

بررسی کارایی ساختارهای مختلف مدل GR در شبیه سازی فرآیند بارش رواناب

- روژین دلپسند^۱، ابوالحسن فتح آبادی^۲، حامد روحانی^۳ و سید مرتضی سیدیان^۴
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس (roozhindelpasand@gmail.com)
۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس (ahfathabadi@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس (rouhani.hamd@yahoo.com)
۴- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس (s.m.seyedian@gmail.com)

چکیده

یکی از مباحث اصلی در هیدرولوژی شبیه سازی جریان می باشد. مدل ها می توانند شبیه سازی قابل قبولی در حوضه های مورد مطالعه داشته و بوسیله اطلاعات قابل دسترس، عکس العمل حوضه ها را شبیه سازی کنند. مدل های بارش رواناب بسیار متنوع می باشند پس انتخاب یک مدل که بیشترین کارایی را برای حوضه مورد نظر داشته باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش از ساختارهای مدل GR برای شبیه سازی بارش و رواناب در حوزه کسلیلیان در استان مازندران استفاده گردید. برای ارزیابی کارایی این مدل مقادیر ضریب همبستگی، ناش ساتکلیف و RMSE برای دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی محاسبه شد. نتایج این پژوهش برای سه مدل GR4J، GR5J و GR6J نشان داد که دو ساختار GR4J و GR6J دبی های حداکثر را بیشتر برآورد کرده اند و هر سه مدل عملکرد خوبی را ارائه می دهند. در بین سه ساختار مورد بررسی ساختار GR5J عملکرد بهتری در حوضه مورد بررسی داشت.

واژه های کلیدی: بارش-رواناب، کسلیلیان، مدل GR

مقدمه

به منظور بررسی اثرات و برآورد ریسک در مدیریت منابع آب ناگزیر به استفاده از مدل های هیدرولوژیکی هستیم. مدل های مختلف هیدرولوژیکی توسط محققین ارائه شده اند در این بین مدل های یکپارچه به دلیل ارائه یک ساختار ساده از حوضه، ساده سازی فرآیندهای تبدیل بارش به رواناب، سهولت اجرا و نیاز به داده ورودی کم بیشتر مورد توجه محققین بوده اند (Lampert و Wu، ۲۰۱۵). مدل نماینده ساده ای از کل سیستم حوضه و به عبارتی نمایانگر بخشی از واقعیت های موجود در یک سیستم است. مدل های هیدرولوژیکی ابزاری مهم در مطالعه اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه ها هستند.

در هر مدل برای هر حوضه ورودی آن مقادیر بارش دریافت شده و بسته به خصوصیات ژئومورفولوژی-توپوگرافیکی، خاک و پوشش گیاهی، کاربری اراضی و پوشش سطح زمین و سایر پارامترهای اقلیمی دبی خروجی حوضه شبیه سازی می شود (Liu و todonin، ۲۰۰۲). از نظر مکانی مدل های مختلف بارش رواناب به مدل های یکپارچه، نیمه توزیعی و توزیعی تقسیم بندی می شوند (Zhou و Wang، ۲۰۰۸). از نظر روابط مورد استفاده برای توصیف فرآیندهای دخیل در تبدیل بارش به رواناب، مدل های بارش رواناب دارای روابط تجربی، مفهومی و فیزیکی هستند. در مدل های یکپارچه کل حوضه به عنوان یک واحد در نظر گرفته و تغییرات مکانی پوشش گیاهی، خاک و توپوگرافی نادیده گرفته می شوند (Sharif و همکاران، ۲۰۱۳). مدل های یکپارچه ساختار ساده ای داشته و دارای پارامترهای کمی هستند. این مدل ها نیاز به حداقل داده داشته و اجرا و بهینه سازی آن ها به سهولت انجام می شود (Narasayya و همکاران، ۲۰۱۳). در مدل های توزیعی تغییرات مکانی خصوصیات حوضه در فرآیند مدل سازی بارش رواناب در نظر گرفته می شود. این مدل ها نیاز به ورودی های زیادی داشته و فرآیند بهینه سازی پارامترهای آن ها زمان بر می باشد. در این مدل ها تمام فرآیندهای فیزیکی که به نوعی در شبیه سازی فرآیند بارش رواناب دخیل هستند در مدل سازی وارد می شوند و معمولاً نسبت به مدل های یکپارچه و نیمه توزیعی سیستم واقعی را بهتر نمایش می دهند (Nourani و همکاران، ۲۰۱۱). پارامترهای این مدل ها دارای مفهوم فیزیکی بوده و معمولاً برآورد آن ها مشکل بوده که این بر کارایی مدل در شبیه سازی فرآیند بارش رواناب تاثیرگذار است. در هر حوضه باید ساختار بهینه مدل که قادر بوده فرآیندهای هیدرولوژی را به خوبی شبیه سازی کند و قابلیت پیش بینی مناسبی دارد شناسایی شود.

(زندگی غربی و همکاران، ۱۳۹۶) طی بررسی کارایی مدل های بارش- رواناب GR2M و GR4J در شبیه سازی جریان حوضه آبخیز دره تخت به این نتیجه دست یافتند که دو مدل جریان را با دقت متوسط تا خوب شبیه سازی می کنند، ولی با توجه به معیار ناش، کارایی مدل GR2M در شبیه سازی جریان بهتر از مدل GR4J است. (ذوالفقاری و همکاران، ۲۰۱۳)، کارایی مدل GR2M را در حوضه های کوچک استان گیلان و مازندران مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که این مدل در مناطق با آب و هوای خشک نتیجه ی بهتری ارائه می دهد.

(Ruelland و Dezetter، ۲۰۱۲). از مدل های GR2M و GR2M-NDVIApr به منظور شبیه سازی جریان ماهانه برای یک دوره ۱۸ ساله، استفاده کردند. نتایج نشان داد که به دلیل استفاده از داده های ماهواره ای، مدل GR2M-NDVIApr عملکرد بهتری نسبت به مدل GR2M دارد. (Hernandez و همکاران، ۲۰۱۳). از مدل GR2M به منظور شبیه سازی رواناب حوضه رودخانه Nazas استفاده کردند، نتایج نشان داد که کارایی مدل در حد رضایت بخش بوده است و همبستگی خوبی بین مقادیر شبیه سازی جریان و مقادیر مشاهده ای وجود دارد. (Zhang و همکاران، ۲۰۱۳). برای برآورد دبی روزانه از سه مدل Sacramento، Simhyd و GR4J در حوضه Reef استفاده کردند که نتایج نشان داد عملکرد سه مدل با توجه به ضریب تعیین و ضریب ناش مناسب بوده است. (Traore و همکاران، ۲۰۱۴). از دو مدل GR2M و GR4J به منظور بررسی رژیم رودخانه Koulountou استفاده کردند، که نتایج نشان داد با توجه به معیار نش ساتکلیف کارایی مدل ها مناسب بوده است. (Rwasoka و همکاران، ۲۰۱۴). مدل GR2M را برای شبیه سازی جریان ماهانه حوضه رودخانه ای در زیمباوه مورد استفاده قرار دادند، نتایج نشان داد که با توجه به ورودی های کم، عملکرد مدل کاملاً رضایت بخش بوده است.

با توجه به اهمیت شبیه سازی دقیق مقدار رواناب در مدیریت سیستم های منابع آب در این تحقیق اقدام به مقایسه سه ساختار مدل GR در شبیه سازی دبی در حوضه کسلیان استان مازندران گردید. در ابتدا پارامترهای مدل های مختلف بهینه و در گام بعد مقادیر دبی خروجی برای داده های واسنجی و اعتبار سنجی برآورد می گردد و در نهایت با استفاده از سه معیار ضریب همبستگی، ناش

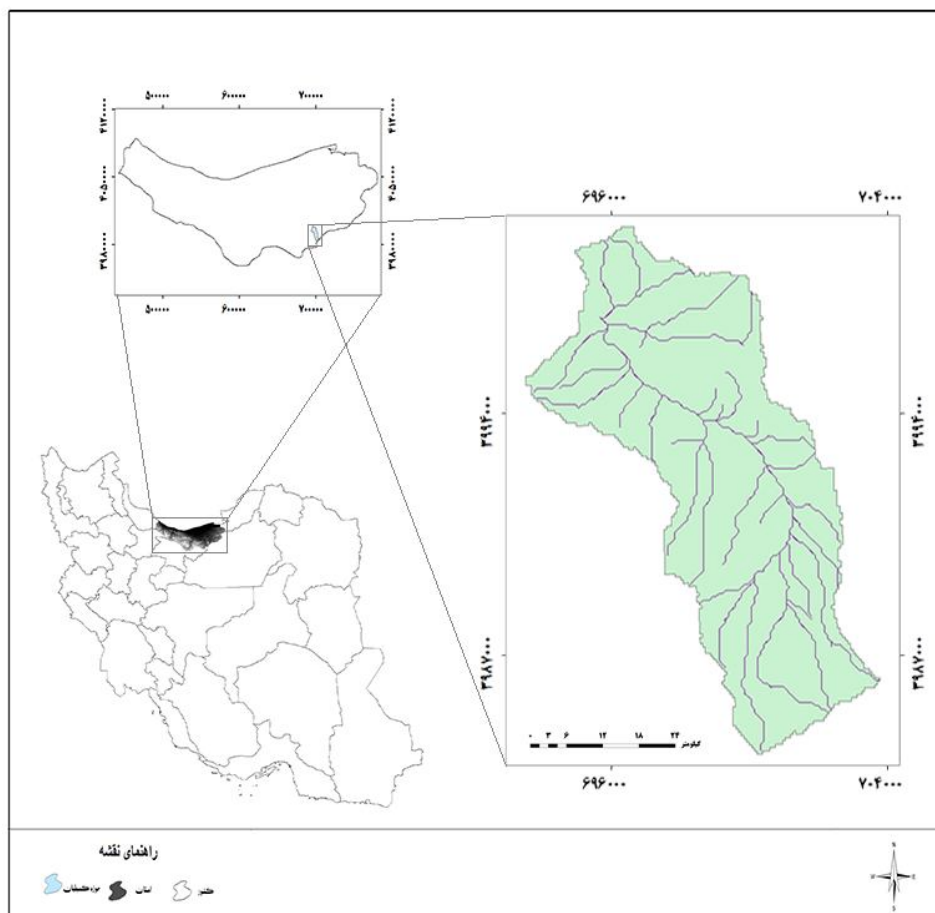
ساتکلیف و RMSE کارایی سه ساختار مدل نسبت به یکدیگر مقایسه می‌شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز معرف کسلیان به مساحت ۶۶/۷۵ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی $۱۸^{\circ} ۵۳'$ تا $۳۰^{\circ} ۵۳'$ طول شرقی و $۳۵^{\circ} ۵۸'$ تا $۳۶^{\circ} ۷'$ عرض شمالی و در دامنه‌های شمالی سلسله جبال البرز واقع است (شکل ۱). حوزه نام برده از زیرحوزه‌های آبخیز تالار است و در ارتفاعات زون مرکزی سلسله جبال البرز، در ۱۹ کیلومتری شهرستان قائمشهر در استان مازندران واقع است. این آبخیز با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی خود به عنوان معرف مناطق کوهستانی و جنگلی در نظر گرفته می‌شود. متوسط بارندگی منطقه ۷۹۱ میلی‌متر در سال بوده عمدتاً به صورت باران ریزش می‌نماید. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه نیمه مرطوب سرد می‌باشد. اکثر سنگ‌های تشکیل دهنده این حوزه از نظر زمانی مربوط به دوم، سوم و چهارم می‌باشد. حوزه نام برده دارای پوشش غالب جنگلی بوده که به مرور زمان کاربری‌های مثل مرتع، مناطق روستایی و کشاورزی در کنار کاربری جنگلی قرار دارند. خاک‌های تشکیل دهنده حوضه نیز از نوع پدزولیک، قهوه‌ای جنگلی و رسوبی می‌باشد.

در این تحقیق به ترتیب از داده‌های هواشناسی و دبی ایستگاه‌های سنگده و ولیک بن استفاده گردید. با توجه به نبود برخی از پارامترهای اقلیمی در برخی از سال‌ها، داده‌های سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ برای مدل‌سازی استفاده گردید. به منظور واسنجی و اعتبار سنجی مدل‌های مورد استفاده داده‌های مشاهداتی به دو قسمت واسنجی (سالهای ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱) و اعتبار سنجی (۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳) تقسیم بندی شدند. در زیر برخی پارامترها برای دوره آموزش و آزمون در این سال‌ها ارائه شده‌است.



شکل ۱- موقعیت حوضه کسلیان در استان مازندران

جدول ۱- برخی پارامترهای آماری داده های ورودی استفاده شده در مدل برای دوره آموزش

دبی مشاهداتی (مترمکعب بر ثانیه)	تبخیر و تعرق (میلی متر)	دما (سانتی گراد)	بارش (میلی متر)	
۰.۰۹	۰.۰۷	-۴.۷۵	۰	کمترین
۴.۸۳	۳۵۴	۲۶	۴۹	بزرگترین
۰.۵۶	۱۰.۷۱	۶.۷۳	۵.۰۱	انحراف معیار
۰.۵۱	۱.۷۳	۱۱.۷۰	۲.۱۰	میانگین

جدول ۲- برخی پارامترهای آماری داده های ورودی استفاده شده در مدل برای دوره اعتبار سنجی

دبی مشاهداتی (مترمکعب بر ثانیه)	تبخیر و تعرق (میلی متر)	دما (سانتی گراد)	بارش (میلی متر)	
۰.۰۲	۰	-۴.۷۵	۰	کمترین
۴.۴۴	۴.۶۲	۲۳.۲۵	۳۲.۹۰	بزرگترین
۰.۵۰	۱.۰۵	۶.۶۲	۵.۰۱	انحراف معیار
۰.۵۶	۱.۳۷	۱۱.۵۷	۲.۲۶	میانگین

مدل GR

مدل GR برگرفته از Genierural، اولین بار توسط Claude Michel در اوایل دهه ۱۹۸۰ ارائه گردید. وی از یک مدل خیلی ساده شروع کرده و به مرور بر پیچیدگی آن افزود. این مدل بر این ایده استوار است که برای مدل سازی فرآیند بارش رواناب سطوح مختلفی از پیچیدگی نیاز است. به عنوان مثال با افزایش مقیاس زمانی شبیه سازی، پیچیدگی فرآیند بارش رواناب کمتر شده و مدلی با ساختار ساده تر مورد نیاز است.

در ابتدا Claude Michel مدلی با مقیاس روزانه که دارای دو مخزن و یک پارامتر بود ارائه داد. در حال حاضر مدل در مقیاس روزانه با ۴، ۵ و ۶ پارامتر موجود می باشد. به منظور تبادل بین حوضه های مدل GR5J دارای یک پارامتر بیشتر نسبت به مدل GR4J است. در حالی که مدل GR6J دارای الگوی روندیابی دقیق تری می باشد که امکان شبیه سازی دقیق تر جریان های کمینه را می دهد. این مدل شامل دو بخش مخزن تولید و مخزن روندیابی (شکل ۲) است. ورودی های مدل شامل بارش و تبخیر و تعرق روزانه است. اگر بارش بیشتر از تبخیر و تعرق باشد با استفاده از رابطه (۱) بارش خالص (P_n) و تبخیر و تعرق خالص (E_n) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شوند. از کل مقدار بارش خالص P_n مقدار P_s آن (رابطه ۳) مستقیماً وارد مخزن تولید، که حداکثر حجم ذخیره آن برابر با X_1 (میلیمتر) و حجم ذخیره واقعی آن S (میلی متر) است، می شود.

$$P_n = P - E \quad (1)$$

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

$$p_s = \frac{x_1 \left\{ 1 - \left(\frac{s}{x_1} \right)^2 \right\} \cdot \tanh \left(\frac{p_n}{x_1} \right)}{1 + \frac{s}{x_1} \cdot \tanh \left(\frac{p_n}{x_1} \right)} \quad (3)$$

مقدار باقی مانده $P_n - P_s$ برای محاسبه رواناب استفاده می شود. اگر مقدار بارش کمتر از تبخیر و تعرق باشد مقدار تبخیر و تعرق واقعی (E_n) و بارش واقعی (P_n) به ترتیب با استفاده از رابطه های (۴) و (۵) محاسبه می شوند.

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

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

قسمتی از E_s (رابطه ۶) توسط آب ذخیره شده در مخزن تولید که مقدار واقعی آن توسط رابطه (۷) به هنگام می شود تامین می شود. در گام بعد مقدار رواناب نفوذی Perc (رابطه ۸) از آب مخزن تولید تامین می شود و به رواناب حاصل از بارش اضافه شده که با هم کل دبی که برای روندیابی (P_r) (رابطه ۹) در دسترس می باشند را تشکیل می دهند.

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

$$S = S + P_s - E_s \quad (7)$$

$$P_{erc} = S \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X_3} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (8)$$

$$P_r = P_n - P_s + P_{erc} \quad (9)$$

P_r به دو قسمت رواناب مستقیم Q_1 (ده درصد را در بر می گیرد) (رابطه ۱۰) که با استفاده از هیدروگراف واحد HU_2 با زمان پایه برابر با $2X_4$ به مخزن روندیابی می رسد و قسمت دیگر رواناب تاخیری Q_9 (۹۰ درصد را شامل می شود) (رابطه ۱۱) که با استفاده از هیدروگراف واحد HU_1 با زمان پایه X_4 به مخزن روندیابی می رسد، تقسیم می شود. حداکثر حجم مخزن روندیابی برابر با X_3 می باشد. حجم واقعی آن R با استفاده از Q_9 و مقادیر تابع $F(x_2)$ (رابطه های ۱۲ و ۱۳) به هنگام می شود.

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

$$Q_9(i) = 0.9 * \sum_{k=1}^l HU_1(K) * P_r(i - k + 1) \quad (11)$$

$$F(x_2) = X_2 \left(\frac{R}{X_3} \right)^2 \quad (12)$$

$$R = \max(0, R + Q_9 + F) \quad (13)$$

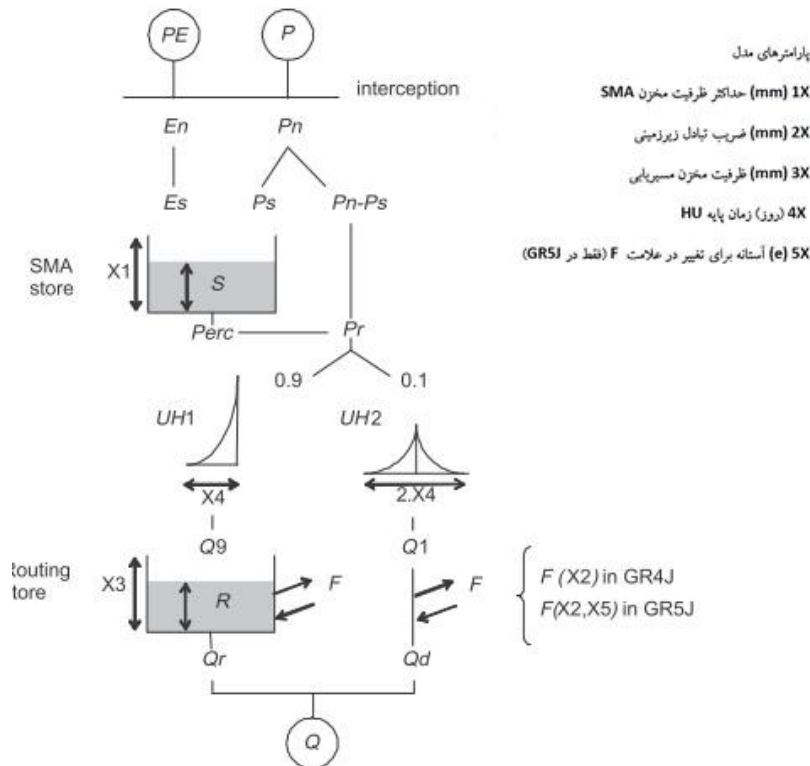
در این روابط X_2 ضریب مربوط به تاثیر آب زیرزمینی است.

سپس حجم رواناب به هنگام شده مخزن روندیابی برای محاسبه خروجی نهایی Q_r (رابطه ۱۴) تاخیری مخزن روندیابی استفاده می شود. مقادیر Q_1 و $F(x_2)$ با هم ترکیب می شوند تا رواناب مستقیم Q_d (رابطه ۱۵) به دست آیند. کل رواناب خروجی حوضه برای یک روز مشخص با جمع مقادیر Q_r و Q_d (رابطه ۱۶) بدست می آید.

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

$$Q_d = \max(0, Q_1 + F) \quad (15)$$

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



شکل ۲- ساختار مدل GR

اجرای مدل

به منظور اجرا مدل GR در این تحقیق از پکیج airGR نرم افزار R استفاده گردید. در این پکیج شش ساختار مختلف از مدل GR وجود دارد. که در این تحقیق ساختارهای GR4H, GR5J, GR6J مورد بررسی قرار گرفتند. در هر سه ساختار ورودی های مدل مقادیر بارش، دما، تبخیر تعرق و مقادیر دبی مشاهداتی بودند. پس از معرفی داده های فوق به مدل، پارامترهای مدل بهینه شدند. برای بهینه سازی پارامترهای مدل از روش (Michel, 1991) استفاده گردید. پس از بهینه سازی پارامترهای مدل با استفاده از داده های دوره واسنجی، داده های دوره اعتبار سنجی به مدل معرفی شدند و مقادیر دبی برای دوره صحت سنجی به دست آمدند. مدل یکپارچه است و برای ورودی های آن فقط به مقادیر داده های اقلیمی و دبی خروجی حورزه نیاز است. یکی از دلایل استفاده از این مدل سادگی آن است، این مدل نسبت به مدل های جعبه سیاه تا اندازه ای از مفاهیم بارش-رواناب استفاده می کند و بخاطر داده های موجود در ایران این مدل بازدهی بهتر و راحت تری دارد.

برای ارزیابی و مقایسه مدل های مختلف از معیارها ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه (۱۷))، ناش ساتکلیف N_{SE} و ضریب همبستگی (R) استفاده گردید.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum (y_i - x_i)^2}}{N} \quad (17)$$

$$NASH = 1 - \frac{(y_i - x_i)^2}{(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (18)$$

نتایج و بحث

در جدول های (۳) و (۴) عملکرد مدل های مختلف برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) مشاهده می شود در دوره واسنجی بیشترین مقادیر معیارهای ضریب همبستگی و ناش ساتکلیف مربوط به مدل GR4J است. بر اساس معیارهای ارزیابی بدترین عملکرد نیز مربوط به مدل GR5J می باشد. برای داده های اعتبار سنجی با توجه به جدول (۴) مشاهده می شود بیشترین مقادیر معیارهای ضریب همبستگی و ناش ساتکلیف و کمترین مقدار معیار RMSE مربوط به مدل GR5J است پس از این مدل، مدل GR4J عملکرد بهتری نسبت به مدل GR6J داشته است. با مقایسه جدول های (۳) و (۴) به نوعی می توان بیان داشت که برون یابی مدل GR5J نسبت به دو مدل دیگر بهتر بوده و در این مدل کمتر مسئله بیش برآورد اتفاق افتاده است. با توجه به مقادیر ناش ساتکلیف که بزرگتر از 0/4 هستند، می توان بیان داشت ساختارهای مختلف مدل GR عملکرد قابل قبولی در شبیه سازی فرآیند بارش رواناب داشته است.

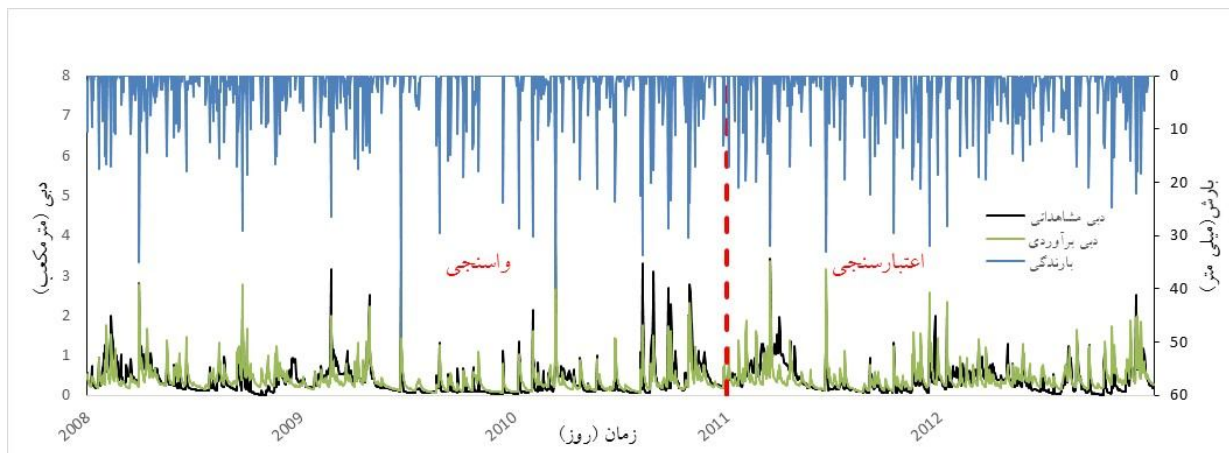
جدول (۳) نتایج عملکرد ساختارهای مختلف مدل برای دوره واسنجی

آموزش	GR4J	GR5J	GR6J
R	0.82	0.82	0.80
RMSE	0.25	0.28	0.26
NSE	0.67	0.59	0.65

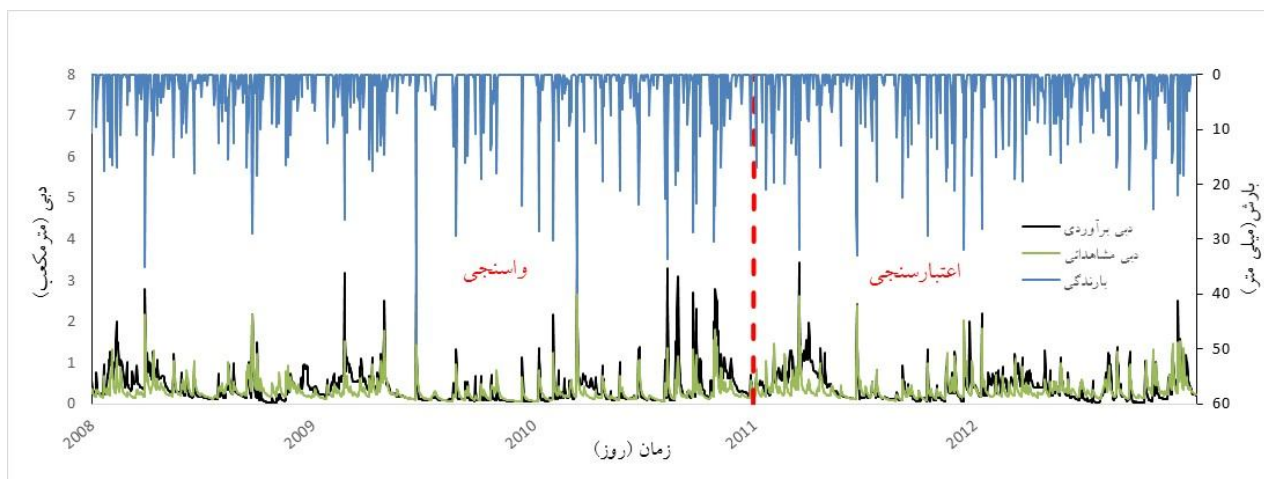
جدول (۴): نتایج عملکرد ساختارهای مختلف مدل برای دوره اعتبار سنجی

اعتبار سنجی	GR4J	GR5J	GR6J
R	0.71	0.71	0.67
RMSE	0.29	0.28	0.30
NSE	0.46	0.47	0.40

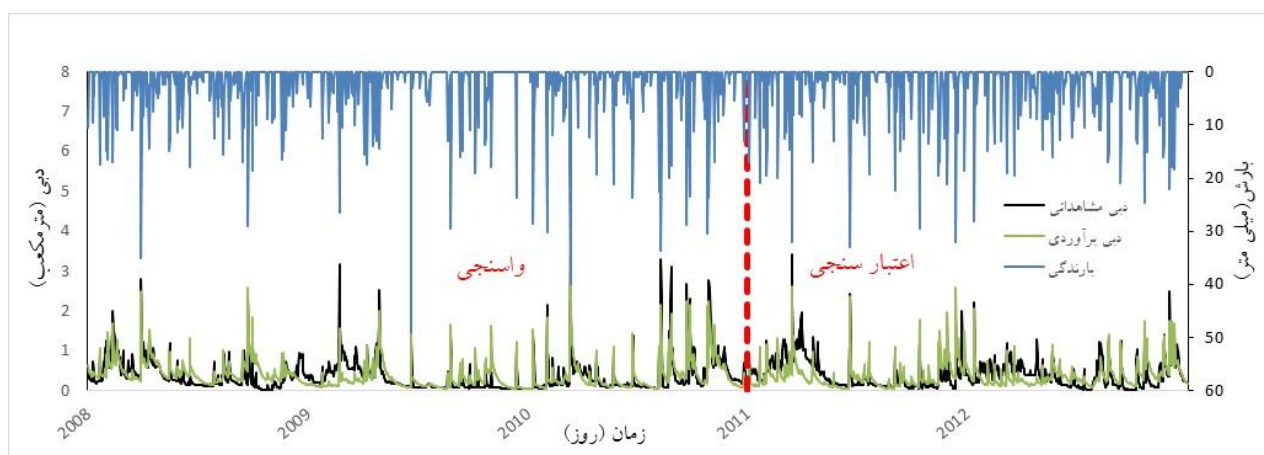
در نمودارهای شکل (۳) مقادیر دبی مشاهداتی و برآوردی برای دوره واسنجی و اعتبار سنجی ارائه شده است. با توجه به این شکل مشاهده می شود دو ساختار GR4J و GR6J نسبت به ساختار GR5J دبی های حداکثر را بیشتر برآورد کرده اند. هر سه مدل عملکرد بهتری در برآورد دبی ها کمینه نسبت به دبی های بیشینه داشته اند.



(a)



(b)



(d)

شکل (۳): مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی: a: مدل GR4J، b: مدل GR5J و d: مدل GR6J

نتیجه گیری:

با توجه به اینکه مدل‌های هیدرولوژی بسیار متنوع هستند، با در نظر گرفتن بهترین گزینه‌ها برای افزایش بهره‌وری، انتخاب مدل کاری دشوار است. بنابراین نیاز است کارایی مدل‌ها را برای ارزیابی تشخیص قابلیت و محدودیت آن‌ها در حوضه و منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرند. نتایج به دست آمده در حوضه کسلیان در ایستگاه ولیکین نشان می‌دهد که برون‌یابی مدل GR5J نسبت به دو مدل GR4J و GR6J بهتر بوده است. همچنین در دوره واسنجی، بهترین ناش‌ساتکلیف و ضریب هم‌بستگی مربوط به مدل GR4J و بدترین مقادیر برای GR5J است. در مجموع نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد مناسب این مدل در شبیه‌سازی فرآیند بارش و رواناب است در پژوهش‌های (Hernandez و همکاران، ۲۰۱۳)، (Rwasko و همکاران، ۲۰۱۳)، (Harlan و همکاران، ۲۰۱۰) هم این مدل کارایی مناسبی در شبیه‌سازی فرآیند بارش و رواناب داشته است.

منابع:

- زندى دره‌غریبی، فاطمه، زهره، خورسندی کوهانستانی، ملیحه، مزین و نسیم، آرمان، (۱۳۹۶)، بررسی کارایی مدل‌های بارش- رواناب GR4J و GR2M در شبیه‌سازی حوزه آبخیز دره‌تخت، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۹، شماره ۳.
- Amir, M. S. I. I., Khan, M. M. K., Rasul, M. G., Sharma, R. H., & Akram, F. (2013). Automatic multi-objective calibration of a rainfall runoff model for the Fitzroy Basin, Queensland, Australia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(3), 311.
- Dezetter, A., & Ruelland, D. (2012). Parameterization based on NOAA-AVHRR NDVI to improve conceptual rainfall-runoff modelling in a large West African catchment. *IAHS-AISH publication*, 221-230.
- Hernandez, D.C., G.D. Ramirez, M.R. Gonzalez, R.T. Cacicano, and G.E. Avalos. 2013. Ajuste validación del modelo hidrológico GR2M en la cuenca alta del rion azas. *Agrofaz*, 13: 81-89.
- Lampert D.J. & Wu M., (2015). Development of an opensource software package for watershed modeling with the Hydrological simulation program in Fortran, *Environmental modelling & software*, Volume 68: pages 166-174.
- Liu, Z., & Todini, E. (2002). Towards a comprehensive physically-based rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(5), 859-881.
- Le Moine, N. (2008). Le bassin versant de surface vu par le souterrain: une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit? (Doctoral dissertation, Paris 6).
- Mathevet, T. (2005). Quels modeles pluie-debit globaux au pas de temps horaire? Développements empiriques et intercomparaison de modeles sur un large échantillon de bassins versants (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, ENGREF, 463 pp).
- Michel, C. (1991). Différentes versions de Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux, CEMAGREF, Div. Hydrologie-hydraulique fluviale et souterraine, Antony.
- Narasayya, K., Roman, U. C., Meena, B. L., Sreekanth, S., & Ali, S. N. (2013). Prediction of Storm-Runoff Using Physically Based Hydrological Model for Burhanpur watershed, India. *International Journal of Remote Sensing and Geosciences*, 2.
- Nourani, V., Roushani, A., & Gebremichael, M. (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).
- Rwasoka, D. T., Madamombe, C. E., Gumindoga, W., & Kabobah, A. T. (2014). 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.
- Traore, V. B., Sambou, S., Tamba, S., Fall, S., Diaw, A. T., & Cisse, M. T. (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(1), 36-44.
- Tang, Y., Reed, P., Van Werkhoven, K., & Wagener, T. (2007). Advancing the identification and evaluation of distributed rainfall-runoff models using global sensitivity analysis. *Water Resources Research*, 43(6).
- Zhou, Y., & Wang, Y. Q. (2008). Extraction of impervious surface areas from high spatial resolution imagery by multiple agent segmentation and classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(7), 857-868.

Zolfaghari, M., MAHAVI, M., & Rezaei, A. (2013). Evaluating GR2M model in some small watersheds of Iran (case study Gilan and Mazandaran Provinces). *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(2), 463-472.

Zhang, X., Waters, D., & Ellis, R. (2013, December). Evaluation of Simhyd, Sacramento and GR4J rainfall runoff models in two contrasting Great Barrier Reef catchments. In *MODSIM 2013, 20th International Conference on Modelling and Simulation*.