

ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی با تحلیل داده‌های اندازه‌گیری و مدل‌های شبیه‌سازی در حوزه‌های آبخیز استان گلستان

فرود شریفی*^۱ و سمانه اروندی^۲

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۲ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷

چکیده

این پژوهش به منظور ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی و ظرفیت‌های آبی منطقه مورد بررسی و فراهم کردن ابزاری برای برآورد آبدهی و شبیه‌سازی رفتار حوزه‌های آبخیز در استان گلستان به انجام رسید. با بررسی تعدادی از مدل‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی SFBM، AWBM2002، SCS و ISDI، پس از انجام اصلاحات و تطبیق با شرایط، انتخاب و در سطح کل حوزه‌های دارای آمار به کار گرفته شد. تحلیل نتایج مدل‌های توسعه یافته، پارامترهای مدل، آستانه شروع رواناب، منحنی تداوم جریان، خط برف، شاخص‌های خشکیدگی جریان و شاخص دبی پایه، تهیه و یا انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که مدل‌های مورد استفاده به خوبی می‌توانند مجموع رواناب، آب پایه و رواناب سطحی را در این حوزه‌ها شبیه‌سازی کنند و قادرند با اطلاعات قابل دسترس پاسخ حوزه‌های فاقد آمار را محاسبه کرده و از قابلیت خوبی در طراحی و پژوهش برخوردار باشند. نتایج به دست آمده در برآورد آستانه شروع رواناب، نشان داد که بیشترین مساحت استان دارای آستانه شروع رواناب بین پنج تا ۱۰ میلی‌متر است. این محدوده آستانه شروع رواناب در گستره ۶۱/۵۱ درصد کل حوزه‌های استان است. هرچه آستانه شروع رواناب کمتر باشد، نشان از قابلیت نفوذپذیری کمتر و در نتیجه سیل‌خیزی بیشتر است، در نتیجه اکثر پهنه‌های حوزه‌های استان مستعد سیل‌خیزی است. همچنین، نتایج نشان داد که بالاترین مقدار آستانه شروع رواناب در حوضه بندرگز برابر با ۲۰ میلی‌متر بوده که دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای آن برابر با ۰/۲۷ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع برآورد شد. کمترین مقدار آن نیز در حوضه‌های آزادشهر و گنبد کاووس به ترتیب برابر با دو و چهار میلی‌متر به دست آمده که دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای آن از ۰/۱۶ در حوضه گنبد کاووس تا ۰/۲۶ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع در حوضه آزادشهر است. نتایج دیگر پژوهش نشان می‌دهد که از بین حوضه‌های مناطق مشابه، حوضه پایاب قطورچای با مساحت ۲۰۱/۴۵ کیلومتر مربع با دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای ۰/۴۹ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع دارای بیشترین مقدار و حوضه‌های شور میانی با مساحت ۳۷/۲۲ کیلومتر مربع و حوضه خلیج گرگان با مساحت ۲۹۱/۶۲ کیلومتر مربع در محدوده استان با دبی ۰/۰۴ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع دارای کمترین دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله است. نتایج روابط بین آستانه شروع رواناب با عوامل مورفو-اقليمی نشان داد که آستانه شروع رواناب، بیشترین همبستگی را با عمق بارش دارد. نتایج حاصل از مدل خشکی نشان داد که در مرحله اعتبارسنجی مدل با ضریب همبستگی بالا دبی را شبیه‌سازی کرده است.

واژه‌های کلیدی: بارش، تبخیر، رواناب، AWBM، ISDI، SCS، SFBM

مقدمه

برخی از فرایندهای هیدرولوژیکی بسیار پیچیده بوده و نمی‌توان همه ویژگی و رفتارهای آن را شناخت. با گسترش استفاده از رایانه، شبیه‌سازی سامانه‌های طبیعی رشد قابل ملاحظه‌ای یافته است. معمولاً شبیه‌سازی با پیش‌بینی وضعیت هیدرولوژیکی و برآورد مقادیر، امکان بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل معادله بیلان آبی و پارامترهای چرخه هیدرولوژی را فراهم می‌کند.

روش‌های متعددی برای تخمین مقادیر پارامترهای فیزیکی موثر در معادله بیلان آبی نظیر بارندگی، تبخیر، نفوذ، درجه حرارت وجود دارد. با وجود ارزش بسیار زیاد داده‌های مشاهده‌ای، دستیابی به آن‌ها مستلزم صرف زمان طولانی اندازه‌گیری با دستگاه‌های گران قیمت بوده و از سوی دیگر داده‌های مشاهده‌ای همواره در معرض تغییرات ایجاد شده به‌وسیله انسان در طبیعت هستند.

مدل‌سازی روابط بارش-رواناب از اقدامات مهم در انجام پروژه‌های منابع آب است. رابطه بارش-رواناب به دلیل وجود خصوصیات متغیر زمانی و مکانی حوزه آبخیز و الگوهای زمانی و مکانی بارش از پیچیدگی و درجه غیر خطی بالایی برخوردار است. مدل‌های بارش-رواناب بر اساس میزان بازنمایی فرایند فیزیکی تحت مطالعه، به سه دسته فیزیکی، مفهومی و جعبه سیاه تقسیم‌بندی می‌شود (Hassanpor و همکاران، ۲۰۱۵).

سامانه حوزه آبخیز تنظیم‌کننده کمیت و کیفیت چرخه آب است. مشکلاتی که در عصر حاضر در این چرخه پدیدار آمده، هزینه‌ای است که انسان به دلیل عدم شناخت صحیح این چرخه پیچیده و نیز نداشتن برنامه‌ریزی در طرح‌ها به لحاظ ارتباط بین مدیریت آب و تحولات جوامع متحمل شده است. برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های اجرایی و مدیریتی متفاوت است. شناخت چرخه هیدرولوژی در مقیاس حوضه‌ای برای مدیریت حوضه ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های هیدرولوژی برای مسائلی همچون توسعه و مدیریت حوضه و ارزیابی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۶).

مدل‌های شبیه‌سازی بارش-رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای بررسی فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی است. دو کاربرد مهم مدل‌های بارش-رواناب، پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است (Gautam و همکاران، ۲۰۰۱؛ Sharifi، ۱۹۹۷). در دهه‌های گذشته مدل‌های متعددی به‌وسیله پژوهشگران ارائه شده که معمولاً تعداد مدل‌های ارائه شده در مناطق مرطوب بیش از مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است، چون در مناطق خشک، فقط داده‌های ثبت شده سیلاب‌های فصلی و ناگهانی موجود است (Lang و همکاران، ۱۹۹۹). مزیت مدل‌های شبیه‌سازی نسبت به روش‌های قدیمی تخمین رواناب، نتیجه دقیق‌تر و صرف زمان و هزینه کمتر است (Linsely، ۱۹۷۶). هر مدل بسته به ساده یا پیچیده بودن نیاز به یکسری داده‌های ورودی و خروجی برای واسنجی و نیاز به یکسری داده‌های خروجی مشاهده‌ای برای تحقیق درستی ساختمان مدل دارد (Telvari، ۱۹۹۶).

Hossinzadeh و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور پیش-بینی خشکسالی هیدرولوژیکی رودخانه گاماسیاب با شاخص خشکسالی جریان رودخانه، از فرمول SDI استفاده نمودند. بر اساس این پژوهش، بیشترین همبستگی بین داده‌های SDI در دوره نه و ۱۲ ماهه رخ داده معادل ۰/۹۵۵ بوده که در سطح یک درصد معنی‌دار گزارش شد. در پژوهش Sharifi و Boyd (۱۹۹۴) مدل‌های بارش-رواناب سه پارامتره AWBM و SFB در استرالیا مقایسه و نتیجه‌گیری شد که مدل AWBM بهتر از مدل SFB رواناب را شبیه‌سازی می‌کند.

یکی از مهمترین شاخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تاکید شده، شاخص جریان پایه (BFI)^۱ است. شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد بوده که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید. مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند جریان پایه، یا سایر مؤلفه‌های جریان به‌وسیله

¹ Base Flow Index

نتایج نشان داد که مدل‌های شبیه‌سازی SFBM، AWBM2002، SCS و ISDI برای برآورد آبدهی و شبیه‌سازی رفتار حوزه‌های آبخیز، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. با بررسی‌های به‌عمل آمده تا کنون مطالعات جامعی در خصوص بررسی و شبیه‌سازی پارامترهای حوزه‌های آبخیز در کشور صورت نگرفته است. لذا، در پژوهش حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات موجود، از مدل‌های یاد شده برای برآورد آبدهی و شبیه‌سازی رفتار حوزه‌های آبخیز در استان گلستان مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

استان گلستان در قسمت شمالی کشور، بین عرض جغرافیایی $36^{\circ} 30'$ تا $38^{\circ} 8'$ شمالی و طول جغرافیایی $53^{\circ} 57'$ تا $56^{\circ} 22'$ شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). این استان از شمال به جمهوری ترکمنستان، از غرب به استان مازندران و دریای خزر، از جنوب به استان سمنان و از شرق به استان خراسان شمالی محدود می‌شود. منطقه مورد پژوهش در اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب واقع است و متوسط بارندگی این استان $398/3$ میلی‌متر است (جدول ۱). استان گلستان با وسعتی معادل $20437/74$ کیلومتر مربع $1/3$ درصد مساحت کل کشور را داراست. از کل مساحت استان، 26 درصد را اراضی کشاورزی و 21 درصد را جنگل و 53 درصد را مرتع تشکیل می‌دهد. این استان با داشتن 26 درصد کاربری اراضی کشاورزی، رتبه ۳ را در بین استان‌های کشور داراست. سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی در تولید ناخالص داخلی استان حدود 20 درصد است. $32/45$ درصد از جمعیت شاغل استان، در بخش کشاورزی است فعالیت می‌کنند.

پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (Nathan و Mc Mahon، ۱۹۹۰).

مشخصه‌های هیدروکلیماتولوژی عمده شامل بارش، دما، تبخیر و تعرق است و عوامل فیزیکی شامل پارامترهای فیزیوگرافی و ثابت حوضه بوده که ممکن است، پارامترهای زمین‌شناسی و خاک‌شناسی از دیدگاه هیدروژئولوژی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در این میان، شاخص BFI بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرزمینی در آب‌های سطحی است که ممکن است تحت تاثیر زمین‌شناسی حوضه قرار داشته باشد (Nathan و Mc Mahon، ۱۹۹۲).

اطلاع از رژیم جریان پایه برای مقاصد متعددی مانند مدیریت منابع آب، حفاظت بوم‌سازگان‌های آبی، تولید انرژی، حمل و نقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (Cyr و همکاران، ۲۰۱۱). چنین اطلاعاتی در خصوص حوضه‌های فاقد آمار در دسترس نیست، بنابراین، فرایند تحلیل منطقه‌ای برای انتقال روابط شاخص حوضه‌های دارای آمار به حوضه‌های فاقد آمار مورد نیاز است (BIÖschletal، ۲۰۱۳).

اهمیت و نقش توپوگرافی زیرسطحی و مشخصه‌های خاک، از جمله رطوبت، بافت و نفوذپذیری بر جریان پایه و نقش آن به عنوان پیش‌بینی کننده، رطوبت و جریان‌های زیرقشری در نتایج پژوهش‌های منتشرشده به‌وسیله Chaplot و همکاران (۲۰۰۳) به اثبات رسیده است.

تاثیر تغییرات اقلیمی و پارامترهای مربوط به ویژه دما و تبخیر و تعرق واقعی بر روی جریان پایه و اهمیت آن به‌عنوان پیش‌بینی کننده به‌وسیله Tague و همکاران (۲۰۰۸) و Choi و همکاران (۲۰۰۹) مورد پژوهش قرار گرفته و به اثبات رسیده است.

جدول ۱- وضعیت منابع آب استان

مقدار شاخص	واحد	شاخص
۳۹۸/۳	میلی‌متر	متوسط بارندگی
۲۴۸۵		کل آب حاصل از بارندگی
۸۰۴		متوسط سالانه آب‌های سطحی استحصال شده
۱۲۳۵	میلیون متر مکعب	کل منابع آب سطحی قابل استحصال
۱۱۷۰		میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی
۶۵	درصد	بهره‌برداری از منابع آب سطحی

روابط بسیار زیادی در رابطه با شاخص بارش پیشین وجود دارد. در این پژوهش، دو رابطه کاربردی محاسبه شاخص بارش پیشین مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از دو رابطه (۱) و (۲) برای حوضه معرف، محاسبات انجام و سپس بین هر دو شاخص با تعداد روزهای پیشین یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، هفت، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روزه با رواناب کلیه حوضه‌ها همبستگی برقرار و نتایج مقایسه شد.

$$API_i = a_1 P_1 + a_2 P_2 + \dots + a_t P_t \quad (1)$$

که در آن، P_t ارتفاع بارش در t روز قبل از بارش به میلی‌متر، a_t ضریب ثابت که به صورت زیر است.

$$a_t = k^t \quad (2)$$

که در آن، K ضریب ثابت کاهش رطوبت خاک که مقدار آن بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۸ است. Linsley و همکاران (۱۹۴۹) مقدار API را برای ۲۰ تا ۶۰ روز و اغلب ۳۰ روزه محاسبه کرده‌اند.

$$API_i = K API_{i-1} + P \quad (3)$$

که در آن، API_i مقدار API در روز i ام، API_{i-1} مقدار API در روز قبل از روز i ام، P_{i-1} ارتفاع بارش در روز قبل از روز i ام، K ضریب کاهش رطوبت خاک و API در گام زمانی روزانه محاسبه می‌شود.

شاخص‌های آستانه شروع رواناب و ضریب رواناب: تخمین مشخصه‌های جریان در حوضه‌ها به چند روش ممکن است (از روش‌های ساده ضریب رواناب تا تجزیه و تحلیل فراوانی جریان و تخمین احتمال وقوع یک جریان خاص). برآورد آستانه شروع رواناب، یکی از مهمترین عوامل در برآورد حجم و شدت سیل محسوب شده و در پروژه‌های عمرانی محاسبه دقیق آن می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه اجرایی و بهینه کردن ابعاد سازه‌های فنی شود. آستانه شروع رواناب، مقدارحجم آبی است که پس از آن رواناب آغاز می‌شود. وقتی شدت بارش از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد، بارش مازاد (رواناب) پدید می‌آید. از سوی دیگر، هر چه شدت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد، مقدار رواناب تولید شده کمتر خواهد بود. رواناب پاسخ سامانه رودخانه‌ای حوضه به بارش است، جریان رواناب به‌عنوان بخش توسعه یافته سامانه رودخانه دائم در قسمت‌های با ظرفیت ذخیره پایین خاک که در اثر نفوذ به کناره‌های پست‌تر دره به سرعت

می‌توان تغییرات دبی و مدت تجمعی را در یک دستگاه محور مختصات ترسیم کرد. هر یک از نقاط منحنی نشان‌دهنده تعداد روزهایی است که دبی رودخانه مساوی یا بیشتر از مقدار دبی مربوط به آن روزهاست. با توجه به این منحنی می‌توان پارامترهای زیر شامل دبی نرمال، عادی و میانگین را به‌عنوان مشخصه رودخانه به‌دست آورد.

دبی نرمال در حالت پربابی مقدار آبی است که در ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. دبی نرمال در حالت کم آبی مقدار دبی است که در ۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. دبی عادی مقدار دبی است که ۱۸۲ روز یا نیمی از روزهای سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. دبی میانگین از حاصل جمع حجم آبی که از رودخانه عبور می‌کند، تقسیم بر زمان عبور، به‌دست می‌آید. مثلاً اگر حجم کل آب رودخانه در سال بر حسب متر مکعب بر ثانیه تقسیم شود، دبی میانگین به‌دست می‌آید (Alizade, ۲۰۰۲).

شاخص API: شاخص API (شاخص بارش پیشین k) را می‌توان از روی داده‌های تبخیر و تعرق یا داده‌های درجه حرارت محاسبه نمود. پژوهش‌های انجام شده، نشان داده‌اند که داده‌های تبخیر و تعرق در مقایسه با داده‌های درجه حرارت همبستگی بهتری را با روند کاهش رطوبت خاک نشان می‌دهند. اما استفاده از داده‌های درجه حرارت به‌دلیل سهولت دسترسی، آسان‌تر است. Gray (۱۹۷۳) با توجه به مطالعات و پژوهش‌های خود در حوضه‌های استرالیا روابط زیر را برای به‌دست آوردن k به‌صورت رابطه (۱) ارائه داد.

با توجه به تعاریف یادشده، شاخص بارش پیشین در واقع یک نمایش تقریبی از شرایط رطوبتی اولیه خاک بوده و وضعیت کنونی رطوبت خاک حوضه را بر اساس آخرین بارش‌ها نشان می‌دهد. با استفاده از مدل API می‌توان شروع رواناب را با توجه به شدت بارندگی به‌طور تخمینی محاسبه نمود. زمانی که در روش API برای یک واقعه به‌کارگرفته شود، اندازه-گیری بارش در دوره زمانی روز قبل به‌عنوان معیاری به‌عنوان رطوبت پیشین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مدل SCS: مدل مشهور شماره منحنی SCS مدلی تک پارامتری است که میزان بارش مازاد را به عنوان تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک ارایه می‌کند تا زمانی که بارندگی تجمعی مازاد بر جذب اولیه غلبه نکند و بارش مازاد ایجاد نشود، روانابی تولید نمی‌شود. از تجزیه و تحلیل نتایج چندین حوزه آبخیز آزمایشی کوچک، SCS رابطه تجربی بین تلفات اولیه (Ia) و نگهداشت ویژه (S) را به صورت $S=0.2Ia$ ارایه می‌کند که این مقدار تا $S/0.5$ نیز قابل تغییر می‌باشد.

در این روش، که بر اساس مشاهدات متعدد در حوضه‌های معرف و در اقلیم‌های مختلف آمریکا بنا شده است، تعیین مقدار تلفات به وسیله سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲) پیشنهاد شده است. اساس این روش، بر این مبنا است که ارتفاع بارش موثر (Pe) همیشه کمتر و یا برابر با ارتفاع کل بارندگی (P) می‌باشد و همچنین، نسبت مقدار واقعی تلفات (Fa) برای یک بارش به حداکثر ظرفیت آن (S) برابر است با مقدار واقعی بارش موثر به مقدار کل بارش منهای هدر رفت اولیه. این روش علی‌رغم محدودیت‌هایی که دارد، ولی به دلیل سهولت استفاده از آن، به‌طور گسترده‌ای در حوضه‌های فاقد آمار برای پیش‌بینی رواناب بر اساس داده‌های بارش مورد استفاده قرار گرفته است.

مدل AWBM2002¹: مدل AWBM2002 یک مدل بیلان آبی برای شبیه‌سازی بارش-رواناب است که اولین بار به وسیله Boughton (۱۹۹۳) ارائه شد. این مدل، یک مدل سطوح جزئی جریان سطحی اشباع است که از بارش روزانه و ساعتی و تبخیر متوسط ماهانه برای محاسبه رواناب روزانه و ساعتی استفاده می‌کند. به‌طور کلی، دو تئوری بیان‌کننده مکانیزم تولید رواناب وجود دارد.

• تئوری Horton (۱۹۹۳): بر اساس این تئوری، رواناب زمانی پدید می‌آید که شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر شود.

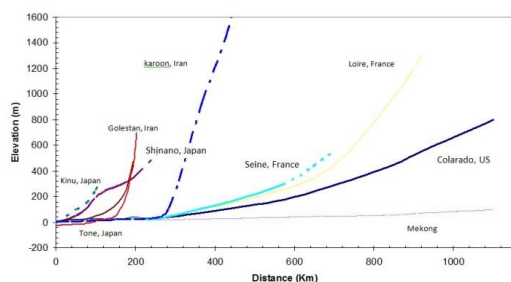
اشباع می‌شود، در نظر گرفته می‌شود. این رواناب دیررس کانال توسعه یافته را از زیر تغذیه نموده، در حالی که بارش آن را از بالا تغذیه می‌نماید. با تداوم بارش، رواناب سطحی از نواحی اشباع توسعه یافته ایجاد می‌شود.

شاخص خط برف: برای دستیابی به سطح برف، از دو روش درجه حرارت و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در روش اول، درجه حرارت مناطق مختلف و ایستگاه‌های موجود و گرادپان دمای ماهانه برای هر منطقه تعیین و بر مبنای آن، محدوده برف در هر ماه استخراج شد. اگر دمای صفر درجه سانتی‌گراد مبنای محدوده برف در نظر گرفته شود، مناطقی را که در دمای صفر درجه و یا زیر صفر درجه سانتی‌گراد قرار دارند، به عنوان مناطقی که در آن نشست برف هست و مناطقی را که دمای بالای صفر دارند، ذوب برف خواهند داشت. در روش دوم، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه تصاویر مربوط به NOAA-AVHRR، مناطق پوشیده از برف، مشخص شده، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیائی سطح آن استخراج می‌شود. اصولاً تصاویر ماهواره‌ای، منطقه مورد مطالعه در یک دوره زمانی معین، مثلاً ماههائی که احتمال نزول برف و یا نشست وجود برف در سطح زمین است، در یک سال مشخص تهیه می‌شود و مناطق نشست برف از ذوب از هم تفکیک می‌شوند و بالاخره سطح پوشیده از برف نسبت به کل سطح مورد مطالعه به دست می‌آید.

مدل‌ها: مدل‌های هیدرولوژی، ابزاری مهم در مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه‌ها هستند. مدل‌های شبیه‌سازی بارش-رواناب، یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی می‌باشند. مزیت مدل‌های شبیه‌سازی نسبت به روش‌های سنتی، نتیجه دقیق‌تر و صرف زمان و هزینه کمتر است. در دهه‌های گذشته مدل‌های متعددی به‌وسیله محققین ارائه شده است. وقتی داده‌های مناسب برای مدل‌های پیچیده در اختیار نباشد، همیشه یک مدل ساده‌تر ترجیح داده می‌شود. با بررسی تعدادی از مدل‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی AWBM2002، SFBM، SCS و ISDI، پس از انجام اصلاحات و تطبیق با شرایط، انتخاب و در سطح کل حوضه‌های دارای آمار به کار گرفته شد.

¹ Area Water Balance Model

جدول ۲ منعکس شده است.



شکل ۲- مقایسه شیب و طول رودخانه‌های استان با برخی از رودخانه‌های دیگر جهان

شاخص نفوذپذیری: برای تعیین نفوذپذیری، ابتدا مرز حوزه‌های آبخیز تهیه و با نقشه زمین‌شناسی هم مقیاس منطبق شد. واحدهای زمین‌شناسی از نظر نفوذپذیری با وزن‌های مختلف در پنج طبقه دسته‌بندی شد، به نحوی که عدد یک به واحدهای با کمترین نفوذپذیری و عدد ۱۰ به بیشترین نفوذپذیری اختصاص داده شده است.

عامل زمین‌شناسی: با توجه به سازندهای زمین‌شناسی، با روش ارزش‌گذاری، محاسبه عوامل زمین‌شناسی صورت پذیرفت و سپس ارتباط عوامل یاد شده و جریان پایه (BFI) به دست آمد.

برای تعیین مرز واحدهای زمین‌شناسی، از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی پوشش کشور استفاده شد. سپس، در محیط GIS انواع سنگ‌های مختلف حوزه‌های آبخیز دسته‌بندی شدند که انواع سنگ‌های در جدول ۳، طبقه‌بندی شده است. تقسیم‌بندی گروه‌های زمین‌شناسی که در جدول ۳ آمده، نشان‌دهنده سنگ‌های اصلی است و انحصاراً جزئیات لیتولوژی را نشان نمی‌دهد.

با توجه به مطالعات انجام شده در حوزه‌های استان، عوامل مرتبط با زمین‌شناسی به دست آمد و این عامل‌ها ارزش‌گذاری شده و در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

• تئوری جریان سطحی اشباع: بر اساس این تئوری (Hewlett و Hibbert، ۱۹۶۷) وقتی خاک از آب اشباع شود، رواناب پدید می‌آید.

مدل^۱ SFB: مدل SFB توسط بوتون (۱۹۸۴) به عنوان نسخه ساده شده مدل ۱۰ پارامتری که پیش‌تر به وسیله او تهیه شده بود (Boughton، ۱۹۶۵) ارائه شد. این، یک مدل ساده سه پارامتری است که در مبنای روزانه و با استفاده از داده‌های بارش روزانه و تبخیر و تعرق پتانسیل عمل می‌کند. پارامترهای مدل شامل ظرفیت ذخیره سطحی (S)، نفوذ از ذخیره سطحی به ذخیره آب زیرزمینی (F) و دبی پایه (B)، است.

مدل ISDI: مدل شاخص خشکی خاک^۲ ISDI، یک مدل مفهومی پیوسته شبیه‌سازی در فرایندهای عمل کننده در حوزه آبخیز است که به صورت روزانه عمل می‌کند. این مدل، در پیش‌بینی رواناب سطحی، پیش-بینی رفتار حوضه‌های تحت توسعه و بسط آمار (داده‌ها)، در جاهایی که پیش‌بینی و طراحی به آمار دراز مدت نیاز دارد، به کار می‌رود. این مدل را می‌توان در حوضه‌های معرف یا حوضه‌های دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری واسنجی و ارزیابی و نهایتاً فرایندهای هیدرولوژیکی و یا رواناب روزانه یا ماهانه را شبیه‌سازی کرد و در حوضه‌های واسنجی شده برای پیش‌بینی رفتار در شرایط تغییرات فرضی آینده در حالات مختلف و یا حوضه‌های مشابه بدون آمار به کار برد.

نتایج و بحث

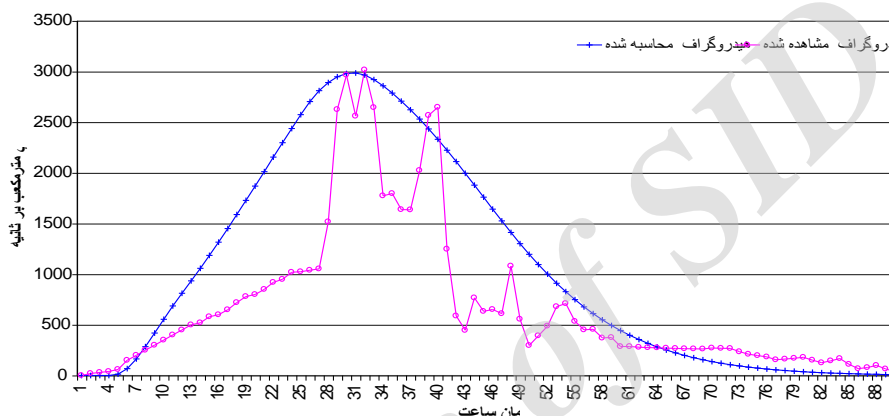
ویژگی‌های هندسی حوضه‌ها: مقایسه کلی شیب و طول رودخانه‌های استان، حکایت از شیب زیاد و طول کم رودخانه‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد که در شکل ۲، نشان داده شده است. ویژگی‌های هندسی نقش مهمی در عکس‌العمل حوضه دارد. هیدروگراف جریان سیل مخرب سال ۱۳۸۰ که در شکل ۲ نشان داده شده بیانگر اهمیت توجه به طبیعت حوضه‌ها دارد. ویژگی‌های هندسی حوضه‌های آبخیز منطقه در

¹ Soil Storage Infiltration Baseflow Modified

² Soil Dryness Index

جدول ۲- ویژگی‌های هندسی حوزه‌های آبخیز منطقه

گلستان کد	ارتفاع حوضه m	محیط km	مساحت Km ²	ضریب گراویلیوس	مستطیل عرض	معادل طول	ضریب شکل	شیب %
۱۵۵	۵	۱۳۴/۹	۱۵۱/۳	۳/۰۷	۲/۳	۶۵/۱	۰/۰۴	۰/۲
۱۶۱	۱۳۲۵	۲۰۱	۱۸۰۵	۱/۳۲	۲۳/۴	۷۷/۱	۰/۳	۳۰/۶
۱۷۱	۱۹۷	۴۰۵/۳	۴۹۵۸	۱/۶۱	۲۸/۵	۱۷۴/۲	۰/۱۶	۵/۱
۱۷۳	۶۴۲	۲۷۸/۴	۳۲۷۶	۱/۳۶	۳۰	۱۰۹/۲	۰/۲۷	۱۶/۱
۱۵۳۲	۱۴۲۵	۲۲۷/۷	۸۶۳/۵	۲/۱۷	۸/۲	۱۰۵/۷	۰/۰۸	۲۴/۶
۱۶۲۱	۱۴۹۶	۳۳۲/۸	۳۴۶۱	۱/۵۸	۲۴/۴	۱۴۲	۰/۱۷	۳۴/۷
۱۶۲۲	۱۲۵۸	۲۹۳/۱	۲۲۲۵	۱/۷۴	۱۷/۲	۱۲۹/۳	۰/۱۳	۲۶/۹
۱۶۲۳	۱۱۵۴	۱۹۲/۶	۹۷۳	۱/۷۳	۱۱/۵	۸۴/۸	۰/۱۴	۲۳
۱۷۴۲	۱۳۱۰	۲۳۵/۸	۲۱۱۷	۱/۴۳	۲۲/۱	۹۵/۸	۰/۲۳	۱۷



شکل ۳- هیدروگراف سیل مشاهده و محاسبه شده بر اساس شبیه‌سازی سیل ۲۱ مرداد ۱۳۸۰ حوضه مادرسو-گلستان (Sharifi و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۷)

جدول ۳- انواع سنگ‌های مهم به منظور تعیین عوامل زمین‌شناسی

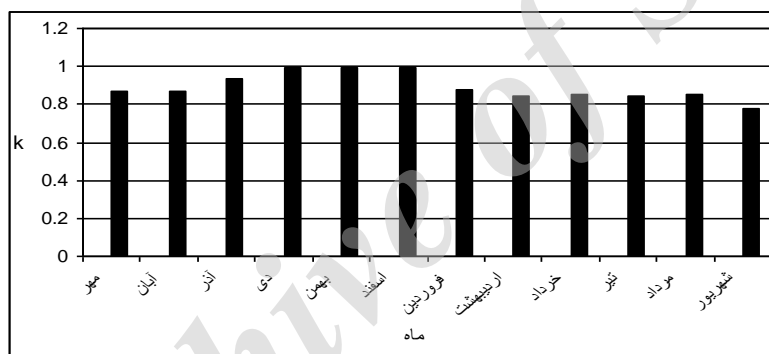
نما	واحد سنگی حوضه	نمونه‌هایی از واحدها مشابه در حوضه‌های مورد مطالعه
G ₁	Conglomerates	Conglomerate, pebbly sandstones
G ₂	Sandstones	Mudstone, siltstone, Strzelecki group
G ₃	Intrusive bodies. Granites	Granadiorite, granite, diorite, aplite, adamellite, gabbro
G ₄	Basalts. Volcanic rocks	Basalt, trachyte, dolerite, volcanic, olivine
G ₅	Fine-grained Sediments/metamorphic	Greywacke, shale, phyllite, mica schist, slate, argillite, jasper
G ₆	Foliated metamorphics	Gneiss, schists, pegmatite, schist-gneiss complex, schistose gneissic volcanics
G ₇	Fine-grained igneous rocks	Rhyolite, quartz-feldspar, rhyodacite, porphyry, rhyodacite
G ₈	Unconsolidated sediments	Gravel, sand, clay, floodplain deposits, fan deposits, hill wash, scree, karstic limestones

جدول ۴- عوامل زمین‌شناسی و ارزش‌گذاری آن‌ها

ارزش براساس	عامل زمین‌شناسی	کد حوضه
۰	61G8 , 32G5	۱۵۵
۰/۳۵	66G8 , 23G5	۱۶۱
۰/۰۸۳	99G8	۱۷۱
۰/۱۵	43G8 , 29G2+G5	۱۷۳
۰	40G5 , 40G2+G5+G8	۱۵۳۲
۰/۳۵	69G8	۱۶۲۱
۰	41G8 , 18G2+G5 , 13G5	۱۶۲۲
۰	38G8 , 34G5	۱۶۲۳
۰/۱۵	27.5G8 , 26G5 , 19G2+G5+G8	۱۷۴۲

ضریب افت رطوبتی خاک (k) بود، لذا، اقدام به برآورد این ضریب در کلیه حوضه‌ها شد. بنابراین، ضریب افت رطوبتی خاک برای حوضه کسلیان به‌صورت ماهانه در طول دوره آماری محاسبه شد (شکل‌های ۴ و جدول ۵).

شاخص API در حوضه معرف کسلیان: برای انجام این پژوهش، از حوضه کسلیان که از حوضه‌های آبخیز معرف وزارت نیرو و معرف بخش مهمی از منطقه مورد پژوهش است، استفاده شد. از آنجا که برای محاسبه شاخص بارش پیشین نیاز به محاسبه



شکل ۴- وضعیت تغییرات ثابت کاهش رطوبت خاک در ماه‌های مختلف در حوضه کسلیان

جدول ۵- مقدار ثابت کاهش رطوبت خاک ماهانه برای حوضه کسلیان

ماه	K_{ave}	E_{ave}	z	E	K
مهر	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲	۰/۸۶۶
آبان	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲	۰/۸۶۶
آذر	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۰/۹۹	۰/۹۳۴
دی	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۰/۱	۰/۹۹۳
بهمن	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۰/۱	۰/۹۹۳
اسفند	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۰/۱	۰/۹۹۳
فروردین	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۱/۷۸	۰/۸۸۱
اردیبهشت	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲/۳۶	۰/۸۴۲
خرداد	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲/۲۳	۰/۸۵
تیر	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲/۳۱	۰/۸۴۵
مرداد	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۲/۲	۰/۸۵۲
شهریور	۰/۹	۱/۴۹	۰/۰۷	۳/۲۹	۰/۷۷۹

تفاوت ضرایب تبیین مربوط به دو رابطه در شاخص بارش ۳۰ روزه بوده و بیشترین ضریب تبیین (۹۳ درصد) نیز مربوط به شاخص بارش پیشین ۳۰ روزه است.

جدول ۶، نتایج محاسبات همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب در حوضه کسلیان را نشان می‌دهد. ضرایب تبیین متوسط روزهای مختلف در این حوضه، حدود ۸۳ درصد را نشان می‌دهد. بیشترین

جدول ۶- نتایج محاسبات همبستگی شاخص بارش پیشین با رواناب در حوضه کسلیان

ضریب تبیین (R^2)	معادله همبستگی	تعداد روزهای پیشین
۰/۷۷	$Q=0.0177API+0.4243$	1
۰/۷۷	$Q=0.0177API+0.4243$	
۰/۸۰	$Q=0.0186API+0.3891$	2
۰/۸۰	$Q=0.0185API+0.3862$	
۰/۸۰	$Q=0.0176API+0.3678$	3
۰/۸۱	$Q=0.0171API+0.3616$	
۰/۸۱	$Q=0.0164API+0.3539$	4
۰/۸۱	$Q=0.0153API+0.3468$	
۰/۸۱	$Q=0.0156API+0.3406$	5
۰/۸۱	$Q=0.0139API+0.3339$	
۰/۸۲	$Q=0.0156API+0.3224$	6
۰/۸۱	$Q=0.0132API+0.3165$	
۰/۸۴	$Q=0.0165API+0.2911$	7
۰/۸۲	$Q=0.0135API+0.2871$	
۰/۸۶	$Q=0.0168API+0.2586$	10
۰/۸۳	$Q=0.0126API+0.2527$	
۰/۸۹	$Q=0.0154API+0.2164$	15
۰/۸۵	$Q=0.0(5-3)API+0.1774$	
۰/۸۸	$Q=0.0122API+0.2346$	20
۰/۸۲	$Q=0.0085API+0.183$	
۰/۹۱	$Q=0.0114API+0.2191$	25
۰/۸۳	$Q=0.0074API+0.1469$	
۰/۹۳*	$Q=0.0109API+0.2031$	30
۰/۸۴	$Q=0.0072API+0.089$	

* حداکثر ضریب تبیین حوضه کسلیان

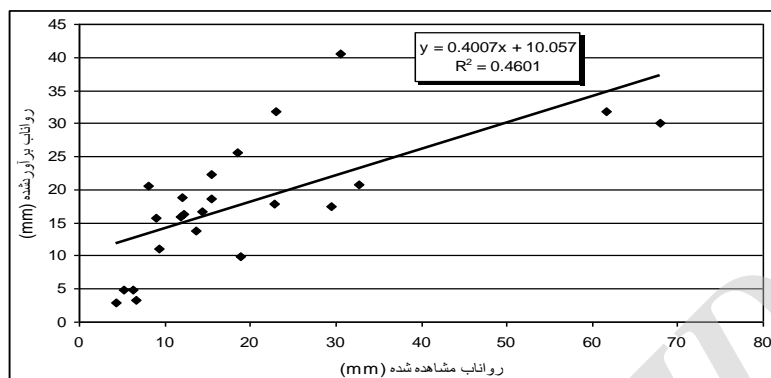
دبی پایه در حوضه‌های استان گلستان بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ در تغییر بوده و متوسط آن حدود ۰/۶ است، در صورتی که پارامتر ثابت تخلیه روزانه دبی ۰/۹۶۹ و در حداکثر ۰/۹۹۵ و رابطه معنی‌داری با BFI ندارد، این موضوع به دلیل این است که اکثر رودخانه‌ها در استان دارای تداوم جریان نسبتاً مناسبی هستند.

مدل ISDI: نتایج نشان می‌دهد که تفاوت دو مقدار دبی ویژه مشاهده‌ای و برآوردی تقریباً ۲۰ میلی‌متر بوده که این تفاوت بسیار کم بوده و در مرحله واسنجی از ضریب همبستگی قابل قبولی برخوردار

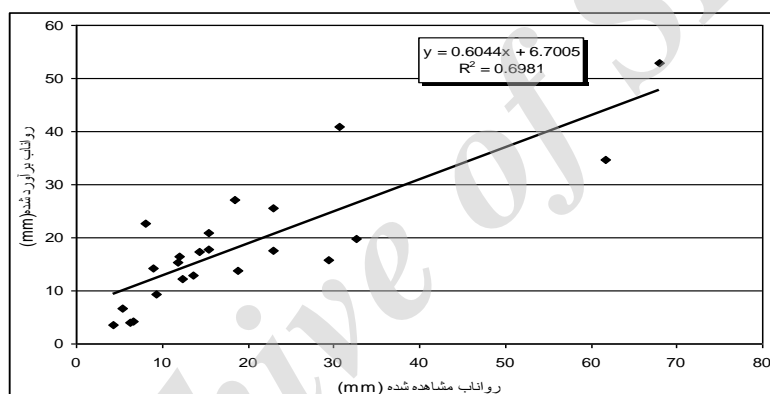
شاخص دبی پایه و ثابت افت هیدروگراف: با توجه به این که دو پارامتر شاخص دبی پایه (BFI) و ثابت تخلیه روزانه دبی پایه (K) نماینده پاسخ حوضه و شرایط خاص آن است، بین مقادیر K و BFI در حوضه‌های استان‌های مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب ارتباط مستقیم برقرار است. یعنی آب پایه بیشتر، ثابت افت بیشتر و در نتیجه زمان بیشتری برای تخلیه نیاز دارد. چنانکه مقدار K با ضریبی معادل ۱/۳ ضرب و حدود ۰/۴۶ از آن کم شود، می‌تواند تخمینی مناسب از BFI در این مناطق یاد شده به دست بدهد. شاخص

مدل در این حوضه، در جدول ۶ قابل مشاهده است. در مرحله اعتبارسنجی نیز مدل با ضریب همبستگی بالا (۸۳ درصد) دبی را شبیه‌سازی نموده که تفاوت دو دبی مشاهده‌ای و برآوردی نیز کم است.

است. در مجموع، مدل در حوضه کسلیان نتیجه خوبی را ارائه داده است. روابط رگرسیونی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده دوره واسنجی در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج اعتبارسنجی



شکل ۵- رابطه بین رواناب مشاهده شده و برآورد شده دوره واسنجی مدل در حوضه کسلیان



شکل ۶- رابطه بین رواناب مشاهده شده و برآورد شده دوره اعتبارسنجی مدل در حوضه کسلیان

ظرفیت‌ها و سه پارامتر مدل SFBM در جدول ۸ ارائه شده است.

مدل SCS و استخراج CN هر ماه: یک مقدار معین CN برای نوعی خاص خاک و پوشش، بدین ترتیب حاصل می‌شود که با رسم نقاط متناظر بر روی محور مختصات، محور افقی مقدار بارندگی و محور عمودی رواناب با مقیاس یکسان و با برازش بهترین خط از بین نقاط رسم شده منحنی مربوطه (CN) برای خاک با پوشش مشخص به دست می‌آید.

تعیین دقیق‌تر CN به دلیل پراکندگی نقاط در اطراف حالت متوسط زیاد بوده و حد بالا و پایین پراکندگی نقاط به رطوبت پنج روز قبل خاک ارتباط داده شده است. بدین ترتیب سه مقدار CN برای یک خاک پیشنهاد شده است. دامنه تغییرات CN که یک

خط برف: برای دستیابی به سطح برف، از دو روش درجه حرارت و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. در روش اول، درجه حرارت مناطق مختلف و ایستگاه‌های موجود و گرادیان دمای ماهانه برای هر منطقه، تعیین و بر مبنای آن محدوده برف در هر ماه استخراج شد. جدول ۷، حاوی اطلاعات مساحت و پتانسیل خط برف ماهانه در حوزه‌های آبخیز رده چهار استان گلستان است.

مدل AWBM2002 و SFBM: نتایج به‌کارگیری مدل AWBM2002 و مدل SFBM به‌عنوان مدل‌های رایانه‌ای بیلان آبی برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه، مشتمل بر پارامترهای ثابت فروکش جریان پایه (K)، شاخص جریان پایه (BFI)، ظرفیت‌های ذخیره سطحی و سطوح متناظر با

مربوط به نواحی نفوذناپذیر است که کلیه مقادیر بارندگی به رواناب تبدیل شود و مقدار نفوذ برابر با صفر است.

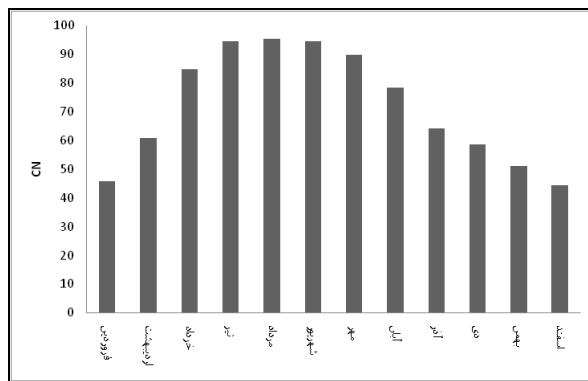
عدد بدون بعد است، به طور کلی بین ۳۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. CN صفر مربوط به خاکی است که بارندگی، هیچ‌گونه روانابی در آن ایجاد نکند. CN برابر ۱۰۰،

جدول ۷- مساحت و ارتفاع خط برف ماهانه در حوزه‌های آبخیز استان گلستان

مساحت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	کد حوضه
۱۲۳۷/۸	۲۸۷۳/۶۲	۱۷۴۵/۱۵	۱۳۲۳/۲۱	۱۴۱۷/۲	۱۵۵
۱۷۴۸/۴۳	۳۱۹۵/۸۵	۱۹۴۸/۴۱	۱۳۷۲/۷	۱۴۹۱/۵۵	۱۶۱
۴۹۴۷/۲۳	۳۲۹۳/۴	۱۹۷۸/۵	۱۲۸۱/۹۸	۱۳۱۰/۵۷	۱۷۱
۳۳۰۷/۵	۳۱۴۴/۲	۱۸۰۹/۸۷	۱۱۳۴/۲۶	۱۱۷۵/۶۸	۱۷۳
۸۹۲/۶۲	۲۹۳۹/۵	۱۸۲۰/۴۳	۱۳۸۸/۹۳	۱۴۷۷/۱۳	۱۵۳۲
۱۴۱۴/۷۴	۲۹۰۶/۰۵	۱۷۸۰/۳۶	۱۳۵۴/۴۱	۱۴۴۵/۸۷	۱۵۴۲
۳۴۵۱/۹۸	۳۱۹۴/۸۶	۱۹۴۷/۳۱	۱۳۷۱/۷۳	۱۴۹۰/۶۷	۱۶۲۱
۲۲۲۵/۵۳	۳۱۳۸/۲۱	۱۸۸۴/۴۴	۱۳۱۶/۳۸	۱۴۳۹/۹۷	۱۶۲۲
۹۷۸/۹۱	۳۱۳۱/۹/۵	۱۸۸۳	۱۳۱۵/۸۵	۱۴۳۹/۸۴	۱۶۲۳
۲۴۳۹/۵۲	۳۱۳۱/۸۸	۱۸۷۰/۵۳	۱۳۰۵/۸۹	۱۴۳۱/۲۱	۱۶۲۴
۲۲۴۱/۲۹	۳۱۰۷/۸	۱۸۴۵/۸۵	۱۲۸۳/۶۳	۱۴۱۰/۵۷	۱۶۲۵
۲۱۴۱/۴۴	۳۱۹۳/۵	۱۸۵۵/۸۱	۱۱۷۶/۹۷	۱۲۱۵/۸۵	۱۷۴۲
۵۰۶۳/۷۵	۳۸۹۲/۳۵	۲۴۱۷/۷۹	۱۵۰۸/۸۲	۱۴۶۴/۶۳	۴۷۶۴
۶۷۳/۴۲	۳۹۳۰/۸	۲۴۷۶/۳۲	۱۵۵۶/۳۳	۱۵۰۶/۱۸	۴۷۷۱
۱۳۲۳/۶۴	۳۹۰۸/۳۷	۲۴۴۵/۴۳	۱۵۳۰/۶۶	۱۴۸۳/۴۱	۴۷۷۴

جدول ۸- پارامترهای واسنجی شده به وسیله مدل AWBM و پارامترهای بهینه مدل SFB در حوضه معرف کسلیان و حوضه‌های استان

کد حوضه	پارامترهای بهینه مدل AWBM						پارامترهای بهینه مدل SFB					
	A ₃	A ₂	A ₁	C _{ave}	C ₃	C ₂	C ₁	BFI	K	B	F	S
حوضه کسلیان	۳۹/۳	۵۵۰/۱	۱۰/۶	-	۱۲۲	۶۱	۶	۰/۴۶	۰/۹۶۶	۰/۹	۱۴/۰۲	۷۱/۱۸
۱۷۱	۰/۶۹	۰/۲۶	۰/۰۵	۹۳	۱۱۲/۴	۶۵/۸	۶/۶	۰/۵۳	۰/۹۸	۰/۱۷	۵/۵۳	۸۸/۳۵
۱۷۳	۵/۶۵	۲/۵	۰/۸۳	۶۷۷	۸۴۹/۴	۴۶۵/۸	۵۲/۶	۴/۸۵	۸/۸۲	۲/۹۱	۴۳/۶۱	۷۳/۲۱۸
۱۶۱	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۲۷	۱۸۴/۲	۲۷۵/۲	۱۲۴/۸	۷/۳	۰/۵۲	۰/۹۵	۰/۵۲	۶/۱۸	۵۶/۵
۱۶۲۱	۰/۵۲	۰/۲۴	۰/۲۴	۲۲۹/۳۳	۳۴۰/۲۵	۱۸۴/۳۳	۷/۷۵	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۶۳	۳/۴۴	۷۰/۴۱
۱۶۲۲	۰/۵۳	۰/۲	۰/۲۷	۲۰۷	۳۰۶/۷۱	۱۷۲/۱۴	۶/۵۷	۰/۵۷	۰/۹۶	۰/۵۴	۴/۶۳	۶۹/۶۳
۱۶۲۳	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۲۶	۱۹۶	۳۰۵	۱۷۸/۵	۵/۲۵	۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۵۸	۳/۳۴	۷۹/۷۴
۱۵۳۲	۰/۱	۰/۳۶	۰/۵۳	۴۶	۲۲۴	۵۷	۵	۰/۶۶	۰/۹۹	۰/۸۸	۳۰/۵	۵۷/۲۵
۱۵۵۱	۰/۳۸	۱/۳۰	۰/۳۲	۲۲۲/۳۳	۴۰۷/۶۷	۱۱۰/۶۷	۴/۶۷	۰/۵۳	۰/۹۹	۰/۹۵	۱۴/۹۲	۷۴/۳۳

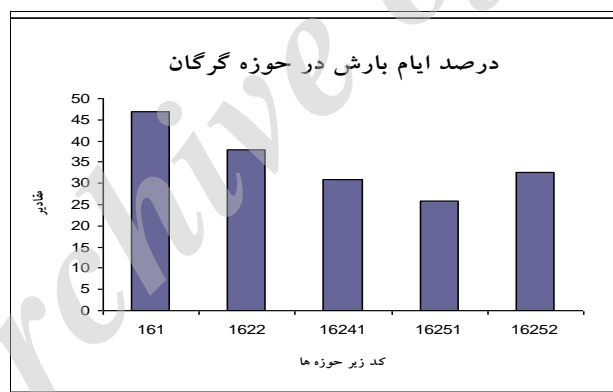


شکل ۷- مقادیر CN حوضه گلستان برای ۱۲ ماه سال

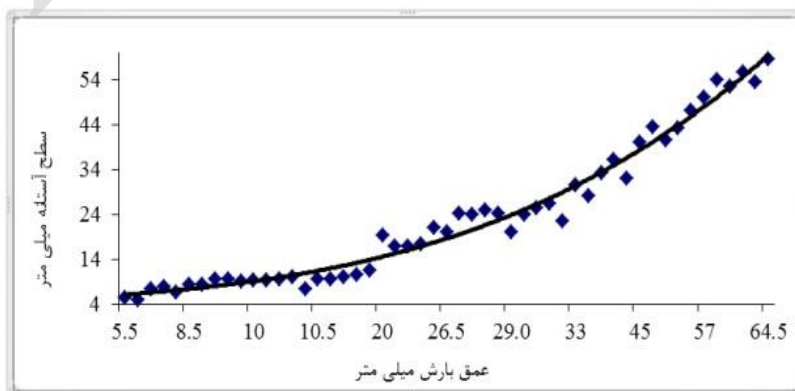
مساحتی است که در یک زمان معین تحت ریزش قرار می‌گیرد (شکل ۸).

بررسی آستانه شروع رواناب: نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد که آستانه شروع رواناب بیشترین همبستگی را با عمق بارش دارد که نمودار آن در شکل ۹، آمده است. شکل ۱۰، نقشه طبقات آستانه شروع رواناب در حوضه‌های رده هفت استان گلستان را نشان می‌دهد.

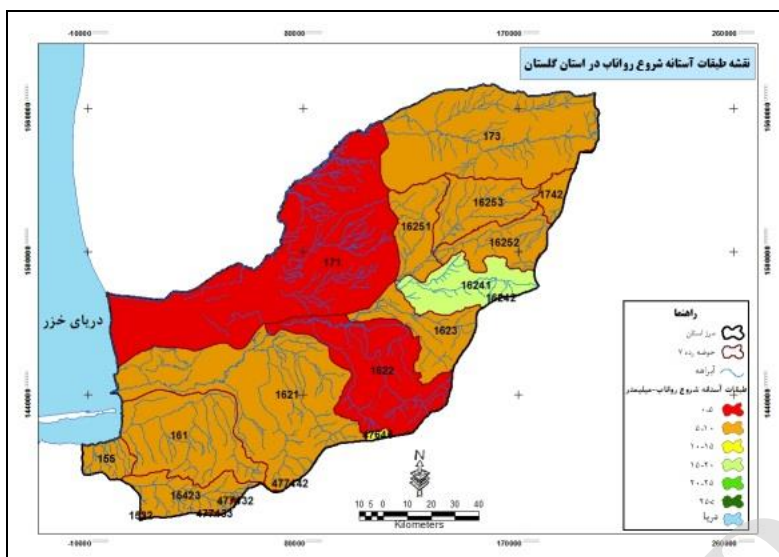
سطح بارش به مساحتی اطلاق می‌شود که در هنگام اندازه‌گیری باران در یک نقطه می‌توان برای اطراف آن نقطه تعمیم داد. در واقع هر بارش در هنگام وقوع مساحتی را در بر می‌گیرد که به آن سطح بارش گویند. سطح بارش، ثابت نیست و در طول مدت بارش، مرتب در حال تغییر است. برای اندازه‌گیری سطح بارش، باید تعداد زیادی باران‌سنج در نقاط مختلف وجود داشته باشد تا بتوان در هنگام وقوع یک باران گسترش آن را تخمین زد. در واقع وسعت بارش



شکل ۸- تغییرات درصد ایام بارش در حوزه گرگان



شکل ۹- همبستگی آستانه شروع رواناب با عمق بارش



شکل ۱۰- نقشه طبقات آستانه شروع رواناب در حوضه‌ها

بنابراین، با توجه این‌که هرچه آستانه شروع رواناب کمتر باشد، نشان از قابلیت نفوذپذیری کمتر و در نتیجه سیل‌خیزی بیشتر بوده، اکثر پهنه‌های حوضه‌های استان مستعد تبدیل بارش به رواناب است. همچنین، نتایج پژوهش نشان داد که بالاترین مقدار آستانه شروع رواناب در حوضه بندرگز برابر با ۲۰ میلی‌متر است که دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای آن برابر با 0.27 متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع برآورد شده است. کمترین مقدار آن نیز در حوضه‌های آزادشهر و گنبد کاووس به ترتیب برابر با دو و چهار میلی‌متر به دست آمده که دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای آن از 0.16 در حوضه گنبدکاووس تا 0.26 متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع در حوضه آزاد شهر است.

علاوه بر این، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله که به عنوان شاخص سیل‌خیزی حوضه‌ها انتخاب شده، $32/31$ درصد کل مساحت استان در وضعیت سیل-خیزی نسبتاً کم قرار دارد. همچنین، در استان، کلاس شدت سیل‌خیزی خیلی زیاد و طغیانی وجود ندارد، تنها کلاس نسبتاً زیاد، مساحتی حدود ۲۰۱ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است.

گروه خاک لیتوسل نیمه‌مرطوب گروه غالب خاک حوضه‌های آبخیز می‌باشد. در بررسی پارامتر

به منظور تحلیل دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب با دوره برگشت‌های دو تا ۵۰ سال در محل خروجی حوضه‌های رتبه هفت، آمار و اطلاعات دبی حداکثر لحظه‌ای و روزانه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا آمار و اطلاعات جمع‌آوری شد و سپس برای پردازش، داده‌های هواشناسی و هیدرومتری از محیط DOS به محیط نرم‌افزاری Excel منتقل شد.

با بررسی آمار و اطلاعات دبی حداکثر لحظه‌ای و روزانه، مشخص شد که در بعضی از ایستگاه‌ها، دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده شده از دبی حداکثر روزانه مشاهده شده کمتر است. همچنین، در برخی دیگر از ایستگاه‌ها، دبی حداکثر لحظه‌ای و روزانه مشاهده شده در ایستگاه پایین دست کمتر از ایستگاه بالادست بود. در این موارد، آمار و اطلاعاتی که دارای خطا بوده با روش‌های معمول اصلاح و در صورتی که امکان اصلاح آن وجود نداشت، در تحلیل دبی حداکثر لحظه‌ای و روزانه مورد استفاده قرار نگرفت (جدول ۹ و ۱۰، Porhemmat, 2016).

نتایج برآورد آستانه شروع رواناب نشان داد که بیشترین مساحت استان دارای آستانه شروع رواناب، بین پنج تا ۱۰ میلی‌متر است. این محدوده آستانه شروع رواناب در استان گلستان، قریب $61/51$ درصد کل حوضه‌های استان است.

روز بوده و بیشترین ضریب تبیین (۹۳ درصد) نیز مربوط به شاخص بارش پیشین ۳۰ روزه است. نتایج حاصل از مدل خشکی در این حوضه نشان داد که در مرحله اعتبارسنجی مدل با ضریب همبستگی بسیار بالا (۸۳ درصد) دبی را شبیه‌سازی نموده که تفاوت دو دبی مشاهده‌ای و برآوردی نیز کم است.

زمین‌شناسی، بیشترین مقدار برای عامل زمین‌شناسی در حوضه علی‌آباد به مقدار ۰/۳۵ بوده است. نتایج مدل شاخص بارش پیشین در حوضه معرف انتخابی (کسیلیان) نشان داد که ضرایب تبیین در این حوضه مقادیر بالایی را نشان می‌دهند. بیشترین تفاوت ضرایب تبیین مربوط به دو رابطه در شاخص بارش ۳۰

جدول ۹- دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف، آستانه شروع رواناب و ضریب رواناب حوضه‌های رده هفت استان گلستان

ضریب رواناب c	آستانه شروع رواناب (mm)	دوره بازگشت ($m^3s^{-1}km^2$)					مساحت (km ²)	کد حوضه
		۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲		
۰/۲۷	۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۱۲۳۷/۱	۱۵۵
۰/۰۸	۷	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۱۸۰۴/۹۶	۱۶۱
۰/۰۲	۴	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۷	۴۹۵۸/۵۲	۱۷۱
۰/۰۳	۵	۰/۳۷	۰/۳	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۰۹	۳۲۷۶/۲۴	۱۷۳
۰/۰۹	۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۸۹۲/۶۲	۱۵۳۲
۰/۱	۸	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۴	۳۴۶۱/۳۲	۱۶۲۱
۰/۰۹	۲	۱/۱۶	۱/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۲۲۲۵/۱۶	۱۶۲۲
۰/۱	۵	۰/۳۷	۰/۳	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۹۷۳/۰۴	۱۶۲۳
۰/۰۳	۵	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۶	۱/۱۳	۰/۰۸	۱۰۴۸/۱	۱۵۴۲۳
۰/۰۲	۲۰	۰/۲۷	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۵	۹۵۴/۲۸	۱۶۲۴۱
۰/۰۵	۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۶۴۹/۴۱	۱۶۲۴۲
۰/۰۳	۸	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۶	۷۱۷/۲۲	۱۶۲۵۱
۰/۰۴	۷	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۶۹۹/۸۱	۱۶۲۵۲
۰/۰۵	۷	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۸۱۹/۳۶	۱۶۲۵۳
۰/۰۴	۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۵۰۶۳/۷۵	۴۷۶۴۶
۰/۰۱	۱۲	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۷	۶۷۳/۴۲	۴۷۷۱۲
۰/۰۷	۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۷	۲۵۶/۱۶	۴۷۷۴۳۲
۰/۱	۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۳۷۱/۹۲	۴۷۷۴۳۳
۰/۰۴	۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۶۹۵/۵۶	۴۷۷۴۴۲

جدول ۱۰- حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در محل ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول	عرض	حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف (میلیون متر مکعب)				
				۲	۵	۱۰	۱۵	۲۵
۱۲-۰۴۳	نهارخوران	۵۴-۲۸	۳۶-۴۶	۱۵	۱۹	۲۱	۲۲	۲۴
۱۲-۰۳۷	آق‌قلا (پهلویدز)	۵۴-۲۷	۳۷-۰۱	۴۵۱	۶۹۳	۸۱۹	۸۶۴	۹۵۳
۱۲-۰۲۱	رامیان	۵۵-۰۸	۳۷-۰۱	۴۲	۵۸	۶۶	۶۹	۷۵
۱۲-۰۱۳	لزوره	۵۵-۲۳	۳۷-۱۳	۶۸	۸۹	۱۰۰	۱۰۴	۱۱۲
۱۲-۰۱۵	پس پشته	۵۵-۲۱	۳۷-۱۰	۶۷	۹۴	۱۰۸	۱۱۳	۱۲۳
۱۲-۰۱۷	نوده (خرمالو)	۵۵-۱۶	۳۷-۰۳	۷۴	۸۹	۹۷	۱۰۰	۱۰۶
۱۲-۰۰۵	تمر	۵۵-۲۹	۳۷-۲۸	۴۸	۶۳	۷۱	۷۳	۷۹
۱۲-۰۱۹	اراز کوسه	۵۵-۰۸	۳۷-۱۳	۱۹۶	۲۵۴	۲۸۵	۲۹۵	۳۱۷

در حوضه گرماب برابر با ۱۳/۰۴ درصد و اختلاف ارتفاع وزنی آن برابر با ۹۸۴ متر است. بنابراین، با توجه به مجموع خصوصیات حوضه، کاربری اراضی مهمترین پارامترهای تأثیر گذار بر شدت سیل خیزی هستند.

نتیجه‌گیری

به دلیل محدودیت امکان اندازه‌گیری دبی جریان در زمان و مکان، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند ابزاری برای پیش‌بینی و تخمین باشد که به تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت منابع آب سطحی کمک خواهد نمود. در این راستا، پژوهش‌های انجام شده، بسیاری از پیچیدگی‌های فرایند بارش-رواناب را روشن کرده است. شناخت روابط بارش و رواناب و همچنین، اطلاع از توزیع زمانی و مکانی بارش و شناخت اثر آن روی دبی رودخانه از مواردی است که مدیران را در مدیریت صحیح منابع آب در یک حوزه آبخیز کمک می‌کند.

بسیاری از مناطق جهان از جمله بخش وسیعی از کشور، مستمراً مواجه با تغییر کاربری و با محدودیت منابع آب روبه‌رو هستند. در این مناطق، بارش معمولاً ناچیز و نامنظم است و تغییرات شدید مکانی و زمانی دارد. علاوه بر این، زمان ریزش نزولات جوی همسو با نیازها نیست که این عامل تأثیر زیادی بر مدیریت منابع آب دارد. شناخت هیدرولوژی این حوضه‌ها لازمه شناخت و تشخیص آسیب‌پذیری آن‌ها به تغییرات آبی است. بدیهی است که از مهمترین موضوعات ضروری، مدیریت موثر منابع آب سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری و ابزارهای مدل‌سازی است.

استان گلستان با وسعتی معادل ۲۰۴۳۷/۷۴ کیلومتر مربع، قریب ۱/۳ درصد مساحت کل کشور را داراست. متوسط بارش استان حدود ۵۱۲/۵ میلی‌متر (با حداقل ۳۵۹/۹ و حداکثر ۶۲۳/۴ میلی‌متر) است که به‌طور متوسط ۱۰/۷۶ میلیارد متر مکعب و معادل ۲/۶ درصد بارش‌های کل کشور در این استان فرو می‌ریزد. این استان در مجاورت بزرگ‌ترین دریاچه جهان (دریای خزر) که دارای طولی حدود ۱۲۲۵ کیلومتر و عرض متوسط حدود ۳۲۰ کیلومتر است، واقع شده است. مساحت کلی دریای خزر نزدیک به ۴۳۶ هزار

مطالعه خط برف، نشان داد که حداکثر خط برف در فروردین ماه در ارتفاع ۳۹۳۰ متری و حداقل آن در بهمن ماه در ارتفاع ۱۱۳۴ متری است. خط ماندگاری برف در این ماه نسبت به سایر ماه‌های سرد سال در پائین‌ترین ارتفاع قرار دارد.

حوضه معرف کسلیان، منطقه‌ای با اقلیم معتدل مرطوب است که بیش از ۶۷ درصد وسعت حوضه را جنگل تشکیل می‌دهد و شیب متوسط حوضه ۱۶/۴ درصد است. مناطق با کمترین نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره شش میلی‌متر به مساحت ۷/۱ کیلومتر مربع (۱۰/۶ درصد از سطح حوضه را اشغال می‌کند)، مناطق با نفوذپذیری متوسط و ظرفیت ذخیره ۶۱ میلی‌متر به مساحت ۳۳/۶ کیلومتر مربع (۵۰/۱ درصد از سطح حوضه را اشغال می‌کند) و مناطق با نفوذپذیری حداکثر و ۱۲۲ میلی‌متر ظرفیت ذخیره به مساحت ۲۶/۳ کیلومتر مربع (۳۹/۳ درصد از سطح حوضه را اشغال می‌کند) است. این حوضه، نسبت به بقیه حوضه‌ها، بالاترین ظرفیت‌های ذخیره را در سطوح A_1 ، A_2 و A_3 دارد.

نتایج دیگر پژوهش، نشان می‌دهد که از بین حوضه‌های مشابه، حوضه پایاب قطورچای با مساحت ۲۰۱/۴۵ کیلومتر مربع با دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای ۰/۴۹ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع دارای بیشترین مقدار و حوضه‌های شور میانی با مساحت ۳۷/۲۲ کیلومتر مربع و حوضه خلیج گرگان با مساحت ۲۹۱/۶۲ کیلومتر مربع در محدوده استان با دبی ۰/۰۴ متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع دارای کمترین دبی ویژه حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله است.

با توجه به این‌که هر چه آستانه شروع رواناب در مدل برآورد بارش رواناب AWBM کمتر باشد، نشان از نفوذناپذیری بیشتر و در نتیجه سیل‌خیزی بیشتر دارد، مقدار آستانه شروع رواناب در حوضه گرماب برابر با شش میلی‌متر است که دارای کلاس شدت سیل-خیزی نسبتاً زیاد است. در حوضه یادشده، بیشترین سطح (۸۱/۴۲ درصد مساحت) به کاربری زراعت دیم و مرتع فقیر اختصاص دارد، به گونه‌ای که ۳۹/۷۷ درصد از مساحت حوضه‌ها را زراعت دیم و ۴۱/۴۶ درصد آن را مراتع فقیر در بر دارد. متوسط شیب وزنی

کسر تبخیر به مصرف تولید رسیده و ۷۵ درصد بقیه با مدیریت بهتر قابل استحصال و به‌کارگیری متناسب با نیاز و پایداری زیست بوم خواهد بود. به‌عبارت دیگر، تولیدات آبی و دیم کمتر از ۱۹ درصد کل نزولات آسمانی را مورد استفاده قرار می‌دهند. در حال حاضر در استان گلستان منابع آب شور سطحی، زیرزمینی و دریاچه‌ای قابل توجهی وجود دارد. این منابع حاوی عناصر بسیار ارزشمند معدنی نظیر ید می‌باشند که ارزش افزوده بالایی تولید می‌کنند. علاوه بر این، می‌توان با توسعه کشت گیاهان هالوفیت زمینه توسعه دامپروری و بهره‌وری مناسب از ظرفیت‌های منطقه را به‌نحو بهتری فراهم کرد.

سیل‌خیز بودن بیش از ۶۰ درصد از عرصه‌ها در این استان و میزان کم آستانه شروع رواناب (بین پنج تا ۱۰ میلی‌متر) و پر شیب بودن (۲۷ درصد) رودخانه‌ها و طول کوتاه (کمتر از ۲۰۰ کیلومتر) آن تا تخلیه به دریای خزر، با اقدامات مناسب در کاهش رواناب سطحی و تعدیل رژیم جریان، امکان افزایش ظرفیت آبی استان فراهم می‌شود. پژوهش‌های تکمیلی در امکان کاهش فرصت و میزان تبخیر و مشخص کردن نحوه افزایش ظرفیت‌های آب و خاک و تولید در استان با توجه به وجود منابع آب شور در دسترس توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با کد ۹۰۰۰۱-۹۰۱۵-۲۹-۲۹-۱۴ است که با حمایت معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی این معاونت و پشتیبانی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سپاس‌گزاری می‌شود.

کیلومتر مربع بوده و ۱۳۰ رودخانه، سالانه حدود ۳۰۰ کیلومتر مکعب آب را وارد این دریاچه می‌کنند.

در این استان، بر اساس اطلاعات موجود میزان مصارف آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی، در سال پایه ۸۹-۱۳۸۸ معادل ۱۶۸۰/۰۲۱ میلیون متر مکعب است که در نظر است تا سال ۱۴۰۴ به ۱۹۳۹/۸۳۱ میلیون متر مکعب بالغ شود. از این میزان، ۸۷۱/۹۲ میلیون متر مکعب مربوط به منابع آب سطحی و ۱۰۶۷/۹۱۱ میلیون متر مکعب مربوط به منابع آب زیرزمینی است. سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی استان در سال پایه مطالعات (میانگین چهار سال منتهی به ۸۸-۱۳۸۷) معادل ۳۴۵۳۶۵/۲ هکتار بوده که با توجه به اراضی قابل کشت آبی، نشان می‌دهد که حدود ۳۸۰۶۵۲/۸ هکتار پتانسیل خاک در این استان وجود داشته که در شرایط کنونی عمدتاً تحت پوشش فعالیت‌های زراعی و باغی دیم قرار دارند که در صورت تامین آب در برنامه بلندمدت بخشی از این اراضی قابلیت تبدیل به کشت آبی خواهند داشت.

علاوه بر این، وجود منابع قابل توجه آب و خاک شور از ظرفیت‌های بالقوه دیگر استان تلقی می‌شود. بارش نزولات آسمانی در استان، سالانه حدود ۱۰/۷۶ میلیارد متر مکعب است که بر اساس تجزیه و تحلیل اطلاعات حوضه معرف (کسیلیان) حدود ۲۵ درصد آن تحت عنوان تلفات تبخیر در ایام بارش به اتمسفر برمی‌گردد. اگر راندمان آبیاری ۴۵ درصد باشد و با لحاظ سطح زیرکشت نیاز آبی ناخالص حدود ۱/۱ میلیارد متر مکعب است (برای حدود ۳۸۰ هزار هکتار کشت زراعی و باغی با توجه به نیاز آب). به عبارت دیگر، حدود ۱۳/۵ درصد از نزولات آسمانی پس از کسر تبخیر برای تولید محصول آبی استفاده می‌شود. با توجه به سطح زراعت دیم در استان (حدود ۳۴۶ هزار هکتار)، حتی اگر میزان مصرف معادل زراعت آبی منظور شود، نهایتاً ۲۵ درصد از نزولات آسمانی بعد از

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, Amin. 2008. Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi Printing and Publishing Institute, 24th edition, 870 pages (in Persian).
2. Blöschl, G., M. Siv Apalan, T. Wagener, A. Viglione and H. Savenije. 2013. Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes places and scales. Cambridge University Press, New York.

3. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. *Institution of Engineers, Australia*, 93/14: 317-324.
4. Brauman, K.A., G.C. Daily, T.K. Duarte and H.A. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32:6.1-632.
5. Chaplot, V., C. Walter, P. Curmi, P. Lagacherie and D. King. 2004. Using the topography of the saprolite upper boundary to improve the spatial prediction of the soil hydromorphic index. *Geoderma*, 123(3-4): 343-354.
6. Choi, W., P.F. Rasmussen, A.R. Moore and S.J. Kim. 2009. Simulating streamflow response to climate scenarios in central Canada using a simple statistical downscaling method. *Climate Research*, 40(1): 89-102.
7. Cyr, J., M. Landry and Y. Gagnon. 2011. Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: application to the province of New Brunswick (Canada), *Renewable Energy*, 36: 2940-2950.
8. Ebrahimi, H., A. Moghadamnia and H. Karimi. 2016. Comparison of two runoff-runoff models for flow simulation, case study: Doubarj River Basin in Ilam Province. *Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 69(3): 541-529 (in Persian).
9. Ghanbarpor, M., M. Teymori and A. Gholami. 2008. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation, case study: Karun Basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 1: 1-10 (in Persian).
10. Hewlett, J.D. and A.P. Hibbert. 1967. Factors affecting response of small watersheds to precipitation in humid areas. In *Forest Hydrology*, Edited by W.E. Sopper and H.W. Lull, 275-290, Pergamon, New York.
11. Hoseinzaadeh Talaee, P., H. Zare Abyaneh and S. Maarufi. 2007. Evaluation of hydrological drought using river Drought Drought Index (SDI), case study: Gamasiab River in Hamedan Province. *National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Yadegar Emam Islamic Azad University, Tehran, Iran* (in Persian).
12. Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions of American Geophysical Union*, 1(14): 446-460.
13. Hasanpour Kashani, M., M.A. Ghorbani, Y. Dinpayegh and S. Shahmorad. 2015. Simulation of runoff precipitation process in nawarud basin with limited-voltari model and artificial neural networks. *Journal of Management of the Watershed*, 6(12): 12-24 (in Persian).
14. Kazemi, R. and F. Sharifi. 2017. Investigating and presenting the mainstream flow indexes in the homogeneous basins of Kerman Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(1): 107-97 (in Persian).
15. Lang, J., A.P. Schick, C. Leibundgut and N. Greenbaum. 1999. A noncalibrated rainfall-runoff model for large, arid catchments. *Water Resource Research Journal*, 35(7): 2161-2172.
16. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. *Journal of Hydrology*, 121: 217-238.
17. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Resources Management Journal*, 6: 85-100.
18. Neff, B.P., S.M. Day, A.R. Piggott and L.M. Fuller. 2005. Base flow in the Great Lakes basin. *Scientific Investigations Report 2005-2517*, Reston, VA: US Geological Survey.
19. Porhemmat, J. 2016. Preparation and development of atlases and preparation of spatial and temporal data of flood in seventh-order watersheds. *Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, (in Persian).
20. Sharifi, F. 2015. Simulation of hydrological processes on semi-humid and humid catchments. *Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, (in Persian).
21. Sharifi, F., S. Zahra Samadi and A.M.E. Wilson. 2012. Causes and consequences of recent floods in the Golestan catchments and Caspian Sea regions of Iran. *Nat Hazards*, 61:533-550.
22. Sharifi, F. and M. Ghafouri. 2007. Assessment of causes and effects of disastrous erosion and sediment flows and mitigation measures in Caspian Sea Watersheds, Iran. *Proceedings of the Regional Conference on Flood Estimation (UNESCO, 2007)*, Gorgan, Iran.
23. Sharifi, F., B. Saghafian and A. Telvari. 2002. The great 2001 flood in Golestan Province, Iran: causes and consequences. *Proceedings of the International Conference on Flood Estimation, Switzerland*, page 11-17.
24. Sharifi, F. and M.J. Boyd. 1994. A comparison of the SFB and AWBM rainfall-runoff models. *25th Congress of the International Association of Hydrologists, International Hydrology and Water*

- Resources Symposium of the Institution of Engineers, Australia. ADELAIDE. 21-25 November, 491- 495.
25. Tsujimoto. T. 1999. Fluvial processes in streams with vegetation, abstract of papers. Journal of Hydraulic Research, 37(6): 15-36.
26. Tague, C., G.E. Grant, M. Farrell, J. Choate and A. Jefferson. 2008. Deep groundwater mediates streamflow response to climate warming in the Oregon Cascades. Climate Change Journal, 86: 189–210.
27. Telvari, A.R. 1996. Hydrological model in a simple way. Forests and Rangelands Research Institute, Tehran, Iran (in Persian).
28. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240: 147-186.
29. Teimouri, M., M.R. Ghanbarpour, M. Bashirgonbad, M. Zolfaghari and S. Kazemikia. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation with different methods in some rivers of West Azerbaijan Province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 15: 219 - 228 (in Persian).
30. Welderufael, W.A. and Y.E. Woyessa. 2010. Stream flow analysis and comparison of base flow separation methods, case study of the Modder River Basin in central South Africa. European Water Journal, 31: 3-12.

Archive of SID

Assessment of hydrological processes by data analysis and model simulation in Golestan Watersheds

Forood Sharifi^{*1} and Samaneh Arvandi²

¹ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and ² PhD Student, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

Received: 29 July 2017

Accepted: 01 July 2017

Abstract

This research was carried out to evaluate the hydrological processes (rainfall, runoff, evaporation, infiltration, etc.), study the water capacity and provide a tool for estimating discharge and simulating the behavior of watersheds in Golestan Province. After examining a number of simulation models, the SFBM, AWBM2002, SCS and ISDI were selected and adjusted to the local conditions. Data from 15 catchments and a representative watershed were used to calibrate the models. The results such as, simulation parameters, runoff threshold, flow duration curve, snow line, flow recession curve, and base flow index are provided and analysed. Results showed that the models, can well simulate the runoff, and are able to estimate response of ungauged catchments, and form a good capability for design and research. In more than 61.5% of the area, after a rainfall of five to 10 mm, runoff generates, hence it was concluded that most of the basins are susceptible to flooding. Also, the highest threshold value in the Bandar Gaz Basin is 20 mm, with a maximum specific discharge of $0.27 \text{ m}^3\text{km}^{-2}$. The lowest value was obtained in Azadshahr and Gonbad-Kavoos Basins, respectively, equal to two and four mm, with a specific instantaneous flow rate of 0.16 in the Gonbad-Kavo Basin to $0.26 \text{ m}^3\text{km}^{-2}$ in the basin no. 171. Also, the highest threshold value in the Bandar Gaz Basin was 20 mm, with a specific maximum discharge of $0.27 \text{ m}^3\text{km}^{-2}$. Among the basins of the similar areas, the Delour Qotorchai Basin with an area of 45.2 km^2 with a maximum specific discharge of $0.49 \text{ m}^3\text{km}^{-2}$, the highest and middle Shor basins, with an area of 37.22 km^2 and Gorgan Bay with an area of 299.26 km^2 with a discharge of $0.04 \text{ m}^3\text{km}^{-2}$. The results of the relationship between the thresholds of runoff with morpho-climatic factors indicated that the runoff threshold has a good correlation with precipitation. The results of the dryness model showed that the model with a high correlation coefficient (83%) simulated the discharge.

Keywords: AWBM, Evaporation, ISDI, Rainfall, Runoff, SCS, SFB

* Corresponding author: sharifi_f@scwmri.ac.ir