

تخمین مقدار دبی حداکثر سیلاب با استفاده از روش SCS برای مدیریت اراضی زیرحوضه‌های منطقه کن

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، سعیده صادقی^۲، حدیث سلیمانی^۳

۱. استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۰۲/۱۰ - تاریخ تصویب ۱۳۹۳/۰۶/۲۹)

چکیده

سیلاب از مهم‌ترین پدیده‌های هیدرواکولوژیک طبیعت است که در هر دوره سبب وارد آمدن خساراتی به دستاوردهای بشری می‌شود؛ از این رو کنترل و هدایت این پدیده، موضوع کار و تحقیق بسیاری از محققان، به‌ویژه هیدرولوژیست‌ها بوده که سعی کرده‌اند با مدل‌سازی سیلاب، پیش‌بینی رفتار آن را ممکن کنند تا با استفاده از نتایج، مدیریت اراضی شایان استحصال میسر شود. در مقاله حاضر نیز تلاش می‌شود به کمک یکی از روش‌های پرکاربرد، مقدار دبی حداکثر سیلاب در یکی از حوضه‌های آبخیز مهم کشور تخمین زده شده و وضعیت مناطق مختلف آن در هر دوره بارندگی مشخص شود. بدین ترتیب با استفاده از روش هیدروگراف واحد بدون بُعد متعلق به سازمان حفاظت خاک آمریکا و با توجه به تاریخچه بارش هر منطقه، می‌توان برآوردی کمی از حجم سیلاب محتمل در هر فصل ارائه داد. اگرچه پارامترهای مؤثر در این روش قدری متنوع و به‌طور متوالی به هم وابسته‌اند، نتیجه حاصل تخمین درستی از دبی سیلاب به دست می‌دهد که با اطلاعات ورودی همخوانی مناسبی دارد. از این رو در این مقاله، برای محاسبه مقدار دبی حداکثر سیلاب براساس روش SCS از مدل‌سازی عددی در محیط نرم-افزار Matlab استفاده شده است. به این منظور اطلاعات سیلاب‌های ۲۴ ساعته در یک دوره آماری چهارساله مدنظر قرار گرفته است. همچنین در پایان کار به منظور مربوط کردن مقدار بارش به دبی حداکثر سیلاب با استفاده از یک تابع وزنه‌دار، یک رابطه ریاضی با بهترین انطباق بر داده‌های قرائت‌شده در هر زیرحوضه استخراج شد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای محاسبات طولانی در حوضه مورد نظر باشد.

کلیدواژگان: حوضه آبخیز، دبی حداکثر سیلاب، روش هیدروگراف واحد، مدل‌سازی عددی، مدیریت اراضی.

مقدمه

سیل هرساله خسارات فراوانی به مزارع، زمین‌های کشاورزی، راه‌ها، سدها، پل‌ها و جاده‌ها وارد می‌کند و در بسیاری از موارد موجب مرگ انسان و در نتیجه تخریب ساختار اجتماعی جوامع و خسارات جانی و مالی فراوان می‌شود [۱]. مطالعات سیل و کنترل سیلاب یکی از مباحث اصلی مرتبط با علم هیدرواکولوژی است که از نتایج آن در مدیریت اراضی و تغییر کاربری مناطق مورد نظر استفاده می‌شود. سیلاب‌های جاری در یک منطقه، تأثیر مستقیم بر یک حوضه آبخیز، کشاورزی و اوضاع اجتماعی و اقتصادی آن دارد. سامان دادن به یک حوضه آبخیز بدون شناخت سیلاب‌های جاری و اثر آنها در منطقه و در نهایت معرفی راه‌حل‌های مناسب برای کاهش این آثار امکان‌پذیر نیست. روش‌های متعددی برای محاسبه و تخمین حجم رواناب مستقل از کمیت‌های اقلیمی وجود دارد که هر یک ورودی‌های مختلف و نتایجی مرتبط با نحوه مدیریت اراضی دارد. یکی از روش‌های معمول برآورد شدت سیلاب محتمل، روشی موسوم به هیدروگراف واحد بدون بُعد متعلق به سازمان حفاظت خاک آمریکا (Soil Conservation Services) است. در این روش مختصات نقاط هیدروگراف واحد بدون بُعد که در آن مقادیر نسبت زمان t/t_p در مقابل نسبت دبی q/q_p داده شده است، به‌دست می‌آید [۳]. به‌طور کلی در برآورد مقدار دبی حداکثر سیلاب، استفاده از سه روش اشنایدر، SCS و مثلثی در یک سطح اطمینان هستند و روش SCS با خطای کمتری نسبت به روش‌های دیگر، هیدروگراف‌های سیلاب‌های خود را برآورد می‌کند [۸].

تعیین دبی حداکثر در حوضه‌های آبخیز کوچک، اغلب به‌دلیل نبود آمار کافی از آنها اهمیت ویژه‌ای دارد، از این رو در طراحی سازه‌های هیدرولیکی که به اطلاعات کاملی در مورد مقدار و دبی حداکثر سیلاب نیاز است، همواره روش‌هایی به‌کار گرفته می‌شوند که با کمترین پارامترهای دخیل، برآورد مناسبی از این کمیت داشته باشد. از سوی دیگر، برای ارزیابی کیفی حوضه‌های آبخیز و کنترل فرسایش، به بررسی مقدار حداکثر سیلاب نیاز است [۱۱]. با اطلاع از این موضوع که اکثر روابط محاسباتی موجود به‌صورت تجربی و برای منطقه‌ای خاص تهیه و تدوین شده‌اند، نباید از مدلسازی‌های عددی که جنبه عمومی‌تری دارند نیز غافل بود، چراکه در این مسیر تلاش‌های فراوانی صورت گرفته است. محققان برای بررسی امکان برآورد

دبی اوج لحظه‌ای با استفاده از آمار دبی حداکثر روزانه، از روابط تجربی فولر، سنگال و هینزدیتز و همچنین تکنیک شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و براساس مقایسه‌ها نتیجه گرفتند که تکنیک شبکه عصبی مصنوعی بر روش‌های تجربی برتری نسبی دارد [۷]. در تحقیقی دیگر، تأثیر پوشش گیاهی بر فرایند رواناب با استفاده از روش SCS و CN بررسی و اثر تخریب پوشش گیاهی بر افزایش سیلاب اثبات شد [۵]. همچنین محققان برای برآورد دبی حداکثر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف از مدل SCS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی، شیب زیاد و تخریب پوشش گیاهی از عوامل مؤثر در افزایش دبی حداکثر در حوضه تحت مطالعه بوده است [۱۰]. در پژوهشی از روش ترسیمی و اصلاحی SCS برای تخمین شدت سیلاب حداکثر بهره گرفته شد و نتایج حاصل از این دو روش مقایسه شد [۶]. در تحقیق حاضر برای محاسبات از روش اصلاح‌شده ترسیمی SCS (۱۹۸۶)، و به‌منظور تخمین دبی حداکثر واحد در مدلسازی از رابطه مربوط به نمودارهای تیپ‌های مختلف بارش‌های ۲۴ ساعته استفاده شده است.

مشخصات منطقه تحقیق

برای تعیین دبی اوج، حوضه کن با پنج زیرحوضه سولقان، سنگان، رندان، کشار و کیگا، منطقه مطالعه تعیین شد. این حوضه در استان تهران و در شمال غرب شهر تهران واقع شده است. حوضه مورد بحث از شمال به حوضه شهرستانک، از جنوب به حوضه واریش و وردیج، از غرب به حوضه سیجان-واریش و وردیج و از شرق به حوضه حصارک و فرحزاد محدود است. حوضه کن از رودخانه‌های امامزاده داوود، رندان، تالون، کشار، سنگان و الیاس تشکیل می‌شود که در پایین‌دست حوضه رودخانه کن و سولقان را تشکیل می‌دهند. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کن در شکل ۱ نشان داده شده است.

خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های تحت مطالعه منطقه کن شامل مساحت حوضه، شیب و طول آبراهه اصلی که در محاسبات به روش SCS استفاده می‌شوند، در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، رندان و سنگان دارای بیشترین حوضه آبخیز و کمترین شیب آبراهه؛ و زیرحوضه کشار دارای کوچک‌ترین حوضه و بیشترین شیب موجود است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های منطقه آبخیز کن

شماره زیرحوضه	نام زیرحوضه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	مساحت حوضه (کیلومتر)	شیب آبراهه اصلی (متر بر متر)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
۱	سنگان	۵۱۷.۲۵۳	۳.۹۶۹.۲۸۵	۳۳/۱۸	۰/۰۷	۹/۹۴
۲	سولقان	۵۲۴.۳۰۴	۳.۹۶۳.۴۵۳	۱۷/۴۵	۰/۱۶	۶/۹۲
۳	رندان	۵۲۰.۹۷۲	۳.۹۷۰.۴۷۵	۳۶/۰۹	۰/۰۸	۹/۳۵
۴	کشار	۵۲۰.۱۳۹	۳.۹۶۰.۵۶۷	۸/۸۲	۰/۲۳	۳/۲۳
۵	کیگا	۵۲۴.۴۲۳	۳.۹۶۹.۳۷۴	۱۵/۹۹	۰/۱۹	۷/۷۶

کمیت عددی از بارندگی‌های موجود منجر خواهد شد. از این رو می‌توان دریافت که نتایج حاصل برای تعیین دبی حداکثر سیلاب به شدت به تاریخچه بارش‌های هر حوضه آبخیز وابسته است و در صورت دسترسی نداشتن به این اطلاعات، نتایجی نامحتمل به دست خواهد آمد. با این توضیحات مراحل محاسباتی به شرح و توالی زیر ارائه می‌شود:

الف) محاسبه زمان تمرکز

در گام نخست باید به محاسبه زمان تمرکز بارش در حوضه مورد نظر پرداخت تا از این طریق اولین کمیت ورودی برای برآورد دبی سیلاب به دست آید. برای این منظور، از روش پیشنهادی کرپیچ (Kirpich) استفاده می‌شود. به‌طور معمول این روش را برای حوضه‌های آبخیز کوچک می‌توان طرح کرد و شماری از محققان برای تعیین زمان تمرکز در حوضه‌های آبخیز کوچک از این روش بهره می‌گیرند [۱۱].

$$T_c = 0.195 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (1)$$

که در آن، L : طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر؛ S : شیب آبراهه اصلی بر اساس درصد؛ و T_c : زمان تمرکز بر مبنای دقیقه است [۴].

ب) محاسبه زمان تا اوج

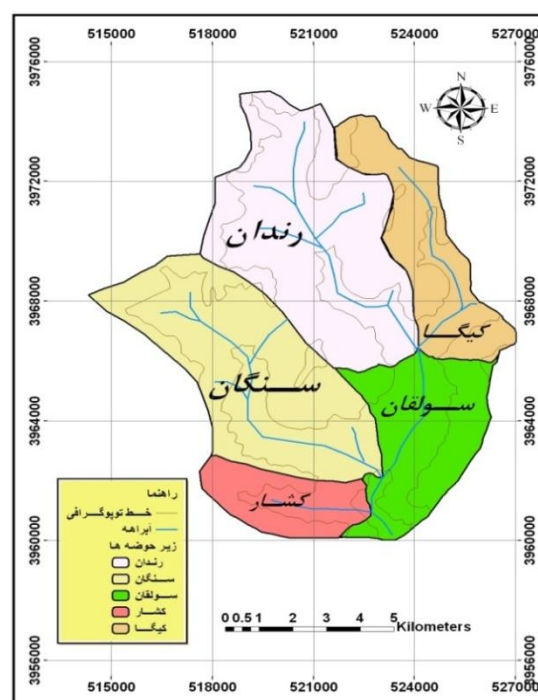
زمان لازم برای رسیدن به اوج شدت تجمع بارندگی در حوضه مورد نظر از رابطه زیر تعیین می‌شود [۶]:

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6 T_c \quad (2)$$

که در این رابطه، T_p : زمان تا اوج؛ و T_c : زمان تمرکز بر حسب دقیقه ارائه شده است.

ج) محاسبه ارتفاع رواناب

با استفاده از رابطه زیر برای هر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده‌شده، ارتفاع رواناب حاصل می‌شود (۶):



شکل ۱. نقشه موقعیت زیرحوضه‌های منطقه کن

روش محاسبه دبی حداکثر سیلاب

در مقاله پیش رو، برای برآورد عددی مقدار دبی حداکثر سیلاب با کمک روش SCS با استفاده از مدل‌سازی عددی در محیط نرم‌افزار محاسباتی Matlab ارائه می‌شود. برای این منظور با استفاده از اطلاعات باز سایت هواشناسی، مقادیر سیلاب‌های ۲۴ ساعته در یک بازه آماری چهارساله استخراج و در مدل به کار گرفته شده است. بدین ترتیب به وسیله رابطه پیشنهادشده سرویس حفاظت خاک آمریکا برای حوضه‌های کوچک با زمان تمرکز ۰/۱ تا ۱۰ ساعت و برای بارش ۲۴ ساعته، مقادیر شیب‌های مختلف این بارش‌ها ارائه شده است. با این روش محاسبه دبی حداکثر سیلاب، روندی متوالی و پیوسته دارد که هر مرحله به محاسبه یک

تأمل می‌توان اظهار داشت که عبارت I_d/P تابعی بدون بُعد است و تیپ‌های بارندگی براساس وضعیت رطوبت پیشین و مقدار بارندگی پنج روز قبل و براساس جدول ۲ تعیین می‌شوند. واحد کمیت q_u برحسب مترمکعب برثانیه بر سانتی‌متر است [۹]. مقدار پارامتر I_a نیز به صورت ضریبی از مقدار نگهداشت محاسبه شده در مرحله قبل مطرح می‌شود:

$$I_a = 0.2S \quad (۶)$$

و) محاسبه دبی حداکثر سیلاب

در مرحله آخر دبی حداکثر واحد با استفاده از رابطه زیر به متر مکعب بر ثانیه تبدیل می‌شود:

$$Q_{max} = 0.028317q_uQA \quad (۷)$$

که در آن، Q_{max} : دبی حداکثر به متر مکعب بر ثانیه؛ q_u : دبی حداکثر واحد؛ Q : ارتفاع رواناب به اینچ؛ و A : مساحت حوضه به مایل مربع است [۶].

جدول ۲. وضعیت رطوبت خاک [۶]

فصل خواب	فصل رشد	گروه رطوبتی خاک
کمتر از ۱۳ میلی‌متر	کمتر از ۳۶ میلی‌متر	۱
۱۳ تا ۲۸ میلی‌متر	۳۶ تا ۵۳ میلی‌متر	۲
بیش از ۲۸ میلی‌متر	بیش از ۵۳ میلی‌متر	۳

$$Q = \frac{Q_{max} T_p}{2.083A} \quad (۳)$$

در رابطه بالا، Q_{max} : دبی حداکثر سیلاب لحظه‌ای برحسب مترمکعب برثانیه؛ T_p : زمان تا اوج برحسب ساعت؛ A : مساحت حوضه به کیلومتر مربع؛ و Q : ارتفاع رواناب به سانتی‌متر است.

د) محاسبه مقدار پتانسیل نگهداشت

پس از محاسبه مقدار رواناب، مقدار بارش متناظر با آن تعیین می‌شود و با توجه به این مقادیر جفت‌شده با استفاده از فرمول معرفی شده توسط هاوکینز [۲]، مقدار پتانسیل نگهداشت به دست می‌آید:

$$S = 5[P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5}] \quad (۴)$$

در این رابطه، P ، Q و S : ه ترتیب ارتفاع بارش، ارتفاع رواناب و مقدار نگهداشت اولیه برحسب میلی‌متر است.

ه) محاسبه دبی حداکثر واحد سیلاب

با داشتن مقدار زمان تمرکز می‌توان دبی حداکثر واحد سیلاب را با استفاده از رابطه لگاریتمی زیر تعیین کرد:

$$q_u = 10^{C_0 + C_1 \log T_c + C_2 \log^2 T_c - 2.366} \quad (۵)$$

در این رابطه، ضرایب C_0 ، C_1 ، C_2 برحسب تیپ بارندگی و از جدول ۳ استخراج می‌شوند. همچنین توصیه می‌شود که برای مقادیر به دست آمده بین بازه‌های تعریف شده از روش درون‌یابی خطی استفاده شود. با کمی

جدول ۳. مقادیر ضرایب لازم برای تعیین دبی حداکثر واحد سیلاب [۹]

C_2	C_1	C_0	I_d/P	تیپ بارندگی
-۰/۱۱۷۵۰	-۰/۵۱۴۲۹	۲/۳۰۵۵۰	۰/۱۰	۱
-۰/۰۸۹۲۹	-۰/۵۰۳۸۷	۲/۲۳۵۳۷	۰/۲۰	
-۰/۰۶۵۸۹	-۰/۴۸۴۸۸	۲/۱۸۲۱۹	۰/۲۵	
-۰/۰۲۸۳۵	-۰/۴۵۶۹۵	۲/۱۰۶۲۴	۰/۳۰	
۰/۰۱۹۸۳	-۰/۴۰۷۶۹	۲/۰۰۳۰۳	۰/۳۵	
۰/۰۵۷۵۴	-۰/۳۲۲۷۴	۱/۸۷۷۳۳	۰/۴۰	
۰/۰۰۴۵۳	-۰/۱۵۶۴۴	۱/۷۶۳۱۲	۰/۴۵	
۰/۰	-۰/۰۶۹۳۰	۱/۶۷۸۸۹	۰/۵۰	

ادامه جدول ۳ .

C_2	C_1	C_0	I_a/P	تیپ بارندگی
-۰/۱۶۴۰۳	-۰/۶۱۵۱۲	۲/۵۵۳۲۳	۰/۱۰	۲
-۰/۱۱۶۵۷	-۰/۶۲۲۵۷	۲/۴۶۵۳۲	۰/۳۰	
-۰/۰۸۸۲۰	-۰/۶۱۵۹۴	۲/۴۱۸۹۶	۰/۳۵	
-۰/۰۵۶۲۱	-۰/۵۹۸۵۷	۲/۳۶۴۰۹	۰/۴۰	
-۰/۰۲۲۸۱	-۰/۵۷۰۰۵	۲/۲۹۲۳۸	۰/۴۵	
-۰/۰۱۲۵۹	-۰/۵۱۵۹۹	۲/۲۰۲۸۲	۰/۵۰	
-۰/۱۰۸۳	-۰/۵۱۸۴۸	۲/۴۷۳۱۷	۰/۱۰	۳
-۰/۱۳۲۴۵	-۰/۵۱۲۰۲	۲/۳۹۶۲۸	۰/۳۰	
-۰/۱۱۹۸۵	-۰/۴۹۷۳۵	۲/۳۵۴۷۷	۰/۳۵	
-۰/۱۱۰۹۴	-۰/۴۶۵۴۱	۲/۳۰۷۲۶	۰/۴۰	
-۰/۱۱۵۰۸	-۰/۴۱۳۱۴	۲/۲۴۸۷۶	۰/۴۵	
-۰/۰۹۵۲۵	-۰/۳۶۸۰۳	۲/۱۷۷۷۲	۰/۵۰	

بررسی نتایج

تعیین و با استفاده از رابطه ۴ مقدار پتانسیل نگهداشت نظیر بارش حداکثر محاسبه شد. همچنین برای محاسبه دبی حداکثر واحد سیلاب در هر منطقه از رابطه ۵ استفاده شده است که رابطه‌ای غیرخطی براساس زمان تمرکز و تیپ‌های بارندگی است. در نهایت با استفاده از رابطه ۶ مقدار عددی دبی حداکثر سیلاب برای هر بارش تعیین خواهد شد.

ویژگی‌های هیدرولوژیکی سیلاب‌های انتخاب‌شده در دوره آماری چهارساله، در جدول ۴ آورده شده است.

در این بخش با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از اداره آب منطقه‌ای استان تهران، برای یک بازه زمانی از بارش در حوضه آبخیز کن، مقدار دبی حداکثر سیلاب جاری در پنج زیرحوضه آن محاسبه می‌شود، به‌طوری که سیلاب‌ها در هر حوضه با معیار بارش‌های حداکثر و ارتفاع رواناب براساس سیلاب‌های لحظه‌ای متناظر آنها انتخاب شدند. در گام نخست با استفاده از روابط ۱ و ۲ و جدول ۱ زمان تمرکز و زمان تا اوج برای زیرحوضه‌ها تعیین شد. سپس با کمک رابطه ۳ ارتفاع رواناب متناسب با سطح مؤثر زیرحوضه

جدول ۴. ویژگی‌های هیدرولوژیکی سیلاب‌ها در مناطق مختلف حوضه کن (اداره آب منطقه‌ای استان تهران)

شماره زیرحوضه	حوضه	سال	بارش حداکثر (میلی‌متر)	دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب متناظر (مترمکعب بر ثانیه)	مقدار نگهداشت (میلی‌متر)	وضعیت رطوبت پیشین (تیپ)
۱	سولقان	۲۰۰۹	۱۸/۱	۳۴/۴	۲۳/۱۴	۱
		۲۰۱۰	۱۳	۲۹/۴	۱۴/۲۰	۱
		۲۰۱۱	۳۲	۵۵/۱	۴۴/۳۰	۳
		۲۰۱۲	۱۷/۵	۶۷/۲	۹/۵۲	۱
۲	سنگان	۲۰۰۹	۲۰	۳۸/۱	۳۱/۸۱	۱
		۲۰۱۰	۱۳	۲۱/۷	۲۲/۵۰	۱
		۲۰۱۱	۱۹	۶۱/۵	۱۹/۴۵	۳
		۲۰۱۲	۱۷/۵	۱۰/۸	۶/۴۴	۱
۳	رندان	۲۰۰۹	۱۲	۹۲/۸	۳۱/۸۹	۲
		۲۰۱۰	۱۶	۷/۱۲	۴۱/۵۷	۱
		۲۰۱۱	۰	۱۳/۱	۰	۱

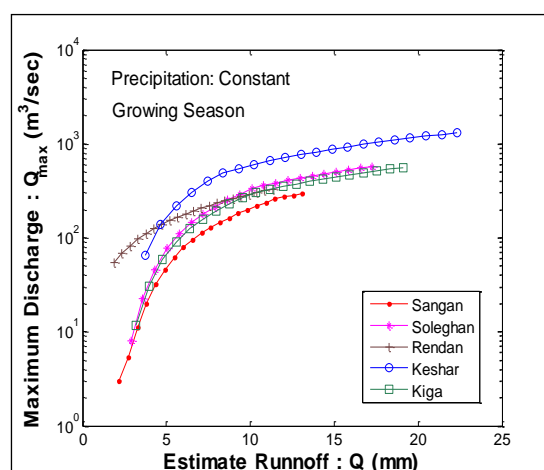
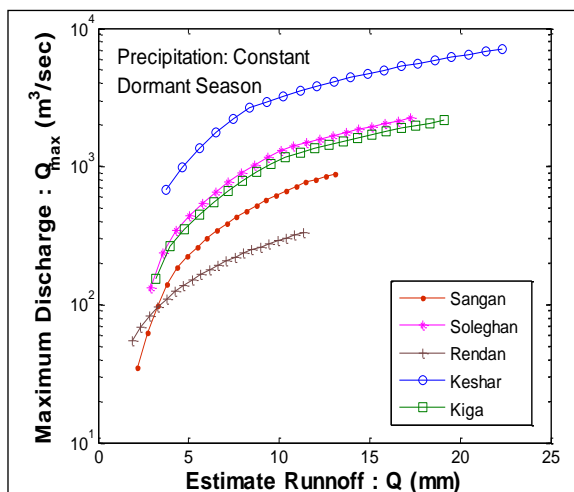
ادامه جدول ۴.

شماره زیر حوضه	حوضه	سال	بارش حداکثر (میلی متر)	دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب متناظر (مترمکعب بر ثانیه)	مقدار نگهداشت (میلی متر)	وضعیت رطوبت پیشین (تیپ)	
۴	کشار	۲۰۱۲	۳	۱۵	۲/۱۱	۱	
		۲۰۰۹	۱۸/۱	۴/۴۲	۵۴/۸۱	۱	
		۲۰۱۰	-	-	-	-	-
		۲۰۱۱	۳۲	۷/۱۵	۹۹/۱۴	۱	
		۲۰۱۲	۲۵	۵/۴۳	۷۸/۰۱	۱	
۵	کیگا	۲۰۱۰	۳۵	۹۲.۲	۱۳۴/۳۱	۱	
		۲۰۱۱	۶۰	۵/۰۴	۲۳۰/۰۳	۱	
		۲۰۱۲	۳۵	۲/۶۱	۱۳۶/۳۱	۱	
		۲۰۱۱	۶۰	۵/۰۴	۲۳۰/۰۳	۱	

الف) ارزیابی عددی دبی حداکثر سیلاب

با توجه به روابط ارائه شده برای محاسبه مقدار دبی حداکثر سیلاب می‌توان دریافت که روند تغییرات آن، تابع پارامترهای مستقلی نظیر طول و شیب آبراهه، مساحت حوضه آبخیز و بارندگی فصلی است که خود سازنده مقادیر ارتفاع رواناب، پتانسیل نگهداشت و دبی حداکثر واحد و لحظه‌ای سیلاب خواهند بود. اما برای هر زیرحوضه با مشخصات فیزیوگرافی ثابت، تنها کمیت بارش اثری متغیر بر دبی حداکثر دارد، به طوری که با تثبیت مقدار آن بر روی حداکثر مقدار بارندگی، می‌توان تغییر مستقیم ارتفاع رواناب را بر روی حجم سیلاب به دست آمده بررسی کرد. در شکل ۲ تغییرات مقدار دبی حداکثر سیلاب نسبت به ارتفاع رواناب در دو فصل رشد (دوره‌ای که گیاه فعال است) و فصل خواب (دوره‌ای که گیاه فعالیت ندارد) آورده شده است. براساس این شکل، به‌طور کلی برای همه

زیرحوضه‌های منطقه آبخیز کن، با افزایش ارتفاع رواناب، دبی حداکثر سیلاب نیز روندی افزایشی دارد، به طوری که از مقیاس لگاریتمی برای محور مربوط استفاده شده است. بیشتر بودن مقدار دبی اوج در هر حوضه در فصل خواب نسبت به فصل رشد بدین صورت توجیه می‌شود که: ۱. زمان خواب گیاه اغلب در فصولی رخ می‌دهد که بارندگی بیشتری وجود دارد و زمین در اکثر مواقع مرطوب است و در نتیجه نفوذپذیری کمی دارد و بنابراین با هر بارندگی حجم آب سطحی بیشتری خواهد داشت؛ ۲. در فصل رشد، گیاه فعال است و تعرق انجام می‌دهد، بدین معنا که بخش بیشتری از آب را جذب می‌کند و حجم آب سطحی را می‌کاهد؛ ۳. گیاه در فصل رشد ریشه‌دوانی دارد و نفوذپذیری خاک سطحی را افزایش می‌دهد و در نتیجه موجب کاهش رواناب سطحی و دبی اوج می‌شود.



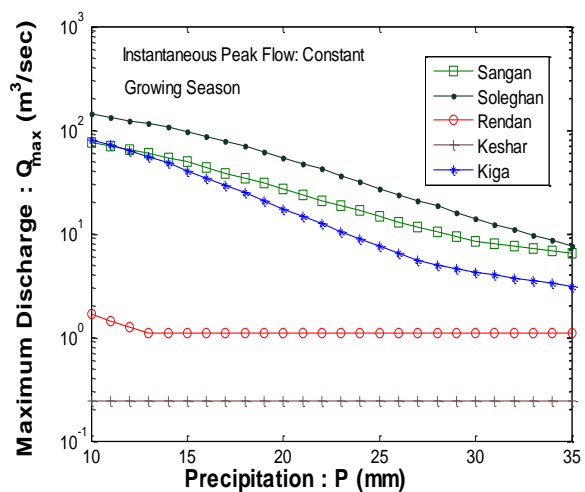
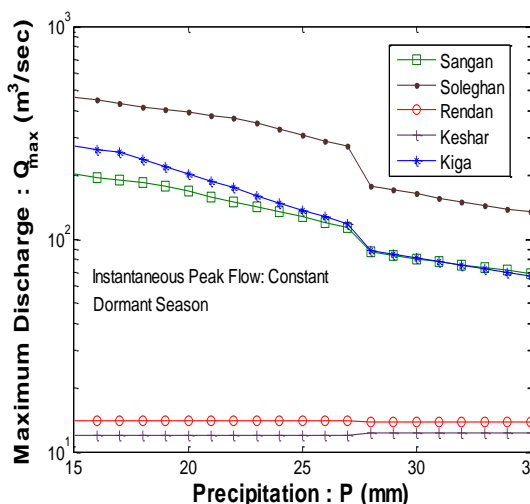
شکل ۲. تغییرات دبی حداکثر سیلاب نسبت به ارتفاع رواناب در فصول رشد و خواب

نمی‌توان به نسبت مساحت به طول هر زیرحوضه نسبت داد، چرا که براساس جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مقدار بارش حداکثر حوضه کشار بیشتر از حوضه رندان است. همچنین حوضه کیگا که دارای بیشترین بارندگی است، با وجود نسبت ثابت مساحت به طول، دارای حجم سیلاب شایان توجهی است که همچنان از دبی جمعیتی حداکثر سیلاب حوضه کشار کمتر است.

براساس جدول ۲، اثر تغییر گروه رطوبتی خاک در مقدار متوسط بارش تعریف شده است. از این رو برای مقدار ثابتی از دبی حداکثر لحظه‌ای با تغییر گروه رطوبتی خاک از ۱ تا ۳ و به دنبال آن با افزایش مقدار متوسط بارش، بر مقدار پتانسیل نگهداشت افزوده می‌شود. یعنی با ازدیاد بارش، حجم جذب رطوبتی خاک برای یک ارتفاع ثابت از مقدار رواناب افزایش خواهد یافت. تغییر دو پارامتر بارندگی و دبی حداکثر لحظه‌ای بر مقدار پتانسیل نگهداشت چشمگیر است، اما این دو کمیت، از محل زیرحوضه‌های آبخیز منطقه کن مستقل‌اند.

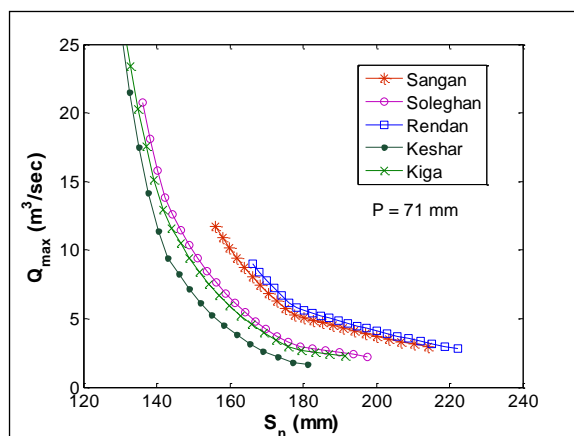
در واقع برای هر سه شکل ۳ تا ۵ منحنی تغییرات پتانسیل نگهداشت برای زیرحوضه رندان بیشترین مقدار، و برای زیرحوضه کشار کمترین مقدار را خواهد داشت. از آنجا که مقدار دبی حداکثر سیلاب به‌طور مستقیم به مقدار لحظه‌ای آن وابسته است، می‌توان استنباط کرد که با افزایش پتانسیل نگهداشت از حجم دبی سیلاب کاسته خواهد شد. این موضوع توسط چند منحنی به‌صورت تقابل درصد جذب رطوبت خاک و دبی حداکثر سیلاب در شکل‌های ۴ تا ۷ نمایش داده شده است.

در شکل ۳ تغییرات مقدار دبی حداکثر سیلاب نسبت به بارش متوسط در دو فصل رشد و خواب ارائه شده است. طبیعتاً با افزایش بارندگی و به دنبال آن با کاهش دبی حداکثر واحد (q_{II})، مقدار دبی حداکثر سیلاب نیز برای هر زیرحوضه کاهش می‌یابد، به طوری که برای زیرحوضه سولقان که نسبت حداکثر ارتفاع دبی لحظه‌ای سیلاب به مساحت آن بیش از دیگر حوضه‌ها است، بیشترین تغییرات دبی حداکثر سیلاب رخ می‌دهد. از این رو به‌طور کلی زیرحوضه‌هایی که نسبت ارتفاع لحظه‌ای سیلاب (ناشی از دبی لحظه‌ای سیلاب برای سطح مقطع ثابت زیرحوضه) در آنها بیشتر است، تغییرات چشمگیری نسبت به افزایش بارندگی در هر فصل خواهند داشت. با توجه به اینکه دوره خواب گیاه در فصولی است که بارندگی‌هایی با فاصله زمانی کمتر اتفاق می‌افتد و همچنین رطوبت خاک در فاصله بین دو بارندگی کمتر افت می‌کند، روند نزولی نمودار شیب کمتری خواهد داشت. همچنین با مشاهده شکل ۳ می‌توان اظهار داشت که با ثابت ماندن مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، با افزایش بارندگی، دبی حداکثر سیلاب کاهش پیدا می‌کند. همچنین ملاحظه می‌شود که برای دو زیرحوضه کشار و رندان با متوسط بارش سالیانه بسیار کمتر از زیرحوضه‌های دیگر، با ثابت ماندن مشخصات فیزیوگرافی، حجم سیلاب کمترین مقادیر را به خود اختصاص می‌دهد. در پی آن مشاهده می‌شود که برای زیرحوضه کشار با وجود مساحت اندک و کوتاهی آبراهه، حجم سیلاب جمع‌شده برای بازه زمانی مشخص بیشتر از حوضه‌ای مانند رندان است که مساحتی بیش از چهار برابر و طول آبراهه سه‌برابر کشار دارد. هرچند علت این امر را

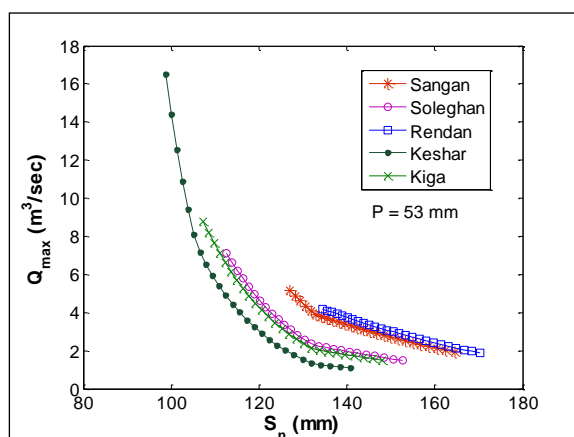


شکل ۳. اثر مقدار بارش بر دبی حداکثر سیلاب برای فصول رشد و خواب

کمتر، دبی اوج سیلاب بیشتری دارد. مقادیر بارش به صورت میانگین برای هر سه تیپ بارندگی که در جدول ۲ آورده شده، و با حدود فواصل ۱۸ میلی‌متری در نظر گرفته شده‌اند.



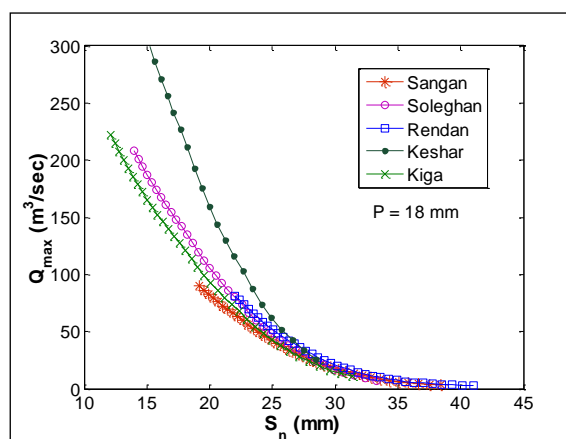
شکل ۶. دبی حداکثر سیلاب برای مقادیر مختلف از پتانسیل نگهداشت خاک برای بارش ۵۳ میلی‌متر



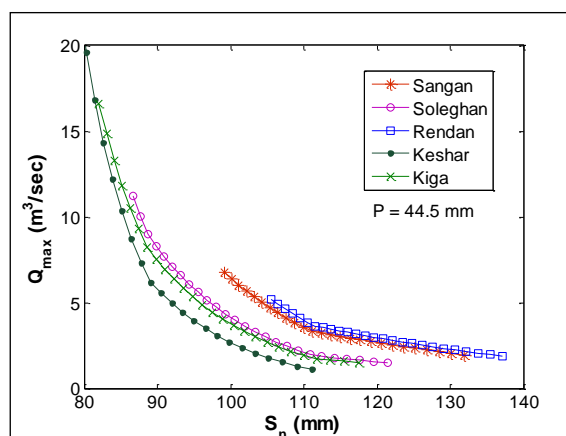
شکل ۷. دبی حداکثر سیلاب برای مقادیر مختلف از پتانسیل نگهداشت خاک برای بارش ۷۱ میلی‌متر

ب) تخمین مدل بارندگی با استفاده از تابع وزنی
نظر به اینکه رابطه‌ای مستقیم میان حجم سیلاب و مقدار بارش فصلی وجود ندارد و با توجه به نتایج بخش قبل برای پنج زیرحوضه منطقه کن، می‌توان با استفاده از یک روش عددی پیشنهادی به مدلسازی حوضه آبخیز مورد نظر پرداخت. برای این منظور باید داده‌های قرائت شده برای هر دو متغیر مورد بحث در نموداری نسبت به هم ترسیم شوند. در شکل ۸ روند تغییرات دبی حداکثر سیلاب نسبت به مقدار بارندگی در هر زیرحوضه براساس داده‌های موجود نشان داده شده است. برای تابع مدنظر رابطه‌ای بر مبنای

در شکل‌های ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود که در پنج زیرحوضه منطقه آبخیز کن و در هر چهار مقدار بارندگی فرض شده، با افزایش مقدار پتانسیل نگهداشت خاک، مقدار دبی حداکثر سیلاب روند کاهشی دارد و به یک مقدار مشخص حداقلی میل می‌کند. علت این موضوع کاهش حجم تجمعی سیلاب به واسطه افزایش جذب رطوبت توسط خاک است که تا مرحله اشباع آن پیش می‌رود. طبیعتاً با افزایش بارندگی برای یک زیرحوضه خاص، پتانسیل نگهداشت خاک به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت و به دنبال آن حداکثر حجم سیلاب برای مقادیر بیشتری از رطوبت جذب شده توسط خاک به یک مقدار ثابت کوچک میل خواهد کرد.



شکل ۴. دبی حداکثر سیلاب برای مقادیر مختلف از پتانسیل نگهداشت خاک برای بارش ۱۸ میلی‌متر



شکل ۵. دبی حداکثر سیلاب برای مقادیر مختلف از پتانسیل نگهداشت خاک برای بارش ۴۴/۵ میلی‌متر

همان‌طور که مشاهده می‌شود، زیرحوضه کشار نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها در مقادیر پتانسیل نگهداشت خاک

$$w_i = e^{-\gamma(P-P_i)^2} \quad (9)$$

که در آن P : متغیر بارش است.

از این رو رابطه کلی دبی حداکثر سیلاب براساس متغیر بارش به شکل زیر معرفی می شود:

$$Q_{max} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i Q_{max,i}}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (10)$$

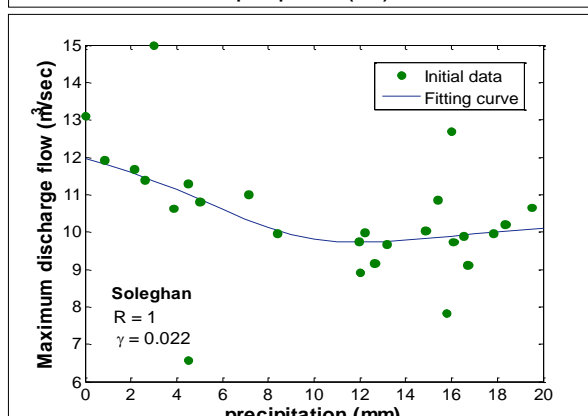
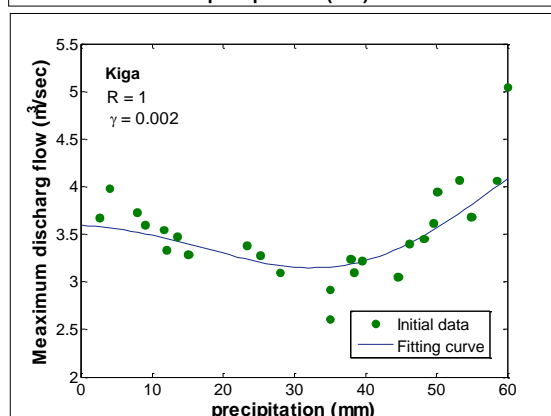
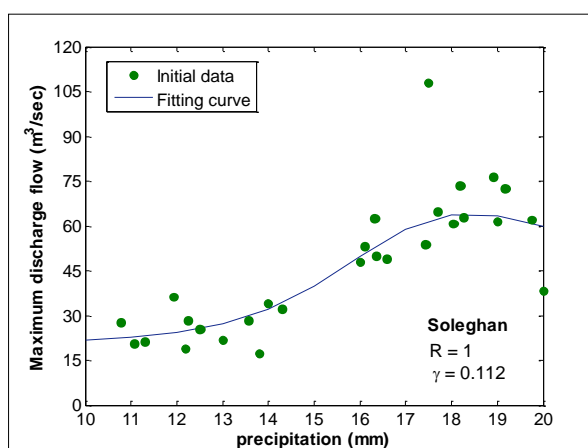
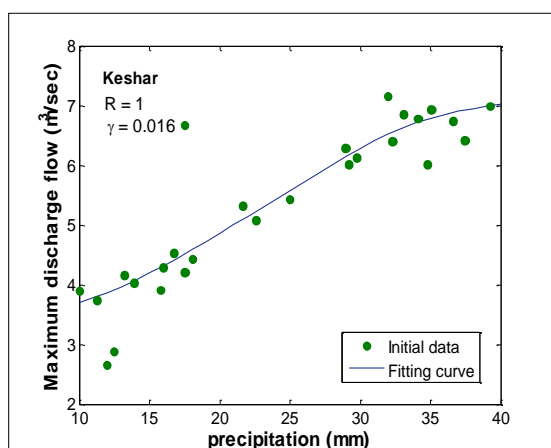
در این رابطه، $Q_{max,i}$: دبی حداکثر سیلاب در هر قرائت از بارش است.

یک ضریب وزنه که خود آن به متغیر مستقل بارش وابسته است، فرض می شود. البته وابستگی تابع وزنه به بارش در قالب ضریب تابع وزنه بیان می شود. با این توضیح، ضریب تابع وزنه برای مدلسازی عددی به شرح زیر مطرح می شود:

$$\gamma = \frac{R}{\left[\sum_{i=1}^m |P_i - P_{i+1}| \right]^2} (m-1)^2 \quad (8)$$

که در آن، m : تعداد قرائت های بارش برای هر زیرحوضه؛ و P_i : مقدار بارش در هر قرائت است. همچنین در رابطه بالا، R : ضریبی دلخواه است که از ۱ تا ۹ تغییر می کند.

تابع وزنه w ، که ترکیبی از متغیر بارش و ضریب وزنه γ است، به صورت زیر تعریف می شود:



شکل ۸. برازش منحنی دبی حداکثر سیلاب به ازای مقادیر مختلف بارندگی برای هر زیرحوضه

ارائه شده، تعیین شده است. گفتنی است که به دلیل تشابه زیرحوضه رندان با کیگا، از آوردن منحنی آن خودداری شده است. از این رو با توجه به شکل مشاهده می شود که بهترین منحنی برازش شده بر داده های موجود برای هر یک از زیرحوضه ها با ضریب وزنه معین، مشخص شده است.

حال با داشتن داده هایی متناظر از دبی حداکثر سیلاب و مقادیر بارش، امکان مدلسازی نتایج برای هر حوضه آبخیز و از جمله پنج زیرحوضه منطقه کن نیز میسر خواهد بود. مطابق شکل ۸ برای چهار زیرحوضه از منطقه کن، مدل برآورد دبی حداکثر به ازای مقدار بارش براساس روابط

همچنین دبی حداکثر سیلاب نسبت به بارندگی، روندی نزولی با شیب کم از خود نشان می‌دهد، که این تغییرات برای برخی زیرحوضه‌ها مانند کشار و رندان با شدت بارندگی کم، بسیار ناچیز است. در نهایت برای هر زیرحوضه یک مدل تخمینی از حجم سیلاب حداکثر نسبت به بارندگی ارائه شده است که نشان‌دهنده روند وزنی تغییرات آن نسبت به متوسط اختلاف مقادیر بارش است که می‌تواند برای هر مقدار بارش یک دبی حداکثر احتمالی به دست دهد. از همه نتایج عددی قابل حصول در این حوضه می‌توان دریافت که دو زیرحوضه کشار و رندان با وجود حجم شایان توجه بارندگی در فصول مختلف و ارتفاع زیاد رواناب متناظر، دارای امنیت کافی به لحاظ حجم دبی سیلاب در یک بازه زمانی مشخص خواهند بود و برای سه حوضه دیگر تا مقدار بارش ۲۷ میلی‌متر، حجم زیادی از سیلاب جاری خواهد شد. از این رو برای سه زیرحوضه اخیر فارغ از فصل بارش، فعالیت‌هایی نظیر کشاورزی و مرتع‌داری با ریسک زیادی همراه است. همچنین برای احداث بنا در این نواحی باید به متوسط ارتفاع رواناب در طراحی فونداسیون و نشست‌های آبی و تحکیمی ممکن توجه کرد. نمودارهای به دست آمده در شکل ۸ برای چهار زیرحوضه، بیانگر افزایش حجم سیلاب در صورت تداوم بارش‌ها است. این موضوع نیازمند توجه ویژه‌ای به منظور عایق‌بندی مناسب ساختمان‌های این مناطق و هدایت آب مازاد در مسیر رودخانه‌های مورد نظر است. بدیهی است بی‌توجهی به نسبت بین مقدار بارندگی و حجم سیلاب تجمعی در این نواحی ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری برجای گذارد.

شایان توضیح است که مقدار ضریب تابع وزنه برای هر زیرحوضه با استفاده از پارامتر دلخواه R ، مقداری منحصر به فرد بوده و نتیجه‌ای مطلوب را دربرداشته است. بدین ترتیب با بهره گرفتن از روابط بالا و مقادیر مشخص شده برای ضریب تابع وزنه، می‌توان در هر دوره بارش حجم سیلاب را برای زیرحوضه‌های منطقه کن برآورد کرد.

نتیجه‌گیری

از آنجا که وقوع نابهنگام پدیده‌های اکوهیدرولوژیکی در یک بازه زمانی کوتاه ممکن است موجب بروز حوادث پیش‌بینی‌ناپذیر شود، شناخت و آگاهی کافی از آنها و البته روش‌های کنترل و هدایت هر یک می‌تواند تا حدودی از وسعت عواقب بکاهد. نظر به اینکه عدم پیش‌بینی وقوع و در نتیجه حجم سیلاب در هر منطقه موجب بروز خساراتی جبران‌ناپذیر می‌شود، ضرورت دارد با شناخت نسبی خصوصیات فیزیوگرافی و تاریخچه بارندگی آن محدوده، برای برآورد کمی رفتار سیل اقدام شود. در این مقاله با آگاهی از کمیت‌های مؤثر، برآورد عددی دبی حداکثر سیلاب و مدلسازی آن درمقابل بارش انجام گرفته و نتایج به صورت نمودارهایی نمایش داده شده است. پارامترهایی نظیر طول و شیب آبراهه و مساحت مؤثر زیرحوضه از جمله متغیرهای محلی، و پارامترهایی مانند بارش فصلی و مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای در زمره متغیرهای اکوهیدرولوژیک هستند که خود تابع اکوسیستم منطقه تحت مطالعه خواهند بود. براساس نتایج، دبی حداکثر سیلاب بسته به دوره رویش گیاه یا دوره خواب آن تغییر می‌کند، و در هر دو دوره نسبت به ارتفاع رواناب روندی صعودی دارد.

منابع

1. Chiti, M.H., 2003, Flood insight of the natural disasters. International Conference of Natural Disasters in City Zones, Tehran, Iran, pp. 37-38.
2. Hawkins, R. H., 1990, Asymptotic determination of curve numbers from rainfall runoff data. Symposium proceeding of IR Conference of Watershed Management, ASCE, Durango.
3. Heydarizadeh, M., 2010, Development of SCS method in concept of logical model for peak discharge estimation. The First Annual Conference on Water Resources Management, Tehran, Iran.
4. Hotchkiss, R.H., Mc Callum, B.E., 1995, Peak discharge from small agriculture watersheds. Journal of Hydraulic Engineering, 121(1), 36-48.
5. Jenicek, M., 2007, Effect of land cover on runoff process using SCS-CN method in the upper Chomutovka catchment. Charles University Inprague, faculty of science

- department of physical geography and
eoecologe.
6. Mahdavi, M., 1999, *Applicable Hydrology*, 6th Edition, University of Tehran press, Iran.
 7. Salimi Kochi, J., Qhohestani, S., 2011, Artificial neural network usage in maximum flood discharge estimation. 6th National Congress of Civil Engineering, Semnan, Iran.
 8. Shahmohammadi, Z., 1994, Applications of artificial Unit Hydrograph methods in Khorasan district. The Ms. Thesis, the Natural Resources of Tehran University.
 9. Vissman, W.G., Lewis, L., 1996, *Introduction to Hydrology*, 4th Edition, USA.
 10. Yazdani Moghadam, Y., Ghazavi, R., Khazaei, M., Hezbavi, Z., 2005, Investigation of flood capability in Kashan catchment using maximum flood discharge. The First National Conference on achievement method for constant development in agricultural parts.
 11. Yazdani, M.R., Mahdavi, M., Hosseini Chegini, I., 2001, Determination of maximum flood discharge in small watershed using SCS graphical Method. The Journal of Natural Resources of Iran.