



## بررسی تاثیر شهرنشینی بر تشدید وقوع سیل (مطالعه موردی: شهر کلات)

سارا عطاران: دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب-مدیریت منابع آب دانشگاه فردوسی مشهد

ابوالفضل مساعدی: استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

حمدالله سجاسی: استادیار گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد

\* مسئول مکاتبه: ۰۹۱۵۲۴۴۹۴۴۲ ، پست الکترونیکی: sara.ataran@gmail.com

### چکیده

سیل از ابتدای زمان سکونت بشر در سیلاب دشت‌ها، باعث بروز خسارت‌های زیادی به جوامع بشری شده است. شهرنشینی و گسترش سطوح غیرقابل نفوذ باعث افزایش حجم و دبی اوج سیلاب‌ها و در نتیجه افزایش خسارات ناشی از سیل شده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیرات گسترش شهرنشینی بر شدت وقوع سیلاب‌هایی است که همه ساله در شهر کلات باعث بروز خسارات زیادی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که تغییر در مقادیر CN تأثیر بسیار بیشتری بر دبی سیل در مقایسه با تغییر در مقادیر بارندگی دارد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی و به دنبال آن افزایش سطوح غیرقابل نفوذ، می‌تواند در برخی موارد دبی اوج سیل را تا ۹۰ درصد افزایش دهد. ضمن آن که محدود یا مسدود نمودن آبراهه‌های شهری سبب وقوع سیل‌های با دوره بازگشت کمتر از یک سال شده است.

کلید واژه‌ها: سیل، CN، شهر کلات

### ۱- مقدمه

حوادث طبیعی از ابتدای تاریخ، زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است. اما با افزایش روزافزون جمعیت قدرت تخریب و خسارات ناشی از وقوع این حوادث افزایش یافته است. طبق گزارشات سازمان ملل متحد در میان مخاطرات طبیعی، سیل و طوفان بیشترین خسارات و تلفات را به جوامع وارد کرده‌اند. به گونه‌ای که تنها در یک دهه میزان خسارات ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار بوده است. رژیم هیدرولوژیکی که در گذشته بیشتر بوسیله عواملی همچون اقلیم، پوشش گیاهی، وضعیت زمین‌شناسی و توپوگرافی کنترل می‌شد، امروزه به طور فزاینده‌ای از محرک‌های اجتماعی و اقتصادی مانند رشد جمعیت و توسعه شهرها، توسعه کشاورزی فاریاب، صنعتی شدن، تکنولوژی و مهندسی اثر می‌پذیرد [۱].

جمعیت جهان در ۱۵۰ سال گذشته چندین برابر شده است و یکی از مسائلی که رشد جمعیت بر آن تأثیر گذاشته است، چرخه هیدرولوژیکی و اثرات استفاده از زمین و تغییرات پوشش زمین بر منابع آب و سیل می‌باشد [۲]. سیستم‌های انسانی و هیدرولوژیکی به هم پیوسته‌اند. بسیاری از تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر سیستم هیدرولوژیکی اکنون کاملاً مستند شده است [۳] و [۴]. در سال‌های اخیر گسترش شهرها در دشت‌های سیلابی و به خصوص در حاشیه رودخانه‌ها موجب شده است تا ساکنین منطقه، در معرض خطر سیل قرار گیرند. به عبارتی دیگر توسعه شهری و روستایی در حاشیه رودخانه‌ها همیشه همراه با توسعه اراضی کشاورزی، تأسیسات برداشت آب، تأسیسات انتقال آب و فاضلاب و ساختمان‌سازی می‌باشد. این توسعه در شهرها و روستاها سبب افزایش رواناب سطحی شده و بر حجم و دبی پیک رواناب ورودی به رودخانه می‌افزاید و موجب بروز سیلاب و یا تشدید

خسارات آن می شود [۵]. تغییر ویژگی های رواناب می تواند خطرات سیل را افزایش دهد و اهمیت مدیریت آب را پررنگ تر می کند [۶].

شهرنشینی با تغییر در ویژگی های نفوذ پذیری سطح، فرآیندهای هیدرولوژیکی درون حوضه های آبریز را تغییر می دهد. نتایج مورد انتظار شهرنشینی شامل کاهش نفوذ، تغییر جریان پایه، تغییر زمان تاخیر در ایجاد رواناب، افزایش حجم جریان، افزایش دبی اوج و موارد متعدد دیگر است [۷]. یکی از عوامل مهم تاثیرگذار در میزان و شدت سیل ها، پوشش سطح زمین و کاربری اراضی است. با گسترش شهرنشینی و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ، شدت و خسارات ناشی از سیل ها در چند دهه اخیر افزایش یافته است. فرآیندهای شهرنشینی شامل افزایش سطح جاده ها و تغییر چشم انداز طبیعی به مسکن، ساختمان های تجاری و پارکینگ ها است [۸]. سطح زمین در مناطق شهری توسط پشت بام ها، بزرگراه ها، جاده ها و پارکینگ ها پوشیده شده است، که باعث می شود مقدار محدودی از بارش به زمین نفوذ کند. شهرنشینی بخشی از بارش را که به رواناب تبدیل می شود تغییر می دهد و باعث افزایش رواناب شهری می شود [۹].

تراکم بالا ایستگاه های هواشناسی در سراسر جهان دست یابی به داده های بارشی را در زمان واقعی را آسان می کند. اما تعداد کمی ایستگاه برای نظارت بر رواناب وجود دارد [۱۰]. رابطه بین رواناب و بارندگی به ما امکان می دهد تا از روش های ریاضی برای تخمین رواناب بر اساس داده های بارش که به راحتی در دسترس است استفاده کنیم [۱۱]. روابط تجربی زیادی برای این منظور در دسترس هستند، بیشترین کاربرد را روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (Soil Conservation Service) ارائه کرده است، که به روش CN (Curve Number) معروف است [۱۲]. این روش به طور گسترده در آمریکا و کشورهای دیگر استفاده می شود. مزیت های این روش شامل: سادگی آن، ثبات، اتکا به تعداد متغیر کم و در نظر گرفتن شرایط مختلف برای حوضه آبریز (مانند: پوشش سطح زمین، شرایط اولیه رطوبت خاک و کاربری اراضی) می باشد [۱۳].

مطالعات متعددی بر روی تاثیر شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی و تغییر نفوذپذیری خاک در سرتاسر جهان انجام شده است. روش پژوهش و نتایج این مطالعات با توجه به شرایط جغرافیایی، آب و هوایی و هیدرولوژیکی مناطق مختلف متفاوت می باشد. چنگ و هوانگ [۱۴] روشی را برای تعریف میزان تغییر در هیدروگراف های رواناب برای حوضه شهری Wu-Tu در تایوان توسعه دادند. لین و همکاران [۱۵] تأثیر الگوهای کاربری اراضی را بر رواناب در مقیاس های حوضه و زیر حوضه برای یک حوضه آبخیز شهری در تایوان با استفاده از ترکیبی از یک مدل بهینه سازی الگوی فضایی و HEC-HMS بررسی کردند. اسوبدا [۱۶] پژوهشی به منظور بررسی تاثیر عدد منحنی و پوشش سطح زمین بر روی میزان رواناب در حوضه رودخانه هرون (Hron) در اسلوواکی انجام داد و به این نتیجه رسید که جنگل زدایی، تغییر ساختار جنگلی و افزایش شهرنشینی باعث افزایش عدد منحنی در سطح حوضه و در نتیجه افزایش تعدد وقوع سیل در این حوضه شده است. میهننگ و همکاران [۱۷] به ارزیابی خطر سیل ناگهانی (flash flood) در استان یونان (Yunnan) چین با توجه به عوامل هواشناسی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و انسان شناختی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقدار عدد منحنی بیشترین تاثیر را بر افزایش خطر سیل های ناگهانی دارد. جینکانگ و همکاران [۱۸] به بررسی اثرات شهرنشینی بر رواناب سالانه و حوادث سیل حوضه رودخانه Qinhuai در استان جیانگ سو در چین پرداختند و تاثیر تغییرات پویای کاربری اراضی را بر سیستم هیدرولوژیکی با استفاده از نرم افزار HEC-HMS و عکس های هوایی بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش شهرنشینی میزان رواناب خروجی حوضه افزایش می یابد، و دبی اوج برای سیلاب های کوچک (با دوره بازگشت کم تر) حساسیت بیشتری به پوشش سطح زمین دارد.

با توجه به موارد بیان شده، مشخص می شود که با گسترش شهرنشینی، افزایش سطوح غیر قابل نفوذ و از بین رفتن شکل طبیعی آبراهه ها، خطرات سیل و خسارات ناشی از آن به شکل چشم گیری گسترش یافته است. شهر کلات نیز از این موضوع مستثناء نبوده است. به گزارش شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، شهر کلات هر ساله دچار سیل می شود و خسارات ناشی از این سیل ها



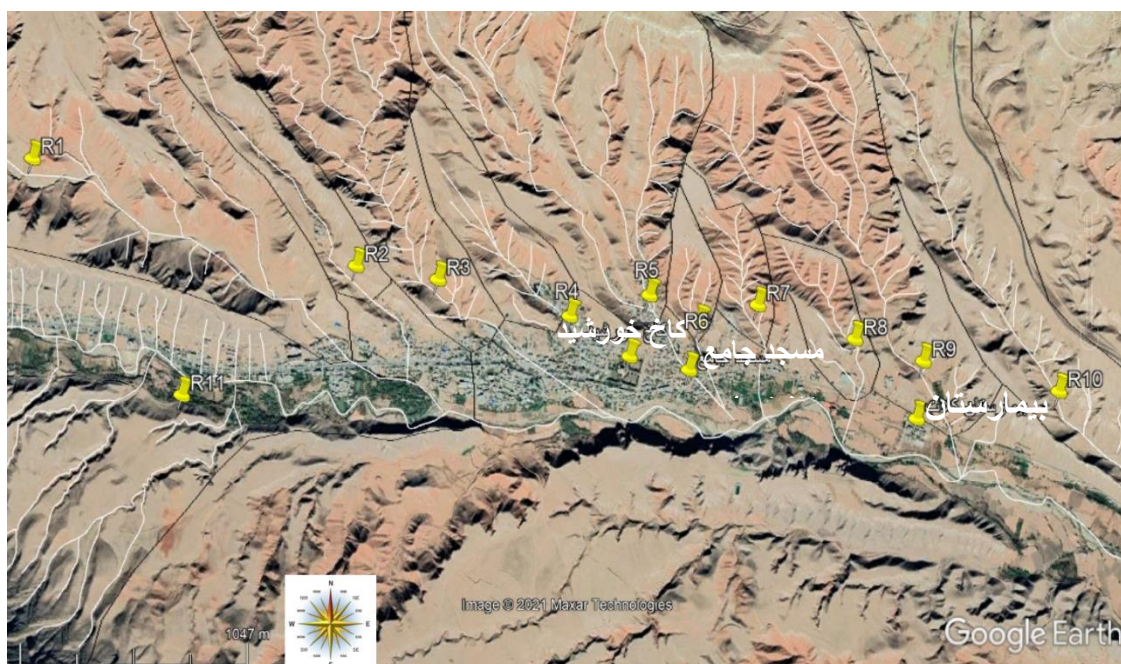
هر ساله افزایش می‌یابد. به طوری که به علت سیلاب‌های بهار سال ۱۳۹۸، ۷۰٪ منزل مسکونی دچار سیل گرفتگی شدند و خسارات جدی به تاسیسات آب و برق این شهر وارد شد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر گسترش شهر و تغییر کاربری اراضی بر تشدید وقوع سیل در این شهر می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه:

شهرستان کلات نادر در ۵۹ درجه و ۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۶۰ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده‌است. این شهرستان به مرکزیت شهر کلات در شمال شرق استان خراسان رضوی واقع شده‌است و از شمال به وسیله تپه ماهورهای نسبتاً پست به طول ۱۸۰ کیلومتر با کشور ترکمنستان همجوار است و از جنوب به کوه‌های هزار مسجد و شهرستان مشهد، از شرق به شهرستان سرخس و از غرب به شهرستان درگز محدود می‌شود و وسعتی در حدود ۳۵۱۸ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌است. این شهرستان در منطقه نیمه معتدل کوهستانی قرار دارد و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. ارتفاع بلندترین نقطه آن ۳۰۵۹ متر از سطح دریا در ارتفاعات هزار مسجد و ارتفاع پست‌ترین نقطه آن ۴۵۰ متر در محل خروجی رودخانه چهچه در مرز ترکمنستان می‌باشد.

در محدوده شهر کلات یک رودخانه در راستای غرب به شرق جریان دارد که شهر در امتداد آن به صورت خطی گسترش یافته‌است. این رودخانه، رود اصلی کلات است که از حوضه‌ای به نام حوضه آبریز منشاء می‌گیرد. موقعیت جغرافیایی شهر کلات به گونه‌ای است که از سمت جنوب توسط رودخانه و از سمت شمال توسط ارتفاعاتی که رواناب آن‌ها به سمت رودخانه جریان می‌یابد گسترش یافته‌است. این شهر و ارتفاعات مشرف بر آن را می‌توان به ۱۱ زیر حوضه تقسیم نمود که بزرگترین آن زیر حوضه‌ایست که رودخانه اصلی شهر کلات در آن جریان دارد. موقعیت شهر، رودخانه اصلی و آبراهه‌های مشرف بر شهر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت شهر کلات و حوضه‌های آبریز آن



## داده‌ها:

در مرحله اول اطلاعات بارش برای دوره زمانی مورد نظر (از سال آبی ۷۱-۷۰ تا سال ۹۸-۹۷) از ایستگاه باران‌سنجی و هیدرومتری دربند کلات نادر (واقع در ابتدای شهرستان کلات) جمع‌آوری شد. همچنین نقشه‌های کاربری اراضی حوضه مورد نظر، نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و نقشه‌های توپوگرافی منطقه از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شدند. با توجه به مرزبندی زیر حوضه‌ها در شهر کلات، مساحت هر زیر حوضه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مساحت هر یک از ۱۱ زیر حوضه‌ها (کیلومتر مربع)

نام زیر حوضه	SB۱	SB۲	SB۳	SB۴	SB۵	SB۶	SB۷	SB۸	SB۹	SB۱۰	SB۱۱
مساحت زیر حوضه	۱۹/۹	۰/۵	۱/۶۵	۰/۳۳۲	۱/۸۷	۰/۱۰۴	۰/۱۵۸	۰/۱۹۶	۱/۱۷۸	۴/۱۲۸	۱۲۷/۱

## منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی:

باتوجه به این موضوع که ایستگاه هیدرومتری موجود در ابتدای شهر، فقط مقدار دبی را در رودخانه اصلی کلات (رود ژرف) اندازه‌گیری می‌کند، منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از روابط زیر که توسط قهرمان و همکاران ارائه شده است، برآورد شد [۱۹].

$$P_T^t = (0.4524 + 0.247 * \ln(T - 0.6)) * (0.3710 + 0.618 * t^{0.4484}) * P_{10}^{60} \quad (۱)$$

رابطه ۱ برای تخمین بارندگی‌هایی با تداوم ۱۵ دقیقه تا ۱۰۰ سال ارائه شده است. در این رابطه  $P_{10}^{60}$  بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال است و به حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارش سالانه وابسته است و مقدار آن از رابطه زیر برآورد می‌شود.

$$P_{10}^{60} = 1.34 * P_{24}^{0.694} \quad (۲)$$

در این روابط:

$T$ : دوره بازگشت (سال)،  $t$ : تداوم بارندگی (ساعت)،  $P_{24}$ : حداکثر بارندگی روزانه (میلی‌متر) است.

در این مطالعه ۷ دوره بازگشت (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) برای حوضه در نظر گرفته شده است. تداوم بارندگی‌ها برابر زمان تمرکز هر زیر حوضه در نظر گرفته شده است.

طبق روابط ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) زمان تمرکز حوضه با توجه به زمان تاخیر محاسبه

می‌شود:

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900 * y^{0.5}} \quad (۳)$$

در این رابطه:

$L$ : طول رودخانه اصلی (فوت)،  $S$ : نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (اینچ)،  $y$ : متوسط شیب حوضه (درصد) که

غالباً برابر شیب متوسط رودخانه اصلی است.

مقدار نمایه نگهداشت آب از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۴)$$

$CN$ : (شماره منحنی) با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه و خصوصیات پوشش سطح حوضه و همچنین

وضعیت رطوبتی خاک برآورد می‌شود. باتوجه به این موضوع که منطقه مورد مطالعه یک منطقه شهری است و بیشتر مساحت آن





به ویژه زیر حوضه های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) را سطوح کم نفوذ یا غیر قابل نفوذ مانند آسفالت خیابان ها، پشت بام منازل و مغازه ها و.... تشکیل می دهند، مقادیر عدد منحنی (CN) در این زیر حوضه ها مقادیر بالایی را به خود اختصاص می دهند. این مقادیر با توجه به عوامل موثر بر CN و با استفاده از نقشه ها و اطلاعات اخذ شده تعیین شدند.  
 به منظور تعیین زمان تمرکز از رابطه (۵) استفاده شد:

$$t_c = 1.67 * t_{lag} \quad (5)$$

$t_c$ : زمان تمرکز حوضه (ساعت)

**بر آورد دبی حد اکثر ناشی از بارندگی هایی با دوره بازگشت معین:**

سازمان حفاظت خاک آمریکا برای بدست آوردن دبی سیل روش هایی را پیشنهاد نموده است که در پروژه های هیدرولوژی، زهکشی و جمع آوری آب های سطحی بسیار کاربرد دارد. طبق این روش دبی پیک سیلاب از رابطه زیر برآورد می شود:

$$Q_p = \frac{2.08 * A * R}{T_p} \quad (6)$$

در این معادله:

$Q_p$ : دبی اوج (متر مکعب در ثانیه)،  $A$ : مساحت (کیلومتر مربع)،  $R$ : ارتفاع بارندگی (میلی متر)،  $T_p$ : زمان رسیدن به

دبی اوج هستند.

رواناب حاصل از بارندگی را می توان بر حسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش های مختلف برآورد نمود. از جمله روش های معمول، روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا است، که برای حوضه هایی که در آن ها اندازه گیری دبی رواناب وجود ندارد، بکار می رود. در این روش ارتفاع رواناب یک بواقع ارندگی از رابطه زیر برآورد می شود.

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (7)$$

در این رابطه:

$R$ : ارتفاع رواناب (میلی متر)،  $P$ : ارتفاع بارندگی (میلی متر)،  $S$ : عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین (که با

استفاده از رابطه ۴ تعیین می شود).

بر اساس روابط ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا مقدار زمان اوج را می توان از رابطه زیر برآورد کرد:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_{lag} \quad (8)$$

در این معادله:

$D$ : تداوم مورد نظر برای بارندگی (ساعت)،  $T_{lag}$ : زمان تاخیر (ساعت) (که از رابطه ۳ قابل محاسبه است) هستند.

**آنالیز حساسیت:**

برای بررسی میزان تاثیر تغییرات بارش و CN بر میزان رواناب و دبی اوج سیل در سطح حوضه، بر روی این دو پارامتر آنالیز حساسیت انجام شد. برای انجام آنالیز حساسیت، دامنه تغییرات مقادیر بارش و شماره منحنی  $\pm 20\%$  مقادیر برآورد شده این پارامترها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که، با توجه به شرایط منطقه و کاربری اراضی در زیر حوضه ها (که بیشتر شامل مناطق شهری و آسفالت می باشد) مقادیر CN در بیشتر زیر حوضه ها بالاتر از ۹۰ می باشد و با توجه به اینکه حداکثر مقدار CN می تواند تا ۱۰۰ باشد، از این رو در بعضی از موارد دامنه تغییرات CN، کمتر از  $\pm 20\%$  در نظر گرفته شد.



### ۳- جمع بندی و نتیجه گیری

در هر یک از زیر حوضه ها طبق روابط ذکر شده، مقادیر زمان تاخیر و زمان تمرکز با توجه به شیب، عدد منحنی و طول آبراهه اصلی برآورد شد. با توجه به متوسط مقادیر بارش ۲۴ ساعته از سال آبی ۷۱-۷۰ تا ۹۸-۹۷ مقدار بارش ۱ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال برابر ۱۳/۸ میلی متر برآورد شده است. در نتیجه با استفاده از روابط قهرمان و همکاران [۱۹] مقدار بارندگی (بر حسب میلی متر) برای هر زیر حوضه و در دوره بازگشت های مورد نظر برآورد شد. با استفاده از مقادیر بارندگی و با توجه به رابطه SCS (رابطه ۷) ارتفاع بارش برای هر دوره بازگشت در هر یک از زیر حوضه ها برآورد شد که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر ارتفاع رواناب (میلی متر) در دوره بازگشت های مورد نظر در هر زیر حوضه

نام زیر حوضه	SB۱	SB۲	SB۳	SB۴	SB۵	SB۶	SB۷	SB۸	SB۹	SB۱۰	SB۱۱
دوره بازگشت ۲	۰/۱	۰/۸	۰/۴	۰/۷	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۴	۰/۲	۰/۲
دوره بازگشت ۵	۰/۶	۲/۵	۱/۷	۲/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۹	۲/۵	۱/۷	۱/۳	۰/۶
دوره بازگشت ۱۰	۱/۴	۴	۲/۹	۳/۴	۲/۵	۲/۹	۳	۳/۸	۲/۹	۲/۵	۱/۳
دوره بازگشت ۲۵	۲/۹	۶/۲	۴/۷	۵/۲	۴/۱	۴/۶	۴/۷	۵/۸	۴/۸	۴/۳	۳/۱
دوره بازگشت ۵۰	۴/۲	۷/۹	۶/۳	۶/۶	۵/۵	۵/۸	۶	۷/۳	۶/۳	۵/۹	۴/۸
دوره بازگشت ۱۰۰	۵/۷	۹/۶	۷/۹	۸/۱	۷	۷/۲	۷/۴	۸/۹	۷/۹	۷/۶	۶/۷
دوره بازگشت ۲۰۰	۷/۴	۱۱/۵	۹/۶	۹/۷	۸/۵	۸/۶	۸/۸	۱۰/۶	۹/۶	۹/۴	۸/۸

در این پژوهش زمان تداوم بارش برای هر زیر حوضه برابر زمان تمرکز آن حوضه (حداکثر دبی رواناب) در نظر گرفته شده است که با توجه به رابطه ۳ و ۵ برآورد شده است:

جدول ۳: مقادیر زمان تمرکز و زمان تداوم بارندگی (ساعت) در هر زیر حوضه

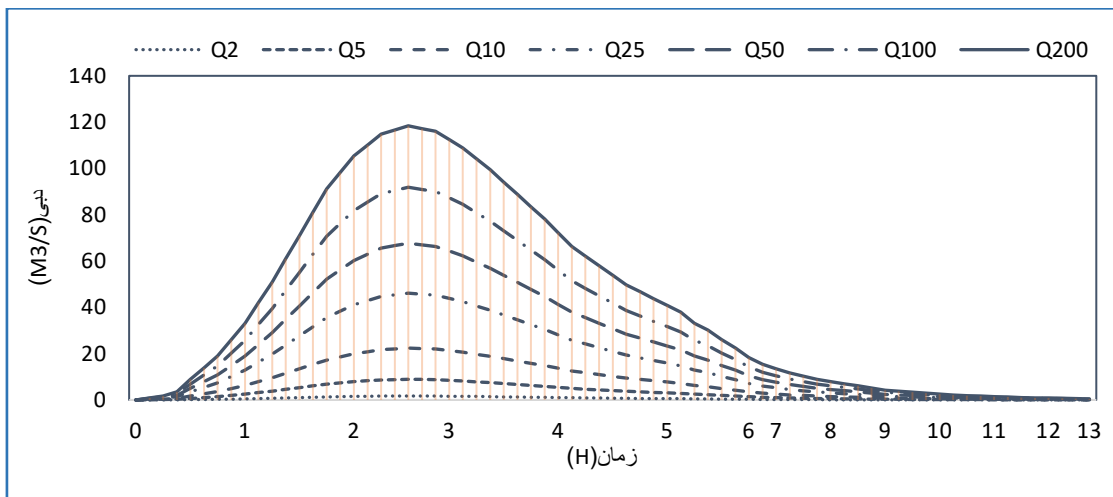
نام زیر حوضه	SB۱	SB۲	SB۳	SB۴	SB۵	SB۶	SB۷	SB۸	SB۹	SB۱۰	SB۱۱
دوره بازگشت	۲/۲۴	۰/۶۷	۰/۹۱	۰/۳۲	۰/۶۸	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۶	۱/۰۷	۸/۴۵

با توجه به مقادیر برآورد شده برای ارتفاع بارندگی، زمان تداوم بارش و زمان رسیدن به دبی پیک می توان مقادیر دبی اوج را براساس رابطه ۶ برای هر زیر حوضه و در هر دوره بازگشت برآورد کرد که این مقادیر در جدول ۴ ارائه شده اند. رواناب ناشی از زیر حوضه شماره ۱، مستقیماً وارد شهر می شود و منازل مسکونی، مغازه ها و در برخی نقاط ساختمان های اداری را دچار آب گرفتگی می کند. همچنین سیلاب زیر حوضه های ۴ و ۵ به ترتیب به سمت کاخ خورشید و مسجد جامع شهر حرکت می کنند و باعث خسارت به این محل ها می شوند. شکل های ۲، ۳ و ۴ هیدروگراف سیل با دوره بازگشت های مورد نظر را در این سه زیر حوضه نشان می دهد.

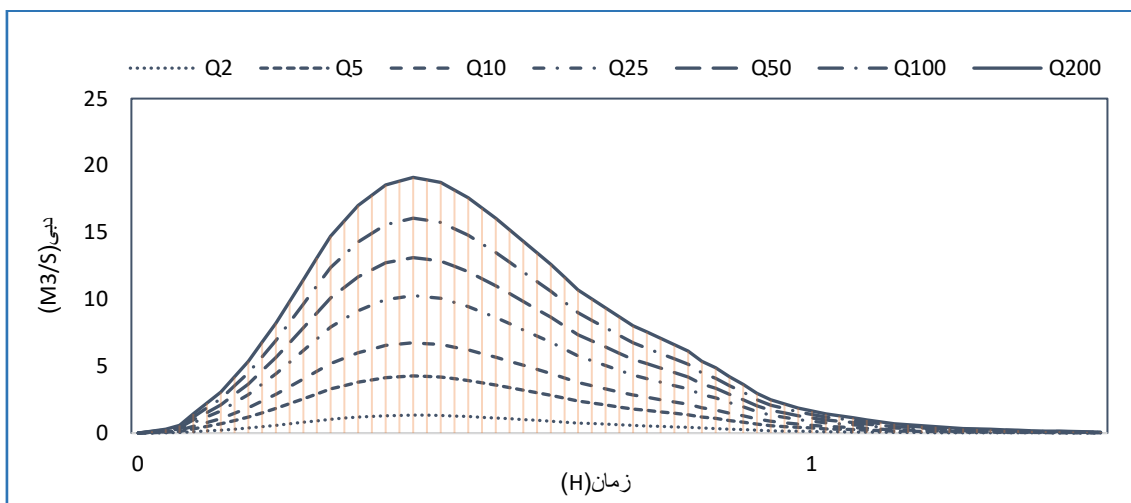
جدول ۴: مقادیر دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه) در دوره بازگشت های مورد نظر در هر زیر حوضه



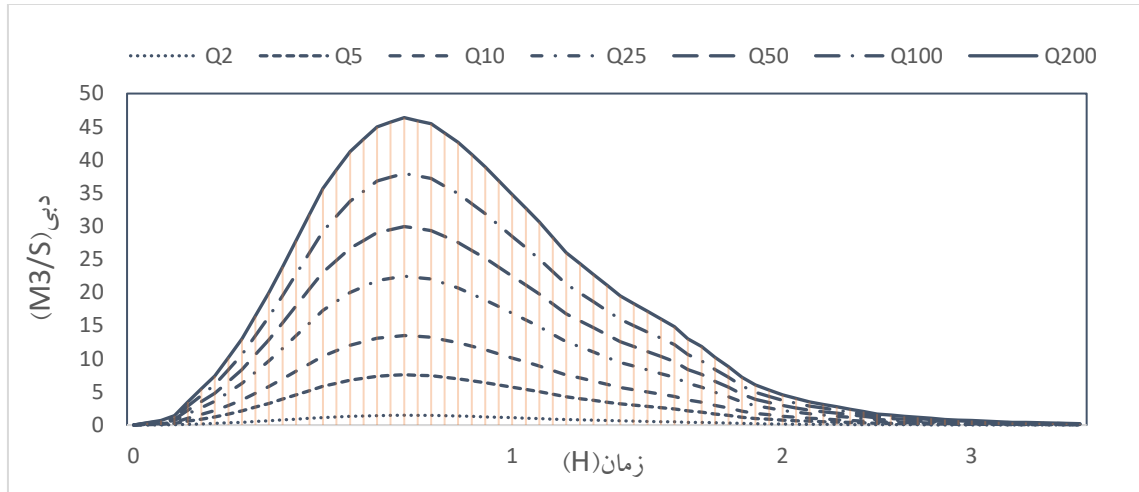
SB۱۱	SB۱۰	SB۹	SB۸	SB۷	SB۶	SB۵	SB۴	SB۳	SB۲	SB۱	نام زیر حوضه دوره بازگشت
۷/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۱	۰/۸	۰/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۱	۱/۷	۲
۲۱/۳	۹/۵	۶/۶	۳/۳	۲/۷	۱/۸	۷/۶	۴/۳	۵/۷	۳/۶	۸/۹	۵
۵۱/۶	۱۸	۱۱/۴	۵/۲	۴/۳	۲/۹	۱۳/۵	۶/۸	۱۰	۵/۸	۲۲/۴	۱۰
۱۱۹/۵	۳۱/۳	۱۸/۶	۷/۸	۶/۷	۴/۵	۲۲/۵	۱۰/۳	۱۶/۲	۸/۸	۴۶/۱	۲۵
۱۸۳/۸	۴۲/۷	۲۴/۵	۹/۹	۸/۶	۵/۸	۲۹/۹	۱۳/۱	۲۱/۵	۱۱/۲	۶۷/۷	۵۰
۲۵۷/۶	۵۵	۳۰/۸	۱۲/۱	۱۰/۵	۷/۱	۳۷/۹	۱۶/۱	۲۷	۱۳/۷	۹۱/۹	۱۰۰
۳۳۹/۷	۶۸/۱	۳۷/۵	۱۴/۴	۱۲/۶	۸/۵	۴۶/۴	۱۹/۱	۳۲/۸	۱۶/۴	۱۱۸/۴	۲۰۰



شکل ۲: هیدروگراف سیل زیر حوضه ۱ با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال



شکل ۳: هیدروگراف سیل زیر حوضه ۴ با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال



شکل ۴: هیدروگراف سیل زیرحوضه ۵ با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال

در جدول ۵، مقادیر درصد تغییرات دبی پیک نسبت به ۲۰ درصد کاهش و ۲۰ درصد افزایش CN و بارش برای دوره های بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ سال در زیرحوضه های مختلف آورده شده است:

جدول ۵: درصد تغییرات دبی اوج در اثر ۲۰ درصد افزایش و ۲۰ درصد کاهش در مقدار بارندگی و عدد منحنی برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال در هر زیرحوضه

زیرحوضه	۲۰ درصد افزایش در بارش	۲۰ درصد کاهش در بارش	۲۰ درصد افزایش در عدد منحنی	۲۰ درصد کاهش در عدد منحنی
SB ۱	۰/۵۵	-۰/۴۶	۴/۱۵	-۰/۹۷
SB ۲	۰/۳۵	-۰/۳۳	۱/۲۲	-۰/۹۷
SB ۳	۰/۴	-۰/۳۶	۱/۸	-۰/۹۸
SB ۴	۰/۳۵	-۰/۳۳	۱/۲	-۰/۹۹
SB ۵	۰/۴۲	-۰/۳۷	۱/۹۸	-۰/۹۹
SB ۶	۰/۳۶	-۰/۳۴	۱/۳۲	-۰/۹۹
SB ۷	۰/۳۶	-۰/۳۴	۱/۳	-۰/۹۹
SB ۸	۰/۳۵	-۰/۳۲	۱/۱۲	-۰/۹۸
SB ۹	۰/۴	-۰/۳۶	۱/۸	-۰/۹۷
SB ۱۰	۰/۴۵	-۰/۳۹	۲/۴۳	-۰/۹۶
SB ۱۱	۰/۶۱	-۰/۴۹	۲/۴۳	-۰/۹۱

جدول ۶: درصد تغییرات دبی اوج در اثر ۲۰ درصد افزایش و ۲۰ درصد کاهش در مقدار بارندگی و عدد منحنی برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال در هر زیرحوضه

زیرحوضه	۲۰ درصد افزایش در بارش	۲۰ درصد کاهش در بارش	۲۰ درصد افزایش در عدد منحنی	۲۰ درصد کاهش در عدد منحنی





SB ۱	۰/۵۱	-۰/۴۴	۳/۴۳	-۰/۹
SB ۲	۰/۳۷	-۰/۳۴	۱/۴۳	-۱
SB ۳	۰/۳۸	-۰/۳۵	۱/۵۶	-۰/۹
SB ۴	۰/۳۴	-۰/۳۲	۱/۰۵	-۰/۹۸
SB ۵	۰/۳۹	-۰/۳۶	۱/۷۶	-۰/۹۷
SB ۶	۰/۳۵	-۰/۳۳	۱/۱۶	-۰/۹۹
SB ۷	۰/۳۵	-۰/۳۳	۱/۱۴	-۰/۹۹
SB ۸	۰/۳۳	-۰/۳۱	۰/۹۸	-۰/۹۷
SB ۹	۰/۳۸	-۰/۳۵	۱/۵۵	-۰/۹۵
SB ۱۰	۰/۴۲	-۰/۳۸	۲/۰۷	-۰/۹۳
SB ۱۱	۰/۵۶	-۰/۴۷	۲/۰۵	-۰/۸۶

همان طور که پیش بینی می شود با افزایش دوره بازگشت دبی اوج سیل ها در منطقه افزایش می یابد. نتایج آنالیز حساسیت نشان می دهد که با افزایش ۲۰ درصد در مقدار CN برای بارشی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در زیرحوضه ها، مقدار دبی پیک می تواند تا ۴ درصد (در زیرحوضه ۱) افزایش یابد و این در حالی است که با افزایش ۲۰ درصدی در بارش مقدار دبی پیک فقط تا ۰/۵ درصد افزایش می یابد. همچنین برای بارشی با دوره بازگشت ۲۰۰ سال، با ۲۰ درصد افزایش در عدد منحنی، مقدار دبی اوج تا ۹۰/۹ درصد (در زیرحوضه ۸) افزایش می یابد که این مقادیر بسیار قابل توجه هستند. بنا بر این، تغییر در مقادیر CN تاثیر بسیار بیشتری بر دبی سیل در مقایسه با تغییر در مقادیر بارندگی دارد.

با توجه به شکل ۱، رواناب خروجی از زیرحوضه ۱۱، وارد رود اصلی کلات می شود که شهر هم در امتداد آن جریان یافته است. ولی رواناب زیرحوضه های ۱، ۲ و ۳ در آبراهه هایی جریان می یابند که برای متصل شدن به رودخانه اصلی باید عمود بر شهر و از داخل شهر عبور نموده و وارد رودخانه شوند. با توجه به عدم طراحی سازه های تقاطعی مناسب این رواناب ها مستقیماً وارد شهر شده و در راستای خیابان اصلی شهر جریان پیدا کرده و وارد مناطق مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی و... می شوند در نتیجه این وضعیت آبرفتگی گسترده ایجاد می شود. سیلاب ناشی از زیرحوضه های ۴ و ۵ به سمت کاخ خورشید و مسجد جامع شهر حرکت می کنند و باعث آب گرفتگی این دو محل می شوند و سیلاب زیرحوضه های ۶، ۷ و ۸ با عبور از داخل شهر و به سمت بیمارستان کلات به مسیر خود ادامه می دهد.

این در شرایطی است که پیش از شکل گیری و گسترش شهر، و همچنین تغییر کاربری اراضی در این منطقه، رواناب تمامی این زیرحوضه ها مستقیماً به سمت رودخانه اصلی (رود ژرف) جریان داشته است. با توجه به این که پیش از گسترش شهر، پوشش اراضی این منطقه مراتع نیمه متراکم بوده است، در نتیجه توان تولید رواناب و ایجاد سیل در این محدود ناچیز بوده است. اما با گسترش شهر در کوه پایه و تغییر کاربری اراضی در این ناحیه و مهمتر از آنها، گسترش شهر در راستای عمود بر مسیر آبراهه ها و مسدود نمودن آبراهه ها، نه تنها توان تولید رواناب در سطح منطقه به شدت افزایش یافته است بلکه رواناب جاری شده در سطح شهر و یا روانابی که از بالادست به سمت شهر (زیرحوضه های ۲ تا ۱۰) به سمت شهر جاری می شود، به آبراهه های مسدود شده برخورد می نمایند که این امر مهترین عامل در وقوع همه ساله سیل (دوره بازگشت کمتر از یک سال!!) در این شهر می باشد.

#### ۴- مراجع

[1] Carpenter, S. R., Stanley, E. H., and Vander Zanden, M. J. ( 2011). "State of the world's freshwater ecosystems: Physical, chemical, and biological changes, Annu. Rev". Annual Review of Environment and Resources, 36(1), 75-99.

- [2] Yang, X.L., Ren, L.L., Singh, V.P., Liu, X.F., Yuan, F., Jiang, S.H., Yong, B. (2012). "Impacts of land use and land cover changes on evapotranspiration and runoff at Shalamulun River watershed, China". *Hydrol. Res.* 43(1-2), 23-37
- [3] Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Lierman, C. R., and Davies, P. M. (2010). "Global threats to human water security and river biodiversity", *Nature*, 467(1), 555-561.
- [4] Vahmani, P. and Hogue, T. S. (2014). "Incorporating an urban irrigation module into the Noah Land surface model coupled with an urban canopy model", *J. Hydrometeorol.*, 15(4), 1440-1456.

[۵] حسینی، ا. ابراهیم زاده، ع. رفیعیان، م. مدیری، م. احدنژاد، م. (۱۳۹۳). "نظارت بر پویایی شهرنشینی در ایران معاصر با استفاده از تصاویر چند زمانه DMSP/OLS" *مجله اطلاعات جغرافیایی*، شماره ۹۶، ص ۲۱-۳۸.

- [6] Delgado, J., Llorens, P., Nord, G., Calder, I. R., and Gallart, F. (2009). "Modelling the Hydrological Response of a Mediterranean medium-sized headwater basin subject to land cover change: the Cardener River Basin (NE Spain)", *J. Hydrol.*, 383(1-2), 125-134.
- [7] Ogden, F.L., Pradhan, N.R., Downer, C.W., Zahner, J.A. (2011). "Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment". *Water Resour. Res.* 47(12), W12503.
- [8] Shuster, W.D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., and Smith, D.R. (2005). "Impacts of Impervious Surface on Watershed Hydrology: A Review." *Urban Water Journal*, 2(4), 263-275.
- [9] Schwartz, S. S., and Smith, B. (2014). "Slowflow Fingerprints of Urban Hydrology." *Journal of Hydrology*, 515(1), 116-128.
- [10] Fauvel, B., Cauchie, H.M., Gantzer, C., Ogorzaly, L. (2016). "Contribution of hydrological data to the understanding of the spatio-temporal dynamics of F-specific RNA bacteriophages in river water during rainfall-runoff events". *Water Res.* 94, 328-340.
- [11] Guo, A.J., Chang, J.X., Liu, D.F., Wang, Y.M., Huang, Q., Li, Y.Y. (2017). "Variations in the precipitation-runoff relationship of the weihe river basin. Nord". *Hydrol* 48 (1), 295-310.
- [12] Victor M. Ponce, and Richard H. Hawkins (1996). "Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity?". *J. Hydrologic Engineering*, 1(1), 11-19.
- [13] Hawkins, R.H., Theurer, F.D., Rezaeianzadeh, M. (2019). "Understanding the basis of the curve number method for watershed models and TMDLs". *J. Hydrol. Eng.* 24 (7), 06019003.
- [14] Cheng, S.J., Wang, R.Y. (2002). "An approach for evaluating the hydrological effects of urbanization and its application". *Hydrol. Process*, 16(7), 1403-1418.
- [15] Lin, Y.P., Verburg, P.H., Chang, C.R., Chena, H.Y., Chena, M.H. (2009). "Developing and comparing optimal and empirical land-use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan. *Landscape and Urban Planning*, 92(3-4), 242-254.
- [16] A. SVOBODA, (1991). "Changes in flood regime by use of the modified curve number method Flash Flood Risk Analysis Based on Machine Learning Techniques in the Yunnan Province, China", *Hydrological Sciences Journal*, 36(5), 461-470.
- [17] Meihong Ma, Changjun Liu, Gang Zhao, Hongjie Xie, Pengfei Jia, Dacheng Wang, Huixiao Wang and Yang Hong. (2019). "Flash Flood Risk Analysis Based on Machine Learning Techniques in the Yunnan Province, China". *Remote Sens*, 11(2), 170-186.
- [18] Jinkang Du, Li Qian, Hanyi Rui, Tianhui Zuo, Dapeng Zheng, Youpeng Xu, C.-Y. Xu. (2012). "Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China". *Journal of Hydrology* 464-465(1), 127-139.

[۱۹] قهرمان، ب. آبخضر، ح. (۱۳۸۳). "اصلاح روابط شدت-مدت- فراوانی بارندگی در ایران" *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، شماره ۲، ص ۱۳-۱.

[۲۰] عزیززاده، ا. (۱۳۹۴). *هیدرولوژی کاربردی*، انتشارات دانشگاه امام رضا، ص ۹۴۲.