كاليبراسيون و ارزيابي مدل هيدرولوژيكي SWRRB به منظور شبيه‌سازي رواناب (مطالعه موردي: حوزه آبخيز كسيليان)

مريم اميري*[١]، محمدرضا قنبرپور[٢]، ميرخالق ضياءتباراحمدي[٣] و محسن محسني‌ساروي[٤]

[١] كارشناس ارشد آبخيزداري، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه مازندران، ايران

[٢] استاديار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه مازندران، ايران

[٣] استاد دانشكده كشاورزي، دانشگاه مازندران، ايران

[٤] استاد گروه احياء مناطق خشك و كوهستاني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

(تاريخ دريافت: ٨٦/٥/٢٤، تاريخ تصويب: ٨٧/٨/١٩)

چكيده

اكثر سامانه‌هاي هيدرولوژيكي بسيار پيچيده‌اند و نمي‌توان آنها را به طور كامل شناخت، بنابراين براي شناخت يا كنترل برخي از جنبه‌هاي رفتار آن‌ها نظيرروابط بيلان آبي، ساده سازي يا خلاصه كردن آنها، امري ضروري است. مدل‌هاي هيدرولوژيكي ساختار ساده‌اي از سامانه‌هاي پيچيده در چرخه آب در طبيعت مي‌باشند. هدف اوليه يک مدل شبيه‌سازي، پيش‌بيني كارسامانه پيچيده و بررسي اثر هر گونه تغيير، روي عملكرد سامانه است. اين امر ما را در درک بهتر اين فرآيندها كمک خواهد كرد. در اين پژوهش از مدل هيدرولوژيكي SWRRB كه يک مدل پيوسته است، براي شبيه‌سازي روابط بيلان آبي در حوزه آبخيز كسيليان در استان مازندران استفاده شده است. مدل يادشده در حوضه كسيليان كاليبره شد و مورد ارزيابي قرار گرفت. ميزان خطاي شبيه‌سازي در مراحل كاليبراسيون و اعتبار سنجي با توجه به معيارهاي MAE ، RMSE و Nash برآورد شد. معني‌داري و عدم معني‌داري ميزان اختلاف بين مقادير رواناب مشاهداتي و برآوردي، با استفاده از عامل Z مورد بررسي قرار گرفت. تحليل حساسيت مدل نسبت به متغيرهاي مختلف نيز مورد بررسي و تجزيه و تحليل قرار گرفت. نتايج اين بررسي نشان مي‌دهد كه مدل در مقياس سالانه شبيه‌سازي دقيق‌تري را نسبت به مقياس ماهانه ارائه مي‌كند. از سوي ديگر در مقايسه بين رواناب روزانه و ماهانه، نتايج همانندسازي رواناب ماهانه نسبت به رواناب روزانه قابل قبول‌تر مي‌باشد. ميزان اختلاف بين مقادير مشاهداتي و برآورد شده در مقياس زماني روزانه، معني‌دار و در مقياس زماني ماهانه و سالانه معني‌دار نبود. در اين بررسي تحليل حساسيت مدل به مشخصه‌هاي مختلف مورد بررسي قرار گرفت.

كلمات كليدي: مدل هيدرولوژيكي، SWRRB، بيلان آبي، رواناب، كسيليان

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٧١١-٨٢٥٨٧٥٠ فاكس: ٠٢٦١-٢٢٤٩٣١٣ E-mail: m_amiri12907@yahoo.com

مقدمه

اندازه‌گيري داده‌ها گام اوليه براي پيشبرد برنامه‌هاي سازماني است كه حوزه‌هاي آبخيز نيز از اين مسأله مستثني نيستند.يكي از مهم ترين داده‌ها در حوزه‌هاي آبخيز، آمار رواناب است (۱). براي به دست آوردن ميزان رواناب مي‌توان هم از معادله بيلان آبي كمك گرفت هم با بهره گيري از ايستگاه‌هاي هيدرومتري آن را اندازه‌گيري كرد. پيچيدگي زياد اكثر سامانه‌هاي هيدرولوژيكي، اندازه‌گيري همه عوامل دخيل در معادله بيلان آبي را با مشكل مواجه مي‌نمايد. در بيشتر حوزه‌هاي آبخيز كشور، بويژه حوزه‌هاي كوهستاني و صعب العبور نيز ايستگاه‌هاي هيدرومتري يا نصب نشده‌اند ويا داراي آمار ناقصي مي‌باشند. با توجه به وضعيت ايستگاه‌هاي هيدرومتري در كشور و پيچيدگي زياد اكثر سامانه‌هاي هيدرولوژيكي و نبود امكان شناخت كامل آن ها، بهره گيري از روش‌هايي كه بتوان به کمک آنها ميزان رواناب ناشي از بارندگي را در حوزه‌هاي بدون آمار يا داراي آمار ناقص برآورد نمود به گونه اي كه پاسخ بدست آمده بيشترين همخواني را با واقعيت داشته باشد، از اهميت قابل توجهي برخوردار است (۵و۶).يكي از اين روش ها بهره گيري از توانمندي ها و قابليت‌هاي مدل‌هاي هيدرولوژيكي در همانندسازي فرآيندهاي هيدرولوژيكي است (۶). به همين منظور در اين مطالعه كارايي مدل SWRRB [1] در حوضه آبخيز كسيليان مورد بررسي قرار گرفت. مدل يادشده تا كنون توسط پژوهشگران مختلفي مورد بهره گيري قرار گرفته است. ويليامز و همكاران (۱۹۸۵) ضمن بيان ويژگي هاي مدل SWRRB با آزمايش بر روي دو حوزه آبخيز ۵۳۸ و ۱۷/۷ كيلومتر مربعي در اوكلاهاما و تگزاس در آمريكا اظهار مي‌دارند كه مدل رياضي SWRRB توانايي شبيه‌سازي آب و رسوب را به طور واقع بينانه‌اي دارد. در اين بررسي قابليت مدل در ارزيابي اثرات ساختارهاي كنترل سيل ثابت شد و توصيه شد كه‌اين مدل به عنوان ابزاري مناسب و چند منظوره براي بهره گيري در برنامه ريزي و طراحي پروژه‌هاي منابع آب به كار رود (۱۵). آرنولد و ويليامز (۱۹۸۷) مدل SWRRB را به منظور شبيه‌سازي فرآيند بيلان هيدرولوژيكي در حوزه‌هاي آبخيز غير شهري ارائه كرده‌اند. در اين بررسي، مدل يادشده در ۱۱ حوزه آبخيز وسيع در ايالات متحده آمريكا مورد استفاده و ارزيابي قرار گرفته است. نتايج اين بررسي نشان مي‌دهد كه مدل SWRRB به شكل واقع بينانه‌اي مي‌تواند فرآيند بيلان هيدرولوژيكي حوزه آبخيز را با در نظر گرفتن شرايط اقليمي و توپوگرافي مختلف شبيه‌سازي نمايد (۷). بينگس و همكاران (۱۹۸۹) به نقل از سعادتي (۱۳۸۱)، چندين مدل شبيه‌سازي رواناب و رسوبدهي را براي حوضه مي‌سي سي پي شمالي به كار بردند و در استفاده از مدل SWRRB به نتايج قابل قبولي دست يافتند (۲). ميدمنت (۱۹۹۳) مدل SWRRB و كاربرد آن را در شبيه‌سازي پيوسته ر واناب در حوزه‌هاي آبخيز غير شهري تشريح كرده است واجزاء مدل، ورودي‌هاي مورد نياز، فلوچارت شماتیک اجرا و کاليبراسيون و ارزيابي مدل و نيز قابليت‌هاي آن را نشان داده است (۱۱). كوهن و همكاران (۱۹۹۵) با به كارگيري مدل‌هاي SWRRB، CALF، LEACHM ، GLEAMS، PELMO و EPASRRZMZ براي آزمون رواناب، ضمن برشمردن قابليت‌هاي هر مدل بيان مي‌كنند كه مدل SWRRB پيچيده تر از ساير اين مدل هامي‌باشد و براي ارزيابي‌ها در مقياس حوضه‌اي مناسب تر است. همچنين يكي از بهترين برتري هاي اين مدل ها، امكان کاليبراسيون آنها دريک مكان و استفاده از آن براي پيش‌بيني در مكان‌هاي مشابه ديگر است (۸). استوارت و همكاران (۲۰۰۰) بيان مي‌كنند كه بهره گيري از مدل SWRRB مشكل است اما اين مدل براي مدل سازي الگوهاي زهكشي پيچيده در مقياس حوضه‌اي و زيرحوضه‌اي مناسب است و بهترين كاربرد اين مدل را در مناطقي ميدانند كه رواناب پيش‌بيني شده آن، قابل ارزيابي باشد (۱۲). گاندولف و همكاران (۲۰۰۴) با بررسي مدل SWRRB و چندين مدل ديگر در شمال ايتاليا به‌اين نتيجه رسيدند كه تفاوت بين مقادير مشاهده شده و شبيه‌سازي شده رواناب در فاصله‌هاي زماني طولاني‌تر (مانند ماهانه) به طور قابل ملاحظه‌اي كاهش مييابد. همچنين بيان كردند كه در نيمرخ‌هاي كم عمق خاک، مقاديرزيادتر از حد معمول برآورد مي‌شوند در حالي

۱- Simulator Water Resources in Rural Basin

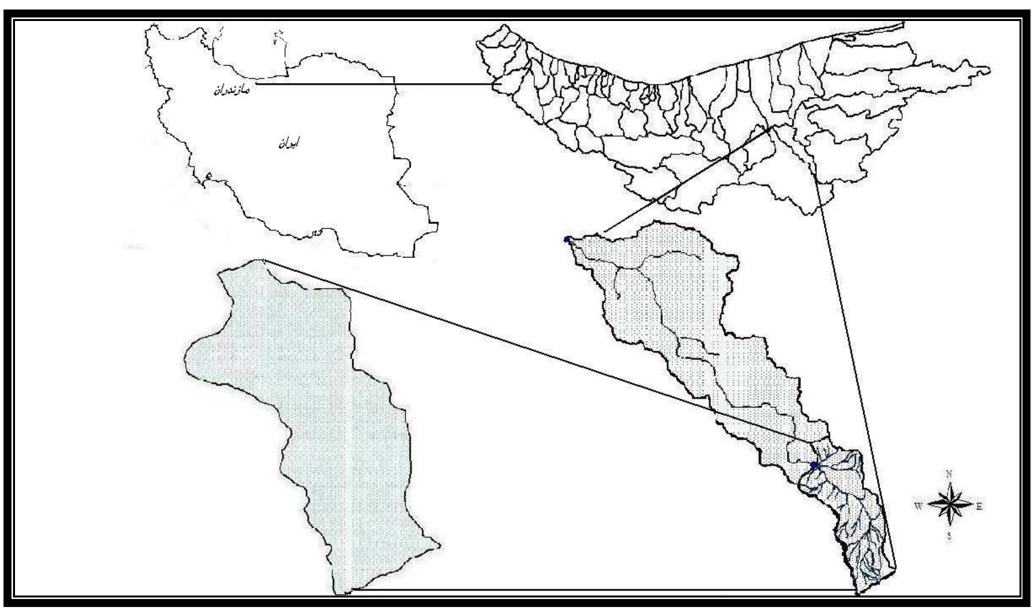
كه نتايج بدست آمده از نيمرخ‌هاي عميق تر منطقي ترند (۹). ولنتاين و همكاران (۲۰۰۵) بيان مي‌كنند كه مدل SWRRB براي حوزه آبخيز با حداكثر ۱۰ زير حوضه كاربرد دارد (۱۳). با توجه به بررسي‌هاي صورت گرفته، تاكنون در ايران بر روي مدل SWRRB مطالعه اي انجام نشده است.

هدف از انجام اين بررسي همانندسازي رواناب بـا اسـتفاده از مدل SWRRB در حوزه آبخيز كسيليان كه داراي آمار به نسبت كاملي است مي‌باشد كه در صورت درستي نتـايج مي‌تواند در توليد آمار در حوضه‌هـاي بـدون آمـار يـا داراي آمار ناقص كه شرايطي مشابه كسيليان دارند مورد استفاده قرار گيرد. كاربرد اين مدل درک بهتري از فرآينـد پيچيـده تبديل بارش به رواناب را در يک حوزه آبخيز جنگلي بر پايه روابط بيلان آبي فراهم خواهد كرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسي

در اين پژوهش حوزه آبخيز كـسيليان گـزينش شـدكه در ارتفاعـات زون مركـزي سلـسله جبـال البـرز، در اسـتان مازندران قرار دارد ويكي از زيرحوزه‌هاي حـوزه آبريـز تـالار است و از نظر وضعيت هيدرولوژيكي داراي شرايط مـستقل مي‌باشد. گستره اين حوضه ۳۴۲/۸۶ كيلـومتر مربـع اسـت ويك حوزه آبخيز جنگلي بشمار مي‌آيد و بنابه روش آمبرژه داراي اقليم مرطـوب و نيمـه مرطـوب مـي‌باشـد و از نظـر جغرافيايي در بين طول شرقي´۱ °۵۲ تا´۲۶ °۵۳ و عرض شمالي´۱ °۳۵ تا´۳۲ °۳۶ واقع شده است. حوضه كـشيده بوده و زهكشي آن توسط رودخانه كسيليان كه از ارتفاعـات جنگلي شرق حوزه آبريز تالار سرچشمه مـي‌گيـرد، صـورت مي‌پذيرد (۴). در اين پژوهش زير حوزه معرف كسيليان نيز كه خروجي آن ايستگاه هيدرومتري وليک بن مـي‌باشـد در نظر گرفته شد. گستره اين زير حوضـه ۶۷/۸ كيلومترمربـع بوده و بين ارتفاعات ۱۱۰۵ تا ۳۱۶۳ متري قـرار دارد. ايـن حوضـه از ارتفاعـات مراتـع بنـدبن شـروع شـده و بعـد از ارتفاعات ميـاني حوضـه كـه كـاربري جنگـل دارد، بـه دره آبرفتي- مسكوني ختم مي‌شود. در ارتفاعات پـايين منـاطق سنگده، اوريمليک، درزيكلا، سوت كلا، وزملا، وليک چـال و داروكلا قرار دارند. موقعيـت حـوزه آبخيـز كـسيليان و زيـر حوزه گزينشي در شكل (۱) نشان داده شده است.



شكل ۱- موقعيت حوضه كسيليان نسبت به‌ايران و استان مازندران

روش بررسي

جمع آوري آمار و اطلاعات

در اين بررسي درآغاز کليه آمار و داده‌هاي ايستگاه‌هاي باران‌سنجي و تبخير سنجي داخل و اطراف حوزه جمع آوري شدند. در خروجي حوزه آبخيز کسيليان از ايستگاه هيدرومتري شيرگاه- کسيليان و در خروجي زير حوزه معرف از ايستگاه هيدرومتري وليك بن استفاده شد. مشخصات کليه‌ايستگاه‌هاي مورد استفاده در اين بررسي در جدول (۱) نشان داده شده است. براي تعيين دوره آماري مشترك، اقدام به ترسيم بارگراف ايستگاه‌هاي مختلف (هيدرومتري، باران سنجي و تبخيرسنجي) شد. پس از ترسيم بارگراف ايستگاه‌ها، سال آبي (۵۰ -۱۳۴۹) تا (۸۱-۱۳۸۰)يعني ۳۲ سال به عنوان دوره آماري مشترك در نظر گرفته شد. جمع آوري و تهيه نقشه‌ها و لايه‌هاي اطلاعات جغرافيايي نظير مدل رقومي‌ارتفاع ، شيب، جهت، شبکه هيدروگرافي، کاربري اراضي، گروه‌هاي هيدرولوژيکي خاک، شماره منحني حوزه آبخيز با بهره گيري از نرم افزار Arcview در محيط GIS در مرحله بعد صورت گرفت.

جدول ۱- مشخصات ايستگاه‌هاي مورد استفاده

رديف	نام ايستگاه	نوع ايستگاه	طول	عرض	ارتفاع (m)
۱	سنگده	باران سنجي و تبخير سنجي	E ۵۳-۱۳-۴۱/۷	N ۳۶-۳-۳۵/۶	۱۳۳۷
۲	درزيکلا		E ۵۳-۱۲-۱۴	N ۳۶-۴-۸	۱۳۰۰
۳	سليمان تنگه		E ۵۳-۱۳-۵۲/۱	N ۳۶-۱۵-۷/۵	۴۰۰
۴	اوريمليک	تبخير سنجي	E ۵۳-۱۳-۵۵/۸	N ۳۶-۲-۳۷/۳	۱۶۲۰
۵	کله	باران سنجي	E ۵۳-۹-۴۵/۴	N ۳۶-۴-۱۱/۴	۱۵۵۷
۶	وليک چال		E ۵۳-۱۳-۰	N ۳۶-۵-۵۵	۱۵۰۰
۷	تلارم		E ۵۳-۱۵-۱۵/۶	N ۳۶-۱۲-۱	۹۳۰
۸	ريگ چشمه		E ۵۳-۱۰-۷/۵	N ۳۶-۲۱-۵۴/۴	۴۲۰
۹	شيرگاه		E ۵۲-۵۳-۱۰/۴	N ۳۶-۱۷-۵۷/۱	۲۲۰
۱۰	قرآن تالار		E ۵۲-۴۶-۳۰	N ۳۶-۱۸-۱۶	۱۰۲
۱۱	شيرگاه	هيدرومتري	E ۵۲-۵۳-۱۴/۳	N ۳۶-۱۸-۵/۱	۲۲۰
۱۲	وليک بن		E ۵۳-۱۰-۲۳/۸	N۳۶-۵-۴۶/۲	۱۱۰۶

ساختار مدل **SWRRB**

مدل رياضي SWRRB در گروه مدل‌هاي پيوسته قرار مي‌گيرد و با ايجاد اصلاحاتي در مدل CREAMS براي کاربرد در حوضه‌هاي بزرگ، پيچيده و روستايي براي شبيه‌سازي فرآيندهاي هيدرولوژيکي توسعه يافته است. اين مدل قابليت استفاده در محدوده گسترده اي از خاک ها، اقاليم، کاربري اراضي، توپوگرافي و شرايط مديريتي را دارد و مي‌تواند تأثير اقدامات مديريتي را بر روي ميزان آب، رسوب و ميزان آفت کش با دقت قابل قبولي پيش‌بيني کند (۷). اين مدل بر پايه معادله بيلان هيدرولوژيکي در رابطه (۱) طراحي شده است:

(۱)

$$SW_i = SW + \sum_{i=1}^{t} (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$$

که در آن: SW_i رطوبت خاک به ميليمتر، SW ميزان رطوبت در دسترس گياهان به عنوان رطوبت اوليه به ميليمتر، t زمان به روز، R_iميزان بارندگي به ميليمتر، Q_i رواناب سطحي به ميليمتر، ET_i ميزان تبخير و تعرق واقعي به ميليمتر، P_i ميزان نفوذ به ميليمتر و QR_i ارتفاع

رواناب تأخيري به ميليمتر مـي‌باشـد. فايـل اجرايـي مـدل SWRRB شامل شانزده بخش مختلف است كه به كـاربر امكـان وارد كـردن داده‌هـا و مشخـصه‌هـاي مـورد نيـاز را مي‌دهد.

پارامترهاي مدل

براي اجراي مدل SWRRB، داده‌هاي بارندگي و دمـاي روزانه به عنوان مهم ترين ورودي مدل به همراه ويژگي‌هاي دقيق پروفيل خـاك، رطوبـت خـاك، وضـعيت هيـدروليك جريان زير قشري، رواناب روزانه، تلفات بارنـدگي و ذخيـره مخزني، تبخير و تعـرق، تشعـشع، وضـعيت بهـره‌بـرداري و كاربري اراضي، توپوگرافي و ويژگي‌هاي فيزيوگرافيكي حوزه آبخيز، به منظور شبيه‌سازي رواناب مورد نياز است. پـس از استخراج مشخصه‌هاي مورد نياز مدل اقدام به اجراي مـدل دريک دوره مشاهداتي بـر پايـه داده‌هـاي موجـود كـرده و ميزان رواناب دردوره‌هاي زمـاني مختلـف روزانـه، ماهانـه و سالانه در خروجي هر دو حـوزه آبخيـز محاسـبه مـي‌شـود. كاليبراسيون ضريب ها و مشخصه‌هاي مدل بر پايـه ميـزان مشاهداتي رواناب در دوره مشاهداتي انتخابي در مرحله بعد به مورد اجرا گذاشته مي‌شود. در اين تحقيق ارزيـابي مـدل بر پايه بررسي كمي ميزان خطاي برآورد رواناب دريک دوره مشاهداتي غيراز دوره مورد استفاده در مرحله كاليبراسـيون با استفاده از عامـل هـاي ميـانگين مطلـق خطـا[1] ،مجـذور ميانگين مربع خطا[2] و معيار Nash (۱۴)(فرمول شـماره۴) و بررسي معني‌داري يا عدم معني‌داري ميزان اختلاف بـين مقادير مشاهداتي و برآوردي با اسـتفاده از عامـلZ (۱۰) و تعيين ميزان كارايي مـدل در پـيش‌بينـي و شـبيه‌سـازي رواناب انجام مي‌شود. معيارهاي مورد استفاده بر پايه روابط (۲) الي (۵) قابل محاسبه مي‌باشند.

$$MAE = \frac{\sum |O_i - P_i|}{N} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (۳)$$

$$E = 1 - \sum (O_i - P_i)^2 / \sum (O_i - \overline{Q})^2 \quad (۴)$$

$$Z = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sigma_{X_1 - X_2}} \quad (۵)$$

كـــه در ايـــن فرمـــول هـــا O_i: داده‌هـــاي مـــشاداتي، P_i: داده‌هاي شبيه‌سـازي شـده ، $\overline{Q}$: ميـانگين داده‌هـاي مـشاهداتي، N: تعـداد داده‌هـا، $\overline{X_1}$: ميـانگين داده‌هـاي مـشاهداتي، $\overline{X_2}$: ميـانگين داده‌هـاي بـرآوردي، $\sigma_{X_1-X_2}$: انحراف معيار داده‌هاي مشاهداتي و برآوردي مي‌باشد.

نتايج

بر اساس پايـه مـشترک آمـاري و وجـود نـواقص آمـاري، ايستگاه‌هاي باران سـنجي سـنگده، درزيكـلا، كلـه، تـلارم، شيرگاه، قرآن تالار و ريگ چشمه و ايـستگاه تبخيرسـنجي سنگده براي استفاده در شبيه‌سازي انتخاب شدند. در مورد ايستگاه‌هاي هيدرومتري با توجه به وجود نواقص آمـاري در ايستگاه وليک بن و به دليل نيـاز بـه آمـار هـر دو ايـستگاه هيدرومتري در امـر شـبيه‌سـازي، نـواقص آمـاري ايـستگاه هيدرومتري وليک بن با بهره‌گيـري از روش نـسبت هـا و مبنا قرار دادن آمار ايستگاه هيدرومتري شيرگاه- كسيليان، به عنوان ايـستگاه داراي آمـار كامـل بازسـازي شـد. علـت استفاده از اين روش براي بازسازي آمار وليک بـن، مناسـب بودن اين روش براي بازسـازي آمـار روانـاب مـي‌باشـد (۳). بررسي صحت داده‌ها و كنتـرل كيفيـت داده‌هـا دريـافتي و آزمون همگني بر اساس روش كمـي ران تـست يـا آزمـون توالي در طول دوره آماري ۳۲ سال يعني از سال آبي (۵۰-۱۳۴۹) تا (۸۱-۱۳۸۰) انجام شد. نتايج اين آزمون همگـن بودن داده‌ها را در همه ايـستگاه‌هـا در سـطح ۵ درصـد در طول دوره به اثبات رساند.

۱- Mean Absolute Error (MAE)

۲- Root Mean Square Error (RMSE)

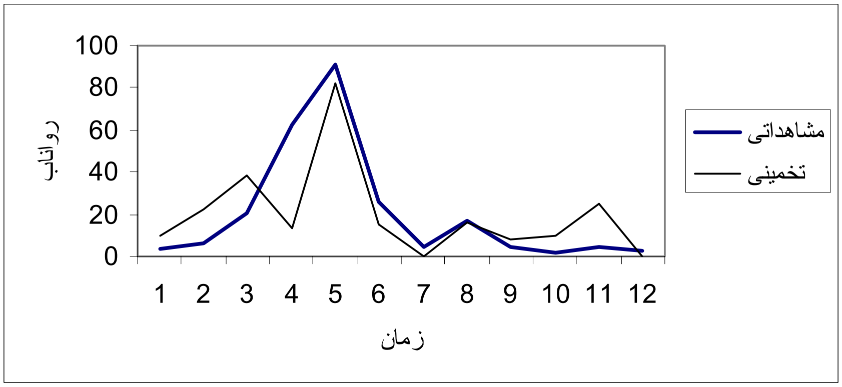
با استفاده از آمار گردآوري شده، اقدام به استخراج مشخصه‌هاي مورد نياز مدل مانند شمار روزهاي باراني در هر ماه، ميانگين ماهانه بارش، انحراف معيار بارش روزانه، ضريب چولگي بارش روزانه، کمينه و بيشينه ماهانه دما، احتمال ماهانه رخداديک روز مرطوب بعد ازيک روز مرطوب، احتمال ماهانه رخداديک روز مرطوب بعد ازيک روز خشک، ضريب تغيير دماي ماهانه، ميزان تشعشع در هر ماه شد. بيشينه بارندگي ماهانه ۰/۵ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، شمار سال‌هايي که بيشينه بارندگي ۰/۵ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال را دارند، شمار سال‌هاي شبيه‌سازي، سال و روز شروع شبيه‌سازي شد. ضريب زبري دامنه، ضريب زبري آبراهه، شمار زير حوزه، عامل آب پايه و ظرفيت آب قابل دسترس ازديگرمشخصه‌هاي مورد نياز بودند که بعضي از مشخصه‌ها مانند ضريب زبري از روي بررسي‌هاي صورت گرفته استخراج شدند. در مرحله بعد برخي از مشخصه‌هاي مورد نياز براي اجراي مدل SWRRB از روي نقشه‌ها و لايه‌هاي اطلاعاتي در محيط GIS محاسبه و استخراج شد.

مدل SWRRB براي حوزه آبخيز کسيليان و زير حوزه آن يعني حوزه معرف کسيليان به صورت جداگانه در سه مقياس روزانه، ماهانه و سالانه در سال‌هاي آماري (۵۰-۱۳۴۹) تا (۷۶-۱۳۷۵) کاليبره شد و عمل ارزيابي آن در طول سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰) در هر دو حوضه صورت گرفت. ميزان خطا با توجه به عامل هايي مانند مقايسه ميانگين داده‌هاي مشاهداتي و برآوردي، انحراف معيار داده‌هاي مشاهداتي و برآوردي، معيارهاي ميانگين مطلق خطا ،مجذور ميانگين مربع خطا و معيار Nash و R برآورد شد و معني‌داري و عدم معني‌داري با توجه به عاملZ مورد بررسي قرار گرفت که نتايج آن در جدول (۲) نشان داده شده است.

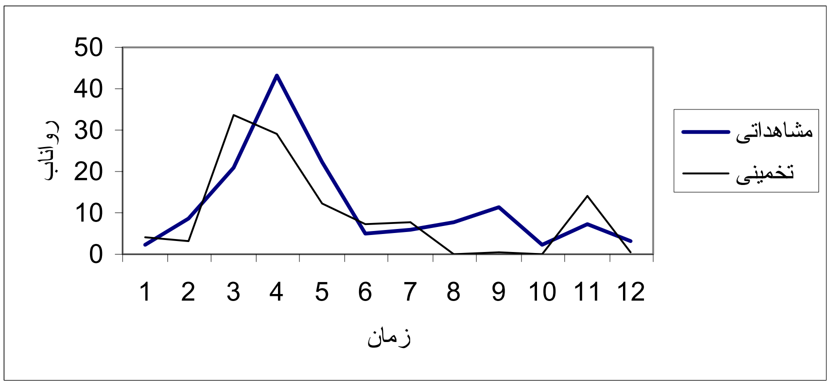
جدول ۲- نتايج کاليبراسيون مدل در مقياس روزانه ، ماهانه و سالانه در حوضه‌هاي مورد بررسي در سال‌هاي آماري (۵۰-۱۳۴۹) تا (۷۶-۱۳۷۵)

حوضه	مقياس زماني	Z	R	RMSE	MAE	Nash	انحراف معيار رواناب برآوردي	انحراف معيار رواناب مشاهداتي	ميانگين رواناب برآوردي	ميانگين رواناب مشاهداتي
کسيليان	روزانه	۱۸/۲***	۰/۳۵	۱/۰۳	۰/۱۷	-۰/۹۰	٤/۰۵	۲/۸٤	۱/۸٤	۲/۷۵
	ماهانه	۵/۹۵***	۰/۲۷	۳۷۸/۲۷	۵۳/۰۸	-۰/۰٦	۲۷/۲۲	۷۰/٦۸	٦۳/۳	۸۸/۳
	سالانه	۰/۲۱ ns	۰/۲۸	۰/۰۸	۳۵۵/۰۵	۲٤۸/۵	۱۰٤/۹۹	۳۷٦/۵۵	۱۰٤٤/٤۸	۱۰۵۹/۹۵
معرف کسيليان	روزانه	۷/۱٤***	۰/۱۹	۱/۸۱	۰/٦٦	-۳/۹۷	۱/۷۷	۰/۸۱	۰/۳٤	٤۸/۰
	ماهانه	۳/۳**	۰/۳۵	۱۵/۲۱	۱۰/۸۷	-۰/۲۷	۱۲/٦	۱۳/۵	۱۱/۲	۱٤/٦
	سالانه	۱/۰۷ ns	۰/٤٦	۵۲/٦۰	٤۱/۵۰	۰/۰۹	۳۸/۸٦	۵٦/۱٦	۱٦۰/۸۲	۱۷٤/۸۵

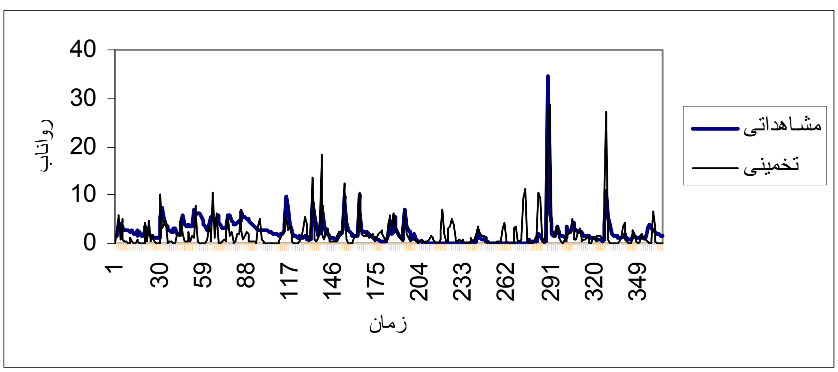
شکل هاي (۲) و (۳) به عنوان نمونه، عملکرد مدل را در شبيه‌سازي رواناب ماهانه در مرحله کاليبراسيون مدل به ترتيب در سال‌هاي آماري (۵۱-۱۳۵۰) و(٦۹-۱۳٦۸)در حوضه معرف کسيليان را نشان مي‌دهد. در اين شکل ها رواناب بر حسب ميليمتر و زمان بر حسب ماه مي‌باشد. شکل (۴) نيز به عنوان نمونه عملکرد مدل را در شبيه‌سازي رواناب روزانه در مرحله کاليبراسيون مدل در سال آماري (۵۷-۱۳۵٦) در حوضه کسيليان نشان مي‌دهد.



شكل ٢- كاليبراسيون مدل در مقياس ماهانه در سال آماري ٥١-١٣٥٠ در حوضه معرف كسيليان



شكل ٣- كاليبراسيون مدل در مقياس ماهانه در سال ٦٩-١٣٦٨ در حوضه معرف



شكل ٤- كاليبراسيون مدل در مقياس روزانه در سال ٥٧-١٣٥٦ در حوضه كل

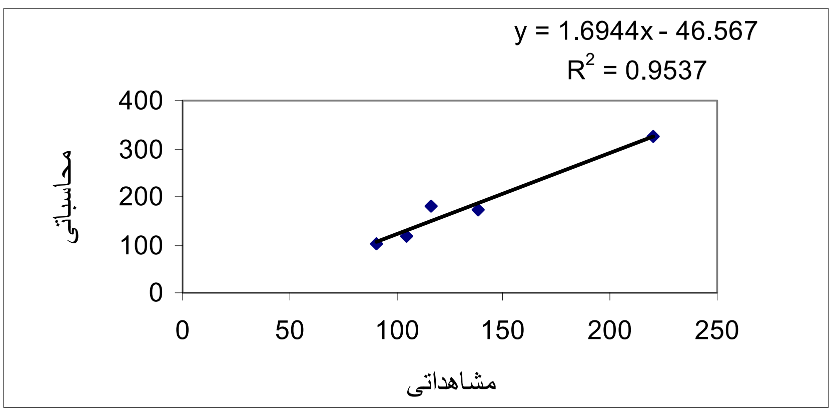
نتايج بدست آمده از كاليبراسيون نشان مي‌دهد كه مدل در بخش‌هايي از طول دوره آماري ياد شده نتايج قابل قبولي را ارائه داده و در برخي دوره‌ها نتايج ضعيف مي‌باشد. همانگونه كه در جدول (٢) نشان داده شده است بر پايه نتايج مي‌توان گفت تفاوت بين مقادير مشاهداتي و محاسبه شده مدل در مقياس‌هاي زماني ماهانه و سالانه قابل قبول اما در مقياس زماني روزانه تفاوت معني‌داري بين مقادير مشاهداتي و محاسبه شده وجود دارد. البته نتايج شبيه‌سازي رواناب سالانه نسبت به رواناب ماهانه دقيق تر مي‌باشد. با توجه به عدم كارائي نسبي مدل در شبيه‌سازي رواناب روزانه، در مرحله بعد عمل ارزيابي مدل در طول سال‌هاي آماري (٧٧-١٣٧٦) تا (٨١-١٣٨٠) در هر دو

حوضه در مقياس‌هاي ماهانه و سالانه صورت گرفت. ميزان خطا باروش‌هاي قبلي مورد محاسبه قرار گرفت که نتايج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. شکل (۵) همبستگي بين مقادير مشاهداتي و برآوردي رواناب در مرحله ارزيابي مدل در مقياس سالانه در حوضه معرف کسيليان در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰) را نشان مي‌دهد.

در هر دو حوزه آبخيز کسيليان و معرف کسيليان ميزان شماره منحني با استفاده از لايه‌هاي اطلاعاتي و سامانه اطلاعات جغرافيايي محاسبه شد. در کاليبراسيون مدل و بهينه کردن مشخصه‌ها، مشاهده شد که در هر دو حوضه مورد بررسي، ميزان شماره منحني بيشتر از ميزان محاسبه شده است.

جدول ۳- نتايج ارزيابي مدل در مقياس ماهانه و سالانه در حوضه‌هاي مورد بررسي در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰)

حوضه	مقياس زماني	Z	R	RMSE	MAE	Nash	انحراف معيار رواناب برآوردي	انحراف معيار رواناب مشاهداتي	ميانگين رواناب برآوردي	ميانگين رواناب مشاهداتي
کسيليان	ماهانه	۲/۷**	۰/۲۵	٦۷/٤	۵۰/۰۷	-۰/۱٦	۳۲/۱	٦۳/۱	٦۳/٦	۸۸/۳
	سالانه	-۰/۱۱ ns	۰/۸۰	۲۱۳/۷	۱۹۰/۷	۰/٤۰	۱۰۲/۷۱	۳۱۲/٦٦	۱۰۷٦/۵۲	۱۰٦۱/٦
معرف کسيليان	ماهانه	-۱/۱۷ ns	۰/٤۲	۱۵	۱۰/۹	-۱/٦۲	۱٦/۲	۹/۳	۱۳/۹	۱۱/۱
	سالانه	-۰/۵۲ ns	۰/۹۸	۵۸/۷	٤٦/۳	-۰/٦	۸۸/٦۹	۵۱/۱۲	۱۸۰/۰۹	۱۳۳/۷۷



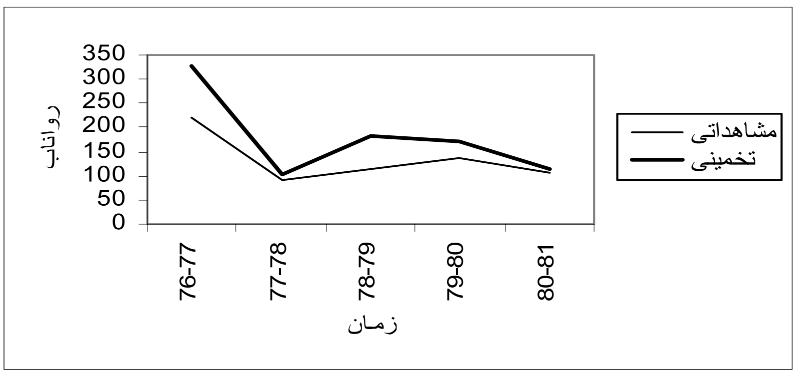
شکل ۵- همبستگي بين مقادير مشاهداتي و برآوردي رواناب در مرحله ارزيابي مدل در مقياس سالانه در حوضه معرف کسيليان در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰)

به منظور شناسائي حساسيت مدل نسبت به مشخصه‌هاي مختلف، آناليزحساسيت نيز انجام شد. بر اين اساس که به ازاي يک ميزان تغيير ثابت در هر مشخصه، تغيير در خروجي مدل مورد بررسي قرارگرفت و براي اولويت بندي مشخصه‌ها و تعيين تأثيرگذارترين مشخصه از معيار ميانگين مطلق خطا استفاده شد. بنابراين ميزان خطاي بين مقادير مشاهداتي و برآوردي رواناب به ازاي ميزان تغيير ثابت در هر مشخصه با استفاده از اين فاکتور مورد بررسي قرار گرفت و مشخصه‌هايي که بيشترين خطا را موجب مي‌شوند معرفي شدند که نتايج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. شکل (۶) و (۷) به عنوان نمونه بيانگر تأثير مشخصه آلبدو بر خروجي مدل است. شکل (۶) نتيجه شبيه‌سازي مدل در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰) را قبل از تغيير مشخصه آلبدو و شکل (۷) نتيجه شبيه‌سازي مدل در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷۶) تا (۸۱-۱۳۸۰) را نشان مي‌دهد که در آن با ثابت بودن ساير مشخصه‌ها، از ميزان مشخصه آلبدو نسبت به نمودار شکل

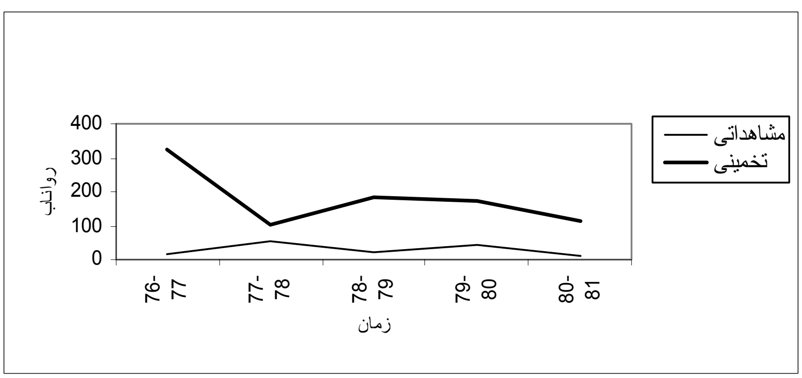
(۶) به ميزان ۰/۰۲۵ كاسته شده است. شكل (۷) حساسيت بالاي مدل را به تغيير در اين مشخصه نشان مي‌دهد.

جدول ۴- جدول اولويت بندي مشخصه‌هاي موثر بر مدل

	مشخصه	ميانگين مطلق خطا
۱	آلبدو	۱۱/٤۱٥۱
۲	چگالي خاک	۱۱/۱٦۱۹
۳	بيشينه عمق ريشه در خاک	۱۱/۰۰۹۷
٤	عامل آب پايه	۱۰/۹۷۱٥
٥	شماره منحني	۱۰/۹٤٤٥
٦	قابليت هدايت آب در خاک	۱۰/۹٤۲٥
۷	ميزان رس خاک	۱۰/۹٤۲۲
۸	ميزان آب برف	۱۰/۹٤۲۰
۹	ميانگين عرض آبراهه	۱۰/۹٤۱٤
۱۰	ميزان اوليه آب خاک	۱۰/۷٤٥٤
۱۱	ظرفيت آب قابل دسترس	۱۰/٤۹٥٤



شكل ٦- تفاوت بين مقادير مشاهداتي و برآوردي رواناب سالانه در حوضه معرف در سال‌هاي آماري ۷۷-۱۳۷٦تا ۸۱-۱۳۸۰
پيش از تغيير مشخصه آلبدو



شكل ۷- تفاوت بين مقادير مشاهداتي و برآوردي رواناب سالانه در حوضه معرف در سال‌هاي آماري (۷۷-۱۳۷٦) تا (۸۱-۱۳۸۰)
پس از تغيير مشخصه آلبدو

بحث

بر اساس نتايج به دست آمده از کاليبراسيون و ارزيابي مدل، مشخص شد که در هر دو حوضه مورد بررسي، مدل داده‌هاي سالانه را بهتر از ماهانه و داده‌هاي ماهانه را بهتر از داده‌هاي روزانه شبيه‌سازي مي‌کند که با نتايج به دست آمده توسط گاندولف وهمکاران (۲۰۰۴) همخواني دارد. سعادتي(۱۳۸۱) با اجراي مدل SWAT در حوضه معرف کسيليان نيز به چنين نتيجه‌اي رسيد. ارزيابي مدل در حوضه کسيليان در مقياس سالانه با مقايسه نتايج عاملهاي لحاظ شده مانند Nash، قابل قبول و مناسب بود. در حالي که در مقياس ماهانه نتايج در مرحله ارزيابي ضعيف تر از مرحله کاليبراسيون بود. از مقايسه نتايج ارزيابي در دو حوضه مشخص مي‌شود که مدل در حوضه‌هاي بزرگ تر شبيه‌سازي قابل قبول تري را نسبت به حوضه‌هاي کوچک تر ارائه مي‌دهد. در کل مدل در دوره‌هايي توانسته شبيه‌سازي خوبي را ارائه دهد و در دوره‌هايي نيز روند شبيه‌سازي خوب نبوده است که‌اين موضوع مي‌تواند نشان دهنده‌اين باشد که مدل به متغييري حساسيت نشان داده که در ساختار مدل وارد نشده است و يا مدل به طول دوره آماري حساس بوده و همان طور که در بخش نتايج ملاحظه شد، در بخش‌هايي ازطول دوره، نتايج مدل رضايت بخش بود. در هنگام کاليبراسيون مدل ديده شد که در نيمرخ‌هاي عميق تر خاك نتايج قابل قبول ترند که‌اين موضوع با نتايج بدست آمده توسط گاندولف و همکاران (۲۰۰۴) همخواني دارد.

در اين بررسي تحليل حساسيت مدل نسبت به مشخصه‌هاي مختلف انجام شد. اين پژوهش نشان مي‌دهد که مدل به مشخصه‌هايي مانند آلبدو، وزن مخصوص لايه‌هاي خاک، عمق لايه‌هاي خاک حساسيت بيشتري نشان مي‌دهد.

معني‌دار بودن يا عدم معني‌داري اختلاف بين ميزان رواناب شبيه‌سازي شده و مشاهداتي با توجه به عامل Z مورد بررسي قرار گرفت. نتايج اين بررسي نشان داد که بين مقادير مشاهداتي و شبيه‌سازي شده در مقياس روزانه، تفاوت معني‌دار است، اما در مقياس ماهانه و سالانه، اختلاف معني‌دار نبود، با استناد به‌اين نتيجه مي‌توان استفاده از مدل SWRRB را براي شبيه‌سازي رواناب در مقياس زماني ماهانه و سالانه در حوضه کسيليان و حوضه‌هاي داراي شرايط همسان توصيه کرد، اما با توجه به‌اين موضوع که مدل SWRRB در هيچيک از حوضه‌هاي کشور مورد آزمون قرار نگرفته است در مورد مقياس زماني روزانه نمي‌توان با قطعيت اظهار نظر کرد. آرنولد و ويليامز (۱۹۸۷) نيز در استفاده از داده‌هاي ماهانه و سالانه براي ارزيابي مدل SWRRB به نتايج قابل قبولي دست يافتند. بينگس و همکاران (۱۹۸۹) و استوارت وهمکاران (۲۰۰۰) نيز در استفاده از مدل SWRRB به نتايج قابل قبولي دست يافتند.

منابع

۱- تلوري، ع. ۱۳۷۵. مدل‌هاي هيدرولوژي به زبان ساده. چاپ اول. انتشارات موسسه بررسيات جنگل ها و مراتع. ۱۱۸ ص.

۲- سعادتي، ح. ۱۳۸۱. بررسي اثرگذاري كاربري اراضي بر روي همانندسازي دبي روزانه با بهره گيري از مدل SWAT (بررسي موردي: حوضه معرف كسيليان). پايان نامه كارشناسي ارشد. گروه آبخيزداري. دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي نور. دانشگاه تربيت مدرس. ۱۲۱ص.

۳- عليزاده، ا. ۱۳۸۰. اصول هيدرولوژي كاربردي. چاپ سيزدهم. انتشارات دانشگاه فردوسي مشهد. ۷۳۵ ص.

۴- گزارش تلفيق مطالعات منابع آب حوزه آبريز رودخانه‌هاي مازندران. ۱۳۷۵. جلد دوم (بررسي‌ها و مشخصات عمومي). انتشارات مركز بررسيات منابع آب.

۵- نام‌درست، ج. ۱۳۸۱. همانندسازي اثر مشخصههاي هيدرولوژيكي بر روي رواناب خروجي در برخي حوزه‌هاي آبخيز ايران. پايان نامه كارشناسي ارشد. گروه آبخيزداري. دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي نور. دانشگاه تربيت مدرس. ۱۴۴ص.

۶- نجفي، م. ۱۳۸۱. سامانه‌هاي هيدرولوژيكي (مدل سازي بارندگي- رواناب). جلد اول. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۷۸ ص.

7-Arnold,J.G. and Williams, J.R., 1987.Validation of SWRRB – Simulator of Waters in Rural Basin. Journal of Water Resources Planning and Management. 113(2):243- 246.

8-Cohen, S.Z., Wauchope, R.D. Klein,A.W., Eadsforth ,C.V. and Graney P., 1995.Offsite Transpor of Pesticides in Water : Mathematical Models of Pestiside Leaching and RunoffApplied chemistry. 67(12): 219-2148.

9-Gandolfi,C., Facchi, A., Maggi, D., Ortuani, B., 2004. Coupling Surface and Ground Water Processes For Water Resources Simulation In Irrigation Alluvial Basins. Proceeding of IEMSS.

10-Hoshmand, A.R. (1998) Statistical Methods for Environmental & Agricultural Sciences, second edition,CRC Press, pp. 439.

11-Maidment, D.R., 1993. Handbook of Hydrology, McGRAW-HILL Inc.

12-Stuart, Z. C., Durborow, T. E. and Barnes, N. L., 2000. Ground water Surface water risk assessments for proposed golf courses. American chemical society, Washington D.C., Acs symposium Series 522, Pesticides in urban Environments, chapter19: 214-227.

13-Valentine, K., Hattermann, F. and Wechsung, F.,2005. Development of the ecohydrological model SWIM for regional impact studies and vulnerability assessment Hydrology Process. 19: 763-783.

14-Wilcox, B. P., Brakensiek,D. L. and Wight, J. R., 1990. Predicting runoff from rangeland catchments: A comparison of two models. Water Resource. Res., 26: 2401-2410.

15-Williams, J. R., Nicks, M. A. D., ASCE, M. and Arnold, J. G., 1985. Simulator for Water Resources in Rural Basin. Journal of Hydraulic Engineering. 111 (6).

Calibration and evaluation of SWRRB hydrological model for runoff simulation (Case study: Kasilian watershed)

M. Amiri[*1], M. R. Ghanbarpour[2], M. Kh. Ziatabar Ahmadi[3] and M. Mohseni Saravi[4]
[1] MSc. Graduate, Faculty of Natural Resources, Mazandaran University, I.R.Iran
[2] Assistant prof, Faculty of Natural Resources, Mazandaran University, I.R.Iran
[3] Professor, Faculty of Agriculture, Mazandaran University, I.R.Iran
[4] Associate prof, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R.Iran
(Received: 15 August 2007, Accepted: 09 November 2008)

Abstract
Most of the hydrological systems are very complicated and it is not possible to understand them completely. Therefore, simplification is necessary to understand or control of a part of the system behavior such as water balance relationships. Hydrological models are simple structure of complicated systems in hydrological cycle in the nature. The first goal of a hydrological model is to predict complicated system function and evaluate the impact of any kind of changes on system behavior. This will help us to better understand processes of the system. In this research SWRRB hydrological model was used to simulate water balance relationship in Kasilian watershed located in Mazandaran province. SWRRB is a continuous hydrological model. This model was calibrated and evaluated in Kasilian watershed. The simulation error in calibration and evaluation steps was estimated using MAE, RMSE and NASH criteria. Significance and insignificance of difference between observed and estimated runoff values was evaluated using Z factor. Model sensitivity analysis with respect to the different variables was investigated. The result of this research showed that the model can simulate annual runoff more accurate than monthly runoff. On the other hand, in comparison between monthly and daily runoff, it can be seen that simulation of monthly runoff is more reliable than daily runoff. In this research, it has been shown that the model is sensitive to length of the data.

Keywords: Continuous hydrologic modeling, SWRRB, Water balance, Runoff, Kasilian

* Corresponding author: Tel: +98 711 8258750 , Fax: +98 261 2249313 E-mail: m_amiri12907@yahoo.com