مدل‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه‌های آبریز جنگلی مطالعه موردی: حوضه معرف کسیلیان

هوشنگ خیری [۱*]، غلامرضا مقامی مقیم [۲]، حسن احمدی [۳]

۱. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.
۲. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.
۳. استادیار آمایش سرزمین، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، تهران، ایران.

دریافت: ۹۶/۰۳/۰۸ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۹

چکیده

حوضه‌های کوچک جنگلی که عمدتاً سرشاخه‌های بیشتر رودخانه‌ها در حوضه آبریز دریای مازندران هستند، فاقد داده‌های ثبت شده طولانی مدت است؛ بنابراین مدل‌های ساختار فیزیکی ابزاری مناسب جهت مطالعه آن‌ها محسوب می‌شوند. در این تحقیق با استفاده از مدل بارش-رواناب BROOK90 شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب و بررسی تأثیر شرایط هیدروژئولوژی و مورفولوژی بر آن در حوضه معرف کسیلیان انجام شد. یک دوره ۲۰ ساله از داده‌های هیدروکلیماتولوژی برای اجرای مدل آماده گردید. واسنجی مدل با داده‌های مربوط به دوره آماری (۱۹۹۳-۱۹۹۲) و اعتبارسنجی آن با داده‌های سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای مدل مؤید آن است که خصوصیات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و کاربری اراضی نقش مهمی در مؤلفه‌های بیلان آب این حوضه دارند. نتایج مدل نشان می‌دهد که حدود ٪۷۶ بارش تبدیل به تبخیر و تعرق و مقدار ٪۲۴ آن تبدیل به رواناب شده است. از مؤلفه‌های رواناب، جریان پایه ٪۴۴/۶۷ از کل رواناب و جریان سطحی و جریان میان‌بر به ترتیب ٪۳۸/۳۲ و ٪۱۶/۹۹ بقیه آن را تشکیل داده‌اند. افزایش پوشش جنگلی سبب کاهش در میزان کل تبخیر و کاهش درمجموع مؤلفه‌های رواناب شده؛ نقش مهمی در کاهش پتانسیل سیل‌خیزی و افزایش میزان ذخایر آب زیرزمینی حوضه معرف کسیلیان خواهد داشت.

واژگان کلیدی: پتانسیل سیل‌خیزی، دریای مازندران، کاربری اراضی، مدل BROOK90، مدل بارش– رواناب.

* نویسنده مسئول: H.khairy@du.ac.ir

۱- مقدمه

حدود ۳۹۹۹ میلیارد هکتار از اراضی کره زمین پوشیده از جنگل است (فائو، ۳:۲۰۱۵) جنگل‌ها و چرخه هیدرولوژی ارتباط بسیار تنگاتنگی باهم دارند (تهیر، ۵:۲۰۱۲). خاک‌های جنگلی ظرفیت بسیار بالایی در نگهداری ذخایر آب و نفوذ آب، کاهش جریان‌های سطحی و جلوگیری از فرسایش خاک دارند (چن، ۲۰۰۶: ۳۱) بیشتر حوضه‌های آبریز بالادست در رودخانه‌های منتهی به دریای مازندران پوشیده از جنگل است و با توجه به اهمیت پوشش جنگلی در عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوضه آبریز ضرورت مطالعه آن امری ضروری است. در بیشتر مواقع آمار و اطلاعات و یا داده‌های هیدرولوژیک برای یک دوره زمانی مناسب برای این نوع از حوضه‌های آبریز در دست نیست تا بتوان به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت، به‌علاوه تغییراتی که درنتیجه فعالیت‌های جوامع مختلف در حوضه‌های آبریز صورت می‌گیرد، فوق‌العاده سریع است که این امر خود در وضعیت داده‌های هیدرولوژیک تغییرات شدیدی را به وجود می‌آورد. با توجه به این دگرگونی‌ها، کمبود داده‌ها و اطلاعات‌پایه و نیاز به پیش‌بینی رخدادهای هیدرولوژیکی ضرورت استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک افزایش یافته و سبب توسعه آن‌ها گردیده است (نجمایی، ۱۳۶۹ به نقل از خیری، ۱۳۷۸: ۶۵).

مدل با ساختار فیزیکی[1] ازجمله مدل‌های هیدرولوژی است که به آمارهای طولانی مدت نیاز ندارد و در حوضه‌های آبریز کوچک کشور که عمدتاً آمارهای طولانی ثبت‌شده‌ای از آن‌ها وجود ندارد می‌تواند کاربرد داشته باشد. مدل هیدرولوژی BROOK90 یک مدل یکپارچه[2] با ساختار فیزیکی است. با استفاده از این مدل مطالعات زیادی در بازه زمانی ۱۹۹۳ تاکنون انجام گرفته و کارایی آن مورد تأیید قرارگرفته است. ناصری و بوچتل (۱۹۹۷) شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب را با استفاده از دو مدل BROOK 90 وSAC-SMA در جمهوری چک انجام داده و به این نتیجه رسیدند که مقادیر پارامترهای مربوط به رطوبت خاک و ذخایر آب زیرزمینی در حوضه‌هایی که پوشیده از سنگ‌های رسوبی هستند بیشتر از حوضه‌های آذرین و دگرگونی است. شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت خاک توسط دو مدل با ساختار فیزیکی (مدل چندلایه‌ای BROOK90 و مدل تک لایه‌ای WBM) در مقیاس منطقه‌ای توسط فدرر و همکاران (۲۰۰۳) برای نه منطقه مختلف در شمال آمریکا انجام گرفت. در این تحقیق نتایج دو مدل شبیه هم بوده و برای همه مناطق تبخیر و تعرق عمدتاً توسط آب و هوا و نوع پوشش گیاهی تحت کنترل بوده است. مدل‌سازی بیلان آب برای حوضه کوچک جنگلی در جنوب کره جنوبی توسط کومبالیسر و

[1] Physically Based Model
[2] lump

همکاران (۲۰۰۸) با مدل BROOK90 انجام شد. نتایج آن نشان داد که حدود ٪۴۶ از بارش سالانه به تبخیر و تعرق، ٪۳۹ به رواناب سطحی و ٪۱۵ به صورت نشت تبدیل گردیده است. مقایسه بیلان آب در دو حوضه جنگلی نورودا و هارتایم با استفاده از مدل BROOK90 توسط تهیر (۲۰۱۲) در کشور سوئد انجام و مشخص شد که پوشش جنگلی نقشی اساسی در تغییرات بیلان آب حوضه دارد. اسکافرات و برنهافر (۲۰۱۳) نیز با استفاده این مدل تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق در مراتع نیمه‌خشک مغولستان را در دوره زمانی ۲۰۰۲-۲۰۱۱ مورد ارزیابی قراردادند. کورنر و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از این مدل اقدام به شبیه‌سازی بیلان آب در زیر حوضه ساسیو، غرب کشور اوکراین، نموده‌اند در این تحقیق ابتدا مدل برای یک حوضه معرف کالیبره گردیده و سپس برای حوضه ساسیو به کار گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که سهم آب زیرزمینی در رواناب تولیدی حوضه حدود ٪۶۰ است. لاماکووا و همکاران (۲۰۱۴) تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های رواناب و پیش‌بینی تغییرات آتی الگوهای هیدرولوژیکی در حوضه آبریز جنگلی ژئومون (کشور چک) را با استفاده از مدل BROOK90 انجام دادند، نتایج پیش‌بینی حاکی از کاهش ٪۱۵ رواناب طی یک دوره آماری ۳۰ ساله بوده است. به دلیل اهمیت مدل‌سازی در مطالعات منابع آب در ایران این مدل مورد استفاده محققان قرار گرفته است. خیری (۱۳۷۸) تأثیر خصوصیات هیدرولوژی، شرایط ژئوموفولوژی و تغییرات آب و هوایی را روی رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب با دو مدل شبیه‌سازی BROOK 90 وSAC-SMA در حوضه گرمابدشت مطالعه و به این نتیجه رسید که این دو مدل جهت اهداف پیش‌بینی شده مناسب است. احمدی‌نژاد (۱۳۸۴) شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب در حوضه کورکورسر نوشهر در استان مازندران را توسط مدل BROOK90 انجام داده که نتایج شبیه‌سازی مؤید مناسب بودن این مدل برای این حوضه جنگلی بوده است. با توجه به استفاده‌های موفق از مدل مذکور در فعالیت‌های پژوهشی که در اقصی نقاط دنیا انجام پذیرفته است.این مدل برای استفاده در حوضه‌های کوچک بسیارمناسب است. از دیگر مزیت‌های این مدل سادگی و کاربر دوست بودن آن، به‌روز رسانی مستمر و مجانی بودن آن است.

تعداد بسیاری حوضه‌های کوچک در سرشاخه‌های بیشتر رودخانه‌های بزرگ کشور و به خصوص در حوضه آبریز دریای مازندران وجود دارند که عمدتاً فاقد آمار و اطلاعات ثبت‌شده طولانی‌مدت هستند. با توجه به کارایی بالا استفاده از مدل‌های فیزیکی برای این نوع حوضه‌ها از مدل با ساختار فیزِیکی BROOK90 برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه معرف کسیلیان به عنوان نماینده تعداد زیادی از حوضه‌های مشابه استفاده شد، در ایـن مطالعـه شبیه‌سازی فرایند بارش- رواناب، چگونگی تجمع و ذوب برف، مؤلفه‌های بـیلان آب و تأثیر

شرایط هیدرولوژیک بر فرایند بارش- رواناب حوضه با استفاده از مدل یادشده مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا از نتایج آن در توسعه، عمران و آمایش حوضه‌ای استفاده گردد.

۲- مبانی نظری

فرایند بارش- رواناب یک حوضه تحت تأثیر شرایط هیدروژئولوژی، ژئومورفولوژی و اقلیم آن است. میزان بارش، توزیع و نوع آن، پوشش گیاهی، تجمع و ذوب برف، خصوصیات لایه‌های خاک و تشکیلات زمین‌شناسی از عمده عواملی هستند که میزان رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای شناخت کافی از فرایند بارش- رواناب حوضه‌های آبریز، شبیه‌سازی آن با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک و تجزیه و تحلیل نتایج حاصله ضروری است.

وارد شدن رایانه در سال‌های دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی به علم هیدرولوژی باعث شد که بسیاری از مسائل پیچیده را بتوان به صورت مدل درآورده و پاسخ مورد نظر را به دست آورد. امروزه این روش بسیار معمول و مدل‌های هیدرولوژی زیادی توسط افراد و مؤسسات مختلف ارائه شده که مورد استفاده هیدرولوژیست‌ها قرار می‌گیرد (علیزاده، ۴۵:۱۳۹۱).

ازجمله مدل‌های هیدرولوژی مدل با ساختار فیزیکی است. مدل هیدرولوژی BROOK90 یک مدل یکپارچه با ساختار فیزیکی است که بیلان آب یک منطقه را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند. ورودی‌های مدل شامل: بارش روزانه و یا با فواصل کوتاه‌تر، حداکثر و حداقل درجه حرارت، شدت تابش خورشیدی، فشار بخار آب و سرعت باد روزانه است. مدل فرایندهای بارش، تبخیر و رواناب را برای مقادیر میانگین حوضه آبریز شبیه‌سازی می‌نماید. در مدل متوسط مقادیر داده‌ها برای کل حوضه در نظر گرفته می‌شوند و فرآیندهای تبخیر و تعرق، جریان قائم آب در خاک و تولید رواناب با توجه به لایه‌های مختلف خاک با خصوصیات متفاوت فیزیکی به طور مفصل شبیه‌سازی می‌گردد (خیری، ۷۳:۱۳۷۸). در مدل جهت شبیه‌سازی نرخ تبخیر و تعرق از رابطه شاتل ورث و والاس[1] استفاده شد که اصلاح شده روش پنمن ° مونتیث[2] است (شاتل‌ورث و والاس، ۸۴۴:۱۹۸۵) و در شبیه‌سازی خصوصیات آب و خاک از روش اصلاح‌شده بروک و کوری (۱۹۶۴) و ساکستون و همکاران (۱۹۸۶) استفاده گردید. ذوب برف در مدل مبتنی‌بر فاکتور

[1] Shuttleworth and Wallace
[2] Penman-Monteith

درجه روز، درجه حرارت توده برف و محتوای آب موجود در برف است (خیری، ۷۵:۱۳۷۸). اشکال مختلف ذخایر آبی در مدل شامل برگاب باران[۱]، برگاب برف[۲]، برف موجود بر زمین[۳]، رطوبت خاک[۴] در هر لایه[۵] و آب‌های زیرزمینی [۶] است. مؤلفه‌های تبخیر و تعرق[۷] در مدل عبارت از: تبخیر حاصل از برگاب باران[۸]، تبخیر حاصل از برگاب برف[۹]، تبخیر حاصل از رطوبت خاک[۱۰]، تبخیر حاصل از برف[۱۱] و تعرق ناشی از هر یک از لایه‌های حاوی ریشه گیاه [۱۲] است (شکل ۱). بارش خالص[۱۳] یا بخشی از بارش کل شامل باران رسیده به سطح زمین[۱۴]، همچنین آب حاصل از ذوب برف[۱۵] ممکن است که درون لایه خاک[۱۶] سطحی (اول) نفوذ نماید، طی جریان در منافذ درشت به افق‌های پایین‌تر نفوذ نماید، در گذر از منافذ درشت و راه‌یابی به کانال‌های زیرزمینی مرتبط به رودخانه، بی‌درنگ به جریان رودخانه‌ای برگردد[۱۷] و یا به دلیل اشباع بودن سطح سریعاً به جریان رودخانه‌ای بپیوندد[۱۸]، همچنین آب موجود در زمینه خاک[۱۹] به تبعیت از قانون دارسی [۰] ریچارد به صورت جریان در محیط اشباع یا غیراشباع به طور قائم حرکت می‌کند و نیز ممکن است آب‌رسیده به سطح زمین سبب جریان در جهت شیب[۲۰] گردد. در مدل آبی که توسط نیروی ثقل از لایه‌های فوقانی به آب زیرزمینی زهکشی می‌شود توسط مؤلفه جریان آب زیرزمینی[۲۱] به صورت یک بخش ثابت از آب زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای را به طور روزانه تغذیه می‌نماید و یک بخش دیگر از خروجی آب زیرزمینی ممکن است به صورت نشت به اعماق[۲۲] در نظر گرفته شود. برای هر گام تکرار در مدل مقدار ذخایر آب زیرزمینی جهت اندازه‌گیری نشت و جریان آب

---

[1] Rain Interception (INTR), mm
[2] Snow Interception (INTS), mm
[۳] SNOW
[۴] Soil Water Volume in Layer (SWAT), mm
[۵] Layer Number(N)
[6] Ground Water Storage (GWAT), mm
[7] Evapotranspiration (EVAP), mm
[8] Evaporation Rate of Intercepted Rain (IRVP), mm/d
[9] Evaporation Rate of Intercepted Snow (ISVP), mm/d
[10] Evaporation Rate from Soil (SLVP), mm/d
[11] Evaporation Rate from Snowpack (SNVP), mm/d
[12] Transpiration Rate from Layer (TRAN(N)), mm/d
[13] Precipitation Rate (PREC), mm/d
[14] Rainfall Rate (RFAL), mm/d
[15] Snowfall Rate (SFAL), mm/d
[16] Infiltration Rate into Layer (INFL), mm/d
[17] Bypass Flow from Layer (BYFL), mm/d
[18] Source Area Flow Rate (SRFL), mm/d
[19] Soil Water Volume in Layer (SWAT), mm
[20] Downslope Flow Rate from Layer (DSFLN), mm/d
[21] Rate from Groundwater Flow to Streamflow (GWFL), mm/d
[22] Deep Seepage Loss from Groundwater (SEEP), mm/d

زیرزمینی مورد نیاز است. در شبیه‌سازی آب زیرزمینی مدل BROOK 90 از مفهوم ذخایر خطی اولیه استفاده گردیده است. نرخ تخلیه آب زیرزمینی به صورت یک بخش ثابت[1] از ذخیره آب زیرزمینی[2] در نظر گرفته شده است این تخلیه یا به صورت جریان پایه رودخانه ظاهر می‌گردد (رابطه (۱)) یا به صورت نفوذ به اعماق (نشت) است که مقدار نشت به صورت بخش ثابت از تخلیه[3] در نظر گرفته می‌شود (رابطه (۲)).

(۱) معادله مؤلفه جریان آب زیرزمینی:

$$GWFL = GWAT \times GSC \times (1 - GSP)$$

(۲) معادله مؤلفه نشت عمقی:

$$SEEP = GWAT \times GSC \times GSP$$

رواناب شبیه‌سازی‌شده[4] در مدل از مجموع مؤلفه‌های SRFL, BYFL, DSFL و GWFL تشکیل می‌گردد، محاسبه جریان کل و مؤلفه‌های مختلف آن توسط رابطه زیر (رابطه (۳)) صورت می‌پذیرد.

(۳) معادله جریان کل:

$$FLOW = SRFL + GWFL + DSFL + BYFL$$

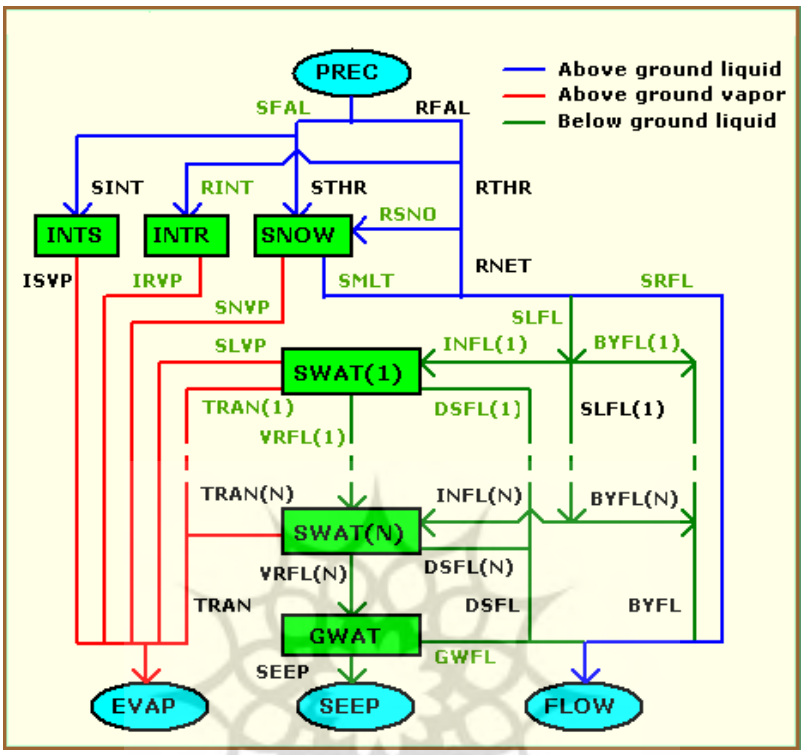
در مدل، بیلان آب به صورت زیر محاسبه می‌گردد (رابطه (۴)). جهت کسب اطلاعات مفصل‌تر از مدل، مطالعه کتابچه راهنمای آن (فدرر، ۲۰۱۵) توصیه می‌گردد.

(۴) معادله بیلان:

$$PREC = EVAP + FLOW + SEE$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Fraction of Groundwater Storage (GSC)
[2] Groundwater Storage Below Soil Layers (GWAT), mm
[3] Fraction of Groundwater Discharge (GSP)
[4] Streamflow (FLOW), mm/d



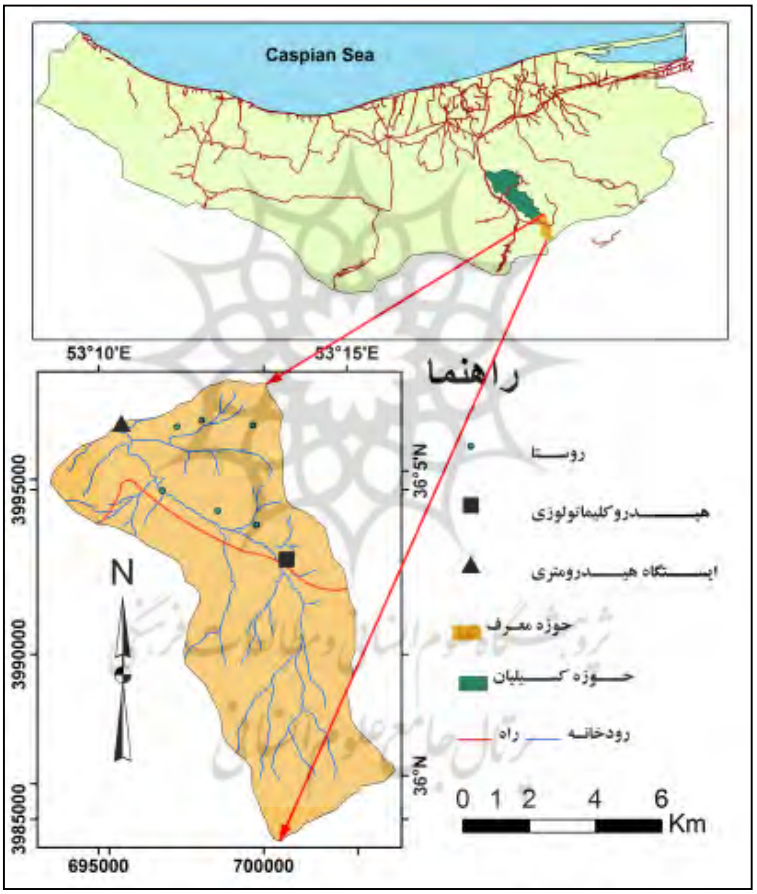
شکل ١ شکل ساده‌شده از مؤلفه‌های اصلی مدل (فدرر، ٢٠١٥)

٣- مواد و روش‌ها

٣-١- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوضه معرف کسیلیان، معرف مناطق وسیعی از قسمت‌های کوهستانی البرز شمالی است. این حوضه در عرض جغرافیائی "٥١ '٥٨ °٣٥ تا "٣٧ '٦ °٣٦ شمالی و طول جغرافیائی '٩ °٥٣ تا "٤٤ '١٥ °٥٣ شرقی در استان مازندران، شهرستان قائم‌شهر واقع شده است. این حوضه از شرق به حوضه آبریز رودخانه تجن، از غرب به حوضه آبریز تالار، از جنوب به حوضه آبریز دزلا و از شمال به امتداد حوضه رودخانه کسیلیان تا شیرگاه محدود می‌گردد. (شکل ٢) رودخانه اصلی این حوضه یکی از سرشاخه‌های رودخانه تالار است که از دامنه‌های شمال خاوری کوه گلرد سرچشمه می‌گیرد و به دریای مازندران می‌ریزد (تماب، ١٣٧٦:١٠). سازندهای زمین‌شناسی آن عمدتاً مربوط به سنگ‌های رسوبی دوران دوم (ژوراسیک) بوده و رخنمون‌های اندکی از

سنگ‌های دوران سوم نیز مشاهده می‌گردد (وحدتی دانشمند و سعیدی، ۱۳۶۹، مصطفوی، ۱۳۷۹: ۱۱). حدود ٪۶۵ مساحت حوضه پوشیده از جنگل پهن‌برگ است. مقدار شیب حوضه مورد مطالعه برابر ۱۷٫۸ درجه در جهت N۷۹ به‌دست‌آمده است. متوسط ارتفاع آن ۱۵۷۶ متر و بیشترین و کمترین ارتفاع آن به ترتیب ۲۷۰۰ و ۱۰۰ متر است. ایستگاه هواشناسی سنگده در ارتفاع ۱۳۵۰ متری از سطح دریا و تقریباً در مرکز ثقل حوضه واقع شده است. ایستگاه آب‌سنجی ولیک بن در نزدیکی دهکده ولیک بن نقطه خروجی حوضه معرف کسیلیان است.



شکل ۲ نقشه موقعیت حوضه معرف کسیلیان

۳-۲- روش تحقیق

در این پژوهش به منظور مطالعه ارتباط بین فرایند بارش- رواناب خصوصیات حوضه آبریز و پارامترهای مدل بـیلان آب، ابتدا گزارش‌های مربوط به زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و اقلیم منطقه گردآوری و مورد مطالعه قرارگرفته و سپس آمارهای مورد نیاز از دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت سهامی مدیریت منابع آب کشور و شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران گردآوری گردید. این آمارها شامل باران، دمای حداکثر، دمای حداقل و سرعت باد روزانه مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هم‌جوار و دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ولیک بن است. دوره آماری مورد استفاده از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱ بوده است. مدل علاوه‌بر داده‌های سری زمانی یادشده نیاز به پارامترهایی دارد که مقادیر اولیه این پارامترها از اطلاعات موجود در گزارش‌ها استخراج گردید، همچنین بعضی از این پارامترها به دلیل حساسیت بیشتر از طریق محاسبه آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS مورد کنترل مجدد قرار گرفته که از جمله می‌توان به مقدار شیب حوضه آبریز و جهت شیب اشاره نمود. در خصوص تدقیق پارامترهای مربوط به خاک از تلفیق داده‌های موجود در گزارش‌ها و برداشت‌های میدانی استفاده شد.

۳-۲-۱- آماده‌سازی و ورود داده‌ها و پارامترهای مدل

داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای مدل BROOK90 شامل مقادیر روزانه باران، دمای حداکثر، دمای حداقل، شدت تابش، فشار بخارآب، سرعت باد و رواناب حوضه است که هر کدام از آن‌ها به صورت روزانه برای دوره شبیه‌سازی در ستون خاص خود باید قرار گیرند که البته در صورت موجود نبودن آمار شدت تابش، فشار بخار آب و سرعت باد می‌توان به جای آن‌ها مقدار صفر را در ستون‌ها جا داد (فدرر، ۲۰۰۲: ۴۵). در این پژوهش داده‌های مورد نیاز برای یک دوره آماری بیست‌ساله از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱ تهیه گردیده است. اطلاعات مربوط به پارامترها در شش گروه شامل پارامترهای مرتبط به محل مورد مطالعه، پوشش گیاهی، خصوصیات خاک، مؤلفه‌های جریان آب، پارامترهای ثابت و مقادیر اولیه در مدل دسته‌بندی گردید، این اطلاعات از کتاب راهنما مدل (فدرر، ۲۰۱۵)، گزارشات طرح تجزیه و تحلیل آمار حوضه معرف کسیلیان و تعیین شعاع تأثیر آن (تماب، ۱۳۷۶)، نقشه زمین‌شناسی منطقه (وحدتی‌دانشمند و سعیدی، ۱۳۶۸) و برداشت‌های میدانی تهیه گردیده است.

پارامترهای ثابت در واقع مجموعه‌ای از پارامترها هستند که مقادیر آن از منابع مذکور تهیه و در مدل به صورت مقادیر پیش‌فرض ارائه می‌شوند، این پارامترها در طی فرایند اجرا و واسنجی

نیاز به تغییر ندارند، همچنین مقادیر اولیه شامل بعضی از پارامترها مورد نیاز در اجرای مدل است که ابتدا برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند و طی فرایند واسنجی مدل این مقادیر اصلاح و به مقادیر واقعی خود نزدیک خواهند شد. چهار گروه دیگر پارامترها معمولاً طی فرایند اجرا ابتدا با توجه به اطلاعات مربوط به خصوصیات حوضه آبریز و مقادیر پیش‌فرض توصیه شده برای مدل برآورد می‌گردد. مقادیر بهینه این پارامترها معمولاً در فرایند واسنجی و آنالیز حساسیت مدل با توجه به میزان حساسیت حوضه و مؤلفه‌های بیلان آب به هرکدام از آن‌ها و با لحاظ حدود مورد قبول تغییرات آن‌ها به دست خواهد آمد.

در بین پارامترهای مهم و مؤثر در این تحقیق ویژگی‌های مکانی حوضه اهمیت زیادی دارد (جدول ۱). این پارامترها بیشترین نقش را در نحوه تشکیل و ذوب برف، تعیین نوع بارش، محاسبه شدت تابش خورشید در منطقه و محاسبات تبخیر از برگاب دارند. در این گروه پارامترهای عرض جغرافیایی حوضه آبریز، متوسط مقدار شیب حوضه و جهت شیب حوضه طی محاسبات مربوط به فیزیوگرافی حوضه به‌دست‌آمده و در فرایند واسنجی ثابت در نظر گرفته و مقادیر مابقی پارامترها طی فرایند واسنجی تدقیق گردیدند (جدول ۱).

جدول ۱ پارامترهای مهم مربوط به ویژگی‌های مکانی حوضه مورد مطالعه

نام پارامتر	توصیف	مقدار اولیه	حدود تغییرات	مقدار بهینه
LAT	عرض جغرافیایی حوضه آبریز	۳۶/۰۵	-	۳۶/۰۵
ESLOPE	شیب حوضه به درجه	۱۷	-	۱۷
ASPECT	جهت شیب حوضه (آزیموت)	۷۹	-	۷۹
RSTEMP	درجه حرارت مبنا برای تفکیک برف و باران (°C)	-۰/۵	۲ >	۰/۲۵
MELFAC	فاکتور درجه- روز ذوب برف برای یک روز	۱/۵	۱/۵ - -۰/۵	۰/۳۵

پارامترهای مرتبط به خصوصیات جریان پس از پارامترهای مکانی نیز باید موردتوجه قرار گیرند. این پارامترها عمدتاً در تعیین میزان نفوذ آب به لایه‌های مختلف نقش اساسی دارند (فدرر، ۲۰۱۵). مهم‌ترین پارامترهای این گروه که در حوضه مورد مطالعه آنالیز حساسیت بالا و نقش مهمی داشته در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲ مقادیر پارامترهای مهم مربوط به خصوصیات جریان حوضه مورد مطالعه

نام پارامتر	توصیف	مقدار اولیه	حدود تغییرات	مقدار بهینه
INFEXP	توان نفوذ (بدون بعد) جهت توزیع آب نفوذی در اعماق خاک	۱	>۰	۰/۴
IDEPTH	حداکثر عمق منافذ درشت برای نفوذ آب در لایه‌های خاک (میلی‌متر)	۱۰۰۰	>۰	۶۷۰
IMPERV	بخش کاملاً غیرقابل نفوذ حوضه	۰/۰۱	۱ - ۰	۰/۰۳
QDEPTH	حداکثر عمقی از خاک که در فرایند جریان سطحی نقش دارد (میلی‌متر)	۱۰۰	>۰	۱۰۰
QFFC	بخش جریان سریع در مؤلفه جریان سطحی و میان‌بر، (بدون بعد)	۰/۰۷	۰/۰۰۰۱ تا ۱	۰/۰۷
BYPAR	فاکتوری جهت وجود یا عدم وجود جریان میان‌بر	۱	۰ یا ۱	۱
GSC	بخشی از ذخیره آب زیرزمینی به مؤلفه جریان آب زیرزمینی و نشت تبدیل می‌شود (در روز)	۰/۰۶	۰/۱ <	۰/۰۶
GSP	بخشی از جریان آب زیرزمینی که به مؤلفه نشت تبدیل می‌شود (بدون بعد)	۰	۰ تا ۱	۰
DRAIN	ضریب نشت از آخرین لایه خاک	۰/۹۴	۰ تا ۱	۰/۹۴

پارامترهای مرتبط به خصوصیات پوشش گیاهی حوضه وابسته به نوع پوشش گیاهی موجود در آن است که فرایندهای مربوط به تعرق را کنترل می‌کنند (فدرر، ۲۰۱۵) البته در سایر مؤلفه‌های بیلان نیز نقش دارد. مقادیر بهینه پارامترهای مهم این گروه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ پارامترهای مهم مربوط به خصوصیات پوشش گیاهی حوضه مورد مطالعه

نام پارامتر	توصیف	مقدار اولیه	حدود تغییرات	مقدار بهینه
ALB	درصد بازتاب نور از سطح زمین بدون پوشش برف	۰/۱۴	۰/۱ تا ۰/۳	۰/۲
ALBSN	درصد بازتاب نور از سطح زمین با پوشش برف	۰/۱۴	۰/۱ تا ۰/۹	۰/۵
KSNVP	فاکتور تصحیح برای تبخیر برف (بدون بعد)	۰/۳	۰/۲ تا ۲	۱/۱۵
MAXHT	متوسط طول بلندترین گیاهان منطقه (متر)	۲۵	۰/۰۱ <	۱۵
MAXLAI	ماکزیمم اندیس سطح برگ (مترمربع/ مترمربع)	۶	۰/۰۰۰۰۱ <	۴
MXRTLN	حداکثر طول ریشه‌ها در واحد سطح منطقه (متر/ مترمربع)	۳۰۰۰	۱۷۰۰ تا ۱۱۰۰۰	۳۰۰۰
DENSEF	تراکم پوشش گیاهی در یک منطقه	۰/۶۷	۰ تا ۱	۰/۵

پارامترهای مرتبط به خصوصیات خاک حوضه عمدتاً ویژگی‌های لایه‌های خاک و وضعیت رطوبت خاک را در این لایه‌ها توصیف می‌نمایند (فدرر، ۲۰۱۵) در این تحقیق توده خاک در مدل به ۷ لایه تقسیم‌شده که مقادیر بهینه پارامترهای مهم مرتبط به هریک از لایه‌های خاک در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴ پارامترهای مهم مربوط به خصوصیات خاک حوضه مورد مطالعه

NLAYER[۱]	THICK[۲]	STONEF[۳]	KF[۴]
۱	۱۰۰	۰/۰۲	۲
۲	۲۰۰	۰/۰۵	۴/۵
۳	۷۵	۰/۱۵	۵/۵
۴	۳۰۰	۰/۲۵	۴/۹
۵	۱۸۵	۰/۳۵	۵/۳
۶	۱۸۰	۰/۵۵	۴/۲
۷	۱۸۰	۰/۵۵	۴/۳

شماره لایه[۱]، ضخامت لایه (میلی‌متر)[۲]، درصد حجمی سنگ در لایه خاک[۳]، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت گنجایش زراعی (میلی‌متر بر روز)[۴]

۳-۲-۲- اجرا و واسنجی[1] مدل

مدل پس از آماده‌سازی داده‌ها برای یک دوره آماری دوساله (۱۹۹۲-۱۹۹۳) اجرا گردید و سپس واسنجی مدل که شامل تعیین مقادیر بهینه پارامترها جهت به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده است به روش سعی و خطا[2] انجام شد. یک مدل را می‌توان تنها با یک معیار بهینه‌سازی مورد واسنجی قرارداد، ولی واسنجی مبتنی بر یک معیار عددی منفرد، مقادیر پارامترهای غیرواقعی تولید می‌نماید که این مدل اگر برای زمان‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد، نتایج شبیه‌سازی آن خیلی مناسب نخواهد بود؛ بنابراین بهتر است که معیارهای عددی در فرایند واسنجی فقط برای راهنمایی مورد استفاده قرار گیرند و مقایسه گرافیکی مانند هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده با شبیه‌سازی شده مورد تأکید قرار گیرد (گرین و استفنسان، ۳۹۵:۱۹۸۶). مقایسه گرافیکی نشانه‌های کاملاً خوبی از توانایی‌های مدل را ارائه می‌نماید، این دو روش به آسانی با هم تلفیق می‌شوند و اطلاعات کاربردی بسیاری را بیان می‌کنند تا این‌که فقط از روش توابع آماری استفاده گردد؛ بنابراین معیارهای مورد استفاده در این تحقیق برای واسنجی بر پایه به حداقل رساندن میانگین انحراف خطا[3] همراه کنترل بصری انطباق منحنی رواناب شبیه‌سازی شده با منحنی رواناب اندازه‌گیری شده است. بعد از مرحله واسنجی جهت اطمینان از صحت و سقم واسنجی، مدل با داده‌های غیر از دوره واسنجی اجرا گردید (تعیین اعتبار[4] مدل)، برای اجرای این مهم از مابقی داده‌های آماده شده استفاده شد. پس از اعتبارسنجی، ابتدا تجزیه و تحلیل حساسیت ساده از پارامترهای مدل انجام گرفته و سپس با تغییر مقادیر پارامترهای مهم تأثیر شرایط هیدروژئولوژی و مورفولوژی بر فرایند بارش ° رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب مورد بررسی قرار گرفت.

۴- یافته‌ها

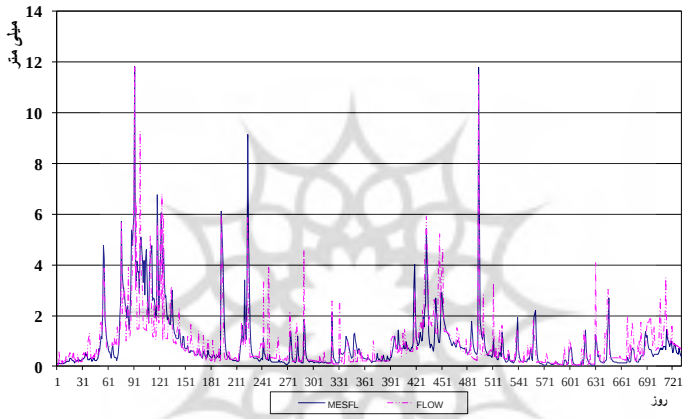
۴-۱- ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی

مدل BROOK90 جهت بررسی ارتباط بین پارامترهای مدل و خصوصیات حوضه با مؤلفه‌های بیلان آب برای حوضه معرف کسیلیان به کار گرفته شد. این مدل تحت شرایط آب و هوایی مربوط به سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ واسنجی گردیده است؛ سپس تعیین اعتبار مدل به منظور حصول اطمینان از صحت‌وسقم فرایند واسنجی با داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰۴- ۲۰۰۶ و

---

[1] Calibration
[2] Trial and Error
[3] Mean Bias Error (MBE)
[4] Validation

۱۹۹۲-۲۰۱۱ انجام پذیرفت. خروجی گرافیکی مدل جهت تعیین کارایی فرایند واسنجی برای دوره واسنجی و دوره اعتبار سنجی به همراه اندیس‌های آماری مربوط به هر دوره بررسی گردیده که نتایج حاکی از آن است که MBE برابر ۰/۰۴۱، ۰/۰۶۲- و ۰/۰۲۲- به ترتیب برای دوره واسنجی، اعتبارسنجی و کل دوره آماری اجراشده برای مدل حاصل شده است (جدول ۵). کنترل بصری رواناب شبیه‌سازی شده[۱] با اندازه‌گیری شده[۲] مؤید انطباق بسیار خوب این دو منحنی است (شکل ۳)؛ بنابراین فرایند واسنجی مدل مورد تأیید است. بعد از این مرحله مدل تحت سناریوهای مختلفی از تغییر پارامترها به‌کار رفته و اثر این تغییرات با نتایج شبیه‌سازی مقایسه شد.



شکل ۳ مقایسه رواناب شبیه‌سازی‌شده با اندازه‌گیری شده در دوره واسنجی (۹۳-۱۹۹۲)، حوضه مورد مطالعه

۴-۲- مقادیر بهینه پارامترها و ارتباط آن‌ها با خصوصیات حوضه

وقتی که پارامترهای مدل با یک روش مناسب به حالت بهینه می‌رسند، تجزیه و تحلیل حساسیت مدل با ثابت نگه‌داشتن کلیه پارامترها به‌جز یکی از آن‌ها در هر مرحله انجام می‌گیرد تا چگونگی تغییرات در تابع هدف را با تغییر در یک پارامتر بررسی نمود. اگر تغییرات جزئی در یک پارامتر سبب ایجاد تغییرات زیاد در تابع هدف شود سیستم به این پارامتر حساس است. اگر تابع هدف به تغییرات پارامتر حساس نباشد، نیاز به تخمین دقیق مقدار آن پارامتر در پیش‌بینی‌ها نیست (ناصری، ۱۹۹۷: ۸۴). مقادیر پارامترهای کم‌اهمیت با توجه به نتایج حاصل از آنالیز حساسیت

---

[۱] FLOW
[۲] MESFL

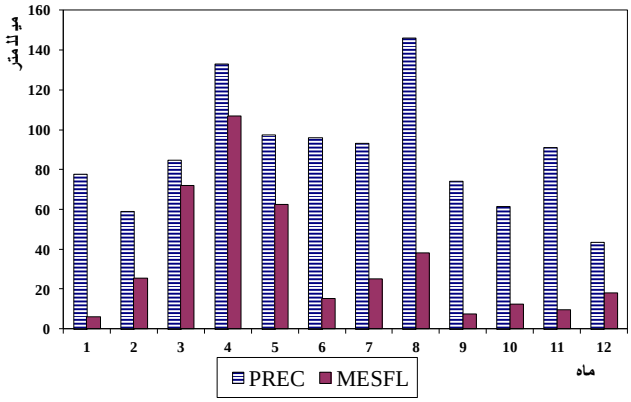
ثابت فرض گردیده و مدل با پارامترهای کمتر جهت بررسی اثر تغییر پارامترها بر مؤلفه‌های بیلان و فرآیند بارش- رواناب تجزیه و تحلیل شد. مقادیر بهینه پارامترهای مهم در هر یک از چهار گروه اصلی از پارامترهای مدل در جدول‌های ۲-۴ ارائه شده است.

جدول ۵ نتایج شبیه‌سازی رواناب در حوضه معرف کسیلیان

مرحله اجرا	دوره آماری	رواناب (میلی‌متر)		MBE
		MESFL	FLOW	
واسنجی	۱۹۹۲-۱۹۹۳	۶۴۴/۴۱	۶۶۰/۲۱	۰/۰۴۱
اعتبار سنجی	۲۰۰۴-۲۰۰۶	۶۱۰/۸	۵۴۱/۳۹	-۰/۰۶۴
کل دوره	۱۹۹۲-۲۰۱۱	۴۳۲۰/۷۸	۴۲۲۴/۷۴	-۰/۰۲۲

۴-۳- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های بیلان آب

محاسبه بیلان آب در حوضه معرف کسیلیان یکی از اهداف اصلی این پژوهش بوده است. بررسی مقادیر بارش و رواناب حوضه نشان می‌دهد که مقادیر بارش برای همه ماه‌های سال بیشتر از مقدار رواناب است این مسأله بیشتر به خاطر اهمیت زیاد تبخیر و تعرق در این حوضه است. مقادیر بارش و رواناب حوضه کسیلیان برای سال ۹۲ به صورت هیستوگرام در شکل ۴ ارائه شده است. اجرای مدل در یک دوره بیست‌ساله نشان می‌دهد که حدود ٪۷۶ بارش تبدیل به تبخیر و تعرق شده و مقدار ٪۲۴ آن تبدیل به رواناب شده است، همچنین نتایج مدل حاکی از نبود قابل‌ملاحظه نشت در حوضه است، در واقع شرایط خاص تشکیلات زمین‌شناسی و ساختار تکتونیکی منطقه امکان انتقال سریع آب را به مناطق خارج از حوضه و یا به اعماق زیاد نمی‌دهد (جدول ۶). به منظور بررسی دقیق سهم هر یک از مؤلفه‌های بیلان، مقادیر ماهیانه تبخیر و تعرق، رواناب و بارش سال اول واسنجی (۱۹۹۲) در شکل ۵ نشان داده شده است. توزیع زمانی تبخیر و تعرق و رواناب حاکی از آن است که در ماه‌های فصل بهار هر دو مؤلفه مقادیر بیشتری را نسبت به ماه‌های دیگر سال نشان می‌دهند که دلیل آن ذوب برف است، ذوب برف سبب افزایش رواناب و در دسترس قرار گرفتن آب کافی جهت فرایند تبخیر و تعرق می‌گردد. نقطه اوج رواناب در ماه آوریل اتفاق افتاده که برای تبخیر و تعرق نیز این ماه حداکثر مقادیر را نشان می‌دهد.

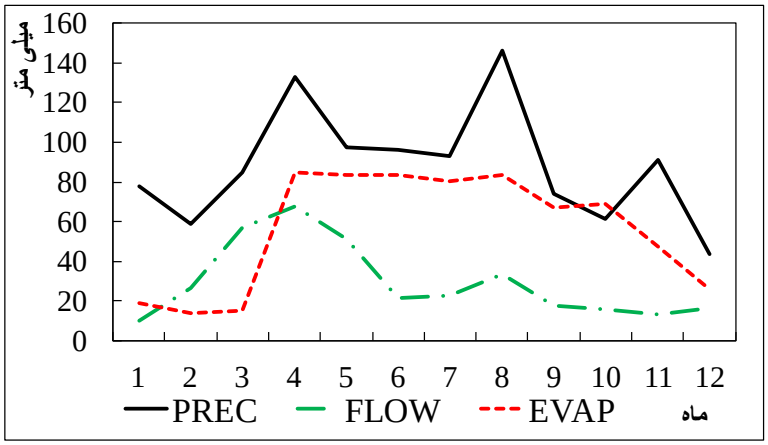


شکل ۴ مقادیر ماهیانه بارش و رواناب برای سال ۱۹۹۲

جدول ۶ خلاصه مؤلفه‌های بیلان آب حوضه معرف کسیلیان (۲۰۱۱-۱۹۹۲)

مؤلفه بیلان	متوسط سالانه (میلی‌متر)	درصد
بارش	۸۶۰	۱۰۰
جریان	۲۱۰	۲۴/۴
تبخیر	۶۵۰	۷۵/۶
نشت	۰	۰

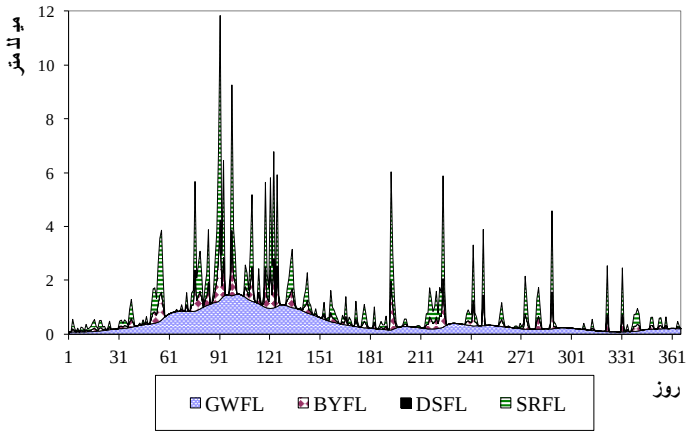
رواناب به عنوان بخشی از معادله بیلان در مدل مورد استفاده شامل چهار مؤلفه جریان از آب زیرزمینی، جریان در جهت شیب، جریان میان‌بر و جریان سطحی است (فدرر، ۲۰۱۵). مؤلفه‌های رواناب شبیه‌سازی شده حوضه مورد مطالعه در سال اول واسنجی در شکل ۶ ارائه شد. همان‌طوری که از شکل پیداست مؤلفه جریان از آب زیرزمینی یک عامل مهم در تولید رواناب حوضه است و ٪۴۴/۶۷ سهم از کل رواناب را به خود اختصاص داده و جریان سطحی و جریان میان‌بر به ترتیب ٪۳۸/۳۲ و ٪۱۶/۹۹ بقیه رواناب را تشکیل داده‌اند و در این سال مقدار جریان در جهت شیب صفر بوده است.



شکل ۵ مقادیر ماهانه مؤلفه‌های بیلان حوضه معرف کسیلیان (۱۹۹۲)

جریان سطحی حاصل بارش بر یک سطح غیرقابل نفوذ است، این سطح یا همانند سطح دریا و رودخانه‌ها همیشه حاوی آب است و یا در اثر پر شدن ذخایر رطوبتی خاک غیرقابل نفوذ می‌گردد (فدرر، ۲۰۱۵). حداکثر سهم مؤلفه رواناب سطحی و مستقیم از کل رواناب در دوره ماه‌های مارس و آوریل است، دوره‌ای که برف در حوضه ذوب می‌شود و متعاقباً نقطه اوج[۱] رواناب در حوضه اتفاق می‌افتد (شکل ۶). سهم رواناب سطحی از کل رواناب عموماً به شرایط هیدروژئولوژی و فیزیوگرافی حوضه بستگی دارد. مجموع جریان در جهت شیب و جریان میان‌بر را در واقع می‌توان معادل جریان بین لایه‌ای[۲] در نظر گرفت. این دو مؤلفه نیز واکنش سریع‌تری نسبت مؤلفه جریان از آب زیرزمینی و واکنش کندتری نسبت به مؤلفه جریان سطحی دارند. جریان بین لایه‌ای می‌تواند مؤلفه مهمی از رواناب در حوضه‌های کوهستانی پوشیده از جنگل باشد، چون فعالیت گیاهان سبب ایجاد یک لایه خاک با تخلخل زیاد می‌گردد. در حوضه کسیلیان که حدود ٪۶۵ حوضه پوشیده از جنگل است سهم این مؤلفه از رواناب برابر ٪۱۷ است.

[۱] Peak
[۲] Interflow

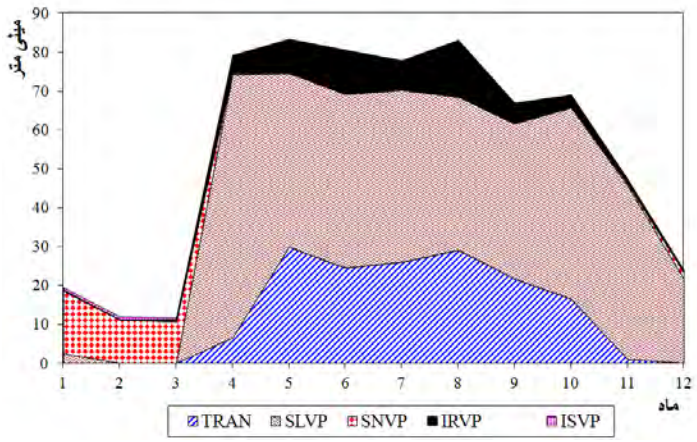


شکل ۶ مؤلفه‌های رواناب شبیه‌سازی‌شده حوضه معرف کسیلیان (۱۹۹۲)

مؤلفه‌های تبخیر و تعرق بیشترین سهم از بیلان را در این حوضه به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی تبخیر و تعرق شامل تبخیر از آب، خاک، برف، یخ، گیاهان و سایر سطوح است (خیری، ۱۳۷۸: ۱۲۰). مدل BROOK90 قادر است تبخیر و تعرق را در قالب پنج مؤلفه اصلی شبیه‌سازی نماید (فدرر، ۲۰۱۵). شبیه‌سازی مؤلفه‌های تبخیر و تعرق توسط مدل حاکی از آن است که در ماه‌های جولای و مه حداکثر تبخیر و تعرق و در ماه‌های ژانویه و فوریه حداقل آن رخ می‌دهد (شکل ۷). بیشترین درصد تبخیر در حوضه برای کل دوره شبیه‌سازی مربوط به مؤلفه تبخیر از خاک برابر ٪۷۵ و کمترین آن مربوط به مؤلفه تبخیر از برگاب برف معادل ٪۰/۴ به دست آمده است (جدول ۷).

جدول ۷ مقادیر مؤلفه‌های تبخیر، حوضه معرف کسیلیان

دوره آماری	واحد	TRAN	SNVP	SLVP	ISVP	IRVP	EVAP
۱۹۹۲	میلی‌متر	۱۶۱/۷	۳۸/۸	۴۱۳	۱/۸	۵۷/۹	۶۷۳/۱
	٪	۲۴	۵/۸	۶۱/۳	۰/۳	۸/۶	۱۰۰
۱۹۹۲-۲۰۱۱	میلی‌متر	۸۶۳/۶	۱۹۲/۶	۴۸۹۵/۶	۲۶/۸	۵۲۲	۶۵۰۰/۴
	٪	۱۳/۳	۳	۷۵/۳	۰/۴	۸	۱۰۰



شکل ۷ مؤلفه‌های تبخیر شبیه‌سازی شده حوضه معرف کسیلیان (۱۹۹۲)

نشت عمقی[1] یکی از مؤلفه‌های بیلان است که در این مدل شبیه‌سازی می‌گردد. این مؤلفه بخشی از جریان پایه است که در جریان رودخانه‌ای ظاهر نمی‌گردد (فدرر، ۲۰۱۵). با توجه به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی نشست عمقی در حوضه معرف کسیلیان نامحسوس است. این مؤلفه توسط پارامتر GSP شبیه‌سازی می‌گردد. مقدار بهینه پارامتر GSP برابر صفر به‌دست‌آمده است (جدول ۲). با توجه به تجزیه و تحلیل حساسیت انجام شده بر پارامتر GSP مشخص شد که افزایش GSP سبب کاهش رواناب تولیدشده می‌گردید که این کاهش در مؤلفه جریان آب زیرزمینی رخداده است.

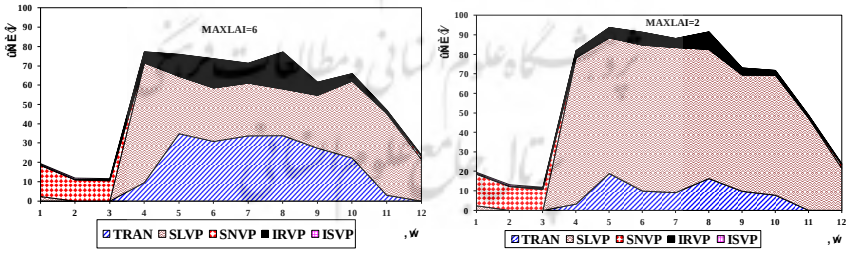
۴-۴- تأثیر پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های بیلان آب

تغییر در کاربری اراضی می‌تواند بر رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب مؤثر باشد (خیری، ۱۳۷۸: ۱۵۱)؛ بنابراین جهت مطالعه تأثیر تغییرات کاربری اراضی (جنگل‌کاری و تخریب جنگل‌ها) بر مؤلفه‌های بیلان آب، مقادیر پارامترهای DENSEF، MAXLAI و MAXHT از مدل تغییر داده شد. یکی از پارامترهای مهم در مقدار تبخیر و تعرق DENSEF است. این پارامتر نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی در یک منطقه است به این صورت که در یک منطقه کاملاً جنگلی مقدار ۱ و در مناطق بایر مقدار ۰/۰۵ برای آن در نظر گرفته می‌شود (فدرر، ۲۰۱۵). افزایش پارامتر DENSEF سبب کاهش کلیه مؤلفه‌های رواناب گردیده است. افزایش مقدار

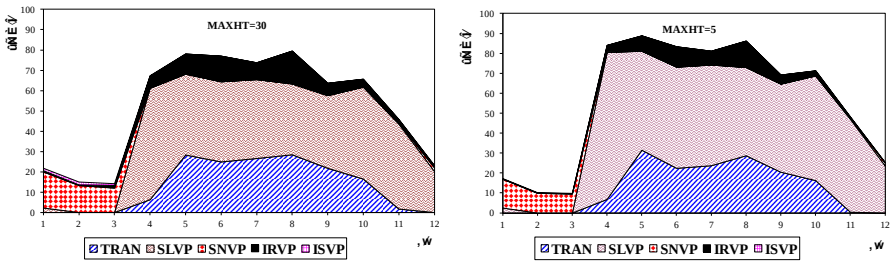
[1] Deep Seepage

DENSEF سبب افزایش در مؤلفه‌های تعرق، تبخیر از برگاب برف و باران و نیز کاهش در مؤلفه‌های تبخیر از برف و تبخیر از خاک می‌گردد (جدول ۸)، با توجه به این‌که تبخیر از سطح خاک بیشترین سهم را از تبخیر و تعرق کل در حوضه دارد. افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش در میزان کل تبخیر و کاهش درمجموع مؤلفه‌های رواناب شده که نقش مهمی در کاهش پتانسیل سیل‌خیزی و افزایش میزان ذخایر آب زیرزمینی حوضه خواهد داشت.

در مناطق کاملاً جنگلی مقادیر منطقی برای پارامترهای MAXLAI و MAXHT به ترتیب برابر ۶ و ۲۰ متر است (فدرر، ۲۰۱۵). مقدار بهینه MAXLAI برای حوضه کسیلیان عدد ۴ و MAXHT برابر ۱۵ به دست آمده است، با توجه به سناریوهای تغییر MAXLAI و MAXHT اثرات آن‌ها بر مؤلفه‌های رواناب، تبخیر و تعرق و ذخایر آب مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۸). نتایج حاصل از سناریوهای تغییر پارامتر MAXLAI که به طور غیرمستقیم نشان‌دهنده تغییرات پوشش گیاهی است سبب تغییرات زیاد در مؤلفه رواناب نمی‌گردد (جدول ۸). تأثیر تغییر پارامترهای MAXLAI و MAXHT بر مؤلفه‌های تبخیر و تعرق در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است، همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است مؤلفه‌های تبخیر و تعرق به تغییرات MAXLAI نسبت به تغییرات MAXHT حساسیت بیشتری دارند. تغییرات ایجاد شده در مؤلفه‌های تبخیر و تعرق بر اثر تغییر این پارامترها در ماه‌های بهار و تابستان مشهودتر است، چون این ماه‌ها دوره فعالیت گیاهان است (شکل‌های ۸ و ۹). بیشترین تأثیر تغییرات MAXLAI بر مؤلفه‌های تعرق، تبخیر از برگاب باران و تبخیر از خاک است به نحوی که افزایش MAXLAI سبب افزایش تعرق و تبخیر از برگاب باران و کاهش تبخیر از خاک می‌شود (جدول ۸).



شکل ۸ تأثیر تغییرات MAXLAI بر مؤلفه‌های تبخیر و تعرق، شبیه‌سازی‌شده با مدل BROOK90



شکل ۹ تأثیر تغییرات MAXHT بر مؤلفه‌های تبخیر و تعرق، شبیه‌سازی‌شده با مدل BROOK90

جدول ۸ عکس‌العمل مؤلفه‌های بیلان (میلی‌متر) به تغییر پارامترهای مهم مرتبط به پوشش گیاهی

سناریو	Base Run	MAXLAI		MAXHT		DENSEF	
	–	۲	۶	۵	۳۰	۰٫۱	۱
مقدار بهینه		۴		۱۵		۰/۵	
TRAN	۱۵۵/۴	۷۵/۴	۱۹۵/۹	۱۵۰/۸	۱۵۴/۶	۶/۲	۲۸۸
IRVP	۵۷/۴	۳۷	۷۴/۶	۴۸/۹	۶۸/۴	۱۳/۸	۹۶/۷
ISVP	۲	۲	۲	۰/۷	۴/۱	۰/۴	۴/۱
SNVP	۴۰/۲	۴۰/۲	۴۰/۲	۳۵/۹	۴۲/۳	۴۱/۳	۳۶/۹
SLVP	۳۹۹/۲	۵۵۲/۷	۳۰۵/۱	۴۳۸/۷	۳۵۳/۳	۷۷۷/۴	۲۱۹/۱
ET	۶۵۴/۲	۷۰۷/۳	۶۱۷/۷	۶۷۴/۹	۶۲۲/۷	۸۳۹/۱	۶۴۴/۷
SRFL	۱۳۹/۴	۱۴۸/۳	۱۲۵/۷	۱۴۸/۶	۱۳۳/۹	۱۳۷/۶	۹۶
BYFL	۶۱/۸	۶۶/۷	۵۳/۸	۶۵/۶	۵۸/۹	۶۱/۶	۳۷/۴
DSFL	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
GWFL	۱۶۲/۵	۱۸۴/۱	۱۳۵/۳	۱۷۶/۴	۱۵۱/۶	۱۷۴/۷	۹۷/۳
Total Runoff	۳۶۳/۶	۳۹۹/۱	۳۱۴/۹	۳۹۰/۷	۳۴۴/۴	۳۷۳/۹	۲۳۰/۸

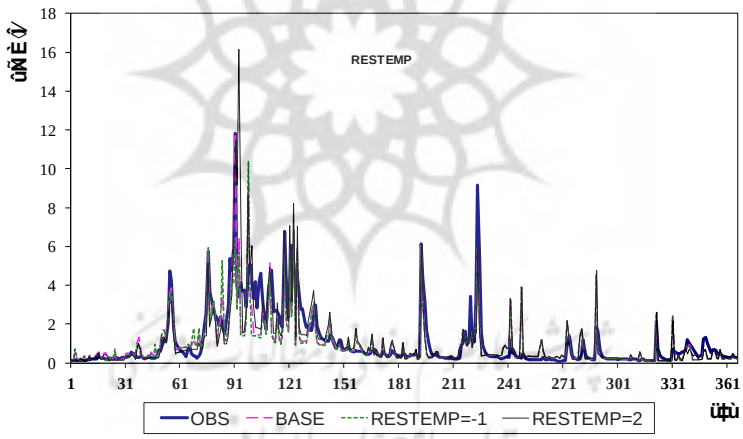
۴-۵- تأثیر پارامترهای برف بر مؤلفه‌های بیلان آب

جهت درک بهتر اهمیت فرایند ذوب برف در تولید رواناب حوضه معرف کسیلیان، پارامترهای مهم برف شامل MELFAC و RSTEMP شناسایی شده و با توجه به سناریوهای فرضی تغییر مقادیر این پارامترها تجزیه و تحلیل حساسیت بر آن‌ها انجام شد. نتایج تأثیر تغییر این پارامترها بر مؤلفه‌های بیلان حاکی از آن است که اهمیت آن‌ها عمدتاً در توزیع زمانی این مؤلفه‌ها بوده به طوری که نقطه اوج رواناب حاصل از ذوب برف را به طور محسوس جابه‌جا نموده است. کاهش مقدار MELFAC از مقدار بهینه ۰/۲۵ به ۰/۱ سبب جابه‌جای اوج رواناب حاصل از ذوب برف

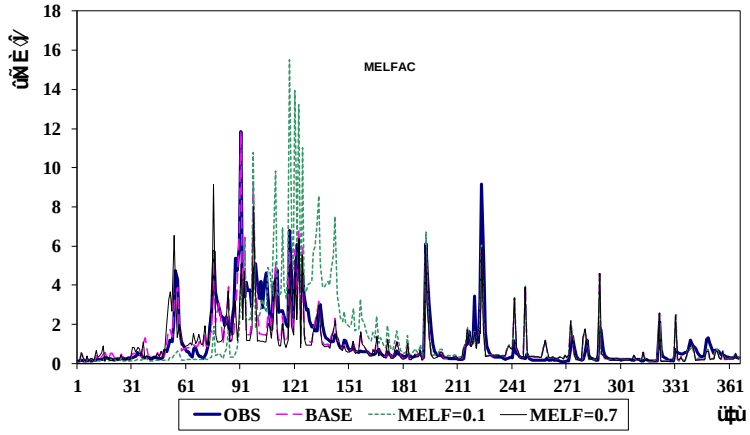
از ماه‌های مارس و آوریل به ماه‌های مه و ژوئن شده است. در مورد پارامتر RSTEMP اتفاقی مشابه رخ‌داده، ولی میزان جابه‌جایی کمتر بوده (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) و نیز حساسیت مؤلفه‌های بیلان از نظر مقدار به تغییر این پارامترها قابل توجه نیست، همچنین که حساسیت به MELFAC بیشتر از RSTEMP است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱ عکس‌العمل مؤلفه‌های بیلان (میلی‌متر) به تغییر پارامترهای مهم مرتبط به برف

سناریو	Base Run	RSTEMP		MELFAC	
	-	-۱	۲	۰/۱	۰/۷
مقدار بهینه		۰/۳۵		۰/۲۵	
ET	۶۵۴/۲	۶۶۳/۹	۶۱۹	۵۳۵/۴	۶۷۳/۴
Total Runoff	۳۶۳/۶	۳۴۷	۳۹۶/۲	۴۷۷/۳	۳۴۰/۶
MBE	-۰/۱	-۰/۱	۰	۰/۲	-۰/۲



شکل ۱۰ عکس‌العمل دبی به تغییرات پارامتر RSTEMP شبیه‌سازی‌شده توسط مدل BROOK90



شکل ١١ عکس‌العمل دبی به تغییرات پارامتر MELFAC شبیه‌سازی شده توسط مدل BROOK90

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق فرآیند بارش ° رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه معرف کسیلیان با استفاده از مدل BROOK90 شبیه‌سازی شد و تأثیر خصوصیات هیدروژئولوژی، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی بر رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب بررسی گردید. بررسی مقادیر بارش و رواناب این حوضه حاکی از آن است که مقادیر بارش در حوضه برای همه ماه‌های سال بیشتر از مقدار رواناب است. اجرای مدل در یک دوره بیست‌ساله نشان می‌دهد که حدود ٪۷۶ بارش تبدیل به تبخیر و تعرق شده و مقدار ٪۲۴ آن تبدیل به رواناب در حوضه شده، همچنین نتایج مدل حاکی از نبود قابل‌ملاحظه نشت در حوضه است. در واقع شرایط خاص تشکیلات زمین‌شناسی و ساختار تکتونیکی منطقه امکان انتقال سریع آب را به مناطق خارج از حوضه و یا به اعماق زیاد نمی‌دهد؛ بنابراین تبخیر و تعرق مهم‌ترین عامل در کاهش رواناب در این حوضه است. توزیع زمانی تبخیر و تعرق و رواناب مؤید آن است که در ماه‌های فصل بهار هر دو مؤلفه مقادیر بیشتری را نسبت به ماه‌های دیگر سال نشان می‌دهند که این موضوع مربوط به مقارن بودن با فصل ذوب برف است که سبب افزایش رواناب و نیز در دسترس قرار گرفتن آب کافی جهت فرایند تبخیر و تعرق می‌گردد. نقطه اوج رواناب در ماه آوریل اتفاق افتاده که برای تبخیر و تعرق نیز این ماه ماکزیمم مقادیر را نشان می‌دهد. از مؤلفه‌های رواناب شبیه‌سازی شده این حوضه مؤلفه جریان پایه یک عامل مهم در تولید رواناب حوضه است و ٪۴۴/۶۷ سهم از کل رواناب را به خود اختصاص داده و جریان سطحی و جریان میان‌بر به ترتیب ٪۳۸/۳۲ و ٪۱۶/۹۹ بقیه رواناب را تشکیل داده‌اند.

حداکثر سهم مؤلفه رواناب سطحی و مستقیم از کل رواناب در دوره ماه‌های مارس و آوریل است، دوره‌ای که برف‌ها در حوضه ذوب می‌شوند و متعاقباً نقطه اوج[1] رواناب در حوضه اتفاق می‌افتد. سهم رواناب سطحی از کل رواناب عموماً به شرایط هیدروژئولوژی و فیزیوگرافی حوضه بستگی دارد. جریان بین لایه‌ای می‌تواند مؤلفه مهمی از رواناب در حوضه‌های کوهستانی پوشیده از جنگل باشد، چون فعالیت گیاهان سبب ایجاد یک‌لایه خاک با تخلخل زیاد می‌گردد، در حوضه کسیلیان که حدود ٪۶۵ حوضه پوشیده از جنگل است سهم این مؤلفه از رواناب برابر ٪۱۷ است. مؤلفه‌های تبخیر و تعرق در مقایسه با پارامترهای مربوط به ذخایر آب زیرزمینی بیشتر به تغییرات وضعیت پوشش گیاهی حساس هستند. افزایش پوشش جنگلی سبب کاهش کلیه مؤلفه‌های رواناب گردیده است، همچنین سبب افزایش در مؤلفه‌های تعرق، تبخیر از برگاب برف، باران و نیز کاهش در مؤلفه‌های تبخیر از برف و تبخیر از خاک می‌گردد. با توجه به این‌که تبخیر از سطح خاک بیشترین سهم را از تبخیر و تعرق کل در حوضه دارد؛ بنابراین افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش در میزان کل تبخیر و کاهش در مجموع مؤلفه‌های رواناب شده که نقش مهمی در کاهش پتانسیل سیل‌خیزی و افزایش میزان ذخایر آب زیرزمینی حوضه کسیلیان خواهد داشت. با توجه به تجزیه و تحلیل حساسیت انجام شده بر پارامترهای مدل آشکار گردید که خصوصیات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و کاربری اراضی نقش مهمی در فرآیند رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب حوضه دارند. نتایج شبیه‌سازی مؤید مناسب بودن این مدل جهت اهداف پیش‌بینی شده بوده است.

نظر به این‌که تعداد زیادی حوضه‌های کوچک در سرشاخه‌های بیشتر رودخانه‌های بزرگ کشور وجود دارند، عمدتاً فاقد آمار و اطلاعات ثبت شده طولانی‌مدت است. با توجه به کارایی بالا استفاده از مدل‌های فیزیکی برای این نوع حوضه‌ها از مدل با ساختار فیزیکی BROOK90 می‌توان برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب آن‌ها استفاده نمود تا از نتایج آن در توسعه، عمران و آمایش حوضه‌ای استفاده گردد.

پرتال جامع علوم انسانی

[1] Peak

منابع

احمدی‌نژاد، امین رضا (۱۳۸۴). شبیه‌سازی فرایند بارش– رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه آبخیز رودخانه‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کورکورسر)، *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته سازه‌های آبی*، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مازندران، ساری.

تماب (۱۳۷۶). طرح تجزیه و تحلیل آمار حوضه معرف کسیلیان و تعیین شعاع تأثیر آن، *سازمان تحقیقات منابع آب*، تهران.

خیری، هوشنگ (۱۳۷۸). شبیه‌سازی فرایند بارش– رواناب و مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه گرمابدشت، *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد*، رشته زمین شناسی– آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

علیزاده، امین (۱۳۹۱). *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ ۳۵، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.

مصطفوی، سید محمدعلی (۱۳۷۱). *گزارش زمین‌شناسی حوضه معرف کسیلیان* آب منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری.

نجمائی، محمد (۱۳۶۹). *هیدرولوژی مهندسی*، جلد دوم، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

وحدتی دانشمند فرهاد و سعیدی، عبدالله (۱۳۶۹). نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ساری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، *سازمان زمین‌شناسی کشور*، تهران.

Ahmadnejad, A.R. (2006). Simulation of Rain Fall-runoff Processes and Water Balance Component in Rivers basin (A Case Study: Korkorsar river basin). *MSc Thesis*, University of Mazandaran, Sari. (in Persian)

Alizadeh, A., (2012). *Principle of Applied Hydrology*, Mashhad: Emam Reza University Press, 31th Edition. (in Persian)

Brooks, R.H., & Corey, A.T., (1964). Hydraulic Properties of Porous Media, *Hydro. Pap*., Vol. 3, pp. 1-27.

Chang, M., (2006). Forest Hydrology: an Introduction to Water and *Forests*, CRC press.

Combalicer, E.A., S. H. Lee, S. Ahn, D. Y. Kim, & S. Im., Modeling Water Balance for the Small-Forested Watershed in Korea, *KSCE J Civil Eng*., 12:339-348, 2008, https://doi.org/10.1007/s12205-008-0339-y.

FAO, Global Forest Resources Assessment 2015: How Are the Worlds Forests Changing, Food and Agriculture Organization of the United

Nations (FAO), Rome, 2015, Available at: http://www.fao.org/documents/card/en/c/770b9ce6-9f65-4a46-a9af-1abbb0f71ab1/

Federer, C.A., *BROOK90: a Simulation Model for Evaporation, Soil Water and Streamflow Versio 3.1*, USDA Forest Service, Durham, New Hampshire, USA, 1995.

Federer, C.A., *BROOK90-A simulation Model for Evaporation, Soil Water, and Streamflow. Documentation for Versions 4 and 3.2/3/4*, Compass Brook, Durham, New Hampshire, 2002.

Federer, C.A., *The BROOK90 Hydrologic Model for Evaporation, Soil Water, and Streamflow*, USA, 2015, Available at: http://www.ecoshift.net/brook/brook90.html.

Federer, C.A., Vörösmarty, C., & Fekete, B., Sensitivity of Annual Evaporation to Soil and Root Properties in Two models of Contrasting Complexity. *J Hydrometeorology*, 4:1276-1290, 2003, https://doi.org/10.1175/1525-7541 (2003)004<1276:SOAETS>2.0.CO;2.

Green, I.R.A., & Stephenson, D., Criteria for Comparison of Single Event models. *Hydrological Sciences*, 31(3), 395-411, 1986, https://doi.org/10.1080/02626668609491056.

Khairy, H., (1999). Simulation of Rain Fall-runoff Processes and Water Balance Component in Garmabdasht Basin, *MSc Thesis*, *Dept. of Geology, Faculty of Earth Sciences,* Shahid Behesthi University, Tehran,. (in Persian)

Koerner, P., Pluntke, T., Sachse, A., Boettcher, N., Naumov, D., Kolditz, O., & Bernhofer, C., Inverse Determination of Groundwater Inflow Using Water Balance Simulations. *Environmental Earth Sciences,* 72(12), 4757-4769, 2014, https://doi.org/10.1007/s12665-014-3327-1.

Lamacovv, A., Hru k, J., Krvm, P., Stuchlik, E., Farda, A., Chuman, T., & Fottová, D., Runoff Trends Analysis and Future Projections of Hydrologic Patterns in Small Forested Catchment. *Soil and Water Research*, 9(4), 169-181, 2014.

Mostafavi, S.M.A., (1992). Gological Report of Kassilain Represntive Watershed, Mazandarn and Golestan Regianal Water Authority, Sari, Iran. (in Persian)

Najmaie, M., (1991). *Engineering Hydrology, Vol. 1*, Tehran: Scince and Technology University Press. (in Persian)

Nassery, H.R. & Buchtele, J., Analysis of the Sensitivity of Water Balance Components to Hydrogeological Conditions and Climatic Change, *IAHS PUBLICATION*, 205-214, 1997.

Nassery, H.R., Simulation of Water Balance Components in Hydrogeological Distinct Areas Using SAC ˚ SMA and BROOK90 Models, *PhD Thesis Submitted to Dept. Hydrogeology*, Faculty of Sciences, Charles University, Prague Czech Republic, 1997.

Saxton, K.E., Rawls, W., Romberger, J.S., & Papendick, R.I., Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50(4),1031-1036, 1986, doi:10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x

Schaffrath, D., & Bernhofer, Ch., Variability and Distribution of Spatial Evapotranspiration in Semi arid Inner Mongolian Grasslands from 2002 to 2011. *SpringerPlus*, 2(1), 547, 2013, https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-547

Shuttleworth, W.J., & Wallace, J.S., Evaporation from Sparse Crops-an Energy Combination Theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(469), 839-855, 1985, doi:10.1002/qj.49711146910

Tahir, B., *Comparison of the Water Balance of Two Forest Stands Using the BROOK90 Model*, Student Thesis Series INES Nr 255. Univ Lund, Sweden, 2012.

TAMAB, (1997). Analyze of Kassilian Representative Watershed's Data and Determination of its Influence zone, *Water Resources Researches Organization*, Tehran, Iran. (in Persian)

Vahdati Daneshmand, F., & Saidi, A., (1991). Geological Quadrangle map of Sari, 1: 250000", *Geological Survey of Iran*, Tehran. (in Persian)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی