

## گزارش فنی

# بررسی کارایی مدل‌های بارش-رواناب GR2M و GR4J در شبیه‌سازی جریان حوضه آبخیز دره تخت

فاطمه زندی دره‌غریبی<sup>۱</sup>، زهره خورسندی کوهانستانی<sup>۲\*</sup>، ملیحه مزین<sup>۳</sup> و نسیم آرمان<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران و <sup>۲،۳،۴</sup> استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۵

### چکیده

شبیه‌سازی جریان از مباحث اصلی هیدرولوژی است و برای مطالعه آن به‌طور معمول از مدل‌های بارش-رواناب استفاده می‌شود. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده شده‌ای از سامانه هیدرولوژی واقعی هستند که به مطالعه کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرایندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. با توجه به تنوع مدل‌های بارش-رواناب در دسترس، انتخاب یک مدل مناسب برای حوضه به‌منظور بهره‌وری و مدیریت منابع آب ضروری می‌باشد. بنابراین انتخاب مدل نیاز به تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های هیدرولوژی حوضه دارد. در این مقاله کارایی دو مدل بارش-رواناب GR2M و GR4J در شبیه‌سازی جریان حوضه دره تخت در استان لرستان در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۷۹ مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی کارایی این دو مدل از ضریب نش ساتکلیف استفاده شد که مقدار آن به ترتیب ۰/۴۲۷ و ۰/۶۶۵ به دست آمد. نتایج نشان داد دو مدل جریان را با دقت متوسط تا خوب شبیه‌سازی می‌کنند، ولی با توجه به معیار نش، کارایی مدل GR2M در شبیه‌سازی جریان از مدل GR4J بیشتر است.

**واژه‌های کلیدی:** استان لرستان، شبیه‌سازی رواناب، مدل بارش رواناب، مدیریت منابع آب، مدل GR

### مقدمه

اطلاعات کافی نیست یا وجود ندارد. کمبود آمار و داده‌های اندازه‌گیری شده باعث افزایش استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای مدیریت حوضه‌های آبخیز شده است.

مدل‌های هیدرولوژیکی که در دهه‌های اخیر ارائه شده‌اند سعی در ساده‌تر کردن رفتار سامانه‌های طبیعی داشته‌اند (Kumar, ۲۰۱۱). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به عامل‌هایی از قبیل توانایی شبیه‌سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، بار رسوب و غیره)، دقت و داده‌های در دسترس است و باید به‌گونه‌ای باشد که فرایندهای

مدل‌سازی جریان اولین گام در مدیریت منابع آب (Traore و همکاران، ۲۰۱۴) و از ابزارهای موثر و کارآمد برای برنامه‌ریزی (Rwasoka و همکاران، ۲۰۱۳) و تنها راه برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه به‌منظور ارزیابی توان آن در تولید آب است (Traore و همکاران، ۲۰۱۴) که برآورد آن با توسل به مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی که از روش‌های مختلف نظری بهره‌مند می‌شوند، صورت می‌گیرد. داده‌های دبی و رژیم جریان رودخانه از اطلاعات مهم برای مدیریت منابع آب می‌باشد، اما در اغلب حوضه‌های آبخیز، این

\* مسئول مکاتبات: khorsandi@bkatu.ac.ir

مازندران ارزیابی کردند نتایج این مطالعه نشان داد که این مدل در مناطق با آب و هوای خشک نتیجه بهتری از مناطق با آب و هوای مرطوب ارائه می‌دهد. Mailhot و همکاران (۲۰۰۸) مدل GR2M را برای برآورد دبی در حوضه‌های کشور کانادا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بعد از واسنجی این مدل دبی را با دقت بهتری شبیه‌سازی می‌کند.

Ruelland و Dezetter (۲۰۱۲)، به‌منظور شبیه‌سازی جریان ماهانه برای دوره ۱۸ ساله‌ای که طی آن شرایط آب و هوایی و هیدرولوژیکی منطقه مورد نظر با تغییر مواجه شده بود از مدل GR2M و GR2M-NDVIApr استفاده کردند نتایج نشان داد که عملکرد مدل GR2M-NDVIApr به دلیل استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بهتر از GR2M است. Rwasoka و همکاران (۲۰۱۴)، برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه رودخانه‌ای در زیمبابوه از مدل GR2M استفاده کردند، نتایج نشان داد که عملکرد مدل با وجود ورودی‌های کم کاملاً رضایت‌بخش بوده، این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای مدیریت منابع آب به‌ویژه در مناطق با داده‌های ناکافی در نظر گرفته شود.

Hernandez و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه رودخانه Nazas از مدل GR2M استفاده کردند، نتایج نشان داد بین مقادیر شبیه‌سازی جریان و مقادیر مشاهده‌ای همبستگی خوبی وجود دارد و کارایی مدل در حد رضایت‌بخش بوده است. Harlan و همکاران (۲۰۱۰)، طی تحقیقی کارایی دو مدل GR4J و NRECA را در برآورد دبی روزانه با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج بر کارایی بهتر مدل GR4J دلالت دارد. Zhang و همکاران (۲۰۱۳)، در حوضه Reef از سه مدل Simhyd، Sacramento و GR4J برای برآورد دبی روزانه استفاده کردند که نتایج نشان داد با توجه به ضریب تعیین وضرب نش عملکرد سه مدل مناسب بوده است. Traore و همکاران (۲۰۱۴)، به‌منظور بررسی رژیم جریان رودخانه Koulountou از دو مدل GR2M و GR4J استفاده کردند که نتایج نشان داد کارایی مدل‌ها با توجه به معیار نش ساتکلیم مناسب بوده است.

با توجه به فراوانی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار در کشور استفاده از مدل‌های بارش-رواناب در کشور

هیدرولوژی داخل حوضه را به‌خوبی ثبت کند و قدرت پیش‌بینی بالایی داشته باشد (McMillan و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، پارامترهای این مدل‌ها به داده‌های ورودی وابسته است که کیفیت داده‌های ورودی به دلیل خطا در اندازه‌گیری متفاوت است (Bardossy و Singh، ۲۰۰۸). مدل‌های بارش-رواناب ابزار مهم مورد استفاده در هیدرولوژی هستند که کاربران را قادر به پیش‌بینی رواناب حاصل از بارش در حوزه آبخیز می‌نمایند (Traore و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل‌های حوضه آبی را می‌توان بر اساس نحوه مواجهه با مولفه‌های مکانی مربوط به هیدرولوژی حوضه به دو دسته کلی مدل‌های یکپارچه و توزیعی تقسیم نمود (Zhou و Wang، ۲۰۰۸؛ Goodarzi و همکاران، ۲۰۱۲). در مدل‌های یکپارچه حوزه آبخیز به‌عنوان یک کل در نظر گرفته می‌شود (Torma و همکاران، ۲۰۱۴) و تنوع مکانی از نظر پوشش گیاهی، خاک و توپوگرافی نادیده گرفته می‌شود (Amir و همکاران، ۲۰۱۳) و رواناب تنها در خروجی حوزه آبخیز برآورد می‌شود (Nourani و همکاران، ۲۰۱۱). در مقابل مدل‌های یکپارچه، مدل‌های توزیعی قرار دارند که به داده‌ها و پارامترهای زیادی نیاز دارند (Tang و همکاران، ۲۰۰۷) و محاسبه آن‌ها دشوار بوده که این امر ممکن است کارایی آن‌ها را برای شبیه‌سازی جریان محدود کند (Apip و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل‌های بارش-رواناب GR<sup>۱</sup> از مدل‌های مفهومی و یکپارچه بوده که به‌وسیله مرکز تحقیقات فرانسه توسعه داده شده است. در این مدل‌ها تبخیر و تعرق پتانسیل (E) و بارش مشاهده‌ای (P) به‌عنوان ورودی‌های مدل استفاده می‌شود و رواناب را در خروجی حوضه برآورد می‌کنند (Traore و همکاران، ۲۰۱۴). Rezaei (۲۰۱۰) از مدل GR2M<sup>۲</sup> برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در حوضه‌های کوچک استان زنجان استفاده کردند و با توجه به معیار نش کارایی این مدل را برای برآورد جریان ماهانه متوسط و خوب گزارش نمود. Zolfaghari و همکاران (۲۰۱۳)، مدل GR2M را در حوضه‌های کوچک استان گیلان و

<sup>1</sup> Genierural

<sup>2</sup> Génie Rural À 2 Paramètres Au Pas De Temps Mensuel

میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان لرستان و ایران نشان می‌دهد.

### روش انجام پژوهش

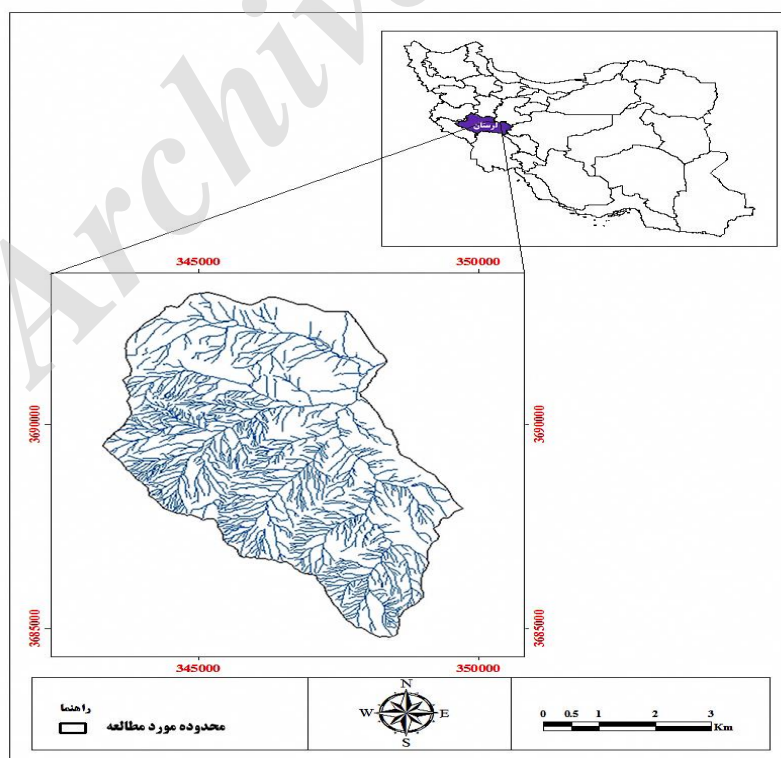
**ساختار مدل هیدرولوژیکی GR4J:** مدل GR4J یک مدل بارش-رواناب یکپارچه است. این مدل آخرین نسخه اصلاح شده از مدل GR3J است که به‌وسیله Edijatno و Michel ارائه شده است و به‌منظور شبیه-سازی جریان، برنامه‌های کاربردی مانند برآورد سیل، پیش‌بینی سیل و خشکسالی کاربرد دارد (Perrin و Michel، ۲۰۰۱). شکل ۲ ساختار مدل GR4J را نشان می‌دهد. داده‌های ورودی مدل شامل بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای دبی، واسنجی می‌شود. مدل دارای چهار پارامتر مستقل به شرح زیر است.

$X_1$  ظرفیت پذیرش آب در لایه‌های سطحی خاک (میلی‌متر)،  $X_2$  ضریب تبادل آبی حوضه با بیرون از خود (میلی‌متر)،  $X_3$  ظرفیت ذخیره روز قبل، ذخیره مسیر (میلی‌متر) و  $X_4$  زمان اوج، زمانی که در مدل سازی GR4J هیدروگراف سیل به اوج می‌رسد (روز)، است.

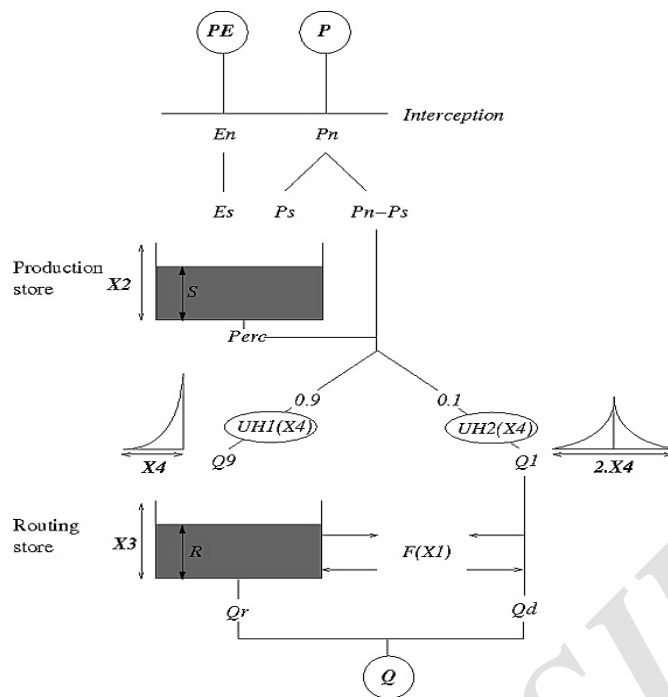
بسیار مورد توجه است. انتخاب مدل‌هایی که با ورودی‌های محدود بتوانند نتایج قابل قبولی ارائه دهند، بسیار ضروری است. مدل‌های GR4J و GR2M با توجه به ویژگی‌های که این مدل‌ها دارند می‌توانند در به‌دست آوردن اطلاعاتی درباره رژیم ماهانه و روزانه جریان در حوضه‌های فاقد آمار در کشور مفید واقع شوند. در این پژوهش کارایی دو مدل مذکور در شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز دره تخت در شمال شرقی استان لرستان و در دامنه شمال شرقی اشترانکوه واقع شده است. این حوضه با مساحت ۳۳ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های رودخانه دز است. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در  $33^{\circ} 14'$  تا  $33^{\circ} 18'$  عرض شمالی و  $49^{\circ} 25'$  تا  $49^{\circ} 30'$  طول شرقی واقع شده است. بیشینه و کمینه ارتفاع آن از سطح دریا به ترتیب ۳۸۸۸ متر و ۱۹۸۰ متر و متوسط بارش سالیانه آن (در دوره ۱۳۹۲-۱۳۷۹) ۷۰۶



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز دره تخت نسبت به استان لرستان و ایران



شکل ۲- دیاگرام مدل GR4J

$$S_2 = S_1 + P_s - E_s \quad (7)$$

$$P_{erc} = S_2 \left\{ 1 - \left[ 1 + \left( \frac{4S_2}{9X_1} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\} \quad (8)$$

که در آن،  $P_{erc}$  نفوذ است که از مقدار به روز ذخیره گرفته شده و با اضافه شدن به رواناب مستقیم قسمتی از بارش  $P_r$  (آب موجود برای مسیریابی) را می‌دهد.

$$p_r = p_n - p_s + p_{erc} \quad (9)$$

$$Q_1(i) = 0.1 \times \sum_{k=1}^m HU_2(k) \times p_r(i - k + 1) \quad (10)$$

$$Q_9(i) = 0.9 \times \sum_{k=1}^m HU_1(k) \times p_r(i - k + 1) \quad (11)$$

که در آن،  $p_r$  به دو قسمت تقسیم می‌شود یک بخش آن ۱۰ درصد رواناب مستقیم  $Q_1$  که از طریق هیدروگراف واحد  $HU_2$  با زمان پایه  $2x_4$  به دست می‌آید و بخش دیگر ۹۰ درصد رواناب تاخیری  $Q_9$  است که از طریق هیدروگراف واحد  $HU_1$  با زمان پایه  $X_4$  به دست می‌آید (معادلات ۱۰ و ۱۱).

مدل GR4J به دو ماژول تقسیم می‌شود: ۱- ماژول تولید ۲- ماژول روندیابی اگر  $p > E$  آنگاه  $p_n$  بارش خالص برابر است با:

$$p_n = p - E \quad (1)$$

$$E_n = 0 \quad (2)$$

که در آن،  $p_n$  بارش خالص،  $P$  بارش به (میلی‌متر) و  $E$  تبخیر و تعرق پتانسیل به (میلی‌متر) می‌باشد.

$$P_s = \frac{x_1 \left\{ 1 - \left( \frac{S_1}{x_1} \right)^2 \right\} \tan h \left( \frac{p_n}{x_1} \right)}{1 + \frac{S_1}{x_1} \tan h \left( \frac{p_n}{x_1} \right)} \quad (3)$$

که در آن،  $X_1$ : ظرفیت پذیرش آب در لایه‌های سطحی خاک (میلی‌متر)،  $S$  مقدار واقعی ذخیره و  $p_s$  بخشی از بارش ذخیره شده در خاک (میلی‌متر) است.

اگر  $P < E$ ،  $E_n$  تبخیر خالص برابر است با معادله (۴) و بارش برابر است با معادله (۵)

$$E_n = E - P \quad (4)$$

$$P_n = 0 \quad (5)$$

که در آن،  $E_s$  تبخیر و تعرق پتانسیل ذخیره‌ای، بخشی از  $E_n$  است که از طریق معادله (۶) به دست می‌آید و  $X_1$  ظرفیت پذیرش رطوبت در لایه‌های سطحی خاک است.

$$E_s = \frac{S_2 \cdot \left( 2 - \frac{S_2}{x_1} \right) \cdot \tan h \left( \frac{E_n}{x_1} \right)}{1 + \left( 1 - \frac{S_2}{x_1} \right) \cdot \tan h \left( \frac{E_n}{x_1} \right)} \quad (6)$$

<sup>1</sup> Routing Store

از میزان ذخیره رطوبتی  $S_2$ ، ارتفاعی برابر  $P_2$  برای تبدیل شدن به جریان زیرقشری و افزوده شدن به ذخیره آب زیرزمینی در نتیجه زهکش شدن به آبراهه یا مصرف به لایه‌های زیرین نفوذ نموده، در نتیجه سطح ذخیره رطوبتی خاک به مقدار  $S$  می‌رسد (معادله ۵).

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}}} \quad (20)$$

$$p_2 = s_2 - s \quad (21)$$

$P_3$  کل آبی است که به صورت جریان سطحی و جریان زیر قشری و زیرزمینی به بیرون (بستر آبراهه) نشت می‌کند به صورت معادله (۶) است.

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (22)$$

وقتی که مقدار در آبراهه (مخزن روندیابی) جریان می‌یابد، باعث می‌شود تا تراز مخزن روندیابی از وضع موجود  $R$  به  $R_1$  افزایش یابد (معادله ۲۳).

$$R_1 = R + p_3 \quad (23)$$

مقدار  $R_1$  تحت تاثیر تبدلات آب زیرزمینی با بیرون سطح حوزه آبخیز قرار گرفته و به  $R_2$  تنزل می‌یابد (معادله ۲۴).

$$R_2 = X_2 \cdot R_1 \quad (24)$$

مقدار این ضریب برای حوضه‌های تغذیه کننده منابع آب زیرزمینی در موقعیت ایستگاه آب‌سنجی دارای اندازه کمتر از یک و در صورت زهکش نمودن جریانات زیر قشری و آب زیرزمینی خارج از حوضه بیشتر از یک و در صورت نداشتن تبادل جریان برابر با یک است. بیشینه ظرفیت مخزن روندیابی برابر با ۶۰ میلی‌متر فرض شده و تخلیه آن موجب ایجاد عمق جریان خروجی از حوضه برابر با  $Q$  می‌شود (معادله ۲۵).

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \quad (25)$$

شکل ۳، ساختار و دیاگرام مدل GR2M را نشان می‌دهد.

$R$  (معادله ۱۳) ذخیره رطوبتی روندیابی است که با استفاده از رواناب تاخیری ( $Q_9$ ) و مقدار تابع  $Fx_2$  (معادله ۱۲) به دست آمده است.

$$Fx_2 = X_2 \left(\frac{R}{X_3}\right) \times \frac{7}{2} \quad (12)$$

$$R = \max(R + Q_9 + F) \quad (13)$$

$$Q_r = R \left\{1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X_3}\right)^4\right]^{\frac{1}{4}}\right\} \quad (14)$$

$$Q_d = \max(Q_1 + F) \quad (15)$$

$$Q = Q_r + Q_d \quad (16)$$

که در آن،  $Q$  دبی نهایی،  $Q_r$  دبی خروجی و  $Q_d$  رواناب مستقیم است.

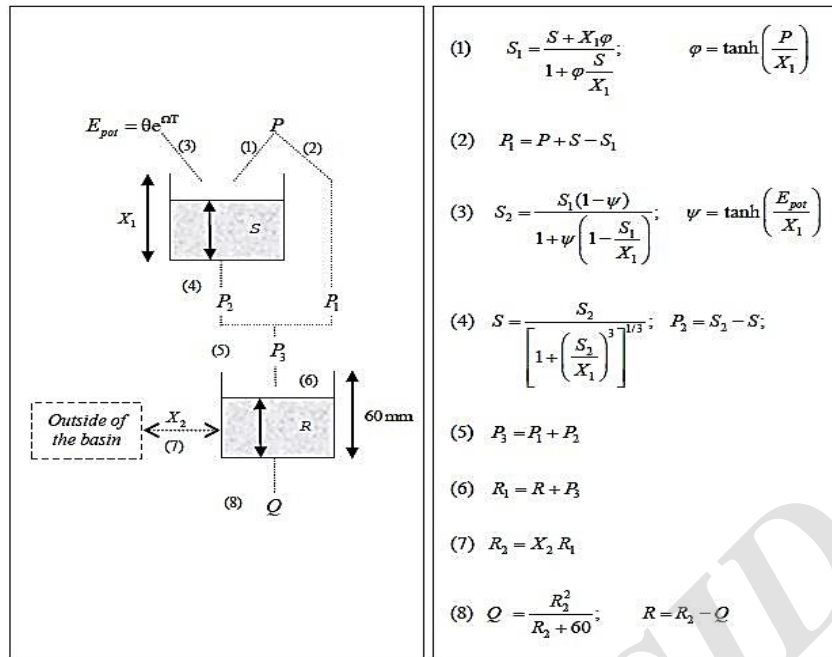
**ساختار مدل هیدرولوژیکی GR2M:** مدلی دو پارامتر بوده که پارامترهای آن شامل  $X_1$ : ظرفیت پذیرش رطوبت در لایه‌های خاک و  $X_2$ : ظرفیت تبادل آبی حوضه با بیرون از خود. در این مدل فرض می‌شود که حوزه آبخیز دارای بیشینه ظرفیت پذیرش رطوبت (در لایه‌های خاک) برابر با  $x_1$  میلی‌متر می‌باشد. در نتیجه در زمان شروع شبیه‌سازی جریان میزان ذخیره رطوبتی حوضه برابر با  $S$  است. وقتی بارش ( $P$ ) اتفاق می‌افتد. بخشی از آن به درون زمین نفوذ می‌کند و ذخیره رطوبتی  $S_1$  را افزایش می‌دهد (معادله ۱۷) و بخشی از آن که به زمین نفوذ نمی‌کند به جریان سطحی تبدیل می‌شود.

$$\phi = \tanh\left(\frac{p}{x_1}\right) S_1 = \frac{s + x_1 \phi}{1 + \frac{s}{x_1}} \quad (17)$$

$$p_1 = p - s - s_1 \quad (18)$$

$$\phi = \tanh\left(\frac{ETP}{x_1}\right) S_2 = \frac{s_1(1 - \phi)}{1 + \phi \left(1 - \frac{s_1}{x_1}\right)} \quad (19)$$

با توجه به میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ETP، ارتفاع ذخیره رطوبتی حوضه از  $S_1$  به  $S_2$  کاهش پیدا می‌کند (معادله ۲۰).



شکل ۳- دیاگرام مدل GR2M

نتایج مدل خوب تا متوسط به شمار می‌رود (Motovilov و همکاران، ۱۹۹۹). در واقع هر چه مقدار ضریب ناش-ساتکلیف به عدد یک نزدیک‌تر شود، مدل از عملکرد بهتری برخوردار است (Littlewood و همکاران، ۲۰۰۷).

### نتایج و بحث

شبیه‌سازی جریان توسط مدل GR2M: GR2M. یک مدل بارش-رواناب یکپارچه دو پارامتره است. داده‌های مورد نیاز مدل، بارش، دبی و تبخیر و تعرق پتانسیل در مقیاس ماهانه می‌باشد. برای محاسبه داده‌های تبخیر و تعرق از روش بلانی کریدل استفاده شد. به دلیل تغییر در میزان رواناب ناشی از ذوب برف زمستان و افزوده شدن آن به رواناب فصل بهار، داده‌های جریان به دو سری تمام و سری داده‌های مقطعی تقسیم شدند. نتایج عملکرد و پارامترهای مدل GR2M برای کل داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، نتایج شبیه‌سازی مدل در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطابق جدول ۱ ضریب  $X_1$  ظرفیت پذیرش آب در لایه‌های خاک ۶/۷۱ میلی‌متر و ضریب  $X_2$  ظرفیت تبادل حوضه با بیرون از خود ۲/۸۲ میلی‌متر به دست آمد. ضریب نش داده‌ها ۴۲/۸، ضریب نش مربع داده-

در پژوهش حاضر به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از روش بلانی کریدل استفاده شد.

$$ETP = P(0.46T + 8.13) \quad (۲۶)$$

که در آن،  $ETP$  توان تبخیر و تعرق،  $P$  ضریب روشنایی یا درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در ماه مورد نظر است و  $T$  دمای متوسط ماهانه (درجه سانتی‌گراد) است. در این تحقیق برای تعیین دمای متوسط ماهانه در سطح حوضه با متوسط ارتفاع ارتفاع ۲۶۰۰ متر از دمای ایستگاه هواشناسی درود (با متوسط ارتفاع ۲۵۵۵ متر) در مجاورت حوضه استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل‌ها از معیار نش ساتکلیف استفاده شد (Mouelhi و همکاران، ۲۰۰۶؛ Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰)

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Q_O - Q_S]^2}{\sum_{i=1}^N [Q_O - \bar{Q}_O]^2} \quad (۲۷)$$

که در آن،  $Q_O$  دبی مشاهده‌ای،  $Q_S$  دبی شبیه‌سازی شده،  $\bar{Q}_O$  میانگین دبی مشاهده‌ای و  $N$  تعداد داده‌ها است.

ضریب نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت الی یک متغیر است. اگر مقدار آن برابر یک باشد تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد (Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷). و اگر مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شود و چنانچه مقدار این ضریب بین ۰/۳۶-۰/۷۵ باشد

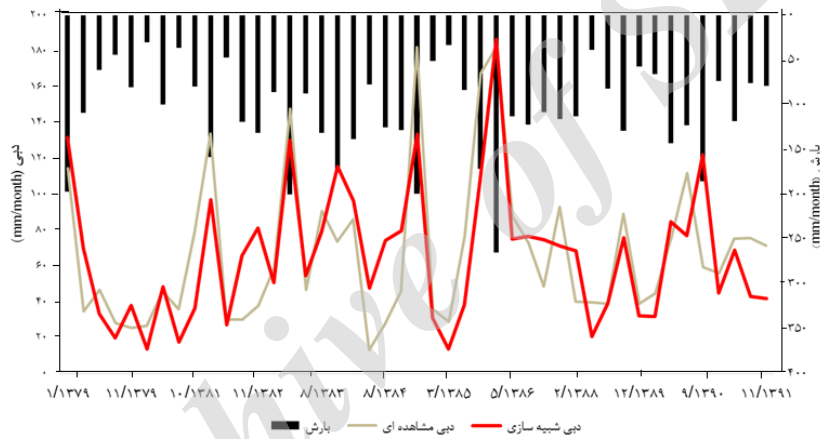
شبه‌سازی می‌کند که مطابق جدول ۱ مقدار آن ۱۰۰/۱ است.

در مدل GR2M، بخشی از سری داده‌ها که عمق رواناب ماهانه نسبت به بارندگی ماه مورد نظر بیشتر بود حذف شد، این امر منجر به افزایش ۲۰ درصدی در عملکرد مدل شد به عبارتی ضریب عملکرد مدل برای کل داده‌ها که برابر با ۴۲/۸ بود پس از حذف داده‌هایی که عمق رواناب بیشتر از یک داشتند به ۶۵/۵ رسید که نتایج آن در جدول ۲ و شکل ۵ ارائه شده است.

های مشاهده‌ای و شبه‌سازی شده (Nash(VQ)%) ضریب نش لگاریتم داده‌های مشاهده‌ای و شبه‌سازی شده (Nash(LnQ)%) ۲۵/۸ به دست آمد. در نهایت به منظور ارزیابی عملکرد مدل ضریب Nash در نظر گرفته می‌شود. Bias، خطای کل در حجم جریان است که نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن جریان شبه‌سازی شده به وسیله مدل نسبت به جریان مشاهداتی است. به عبارت دیگر نشان می‌دهد که مدل جریان را کمتر یا بیشتر از میزان جریان مشاهده شده

جدول ۱- مقادیر ضریب  $X_1$  و  $X_2$  و ضریب نش سری داده‌های مدل GR2M

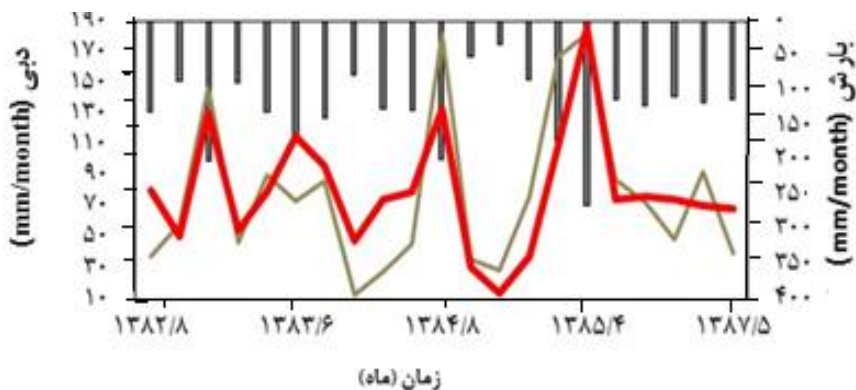
$(X_1)$	$(X_2)$	Nash(Q)%	Nash(VQ)%	Nash(LnQ)%	Bais%
۶/۷۱	۲/۸۲	۴۲/۸	۳۶/۲	۲۵/۸	۱۰۰/۱



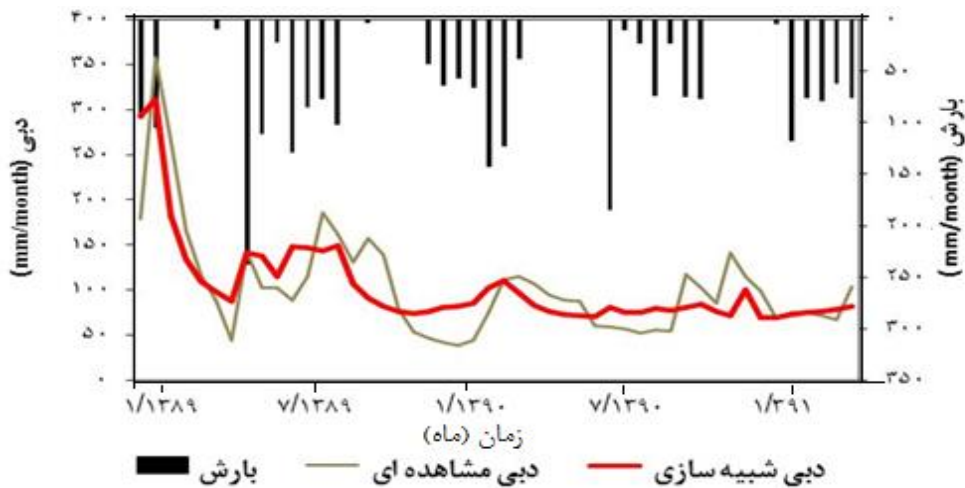
شکل ۴- مقایسه مقادیر دبی مشاهداتی با مقادیر دبی شبه‌سازی شده به وسیله مدل GR2M

جدول ۲- مقادیر پارامترها و شاخص‌های ارزیابی مدل GR2M در مقیاس ماهانه

Bias (mm yr <sup>-1</sup> )	Nash	$(X_1$ و $X_2)$	دوره
۱۰۰/۹	۰/۶۴۸	(۳/۰۲ و ۰/۸۱)	واسنجی
۱۰۰/۵	۰/۶۲	(۸/۲۱ و ۲/۷۹)	اعتبارسنجی



شکل ۵- نتایج مدل GR2M برای شبه‌سازی جریان ماهانه حوزه آبخیز دره تخت در مرحله واسنجی



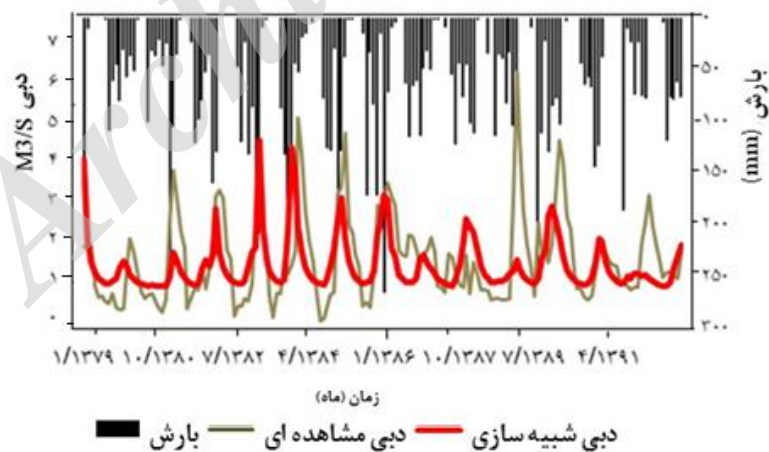
شکل ۶- نتایج مدل GR2M برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوزه آبخیز دره تخت در مرحله اعتبارسنجی

آورده شده است. شکل ۷ عملکرد مدل GR4J را در شبیه‌سازی جریان ماهانه منطقه مورد نظر نشان می‌دهد. مدل GR4J نیز مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. عملکرد مدل، در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوزه آبخیز دره تخت در دوره واسنجی و اعتبارسنجی در شکل‌های ۸ و ۹ و جدول ۴ ارائه شده است.

شبیه‌سازی جریان به‌وسیله مدل GR4J: این مدل از مدل‌های بارش-رواناب یکپارچه بوده که داده‌های ورودی آن شامل بارش و تعرق پتانسیل است. مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای دبی، واسنجی می‌شود. مقادیر پارامترهای واسنجی مدل GR4J که به‌صورت سعی و خطا انجام شده است در جدول ۳

جدول ۳- مقادیر پارامترها و شاخص‌های ارزیابی مدل GR4J

X1	X2	X3	X4	Nash(Q)%	Nash(VQ)%	Nash(LnQ)%	Bais%
۵/۸۵	۳/۸۲	۵/۸۷	۵/۲۵	۰/۴۲۷	۰/۳۶۴	۰/۲۳۹	۱۰۰/۹

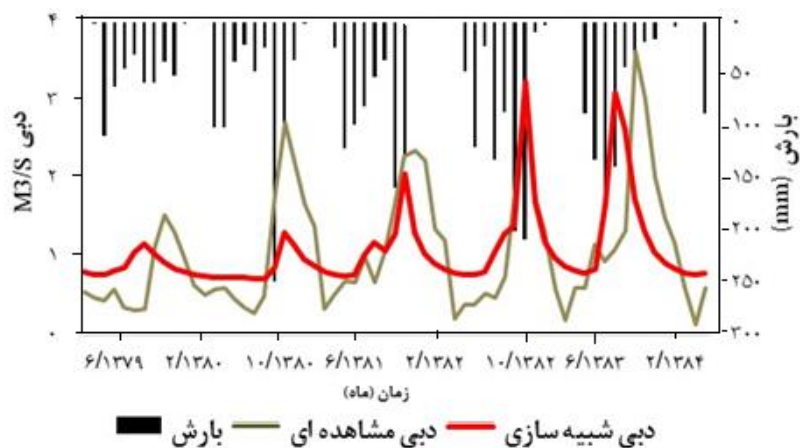


شکل ۷- نتایج مدل GR4J در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوزه آبخیز دره تخت برای کل دوره آماری

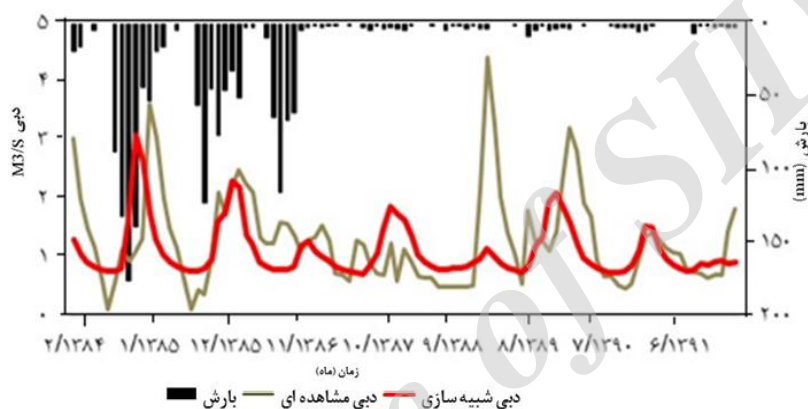
جدول ۴- نتایج عملکرد مدل GR4J در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

Bias (mm yr <sup>-1</sup> )	Nash	X1	X2	X3	X4	دوره
۱۰۰/۹	۰/۴۲۷	۵/۸۵	۳/۸۲	۵/۸۷	۵/۲۵	واسنجی
۹۹/۶	۰/۲۶۳	۶/۲۴	۴/۱۸	۶/۲۵	۱/۰۳	اعتبارسنجی





شکل ۸- جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل GR4J در مرحله واسنجی



شکل ۹- جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل GR4J در مرحله ارزیابی

### نتیجه‌گیری

با توجه به دامنه متنوع مدل‌های هیدرولوژی در دسترس، انتخاب مناسب‌ترین مدل‌ها برای هر کار مخصوصی به دلیل افزایش بهره‌وری دشوار است. بنابراین نیاز به ارزیابی کارایی مدل‌ها برای تشخیص قابلیت و محدودیت آن‌ها در حوضه و منطقه مطالعاتی است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب نش در حوضه مذکور در حد متوسط تا خوب است، به طوری که پژوهش‌های صورت گرفته مشابه به وسیله Hernandez و همکاران (۲۰۱۳)، Rwasko و همکاران (۲۰۱۳)، Dezetter و همکاران (۲۰۰۸)، HarIn و همکاران (۲۰۱۰)، نیز موید همین امر است. در مدل GR2M در ابتدا پس از اجرای مدل ضریب نش که بیانگر توانایی شبیه‌سازی جریان به وسیله مدل است ۴۲/۸ به دست آمد که پایین بودن میزان معیار نش در این پژوهش می‌تواند مربوط به (۱) خطا در برآورد بارندگی واقعی در وسعت حوضه به‌ویژه در صورت عدم

واقع شدن یک یا چند ایستگاه هواشناسی در داخل آن و در ارتفاعات، (۲) خطا در اندازه‌گیری دبی خروجی و (۳) خطای مربوط به عدم تطابق ساختمان ریاضی مدل برای تنظیم بیان آب باشد که با نتایج Rezaei و همکاران (۲۰۱۰)، Moulin و همکاران (۲۰۰۹)، Prin و همکاران (۲۰۰۱) مطابقت داشت. اما پس از حذف بخشی از سری داده‌های رواناب که نسبت عمق رواناب به بارش آن بیشتر از یک بود بیش از ۲۰ درصد افزایش در عملکرد مدل حاصل شد و ضریب نش برای مدل مذکور از ۴۲/۸ به ۶۵/۵ رسید که این با نتایج Oudin و همکاران (۲۰۰۵)، مطابقت داشت. در مجموع با توجه به معیار نش عملکرد مدل GR2M از مدل GR4J بیشتر است. در مدل GR2M عامل  $X_1$  ذخیره تولید یا ذخیره-سازی در لایه‌های خاک است که میزان آن برابر است با ۶/۷۱ بالا بودن میزان  $X_1$  نشان می‌دهد که در حوضه بارش خوب عمق خاک زیاد و تخلخل بالا بوده است.

(۲۰۱۴)، که بیان داشتند که مدل‌های یکپارچه با کاربری آسان، ورودی‌های محدود و کاهش صرف زمان، جریان را با دقت قابل قبول شبیه‌سازی می‌کنند، مطابقت داشت.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های GR4J و GR2M برای شبیه‌سازی جریان حوضه دره‌تخت مناسب هستند و پیشنهاد می‌شود در مطالعات هیدرولوژی این حوضه به کار روند. همچنین باید توجه داشت که کاربرد مدل‌های مختلف بارش-رواناب در حوضه‌های با اقلیم متفاوت و مقایسه عملکرد آن‌ها، می‌تواند در تعیین مناسب‌ترین مدل‌ها تاثیرگذار باشد که می‌بایست طی پژوهش‌های دیگر مورد مطالعه قرار گیرد.

$X_2$  ضریب تبادل آب زیرزمینی است که میزان آن طبق جدول ۱ برابر است با ۲/۸۱ که نشان می‌دهد که حوضه از حوضه‌های مجاور خود آب جذب کرده است که این ضرایب به دست آمده از مدل را می‌توان به حوضه‌های با اقلیم و شرایط زمین‌شناسی مشابه تعمیم داد که با نتایج Zolfaghari و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. با توجه به نتایج این پژوهش مدل GR2M کارایی مناسب در شبیه‌سازی جریان ماهانه در حوضه‌هایی با نفوذ بالا و رواناب کم دارد که با نتایج Simon و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. از طرفی نتایج این پژوهش با بررسی‌های دیگر از جمله Rwaska و همکاران (۲۰۱۳)، Carcano و همکاران (۲۰۰۸) و Vansteenkiste و همکاران

#### منابع مورد استفاده

1. Amir, M.S.I.I., S.I. Ibne, M.M.K. Khan, M. Rasul, R.H. Sharma, and F. Akram. 2013. Automatic multi-objective calibration of a rainfall runoff model for the Fitzroy Basin, Queensland, Australia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4: 311-315.
2. Apip, T.S., Y. Tachikawa and K. Takara. 2008. Lumping of physically-based distributed model for sediment runoff prediction in a catchment scale. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, 52: 43-47.
3. Bardossy, A. and S.K. Singh. 2008. Robust estimation of hydrological model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12: 1273-1283.
4. Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and L. Piroddi. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modeling daily stream flows. *Journal of Hydrology*, 362: 291-307.
5. Dezetter, A. and D. Ruelland. 2012. Parameterization based on NOAA-AVHRR NDVI to improve conceptual rainfall-runoff modelling in a large West African catchment. *IAHS Publ*, 352: 221-230.
6. Goodarzi, M.R., B. Zahabiyoun, A.R. MassahBavani and A.R. Kamal. 2012. Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD for the runoff simulation of Gharehou basin. *Water and Irrigation Management*, 2: 25-40 (in Persian).
7. Harlan, D., M. Wangsadipura and C.M. Munajat. 2010. Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu River Basin by using GR4J. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2: 1-5.
8. Hernandez, D.C., G.D. Ramírez, M.R. González, R.T. Caciano, and G.E. Avalos. 2013. Ajuste validación del modelo hidrológico GR2M en la cuenca alta del río nazas. *Agrofaz*, 13: 81-89.
9. Kumar, D. 2011. Distributed rainfall runoff modeling. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 04: 270-275.
10. Littlewood, L.G., R.T. Clarke, W. Collischonn and B.F.W. Croke. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. *Environmental Modelling and Software*, 22: 1229-1239.
11. Mailhot, A. and A. Huard. 2008. Calibration of hydrological model GR2M using Bayesian uncertainty analysis. *Water Resources Research*, 44: 1-19.
12. McMillan, H., M. Clark, R. Woods, M. Duncan, M. Srinivasan, A. Western and D. Goodrich. 2010. Improving perceptual and conceptual hydrological models using data from small basins. *IAHS Publication* 336: 264-269.
13. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50: 885-900.
14. Motovilov, Y.G., L. Gottschalk, K. England and A. Rodhe. 1999. Validation of distributed hydrological model against observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 99: 257-277.
15. Mouelhi, S., C. Michel, C. Perrin and V. Andreassian. 2006. Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. *Journal of Hydrology*, 328: 283-296.

16. Moulin, L., E. Gaume and C. Obled. 2009. Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 99-113.
17. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
18. Nourani, V., A. Roushani and M. Gebremichael. 2011. Topmodel capability for rainfall-runoff modeling of the Ammameh Watershed at different time scales using different terrain algorithms. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 5: 1-14.
19. Oudin, L., F. Hervieu, C. Michel, C. Perrin, V. Andréassian, F. Anctil and C. Loumagne. 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 303: 290-306.
20. Perrin, C., C. Michel and V. Andréassian. 2001. Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology*, 242: 275-301.
21. Rezaei, A. 2010. Calibration of monthly water yield model for small catchments. *Journal of Water and Soil*, 24: 715-727 (in Persian).
22. Rwasoka, D.T., C.E. Madamombe, W. Gumindoga and A.T. Kabobah. 2013. Calibration, validation, parameter identifiability and uncertainty analysis of a 2-parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 67: 36-46
23. Simon, S. 2008. Combining the triangle method with thermal inertia to estimate regional evapotranspiration- Applied to MSG-SEVIRI data in the Senegal River basin. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1242-1255
24. Tang, Y., P. Reed, K. Werkhoven and T. Wagener. 2007. Advancing the identification and evaluation of distributed rainfall-runoff models using global sensitivity analysis. *Water Resources Research*, 43: 1-14.
25. Traore, V.B., S. Sambou, S. Tamba, S. Fall, A.T. Diaw and M.T. Cisse. 2014. Calibrating the rainfall-runoff model GR4J and GR2M on the Koulountou river basin, a tributary of the Gambia River. *American Journal of Environmental Protection*, 3: 36-44.
26. Vansteenkiste, Th., M. Tavakoli, N. Steenbergen, F. DeSmedt, O. Batelaan, F. Pereira and P. Willems. 2014. Intercomparison of five lumped and distributed models for catchment runoff and extreme flow simulation. *Journal of Hydrology*, 511: 349-355.
27. Zhang, X., D. Waters and R. Ellis. 2013. Evaluation of Simhyd, Sacramento and GR4J rainfall runoff models in two contrasting Great Barrier Reef catchments. *20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia*, 3260-3266.
28. Zhou, Y., Y. Wang. 2008. A distributed and object-oriented rainfall-runoff simulation model with high spatial resolution impervious surface. *Annual Conference Portland, Oregon*, 1-12.
29. Zolfaghari, M., M. Mahdavi, A. Rezaei and A. Salajegheh. 2013. Evaluating GR2M model in some small watersheds of Iran, case study: Gilan and Mazandaran Provinces. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3: 463-472.

## Evaluating the proficiency of GR2M and GR4J rainfall-runoff models in Darehtakht Basin runoff simulation

Fatemeh Zandi Dareh Gharibi<sup>1</sup>, Zohreh Khorsandi Kouhanestani<sup>\*2</sup>, Maliheh Mozayan<sup>3</sup> and Nasim Arman<sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran and <sup>2, 3 and 4</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Received: 15 August 2016

Accepted: 18 February 2017

### Abstract

Run off simulation is one of the most important topics in hydrology And its study is based on rainfall- run off models. Several rain fall and run off models have been developed and the most appropriate model should be selected for each catchment. By applying the appropriate model the water consumption will be optimized. The model should be selected for each catchment based on the model abilities and limits. In this study, the performance of two rain fall and runoff models, GR2M and GR4J were compared in Darehtakht Basin in Lorestan Province during 1379 to 1392. The Nash coefficient was used as a decision criteria for comparing two model performances. Nash coefficient for GR4J and GR2M were 42.7 and 65.5, respectively. Results showed that both models can predict the performance of the catchment accurately, but, based on Nash coefficient the GR2M is more accurate than the GR4M.

**Key words:** GR model, Lorestan Providence, Rainfall runoff model, Runoff simulation, Water resource management

---

\*Corresponding Author: khorsandi@bkatu.ac.ir