نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

صفحات ۵۷ – ۷۲

تحلیل تغییر رفتار واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی در اثر توسعه سکونتگاهی (مطالعه موردی: حوضه آبریز چشمه کیله تنکابن)

عزت‌اله قنواتی[1]؛ دانشیار ژئومورفولوژی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

علی احمدآبادی؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

امیر صفاری؛ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

مسعود رجائی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۳۹۸/۱۲/۱۲ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۶/۰۷

چکیده

تغییرات کاربری اراضی و پوشش‌گیاهی به‌طور مستقیم منجر به تغییر رژیم هیدرولوژیکی به‌خصوص ضریب رواناب و تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای می‌شود. بخش زیادی از تغییرات کاربری اراضی به‌واسطه توسعه سکونتگاهی رخ‌داده است که این امر، در مناطق شمالی کشور منجر به کاهش اراضی جنگلی و مرتعی درجه‌یک و زمین‌های کشاورزی شده است؛ این موضوع منجر به افزایش مخاطره سیلاب در این مناطق و مناطق شهری پایین‌دست شده است. حوضه چشمه کیله به‌عنوان یکی از حوضه‌های آبریز شمال کشور در دهه اخیر شاهد وقوع سیلاب‌های مختلفی بوده است؛ بنابراین در این تحقیق با استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه چشمه کیله به‌منظور شناسایی تغییرات پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی این واحدها و تأثیر این تغییرات بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه که ضریب رواناب به‌عنوان یکی از این رفتارها در این بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۱) است، پرداخته شد. لذا در این تحقیق، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان واحد کاری برای تعیین پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز چشمه کیله شناسایی و استخراج‌شده است. به‌منظور پایش تغییرات تراکم و میزان پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸ از شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده استفاده شد؛ سپس با تلفیق لایه گروه‌های هیدرولوژیک و کاربری اراضی، برای هر یک از واحدهای پاسخ هیدرولوژیک میزان شماره منحنی مشخص شد. با توجه به مقادیر شماره منحنی به‌دست‌آمده برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک، مقدار توان نگهداشت رطوبت خاک استخراج شد. در نهایت، با محاسبه مقادیر متوسط ماهیانه، میزان رواناب حاصل از بارندگی برای سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸ برآورد شد. نتیجه تحقیق گویای کاهش میزان و تراکم پوشش‌گیاهی، افزایش مقدار شماره منحنی، کاهش میزان نفوذپذیری خاک و همچنین افزایش ارتفاع رواناب تولیدی در طول بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۱) در حوضه چشمه کیله (به‌ویژه قسمت‌های شمال حوضه) است؛ به عبارتی توسعه سکونتگاهی، تغییر کاربری اراضی و تضعیف پوشش‌گیاهی باعث تشدید سیل‌خیزی حوضه شده است؛ بنابراین ضرورت انجام عملیات آبخیزداری در بالادست به منظور افزایش نفوذپذیری وجود دارد.

واژه های کلیدی: واحد پاسخ هیدرولوژیک، حوضه چشمه کیله، رواناب، شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده، مدل بارش-رواناب.

[1] . نویسنده مسئول : Email:ezghanavati@khu.ac.ir

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

مقدمه

حیات بشر روی کره زمین موجب بروز تحولات عظیمی بر سطح زمین شده است که از آن جمله می‌توان به تخریب جنگل‌ها و مراتع در سطح وسیع و ایجاد زمین‌های کشاورزی دیم اشاره کرد. این عوامل تأثیر زیادی در سیل‌خیزی دارند. علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش فراوانی و حجم و همچنین خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب می‌شود (قنواتی، ۱۳۹۲). تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در سیکل هیدرولوژیکی حوضه شده و درنتیجه باعث تغییر تعادل آب بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری و پاسخ رواناب می‌شوند (Marcos et al, ۲۰۰۳). با توجه به این‌که برای جلوگیری از بروز این‌گونه پدیده‌های زیانبار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد کرد، هرگونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبخیز جست‌وجو کرد (امیری، ۱۳۸۵). در یک اکوسیستم طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط به‌ویژه پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار است؛ زیرا کاربری اراضی و پوشش زمین از عوامل اصلی در مطالعات منابع آب و فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیزند (Sika et al, ۲۰۰۳). ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی، پایه و اساس مدیریت حوضه‌ی آبریز و بازسازی محیط‌زیست است (Nie et al, ۲۰۱۱). مطالعات نشان داده است که تغییر پوشش سطح زمین به‌صورت طبیعی و یا توسط انسان می‌تواند تأثیر به‌سزایی در چرخه هیدرولوژیکی منطقه داشته باشد و این تأثیر در قالب افزایش دبی اوج و حجم رواناب سطحی (Shi et al, ۲۰۰۷)، افزایش پتانسیل ریسک سیلاب (Nirupama and Simonovic, ۲۰۰۷) و کاهش کیفیت آب (Xian et al, ۲۰۰۷) ظاهر خواهند شد. تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یکی از چالش‌های عمده در قرن ۲۱ مطرح است و برخی حتی اعتقاد به شدیدتر بودن تأثیر آن نسبت به پدیده تغییر اقلیم دارند (Sala et al, ۲۰۰۰). برآورد نتایج حاصل از تغییرات پوشش‌گیاهی و پوشش زمین یکی از موضوعات اخیر در مدل‌های هیدرولوژیکی شده است (Yang et al, ۲۰۱۲) این امرمی‌تواند برای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از پروژه‌های منابع آب داخلی و برای هشدار زودهنگام سیل ضروری باشد (Du et al, ۲۰۱۲)؛ باوجوداین تحلیل، تأثیر تغییر کاربری بر فراوانی سیلاب مسئله‌ای پیچیده به نظر می‌رسد که به خاطر کمبود داده‌های سیلاب و همچنین فرایند توسعه‌ی غیرایستا و پویای نواحی ساخته‌شده است (Suriya and Mudgal, ۲۰۱۲). درکل درک بهتر و ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه برای پیش‌بینی و کاهش خطرات سیل و همچنین برای برنامه‌ریزی و توسعه پایدار مدیریت حوضه اهمیت دارد (Chen et al, ۲۰۰۹). لذا پیش‌بینی رواناب حاصل از بارش‌های جوی و درک کمی فرآیندهای مختلف تولید آن به‌عنوان یکی از مباحث مهم و بنیادی در دانش هیدرولوژی به شمار می‌رود. تعیین کمی و کیفی رواناب به‌عنوان مبنای مطالعاتی طرح‌های عمرانی به‌منظور توسعه و بهره‌برداری از منابع آب در حوزه‌های آبخیز است (Singh, ۱۹۹۸).

واحد مطالعاتی تحقیق به‌خصوص در مطالعات رواناب و رسوب تأثیر به‌سزایی در نتایج تحقیق خواهد داشت. در بین محققین ژئومورفولوژی و سایر محققین علوم زمین، حوضه‌ی آبریز به‌عنوان اصلی‌ترین واحد مطالعاتی شناخته می‌شود که واحد مطالعاتی طبیعی و مناسب به نظر می‌رسد؛ اما در مطالعات رواناب و رسوب نیاز است که داخل حوضه‌ی آبریز نیز به واحدهای فرعی مشخص و همگنی تقسیم گردد تا در هر واحد شرایط عوامل اثرگذار بر فرسایش یا میزان رواناب موردبررسی قرار گیرد. به نظر می‌رسد حوضه‌ی آبریز فرعی برای این منظور مناسب نباشد؛ زیرا در حوضه‌ی آبریز فرعی ممکن است شرایط شیب، لیتولوژی، پوشش‌گیاهی و ... همگنی وجود نداشته باشد، به همین علت نتایج واقعی از شرایط

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

تولید رسوب و رواناب به دست نیاید. در این تحقیق، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (اِچ.آر.یو) به‌عنوان کوچک‌ترین واحد مطالعاتی، معرفی گردیده و برای برآورد نقشه‌ی پتانسیل تولید رواناب به کار گرفته شد (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). لذا به‌منظور برآورد رواناب در واحد اِچ.آر.یو به دلیل محدودیت در تعداد و پراکندگی ایستگاه‌های هیدرومتری از روش بارش-رواناب[1] استفاده‌شده است. در مورد کاربرد روش شماره منحنی در برآورد رواناب، تحقیقات گسترده‌ای در سراسر دنیا صورت گرفته است؛ از جمله ثروتی و همکاران (۱۳۹۲)، با تهیّه نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک و تلفیق این نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش بارش-رواناب، نقشه شماره منحنی و نفوذ حوضه را تهیّه کردند و در نهایت حوضه را به چهار طبقه بسیار بالا، بالا، متوسط و کم از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی تقسیم کردند. همچنین لاجوردی و همکاران (۱۳۹۲)، به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق‌چای (آذربایجان شرقی) اقدام کردند. آن‌ها در این پژوهش به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر مؤثر در سیل‌خیزی، به پهنه‌بندی مناطق بر اساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبریز پرداخته‌اند. تأثیر پوشش‌گیاهی روی نفوذ آب و میزان رواناب در اراضی نیز به‌وسیله تعدادی از محققان بررسی‌شده است. از جمله بهشتی‌جاوید و همکاران (۱۳۹۷)، تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها بر روی سیل‌خیزی حوضه‌های شمالی کوهستان سبلان را ارزیابی کردند. نتیجه تحقیق در منطقه مورد مطالعه نشان داد که قسمت زیادی از مناطق جنوبی با وجود اینکه بارش بیشتری از مناطق شمالی دریافت می‌کنند؛ اما از نظر سیل‌خیزی در پهنه‌های کم و خیلی کم قرار می‌گیرند که علت آن مورفومتری خاص لندفرم‌ها و تأثیر نوع این لندفرم‌ها در سیل‌خیزی مناطق است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۵)، نیز به مطالعه و بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، به علت تأثیرات خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز مسلط بر کلان‌شهر تهران، از جمله، شکل حوضه‌ها، مساحت و طول کم آبراهه‌های اصلی، وجود اختلاف ارتفاع و شیب زیاد شمالی- جنوبی، فاصله کم بین حوضه دریافت و بخش خروجی حوضه‌ها و کوتاهی زمان تمرکز و مداخلات انسانی، رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت زمان اندک وارد پیکره شهری می‌گردد. همچنین میلر و هس (Miller and Hess, ۲۰۱۷) در پژوهشی به مطالعه تأثیرات شهرنشینی بر سیلاب در راستای تغییرات شهری –روستایی پرداختند. در یک دوره چهار ساله یک شبکه مانیتورینگ با وضوح بالا در ۸ حوضه جنوب انگلستان اعم از روستایی و شهری به کار گرفته شد. نتایج نشان داد، تفاوت‌هایی در پاسخ هیدرولوژیکی بین حوضه‌های شهری و روستایی مشاهده شده است. حجم رواناب و زمان پاسخ به سیلاب اختلافات (تغییرات) روستایی ـ شهری تبعیت نمی‌کند. رطوبت موجود در خاک تغییری را در رواناب تحت پوشش مناطق شهری ایجاد نمی‌کند. اندازه‌گیری‌های مکانی (فضایی) شهرنشینی به تنهایی برای مشخص کردن سیلاب در حوضه‌های شهری کافی نیست.

فراوانی رخداد سیل در ایران از سال ۱۳۳۰ روندی افزایشی داشته است. به‌گونه‌ای که افزایش سالانه شمار سیل‌ها در بازه سال‌های ۱۹۵۲ تا ۱۹۹۱ نزدیک به ۴ درصد و افزایش آسیب‌های مالی نزدیک به ۶ درصد بوده است (صادقی، ۱۳۸۸). همچنین در طول چند سال اخیر سیلاب‌های پیاپی در منطقه چشمه کیله باعث ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیری شده است. نکته قابل‌توجه در منطقه‌ی موردبحث آن است که بدون بارش نیز شاهد سیلاب هستیم که تهدید شدیدی برای حوضه شهری این منطقه به شمار می‌آید. در بالادست حوضه، ارتفاعات دو هزار و سه هزار قرار دارد

۱. SCS-CN

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

که در فصل سرد میزان بارندگی (برف) بسیاری دریافت می‌کنند و در فصل گرم ذوب شدن این برف‌ها، شکل‌گیری رواناب و درنهایت سیلاب را تشدید می‌نماید (خبرگزاری جمهوری اسلامی ایرنا، ۱۳۹۴). شاخه اصلی رودخانه چشمه کیله از مرکز شهر تنکابن عبور می‌کند که این امر نیز تهدیدات مخاطره‌آمیز را دو چندان می‌کند. در سال‌های اخیر وقوع سیل خسارت‌های مالی و جانی بسیاری را برجای گذاشته که می‌توان به سیلاب مرداد سال ۱۳۹۰ اشاره کرد. در سال ۱۳۹۰ سیل ناشی از طغیان رودخانه‌های منطقه خسارت‌هایی را به مزارع پرورش ماهی این مناطق وارد کرد. همچنین در مهرماه سال ۱۳۹۴ مقدار بارش ۲۵۴ میلی‌متر در یک روز موجب تخریب پل قدیمی جانبازان و خسارات بسیاری شد (شکل ۱). در سال ۱۳۹۶ نیز سیلاب بار دیگر خسارت‌های زیاد برجای گذاشت به‌طوری‌که میزان دبی رودخانه دو هزار و سه هزار به هنگام وقوع طغیان رودخانه حدود ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه بود که به دلیل شیب تند رودخانه و حجم بالای آب، کلیه سر دهنه سنتی رودخانه چشمه کیله تخریب شد. در مهرماه سال ۱۳۹۷ به دنبال یک بارش ۲۴ ساعته به میزان ۳۷۴ میلی‌متر، سیلاب سهمگینی در رودخانه چشمه کیله با دبی حدود ۴۵۰ مترمکعب بر ثانیه به وقوع پیوست که در ۵۰ سال اخیر بی‌سابقه بوده و خسارات زیادی به همراه داشت. سیل سبب تخریب و مسدود شدن جاده‌های اصلی و فرعی و آسیب جدی به چندین دهنه پل و تخریب بخشی از پارک چشمه کیله و خیابان زیرگذر پل قدیمی در مرکز شهر تنکابن شد (شکل ۲). سیل مهرماه ۱۳۹۷ به بخش کشاورزی شامل ۳ هزار و ۲۴۴ هکتار از باغات مرکبات، کیوی و گل و گیاه، ۸۰ هکتار از اراضی زراعی، ۳۷۰ رأس دام، ۴ هزار و ۲۲۰ قطعه طیور، زنبورستان‌ها، ساختمان و تأسیسات کشاورزی، منابع آبی و تأسیسات فنی و زیر بنایی، جاده بین مزارع و دیوار حفاظتی، آبزیان و پرورش ماهی، جاده‌های ارتباطی، پل‌ها، مناطق مسکونی و تجاری بالغبر ۷۰۰ میلیارد تومان خسارت وارد نمود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۷).

شکل (۱) سیلابی شدن رودخانه چشمه کیله و تخریب پل جانبازان (مهر ۱۳۹۴)

شکل (۲) تخریب خیابان زیرگذر پل چشمه کیله واقع در مرکز شهر تنکابن (مهر ۱۳۹۷)

(نگارنده ۱۳۹۷)

از آن‌جایی‌که رشد سکونتگاهی (شهری و روستایی) با ایجاد سطوح نفوذناپذیر و ایجاد جوی‌ها در خیابان‌ها و جوی‌های کم‌عمق داخل کوچه‌ها که در تبعیت کامل با احداث خانه‌ها، کوچه‌ها و خیابان‌ها هستند، همراه بوده و باعث ایجاد تغییر در وضعیت توپوگرافی در پهنه سکونتگاه‌ها و در نتیجه تغییر مستقیم در تولید رواناب‌ها، سیلاب‌ها و روند حرکت و تخلیه آن‌ها می‌شود. پیامد چنین تغییراتی، ضمن ایجاد مسائلی مانند آب‌گرفتگی گذرگاه‌ها و انباشت سیلاب‌ها همراه با زباله‌های شهری و روستایی در نقاط معینی و اختلال در ترددها و به وجود آمدن ترافیک‌های سنگین، باعث وارد آمدن آسیب‌های اقتصادی زیاد و گاهی خسارت‌های جانی نیز می‌شود (رئیسی، ۱۳۸۸)؛ بنابراین، شناسایی و تعیین عوامل تهدید و حل دشواری‌های ناشی از آن‌ها اهمیت بسیار یافته است. با تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی به سطوح

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

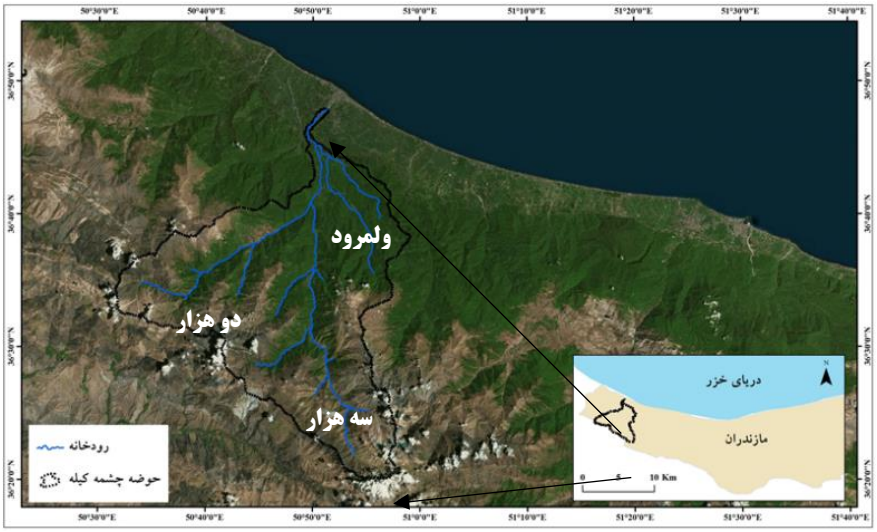
نفوذناپذیر سکونتگاهی و پیامد آن رخداد رواناب‌های سرکش، سیلاب‌ها و گاهی سیلاب‌های ویرانگر باعث آسیب‌های مالی و جانی فراوان می‌شود. برای کاهش این خسارت‌ها، کنترل، هدایت و سرانجام مدیریت سیلاب‌ها امری اجتناب‌ناپذیر می‌شود. لذا، با توجه به‌تمامی مسائل و مشکلاتی که در باب سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی ذکر شد و اینکه اکثر نقاط جمعیتی و بسیاری از اراضی کشاورزی در معرض خطر سیل و فرسایش قرار دارند؛ هدف این تحقیق، شناسایی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پوشش‌گیاهی در واحد مطالعاتی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و تأثیر آن بر تولید رواناب و سیل‌خیزی حوضه چشمه کیله در اثر توسعه سکونتگاهی است و در این زمینه بر واحدهای همگن پاسخ هیدرولوژیک بعنوان کوچکترین واحد مطالعاتی تاکید دارد که از نقاط قوت این تحقیق نیز محسوب می شود.

داده ها و روش کار

- **معرفی قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

حوضه آبریز رودخانه چشمه کیله در غرب استان مازندران واقع در شهرستان تنکابن و در بخش شمالی رشته‌کوه البرز مرکزی قرار دارد. بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه ۴۸۰۰ متر منطبق با علم‌کوه و حداقل ارتفاع ۲۰- متر کنار ساحل دریای خزر در شهر تنکابن است.

رودخانه چشمه کیله یکی از رودخانه‌های حوضه آبریز دریای خزر است. رودخانه مرکب از دو شاخه اصلی به نام دو هزار و سه هزار است که در ارتفاع حدود ۴۵۰ متری از سطح دریا به هم رسیده و تشکیل رودخانه چشمه کیله را می‌دهند. بستر هر دو شاخه پرشیب بوده و آب آن‌ها ناشی از چشمه‌ها و ذوب برف است. همچنین هر دو دارای رسوب کم و آبی با کیفیت مطلوب هستند. رودخانه بعد از تلاقی دو شاخه در بستری آبرفتی مرکب از سنگ‌های بزرگ جریان داشته و در ۶ کیلومتری دریا وارد جلگه می‌شود. این رودخانه در ردیف پرآب‌ترین رودخانه غرب مازندران و دارای رژیمی منظم در فصول مختلف سال است. دوره پرآبی رودخانه در بهار است. طول رودخانه چشمه کیله ۸۰ کیلومتر بوده و وسعت حوضه آبریز آن حدود ۱۳۵۰ کیلومترمربع است که قسمت اعظم آن کوهستانی، مرتفع و پوشیده از جنگل و دارای رژیم بارانی و برفی است (ربانی‌ها، ۱۳۹۵) (شکل ۲).



شکل (۳) موقعیت حوضه مطالعاتی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

- **روش کار**

به‌منظور برآورد پتانسیل سیل‌خیزی به روش بارش-رواناب، از داده‌ها و فاکتورهای اثرگذار استفاده شده است. لایه مدل رقومی ارتفاع[۱] منطقه با استفاده از نقشه‌ی پایه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) استخراج و سپس رقومی گردید. همچنین به‌منظور تعیین نفوذپذیری هر یک از سازندهای موجود در حوضه از نقشه زمین‌شناسی و بافت خاک استفاده گردید. گروه‌های هیدرولوژیک خاک‌های حوضه آبخیز چشمه کیله، از لایه خاک فائو با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ استخراج گردیده است. همچنین کاربری‌های اراضی (وضعیت اراضی بهره‌برداری) حوضه چشمه کیله با استفاده از لایه کاربری ۱:۲۵۰۰۰۰ که توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه و استخراج گردیده و هرکدام از کاربری‌های موجود برای حوضه رقومی شده است. وضعیت پوشش‌گیاهی حوضه، تراکم مراتع و پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یعنی تصویر اُلی[۲] تاریخ ۲۰۱۸ ماهواره لندست ۸ و تصویر تی.اِم[۳] تاریخ ۱۹۹۱ مربوط به ماهواره لندست ۵، مشخص‌شده است. برای تعیین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته نیز از آمار حداکثر بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو و کلیماتولوژی و سینوپتیک حوضه و مجاور آن (نوشهر، رامسر، سیاه‌بیشه، تلارسر، خشکه‌داران و قزوین) در طول دوره آماری ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۱) استفاده گردیده است. برای تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها از نرم‌افزار آرک جی.آی.اِس[۴] استفاده گردیده است.

روش تحقیق با توجه بـه هـدف مطـرح‌شـده مشتمل بر شیوه‌های زیر است:

۱. مطالعـــات کتابخانـــه‌ای: در این مرحله ضمن مروری بر پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه موردمطالعه به بررسی کتب، اسناد و مقالات در خصـوص مـدل‌هـا و روش‌هـای علمـی و مفهومی، مفاهیم و مسائل مرتبط با پتانسیل تولید رواناب و شناسایی عوامل و پارامترهـای مـؤثر بـر آن پرداخته شد.

۲. جمـــع‌آوری، آمـــاده‌ســـازی و پـــردازش اطلاعات: این مرحله شامل اقداماتی در جهت تهیـه و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز اسـت. همچنـین همان‌طور که در مقدمه هم اشاره شد، تولید اِچ.آر.یو به‌عنوان واحد پایه جهت مطالعات هیدرولوژیکی و استخراج اِن.دی.وی.آی به‌منظور بررسی و شناخت تراکم و تغییرات پوشش‌گیاهی در بازه زمانی ۲۹ ساله از فعالیت‌های صـورت‌گرفتـه در این مرحله است.

- **واحد پاسخ هیدرولوژیک[۵]**

واحد پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان یک مفهوم توسط فلوجل در سال ۱۹۹۵ مطرح شد (Sanzana et al, ۲۰۱۳). این واحدها، بخش‌هایی از حوضه‌های آبریز هستند که دارای کاربری زمین، اطلاعات خاک و شیب و غیره یکسان‌اند که از همپوشانی لایه‌های چندضلعی ایجاد می‌شوند (Flugel, ۱۹۹۵) و اطلاعاتی مثل کاربری‌های زمین، انواع خاک، زیرحوضه‌ها و زمین‌شناسی را به دست می‌دهند. لایه‌های خطی اعم از عناصر طبیعی یا مصنوعی حوضه‌ی زهکشی می‌تواند با یک واحد پاسخ هیدرولوژیک تلفیق شود (Su et al, ۱۹۹۷). درنتیجه شبکه‌های هیدرولوژیکی از سطوحی چندضلعی با اشکال نامنظم هندسی شکل می‌گیرد که برای نمایش پدیده‌های «انسان‌ساخت» که حاکی از تأثیرات مهم

۱. Digital Elevation Model (DEM)
۲. OLI
۳. TM
٤. ArcGIS۱۰,۲
٥. Hydrologic Response Units (HRU)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز است، مناسب است (Lagacherie, ۲۰۱۰). از طرفی با ارائهٔ ویژگی‌های مختلف یک واحد، کاربر می‌تواند با مطالعه‌ی ویژگی هر واحد با توجه به تراکم کاربری، خاک و ویژگی‌های توپوگرافی مثل شیب واحد مناسب هدف خود را انتخاب کند. به‌طورکلی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک شناختی کلی از یک ناحیه از حوضه را برای کاربر می‌تواند ارائه دهد. در این تحقیق استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی در محدوده مطالعاتی در قالب ساختار داده رستری[۱] به‌وسیله‌ی نرم‌افزار آرک سوات[۲] انجام‌گرفته است.

- **اندازه‌گیری سبزینگی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست**

پس از تهیه داده‌های دورسنجی در دسترس برای منطقه، میزان و تراکم پوشش‌گیاهی در محیط نرم‌افزاری اِردس[۳] استخراج شد.

یکی از شاخص‌هایی که در زمینه پایش تغییرات پوشش‌گیاهی کاربردهای فراوانی دارد شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده[۴] است (Rouse et al, ۱۹۷۳).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

رابطه (۱)

که در آن:

NIR و RED به ترتیب بازتابش طیفی باند مادون‌قرمز نزدیک (باند ۲ سنجنده مادیس[۵] در محدوده ۸۴۱ تا ۸۷۶ نانومتر) و باند قرمز (باند ۱ سنجنده مادیس در محدوده ۶۲۰ تا ۶۷۰) است. دامنه این شاخص از ۱- تا ۱+ متغیر است. دامنه شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده برای پوشش‌گیاهی سبز از حدود ۰/۱ تا ۰/۸ (سبزینگی و تراکم گیاهی بالا) است. بنابراین این شاخص می‌تواند میزان رشد و توزیع گیاه را نشان دهد.

۳. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری: در این مرحله کلیه نقشه‌های معیارهای مؤثر، با استفاده از مدل بارش-رواناب با یکدیگر ترکیب‌شده و ارتفاع رواناب تولیدی در حوضه مطالعاتی مشخص گردیده است.

- **روش اِس.سی.اِس[۶]**

به‌منظور برآورد میزان رواناب ناشی از بارندگی‌ها چه از نظر حجم رواناب و چه از نظر شدت‌جریان در بازه‌های زمانی مختلف، روش‌های زیادی وجود دارد. از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش سازمان حفاظت خاک آمریکا است که به دنبال مطالعات شرمن (۱۹۴۹) در مورد ارائه‌ی هیدروگراف واحد از رابطه‌ی بارندگی و رواناب، توسط سازمان مذکور ارائه‌شده است (محمدی و پناهی، ۱۳۸۵). در این روش ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

۱. Raster
۲. ArcSWAT۱۰,۲
۳. ERDAS۹,۱
٤. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
٥. MODIS
٦. Soil Conservation Service (SCS)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

رابطه (۲)

R = ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر

P = ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر

برای محاسبه ارتفاع بارندگی در منطقه موردمطالعه، مقادیر متوسط ماهیانه بارش ۶ ایستگاه باران‌سنجی هیدرومتری نزدیک به حوضه (نوشهر، رامسر، سیاه‌بیشه، تلارسر، خشکه‌داران و قزوین) برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک از طریق عملیات درون‌یابی[۱] در نرم‌افزار آرک مپ[۲] محاسبه شد.

S = عامل نگهداشت رطوبت خاک برحسب میلی‌متر که مقدار آن برابر است با رابطه‌ی زیر:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

رابطه (۳)

در این معادله سی.اِن[۳]، شماره‌ی منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه است. مقدار سی.اِن بین صفر و ۱۰۰ متغیر است. در سی.اِن برابر صفر، روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در سی.اِن برابر ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. این شاخص به عواملی همچون گروه هیدرولوژیکی خاک، پوشش‌گیاهی، تراکم کاربری و بافت خاک بر اساس راهنمای ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا به دست می‌آید که ابتدا بر اساس بافت خاک گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین و سپس بر اساس جدول (علیزاده، ۱۳۹۰) مربوط با تطبیق تراکم کاربری و گروه هیدرولوژیکی، شماره‌ی منحنی به دست می‌آید.

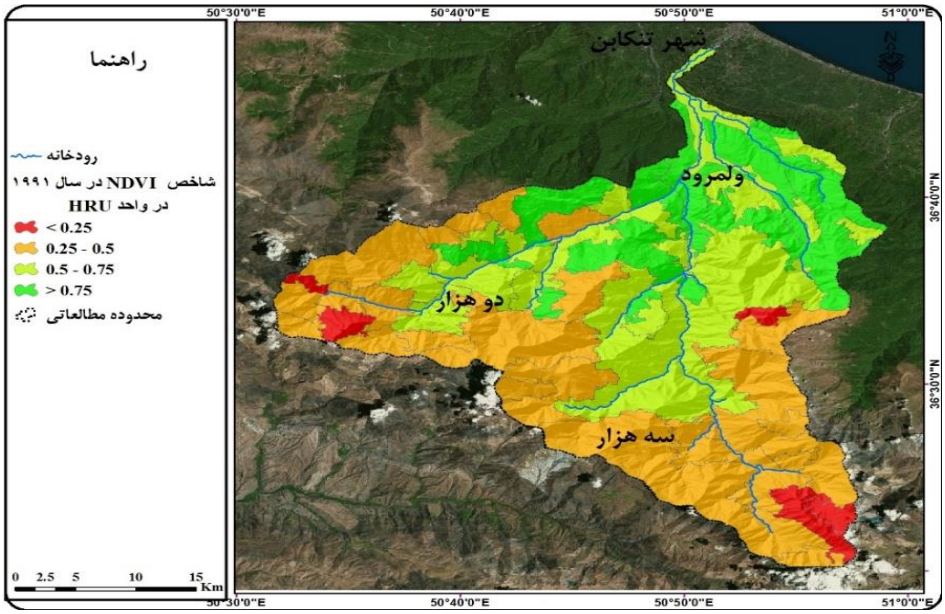
شرح و تفسیر نتایج

در پژوهش پیش رو، تغییرات پوشش‌گیاهی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و تأثیر آن بر تولید رواناب بر اثر توسعه سکونتگاهی از طریق روش بارش-رواناب برای بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۱) در واحد اچ.آر.یو بررسی شد. نتایج تحقیق تعداد ۲۳ واحد پاسخ هیدرولوژیک را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که تنوع بیش‌تر واحدهای پاسخ هیدرولوژیک در نیمه‌ی غربی و شمال‌غربی حوضه دیده می‌شود که علت آن تنوع شیب و کاربری اراضی در این بخش حوضه است. جهت بررسی وضعیت پوشش‌گیاهی و برآورد میزان تغییرات آن در یک دوره ۲۹ ساله از شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده، در حوضه چشمه کیله استفاده شد. بر اساس وضعیت پوشش‌گیاهی منطقه مطالعاتی در سال ۱۹۹۱ در واحدهای شمالی و مرکزی حوضه میزان شاخص اِن.دی.وی.آی ۰/۵ تا ۰/۷۵ و بیشتر از ۰/۷۵ است؛ که پوشش‌گیاهی زیاد و خیلی زیاد را نشان می‌دهد. این میزان در واحدهای غربی، جنوبی و شرقی کمتر از ۰/۲۵ و ۰/۲۵ تا ۰/۵ بوده و گویای پوشش‌گیاهی خیلی کم و کمی است (شکل ۵). طبق شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده در سال ۲۰۱۸ (شکل ۶) میزان تراکم پوشش‌گیاهی با گذشت زمان کاهش‌یافته؛ به‌طوری‌که واحدهای بیشتری نمایانگر میزان اِن.دی.وی.آی کمتر از ۰/۲۵ هستند و میزان اِن.دی.وی.آی بالاتر از ۰/۷۵ نیز در حوضه مطالعاتی مشاهده نمی‌شود. همچنین طبق میزان تغییرات پوشش‌گیاهی ۲۹ ساله حوضه چشمه کیله (شکل ۷) واحدهای غربی و جنوب‌غربی حوضه تقریباً بدون تغییرات (۰/۰ تا ۰/۰۵-) است. وجود واحدهای بدون تغییرات در سطح حوضه مطالعاتی ناشی از حفظ و تقویت پوشش‌گیاهی، احیای

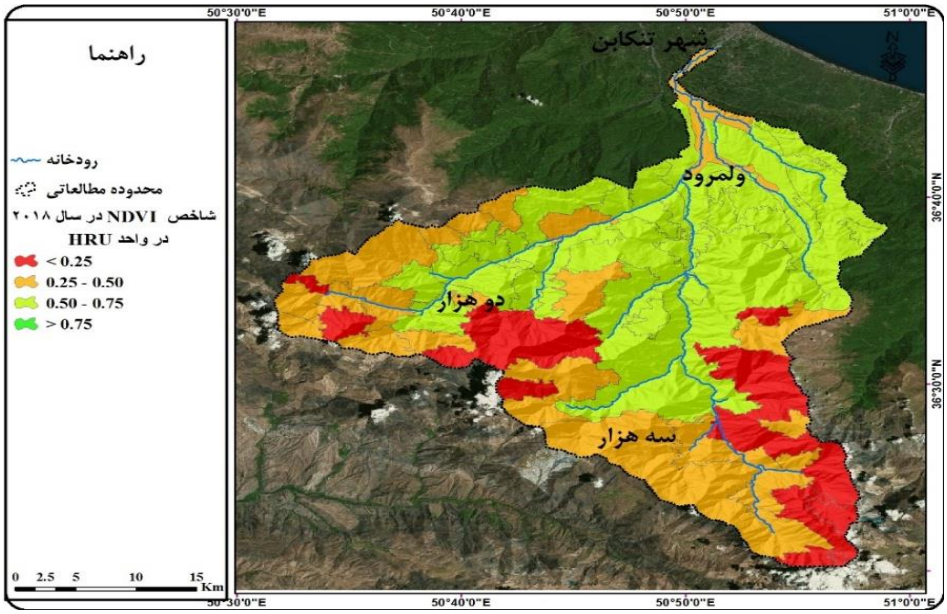
۱. Inverse Distance Weighted (IDW)
۲. Arc MAP
۳.Curve Number (CN)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

برنامه‌های تنفس جنگل، آموزش روستانشینان، خروج دام از جنگل، اجرای طرح‌های هادی روستایی جهت جلوگیری از ساخت‌وسازهای بی‌رویه در این مناطق است. در واحدهای پاسخ هیدرولوژیک شمالی، شمال‌شرقی و جنوبی، کاهش متراکم پوشش‌گیاهی (۰/۰۱۳- تا ۰/۰۱۹-) مشخص است و سایر واحدهای پاسخ هیدرولوژیک موجود در مرکز و قسمتی از واحدهای شرقی و غربی حوضه نیز کاهش تنک پوشش‌گیاهی (۰/۰۶- تا ۰/۱۲-) را نشان می‌دهد که از جمله دلایل کاهش پوشش‌گیاهی را می‌توان افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه و تخریب جنگل توسط انسان دانست.



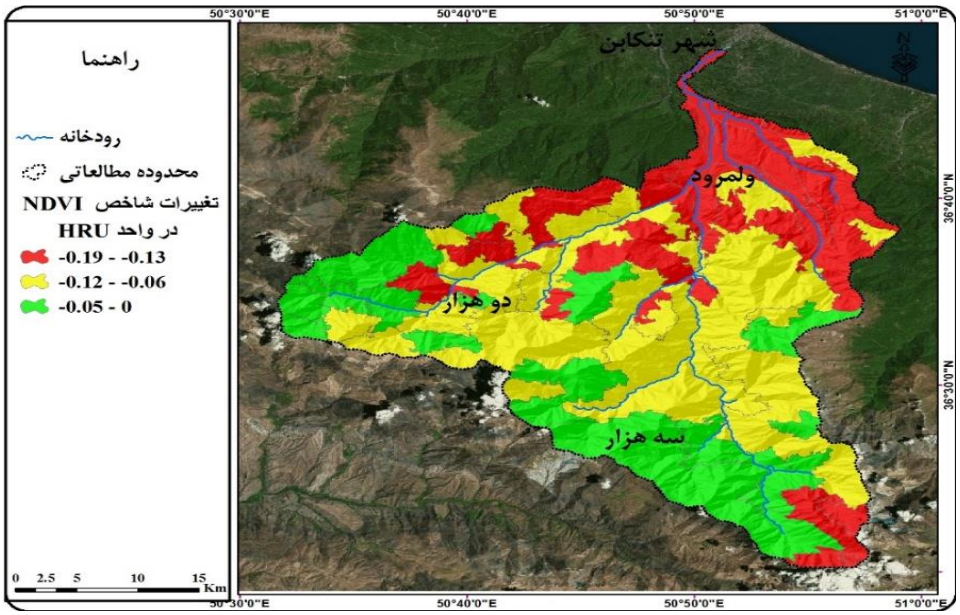
شکل (۵) نقشه وضعیت پوشش‌گیاهی منطقه موردمطالعه در سال ۱۹۹۱



شکل (۶) نقشه وضعیت پوشش‌گیاهی منطقه موردمطالعه در سال ۲۰۱۸

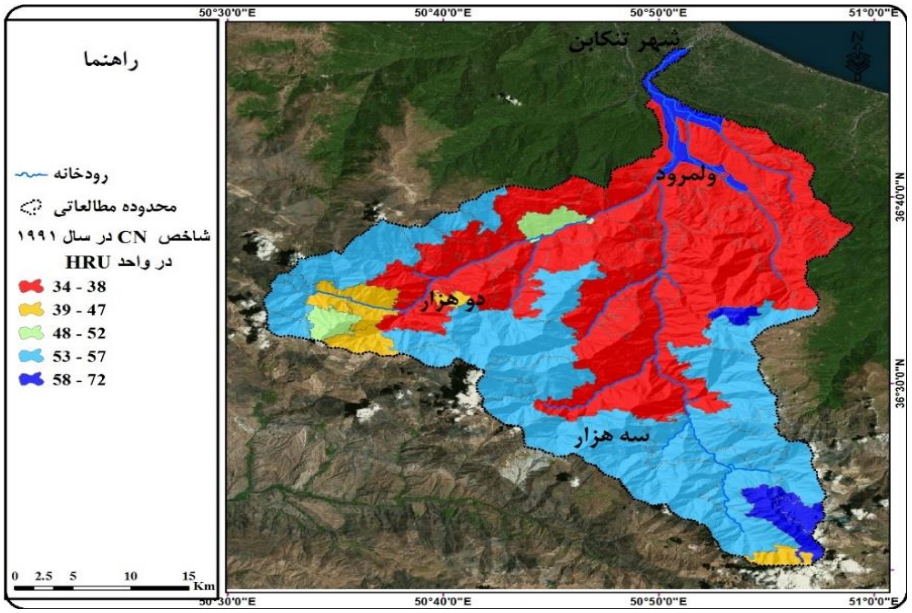
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]



شکل (۷) نقشه تغییرات وضعیت پوشش‌گیاهی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸

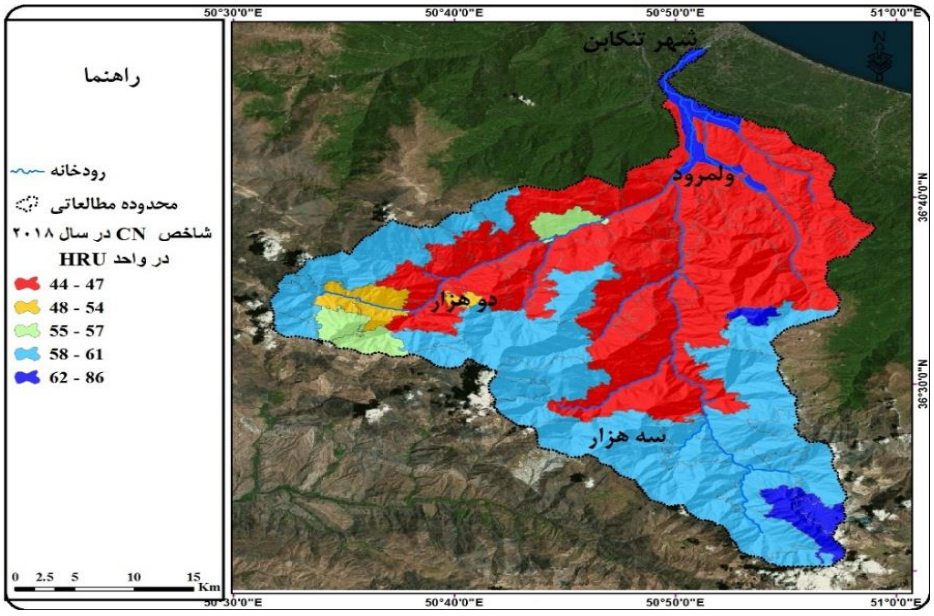
با استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان پایه‌ی واحد مطالعاتی، جهت مدل‌سازی بارش-رواناب، در ابتدا با توجه به نوع بافت خاک، گروه‌های هیدرولوژیک تعیین شد. در نهایت با تلفیق گروه‌های هیدرولوژیک و کاربری اراضی، برای هر یک از واحدهای پاسخ هیدرولوژیک میزان شماره منحنی اختصاص داده در دو بازه زمانی ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸ به دست آمد (شکل ۸ و ۹).



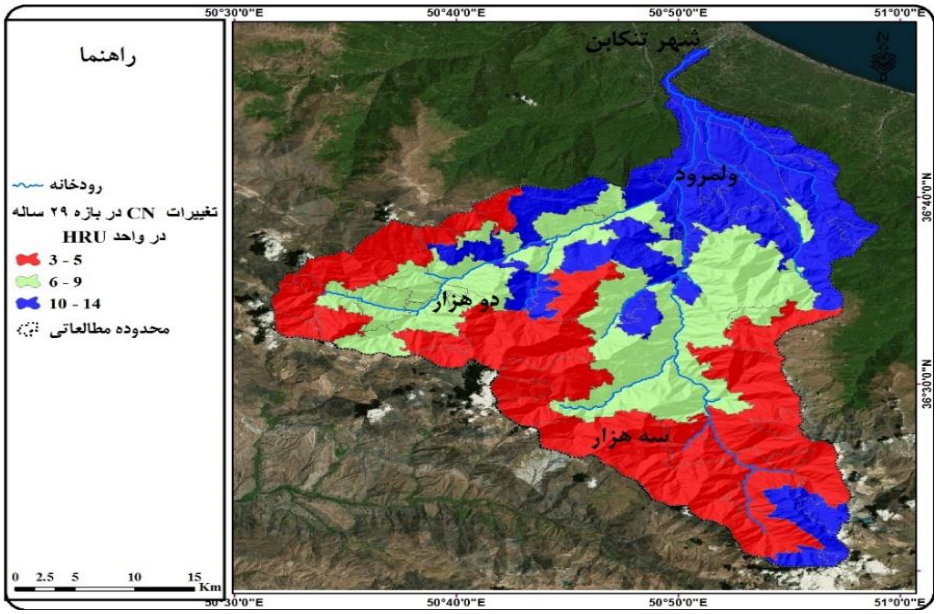
شکل (۸) نقشه شماره منحنی منطقه موردمطالعه در سال ۱۹۹۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]



شکل (۹) نقشه شماره منحنی منطقه موردمطالعه در سال ۲۰۱۸



شکل (۱۰) نقشه تغییرات شماره منحنی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸

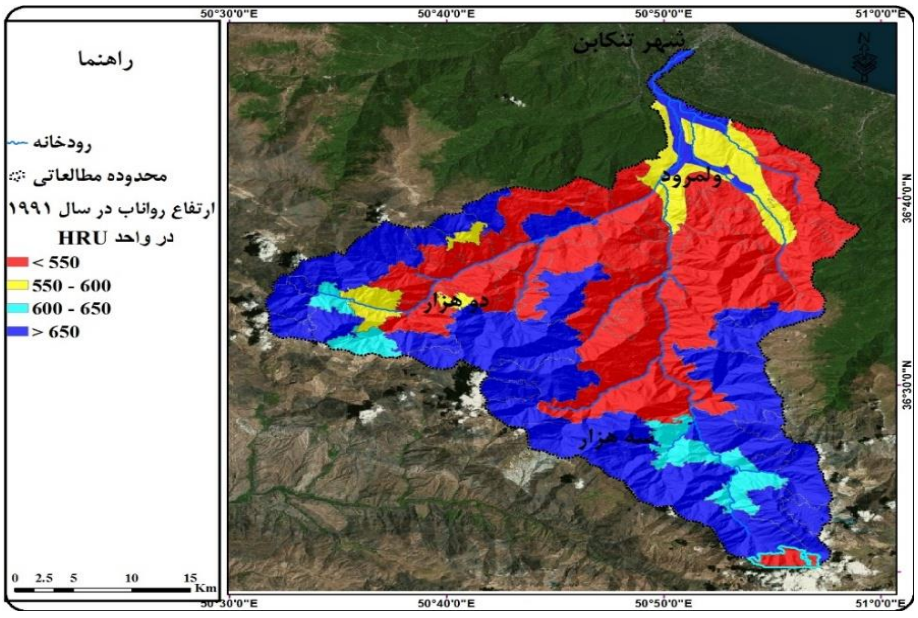
مقایسه وضعیت شماره منحنی ۲۹ ساله گویای افزایش میزان سی.اِن از سال ۱۹۹۱ به سال ۲۰۱۸ است. در هر دو سال واحدهای پاسخ هیدرولوژیک جنوبی مقادیر شماره منحنی کم‌تری نسبت به واحدهای شمالی حوضه دارد (شکل ۸ و ۹) که علت آن خاک نفوذناپذیر، شیب نسبتاً زیاد، تراکم کم پوشش‌گیاهی و گستردگی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با نفوذپذیری کم و خیلی کم[۱] است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با گذشت سال‌ها انسان به‌منظور انجام فعالیت‌های خود نوع کاربری اراضی را به کاربری‌های انسانی تغییر داده است که این امر در میزان نفوذپذیری و تولید رواناب و در نهایت سیل‌خیزی اراضی نقش بزرگی دارد. تغییرات شماره منحنی در بازه زمانی ۲۹ ساله گویای روند افزایشی تغییرات

۱. منظور گروه‌های هیدرولوژیکی C و D است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

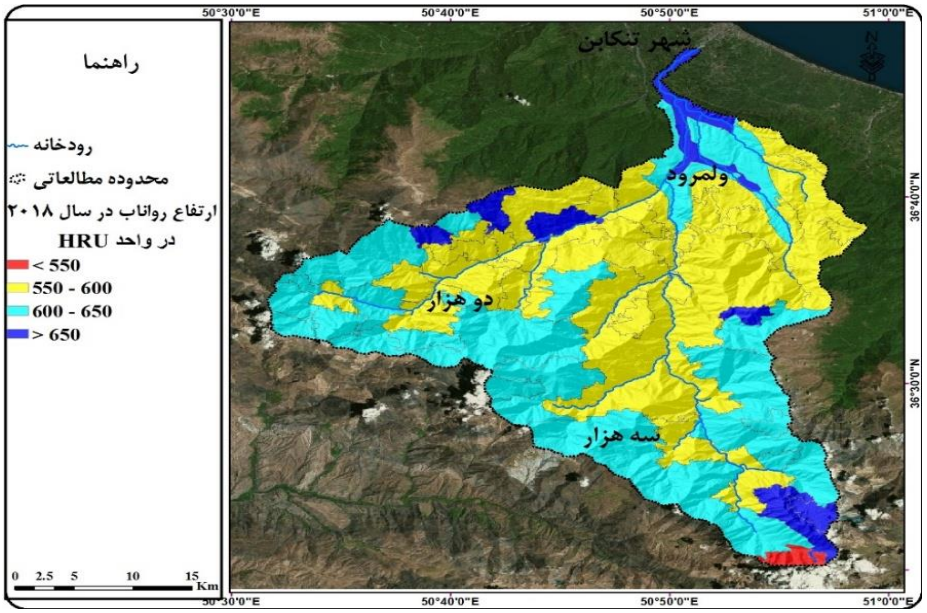
است؛ اما واحدهای شمالی و بخشی از واحدهای مرکزی و جنوبی، تغییرات افزایشی بیش‌تری (۱۴-۱۰) نسبت به سایر واحدهای هیدرولوژیک حوضه مطالعاتی نشان می‌دهند. واحدهای غربی و مرکزی، افزایش متوسطی (۹-۶) و سایر واحدهای حوضه در قسمت‌های غربی، جنوبی و شرقی نیز افزایش کمی (۵-۳) دارند (شکل ۱۰). این‌که تغییرات شاخص سی.اِن، روندی افزایشی دارد ناشی از تغییر وضعیت پوشش‌گیاهی و تغییر نحوه و میزان دخل و تصرف انسان بر زمین از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۸ است.

بعد از برآورد شماره منحنی، با توجه به مقادیر شماره منحنی به‌دست‌آمده برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک، مقدار توان نگهداشت رطوبت خاک برای هر واحد در دو سال ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸ استخراج شد. بعد از تعیین مقادیر شماره منحنی و میزان نفوذپذیری، میزان رواناب تولیدشده در منطقه موردمطالعه برای هر واحد به دست آمد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). طبق نتایج حاصل از برآورد میزان رواناب تولیدی برای سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸، بیش‌ترین (بیش‌تر از ۶۵۰ میلی‌متر) ارتفاع رواناب تولیدی در حوضه چشمه کیله مربوط به خروجی حوضه و واحدهایی پراکنده در سطح حوضه است؛ همچنین واحدهای بالادست حوضه نیز رواناب زیادی (۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر) تولید می‌کنند که عواملی از قبیل شیب نسبتاً زیاد، بیرون‌زدگی سنگی در سطح حوضه، خاک کم‌عمق بر روی شیب‌های زیاد و تراکم کم پوشش‌گیاهی در کاهش نفوذپذیری و افزایش تولید رواناب نقش داشته است. البته این روند در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۱۹۹۱ تشدید شده است. در نتیجه با مقایسه ارتفاع رواناب از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۸ می‌توان نتیجه گرفت که ارتفاع رواناب تولیدی افزایش‌یافته است (شکل ۱۳). واحدهای پاسخ هیدرولوژیک شمالی تا قسمت‌هایی از واحدهای مرکزی به سمت جنوب و غرب حوضه مطالعاتی از نظر میزان ارتفاع رواناب در بازه ۲۹ ساله بیش‌ترین تغییر افزایشی (۹۸-۷۹) را دارند. همچنین، واحدهایی به‌صورت پراکنده در قسمت‌های شمالی، غربی و جنوبی حوضه میزان افزایش متوسطی (۷۸- ۳۷) را نشان می‌دهند. افزایش ارتفاع رواناب از سال ۱۹۹۱ به سال ۲۰۱۸ ناشی از تغییر کاربری‌ها، ضعف پوشش‌گیاهی و تخریب جنگل‌ها و زمین‌های زراعی و مرتعی است. کم‌ترین میزان تغییرات افزایشی (۳۶-۲۲) نیز در واحدهای پاسخ هیدرولوژیک جنوبی، غربی و شرقی حوضه قابل‌مشاهده است.

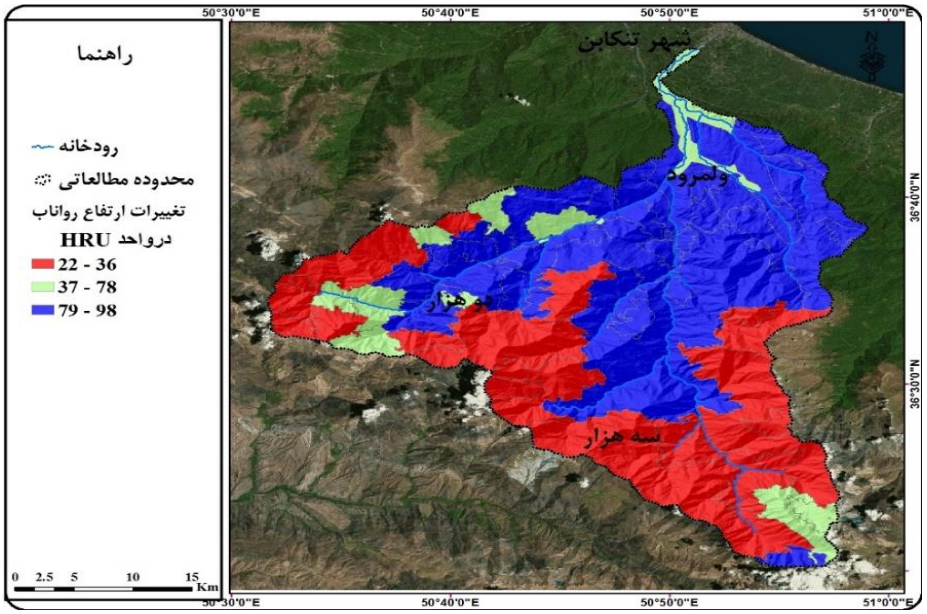


شکل (۱۱) نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) منطقه موردمطالعه در سال ۱۹۹۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]



شکل (۱۲) نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) منطقه موردمطالعه در سال ۲۰۱۸



شکل (۱۳) نقشه تغییرات ارتفاع رواناب (میلی‌متر) از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸

جمعیت شهری و روستایی شهرستان تنکابن طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۵ از ۱۶۰۰۴۱ نفر در سال ۱۳۶۵ (مرکز آمار ایران، ۱۳۶۷) به ۱۶۶۱۳۲ نفر در سال ۱۳۹۵ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷) افزایش‌یافته است. البته در سرشماری سال ۱۳۸۵ جمعیت شهرستان تنکابن ۱۹۴۷۱۹ نفر بوده که این مقدار در سرشماری سال ۱۳۹۵ به دلیل جداشدن شهرستان عباس‌آباد کاهش‌یافته است. در واقع در طول بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۱) با افزایش جمعیت سکونتگاهی در شهرستان تنکابن، حوضه چشمه کیله از نظر پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی تغییر ماهیت داده است به‌طوری‌که با توجه به شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده، میزان و تراکم پوشش‌گیاهی کاهش‌یافته است؛ لذا این تغییرات در میزان نفوذپذیری و در پی آن ارتفاع رواناب نیز اثرگذار است. این تغییرات در واحدهای شمالی حوضه مشخص‌تر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

نتیجه‌گیری

امروزه با توجه به تغییرات اقلیمی و تغییر ماهیت شرایط اقلیمی از جمله تغییر کمی و کیفی بارش‌ها و همچنین دستکاری انسان در طبیعیت و تغییرات کاربری‌ها به خصوص در حوضه‌های آبریز بالادستی رودخانه‌ها، بر حجم مخاطرات از جمله سیلاب افزوده شده است که ضرورت شناخت پهنه‌های در معرض خطر و آمادگی برای خدمات رسانی در زمان بحران وجود دارد. این مطالعه با هدف بررسی اثرات کاربری اراضی بر وقوع و افزایش سیل در حوضه آبریز چشمه کیله در اثر توسعه سکونتگاهی صورت گرفته و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (اِچ.آر.یو) به عنوان واحد کاری معرفی گردیده است. بدین منظور از مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک استفاده شد و همچنین به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست (۵ و ۸) و استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (اِن.دی.وی.آی) تغییرات پوشش‌گیاهی در دو مقطع زمانی ۱۹۹۱ و ۲۰۱۸ به منظور محاسبه میزان سی.اِن استخراج شده و با استفاده از روش اِس.سی.اِس قابلیت تولید رواناب در قالب ساختار داده رستری مدل سازی شده است.

در طول چند سال اخیر، تجربه نشان داده است که رواناب و به دنبال آن سیل در زمان بارش در بیشتر استان‌های ایران جاری می‌شود و روزبه‌روز نیز وسعت و شدت می‌یابد که این امر بیانگر تغییرات کاربری اراضی و پوشش‌گیاهی در اثر توسعه مناطق سکونتگاهی شهری و روستایی است. درک تأثیرات هیدرولوژیکی توسعه کاربری‌های سکونتگاهی در حوضه‌های آبریز برای برنامه‌ریزان و مسئولان شهری و روستایی ضروری است. لذا برای بررسی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه موردمطالعه از روش بارش-رواناب استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که میزان و تراکم پوشش‌گیاهی از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۸ به دلیل دخل و تصرف انسان به‌منظور توسعه سکونتگاهی کاهش‌یافته است؛ در واقع، توسعه سکونتگاهی به معنای اعم، تغییر کاربری و تخریب زمین‌های زراعی و باغی در مناطق ییلاقی به‌منظور ویلا سازی و بورس‌بازی زمین در هر سال باعث شده تا سطوح نفوذپذیر به سطوحی کاملاً غیر قابل‌نفوذ (از قبیل: خیابان‌ها و معابر پوشیده‌شده از آسفالت و موزاییک و غیره) تبدیل شود که حاکی از کاهش نفوذپذیری حوضه چشمه کیله و به دنبال آن سیل‌خیز شدن این حوضه بر اثر تغییر کاربری و پوشش اراضی است. این امر افزایش آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب را در نواحی مسکونی در پی دارد. همچنین تحلیل یافته‌های تحقیق مؤید این موضوع است که استخراج و استفاده از واحدهای پاسخ هیدرولوژی به عنوان واحدهای کاری به خوبی می‌تواند رابطه بین فرم و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی را نشان دهد و جایگزینی مناسب برای زیرحوضه‌ها در مطالعات ژئومورفولوژی باشد؛ در واقع واحد پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان یک واحد پایه در شناسایی دقیق‌تر قابلیت تولید رواناب کارایی بالاتری نسبت به استفاده از زیرحوضه‌ها دارد و به خوبی می‌تواند نشان‌دهنده ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبریز باشد. همچنین با قابلیت بسط و گسترشی که دارد حتی می‌توان تأثیر سایر فرآیندهای تغییر شکل‌دهنده لندفرم‌ها ازجمله حرکات زمین‌ساختی و غیره را نیز با استفاده از آن‌ها مطالعه نمود؛ بنابراین بهتر است به عنوان رویکردی جدید به عنوان کوچکترین واحد مطالعاتی در مطالعات ژئومورفولوژیکی مورداستفاده قرار گیرد. نتایج تحقیق همانند مطالعات احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۴) نشان‌دهنده این امر است که استفاده از واحد پاسخ هیدرولوژیک به عنوان واحد پایه در شناسایی دقیق‌تر قابلیت رواناب حوضه مطالعاتی مناسب است. تغییرات کاربری اراضی و توسعه سکونتگاهی باعث افزایش دبی و ایجاد سیلاب در حوضه آبریز چشمه کیله شد که نتایج این پژوهش با یافته‌های رزمخواه و همکاران (۱۳۸۸)، قدوسی (۱۳۸۸) و مطیعی (۱۳۸۸) مطابقت دارد. یاراحمدی و نیکجو (۱۳۹۱) نیز مقدار شماره منحنی را برای سال‌های ۲۰۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

و ۲۰۰۵ شبیه‌سازی کردند که نتایج گویای کاهش ۳۶ درصدی دبی سیلابی بود درحالی‌که در تحقیق پیش رو پتانسیل تولید رواناب در حوضه چشمه کیله افزایش یافته است. لذا لازم به ذکر است که کاهش دبی در مطالعه یاراحمدی و نیکجو به دلیل احداث عملیات سازه‌ای در محدوده مطالعاتی بود.

منابع

احمدآبادی، علی؛ امیر کرم و محسن پوربشیر هیر. ۱۳۹۴. تحلیل هیدروژئومورفولوژی واحدهای پاسخ هیدرولوژی (HRU) در حوزه‌ی آبخیز قره‌سو اردبیل. *دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران*، **۵**: ۷۳-۵۹.

امیری، مریم. ۱۳۸۵. *کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWRRB به‌منظور شبیه‌سازی رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسیلیان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه مازندران.

بهشتی‌جاوید، ابراهیم؛ فریبا اسفندیاری درآباد و شهرام روستایی. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها بر روی سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه‌های شمالی کوهستان سبلان). *هیدروژئومورفولوژی*، **۱۶**: ۱۹۷-۱۷۷.

ثروتی، محمدرضا؛ محمود احمدی، کاظم نصرتی و مهدی مزبانی. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز سراب دره‌شهر. *جغرافیا*، **۳۶**: ۷۷-۵۵.

ربانی‌ها، مهناز. ۱۳۹۵. *مطالعات زیست‌محیطی و اکولوژیک در البرز شمالی (استان گلستان) باهدف توسعه شیلاتی*. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور.

رئیسی، محمدحسین. ۱۳۸۸. مدیریت آب‌های سطحی در طرح‌های جامع شهر تهران. مجموعه مقالات اولین همایش آبخیزداری. تهران.

رزمخواه، هما و محمدعلی بهارلو. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر توسعه شهری بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبریز و افزایش سیلاب رودخانه مارون. *همایش ملی مدیریت بحران آب*. مرودشت.

صادقی، سیدحمیدرضا؛ رامین جلالی راد و محمد حاجی قلی زاده. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی سیل در دو حوزه آبخیز شهری تهران. *مجموعه مقالات اولین همایش آبخیزداری شهری*. تهران.

قدوسی، جمال. ۱۳۸۸. تحلیل راهبردها، امکانات و روش‌های استحصال آب با رویکرد آبخیزداری شهری. *مجموعه مقالات اولین همایش آبخیزداری شهری*. تهران.

قنواتی، عزت‌اله. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر سیلاب کرج با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۸**: ۱۱۳-۱۳۱.

قنواتی، عزت‌اله؛ امیر صفاری، امیر کرم، اسماعیل نجفی و غلامحسین جهاندار. ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی. *هیدروژئومورفولوژی*، **۶**: ۵۴-۳۳.

لاجوردی، محمود؛ شهریار خالدی و شاپور ستاری. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبریز مردق‌چای (آذربایجان شرقی). *نشریه‌ی علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۴۴**: ۲۷۳-۲۵۵.

محمدی، حسین و علی پناهی. ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش SCS و GIS در حوضه‌ی آبریز قلعه چای آذربایجان شرقی. *نشریه‌ی انجمن جغرافیایی ایران*، **۱۰ و ۱۱**: ۱۲۳-۱۱۹.

مطیعی، همایون. ۱۳۸۸. مدل‌سازی و مدیریت سیلاب در حوضه‌های آبریز شهری. *مجموعه مقالات اولین همایش آبخیزداری شهری*. تهران.

یاراحمدی، جمشید و محمدرضا نیکجو. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وقوع سیلاب‌ها در حوضه صوفی‌چای. *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۳۹**: ۱۶۹-۱۵۱.

Chen, Y., Xu, Y., & Yin, Y. (۲۰۰۹). Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*, (۱–۲), ۱۲۱-۱۲۸.

Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C. Y. (۲۰۱۲). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology*, ٤٦٤–٤٦٥(٠), ۱۲۷-۱۳۹.

Flugel, W.A. (۱۹۹۵). Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Brol, Germany. *Hydrological processes*. IAHS Publ. Volume ۲۳۱, ۷۹-۸۹.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]

Lagacherie, P., Rabotin, M., Colin, F., Moussa, R., & Voltz, M. (۲۰۱۰). Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas. *Computers & Geosciences*, Volume **۳٦:** ۱۰۲۱-۱۰۳۲.

Marcos, H.C., Aurelie, B., & Jeffrey, A.C. (۲۰۰۳). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Rocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, **۲۸۳:**۲۰٦-۲۱۷**.**

Miller, J. D., Hess, T. ۲۰۱۷. Urbanisation impacts on storm runoff along a rural-urban gradient. *Journal of Hydrology*, **٥٥۲:** ٤۷٤-٤۸۹**.**

Nie, W., Yuan, Y., Kepner, W., Nash, M. S., Jackson, M., & Erickson, C. (۲۰۱۱). Assessing impacts of landuse and landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed. *Journal of Hydrology*, **٤۰۷(۱–٤),** ۱۰٥-۱۱٤**.**

Nirupama, N., & Simonovic, S. (۲۰۰۷). Increase of flood risk due to urbanisation: A Canadian Example. *Natural Hazards*, **٤۰(۱),** ۲٥-٤۱.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (۱۹۷۳). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In 3rd ERTS Symposium, NASA*, SP-۳٥۱ I, ۳۰۹-۳۱۷.

Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R.… & Wall, D. H. (۲۰۰۰). Global biodiversity scenarios for the year ۲۱۰۰. *Science*, **۲۸۷(٥٤٥۹),** ۱۷۷۰-۱۷۷٤.

Sanzana, P. Jankowfsky, S. Branger, F. Braud, I. Vargas, X. Hitschfeld, N & Gironas, J. (۲۰۱۳). Computer-assisted mesh generation based on hydrological response unit for distribute hydrological modeling. *Computer & geosciences*, Volume **٥۷**, ۳۲-٤۳.

Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J. A., Ge, Y. & Qiu, G. Y. (۲۰۰۷). The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. *CATENA*, **٦۹(۱)**, ۳۱-۳٥.

Sika, A. K., Sarma, J., Sharda. S.V. N., Samraj, P. & Akashmanam, S. (۲۰۰۳). Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland in to Blugeum (Eucalyptus Globules) in Nilgiris Watersheds of South India. *Journal of Hydrology*, **۲۷۰**, ۱۲-۲٦.

Singh, V. P. (۱۹۹۸). *Hydrologic System, Rainfall Runoff Modeling*. Vol.۱, John Wiley and Sons, UK.

Su, M. W.J. Stolte and G. van der Kamp, (۱۹۹۷). Modelling wetland hydrology using SLURP, Proc. Scientific Meeting of the Canadian Geophysical Union, Banff, Alberta.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2024-09-19]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.4.2]