تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷ (ص ۵۳۵-۵۲۷) DOI: 10.22059/ijswr.2017.222644.667592

تعیین پارامترهای بهینه ورودی و پاسخ مدل هیدرولوژیکی نش به دامنه تغییر مقادیر ورودی در آبخیز کوهستانی جعفرآباد

رئوف مصطفی‌زاده[1*]، شهناز میرزایی[2] و خدیجه حاجی[3]

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان
۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
(تاریخ دریافت: ۲۳/ ۹/ ۱۳۹۵- تاریخ بازنگری: ۱۸/ ۳/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۹/ ۷/ ۱۳۹۶)

چکیده

مدل‌سازی هیدرولوژیکی معمولاً ابزاری است که به‌وسیله آن برنامه‌ریزان منابع آب از پاسخ هیدرولوژیکی یک حوضه جهت پیش‌بینی سیل و مدیریت منابع آب استفاده می‌کنند. انتخاب پارامترهای مناسب مدل آبشاری نش، به‌عنوان یک مدل کاربردی جهت شبیه‌سازی هیدروگراف جریان سیل در آبخیزهایی با داده‌های محدود جریان نقش مهمی ایفاء می‌کند. هدف از پژوهش حاضر تعیین پاسخ مدل آبشاری نش به دامنه تغییرات مقادیر پارامترهای تعداد مخزن و ضریب ذخیره و ترکیب پارامترهای بهینه ورودی در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد آبخیز جعفرآباد استان گلستان می‌باشد. در این پژوهش ابتدا هیدروگراف واحد معرف حوزه با روش منحنی S برای ۴۳ رویداد همزمان بارش و رواناب برآورد گردید. سپس واکنش مدل نش با مقادیر تصادفی پارامتر n و k در ۳۲۲۰ شبیه‌سازی مصنوعی ارزیابی شد و دقت مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد با معیار نش-ساتکلیف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر متفاوتی از پارامتر n و k در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد عملکرد خوبی داشته و در دامنه بین ۱۰ تا ۳۰ برای پارامتر n و دامنه بین ۰/۰۱ تا ۳ برای پارامتر k مقدار معیار نش-ساتکلیف بالای ۰/۶ می‌باشد. پاسخ مدل هیدرولوژیکی نش در دسته پارامترهایی که k دارای مقادیر بالا بوده و n مقادیر پایین داشته است، نشان‌دهنده تطابق کامل شبیه‌سازی می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که مقدار پارامتر ضریب ذخیره (k) در تعیین ترکیب بهینه پارامترهای ورودی مدل نقش بیش‌تری دارد، در حالی‌که پاسخ مناسب مدل در مقادیر مختلف پارامتر تعداد مخزن (n) قابل دستیابی است. در مجموع تعیین دقیق پارامتر ضریب ذخیره در بهبود نتایج شبیه‌سازی جریان نقش موثرتری ایفاء می‌کند. رویکرد و نتایج تحقیق می‌تواند در تعیین پاسخ مناسب مدل به‌ازای پارامترهای ورودی در آبخیزهای مشابه و فاقد آمار استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تخمین پارامتر، دسته پارامتر بهینه، پارامتر تصادفی، واکنش مدل هیدرولوژی

مقدمه

یکی از ابزارهای مهم در مطالعات هیدرولوژیکی و پیش‌بینی رواناب مستقیم در یک حوضه آبخیز، مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشند که با توجه به اهمیت پیش‌بینی کمی فرایند بارش-رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی، انتخاب روش‌های مناسب با توجه به شرایط و خصوصیات حوضه و در راستای هدف برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد منابع آب ضروری است (Lee *et al*, 2003; Ghumman *et al*, 2011). هیدروگراف واحد، هیدروگراف شاخص حوضه بوده که ارتفاع رواناب مربوط به آن برابر یک واحد می‌باشد، دبی پایه ندارد و زمان تداوم بارندگی مازاد را نشان می‌دهد (Nash, 1959; Ramirez, 2000; Raghunath, 2006). در صورتی که زمان تداوم بارش مؤثر هیدروگراف واحد برابر با صفر باشد هیدروگراف واحد لحظه‌ای بوده و بیانگر توزیع رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد است که به‌طور لحظه‌ای و آنی در حوضه آبخیز اتفاق افتاده است (Raghunath, 2006; USDA, 2007; Singh, 1988). از ساده‌ترین و اجرایی‌ترین مدل در شبیه‌سازی بارش-رواناب و روندیابی جریان رودخانه، مدل مخزن خطی ارائه شده توسط زوخ در سال ۱۹۳۴ بوده که پایه‌ای برای سایر مدل‌ها می‌باشد (Chow *et al*, 1988). مدل مفهومی هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش[1] (IUH) بر مبنای مخازن خطی آبشاری[2] بوده و با

* نویسنده مسئول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

1- Instantaneous Unit Hydrograph
2- Cascade Linear Reservoir

در نظر گرفتن یک حوضه به صورت آبشاری از مخازن خطی با ثابت ذخیره یکسان (k) و یک واحد بارش لحظه‌ای در مخزن nام، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به صورت یک تابع توزیع گاما در خروجی حوزه محاسبه می‌کند (Nash, 1957; Behmanesh *et al*, 2016). پارامترهای ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بر اساس خصوصیات فیزیکی حوضه و یا داده‌ها و اطلاعات موجود محاسبه می‌شوند، بنابراین شناسایی آن‌ها در توسعه هیدروگراف رواناب مستقیم دارای اهمیت است (Bardossy, 2007; Ghumman *et al*, 2011). هم‌چنین در واسنجی مدل‌های هیدرولوژی از دو الگوریتم جستجوی محلی و جهانی بر اساس الگوی پاسخ مدل و دسته پارامترهای ورودی استفاده می‌شود (Sorooshian and Gupta, 1995). در روش‌های محلی یک دسته پارامتر ورودی در فضای پارامترها بر اساس تابع هدف برای مدل تعیین می‌شود، در حالی‌که در روش‌های جهانی جستجو در میان مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها انجام شده و سپس بر اساس مقدار بهینه تابع هدف، مقادیر نهایی پارامترهای مناسب انتخاب می‌شوند (Blasone *et al*, 2007). پارامترهای ورودی مدل مخزن خطی نش به چند روش محاسبه می‌گردند که از جمله می‌توان به روش گشتاور، کمترین خطای مربعات، حداکثر احتمال، حداکثر آنتروپی، روش ترسیمی هان، روش سعی و خطا و الگوریتم ژنتیک اشاره نمود (Nash, 1957; Zakizadeh and Talebi, 2016). در روش سعی و خطا مقادیر بهینه‌ی پارامتر n و k به صورت مجموعه‌هایی که بهترین برازش را با هیدروگراف واحد مشاهداتی جریان دارند، تعیین می‌گردند.

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد مدل نش و تعیین پارامترهای آن به روش‌های مختلف، مطالعه Ocak and Bayazit (2003) است. آن‌ها یک برنامه کامپیوتری را برای تبدیل بارش به رواناب بر اساس مدل مخزن خطی نش توسعه دادند و بهینه‌سازی پارامترهای n و k را معیاری برای اجرای مدل بیان کردند. Kumar *et al* (2004)، در حوزه Ajay در هند با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، مدل هیدروگراف لحظه‌ای کلارک و نش را با ۱۰ رویداد همزمان بارش و رواناب شبیه‌سازی کرده و پارامتر سرعت جریان و طول آبراهه را پارامتر حساس معرفی کردند. در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد در حوضه Aixola اسپانیا Agirre *et al* (2005)، از روش هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی بر پایه تقسیم زیرحوزه به‌عنوان مخازن خطی و هیدروگراف واحد نش استفاده کرده و بیان نمودند که تجزیه و تحلیل هیدروگراف واحد نشان دهنده رفتار فصلی رواناب می‌باشد. Hosseini *et al* (2006)، از دو روش حداقل مربعات معمولی و الگوریتم ژنتیک دو دویی به منظور تخمین پارامترهای مدل مفهومی نش در حوضه Heng-Chi تایوان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در شبیه‌سازی جریان بوده است. Bardossy (2007) با بیان اینکه آبخیزهایی با خصوصیات مشابه، رفتار هیدرولوژیکی مشابه دارند پارامترهای مدل نش را از یک حوضه به حوضه‌های مشابه دیگر انتقال داد. نتایج وی در منطقه‌ای-کردن مقدار پارامتر n و k در ۱۶ آبخیز در Rhine آلمان نشان داد که مقادیر پارامتر تعمیم داده شده به حوضه هدف عملکرد خوبی داشته است. برای تعیین پارامترهای مخازن خطی در سه حوضه واقع در Wuhan چین Li *et al* (2008) از هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش استفاده کردند. ایشان با فرض اینکه برای مخازن مختلف مقادیر ضریب ذخیره k یکسان نیست، با روش تبدیل لاپلاس[1] و توسعه رابطه هیدروگراف واحد لحظه‌ای، مقدار ضریب ذخیره را برای مخازن مختلف محاسبه نمودند. Bardossy and Sing (2008) تاثیر وجود خطا در داده‌های مشاهداتی را بر روی نتایج مدل HBV در آبخیز Neckar آلمان مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان مقادیر بهینه دسته پارامترهای ورودی مدل را در تکرارهای تصادفی مقادیر ورودی با استفاده از معیار کارایی نش-ساتکلیف بدست آوردند. Bahremand and Mostafazadeh (2009) از روش گشتاور برای محاسبه پارامترهای مدل نش در حوضه آبخیز جعفرآباد استان گلستان استفاده کرده و بعد از واسنجی و اعتبارسنجی بیان کردند که مدل نش توانایی شبیه‌سازی هیدروگراف جریان را در حوضه‌های فاقد آمار دارد. در مطالعه‌ای دیگر Ahmad *et al* (2010) با رویکرد بهینه‌سازی، پارامترهای مدل نش را برای حوضه Kaha در پاکستان تعیین کردند. آن‌ها بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل بیان کردند که مدل در حوضه‌های بزرگ به پارامتر n نسبت به پارامتر k حساس‌تر می‌باشد. Ghumman *et al* (2011)، با هدف منطقه‌ای و بهینه کردن پارامترهای مدل نش در شش حوضه کشور پاکستان، کاربرد مدل نش را مورد ارزیابی قرار دادند. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل با ۵۷ رویداد بارش و رواناب مشخص شد که مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم دارد. Karabova *et al* (2012)، پارامترهای مدل مفهومی نش را در حوضه جنگلی Vistucky creek اسلواکی تعیین کرده و ارتباط پارامتر n، k و زمان تأخیر را با خصوصیات بارش و رواناب مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که بین مدت بارش و زمان تأخیر رابطه وجود دارد. Magar and Jothiprakash (2014) با بیان اینکه

1- Laplace

دقت هیدروگراف واحد لحظه‌ای شبیه‌سازی شده به برآورد پارامترهای ورودی بستگی دارد، پارامترهای هیدروگراف واحد لحظه‌ای مدل نش را به روش گشتاور در حوضه آبخیز Koyna هند بدست آوردند. Jaiswal و همکاران (2014) در توسعه منطقه‌ای مدل نش از خصوصیات ژئومورفولوژی و ویژگی‌های رودخانه‌ای ۴۱ حوضه در منطقه مرکزی هند برای محاسبه پارامترهای n و k استفاده کرده و بیان نمودند که با روابط منطقه‌ای ساده، شبیه‌سازی جریان سیل را می‌توان برای حوضه‌های فاقد آمار انجام داد. Kumar Himanshu و همکاران (2015) در رودخانه هیمالیا با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی، پارامترهای مدل نش را برآورد کرده و بیان کردند که مدل نش توانایی برآورد مولفه‌های هیدروگراف و شبیه‌سازی کامل شکل هیدروگراف واحد را دارد. Zakizadeh and Malekinezhad (2015) در حوضه رودخانه منشاد در مرکز ایران، روش‌های مختلف محاسبه هیدروگراف واحد لحظه‌ای (ژئومورفولوژی، کلیماژئومورفولوژی، نش، روسو و سرویس حفاظت خاک) را مقایسه و ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل نش در برآورد دبی اوج، زمان اوج، حجم رواناب و شکل هیدروگراف رواناب خروجی نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارد. Liu و همکاران (2016) اثر داده‌های ورودی مکانی مختلف بر نتایج مدل MIKE-SHE در شبیه‌سازی مولفه‌های جریان رودخانه را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع زمانی-مکانی مولفه‌های حساس می‌تواند توسط روش آنالیز واریانس مشخص و برای ارزیابی اثر تغییر در داده‌های ورودی بر پاسخ هیدرولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. در ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های تخمین پارامترهای مدل‌های نش و هیبرید در حوضه الندچای آذربایجان غربی Behmanesh و همکاران (2016) پارامترهای مدل هیبرید را با یک روش تجربی و پارامترهای مدل نش را با هشت روش بدست آورده و بیان کردند که مدل نش عملکرد بهتری در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل دارد.

افزایش اهمیت مدیریت آبخیز در طی سال‌های اخیر به‌خصوص مدیریت منابع آبی، منجر به توسعه مدل‌های فراوانی در زمینه مدل‌سازی بارش-رواناب و شبیه‌سازی هیدروگراف جریان شده است که این امر به‌خصوص در حوزه‌های فاقد آمار حائز اهمیت خواهد بود. یکی از ساده‌ترین و کارایی‌ترین مدل‌ها در زمینه شبیه‌سازی هیدروگراف واحد آبخیز، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش می‌باشد که به‌دلیل سادگی و پارامترهای کم ورودی در آبخیزهای فاقد آمار به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در مدل مخزن خطی نش با توجه به اینکه مقادیر متعددی از پارامترهای n و k برای یک حوضه آبخیز می‌تواند عملکرد خوبی در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد لحظه‌ای داشته باشد، بنابراین انتخاب و شناسایی پارامترهای منحصر به‌فرد تقریباً غیرممکن خواهد بود (Beven and Freer, 2001). هدف از پژوهش حاضر تعیین پاسخ مدل آبشاری نش به دامنه‌ای از مقادیر پارامترهای تعداد مخزن و ضریب ذخیره و ترکیب‌هایی از دو پارامتر ورودی مدل است. علاوه بر این کارایی مدل در ترکیب‌های مختلف پارامترهای ورودی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تعیین دسته پارامترهای ورودی مدل با بهترین برازش در یک آبخیز جنگلی پر شیب استان گلستان از دیگر اهداف تحقیق حاضر است.

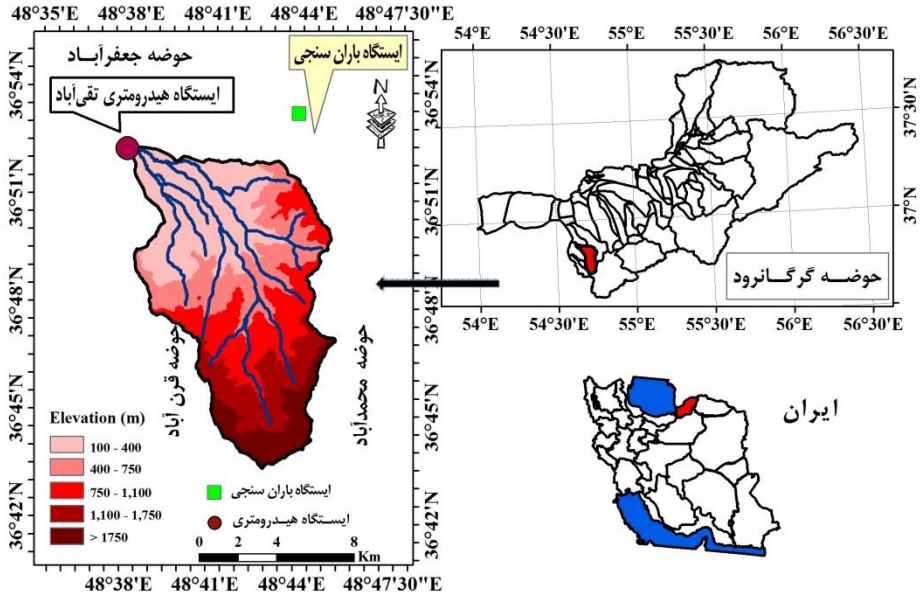
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز جعفرآباد در محدوده جغرافیایی ´۳۷ °۴۸ تا ´۴۵ °۴۸ طول شرقی و ´۴۳ °۳۶ تا ´۵۲ °۳۶ عرض شمالی با مساحت تقریبی ۱۱۰ کیلومتر مربع در ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرق گرگان واقع شده و دارای رودخانه‌ای به‌طول ۲۱ کیلومتر می‌باشد. محیط این حوضه برابر با ۵۲ کیلومتر بوده و شیب متوسط آن ۴۲ درصد می‌باشد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه نیز به‌ترتیب معادل ۸۰ و ۲۵۳۰ متر می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه آن ۵۶۶ میلی‌متر است. بخش قابل توجهی از این حوضه را مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل با شیب زیاد تشکیل می‌دهد. خاک منطقه مربوط به گروه‌های هیدرولوژیک B و C بوده و زمین‌شناسی آن نیز بیشتر مربوط به سازندهای خوش ییلاق، جیرود و لس است (Mostafazadeh *et al*, 2015). در شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز جعفرآباد در ایران و حوضه گرگانرود استان گلستان نشان داده شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش از آمار بارش ایستگاه باران‌سنجی ثبات فاضل‌آباد که در ۷ کیلومتری شرق آبخیز جعفرآباد قرار دارد و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد که در خروجی حوضه واقع شده است، استفاده گردید. داده‌های بارش و رواناب متناظر برای حوضه مورد مطالعه بر اساس طول دوره آماری مشترک ۱۹ ساله ایستگاه‌ها بین سال‌های ۶۷-۱۳۶۶ تا ۸۶-۱۳۸۵ استخراج گردید. جدول (۱) برخی از خصوصیات آماری داده‌های بارش و رواناب مشاهداتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز جعفرآباد در استان گلستان و ایران

جدول ۱. خصوصیات آماری داده‌های ساعتی بارش و رواناب مشاهداتی در آبخیز جعفرآباد استان گلستان

آماره / خصوصیات بارش و رواناب	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	ضریب تغییرات
مدت زمان بارش (ساعت)	۸/۱۹	۵/۰۳	۲۸/۰۰	۲/۰۰	۰/۶۱
بارش کل (میلی‌متر)	۲۰/۹۰	۱۳/۹۰	۶۳/۵۰	۵/۰۰	۰/۶۷
دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۲/۳۸	۱۸/۱۵	۹۸/۰۰	۰/۲۱	۱/۴۷
دبی میانگین (مترمکعب بر ثانیه)	۲/۸۵	۳/۰۹	۱۴/۰۲	۰/۰۳	۱/۰۸
ضریب رواناب (درصد)	۳۱/۹۹	۲۶/۷۱	۱۰۸/۶۲	۰/۳۸	۰/۸۴
شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)	۳/۰۰	۲/۲۸	۱۲/۲۵	۰/۷۸	۰/۷۶

برای برآورد هیدروگراف واحد حوضه به روش منحنی S، در این پژوهش از ۴۳ رویداد بارش و رواناب استفاده گردید. منحنی S از جمع منحنی‌های هیدروگراف واحد t ساعته متعددی که با تأخیر زمانی t ساعت نسبت به یکدیگر رسم شده‌اند، بدست می‌آید (USDA, 2007; Raghunath, 2006; Sen, 2008). در میانگین‌گیری معمولی دبی‌ها، با جمع عرض هیدروگراف‌های واحد مشاهداتی، تاثیر دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف‌های واحد مشاهداتی که ممکن است در زمان‌های مختلف رخ داده باشد در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین بعد از برآورد هیدروگراف واحد ۶ ساعته (برابر با زمان تأخیر حوضه) برای ۴۳ واقعه رواناب مشاهداتی، هیدروگراف واحد معرف حوضه به صورت میانگین دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف واحد رویدادها در نظر گرفته شد (Raghunath, 2006).

Nash (1957) برای بدست آوردن هیدروگراف واحد لحظه‌ای، با فرض اینکه عمل حوضه در برابر یک بارش لحظه‌ای معادل جریان از تعدادی مخازن خطی می‌باشد، معادله‌ای را پیشنهاد کرد که در آن حوضه به صورت یکسری از n مخزن خطی با ضریب ذخیره یکسان k در نظر گرفته می‌شود و خروجی از یک مخزن، ورودی مخزن بعدی می‌باشد.

$$u(t,k,n)=\frac{1}{k\Gamma(n)}\left(\frac{t}{k}\right)^{n-1}e^{-\frac{t}{k}} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

رابطه‌ی (۱) خروجی بدست آمده از درون n مخزن خطی و ضریب ذخیره‌ی k بوده و $\Gamma(n)$ تابع گامای n است که برابر با (n-1) فاکتوریل می‌باشد.

در ارزیابی پاسخ مدل‌های هیدرولوژی، مقادیر اولیه برای پارامترهای ورودی انتخاب شده و مدل با مجموعه داده‌های بهینه شده اجرا می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی مقایسه شده و تطابق نتایج مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در صورت تطابق کامل بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی، مقدار برازش برابر یک و تطابق ضعیف برابر صفر خواهد بود. در تشخیص تاثیر مقادیر ورودی در بهبود برازش مدل می‌توان از روش‌هایی هم‌چون سعی و خطا، نمایش نتایج در فضای دوبعدی، تاثیر پارامتر بر اوج هیدروگراف یا تدوام شاخه فروکش استفاده نمود (Beven, 2001). بنابراین در ادامه به روش سعی و خطا تعداد زیادی از مقادیر پارامترهای ورودی مدل نش به‌صورت تصادفی در نرم‌افزار Excel وارد مدل شده و هیدروگراف واحد شبیه‌سازی گردید. به منظور ارزیابی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد مدل نش با هیدروگراف واحد معرف حوضه از معیار نش-ساتکلیف (رابطه ۲) استفاده شد (Nash and Sutcliffe, 1970).

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_{oi} - \overline{Q_o})^2} \right] \quad \text{(رابطه ۲)}$$

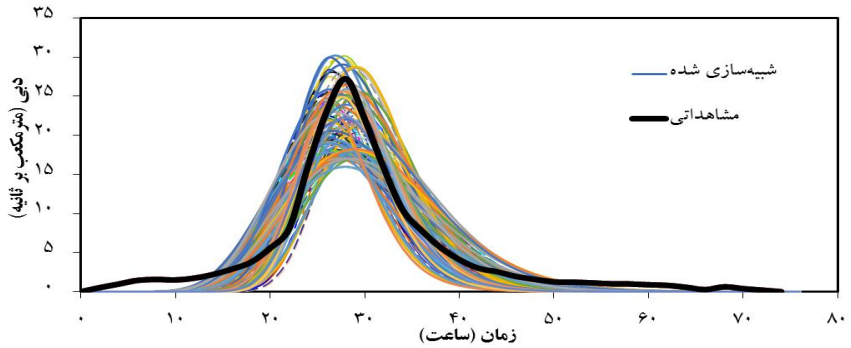
که در آن، Q_{Si}، دبی شبیه‌سازی شده، Q_{oi}، دبی مشاهداتی و $\overline{Q_o}$، میانگین دبی مشاهداتی می‌باشد. در این پژوهش برای دامنه تغییرات پارامتر n بین صفر تا ۶۰ و پارامتر k بین ۰/۰۱ تا ۱۰ شبیه‌سازی هیدروگراف واحد انجام شد. انتخاب دامنه عددی پارامترهای ورودی مدل بر اساس هیدروگراف واحد مشاهداتی حوضه مورد مطالعه و نیز ارائه پاسخ توسط مدل بر اساس منطقه بوده است. شبیه‌سازی ساعتی هیدروگراف واحد توسط مدل به تعداد ۳۲۲۰ بار با ترکیب تصادفی پارامترهای ورودی در محیط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. هم‌چنین برای تعیین ترکیب پارامترهای ورودی که با توجه به معیار نش-ساتکلیف عملکرد خوبی داشتند از نرم‌افزار سیگماپلات[1] استفاده شد. در ادامه ارتباط میان پاسخ مدل و پارامترهای ورودی بر اساس میزان کارایی مدل در دامنه‌های مختلف مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

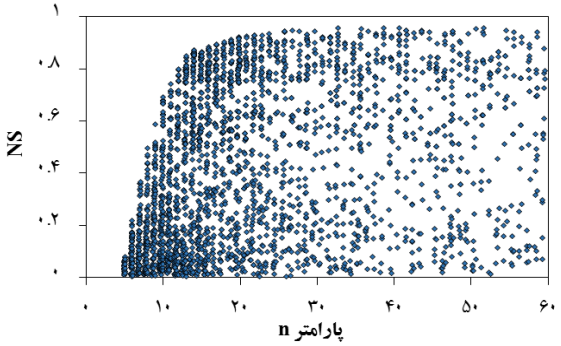
هیدروگراف واحد حوضه به‌صورت میانگین دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف‌های واحد ۴۳ رویداد به روش منحنی S برآورد گردید. هم‌چنین هیدروگراف واحد نش با تعداد زیادی از پارامترهای n و k که با هیدروگراف واحد مشاهداتی برازش داده شدند، شبیه‌سازی شد. شکل (۲) هیدروگراف واحد مشاهداتی شش ساعته و شبیه‌سازی شده با ضریب کارایی بالای مدل آبشاری نش در حوضه آبخیز جعفرآباد می‌باشد.

شکل‌های (۳) و (۴) عملکرد مدل نش در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد با تعداد زیادی از پارامترهای n و k در دامنه تغییرات پارامترهای ورودی برای هر پارامتر را نشان می‌دهد.

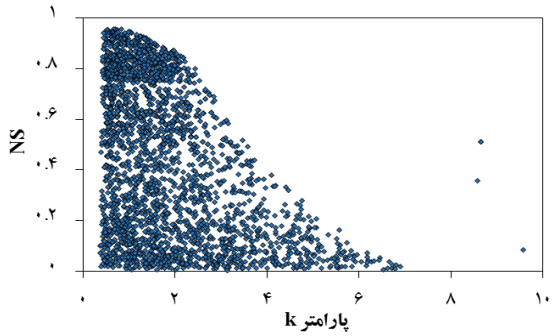
1- SigmaPlot



شکل ۲. هیدروگراف واحد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل نش در حوضه آبخیز جعفرآباد

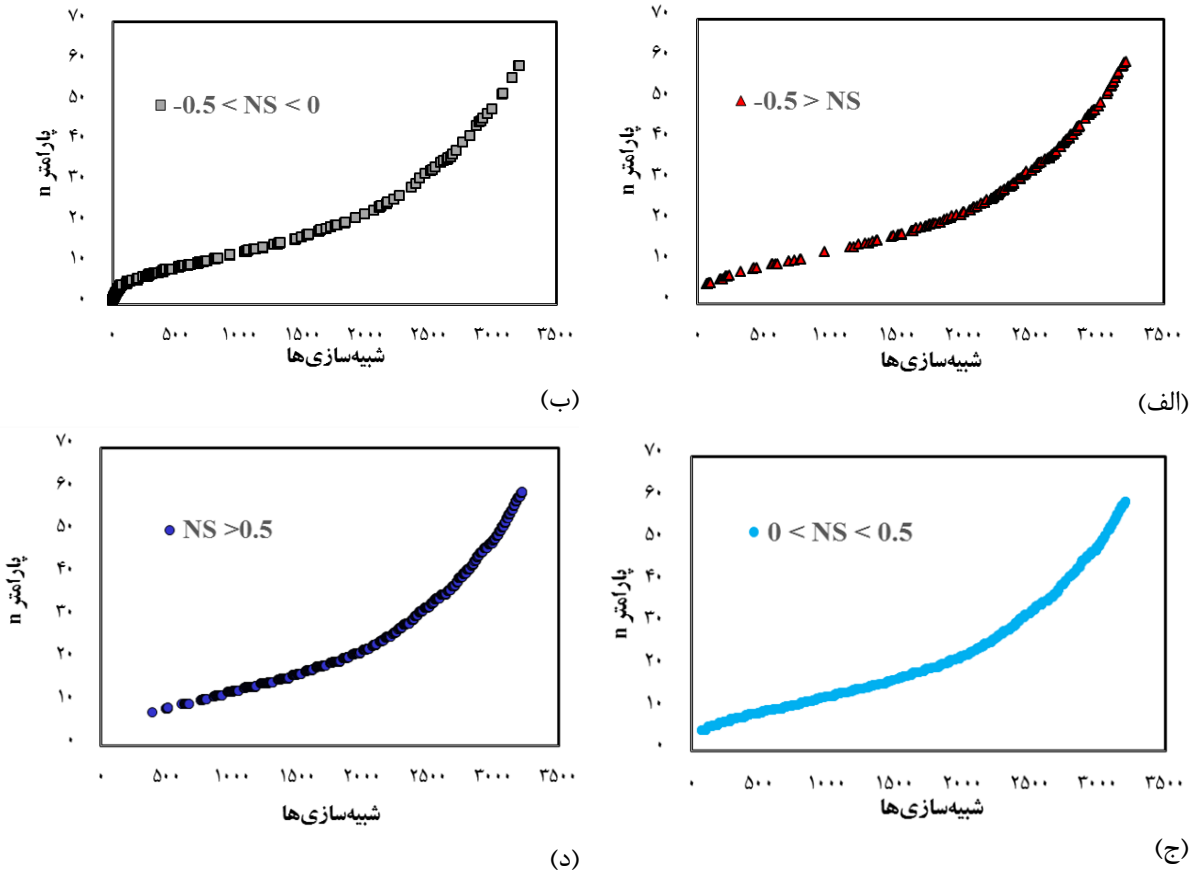


شکل ۳. مقادیر پارامتر n در عملکردهای متفاوت مدل آبشاری نش در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد

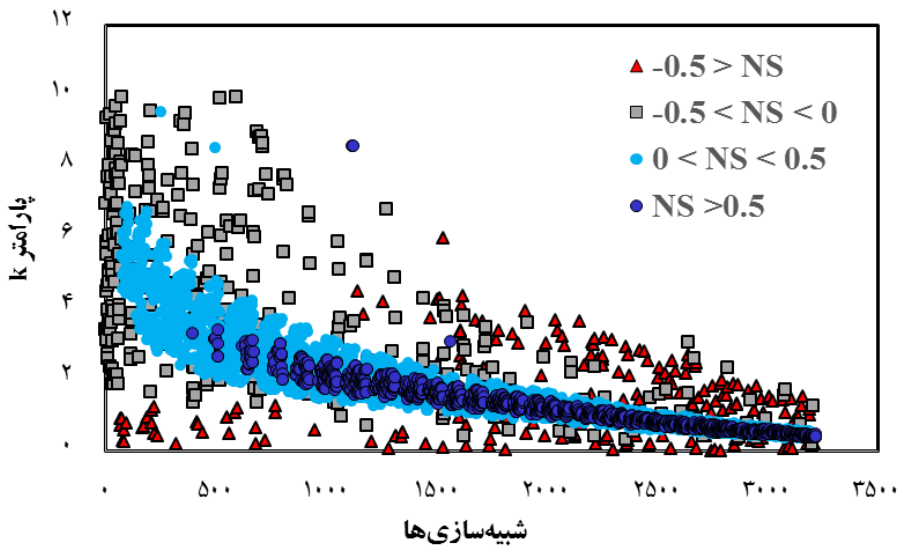


شکل ۴. مقادیر پارامتر k در عملکردهای متفاوت مدل آبشاری نش در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد

شکل‌های (۳) و (۴) نشان‌دهنده دامنه وسیعی از پارامترهای n و k مدل نش با عملکرد متفاوت در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد می‌باشد. برای هر پارامتر n و یا k انتخاب یک پارامتر دیگر می‌تواند عملکرد مدل را در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد نشان دهد. بنابراین انتخاب پارامترها در دامنه‌ای که مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد را داشته باشد، صورت می‌گیرد. شکل (۵) و (۶) دامنه ضریب کارایی مدل آبشاری نش در مقادیر پارامتر n و k را نشان می‌دهد.



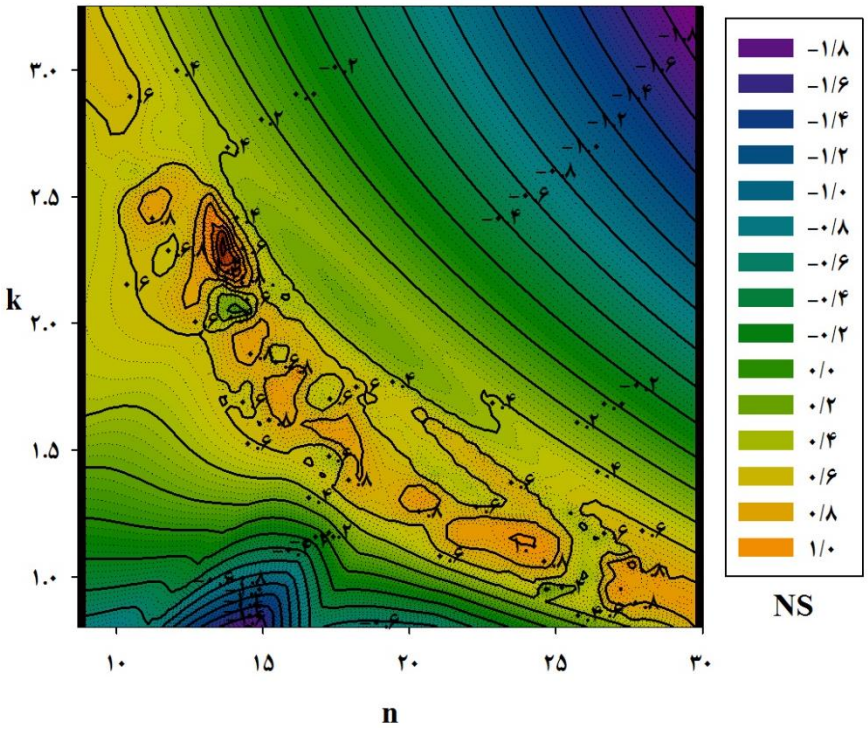
شکل ۵. دامنه ضریب کارایی مدل آبشاری نش در مقادیر پارامتر n



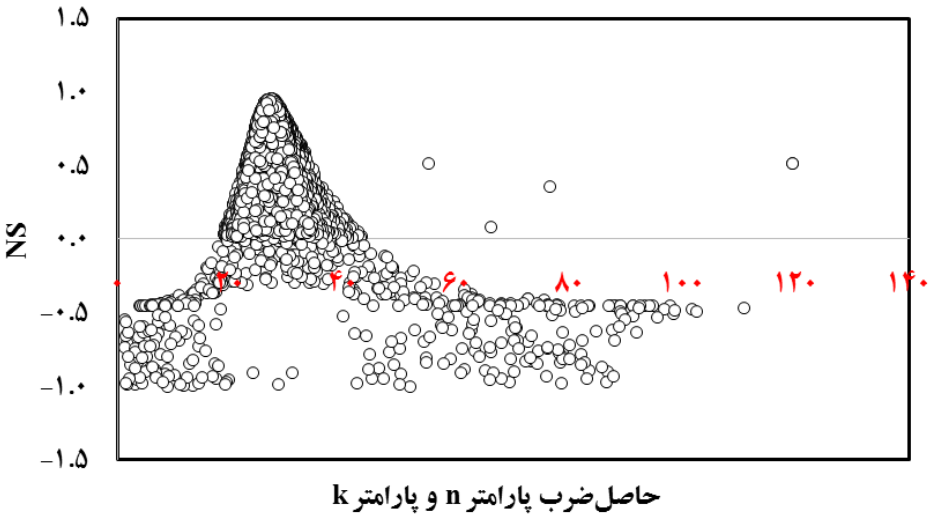
شکل ۶. دامنه ضریب کارایی مدل آبشاری نش در مقادیر پارامتر k

بر اساس شکل (۵) مدل نش در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد، در دامنه تغییرات پارامتر تعداد مخزن دارای عملکرد متفاوت است در حالی که با توجه به شکل (۶) مدل در دامنه بین ۰/۰۱ و ۶ پارامتر ضریب ذخیره عملکرد مناسب با توجه به ضریب کارایی دارد. شکل (۷) جفت پارامترهای n و k با عملکرد متفاوت در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۷)، مقادیر پارامتر n در دامنه بین ۱۰ تا ۳۰ و k بین ۰/۰۱ تا ۳ بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد داشته و نشان دهنده رابطه عکس بین مقادیر پارامتر n و پارامتر k با عملکرد قابل قبول می‌باشد. شکل (۸) مقادیر حاصل‌ضرب پارامتر تعداد مخزن و ضریب ذخیره و ضریب کارایی مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۷. مقادیر پارامتر n و k با عملکرد متفاوت در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد بر اساس معیار ضریب کارایی



شکل ۸. مقادیر حاصل‌ضرب پارامتر n و k در دامنه ضریب کارایی مدل آبشاری نش

شکل (۸) نشان‌دهنده این است که در مقدار حاصل‌ضرب پارامتر n و k بین ۴۰-۲۰ مدل آبشاری نش در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد عملکرد خوبی دارد. بر اساس نتایج، دامنه مقادیر ضریب کارایی بالا می‌تواند معیاری برای انتخاب دسته

پارامترهای مناسب مدل بر اساس شرایط آبخیز مورد مطالعه و سایر آبخیزهای مشابه باشد.

نتیجه‌گیری

مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش یکی از مدل‌های ساده و در عین حال کاربردی در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان سیل بخصوص برای حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد. پارامترهای ورودی n و k مدل نش از روش‌های مختلفی برآورد می‌شوند که هر کدام از این روش‌ها مقادیر متفاوتی از پارامترها را با عملکرد خوب در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد آبخیز ارائه می‌دهند. در پژوهش حاضر هیدروگراف واحد ۴۳ رویداد همزمان بارش و رواناب با استفاده از منحنی S محاسبه شده و هیدروگراف واحد معرف آبخیز به صورت میانگین دبی اوج و زمان تا اوج رویدادهای انتخابی برآورد گردید. در ادامه در نرم‌افزار Excel به‌صورت تصادفی مقادیر متفاوتی از پارامترهای ورودی نش وارد مدل شده و شبیه‌سازی هیدروگراف واحد انجام شد. دقت مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد در برازش با هیدروگراف واحد مشاهداتی با معیار کارایی نش-ساتکلیف مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس شکل (۳) و (۴) تعداد زیادی از مقادیر پارامتر n و k در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد عملکرد خوبی دارند که با نتایج Bardossy (2007) و Li *et al* (2008) همسو است. با توجه به شکل (۵) مدل نش در دامنه تغییرات مقادیر پارامتر n عملکرد متفاوتی داشته در حالی که با توجه به شکل (۶) در پارامتر k در دامنه بین ۰/۰۱ تا ۳ عملکرد مدل خوب بوده که نشان‌دهنده حساسیت مدل آبشاری نش به پارامتر ضریب ذخیره می‌باشد. بر اساس شکل (۷) که نشان‌دهنده جفت پارامترهای ورودی مدل با عملکرد متفاوت در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که مدل در دامنه بین ۱۰ تا ۳۰ برای پارامتر n و در دامنه بین ۰/۰۱ تا ۳ برای پارامتر k با مقدار تابع نش-ساتکلیف بالای ۰/۶ عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد داشته است. هم‌چنین در دامنه‌ای که هر دو پارامتر عملکرد خوبی دارند هر چه مقدار پارامتر n و یا پارامتر k بیش‌تر باشد، مقدار عددی پارامتر دیگر کوچک بوده است که با نتایج Bardossy (2007) در یک راستا است. در مجموع می‌توان گفت که انتخاب پارامتر n و k به ترتیب در دامنه بین ۳۰-۱۰ و ۳-۰/۰۱ در شبیه‌سازی هیدروگراف واحد برای حوضه جعفرآباد عملکرد خوبی خواهد داشت که با نتایج Bahremand and Mostafazadeh (2010) در محاسبه مقادیر تعداد مخزن و ضریب ذخیره با روش‌های مختلف تجربی همخوانی دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند در تحلیل پاسخ مدل و انتخاب دسته پارامترهای مناسب ورودی مدل و نیز واسنجی مدل آبشاری نش مورد استفاده قرار گیرد. قابل ذکر است که دامنه قابل قبول نتایج مدل در آبخیز مورد مطالعه بر اساس تغییر پارامترهای مدل تعیین می‌گردد. بر اساس نتایج می‌توان گفت که برای تعیین دقیق پارامترهای ورودی مدل می‌توان از نتایج پاسخ مدل در دامنه‌های مختلف برای آبخیزهای مشابه استفاده نمود. در مجموع می‌توان گفت که با تعیین دقیق مقدار ضریب ذخیره در مدل می‌توان در مقادیر مختلف n به شبیه‌سازی‌های قابل قبول دست یافت.

REFERENCES

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(2-3): 321-332.

Ahmad, M.M., Ghumman, A.R., Ahmad, S., and Hashmi, H.N. (2010). Estimation of a unique pair of Nash model parameters: an optimization approach. *Water Resour Manage*, DOI 10.1007/s11269-010-9590-3. 19p.

Bahremand, A., and Mostafazadeh, R. (2009). Mathematical computation of Nash model parameters for hydrograph prediction. *3rd International Conference on Approximation Methods and Numerical Modelling in Environment and Natural Resources*, France, 1-4.

Bahremand, A., and Mostafazadeh, R. (2010). Comparison of different methods for parameter estimation of Nash's Instantaneous Unit Hydrograph in Jafarabad Watershed. Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi), 86: 42-51. (In Farsi)

Bardossy, A. (2007). Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11: 703-710.

Bardossy, A., and Sing, K. (2008). Robust estimation of hydrological model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12: 1273-1283.

Behmanesh, J., Khanmohammadi, N., and AmirAtaei, B. (2016). Comparison evaluation of Nash and Hybrid models parameters estimation methods in order to model rainfall-runoff process (Case study: Alandchay Watershed). *Soil and Water Research*, 47(1): 25-33. (In Farsi)

Beven, K.J. (2001). *Rainfall-runoff modelling the primer*. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto. 360p.

Beven, K.J., and Freer, J.E. (2001). Equifinality, data assimilation, and data uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental

system using the GLUE methodology. *Hydrology*, 249: 11-29.

Blasone, R.S., Madsen, H., and Rosbjerg, D. (2007). Parameter estimation in distributed hydrological modelling: comparison of global and local optimisation techniques. *Nordic Hydrology*, 38 (4-5): 451-476.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill science. NY, USA.

Ghumman, A.R., Ahmad, M.M., Hashmi, H.N., and Kamal, M.A. (2011). Regionalization of hydrologic parameters of Nash mode. *Water Resour Manage*, 38(6): 735-744.

Hosseini, S.M., Zahraie, B., and Hourfar, A. (2006). Parameter estimation of Nash conceptual model using genetic algorithm and ordinary least square methods. *Water Resources Research*, 2(2): 10-12.

Jaiswal, R.K., Thomas, T., Galkate, R.V., Ghosh, N.C., Lohani, A.K., and Kumar, R. (2014). Development of geomorphology based regional Nash model for data scares central india region. *Water Resour Manage*, 28: 351-371.

Karabova, B., Sikorska, A.E., Banasik, K., and Kohnova, S. (2012). Parameters determination of a conceptual rainfall-runoff model for a small catchment in Carpathians. *Land Reclamation*, 44(2): 155-162.

Kumar Himanshu, S., Pandey, A., and Palmate, S.S. (2015). Derivation of Nash model parameters from geomorphological instantaneous unit hydrograph for a Himalayan river using Aster Dem. *Proceedings of International Conference on Structural Architectural and Civil Engineering*. 21-22, Nov, Dubai, 234-239.

Kumar, R., Chatterjee, C., Lohani, A.K., Kumar, S. (2004). GIUH based Clark and Nash models for runoff estimation for an ungauged basin and their uncertainty analysis. *International Journal of River Basin Management*, 2(4): 281-290.

Lee, J.H., Yoon, K.L., Jeong, S., and Lee, E.T. (2003). Mapping of Floodplain Boundaries Using High Spatial Resolution DEM, AUTH, Thessaloniki. *Greece*, XXX IAHR: 833-835.

Li, C., Guo, S., Zhang, W., and Zhang, J. (2008). Use of Nash's IUH and DEMs to identify the parameters of an unequal-reservoir cascade IUH model. *Hydrological Processes*, 22: 4073-4082.

Liu, J., Liu, T., Bao, A., De Maeyer, Ph., Kurban, A., and Chen, X. (2016). Response of hydrological processes to input data in high Alpine catchment: An assessment of the Yarkant river basin in China. *Water*, 8(181): 1-15.

Magar, R.B., and Jothiprakash, V. (2014). Nash IUH parameters estimation using method of moments-a case study. *Journal of Indian Water Resources Society*, 34(2): 1-8.

Mostafazadeh, R., Bahremand, A., Zabihi, M. (2015). Efficiency evaluation of Diskin method in derivation of Instantaneous Unit Hydrograph in Jafar-Abad watershed, Golestan Province. *Ecohydrology*, 2(2): 141-150. (In Farsi)

Nash, J.E. (1957). The form of the Instantaneouse Unit Hydrograph. *IASH Publication*, 45(3). 114-121.

Nash, J.E. (1959). Systematic determination of unit hydrograph parameters. *Geophysical Research*, 64(1): 111-115.

Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3): 282–290.

Ocak, A., and Bayazit, M. (2003). Linear reservoirs in series model for unit hydrograph of finite duration. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27: 107-113.

Raghunath, H.M. (2006). *Hydrology: Principles, Analysis and Design*. New Age International, 476p.

Ramirez, J.A. (2000). *Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics*. Chapter 11. Water Resources, Hydrologic and Environmental Sciences, 53p.

Sen, Z. (2008). *Wadi Hydrology*. Istanbul Technical University Turkey. Taylor & Francis Group, 347p.

Singh, V.P. (1988). *Hydrologic Systems*. Rainfall-Runoff Modeling. Volume 1, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 360 p.

Sorooshian, S., and Gupta, V.K. (1995). Model calibration. In Computer Models of Watershed Hydrology, V.P. Singh (Ed.). *Water Resources Publications*, Colorado, 23–68.

USDA, Natural Resources Conservation Service (2007). *Hydrographs*. Chapter 16. Part 630 Hydrology. National Engineering Handbook. 50p.

Zakizadeh, F., and Malekinezhad, H. (2015). Comparison of methods for estimation of flood hydrograph characteristics. *Russian Meteorology and Hydrology*, 40(12): 828-837.

Zakizadeh, F., and Talebi, A. (2016). Investigation of the efficiency of different methods for parameters estimation of Nash's Instantaneous Unit Hydrograph in simulating flood hydrograph (Case study: Manshad Watershed). *Watershed Management Research*, 7(14): 197-205. (In Farsi)