

برآورد جریان زیرقشری در حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب در استان خوزستان با استفاده از مدل Salas

فریدون سلیمانی^{*}، محمدحسین مهدیان^آ و مجید حیدری‌زاده^ب

^آ کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ^ب استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و ^ج استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۱۰

چکیده

به دلیل محدودیت منابع آبی در کشور، آب زیرقشری و یا زیر بستر رودخانه‌های فصلی از اهمیت زیادی برخوردار است. این منابع آبی در محل‌هایی که دارای خصوصیات خاصی باشند، از طریق احداث سدهای زیرزمینی، استحصال و مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور استفاده از آب‌های زیرقشری، ضروری است تا ابتدا برآوردی با دقت مناسب از این پتانسیل آبی به عمل آید. لذا، هدف این پژوهش، برآورد جریان زیرقشری با استفاده از مدل Salas است که مبتنی بر بیلان هیدرولوژیکی می‌باشد. در این رابطه، داده‌ها و اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری ۱۵ ایستگاه اخذ شد و با ارزیابی و بازدیدهای میدانی، دو ایستگاه هیدرومتری در حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب به عنوان ایستگاه مناسب انتخاب شدند. در این ایستگاه‌ها با استفاده از مدل یاد شده، بیلان جریان زیرقشری محاسبه شد. نتایج نشان داد که در حوزه آبخیز آبگلال، از کل مقدار بارش، ۷۳ درصد از آن به صورت تبخیر و تعرق به جو باز گشته و ۱۱ درصد از آن در سطح حوضه نفوذ کرده و تنها مقدار ۱۶ درصد آن به رواناب تبدیل شده و از حوضه خارج می‌شود. همچنین، در حوزه آبخیز مرغاب اکثر مقدار بارندگی از طریق رواناب سطحی از حوضه خارج می‌شود، به طوری که ضریب رواناب معادل ۵۸/۷ درصد محاسبه شده است. در این حوضه، از کل مقدار بارش میزان ۴۱/۲ درصد در سطح حوضه نفوذ کرده و ۲۹/۹ درصد آن به صورت تبخیر و تعرق و ۲۷/۴ درصد آن به داخل زمین نفوذ می‌کند. با در نظر گرفتن مساحت ۱۵۱/۶ کیلومتر مربعی حوضه آبگلال، سالانه حدود ۸/۴ میلیون مترمکعب آب به صورت جریانات زیرقشری از حوضه خارج می‌شود. با توجه به مساحت ۶۶۴/۳ کیلومتر مربعی حوضه مرغاب نیز سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب به صورت جریانات سطحی و حدود ۴۳ میلیون مترمکعب به صورت جریانات زیرقشری از حوضه خارج می‌شود. همچنین، ارزیابی مدل در هر دو ایستگاه با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربع خطای نسبی، ضریب نش-ساتکلیف و میانگین قدر مطلق خطا صورت گرفت که به ترتیب میزان این آماره‌ها در ایستگاه مرغاب برابر ۲/۵۳، ۰/۵۳، ۱۰/۰۸ و برای ایستگاه آبگلال برابر ۰/۹۷، ۰/۳۲ و ۸/۹ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، رواناب، سدهای زیرزمینی، نفوذ عمقی، منابع آب

مقدمه

رودخانه‌های ایران اکثراً غیردائمی بوده و در ماه‌های خشک، جریان سطحی ندارند. اما خوشبختانه همین رودخانه‌های به ظاهر خشک، دارای رژیم جریان زیر بستر هستند که می‌توانند در خشکسالی‌ها به‌منظور آب شرب، کشاورزی، دام و آبیان مورد استفاده قرار گیرند. به‌منظور استفاده از آب‌های زیرسطحی، ضروری است ابتدا برآوردی با دقت مناسب از این پتانسیل آبی به‌عمل آید. این امر به این دلیل ضرورت دارد که در حال حاضر جریان آب‌های زیر بستر رودخانه‌ها به دلایل مختلف قابل اندازه‌گیری نیستند. لذا، نیاز است تا روش‌های علمی مناسب توسعه داده شده و از این طریق، به کمیت آن‌ها دست یافت.

Hesari و همکاران (۲۰۰۸) در بیان آب سطحی درازمدت، با استفاده از نقشه بارش، DEM، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و سایر داده‌های موجود، نقشه‌های رواناب متوسط سالانه و تبخیر و تعرق واقعی را محاسبه نمودند. در این پژوهش، از کسر نقشه رواناب از نقشه بارش، مقدار تلفات یا تبخیر و تعرق حقیقی حاصل شد. مدل چهار متغیره Salas توسط Heydarizadeh و Ahmadirad (۲۰۰۸) برای تعیین رابطه بین بارش-رواناب به‌صورت سالانه و ماهانه در حوضه رودخانه الشتر در ایستگاه سراب سیدعلی استفاده شد. نتایج اجرای مدل در این حوضه حاکی از این است که از مقدار متوسط ۵۸۲ میلی‌متر بارش، ۲۵۰ میلی‌متر آن به‌صورت رواناب و ۲۴۸ میلی‌متر به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود.

طی پژوهشی، Nazari و همکاران (۲۰۱۰)، اجزای بیان آب را برای دو حوضه لار و کسلیان محاسبه کردند. نتایج نشان داد که ۶۰ درصد بارندگی به‌صورت تبخیر و تعرق و ۱۱ درصد به‌صورت رواناب از حوضه خارج می‌شود. در منطقه یادشده، بیان آبی در اکثر سال‌ها منفی بوده، مگر در چند سال محدود که به‌علت سردی هوا و بارندگی زیاد، بیان آبی مثبت بوده است. Janbiao و همکاران (۲۰۰۳) تنها روش برآورد تبخیر و تعرق از یک حوضه بزرگ و یا یک منطقه وسیع را بیان‌بندی دانستند. نامبردگان با استفاده از این روش توانستند تبخیر و تعرق پتانسیل

را بر اساس بارندگی سالانه، عرض جغرافیایی، ارتفاع حوضه و درصد پوشش گیاهی با برآورد معقولی محاسبه کنند.

Salas (۲۰۰۶) در شبیه‌سازی ساده و منطقی، فرض را بر یک حوضه با جریان طبیعی آن بنا گذاشت (به‌طور مثال بدون انحراف آب در حوضه و یا بدون سد ذخیره‌ای در آن). مدل Salas تاکنون با فاصله زمانی بارش-رواناب سالانه و ماهانه ایجاد شده است. در پژوهشی دیگر، Muller-Wohlfeil و Mielby (۲۰۰۸) روشی را بر اساس کاربرد نتایج مدل منطقه‌ای آب زیرزمینی تحت شرایط فعلی و قبلی با توجه به برداشت آب‌های زیرزمینی برای کل استان فونن دانمارک توسعه دادند. آنان دریافتند که مناطق تخلیه شناسایی شده با استفاده از مدل، منطبق بر مناطقی است که آب زیرزمینی به‌طور بالقوه ممکن است به رواناب رودخانه بپیوندند.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی مدل Salas به منظور برآورد حجم جریان زیرقشری در حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب در استان خوزستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: در ابتدا، از ۱۵ ایستگاه هیدرومتری منتخب اولیه در سطح استان خوزستان یعنی دزفول، شوشتر، بتوند، کوپال (حویر)، دشت بزرگ، جوکنک، پل شاوور، مرغاب جلوگیر، پل منجیق، چم کوره، چم عبدالی، تنگ دولاب، دمدلی، دوکوهه و باغملک بازدید به‌عمل آمد. برای هر یک از آن‌ها، فرم ارزیابی ایستگاه‌های هیدرومتری تکمیل شد. سپس با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر کوهستانی بودن منطقه، محدودیت شیب، دبی رودخانه، هدایت الکتریکی آب، سازندهای زمین‌شناسی حوضه، مساحت حوضه، کاربری اراضی منطقه و با استفاده از اطلاعات حاصل از ارزیابی ایستگاه‌های هیدرومتری، در نهایت دو ایستگاه هیدرومتری باغملک در محدوده جغرافیایی ۲۶ ۵۲° طول شرقی و ۳۱ ۳۱° عرض شمالی و مرغاب-جلوگیر در محدوده جغرافیایی ۴ ۳۷° طول شرقی و ۳۰ ۵۵° عرض شمالی انتخاب شدند.

می‌باشد. مساحت حوزه آبخیز آبگلال با توجه به نقطه خروجی آن که پل گلال یا همان ایستگاه هیدرومتری باغملک در نظر گرفته شده ۱۵۱ کیلومتر مربع و مساحت حوزه آبخیز مرغاب با توجه به نقطه خروجی آن که ایستگاه هیدرومتری جلوگیر نزدیک روستای جلوگیر در نظر گرفته شده، ۶۶۴ کیلومتر مربع می‌باشد. جدول ۱، برخی عوامل فیزیکی و شکل ۱ شبکه آبراهه حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب را نشان می‌دهند.

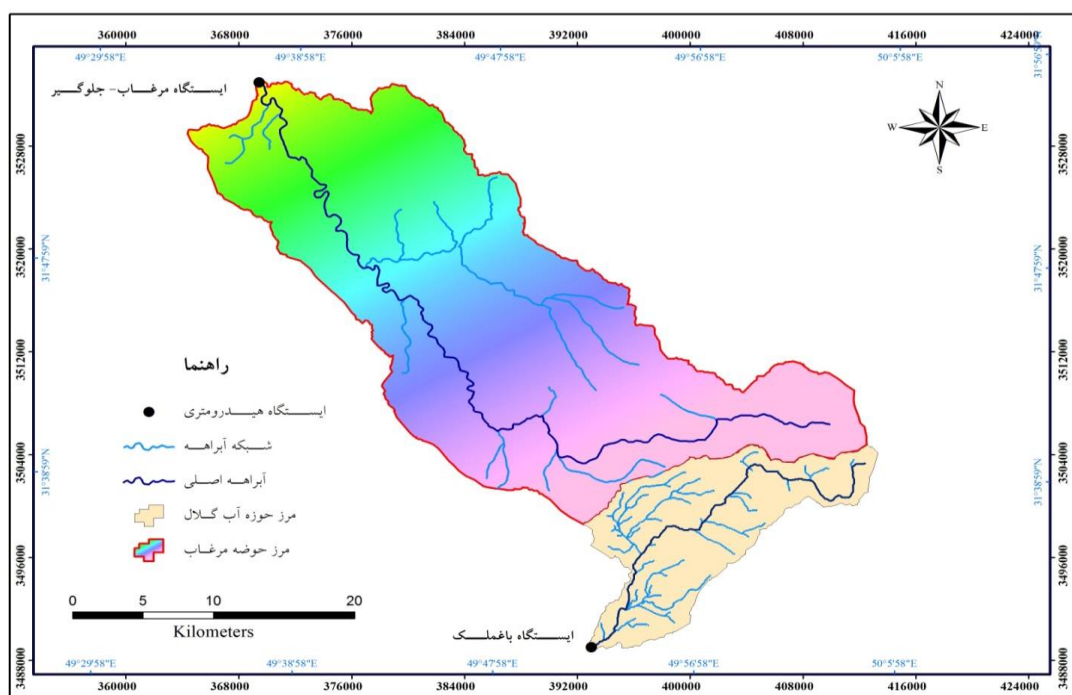
روش پژوهش: مطابق شکل ۲، مدل Salas برای شبیه‌سازی جریان سالانه حوضه به متغیرهای $P(t)$ بارش متوسط روی حوضه در فواصل زمانی t ، $SR(t)$ جریان سطحی، $I(t)$ نفوذ، $E(t)$ تبخیر و تعرق، $DP(t)$ نفوذ عمیق، $BF(t)$ جریان پایه، $GF(t)$ جریان زیرزمینی، $GS(t-1)$ ذخیره آب زیرزمینی در ابتدای زمانی t و $Q(t)$ جریان خروجی حوضه نیاز دارد.

در طبقه‌بندی کوپن، اقلیم منطقه باغملک در طبقه مرطوب و طبق طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌مرطوب معتدل می‌باشد. حوزه آبخیز آبگلال باغملک از لحاظ زمین‌شناسی، سازند سورمه، قدیمی‌ترین سازند موجود در منطقه می‌باشد که بر روی آن به‌ترتیب سازند آهکی داریان-فهلپیان، سازند شیلی-آهکی کژدمی، سازند آهکی ایلام-سروک، سازند شیلی-آهکی پابده، سازند مارنی-آهکی گورپی، سازند آهکی آسماری، لایه‌های گچ و مارن سازند گچساران، کنگلومرای بختیاری و نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر به‌ترتیب قدمت قرار گرفته‌اند.

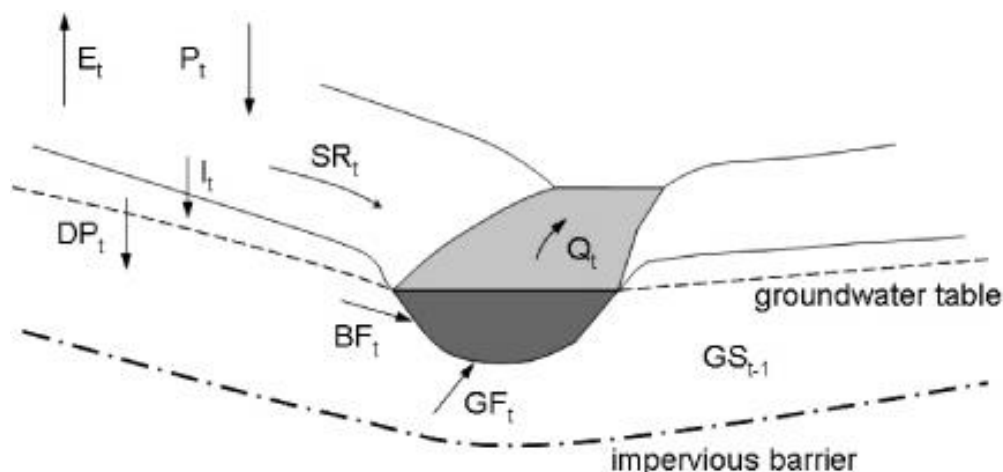
سازندهای زمین‌شناسی موجود در حوزه آبخیز مرغاب شامل سازند داریان، سازند ایلام-سروک، سازند پابده، سازند گورپی، سازند آسماری، سازند گچساران، سازند میشان، سازند آجاجاری، بخش لهری، کنگلومرای بختیاری و نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر

جدول ۱- برخی پارامترهای فیزیکی حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب

حوضه	محیط (کیلومتر)	مساحت (کیلومتر مربع)	طول رودخانه اصلی (کیلومتر)	ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	شیب متوسط (درجه)	زمان تمرکز (ساعت)
آبگلال	۷۲/۸۷	۱۵۱/۶۲	۳۴/۹۴	۶۶۱	۲۹۷۶	۱۸/۳	۲/۹۱
مرغاب	۱۹۲/۸۹	۶۶۴/۳۳	۷۵/۶۲	۴۵۳	۲۹۵۶	۱۲/۰۸	۶/۹



شکل ۱- موقعیت ایستگاه هیدرومتری حوزه‌های آبخیز آبگلال و مرغاب و شبکه آبراهه‌های آن‌ها



شکل ۲- مدل جریان‌های طبیعی روش Salas در یک حوضه با جریان سطحی (Salas, ۲۰۰۶)

$$GS(t) = (1 - c - d)GS(t - 1) + (1 - a)(1 - b)P(t) \quad (2)$$

که در آن، a ضریب رواناب، b نشانگر میزان تبخیر از آب نفوذی، c بخشی از جریان نفوذ یافته که مستقیماً وارد جریان پایه رودخانه می‌شود و d بخشی از جریان نفوذ یافته که مستقیماً وارد مخزن آب زیرزمینی می‌شود، می‌باشند.

مدل Salas به‌طور روشن، ذخیره سفره و جریان رودخانه را با نسبتی از بارش و با متغیرهای a ، b ، c و d توصیف نموده است. هر چند در عمل معمولاً روابط مولفه‌های مختلف جریان در حوضه پیچیده‌تر از این شکل ساده هستند. متغیرهای a ، b ، c و d مدل بر اساس داده‌های تاریخی و مشاهده‌ای بارش و جریان خروجی به‌دست می‌آیند. در این پژوهش از نرم‌افزار صفحه گستر Excel در محیط Solver استفاده شد.

در این مدل، روش کمترین مربعات تفاضل بین داده‌های مشاهده‌ای با محاسبه شده، به‌کار برده شده است. برای واسنجی مدل نیاز به داشتن مقدار ذخیره اولیه آب زیرزمینی است که در ابتدا مقداری تخمین و نهایتاً مقدار نزدیک به واقع را مدل برآورد و در اجرای ثانویه مدل مقدار دقیق‌تر ذخیره اولیه آب زیرزمینی به داده‌های ورودی مدل داده می‌شود. برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب نش-ساتکلیف (NSE)^۱ (Nash و Sutcliffe, ۱۹۷۰)، میانگین قدر مطلق خطا

شبه‌سازی جریان بر اساس فرض داشتن یک ذخیره و آن هم ذخیره آب زیرزمینی (GS) انجام می‌شود. زیرا ذخیره آب زیرزمینی یک مولفه مهم مدل در انباشت یا آزادسازی آب در رابطه با میزان جریان ورودی و خروجی حوضه است.

مدل منطقی حوضه هم از تعدادی مدل ساده که فرایندهای مختلف جریان را در حوضه مشخص می‌سازد، نظیر رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی و جریان پایه، به‌دست می‌آید. مدل مذکور اساساً روند بارش را در سرتاسر حوضه تا خروجی تعیین می‌سازد. بدین صورت که میزان بارشی که در سطح حوضه اتفاق می‌افتد، بخشی از آن به رواناب سطحی تبدیل شده و مابقی آن نفوذ می‌یابد که از این میزان آب در حال نفوذ، نیز بخشی صرف تبخیر و تعرق شده و از دسترس خارج می‌شود و باقی‌مانده به صورت نفوذ عمقی می‌باشد که از این میزان نیز درصدی به جریان پایه رودخانه پیوسته و بقیه وارد مخزن آب زیرزمینی می‌شود. رابطه کلی بیلان آب زیرقشری در مدل Salas به‌صورت زیر است.

$$GS(t) = GS(t - 1) + DP(t) - BF(t) - GF(t) \quad (1)$$

که در آن، $GS(t)$ ذخیره سفره در ابتدای زمانی t ، $GS(t-1)$ ذخیره آب زیرزمینی در ابتدای زمانی t ، $DP(t)$ نفوذ عمیق، $BF(t)$ جریان پایه و $GF(t)$ جریان زیرزمینی می‌باشد که با بازنویسی رابطه (۱)، مدل ساده شده بیلان آب زیرقشری به‌صورت زیر می‌باشد.

¹ Nash-Sutcliffe Efficiency

نتایج و بحث

نتایج کامل خروجی مدل Salas (محاسبات بیلان) برای حوزه‌های آبگلال و مرغاب به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. همان گونه که در این جداول مشاهده می‌شود، مولفه‌های بیلان سالانه شامل مقادیر جریان مستقیم، جریان نفوذ یافته عمقی، تبخیر و تعرق واقعی حوضه، جریان پایه و جریان زیرزمینی محاسبه شده است.

شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه بین دبی مشاهده‌ای با دبی محاسبه شده با استفاده از مدل Salas را در هر دو حوضه نشان می‌دهند.

در حوضه آبگلال باغملک مقدار ضرایب واسنجی شده a, b, c و d به ترتیب برابر $0/1586$ ، $0/18728$ ، $0/1550$ و $0/8450$ ، انحراف معیار $QH(t)$ برابر $79/16$ و انحراف معیار $Q(t)$ برابر با $27/07$ به دست آمد. همچنین، مقدار ضرایب واسنجی شده a, b, c و d برای حوضه مرغاب-جلوگیر به ترتیب برابر $0/5876$ ، $0/7259$ ، $0/1011$ و $0/7906$ ، انحراف معیار $QH(t)$ برابر $128/02$ و انحراف معیار $Q(t)$ برابر با $128/02$ به دست آمد.

نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل در هر دو حوضه آبخیز با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربع خطای نسبی، ضریب نش، میانگین خطای انحراف و میانگین قدر مطلق خطا در جدول ۴ ارائه شده است. پارامتر ارزیابی میانگین خطای انحراف (MBE) نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر مورد نظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. میزان $10/08$ - این آماره برای ایستگاه مرغاب نشان می‌دهد که مدل، ارتفاع رواناب محاسباتی را به-طور میانگین 10 میلی‌متر بیشتر از ارتفاع رواناب مشاهداتی برآورد کرده که این انحراف از میانگین مشاهداتی حدود $2/7$ درصد است. میزان $8/9$ این آماره برای ایستگاه باغملک حاکی از این است که مدل، ارتفاع رواناب محاسباتی را به‌طور میانگین $8/9$ میلی‌متر کمتر از ارتفاع رواناب مشاهداتی برآورد کرده که این انحراف از میانگین مشاهداتی حدود $7/8$ درصد است. ضریب نش-ساتکلیف اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این عامل بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند

(MAE)^۱، میانگین خطای انحراف (MBE)^۲ و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RMSE)^۳ استفاده شد.

$$NSE = [1 - [\sum(X_o - X_e)^2 / \sum(X_o - \bar{X}_o)^2]] \quad (3)$$

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

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((X_e - X_o) / X_o)^2} \quad (5)$$

$$MBE = 1/n \sum_{i=1}^n (X_o - X_e) \quad (6)$$

که در آن‌ها، X_o دبی مشاهده‌ای ایستگاه، X_e دبی برآورد شده با استفاده از مدل، \bar{X}_o میانگین دبی مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها می‌باشند. همچنین، همبستگی بین پارامترهای مختلف بیلان آب با استفاده از نرم‌افزار SPSS به روش پیرسون محاسبه شد.

داده‌های هیدرولوژی مورد نیاز مدل Salas شامل آمار بارندگی و دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه از سازمان آب و برق خوزستان دریافت شد. سپس، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در محیط GIS با استفاده از آمار ایستگاه‌های هم‌جوار میزان بارندگی ناشی از سطح برای هر حوضه در طول دوره آماری محاسبه شد.

داده‌های بارش و رواناب طی یک دوره آماری ۲۸ ساله (۱۳۸۳-۱۳۵۶) برای حوضه $151/62$ کیلومتر مربعی آبگلال باغملک و یک دوره ۱۸ ساله (۱۳۸۸-۱۳۷۱) برای حوضه $664/33$ کیلومتر مربعی مرغاب-جلوگیر وارد مدل شد و از نرم‌افزار صفحه گستر اکسل برای حل معادلات آن استفاده شد. ذخیره آب زیرزمینی اولیه برای حوضه آبگلال باغملک 120 میلی‌متر و برای حوضه مرغاب-جلوگیر 90 میلی‌متر فرض شد و جریان سطحی، محاسبه و با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شد. آن قدر این عمل به‌وسیله مدل تکرار می‌شود تا مربع اختلافات ارقام محاسبه شده و مشاهده شده به کمینه خود برسد و منحنی حاصله انطباق خیلی خوبی داشته باشد.

¹ Mean Absolute Error

² Mean Biased Error

³ Relative Root Mean Square Error

صفر تا یک می‌باشد، به طوری که هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، حاکی از اختلاف کمتر بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. جذر میانگین مربع خطای نسبی نیز هرچه کمتر باشد و به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است که میزان این آماره در ایستگاه مرغاب $۲/۵۳$ و در ایستگاه باغملک $۰/۹۷$ می‌باشد.

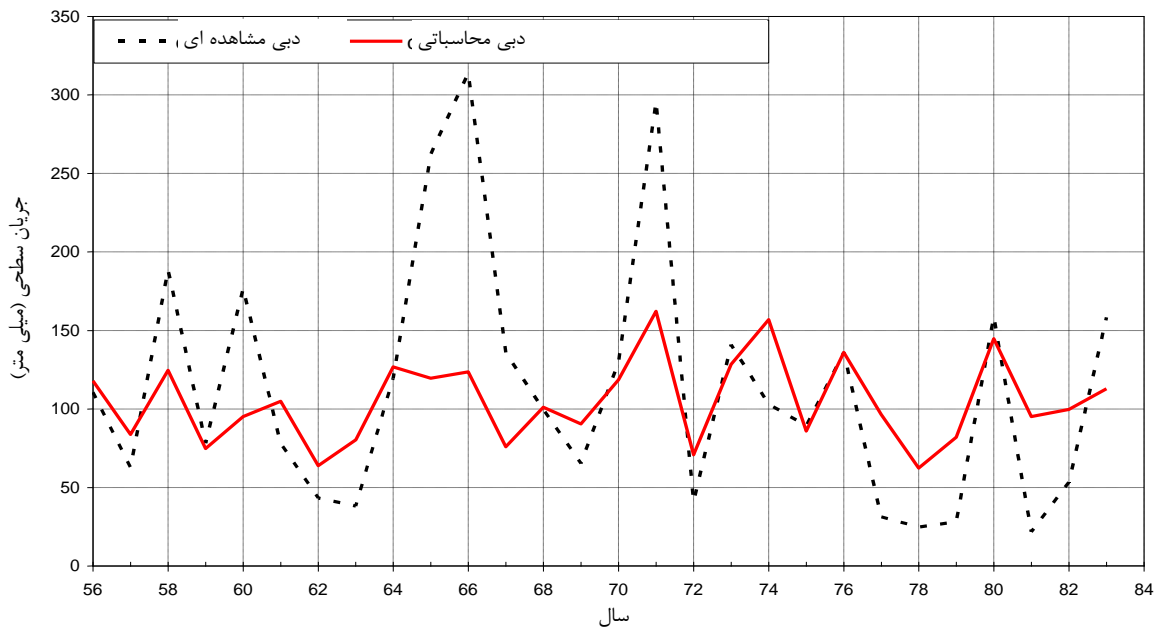
(Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰). مقدار بیشتر از $۰/۵$ این فاکتور نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب به وسیله مدل است. ضریب نش-ساتکلیف به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی برای ایستگاه مرغاب $۰/۵۳$ و برای ایستگاه باغملک $۰/۳۲$ است که نشان می‌دهد مدل در ایستگاه مرغاب خوب و بهتر از ایستگاه باغملک عمل کرده است. مقدار میانگین قدرمطلق خطا (MAE) بین

جدول ۲- مقادیر پارامترهای بیلان در حوضه آبریز با شبیه‌سازی مدل Salas

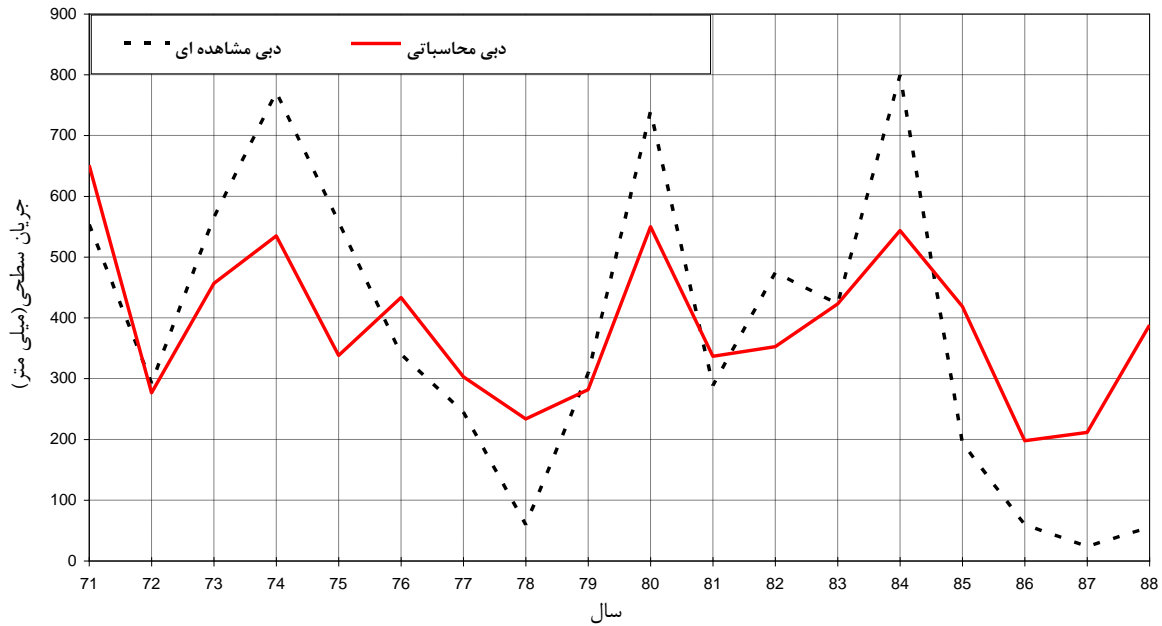
$P(t)$	$QH(t)$	$SR(t)$	$I(t)$	$E(t)$	$DP(t)$	$GS(t)$	$BF(t)$	$GF(t)$	$Q(t)$	T
(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(سال)
						۱۲۰/۰				.
۶۲۶/۸	۱۱۰/۷	۹۹/۴	۵۲۷/۴	۴۶۰/۳	۶۷/۱	۶۷/۱	۱۸/۶	۱۰۱/۴	۱۱۸/۰	۱۳۵۶
۴۶۳/۰	۶۲/۸	۷۳/۴	۳۸۹/۶	۳۴۰/۰	۴۹/۵	۴۹/۵	۱۰/۴	۵۶/۷	۸۳/۸	۱۳۵۷
۷۳۷/۵	۱۸۸/۶	۱۱۶/۹	۶۲۰/۶	۵۴۱/۶	۷۸/۹	۷۸/۹	۷/۷	۴۱/۹	۱۲۴/۶	۱۳۵۸
۳۹۴/۵	۷۸/۲	۶۲/۶	۳۳۱/۹	۲۸۹/۷	۴۲/۲	۴۲/۲	۱۲/۲	۶۶/۷	۷۴/۸	۱۳۵۹
۵۵۹/۰	۱۷۶/۸	۸۸/۶	۴۷۰/۴	۴۱۰/۵	۵۹/۸	۵۹/۸	۶/۵	۳۵/۷	۹۵/۲	۱۳۶۰
۶۰۳/۵	۷۸/۰	۹۵/۷	۵۰۷/۸	۴۴۳/۲	۶۴/۶	۶۴/۶	۹/۳	۵۰/۵	۱۰۵/۰	۱۳۶۱
۳۴۰/۰	۴۳/۳	۵۳/۹	۲۸۶/۱	۲۴۹/۷	۳۶/۴	۳۶/۴	۱۰/۰	۵۴/۶	۶۳/۹	۱۳۶۲
۴۷۱/۰	۳۸/۳	۷۴/۷	۳۹۶/۳	۳۴۵/۹	۵۰/۴	۵۰/۴	۵/۶	۳۰/۷	۸۰/۳	۱۳۶۳
۷۵۰/۵	۱۱۹/۴	۱۱۹/۰	۶۳۱/۵	۵۵۱/۲	۸۰/۳	۸۰/۳	۷/۸	۴۲/۶	۱۲۶/۸	۱۳۶۴
۶۷۵/۵	۲۶۲/۱	۱۰۷/۱	۵۶۸/۴	۴۹۶/۱	۷۲/۳	۷۲/۳	۱۲/۴	۶۷/۹	۱۱۹/۶	۱۳۶۵
۷۰۹/۰	۳۱۳/۷	۱۱۲/۴	۵۹۶/۶	۵۲۰/۷	۷۵/۹	۷۵/۹	۱۱/۲	۶۱/۱	۱۲۳/۶	۱۳۶۶
۴۰۵/۰	۱۳۵/۸	۶۴/۲	۳۴۰/۸	۲۹۷/۴	۴۳/۳	۴۳/۳	۱۱/۸	۶۴/۱	۷۶/۰	۱۳۶۷
۵۹۵/۵	۹۹/۶	۹۴/۴	۵۰۱/۱	۴۳۷/۴	۶۳/۷	۶۳/۷	۶/۷	۳۶/۶	۱۰۱/۱	۱۳۶۸
۵۰۸/۰	۶۵/۳	۸۰/۵	۴۲۷/۵	۳۷۳/۱	۵۴/۴	۵۴/۴	۹/۹	۵۳/۸	۹۰/۴	۱۳۶۹
۶۹۵/۰	۱۲۹/۶	۱۱۰/۲	۵۸۴/۸	۵۱۰/۴	۷۴/۴	۷۴/۴	۸/۴	۴۵/۹	۱۱۸/۶	۱۳۷۰
۹۵۰/۵	۲۹۵/۸	۱۵۰/۷	۷۹۹/۸	۶۹۸/۱	۱۰۱/۷	۱۰۱/۷	۱۱/۵	۶۲/۸	۱۶۲/۲	۱۳۷۱
۳۴۷/۵	۴۱/۱	۵۵/۱	۲۹۲/۴	۲۵۵/۲	۳۷/۲	۳۷/۲	۱۵/۸	۸۶/۰	۷۰/۹	۱۳۷۲
۷۷۳/۵	۱۴۱/۰	۱۲۲/۶	۶۵۰/۹	۵۶۸/۱	۸۲/۸	۸۲/۸	۵/۸	۳۱/۴	۱۲۸/۴	۱۳۷۳
۹۰۸/۴	۱۰۳/۲	۱۴۴/۰	۷۶۴/۴	۶۶۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۱۲/۸	۶۹/۹	۱۵۶/۹	۱۳۷۴
۴۴۶/۵	۸۹/۴	۷۰/۸	۳۷۵/۷	۳۲۷/۹	۴۷/۸	۴۷/۸	۱۵/۱	۸۲/۱	۸۵/۹	۱۳۷۵
۸۱۱/۰	۱۳۶/۰	۱۲۸/۶	۶۸۲/۴	۵۹۵/۶	۸۶/۸	۸۶/۸	۷/۴	۴۰/۴	۱۳۶/۰	۱۳۷۶
۵۲۴/۰	۳۱/۳	۸۳/۱	۴۴۰/۹	۳۸۴/۸	۵۶/۱	۵۶/۱	۱۳/۵	۷۳/۳	۹۶/۵	۱۳۷۷
۳۳۹/۰	۲۴/۷	۵۳/۸	۲۸۵/۲	۲۴۹/۰	۳۶/۳	۳۶/۳	۸/۷	۴۷/۴	۶۲/۴	۱۳۷۸
۴۸۱/۵	۲۸/۲	۷۶/۳	۴۰۵/۲	۳۵۳/۶	۵۱/۵	۵۱/۵	۵/۶	۳۰/۷	۸۲/۰	۱۳۷۹
۸۶۲/۵	۱۵۸/۶	۱۳۶/۸	۷۲۵/۷	۶۳۳/۴	۹۲/۳	۹۲/۳	۸/۰	۴۳/۵	۱۴۴/۷	۱۳۸۰
۵۱۰/۰	۲۱/۷	۸۰/۹	۴۲۹/۱	۳۷۴/۶	۵۴/۶	۵۴/۶	۱۴/۳	۷۸/۰	۹۵/۲	۱۳۸۱
۵۷۵/۵	۵۳/۳	۹۱/۳	۴۸۴/۲	۴۲۲/۷	۶۱/۶	۶۱/۶	۸/۵	۴۶/۱	۹۹/۷	۱۳۸۲
۶۵۲/۰	۱۵۸/۳	۱۰۳/۴	۵۴۸/۶	۴۷۸/۸	۶۹/۸	۶۹/۸	۹/۵	۵۲/۰	۱۱۲/۹	۱۳۸۳
۵۹۷	۱۱۳/۷	۹۴/۷	۵۰۲/۳	۴۳۸/۴	۶۳/۹	۶۳/۹	۱۰/۲	۵۵/۵	۱۰۴/۸	میانگین

جدول ۳- مقادیر پارامترهای بیلان در حوضه مرغاب با شبیه‌سازی مدل Salas

$P(t)$ (میلی‌متر)	$QH(t)$ (میلی‌متر)	$SR(t)$ (میلی‌متر)	$I(t)$ (میلی‌متر)	$E(t)$ (میلی‌متر)	$DP(t)$ (میلی‌متر)	$GS(t)$ (میلی‌متر)	$BF(t)$ (میلی‌متر)	$GF(t)$ (میلی‌متر)	$Q(t)$ (میلی‌متر)	T (سال)
						۹۰/۰				۰
۱۰۹۳	۵۵۳/۵	۵۶۸/۴	۵۲۴/۶	۱۵۷/۴	۳۶۷/۲	۴۰۱/۴	۱۰/۸	۴۵/۰	۵۷۹/۲	۱۳۷۱
۴۴۸	۲۹۲/۴	۲۳۳/۰	۲۱۵/۰	۶۴/۵	۱۵۰/۵	۳۰۳/۱	۴۸/۲	۲۰۰/۷	۲۸۱/۱	۱۳۷۲
۷۶۶	۵۶۵/۴	۳۹۸/۳	۳۶۷/۷	۱۱۰/۳	۲۵۷/۴	۳۷۲/۵	۳۶/۴	۱۵۱/۵	۴۳۴/۷	۱۳۷۳
۸۹۴	۷۷۱/۴	۴۶۴/۹	۴۲۹/۱	۱۲۸/۷	۳۰۰/۴	۴۴۲/۰	۴۴/۷	۱۸۶/۳	۵۰۹/۶	۱۳۷۴
۵۵۶	۵۵۷/۸	۲۸۹/۱	۲۶۶/۹	۸۰/۱	۱۸۶/۸	۳۵۴/۸	۵۳/۰	۲۲۱/۰	۳۴۲/۲	۱۳۷۵
۷۲۵	۳۳۹/۹	۳۷۷/۰	۳۴۸/۰	۱۰۴/۴	۲۴۳/۶	۳۷۸/۴	۴۲/۶	۱۷۷/۴	۴۱۹/۶	۱۳۷۶
۵۰۰	۲۴۴/۹	۲۶۰/۰	۲۴۰/۰	۷۲/۰	۱۶۸/۰	۳۱۱/۸	۴۵/۴	۱۸۹/۲	۳۰۵/۴	۱۳۷۷
۳۸۶	۵۹/۳	۲۰۰/۷	۱۸۵/۳	۵۵/۶	۱۲۹/۷	۲۴۸/۲	۳۷/۴	۱۵۵/۹	۲۳۸/۱	۱۳۷۸
۴۷۱	۳۰۸/۶	۲۴۴/۹	۲۲۶/۱	۶۷/۸	۱۵۸/۳	۲۵۲/۶	۲۹/۸	۱۲۴/۱	۲۷۴/۷	۱۳۷۹
۹۲۶	۷۳۹/۶	۴۸۱/۵	۴۴۴/۵	۱۳۳/۳	۳۱۱/۱	۴۰۷/۱	۳۰/۳	۱۲۶/۳	۵۱۱/۸	۱۳۸۰
۵۵۴	۲۸۸/۶	۲۸۸/۱	۲۶۵/۹	۷۹/۸	۱۸۶/۱	۳۴۰/۸	۴۸/۹	۲۰۳/۶	۳۳۶/۹	۱۳۸۱
۵۸۷	۴۷۴/۷	۳۰۵/۲	۲۸۱/۸	۸۴/۵	۱۹۷/۲	۳۲۶/۸	۴۰/۹	۱۷۰/۴	۳۴۶/۱	۱۳۸۲
۷۰۷	۴۲۳/۰	۳۶۷/۶	۳۳۹/۴	۱۰۱/۸	۲۳۷/۶	۳۶۱/۷	۳۹/۲	۱۶۳/۴	۴۰۶/۹	۱۳۸۳
۹۱۰	۷۹۸/۹	۴۷۳/۲	۴۳۶/۸	۱۳۱/۰	۳۰۵/۸	۴۴۳/۲	۴۳/۴	۱۸۰/۹	۵۱۶/۶	۱۳۸۴
۶۹۳	۱۹۳/۷	۳۶۰/۴	۳۳۲/۶	۹۹/۸	۲۳۲/۸	۴۰۱/۳	۵۳/۲	۲۲۱/۶	۴۱۳/۵	۱۳۸۵
۳۲۱	۵۹/۳	۱۶۶/۹	۱۵۴/۱	۴۶/۲	۱۰۷/۹	۲۶۰/۳	۴۸/۲	۲۰۰/۶	۲۱۵/۱	۱۳۸۶
۳۵۲	۲۳/۷	۱۸۳/۰	۱۶۹/۰	۵۰/۷	۱۱۸/۳	۲۱۷/۲	۳۱/۲	۱۳۰/۲	۲۱۴/۳	۱۳۸۷
۶۵۳	۵۵/۱	۳۳۹/۶	۳۱۳/۴	۹۴/۰	۲۱۹/۴	۳۰۱/۹	۲۶/۱	۱۰۸/۶	۳۶۵/۶	۱۳۸۸
۶۴۱/۲	۳۷۵	۳۷۶/۸	۲۶۴/۴	۱۹۱/۹	۷۲/۵	۸۱/۴	۸/۳	۶۴/۸	۳۸۵	میانگین



شکل ۳- مقایسه دبی جریان سطحی خروجی سالانه اندازه‌گیری شده با مقادیر برآوردی مدل Salas در حوضه آبگلال



شکل ۴- مقایسه دبی جریان سطحی خروجی سالانه اندازه‌گیری شده با مقادیر برآوردی مدل Salas در حوضه مرغاب

جدول ۴- آماره‌های محاسبه شده مربوط به خطا برای بررسی کارایی مدل Salas

نام ایستگاه	جذر میانگین مربع خطای نسبی	ضریب نش	میانگین خطای انحراف	میانگین قدر مطلق خطا
مرغاب- جلوگیر	۲/۵۳	۰/۵۳	-۱۰/۰۸	۱۰/۰۸
باغملک	۰/۹۷	۰/۳۲	۸/۹۰	۸/۹۰

معنی‌دار نیز نیست. به نظر می‌رسد این مهم نشان‌گر تاثیر غیر مستقیم این دو پارامتر از دیگر متغیرها باشد، در صورتی که متغیرهای نفوذ، تبخیر و تعرق، بارش و رواناب به‌طور مستقیم روی هم تاثیر گذاشته است. جریان پایه جریانی است که معمولاً در مواقع کم آبی نیز در رودخانه جریان دارد و تقریباً مقدار ثابتی است و مقدار بارش فقط باعث تغییر در جریان خروجی می‌شود و مقدار نفوذ و تبخیر نیز نمی‌تواند مقدار زیادی بر میزان جریان پایه تاثیر گذارد. از سویی، جریان آب زیرزمینی به جریان پایه و ذخیره آب زیرزمینی بستگی دارد و هر چه مقدار ذخیره آب زیرزمینی بالا باشد، بر روی میزان جریان نیز اثر می‌گذارد. همین‌طور، جریان پایه فقط به ذخیره آب زیرزمینی بستگی دارد، به‌طوری‌که هر چه ذخیره بیشتر باشد، جریان پایه نیز بیشتر می‌باشد.

در مجموع میزان آماره‌های فوق حاکی از عملکرد بهتر مدل در برآورد رواناب در ایستگاه مرغاب نسبت به ایستگاه باغملک می‌باشد. اما در ایستگاه باغملک نیز با توجه به آماره‌های نش-ساتکلیف ۰/۳۲، جذر میانگین مربع خطای نسبی ۰/۹۷ و انحراف از میانگین مشاهداتی حدود ۷/۸ درصدی، نشان می‌دهد که مدل نیز در این ایستگاه عملکرد تقریباً متوسطی داشته است.

میزان همبستگی بین عوامل مختلف بیلان با استفاده از روش پیرسون در هر دو حوزه آبخیز آبگلان و مرغاب در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج حاکی از این است که به استثنای جریان پایه و جریان زیرزمینی همبستگی بالا و معنی‌داری بین سایر عوامل بیلان وجود دارد. همبستگی بین جریان پایه و جریان آب زیرزمینی با دیگر متغیرها ضعیف محاسبه شده که

جدول ۵- نتایج همبستگی پیرسون بین پارامترهای مختلف بیلان آبی حوزه آبخیز آبگلال

<i>Qt</i>	<i>GF</i>	<i>BF</i>	<i>GS</i>	<i>DP</i>	<i>E</i>	<i>I</i>	<i>SR</i>	<i>QH</i>	<i>P</i>		
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	<i>P</i>	همبستگی پیرسون
۰/۶۵۷**	-۰/۰۲۵	-۰/۰۲۵	۰/۶۵۱**	۰/۶۵۱**	۰/۶۵۱**	۰/۶۵۱**	۰/۶۵۱**	۱	۰/۶۵۱**	<i>QH</i>	
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	۰/۶۵۱**	۱/۰۰۰**	<i>SR</i>	
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	۱/۰۰۰**	۰/۶۵۱**	۱/۰۰۰**	<i>I</i>	
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۶۵۱**	۱/۰۰۰**	<i>E</i>	
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱/۰۰۰**	۱	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	<i>DP</i>	
۰/۹۹۳**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	۱	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۶۵۱**	۱/۰۰۰**	<i>GS</i>	
-۰/۰۶۰	۱/۰۰۰**	۱	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۰۲۵	-۰/۱۸۰	<i>BF</i>	
-۰/۰۶۰	۱	۱/۰۰۰**	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۰	-۰/۰۲۵	-۰/۱۸۰	<i>GF</i>	
۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۶۰	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**	۰/۶۵۷**	۰/۹۹۳**	<i>Qt</i>	

** معنی‌دار در سطح یک درصد است.

جدول ۶- نتایج همبستگی پیرسون بین پارامترهای مختلف بیلان آبی حوزه آبخیز مرغاب

<i>Qt</i>	<i>GF</i>	<i>BF</i>	<i>GS</i>	<i>DP</i>	<i>E</i>	<i>I</i>	<i>SR</i>	<i>QH</i>	<i>P</i>		
۱/۰۰۰**	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۹۹۴**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۷۷۷**	۱	<i>P</i>	همبستگی پیرسون
۰/۷۸۰**	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۷۸۹**	۰/۷۷۷**	۰/۷۷۷**	۰/۷۷۷**	۰/۷۷۷**	۱	۰/۷۷۷**	<i>QH</i>	
۱/۰۰۰**	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۹۹۴**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	۰/۷۷۷**	۱/۰۰۰**	<i>SR</i>	
۱/۰۰۰**	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۹۹۴**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱	۱/۰۰۰**	۰/۷۷۷**	۱/۰۰۰**	<i>I</i>	
۱/۰۰۰**	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۹۹۴**	۱/۰۰۰**	۱	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۷۷۷**	۱/۰۰۰**	<i>E</i>	
۱/۰۰۰**	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۹۹۴**	۱	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۷۷۷**	۱/۰۰۰**	<i>DP</i>	
۰/۹۹۴**	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۱	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۴**	۰/۷۸۹**	۰/۹۹۴**	<i>GS</i>	
۰/۰۲۸	۱/۰۰۰**	۱	۰/۱۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۱۵۹	۰/۰۰۸	<i>BF</i>	
۰/۰۲۸	۱	۱/۰۰۰**	۰/۱۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۱۵۹	۰/۰۰۸	<i>GF</i>	
۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۹۹۴**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۰/۷۸۰**	۱/۰۰۰**	<i>Qt</i>	

** معنی‌دار در سطح یک درصد است.

نتیجه‌گیری

تبخیر به صورت مختلف خارج می‌شود و در حدود ۹۵ میلی‌متر به صورت جریان سطحی از حوضه خارج می‌شود. در نتیجه در حدود ۶۴ میلی‌متر از بارش کل به صورت نفوذ عمقی به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد که اغلب از طریق آب‌های زیرزمینی از حوضه خارج می‌شود. با در نظر گرفتن مساحت حوضه آبگلال (۱۵۱/۶۲ کیلومترمربع)، سالانه حدود ۸/۴ میلیون مترمکعب آب به صورت جریانات زیرقشری از حوضه خارج می‌شود.

در حوزه آبخیز مرغاب، اکثر مقدار بارندگی از طریق رواناب سطحی از حوضه خارج می‌شود،

بررسی نتایج مدل Salas حاکی از این است که در حوزه آبخیز آبگلال باغملک غالباً مقدار بارندگی از طریق تبخیر اولیه و تبخیر و تعرق از حوضه خارج می‌شود. نتایج حاصل از مدل نشان داد که در این حوضه از مقدار بارش کل، ۷۳ درصد از آن مجدداً به صورت تبخیر و تعرق به جو باز می‌گردد و مقدار ۱۱ درصد از آن در سطح حوضه نفوذ می‌کند و تنها مقدار ۱۵/۹ درصد بارش تبدیل به رواناب شده و از حوضه خارج می‌شود. به طوری که از مقدار متوسط ۵۹۷ میلی‌متر بارش در حوضه، ۴۳۸ میلی‌متر آن به صورت

می‌شود که می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح و با شناخت موقعیت‌های مناسب از طریق احداث سدهای زیرزمینی، آن‌ها را کنترل و مدیریت نمود.

پیشنهادها

۱- با توجه به پیچیدگی خاص تشکیلات کارستی که احتمال فرار آب از طریق جریان زیرزمینی به حوضه‌های مجاور (قبل از ورود به ایستگاه هیدرومتری مورد نظر و اندازه‌گیری آن) وجود دارد، لذا بهتر است، حوزه آبخیز مورد نظر کاملاً کارستی نباشد.

۲- منطقه مورد نظر خیلی وسیع نباشد، تا جریان خروجی از حوضه به‌صورت متمرکز از یک نقطه خارج شود.

۳- به‌نظر می‌رسد که داده‌های بازسازی شده دبی مشاهداتی بر روی دقت مدل تأثیر می‌گذارد، لذا توصیه می‌شود، از آمار ایستگاه‌هایی استفاده شود که دارای داده‌های کامل می‌باشند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پروژه تحقیقاتی بوده که به‌وسیله پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تامین اعتبار شده و به‌وسیله بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان اجرا شده است که بدین ترتیب مراتب قدردانی اعلام می‌شود.

به‌طوری‌که طبق نتایج حاصل از مدل، ضریب رواناب در این حوضه معادل ۵۸/۷۶ درصد می‌باشد. یکی از دلایل بالا بودن ضریب رواناب به جنس تشکیلات زمین-شناسی حوضه مربوط می‌شود که قسمت زیادی از وسعت حوضه از جنس سازندهای با نفوذپذیری کم آغاچاری، بخش لهبری، سازند گچساران و رسوبات کواترنر و در قسمتی که شیب زیاد است، نیز قسمت عمده حوضه از سازند آهکی ایلام-سروک و سازند مارنی-آهکی گورپی می‌باشد. نتایج حاصل از مدل نشان داد که در حوضه مرغاب از مقدار بارش کل، ۴۱/۲۴ درصد در سطح حوضه نفوذ می‌کند که از این مقدار، میزان ۷۲/۵۹ درصد آن مجدداً به‌صورت تبخیر و تعرق به جو باز می‌گردد و مقدار ۲۷/۵۱ درصد از آب نفوذ یافته و به‌صورت جریان آب زیرزمینی در می‌آید. در نتیجه، تنها ۱۱ درصد از بارش کل، در حوضه نفوذ می‌کند. با در نظر گرفتن بارش سالانه در حوضه مرغاب که معادل ۶۴۱ میلی‌متر می‌باشد، مقدار ۱۹۲ میلی‌متر آن به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود و مقدار ۷۲ میلی‌متر آن به‌صورت نفوذ عمقی به آب‌های زیرزمینی می‌رسد و در نتیجه ۳۷۷ میلی‌متر آن به‌صورت رواناب سطحی از حوضه خارج می‌شود. با توجه به مساحت حوضه مرغاب (۶۶۴/۳۳ کیلومتر مربع)، سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب به‌صورت جریان‌ات سطحی و حدود ۴۳ میلیون مترمکعب به‌صورت جریان‌ات زیرقشری از حوضه خارج

منابع مورد استفاده

- Hesari, B., R. Nikfar and H. Rezaei. 2008. Long-term surface water balance in river basins using GIS. 3rd Conference on Water Resources Management. Tabriz University, (in Persian).
- Heydarizadeh, M. and M. Ahmadi. 2008. Using the Salas four-variable model for analysis of water balance components inside basin. 3rd Conference on Water Resources Management. Tabriz University, (in Persian).
- Janbiao, L., S.G. McNulty and D.M. Amatya. 2003. Modeling actual evapotranspiration from forested watersheds across the Southeastern United States. Journal of the American Water Resources Association, 39(4): 887-896.
- Muller-Wohlfeil, D.I. and S. Mielby. 2008. Modelling to support the assessment of interlink ages between groundwater and surface water in the context of the EU Water Framework Directive. International Association of Hydrological Sciences Publication, 320 pages.
- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I-A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3): 282-290.
- Nazari, M.A., M. Habibnejad and K. Shahedi. 2010. Calculation and investigation of monthly water balance by Torrent White method, case study: Talar watershed. First National Conference on water Resources Management of Coastal Lands. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (in Persian).
- Salas, J.D. 2006. Manual of Salas Model, precipitation-stream flow relationship: watershed modeling.

Estimation of subsurface flow in Marghab and Abgelal Watersheds using Salas Model in Khuzestan Province

Freidoon Soleimani^{*1}, Mohammad Hossein Mahdian² and Majid Heidarizadeh³

¹MSc, Agricultural and Natural Resources Research Center, Khuzestan, Iran, ²Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran and ³Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 01 July 2013

Accepted: 29 December 2013

Abstract

Due to the water resources limitation in the country, subsurface flow of the seasonal rivers has an important role. These water resources can be used when collected by underground dams in locations with appropriate properties. In order to use the subsurface flow, it is necessary to estimate water resources potential accurately. Therefore, the aim of this study is to estimate the volume of subsurface flow using Salas model based on hydrologic balance. For this reason, the meteorologic and hydrometric information and data of 15 stations were gathered and two hydrometric stations of Abgelal and Marghab were chosen as suitable ones by assessing and field survey. At these stations, the balance of subsurface flow was estimated using the above mentioned model. The results showed that in Abgelal watershed, 73 and 11 percent of the total rainfall were lost due to evapotranspiration and infiltration respectively, and just 16 percent was outflowed from watershed in the form of surface runoff. Also, most of the rainfall was outflowed through surface runoff in Marghab watershed and the coefficient of runoff was 58.7 percent. In this watershed, 41.2 percent of the total rainfall was infiltrated and 29.9 percent was lost due to evapotranspiration and 27.4 percent was infiltrated. Considering the area of Abgelal watershed of 151.6 km², about 8.4 million m³ is drained annually as subsurface flows. According to the area of Marghab watershed of 664.3 km², annually about 250 and 43 million m³ are drained as surface and subsurface flows, respectively. Also, evaluation of the model in both stations using relative root mean square error, Nash-Sutcliffe efficiency and mean absolute error, showed the amounts of 2.53, 0.53 and 10.08 in Marghab and 0.97, 0.32 and 8.9 in Abgelal station.

Key words: Deep percolation, Evapotranspiration, Runoff, Underground dams, Water resources

* Corresponding author: frsolaimani@gmail.com