

اثر تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری بر دبی پیک رواناب (مطالعه موردی: آبخیز شهری زنجان)

❖ فاطمه عینلو*: دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ علی سلاجقه: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ آرش ملکیان: دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ محسن احدنژاد: دانشیار دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان

چکیده

توسعه شهری سبب گسترش سطوح نفوذناپذیر و متعاقب آن تغییر در هیدرولوژی شهری شده است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر تغییرات دبی پیک رواناب در حوزه آبخیز شهری زنجان می‌باشد. بدین منظور، تصاویر TM ماهواره لندست و عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۳۴، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ با استفاده از نرم افزار IDRISI Selva و سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش شده و نقشه‌های کاربری اراضی حاوی شش کاربری تهیه و روند تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری مشخص گردید. به منظور آنالیز رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی اثر سه دوره تغییر کاربری و توسعه شهری بر تغییرات دبی پیک رواناب، از مدل بارش رواناب SWMM استفاده گردید. پس از واسنجی مدل SWMM بر اساس وقایع بارش - رواناب مشاهداتی، نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل، درستی و تطابق شبیه‌سازی‌های مدل را تأیید کرد. نتایج روند تغییر کاربری و توسعه شهری حوزه آبخیز شهری زنجان نشان می‌دهد محدوده‌های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب با ۲۲/۵۹ و ۹۲۳/۸۸ درصد افزایش و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۵۴۳/۰۶ درصدی همراه هستند. نتایج حاصل از مدل SWMM نشان می‌دهد توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به سطوح شهری سبب افزایش دبی پیک رواناب شده به‌طوری که میانگین تغییرات دبی پیک جریان در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب افزایش ۹۶/۸۵ و ۴۷۵/۵۲ درصدی را نشان می‌دهد و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴، ۱۹۴/۲۸۸ درصد، افزایش در میانگین دبی پیک رواناب مشاهده می‌شود.

کلید واژگان: تغییر کاربری، رواناب، سطوح نفوذناپذیر، آبخیز شهری زنجان، مدل SWMM

۱. مقدمه

توسعه شهری، شکل فراگیر تغییر کاربری زمین است که رشد سریعی داشته و بر اساس پی‌بینی‌های جمعیتی سازمان ملل متحد [۲۴] انتظار می‌رود که بیش از ۶۰ درصد از جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ در مناطق شهری زندگی خواهند کرد. تمرکز جمعیت بشری در مناطق شهری، سبب توسعه شهرها و تغییر چهره طبیعی زمین شده است که فرآیندهای اکوسیستمی را تحت تأثیر قرار داده، به نحوی که فراگیرترین اثر آن، افزایش سطوح نفوذناپذیر در حوزه‌های آبخیز شهری است که هیدرولوژی و ژئومورفولوژی زیستگاه‌ها را دستخوش تغییر کرده است [۷]. افزایش مناطق نفوذناپذیر، تعادل آبی طبیعی را بهم می‌زند و سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و کاهش زمان تمرکز و... شده که نهایتاً منجر به شکل‌گیری دبی‌های پیک بالاتر و حتی حجم‌تر برای بارش‌های کوتاه مدت یا حتی با شدت کم خواهد شد.

در مناطق شهری، طراحی مدرن شبکه‌های جمع‌آوری رواناب و مدیریت منابع آب، نیازمند درک کاملی از فرآیندهای زهکشی و توجه به ابزار محاسباتی برای تعیین متغیرهای حالت مانند کمیت و کیفیت رواناب در هر نقطه‌ای از سیستم جمع‌آوری رواناب شهری می‌باشد. همچنین، با وجود مشکلاتی مانند آب‌گرفتگی معابر و سیلاب‌های شهری، کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و آلودگی منابع آبی در مناطق شهری، ضروری است که بدانیم با توجه به روند روبه‌رشد و توسعه شهرها، متعاقب آن چه تغییراتی در چرخه هیدرولوژی حاصل می‌شود تا بتوانیم بر اساس مطالعه، نوع تغییرات و میزان آن‌را تخمین زده و به برنامه‌ریزی و مدیریت دستاوردهای این تغییر در چرخه هیدرولوژی شهری بپردازیم. چراکه آگاهی از سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های شهری سبب راهنمایی در برنامه‌ریزی، تحلیل و طراحی، مدیریت و خدمت برای توسعه راهنماها و دستورالعمل‌ها طراحی می‌شود [۲].

در زمینه بررسی اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر

تولید رواناب در کشورهای مختلف مطالعاتی صورت گرفته که در پی می‌آید: بر اساس دسته‌بندی‌هایی که رابطه بین دبی متوسط سالانه و درصد اراضی غیرقابل نفوذ و شهری را نشان می‌دهد در منطقه‌ای که ۴۰ درصد از اراضی، غیرقابل نفوذ بوده (پشت بام و خیابان) و تمامی شهر تحت پوشش شبکه فاضلاب شهری قرار داشته باشد دبی حداکثر سیلاب، $\frac{3}{2}$ برابر قبل از توسعه شهری خواهد بود [۱۵]. تغییر رژیم هیدرولوژیک بر اثر توسعه شهری نشان می‌دهد میانگین سیلاب‌های سالانه از $\frac{1}{8}$ تا ۸ برابر و سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله از $\frac{1}{8}$ تا $\frac{3}{8}$ برابر افزایش یافته است [۲۰]. استفاده از روش شماره منحنی و روش‌های مدل‌سازی سیلاب در مطالعه اثر رشد شهری بر حجم رواناب و دبی اوج در شهر مکه مشخص کرده که با افزایش ۱۹۷ درصدی توسعه شهری، حجم سیلاب ۲۴۸ درصد افزایش یافته است [۸]. اثر توسعه شهری بر سیلاب‌های شهری شهر کنسو در ویتنام، نشان می‌دهد افزایش رواناب به سبب گسترش مناطق غیرقابل نفوذ است و توسعه شهر می‌تواند به طور قابل توجهی خطر سیل را افزایش دهد [۱۲]. بررسی اثر سناریوی تغییر رواناب ناشی از توسعه شهری با استفاده از مدل SWMM، نشان می‌دهد که در صورت گسترش شهر و افزایش ۵۵ درصدی سطوح در حال ساخت و ساز تا سال ۲۰۵۰، عمق آب‌گرفتگی ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت [۱۳]. نتایج بررسی اثر رشد جمعیت و توسعه شهری بر منابع آبی با مدل SWMM نشان می‌دهد که افزایش مؤثر سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش دو برابری حجم سیلاب می‌شود [۱۸]. اثر توسعه شهری بر رواناب با مدل SWMM در حوزه آبخیز اسپو در جنوب فنلاند که به سرعت از یک منطقه روستایی به منطقه مسکونی تبدیل شده است مشخص کرده که با افزایش سطوح نفوذناپذیر از $\frac{1}{5}$ به ۳۷ درصد، دبی پیک جریان افزایش یافته است و در حالت شهری نسبت به شرایط روستایی، دبی پیک در مدت زمان کوتاه‌تری پس از بارش اتفاق می‌افتد [۱۹]. در ایران نیز با مطالعه اثرات سطوح

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهری زنجان در استان زنجان و در عرض جغرافیایی بین $36^{\circ} 42' 20''$ تا $36^{\circ} 38' 26''$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ} 26' 29''$ تا $48^{\circ} 35' 03''$ شرقی واقع شده و مساحت تقریبی تحقیق، پس از حذف باغ‌های حاشیه رودخانه زنجانرود در پائین دست شهر و بخش‌هایی که هنوز شبکه جمع‌آوری رواناب آن کامل نشده است، ۳۹ کیلومترمربع است. بالادست این حوزه شهری، ارتفاعات کوهستانی است که جهت جلوگیری از جریان‌های ورودی به شهر و ذخیره رواناب و ایجاد منطقه گردشگری، سد خاکی گاوزنگ احداث شده و اجازه ورود جریان به شهر را نمی‌دهد. همچنین، در بخش‌های بالایی به دلیل توسعه شهر و ساخت‌وساز، شبکه آبراهه طبیعی دستخوش تغییرات زیادی شده و این شبکه‌ها به شبکه کانالیزه شهری متصل نشده‌اند (شکل ۱).

۲.۲. روش تحقیق

۱.۲.۲. تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی برای سه گام زمانی، در سال ۱۳۳۴ می‌بایست عکس‌های هوایی و برای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ تصاویر ماهواره‌ای مورد پردازش و اصلاح قرار گیرند. لذا عملیات پیش پردازش مشتمل بر اصلاحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی بر روی آن‌ها در نرم افزار سنجش از دور IDRISI Selva انجام شده است. از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر که از سازمان جغرافیایی ارتش تهیه شده برای تولید نقشه کاربری اراضی استفاده شده و با به کار بردن نقاط کنترل عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴، تصاویر سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ از نظر هندسی تصحیح شدند. جهت تعیین کاربری اراضی، با توجه به اطلاعات حاصل از عملیات میدانی و تفسیر چشمی تصاویر، کلاسه‌های کاربری شامل محدوده‌های شهری، اراضی مرتعی متراکم و تخریب

غیرقابل نفوذ و توسعه شهری بر تولید رواناب و خطر سیل در حوزه حاجی قوشان با استفاده از مدل HEC-HMS مشخص شد که تولید رواناب به دلیل توسعه شهری در طی ۴۰ سال گذشته افزایش یافته است [۹]. بر اساس مطالعه تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مشخصات هیدرولوژی آب‌های سطحی حوزه آبخیز بیرجند به نظر می‌رسد با افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری، میزان دبی اوج سیلاب و حجم رواناب ۴۷/۴۴ درصد افزایش داشته است [۵]. نتایج بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری بر عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز طبقه و دهبار بیان می‌کند که مقادیر ارتفاع، ضریب رواناب و دبی پیک در حوزه طبقه که رشد شهری بیشتری داشته است بیشتر از حوزه دهبار است [۲۲]. در حوزه آبخیز یلفان، اثر تغییر کاربری اراضی بر دبی نشان می‌دهد که تغییر در کاربری اراضی منجر به افزایش رواناب سطحی در حدود ۱۷ درصد شده است [۱۴]. تحقیق در مورد هیدرولوژی رگبار در حوزه‌های شهری نشان می‌دهد که توسعه مناطق شهری موجب افزایش حجم رواناب و شدت سیلاب خواهد شد [۱]. بنابراین به منظور مدیریت رواناب‌های شهری، طراحی مناسب سیستم‌های جمع‌آوری، کنترل سیلاب‌های شهری و آب‌گرفتگی معابر، برای برنامه‌ریزان و مسئولان شهری ضروری است که در مورد افزایش دبی و حجم رواناب ناشی از گسترش سطوح نفوذناپذیر شهری، آگاهی داشته و بر اساس آن برای شرایط فعلی و آینده برنامه‌ریزی نمایند. این گونه تحقیقات در مناطق شهری کشور ما کمتر انجام شده است و برای هر منطقه شهری لازم است بر اساس شرایط توپوگرافی و جغرافیایی، بافت و ساخت شهری، کاربری اراضی و وضعیت سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های شهری و... این مطالعات انجام شود تا پیش نیازهای مدیریتی فراهم شود. حوزه آبخیز شهری زنجان بدین سبب انتخاب شد که توسعه شهری زیادی را در دهه‌های اخیر تجربه کرده و آب‌گرفتگی معابر و سطوح شهری در آن مشاهده می‌شود.

$$\frac{B-A}{A} \times 100 = \%Increase \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه؛ A: مساحت کاربری برای قبل از توسعه و B: مساحت کاربری برای بعد از توسعه است که در مورد بررسی روند تغییرات دبی نیز می‌توان از آن استفاده کرد [۲۱].

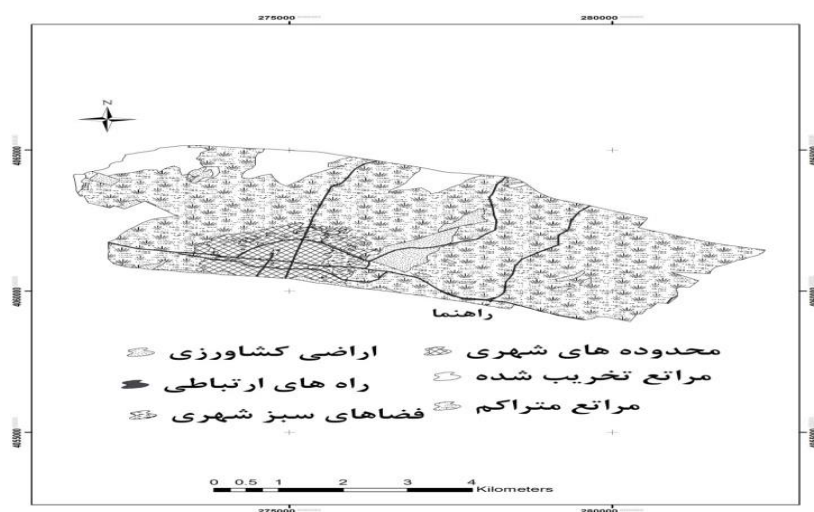
شده، فضاهای سبز شهری، اراضی کشاورزی و راه‌های ارتباطی اصلی شناسایی شد. نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ آمده است.

۲.۲.۲. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی

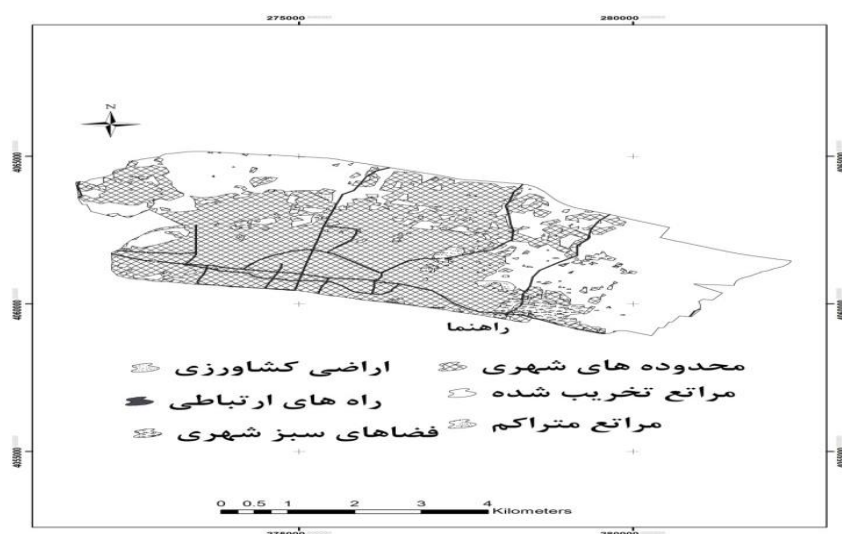
به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی از رابطه ۱ استفاده می‌شود.



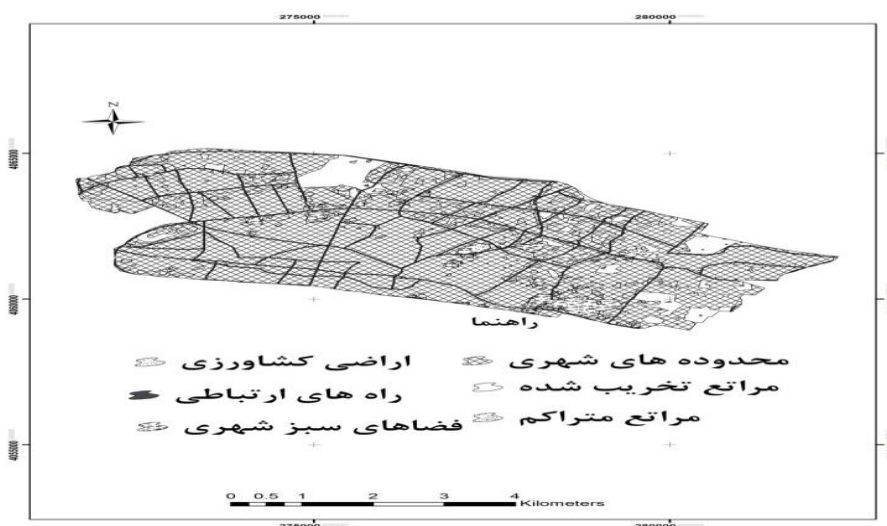
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان زنجان



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنجان در سال ۱۳۳۴



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنگنه در سال ۱۳۷۹



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنگنه در سال ۱۳۹۱

۳.۲.۲. توصیف مدل SWMM

مدل SWMM یا مدل مدیریت بارش-رواناب، توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ارائه شده و در طی سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۷۱ توسط سه گروه متکالف وادی، دانشگاه فلوریدا و مهندسين منابع آب آمریکا توسعه پیدا کرده است. مدل اولیه اساساً جهت حل مسائل پخش آلودگی برنامه‌ریزی شده بود، اما در حال حاضر با توسعه مدل، این مدل تحت سیستم عامل ویندوز به کار رفته و

دارای محیط اختصاصی برای به کارگیری و ویراستاری اطلاعات ورودی، اجرای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و کیفیت آب است و به منظور اداره کردن شبکه‌هایی با شکل طبیعی یا روباز و رو بسته با ابعاد نامحدود، مدل‌سازی اجزای خاص مانند واحدهای تصفیه یا ذخیره‌سازی، مقسم‌ها، پمپ‌ها و انواع سرریز و روزنه و... در طراحی‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱.۳.۲.۲. اجرای مدل SWMM

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر توسعه شهری و تغییر کاربری بر دبی پیک رواناب است. بنابراین برای اجرای مدل، بایستی برخی پارامترها که نشان دهنده و تابع اثر تغییر کاربری هستند از نقشه‌های کاربری اراضی سه گام زمانی به دست آیند و وارد مدل شوند. کاربری اراضی بر میزان گیرش، نفوذپذیری و نحوه توزیع آب درون خاک اثرگذار است. عملیات کشاورزی بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع اثر گذار بوده و تا حدودی ضریب زبری سطح را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. این تحقیق، بیشتر بر نفوذپذیری متمرکز شده و فرض بر این است که دینامیک کاربری اراضی مشاهده شده ضریب زبری را تغییر نمی‌دهد. همچنین از بسیاری از تغییرات محدود کننده‌ای که اطلاعاتی در مورد آن‌ها در دسترس نیست مانند ویژگی‌های هندسی (تراکم، عمق، شکل کانال) شبکه جمع‌آوری رواناب شهری صرف نظر شده است. همچنین فرض شده که دینامیک کاربری اراضی بر پارامترهایی مانند قابلیت نفوذ سطحی، میزان نفوذپذیری و ذخیره سطحی خاک اثرگذار است و نقش همه این فاکتورها در قالب شماره منحنی (CN)، درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر با ذخیره سطحی صفر لحاظ شده است. زیرا اطلاعات آن‌ها برای هر سه دوره زمانی در دسترس است و مهم‌ترین پارامترهایی هستند که نماینده اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر تولید رواناب می‌باشند. وارد سازی اجزای شبکه جمع‌آوری رواناب شامل چندین بخش است که در گام اول بایستی محدوده مورد مطالعه به چندین واحد هیدرولوژیک تقسیم‌بندی شود. در گام دوم بایستی ویژگی‌های گره‌ها، شکل و ابعاد کانال‌ها وارد مدل شود و در گام سوم خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی سیستم وارد مدل می‌شوند.

۱.۱.۳.۲.۲. تعیین واحدهای هیدرولوژیک

برای تعیین مرز حوضه و واحدهای هیدرولوژیک، از نقشه کاربری اراضی (طرح تجدید نظر تفصیلی شهر

زنجان، سازمان مسکن و شهرسازی استان زنجان، ۱۳۸۸)، نقشه توپوگرافی با مقیاس یک دو هزار و نقشه بلوک‌های ساختمانی (سازمان مسکن و شهرسازی استان زنجان، ۱۳۸۰)، نقشه جهت جریان در کانال‌ها (طرح جامع شهر زنجان، اداره کل راه و شهرسازی استان زنجان، ۱۳۹۱) و پیمایش زمینی استفاده شد و در نهایت ۶۴ واحد هیدرولوژیک از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۵).

۲.۱.۳.۲.۲. شبکه جمع‌آوری رواناب

از نظر هندسی یک شبکه جمع‌آوری رواناب یکسان و مشترک برای هر سه دوره زمانی در مدل مورد بررسی قرار گرفت چون که اطلاعات در مورد ویژگی‌های هندسی کانال‌ها در زمان‌های گذشته در دسترس نیست. شبکه جمع‌آوری رواناب در قالب گره‌ها-کانال‌ها وارد مدل گردید (شکل ۶).

در هر نقطه‌ای از کانال یا بازه که شکل آن عمدتاً در این تحقیق مستطیلی رو باز یا رو بسته می‌باشد تغییراتی از نظر مقطع عرضی، شیب کف، ضریب زبری، ابعاد و... اتفاق افتاده یک گره جدید تعریف شده است. جهت تهیه این اطلاعات از یک نقشه پایه توپوگرافی استفاده شده و سپس بر اساس پیمایش زمینی تمامی پارامترهای شبکه جمع‌آوری رواناب اندازه‌گیری و وارد مدل شده است. در جدول ۱ ویژگی‌های برخی از این کانال‌ها برای نمونه آورده شده است.

۳.۱.۳.۲.۲. پارامترهای مدل

پارامترهای مورد نیاز واحدهای هیدرولوژیک برای اجرای مدل شامل مساحت، شیب میانگین، عرض میانگین مستطیل معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ برای سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر و ارتفاع نفوذپذیری و ذخیره برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر و شماره منحنی می‌باشد. شیب میانگین هر واحد هیدرولوژیک با استفاده از ArcGIS 9.3 و پس از آنکه نقشه مدل رقومی ارتفاع بر اساس نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس یک دو هزارم تهیه شد مورد محاسبه

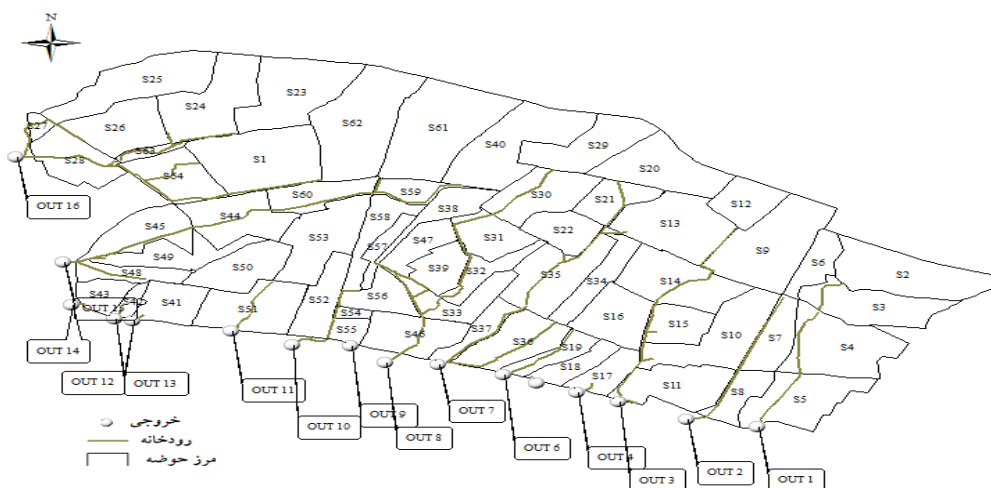
C: ضریب گراولیوس است و از رابطه $C = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$

به دست می آید و در آن؛ P: محیط حوضه به کیلومتر است [۱۶]. ویژگی های برخی از واحدهای هیدرولوژیک برای نمونه در جدول ۲ آورده شده است.

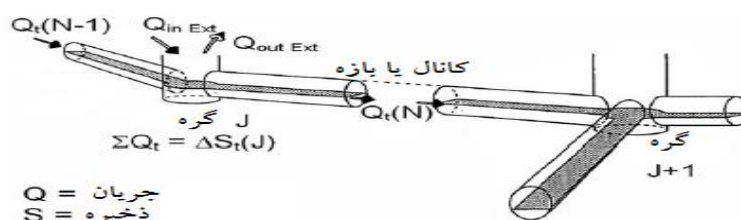
قرار گرفت. پارامتر عرض مستطیل معادل بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$l = \frac{C\sqrt{A}}{1/128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1/128}{C} \right)^2} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن؛ A: مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع و



شکل ۵. شکل شماتیک واحدهای هیدرولوژیک و شبکه جمع آوری رواناب های شهری زنجان



شکل ۶. نمایشی از نحوه اتصال گره ها و کانال ها به یکدیگر در سیستم جمع آوری رواناب [۱۰]

جدول ۱. ویژگی های برخی از کانال های شبکه جمع آوری رواناب شهری زنجان

کانال	گره بالادست	گره پایین دست	طول (متر)	عمق کانال (متر)	عرض بالا (متر)	شکل کانال
C1	J1	J2	۸	۱/۵	۴/۱۰	مستطیلی روباز
C2	J2	J3	۲	۱/۵	۲	مستطیلی روباز
C3	J3	J4	۱۴۶	۰/۵	۰/۵	مثلی روباز
C4	J4	J5	۲۲۹	۰/۵	۰/۵	مثلی روباز
C5	J5	J6	۱۹۳	۰/۵	۰/۵	مثلی روباز

جدول ۲. خصوصیات ژئومتری واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز شهری زنجان

نام واحد	نوع واحد	مساحت (هکتار)	محیط km	شیب متوسط (%)	عرض مستطیل معادل	خروجی
S1	شهری	۱۲۲/۴۹	۴/۴۳	۵	۱۱۰۲	J153
S2	شهری	۱۰۶/۸۸	۴/۸۹	۴	۵۷۰	J176
S3	شهری	۷۹/۱۰	۴/۵۰	۳	۴۳۶	J184
S4	شهری	۱۰۳/۶۸	۴/۶۵	۷	۶۰۳	J194
S5	شهری	۸۴/۸۳	۴/۴۴	۱۲	۴۹۰	J202

در برآورد پارامترهای کلی مدل از جداول استاندارد که در دستورالعمل مدل آورده شده استفاده گردید [۱۱]. پارامتر ضریب زبری برای سطوح مختلف و همچنین برای کانال‌های مختلف از جدول استاندارد استخراج گردیده است [۴، ۱۷]. مقادیر ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر بر اساس جدول استاندارد تعیین گردیدند [۳]. شماره منحنی در هر واحد هیدرولوژیک نیز از جداول استاندارد استخراج شده [۱، ۶، ۱۶] و در محاسبه آن از رابطه ۳ استفاده گردید.

رابطه (۳)

$$\bar{N} = \frac{(N_A * S_A) + (N_B * S_B) + (N_C * S_C) + (N_D * S_D)}{S}$$

که در آن $\bar{N}$: میانگین وزنی شماره منحنی برای هر واحد هیدرولوژیک است. N_A, N_B, N_C, N_D : مقدار CN برای هر کاربری مبتنی بر گروه هیدرولوژیک آن شامل A، B، C و D است که در جدول شماره منحنی استاندارد سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شده است. S_A, S_B, S_C, S_D : به ترتیب مساحت گروه‌های هیدرولوژیک A، B، C و D واحد مورد مطالعه (به هکتار) و S: مساحت کل واحد هیدرولوژیک به هکتار است. مقادیر محاسبه شده این پارامتر و درصد مناطق نفوذناپذیر برای برخی از واحدهای هیدرولوژیک در سه گام زمانی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. شماره منحنی و درصد مناطق نفوذناپذیر برخی از واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز شهری زنجان در سال‌های مختلف

واحد هیدرولوژیک	مقدار شماره منحنی (CN)						درصد مناطق نفوذناپذیر
	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۷۹	سال ۱۳۴۴	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۷۹	سال ۱۳۳۴	
S1	۹۵	۹۴	۷۷	۹۹	۸۱	۰	
S2	۹۵	۹۴	۸۰	۸۱	۰	۰	
S3	۹۴	۹۱	۷۵	۹۷	۰	۰	
S4	۹۴	۹۱	۷۴	۸۶	۰/۰۴	۰/۱	
S5	۹۳	۹۱	۷۴	۵۷	۳	۰/۹	

مدل مورد استفاده قرار گرفت.

۴.۱.۳.۲.۲. هیتوگراف بارش

به منظور تهیه هیتوگراف‌های بارش برای واردسازی به مدل، از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه

به منظور واسنجی مدل از مقادیر ارائه شده در جدول استاندارد استفاده گردید [۲۳] و بر اساس اندازه‌گیری دو واقعه بارش-رواناب در تاریخ‌های ۱۳۹۲/۰۸/۲۵ و ۱۳۹۳/۰۱/۲۱ واسنجی مدل انجام شده و واقعه بارش-رواناب تاریخ ۱۳۹۳/۰۱/۲۹ برای صحت سنجی

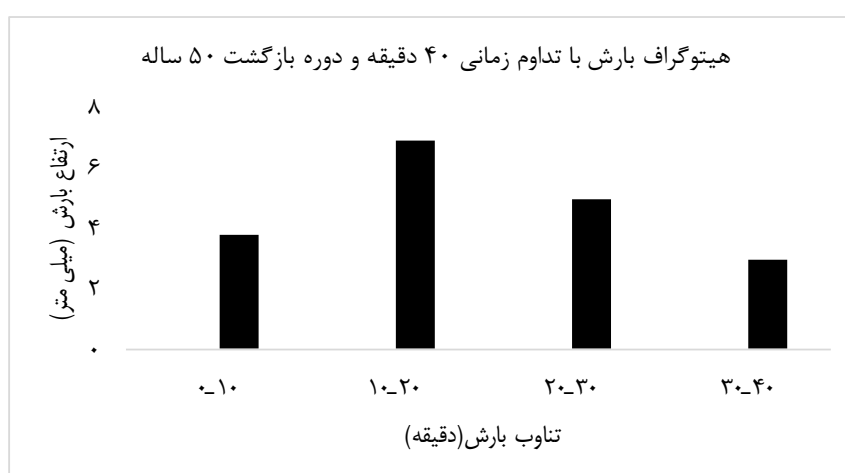
پیمایش آب با استفاده از جسم شناور، صحت نتایج آن تأیید شده است و نهایتاً بارش طرح با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله با تداومی برابر زمان تمرکز واحدهای هیدرولوژیک با استفاده از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی و روش بلوک متناوب محاسبه شد. در جدول ۴ برخی از زمان تمرکزهای محاسبه شده و در شکل ۷ هیتوگراف بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله با تداوم زمانی ۴۰ دقیقه آورده شده است.

در نهایت با اجرای مدل برای سه گام زمانی، میزان تولید رواناب تعیین شد تا تغییرات پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شهری را نسبت به توسعه شهر و تغییر کاربری بررسی نماییم.

هواشناسی سینوپتیک زنجان استفاده شده است. بر اساس این که شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوزه آبخیز باشد و از آنجایی که زمان تمرکز یک پارامتر فیزیکی بوده که مقدار آن برای هر حوضه متفاوت است لذا اگر بخواهیم در یک منطقه، مقدار سیلاب را برای حوضه‌های مختلف محاسبه کنیم لذا بایستی زمان تمرکز برای هر کدام از واحدهای هیدرولوژیک محاسبه شود. بنابراین جهت برآورد زمان تمرکز، از روش سرعت که در آن زمان تمرکز متشکل از سه زمان جریان ورقه‌ای، جریان جویچه‌ای و جریان درون کانال اصلی می‌باشد استفاده شده و جهت تسهیل در محاسبه، نرم افزار win-TR55، مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس روش صحرایی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان

جدول ۴. زمان تمرکز برخی از واحدهای هیدرولوژیک آبخیز شهری زنجان

نام واحد هیدرولوژیک	زمان تمرکز (دقیقه)	نام واحد هیدرولوژیک	زمان تمرکز (دقیقه)
S1	۲۴	S14	۱۴
S2	۱۲	S15	۱۳
S3	۱۳	S16	۱۳
S4	۱۵	S17	۱۵
S5	۱۵	S18	۱۷



شکل ۷. هیتوگراف رگبار طراحی با تداوم ۴۰ دقیقه و دوره بازگشت ۵۰ سال

۳. نتایج

۱.۳. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی در سه گام زمانی، جزء اطلاعات پایه این تحقیق هستند. با توجه به اینکه محدوده‌های مسکونی، تجاری، خیابان‌ها و کوچه‌های آسفالت، درون محدوده‌های شهری قرار دارند، بنابراین در

کلاس کاربری محدوده شهری قرار داده شده‌اند و با توجه به عایق و نفوذناپذیر بودن سطوح ساختمان‌ها و خیابان‌های آسفالتی برای این محدوده‌ها، میانگین شماره منحنی در نظر گرفته شده است. مقادیر عددی روند تغییرات کاربری اراضی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز شهری زنجان در سال‌های مختلف

سال	نام کاربری	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	درصد تغییرات (نسبت به دوره قبل)
			نسبت به سال ۱۳۷۹	نسبت به سال ۱۳۳۴
سال ۱۳۹۱	مراکز متراکم	۱۷/۰۹	۰/۴۴	-۹۹/۴۲
	مراکز تخریب شده	۳۱۷/۷۶	۸/۲۴	۳/۷۸
	محدوده شهری	۳۱۹۳/۲۸	۸۲/۸۲	۹۲۳/۸۸
	راه‌های ارتباطی	۲۱۱/۵۳	۵/۴۹	۲۷۴/۷
	فضای سبز شهری	۱۱۵/۸۶	۳	۶۶/۴۴
	کشاورزی	۰	۰	-۱۰۰
سال ۱۳۷۹	مراکز متراکم	۵۶/۰۶	۱/۴۸	-۹۸/۰۹
	مراکز تخریب شده	۱۶۱۱/۶۱	۴۱/۸۰	۴۲۶/۳۶
	محدوده شهری	۲۰۵/۵۷	۵۲/۰۲	۵۴۳/۰۶
	راه‌های ارتباطی	۷۱/۱۵	۱/۸۵	۲۶/۰۵
	فضای سبز شهری	۱۱۰/۱۲	۲/۸۶	۵۸/۱۹
	کشاورزی	(حدوداً ۳۹ متر مربع)	۰	-۱۰۰
سال ۱۳۳۴	مراکز متراکم	۲۹۳۳/۳۳	۷۶/۰۸	-
	مراکز تخریب شده	۳۰۶/۱۸	۷/۹۴	-
	محدوده شهری	۳۱۱/۸۸	۸/۰۹	-
	راه‌های ارتباطی	۵۶/۴۵	۱/۴۶	-
	فضای سبز شهری	۶۹/۶۱	۱/۸۱	-
	کشاورزی	۱۷۸/۰۶	۴/۶۲	-

*علامت منفی نشان دهنده کاهش و علامت مثبت نشان دهنده افزایش آن کاربری است.

۲.۳. بررسی اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر

دبی‌های پیک رواناب

پس از بررسی روند تغییرات کاربری در خروجی‌های مختلف، جهت بررسی اثر آن بر دبی پیک، بایستی شماره منحنی‌ها و درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر با ذخیره سطحی صفر را برای سال‌های مختلف

و در دوره بازگشت‌های مختلف وارد مدل کرده و میزان دبی پیک رواناب تولیدی برآورد شده را مشخص نماییم. برای این منظور واحدهای هیدرولوژیک از نظر تغییر کاربری و توسعه شهری در دوره بازگشت‌های مختلف و طی سال‌های مختلف بررسی شدند. با توجه به حجم زیاد محاسبات، به بررسی تغییرات رواناب از نظر دبی پیک در خروجی‌های اصلی اکتفا شده و محاسبات در تک تک

واحدهای هیدرولوژیک انجام نشده است. نتایج اجرای مدل برای این بخش در جداول ۶ الی ۱۳ آمده است.

جدول ۶. دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

خروجی	دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)				
	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲
OUT1	۰/۲۴۸	۰/۱۲۶	۰/۰۵۶	۰/۰۲۰	۰/۰۰۷
OUT2	۰/۱۶۲	۰/۰۸۳	۰/۰۴۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷
OUT3	۱/۳۶۷	۰/۷۷۹	۰/۳۹۵	۰/۱۴۱	۰/۰۳۹
OUT4	۰/۱۱۵	۰/۰۶۰	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴
OUT5	۰/۰۰۳	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳
OUT6	۰/۱۵۸	۰/۰۸۳	۰/۰۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶
OUT7	۰/۷۲۴	۰/۳۵۸	۰/۱۴۹	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶
OUT8	۰/۶۲۳	۰/۳۲۷	۰/۱۵۵	۰/۰۵۹	۰/۰۲۰
OUT9	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
OUT10	۰/۳۹۶	۰/۲۳۷	۰/۱۳۳	۰/۰۵۴	۰/۰۱۴
OUT11	۰/۴۲۸	۰/۲۷۰	۰/۱۶۵	۰/۰۷۹	۰/۰۱۹
OUT12	۰/۱۱۱	۰/۰۶۰	۰/۰۳۰	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵
OUT13	۰/۰۴۳	۰/۰۲۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶
OUT14	۰/۱۸۰	۰/۱۰۰	۰/۰۴۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸
OUT15	۰/۹۸۶	۰/۵۶۳	۰/۳۰۱	۰/۱۱۴	۰/۰۲۷
OUT16	۲/۶۶۰	۱/۶۴۹	۰/۹۷۶	۰/۴۰۴	۰/۰۸۰

جدول ۷. دبی پیک رواناب سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

خروجی	دبی پیک رواناب سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)				
	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲
OUT1	۰/۰۴۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰
OUT2	۰/۰۴۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
OUT3	۰/۱۸۷	۰/۰۹۰	۰/۰۳۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳
OUT4	۰/۱۰۴	۰/۰۵۴	۰/۰۲۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳
OUT5	۰/۰۵۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳
OUT6	۰/۱۱۳	۰/۰۵۶	۰/۰۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
OUT7	۰/۵۶۳	۰/۲۶۴	۰/۰۹۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۶
OUT8	۰/۵۹۶	۰/۳۰۹	۰/۱۴۴	۰/۰۵۳	۰/۰۱۸
OUT9	۰/۰۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
OUT10	۰/۳۹۵	۰/۲۳۶	۰/۱۳۳	۰/۰۵۳	۰/۰۱۴
OUT11	۰/۴۲۵	۰/۲۶۹	۰/۱۶۴	۰/۰۷۸	۰/۰۱۹
OUT12	۰/۱۰۷	۰/۰۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵
OUT13	۰/۰۴۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵
OUT14	۰/۱۷۳	۰/۰۹۶	۰/۰۴۶	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸
OUT15	۰/۸۳۹	۰/۴۷۵	۰/۲۴۹	۰/۰۸۸	۰/۰۱۹
OUT16	۱/۱۹۹	۰/۶۹۰	۰/۳۷۴	۰/۱۳۲	۰/۰۲۵

جدول ۸. دبی پیک رواناب سال ۱۳۳۴ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

دبی پیک رواناب سال ۱۳۳۴ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)					خروجی
۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	OUT1
۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	.	.	OUT2
۰/۰۲۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	.	۰/۰۰۱	OUT3
۰/۰۳۶	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	OUT4
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	.	.	.	OUT5
۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	.	.	OUT6
۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	.	.	OUT7
۰/۱۶۰	۰/۰۷۶	۰/۰۲۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	OUT8
۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	OUT9
۰/۳۴۷	۰/۲۰۷	۰/۱۱۳	۰/۰۴۲	۰/۰۱۰	OUT10
۰/۳۶۳	۰/۲۳۲	۰/۱۴۱	۰/۰۶۶	۰/۰۱۴	OUT11
۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	.	.	OUT12
.	.	.	.	.	OUT13
.	.	.	.	.	OUT14
۰/۲۴۱	۰/۱۶۰	۰/۱۰۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	OUT15
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	.	.	.	OUT16

جدول ۹. درصد تغییرات دبی پیک رواناب سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

دبی پیک رواناب سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه) نسبت به سال ۱۳۳۴					خروجی
۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۱۹۲/۸۵	۷۲/۲۲	۷۸	۱۰۰	۱۰۰	OUT1
۴۸۷/۵	۴۷۵	۳۵۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT2
۵۴۴/۸۲	۵۰۰	۴۸۳/۳۳	۱۰۰	۲۰۰	OUT3
۱۸۸/۸۸	۱۷۰	۲۰۰	۸۰۰	.	OUT4
۵۸۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT5
۱۸۶۶/۶۶	۲۷۰۰	۲۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT6
۶۹۳۷/۵	۳۶۷۱/۴۲	۹۶۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT7
۴۵۱/۸۵	۳۰۶/۵۷	۳۹۶/۵۵	۵۶۲/۵	۴۰	OUT8
۱۷/۶۴	۲۰	۱۴/۲۸	۲۵	۱۰۰	OUT9
۱۳/۸۳	۱۴	۱۷/۶۹	۲۶/۱۹	۴۰	OUT10
۱۷/۰۷	۷۵/۴۳	۱۶/۳۱	۱۰/۶۰	۳۵/۷۱	OUT11
۲۰۷/۶۹	۵۳۳/۳۳	۶۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT12
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT13
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT14
۲۴۸/۱۳	۱۹۶/۸۷	۲۶۶/۶۶	۸۷/۲۳	۷۶/۲۵	OUT15
۵۹۸۵۰	۶۸۹۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	OUT16

جدول ۱۰. درصد تغییرات دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۳۴ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

خروجی	دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه) نسبت به سال ۱۳۳۴				
	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲
OUT1	۱۶۷۱/۴۲	۲۰	۱۰۲۰	۱۹۰۰	۶۰۰
OUT2	۱۹۲۵	۱۳۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT3	۴۶۱۳/۷۹	۱۹۷۵	۶۴۸۳/۳۳	۱۰۰	۳۳۰۰
OUT4	۲۱۹/۴۴	۵۰۹۳/۳۳	۲۱۲/۵	۱۸۰۰	۳۳/۳۳
OUT5	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT6	۵۱۶۶/۶۶	۳۱۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT7	۸۹۵۰	۴۰۵۰	۳۹۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT8	۲۸۹/۳۷	۱۱۸۳۳/۳۳	۴۱۳/۷۹	۶۳۷/۵	۵۶۶/۶۶
OUT9	۸۸/۲۳	۳۳۰/۲۶	۱۴/۲۸	۲۵	۱۰۰
OUT10	۱۴/۱۲	۲۰	۱۷/۶۹	۲۸/۵۷	۴۰
OUT11	۱۷/۹۰	۱۴/۴۹	۱۷/۰۲	۱۹/۶۹	۳۵/۷۱
OUT12	۶۴۰	۱۶/۳۷	۶۵۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT13	۱۰۰	۵۶۶/۶۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT14	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
OUT15	۳۰۹/۱۲	۱۰۰	۱۹۵/۰۹	۱۴۲/۵۵	۲۷۳/۵
OUT16	۱۳۲۹۰۰	۲۵۱/۸۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۱۱. درصد تغییرات دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

خروجی	دبی پیک رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه) نسبت به سال ۱۳۷۹				
	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲
OUT1	۵۰۴/۸۷	۴۰۴	۴۰۹/۰۹	۹۰۰	۱۰۰
OUT2	۲۴۴/۶۸	۲۶۰/۸۶	۳۶۶/۶۶	۵۳۳/۳۳	۶۰۰
OUT3	۶۳۱/۰۱	۷۶۵/۵۵	۱۰۲۸/۵۷	۱۴۶۶/۶۶	۱۲۰۰
OUT4	۱۰/۵۷	۱۱/۱۱	۱۶/۶۶	۲۲/۲۲	۳۳/۳
OUT5	۹۱/۹۴	۳/۲۲	.	.	.
OUT6	۳۹/۸۲	۴۸/۲۱	۶۶/۶۶	۱۱۲/۵	۱۰۰
OUT7	۲۸/۵۹	۳۵/۶۰	۵۳/۶۰	۱۱۶/۶۶	.
OUT8	۴/۵۳	۵/۸۲	۷/۶۳	۱۱/۳۳	۱۱/۱۱
OUT9	۹۰	.	.	.	.
OUT10	۰/۲۸	۰/۴۲	.	۱/۸۸	.
OUT11	۰/۷۰	۳/۸۴	۰/۶۰	۱/۲۸	.
OUT12	۳/۷۳	۵/۲۶	۷/۱۴	۱۶/۶۶	.
OUT13	۷/۵	۹/۰۹	.	.	۱۸۰
OUT14	۴/۰۴	۴/۱۶	۶/۵۲	۵	.
OUT15	۱۷/۵۲	۱۸/۵۲	۲۰/۸۸	۲۹/۵۴	۱۰/۴۲
OUT16	۱۴۶/۱	۱۳۸/۹۸	۱۶۰/۹۶	۲۰۶/۰۶	۲۲۰

جدول ۱۲. تغییرات دبی پیک رواناب در سال‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

سال	دوره بازگشت	دبی پیک (متر مکعب بر ثانیه)
۱۳۹۱	۲	۰/۲۰۷
	۵	۰/۸۵۲
	۱۰	۲/۱۳۶
	۲۰	۳/۸۸۲
	۵۰	۶/۵۴۸
۱۳۷۹	۲	۰/۱۰۴
	۵	۰/۴۱۲
	۱۰	۱/۰۲۹
	۲۰	۱/۹۵۸
	۵۰	۳/۷۹۴
۱۳۳۴	۲	۰/۰۳۵
	۵	۰/۱۶۱
	۱۰	۰/۳۷۸
	۲۰	۰/۶۵۴
	۵۰	۱/۰۹۴

جدول ۱۳. درصد تغییرات دبی پیک رواناب در سال‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

سال	دوره بازگشت	دبی پیک (متر مکعب بر ثانیه)
۱۳۹۱ نسبت به ۱۳۷۹	۲	۹۹/۰۳
	۵	۱۰۶/۷۹
	۱۰	۱۰۷/۵۸
	۲۰	۹۸/۲۶
	۵۰	۷۲/۵۸
۱۳۹۱ نسبت به ۱۳۳۴	۲	۴۹۱/۴۴۲
	۵	۴۲۹/۱۹
	۱۰	۴۶۵/۰۷۹
	۲۰	۴۹۳/۵۷
	۵۰	۴۹۸/۵۳
۱۳۷۹ نسبت به ۱۳۳۴	۲	۱۹۷/۱۴
	۵	۱۵۵/۹۰
	۱۰	۱۷۲/۲۲
	۲۰	۱۹۹/۳۸
	۵۰	۲۴۶/۸۰

۴. بحث و نتیجه گیری

فرآیند توسعه شهری به صورت چشمگیری با افزایش سطوح نفوذناپذیر سبب تغییر ساختار و کارکرد حوزه آبخیز طبیعی شده است و ایجاد یک سیستم کارآمد برای زهکشی رواناب و جلوگیری از سیل گیری و آب گرفتگی سطوح و معابر را ضروری ساخته است. این موضوع سبب تغییر قابل توجهی در هیدرولوژی حوزه آبخیز در قالب سیلاب های شدید تا کم شده است. بنابراین بسیار مهم است که اثرات توسعه شهری حوزه آبخیز بر تولید رواناب، کمی سازی شود تا بررسی های لازم جهت امکان بازگردانی و حفظ جریان و شرایط به وضعیتی مشابه قبل از توسعه در حوزه آبخیز شهری برای مدیریت یکپارچه رواناب شهری حاصل شود. مدل سازی هیدرولوژی شهری با تأکید بر اثرات توسعه شهری امروزه توجه اساسی و زیادی یافته است. اما کمبود و نبود داده های مناسب جهت پایش کمی و کیفی به عنوان یک محدودیت در کالیبره کردن مدل ها مد نظر بوده است. با توجه به این موضوع، این تحقیق تلاش دارد که فهم بهتری از اثرات توسعه شهری روی تولید رواناب و هیدرولوژی شهری را از طریق مدل سازی یکسری سناریوها در حوزه آبخیز شهری توسعه یافته زنجان فراهم نماید. این حوضه، رشد سریع توسعه شهری را در سال های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۱ تجربه کرده است و درصد مناطق نفوذناپذیر افزایش یافته است به طوری که روند تغییرات کاربری اراضی که بر اساس نقشه های کاربری اراضی در گام های زمانی ۱۳۳۴، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ به دست آمده نشان می دهد که محدوده های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۷۹، ۲۲/۵۹ درصد و نسبت به سال ۱۳۳۴، ۹۲۳/۸۸ درصد افزایش داشته است. همچنین محدوده های شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴، با ۵۴۳/۰۶ درصد افزایش همراه بوده است. در سال ۱۳۳۴، با ۵۴۳/۰۶ درصد افزایش همراه بوده است. در سال ۱۳۳۴، حدود ۷۶ درصد از سطح زمین توسط مراتع متراکم و ۵ درصد هم اراضی کشاورزی پوشیده شده است که در سال ۱۳۹۱، درصد اراضی کشاورزی در محدوده آبخیز شهری زنجان به صفر رسیده

و مراتع متراکم، مساحتی کمتر از ۰/۵ درصد را پوشانده اند و در فرآیند تغییر کاربری، محدوده های اشغال شده توسط بخش های شهری از ۸ درصد در سال ۱۳۳۴ به ۸۳ درصد در سال ۱۳۹۱ گسترش یافته اند.

نتیجه گیری نهایی تحقیق نشان می دهد که با تغییر کاربری هایی مانند مراتع متراکم و تخریب شده و اراضی کشاورزی به سطوح غیرقابل نفوذ شهری میزان رواناب از نظر دبی پیک در شهر زنجان روند افزایشی داشته است. به طور کلی افزایش ۹۲۳/۸۸ و ۲۲/۵۹ درصدی مساحت محدوده های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ و افزایش ۵۴۳/۰۶ درصدی محدوده های شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ سبب شده است که میزان دبی پیک رواناب در دوره بازگشت های مختلف روند افزایشی داشته باشد. میانگین دبی پیک در دوره بازگشت های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۴۷۵/۵۲ درصدی همراه بوده است. همچنین در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۷۹، مقدار میانگین دبی پیک رواناب در دوره بازگشت های مختلف با افزایش ۹۶/۸۵ درصدی و تغییرات میانگین دبی پیک رواناب در دوره بازگشت های مختلف در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۱۹۴/۲۸۸ درصدی همراه بوده است. نتایج تحقیق حاضر نیز تأییدی بر این مدعاست که توسعه شهری و تبدیل اراضی به سطوح غیر قابل نفوذ سبب تغییر در چرخه هیدرولوژی شده و دبی پیک جریان را افزایش می دهد که با نتایج تحقیقات داخلی و خارجی [۱۵، ۲۰، ۸، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۹ و...] اشاره شده در این تحقیق همخوانی و مطابقت دارد. تفاوت در اندازه مقدار افزایش دبی پیک جریان تابع شرایط هر منطقه می باشد چون این تحقیقات در شرایط طبیعی و در مقیاس حوزه آبخیز انجام شده اند و در شرایط خاص آزمایشگاهی این اعداد به دست نیامده است، بنابراین نمی توانند بیانگر یک نتیجه و عدد خاص باشند تا بیان شود به ازای هر مقدار توسعه سطوح نفوذناپذیر، چه مقدار دبی پیک رواناب تغییر خواهد

و تصمیم ساز در طراحی‌های شهری مورد استفاده قرار داد. همچنین با توجه به بارش طرح ۵۰ ساله که برای طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری زنجان در نظر گرفته شده است می‌توان برای کنترل و مدیریت مناطق دارای سیلاب برنامه‌ریزی کرد. این تحقیق، ضرورت توسعه فضاهای سبز شهری، گسترش فضاهای با کاربری کشاورزی و جنگلداری شهری، بازنگری در سیاست‌های مرتبط با توسعه شهرها جهت مدیریت و حفاظت از آنها در برابر سیلاب و رعایت استانداردهای لازم در محیط‌های شهری دارای رودخانه‌های مشرف به حوزه‌های کوهستانی را جهت مدیریت رواناب و سیلاب‌های شهری را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

داشت بلکه بسته به شرایط هر منطقه‌ای این تحقیق می‌بایست انجام شود و مبنای برنامه ریزی قرار گیرد. همچنین بر اساس نتایج مشاهده می‌شود با افزایش دوره بازگشت هیتوگراف بارش طرح، مقادیر دبی پیک جریان، روند افزایشی دارد و در دوره بازگشت ۵۰ ساله تغییرات بیشتر محسوس است و همچنین هر چه فاصله زمانی بین دو دوره بررسی تغییر کاربری بیشتر باشد، به همان تناسب تغییرات دبی پیک نیز بیشتر است، زیرا درصد اراضی بیشتری به مناطق نفوذناپذیر تبدیل شده‌اند. با تأیید شدن کارایی مدل SWMM در برآورد رواناب در مناطق شهری که با نتایج مطالعات مشابه در این زمینه همخوانی دارد می‌توان آن‌را به عنوان ابزاری کارآمد

References

- [1] Akan, A.O. (1993). Urban Stormwater Hydrology, A Guide to Engineering Calculations, Bromandnasab Saeed, Shahid Chamran University of Ahvaz Press, Ahavz, 328pp.
- [2] Artina, S., Calenda, G., Calomino, F., Cao, C., La Loggia, G., Modica, C., Paoletti, A., Papiri, S., Rasulo, G. and Veltri, P. (1997). Sistemi di fognatura. Manuale di Progettazione (in Italian). 1997, ISBN 88-203-2442-3, Hoepli S.p.A. Milan, Italy.
- [3] ASCE, (1992). Design & Construction of Urban Storm water Management Systems, New York, NY.
- [4] ASCE, (1982). Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY.
- [5] Barzegar, S. (2012). The effects of land use changes on the hydrology properties of surface runoff (Case Study: Birjand Watershed), M.Sc. thesis, Natural Resources Faculty, Zabol University.
- [6] Behbahani, S.M. (2009). Surface Water Hydrology, 2^{Ed} Edition, Tehran University Press, 488 pp.
- [7] Faith, A. F., Matthew, W.D., Mitchell, A.H., Terril, L.A., Michelle, A.L., and Kevin D.R. (2005). Effects of Urbanization on the Geomorphology, Habitat, Hydrology, and Fish Index of Biotic Integrity of Streams in the Chicago Area, Illinois and Wisconsin, American Fisheries Society Symposium 47:87–115.
- [8]- Ghamadi, K.A. (2012). Impacts of urban growth on floods hazards in Makkah city, Saudi Arabia. International journal of Water Resources and Environmental Engineering Vol.4 (2), pp.23-34.
- [9] Gholami, V., (2010). Effects of impervious surfaces and urban development on runoff generation and flood hazard in the Hajighoshan watershed. Caspian journal of Environmental Sciences vol.8No.1pp1-12.
- [10] Giorgio C., Attilio, C., Armando, B., (2005). Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems, Physics and Chemistry of the Earth 30. 561-574
- [11] Huber, W.C. and Dickinson, R.E., (1992). Storm water management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia. 500 pp.
- [12] Huong, H.T.L. and Pathirana, A., (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. Hydro l. Earth Syst. Sci. 17,379-394.

- [13] Huong, H.T.L, Pathirana, A., Tran, T., (2012). Facing multiple challenges: the future of flooding in Can Tho city, journal of science earth science.
- [14] Janzadeh, R. (2014). Water balance models in order to study the urban runoff (Case Study: Part of Tehran City), M.Sc. thesis, Natural Resources Faculty, Malayer University.
- [15] Leopold, L.B. (1968). Hydrology for Urban Land Planning—A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. Geological Survey Circular 554; U.S. Geological Survey: Washington D.C., USA.
- [16]- Mahdavi, M. (2005). Applied Hydrology, 2nd Volume, University of Tehran Press.
- [17]- McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC
- [18] Mikovits C., Rauch, W., Kleidorfer, M., (2014). Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Procedia Engineering 70- 1147 – 1156.
- [19] Mingfu G, Nora, S., and Koivusalo, H., (2014). The response of runoff generation to urban development: modelling and understanding, Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-6743.
- [20] Riordan, E.J., Grigg, N.S. and Hiller, R.L., (1978). Measuring the effects of urbanization on the hydrologic regimen. In: P.R. Helliwell (ed.), Urban Drainage, Proc. Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Southampton, 496-511.
- [21] Storm water runoff control requirement, (2011), city of defiance, Engineering Division.
- [22] Taheri H.M. (2014). Assessment the effects of land use change and urbanization on the hydrologic response of watershed (Case Study: Torghabeh and Dehbar Watersheds), M.Sc. thesis, Natural Resources and Earth Sciences Faculty, Kashan University.
- [23] Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J., Tejero, I. (2006). Storm water quality calibration by SWMM: (Case Study: In Northern Spain). Water SA, 2006: 32(1):55–63.
- [24] UN: World Urbanization Prospects. (2006). the 2005 Revision, ESA/P/WP/200.

