



برآورد دبی حداکثر سیلاب، ظرفیت انتقال و رسوب حوضه‌ی آبریز سنقر با استفاده از دو مدل GIUH و WinTR-55

حامد غلامیان¹، علیرضا ایلدرمی^{2*}

1- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

2- دانشیار، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تأیید نهایی مقاله: 1397/07/28

وصول مقاله: 1397/04/28

چکیده

در یک حوضه‌ی آبریز بین وقایع هیدرولوژیکی نظیر جریان‌های سیلابی با ساختار ژئومورفولوژیکی حاکم بر آن ارتباط منطقی وجود دارد. هدف از این تحقیق محاسبه‌ی دبی اوج هیدروگراف، وضعیت انتقال و رسوب حوضه‌ی آبریز سنقر از زیرحوضه‌های کرخه با استفاده از دو مدل GIUH و WinTR-55 است. ابتدا منطقه به 8 زیرحوضه و چهار بازه جریان (Reach) تقسیم و سپس پارامترهای فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی از قبیل مساحت و شکل، نسبت انشعاب، نسبت طول، سرعت جریان، شیب آبراهه، جنس و طول مسیر جریان، ضریب زبری مانینگ، شیب کناره‌ها و مقاطع آبراهه، نوع جریانات، بارندگی 24 ساعته در هر زیرحوضه تعیین و مقادیر دبی اوج هیدروگراف محاسبه گردید. بررسی‌ها بیانگر این است که مقادیر دبی اوج محاسباتی توسط مدل GIUH نسبت به مدل WinTR-55 به میزان 6/52 درصد بیشتر می‌باشد. نتایج نشان داد که در زیرحوضه‌های S₁ و S₂ و S₆ و S₈ به علت کوهستانی بودن و افزایش شیب و سرعت جریان، فرسایش فعال و ظرفیت انتقال و رسوب نیز بالا می‌باشد. درحالی‌که در زیرحوضه‌های S₃ و S₄ و S₅ و S₇ به دلیل شیب کم و کاهش سرعت جریان، ظرفیت انتقال پایین و رسوبگذاری اتفاق افتاده است. همچنین نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از معیارهای ارزیابی خطا نشان می‌دهد که مدل WinTR-55 نسبت به مدل GIUH از دقت بالاتری برخوردار است. بطوری‌که مقادیر R² و RMSE آن در هر دو مدل به ترتیب برابر 0/97، 0/90، 0/02 و 0/43 می‌باشد.

کلمات کلیدی: هیدروگراف، فرسایش و رسوب، سرعت جریان، ضریب مانینگ، حوضه‌ی آبریز سنقر

1- مقدمه

در حوضه‌های آبریز فاقد آمار یا دارای آمار ناقص، بررسی سیلاب، تهیه‌ی هیدروگراف و آنالیز انتقال رسوب با استفاده از روش‌های تجربی و یا مدل‌های مبتنی بر خصوصیات حوضه‌ی آبریز مناسب به نظر می‌رسد. در این رابطه مدل‌های بارش-رواناب مانند مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) و مدل هیدرولوژیکی WinTR-55 ابزار مناسبی برای مطالعه و برآورد دبی حداکثر هیدروگراف با استفاده از داده-های ژئومورفولوژیکی حوضه محسوب می‌شوند (والدرز و همکاران¹، 1979: 1421). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مدل‌سازی هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از متغیرهای حوضه و پارامترهای هیدروگراف بین پارامترهای ژئومورفولوژیکی و هیدروگراف همبستگی بالایی وجود دارد. جنا و تیوار² (2006) همچنین بررسی مدل‌های مختلف هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در حوضه نشان می‌دهد (کومار³، 2014) که بین داده‌های محاسباتی دبی اوج و زمان اوج هیدروگراف با داده‌های مشاهداتی همبستگی وجود دارد. تحقیقات ارزیابی تأثیر مخازن احداث شده در کاهش دبی سیل با استفاده از مدل HEC-HMS نیز نشان داده که مخازن موجود می‌توانند میزان دبی اوج را تا 26/6 درصد کاهش دهند. کانتی یایوچایی⁴ (2014). در این رابطه بررسی سیلاب حوضه‌ی آبریز سدها با روش‌های ژئومورفوکلیماتولوژی، ناش، روسو SCS نشان داده که روش ژئومورفوکلیماتولوژی نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر و کارآمدتر هستند نوری و همکاران⁵ (2014).

تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تأثیر سکونتگاه‌های روستایی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با استفاده از مدل SCS بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد و می‌باید در رابطه با کاربری اراضی مورد توجه قرار گیرد ندیری⁶ (2014). در حال حاضر برآورد دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌ی آبریز با استفاده از مدل WinTR-55 (نوری و زینی‌وند⁷، 2015) یکی از روش‌های متداول است که کاربرد بهتری پیدا نموده بطوری که در اکثر - بررسی‌های انجام شده با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای (GIUH) و مدل WinTR-55 در حوضه‌های - آبریز قربانی و همکاران⁸ (2015) تحقیقات نشان داده که این روش‌ها با کمترین خطا، دارای عملکرد قابل قبولی هستند و اختلاف کمی بین مقادیر دبی حداکثر شبیه‌سازی شده با دبی مشاهداتی وجود دارد. کرمی

1- Valdery et al.,
2- Jena and Tiwari
3- Kumar
4- Kuntiyawichai
5- Nouri et al.,
6- Nadiri
7- Zeynivand & Nouri
8- Ghorbani et al.,

و اسمعیل‌پور^۱ (2015). در این رابطه استفاده از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل HEC-HMS به منظور بررسی هیدروگراف‌های سیل حوضه نشان می‌دهد که افزایش CN و شیب در برخی زیرحوضه‌ها ممکن است موجب افزایش دبی اوج خروجی شده باشد. احمدی و همکاران^۲ (2016). نتایج این بررسی‌ها بیانگر دقت خوب تهیه‌ی هیدروگراف سیل و نقشه‌ی سیل‌خیزی خطر سیل با این مدل‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا بررسی پتانسیل سیلاب حوضه‌ی آبریز با استفاده از روش بارش- رواناب SCS همراه با ارزیابی تغییر کاربری اراضی و پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه به منظور افزایش دقت یکی از روش‌هایی است که کاربرد فراوانی یافته است و نتایج حاصله نشان می‌دهد که استفاده‌ی همزمان تغییر کاربری اراضی و پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه، احتمال رخداد سیلاب را بیشتر از سایر روش‌ها با دقت بهتری ارزیابی می‌کند قنواتی^۳ (2017). نتایج بررسی دبی اوج سیلاب با استفاده از دو روش نش و رسو و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) و توابع مفصل و مدل مفهومی مخزن خطی و مدل نش، (بیاتی و همکاران^۴، 2017: 160)، (خالقی و همکاران^۵، 2018: 143) نشان داده که تغییر کاربری اراضی می‌تواند نتایج بدست آمده در برآورد سیلاب را با دقت بیشتر و خطای کمتری ارائه نماید.

با توجه به بررسی تحقیقات صورت گرفته، هدف از این بررسی برآورد دبی حداکثر سیلاب، ظرفیت انتقال و رسوب حوضه‌ی آبریز سنقر کرمانشاه از زیر حوضه‌های آبخیز کرخه با استفاده از دو مدل GIUH و WinTR-55 می‌باشد، تا بتوان نقش و تأثیر برخی پارامترهای هیدروژئومورفولوژی را بر دبی حداکثر و هیدروگراف سیلاب حوضه طی دو دوره‌ی زمانی سال‌های 2000 و 2015 بررسی و دقت هر دو مدل را در هر نقطه از مسیر زهکشی بویژه برای حوضه‌های بدون داده‌های ایستگاه هیدرومتری ارزیابی نمود تا امکان استفاده از نتایج آن در حوضه‌های فاقد آمار فراهم شود.

2- مواد و روش

حوضه‌ی آبریز سنقر در شمال شرق استان کرمانشاه و بخشی از حوضه‌ی آبریز کرخه است که در محدوده‌ی جغرافیایی 47° 22' تا 47° 51' طول شرقی و در حد فاصل 34° 40' تا 34° 52' عرض شمالی واقع شده است (شکل 1). وسعت حوضه 6317 هکتار و حداقل و حداکثر ارتفاع آن 1500 و 3300 متر و میانگین

1- Karami & Esmaeilpour

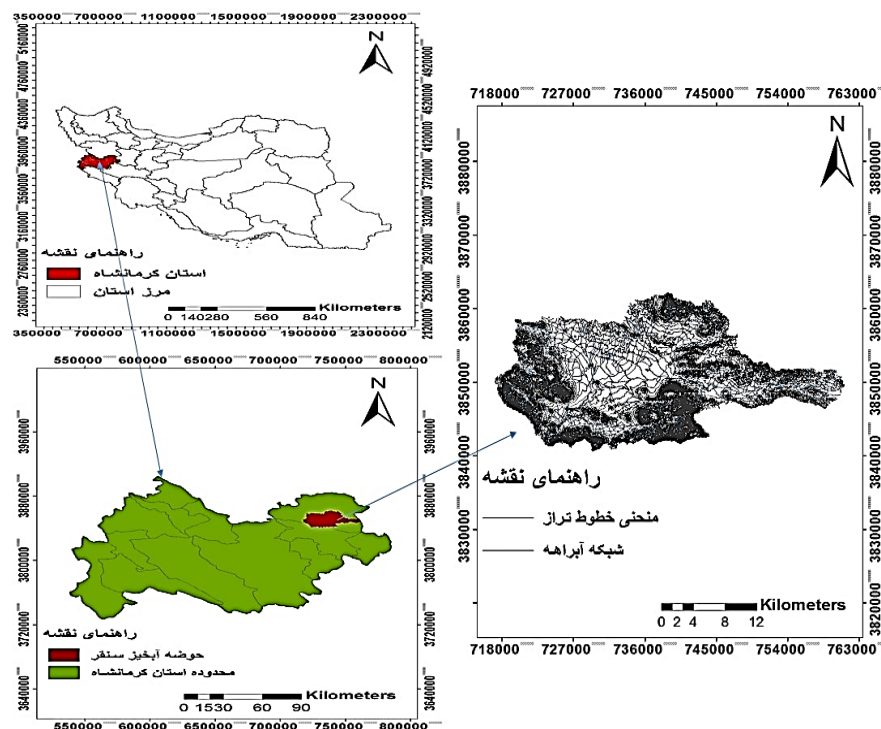
2- Ahmadi et al.,

3- Ghanavati

4- Bayati et al.,

5- Khaleghi et al.,

بارندگی سالیانه آن 393 میلی‌متر و میانگین سالانه دما نیز 14/3 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (منبع سازمان هواشناسی کشور).



شکل (1): موقعیت حوضه‌ی آبریز سنقر
Fig (1): Location of Sonqor basin

جهت انجام این تحقیق ابتدا داده‌های دبی مشاهداتی (روزانه) و بارندگی 24 ساعته طی دوره‌ی آماری (2000 تا 2015) از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS (سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی) نقشه‌های مورد نیاز از قبیل محدوده حوضه و شبکه‌ی زهکشی تهیه و پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبخیز، شامل: نسبت‌های انشعاب (R_B)، طول (R_L)، مساحت (R_A)، طول آبخیز (Km)، تراکم آبراهه‌ها (Km/KM^2)، شیب متوسط وزنی حوضه ($\%$)، ضرایب شکل هورتون و گراولوس و مشخصات مربوط به آبراهه جهت ورود به مدل محاسبه و تأثیر آن روی مقادیر دبی اوج و زمان اوج هیدروگراف با استفاده از مدل واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) برای دوره‌ی بازگشت‌های 2 تا 100 ساله برآورد گردید. سپس با استفاده از مدل WinTR-55 به منظور ایجاد الگوی بارش برای هر منطقه و تخمین رواناب، داده‌های حداکثر بارش 24 ساعته با دوره‌ی بازگشت معین، محاسبه و هیدروگراف واحد

به روش SCS ترسیم و مقادیر دبی اوج سیلابی و زمان تا اوج هیدروگراف برای هر زیرحوضه و خروجی آن با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف محاسبه و نتایج هر دو مدل ارزیابی شد.

معرفی مدل (WinTR-55)

این مدل با استفاده از داده‌هایی چون مساحت، پوشش گیاهی و CN هر قسمت از حوضه، طول، جنس، عرض مقاطع، شیب کناره و شیب بستر کانال‌ها و بارندگی 24 ساعته حوضه، مقادیر رواناب (دبی و سرعت) حاصله در هر ساعت پس از شروع بارندگی را محاسبه می‌نماید. جهت محاسبه زمان تمرکز هر زیر حوضه در مدل Win TR-55 باید پارامترهای شیب جریان، سرعت جریان، زمان طی مسیر¹ برای جریان ورقه‌ای و جریان متمرکز کم عمق و جریان کانال در آبراهه، توسط مدل محاسبه گردد. این پارامترها به ترتیب از طریق رابطه‌ی (1) تا (5) محاسبه می‌شوند (والدرز و همکاران²، 1979: 1423).

$$Slope = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (1)$$

$$V = \frac{1/49 \times R^{2/3} \times \sqrt{S}}{n} \quad (2)$$

$$T_t = \frac{0/007 \times (nL)^{0/8}}{\sqrt{p_2} \times S^{0/4}} \quad (3)$$

$$V_{(unpaved)} = 16/134\sqrt{S} \quad (4)$$

$$T_t = \frac{L}{V \times 3600} \quad (5)$$

در رابطه‌ی بالا به ترتیب H_1 ارتفاع نقطه ابتدایی مسیر جریان، H_2 ارتفاع نقطه پایانی مسیر جریان، L طول مسیر جریان یا طول آبراهه به متر؛ V سرعت متوسط جریان بر حسب فوت، R شعاع هیدرولیکی بر حسب فوت، S شیب آبراهه، n ضریب مانینگ؛ T_t زمان طی مسیر، P_2 بارندگی 24 ساعته با دوره‌ی بازگشت 2 سال بر حسب اینچ می‌باشد.

معرفی مدل ژئومورفولوژیکی (GIUH)

تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک اولین بار توسط رودریگوئز-ایتورب و والدرز در سال 1979 ارائه شد. این مدل با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز و سرعت اوج جریان، مقادیر دبی حداکثر و زمان اوج در حوضه را محاسبه می‌کند. در این مدل بین دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و زمان اوج (t_p) با سرعت جریان به ترتیب رابطه‌ی مستقیم و معکوس وجود دارد. پارامترهای فیزیوگرافی حوضه در مدل WinTR-55 و مدل GIUH بطور مشترک قابل استفاده هستند (اسمعی و عبدالهی^۱، 2012: 6). با مدل‌های WinTR-55، (GIUH) و پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبریز می‌توان مقادیر دبی حداکثر و زمان اوج هیدروگراف سیلاب را محاسبه نمود (لطفی^۲، 2009: 13). این پارامترها به ترتیب از طریق رابطه‌های (6 و 7) محاسبه می‌شوند.

$$q_p = \frac{1.31 R_L^{0.43}}{L_\Omega} (V) \quad (6)$$

$$t_p = 0.44 L_\Omega \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} V^{-1} \quad (7)$$

در رابطه‌های فوق q_p دبی اوج (برساعت)، t_p زمان اوج (ساعت)، L_Ω طول رودخانه با بیشترین رتبه در حوضه‌ی آبریز (کیلومتر)، V سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)، R_B و R_A و R_L به ترتیب نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول می‌باشند.

با توجه به درجه اهمیت سرعت جریان در برآورد دبی و زمان اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی، از رابطه‌های (8 و 9) و پارامتر موج جنبشی جهت محاسبه‌ی سرعت جریان استفاده شده است (محمدی و احمدی^۳، 2012: 6).

$$V_\Omega = 0.665 \alpha_\Omega^{0.6} (i_r A)^{0.4} \quad (8)$$

$$\alpha_\Omega = S_\Omega^{0.5} / nB^{2/3} \quad (9)$$

در این رابطه V_Ω سرعت جریان برحسب متر بر ثانیه، i_r شدت بارش برحسب سانتی متر بر ساعت، A مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع، S_Ω شیب آبراهه اصلی به متر بر متر در خروجی حوضه، n ضریب زبری مانینگ، B عرض جریان در خروجی حوضه برحسب متر و α_Ω پارامتر موج جنبشی می‌باشد.

آنالیز حساسیت مدل

جهت آنالیز حساسیت دبی اوج سیلاب حوضه از مقادیر شیب آبراهه از 20٪- تا 20٪+ با گام‌های زمانی 5٪ و از رابطه‌ی (10) استفاده شده است.

$$SEN = 100 \times \frac{New-Old}{old|PC|} \quad (10)$$

که در این رابطه SEN : اندازه حساسیت تابع هدف حاصل از تغییر در اندازه پارامتر، New : اندازه جدید خروجی مدل حاصل از پارامتر جدید، Old : خروجی اولیه مدل، PC : قدر مطلق درصد تغییرات در پارامتر می‌باشد.

واسنجی مدل¹

برای محاسبه‌ی خطای مدل در دوره‌ی بازگشت‌ها مختلف از رابطه‌ی زیر استفاده گردید.

$$P_E = \frac{|P_e - P_r|}{P_r} \times 100 \quad (11)$$

که در این رابطه P_E خطای برآوردی دبی اوج برحسب درصد، P_e مقدار دبی حداکثر برآورد شده و P_r دبی حداکثر ثبت شده است.

معیارهای بررسی عملکرد مدل

به منظور بررسی و ارزیابی نتایج حاصل توسط مدل WinTR-55 و مدل GIUH از دو آماره‌ی ضریب تبیین² (R^2) و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا³ (RMSE) استفاده شد. رابطه‌ی این دو آماره به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(O_i) - (P_i)]^2 \right)} \quad (12)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})}} \quad (13)$$

در رابطه‌ی بالا O_i مقادیر مربوط به داده‌های مشاهداتی، P_i مقادیر مربوط به داده‌های محاسباتی، \bar{O} میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد داده‌ها است.

3- بحث و نتایج

مقادیر دبی اوج و زمان اوج هیدروگراف در 8 زیرحوضه هیدرولوژیکی و چهار Reach (بازه ی جریان) بررسی گردید (شکل 2). Reach برابر است با فاصله بین دو نقطه ای که بین آن دو نقطه، دبی، عمق و سرعت جریان تقریباً ثابت است. سپس پارامترهای ژئومورفولوژیکی و مشخصات مربوط به آبراهه جهت ورود به مدل بررسی و تأثیر آن روی مقادیر دبی اوج و زمان اوج هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی (GIUH¹) برای دوره ی بازگشت های 2 تا 100 ساله برآورد گردید (جداول 1، 2 و 3). در مدل WinTR-55 به منظور ایجاد الگوی بارش برای هر منطقه و تخمین رواناب، داده های حداکثر بارش 24 ساعته با دوره ی بازگشت معین، محاسبه و هیدروگراف واحد به روش SCS ترسیم و وارد مدل شد (شکل های 3 و 4). سپس با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژیکی آبراهه اصلی مقادیر دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف برای هر زیرحوضه و خروجی آن با دوره ی بازگشت های مختلف محاسبه گردید (جدول 4).

جدول (1): پارامترهای ژئومورفولوژیکی برای هر زیرحوضه
Table (1): Geomorphological parameters for each sub basin

نام زیر حوضه	نسبت انشعاب (R _B)	نسبت طول (R _L)	نسبت مساحت (R _A)	طول آبریز (Km)	تراکم آبراهه ها (Km/KM2)	شیب متوسط وزنی حوضه (%)	ضریب شکل هورتون	ضریب گراولیوس
S ₁	3/83	3/31	3/14	5/14	49/50	32/84	0/28	1/41
S ₂	3/59	2/76	3/79	2/20	47/75	11/36	0/42	1/15
S ₃	4/16	1/98	4/37	6/4	51/47	25/11	0/32	1/46
S ₄	3/69	1/41	4/58	3/60	38/33	13/50	0/24	1/33
S ₅	3/11	1/99	3/22	9/08	50/72	29/41	0/25	1/56
S ₆	4/12	1/88	3/25	3/09	52/69	26/32	0/40	1/47
S ₇	4/75	1/64	3/76	4/05	56/93	32/11	0/24	1/44
S ₈	2/98	2/24	3/16	2/84	56/93	21/84	0/26	1/31
کل	3/78	2/15	3/66	9/67	44/96	19/64	0/18	2/76

جدول (2): مقادیر پارامترهای مربوط به آبراهه اصلی در هر زیرحوضه

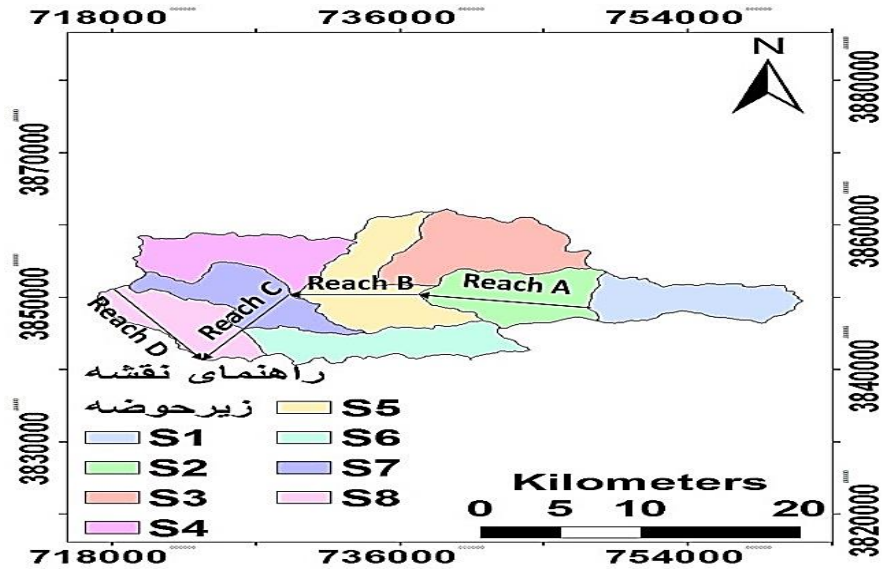
Table(2): The values of the parameters related to the main channel in each sub basin

نام زیرحوضه	طول آبراهه (m)	شیب متوسط آبراهه (m/m)	شیب کناره های آبراهه	عرض آبراهه (m)	سطح مقطع آبراهه m ²
S ₁	1638	0/106	1:2	2/56	5/56
S ₂	1497	0/098	1:2	2/25	5/25
S ₃	1766	0/046	1:3	2/76	5/75
S ₄	1688	0/017	1:3	2/27	5/26
S ₅	1833	0/052	1:3	3	5/98
S ₆	1950	0/072	1:3	2/37	5/36
S ₇	2002	0/018	1:3	2/16	5/16
S ₈	1862	0/091	1:3	3/24	5/95

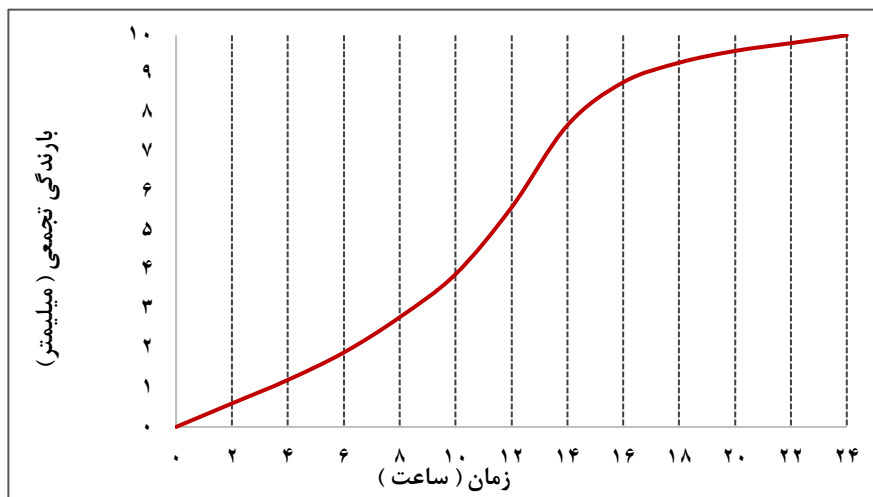
جدول (3): مقادیر دبی و زمان اوج محاسبه شده در روش GIUH

Table(3): Discharges values and peak times are calculated In the GIUH method

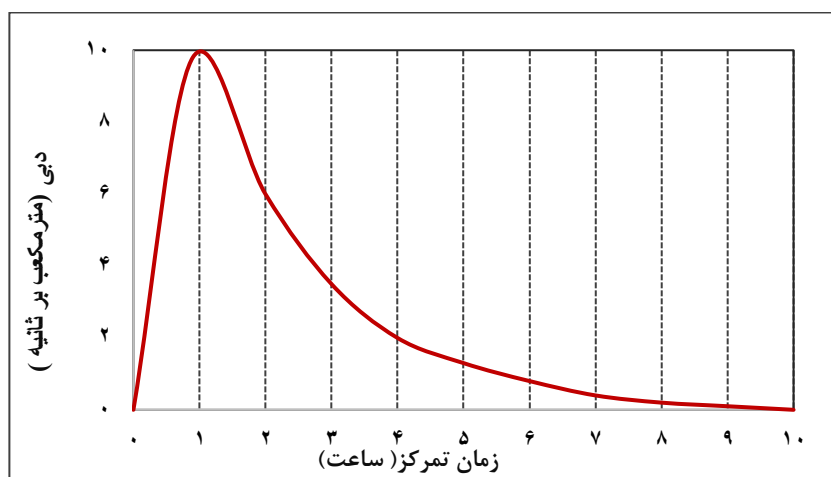
نام زیرحوضه	دوره‌ی بازگشت به سال	2	5	10	25	50	100
S ₁	دبی حداکثر m ³ /s	3/31	5/4	6/73	7/88	8/89	9/59
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/84	13/85	13/67	13/97	14/17	14/23
S ₂	دبی حداکثر m ³ /s	5/56	7/47	9/42	9/73	11/11	12/11
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/80	13/79	13/80	13/87	13/86	13/94
S ₃	دبی حداکثر m ³ /s	8/98	12/09	13/92	15/50	17/05	18/04
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/83	13/84	13/78	13/83	13/89	13/94
S ₄	دبی حداکثر m ³ /s	7/84	10/38	12/39	13/99	15/18	16/07
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/46	13/51	13/56	13/51	13/57	13/50
S ₅	دبی حداکثر m ³ /s	8/85	12/02	13/99	15/51	17/18	18/21
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/95	13/95	13/90	13/89	14/00	14/01
S ₆	دبی حداکثر m ³ /s	5/15	7/32	8/97	9/95	11/08	11/97
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/65	13/61	13/65	13/66	13/69	13/73
S ₇	دبی حداکثر m ³ /s	5/88	7/92	9/98	10/98	12/11	12/92
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/60	13/64	13/68	13/68	13/69	13/71
S ₈	دبی حداکثر m ³ /s	5/28	7/44	8/74	9/98	11/07	11/91
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/52	13/47	13/53	13/57	13/58	13/63
خروجی حوضه	دبی حداکثر m ³ /s	47/90	64/72	78/95	87/36	99/62	105/48
	زمان رسیدن به اوج (hr)	13/94	13/96	14/00	14/02	14/08	14/15



شکل (2): نقشه‌ی زیرحوضه‌ها و ریح بندی حوضه‌ی آبریز سنقر
Fig (2): Map sub basins and Rich classification of sonqor basin



شکل (3): نمودار تجمعی بارندگی حوضه
Fig (3): Collective rainfall chart of the basin



شکل (4): هیدروگراف واحد بدون بعد حوضه

Fig (4) Unified hydrograph Dimensionless of basin

جدول (4) مقادیر دبی و زمان اوج محاسبه شده توسط مدل WinTR-55

Table(4): Discharges values and peak times calculated by the WinTR-55 model

100	50	25	10	5	2	دوره‌ی بازگشت به سال	نام زیرحوضه
9/52	8/86	7/77	6/70	5/47	3/54	دبی حداکثر m^3/s	S ₁
14/22	14/14	13/98	13/99	13/93	14/02	زمان رسیدن به اوج (hr)	
11/72	10/95	9/68	8/43	6/96	4/65	دبی حداکثر m^3/s	S ₂
13/90	13/86	13/85	13/76	13/77	13/80	زمان رسیدن به اوج (hr)	
17/61	16/61	14/95	13/29	11/33	8/12	دبی حداکثر m^3/s	S ₃
13/92	13/86	13/84	13/81	13/82	13/82	زمان رسیدن به اوج (hr)	
15/28	14/44	13/04	11/65	9/98	7/26	دبی حداکثر m^3/s	S ₄
13/52	13/56	13/49	13/53	13/51	13/50	زمان رسیدن به اوج (hr)	
17/43	16/44	14/79	13/14	11/20	8/03	دبی حداکثر m^3/s	S ₅
14/00	14/02	13/89	13/89	13/92	13/93	زمان رسیدن به اوج (hr)	
11/33	10/58	9/36	8/15	6/73	4/49	دبی حداکثر m^3/s	S ₆
13/73	13/69	13/64	13/63	13/60	13/62	زمان رسیدن به اوج (hr)	
12/25	11/53	10/34	9/16	7/76	5/49	دبی حداکثر m^3/s	S ₇
13/69	13/66	13/65	13/67	13/63	13/59	زمان رسیدن به اوج (hr)	
11/15	10/49	9/37	8/27	6/96	4/86	دبی حداکثر m^3/s	S ₈
13/65	13/55	13/54	13/50	13/50	13/54	زمان رسیدن به اوج (hr)	
104/59	98/31	87/80	77/46	65/20	45/53	دبی حداکثر m^3/s	خروجی حوضه
14/16	14/09	14/03	14/00	13/98	13/95	زمان رسیدن به اوج (hr)	

تحلیل دبی حداکثر سیلاب، ظرفیت انتقال و رسوب حوضه

نتایج مربوط به برآورد سرعت انواع جریانات در هر زیر حوضه با مدل WinTR-55 در دوره ی (2000-2015) نشان می‌دهد که جریان ورقه‌ای در حوضه حالت سطحی و سیلابی داشته و داخل کانال نیستند. بعلاوه تناوب جریان کم، اما مقدار و حجم آب زیاد است. در حالی که جریانات متمرکز و کانالی حالت سیلابی داشته و داخل کانال یا آبراهه‌های کوچک و یا بزرگ بطور متمرکز جریان دارند (جدول 5).

جدول (5): نوع، سرعت، طول و شیب جریان محاسبه شده با مدل WinTR-55

Table (5): Type length ratio, flow velocity, channel gradient calculated with WinTR-55 model

نام زیرحوضه	نوع جریان	طول جریان m	شیب جریان m/m	ضریب زبری مانینگ	سرعت اولیه جریان m/s
S ₁	ورقه‌ای	10/61	0/13	0/17	2/72
	کانالی	1638	0/106	0/17	
S ₂	ورقه‌ای	7/88	0/2	0/13	2/82
	کانالی	1497	0/098	0/13	
S ₃	ورقه‌ای	8/92	0/12	0/41	1/76
	کانالی	1766	0/046	0/41	
S ₄	ورقه‌ای	8/13	0/065	0/13	1/21
	کانالی	1688	0/017	0/13	
S ₅	ورقه‌ای	18/86	0/13	0/15	1/95
	کانالی	1833	0/052	0/15	
S ₆	ورقه‌ای	7/81	0/26	0/15	2/48
	کانالی	1950	0/072	0/15	
S ₇	ورقه‌ای	20/2	0/15	0/17	1/21
	کانالی	2002	0/018	0/17	
S ₈	ورقه‌ای	10/08	0/37	0/011	2/94
	کانالی	1862	0/091	0/011	

مقادیر دبی‌های اوج برآورد شده توسط مدل GIUH به طور متوسط 6/52 درصد بیشتر از مدل WinTR-55 برآورد شده و در همه‌ی زیرحوضه‌ها غیر از زیرحوضه S₁ و در خروجی حوضه نسبت به مدل WinTR-55 افزایش را نشان می‌دهد. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد در زیرحوضه S₁ به علت وجود سازه‌های آبخیزداری بتنی- ملاتی در آبراهه‌ها دبی حداکثر در سال 2015 به طور متوسط 0/35 مترمکعب برثانیه برابر 4/11 درصد نسبت به سال 2000 کاهش یافته است. بیشترین افزایش دبی در

زیرحوضه S_6 با مقدار $24/88$ درصد و زیرحوضه‌ی S_8 با مقدار $22/44$ درصد در سال 2015 نسبت به سال 2000 اتفاق افتاده است که علت آن کاهش وسعت اراضی مرتعی و کوهستانی بودن این زیرحوضه‌ها و نقش شیب در افزایش دبی اوج می‌باشد. مقادیر دبی برآورد شده در این زیرحوضه‌ها توسط مدل GIUH به ترتیب برابر $8/31$ و $6/67$ درصد افزایش، نسبت به دبی‌های برآورد شده توسط مدل WinTR-55 را نشان می‌دهند که به علت افزایش مقادیر شیب و نقش آن در دبی‌های محاسباتی در هر دو مدل می‌باشد. همچنین بیشترین افزایش دبی در زیرحوضه S_3 به مقدار $15/29$ درصد در سال 2015 نسبت به سال 2000 مشاهده می‌شود، که علت آن شیب زیاد و کوهستانی بودن این زیرحوضه می‌باشد. به طور کلی تغییرات دبی محاسبه شده با GIUH نسبت به دبی محاسباتی توسط مدل WinTR-55 در خروجی حوضه به طور متوسط به میزان $1/76$ درصد افزایش و در زیرحوضه‌ی S_1 به میزان $1/7$ درصد کاهش یافته است. در زیرحوضه‌های $S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ و S_8 به ترتیب به میزان $7/31, 5/13, 5/98, 6/3, 8/31, 5/8$ و $6/67$ درصد بطور متوسط افزایش داشته است (جدول 3 و 4). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در زیرحوضه‌های S_1 و S_2, S_6 و S_8 بعلا کوهستانی بودن سرعت جریان بالا بوده و فرسایش و ظرفیت انتقال و رسوب نیز افزایش یافته و در زیرحوضه‌های S_3 و S_4 و S_5 و S_7 به دلیل شیب کم و کاهش سرعت جریان ظرفیت انتقال پایین آمده و رسوبگذاری اتفاق افتاده است.

نتایج حساسیت مدل

نتایج نشان می‌دهد که شیب آبراهه در تغییرات دبی خروجی تاثیر بسیار کمی دارد (شکل 5). مقایسه‌ی نتایج ارزیابی دبی اوج توسط دو آماره (R) و (RMSE) نشان از کارایی خوب هر دو مدل دارد. بطوری‌که مقدار ضریب همبستگی در مدل GIUH برابر $0/90$ و مقدار ضریب R در مدل WinTR-55 برابر $0/97$ می‌باشد. اما کارایی مدل WinTR-55 نسبت به مدل GIUH در ارزیابی از دقت بالاتری برخوردار است (جدول 6 و شکل‌های 6 و 7). میزان خطای مدل در برآورد دبی با دوره‌ی بازگشت 100 ساله با کمترین مقدار برابر $7/6$ درصد و در دبی با دوره‌ی بازگشت 5 ساله با بیشترین مقدار خطا برابر با 34 درصد است (جدول 6 و 7). بررسی مقادیر RMSE در ارزیابی دبی‌های مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل WinTR-55 و مدل GIUH نشان می‌دهد که اختلاف بسیار ناچیز می‌باشد.

جدول (6): نتایج ارزیابی داده های دبی مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل WinTR-55 در برآورد دبی های حداکثر حوضه (دوره ی آماری 2000-2015)

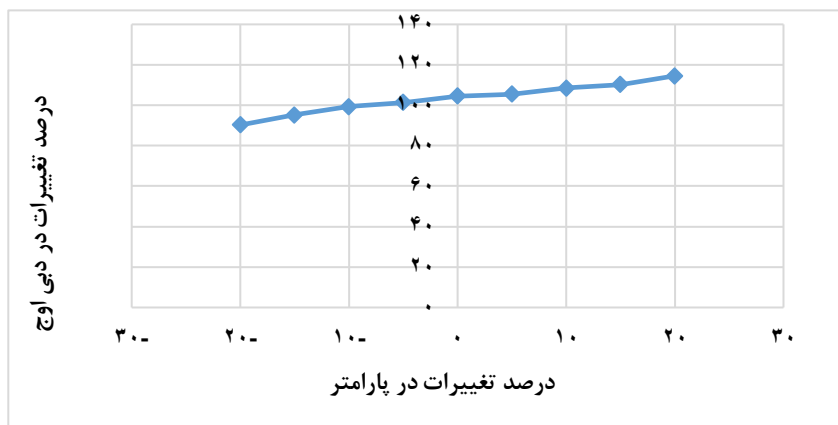
Table (6): The results of the evaluation of Computational and observational Discharge data by the (WinTR-55 model in estimating the maximum basin discharge (statistical period 2000-2015)

دوره ی بازگشت	2	5	10	25	50	100
درصد خطا	13/1	34	31/2	21/8	17/5	7/6
RMSE	0/03	0/12	0/083	0/064	0/045	0/02

جدول (7): نتایج ارزیابی داده های دبی مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل GIUH در برآورد دبی های حداکثر حوضه (دوره ی آماری 2000-2015)

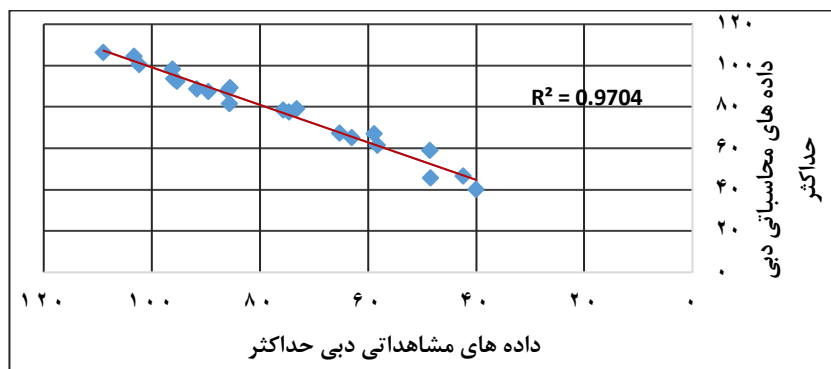
Table (7): The results of the evaluation of Calculations and observational discharge data by the GIUH (model in estimating the maximum basin discharge (statistical period 2000-2015)

دوره ی بازگشت	2	5	10	25	50	100
RMSE	0/06	0/35	0/2	0/56	0/37	0/43



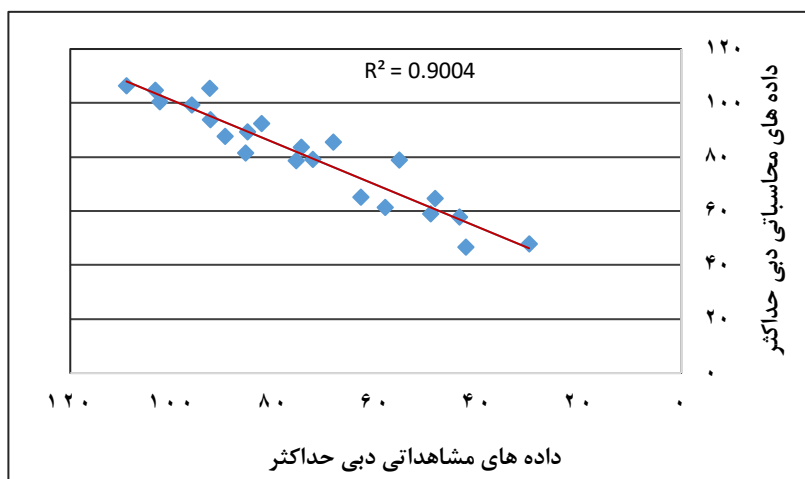
شکل (5): منحنی تغییرات نتایج مدل به ازای تغییر در شیب آبراهه

Fig(5): Curve changes the results of the model for the change in the slope river



شکل (6): رابطه‌ی همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی دبی حداکثر در مدل WinTR-55 (دوره‌ی آمای 2000-2015)

Fig (6): The correlation between the observational and computational data of Discharge is maximal in WinTR-55 model (statistical period 2000-2015)



شکل (7): مقادیر همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی دبی حداکثر در مدل GIUH (دوره‌ی آماری 2000-2015)

Fig (7): The correlation between the observational and computational data of Discharge is maximal in GIUH model (statistical period 2000-2015)

4- نتیجه‌گیری

امروزه تغییر کاربری اراضی از یک سو و پدیده‌ی خشکسالی و تغییر اقلیم از سوی دیگر باعث شده که شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز کوچک بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق

نتایج کارایی دو مدل WinTR-55 و مدل GIUH در برآورد دبی اوج سیلاب حوضه‌ی آبریز سنقر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد افزایش مقدار دبی برآورد شده خروجی حوضه از روش GIUH به میزان 1/76 درصد نسبت به مدل WinTR-55 بیانگر میزان تأثیر و نقش پارامترهای ژئومورفولوژیکی در محاسبه دبی اوج حوضه می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در زیرحوضه‌های S₁ و S₂، S₆ و S₈ بعلت شیب زیاد، کوهستانی بودن و سرعت بالای جریان آب، شدت فرسایش و ظرفیت انتقال رسوب افزایش و در زیرحوضه‌های S₃ و S₄ و S₅، S₇ به دلیل شیب کم و کاهش سرعت جریان، ظرفیت انتقال پایین آمده و رسوبگذاری اتفاق افتاده است. مقادیر دبی برآورد شده توسط روش GIUH در زیرحوضه‌های S₆ و S₈ به ترتیب برابر 8/31 و 6/67 درصد افزایش را نسبت به مدل WinTR-55 نشان می‌دهد که به علت افزایش مقادیر شیب می‌باشد. ارزیابی دو آماره (R²) و (RMSE) نشان داد که کارایی مدل WinTR-55 در برآورد دبی حداکثر به طور متوسط برای همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها بالا می‌باشد. بطوری‌که مقادیر R² و RMSE آن در هر دو مدل به ترتیب برابر 0/97، 0/90، 0/02 و 0/43 می‌باشد. با توجه به اینکه هر دو مدل توانایی قابل قبولی در تحلیل وضعیت فرسایش و رسوبگذاری را دارند، اما مدل WinTR-55 نسبت به مدل GIUH از دقت بالاتری برخوردار است.

5- منابع

- Ahmadi, H., & Dadashi Rudbari, A. (2016). Rainfall-Runoff Modeling for Flood Risk Management (Case Study: Haraz Region), *Rescue Research Journal*, 4, 52-72.
- Ahmadi, A., Mohammad Nia, A., & Golshani, N. (2016). Sensitivity Analysis of Geomorphological Variables Affecting Floods Using HEC-HMS Model (Case Study: Zar Cheshmeh Hunjan - Isfahan Province), *Journal of Hydrogeomorphology*, 3, 21-42.
- Bayati, F., Abbasi, A., & Fattahi, M. (2017). *Estimation of Casillian Basin Runoff Using Geomorphologic Moment Unit Hydrograph (GIUH) and Detailed Functions*, MSc in Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, 160p.
- Esmaili, A., & Abdollahi, Kh. (2012). *Watershed Management and Soil Conservation*, Ardabil, Mohaghegh Ardabili University Press, 1, 6-7.
- Ghavnati, M. R. (2017). Investigation of the Flood Potential of Drake Basin Using SCS Rainfall-Runoff Method, *Geographical Land Journal*, 13(49), 65-75.
- Ghorbani, M., Asadi, A., Jabari, H., & Farsadzadeh, D. (2015). Extraction of Instantaneous Unit Graph Hydrocopy (IUH) Using Shannon Entropy Theory, *Journal of Watershed Management*, 5(10).
- Jena, S.K., & Tiwari, K.N. (2006). Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, *Journal of Hydrology*, 319, 1-14.
- Khaleghi, S., Parvin Nia, M., & Montaseri, H. (2018). *Simulation of Moment Unit Hydrographs Using a Conceptual Linear Reservoir Model*, Master of Science in Civil Engineering, Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Yasuj University, 143 p.
- Karami, F., & Esmailpour, M. (2015). Estimation of Runoff Using Geomorphologic Moment Unit Hydrograph Model (Case Study: Darya Chai Basin), *Journal of Hydrogeomorphology*, 1, 145-157.
- Kuntiyawichai, K. (2014). *Effectiveness of Ubol Ratana and Lam Pao Reservoirs for Flood Mitigation in the Downstream Area of the Chi River Basin Using HEC-HMS Model*. Advanced Materials Research, 931-932, 785-790.
- Kumar, A. (2014). *Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Based Hydrologic Response Models for Ungauged Hilly Watershed in India*, Water Resources Management, DOI 10.1007/s11269-014-0848-z.
- Lotfi, M. (2009). *Performance of Unified Hydrograph Models in Determining Flood Hydrograph Characteristics (Case Study: Kardeh War Basin)*, M.Sc., Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 130 p.
- Mohammadi, A., & Ahmadi, H. (2012). Presentation of Maximum Moment Discharge Estimation Model in Basins without Statistics Based on Geomorphologic, Schneider, SCS and Triangular Moment Unit Hydrograph Models (Case Study: Watershed), *Journal of Natural Geography*, 4(13), 4-13.

- Nadiri, A. (2014). Investigating the Settlement of Rural Settlements in the Flood Zones of Golestan Province Based on SCS Model, *Land Geographical Quarterly*, Tenth Year, 38, 15-29.
- Nouri, F., & Zeinevand, H. (2015). *Estimation of Maximum Flood Discharge Using Win TR-55 Model in Bakr Abad Watershed*, First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, Center for Sustainable Development Solutions, Iranian Nature Conservation Association. Tehran.
- Nouri, H., & Ildoromi, A. (2014). Investigation of Geomorphic and Climatic Moment Unit Fountain Performance in Flood Estimation in Ekbatan Basin, Hamedan, *Geographical Space*, 13, 42, 202-209.
- Valders, J.B., Fialloand, Y., & Rodriguez-Iturbe, I. (1979). A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH. *Water Resources, Res*, 15(6), 1421-1434.