

اصلاح ضریب کریگر براساس دوره‌های بازگشت مختلف به منظور برآورد دبی حداکثر سیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایران مرکزی)

علی فتح‌زاده^۱ - استادیار آبخیزداری، دانشگاه اردکان، یزد، ایران
اعظم جایدری - کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۲۶

چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید انسان، سرمایه و امکانات بشری محسوب شده که به دلیل شرایط اقلیمی و توپوگرافی و به‌ویژه بارش‌های با شدت و مدت زیاد به‌وقوع می‌پیوندد. مقابله با سیلاب در هر منطقه مستلزم اطلاع از مقدار دبی سیلابی و دوره بازگشت آن می‌باشد. در بسیاری از مناطق دنیا و در حوضه‌های فاقد آمار جهت برآورد دبی حداکثر سیل از روابط تجربی استفاده می‌شود که در این میان فرمول کریگر به دلیل سادگی و در دسترس بودن پارامترهای مورد نیاز از کارایی گسترده‌ای برخوردار است. این در حالی است که مشخص نبودن دوره بازگشت ارقام دبی‌های برآورد شده نیز از جمله ایرادات وارد بر این روش می‌باشد. این تحقیق با وارد نمودن دوره بازگشت به مقادیر ضریب منطقه‌ای کریگر به بررسی دامنه تغییرات آن را در مناطق مختلف حوضه آبریز ایران مرکزی پرداخته است. بدین منظور آمار مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای ۲۹ ایستگاه هیدرومتری واقع در حوضه ایران مرکزی طی سال‌های ۹۰-۱۳۴۴ جمع‌آوری گردید. سپس با انجام آزمون داده‌های پرت، با استفاده از روش گرویز-بک و آزمون کفایت داده‌های ماکوس، صحت و قابلیت اعتماد نسبی داده‌های ثبت شده مورد ارزیابی قرار گرفت و در هر ایستگاه با استفاده از روش عصبی-فازی، بازسازی نواقص آماری صورت گرفت. در مرحله بعد با هدف تعیین دوره بازگشت و با استفاده از تحلیل فراوانی سیلاب، ارقام دبی‌های سیلابی برآورد و سپس ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر تعیین گردید. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل نشان داد که دامنه تغییرات ضریب منطقه‌ای کریگر در حوضه ایران مرکزی بسیار کمتر از میانگین جهانی آن بوده و میانگین درصد خطای مطلق روش کریگر در برآورد دبی حداکثر سیلابی این مناطق، ۵۴/۸۵ درصد می‌باشد. همچنین برخلاف تصور موجود حل رابطه‌ی کریگر از طریق برقرار تناسب بین دبی حداکثر با مساحت حوضه بالادست همگن با آن منجر به خطاهای فاحشی خواهد گردید.

کلید واژه‌ها: سیلاب، مدل کریگر، مدل فازی، ایران مرکزی.

۱. مقدمه

مطابق آمار تهیه شده توسط سازمان ملل متحد در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارات را به جوامع بشری وارد آورده‌اند، به گونه‌ای که تنها در یک دهه اخیر منتهی به سال ۲۰۰۰ میلادی، میزان خسارات ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار در مقابل ۱۸ میلیارد دلار خسارات ناشی از زلزله بوده است. در ایران، بررسی آمار خسارات محسوس و مستقیم سیل ۵۰ سال اخیر نشان دهنده رشد تقریباً ۲۵۰ درصدی خسارات دهه آخر نسبت به اولین دهه می‌باشد. حوضه آبریز ایران مرکزی از جمله مناطقی است که علیرغم وسعت زیاد بیشترین بحران را در ارتباط با ایستگاه‌های هیدرومتری و داده‌های سیلابی در سطح کشور داشته و این کمبود داده‌ها چالش اساسی در اجرای برنامه‌های مطالعاتی و عمرانی آن به‌شمار می‌آید. تلاش در جهت رفع این کمبودها و دستیابی به برآوردهای دقیق از مهمترین برنامه‌های مطالعات هیدرولوژی محسوب می‌گردد. بدیهی است با شناخت دقیق از آمار سیلاب، به تناسب می‌توان اقدامات مدیریتی و کنترلی مناسب با آن را نیز طراحی و اجرا نمود. از آنجایی که پیش‌بینی چگونگی وقوع یک متغیر در آینده، به تجزیه و تحلیل داده‌های آن در گذشته بستگی دارد، جهت پیش‌گیری خسارات ناشی از وقوع سیلاب، می‌بایست احتمال وقوع سیلاب‌های مهم را برآورد نمود تا با بکارگیری روش‌های مناسب و تأسیسات خاص، اثرات سیلاب را کنترل کرد (مهدوی، ۱۳۸۶: ۲۱).

معمول‌ترین راه دستیابی به پارامترهایی نظیر دبی حداکثر و حجم سیلاب، که در مباحث هیدرولوژی و پروژه‌های مرتبط با آب نقش اساسی دارند، استفاده از آمار هیدرومتری حوضه می‌باشد. این در حالی است که در ایران به‌علت نبود ایستگاه‌ها و آمار ناقص، استفاده از روش‌های غیر مستقیم برآورد دبی سیلابی دارای اهمیت ویژه‌ای است. استفاده از روابط تجربی به دلیل سهولت استفاده، تخمین سریع و بکارگیری عوامل محدود، توجیه‌پذیر بوده و امکان برآورد آبدی در حوضه‌های فاقد آمار را فراهم می‌سازد (محمدپور و همکاران، ۱۳۸۶: ۸). از آنجا که اکثر این روش‌ها برای مناطقی خاص با شرایط فیزیکی و اقلیمی ویژه ارائه شده و دارای ضرایبی هستند که منعکس‌کننده اثر عوامل زمینی و جوی در تبدیل بارش به رواناب و ایجاد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای می‌باشند (اعتمادی، ۱۳۷۶: ۸۲)؛ بنابراین جهت کاربرد این روش‌ها در مناطق دیگر، واسنجی ضرایب آن‌ها ضروری بوده و استفاده از روابط یک منطقه با همان ضرایب در مناطق دیگر، خطرناک و موجب صرف هزینه‌های بی‌مورد در ساخت و سازهای آبی می‌شود.

فرمول کریگر^۱، از جمله روابط تجربی معروف با کاربرد فراوان در برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه‌های آبریز فاقد آمار است. در این رابطه با توجه به عامل مساحت، سایر عوامل موثر در شکل‌گیری دبی حداکثر، به صورت ضریب منطقه‌ای در نظر گرفته شده است (رابطه ۱).

$$Q = 46 CA^{(0.894 A^{-0.048})} \quad (1)$$

که در آن؛ Q: دبی حداکثر لحظه‌ای (فوت مکعب بر ثانیه)، A: مساحت حوضه (مایل مربع) و C، ضریب منطقه‌ای کریگر بوده که مقدار حداکثر این ضریب برابر با ۲۰۰، تمامی سیلاب‌های مشاهده شده دنیا را پوشش می‌دهد. بیشترین مقدار آن در اکثر نقاط ایالات متحده و جهان برابر ۱۰۰ و در ایران نیز گاهی ضریب ۱۰۵ بدست آمده است (مهدوی، ۱۳۸۶:۱۶۶). مهمترین ایراد وارد بر این روش مشخص نبودن ارقام دوره بازگشت دبی‌های سیلابی برآورد شده می‌باشد. از آنجایی که کشور ایران با ویژگی‌های اقلیمی خاص خود، دارای شرایط آب و هوایی مختلفی بوده و خصوصاً استانهای مرکزی، نسبت به سایر نقاط از رطوبت کمتری برخوردار می‌باشند، لذا ضروری است که جهت تدقیق ضریب مذکور، با در اختیار داشتن آمار دبی سیلاب‌ها، حدود مقدار C بر اساس دوره بازگشت‌های مختلف تعیین گشته و در سایر حوضه‌های فاقد آمار به کار گرفته شود. در رابطه با کارایی روش‌های تجربی برخی از محققین مطالعات متعددی را به انجام رسانده‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

مهدوی و همکاران (۱۳۸۳:۴۰۹) و جمالی و همکاران (۲۰۰۶)، مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال را با استفاده از ده فرمول تجربی برآورد دبی حداکثر، در حوضه‌های آبریز اصلی ایران به دست آوردند. بر اساس نتایج این تحقیق، مدل تجربی مورفی^۱ برای دوره بازگشت‌های کم و مدل تجربی کرامر^۲ برای دوره بازگشت‌های زیاد، در حوضه ایران مرکزی مناسب بوده ولی مدل کریگر در برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های زیاد نامناسب می‌باشد. در تحقیق دیگری توسط یزدانی و همکاران (۱۳۸۵:۳۵۳)، به منظور برآورد دبی حداکثر در حوضه‌های آبریز کوچک، دو روش مبتنی بر سطح و خصوصیات فیزیوگرافی و بارش حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در بین روشهای مبتنی بر سطح، روش کریگر در مناطق با بارش کمتر کارایی بیشتری دارد.

در تحقیق سیدعلی و همکاران (۱۳۸۸:۴)، دامنه تغییرات ضریب کریگر در حوضه‌های استان یزد بررسی شد که بر اساس نتایج آن مقدار این ضریب بین ۰/۰۱۴ تا ۲۰/۹۵ در نوسان بوده است. همچنین زارع و همکاران (۱۳۸۸:۵)، با استفاده از روابط تجربی فولر^۳، کریگر، دیکن^۴، علی نواز^۵ و رایوس^۶، دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های مختلف را در حوضه آبریز تول‌بنه گرگان برآورد کردند. نتایج آنها نشان داد روش کریگر، مقدار دبی حداکثر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده و در حوضه‌های آبریز کوچک دارای بیشترین خطای باشد. همچنین در تحقیقی که توسط وفاخواه و ایزانلو (۱۳۸۸:۱۱)، جهت برآورد دبی حداکثر سیلاب صورت گرفت، فرمول‌های تجربی کریگر، دیکن و فاینینگ در حوضه آبریز کوشک‌آباد خراسان رضوی مقایسه گردید که بر اساس نتایج رابطه کریگر دارای کمترین مجذور میانگین مربعات خطا بوده است.

1 Morphy

2 Kramer

3 Fuller

4 Dicken

5 Ali Nawaz

6 Ryves

بیوندیک^۱ و همکاران (۲۰۰۲، a و b)، با استفاده از منحنی‌های کریگر و فرانکو- رودیه^۲، مقدار دبی حداکثر رودخانه دانوب را در کرآواسی برآورد کردند. بر اساس نتایج، مقادیر دبی حداکثر برآوردی با دوره بازگشت‌های مختلف، با استفاده از روش کریگر بیشتر از روش فرانکو- رودیه در حوضه‌های آبریز کوچک و بزرگ در منطقه بوده است. همچنین در تحقیق انجام یافته توسط هینکس و ددجا^۳ (۲۰۰۲: ۹)، در بررسی ۵ سد خاکی در بریتانیا، میانگین ضریب کریگر برابر ۳۶ بیان شد و مقدار آن با دوره بازگشت‌های ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ساله، بین ۱۳/۵ تا ۲۵ برای منطقه پیشنهاد گردید.

در کشور ژاپن، اونیشی^۴ و همکاران (۲۰۰۴: ۸۷)، دبی حداکثر لحظه‌ای را در مساحت‌های حداکثر تا یک کیلومتر مربع با استفاده از فرمول کریگر برآورد کردند، ولی در مساحت‌های بیشتر، تا حداکثر ۱۱۷۸ کیلومتر مربع، نشان دادند این فرمول کارایی چندانی در برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای ندارد. همچنین کرکوتی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۰۷)، در برآورد سیلاب به روش‌های مشاهده‌ای، کریگر و SCS در رودخانه قره‌سو در کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه دوآب قزانچی، مقدار ضریب کریگر با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ به ترتیب برابر با ۰/۸ و ۱۱/۰۱ بوده است.

در این تحقیق سعی شده است تا ابتدا از بین حدود ۸۰ توزیع آماری پیوسته، با انجام آنالیز فراوانی سیلاب مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب و دبی‌های حداکثر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف برآورد گردد. سپس به بررسی و واسنجی ضریب منطقه‌ای مدل کریگر در حوضه ایران مرکزی پرداخته و با اضافه نمودن دوره بازگشت‌های مختلف به این ضریب کارایی و دقت آن افزایش یابد.

۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه ایران مرکزی با مساحت ۸۲۳۹۴۶ کیلومتر مربع در ناحیه خشک و نیمه‌خشک کشور، حدود ۵۰/۷۵ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود (شکل ۱). این حوضه از لحاظ بارش شرایط مطلوبی نداشته و سیلاب‌های آنی و کوتاه-مدت از جمله ویژگی‌های آن می‌باشد. این در حالی است که تعداد کمی از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در این حوضه دارای آمار بلندمدت می‌باشد. این ایستگاه‌ها دارای پراکنش غیریکنواخت بوده به‌طوری‌که اکثر آن‌ها در ناحیه نیمه خشک قرار گرفته و تعداد کمی از آنها در ناحیه خشک و فراخشک واقع گردیده اند. بنابراین تنوع زیاد اقلیمی و جغرافیایی منجر به عدم تشکیل حوضه‌های همگن در این منطقه گردیده است (حیات‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۲۲).

۳. مواد و روش‌ها

در این تحقیق انتخاب ایستگاه‌های مناسب طی گام‌های مختلفی صورت گرفته است. بدین ترتیب که ابتدا مشخصات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری و سدهای مخزنی واقع در منطقه اخذ شده که برخی ایستگاه‌ها به دلیل جدیدالاحداث

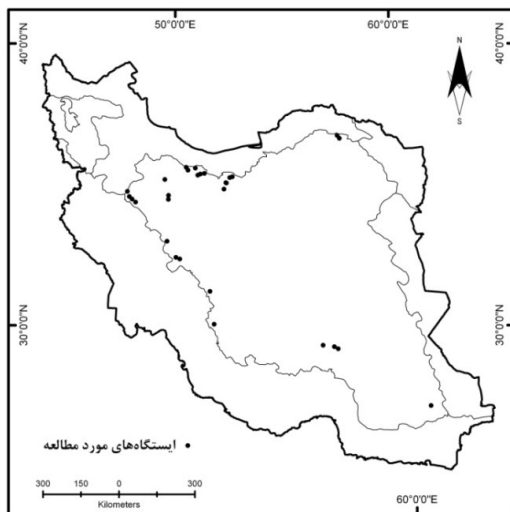
1 Biondic

2 Francou-Rodier

3 Hinks and Dedja

4 Ohnishi

بودن و نداشتن آمار کافی و برخی به علت تعطیلی و نداشتن آمار جدید از لیست مورد بررسی حذف گردیدند. همانگونه که ذکر گردید با توجه به عدم پراکنش یکنواخت ایستگاه‌ها در حوضه ایران مرکزی و در نتیجه عدم تشکیل حوضه‌های همگن، ارزیابی‌ها به صورت نقطه‌ای و منفرد (ایستگاهی)، صورت گرفت.



شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه ایران مرکزی

در مرحله بعد، با بررسی بانک اطلاعات سدهای مخزنی و بندهای انحرافی ایران و به کمک نرم‌افزار گوگل ارث و سیستم اطلاعات جغرافیایی، موقعیت مکانی ایستگاه‌ها، سدها و بندهای انحرافی، تعیین گردید و سپس ایستگاه‌های هیدرومتری که در حوضه بالادست آن‌ها سدهای مخزنی و بند انحرافی وجود داشت، به دلیل برهم خوردن رژیم اصلی رودخانه و تعدیل شدن دبی حداکثر در آنها حذف گردیدند.

در ادامه ایستگاه‌های دارای دوره آماری کوتاه‌مدت و نقص زیاد در داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای نیز حذف شده و سایر ایستگاه‌های با طول آمار بیشتر از ۲۵ سال، در پایه زمانی ۹۰-۱۳۴۴، به‌عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه به مرحله بعدی راه یافتند. سپس با انجام آزمون داده‌های پرت، با استفاده از روش گرویز-بک و آزمون کفایت داده‌های ماکوس، صحت و قابلیت اعتماد نسبی داده‌های ثبت شده مورد ارزیابی قرار گرفت و بنابراین تعداد ۲۹ ایستگاه هیدرومتری انتخاب گردید (شکل ۱). در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های منتخب ذکر شده است.

سپس جهت رفع نواقص آماری ۲۹ ایستگاه منتخب، ابتدا همبستگی بین دبی حداکثر و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری (شامل: دبی حداکثر سالانه، دبی متوسط ماهانه و سالانه و همچنین دبی حداکثر روزی که حداکثر سیلاب در آن واقع گردیده)، با ایجاد رابطه رگرسیونی سنجدیده شد که با تعیین بیشترین همبستگی بین دبی حداکثر لحظه‌ای به‌عنوان متغیر وابسته و دبی حداکثر سالانه به‌عنوان متغیر مستقل در هر ایستگاه، اقدام به بازسازی و رفع نواقص آماری دبی حداکثر، با روش عصبی- فازی گردید. (جابدیری و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۸۷).

به منظور تحلیل فراوانی سیل استفاده از توزیع‌های آماری جهت پردازش و برآورد دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های مختلف، از روش‌های متداول محسوب می‌گردد (هادیان و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور برای تجزیه و تحلیل فراوانی وقوع دبی حداکثر، آمار تک تک ایستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Easyfit و Mathematica در بیش از ۸۰ توزیع مختلف آماری پیوسته برازش داده شد و با استفاده از روش بیشینه درست نمایی و روش گشتاور مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب گردید.

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب درحوضه ایران مرکزی (تماب، ۱۳۸۹)

ایستگاه	سرابهنده	اسکندری	حبله‌رود	بنکوه	عمرآباد	حاجی عرب	اسفرجان	ده‌صومعه
ارتفاع (m)	۱۹۸۰	۲۱۳۰	۱۹۲۴	۱۰۴۰	۱۵۷۰	۱۱۹۷	۲۳۰۴	۱۴۳۸
دوره آماری	۳۴	۳۸	۳۴	۳۳	۳۴	۳۱	۲۵	۳۵
مساحت (Km ²)	۸۵۲	۱۵۷۸	۱۹۱۰	۳۲۰۹	۱۵۷۰	۱۱۹۷	۲۷۳	۳۶۰
ایستگاه	سولقان	رازین	درکه	یالقان	چمریز	دامن	جیرفتو	سولان
ارتفاع (m)	۱۴۳۰	۱۲۹۰	۱۸۳۳	۱۹۸۰	۱۷۹۶	۶۵۱	۲۶۲۸	۱۹۷۹
دوره آماری	۲۹	۳۵	۲۸	۳۲	۳۶	۴۱	۴۳	۳۳
مساحت (Km ²)	۲۰۰	۱۷۱۰	۱۸۳۳	۱۶۵	۳۳۹۰	۳۶۷۰	۲۲۴	۳۷۰۰
ایستگاه	دریند	نمرود	مندرجان	گندارزار	سبیرا	عراقی	رودک	دلیچای
ارتفاع (m)	۱۷۹۳	۱۸۱۴	۲۱۰۷	۱۱۴۴	۱۸۳۱	۱۳۹۲	۱۷۱۴	۱۴۵۸
دوره آماری	۳۱	۳۹	۲۹	۳۲	۴۳	۳۳	۴۲	۳۰
مساحت (Km ²)	۳۴	۵۸۷	۲۲۹	۱۱۴۴	۷۱۶	۲۰۱	۴۱۶	۳۴۴
ایستگاه	اسفراین	جلالیر	سیمین دشت	قریه العرب	صالح آباد			
ارتفاع (m)	۹۸۱	۱۱۷۵	۱۴۷۲	۲۴۱۴	۱۷۷۰			
دوره آماری	۳۱	۳۳	۳۸	۳۱	۳۳			
مساحت (Km ²)	۵۱۵	۱۱۷۵	۲۲۵۶	۳۵۸	۱۸۰			

در گام آخر پس از تعیین دبی حداکثر در هر ایستگاه، مقادیر دبی‌های تعیین شده با دوره بازگشت‌های مختلف را در رابطه کریگر قرار داده و با توجه به معلوم بودن مقدار پارامتر مساحت حوضه مربوطه به هر ایستگاه، در نهایت ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ ساله تعیین گردید.

معیاره‌های برازش نکویی

در این تحقیق جهت بررسی عملکرد روش‌های مختلف بازسازی در هر ایستگاه، از مجذور میانگین خطای مربعات (RMSE)، ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE)^۱، جهت تعیین بهترین توزیع آماری از آزمون

1 Mean Absolute Error (MAE)

کای اسکوتر (X^2) و همچنین جهت اعتبارسنجی مدل کریگر از میانگین مطلق درصد خطا (MAPE)^۱ و ضریب ناش-ساتکلیف (ENS)^۲ استفاده گردید (یانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۹) و (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹).

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X_o - X_e)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum ((X_e - \bar{X}_e)(X_o - \bar{X}_o))}{\sqrt{\sum (X_e - \bar{X}_e)^2 (X_o - \bar{X}_o)^2}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(X_e) \times (X_o)|}{n} \quad (4)$$

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_o - X_e)^2}{X} \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_o - X_e}{X_o} \right| \quad (6)$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_o - X_e)^2}{\sum_{i=1}^n (X_o - \bar{X}_o)^2} \quad (7)$$

که در روابط فوق: X_o و X_e به ترتیب دبی حداکثر مشاهداتی و برآوردی، \bar{X}_o و \bar{X}_e به ترتیب میانگین دبی حداکثر مشاهداتی و برآوردی و n تعداد داده‌ها است.

همچنین با استفاده از مقادیر RMSE، در ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی، بهبود نسبی (RI) روش فازی عصبی هر روش نسبت به سایر روش‌ها بدست آمد (امینی و همکاران، ۲۰۰۵). بدین وسیله کارایی روش فازی عصبی سنجیده شده است (معادله ۸).

$$RI_{ANFIS} = \frac{(RMSE_{REG \text{ or } ANN} - RMSE_{ANFIS})}{RMSE_{REG \text{ or } ANN}} \quad (8)$$

۴. بحث و نتایج

در بررسی شرط کفایت داده‌ها با توجه به متفاوت بودن تعداد سال‌های آماری موجود در هر ایستگاه، میزان سطوح اعتماد نیز، متفاوت بود. لذا با توجه به این تفاوت، از میزان اعتماد در کل ایستگاه‌ها میانگین‌گیری به عمل آمد، که در مجموع در سطح کل منطقه، مقدار کفایت داده‌ها حدود ۷۴/۰۸ درصد تعیین گردید. با توجه به فرمول گرویز-بک^۵، داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های سولقان، تنگ‌اسفرجان و دلیچای هر کدام دارای یک عدد داده پرت بالا

-
- 1 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)
 - 2 Efficiency Coefficient Nash- Sutcliffe (ENS)
 - 3 Yang
 - 4 Relative Improvement
 - 5 Grubbs-Beck

بودند. بنابراین بررسی داده‌های تاریخی در آن‌ها، از روی آمار نزدیک‌ترین ایستگاه‌های همجوار صورت گرفت و با توجه به افزایش مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های شاخص یا همجوار، عدم وجود داده پرت بالا در این ایستگاه‌ها محرز گردید. همچنین هر یک از ایستگاه‌های حاجی‌عرب و عمرآباد، دارای یک داده پرت پایین (کمتر از آستانه پایین) بوده که از لیست آمار موجود حذف گردیده و با استفاده از روش‌های بازسازی، مجدداً برآورد گردیدند.

در بازسازی نواقص آماری، در تمام ایستگاه‌ها روش عصبی‌فازی دارای کمترین خطا و الگوریتم ژنتیک دارای بیشترین خطا در برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای بود. لیکن با استفاده از آزمون T در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین این روش‌ها وجود نداشت. بنابراین برای ارزیابی آن‌ها از شاخص RI استفاده گردید، که بر اساس نتایج آن بطور متوسط روش عصبی‌فازی نسبت به شبکه‌عصبی و رگرسیون به ترتیب ۳۹/۹ و ۳۹ درصد بهبود داشته است (جدول ۳).

تحلیل خروجی‌های حاصل از نرم‌افزارهای EasyFit و Mathematica، نشان داد که ایستگاه‌های موجود در ۱۷ توزیع آماری مختلف بهترین برازش را داشته و بنابراین بر اساس توزیع منتخب در هر ایستگاه، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال، برآورد گردید و با توجه به مشخص بودن مساحت هر ایستگاه، اقدام به برآورد ضریب منطقه‌ای کریگر متناظر با دوره بازگشت‌های مذکور گردید (جدول ۴).

در ادامه به منظور پهنه‌بندی ضریب کریگر در زیر حوضه‌های ایران مرکزی اقدام به دسته‌بندی این ارقام در ایستگاه‌های مورد مطالعه گردید که نتایج آن در جدول (۵) ذکر گردیده است. همچنین در شکل (۲)، رابطه ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر و مساحت ایستگاه‌های مطالعاتی با دوره بازگشت‌های مورد مطالعه ترسیم گردیده است.

جدول ۲ میزان بهبود نسبی روش عصبی‌فازی نسبت به روش‌های شبکه عصبی (ANN) و رگرسیون (REG) بر حسب درصد

ایستگاه	REG	ANN	ایستگاه	REG	ANN
عراقی	۵۲/۱۲۶	۳۶/۰۳	گدازار	۶۲/۷۶	۱۵/۴۳
چمریز	۴۹/۲۲	۹۷/۵۲	مندرجان	۹۰/۵۳	۷۱/۶۳
دامن	۱۵/۹۴	۲۶/۷۱	دلیچای	۸/۴۱	۲۳/۸۳
عمرآباد	۱۶/۳۳	۴۳/۵۳	یالقان	۳/۹۴	۱/۴۶
دریند	۶/۱۷	۲۲/۶۹	سراب‌هنده	۲۴/۶۰	۳۹/۷۴
بنکوه	۱۸/۲۶	۱۷/۸۲	صالح‌آباد	۱۷/۶۸	۴۹/۷۲
نمرود	۶۵/۸۲	۴۳/۴۸	حاجی‌عرب	۳۲/۶۰	۲۸/۹۸
رازین	۵۲/۳۳	۴۵/۶۵	حبله رود	۸/۳۱	۱۲/۸۳
سولان	۴۰/۷۴	۱۸/۱۷	اسکلدری	۳۷/۰۶	۵۳/۹۱
سیرا	۴۲/۶۳	۳۳/۲۲	جیرفتو	۳۹/۶۴	۶۳/۸۳
رودک	۴۰/۴۲	۳۹/۱۶	ده‌صومعه	۱/۱۷	۳۹/۵۸
درکه	۵۰/۳۳	۵۱/۴۶	اسفرجان	۷۷/۸۱	۷۰/۸۴
اسفراین	۳۴/۶۴	۳۳/۸۱	قریه‌العرب	۸۲/۷۲	۷۸/۴۸
جلایر	۶۹/۳۵	۴۸/۴۸	سیمین‌دشت	۱۸/۸۷	۱۶/۰۰
سولقان	۷۰/۹۴	۳۶/۸۵			

لازم به ذکر است کاربرد دیگر روش کریگر در مواقعی است که دبی حداکثر سیلاب در یک ایستگاه اندازه‌گیری و به حوضه‌ای فرعی و یا بزرگتر، تعمیم می‌یابد. در این حالت فرض بر این است که مقدار ضریب منطقه‌ای در دو حوضه مبنا و فاقد آمار برابر بوده و در نتیجه با معلوم بودن مقدار دبی حداکثر در حوضه مبنا (Q_1) و همچنین با مشخص بودن پارامتر مساحت در هر دو حوضه (A_1 و A_2)، می‌توان مقدار دبی حداکثر را در حوضه دوم (Q_2)، محاسبه کرد (مهدوی، ۱۳۸۶:۱۶۸) (رابطه ۹).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{A_1^{(0.894 A_1^{-0.048})}}{A_2^{(0.894 A_2^{-0.048})}} \quad (9)$$

نتایج نسبت ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر در ایستگاه‌های همجوار منطقه در جدول (۶)، ذکر گردیده است.

اعتبارسنجی ضرایب

با استفاده از ۲۰ درصد مجموع کل داده‌های دبی حداکثر هر ایستگاه، که از همان بدو کار به‌عنوان داده‌های مشاهداتی، تفکیک گردیده بود، ضرایب کریگر با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله، با استفاده از رابطه ویبول، استخراج گردید. سپس اعتبارسنجی ضریب کریگر در ایستگاه‌های مطالعاتی با استفاده از ضریب نش-ساتکلیف (E_{NS}) و آماره میانگین مطلق درصد خطا، در هر ایستگاه انجام شد که نتایج آن در جدول (۷)، ذکر گردیده است. ضریب نش-ساتکلیف، اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند که مقدار بیشتر از ۰/۵ این فاکتور نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل می‌باشد (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹).

بر اساس نتایج جدول (۴)، مقدار ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر در حوضه ایران مرکزی ارقام بسیار پائینی را به خود اختصاص می‌دهد. به‌نحوی که با دوره بازگشت ۵۰ سال، بیشترین مقدار این ضریب، برابر با ۱۵/۰۸ در ایستگاه دامن، واقع در زیر حوضه جازموریان، در جنوب شرقی حوضه ایران مرکزی و کمترین مقدار آن حدود ۰/۳۴ در ایستگاه سولان واقع در زیر حوضه دریاچه‌نمک، در شمال غرب حوضه ایران مرکزی می‌باشد. بر اساس نتایج جدول (۷)، تعمیم دبی حداکثر به سایر ایستگاه‌های همجوار فقط بر اساس پارامتر مساحت، از جمله موارد ایجاد خطای فاحش در برآورد دبی‌های سیلابی حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد. به‌عنوان نمونه چنانچه در جدول (۷) مشاهده گردید، علی‌رغم همجواری دو ایستگاه جیرفتو و قریه‌العرب، ضریب منطقه‌ای ایستگاه جیرفتو با دوره بازگشت ۲ سال، ۳/۴۲ برابر ضریب مزبور در ایستگاه عمرآباد می‌باشد.

جدول ۳ ارقام کای اسکوتر و P-Value مربوط به توزیع‌های منتخب ایستگاه‌های مطالعاتی*

ایستگاه	توزیع	کای اسکوتر	P-Value	ایستگاه	توزیع	کای اسکوتر	P-Value
سرآب هنده	G	۰/۱۴۰۴	۰/۹۳۲۱	سیرا	Fr	۰/۱۴۹۶	۰/۹۲۷۸
یالقان	W	۰/۲۲۰۱	۰/۸۹۵۷	سولقان	Cau	۰/۴۳۳۷	۰/۸۰۳۸
سولان	P	۰/۲۸۲۱	۰/۸۶۸۴	رودک	P	۰/۰۹۳	۰/۹۹۲۶
صالح آباد	Cau	۰/۱۰۵۲	۰/۹۴۸۷	درکه	Gen.G	۰/۰۰۹۷	۰/۹۹۵۱
عمرآباد	Cau	۰/۰۲۸۸	۰/۹۸۵۶	اسکندری	Kum	۰/۲۵۴۶	۰/۸۸
جلایر	Fr	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۰۵	اسفرجان	Cau	۲/۵۹	۰/۲۷۳۰
رازین	Fr	۰/۰۴۰۷	۰/۸۴	مندرجان	LN	۰/۹۲۹۲	۰/۶۲۸۳
حاجی عرب	Expo	۰/۰۷۷۲	۰/۹۶۲۱	چمریز	Expo	۰/۰۵۳۲	۰/۹۷۳۷
دریند	W	۰/۱۹۲۹	۰/۹۷۸۷	دامن	Gen.Ev	۰/۹۳۷۶	۰/۸۱۶۳
ده صومعه	P	۰/۰۰۰۲	۰/۹۸۸۵	جیرفتو	Gen.Par	۱/۵۹۱۳	۰/۶۶۱۳
گدارزار	Fr	۰/۰۱۴۶	۰/۹۰۳۶	قریه	Cau	۳/۹۳	۰/۱۳۹۹
حبله رود	Expo	۰/۱۴۸۶	۰/۹۲۸۳	نمرود	Gen.Par	۰/۹۵۱۱	۰/۸۱۳۰
اسفراین	Fr	۰/۰۰۲	۰/۹۵۸۰	سیمین	Cau	۰/۱۸۲۱	۰/۹۱۲۹
عراقی	Gen.Par	۰/۰۰۶	۰/۹۳۷۶	دلیچای	P	۰/۰۰۴	۰/۹۴۷۶
بنکوه	Expo	۰/۳۴۳۷	۰/۸۴۲۰				

*علائم اختصاری توزیع‌های آماری به کار رفته در جدول شماره ۳: Par: پارتو، GenPar: پارتو تعمیم‌یافته، Fr: فریچت، GenEv: مقادیر حد تعمیم‌یافته، InvGauss: معکوس گوسین، Gumb: گمبل، LP: لوگ پیرسون نوع سوم، G: گاما، Expo: نمایی، N: نرمال، GenG: گامای تعمیم‌یافته، W: ویبول، Cau: کوشی، LN: لوگ نرمال و Ray: ریلینگ و Kum: کومارسی است.

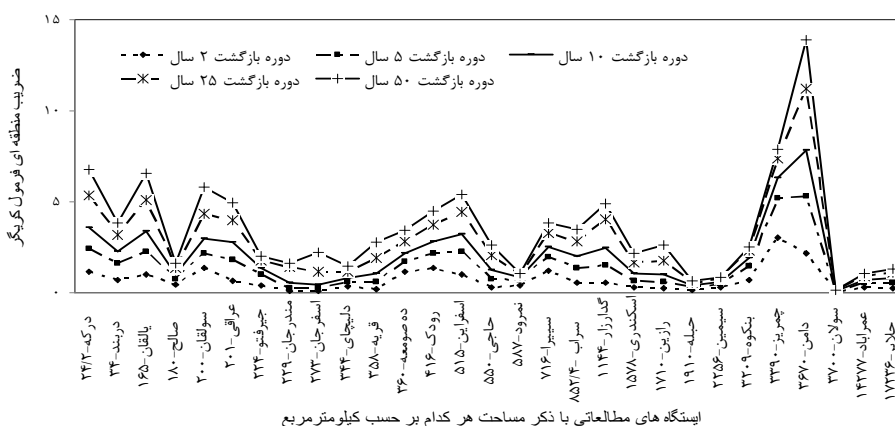
جدول ۴ توزیع منتخب، دبی حداکثر و ضریب کریگر در برخی ایستگاه‌های مطالعاتی*

ایستگاه	توزیع							
	عمرآباد	صالح	سولان	یالقان	سرآب	دامن	قریه	عراقی
	Cau	Cau	P	W	G	GenEv	Cau	GenPar
۲	۷۰/۹۲	۱۳/۳۲	۴/۹۴	۲۶/۲۶	۳۷/۸۸	۳۶۴/۲۷	۵/۷۹	۱۴/۸
۵	۱۱۲/۳۱	۲۰/۲۶	۱۰/۴۶	۶۱/۹۸	۹۷/۱۹	۷۲۵/۳۴	۱۵/۴۹	۴۴/۵۲
۱۰	۱۶۳/۴۶	۲۸/۸۴	۱۶/۶۶	۹۲/۲۳	۱۴۳/۸	۱۰۳۲	۲۷/۴۹	۷۳/۲
۲۵	۳۰۸/۹۲	۵۳/۲۴	۲۹/۳	۱۳۵/۱۷	۲۰۶/۶۱	۱۵۰۰	۶۱/۵۹	۱۲۱/۷
۵۰	۵۴۸/۸۱	۹۳/۴۸	۹۳/۴۸	۱۶۹/۴۲	۲۵۴/۶۲	۱۹۱۵	۱۱۷/۸۳	۱۶۷/۵۱
C	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۰۳	۰/۹۶	۰/۵۷	۲/۸۷	۰/۱۳	۰/۴۸

۱/۴۵	۰/۳۶	۵/۷۱	۱/۴۷	۲/۲۷	۰/۰۸۲	۰/۷۰۵	۰/۵۲	۵	
۲/۳۹	۰/۶۵	۸/۱۳	۲/۱۸	۳/۳۷	۰/۱۳	۱/۰۰۴	۰/۷۷	۱۰	
۳/۹۷	۱/۴۵	۱۱/۸۱	۳/۱۳	۴/۹۵	۰/۲۳	۱/۸۵	۱/۴۵	۲۵	
۵/۵۰	۲/۷۹	۱۵/۰۸	۳/۸۶	۶/۲	۰/۳۴	۳/۲۵	۲/۵۸	۵۰	
بنکوه	جلایر	اسفراین	گدازار	حبله‌رود	نمرود	سیمین	دلیچای	ایستگاه	
Expo	Fr	Fr	Fr	Expo	GenPar	Cau	P		
۸۱/۰۸	۵۵/۰۵	۳۷/۱۸	۴۵/۳۸	۱۰/۳۶	۱۹/۸۶	۳۳/۸۸	۱۴/۱۴	۲	Q (m ³ /s)
۱۸۸۳	۱۱۹/۱۹	۸۵/۸۵	۱۰۷/۸	۲۴/۰۷	۳۲/۵	۴۷/۹۶	۲۴/۳۸	۵	
۲۶۹/۳۶	۱۸۳/۲	۱۴۰/۵۲	۱۸۱/۴	۳۴/۴۳	۳۸/۶	۶۵/۳۷	۳۳/۷۲	۱۰	
۳۷۶/۵۶	۳۰۱/۲۴	۲۵۳/۲۳	۳۴۰/۳	۴۸/۱۴	۴۳/۸	۱۱۴/۸۸	۴۷/۳۷	۲۵	
۴۵۷/۶۴	۴۲۶/۹۶	۳۸۶/۵۴	۵۳۶/۶۴	۵۸/۵۱	۴۶/۳۱	۳۵۹/۴۹	۶۴/۵۲	۵۰	
۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۷۲	۰/۵۹	۰/۱۰۷	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۴	۲	C
۱/۵۶	۰/۵۲	۱/۶۷	۱/۴۲	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۵۹	۵	
۲/۲۴	۰/۸۰	۲/۷۴	۲/۳۹	۰/۳۵	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۸۱	۱۰	
۳/۱۳	۱/۳۳	۴/۹۵	۴/۴۸	۰/۵۰	۰/۸۰	۱/۱۱	۱/۱۹	۲۵	
۳/۸۱	۱/۸۸	۷/۵۵	۷/۰۷	۰/۶۰	۰/۸۴	۳/۴۸	۱/۵۶	۵۰	
حاجی	رازین	جیرفتو	درکه	اسکندری	اسفرجان	مندرجان	چمریز	ایستگاه	
Expo	Fr	GenPar	GenG	Kum	Cau	LN	Expo		
۱۷/۲۸	۲۲/۰۷	۱۵/۲۵	۱۰/۶۹	۲۷/۵۷	۲/۱۵	۲/۰۷	۲۸۰/۱	۲	Q (m ³ /s)
۴۰/۱۴	۵۵/۸۷	۳۴/۵۳	۲۱/۴۸	۸۱/۵۲	۴/۵۸	۶/۹۹	۶۵۰/۳۷	۵	
۵۷/۴۲	۱۰۳/۳۴	۴۶/۹۶	۲۹/۱۲	۱۲۰/۷۱	۷/۵۹	۱۳/۱۹	۹۳۰/۴۷	۱۰	
۸۰/۲۸	۲۲۴/۷۲	۶۰/۹۸	۳۸/۸۹	۱۶۲/۱۵	۱۶/۱۳	۲۵/۹۵	۱۳۰۰/۷	۲۵	
۹۷/۵۶	۳۹۹/۸۷	۷۰/۰۲	۴۶/۱۱	۱۸۵/۴۲	۳۰/۲۳	۴۰/۱۸	۱۵۸۰/۸	۵۰	
۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۴۶	۱/۳۶	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۲/۲۸	۲	C
۰/۷۵	۰/۶۱	۱/۰۶	۲/۷۴	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۲۱	۵/۲۹	۵	
۱/۰۸	۱/۱۳	۱/۴۴	۳/۷۱	۱/۳۷	۰/۲۰	۰/۴۰	۷/۵۷	۱۰	
۱/۵۱	۲/۴۶	۱/۸۷	۴/۹۶	۱/۸۴	۰/۴۴	۰/۷۸	۱۰/۵۹	۲۵	
۱/۸۴	۴/۳۷	۲/۱۵	۵/۸۸	۲/۱۰	۰/۸۳	۱/۲۱	۱۲/۸۷	۵۰	

جدول ۵ ضریب کریگر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف در زیرحوضه‌های ایران مرکزی

زیر حوضه	تعداد ایستگاه‌ها	دامنه تغییرات ضریب کریگر				
		۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
جازموریان	۱	۱۵/۰۸	۱۱/۸۱	۸/۱۳	۵/۷۱	۲/۸۷
گاوخونی	۳	۰/۸۳-۲/۱	۰/۴۴-۱/۸۴	۰/۲۰-۱/۳۷	۰/۱۲-۰/۹۲	۰/۰۳-۰/۰۵
یزد - کرمان	۳	۲/۱-۷/۰۷	۱/۴۵-۴/۴۸	۰/۶۵-۲/۳۹	۰/۳۶-۱/۴۲	۰/۱۳-۰/۵۹
دریاچه نمک	۱۴	۰/۳۴-۱۰/۹۷	۰/۲۳-۶/۱۱	۰/۸۷-۳/۳۷	۰/۰۸-۲/۷	۰/۰۳-۱/۳۶
دشت کویر	۷	۰/۶-۷/۵۵	۰/۵۰-۴/۹۵	۰/۳۵-۲/۷۴	۰/۲۵-۱/۶۷	۰/۱۰-۰/۷۲
بختگان	۱	۱۲/۸۷	۱۰/۵۹	۷/۵۷	۵/۲۹	۲/۲۸
مجموع	۲۹	۰/۶-۱۵/۰۸	۰/۲۳-۱۱/۸	۰/۲-۸/۱۳	۰/۰۸-۵/۷۱	۰/۰۳-۲/۸۷



ایستگاه‌های مطالعاتی با ذکر مساحت هر کدام بر حسب کیلومتر مربع

شکل ۲ ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر با دوره بازگشت‌های ۲ و ۵۰ ساله در ایستگاه‌های مطالعاتی به ترتیب مساحت (کیلومتر مربع)

جدول ۶ نسبت ضریب منطقه‌ای در ایستگاه‌های همجوار

زیر حوضه	ایستگاه‌ها	فاصله دو ایستگاه (کیلومتر)	نسبت ضریب کریگر در دو ایستگاه با دوره بازگشت‌های مختلف		
			۱۰	۵	۲
دشت کویر	بنکوه- دلپچای	۲۶۳	۱/۹۷	۲/۶۶	۲/۸۷
	بنکوه- سیمین دشت	۲۵/۹	۲/۰۶	۳/۳۸	۳/۵۶
	دلپچای- سیمین دشت	۲/۱۴	۱/۰۴	۱/۲۷	۱/۲۹
	نمرود- حبله رود	۱۰/۵۱	۳/۳۹	۲/۳۸	۱/۹۷
	اسفراین- عراقی	۱۴/۳	۱/۵۱	۱/۱۶	۱/۱۵
دریاچه نمک قم	یالقان- سولان	۱۸/۱	۲۵/۳۶	۲۷/۶۸	۲۵/۹۲
	یالقان- صالح آباد	۳۳/۳	۳/۲۴	۳/۳۶	۲/۰۷
	عمرآباد- سولان	۳۵/۵	۸/۶۸	۶/۵	۵/۹
	رازین- جلایر	۱۶۹۵	۱	۱/۱۶	۱/۰۴
	ده صومعه- دریند	۱۳/۵	۲/۱۶	۱/۲۴	۱
گاوخونی	درکه- رودک	۱۶/۶	۱/۰۵	۱/۳۳	۱/۳۹
	اسکندری- مندرجان	۱۷/۳	۵/۱۷	۴/۳۸	۳/۴۳
یزد- کرمان	جیرفتو- قریه العرب	۱۶/۹۴	۳/۴۲	۲/۸۹	۲/۲۲

جدول ۷ نتایج حاصل از اعتبارسنجی ضریب منطقه‌ای

ایستگاه	سراب هنده	یالقان	سولان	صالح آباد	عمرآباد	مندرجان	رازین	سیرا	دریند	عراقی
ENS	-۱۵۸۳۰	۰/۵۷	۰/۶۶	-۰/۰۹	۰/۳۶	-۵/۸۳	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۴۵
MAPE	۶۷/۹۷	۲۷/۷۸	۳۰/۳۳	۴۷/۶۹	۴۳/۵۵	۱۱۵/۲۹	۶۹/۹۹	۱۰/۲۲	۱۴/۸۲	۳۴/۸۴
ایستگاه	حاجی عرب	رودک	نمرود	حبله‌رود	اسکندری	اسفرجان	جلایر	چمریز	دامن	جیرفتو
ENS	۰/۵۰	۰/۷۸	۰/۵۰	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۷۹	۰/۱۷	۰/۸۵	-۲/۰۰	-۱۱۴/۱۸
MAPE	۳۲/۰۴	۲۱/۶۹	۴۰/۶۵	۵۱/۳۹	۳۵/۲۱	۲۳/۵۵	۵۲/۳۱	۲۱/۶۴	۹۳/۱۴	۳۶۶/۱۵
ایستگاه	قریه‌العرب	گدازار	درکه	بنکوه	اسفراین	دلیچای	سولقان	ده‌صومعه	سیمین‌دشت	
ENS	-۱۰/۱۲	۰/۶۸	۰/۲۴	-۳/۶۶	۰/۲۱	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۹۶
MAPE	۱۲۲/۷۵	۲۵/۵۵	۴۰/۳۶	۱۰۵/۲۲	۵۰/۲۶	۳/۱۵	۱۰/۸۷	۲۰/۹۴	۱۱/۴۴	

۵. نتیجه‌گیری

از آنجائی که برآورد دبی سیلابی در مناطق بدون آمار مهم‌ترین مشکل برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب می‌باشد، نیاز به بهره‌گیری مناسب از روش‌های ساده و کارآمد، همانند استفاده از فرمول‌های تجربی که به داده‌های کم حساس نباشند، امری اجتناب‌ناپذیر است و در این بین، واسنجی ضرایب منطقه‌ای آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است.

معمولاً تصور براین است که با افزایش مساحت حوضه، مقدار دبی حداکثر افزایش می‌یابد، لکن با وجود تفاوت واضح در مساحت حوضه‌های مطالعاتی، ارتباط معنی‌داری بین مساحت و ضریب منطقه‌ای فرمول کریگر در حوضه ایران مرکزی مشاهده نگردید (شکل ۲). این احتمال وجود دارد که با توجه به ساختار و ماهیت فرمول کریگر از لحاظ شرایط منطقه‌ای که مدل برای اولین بار در آن ارائه شده است، تنوع اقلیمی و زمین‌ساختی و مرفولوژیکی حاکم در حوضه ایران مرکزی، باعث کم‌رنگ شدن پارامتر مساحت گردیده است.

لذا مقدار ضریب منطقه‌ای در مساحت‌های متفاوت، روند خاصی را کسب نکرده و عدم همبستگی این دو پارامتر در دوره بازگشت‌های مختلف کاملاً واضح می‌باشد. لیکن بر اساس همجواری ایستگاه‌های مطالعاتی در منطقه، بازه خاصی برای مقدار این ضریب بیان گردید (جدول ۶).

همچنین در برخی از ایستگاه‌های همجوار، با افزایش دوره بازگشت، خطای تعمیم بیشتری می‌شود. لذا در مواردی که برآورد دبی با دوره بازگشت‌های بالاتر مد نظر باشد، بالتبع برآورد دبی حداکثر در حوضه فاقد آمار، میزان خطا را افزایش خواهد داد.

با توجه به منفی بودن ضریب نش-ساتکلیف (جدول ۷)، در ایستگاه‌های سراب‌هنده، صالح‌آباد، مندرجان، دامن، جیرفتو، قریه‌العرب و بنکوه، روش تجربی کریگر مدل دقیق و با اعتبار بالایی جهت برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای

نمی‌باشد. در ایستگاه‌های عمرآباد، جلایر، درکه، اسکندری، حبله‌رود، اسفراین و عراقی، هر چند مقدار این آماره مثبت است، ولی اعتبار زیادی جهت برآورد دبی حداکثر ندارد. در سایر ایستگاه‌ها، مقدار این آماره بیشتر از ۰/۵ بوده که نشان از اعتبار مدل کریگر در برآورد دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ ساله دارد. با توجه به آماره MAPE نیز میانگین خطای مطلق روش کریگر در کل حوضه ایران مرکزی ۵۴/۸۵ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مهدوی و خلیقی (۱۳۷۶)، مبنی بر هم‌خوانی ضرایب منطقه‌ای در حوضه مورد بررسی، تا حدودی متفاوت بوده است و در بیشتر حوضه‌ها مقادیر این ضریب کاهش یافته است. که با توجه به اختلاف دوره‌های آماری، احتمالاً به مبحث روند تغییرات اقلیمی، ارتباط دارد که تحقیقات خاص خود را می‌طلبد. همچنین نتایج این تحقیق با یافته‌های سیدعلی و همکاران (۱۳۸۹)، مبنی بر پایین بودن ضرایب منطقه‌ای در منطقه همخوانی دارد. بطور کلی مقادیر ضریب حاصله در این پژوهش نسبت به تحقیق کرکوتی و همکاران (۲۰۱۰)، کمتر بوده که یقیناً به اختلاف حوضه‌های مطالعاتی ارتباط دارد.

فهرست منابع و مآخذ

- اخوان، سمیرا، عابدی کوپایی، جهانگیر، موسوی، سید فرهاد، عباسپور، کریم، افیونی، مجید و اسلامیان، سید سعید. (۱۳۸۹). تخمین آب آبی و آب سبز با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان، بهار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۳.
- اعتمادی، حسین. (۱۳۷۶). بررسی تغییرات ضریب رواناب سطحی در یک حوزه آبخیز (مطالعه موردی در حوزه آبخیز درجزین سمنان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر محمد مهدوی، دانشگاه تربیت مدرس. ۸۶ ص.
- جایدی، اعظم، فتح‌زاده، علی، تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله، دستورانی، محمدتقی، فتاحی اردکانی، احمد، (۱۳۹۱). مقایسه روش‌های مختلف بازسازی و تطویل داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۴، شماره ۴.
- حیات‌زاده، مهدی. (۱۳۸۷). ارزیابی کارایی روش تجربی فولر در برآورد دبی حداکثر جریان و کالیبراسیون ضریب منطقه‌ای آن در محدوده ایران مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر محمد تقی دستورانی، دانشگاه یزد. ۱۶۸ ص.
- زارع سلمان، حزبی عبدالجلیل، جندقی نادر، عباسی محسن. (۱۳۸۸). برآورد دبی حداکثر سیل در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روابط تجربی برای حوزه‌های کوچک (مطالعه موردی: حوزه آبریز تولبته گرگان) پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دانشگاه گرگان، ایران.
- سیدعلی، سمیه، فتح‌زاده، علی، عسگری، مهری و حبیبی کرد علیوند، سمیه. (۱۳۸۸). واسنجی ضریب منطقه‌ای کریگر در نواحی خشک (مطالعه موردی استان یزد). دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.

- کرکوتی، علیرضا، نظریها، مهرداد، باغوند، اکبر، جعفری سلیم، بابک، کرباسی، عبدالرضا، وثوق، علی، (۱۳۸۹). برآورد مقدار سیلاب حداکثر به روشهای مشاهده‌ای، کریگر و SCS (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو در کرمانشاه)، فصلنامه محیط شناسی، ۵۵، ۹۹-۱۱۰.
- محمدپور، مسلم، آخوندعلی، علی محمد و نساجی زواره، مجتبی. (۱۳۸۶). برآورد آبدهی در حوزه‌های فاقد آمار به روش ایگر و جاستین (مطالعه موردی حوزه آبریز رودخانه‌های اعلاء و رود زرد)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر، انجمن مهندسی آبیاری و آب، ص ۸.
- مهدوی، محمد. (۱۳۹۰). هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ چهارم.
- مهدوی، محمد و خلیقی سیگارودی، شهرام. (۱۳۷۶). بررسی ضریب منطقه‌ای کریگر در ایران. مجله منابع طبیعی، جلد ۵۰ شماره ۲.
- وفاخواه، مهدی و ایزانلو حسن. (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های مختلف برآورد دبی حداکثر سیلاب در حوزه آبریز کوشک آباد خراسان رضوی. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- هادیان‌امری، محمدعلی، حبیب‌نژادروشن، محمود و امیدوار، ابراهیم. (۱۳۸۹). ارزیابی توزیع‌های مختلف آماری در برآورد دبی حداکثر سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در حوزه آبریز تجن، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدوی، محمد، وفاخواه مهدی، ایوب زاده سیدعلی، علی اکبر جمالی، (۱۳۸۹). بررسی حساسیت تعدادی از روش‌های تجربی هیدرولوژیکی در برآورد دبی حداکثر نسبت به سطح حوزه در برخی از حوزه‌های آبخیز ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۷ (۲)، ۴۱۴-۴۰۳.
- یزدانی، محمدرضا، مهدوی، محمد، حسینی‌چگینی، ابراهیم و وفاخواه، مهدی. (۱۳۸۵). برآورد بیشترین بده لحظه‌ای سیل در حوزه‌های آبخیز کوچک، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۲، ص ۳۶۳-۳۵۳.
- Akhavan, S., Abedi Koupae, J., Mousavi, S.F., Abbaspour, K., Afyuni, M., Eslamian, S.S., 2010. Estimation of Blue Water and Green Water Using SWAT Model in Hamadan-Bahar Watershed, *Soil and Water Science* 14(53), 9-23.
- Amini, M., Abbaspour, K. C., Khademi, H., Fathianpour, N., Afyuni, M. and Schulin, R. 2005. Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *Euro. Journal Soil Science* 53, 748-757.
- Biondic, D., Barbalic, D., Petras, J. 2002a. Envelope curves of maximum specific discharges in the Danube River catchment area in Croatia. In: Proc. XXIst Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management (Bucharest, Romania).
- Biondic, D., Barbalic, D., Petras, J. 2002b. Creager and Francou-Rodier envelope curves for extreme floods in the Danube River basin in Croatia. Predictions in Ungauged Basins: PUB Kick-off (Proceedings of the PUB Kick-off meeting held in Brasilia, November). IAHS Publ. 309 pp.
- Etemadi, H., 1997. Investigation on Runoff Coefficient variation in a watershed (Case study: Darjazin Watershed, Semnan), M.Sc Thesis, University of Tarbiat Modarres, Tehran. 86 pp.

- Hadian Amri, M.A., Habibnejad Roshan, M., Omidvar, E., 2010. Evaluation of some statistical distribution in order to peak flood estimation with different return periods in Tajan watershed, 6th National conference of engineering and science of watershed management, Natural resources college of Tarbiat Modarres University, Noor, Iran.
- Hayat Zadeh, M., 2008. Evaluation of Fuller Empirical Formula in Peak Flood data and Calibration of it's Regional Coefficient in Central part of Iran, M.Sc Thesis, University of Yazd, Yazd. 168 pp.
- Hinks, J.L., Dedja, Y. 2002. Rehabilitation of Irrigation Dams in Albania in Reservoirs in a Changing World, 12th Conference of the British Dam Society.
- Jamali, A.A., Ayyoubzadeh, S.A. & Mahdavi, M. 2006. Calibration of hydrologic empirical method for estimating the flood peak in the Uromia lake watershed in Iran. 1st National Symposium on hydropower, flood control and water, Iran.
- Jaydari, A., Fathzadeh, A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Dastorani, M.T., Fatahi, A., 2011. Comparison of the efficiency of different methods for reconstruction and prolongation of instantaneous peak flow data, *Journal of Range and Watershed Management* 64(4), 387-399.
- Karkouti A.R., Nazariha M., Baghvand A., Jafari Salim B., Karbasi A.R., Vosough A., 2010. Determination of maximum flood flow by use of sampling (observe) Creager and SCS method (Case study: Gharasoo river, Kermanshah, Iran), *Journal of Environmental Studies* 36 (55), 99-110.
- Mahdavi, M., 2011. *Applied Hydrology*, University of Tehran Publication, Vol. 2, 441 p.
- Mahdavi, M., Kalighi, S., 1997. Investigation on Regional Coefficient of Creager in Iran, *Iranian Journal of Natural Resources* 50 (2), 91-99.
- Mahdavi, M., Jamali, A. A., Ayyoubzadeh, S. A., Vafakhah, M., 2010. A Sensitivity Study of some Hydrologic Empirical Methods for Estimating Flood Peak as Related to Drainage Area in Watersheds in Iran, *Iranian Journal of Natural Resources* 57 (2), 403-414.
- Mohammadpoor, M., Akhooonali, A.M., Nassaji Zavvareh, M., 2007. Estimation of runoff in no-data watersheds by ICAR and Justin method (Case study: A'ala & Zard river), 9th national conference of irrigation and reduce evaporation, Kerman, Iran.
- Ohnishi, R., Kato, T., Imaizumi, M., & Tanji, H. 2004. A Study to determine an equation of enveloping curve for regional flood peaks by maximum rainfall data. *Paddy Water Environment* 2, 83-90.
- Seyedali, S.S., Fathzadeh, A., Asgari, M., Habibi, S., 2009. Calibration of Regional Coefficient of Creager in Arid Area (Case Study: Yazd Province), 2nd National Conference on Drought Effect and its Management options, Isfahan, Iran.
- Vafakhah, M., Izanloo, H., 2009. Comparison of some peak flood discharge formula in Kooshk Abad watershed of Razavi Khorasan, 5th National conference of engineering and science of watershed management, Gorgan, Iran.
- Yang, Z.P., Lu, W.X., Long, Y.Q. 2009. Application and comparison of two prediction models for groundwater levels: A case study in Western Jilin Province, China, *Journal of Arid Environments* 73, 487-492.
- Yazdani, M.R., Mahdavi, M., Hosseini Chegini, E., Vafakhah, M., 2006. Maximum Flood Discharge Estimation for Small Watersheds, *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(2), 353-363.

Zare, S., Jandaghi, N., Abbasi, M., 2009. Estimation of peak flood discharge at different return period using empirical formula for small watersheds (Case study: Tulbaneh of Gorgan watershed), 5th National conference of engineering and science of watershed management, Gorgan, Iran.