بررسی کارایی مدل بارش-رواناب IHACRES در پیش بینی سیلابهای شهری (مطالعه موردی:حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات-یزد)

الهه گودرزی
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی دانشگاه یزد e_goodarzi@yazduni.ac.ir
محمدتقی دستورانی
عضوهیأت علمی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد mdastorani@yazduni.ac.ir
علیرضا مساح بوانی
عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی آب-پردیس ابوریحان-دانشگاه تهران amassah@yahoo.com
علی طالبی
عضو هیأت علمی دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی دانشگاه یزد talebisf@yazduni.ac.ir

چکیده

سیل پدیده‌ای است ناشی از افزایش ارتفاع آب رودها و خروش رودخانه که موجب غرقابی شدن دشت‌ها و ایجاد خسارات عمده بر تأسیسات عمومی و تلفات جانی و مالی می‌شود. با توجه به آن‌که آب یکی از منابعی است که در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سال های آینده می‌تواند راه گشای معضلاتی چون سیلابهای ناگهانی باشد. برآورد و پیش‌بینی سیلاب ناشی از افزایش رواناب حوزه ، نه تنها در مدیریت و بهره برداری صحیح از حوزه با اهمیت است بلکه در به حداقل رسانی خسارات ناشی از سیلاب نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. حوزه رودخانه اعظم یکی از زیرحوزه های فرعی حوضه آبریز هرات و مروست در استان یزد بوده و دارای ارتفاع متوسط حدود 2200 متر و متوسط بارندگی سالانه 230 میلی متر می باشد. شیب عمومی منطقه کم بوده و حداکثر به 2 تا 3 درصد می رسد، این رودخانه که از منابع عمده تغذیه سفره آبهای زیرزمینی دشت هرات می باشد از آب با کیفیت خوبی برخوردار است. این تحقیق به ارزیابی کارایی مدل بارش- رواناب در پیش‌بینی وقوع سیلاب در حوزه موردنظر می پردازد. پس از واسنجی مدل برای حوزه در سالهای آماری مناسب سه ساله(R^2 =0/80، RMSE= 0/38 و Bias =0/11)، مدل در دوره‌ای دیگر از دوره مشاهداتی مورد صحت سنجی قرار گرفت، نتایج نشان از کارایی 60 درصدی مدل را در پیش‌بینی وقوع سیلاب در منطقه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی : **سیلاب های شهری، رواناب، IHACRES**

1.مقدمه

سیل پدیده ای است ناشی از افزایش ارتفاع آب رودها و مسیل ها، غرقابی شدن دشت ها و خروش رودخانه ها که باعث خسارات بر سازه ها و تأسیسات عمومی و تلفات انسانی و دامی می‌شود (مؤمنی 1382) و بلایای سیل یکی از جدی ترین بلایا در 15 نوع بلایای طبیعی که تأثیرات جدی بر زندگی بشر در جهان می گذارند می‌باشند.

مدیریت کمی و کیفی حوزه‌های آبخیز مجموعه‌ای از تصمیم‌ها را در بر می‌گیرد که جمع‌آوری و رهاسازی آب در طول زمان را مشخص می‌کند. با توجه به روش‌های مدیریت و بهینه سازی حوضه‌های آبخیز، پیش‌بینی دقیق رواناب خروجی می‌تواند در بهینه سازی مدیریت آبخیز جهت جلوگیری از طغیان سیلاب های منطقه‌ای بسیار مؤثر می‌باشد. با وجود روابط غیر خطی، عدم قطعیت و عدم صراحت زیاد و ویژگی متغیرهای زمانی و مکانی در

سیستم‌های گردش آبی، هیچ یک از مدل‌های آماری و مفهومی پیشنهاد شده به‌منظور الگوسازی دقیق بارش و رواناب نتوانسته به عنوان یک مدل برتر و توانا شناخته شوند.

آشفته و مساح بوانی (1387) در تحقیقی جهت بررسی تغییرات شدت ، مدت و فراوانی سیلاب در دوره های آتی نسبت به دوره پایه در حوضه رودخانه آیدوغموش، از مدل بارش-رواناب IHACRES برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه استفاده کردند. بررسی نتایج مربوط به محدوده تغییرات شدت سیلاب دردوره آتی نسبت به دوره پایه نشان داد که هر دو وضعیت افزایش و کاهش سیلاب برای حوضه قابل انتظار است [۱].

کمال و همکاران (1388) در تحقیق دیگری جهت ارزیابی عدم قطعیت مربوط به مدل‌های هیدرولوژی در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه قره‌سو تحت تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM، از مدل بارش-رواناب IHACRES استفاده کردند [۲].

Schreider وJakeman (1996)، به بررسی تغییرات متغیر های اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آبی در حوزه های Oven و Goulburn واقع در ویکتوریا پرداختند. برای این منظور جهت شبیه‌سازی رواناب ناشی از تغییر اقلیم از مدل بارش-رواناب IHACRES کمک گرفتند. [۳].

Jason و Schreide (۲۰۰۲)، جهت بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییراقلیم بر جریان ورودی به منطقه شهری Perth واقع در غرب استرالیا از مدل بارش-رواناب IHACRES برای شبیه سازی رواناب حاصل از تغییرات متغیرهای اقلیمی استفاده کردند. پس از واسنجی و اعتبار سنجی مدل برای منطقه مورد مطالعه و با توجه به سناریوهای تغییراقلیم، وقوع سیلاب در شرایط مختلف هیدرولوژیکی منطقه را مورد بررسی قرار دادند [٤].

Day وCroke (2003)، کارایی مدل بارش- رواناب را در پیش‌بینی رواناب در حوزه‌های افریقای جنوبی مورد بررسی قرار دادند. پس از واسنجی و اعتبار سنجی مدل برای حوزه های Lambrechtsbos و Groot-Nylrivier در قبل و بعد از تغییرات کاربری اراضی (احداث جنگل)، نتایج عملکرد مدل در پیش‌بینی جریان های سریع (سیلابی) و آرام حوزه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت[٥].

در این تحقیق به منظور بررسی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب منطقه از مدل ارائه شده توسط Jakeman و Hornberger(1993) که شرح آن در بخش مواد و روش‌ها آمده، استفاده شده است. به این منظور پس از اثبات همگنی و صحت داده‌ها و آماده‌سازی داده‌های بارش، دما و جریان مشاهده‌ای روزانه حوزه رودخانه اعظم در دوره پایه 2008-1997 ، مدل بارش-رواناب IHACRES اجرا شد. پس از واسنجی و صحت سنجی مدل برای حوزه مورد مطالعه ، پیش‌بینی وقوع سیلاب در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

2. مواد و روش‌ها :

2.1. منطقه مطالعاتی

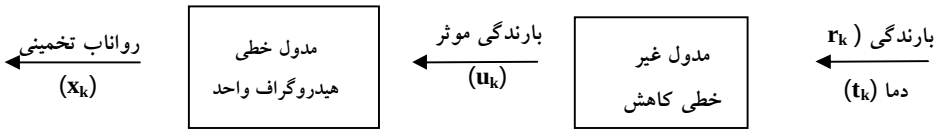
حوزه مطالعاتی با وسعتی حدود1017 کیلومتر مربع بین″ 21 ،′ 37 ،□ 53 تا ″ 11 ،′ 06،□ 54 طول شرقی و ″ 59 ،′ 47 ،□ 29 تا″ 58 ،′ 11،□ 30 عرض شمالی قرار دارد. حوزه رودخانه اعظم یکی از زیرحوزه های فرعی حوزه آبریز هرات و مروست در استان یزد بوده و دارای ارتفاع متوسط حدود 2200 متر و متوسط بارندگی سالانه 230 میلی متر می باشد. شیب عمومی منطقه کم بوده و حداکثر به 2 تا 3 درصد می رسد. وجود نزولات جوی نسبتا" مناسب باعث ایجاد رودخانه اعظم (خوانسار) گردیده که یکی از دو رودخانه دائمی استان یزد می‌باشد. تعدادی مسیل بطور موازی از دره های غرب ارتفاعات پوزه زرد و ارتفاعات آهکی شمال شرق خوانسار به

سمت شرق وجود دارند. یکی از مهمترین مسیلهای فوق الـذکر، مسـیل اعظـم مـی باشـد کـه در مواقـع سـیلابی قسمتی از جریان های سطحی ارتفاعات جنوب غرب هرات را به نواحی مرکزی دشت هـدایت و نهایتـا" بـه سـمت کفه هرات منتقل می نمایند. این رودخانه که از منابع عمده تغذیه سفره آبهای زیرزمینی دشت هرات می باشـد از آب با کیفیت خوبی برخوردار است. جهت بررسی کارایی مدل بارش- رواناب IHACRES نیاز به آماده سـازی داده های ورودی به این مدل می باشد. برای ایـن منظـور پـس از اثبـات همگنـی و صـحت داده هـا، از ایسـتگاه هـای بارانسنجی و تبخیر سنجی موجود در اطراف منطقه گرادیان ارتفاع-بارش و ارتفاع- دما تهیـه گردیـد. سـپس داده های روزانه‌ی دما و بارش حوزه رودخانه اعظم در یک دوره 12 ساله (2008-1997) استخراج گردید، همچنین از داده های رواناب روزانه ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوزه به عنوان روانـاب مشـاهده ای ورودی بـه مـدل استفاده شده است. پس از واسنجی مدل دردوره سه ساله 2003-2000 (1 ژانویه 2000 تا 31 دسـامبر 2002)، سپس مدل در دوره دیگری از دوره مشاهداتی پایه مورد صحت یابی قرار گرفت.

2.2. معرفی مدل بارش-رواناب IHACRES

به منظور بررسی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب و منابع آبـی اسـتفاده از مـدل‌هـای بـارش-روانـاب ضروری می‌باشد که در این بخش به آن پرداخته می‌گردد. اما در انجام محاسبات مربوط بدلیل نیاز بـه محاسـبات در شرایط مختلف توزیع‌های احتمالی به عنوان توزیع پیشین و همچنین آنالیز حساسـیت متغیرهـای ورودی، بـه تکرارهای بسیار زیادی احتیاج می‌باشد که استفاده تنها از بسته‌های نرم افزاری را ممکن نمی‌ساخت, لـذا تصـمیم به توسعه مدلی با این ویژگی شد که بر اسـاس بررسـی‌هـای بـه عمـل آمـده الگـوریتمی کـه توسـط Jakeman و Hornberger (1993) برای شبیه‌سازی بارش - رواناب ارائه شده, با توجه به ورودی‌های مـورد نیـاز و قـوام علمـی لازم، مناسب تشخیص داده شد[6].

اساس این روش از دو مدول غیـر خطـی کـاهش (Non- linear loss module) و مـدول خطـی هیـدروگراف (Linear unit hydrograph module) تشکیل می‌شود. بدین شکل کـه در ابتـدا بارنـدگی r_k و دمـا t_k در هـر گـام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی موثر u_k تبدیل شده و سپس بوسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل 1).



شکل 1: چگونگی شبیه‌سازی بارش - رواناب همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی در روش ارائه شده توسط Jakeman و Hornberger (1993)

- مدول غیر خطی کاهش

به منظور تبدیل بارش به بارندگی موثر در حوضه، از ضریب رطـوبتی حوضـه (Catchment wetness index) که با $(0<sk<1)$ sk نشان داده می‌شود، استفاده می‌گردد. هرچه حوضه قبل از بارنـدگی مرطـوب‌تـر باشـد، مقـدار تبدیل بارندگی به بارش موثر بیشتر خواهد بود :

$$U_k = S_k * r_k \qquad (1)$$

در حالتی که حوضه کاملا خیس باشد (sk=1)تمامی بارش به بارندگی موثر تبدیل خواهد شد. از طرف دیگر ضریب رطوبتی حوضه تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه بوده که با روابط زیر بیان می‌گردد :

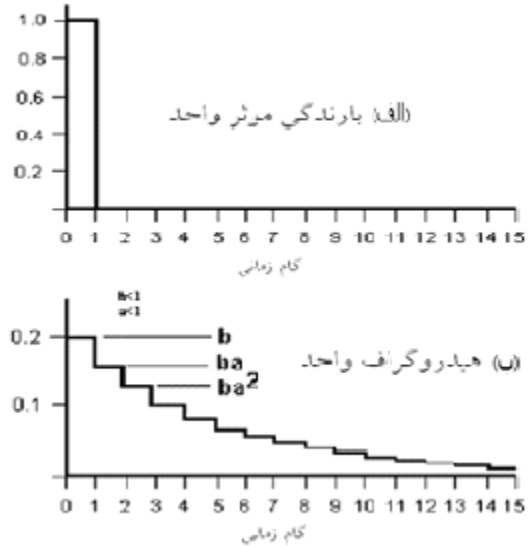
$$U_k = C * r_k \mid \left[1 \mid \frac{1}{\tau_\omega(t_k)}\right] S_{k-1} \quad S_0 = 0 \qquad (2)$$

$$\tau_\omega(t_k) = \tau_\omega e^{0/062f(R-t_k)} \qquad \tau_\omega(t_k) \geq 1 \qquad (3)$$

در رابطه 3, مقدار شاخص s_k را در رابطه 2 در هنگامی که بارش رخ نمی‌دهد کنترل می‌کند که در آن: R برابر دمای مرجع, τw ثابت زمانی خشک شدن حوزه (Catchment drying time constant) و f فاکتور تعدیل دما (Temperature modulation factor) است. در رابطه 2 پارامتر C بگونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی موثر و رواناب مشاهداتی در دوره کالیبراسیون یکسان گردد.

- مدل خطی هیدروگراف واحد

فرض کنید بارندگی موثر واحد در یک گام زمانی (شکل 2- الف) در یک حوضه, به مقدار b واحد رواناب تولید کند. بدیهی است بدلیل افت‌های مختلف در تبدیل بارندگی به رواناب, مقدار رواناب حاصل در همان گام زمانی, کمتر از واحد خواهد بود (b<1). با فرض این‌که بارندگی موثر و رواناب در تمام گام‌های قبلی صفر بوده و همچنین بارندگی موثر در گام‌های بعدی نیز صفر باشد, می‌توان در گام‌های بعدی میزان رواناب را بصورت نسبتa (a<1) از مقدار آن در مرحله قبل در نظر گرفت. لذا رواناب حاصل بصورت نمائی با نرخ a در هر گام زمانی کاهش می‌یابد (شکل 2- ب).



شکل 2: هیدروگراف حاصل از بارندگی موثر واحد

بر اساس شکل (قسمت ب) میزان رواناب کل حاصل از بارندگی موثر واحد, برابر مجموع رواناب‌های هر گام زمانی خواهد بود ($b + ba + ba^2 + ba^3 + \mathbf{L}$). حال با فرض بارش موثر u_k (محاسبه شده از مدول غیر خطی کاهش) در گام زمانی k, میزان دبی حاصل از آن در گام-های متوالی k، k+۱، k+۲ و ...، مطابق زیر است:

$$bu_k + bau_k + ba^2u_k + ba^3u_k + \cdots \qquad (4)$$

از طرف دیگر اگر فرض کنیم بارش موثر u_{k-1} در گام زمانی k-1 رخ داده باشد, آنگاه رواناب حاصل از آن در گام‌های زمانی k-1، k، k+1 و .... بر اساس شکل 2 (ب) برابر خواهد بود با:

$$bu_{k-1} + bau_{k-1} + ba^2u_{k-1} + ba^3u_{k-1} + \cdots \quad (5)$$

با فرض بارش‌های موثر در گام‌های مختلف (k-n,.....k-2, k-1, k, k+1, k+2 ,....k+n) و محاسبه مقدار دبی حاصل از آن‌ها در گام‌های مختلف مطابق روابط 4 و 5 ، می‌توان مقدار رواناب در گام زمانی k را مطابق زیر نوشت:

$$X_k = bu_k + bau_{k-1} + ba^2u_{k-3} + \cdots \quad (6)$$

همچنین مقدار رواناب در گام زمانی k-1 برابر خواهد بود با:

$$X_{k-1} = bu_{k-1} + bau_{k-2} + ba^2u_{k-3} + \cdots \quad (7)$$

با مقایسه رابطه (6) و (7) می‌توان نوشت:

$$X_k = bu_k + ax_{k-1} \quad (8)$$

با توجه به این رابطه می‌توان دبی هر گام را تابعی از بارندگی موثر در همان گام و دبی حاصل از گام قبل دانست.با توجه به آن‌که در یک حوزه مقدار u_k از رابطه (1) قابل محاسبه می‌باشد(uk=sk*rk), بنابر این به منظور بدست آوردن رواناب حاصل از آن, کافیست مقادیر پارامترهای a و b در رابطه 8 مشخص گردد.

با توجه به این‌که 1>a> 0 است, مساحت زیر نمودار شکل 2 (ب) مطابق زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$b + ba + ba^2 + ba^3 + \cdots . = \frac{b}{1-a} \quad (9)$$

از طرف دیگر با توجه به مفهوم هیدروگراف واحد, رابطه 9 برابر واحد بوده, بنابر این:

$$\frac{b}{1-a} = 1 \quad (10)$$

از طرف دیگر می‌توان هیدروگراف واحد اصلی را بصورت تلفیقی از تعداد مختلفی از هیدروگراف‌های واحد بصورت موازی یا سری و یا بصورت منفرد در نظر گرفت. بعنوان مثال با تقسیم هیدروگراف واحد کل به دو قسمت موازی هیدروگراف سریع q و هیدروگراف کند s, رابطه 10 مطابق زیر تعریف می‌گردد:

$$\frac{b^{(q)}}{1-a^{(q)}} + \frac{b^{(s)}}{1-a^{(s)}} = 1 \quad (11)$$

بر این اساس رابطه 8 مطابق زیر تبدیل خواهد شد:

$$x_k = a^q x_{k-1} + b^q u_{k-1} + a^s x_{k-1} + b^s u_{k-1} \quad (12)$$

بطور کلی در روش ارائه شده توسط Jakeman و Hornberger(1993), سه پارامتر τw، f و C از مدول غیر خطی کاهش (روابط 2 و 3) و سه پارامتر از چهار پارامتر a^q، a^s ، b^q و b^s از مدول خطی هیدروگراف (رابطه 11) می‌بایست بر اساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه مورد مطالعه کالیبره گردند.

2.3. معیارهای عملکرد

جهت بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه نتایج معیارهایی لازم بود تا در تحقیق مورد استفاده قرار گیرد که از بین معیارهای مرسوم ضریب تعیین(R^2) ، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انتخاب شدند

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n}(x_p-\mu_p)(x_o-\mu_o)}{\sigma_{x_p}+\sigma_{x_o}}\right]^2 \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{n}(x_p - x_o)^2}{n}} \quad (14)$$

در این روابط X داده‌های شبیه‌سازی شده، μ میانگین داده‌ها، σ انحراف معیار داده‌ها و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. اندیس p بیانگر داده‌های شبیه‌سازی شده و اندیس o بیانگر داده‌های مشاهداتی است.

مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا 1 می‌باشد. هرچه مقدار R^2 به یک نزدیکتر باشد نشان-دهنده رابطه قویتر خطی بین دو مقدار می‌باشد. معیار ضریب تعیین به تنهائی نمی‌تواند بیانگر عملکرد یک مدل در شبیه‌سازی داده‌ها باشد. زیرا حالتهای زیادی وجود دارد که داده‌های شبیه‌سازی شده بخوبی می‌تواند الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را شبیه‌سازی کند در صورتیکه اختلاف زیادی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. بنابر این معمولا از معیارهای دیگر که بیانگر وضعیت اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است, استفاده می‌شود. بدین منظور RMSE به عنوان معیار معتبری در کنار R^2 مورد استفاده قرار گرفت. RMSE واحدی با بعد X را دارد که کمتر شدن آن نشان از برتری روش دارد و آستانه خاصی نیز برای آن تعریف نشده‌است.

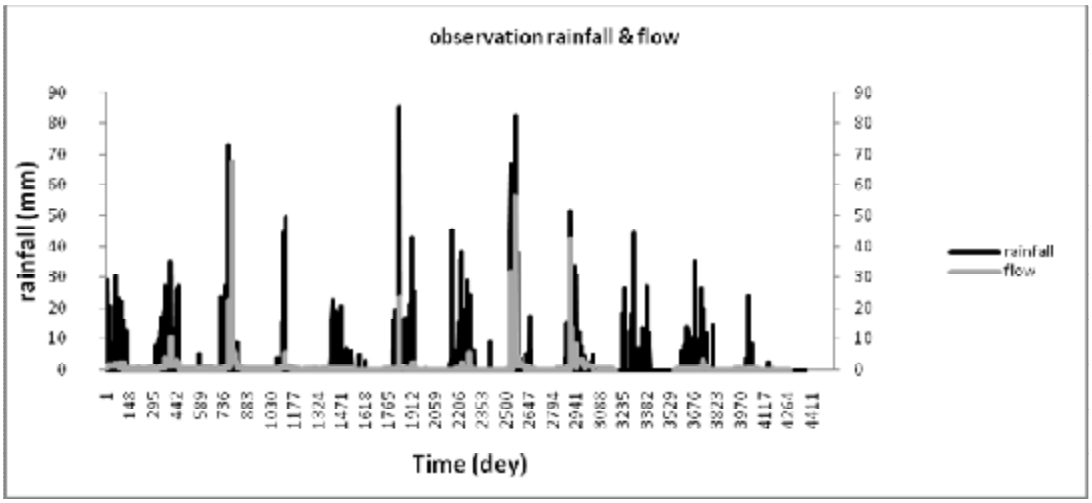
2.4. شبیه سازی بارش-رواناب مدل هیدرولوژی :

جهت اجرای مدل از داده های روزانه بارش و دمای حوزه رودخانه اعظم و داده های رواناب ایستگاه هیدرومتری بندپایین واقع در خروجی حوزه در دوره پایه 2008-1997، به عنوان داده های ورودی به مدل استفاده شد. پس از مشخص کردن سال‌های آماری مناسب جهت واسنجی مدل برای حوزه موردنظر مقادیر مختلف پارامترهای f در محدوده 1 تا 5 با گام زمانی 0/1 و τw در محدوده 1 تا 20 با گام های زمانی 1 و زمان تأخیر صفر تا یک و برای حالت های مختلف هیدروگراف منفرد، دو هیدروگراف بصورت سری و دو هیدروگراف بصورت موازی بوسیله مدل IHACRES مورد واسنجی قرار گرفت. سپس مدل موردنظر صحت سنجی شد. همچنین عملکرد مدل در شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از معیارهای عملکرد ضریب همبستگی R^2 و جذر میانگین مربعات خطا RMSE مورد بررسی قرار گرفت.

در نهایت در شبیه‌سازی بارش-رواناب روزانه‌ی حوزه رودخانه اعظم برای مدل IHACRES، در دوره پایه 2008-1997، بهترین دوره واسنجی و صحت سنجی برای به حداقل رساندن خطای شبیه‌سازی انتخاب شدند. این انتخاب مدل براساس بالاترین ضریب تعیین R^2 و پایین ترین خطا (Bias, RMSE) بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده صورت گرفت.

3.نتایج و بحث :

داده های بارش و جریان مشاهده‌ای در حوزه مطالعاتی که به عنوان داده‌های ورودی به مدل بارش-رواناب استفاده شده‌اند، در شکل 3 نشان داده شده‌اند. همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، دوره آماری پایه دربرگیرنده سالهایی با وضعیت رطوبتی از خشکسالی خفیف تا متوسط و دوره های ترسالی متوسط تا شدید می‌باشد بطوری که در برخی موارد موجب وقوع سیلابهای شدید شهری خواهد شد. شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، خصوصیات خاک و پوشش حوزه موردنظر در روزهایی از دوره آماری پایه در حالتی که قبل از آن خشکسالی (کاهش شدید بارش) حاکم بوده است موجب عدم تأثیر بارش بر وقوع رواناب خواهد بود، این شرایط را می‌توان به تأمین میزان رطوبت از دست رفته در روزهای خشک نسبت داد که این موضوع موجب عدم وقوع سیلاب های شدید خواهد شد و همچنین از خسارت های احتمالی ناشی از آن جلوگیری می‌کند.



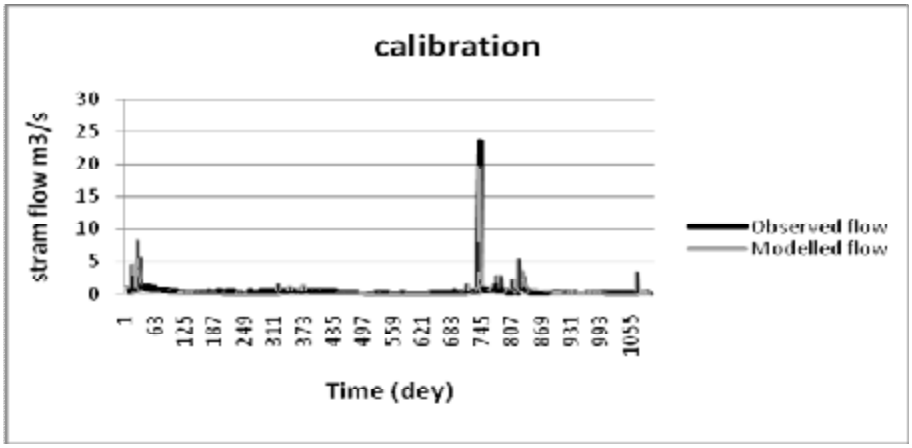
شکل 3: سری زمانی داده‌های بارش و رواناب مشاهده‌ای ورودی به مدل IHACRES در دوره پایه 2008-1997(حوزه رودخانه اعظم)

مناسب‌ترین سال‌های آماری جهت واسنجی مدل با توجه به نتایج عملکرد و این‌که این دوره در برگیرنده سالهای وقوع خشکسالی و ترسالی بوده و شرایط مناسب‌تری را برای واسنجی مطلوب مدل IHACRES را فراهم می‌آورد، دوره سه ساله از ابتدای ژانویه 2000 تا انتهای دسامبر 2002، می باشد. بهترین عملکرد به ازای مقادیر $\tau w= 10$ ،f =1 و $\delta= 0$ و در حالت دو هیدروگراف بصورت موازی حاصل شده است. پس از واسنجی مدل، دوره 2005-2004 (1 ژانویه 2004 تا 24 سپتامبر 2005) برای صحت سنجی مدل استفاده شد. جدول (1) نتایج عملکرد مدل را برای حوزه مورد مطالعه در دوره واسنجی و صحت سنجی نشان می دهد:

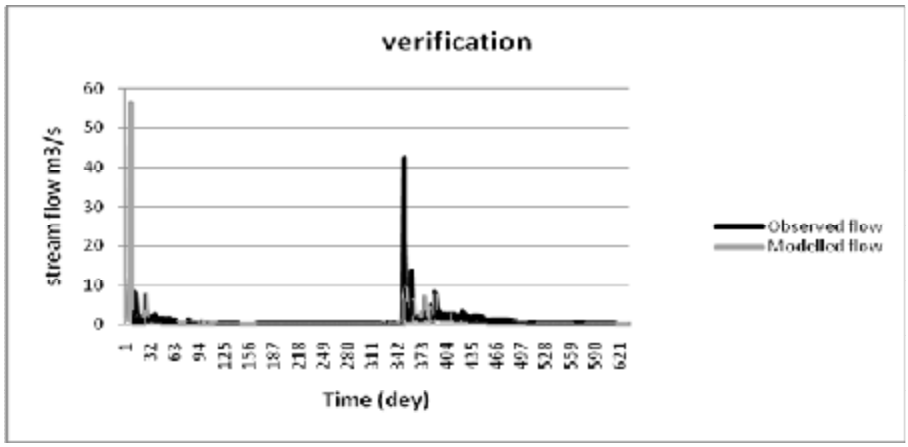
جدول1: مقادیر معیارهای عملکرد مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل برای حوزه رودخانه اعظم

Bias	RMSE	R^2	
0/11	0/38	0/80	واسنجی 2000-2003
0/63	2/06	0/60	صحت سنجی 2004-2005

اشکال 4 و 5 نتایج مدل را در مقابل مقادیر مشاهده شده به ترتیب در مرحله واسنجی و صحت سنجی نشان می‌دهد که نشان دهنده کارآیی مدل می باشد. در نهایت با در نظر گرفتن نتایج عملکرد حاصل از اجرای مدل IHACRES در حوزه رودخانه اعظم و با توجه به شرایط حوزه موردنظر کارایی مدل در پیش‌بینی وقوع سیلاب‌های شهری 60% اررزیابی شد. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی در نقاط مختلف حوزه، هر دو وضعیت افزایش و کاهش سیلاب برای حوزه مورد نظر قابل انتظار می‌باشد. به هر حال با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و خصوصیات حاکم بر حوزه مورد مطالعه که در منطقه خشک قرار گرفته است و با توجه به پراکندگی داده های بارش و جریان در منطقه، اغلب مدل‌های بارش-رواناب در چنین شرایطی از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشند، لذا نتایج بدست آمده از مدل IHACRES برای حوزه مورد مطالعه قابل قبول می‌باشد.



شکل4: سری زمانی رواناب مشاهده‌ای و مدلسازی شده IHACRES در مرحله واسنجی



شکل5: سری زمانی رواناب مشاهده‌ای و مدلسازی شده IHACRES در مرحله صحت سنجی

فهرست منابع:

[1] آشفته، پ و مساح بوانی، ع (1387)، آنالیز عدم قطعیت تاثیر تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب با رویکرد بیزی; مطالعه موردی حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران

[2] کمال،ع، مساح بوانی،ع و نجفی،م (1388)،عدم قطعیت مدلهای AOGCM و هیدرولوژیکی در تخمین رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی:حوضه قره سو)، کنفرانس بین‌المللی منابع آب شاهرود، مرداد 1388.

[3] Schreider.S.YU. and Jakeman (1996), Estimation of possible climate change impacts on water availability , extreme flow events and soil moisture in the Goulburn and Ovens basins , Victoria, Climate change.34. 513-546

[4] Jason.Evans and Schreider.Sergei (2002), Hydrological impacts of climate change on inflows to Perth,Australia. Climate change 55. 361-393

[5] Day.P.J and Croke.B.F.W.(2003), Evalution of streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments, Enviromental Modeling & software 18. 705-712

[6] Jakeman.A. J , Hornberger.G. M,(1993), How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model? Water resources research, 29(8): 2637-2649