسیون فازی به صورت معادله ۳ می‌باشد.

۳-

$$\tilde{y} = (p_0, c_0) + (p_1, c_1)x_1 + (p_2, c_2)x_2 + \dots + (p_n, c_n)x_n$$

و تابع عضویت متغیر فازی خروجی یعنی \tilde{y} به

صورت معادله ۴ ارائه می‌شود.

۴-

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} \max (\min [\mu_{\tilde{A}_i}(a_i)]) & \{a|y = f(x, a) \neq \phi\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

۵-

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} 1 - \frac{y - p_0 - \sum_1^n p_i x_i}{c_0 + \sum_1^n c_i |x_i|} & x_i \neq 0 \\ 1 & x_i = 0, y = 0 \\ 0 & x_i = 0, y \neq 0 \end{cases}$$

جدول ۲- مدل برنامه‌ریزی خطی برای حل رگرسیون خطی با

مشاهدات غیر فازی

| | |
|---|---|
| معادله رگرسیون | |
| $\tilde{y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 + \dots + \tilde{A}_n x_n$ | |
| تابع هدف | |
| -۸ | $\text{Minimize: } mc + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_i x_{ij} $ |
| قیدها | |
| -۹ | $p_0 + \sum p_i x_{ij} - (1-h)[c_0 + \sum c_i x_{ij}] \leq y_j$ |
| | $p_0 + \sum p_i x_i + (1-h)[c_0 + \sum c_i x_{ij}] \geq y_j$ |

بنابراین برای حل یک مسئله رگرسیون خطی با ضرائب فازی و داده‌های غیر فازی، کافی است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس روابط جدول ۲ حل گردد. روابط ۸ و ۹ برای هر کدام از زوج داده‌های مشاهده‌ای بطور جداگانه‌ای نوشته می‌شود. بدین ترتیب بر اساس روابط مذکور تعداد 2m نامعادله تشکیل می‌شود. این کار توسط نرم‌افزار Hydrogenerator⁵ انجام می‌گردد.

نتایج

نتایج مقایسه داده‌های بازسازی شده و مشاهده‌ای

برای مقایسه نتایج بدست آمده از سنجه مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. این سنجه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{k=1}^N (X_k - Y_k)^2 / N} \quad - 10$$

X = مقادیر مشاهده‌ای

Y = مقادیر محاسبه شده

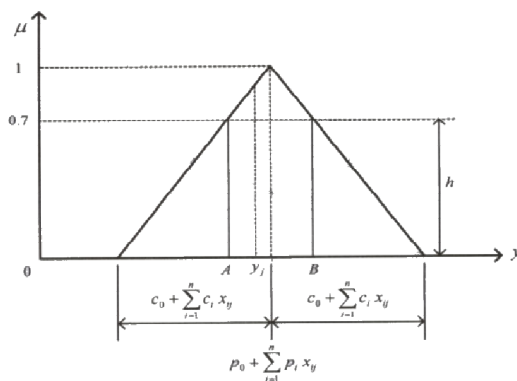
N = تعداد داده‌ها

برای حل مسئله رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد گردیده است که یکی از آنها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است. در این حالت که داده‌ها، غیر فازی هستند. هدف مدل رگرسیون، تعیین مقادیر بهینه \tilde{A} می‌باشد به گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معینی مانند h که توسط کاربر تعیین می‌شود بزرگتر باشد. به بیان دیگر برای m سطر داده، (j=1,2,3,4,...) باید نامساوی زیر صادق باشد:

$$\mu_{\tilde{y}_j}(y_j) \geq h \quad - 6$$

با افزایش مقدار h میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. رابطه ۶ بیان می‌کند که خروجی فازی باید بین دو مقدار A و B که در شکل ۳ مشخص شده‌اند قرار بگیرد. با توجه به رابطه ۵ مرکز و پهنای تابع عضویت خروجی به ترتیب برابر با $p_0 + \sum_1^n p_i x_i$ و $c_0 + \sum c_i x_i$ در نظر گرفته می‌شود.

در روش رگرسیون فازی امکانی ضرائب به گونه‌ای تعیین می‌شود که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه‌های داده‌ها حداقل گردد. بنابراین با توجه به مطالب مذکور تابع هدف و قیدهای مسئله برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به صورت جدول ۲ ارائه نمود.



شکل ۳- تابع عضویت خروجی فازی

جدول شماره ۳ مقدار این سنجه را در گروه‌های مختلف و برای روش‌های مختلف بازسازی نشان می‌دهد.

جدول ۳ - ارزیابی روش‌های بازسازی بارش سالیانه ایستگاه‌های باران سنجی گروه‌های مختلف با سنجه RMSE (میلی متر)

| روش‌های بازسازی | | | | | ایستگاه | گروه بازسازی |
|-----------------|------------------|--------------|----------------|------------|-------------|--------------|
| رگرسیون فازی | رگرسیون چند گانه | رگرسیون ساده | محورهای مختصات | نسبت نرمال | | |
| ۸۹/۳ | ۵۸/۸ | ۶۴/۷ | ۶۵/۸ | ۵۱/۹ | سوسن | گروه ۱ |
| ۱۷/۰۵ | ۱۵ | ۱۱/۱ | ۲۲/۸۶ | ۱۸/۳۴ | ایذه | |
| ۱۴/۶ | ۲۴/۲ | ۱۱/۴ | ۱۹/۸ | ۲۶/۳ | ده بختیاری | |
| ۱۴/۹ | ۱۷/۹ | ۸/۴ | ۱۹/۶ | ۲۱/۹ | چشمه شیرین | |
| ۹/۱ | ۱۲/۸۹ | ۲۱/۳ | ۲۰/۳ | ۴۲/۸۷ | آلونی | گروه ۲ |
| ۹/۷ | ۱۴/۳ | ۲۲/۴ | ۲۵/۴ | ۵۷/۵ | زرین درخت | |
| ۵/۷ | ۸ | ۲۰/۷ | ۲۱ | ۳۴/۱ | یاسوج | |
| ۸/۹۶ | ۱۵/۴ | ۳۵/۴ | ۶۵/۴ | ۱۴/۸ | تنگ زرد آلو | |
| ۶/۱ | ۷ | ۱۷ | ۱۷/۲۷ | ۲۳/۲ | شاه مختار | گروه ۳ |
| ۲۴ | ۳۱ | ۴۲/۵ | ۲۷ | ۵۲ | سی سخت | |
| ۶/۴ | ۷/۶ | ۸/۱ | ۶۸/۳ | ۴۳/۲ | پل کاریک | |
| ۸/۴ | ۸/۷ | ۳۰/۶ | ۲۷/۶ | ۲۲/۴ | پتاوه | |
| ۲۶/۴ | ۲۱ | ۲۰/۲ | ۱۷۵/۶ | ۴۲/۸ | سپیدار | |
| ۲۷/۹ | ۳۳/۹ | ۱۷/۲ | ۴۰/۳ | ۴۳/۴ | سولگان | گروه ۴ |
| ۲۰/۵ | ۲۱/۲ | ۱۱ | ۱۸/۶ | ۲۲/۴ | شهید | |
| ۱۴ | ۱۹/۵ | ۱۹/۶ | ۲۱/۸ | ۲/۷ | لردجان | |
| ۲۹/۹ | ۱۳/۳ | ۱۲/۷۵ | ۸۹/۶ | ۲۴/۰۵ | باتاری | |
| ۱۶/۷۷ | ۱۸/۱۹ | ۴/۹۸ | ۱۸/۴۴ | ۲۷ | کنا | |
| ۴/۶ | ۵/۵ | ۲۷/۸ | ۶۷/۷۶ | ۱۱ | حنا | گروه ۵ |
| ۲۹/۱ | ۴۲/۳ | ۱۴۹ | ۱۲۷/۹۷ | ۳۸/۸۷ | پیراشگفت | |
| ۱۸/۸۹ | ۲۲/۴۸ | ۶/۹۴ | ۲۳/۸ | ۱۹/۶۹ | بهشت آباد | |
| ۱۳/۹ | ۱۵/۵۷ | ۳۱/۸۴ | ۵۱/۸ | ۱۲/۳۲ | پل شالو | |
| ۱۱/۸۷ | ۱۴/۹ | ۲۶/۷ | ۱۲/۶۸ | ۱۳ | بارز | |
| ۱۵/۳ | ۱۷/۹ | ۸/۱ | ۲۴ | ۱۵/۵۷ | آرمند | گروه ۵ |
| ۱۶/۷۷ | ۲۱/۹۸ | ۸/۹۵ | ۵۰/۳ | ۱۶/۵۷ | قلعه تل | |

اولویت‌های روش‌های بازسازی در ایستگاه‌های باران سنجی واقع در گروه‌های مختلف

با استفاده از نتایج بدست آمده از محاسبه RMSE، می‌توان اولویت هر یک از روش‌های بازسازی را در ایستگاه‌های باران سنجی گروه‌های مختلف بازسازی مشخص نمود. بدین منظور هر روشی که دارای مقدار RMSE کمتری باشد به عنوان روش برتر جهت بازسازی هر ایستگاه معرفی می‌شود. بر اساس نتایج جدول شماره ۳ می‌توان بهترین روش بازسازی را در هر یک از ایستگاه‌ها

بدست آورد. برای بدست آوردن اولویت‌های بازسازی در هر گروه و سپس در کل حوزه، درصد فراوانی روش‌ها در هر اولویت برای کل گروه و در نهایت کل حوزه محاسبه شد. بدین ترتیب که درصد فراوانی هر روش در هر اولویت گرفته شد و در صورت مساوی بودن درصد فراوانی دو روش در یک اولویت حضور در اولویت بالاتر امتیاز محسوب گردید. در جدول ۴ اولویت‌های بازسازی داده‌های سالیانه برای هر گروه و در نهایت کل حوزه آبریز کارون شمالی آمده است.

جدول شماره ۴- اولویت‌های بازسازی داده‌های سالیانه بارش در گروه‌های بازسازی و در کل حوزه کارون شمالی

| اولویت اول | اولویت دوم | اولویت سوم | اولویت چهارم | اولویت پنجم | | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|---------------------------|
| رگرسیون ساده | فازی | رگرسیون چندگانه | محور مختصات | نسبت نرمال | روش بازسازی | گروه ۱ |
| ۷۵ | ۷۵ | ۷۵ | ۷۵ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |
| فازی | رگرسیون چندگانه | رگرسیون ساده | محور مختصات | نسبت نرمال | روش بازسازی | گروه ۲ |
| ۱۰۰ | ۸۰ | ۶۰ | ۸۰ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |
| فازی | رگرسیون چندگانه | رگرسیون ساده | نسبت نرمال | محور مختصات | روش بازسازی | گروه ۳ |
| ۶۰ | ۶۰ | ۴۰ | ۶۰ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |
| فازی | رگرسیون ساده | رگرسیون چندگانه | محور مختصات | نسبت نرمال | روش بازسازی | گروه ۴ |
| ۵۰ | ۶۶.۶۶ | ۸۳.۳۳ | ۶۶.۶۶ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |
| رگرسیون ساده | فازی | نسبت نرمال | رگرسیون چندگانه | محور مختصات | روش بازسازی | گروه ۵ |
| ۶۰ | ۸۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |
| فازی | رگرسیون ساده | رگرسیون چندگانه | محورهای مختصات | نسبت نرمال | روش بازسازی | کل حوزه آبریز کارون شمالی |
| ۶۰ | ۶۰ | ۸۳/۳۳ | ۶۶/۶۶ | ۱۰۰ | درصد فراوانی | |

بحث

Chang, Y.H.O. and B.M. Ayyub (2001). Fuzzy regression Methods-A comparative assessment. Fuzzy sets and systems, 11(92): 187-203

Lohani, A. K., N.K. Goel and K.K.S. Bhatia (2006). Takagi-sugeno Fuzzy inference system for modeling stage-Discharge relationship. journal of hydrology, 331 (1-2): 146-160

Lookzadeh S. (2005). Evaluation of several methods in reconstruction of missing precipitation data in different periods at central Alborz region. MSc Thesis. Tehran University.

Mahdavi, M. (2002). Applied Hydrology. Tehran: Tehran University Press.

Naghdi, R. (2006). Reconstruction of missing discharge data at great Karoon river basin using artificial neural network -a comparison with other methods. MSc Thesis. Shahrekord University.

Sadatinejad S.J. (1999). A statistical comparison of methods used in reconstruction of missing precipitation data in Isfahan province. MSc Thesis. Tarbiyat Modarres University.

Sanchez, j.A. and A.T. Gomez (2003). Application of Fuzzy regression in Actuarial Analysis. journal of risk and insurance, 70(4): 797-802.

Shayanejad M., S.J., Sadatinejad and H. Fahmi (2008). Evaluation of potential evapotranspiration, using fuzzy regression. Journal of Research in Water Resources, 3(3): 9-19.

Tanaka, H., S. Uemjima and K. Asai (1982). Linear regression analysis with fuzzy model. IEEE trans. Sys. Man., cybern., 12(6): 903-907.



بر اساس نتایج جدول ۴ رگرسیون فازی دقیق ترین روش در بازسازی داده‌های سالیانه بارش در حوزه آبریز کارون شمالی می‌باشد، به طوری که از مجموع ۲۵ ایستگاه مورد مطالعه در کل حوزه، در ۱۲ ایستگاه روش رگرسیون فازی به عنوان اولویت اول می‌باشد و از مجموع ۵ گروه مورد مطالعه، در ۳ گروه روش رگرسیون فازی به عنوان اولویت اول قرار دارد. اما با توجه به دشواری استفاده از روش رگرسیون فازی و هم‌چنین سادگی روش رگرسیون خطی ساده، و نتایج نسبتاً خوبی که در بازسازی داده‌های سالیانه بارش در حوزه کارون شمالی داشته و اولویت دوم را به خود اختصاص داده است این روش جهت بازسازی داده‌های سالیانه در حوزه کارون شمالی توصیه می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. root-mean-square error
2. fuzzy possibilistic regression
3. fuzzy least squares regression
4. interval regression
۵. نرم افزار هیدروژنراتور به منظور بازسازی داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی توسط تیم پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه شهر کرد در سال ۱۳۸۵ ساخته شده است. مجری طرح دکتر سید جواد ساداتی‌نژاد و کارفرمای آن شرکت مدیریت منابع آب کشور است.

منابع

Abebe, A.j., D.P. Solomatine and R.G. W. Venneker (2000). Application of Adaptive Fuzzy Role Methods for Reconstruction of Missing Precipitation Events. Hydrological science journal, 45 (3): 425-436.