



دوره ۳۰، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۱۷، زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۳۵-۴۶
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.117084

پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

اثر تغییرات کاربری زمین بر تولید روان‌آب با استفاده از مدل وتسپا در حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه

مریم عباس‌زاده

کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی، بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان

محمد رضا یزدانی*

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

علی اصغر ذوالفقاری

استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

مجید محمدی

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه سمنان

احمد صادقی‌پور

استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

تاریخ دریافت: بهمن ۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۹۷

* Corresponding Email: (m_yazdani@semnan.ac.ir)

چکیده

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی اثرهای تغییر کاربری زمین بر شرایط آب‌شناسی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه با استفاده از مدل توزیعی وتسپا است. نقشه‌ی کاربری زمین برای سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ با استفاده از روش ترکیبی و تصاویر ماهواره‌ای لندست پنج و هفت تهیه شد. مدل‌سازی روان‌آب در مقیاس روزانه برای ۸ سال (۵ سال واسنجی و ۳ سال اعتبارسنجی) با استفاده از مدل وتسپا برای نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ انجام شد. بررسی تغییر کاربری زمین نشان داد که تبدیل زمین‌های طبیعی به مناطق مسکونی و کشاورزی مهم‌ترین تغییر در حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه است. نتایج نشان داد که بر اثر تغییر در کاربری زمین از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲، روان‌آب کل، روان‌آب سطحی و آب‌دهی اوج افزایش یافته است. روان‌آب کل ۱۴۸۰۳ مترمکعب در سال ۱۳۷۸ و ۱۵۳۵۰ مترمکعب در کاربری زمین برای سال ۱۳۹۲ بوده است. نتایج نشان داد که بخش‌هایی از زمین‌های طبیعی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه که تغییرات کاربری در آن روی داده در سال‌های گذشته به زمین‌های کشاورزی و مسکونی تبدیل شده، و این تغییرات موجب تغییر مؤلفه‌های روان‌آب یعنی حجم و آب‌دهی اوج شده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری زمین، حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه، روان‌آب، مدل وتسپا

Effect of Land Use Change on Runoff yield Using WetSpa Model in the Firoozkooch Watershed Basin

Maryam Abaszade

Graduate (M.Sc.) Student, Desert Studies College, Semnan University, Semnan, Iran

Mohammad Reza Yazdani*

*(Corresponding Author) Associate Professor, Desert Studies College, Semnan University, Semnan, Iran (m_yazdani@semnan.ac.ir)

Ali Asghar Zolfaghari

Assistant Professor, Desert Studies College, Semnan University, Semnan, Iran

Majid Mohammady

Assistant Professor, Natural Resources College, Semnan University, Semnan, Iran

Ahmad Sadeghipour

Assistant Professor, Desert Studies College, Semnan University, Semnan, Iran

Abstract

The main objective of this research is investigating the effects of land use change on hydrological conditions in the Firoozkooch Watershed. Land use maps for the years 2000 and 2014 were prepared through a synthetic method using the Landsat 5 and 7 satellite imagery. Runoff simulation was carried out on a daily basis for 8 years (5 years for calibration and 3 years for validation) using the WetSpa model for land use in 2000 and 2014. Land use change showed that conversion of rangeland to farm fields and residential areas is the main change of land utilization in the Firoozkooch Watershed. Results showed that total runoff, surface runoff and peak discharge had increased following land use changes from 2000 to 2014. The total runoff in 2000 was $14803 \text{ m}^3\text{Yr}^{-1}$, and for the year 2014 it was $15350 \text{ m}^3\text{Yr}^{-1}$. Results showed that parts of the rangeland in the Firoozkooch Watershed, which had been converted to farmfields become agricultural and residential area during the past years had increased changed the runoff volume as well as peak discharge.

Keywords: Firoozkooch Watershed, land use change, runoff, WetSpa model

مقدمه

یکی از دلایل مهم تغییر کاربری زمین در کشور افزایش پرشتاب جمعیت در بسیاری از مناطق است. با تحلیل و بررسی تغییرات کاربری زمین مناطق مختلف می‌توان به علل آن پی برد، و می‌تواند در مدیریت بهینه‌ی شهرها و منابع طبیعی مؤثر باشد (سبزقبایی و همکاران ۱۳۹۶). کاربری زمین یکی از موضوع‌های مهم در مدیریت منابع طبیعی است و امروزه تخریب منابع طبیعی مانند جنگل‌ها و مرتع‌ها، و افزایش زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی برای بسیاری از کشورهای دنیا به مشکلی اساسی تبدیل شده‌است. تغییرات کاربری زمین نتیجه‌ی برهم‌کنش انسان و عوامل مؤثر بر محیط است، که در مقیاس زمانی و مکانی تأثیری مستقیم بر زندگی بشر می‌گذارد

(بیات و همکاران ۱۳۸۹). تحلیل سامانه‌های چرخه‌ی آب در مدیریت حوزه‌ی آبخیز برای دستیابی به هدف‌های مدیریتی جایگاه مهمی دارد، و مدل‌سازی ابزاری مهم و کارآمد برای تحلیل سامانه‌ها است که در فرآیند مدل‌سازی بارش و روان‌آب نیز می‌توان از آن استفاده کرد. مدل‌سازی فرآیند بارش روان‌آب در حوزه‌ی آبخیز از دیدگاه درک بهتر مسائل آب‌شناسی، مدیریت منابع آب، مهندسی رود، سازه‌های مهار سیل و ذخیره‌ی سیلاب اهمیت ویژه‌ای دارد (صادقی و همکاران ۱۳۹۴). برای مدل‌سازی فرآیندهای حوزه‌ی آبخیز مدل‌های بسیاری مانند مدل‌های سوات^۱، و تسپا^۲، اچ‌ای‌سی-اچ‌ام‌اس^۳ و واسیم-ای‌تی‌اچ^۴ جهت آبخیز و مدل‌های توزیعی توسعه یافته است. برآورد بارش روان‌آب با مدل‌های آب‌شناسی توزیعی و با استفاده

1- SWAT

2 - Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

3- HEC-HMS

4-WaSim-ETH

و تغییرات جنگل در تانزانیا دریافتند که رشد جمعیت، گسترش مهاجرت داخلی و افزایش نیاز به محصولات کشاورزی و جنگلی از مهم‌ترین عوامل جنگل‌زدایی در منطقه است. توکلی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیرات تغییر اقلیم و رشد شهری را با استفاده از مدل و تسپا در حوزه گروت نوتدر بلژیک بررسی کردند. نتایج نشان داد اثر هم‌زمان این دو عامل تأثیر زیادی در افزایش فراوانی سیلاب‌ها در زمستان و افزایش جریان‌های حد پایین در تابستان دارد. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل و تسپا اثرهای کاربری زمین را بر تولید روان‌آب در حوزه‌ی آبخیز باغ‌سالیان، استان گلستان بررسی کردند و نشان داد که این مدل برای مدل‌سازی روان‌آب در این حوزه مناسب است. در نتیجه‌ی تغییر کاربری‌ها از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۱، روان‌آب کل، روان‌آب سطحی و آب‌دهی اوج افزایش یافته است، در حالی که افزایش روان‌آب سطحی بیش‌تر از افزایش در کل روان‌آب بوده است. در سال‌های گذشته به دلیل تغییرات کاربری زمین مشکل‌هایی برای حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه به وجود آمده است. برخی از این تغییرات در نتیجه‌ی تخریب منابع طبیعی و برخی دیگر به دلیل عوامل طبیعی مانند خشک‌سالی اتفاق افتاده است. هدف این پژوهش بررسی میزان تغییرات کاربری و اثر این تغییرات بر روان‌آب است.

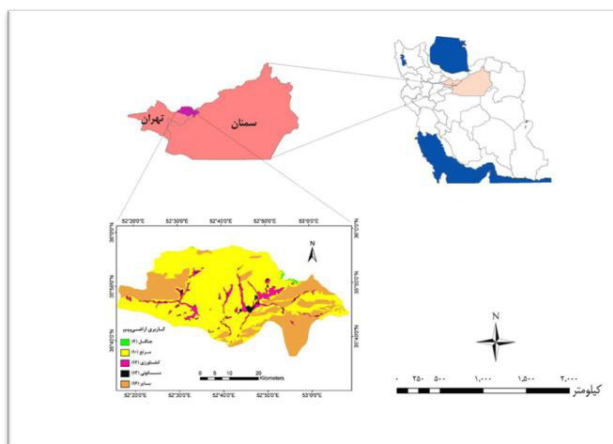
مواد و روش‌ها معرفی منطقه‌ی بررسی

شهرستان فیروزکوه در گوشه‌ی شمال‌شرقی استان تهران در طول جغرافیایی $46^{\circ} 52'$ و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 35'$ است (شکل ۱) و از شمال و شرق به استان مازندران، از جنوب و جنوب شرقی به استان سمنان و از غرب به شهرستان دماوند، استان تهران محدود می‌گردد. این شهرستان بر بخشی از رشته‌کوه‌های البرز مرکزی جا دارد، و به همین خاطر ناهمواری‌های بسیاری در آن است. آب‌وهوای اقلیمی این شهرستان زمستان سرد و تابستان معتدل و خنک دارد. بارندگی متوسط سالانه ۳۴۳ میلی‌لیتر، و دمای متوسط سالانه‌ی آن ۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

از ابزار سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به صورت گسترده امکان‌پذیر، کاربردی و متداول شده است. مدل آب‌شناسی و تسپا برای پیش‌بینی توزیع انرژی و آب میان خاک، گیاهان و جو در مقیاس حوزه و پایه‌ی زمانی روزانه تعریف شده است. (باتلان و همکاران ۱۹۹۶).

تخریب منابع طبیعی و به‌ویژه مرتع‌ها و افزایش زمین‌های کشاورزی، بایر و مسکونی از مهم‌ترین تغییرهای کاربری زمین در حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه است، که افزایش جمعیت و به‌دنبال آن گسترش فیزیکی شهر ممکن است از دلایل آن باشد. همراه با افزایش شمار ساکنان، به سکونت‌گاه‌های بیش‌تری در این حوزه نیاز بوده است، مناطق مسکونی بیش‌تری در این بازه‌ی زمانی ساخته شده و به مساحت شهری افزوده است. با افزایش جمعیت، نیاز به محصولات کشاورزی نیز بیش‌تر شده است، و این می‌تواند یکی دیگر از دلایل تغییر کاربری باشد. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی میزان تغییر کاربری زمین در این منطقه، و تأثیر آن بر میزان روان‌آب از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۹۲ است. این تغییر از بسیاری دیگر از مناطق دنیا نیز گزارش شده است.

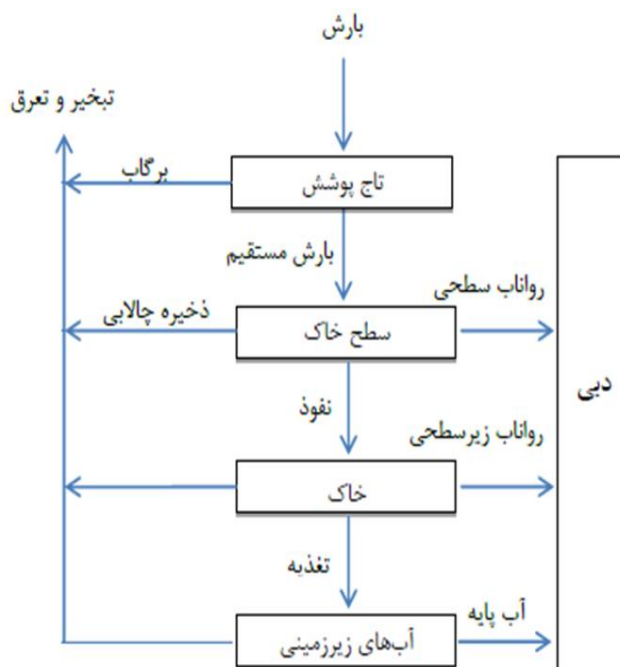
تریسترا و مازیک (۲۰۰۱) با استفاده از مدل ال‌یوسی‌دی^۵ در حوزه‌ی گلت در هلند اثر کاربری بر روان‌آب ماهانه را بررسی کردند. در مدل پیش‌بینی، کل منطقه به کاربری مصنوعی تبدیل شد که در نتیجه‌ی آن میزان روان‌آب ۳۰٪ افزایش نشان داد. دی‌رو و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر کاربری زمین در منطقه‌ی میان چک، لهستان و آلمان را با استفاده از مدل توزیعی ال‌آی‌اس‌فلا^۶ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کارهای مدیریتی سیل، میزان آب‌دهی اوج را کاهش، و افزایش کاربری شهری و تخریب جنگل، میزان روان‌آب را افزایش داد. یعقوبی و بهره‌مند (۲۰۱۱) در حوزه‌ی چهل‌چای در استان گلستان نقشه‌ی ضریب روان‌آب را با استفاده از مدل و تسپا به دست آوردند، و به این نتیجه رسیدند که با اصلاح و بهبود کاربری زمین در این مناطق می‌توان تولید روان‌آب را کاهش داد. برینکمان و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که مهم‌ترین دلیل تغییر کاربری در غرب آفریقا تبدیل بوته‌زارها و جنگل‌ها به کشاورزی است. از بیشترین تغییرات کاربری در این حوزه می‌توان به تبدیل مرتع به زمین‌های بایر اشاره کرد. برای نمونه کوکان و کی (۲۰۱۴) در بررسی تغییرات کاربری زمین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان تهران و حوزه آبخیز فیروزکوه.

نیز شامل باران، برف، ذخیره‌ی برگ‌آبی، ذخیره‌ی چال‌آبی، روان آب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر-تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و تراز آب است. شکل ۲ ساختار کلی مدل وتسپا را در سطح سلول نشان می‌دهد (راهنمای مدل وتسپا ۲۰۱۰).

مدل وتسپا اولین بار به وسیله‌ی وانگ و همکاران (۱۹۹۶) پیشنهاد شد و سپس لئو و همکاران (۲۰۰۳) آن را برای پیش‌بینی روان آب و سیل بسط دادند. در این مدل برای هر شبکه‌ی سلولی، چهار لایه‌ی منطقه‌ی ریشه، منطقه‌ی انتقال، لایه‌ی تاج پوشش و منطقه‌ی اشباع (سفره‌ی آب زیرزمینی) در نظر گرفته می‌شود. فرآیندهای آب‌شناسی مدل



شکل ۲- ساختار مدل وتسپا در مقیاس سلول (لیو و دی‌اسمت ۲۰۱۰).

از سازمان نقشه برداری و خاکشناسی از اداره منابع طبیعی تهیه و به مدل وتسپا وارد شد. سپس روان آب منطقه با استفاده از داده های تبخیر-تعرق، دما و بارش در مقیاس روزانه مدل سازی، و مدل به دست آمده واسنجی و اعتبارسنجی شد. داده های هواشناسی ثابت در نظر گرفته شد، و مدل با نقشه ی کاربری ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ اجرا، و روان آب خروجی مقایسه شد.

تهیه ی داده ها

داده های بارش، روان آب، دما و تبخیر در مقیاس روزانه برای هشت سال (پنج سال واسنجی و سه سال اعتبارسنجی) از شرکت آب منطقه ای، و نقشه ی خاکشناسی از اداره ی کل منابع طبیعی استان تهران (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰) تهیه شد. نقشه ی پستی و بلندی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد، برگه ها یکی شد و با استفاده از آن نقشه دی ای ام^۷، تهیه شد. تصاویر ماهواره ای سنجنده های تی ام و ای تی ام+ نیز از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا تهیه شد. تفکیک مکانی این تصاویر ۳۰ متر بود و برای طبقه بندی نوارهای یک تا پنج و هفت تهیه شد. نقشه ی کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای تهیه، و دقت آن با استفاده از ۳۰ نمونه ی آزمایشی ارزیابی شد.

مدل سازی روان آب

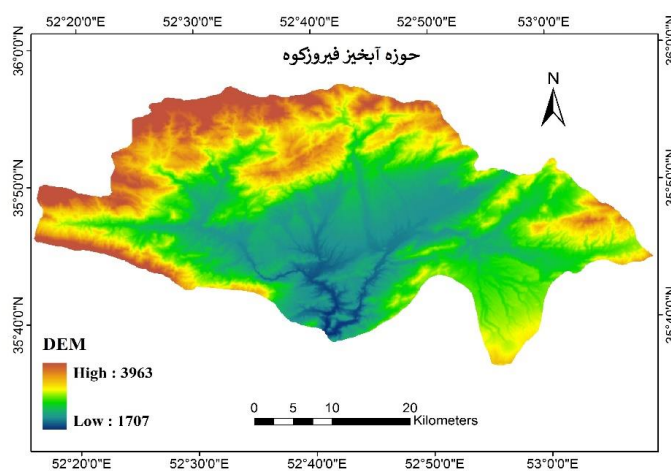
در شکل ۳ و ۴ نقشه های دی ای ام و خاکشناسی نشان داده شده است. خاک منطقه شامل بافت های ماسه ای- لومی (SL)، سیلتی- لومی (SiL) و سیلتی (Si) است.

از داده های ورودی اصلی این مدل نقشه ی مدل ارتفاعی رقومی، خاکشناسی و کاربری زمین، و داده های ویژه ی دما، تبخیر و بارش است. سایر نقشه های مورد نیاز نیز از این سه نقشه ی اصلی در نرم افزار به دست می آید. این مدل از مدل های توزیعی مناسبی است که در بیش تر حوزه های آبریز کشورهای مختلف برای مدل سازی جریان رود به کار گرفته شده است. از ویژگی های مدل می توان به توانایی مدل در مدل سازی فرایندهای آبشناسی پیچیده ی حوزه های آبخیز در سامانه ی جی آی اس اشاره کرد. یکی دیگر از مزیت های مدل وتسپا تهیه ی نقشه ی همه ی فرایندهای آبشناسی نظیر ذوب برف، بارش، ذخیره ی چال آبی، ذخیره ی برگ آبی، روان آب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر-تعرق، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و نفوذ عمقی با گام زمانی روزانه، و امکان تحلیل و بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و سالانه ی مؤلفه های تراز آبی است (متکان و همکاران ۲۰۱۱).

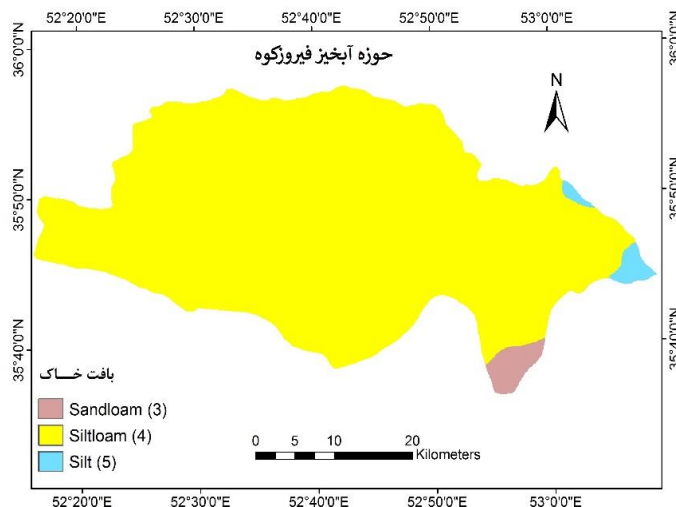
مدل وتسپا مدل آبشناسی توزیعی بسیار مناسبی است، زیرا مدل های آبشناسی توزیعی دیگر پیچیده اند و نیاز به اطلاعات اندازه گیری شده ی زیادی دارند. نبود داده های اندازه گیری شده در بسیاری از حوزه های آبخیز مشکلات جدی در به کارگیری آن ها ایجاد می کند. بنابراین، برای انتخاب مدل باید به دسترسی داشتن به داده ها برای ورود به مدل توجه داشت (راهنمای مدل وتسپا ۲۰۱۰).

روش تحقیق

ابتدا نقشه ی کاربری زمین برای سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ با استفاده از ترکیب روش های طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده، با استفاده از تصاویر ماهواره ی لندست ۵ و ۷ تهیه شد. نقشه های پستی و بلندی



شکل ۳ - نقشه ی دی ای ام حوزه ی آبخیز فیروزکوه.



شکل ۴- نقشه‌ی خاک‌شناسی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه.

استفاده شد، که موجب افزایش تکرار و دقت بیشتر می‌شود. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های روزانه‌ی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ انجام شده است.

اعتبارسنجی مدل و تسپا

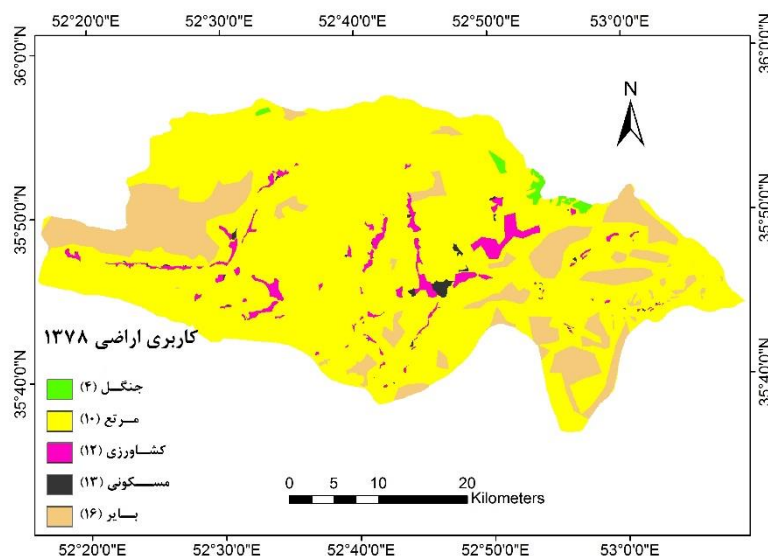
مدل پس از تایید دقت مدل‌سازی آب‌دهی روزانه، با استفاده از روش‌های پیش‌گفته و بهینه‌شدن عوامل، برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ اجرا و اعتبارسنجی شد. اگر دقت مدل زیاد باشد، در این مرحله عوامل بهینه‌شده پذیرفته خواهد شد.

نتایج

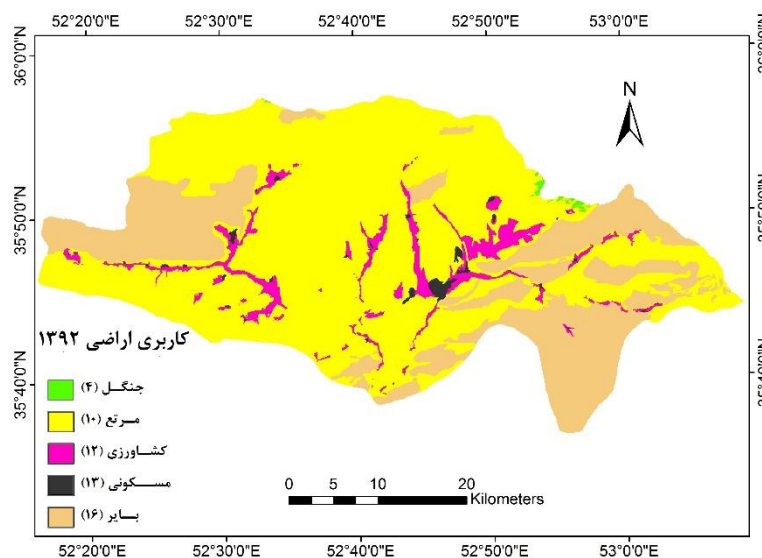
با استفاده از سه نقشه‌ی پایه (کاربری، خاک‌شناسی و دی‌ای‌ام) که به مدل داده شد نقشه‌های دیگری به‌دست آمد. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب کاربری‌های زمین سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد؛ و میزان روان‌آب سطحی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ را با یک‌دیگر مقایسه می‌کند.

واسنجی مدل و تسپا

در واسنجی مدل روان‌آب مشاهده‌ای با روان‌آب مدل‌سازی‌شده مقایسه شد. مدل با ارزیابی خروجی‌ها و تنظیم ورودی‌های آن (عوامل عمومی مدل) واسنجی می‌شود. برای واسنجی مدل دو روش خودکار و دستی وجود دارد، در مواقعی که چندین عامل در کار باشد ترکیب دو روش دستی و خودکار روش مناسبی است (صفری و همکاران ۲۰۱۲). در روش دستی، کاربر برپایه‌ی دید خود اندازه‌های مختلفی را به عوامل می‌دهد و با روش سعی و خطا، بهترین برازش را میان مقادیر مشاهده‌ای و مدل‌سازی‌شده در نظر می‌گیرد. در این روش می‌توان با متغیر گرفتن یک عامل و ثابت گرفتن سایر عوامل، تأثیر میزان آن عامل بر خروجی را بررسی کرد. در روش خودکار از نرم‌افزارهای مختلفی نظیر پی‌ای‌اس‌تی^۸ استفاده می‌شود (بهره‌مند و دی‌اسمت ۲۰۰۸). در استفاده از روش خودکار، مجموع مربعات خطا تابع هدف است، و تلاش بر این است که این مقدار به حداقل خود برسد. در پی‌ای‌اس‌تی حقیقت نرم‌افزاری برای ارزیابی و بهینه‌سازی عواملی غیرخطی براساس جست‌وجوی محلی است (دوهرتی و همکاران ۲۰۱۰). در این پژوهش از ترکیبی از روش دستی و خودکار



شکل ۵- نقشه ی کاربری زمین سال ۱۳۷۸ حوزه ی آبخیز فیروزکوه، استان تهران. عددهای راهنمای نقشه شماره ی استاندارد ی است که در مدل وتسیا برای هر کاربری به کار می رود.



شکل ۶- نقشه ی کاربری زمین سال ۱۳۹۲ حوزه ی آبخیز فیروزکوه، استان تهران. عددهای راهنمای نقشه شماره ی استاندارد ی است که در مدل وتسیا برای هر کاربری به کار می رود.

روان آب $140301331/2$ متر مکعب است، درحالی که اگر کاربری ۱۳۹۲ را به این هشت سال تعمیم دهیم میزان روان آب به $142060953/6$ متر مکعب می رسد، که نشان دهنده ی افزایش حجم کل روان آب به میزان 2000000 متر مکعب بر اثر تغییرات

اثر تغییرات کاربری بر روان آب ابتدا مدل با استفاده از نقشه های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ اجرا شد. نتایج نشان داد که حجم روان آب مدل سازی شده برای هشت سال با فرض این که کاربری تغییر نکرده و مانند سال ۱۳۷۸ باشد، حجم کل

که وجود برگ آب زیاد در جنگل‌ها سبب کاهش باران رسیده به سطوح خاک، و در نتیجه کاهش یافتن روان آب می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت که با کاهش سطح زمین‌های جنگلی و پوشش گیاهی در حوزه، آب‌دهی اوج افزایش می‌یابد، و این خود باعث افزایش خطر سیلاب می‌شود.

برای تحلیل و بررسی اثر کاربری زمین بر میزان روان آب، آب‌دهی اوج برای دو کاربری سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ محاسبه شد. آب‌دهی اوج برای کاربری‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۴/۱۱۲ متر مکعب بر ثانیه و ۴/۲۶۴ متر مکعب بر ثانیه بود، که بیانگر افزایش آب‌دهی اوج در نتیجه تغییرات کاربری است. تخریب جنگل و مرتع و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی باعث افزایش تولید روان آب و کاهش زمان تمرکز می‌شود، و به دنبال آن آب‌دهی اوج افزایش می‌یابد. جدول ۱ مقدار بهینه‌ی عوامل را بعد از واسنجی نشان می‌دهد.

کاربری زمین است. این نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که روان آب سطحی افزایش، و نفوذ کاهش یافته است.

از عمده‌ترین تغییرات کاربری در این حوزه تخریب زیاد مرتع‌ها و بخش کمی از جنگل‌ها، و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و زمین‌های بایر است. مقایسه‌ی مساحت کاربری‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ مساحت زمین‌های کشاورزی از ۴۸۳۹۰۴۰۰ متر مربع به ۸۵۷۲۸۰۰۰ متر مربع. مناطق مسکونی از ۶۶۶۲۴۰۰ متر مربع به ۱۲۲۴۳۲۰۰ متر مربع و زمین‌های بایر از ۲۵۹۴۸۱۶۰۰ متر مربع به ۴۵۳۱۵۲۰۰۰ متر مربع رسیده است. در برابر این افزایش‌ها، سطح زمین‌های مرتعی و جنگلی کاهش یافته است (جدول ۲).

فرلی و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر جنگل بر افزایش تبخیر-تعرق را ۴۰٪ گزارش کرده‌اند. محققان زیادی هم بر تأثیر نقش جنگل‌ها بر کاهش روان آب تأکید کرده‌اند. برای نمونه کالدرا (۱۹۹۳) نشان داده است

جدول ۱- مقادیر عوامل واسنجی شده‌ی مدل و تسپا در حوزه‌ی آب‌خیز فیروزکوه.

عامل	مقدار عامل بعد از واسنجی
مقیاس برای محاسبات جریان زیرسطحی (ki)	۰/۰۹۰
ضریب افت آب‌های زیرزمینی (kg)	۰/۰۰۰۰۰
رطوبت نسبی اولیه (k_ss)	۰/۹۸۰۵
تصحیح تبخیر-تعرق توان (k_ep)	۰/۴۳۱۲
ذخیره‌ی اولیه‌ی آب‌های زیرزمینی (G_0)	۶۰۳/۹
بیش‌ترین ذخیره‌ی آب زیرزمینی (G_max)	۱۳۱۰/۰
دمای پایه‌ی ذوب برف (T0)	۰/۰۰
ضریب درجه‌ی روز-دما (K_snow)	۶/۲۶۸
ضریب درجه‌ی روز-باران (K_rain)	۰/۰۰۰۴
روان آب سطحی برای شدت بارندگی نزدیک صفر (K_run)	۷/۳۲۸۸
شدت بارندگی مؤلفه‌ی روان آب سطحی از مجموع ۱ (pmax)	۷۸۰/۰

تقریباً به یک‌سوم مقدار خود در ۱۳۹۲ رسیده است. پوشش جنگلی و مرتعی باعث کاهش سرعت روان آب و افزایش نفوذ، و در نتیجه کاهش روان آب سطحی و افزایش روان آب زیرسطحی می‌شود. مدل‌سازی حجم روان آب برای سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ نشان داد که حجم روان آب بر اثر تغییرات کاربری زمین افزایش یافته است.

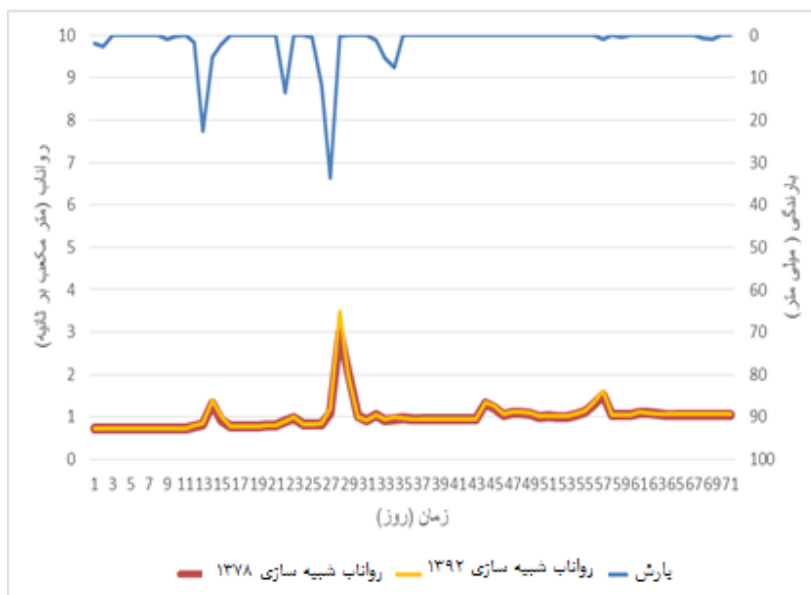
جدول ۲ انواع مختلف کاربری زمین موجود در حوزه‌ی بررسی شده، مساحت و میزان تغییراتشان از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد. مقایسه‌ی مساحت کاربری‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ مساحت کاربری کشاورزی مسکونی و بایر افزایش و در برابر، سطح جنگل‌ها و مرتع‌ها کاهش یافته است، به‌طوری که کاربری جنگل

جدول ۲- میزان تغییرات کاربری زمین در حوزه آبخیز فیروزکوه استان تهران.

کاربری	مساحت ۱۳۷۸ (هکتار)	مساحت ۱۳۹۲ (هکتار)	میزان تغییرات
کشاورزی	۴۸۳۹/۰۴۰	۸۵۷۲/۸	۳۷۳۳/۷۶
بایر	۲۵۹۴۸/۱۶	۴۵۳۱۵/۲	۱۹۳۶۷/۰۴
جنگل	۹۶۱/۲۸	۳۲۲/۵۶	- ۶۳۸/۷۲
مرتع	۱۳۱۷۶۲/۵۶	۱۰۸۷۴۲/۴	- ۲۳۰۲۰/۱۶
مسکونی	۶۶۶/۲۴	۱۲۲۴/۳۲	۵۵۸/۰۸

که بارندگی افزایش داشته مقدار روان آب هم زیاد شده است. روان آب مدل سازی شده ی ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ به خوبی نمایش داده شده است (شکل ۱۶)، که بیانگر مدل سازی خوب روان آب در مدل است.

مدل با نقشه های کاربری ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ اجرا، و نتایج آن باهم مقایسه شد. با هدف این که نمودار بهتر نمایش داده شود، داده های ۷۱ روز انتخاب، و نمودار آن ترسیم شد (شکل ۷). در بخش هایی از نمودار



شکل ۷- مقایسه ی روان آب مدل سازی شده ی سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲.

برای خاک شناسی، تعداد کم ایستگاه های هواشناسی، هم زمان نبودن داده ها، دقت کم نقشه ی دی ای ام؛ و مدل سازی مدل در مقیاس روزانه بود که از نظر تفکیک زمانی این مقیاس باعث کاهش دقت می شود. هدف اصلی این پژوهش نه بررسی دقت مدل، که ارزیابی اثر کاربری زمین بر میزان روان آب بود، بنابراین، با دقت کم از مدل برای دو دوره استفاده شد. نتایج هم نشان داد که مدل اثر کاربری بر میزان روان آب را به خوبی نشان داده است. یکی از تغییرات عمده ی کاربری در این حوزه تخریب مرتع و تبدیل آن به زمین های کشاورزی و مناطق مسکونی و بایر است. کاهش سطح زمین های مرتعی مشکلاتی مانند کاهش نفوذ، کاهش تبخیر،

بحث و نتیجه گیری

پس از اجرای کامل مدل و تسپا، واسنجی و اعتبارسنجی آن در حوزه آبخیز فیروزکوه، جریان روزانه ی این حوزه مدل سازی شد. سپس با استفاده از مدل و تسپا اثر تغییر کاربری بر آن مدل سازی و بررسی شد.

ضریب نش ساتکلیف ۵/۲۴٪ بود که مدل را در مرحله ی اعتبارسنجی بر اساس معیارهای موجود در طبقه ی ضعیف قرارداد. با توجه به این که نقشه ی کاربری با استفاده از روش ترکیبی با بیشترین دقت تهیه شد، انتظار دقت بیشتری را در مدل سازی داشتیم. شاید یکی از دلایلی که این ضریب را در طبقه ضعیف قرار داد نبود نقشه ی دقیق

نتایج این پژوهش می‌تواند نقش زیادی در مدیریت بهینه‌ی کاربری زمین و منابع طبیعی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه داشته باشد. بر اساس نتایج، با افزایش سطح زمین جنگلی و پوشش گیاهی می‌توان آب‌دهی اوج را کاهش داد و یا به تأخیر انداخت، که نقش مهمی در کاهش خطر سیلاب و تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی دارد. جنگل‌ها به‌وسیله‌ی سطح تاج پوشش و هوموسی که ایجاد می‌کنند می‌توانند میزان نفوذ را افزایش و روان‌آب را کاهش دهند. بنابراین ممکن است که با جنگل‌کاری مصنوعی، جلوگیری و مهار تبدیل زمین‌های مرتعی به کشاورزی از تبدیل این زمین‌ها به زمین‌های بایر جلوگیری کرد (فولن ۱۹۹۸؛ نی‌یری و همکاران ۲۰۰۹).

هدف از این پژوهش بررسی اثر تغییر کاربری زمین بر خصوصیات آب‌شناسی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه بود. تغییرات کاربری زمین در دو دوره بررسی، و میزان تغییرات هر یک از کاربری‌ها مشخص شد. هدف از این کار بررسی نقش تغییرات کاربری بر میزان روان‌آب در حوزه برای مدیریت بهتر کاربری با توجه به تغییرات آن است. برای مدل‌سازی روان‌آب، مدلی با داده‌های کم موردنیاز بود. به این منظور در این تحقیق مدل و تسپا با سه نقشه‌ی ورودی ارتفاعی، خاک‌شناسی و کاربری زمین به کار گرفته شد. روان‌آب در نقشه‌های کاربری با ثابت گرفتن خصوصیات هواشناسی و خاک‌شناسی مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری شامل تخریب مرتع و زمین‌های جنگلی، و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی موجب افزایش روان‌آب شده است. افزایش روان‌آب نسبت به تغییرات زیاد کاربری چشم‌گیر نبوده است، که ممکن است به دلیل خصوصیات مکانی تغییرات (بیش‌تر در مناطق مسطح) باشد. پیشنهاد می‌شود از مدل‌های آب‌شناسی دیگر در حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه استفاده شود و نتایج آن مقایسه شود، در حوزه آبخیز فیروزکوه نقشه‌ی خاک با مقیاس بزرگ‌تر تهیه شود و مدل و تسپا دوباره اجرا شود. برنامه‌های کاربری زمین طراحی شود و با استفاده از شاخص تولید روان‌آب برنامه‌ی بهینه انتخاب شود، و آثار تغییرات کاربری زمین بر فرآیندهای آب‌شناسی حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه بررسی شود.

کاهش ماده‌ی آلی، افزایش سطح خاک لخت و درنهایت افزایش روان‌آب را به دنبال خواهد داشت. تغییرات کاربری در حوزه آبخیز فیروزکوه زیاد است، اما نسبت مساحت منطقه‌ی مسکونی و جنگلی به مساحت کل حوزه بسیار کم‌تر از مرتعی و کشاورزی است. افزایش زمین‌های کشاورزی می‌تواند با شخم و دست‌کاری، خاک را حساس کند و باعث کاهش نفوذپذیری شود. علاوه بر کاربری زمین، خصوصیات پستی و بلندی و خاک بر ویژگی‌های آب‌شناسی و روان‌آب، مؤثر است، به دنبال تغییرات پیوسته‌ی کاربری زمین، خاک تخریب می‌شود و از مساحت پوشش گیاهی کاسته می‌شود. با کم‌شدن آن، میزان نفوذ کاهش می‌یابد و رفته‌رفته میزان روان‌آب سطحی افزایش می‌یابد و سبب بروز سیلاب می‌شود. در نقشه‌ی کاربری ۱۳۹۲ (شکل ۶) مشاهده شد که میزان زمین‌های بایر در مقایسه با سال ۱۳۷۸ بسیار افزایش یافت، و مراتع زیادی تخریب شد، و بخش اعظم آن به زمین‌های بایر، و باقی آن به زمین‌های مسکونی و کشاورزی تبدیل شد.

در پی تغییرات کاربری زمین در گرگان در دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله حجم و عمق روان‌آب سطحی افزایش یافته است (گلدوی و همکاران ۱۳۹۴). لئو و همکاران (۲۰۰۵) در حوزه‌ی آبخیز استینس، لوکزامبورگ، روان‌آب ناشی از کاربری‌های مختلف را در مقیاس ساعتی در ۵۲ ماه بررسی کردند، و نشان دادند که گسترش زمین شهری و جنگل‌زدایی سبب افزایش آب‌دهی اوج و حجم سیلاب می‌شود. الفرت و بورمن (۲۰۱۰) نقش کاربری زمین را در فرآیندهای آب‌شناسی حوزه‌ی هانت در شمال آلمان را با استفاده از یک مدل توزیعی بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش مناطق مسکونی، روان‌آب و جریان رود افزایش یافته است.

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان دادند که حوزه‌ی آبخیز فیروزکوه در معرض تغییرات کاربری قرار داشته و در سال‌های گذشته بخش‌هایی از زمین‌های منابع طبیعی در آن به زمین‌های کشاورزی و مسکونی تبدیل شده است. تغییرات کاربری موجب تغییر مؤلفه‌های روان‌آب مانند حجم و آب‌دهی اوج روان‌آب شده است. استفاده از

- Bahreman A. De Smedt F. 2008. Distributed hydrological modeling and sensitivity analysis in Torrysa Watershed, Slovakia. *Water Resources Management*. 22(3): 393–408.
- Batelaan O. Wang Z. De Smedt F. 1996. An adaptive GIS toolbox for hydrological modeling. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*. 235: 3–10.
- Bayat B. Motakan A. Zeinivand H. Ghafoori A. Mirbagheri B. 2012. Simulation of daily stream flow and the effects of land use changes using WetSpa model in GIS (Case Study: Merek Watershed, Kermanshah Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*. 4(1): 1–18. (In Persian).
- Brinkmann K. Schumacher J. Dittrich A. Kadaore I. Buerkert A. 2012. Analysis of landscape transformation processes in and around four West African cities over the last 50 years. *Landscape and Urban Planning*. 105(1): 94–105.
- Colder IR. 1993. Hand book of hydrology. (Chapter 13). In Maidment, hydrologic effect of land-use change. MCGRAW-hill, New York.
- De Roo A. Schmuck G. Perdigao V. Thielen J. 2003. The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 28(33–36): 1291–1300.
- Doherty JE. Hunt RJ. Tonkin MJ. 2010. Approaches to highly parameterized inversion: A guide to using PEST for model-parameter and predictive-uncertainty analysis. US Geological Survey.
- Elfert S. Bormann H. 2010. Simulated impact of past and possible future land use changes on the hydrological response of the Northern German lowland 'Hunte' Catchment. *Journal of Hydrology*. 383(3–4): 245–255.
- Farley KA, Jobbágy EG, Jackson RB. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*. 11(10): 1565–1576.
- Fullen MA. 1998. Effects of grass ley set-aside on runoff, erosion and organic matter levels in sandy soils in east Shropshire. UK. *Soil and Tillage Research*. 46(1–2): 41–49.
- Goldavi S. Mohammadzade M. Salmanmahini A. Najafi A. 2016. Impacts assessment of land use change on surface water using L-THIA model in Gorgan area. *Environmental Researches*. 6(11): 111–191. (In Persian).
- Kukkonen M. Kayhko N. 2014. Spatio-temporal analysis of forest changes in contrasting land use regimes of Zanzibar, Tanzania. *Applied Geography*. 55: 193–202.
- Liu YB. Gebremeskel S. De Smedt F. Hoffmann L. Pfister L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *Journal of Hydrology*. 283(1): 91–106.
- Liu YB. De Smedt F. 2010. Extension, A GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management, erosion and sediment transport simulation, documentation and user manual. Department of hydrology and hydraulic engineering, Vrije universiteit Brussel, Brussels, Belgium. 126 pp.
- Liu YB. De Smedt F. Hoffmann L. Pfister L. 2005. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Environmental Modeling and Assessment*. 9(4): 227–235.
- Mohammady M. Zeinivand H. Moradi H. Poorghasemi H. Farazjoo H. 2015. Investigating the effect of land use on runoff production using WetSpa model. *Journal of Ecohydrology*. 2(4): 369–357. (In Persian).
- Motakan A. Zeinivand H. Bayat B. Ghafoori A. Mirbagheri B. 2011. Modeling of spatial and temporal variations of subsurface flow and infiltration using the WetSpa model and GIS (case study of Merk watershed, Kermanshah). *Ecohydrology*. 2(4): 357–369. (In Persian).

- Neariy DG. Ice GG. Jackson CR. 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*. 258(10): 2269–2281.
- Sabzghabaei GH. Raz S. Dashti S. Yousefi SH. 2017. Study the Changes of Land Use by the Help of GIS & RS Case Study: Andimeshk City. *Journal of Geography and development*. 15(46): 35–42. (In Persian).
- Sadeghi H, Ghasemieh H, Sadatinejad J. 2015. Simulation of Streamflow using a Hydrological Model-Distributed WetSpa (Case study: Navrud Basin). *JWSS–Journal of Agricultural Sciences and Technology, Water and Soil Science*. 19 (73): 23–33. (In Persian).
- Safari A. De Smedt F. Moreda F. 2012. WetSpa model application in the distributed model inter-comparison project (DMIP2). *Journal of Hydrology*. 4(18): 78–89.
- Tavakoli M. De Smedt F. Vansteenkiste T. Willems P. 2014. Impact of climate change and urban development on extreme flows in the Grote Nete watershed, Belgium. *Natural Hazards*. 71(3): 2127–2142.
- Terpstra J. Van Mazijk A. 2001. Computer aided evaluation of planning scenarios to assess the impact of land-use changes on water balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*. 26(7–8): 523–527.
- USGS, <https://glovis.usgs.gov>.
- Wang ZM. Batelaan O. De Smedt F. 1996. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physics and Chemistry of the Earth*. 21(3): 189–93.
- Yaghoobi F. Bahremand A. 2011. Streamflow Simulation using Spatially Distributed Hydrologic Model, WetSpa in Chehel-Chai Watershed in Golestan Province. *Journal of Soil and Water Conservation Research*. 18(3): 185–207. (In Persian).

