مجله علمی - پژوهشی

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

سال سوم - شماره ۶ - بهار ۱۳۸۸

Vol. 3, No. 6, Spring 2009

# اصلاح روش IUDRN به منظور شبیه سازی استوکاستیکی دبی سالانه رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه اریه استان خراسان رضوی)

فرهاد دلیری[۱] و مجید خلقی[۲]

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۸

## چکیده

**در این مطالعه روش (IUDRN اعداد تصادفی مستقل با توزیع یکنواخت) که در جهت تولید داده های مصنوعی به کار می رود به نام روش MIUDRN اصلاح گردید. روش توسعه داده شده یک روش تلفیقی است که شرایط هیدرولوژیکی را با اعداد تصادفی ترکیب نموده تا بتوان از آن در شبیه سازی استوکاستیکی آبدهی متوسط رودخانه استفاده کرد. سه شرط هیدرولوژیکی خشک، متوسط و مرطوب به عنوان یک سوم مقدار یک عدد تصادفی بین صفر و یک منظور می شود. به منظور صحت سنجی روش پیشنهادی، آبدهی متوسط سالانه رودخانه اریه در منطقه نیشابور خراسان رضوی با ۵۲ سال آمار بکارگرفته شد. نتایج نشان می دهد که مقدار خطای محاسباتی روش پیشنهادی از ۲۵ درصد در روش IUDRN به ۱۷ درصد کاهش یافته است. با توجه به کاهش مقدار خطا، می توان روش توسعه داده شده در این پژوهش را به عنوان روش مناسبی در شبیه سازی استوکاستیکی آبدهی متوسط رودخانه ها به کار گرفت.**

**واژه های کلیدی: اعداد تصادفی، توزیع یکنواختی، جریان رودخانه، شبیه سازی و رودخانه اریه خراسان**

## مقدمه

اهمیت لزوم دسترسی به داده های هیدرولوژیکی در حل مسائل آبی بر کسی پوشیده نیست. در این میان بررسی دبی جریان سالانه به عنوان رخدادی مستقل در تعیین دوره های خشک و تر برای مدیریت زمان بندی کارهای اجرایی به ویژه عملیات سازه های آبخیزداری، برآورد حجم آب قابل دسترس سالانه در طراحی حجم نرمال مخازن و ... قابل توجه است. با این وجود به دلایل گوناگون از جمله کاستی های آماری و عدم کفایت طول دوره ی مناسب آماری ایستگاه های همجوار، نیاز به توسعه ی دانش های شبیه سازی ساخت مصنوعی داده های هیدرولوژیکی و پیش بینی جریان برای مهندسان و طراحان ناگزیر است. در روش ساخت و سنتز توجه به ویژگی های آماری داده های موجود به صورت ایستگاه معرف و یا داده های ناحیه ای ناگزیر است. این روش ها به آب شناس اجازه می دهد تا از داده های کم نیز استفاده کرده و داده های مشاهده ای کوتاه مدت را با حفظ ویژگی های آماری، درازمدت کند. روشهای سنتز داده ها به دو گروه تولید تصادفی[۳] و روش مارکوف[۴] تقسیم می شود. بیشتر پژوهش های اخیر در گروه تولید تصادفی معطوف به جریان های کوتاه مدت ماهانه یا روزانه است. در این باره مقیمی و سپاسخواه [۳] به کمک روش زنجیره ی مارکف و تابع گاما به تولید بارندگی روزانه از آمار ناکافی(۵ سال) اقدام نمودند همچنین، در این زمینه می توان به پژوهشگرانی چون لهمر [۵]، مولر و باکس [۶] اشاره نمود. هانگ و نیمان [۷] سعی کردند تا بین جریان روزانه ی رودخانه و ویژگی های ژئومورفولوژی آبخیز جهت تولید رواناب ارتباط منطقی بیابند. نتایج نشان داد که این ارتباط وجود دارد به گونه ای که در درازمدت مولفه های گوناگون رواناب با شکل غالب مورفولوژی منطقه مرتبط است. اوستفیلد و پرایس [۴] جهت پیش بینی جریان روزانه و بار آلودگی جریان از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی استفاده کردند که نتایج در بیشتر موارد تنها برای برآورد آبدهی قابل قبول بود. دو روش بالا اساسا" مبنای فیزیکی دارند به گونه ای که عموما" فاکتورهای زیادی جهت بررسی نیاز دارند، لذا روش های آماری- تصادفی به لحاظ سادگی از کارایی بالاتری برخوردار هستند به ویژه زمانی که تنها آگاهی از جریان سالانه مورد توجه باشد، ممکن است روش های ساده ی آماری در انتخاب نخست قرار گیرد، اما ضعف این روش ها عدم توجه به زمان است. متغیرهای جریان سالانه رخدادهایی مستقل

۱- نویسنده مسئول و عضو کمیته فنی گروه پیکره های آبی و رودخانه شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس f_daliri@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تهران kholghi@ut.ac.ir

3- Random-generation

4- Markov-generation



Archive of SID

www.SID.ir

و معمولاً ثابت هستند. با این وجود شناخت دو مولفه روند و نوسان‌ها نقشی بارز در پیش‌بینی مقدار آن‌ها دارد. روند داده‌های سالانه با بررسی یک دوره‌ی مشخص، قابل محاسبه و برآورد با یک رابطه‌ی خطی است. داده‌های دبی سالانه ممکن است از توزیع آماری ویژه‌ای پیروی کند که شناخت آن در انتخاب روش کمک می‌کند. توزیع هایی که در تولید اعداد تصادفی مستقل در گروه تولید تصادفی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل توزیع های یکنواخت، نرمال، لوگ نرمال، گاما و پیرسون نوع سوم می‌باشند. همچنین روش‌های ناپارامتریک نیز در این گروه قرار دارند. استفاده از روش‌های ناپارامتری به تازگی در هیدرولوژی و منابع آب شروع شده است. در این مورد می‌توان به اشرف‌زاده و همکاران [۱] که با استفاده از روش هسته‌ای چگالی دبی جریان رودخانه دز را شبیه‌سازی کردند، اشاره نمود. روی هم رفته جهت پیش‌بینی جریان سالانه‌ی رودخانه‌ها از روش‌های استوکاستیک دو ترم روند و نوسان‌ها از بقیه با اهمیت‌تر هستند. هدف از این پژوهش تعدیل یک روش ساده همچون روش معمول IUDRN است که بر اساس درک نوسان‌های هیدرولوژیکی مشاهده شده میانگین لغزان داده‌های موجود، خطای حاصل از انتخاب کاملا" تصادفی متغییر تصادفی روش معمول کاهش یابد. در این حالت روش تعدیل شده در گروه روش‌های استوکاستیکی با قابلیت پیش‌بینی قرار می‌گیرد. بدیهی است اگر تولید داده از روش تعدیل شده از زمان حال به زمان گذشته صورت گیرد، نتایج معرف داده‌های بازسازی شده بوده و امکان بازسازی در مناطق بدون آمار فراهم می‌شود. اگر تولید داده از زمان حال به زمان آینده بر اساس آمار موجود صورت گیرد امکان تفسیر شرایط آینده جریان از حیث کم آبی و پر آبی فراهم می‌شود، لذا روش تعدیل شده برای تولید درازمدت جریان سالانه رودخانه‌ها نیز پایه‌ریزی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه و ایستگاه مورد مطالعه

در این خصوص ابتدا ایستگاه بار روی رودخانه اریه با مساحتی معادل ۱۱۱ کیلومترمربع در منطقه‌ی شمال نیشابور انتخاب شد. منطقه‌ی مورد مطالعه کوهستانی و بین مختصات جغرافیایی "۴۱ '۲۶ °۳۶ تا "۲۷ '۳۶ °۳۶ عرض شمالی و "۳۰ '۴۰ °۵۸ تا "۲۴ '۴۸ °۵۸ طول شرقی قرار دارد. ارتفاعات شمالی آن به کوه بینالود محدود می‌شود و رواناب حاصل از آن به رودخانه کال شور می‌پیوندد. بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع آن به ترتیب ۲۸۹۳ و ۱۵۱۲ متر از سطح دریا است. طول آبراهه‌ی اصلی آن حدود ۳۸ کیلومتر با شیب خالص ۴/۳ درصد و میانگین شیب وزنی ۳۳ درصد گزارش شده است. رژیم بارندگی منطقه مدیترانه‌ای با میانگین بارش ۳۸۵ میلی‌متر و به استناد اقلیم نمای آمبرژه در اشکوب ارتفاعات و به استناد منحنی آمبروترمیک عموماً در شش ماه نخست سال مرطوب و در ماه‌های دیگر سال خشک است. پس از انتخاب ایستگاه اریه به عنوان ایستگاه شاهد به دلیل طول دوره‌ی مناسب ابتدا داده‌های خام بازبینی و آزمون‌های فیزیکی لازم جهت همگنی و درستی داده‌ها صورت گرفت. این ایستگاه دارای ۴۸ سال آمار و ۴ سال ناقص بود، لذا ابتدا اقدام به تکمیل نواقص سال‌های ۳۷-۱۳۳۶، ۴۷-۱۳۴۶، ۴۸-۱۳۴۷ و ۵۹-۱۳۵۸ از روش‌های مرسوم شد[۲].

### روش کار

اساس روش (IUDRN) بر پایه‌ی حفظ ویژگی‌های آماری داده شده شامل میانگین، انحراف از معیار داده‌ها و تغییرات تصادفی حاصل از مقدار به عنوان متغیر تصادفی مستقل استاندارد با توزیع یکنواخت می‌باشد. رابطه‌ی (۱) مقدار جریان سالانه i ام را در سری‌های متوالی به صورت زیر ارائه می‌دهد:

$$x_i = \bar{x} + Z_i S_x \qquad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{n} Z = \frac{r_n - M}{\sqrt{S^2}} \qquad (۲)$$

با توجه به اینکه تابع توزیع مورد نظر یکنواخت است، لذا مقادیر M و $S^2$ به ترتیب به عنوان میانگین و واریانس متغیرهای تصادفی مستقل با تابع $F(x) = \frac{۱}{b-a}$ در بازه‌ی (۱ و ۰) به شرح زیر محاسبه شدند:

$$M = \frac{(b+a)}{2} \qquad (۳)$$

$$a \le x \le b$$

$$S^2 = \frac{(b-a)^2}{12} \qquad (۴)$$

برای محاسبه‌ی $r_n$ راه‌های گوناگونی وجود دارد. این متغیر تصادفی ممکن است بر اساس ارقام آخر شماره‌ی تلفن‌های یک دفترچه تلفن و تبدیل آن به توزیع مورد نظر و یا دامنه‌ای از نتایج ۹۹ - ۰۰ و ۹۹۹ - ۰۰۰ حاصل از پرتاب سکه‌های یک تاس و یا بر اساس یک کامپیوتر برنامه‌ریزی شده به دست آید. در این باره لهمر با استفاده از روابط بازگشتی، مقادیر کاذب- تصادفی $z_i$ را در بازه‌ی (۱ و ۰) به دست آورد:

$$Z_i = 2^{-42}\eta_i \qquad (۵)$$

$$\eta_{i+1} = S^{+17}\eta_i \ (\mathrm{mod} 2^{42}) \qquad (۶)$$

به گونه‌ای که برای $\eta_o=1$ رابطه‌ی بازگشتی برابر $۲^{۴۰}$ و به طور تقریب حدود $۱۰^{۱۲}$ دارد. در تولید و استخراج این اعداد باید دو فرض مربوط به یکنواختی به وسیله‌ی آزمون مربع-کای[1] و مستقل بودن متغیرهای تصادفی توسط آزمون‌های استقلال سری[2] و یا با توجه به روش انتخاب اعداد تصادفی لحاظ شود. برای بررسی نتایج روش (IUDRN) ابتدا مجهول‌های رابطه‌ی (۱) را با توجه به ۱۰ و ۲۰ سال آمار (جهت مقایسه‌ی اثر کمبود آمار) اخیر ایستگاه شاهد بار محاسبه و مقادیر متوالی $X_i$ رابطه‌ی ذکر شده محاسبه شد.

1- Chi - square

2- Serial Independene



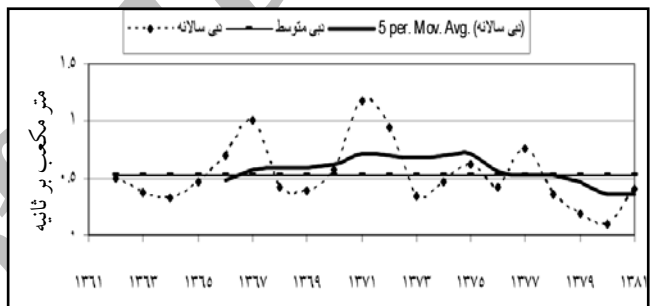
Archive of SID
www.SID.ir

**قانونمند کردن انتخاب اعداد تصادفی $r_n$ در روش تعدیل شده (MIUDRN)**

دو عیب اساسی روش معمول در نظر نگرفتن روند کلی و دوره‌ای داده‌های جریان سالانه منطقه است. روند کلی داده‌های منطقه ی پژوهش بدون شیب روند در طول دوره‌ی معین می باشد (شکل ۱). در صورتی که شیب روند داده‌ها شایان توجه باشد، می توان مقدار آن را در معادله‌های بالا به کمک یک معادله خط لحاظ نمود. برای رفع مشکل روند دوره‌ای، ابتدا براساس ۲۰ سال آمار اخیر ایستگاه شاهد، رابطه‌ی (۷) و شکل ۱ طول دوره‌ی تر (یا خشک) مشخص شد.

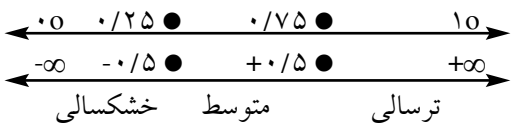
$$y_t = (2k+1)^{-1} \sum_{j=-k}^{k} x_{t+j} \qquad (۷)$$

که در آن k عدد فرد طبیعی، t زمان متغییرهای x و y به ترتیب در طول سری زمانی و دوره‌ی میانگین لغزان می باشند.




**شکل ۱ - میانگین لغزان ۵ ساله ۲۰ سال آمار اخیر ایستگاه شاهد اریه**

تعیین و بررسی دوره‌های خشک و تر می‌تواند به کمک دبی استاندارد شده با توزیع مناسب نیز صورت بگیرد. سپس با توجه به نمره‌ی استاندارد، نسبت متغیرهای سالانه (دامنه‌ی نوسان) در دوره‌ی ترسالی برای بالای خط میانگین سالانه، زیر خط و در گروه سوم نزدیک یا روی خط مبنا به‌دست آمد. فاصله‌های نمره‌ی استاندارد برای سه حالت ذکر شده متناظر با فاصله‌های تقسیم شده در فاصله‌ی بازه‌ی (۱ و ۰) مقادیر تصادفی به صورت محوری برای دوره‌های ترسالی، متوسط و خشکسالی مشخص شد. به صورت تجربی مشخص شده است که تناوب شرایط خشکسالی به ترسالی و یا برعکس، به شکل معادله‌ی $f(x)=\sin x$ و تقریبا" با طول موج برابر می باشد. در این پژوهش طول دوره‌ی نخست خشکسالی برای ۲۰ سال آمار اخیر ایستگاه شاهد به مدت ۱۱ سال از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۶۶ ادامه دارد. نسبت‌های ذکر شده مقادیر نمره‌ی استاندارد در دوره‌ی ترسالی برای دبی های بالاتر از میانگین، حدود متوسط و پایین تر از مبنا به ترتیب برابر با ۴۵٪، ۲۰٪ و ۳۵٪ محاسبه شد. این مسئله برای دوره‌های خشکسالی برعکس فرض شد. تقسیم محوری مقادیر نمره‌ی استاندارد متناظر با $r_n$ در محدوده $(a,b)=\{r_n \in \Re \mid 0<r_n<1\}$ به صورت زیر می باشد:




لذا با فرض ثابت ماندن نسبت‌های ذکر شده برای ایستگاه بار و یکنواختی توزیع داده‌ها می توان $r_n$ مربوط به هر دوره را به صورت سیستماتیک- تصادفی تنها هنگامی که به صورت تصادفی در محدوده‌ی مورد نظر قرار بگیرد، پذیرفت. انتخاب مقادیر $r_n$ آنقدر ادامه می یابد تا چوب خط نسبت‌ها به صورت تصادفی کامل شود. مقادیر انتهایی نیز برای هر محدوده بر اساس شانس و میزان نسبت انتخاب شدند.

جهت بررسی پارامترهای آماری از نسبت درصد خطای مبنا و برای مقایسه و صحت سنجی نتایج شبیه سازی دبی سالانه‌ی به‌دست آمده از دو روش، از مقدار ضریب همبستگی ($R^2$) و جهت بررسی قابلیت اطمینان نتایج از مجذور میانگین مربعات خطا و نرمال شده‌ی آن NRMS به صورت زیر استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^{n} (x_{calc} - x_{obs})_i^2} \qquad (۸)$$

(۹)

$$NRMS = \frac{RMSE}{(x_{obs})_{\max} - (x_{obs})_{\min}} \qquad (۹)$$

مقدار دبی مشاهده شده در زمان i و n تعداد دبی های محاسبه شده می باشد.

## نتایج و بحث

بر اساس روابط (۱) تا (۷) محاسبات لازم جهت تولید تصادفی داده‌های دبی سالانه با روش معمول بر پایه‌ی ۲۰ سال آمار اخیر ($IUDRN_{20}$) و ۱۰ سال آمار اخیر ($IUDRN_{10}$) و روش تعدیل شده بر پایه ۲۰ سال آمار اخیر ($MIUDRN_{20}$) ایستگاه شاهد بار صورت گرفت. در جدول (۱) خلاصه پارامترهای آماری به همراه درصد خطای آنها، ضرایب تعیین و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و نرمال شده آن برای دبی های تخمینی ارائه شده است. درا ین مورد نمودار ضرایب همبستگی دو روش مورد ارزیابی در شکل (۲) مشخص است. همچنین در جدول (۲) نتایج شبیه سازی روش های یاد شده با آمار واقعی ایستگاه شاهد ارائه شده است. همان گونه که از نتایج نیز مشخص است، روش تعدیل شده‌ی پیشنهادی دارای مقدار NRMS کمتر و ضریب همبستگی بیشتر نسبت به روش معمول است که به ترتیب دلیل بر اطمینان پذیری و درستی روش تعدیل شده نسبت به روش معمول می باشد. همچنین میزان خطای میانگین برای روش تعدیل شده ۱۷ - درصد و برای روش معمول ۲۵ - درصد نسبت به میانگین ۵۲ ساله ایستگاه شاهد می باشد، لذا نتایج روش پیشنهادی در این پژوهش (MIUDRN) برخلاف روش

Archive of SID

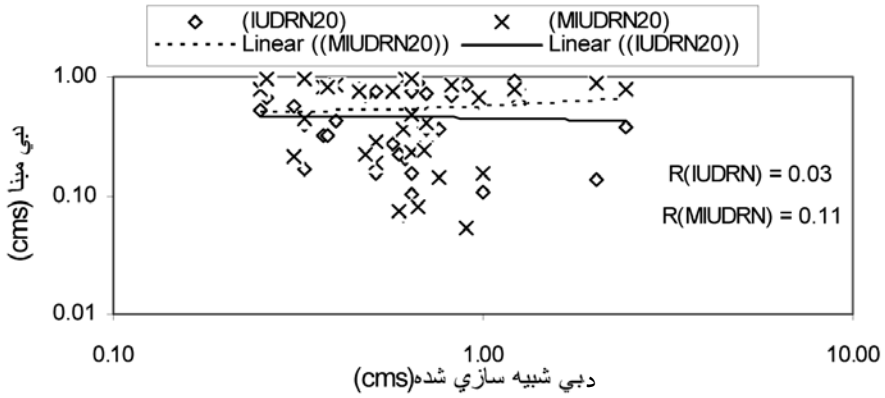


www.SID.ir

معمول از پایداری بالاتری در ارائه‌ی نتایج برخوردار است به گونه‌ای که نتایج دبی سالانه نیز بر خلاف روش معمول قابل استفاده است. در روش معمول در صورتی که مقادیر ترم تصادفی تولید شده و بر اساس آن متغیر دبی پیش بینی شود، ممکن است نتایج به گونه‌ی تصادفی در هر فاصله‌ای از نتایج واقعی بدون توجه به زمان قرار بگیرد. افزون برآن وابستگی روش تعدیل شده از سالی به سال دیگر به گونه‌ی منطقی حفظ می‌شود. همچنین در روش معمول حتی مقدار میانگین مربوط به دوره ی موجود ۲۰ ساله نیز حفظ نشده به گونه‌ای که حدود ۸ - درصد خطا مشاهده می‌شود. البته در این حالت مقادیر انحراف معیار تفاوت چندانی با آمار موجود نداشتند و این ویژگی در طول دوره‌ی آمار حفظ شده است. با این وجود مقدار میانگین به‌دست آمده از روش تعدیل شده تفاوت چندانی با میانگین آمار ۲۰ ساله ندارد. این تفاوت حدود ۱/۹ + درصد است. در این حالت مقدار انحراف از معیار از ۰/۲۷ مترمکعب برای آمار موجود ۲۰ ساله به ۰/۳۰ مترمکعب برای آمار تولید شده رسیده است زیرا در روش تعدیل شده مقدار حد پایین جریان معادل ۰/۰۵ محاسبه شده است. ضریب تغییرات تمامی روش‌ها در دامنه‌ی قابل قبول قرار دارد و منطقه را به عنوان یک منطقه‌ی نیمه خشک مانند ایستگاه معرف توصیف می‌کنند. روی هم رفته بررسی میانگین لغزان‌های ۵ ساله‌ی ایستگاه شاهد، روش معمول و روش تعدیل شده بر پایه‌ی آمار ۲۰ ساله مشخص کرد که دبی‌های سالانه‌ی تولید شده با روش معمول نمی‌توانند دوره‌های ترسالی و خشکسالی منطقه را نشان دهند. درحالی که در روش تعدیل شده افزون برحفظ این نوسان‌ها، در صورتی که دوره‌های ترسالی و خشکسالی منطقه به خوبی تشخیص داده شود، مقدار خطای نسبی انتخاب $r_n$ از بیشینه ۱۰۰٪ به میزان کمتری کاهش خواهد یافت. همچنین تاثیر کمبود آمار به میزان ۱۰ سال تاثیر شایان توجهی در پارامترهای آماری نمی‌گذارد.

**جدول ۱ - خلاصه پارامترهای آماری دبی‌های شبیه‌سازی شده به همراه درصد خطا ($m^3/s$)**

| RAMETERS | ایستگاه شاهد | (IUDRN20) | درصد خطا | ($IUDRN_{10}$) | | ($MIUDRN_{20}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA | اریه | ارزش | | ارزش | درصد خطا | ارزش | درصد خطا |
| AVERAGE | ۰/۶۴ | ۰/۴۸ | -۲۵ | ۰/۴۳ | -۳۴ | ۰/۵۳ | -۱۷ |
| STDEVP | ۰/۴۱ | ۰/۲۶ | -۳۶ | ۰/۲۶ | -۳۸ | ۰/۳۰ | -۲۷ |
| SKEW | ۲/۴۰ | ۰/۴۷ | -۸۰ | ۰/۱۳ | -۹۴ | ۰/۱۹ | -۹۲ |
| CV% | ۶۴/۰۶ | ۵۴/۱۶ | -۱۵ | ۶۰/۴۵ | -۶ | ۵۶/۶۰ | -۱۱ |
| MEDIAN | ۰/۵۷ | ۰/۴۲ | -۲۷ | ۰/۴۰ | -۳۰ | ۰/۴۷ | -۱۸ |
| MAX | ۲/۴۴ | ۱/۱۷ | -۵۲ | ۰/۹۵ | -۶۱ | ۱/۱۷ | -۵۲ |
| MIN | ۰/۰۹ | ۰/۰۷ | -۲۴ | ۰/۰۲ | -۷۲ | ۰/۰۵ | -۴۰ |
| R | - | ۰/۰۳ | - | - | - | ۰/۱۱ | - |
| RMSE | - | ۲۵ | - | ۲۴ | - | ۲۳ | - |
| NRMS% | - | ۰/۵۶ | - | ۰/۵۸ | - | ۰/۶۰ | - |




**شکل ۲ - مقایسه نتایج دبی شبیه سازی شده با ایستگاه شاهد**


www.SID.ir

جدول۲- مقایسه‌ی نتایج روش‌های تولید تصادفی دبی سالانه (اعداد زیرخط دار تولید شده‌اند.)

| سال آبی | ایستگاه شاهد اریه | $(IUDRN_{20})$ | $(IUDRN_{10})$ | $(MIUDRN_{20})$ |
|---|---|---|---|---|
| ۱۳۲۹-۳۰ | ۰/۷ | ۰/۷۱ | ۰/۶۴ | ۰/۴۲ |
| ۱۳۳۰-۳۱ | ۰/۴۶ | ۰/۷۷ | ۰/۷۰ | ۰/۷۶ |
| ۱۳۳۱-۳۲ | ۱/۲۵ | ۰/۶۶ | ۰/۶۰ | ۰/۶۹ |
| ۱۳۳۲-۳۳ | ۲/۴۴ | ۰/۳۷ | ۰/۳۲ | ۰/۷۷ |
| ۱۳۳۳-۳۴ | ۰/۶۲ | ۰/۲۰ | ۰/۱۵ | ۰/۹۶ |
| ۱۳۳۴-۳۵ | ۰/۹۷ | ۰/۶۰ | ۰/۵۴ | ۰/۶۷ |
| ۱۳۳۵-۳۶ | ۰/۵۱ | ۰/۷۵ | ۰/۶۹ | ۰/۲۸ |
| ۱۳۳۶-۳۷ | ۰/۷۶ | ۰/۳۶ | ۰/۳۱ | ۰/۱۴ |
| ۱۳۳۷-۳۸ | ۰/۴ | ۰/۴۳ | ۰/۳۷ | ۰/۸۶ |
| ۱۳۳۸-۳۹ | ۰/۲۵ | ۰/۵۲ | ۰/۴۶ | ۰/۷۷ |
| ۱۳۳۹-۴۰ | ۰/۲۶ | ۰/۶۶ | ۰/۶۰ | ۰/۹۵ |
| ۱۳۴۰-۴۱ | ۰/۳۳ | ۰/۱۶ | ۰/۱۲ | ۰/۴۵ |
| ۱۳۴۱-۴۲ | ۰/۳۱ | ۰/۵۸ | ۰/۵۱ | ۰/۲۲ |
| ۱۳۴۲-۴۳ | ۰/۹ | ۰/۸۷ | ۰/۷۹ | ۰/۰۵ |
| ۱۳۴۳-۴۴ | ۰/۵۱ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۱۹ |
| ۱۳۴۴-۴۵ | ۰/۶۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ | ۰/۳۷ |
| ۱۳۴۵-۴۶ | ۰/۴۸ | ۰/۷ | ۰/۶۳ | ۰/۲۲ |
| ۱۳۴۶-۴۷ | ۰/۶۴ | ۰/۱۰ | ۰/۰۶ | ۰/۴۸ |
| ۱۳۴۷-۴۸ | ۰/۶۴ | ۰/۷۵ | ۰/۶۸ | ۰/۲۳ |
| ۱۳۴۸-۴۹ | ۰/۳۳ | ۰/۴۰ | ۰/۳۴ | ۰/۹۷ |
| ۱۳۴۹-۵۰ | ۰/۵۷ | ۰/۲۷ | ۰/۲۲ | ۰/۷۵ |
| ۱۳۵۰-۵۱ | ۲/۰۳ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۸۸ |
| ۱۳۵۱-۵۲ | ۱ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ | ۰/۱۶ |
| ۱۳۵۲-۵۳ | ۰/۵۹ | ۰/۲۲ | ۰/۱۷ | ۰/۰۷ |
| ۱۳۵۳-۵۴ | ۰/۳۷ | ۰/۳۲ | ۰/۲۷ | ۰/۸۰ |
| ۱۳۵۴-۵۵ | ۱/۲۱ | ۰/۹۰ | ۰/۸۳ | ۰/۷۸ |
| ۱۳۵۵-۵۶ | ۰/۳۸ | ۰/۳۲ | ۰/۲۷ | ۰/۸۱ |
| ۱۳۵۶-۵۷ | ۰/۸۲ | ۰/۶۸ | ۰/۶۱ | ۰/۶۸ |
| ۱۳۵۷-۵۸ | ۰/۷ | ۰/۳۶ | ۰/۳۱ | ۰/۲۵ |
| ۱۳۵۸-۵۹ | ۰/۶۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۹۵ |


www.SID.ir

ادامه جدول۲ - مقایسه ی نتایج روش های تولید تصادفی دبی سالانه (اعداد زیرخط دار تولید شده اند.)

| سال آبی | ایستگاه شاهد اریه | $(IUDRN_{20})$ | $(IUDRN_{10})$ | $(MIUDRN_{20})$ |
|---|---|---|---|---|
| ۱۳۵۹-۶۰ | ۰/۶۷ | ۰/۹۰ | ۰/۸۲ | ۰/۰۸ |
| ۱۳۶۰-۶۱ | ۰/۶۹ | ۰/۳۷ | ۰/۳۲ | ۰/۲۴ |
| ۱۳۶۱-۶۲ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۰۶ | ۰/۵ |
| ۱۳۶۲-۶۳ | ۰/۳۷ | ۰/۳۷ | ۰/۶۹ | ۰/۳۷ |
| ۱۳۶۳-۶۴ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۷۹ | ۰/۳۳ |
| ۱۳۶۴-۶۵ | ۰/۴۷ | ۰/۴۷ | ۰/۶۳ | ۰/۴۷ |
| ۱۳۶۵-۶۶ | ۰/۶۹ | ۰/۶۹ | ۰/۸۵ | ۰/۶۹ |
| ۱۳۶۶-۶۷ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۰/۷۰ | ۱/۰۱ |
| ۱۳۶۷-۶۸ | ۰/۴۱ | ۰/۴۱ | ۰/۱۹ | ۰/۴۱ |
| ۱۳۶۸-۶۹ | ۰/۳۹ | ۰/۳۹ | ۰/۵۰ | ۰/۳۹ |
| ۱۳۶۹-۷۰ | ۰/۵۷ | ۰/۵۷ | ۰/۰۷ | ۰/۵۷ |
| ۱۳۷۰-۷۱ | ۱/۱۷ | ۱/۱۷ | ۰/۴۰ | ۱/۱۷ |
| ۱۳۷۱-۷۲ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ |
| ۱۳۷۲-۷۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ |
| ۱۳۷۳-۷۴ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ |
| ۱۳۷۴-۷۵ | ۰/۶۲ | ۰/۶۲ | ۰/۶۲ | ۰/۶۲ |
| ۱۳۷۵-۷۶ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ |
| ۱۳۷۶-۷۷ | ۰/۷۶ | ۰/۷۶ | ۰/۷۶ | ۰/۷۶ |
| ۱۳۷۷-۷۸ | ۰/۳۵ | ۰/۳۵ | ۰/۳۵ | ۰/۳۵ |
| ۱۳۷۸-۷۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ |
| ۱۳۷۹-۸۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| ۱۳۸۰-۸۱ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۴ |

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱- اساساً روش‌هایی مانند روش (IUDRN) که نمی‌توانند ویژگی‌های پویایی هیدرولوژیکی منطقه را مانند نوسان‌ها در خود لحاظ کنند، قابل اعتماد برای تولید متوالی و طولانی متغیرهای مربوطه نخواهند بود، لذا توصیه نمی‌شود که سری‌های متوالی و درازمدت‌تر از ۳۰ سال با این روش تولید شوند. در این حالت می‌توان از مقادیر پارامترهای متوسط، میانه و ضریب تغییرات سالانه‌ی داده‌های تولید شده در یک دوره‌ی محدود با احتیاط جهت مطالعات، به‌ویژه در طرح‌ها و زمان‌بندی عملیات آبخیزداری استفاده نمود. همچنین اگر هدف پیش‌بینی جریان باشد باید اعداد تصادفی- سیستماتیک را با توزیع مناسب پس از سال آخر (در این پژوهش ۸۱-۱۳۸۰) تولید نمود. بدیهی است اگر سال‌های اخیر مفروضات برآورد پارامترها باشد، امکان پیش‌بینی به سمت آینده و بازسازی دبی به سمت سال‌های گذشته مانند این پژوهش فراهم است.

۲- روش تعدیل شده (MIUDRN) برای داده‌های منطبق بر توزیع یکنواخت نتایج قابل قبولی به صورت سال به سال و سری‌های متوالی دراز مدت نسبت به روش معمول (در این پژوهش ۳۲ سال) ارائه کرد به گونه‌ای که امکان برآورد آبدهی درازمدت رودخانه اریه جهت طراحی حجم نرمال مخزن فرضی فراهم شد


www.SID.ir

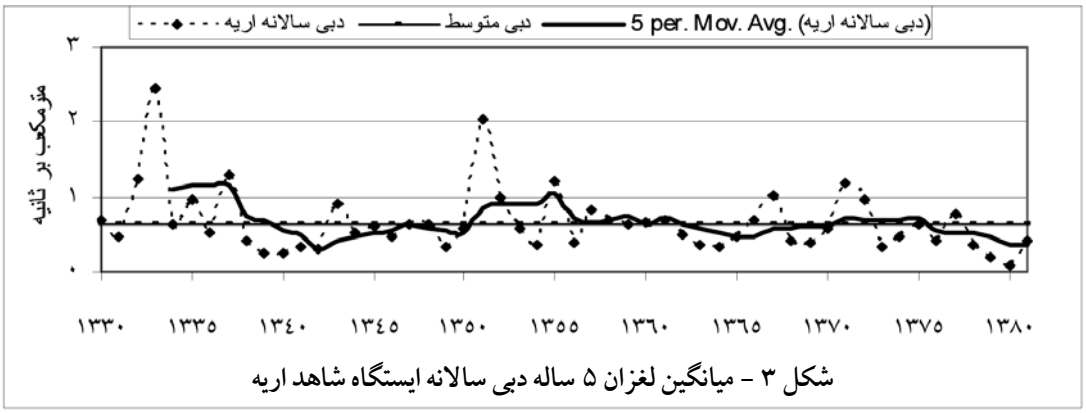
(شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

۳- در خصوص داده‌هایی که با توزیع‌های دیگر انطباق دارند می‌توان مانند روش ذکر شده در این مقاله که شامل چگونگی تبدیل مقادیر تصادفی برای توزیع مربوطه با توجه به ویژگی‌های نوسان‌های هیدرولوژیکی منطقه مورد نظر است، الگوی منطقی برای انتخاب سیستماتیک- تصادفی مقادیر را مشخص نمود.

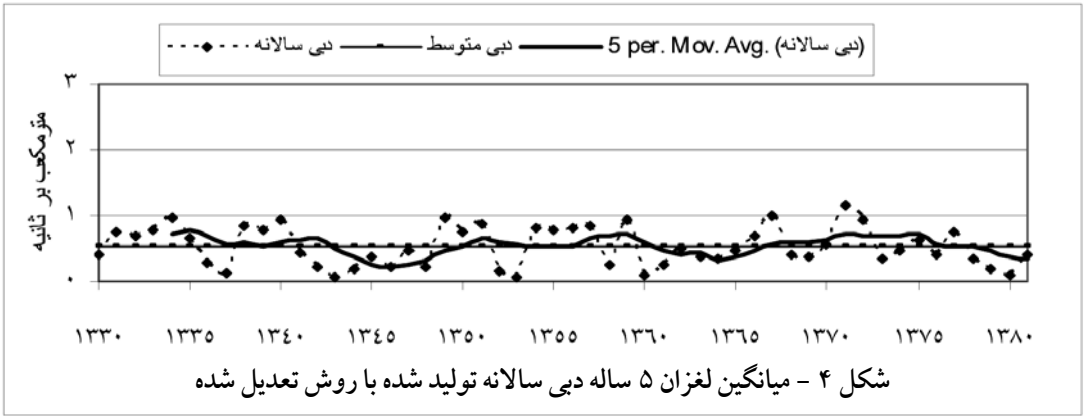
۴- انتخاب سیستماتیک- تصادفی مقادیر برای تمامی روش‌های تصادفی و مشابه مانند روش AR (۱) یا تاخیر یک مارکوف[1] در گروه روش‌های استوکاستیک[2] توصیه می‌شود.

۵- با توجه به نتایج این پژوهش توصیه می‌شود در همه‌ی اقلیم‌های کشور دست کم ۱۰ تا ۱۵ سال آمار متوالی برای تعیین ویژگی های مورد نظر روش‌های بالا استفاده شود.

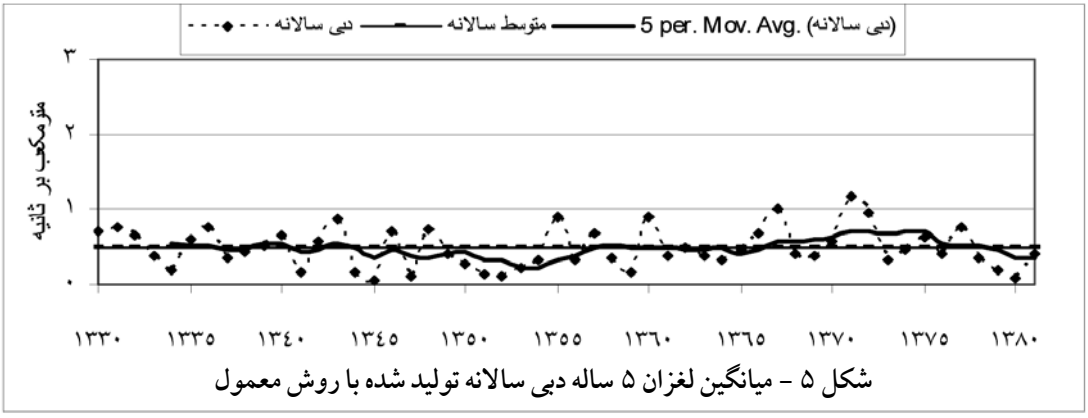
۶- توصیه می‌شود روش تعدیل شده‌ی این مقاله در چند نقطه معرف دیگر با ضرایب تغییرات گوناگون بررسی شود زیرا با توجه به نوآوری پژوهش امکان مقایسه با مطالعات مشابه هم اکنون وجود ندارد. در این خصوص در صورت وجود روند قابل توجه داده‌ها توصیه می‌شود آهنگ تغییرات به کمک یک معادله‌ی خطی ساده در معادله‌ها لحاظ گردد.




**شکل ۳ - میانگین لغزان ۵ ساله دبی سالانه ایستگاه شاهد اریه**




**شکل ۴ - میانگین لغزان ۵ ساله دبی سالانه تولید شده با روش تعدیل شده**




**شکل ۵ - میانگین لغزان ۵ ساله دبی سالانه تولید شده با روش معمول**

1- Markov Lag-1

2- Stochastic Generator



www.SID.ir

۷ - روش توصیه شده در مقاله حاضر قابلیت کاربرد در تولید بارش سالانه را نیز دارد.

## منابع


۱ - اشرف زاده، ا. خلقی، م. و موسوی ندوشنی، س. ۱۳۸۴. تولید داده‌های طولانی مدت دبی متوسط ماهانه (مطالعه موردی: رودخانه دز)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸ شماره ۳.

۲ - دلیری، ف. ۱۳۸۲. گزارش هیدرولوژی منابع آب شمال نیشابور، مطالعات توجیهی آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، مهندسین مشاور نشتاک.

۳- مقیمی، م.م. و سپاسخواه، ع.ر. ۱۳۸۷. تولید داده‌های بارندگی در استان فارس در ایستگاههای فاقد آمار کافی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره۳.

4- Prieis, A. and Ostfeld, A. 2007. A coupled model tree-genetic algorithm scheme for flow and water quality predictions in watersheds, Civil and Environmental Engineering.

5- Lehmer, D.H. 1949. Mathematical Methods in Large Scale Computing Unite, Proc. Symposium on Scale Digital Calculating Machinery, Harvard university press, Cambridge, mass.

6- Mutreja, K.N. 1986. Applied Hydrology, U.P. Irrigation Department Roorkee MC Graw-Hill, 959 p.

7- Huang, X. and Niemann, J. 2005. Long Term Interaction of Streamflow Generation and River Basin Morphology, Department of Civil and Environmental Engineering.


Archive of SID



www.SID.ir