مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering
سال سوم - شماره ۶ - بهار ۱۳۸۸
Vol. 3, No. 6, Spring 2009

شبیه سازی هیدروگراف جریان با استفاده از مدل مخزن خطی ناش در آبخیز جعفرآباد استان گلستان

رئوف مصطفی زاده[۱] و عبدالرضا بهره مند[۲]

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۲۵

چکیده

برآورد واکنش رواناب در حوزه‌های فاقد آمار همواره مورد توجه هیدرولوژیست‌ها و سازمان‌های مدیریت منابع آب در برنامه‌ریزی، توسعه و اجرای بسیاری از پروژه‌ها بوده است. این پژوهش با هدف کاربرد مدل آبشاری ناش در پیش‌بینی شکل، ابعاد و روند هیدروگراف سیل در آبخیز جنگلی جعفرآباد استان گلستان با مساحتی در حدود ۱۰۹ کیلومترمربع، انجام شده است. پس از تهیه‌ی آمار دبی و بارش ساعتی ایستگاه‌های منطقه، با استفاده از روش گشتاور مقادیر n و k مدل ناش در ۳۳ رویداد واقعی رگبار و سیل متناظر تعیین شد. با در نظر گرفتن میانگین پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل ناش برای چهار رویداد دیگر اعتبارسنجی شد. جهت ارزیابی نتایج از معیارهای آماری استفاده گردید. مقایسه‌ی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و معیار ارزیابی نش- ساتکلیف، به میزان میانگین ۷۰ درصد نشان از تطابق مناسب نتایج مدل با داده‌های ثبت شده است. همچنین درصد خطای نسبی در دبی پیک، درصد خطای نسبی در زمان تا اوج و خطای برآورد حجم جریان به ترتیب برابر ۱۰/۷، ۱۰/۲۵ و ۲۵/۷ درصد بوده است و نیز میانگین مجموع مربعات باقیمانده‌ها ۳/۹۴ می‌باشد. بر اساس نتایج پژوهش، دقت روش گشتاور در برآورد پارامترهای n و k از داده‌های بارش و رواناب شایان توجه است. به منظور توسعه و کاربرد مدل ناش در آبخیزهای فاقد آمار مشابه، برآورد منطقه‌ای پارامترهای n و k در این مدل هیدرولوژیک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی بارش- رواناب، مدل مخزن خطی ناش، هیدروگراف واحد لحظه‌ای، روش گشتاور و آبخیز جعفرآباد

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان raoofmostafazadeh@yahoo.com
۲- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

با توجه به کمبود آمار هیدرومتری در بیشتر آبخیزهای کشور، استفاده از مدل‌های هیدرلوژیک ساده و مناسب و توسعه‌ی آنها در آبخیزهای فاقد ایستگاه از موارد ضروری است. به گفته‌ی کومار و همکاران [۱۲]، هیدروگراف واحد ارائه شده توسط شرمن در سال ۱۹۳۲، به یکی از ابزارهای قوی در هیدرولوژی کاربردی تبدیل شده است.

در صورت وجود داده‌های ثبت شده‌ی بارش و رواناب از روش‌های کولینز[۳]، ماتریس معکوس و حداقل مربعات برای تعیین هیدروگراف واحد حوزه استفاده می‌شود. نجفی [۷]، در حوزه‌های فاقد آمار هیدرومتری، می‌توان هیدروگراف واحد مصنوعی[۴] را با استفاده از روش‌های اشنایدر[۵] ۱۹۳۸، کلارک[۶] ۱۹۴۵، ۱۹۵۷ SCS، گری[۷] ۱۹۶۱ و ناش[۸]، استخراج نمود. در این میان کاربرد مدل مخزن خطی ناش به دلیل سادگی همواره مورد توجه بوده است. اساس هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش بر فرض رفتار آبخیز به‌عنوان آبشاری[۹] از مخازن خطی[۱۰] متوالی بنا نهاده شده است.

هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی مدل ناش به‌عنوان یک روش ایجاد آمار رواناب در مطالعات هیدرولوژیک است. در این راستا با استفاده از روش گشتاور اول و دوم بارش موثر و رواناب مستقیم، پارامترهای n و k در مدل مخزن خطی ناش محاسبه می‌شود. سپس با شبیه‌سازی فرایند بارش- رواناب، هیدروگراف جریان آبخیز جعفرآباد روندیابی می‌گردد. در ادامه میزان دقت و کارایی مدل مخزن خطی ناش، در برآورد هیدروگراف جریان، با معیارهای آماری مورد ارزیابی و بحث قرار می‌گیرد.

آگیر و همکاران [۸]، با در نظر گرفتن زیرحوزه‌های آبخیز اکسولا[۱۱] در شمال اسپانیا به عنوان مخازن ذخیره‌ای متوالی، یک روش ژئومورفولوژیکی هیدروگراف واحد را ارائه نمود و نتایج

3- Collins
4- Synthetic Unit Hydrograph
5- Snyder
6- Clark
7- Gray
8- Nash
9- Cascade
10- Linear Reservoir
11- Aixola

Archive of SID
www.SID.ir

اجرای آن را در ۱۸ رگبار با مدل هیدروگراف لحظه‌ای ناش مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که مدل یاد شده بهتر از مدل ناش قادر به برآورد هیدروگراف خروجی از آبخیز است. لوپز و همکاران[۱۴]، با درنظر گرفتن ۱۶۹ آبخیز کوچک زراعی در اسپانیا به‌عنوان آبشاری از مخازن خطی، با دو رویکرد زیرحوزه و مساحت‌های میان خطوط ایزوکرون فرایند بارش رواناب را با هیدروگراف واحد شبیه‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند که مدل نسبت به افزایش تعداد مخازن حساسیت زیادی از خود نشان نمی‌دهد. نجفی [۱۵]، با هدف تبدیل بارش موثر به رواناب، پس از تهیه‌ی مدل مفهومی فیزیوگرافیک و اجرای آن در آبخیز کلار دریافت که حداکثر خطای نسبی مدل در برآورد پارامترهای جریان به میزان ۵/۸ درصد است که در صورت استفاده از داده‌های بارش و تفکیک دقیق میزان بارش موثر، نتایج بهبود خواهد یافت.

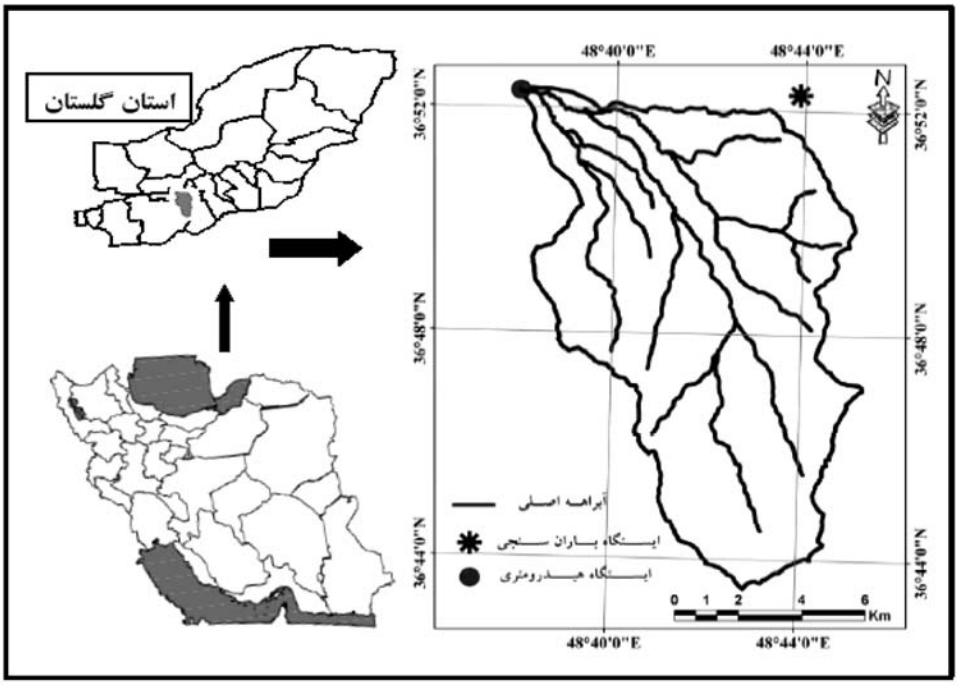
سینگ و همکاران[۱۸]، پس از توسعه‌ی مدل هیبرید با ایجاد یک کانال خطی میان دو مخزن متوالی در مدل ناش، اقدام به مقایسه‌ی نتایج سه مدل هیبرید، هیبرید توسعه یافته و ناش در پنج حوزه‌ی آبخیز نمودند و نتیجه گرفتند که مدل هیبرید توسعه یافته در آبخیزهای بزرگ، نتایج بهتری از سایر مدل‌ها ارائه خواهد داد. حشمت‌پور و همکاران [۱]، در مقایسه‌ی کارایی روش‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی ۸ رگبار به این نتیجه رسیدند که روش ژئومورفولوژیک به ترتیب نسبت به روش‌های ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS به ترتیب، ۱۰۶/۵۶، ۱۷۱/۱۲، ۱۰۶/۷۹ و ۱۱۲/۶۴ درصد کاراتر است. عرفانیان [۳]، در بررسی واکنش هیدرولوژیک آبخیز جزین سمنان با استفاده از روش‌های گوناگون هیدروگراف واحد لحظه‌ای نتیجه گرفت که دو مدل روسو و ناش در عین سادگی به منظور برآورد دبی اوج رواناب خروجی، دارای دقت بالایی هستند. مدل ناش دارای کمترین میانگین خطای نسبی در برآورد مولفه‌های جریان است و در برآورد شکل دقیق هیدروگراف رواناب خروجی روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک نسبت به سایر روش‌ها از کارایی بهتری برخوردار است.

همچنین کارایی روش هیدروگراف لحظه‌ای ناش در کشورهای لهستان، چین و ونزوئلا نیز مورد تایید قرار گرفته است. مرور منابع نشان می‌دهد که پژوهش‌های اندکی در مورد استفاده و ارزیابی درستی مدل‌های مخزن خطی، به ویژه مدل ناش، در کشور صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های آبخیز جعفرآباد

آبخیز جعفرآباد از زیرحوزه‌های گرگانرود با مساحتی در حدود ۱۰۹۴۷ هکتار در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق گرگان و در محدوده‌ی جغرافیایی ۴۸ َ ۳۷ ْ تا ۴۸ َ ۴۵ ْ طول شرقی و ۳۶ َ ۴۳ ْ تا ۳۶ َ ۵۲ ْ عرض شمالی واقع شده است. شیب زیاد حوزه یکی از عامل‌های تشدید کننده‌ی سیلاب در حوزه‌ی مورد مطالعه است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، میانگین بارش، ۵۶۶ میلی‌متر و کمینه و بیشینه‌ی ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۸۰ و ۲۵۳۰ متر است. بخش شایان توجهی از حوزه را جنگل تشکیل داده، خاک منطقه جزء گروه‌های هیدرولوژیک B و C است و زمین‌شناسی بیشتر مربوط به سازندهای خوش ییلاق، جیرود و لس است. در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیک از آمار دبی ایستگاه



شکل ۱ - موقعیت آبخیز جعفرآباد در ایران و استان گلستان

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۱ - ویژگی های رویدادهای انتخابی برای تجزیه و تحلیل

ردیف	تاریخ رویداد	مدت بارش موثر(ساعت)	میزان بارش (میلی متر)	میزان نفوذ (میلی متر درساعت)
۱	۱۳۶۹/۱۰/۱۵	۶	۲۵/۵	۲/۴۷
۲	۱۳۶۹/۰۸/۱۰	۴	۱۷/۸	۲/۶۸
۳	۱۳۷۰/۰۱/۲۴	۴	۱۳	۱/۲۸
۴	۱۳۷۰/۰۲/۱۳	۱۲	۴۴/۸	۱/۶
۵	۱۳۷۰/۰۳/۰۲	۲	۱۷/۷	۲/۵۸
۶	۱۳۷۲/۰۸/۲۳	۴	۲۷/۸	۲/۶
۷	۱۳۷۳/۰۲/۱۶	۸	۱۹/۲	۱/۲
۸	۱۳۷۴/۰۴/۰۱	۶	۴۶/۷	۲/۷
۹	۱۳۷۷/۰۲/۰۴	۶	۳۰/۲	۲/۲
۱۰	۱۳۷۷/۱۱/۰۱	۶	۱۲/۵	۰/۷۴
۱۱	۱۳۷۷/۱۲/۲۶	۸	۴۵/۳	۱/۵۳
۱۲	۱۳۷۸/۰۷/۲۱	۴	۶۳/۵	۴/۸
۱۳	۱۳۷۸/۰۸/۲۹	۴	۵/۷	۱/۲
۱۴	۱۳۷۹/۱۱/۱۶	۸	۲۲/۷	۱/۴
۱۵	۱۳۸۰/۰۶/۱۰	۲	۱۲/۴	۶
۱۶	۱۳۸۰/۰۳/۰۴	۸	۲۱/۴	۱/۵۲
۱۷	۱۳۸۰/۰۲/۲۸	۴	۵/۴	۰/۵
۱۸	۱۳۸۱/۰۱/۰۳	۴	۱۰/۳	۱
۱۹	۱۳۸۱/۰۳/۱۷	۲	۵	۲/۹
۲۰	۱۳۸۲/۰۳/۰۳	۴	۱۸/۷	۲
۲۱	۱۳۸۲/۰۴/۰۳	۴	۲۰/۱	۱/۹
۲۲	۱۳۸۳/۱۲/۱۵	۸	۱۵/۷	۱/۳
۲۳	۱۳۸۳/۱۲/۰۴	۲	۶/۸	۲/۶
۲۴	۱۳۸۳/۱۰/۰۷	۲	۶/۴	۲/۶
۲۵	۱۳۸۳/۰۹/۰۸	۴	۱۳	۱/۴
۲۶	۱۳۸۳/۰۸/۲۸	۲	۳۴	۸
۲۷	۱۳۸۳/۰۶/۲۸	۴	۷/۲	۱/۲
۲۸	۱۳۸۳/۰۴/۲۰	۴	۸/۷	۱
۲۹	۱۳۸۳/۰۴/۱۰	۴	۱۰	۱/۱
۳۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۸	۴	۱۷/۷	۲/۸
۳۱	۱۳۸۴/۰۶/۰۸	۲	۱۵/۸	۲/۶
۳۲	۱۳۸۴/۰۲/۱۶	۶	۴۵/۸	۴/۳
۳۳	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۸	۱۷/۳	۳

هیدرومتری تقی‌آباد و آمار بارش ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد استفاده شده است که در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های رویدادهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل ارائه شده است.

روش پژوهش

روش مخزن خطی در تعیین روند سیل در حوزه

بر اساس مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای، ناش در سال ۱۹۵۹ مدلی مفهومی ارائه نمود که به روش مخزن خطی شناخته شده است. سینگ و همکاران [۱۸] و اگیر و همکاران [۸]، فرمول بندی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش بر فرض رفتار آبخیز به عنوان آبشاری از مخازن خطی متوالی بنا نهاده شده است (شکل۲) که بارش موثر به صورت لحظه‌ای به نخستین مخزن وارد می گردد. در این روش حوزه‌ی آبخیز از n مخزن خطی تشکیل می شود که به صورت سری به هم ارتباط دارند به گونه‌ای که بین انبارش (ذخیره) و جریان خروجی هر مخزن رابطه S=ko برقرار است. فرض بر این است که پس از پر شدن نخستین مخزن، جریان خروجی وارد دومین مخزن و به همین ترتیب تا آخرین مخزن ادامه می یابد.

سیمکویکز [۱۹]، اگیر و همکاران [۸]، بنابراین روابط پیوستگی (رابطه‌ی۱) و ذخیره (رابطه‌ی ۲) برای هر یک از مخازن اعمال می شود.

$$I(t)-O(t) = k\left[\frac{do}{dt}\right] \qquad (۱)$$

$$S(t) = kO(t) \qquad (۲)$$

که در آن $I(t)$ ، ورودی به مخزن، شامل بارش یا رواناب و یا هر دو، $O(t)$، جریان خروجی از مخزن بوده و $S(t)$، میزان ذخیره و k ضریب ثابت ذخیره (متوسط مدت زمان فروکش) بر حسب زمان است.

میرباقری [۶]، چون برای نخستین مخزن در زمان t>0 جریان ورودی یعنی I=O است، رابطه‌ی (۱) به صورت رابطه‌ی (۳) تا (۶) نشان داده می شود:

$$-O_1 = k\frac{dO_1}{dt} \qquad (۳)$$

$$-\frac{1}{k}dt = \frac{dO_1}{O_1} \qquad (۴)$$

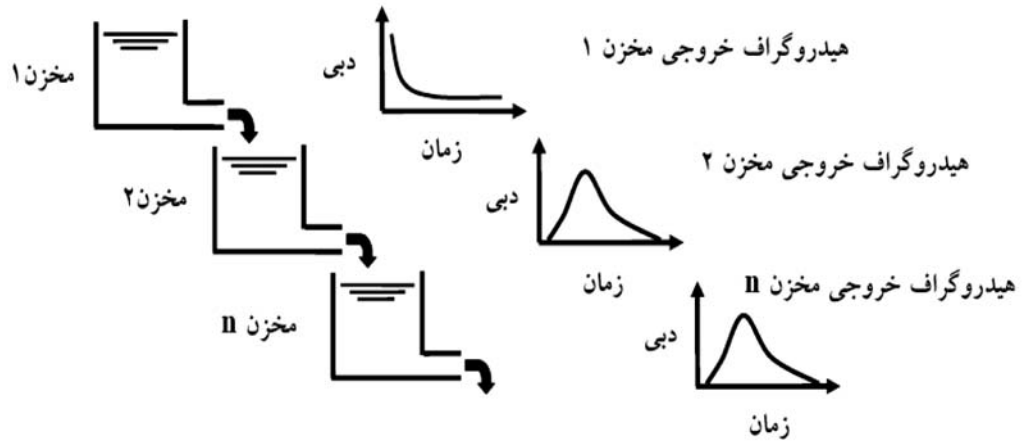
$$\ln O_1 = -\frac{1}{k}t \qquad (۵)$$

$$O_1 = \frac{1}{k}e^{-\frac{t}{k}} \qquad (۶)$$

رابطه‌ی (۶) جریان خروجی از نخستین مخزن را بیان می کند. در ادامه جریان خروجی نخستین مخزن به صورت جریان ورودی به مخزن بعدی در نظر گرفته می شود، رابطه‌های (۷) تا (۹) برای n مخزن به صورت سری به ترتیب زیر نوشته می شود:

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۲ - آبشار مخازن خطی متوالی در مدل ناش اگیر و همکاران [۸]

$$O_1 - O_2 = k\frac{dO_2}{dt} \qquad (۷)$$

$$O_2 = \frac{1}{k}\left[\frac{t}{k}\right] e^{-\frac{t}{k}} \qquad (۸)$$

$$O_3 = \frac{1}{2k}\left[\frac{t}{k}\right]^2 e^{-\frac{t}{k}} \qquad (۹)$$

با توجه به رابطه‌های (۱) و (۲) توصیف رفتار آبخیز بر اساس رابطه‌ی (۱۰) خواهد بود.

$$(kD+1)\, O = I \qquad (۱۰)$$

که در آن، D برابر با $\frac{do}{dt}$ است. سینگ و همکاران [۱۸]، با در نظر گرفتن رابطه‌ی (۱۰) خروجی به‌دست آمده از درون n مخزن خطی و ضریب ذخیره‌ی k، به صورت رابطه‌ی (۱۱) بیان خواهد شد.

$$O_n = \frac{1}{k\Gamma(n)}\left[\frac{t}{k}\right]^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \qquad (۱۱)$$

رابطه‌ی ۱۱، سیمکویکز [۱۹]، میرباقری [۶]، نجفی[۷]، یک توزیع گاما با پارامترهای n و k است که می‌توان آن را با استفاده از قضیه‌ی تلفیق لاپلاس اثبات نمود. در این توزیع پارامتر $\Gamma(n)$ تابع گامای n است که برابر با (n-1) فاکتوریل است.

برای محاسبه‌ی رابطه‌ی ۱۱، باید مقادیر n و k برآورد شود. روش‌های گوناگونی برای محاسبه‌ی مقادیر n و k وجود دارد. از میان این روش‌ها می‌توان به روش گشتاورها، روش سعی و خطا، روش کرولی[1] و روش تجربی ناش اشاره کرد. با توجه به پژوهش دونگ[۱۰]، حشمت پور و همکاران[۱]، اگیر و همکاران [۸]، از روش گشتاورهای اول و دوم بارش موثر و رواناب مستقیم، به عنوان مناسب‌ترین روش محاسبه‌ی مقادیر n و k، استفاده شده است روش گشتاورها به صورت رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ بیان می‌شود:

$$M_{Q1} - M_{I1} = nk \qquad (۱۲)$$

$$M_{Q2} - M_{I2} = n(n+1)k^2 + 2nkM_{I1} \qquad (۱۳)$$

1- Croley

کارآموز و عراقی‌نژاد [۴]، که در آن، M_{I1} و M_{I2}، به ترتیب، گشتاور اول و دوم بارش موثر نسبت به مبداء زمان تقسیم بر مجموع بارش مازاد و M_{Q1} و M_{Q2}، گشتاور اول و دوم رواناب مستقیم نسبت به مبداء زمان تقسیم بر مجموع رواناب مستقیم است.

اگیر و همکاران [۸] و مهدوی [۵]، در این پژوهش، ۳۷ رویداد سیل و بارش متناظر انتخاب شد. مقادیر دبی پایه به روش مستقیم تفکیک و سپس حجم رواناب، ارتفاع رواناب سطحی و میانگین شدت نفوذ (شاخص W)، به منظور محاسبه‌ی میزان و مدت بارش موثر، برای هر رویداد محاسبه گردید. سارنگی و همکاران [۱۷]، جریان رواناب مستقیم هر آبخیز بیش از هر عامل دیگری به ویژگی‌های رگبار بستگی دارد.

رویدادهای بارش و رواناب موجود به صورت تصادفی به دو دسته تقسیم شدند. به منظور درستی و دقت بیش‌تر در برآورد مقادیر ورودی مدل از ۳۳ رویداد مشاهداتی دسته‌ی اول برای محاسبه‌ی مقادیر پارامترهای n و k به روش گشتاورها استفاده شد. سپس مدل مخزن خطی ناش تهیه گردید. بر اساس نظر هاوز و آبراهامز [۱۱]، در ارزیابی کارایی مدل باید توجه نمود که پارامترهای ورودی با دقت بالایی برآورد شده باشند در غیر این صورت نتایج ارزیابی قابل اعتماد نخواهد بود، بنابراین تعداد رویدادهای بیش‌تری برای برآورد پارامترها در مرحله‌ی واسنجی در نظر گرفته شدند و اعتبار سنجی مدل برای چهار رویداد دسته‌ی دوم انجام گرفت. گفتنی است که از رویدادهای دسته‌ی دوم در مرحله‌ی برآورد پارامترها استفاده نشده است. سینگ و همکاران [۱۷]، میانگین مقادیر پارامترهای برآورد شده n و k در مرحله‌ی قبلی برای اعتبارسنجی و آزمون مدل ناش مورد استفاده قرار گرفت در مرحله‌ی بعد هیدروگراف واحد لحظه‌ای آبخیز جعفرآباد تهیه شد. سپس با درنظر گرفتن یکنواخت نبودن توزیع زمانی بارش در هیتوگراف و با در نظر گرفتن تاخیر و ضربان‌های بارش، هیدروگراف رواناب مستقیم شبیه سازی شد. نتایج مدل با هیدروگراف‌های رواناب مستقیم رگبارهای دسته‌ی دوم مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس پژوهش‌های سارنگی و همکاران [۱۷]، لهوم [۱۳]، صادقی و دهقانی[۹]، بهره‌مند[۱۱]، در ارزیابی کارایی مدل، معیارهای نش-

Archive of SID

www.SID.ir

ساتکلیف[1] (رابطه‌ی ۱۴)، میزان خطای نسبی در دبی پیک (رابطه‌ی ۱۵)، میزان خطای نسبی در زمان تا اوج (رابطه‌ی ۱۶)، خطای حجم جریان (رابطه‌ی ۱۷) و مجموع مربعات باقیمانده‌ها (رابطه‌ی ۱۸)، مورد استفاده قرار گرفت.

$$NS = 1 - \sum_{i=1}^{n}(Q_{Si} - Q_{Oi})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n}\left(Q_{Oi} - \overline{Q_O}\right)^2 \qquad (۱۴)$$

$$RE\%_{QP} = 100\left|\frac{Q_S(peak) - Q_O(peak)}{Q_O(peak)}\right| \qquad (۱۵)$$

$$RE\%_{Tp} = 100\left|Tp_S - Tp_O / Tp_O\right| \qquad (۱۶)$$

$$RE\%_{Vf} = \sum_{i=1}^{n} Q_{Si} \Big/ \sum_{i=1}^{n} Q_{Oi} - 1 \qquad (۱۷)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{oi} - Q_{si})^2 \Big/ n} \qquad (۱۸)$$

که در آنها Q_{si}، Tp_s دبی و زمان تا اوج شبیه‌سازی شده و Q_{oi} و Tp_o، دبی و زمان تا اوج مشاهداتی هستند، $\overline{Q_o}$ میانگین دبی‌های مشاهداتی و n تعداد مشاهدات است. بهره‌مند [۹]، صادقی و دهقانی [۲]، در معیار نش- ساتکلیف، مقدار یک نشان‌دهنده‌ی تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است و هر چه میزان خطای نسبی در دبی پیک و زمان تا اوج و خطای برآورد حجم جریان و مجموع مربعات باقیمانده‌ها، کم‌تر باشد، کارایی مدل بالاتر خواهد بود.

نتایج

همان گونه که در روش پژوهش اشاره شد، پس از محاسبه‌ی مقادیر پارمترهای n و k، به روش گشتاور، مدل هیدروگراف لحظه‌ای ناش، برای رویدادهای انتخابی اجرا و سپس هیدروگراف رواناب مستقیم هر رگبار، شبیه سازی شد. مقادیر پارمترهایn و k، برای ۳۳ رویداد در مرحله‌ی واسنجی در جدول (۲) ارائه شده است. میانگین مقادیر n و k، به ترتیب برابر ۱۵ و ۱/۰۶ ساعت محاسبه شد و این مقادیر میانگین برای اجرا و اعتبارسنجی مدل در چهار رویداد متفاوت دیگر در نظر گرفته شد.

شکل (۳) هیدروگراف خروجی از نخستین مخزن خطی در مدل ناش را نمایش می‌دهد و نیز در شکل (۴)، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش آبخیز جعفرآباد ارائه شده است.

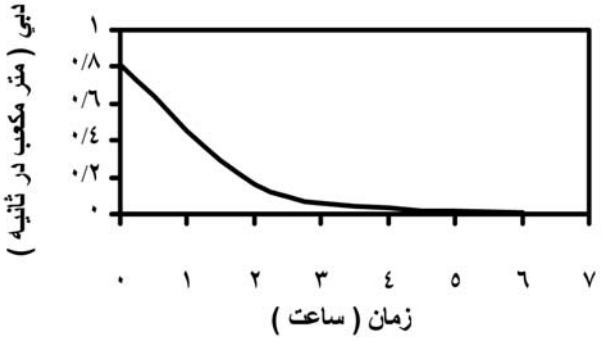
هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل مخزن خطی ناش در مرحله‌ی اعتبار سنجی در شکل‌های ۵ تا ۸ ارائه شده است. نتایج ارزیابی کارایی مدل ناش در برآورد ویژگی های هیدروگراف

جدول۲- مقادیر n و k بدست آمده از روش گشتاورها برای رویدادها در مرحله واسنجی

تاریخ رویداد	مقدار n	مقدارk	تاریخ رویداد	مقدار n	مقدار k
۱۳۶۹/۱۰/۱۵	۱۱	۰/۹۱	۱۳۸۱/۰۱/۰۳	۱۰	۱/۰۷
۱۳۶۹/۰۸/۱۰	۱۰	۱/۰۰	۱۳۸۱/۰۳/۱۷	۱۰	۱/۸۷
۱۳۷۰/۰۱/۲۴	۱۲	۱/۰۳	۱۳۸۲/۰۳/۰۳	۱۹	۱/۲۱
۱۳۷۰/۰۲/۱۳	۲۵	۱/۲۳	۱۳۸۲/۰۴/۰۳	۲۰	۱/۱۴
۱۳۷۰/۰۳/۰۲	۲۰	۰/۹۹	۱۳۸۳/۱۲/۱۵	۲۰	۰/۷۹
۱۳۷۲/۰۸/۲۳	۱۴	۰/۸۰	۱۳۸۳/۱۲/۰۴	۱۵	۱/۰۱
۱۳۷۳/۰۲/۱۶	۱۰	۲/۳۲	۱۳۸۳/۱۰/۰۷	۱۴	۰/۹۶
۱۳۷۴/۰۴/۰۱	۱۸	۰/۸۴	۱۳۸۳/۰۹/۰۸	۱۶	۰/۸۲
۱۳۷۷/۰۲/۰۴	۲۴	۰/۸۵	۱۳۸۳/۰۸/۲۸	۱۹	۰/۹۹
۱۳۷۷/۱۱/۰۱	۲۳	۰/۷۱	۱۳۸۳/۰۶/۲۸	۲۰	۰/۷۷
۱۳۷۷/۱۲/۲۶	۱۷	۰/۸۴	۱۳۸۳/۰۴/۲۰	۴	۳/۱۸
۱۳۷۸/۰۷/۲۱	۱۲	۱/۰۸	۱۳۸۳/۰۴/۱۰	۱۲	۰/۸۹
۱۳۷۸/۰۸/۲۹	۱۰	۰/۲۹	۱۳۸۴/۱۱/۲۸	۱۷	۰/۷۳
۱۳۷۹/۱۱/۱۶	۲۲	۰/۸۳	۱۳۸۴/۰۶/۰۸	۱۶	۰/۸۸
۱۳۸۰/۰۶/۱۰	۱۳	۰/۸۸	۱۳۸۴/۰۲/۱۶	۱۷	۰/۵۵
۱۳۸۰/۰۳/۰۴	۲۴	۰/۸۸	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۱۱	۱/۹۵
۱۳۸۰/۰۲/۲۸	۱۵	۰/۹۵	-	-	-

جریان با معیارهای آماری، در جدول (۳) آمده است.

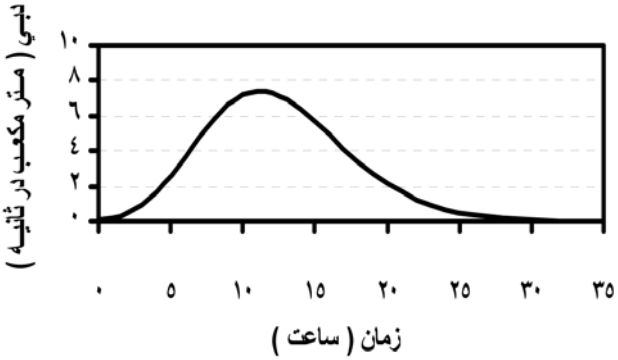
مقایسه‌ی ظاهری هیدروگراف‌ها و میانگین معیارهای ارزیابی در رویدادهای مورد نظر نشان می‌دهد که مدل مخزن خطی ناش مولفه‌های هیدروگراف جریان را به صورت مناسب و با دقت قابل قبول شبیه سازی می‌نماید.



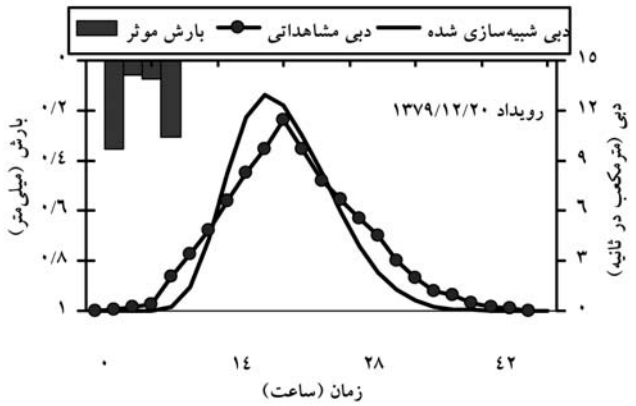
شکل ۳- هیدروگراف خروجی از نخستین مخزن خطی در آبخیز جعفرآباد

1- Nash-Sutcliffe

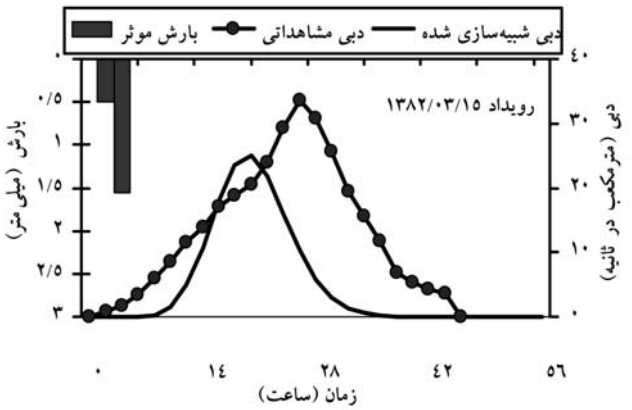
Archive of SID
www.SID.ir



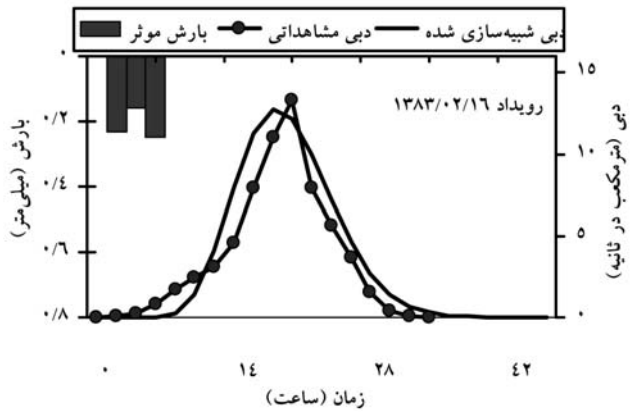
شکل ۴ - هیدروگراف واحد لحظه ای آبخیز جعفرآباد



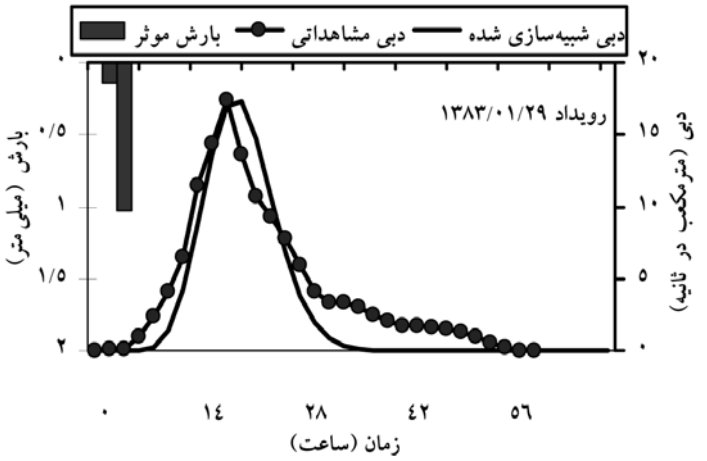
شکل۵- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد مورخ ۱۳۷۹/۱۲/۲۰



شکل۶- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد مورخ ۱۳۸۲/۰۳/۱۵



شکل۷- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد مورخ۱۳۸۳/۰۲/۱۶



شکل۸- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده رویداد مورخ ۱۳۸۳/۰۱/۲۹

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

روش مخزن خطی ناش به عنوان یک روش ایجاد آمار رواناب سطحی، از بارش‌های گوناگون در آبخیزهای بدون ایستگاه هیدرومتری، همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. در روش به‌کار رفته در این پژوهش، فقط با داشتن آمار بارش که در فاصله‌های زمانی مناسب اندازه‌گیری و ثبت شده است می‌توان هیدروگراف جریان سطحی ناشی از رگبار را محاسبه نمود. بر اساس پژوهش‌های صادقی و دهقانی [۲] و دونگ [۱۰]، دقت نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیک و جلوگیری از بروز خطا، به میزان زیادی به دقت برآورد پارامترهای ورودی بستگی دارد. با توجه به این که با افزایش مقدار n یا تعداد مخازن میزان، ضریب ذخیره‌ی (k)، کاهش می‌یابد می‌توان از مجموعه‌هایی از پارامترهای n و k استفاده نمود. در این پژوهش استفاده از روش گشتاورها و داده‌های بارش رواناب واقعی باعث بهبود محاسبه‌ی پارامترهای مدل ناش و نتایج شبیه‌سازی جریان شده است. همان‌گونه که در شکل‌های ۵ تا ۸ مشاهده می‌شود، شیب شاخه‌ی صعودی و نزولی هیدروگراف‌های محاسباتی با شبیه‌سازی شده مطابقت دارد، که نشان از محاسبه‌ی مناسب مقادیر n و k است، ولی وجود خطا در حجم هیدروگراف‌ها را می‌توان با نبود دقت در محاسبه‌ی میزان بارش مازاد نسبت داد زیرا در این پژوهش از روش میانگین نفوذ (شاخص W) استفاده شده است. گفتنی است که در صورت امکان و وجود داده‌های دقیق کاربری اراضی، جزئیات بافت خاک و میزان نفوذ خاک می‌توان از روش‌های دیگری مانند روش شماره‌ی منحنی و یا منحنی‌های تغییرات نفوذ برای محاسبه‌ی میزان دقیق بارش مازاد استفاده نمود که با نتایج نجفی [۱۵]، مبنی بر تاثیر دقت داده‌های بارش در نتایج شبیه‌سازی همخوانی دارد و نیز فاصله‌ی ایستگاه باران‌سنجی از مرکز ثقل حوزه نیز می‌تواند یکی از دلایل ایجاد خطا در نتایج شبیه‌سازی مدل باشد.

در این پژوهش دقت روش گشتاورها در تعیین ورودی‌های مدل ناش به میزان ۱۵ مخزن، هر کدام با ضریب ذخیره ۱/۰۶ ساعت، نیز مورد تایید قرار می‌گیرد که با نتایج لوپز و همکاران [۱۴]، در خصوص عدم نیاز به تعداد بالای n (تعداد مخازن) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی و مقایسه‌ی ظاهری در اشکال ۵ تا ۸، می‌توان نتیجه گرفت مدل مخزن خطی ناش، دقتی بالا در برآورد ویژگی‌های هیدروگراف جریان در آبخیز جعفرآباد دارد و با این حال می‌توان با صرف کم‌ترین زمان و هزینه برآوردی مناسب از واکنش آبخیز در مقابل بارش ورودی بدست آورد.

میانگین معیار نش- ساتکلیف به میزان ۷۰ درصد (جدول۳)، نشان‌دهنده‌ی درستی نتایج مدل در مدل‌سازی جریان سطحی در این پژوهش است که با نتایج لهوم [۱۳] و بهره‌مند [۹]، در میزان و استفاده از شاخص ارزیابی نتایج مدل، همسو است. درصد خطای پایین مدل در برآورد دبی اوج و زمان تا اوج، از موردهای شایان توجه در این پژوهش است که با نتایج حشمت‌پور و همکاران [۱]، در این خصوص مطابقت دارد. در مقابل، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دقت مدل ناش در برآورد حجم جریان چندان مناسب نیست. نتایج این پژوهش در مقایسه با نتایج آگیر و همکاران [۸]، ضعیف‌تر است زیرا آنها مدل ناش را با یک روش ژئومورفولوژیکی تلفیق کردند و نتایج بهتری از مدل ناش دریافت نمودند. همچنین سینگ و همکاران [۱۸]، با در نظر گرفتن کانال‌هایی در فواصل مخازن متوالی و توسعه‌ی مدل، با دقتی بالاتر هیدروگراف جریان را شبیه‌سازی کردند. عرفانیان [۳]، بیان نمود که از مدل آبشاری ناش، در عین سادگی می‌توان به منظور برآورد دبی اوج رواناب خروجی و شکل هیدروگراف رواناب خروجی استفاده نمود که نتایج این پژوهش، این موضوع را تایید می‌نماید. توصیه می‌گردد درستی نتایج مدل ناش در سایر آبخیزهای کشور، مورد بررسی قرار گیرد و با برآورد منطقه‌ای ضرایب آن جهت شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب در آبخیزهای فاقد آمار مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

از کارشناسان محترم شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان آقای مهندس حسن فرازجو و خانم مهندس فاطمه مرادی به جهت همکاری صمیمانه در تهیه‌ی آمار هیدرومتری و هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول۳- مقادیر معیارهای کارایی مدل ناش در مرحله اعتبارسنجی

رویداد	معیار نش- ساتکلیف	خطای نسبی زمان تا اوج(٪)	خطای نسبی دبی پیک(٪)	مجموع مربعات باقیمانده‌ها	خطای برآورد حجم جریان(٪)
۱۳۷۹/۱۲/۲۰	۰/۸۲	۱۰	۱۲/۷	۱/۴۱	۵/۹
۱۳۸۲/۰۳/۱۵	۰/۳۲	۱۱	۲۵/۳۷	۱۰/۸۹	۵۴/۱۸
۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۰/۸۷	۹	۴/۰۱	۱/۵۳	۱۹/۴۹
۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۰/۸۲	۱۱	۰/۷۵	۱/۹۳	۲۳/۴۹
میانگین	۰/۷۰	۱۰/۲۵	۱۰/۷۰	۳/۹۴	۲۵/۷۶

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

۱- حشمت‌پور، ع.، محسنی ساروی، م.، سعدالدین، ا. و عرفانیان، م. ۱۳۸۱. بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیلاب، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵ شماره ۱ صفحات ۳ تا ۲۵

۲- صادقی، س.ح.ر. و دهقانی، م. ۱۳۸۵. دقت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آبنمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آبنمود واحد سیل. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۳ شماره ۳. صفحات ۱۵۲ تا ۱۶۰

۳- عرفانیان، م. ۱۳۷۷. بررسی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در آبخیز جزین سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴- کارآموز، م. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۶۵ ص

۵- مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم ۴۰۱ ص

۶- میرباقری، ا. ۱۳۷۷. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۶۲ ص

۷- نجفی، م.ر. ۱۳۸۱. سیستم‌های هیدرولوژیکی مدل سازی بارش- رواناب، (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران، جلد (۱ و ۲) ۱۰۵۶ ص

8- Agirre, U., Goni, M., Lopez, J.J., and Gimena, F.N. 2005. Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. Catena. 64:321-332.

9- Bahremand, A. 2006. Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. Ph.D Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Belgium. 122p.

10- Dong, S.H. 2007. Genetic Algorithm Based Parameter Estimation of Nash Model. Journal of Water Resources Management Doi 10.1007/s11269-007-9208-6.

11- Howesa, D.A., and Abrahams, A.D. 2003. Modeling runoff and runon in a desert shrubland ecosystem, Jornada Basin, New Mexico. Journal of Geomorphology. 53: 45-73.

12- Kumar, R., Chatterjee, C., Lohani, A.K., Kumar, S., and Sing, R.D. 2002. Sensitivity Analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. Journal of Water Resources Management. 16: 263-278.

13- Lhomme, J., Bouvier, C. and Perrin, J.L. 2004. Applying a GIS-based geomorphological routing model in urban catchments. Journal of Hydrology. 299: 203-216.

14- Lopez, J.J., Gimena, F.N., Goni, M. and Agirre, U. 2005. Analysis of a unit hydrograph model based on watershed geomorphology represented as a cascade of reservoirs. Journal of Agricultural Water Management. 77: 128-143.

15- Najafi, M.R. 2003. Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff. Journal of Hydrology. 270: 273-281.

16- Sadeghi, S.H.R., and Dehghani, M. 2005. Efficiency of Clark instantaneous unit hydrograph in flood unit hydrograph regeneration. Journal of Iran Water Resources Management. 1(2): 97-99.

17- Sarangi, A., Madramootoo, C.A., Enright, P. and Prasher, S.O. 2007. Evaluation of three unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. Journal of Water Resources Management. 21:1127-1143.

18- Singh. P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K., and Chaube, U.C. 2007. An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. Journal of Hydrology. 336: 347- 360.

19- Szymkiewicz, R. 2002. An alternative IUH form the hydrological lumped models. Journal of Hydrology. 259: 246-253.

Archive of SID

www.SID.ir