

مقدمه

تمرکز جمعیت بشری در مناطق شهری، سبب توسعه شهرها و تغییر چهره طبیعی زمین شده است که فرایندهای اکوسیستمی را تحت تاثیر 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 [۱۱] و تعادل آبی طبیعی را بهم می‌زند و سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و کاهش زمان تمرکز و غیره شده که نهایتاً منجر به شکل‌گیری دبی‌های پیک بالاتر و حتی حجم‌تر برای بارش‌های کوتاه مدت یا حتی با شدت کم خواهد شد. با گسترش سطوح نفوذناپذیر در مناطق شهری، مشکلاتی مانند آبرفتگی معابر و سیلاب‌های شهری، کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، آلودگی منابع آبی و غیره افزایش یافته است. لذا ضروری است که در مناطق شهری، یک شبکه زهکشی مناسب طراحی شود که طراحی آن و مدیریت منابع آب، نیازمند درک کاملی از فرایندهای زهکشی و توجه به ابزار محاسباتی برای تعیین متغیرهای حالت، از قبیل کمیت و کیفیت رواناب در هر نقطه‌ای از سیستم جمع‌آوری رواناب شهری است. بنابراین برای شهرهای در حال توسعه لازم است که مشخص شود با توجه به روند رو به رشد و توسعه آنها، متعاقب آن چه تغییراتی در چرخه هیدرولوژی حاصل می‌شود تا نوع و میزان تغییرات را تخمین زده و برای برنامه‌ریزی و مدیریت این موضوعات اندیشیده شود. چراکه آگاهی از سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های شهری سبب راهنمایی در برنامه‌ریزی، تحلیل و طراحی، مدیریت و خدمت برای توسعه دستورالعمل‌ها می‌شود [۴]. مطالعات مختلفی در ارتباط با اثر توسعه شهری بر تولید رواناب توسط محققین ارائه شده است. دهو و همکاران [۱۰]، در ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب در حوزه آبخیز میوز، به این نتیجه رسیدند توسعه سطوح نفوذناپذیر با کاهش ظرفیت رطوبت پیشین خاک، حجم رواناب را به میزان ۴/۰۶ درصد افزایش داده است. نتایج تحقیق خالد و همکاران [۱۷]، در بررسی اثرات رشد شهری بر خطرات سیل در شهر مکه نشان می‌دهد که افزایش ۱۹۷ درصدی سطوح شهری منجر به افزایش ۲۴۸ درصدی حجم سیلاب شده است. هونگ و پاسیرانا [۱۴]، در بررسی اثر شهری شدن بر آینده سیلاب‌های شهر کنسو در ویتنام دریافتند افزایش رواناب ناشی از توسعه مناطق غیرقابل نفوذ شهری به طور قابل توجهی خطر سیل را افزایش می‌دهد. مطالعه اثر سطوح غیرقابل نفوذ و توسعه شهری بر تولید رواناب در حوزه حاجی قوشان

بررسی اثر توسعه شهری بر تغییرات حجم رواناب با استفاده از مدل بارش- رواناب SWMM (مطالعه موردی: آبخیز شهری زنجان)

فاطمه عینلو^۱، علی سلاجقه^۲، آرش ملکیان^۳ و محسن احدنژاد^۴

چکیده:

تمرکز جمعیت بشری در مناطق شهری با توسعه شهرها و تغییر چهره طبیعی زمین سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر و تغییر چرخه هیدرولوژی شده است. به منظور بررسی اثر توسعه شهری بر حجم رواناب ورودی به شبکه جمع‌آوری رواناب شهر زنجان، روند توسعه شهری با استفاده از تصاویر TM ماهواره لندست در نرم‌افزارهای IDRISI Selva و ArcGIS 9.3 پردازش شد. و نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۳۴، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ تهیه گردید. آنالیز رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی اثر توسعه شهری بر حجم رواناب، با استفاده از مدل بارش- رواناب SWMM انجام شد. با واسنجی مدل بر اساس وقایع بارش- رواناب مشاهداتی، نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل، درستی شبیه‌سازی‌ها را تأیید کرد. روند توسعه شهری نشان می‌دهد مساحت محدوده‌های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب با ۲۲/۵۹ و ۹۲۳/۸۸ درصد و سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با ۵۴۳/۰۶ درصد افزایش همراه هستند. نتایج مدل SWMM نشان می‌دهد توسعه شهری و تبدیل اراضی به سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش حجم رواناب شده به طوری که میانگین حجم رواناب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب ۶۴/۴۵ و ۶۹۸/۵۸ درصد و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴، ۳۷۶/۹۱ درصد افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: تغییر کاربری، توسعه شهری، حجم رواناب، آبخیز شهری زنجان، مدل SWMM

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و نویسنده مسئول: fatemeeinlo@ut.ac.ir
- ۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۴- دانشیار دانشکده علوم انسانی دانشگاه زنجان

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهری زنجان در استان زنجان و در عرض جغرافیایی بین ۴۰°۲۶' تا ۳۶°۳۸' شمالی و طول جغرافیایی ۴۸°۲۶' تا ۴۸°۳۵' شرقی واقع شده است. مساحت تقریبی مورد تحقیق، پس از حذف بخش‌های فاقد شبکه جمع‌آوری رواناب و باغ‌های حاشیه رودخانه زنجانرود در پائین دست شهر، ۳۹ کیلومتر مربع می‌باشد. به دلیل احداث سد خاکی گاوازنگ در بالادست شهر در سال ۱۳۷۹ و عدم اتصال شبکه جمع‌آوری رواناب شهری به اراضی کوهستانی، اجازه ورود جریان بالادست به شهر داده نمی‌شود (شکل ۱).

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی برای سه گام زمانی، در سال ۱۳۳۴ عکس‌های هوایی و برای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ تصاویر ماهواره‌ای مورد پردازش و اصلاح قرار گرفتند. لذا عملیات پیش پردازش مشتمل بر اصلاحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریک بر روی آنها در نرم‌افزار سنچس از دور IDRISI Selva انجام شده است. از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر 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 برای سه گام زمانی، با توجه به اطلاعات حاصل از عملیات میدانی و تفسیر چشمی تصاویر، کلاسه‌های کاربری شامل محدوده‌های شهری، اراضی مرتعی متراکم و تخریب شده، فضاهای سبز شهری، اراضی کشاورزی و راه‌های ارتباطی اصلی شناسایی شد. نقشه‌های کاربری تهیه شده در شکل ۲، ۳ و ۴ آمده است.

بررسی روند تغییرات کاربری اراضی

روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رابطه

$$\frac{B-A}{A} * 100 = \%Increase \quad (1)$$

تعیین می‌شود. در این رابطه؛ A: مساحت کاربری برای قبل از توسعه و B: مساحت کاربری برای بعد از توسعه می‌باشد که در مورد بررسی تغییرات حجم جریان نیز می‌توان از آن استفاده نمود [۲۲].

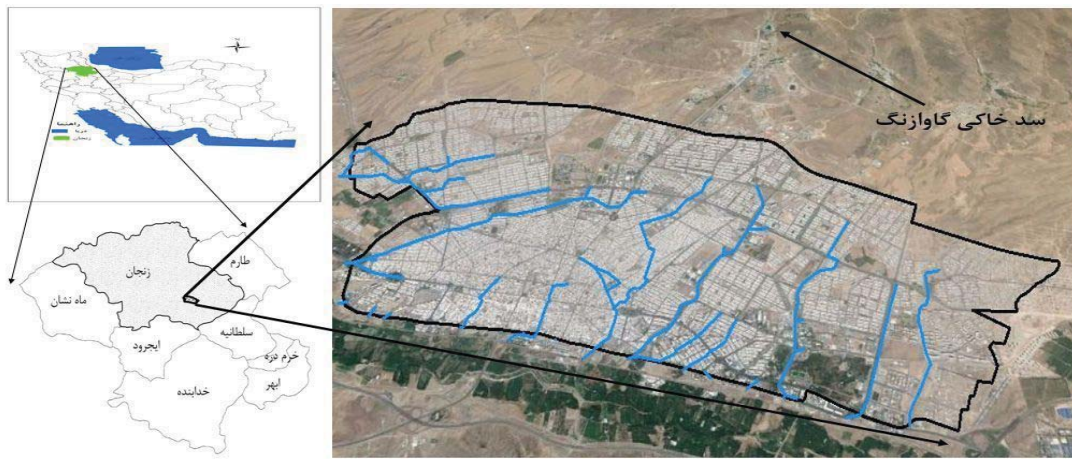
توصیف مدل SWMM

مدل SWMM یا مدل مدیریت بارش-رواناب، توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ارائه شده و با شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و کیفیت آب، برای اداره کردن شبکه‌هایی با ابعاد نامحدود، مدل‌سازی اجزای خاص مانند واحدهای تصفیه یا ذخیره‌سازی، مقسم‌ها، پمپ‌ها، انواع سرریز و روزنه و غیره در طراحی‌های شهری به کار می‌رود [۲۱].

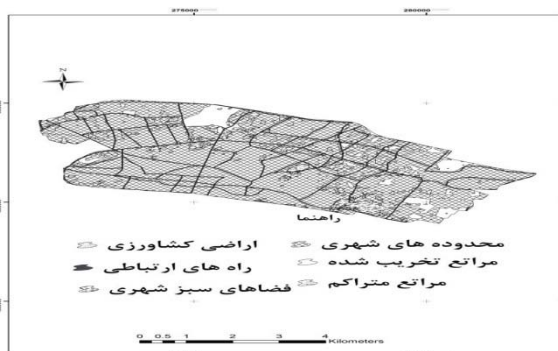
اجرای مدل SWMM

توسط غلامی و همکاران [۱۲]، نشان می‌دهد به دلیل توسعه شهری در طی ۴۰ سال گذشته، تولید رواناب افزایش یافته است. الکساکیس و همکاران [۳]، در ارزیابی اثر تغییر کاربری بر هیدرولوژی سیلاب با استفاده از GIS و سنچس از دور در حوزه آبخیز بیالیاس در قبرس به این نتیجه رسیدند که به دلیل گسترش پراکندگی مراکز شهری، رواناب نسبت به سال‌های گذشته روند افزایشی داشته است. میکوویتس و همکاران [۲۰]، در بررسی اثر توسعه شهری بر منابع آبی با مدل SWMM دریافتند افزایش موثر سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش دو برابری حجم سیلاب می‌شود. نتایج جیمز و همکاران [۱۵]، در بررسی تغییرات رواناب ناشی از تحول شرایط روستایی به نیمه شهری در انگلستان نشان می‌دهد در حوضه‌ای که زهکشی رواناب مصنوعی وجود دارد نسبت به حوضه‌ای که شهر تحول کمتری دارد پاسخ هیدرولوژیکی قوی‌تری به رواناب پدید آمده است. تحقیق در مورد هیدرولوژی رگبار در حوضه‌های شهری توسط برومند نسب [۲]، نشان می‌دهد توسعه مناطق شهری موجب افزایش حجم رواناب خواهد شد. نتایج مطالعه بزرگر [۷]، در حوزه آبخیز بیرجند نیز نشان می‌دهد با افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری، میزان دبی اوج سیلاب و حجم رواناب ۴۷/۴۴ درصد افزایش داشته است. افشاری آزاد [۱]، در برآورد رواناب سطحی شهر رشت به این نتیجه رسید که نفوذناپذیری سطح حوضه‌های شهری و تغییراتی که در اثر توسعه شهر به وجود می‌آید مانند از بین بردن پوشش گیاهی، تراکم خاک و ایجاد سیستم جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی به مقدار زیادی از نفوذ آب در خاک می‌کاهد. طاهری [۲۳]، در 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. جانزاده [۱۶]، با استفاده از مدل SWAT در حوزه آبخیز یلفان به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر دبی پرداخت و نتایج نشان داد تغییر کاربری اراضی منجر به افزایش مقدار رواناب سطحی در حدود ۱۷ درصد شده است. بنابراین برای مدیریت رواناب‌های شهری و طراحی مناسب سیستم‌های جمع‌آوری آن و کنترل سیلاب‌های شهری و آبگرفتگی معابر ضروری است که مسئولان، آگاهی لازم در مورد افزایش دبی و حجم رواناب ناشی از گسترش سطوح نفوذناپذیر شهری داشته باشند و بر اساس آن برای شرایط فعلی و آینده برنامه‌ریزی انجام شده شود. این گونه تحقیقات در مناطق شهری کشور ما کمتر انجام شده و لازم است این مطالعات انجام شود تا پیش نیازهای مدیریتی فراهم شود. حوزه آبخیز شهری زنجان، توسعه شهری زیادی را در دهه‌های اخیر تجربه کرده و آب‌گرفتگی معابر و سطوح شهری در آن مشاهده می‌شود [۲۵]. هدف از تحقیق حاضر نیز کمی‌سازی اثر توسعه شهری بر میزان حجم رواناب می‌باشد که کمتر در تحقیقات دیگر به آن پرداخته شده است.

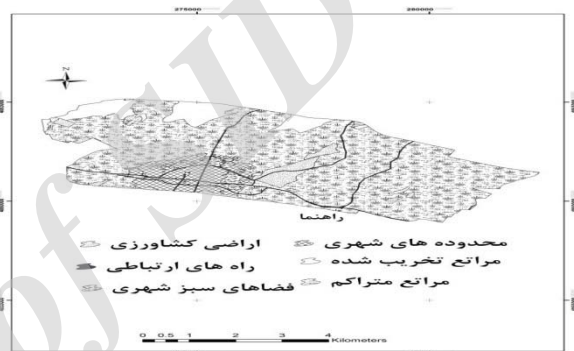
مواد و روش‌ها



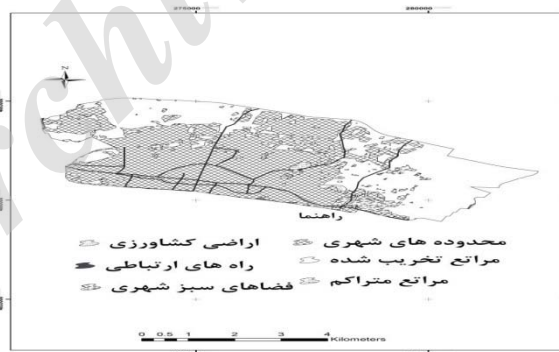
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان زنجان
 Figure 1. Location of the study area in the Iran and Zanzan Province



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنجان (سال ۱۳۹۱)
 Figure 4. Land use map of Zanzan City Watershed (2012)



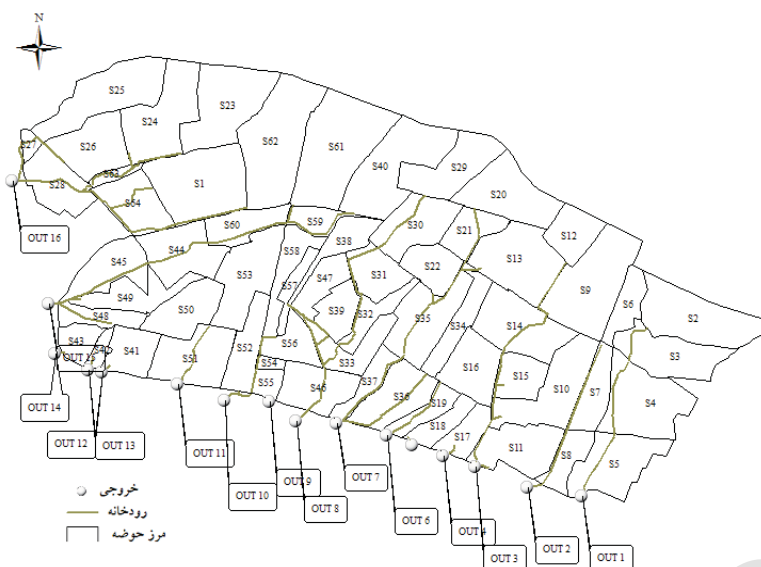
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنجان (سال ۱۳۳۴)
 Figure 2. Land use map of Zanzan City Watershed (1956)



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی آبخیز شهری زنجان (سال ۱۳۷۹)
 Figure 3. Land use map of Zanzan City Watershed (2000)

بیشتر بر نفوذپذیری متمرکز شده و فرض بر این است که دینامیک کاربری اراضی مشاهده شده، ضریب زبری را تغییر نمی دهد [۹]. و بر پارامترهایی مانند قابلیت نفوذ سطحی، میزان نفوذپذیری و ذخیره سطحی خاک اثرگذار است و نقش همه این فاکتورها در قالب شماره منحنی، درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر

برای بررسی اثر توسعه شهری و تغییر کاربری بر حجم رواناب بایستی برخی پارامترها از نقشه های کاربری اراضی سه گام زمانی بدست آیند چون کاربری اراضی میزان گیرش، نفوذپذیری، نحوه توزیع آب درون خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع و تا حدودی ضریب زبری سطح را تحت تاثیر قرار می دهد. در این تحقیق،



شکل ۵- واحدهای هیدرولوژیک و شبکه رواناب شهری زنجان
Figure 5. Hydrologic units and urban drainage system of Zanjan City

و پیمایش زمینی انجام شده تا ویژگی‌های شبکه جمع‌آوری رواناب اندازه‌گیری و وارد مدل شود.

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 کانال‌ها، ارتفاع نفوذپذیری و ذخیره برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر و شماره منحنی می‌باشد. محاسبه مساحت، محیط و درصد مناطق نفوذناپذیر برای هر واحد هیدرولوژیک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شد. شیب میانگین برای هر واحد با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع که از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس یک دو هزارم تهیه شده بدست آمد. برای محاسبه پارامتر عرض مستطیل معادل از روش مهدوی [۱۸] استفاده گردید. در برآورد پارامترهای کلی مدل از جداول استاندارد که در دستورالعمل مدل آورده شده استفاده گردید [۱۳]. پارامتر ضریب زبری برای سطوح مختلف [۱۹] و کانال‌های مختلف [۶] از جدول استاندارد استخراج گردیده است. مقادیر ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر بر اساس جدول استاندارد تعیین گردیدند [۵]. شماره منحنی میانگین وزنی هر واحد هیدرولوژیک نیز بر اساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری از جداول استاندارد استخراج شده است [۱۸، ۸ و ۲]. مقادیر محاسبه شده این پارامتر و درصد مناطق نفوذناپذیر برای برخی از واحدهای هیدرولوژیک در سه گام زمانی در جدول ۱ آورده شده است. هیتوگراف‌های بارش ورودی به مدل، بر اساس منحنی‌های شدت-

با ذخیره سطحی صفر لحاظ گردیده است. زیرا اطلاعات آنها برای سه دوره زمانی در دسترس است و مهمترین پارامترهایی هستند که نماینده اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر تولید رواناب می‌باشند. بسیاری از تغییرات محدود کننده مانند ویژگی‌های هندسی (تراکم، عمق و شکل کانال) شبکه جمع‌آوری رواناب شهری که اطلاعات آنها در زمان‌های گذشته در دسترس نیست صرفه‌نظر شد و از نظر هندسی شبکه جمع‌آوری رواناب در سال ۱۳۹۱ به صورت یکسان برای هر سه دوره زمانی در نظر گرفته شد. واردسازی داده‌ها شامل چندین بخش است که در ابتدا محدوده مورد مطالعه به واحدهای هیدرولوژیک تقسیم بندی می‌شود. سپس اطلاعات گره‌ها و کانال‌ها وارد مدل گردیده و در نهایت خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی سیستم وارد مدل می‌شوند.

تعیین واحدهای هیدرولوژیک

مرز حوضه و واحدهای هیدرولوژیک با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، توپوگرافی با مقیاس یک دو هزار، بلوک‌های ساختمانی، جهت جریان در کانال‌ها و پیمایش زمینی، مبتنی بر اطلاعات سال ۱۳۹۱ مشخص گردید و در نهایت ۶۴ واحد هیدرولوژیک از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۵).

شبکه جمع‌آوری رواناب

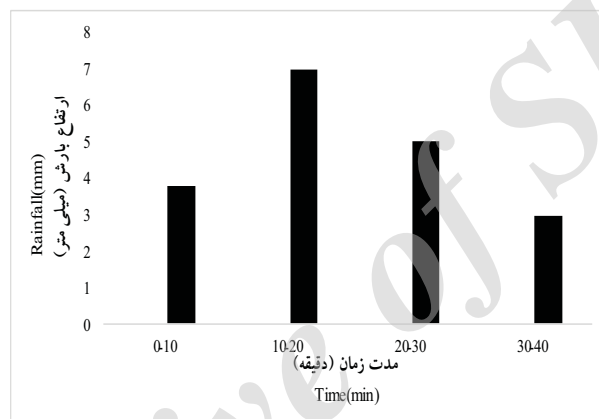
شبکه جمع‌آوری رواناب در قالب گره‌ها-کانال‌ها وارد مدل گردید. در هر نقطه‌ای از کانال که تغییراتی از نظر مقطع عرضی، شیب کف، ضریب زبری، ابعاد و ... اتفاق افتاده یک گره جدید تعریف شده است. تهیه این اطلاعات بر اساس یک نقشه پایه توپوگرافی

مدت- فراوانی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زنجان تهیه شده است. با توجه به اینکه شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوزه آبخیز باشد و زمان تمرکز یک پارامتر فیزیکی بوده و مقدار آن برای هر حوضه متفاوت است لذا بایستی زمان تمرکز برای هر کدام از واحدهای هیدرولوژیک محاسبه شود. بنابراین جهت برآورد زمان تمرکز واقعی، 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، نرم‌افزار win-TR55، مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس روش صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان پیمایش آب با استفاده از جسم شناور، صحت نتایج آن تأیید شده است. 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 [۸]. برای نمونه هیتوگراف بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله با تداوم زمانی ۴۰ دقیقه در شکل ۶ آورده شده است. به منظور واسنجی مدل از مقادیر ارائه شده در جدول استاندارد استفاده گردید [۲۴]. 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 مدل مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با اجرای مدل برای سه گام زمانی، میزان تولید رواناب تعیین شد، تا تغییرات پاسخ هیدرولوژیک حوضه آبخیز شهری نسبت به توسعه شهر و تغییر کاربری بررسی شود.

نتایج

نقشه‌های کاربری اراضی در سه گام زمانی، جزو اطلاعات پایه این تحقیق هستند که بر اساس آنها سه پارامتر اصلی اثرگذار بر فرآیند



شکل ۶- هیتوگراف رگبار طراحی با تداوم چهل دقیقه و دوره بازگشت ۵۰ سال

Figure 6. Hyetograph of design storm with 40-min duration storm and 50-yr return period

جدول ۱- شماره منحنی و درصد مناطق نفوذناپذیر برخی از واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز شهری زنجان در سال‌های مختلف

Table 1. Curve number and percentage of impervious surfaces some of hydrologic units of Zanjan City Watershed in different years

درصد مناطق نفوذناپذیر			مقدار شماره منحنی (CN)			واحد هیدرولوژیک unit Hydrologic
Percentage of impervious surfaces			Curve Number (CN)			
1956	2000	2012	1956	2000	2012	
0	81	99	77	94	95	S1
0	0	81	80	94	95	S2
0	0	97	75	91	94	S3
0.1	0.04	86	74	91	94	S4
0.9	3	57	74	91	93	S5

خروجی‌های اصلی که ۱۶ مورد می‌باشند اکتفا شده و محاسبات در تک تک واحدهای هیدرولوژیک ارائه نشده است. نتایج اجرای مدل برای این بخش در جداول ۳ تا ۱۰ آورده شده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که محدوده‌های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۷۹، ۲۲/۵۹ درصد و نسبت به سال ۱۳۳۴، ۹۲۳/۸۸ درصد افزایش داشته است. همچنین محدوده‌های شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴، با ۵۴۳/۰۶ درصد افزایش همراه بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

فرایند توسعه شهری با افزایش سطوح نفوذناپذیر سبب تغییر ساز و کار حوزه آبخیز طبیعی شده است و این موضوع سبب تغییر قابل توجهی در هیدرولوژی حوزه آبخیز در قالب سیلاب‌های شدید شده است، لذا با افزایش میزان تولید رواناب، مناطق شهری می‌بایست به یک سیستم کارآمد جمع‌آوری رواناب مجهز شوند. بنابراین بسیار مهم است که اثرات توسعه شهری حوزه آبخیز بر تولید رواناب

بارش- رواناب از قبیل شماره منحنی، درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر با ذخیره سطحی صفر استخراج می‌شوند و با توجه به اینکه مناطق مسکونی، خیابان‌ها و کوچه‌های آسفالته، 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 آسفالته، برای این محدوده‌ها میانگین شماره منحنی در نظر گرفته شده است. مقادیر عددی روند تغییرات کاربری اراضی در جدول ۲ آورده شده است. جهت بررسی اثر روند تغییرات کاربری بر حجم رواناب در خروجی‌های مختلف، بایستی شماره منحنی و درصد مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر با ذخیره سطحی صفر را برای سال‌های مختلف و در دوره بازگشت‌های مختلف وارد مدل نموده و میزان حجم رواناب تولیدی برآورد شده را مشخص نمائیم. 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 حجم رواناب در

جدول ۲- روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز شهری زنجان در سال‌های مختلف
Table 2. Trend of land use changes of Zanjan City Watershed in different year

سال	نام کاربری	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	درصد تغییرات	
				نسبت به سال ۱۳۳۴	نسبت به سال ۱۳۷۹
Year	Land use	Area	Percentage of area	Compared to 2000	Compared to 1956
سال ۱۳۹۱ (2012)	مراتع متراکم	17.09	0.44	-69.51	-99.42
	مراتع تخریب شده	317.78	8.24	-80.28	3.78
	محدوده شهری	3193.28	82.82	22.59	923.88
	راه‌های ارتباطی	211.53	5.49	197.31	274.7
	فضای سبز	115.86	3	5.21	66.44
سال ۱۳۷۹ (2000)	کشاورزی	0	0	0	-100
	مراتع متراکم	56.06	1.48	-	-98.09
	مراتع تخریب شده	1611.61	41.80	-	426.36
	محدوده شهری	2005.57	52.02	-	543.06
	راه‌های ارتباطی	71.15	1.85	-	26.05
سال ۱۳۳۴ (1956)	فضای سبز	110.12	2.86	-	58.19
	کشاورزی	39m ²	0	-	-100
	مراتع متراکم	2933.33	76.08	-	-
	مراتع تخریب شده	306.18	7.94	-	-
	محدوده شهری	311.88	8.09	-	-
سال ۱۳۳۴ (1956)	راه‌های ارتباطی	56.45	1.46	-	-
	فضای سبز	69.61	1.81	-	-
	کشاورزی	178.06	4.62	-	-

جدول ۳- حجم رواناب تولیدی حوزه آبخیز شهری زنجان بر اساس کاربری اراضی در سال ۱۳۹۱

Table 3. Runoff volume of Zanjan City Watershed based on land use map in 2012

خروجی	حجم رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ ^۶ لیتر)				
	50	20	10	5	2
OUT1	2.850	1.655	0.728	0.215	0.111
OUT2	0.787	0.5	0.292	0.119	0.062
OUT3	4.785	3.231	2.005	0.141	0.349
OUT4	0.251	0.163	0.094	0.011	0.018
OUT5	0.330	0.215	0.125	0.007	0.027
OUT6	0.967	0.628	0.363	0.017	0.076
OUT7	4.933	3.130	1.721	0.039	0.207
OUT8	5.192	3.400	2	0.059	0.396
OUT9	0.055	0.028	0.022	0.005	0.008
OUT10	2.543	1.798	1.208	0.054	0.185
OUT11	2.846	2.029	1.396	0.079	0.215
OUT12	0.486	0.318	0.186	0.014	0.040
OUT13	0.135	0.088	0.051	0.014	0.013
OUT14	0.308	0.203	0.120	0.021	0.025
OUT15	8.171	5.630	3.644	0.114	0.573
OUT16	11.797	8.479	5.877	0.404	0.846

جدول ۴- حجم رواناب تولیدی حوزه آبخیز شهری زنجان بر اساس نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۷۹

Table 4. Runoff volume of Zanjan City Watershed based on land use map in 2000

خروجی	حجم رواناب سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ ^۶ لیتر)				
	50	20	10	5	2
OUT1	0.029	0.018	0.009	0.002	0.001
OUT2	0.089	0.056	0.031	0.008	0.004
OUT3	0.806	0.510	0.284	0.804	0.042
OUT4	0.193	0.124	0.071	0.024	0.013
OUT5	0.319	0.208	0.121	0.049	0.025
OUT6	0.502	0.324	0.184	0.069	0.036
OUT7	3.55	2.221	1.178	0.326	0.103
OUT8	4.764	3.114	1.826	0.756	0.355
OUT9	0.055	0.028	0.022	0.016	0.008
OUT10	2.508	1.773	1.191	0.590	0.182
OUT11	2.788	1.986	1.364	0.747	0.209
OUT12	0.414	0.269	0.156	0.060	0.032
OUT13	0.103	0.067	0.038	0.014	0.009
OUT14	0.278	0.182	0.107	0.041	0.022
OUT15	6.699	4.611	2.980	1.441	0.445
OUT16	5.198	3.680	2.488	1.237	0.321

این تغییر کاربری و افزایش توسعه محدوده‌های شهری بدون لحاظ کردن سطح راه‌های ارتباطی اصلی، نتایج نشان می‌دهد حجم رواناب تولیدی در دوره بازگشت دو ساله در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب با رشد ۷۹۲/۶۳ و ۷۴/۱۸ درصدی و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۴۱۲/۴۶ درصدی همراه بوده است. در دوره بازگشت پنج ساله، حجم رواناب تولیدی در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب با رشد ۶۰۷/۳۰۱ و ۷۰/۱۳ درصدی و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۳۱۵/۷۵ درصدی همراه بوده است. در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب افزایش ۶۵۶/۶۵۷ و ۶۴/۵۸ درصدی و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ افزایش ۳۵۹/۷۴۸ درصدی در حجم رواناب تولیدی با دوره بازگشت ۱۰ ساله مشاهده می‌شود. همچنین در دوره بازگشت ۲۰ ساله، نتایج نشان می‌دهد حجم رواناب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب با رشد ۷۰۵/۳۱۸ و ۶۴/۲۸ درصدی و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۳۹۰/۲۱ درصدی همراه بوده است. بر اساس شبیه سازی حجم رواناب در دوره بازگشت ۵۰ ساله، در

کمی سازی شود تا بررسی‌های لازم جهت امکان بازگردانی و حفظ جریان و شرایط، مشابه قبل از توسعه، در حوزه آبخیز شهری برای مدیریت یکپارچه رواناب شهری حاصل شود. مدل‌سازی هیدرولوژی شهری با تاکید بر اثرات توسعه شهری امروزه توجه اساسی و زیادی یافته است اما کمبود و نبود داده‌های مناسب جهت پایش کمی و کیفی به عنوان یک محدودیت در کالیبره کردن مدل‌ها 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 مدل‌سازی یکسری سناریوها در حوزه آبخیز شهری توسعه یافته زنجان فراهم نماید. این حوضه رشد سریع توسعه شهری را در سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۱ تجربه کرده است و درصد مناطق نفوذناپذیر به طور چشمگیری افزایش یافته است. به طوری که روند تغییرات کاربری اراضی در گام‌های زمانی ۱۳۳۴، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ نشان می‌دهد محدوده‌های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب ۲۲/۵۹ و ۹۲۳/۸۸ درصد افزایش داشته است. همچنین محدوده‌های شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴، با ۵۴۳/۰۶ درصد افزایش همراه بوده است. بر اساس

جدول ۶- مقایسه حجم رواناب در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴

Table 6. Runoff volume 2000 compared to 1956

خروجی حجم رواناب سال ۱۳۷۹ در دوره بازگشت‌ها مختلف (۱۰^۶ لیتر) نسبت به سال ۱۳۳۴

Runoff volume 2000 compared to 1956 in different return periods(10 ⁶ Liter)					Outlet
50	20	10	5	2	
190	157.14	125	100	100	OUT1
1012.5	1020	933.33	100	100	OUT2
3.61	940.81	879.31	1300	2000	OUT3
543.33	4.20	610	1100	550	OUT4
31800	20700	100	100	100	OUT5
4463.63	452.57	4500	100	100	OUT6
14691.66	15764.28	14625	32500	100	OUT7
673.37	696.41	745.37	1063.07	944.1	OUT8
3437.5	40	37.5	45.45	33.33	OUT9
54.81	54.17	53.47	55.26	70.09	OUT10
46.12	47.98	51.21	57.59	64.56	OUT11
4040	4383.33	5100	100	100	OUT12
100	100	100	100	100	OUT13
100	100	100	100	100	OUT14
454.55	418.67	363.45	289.45	501.3	OUT15
27257.89	30566.66	31000	41133.33	100	OUT16

جدول ۸- مقایسه حجم رواناب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۷۹

Table 8. Runoff volume 2012 compared to 2000

خروجی حجم رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌ها مختلف (۱۰^۶ لیتر) نسبت به سال ۱۳۷۹

Runoff volume 2012 in different return periods(10 ⁶ Liter) compared to 2000					Outlet
50	20	10	5	2	
9727.58	9094.44	7988.88	10650	11000	OUT1
784.26	792.85	841.93	1387.5	1450	OUT2
4.93	533.52	605.98	67.85	730.95	OUT3
30.05	31.45	32.39	54.16	57.14	OUT4
3.44	3.36	3.30	85.71	8	OUT5
92.62	93.82	97.28	75.36	111.11	OUT6
38.95	40.92	46.09	88.03	73.78	OUT7
8.98	9.18	9.52	91.87	11.54	OUT8
0	0	0	68.75	0	OUT9
1.39	1.41	1.42	90.84	1.64	OUT10
2.08	2.16	2.34	89.42	90.43	OUT11
17.39	18.21	19.23	76.66	25	OUT12
31.06	31.34	31.34	0	177.77	OUT13
10.79	10.32	11.53	48.78	13.63	OUT14
21.97	11.53	22.09	92.08	28.76	OUT15
126.95	130.40	130.40	67.34	36.23	OUT16

جدول ۵. حجم رواناب تولیدی حوزه آبخیز شهری زنجان بر اساس کاربری اراضی در سال ۱۳۳۴

Table5. Runoff volume of Zanjan City watershed based on land use map in1956

خروجی حجم رواناب سال ۱۳۳۴ در دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰^۶ لیتر)

Runoff volume 1956 in different return (Liter 10 ⁶)periods					Outlet
50	20	10	5	2	
0.010	0.007	0.004	0	0	OUT1
0.008	0.005	0.003	0	0	OUT2
0.083	0.049	0.029	0.006	0.002	OUT3
0.030	0.0190	0.010	0.002	0.002	OUT4
0.001	0.001	0	0	0	OUT5
0.011	0.007	0.004	0	0	OUT6
0.024	0.014	0.008	0.001	0	OUT7
0.616	0.391	0.216	0.065	0.034	OUT8
0.040	0.020	0.016	0.011	0.006	OUT9
1.620	1.150	0.776	0.380	0.107	OUT10
1.908	1.342	0.902	0.474	0.127	OUT11
0.010	0.006	0.003	0	0	OUT12
0	0	0	0	0	OUT13
0	0	0	0	0	OUT14
1.208	0.889	0.643	0.370	0.074	OUT15
0.019	0.012	0.008	0.003	0	OUT16

جدول ۷- مقایسه حجم رواناب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۳۴

Table7. Runoff volume 2012 compared to 1956

خروجی حجم رواناب سال ۱۳۹۱ در دوره بازگشت‌ها مختلف (۱۰^۶ لیتر) نسبت به سال ۱۳۳۴

Runoff volume 2012 in different return periods(10 ⁶ Liter) compared to1956					Outlet
50	20	10	5	2	
28400	23542.9	18100	100	100	OUT1
9737.5	9900	9633.3	100	100	OUT2
5665.06	6493.88	6813.8	2250	17350	OUT3
736.66	757.89	840	450	38.46	OUT4
32900	21400	100	100	100	OUT5
8690.90	7750	8975	100	100	OUT6
20454.2	22257.1	21412	3800	100	OUT7
742.85	769.56	825.92	9.23	1064	OUT8
37.5	40	37.5	54.54	33.33	OUT9
56.97	56.34	56.39	85.78	72.89	OUT10
49.16	51.19	76.54	83.33	69.29	OUT11
4760	5200	6100	100	100	OUT12
100	100	100	100	100	OUT13
100	100	100	100	100	OUT14
576.40	533.29	466.71	69.18	674.32	OUT15
61989.47	70558.33	73362.5	13366.66	100	OUT16

جدول ۱۰- روند تغییرات حجم رواناب در سال‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز شهری زنجان
Table 10. Trend of runoff volume of Zanjan City Watershed in different years and return periods

حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ ^۶ لیتر)					
سال					
Runoff volume in different return periods (liter 10 ⁶)					
50	20	10	5	2	year
2012					
64.08	64.28	64.58	70.1	74.2	نسبت ۱۳۹۱ به ۱۳۷۹
2000					
2012					
731	705.3	656.65	607	792.6	نسبت ۱۳۹۱ به ۱۳۳۴
1956					
2000					
406.4	390.2	359.74	316	412.5	نسبت ۱۳۷۹ به ۱۳۳۴
1956					

شهری مورد استفاده قرار داد.

منابع

- 1- Afshari A. M. and Porki H. 2012. Estimate the surface runoff of Rasht City (Case Study: Gholipour martyr Street to the ice Square) Journal of Geographic space, 37, 121-140. (In Persian)
- 2- Akan, A.O. 1993. Urban Stormwater Hydrology, a Guide to Engineering Calculations, Bromandnasab S. Shahid Chamran University of Ahvaz Press, Ahavz, 328pp.
- 3- Alexakis D. D., Grillakis M. G., Koutroulis A. G., Agapiou A., Themistocleous K., Tsanis I. K., Michaelides S., Pashiardis S., Demetriou C., Aristeidou K., Retalis A., Tymvios F., and Hadjimitsis D. G. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 413-426, 2014.
- 4- Artina, S., Calenda G., Calomino F., Cao C., Loggia G. La, Modica C., Paoletti A., Papiri S., Rasulo G. and Veltri P. 1997. Sistemi di fognatura. Manuale di Progettazione (in Italian). ISBN 88-203-2442-3, Hoepli S.p.A. Milan, Italy.

جدول ۹. حجم رواناب تولیدی در سال‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز شهری زنجان
Table 9. Runoff volume of Zanjan City Watershed in different years and return periods

حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ ^۶ لیتر)					
سال					
Runoff volume in different return periods (10 ⁶ liter)					
50	20	10	5	2	year
46.437	31.496	19.832	9.294	3.151	1391
28.3	19.172	12.050	5.463	1.809	1379
5.588	3.911	2.621	1.314	0.353	1334

سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب رشد ۷۳۱ و ۶۴/۰۸ درصدی و در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ افزایش ۴۰۶/۴ درصدی به چشم می‌خورد. نتیجه‌گیری نهایی تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش و توسعه کاربری محدوده‌های شهری میزان رواناب از نظر حجم رواناب در شهر زنجان روند افزایشی داشته است. به طور کلی با افزایش ۹۲۳/۸۸ و ۲۲/۵۹ درصدی محدوده‌های شهری در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ و افزایش ۵۴۳/۰۶ درصدی محدوده‌های شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ سبب شده است که میزان حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف روند افزایشی داشته باشد. میانگین حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۹ به ترتیب با افزایش ۶۹۸/۵۸ و ۶۷/۴۵ درصدی همراه بوده است. تغییرات میانگین حجم رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۳۴ با افزایش ۳۷۶/۹۱ درصدی همراه بوده است که افزایش حجم رواناب در اثر توسعه شهری با نتایج دهو و همکاران [۱۰]، خالد و همکاران [۱۷]، الکساکیس و همکاران [۳]، برومند نسب [۲]، برزگر [۷]، طاهری [۲۳] و جان زاده [۱۶] همخوانی، هماهنگی و توافق دارد. لذا با مشخص شدن نقش گسترش سطوح نفوذناپذیر در تولید رواناب، به صورت کمی، مدیران در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها بایستی دقت لازم را به عمل آورند تا فرصت‌های موجود که می‌توان رواناب‌های تولیدی را مدیریت و کنترل نمود و از آن برای طراحی منظرهای شهری در قالب حوضچه‌ها، آبشارها، دریاچه‌های مصنوعی، آبیاری فضاها، سبز و جنگلکاری‌های شهری و ... استفاده نمود به تهدید تبدیل نشود که در آن سیل‌گیری و آبگرفتگی معابر و سطوح شهری یا مناظر نازیبای نامطبوع در محل خروجی کانال‌های شهری مشاهده می‌شود. همچنین در این تحقیق، کارایی مدل SWMM در برآورد رواناب در مناطق شهری تأیید شده است که با نتایج مشابه در این زمینه مطابقت دارد بنابراین می‌توان آنرا به عنوان ابزاری کمکی در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در طراحی شبکه‌های جمع‌آوری رواناب

order to study the urban runoff (Case Study: Part of Tehran City), M.Sc. thesis, Natural Resources Faculty, Malayer University. (In Persian)

17- Khaled A. Al-GH, Ramze A. E, Meraj N. M and Gomaa M. D. 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.

18- Mahdavi, M. 2005. *Applied Hydrology*, 2nd Volume, University of Tehran Press.

19- McCuen, R. et al. 1996, *Hydrology*, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC

20- 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.

21- Rossman A.L. 2009, *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*, Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268

22- Storm water runoff control requirement, 2011, city of defiance, Engineering Division.

23- 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. (In Persian)

24- 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.

25- Zanzan comprehensive plan. 2009. Roads and Urban Development Department of Zanzan Province, Naghsh Mohit Consulting Engineers.

5- ASCE. 1992. *Design & Construction of Urban Storm water Management Systems*, New York, NY.

6- ASCE. 1982. *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction*, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY.

7- 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. (In Persian)

8- Behbahani, S.M. 2009. *Surface Water Hydrology*, 2Edition, Tehran University Press, 488 pp.

9- Camorani G, Castellarin A, Brath A. 2005. Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems. *Physics and Chemistry of the Earth* 30. 561–574.

10- De Hoo. A., Odijk M., Koster. E. and Lucieer, A. 2001. Assessing the Effects of Land Use Changes on Floods in the Meuse and Oder Catchments, *Phys. Chem. Earth (B)*, 26(7-8): 593-599.

11- Faith A. F, Matthew W.D, Mitchell A.H, Terril. 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.

12- Gholami. V., Mohseni Saravi M., and Ahmadi H. 2010 Effects of impervious surfaces and urban development on runoff generation and flood hazard in the Hajighoshan Watershed. *Caspian journal of Environmental Sciences* vol.8 No.1 pp 1-12.

13- Huber, WC. And Dickinson RE. 1992. *Storm water management model user's manual*, version 4. Environmental Protection Agency, Georgia. 500 pp.

14- 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.

15- James D. M, Kim H, Kjeldsen T. R., Packman J, Grebby S, Dearden R, 2014. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover, *Journal of Hydrology* 515. 59–70.

16- Janzadeh, R. 2014. Water balance models in

ارزیابی آکاییک و شوارتز به عنوان مدل منتخب تعیین گردید. در نهایت نیز مدل سازی با مدل ترکیبی ANN-ARIMA انجام گرفت که عملکرد بهتری نسبت به دو مدل شبکه عصبی و سری زمانی نشان داد. ($R^2=0.94$, $RMSE=0.05$)

کلید واژه‌ها: شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی، آزمون گاما، SOI، GRI، قزوین.

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از بلاهای طبیعی تهدید کننده انسان و محیط زیست، هم از نظر فراوانی در رخداد و هم از نظر بزرگی زیان‌های وارده در صدر قرار گرفته است [۱۶]. به طوریکه در دراز مدت موجب خشکسالی آب‌شناسی و آب و زمین شناسی شده و کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی در پی دارد [۳۱]. بطوریکه خشکسالی آب زیرزمینی در اثر تغذیه ناکافی مخازن سفره‌های آب زیرزمینی بوجود آمده و به عبارتی زمان بروز آن هنگامی است که سطح آب زیرزمینی در یک دوره مشخص به زیر سطح نرمال منطقه رفته و منجر به ایجاد شرایط نامطلوب گردد. اگرچه با وجود همه تلاش‌ها و پیشرفت‌های علمی، تاکنون بشر نتوانسته است به علت پیچیدگی حاکم بر انواع خشکسالی، این پدیده را با دقت تمام پیش‌بینی نماید اما به هر حال با مطالعه رفتار بلند مدت هیدرواقليمی یک منطقه و بکارگیری روش‌ها و مدل‌های آماری و مفهومی مختلف می‌توان تا اندازه‌ای از وضعیت وقوع این پدیده در آینده اطمینان حاصل نمود. در این بین استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی و سری‌های زمانی می‌تواند در مدل‌سازی آب زیرزمینی کمک زیادی داشته باشد [۳۰]. کاپولا و همکاران با مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های عددی در پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی نتیجه گرفتند که مدل شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌های عددی نیازی به مشخصه‌های آشکار سیستم فیزیکی و داده‌های فیزیکی نداشته و همچنین دارای قابلیت بالای پیش‌بینی و آنالیز حساسیت می‌باشد که می‌تواند در استراتژی‌های مربوط به مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی بسیار مناسب باشد [۵]. ملکی نژاد و شرعیاتی، جهت پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت مرو دشت از مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که مدل $ARIMA(1,1,0)$ ، دارای بهترین برازش بر داده‌ها می‌باشد.

مقایسه کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی و مدل ترکیبی ANN-ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) (مطالعه موردی: جنوب استان قزوین)

فاطمه مقصود^۱، محمدرضا یزدانی^۲، محمد رحیمی^۳، آرش ملکیان^۴

و علی اصغر ذوالفقاری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۸

چکیده

خشکسالی آب زیرزمینی یکی از انواع خشکسالی است که در اثر تغذیه ناکافی مخازن سفره‌های آب زیرزمینی بوجود آمده و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) به عنوان روشی برای بیان وضعیت سطح آب زیرزمینی محسوب می‌شود. تاکنون روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی این پدیده ارائه شده است اما از آنجا که انتخاب یک مدل مناسب کار مشکلی می‌باشد می‌توان به جای استفاده از یک مدل؛ ترکیبی از مدل‌های منفرد قابل قبول را مورد استفاده قرار داد تا بتوان به پیش‌بینی مناسب‌تر و قابل اعتمادتری دست یافت. در این تحقیق پس از محاسبه مقادیر GRI طی دوره آماری (۱۳۶۳-۱۳۹۰) در جنوب استان قزوین و بررسی ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی (بارندگی، دبی، تبخیر و تعرق پتانسیل، دما (میانگین، ماکزیمم، مینیمم)) و سیگنال‌های اقلیمی (AMO، AMM، SOI، MEI و PDO)، با استفاده از آزمون گاما در سه ساختار ترکیب ورودی، اقدام به مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی گردید. نتایج نشان داد که سیگنال اقلیمی SOI و پارامترهای دمایی دارای بیشترین همبستگی معنی دار با مقادیر GRI می‌باشند. استفاده از پارامترهای هواشناسی نیز سبب بهبود عملکرد شبکه عصبی گردید. همچنین مدل سری زمانی $ARIMA(1,1,3)(2,0,1)$ با توجه به معیارهای

۱* نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

پست الکترونیک: F.magnsoud@modares.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان.

۳- استادیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان.

۴- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵- استادیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان.

*Abstract***Evaluation of Urbanization Effect on Run off Volume by Using Storm water Management Model (Case Study: Zanjan City Watershed)**F. Einloo¹, A. Salajegheh², A. Malekian³ and M. Ahadnejad⁴

Received: 2016/01/30 Accepted: 2016/05/09

The concentration of human population in urban areas with urbanization and changing the face of the earth's natural has caused an increase in impervious surfaces and change in hydrological cycle. To evaluate the effect of urbanization on the runoff volume entering in urban drainage of Zanjan City, the trend of urbanization were processed by using Thematic Mapper images in IDRISI Selva and ArcGIS 9.3 software. Land use maps of the 1956, 2000 and 2012 were prepared. Analysis of hydrological and hydraulic behavior of urban development impact on the volume of runoff was carried out by using Stormwater Management Model (SWMM). Based on model calibration by observation of rainfall-runoff events, the results of calibration and verification have confirmed the accuracy of simulations. The trend of urbanization shows that urban area has been expanded in 2012 compared to 2000 and 1956, 22.59 and 923.88 percent and in 2000 compared to 1956, 543.06 percent, respectively. The results of SWMM model shows that urbanization and convert the land to impervious surfaces have caused an increase in the runoff volume, so that, runoff volume average has increased in 2012 compared to 2000 and 1956 64.45 and 698.58 percent and in 2000 compared to 1956, 376.91 percent, respectively.

Keywords: Land use change, Urbanization, runoff volume, Zanjan City Watershed, SWMM Model

1. (Corresponding Author) M.Sc. Graduate of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Tehran University, I.R. Iran, fatemeeinlo@ut.ac.ir
2. Professor, Natural Resources Faculty, Tehran University, I.R. Iran.
3. Associate Professor, Natural Resources Faculty, Tehran University, I.R. Iran.
4. Associate Professor, Humanities Faculty, Zanjan University, Zanjan, I.R. Iran.