تكميل، اصلاح و ارزيابي مدل رايانه‌اي ISDI در تعدادي از حوزه‌هاي آبخيز ايران[۱]

فرود شريفي[۲] جواد نام درست[۳] سيد علي ايوب زاده[٤] جعفر وكيل پور[٥]

چكيده

روش‌هاي متعددي جهت شبيه‌سازي هيدرولوژيكي پاسخ حوزه و نيز بررسي رواناب در حوزه‌هاي آبخيز وجود دارد. يكي از اين روش‌ها استفاده از مدل‌هاي رايانه‌اي است. مدل‌هاي مذكور اين امكان را مي‌دهند تا با شبيه‌سازي مولفه‌هاي مختلف بيلان آبي و يا شناخت فرايند تبديل بارش به رواناب، مولفه‌هاي مختلف بيلان آبي و رواناب در حوزه‌هايي كه جريان رودخانه اندازه‌گيري نشده است و يا داراي آمار كوتاه مدت است با حداقل زمان ممكن و كمترين هزينه ارزيابي شود. دراغلب اوقات اندازه‌گيري تمام كميت‌هاي مورد نياز مدل‌ها در حوزه امكان پذيرناست، لذا انتخاب مدلي كه بتواند در عين سادگي ساختار و با استفاده از حداقل پارامترهاي تعيين كننده، فرايندهاي موجود را به طور دقيق پيش‌بيني كند امري ضروري به نظر مي‌رسد.

در اين تحقيق، مدل **SDI** (كوكزيرا، ۱۹۸۸) پس از تكميل و اصلاح و مطابقت با شرايط ايران و اضافه نمودن تبخير روزانه به جاي دماي روزانه و اضافه نمودن سيستم خودكار بهينه‌سازي پارامترها به‌نام مدل**ISDI** ناميده شد و سپس با استفاده از داده‌هاي روزانه بارش، دبي و تبخير و تعرق در هشت حوزه مورد ارزيابي قرار گرفت. در ارزيابي مدل**ISDI** اطلاعات موجود در حوزه‌هاي معرف ليقوان، كسيليان، امامه، كن و چهارحوزه در كارون شمالي به‌نامهاي بازفت، فارسان، كوهرنگ و زرين‌درخت به‌كارگرفته شده است. نتيجه اين تحقيق مبين اين موضوع است كه مدل **ISDI** نيز در شرايط ايران از قابليت مناسبي در شبيه‌سازي فرايندهاي هيدرولوژيكي برخوردار است. مقايسه بين نتايج مشاهده‌اي و برآوردي، به ترتيب ضرايب همبستگي (R^2) درحوزه‌هاي ليقوان(۰/٦٣) ، كسيليان (۰/٤٧) ، امامه (۰/۳۹) ، كن (۰/۵۰) ، بازفت (۰/۳٤) ، فارسان (۰/۵۰) ، زرين درخت (۰/۷۳) و كوهرنگ (۰/۵۰) به‌دست داد. نتايج اين پژوهش نشان داد كه مدل نتايج خوبي در شش حوزه از هشت حوزه مذكور داشته است و مي‌تواند در شرايط مشابه معرفي و به‌كار گرفته شود.

واژه‌هاي كليدي: *مدل **ISDI**، حوزه آبخيز، شبيه‌سازي، پارامترهاي هيدرولوژيكي، رواناب، ايران.*

۱- تاريخ دريافت: ۸۱/۱۲/۴، تاريخ پذيرش: ۸۳/۴/۲۹

۲-- استاديار پژوهش حفاظت خاك و آبخيزداري، كشور(**E-mail: fs1338@yahoo.com**)

۳- فارغ التحصيل كارشناسي ارشد آبخيزداري دانشگاه تربيت مدرس

۴- استاديار دانشكده كشاورزي، دانشگاه تربيت مدرس

۵- مربي گروه مهندسي عمران دانشگاه امام حسين (ع)

مقدمه

آب ناشي از بارندگي يكي از منابع عمده آبي است كه براي رفع نياز مصارف كشاورزي، صنعتي و آشاميدني حايز اهميت است. بخشي از بارندگي در مناطق مختلف تحت تأثير عواملي همچون، تشكيلات و ساختار زمين‌شناسي، پوشش‌گياهي، كاربري اراضي، شيب‌زمين و شكل حوزه آبخيز به رواناب سطحي تبديل مي‌شود و درصد عمده به‌صورت تبخير و نفوذ و يا اشكال ديگر به‌طور موقت و يا دايم از دسترس خارج مي‌شود. لذا برآورد حجم رواناب حاصل از بارندگي و ساير مولفه‌هاي بيلان آبي، و به‌كارگيري روش‌هاي بهره‌برداري از آنها روزبه‌روز اهميت بيشتري پيدا مي‌كند. همچنين در بسياري از حوزه‌هاي آبخيز كوچک كه نيازمند برنامه‌ريزي منابع آب هستند، ايستگاه‌هاي هيدرومتري براي اندازه‌گيري وجود ندارد، يا اينكه آمار ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري ناقص است و به نظر نمي‌رسد كه در آينده نزديك كليه مناطق داراي ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري شوند. بنابراين روش يا روش‌هايي كه به كمك آنها بتوان مقدار رواناب و مولفه‌هاي بيلان آبي حاصل از بارندگي در حوزه‌هاي فاقد آمار يا داراي آمارناقص را تخمين زد، از اهميت قابل توجهي برخودار مي‌گردند.

يكي از روش‌هاي مورد قبول در دنيا استفاده از مدل‌هاي هيدرولوژيك است. مدل‌ها اين امكان را مي‌دهند تا با شبيه‌سازي فرآيندها، مقدار و نحوه جريان آب حاصل از بارندگي در حوزه‌هاي فاقد آمار يا داراي آمار ناقص با كمترين هزينه و حداقل زمان ارزيابي شود. چون در حوزه‌هاي آبخيز امكان اندازه‌گيري تمام كميت‌هاي مورد نياز مدل‌ها ميسر نيست، لذا انتخاب مدلي كه بتواند در عين سادگي ساختار و با استفاده از حداقل عوامل، فرايندهاي مورد نياز را به طور دقيق پيش‌بيني كند امري ضروري به نظر مي‌رسد. بنابراين مدل LSDI[1] به دليل سادگي ساختار و استفاده از حداقل پارامترها براي اين مطالعه تكميل و پس از تطبيق با شرايط مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌هاي SDI اوليه از نوع مدل‌هاي مفهومي بوده و بر مبناي محاسبه رطوبت روزانه طراحي و مورد استفاده قرار گرفته است. مدل اصلي SDI توسط مونت[2] (۱۹۷۲) ارايه شدكه بر مبناي مدل شاخص خشكي كيچ و بيرام در سال ۱۹٦۸ بوده است.

لانگفورد و همكاران[3] (۱۹۷۸) اين مدل را براي برآورد رواناب حوزه‌هاي آبخيزدر استراليا اصلاح كردند. كوكزيرا[4] (۱۹۸۳) مدل مذكور را در مطالعات بهينه‌سازي پارامترها به كار گرفت. سپس اين محقق در سال ۱۹۹۸ مدل SDI را اصلاح نمود و براي برآورد رواناب به كارگرفت. مدل اصلاح شده SDI كوكزيرا ۱۳ پارامتر دارد و نياز به داده‌هاي بارش روزانه, دماي روزانه و دبي روزانه به عنوان ورودي دارد.

در اين تحقيق، مدل SDI (كوكزيرا، ۱۹۸۸) ابتدا تكميل و اصلاح گرديد و پس از مطابقت با شرايط ايران و اضافه نمودن پارامترتبخير روزانه به جاي دماي روزانه و انجام اصلاحات فرايندي و اضافه نمودن سيستم خودكار بهينه‌سازي پارامترها (روش‌هاي جستجوي الگويي مستقيم) برنامه نويسي وبه‌نام مدلISDI ناميده شد. مدل ISDI يك مدل مفهومي پيوسته شبيه‌سازي در فرآيندهاي عمل‌كننده در حوزه آبخيز است كه به صورت روزانه عمل مي‌كند. اين مدل در پيش‌بيني رواناب سطحي، پيش بيني رفتار حوزه‌هاي تحت توسعه و بسط آمار (داده‌ها)، در جاهايي‌كه پيش‌بيني و طراحي به آمار دراز مدت نيازدارد به‌كار مي‌رود. اين مدل را مي‌توان در حوزه‌هاي معرف يا حوزه‌هاي داراي ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري كاليبره و ارزيابي و نهايتا فرايندهاي هيدرولوژيک و يا رواناب روزانه يا ماهانه را شبيه‌سازي كرد و در حوزه‌هاي كاليبره شده براي پيش بيني رفتار در شرايط تغييرات فرضي آينده در حالات مختلف و يا حوزه‌هاي مشابه بدون آمار به كار برد.

مدل داده‌هاي بارش، دبي و تبخير از تشتك (جملگي روزانه و بر حسب ميليمتر) و برخي از ويژگي‌هاي فيزيكي

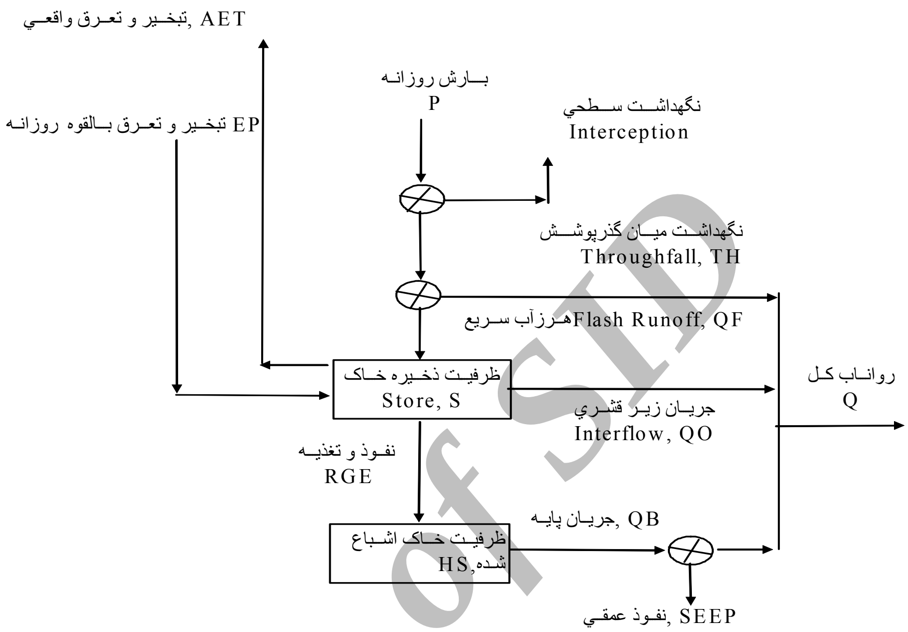
[1]-Soil Dryness Index

[2]-Mount

[3]-Lang ford *et al*

[4]-Kuczera

حوزه‌ها را به‌عنوان ورودي دريافت مي‌كند. خروجي مدل شامل رواناب (سالانه، ماهانه و روزانه) و چگونگي حركت آن و يا تفكيك جزيي‌تر پاسخ حوزه به مولفه‌هاي مختلف بوده و مدل به‌كمك پارامترهايي آنها را نمايندگي و شبيه‌سازي مي‌كند. نمودار شماتيك ساختار مدل پس از اصلاح در شكل (۱) ارايه شده است.



شكل ۱- نمودار شماتيك ساختار مدل ISDI

پارامترهاي مدل

مدل ISDI، داراي ۱۳ پارامتر بوده كه به صورت مختصر معرفي مي‌شوند. پارامترهاي نشان‌دهنده اثر شرايط رطوبت پيشين خاك و توزيع ظرفيت ذخيره خاك اشباع شده (به‌ترتيبWET، WETSوWETH) هستند و در حقيقت رواناب سطحي در مدل را كنترل مي‌كنند. تركيب تلفات تبخير و تعرق[۱] (ET) در مدل به‌وسيله ۳ پارامترBEP، CEP وSMAX كنترل مي‌شود. پارامترهايCEP و SMAX در ارتباط با تبخير و تعرق ذخيره رطوبت خاك هستند درحالي‌كه پارامترBEP در ارتباط با تبخير و تعرق ثبت شده از تشتك (EP) [۲]است.

جريان تأخيري رواناب به‌وسيله پارامتر KI كنترل مي‌شود. مقدار تخليه رطوبت از ذخيره اشباعي خاك به‌وسيله پارامتر KG انجام مي‌گيرد. مقدار زياد پارامتر KG نشان‌دهنده تخليه رطوبت با نسبتي بيشتر از مقدار تخليه رطوبت ذخيره اشباعي خاك است. آب‌پايه در اين مدل توسط پارامتر DEEP كنترل مي‌شود. مقدار كم اين پارامتر بيانگر اختلاف زياد بين مقادير بارش و رواناب حاصل از آنها است. حوزه‌هايي كه اختلاف زيادي بين مقادير بارش و رواناب‌شان وجود دارد، مقاديركمتري از پارامترDEEP را دارند. دو پارامتر ATHRU و BTHRU مربوط به مقدار بارش عبور يافته از تاج پوشش به زمين مي‌باشند. در نهايت ارتفاع اوليه رطوبت خاك توسط پارامترH تعريف شده است. معادله كلي به‌كار گرفته شده در مدل به‌صورت رابطه ۱ بيان گرديده است.

$$SDI_t = SDI_{t-1} - TH_t + RGE_t + QO_t + QF_t + ET_t \qquad (1)$$

---

[۱]- Evapotranspiration

[۲]-Evaporation

ظرفیت ذخیره خاك[1]

ظرفیت ذخیره خاك به مفهوم كمبود ذخیره رطوبتي خاك در ناحیه توسعه ریشه است. عمق آب در این ذخیره توسط شاخص خشكي خاك S(t) یا SDI_t بیان ميشود. بهطوريكه مقدار تخلیه آب در كمتر از حد ظرفیت مزرعه در انتهاي روز شبیهسازي درنظر گرفته ميشود. .وقتیكه SDI_t منفي است، خاك بالاي ظرفیت مزرعه است. در زماني كه SDI_t مثبت باشد، خاك زیر ظرفیت مزرعه است. با توجه به اینكه جریان داخلي آب درون ذخیره خاك، شاخص خشكي خاك را كاهش ميدهد، براي روز t شبیهسازي بهكمک معادله (۱) صورت ميگیرد.

بهطوريكه :

ET (t) : تبخیر و تعرق واقعي در طول روز t، RGE (t) : عمق نظیرتغذیه QO_t یا IFL (t): عمق نظیرجریان تأخیري، TH (t): ریزش ناشي از بارش عبور یافته از تاج پوشش وQF_t یا FLASH (t): عمق نظیر رواناب سیلابي سریع

ذخیره اشباع خاك[2]

ذخیره اشباع خاك شامل قابلیت واكنش تأخیري حركت جریان تغذیهاي (RGE) به جریان آب است. هیچ فرض روشني دربارۀ طبیعت فیزیكي این ذخیره ایجاد نشده است. بهعنوان مثال، ممكن است به مفهوم سفره آزادي باشد كه جریان پایه را تا سیستم زهكشي تغذیه ميكند یا بهعنوان جدول آب نشستي در افق A خاك باشد.

HS_t عمق آب در ذخیره اشباع خاك در انتهاي روز t، است. تداوم معادله براي روز t بهصورت رابطه (۲) میباشد .

$$HS_t = HS_{t-1} + RGE_t - QB_t \quad (۲)$$

كه در آن:

HS_t : ذخیره اشباع خاك در طول روز t ، QB_t : عمق نظیرآب پایه، است.

بارش مستقیم عبور یافته از تاج پوشش[3]

بارش مستقیم عبور یافته از تاج پوشش و یا بارش میان گذردر طول روز t، بهصورت رابطه ۳ تعریف ميشود.

$$TH_t = \min (P_t, \max (0, BTHRU*P_t - ATHRU)) \quad (۳)$$

كه در آن :

TH_tبارش مستقیم عبور یافته از تاج پوشش در طول روز t ، P_t عمق بارش براي روز t ،BTHRU و ATHRU پارامترهاي مدل مربوط به مقدار بارش عبور یافته از تاج پوشش به زمین ميباشند كه ميتوانند بهینه شوند ویا از اندازهگیریهاي میداني بهدست آیند.

رواناب سیلابي سریع[4]

رواناب سیلابي سریع و یا QF_t ، رواناب سطحي است كه مستقیماً و بدون تداخل باجریان زیرقشري به شبكه زهكشي وارد ميشود. رواناب سیلابي سریع در سال ۱۹۸۸ توسط كوكزیرا به صورت درصدي از ریزش روزانه به صورت رابطه (٤) تعریف شد.

$$QF_t = TH_t * WETFRAC \quad (٤)$$

كه در آن :

$$WETFRAC=\max(0,\min(1,WET-WETS*SDI_{t-1}+WETH*H_{t-1})) \quad (٥)$$

و در آن :

WETH ،WETS ،WET = پارامترهاي مدل هستند كه نشاندهنده تأثیرشرایط پیشین بر روي مقدار WERFRAC ميباشند.

WETFRAC = بخشي از حوزه است كه بهواسطه ریزش ناشي از بارش عبور یافته از تاج پوشش در طول روز t، وارد شبكه زهكشي ميشود.

تبخیر و تعرق

انواع سادهتر مدل ISDI از یك جدول جستجوگر براي بهدست آوردن تبخیر و تعرق از SDI روزانه و دما استفاده ميكند. تبخیر و تعرق از سطح خاك در طول روز به صورت زیر تعریف ميشود:

$$ET_t = MAXET * EET \quad (٦)$$

MAXET = تبخیر و تعرق پتانسیل كه به صورت زیر تعریف ميشود:

$$MAXET = AEP * PE_t \quad (٧)$$

كه در آن :

AEP: پارامتر مدل كه با تبخیر از تشتك یا تبخیر و تعرق پتانسیل مرتبط است، EET : فاكتور كاهش كه در فصول مختلف بین ۱-۰

[1]-Soil Store

[2]- Saturated soil store

[3]- Throughfall

[4]-Flash Runoff

متغير است و در حالت كلي برابر ۰/۶ بوده و به صورت زير تعريف مي‌شود.

$$EET = ESW * EVPD \quad (۸)$$

كه در آن:

ESW : مقدار تنش آب خاك است كه به صورت زير تعريف مي‌شود:

$$\text{if } SDI_{t-1}>0: ESW=\max(0,\min(1,(1-CEP*(\frac{SDI_{t-1}}{SMAX})^{2})) \quad (۹)$$

بنابر اين: ESW= ۱

EVPD = عبارتست از فشار بخار كه به صورت زير تعريف مي‌شود:

$$EVPD = \max(0, \min(1, 1-BEP*EP_t)) \quad (۱۰)$$

كه در آن : BEP، CEP، SMAX: پارامترهاي مدل هستند.

رواناب تأخيري [۱]

رواناب تأخيري به مفهوم جرياني است كه از درون ذخيره خاك مي‌گذرد و به شبكه زهكشي مي‌پيوندد. اين جريان به عنوان ذخيره موقتي خاك مدلسازي مي‌شود و به‌واسطه فرآيند نفوذ و جريان زير قشري قبل از رسيدن به كانال تأخير مي‌يابد رواناب تأخيري به صورت زير تعريف مي‌شود.

$$\text{if } SDI_{t-1} < SMAX: QO_t = KI * (SMAX - SDI_{t-1}) \quad (۱۱)$$

اگر به عبارت ديگر QOt=۰,۰

كه در آن :

SMAX : پارامتر مدل كه تعيين‌كننده مقدار آستانه رواناب تأخيري است، KI = پارامتر واكنش است.

تغذيه [۲]

تغذيه فرض مي‌شود كه از ذخيره خاك به ذخيره اشباع خاك به طور سريعي اتفاق مي‌افتد (زمانيكه ظرفيت مزرعه زياد مي‌شود) و به صورت زير تعريف مي‌شود:.

$$\text{if } SDI_{t-1} < 0: RGE_t = -SDI_{t-1} \quad (۱۲)$$

در غير اين صورت $RGE_t = 0$

[۱]-Interflow

[۲]- Recharge

آب پايه [۳]

آب پايه در طول روز به عنوان دبي از يك مخزن با پارامتر عكس‌العمل KG فرض مي‌شود و به صورت زير تعريف مي‌شود.

$$QB_t=HS_{t-1}*(1-\exp(-KG))+RGE_{t-1}*\left[1-\frac{1-\exp(-KG)}{KG}\right] \quad (۱۳)$$

KG = پارامتر مدل است

هدر رفت ناشي از تراوش [٤]

هدر رفت ناشي از تراوش در طول روزt (SEEP) به عنوان مقدار تلفات آب‌پايه در نفوذ عمقي تا آب زيرزميني است كه به صورت زير تعريف مي‌شود.

$$SEEP_t = (1 - DEEP) * QB_t \quad (١٤)$$

كه در آن:

DEEP : پارامتر مدل است، QB_t: آب‌پايه است

جريان كل [٥]

جريان كل در طول روز عبارتست از مجموع همه جريان‌ها بدون هدررفت تراوش كه به صورت زير(معادله ۱۵) تعريف مي‌شود.

$$Q_t = QF_t + QO_t + QB_t - SEEP_t \quad (۱۵)$$

ذخيره‌هاي خاك در پايان هر روز به صورت زير محاسبه مي‌شود:

$$SDI_t = SDI_{t-1} - TH_t + RGE_t + QO_t + QF_t + ET_t \quad (١٦)$$

$$HS_t = HS_{t-1} + RGE_t - QB_t \quad (۱۷)$$

شاخص خشكي خاك (SDI) از طريق مقدار ريزش (TH) كاهش مي‌يابد و از طريق تغذيه (RGE)، رواناب تأخيري، رواناب سيلابي و تبخير و تعرق واقعي روزانه افزايش مي‌يابد.

انتخاب حوزه‌هاي مورد مطالعه

براي انجام اين تحقيق نياز به حوزه‌هاي مناسبي است كه داراي اطلاعات موردنظر از قبيل بارش اندازه‌گيري شده، دبي اندازه‌گيري شده و تبخير و تعرق اندازه‌گيري شده باشند. به اين منظور حوزه‌هايي از آبخيز كارون شمالي

[۳]-Baseflow

[٤]- Seepage Loss

[٥]- Stream Flow

شمال بازفت، کوهرنگ، فارسان و زرين درخت و چهارحوزه از حوزه‌هاي معرف کشور شامل کسيليان، ليقوان، امامه و کن انتخاب شد.

حوزه بازفت

بازفت يکي از پرآبترين شاخه‌هاي الحاقي به رودخانه کارون محسوب مي‌شود. اين رودخانه از ارتفاعات زردکوه و کينو سرچشمه گرفته و در بالادست توسط سرشاخه‌هاي متعددي از قبيل آب‌شنگي، شرمك تشنوي و آب‌ترکي تغذيه مي‌شود اين حوزه با مساحت ۲۱۸۳ کيلومتر مربع و بين عرض‌هاي جغرافيايي ۳۷َ، ۳۱ تا ۴۰َ، ۳۲° شمالي و طول‌هاي جغرافيايي ۳۴َ، ۴۹ تا ۲۹َ، ۵۰ شرقي واقع شده است. مهم‌ترين آبراهه اين حوزه رودخانه بازفت است کمترين ارتفاع اين حوزه ۸۳۰ متر در محل خروجي حوزه و بيشترين آن ۴۴۲۰ متر از سطح دريا است.

حوزه کوهرنگ

اين حوزه با مساحت ۶۲۴/۶ کيلومترمربع از زيرحوزه‌هاي مهم کارون است. اين حوزه در عرض جغرافيايي ۱۳َ، ۳۲° تا ۳۶َ، ۳۲ و طول جغرافيايي ۵۵َ، ۴۹ تا ۲۵َ، ۵۰ واقع شده است. اين حوزه از ناحيه شمال و شمال‌غربي به حوزه زاينده‌رود و از ناحيه شمال و شمال‌شرق به حوزه فارسان و بخش انتهايي حوزه بهشت‌آباد و از قسمت جنوب و جنوب شرق به حوزه‌هاي بازفت و کارون مياني محدود مي‌گردد. بلندترين ارتفاع اين حوزه ۳۷۸۸ متر و کمترين ارتفاع آن ۲۱۲۰ متر و در انتهاي خروجي حوزه است.

حوزه فارسان

حوزه آبخيز فارسان در غرب و جنوب غرب حوزه آبخيز کوهرنگ واقع شده است. اين حوزه ما بين طول‌هاي ۳۲َ، ۵۰ تا ۴۶َ، ۵۰ و عرض‌هاي ۰۵َ، ۳۲ تا ۳۰َ، ۳۲ قرار دارد. اين حوزه يکي از سرشاخه‌هاي مهم رودخانه بهشت‌آباد است. بلندترين نقطه مربوط به ارتفاعات سالدران (۳۶۲۱ متر) و کم‌ترين ارتفاع (۱۹۲۰) در محل خروجي رودخانه جونقان در تنگ درکش ورکش است. مساحت اين حوزه ۹۲۸/۷ کيلومترمربع است. در اين حوزه مهم‌ترين رودخانه، جونقان است که از ارتفاعات سالدارون سرچشمه مي‌گيرد.

حوزه زرين‌درخت

حوزه آبخيز زرين‌درخت با مساحت ۴۲۲ کيلومترمربع در جنوب حوزه آبخيز شمالي رودخانه کارون و در طول جغرافيايي ۵۱َ، ۵۰ تا ۱۳َ، ۵۱ و عرض جغرافيايي ۲۵َ، ۳۱ تا ۳۷َ، ۳۱ واقع شده است. رودخانه اصلي اين حوزه رودخانه زرين‌درخت است. حداکثر ارتفاع اين حوزه ۳۰۴۵ متر و حداقل ارتفاع در خروجي حوزه و برابر ۱۹۲۰ متر است

حوزه معرف‌کن

حوزه آبخيز کن در استان تهران، بخش‌کن قرار دارد. اين حوزه از شمال به حوزه شهرستانك سد اميرکبير، از جنوب به حوزه واريش، از مغرب به حوزه‌هاي سيجان و واريش و از شرق به حوزه فرحزاد منتهي مي‌گردد. اين حوزه در فاصله بين طول‌هاي جغرافيايي ۱۰َ، ۵۱ تا ۳۲َ، ۵۱ شرقي و عرض‌هاي ۴۶َ، ۳۵ تا ۵۸َ، ۳۵° شمالي قرار دارد مهم‌ترين رودخانه اين حوزه رودخانه سولقان است که از شمال حوزه و جنوب‌غربي کوه‌هاي توچال سرچشمه مي‌گيرد. مساحت حوزه کن ۱۸۹۰۲هکتار است و بلندترين ارتفاع آن ۳۹۰۰ و کمترين آن ۲۴۰۰ است.

حوزه معرف کسيليان

اين حوزه معرف مناطق وسيعي از قسمت‌هاي کوهستاني و جنگلي شمالي البرز محسوب مي‌گردد. اين حوزه بين عرض‌هاي جغرافيايي شمالي ۵َ، ۳۲ تا ۸َ، ۳۶ و طول‌هاي جغرافيايي شرقي ۸َ، ۵۳ تا ۱۵َ، ۵۳ واقع شده است. اين حوزه از شمال به کوه ستيك و چهارتب از جنوب به کوه‌هاي ميروزاد از غرب به کوه‌هاي کتوجا و از شرق به کوه‌هاي يال‌دره محدود مي‌شود. وسعت اين حوزه ۶۶/۷۸ کيلومترمربع بوده و بلندترين ارتفاع آن ۲۷۰۰ و کمترين ارتفاع آن ۱۱۰۰ است زهکشي آن رودخانه معرف کسيليان است که از سرشاخه‌هاي اصلي رودخانه کسيليان است.

حوزه معرف امامه

اين حوزه از زيرحوزه‌هاي رودخانه جاجرود در بالادست سد لتيان است. حوزه معرف امامه در ارتفاعات شمالي حوزه

جاجرود با مساحت ۳۷/۲ كيلومترمربع بين عرض‌هاي جغرافيايي َ ۵۱، ° ۳۵ تاَ ۷۵، ۳۵ و طول‌هاي جغرافيايي َ ۳۰، ۳۲ تاَ ۳۰، ۳۱ شرقي واقع گرديده است. رودخانه امامه در جهت شمال‌شرقي به جنوب‌غربي در اين حوزه جريان دارد. بلندترين ارتفاع اين حوزه ۱۸۰۰ متر و كمترين‌آن ۳۸۶۸ متراست

حوزه معرف ليقوان

حوزه آبخيز اين رودخانه يكي از زيرحوزه‌هاي آجي‌چاي است كه در دامنه شمالي سهند واقع شده است. رودخانه ليقوان به عنوان زهكش اصلي اين حوزه از سهند سرچشمه گرفته و در امتداد شمال از ليقوان، بيرق هروي و با سمنج گذشته و تا شمال غرب تبريز ادامه يافته به آجي‌چاي مي‌پيوندد. حوزه آبخيز رودخانه ليقوان با مساحت ۷٦ كيلومترمربع تا ايستگاه هيدرومتري ليقوان در شيب‌هاي شمالي كوه سهند بين طول‌هاي شرقيَ ۳۰، ۲۰ تاَ ۲۰، ٤٦ و عرض‌هاي شماليَ ۵۵، ٤۲ تاَ ٤۲، ۳۷ قرار گرفته است. بلندترين ارتفاع حوزه ليقوان ۳٦۲۰ متر و حداقل ارتفاع آن در بستر رودخانه ليقوان در مجاورت روستاي ليقوان معادل ۲۲۰۰ متر است

واسنجي مدل [1]

عمليات تطبيق پارامترها را براي هماهنگي و سازگاري مدل در توليد داده‌هايي همانند پاسخ حوزه يا نمونه‌اصلي سيستم، واسنجي مدل يا كاليبره‌كردن آن مي‌گويند. به‌عبارت ديگر هدف از كاليبراسيون، حداقل‌كردن اختلاف بين خروجي پيش‌بيني شده و مشاهده شده است و اين كار ممكن است به‌وسيله اندازه‌گيري فيزيكي پارامترها در صورت امكان و يا به‌وسيله روش‌هاي بهينه‌سازي انجام شود. معمولاً رابطه خاصي بين شكل عمومي مدل و سيستم فيزيكي مورد مطالعه از طريق پارامترهاي مدل وجود دارد كه اين رابطه دقت مقادير پارامترها را براي خوبي برازش بين خروجي مدل و خروجي ثبت شده تعيين مي‌كند. براي آغاز كاليبراسيون لازم است يك تخمين اوليه از مقادير پارامترها داشته‌باشيم. مقادير اوليه براي شرايط اوليه مي‌تواند به صورت مقادير عددي براساس پديده‌هاي قابل مشاهده تعيين شود. براي مثال، درجايي‌كه يك دوره آماري ثبت شده بارش، رواناب و تبخير وجود دارد روش معمول، پيداكردن مقدار مناسب پارامترها، عمل‌كردن مدل با تخمين مقادير آن پارامترها است. بعد از مقايسه رواناب برآورده شده و مشاهده شده و ايجاد تغييرات در مقادير پارامترها، مقاديري كه بهترين همخواني بين رواناب مشاهده‌اي و محاسبه‌اي را مي‌دهند به‌عنوان مقادير بهينه پارامترها تعريف مي‌شوند كه در اين تحقيق، از مقادير اوليه تخميني استفاده شده است (جدول ۱).

بهينه‌كردن [2] پارامترها و انتخاب تابع هدف [3]

اندازه‌گيري خوبي برازش با تابع هدف انتخابي سنجيده مي‌شود. مقادير بهينه پارامترها مقاديري هستند كه مقدار حداقل تابع هدف را مي‌دهند. براي يك حوزه داده شده، مقدار تابع هدف به مقادير تعيين شده پارامترها بستگي دارد. اگر n پارامتر وجود داشته باشد كه در يك فضاي n بعدي نمايش داده شود، با اضافه‌كردن بعد تابع هدف به يك فضاي n+1 بعدي دست مي‌يابيم كه اين بعد اضافي مربوط به تابع هدف است. در اين فضاي n+1 بعدي، شكل تابع هدف كه براساس n پارامتر رسم شده است سطح عكس‌العمل ناميده مي‌شود. پايين‌ترين نقطه در اين سطح كه تابع هدف به ازاي پارامترهاي مربوط حداقل مي‌شود به نام نقطه بهينه پارامترها است. تابع هدف مورد استفاده در اين تحقيق تابع مجموع مربعات خطا در پيش بيني بر اساس مقايسه مقادير ماهانه (SSQ)در نظر گرفته شد گرچه مدل مي‌تواند تابع هدف‌هاي مختلفي نظير قدر مطلق و يا مقادير خطاي نسبي را براساس مقايسه پيش‌بيني روزانه و سالانه نيز در نظر بگيرد.

روش‌هاي بهينه‌سازي

اين روش‌ها حداقل يا حداكثر يك تابع هدف براي تعيين مقادير بهينه پارامترها را به‌كمك روش‌هاي رياضي و يا احتمالاتي مختلف در نظر مي‌گيرند. در اغلب موارد حداقل

[1]- Calibration

[2]-Optimisation

[3]- Objective Function

مربعات اختلافات (SSQ) به‌عنوان تابع هدف انتخاب مي‌گردد زيرا در تكرارهاي مختلف نتيجه پايدارتر و همگرايي بهتري در الگوي جستجو را نشان مي‌دهد. گرچه در بهينه كردن پارامتر ها نبايد به یک نوع تابع هدف اكتفا نمود و حداقل از سه روش مختلف استفاده نمود و اگر نتيجه مشابهي حاصل شد در آنصورت مي‌توان نتيجه شبيه‌سازي را پذيرفت. آناليز رگرسيوني، نيز يك روش ساده براي مقايسه نتايج و بهينه‌سازي است بنابراين جواب‌هاي آن ضمن سادگي روش قابليت اطمينان مناسبي دارد. در روش بهينه سازي اگوي جستجو كاربر به جاي پيداكردن مشتقات به صورت آناليزي، با شناخت حساسيت پارامترهاي مدل، تغييرات در پارامترها را بر مبناي مقايسه تابع هدف و متغيرهاي مقادير رواناب مشاهده‌اي و شبيه‌سازي شده دنبال كرده و با شروع بهينه‌سازي از مقادير اوليه متفاوت اگر به جواب همگرا و مشابه در مقادير پارامترها و يا نقطه حد اقل خطا رسيد شبيه‌سازي را قبول مي‌كند.

روش‌هاي جستجوي مستقيم [۱]

روش‌هاي جستجوي مستقيم از نقطه شروع بر روي سطح عكس‌العمل تابع هدف ادامه مي‌يابند و سپس تابع هدف را به عنوان يك سري نقاط مجزا و پي‌درپي ارزيابي مي‌كنند و مقادير رسيدن به نقطه بهينه را واسنجي مي‌كنند. گام‌هاي حركتي اجبارا بر روي سطح چند بعدي تابع هدف به سوي كاهش پيش خواهند رفت و اگر در چندين حركت در جهات مختلف كاهش خطا وجود نداشت اين امر دلالت بر رسيدن به حداقل خطا و يا محبوس ماندن در نقطه مينيمم مجزي تلقي شده و جستجو خاتمه خواهد يافت.

روش‌هاي جستجوي مستقيم براي توابع يك متغير، براساس ضروري‌ترين نوع شكل بهينه‌سازي عمل مي‌كنند. مثال‌هايي از انواع روش‌هاي جستجوي مستقيم براي توابع بيش از يك متغير، روش الگوي جستجو [۲] و روش‌هاي سيمپلكس [۳] است. در اين تحقيق از روش الگوي جستجو استفاده شده است.

نتايج

جدول (۱) مقادير بهينه شده پارامترهاي مدل را نشان مي دهد. مقايسه عملكرد مدل در حوزه‌ها مي تواند با استفاده از ضرايب بدون بعد R , E وΔEQ انجام شود.تا عملكرد مدل را كه بر پايه اختلاف به‌دست آمده بين جريان رواناب مشاهده شده و برآورد شده است آزمايش كند. بر مبناي مقادير R2 در حوزه‌ها، حوزه‌هاي زرين درخت، ليقوان، كن، فارسان، كوهرنگ، كسيليان، امامه و بازفت به ترتيب بيشترين همبستگي را (بين دبي‌هاي شبيه‌سازي شده و مشاهده شده) دارا مي‌باشند. جدول(۱). نتايج و پارامترهاي مدل ISDI در كل حوزه‌هاي مورد مطالعه و شكل (۲) نمودارهاي واسنجي و شبيه‌سازي در كل حوزه‌ها را نشان مي‌دهد. همان‌طور كه ملاحظه مي‌گردد نيمه اول داده‌ها در واسنجي و نيمه دوم در شبيه‌سازي مورد استفاده قرار گرفته و نهايتا پارامترهاي مدل نسبت به كل داده‌ها بهينه‌سازي گرديده‌اند.

بحث و نتيجه گيري

پارامترها

پارامترهاي ,WET WETH, WETS وH نشان‌دهنده ذخيره رطوبت خاك وتوزيع ذخيره خاك اشباع‌شده هستند به‌طوري‌كه رواناب سطحي (QF) را در مدل كنترل مي‌كنند. مقادير پارامتر WETS براي همه حوزه‌ها صفر است كه اين امر بيانگر اين نكته است كه پاسخ رواناب براي همه حوزه‌هاي مورد مطالعه نشان دهنده وجود يك رابطه خطي بين رواناب و ذخيره رطوبت خاك است. مقادير پارامتر WETH براي همه حوزه‌ها به جز بازفت صفر است كه اين امر بيانگر پاسخ كند همه حوزه‌ها به جز بازفت به پديده رواناب –بارش است.

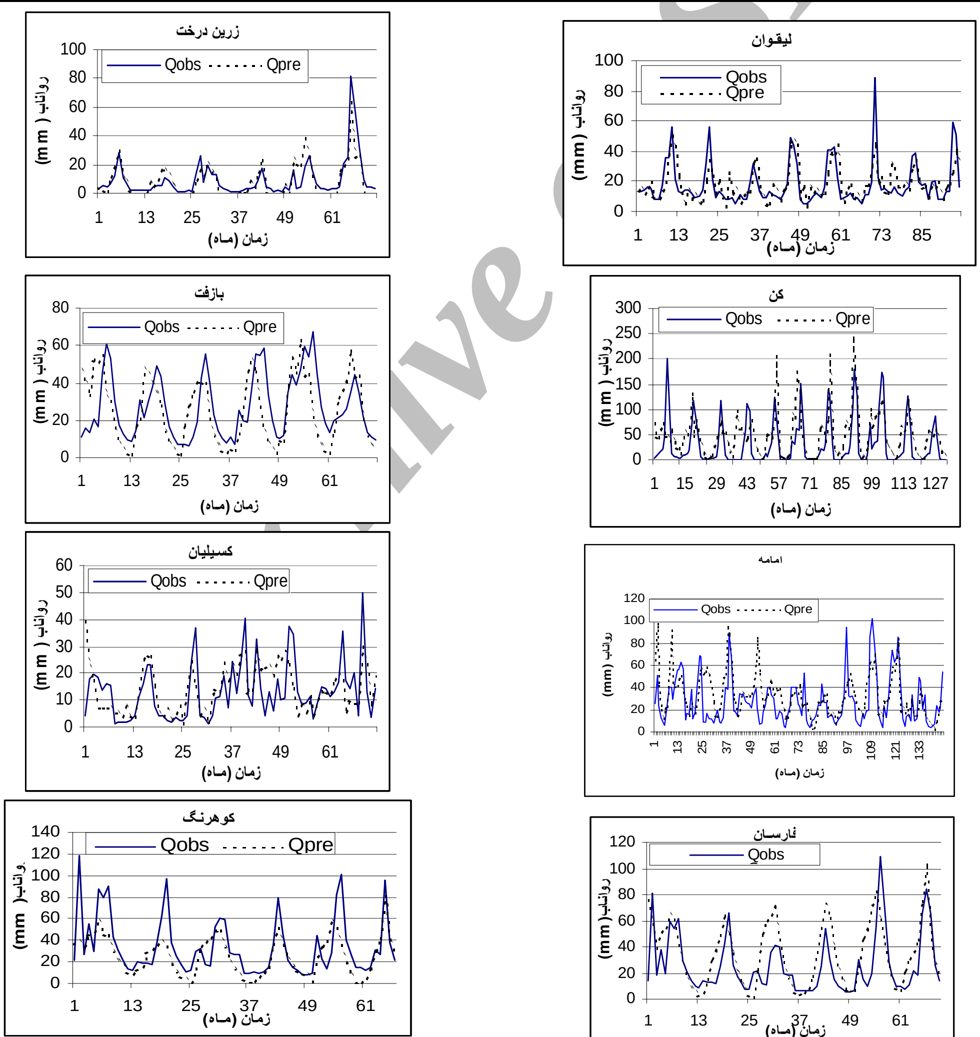
[۱]- Direct Search Method

[۲]- Search Method

[۳]- Various Simplex Methods

جدول۱، نتایج و پارامترها مدل **ISDI** در کل حوزه‌هاي مورد مطالعه

پارامترها	بازفت	کوهرنگ	فارسان	زرین درخت	کن	امامه	کسیلیان	لیقوان
KI	۰/۱۸۵	۰/۰۰۷۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۰۱	۰/۰۲۲٤	۰/۰۱۵٤	۰/۰۱۶۸	۰/۶۷۱۵
KG	۰/۰٤۱٤	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰٤۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰٤۱۶	۰
ATHRU	۰	۰	۰/۳٤۷۵	۰/٤۰٤۳	۰	۰/۰۷۵	۰/۰٤	۰/٤٤
BTHRU	۱	۰/٤۲۵۳	۰/۹	۰/۶۳	۱/۰۳۵	۰/۵٤	۰/۶۳	۰/۹۷۲
WET	۰/۳	۰	۰	۰/۰٤۶٤	۰	۰	۰/۱٤٤	۰/۰۳۷۸
SMAX	۱۵۵/۱۱	۱۹۲/۲۲	۱۹۱/۶۰۱	۳۳/۸۱۳	۱۵/۰۷	۱۳۰/۵۵	۸۷/۶۳	۵/۰۷۲
CEP	۲/٤۲۵	۰	۰	۰/۰۳٤۷	۰	۰	۰/۱۳۶۵	۰
DEEP	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
WETS	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
WETH	۰/۰۳۲۹	۰/۰۰۰۹	۰/۲٤۰۱	۰/۰۰۳۱	۰/۰۷۵	۰/۰۹۷۸	۰/٤۱۲۵	۰/۰۰۷٤
BEP	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۷۸	۰/۱۱۷	۰/۰۹۶۶	۰/۲٤۳۸	۰/۲۰۳۱	۰/۰۶۵	۰/۰۱۵۶
SDI	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
H	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
R2	۰/۳٤	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۳	۰/۵۰	۰/۳۹	۰/٤۷	۰/۶۳
E	۰/۱۶	۰/٤۶	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/٤۵	۰/۲٤	۰/٤۵	۰/۶۳
%ΔEQ	،۱۱/۲۶	،۱۶/۵۷	۲۱/۱	،۹/۲۷	۳۳/۶۷	۲۰/۱۳	٤/۶	،۰/۳۶
دوره آماري (ماه)	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۱۳۷	۱٤۷	۷۲	۱۰۰



شکل ۲، نمودارهاي اعتبار سنجي در کل حوزه‌ها با استفاده از مدل (ISDI)

تركيب تلفات و تعرق (ET) در مدل به وسيله سه پارامترBEP، CEP و SMAX كنترل مي‌شود پارامترهاي CEP و SMAX در ارتباط با ذخيره رطوبت خاك هستند. بالابودن مقدار پارامتر SMAX نشان از ظرفيت بالاي تبخير و تعرق حوزه است و هرچه تركيب پارامترهاي SMAX وCEP بالاتر رود بهتربودن شبيه‌سازي كمتر مي‌شود.

پارامتر BEP هم در ارتباط با ET تبخير از تشتك (EP) است كه مقدار كم اين پارامتر در دو حوزه بازفت و زرين درخت نشان مي‌دهد كه مقدار تبخير و تعرق پتانسيل(ET) به‌واسطه افزايش تبخير از تشتك (EP) كاهش نيافته‌است.

پارامتر DEEP ، پارامتري است كه آب‌پايه را كنترل مي‌كند. مقادير پارامترDEEP براي همه حوزه‌ها به جز بازفت صفر است كه حاكي از وجود اختلاف زياد بين مقادير بارش و رواناب در اين حوزه‌ها است و بيانگر اين است كه قسمت عمده ذخيره رطوبت خاك در اين حوزه‌ها به آب زيرزميني مي‌پيوندد.

دو پارامتر BTHRU, ATHRU ، بارش مستقيم به زمين را در مدل كنترل مي‌كنند كه زيادبودن آنها در حوزه‌ها نشان از پوشش خوب حوزه‌ها است. رفتار آب پايه و آب زيرقشري به ترتيب توسط KG و KI كنترل مي‌شود. بالا بودن مقادير اين پارامتراها در حوزه‌هاي ليقوان، بازفت، كن و امامه نشان دهنده سهم بيشتر جريان تاخيري و جريان پايه در رواناب خروجي در اين حوزه‌ها است.

واسنجي و اعتبارسنجي

جدول (۱) نتايج و پارامترهاي مدل ISDI در كل حوزه‌هاي مورد مطالعه و شكل (۲) نمودارهاي واسنجي و شبيه‌سازي در كل حوزه‌ها را نشان مي‌دهد. همان‌طور كه ملاحظه مي‌گردد نيمه اول داده‌ها در واسنجي و نيمه دوم در شبيه‌سازي مورد استفاده قرار گرفته و نهايتا پارامترهاي مدل نسبت به كل داده‌ها بهينه سازي گرديده‌اند. نتايج حاصل از واسنجي در بين هشت حوزه موردنظر نشان‌دهنده اين است كه حوزه زرين درخت با همبستگي بالا (R^2=۰/۸۱) بهترين نتيجه را در بين حوزه‌هاي مذكور داده است. نتايج حاصل از بهينه‌سازي پارامترهاي مدل در اين حوزه براي واسنجي مدل در يك دوره شش ساله به‌كار رفت كه نتيجه مذكور حاكي از پاسخ قابل‌قبول مدل در اين حوزه است. بعد از حوزه زرين‌درخت، حوزه ليقوان با R^2=۰/۷٤ قرار دارد. اين نتيجه حاكي از اين است كه پارامترهاي به كار رفته براي واسنجي مدل در دورة چهارساله در اين حوزه به خوبي بهينه شده‌اند و واسنجي مدل به‌خوبي انجام شده است. در مرحله بعدي حوزه‌هاي كسيليان، كن و فارسان با R^2=۰/۷۳ قرار دارند. كه اين نتيجه حاكي از عملكرد خوب مدل در دورة واسنجي و همچنين در بهينه‌كردن پارامترهاي مدل است.

در مرحله بعدي حوزه امامه با R^2=۰/٦٧ قرار دارد كه اين نتيجه هم در اين حوزه مطلوب و نشان‌دهنده عملكرد قابل‌قبول مدل است در گام بعدي حوزه كوهرنگ با R^2=۰/٦٥ قرار دارد كه نتيجه موردنظر هم قابل‌قبول است و نشان‌دهنده عملكرد خوب مدل در بازسازي رواناب و بهينه‌سازي پارامتر و در نهايت واسنجي در اين حوزه است. در آخرين گام حوزه بازفت با R^2=۰/۵۰ قرار دارد كه نتيجه مذكور حاكي از عملكرد متوسط مدل در شبيه‌سازي رواناب در حوزه موردنظر و همچنين بهينه‌سازي پارامترهاي موردنظر حوزه مذكور است. نتايج حاصل از اعتبارسنجي هم نمايانگر عملكرد خوب مدل در حوزه زرين‌درخت مي‌باشند (R^2=۰/۷۳). نتيجه مذكور حاكي از اين است كه مدل به خوبي توانسته است در شبيه‌سازي رواناب در دورة اعتبارسنجي عمل كند.

بعد از اين حوزه در دومين‌گام، حوزه ليقوان با R^2=۰/٦۳ قرار دارد كه نتايج حاصل از اعتبارسنجي هم در اين حوزه رضايت بخش است. حوزه‌هاي كن و فارسان و كوهرنگ با ضريب تعيين (R^2=۰/۵۰) در رتبه بعدي قرار دارند. اين امر حاكي از اين است كه مدل در حد متوسطي رواناب را در سه حوزه مذكور شبيه‌سازي كرده است.

در رتبه بعدي دو حوزه امامه و بازفت با ضريب تعيين R^2=۰/۳۹ و R^2=۰/۳٤ قرار دارند كه نشان‌دهنده عملكرد ضعيف مدل در اين دو حوزه وعدم توانايي مدل در واسنجي مناسب و در نتيجه عدم بهينه‌سازي پارامترها است. ضعف

عملکرد مدل در این دو حوزه احتمالا به دلیل ترکیب مدل است.
خطاهاي مدل، خطاهاي پارامترها و خطاهاي ورودي‌هاي

منابع

1-Boughton, W. C. 1966. A Mathematical Model for Relating Rainfall to Runoff with Daily Data, Civil Eng. Trans., I. E. Aust., Vol. CE8, No.1, pp.83 ،97.

2- Kuczera, G. 1983. Improved Parameter Inference in Catchments Models: I & II, Water Resources Research, Vol. 19(5), pp. 1152 ،1172.

3- Kuczera, G. 1988. On the Revision of the Soil Dryness Index Stream flow Yield Model, Civil Eng. Trans., I. E. Aust., Vol. CE30 (2), pp. 79 ،86.

4- Langford, K. J., Duncan, H. P. and Heeps, D. P. 1978 a., Forecasting Stream flow and Storage Using a Soil Dryness Index Model, Melbourne & Metropolitan Board of Works, Report No. MMBW ، W 0031, Melbourne.

5- MOUNT, A. B. 1972. The Derivation and Testing of a Soil Dryness Index Using Runoff Data, Tasmania Forestry Commission, Bulletin No. 4.

6- ،SHARIFI. F. 1996., Catchments Rainfall Runoff Computer Modeling, Ph. D. Thesis, Dept. of Civil & Mining Engineering, University of Wollongong, Australia.

Modification and Adaptation and Evaluation of ISDI Model in Some of the Iranian Representative Catchments

F. Sharifi [1] J. Namdorost[2] S. A. Aubzade[3] J. Vakilpoor [4]

Abstract

Different methods for simulating catchment response and investigating flow regime in rivers have been developed in recent years. Among them, the deterministic rainfall runoff models as a simplified representation of a complex catchment system can be used to obtain an understanding of a system's performance under specific conditions in either gauged or ungauged catchments. Except in rare cases sufficient measurements of catchment variables are not available in Iran, hence, a physically realistic model, which allows easier estimation of the parameters, along with estimating catchment responses, is needed in practical engineering work.

The Soil Dryness Index (SDI) model as a water balance model, originally developed by Mount (1972), was adopted to meet the purposes in this study. The latest version of the model (Kuczera, 1988) was modified and after several structural changes to fit Iranian catchment conditions, was used to simulate the land hydrologic cycle in 8 representative catchments namely Kasilian, Kardeh, Amameh, Lighvan, Kan and Kameh located in different regions of the country.

The model was applied to the catchments with daily rainfall, potential evaporation and catchment characteristics as inputs, to estimate runoff, actual evaporation and recharge of groundwater considered as outputs.

The results indicated that the adopted model with its corresponding optimum set of parameters was of the capacity to predict runoff values with similar properties to the recorded runoff. A comparison between monthly measured and estimated runoff revealed the coefficient of determination (R^2), respectively as: 0.73(Zarin Detrakht), was 0.63 (Lighvan), 0.5 (Kan), 0.5(Farsan), 0.5(Kohrang), 0.47(Casilian), 0.39(Amame), 0.34(Besot). The model assumes catchments as having 4 storage capacities and this could be the main reason for the obtained satisfactory results. The application of the model revealed good results in 6 catchments and therefore can be used as a useful tool for research as well as and design in catchments with similar characteristics elsewhere.

Keywords: ISDI model, Watershed, Simulation, Hydrologic parameters, Rainfall ،Runoff, Iran

[1]- Associate Professor in Research, Soil Conservation and Watershed Management Institute,(E-mail: fs1338@yahoo.com)
[2]-Former Graduate Student of Watershed Management, Tarbiat Modarres University
[3] -Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarress University
[4] Instructor, Faculty of civil Engineering, Emam Hossein University