هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۳، صص ۷۳-۵۹
وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۱۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۷

ارزیابی آثار هیدرولوژیک تغییر کاربری بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبخیز قره‌سو با استفاده از مدل (L-THIA)

فریبا اسفندیاری[۱]
ابراهیم بهشتی جاوید[۲]
محمدحسین فتحی[۳]

چکیده

تغییرکاربری زمین در یک حوضه از جمله مهم‌ترین عوامل موثر بر هیدرولوژی آن محسوب می‌شود. مدل L-THIA روشی برای ارزیابی آثار درازمدت هیدرولوژیک در یک حوضه است که کاربران می‌توانند توسط آن تغییرات نسبی را که به واسطه تغییر کاربری در رواناب رخ داده، تعیین کنند. در همین راستا بخش بالادست رودخانه قره‌سو در استان اردبیل از نظر تغییرات کاربری (۱۹۸۷-۲۰۱۲) و آثاری که بر تولید رواناب منطقه دارد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای انجام این کار از آمار بارش روزانه چهار ایستگاه، تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده TM و ETM) و نرم‌افزار تخصصی L-THIA و Arc Map استفاده کرده‌ایم. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که در طی ۲۵ سال بر اثر تغییرات کاربری زمین، مقدار رواناب تولیدی در حوضه به طور متوسط ۱/۸ میلی‌متر افزایش داشته است که این امر سبب افزایش ۲/۸۶ میلیون مترمکعبی حجم رواناب در منطقه شده است. تغییرات کاربری عمدتاً در جهت افزایش مناطق مسکونی، کاهش سطح زمینهای جنگلی و مراتع است. در برخی از مناطق مثل دشت اردبیل به دلیل تبدیل مراتع به زمین کشاورزی تغییر کاربری در جهت مثبت عـمل کرده و باعث افزایش نفوذپذیری زمین و متقابلاً کاهش تولید رواناب در این بخش از منطقه شده است. مدل مذکور با توجه به توان تهیه نقشه پهنه‌بندی حجم و عمق رواناب، قابلیت مناسبی در نمایش آثار هیدرولوژیک تغییر کاربری و نشان دادن مناطق حساس و سیل‌خیز را در حوضه دارد.

واژگان کلیدی: L-THIA؛ حوضه قره‌سو؛ تغییر کاربری؛ آثار هیدرولوژیک

---

۱ ـ دانشیار و عضو هیأت علمی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲ ـ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳ ـ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

مقدمه

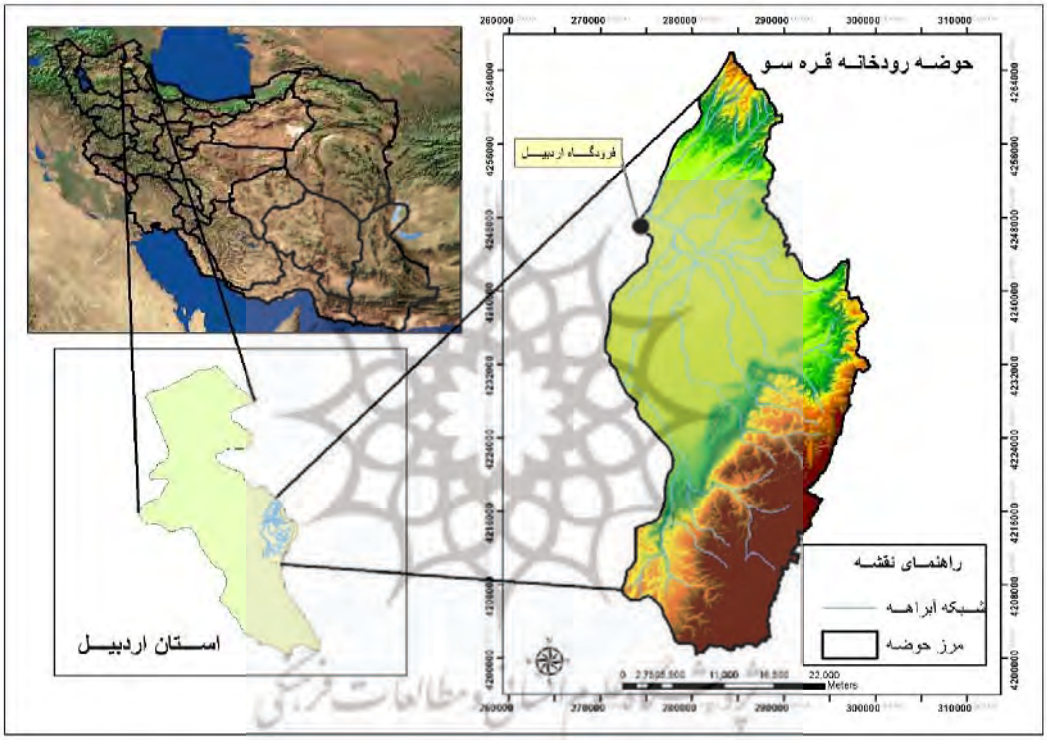
سیل، حجم عظیمی از آب است که از دبی متعارف رودخانه بیشتر است. در کشور ما وقوع سیل بیش از این که ناشی از بارشهای تند باشد، از بر هم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه متأثر است (امیدوار و کیانفر، ۱۳۸۹). یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی یک منطقه افزایش تولید رواناب در آن است. عوامل زیادی در میزان رواناب حاصل از یک بارش تأثیر دارند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به نوع کاربری زمین اشاره کرد. نوع کاربری با آثار مستقیم در سرعت رواناب، میزان نفوذپذیری و زمان تمرکز سیل را کنترل می‌کند؛ در این بین تغییر کاربری از نوع کشاورزی یا مرتع به کاربری شهری تا مقادیر زیادی بر کاهش کیفیت آب و افزایش میزان رواناب حاصل از بارش تأثیر می‌گذارد. افزایش رواناب به واسطه تغییر کاربری می‌تواند شاخص خوبی برای تعیین احتمال بالقوه افزایش سیلاب در یک حوضه باشد (پرری و نواز، ۲۰۰۸: ۴). تغییر کاربری و پوشش اراضی، بالطبع نتایج هیدرولوژیکی در مقیاسهای محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه دارد (فرجزاده و فلاح ۱۳۸۷: ۸۹). تأثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی در قالب تغییر در عمق رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق آشکار می‌شود (سیکا و همکاران، ۲۰۰۳).

افزایش تولید رواناب در یک منطقه خاص، علاوه بر افزایش پتانسیل سیل‌خیزی تأثیرات دیگری را نیز به دنبال دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش میزان نفوذپذیری زمین در نتیجه افت سطح آبهای زیرزمینی، افزایش قدرت تخریب آب، افزایش قدرت حمل رسوب و خارج از دسترس شدن خاکهای مناسب، افزایش قدرت حمل رسوب و پر کردن مخزنهای سدها، کاهش کیفیت آب و بسیاری از موارد دیگر. در سالهای اخیر، گسترش سامانه‌های پشتیبان تصمیم[1] (DSS) در قالب مدلها باعث روی آوردن دوباره به GIS[2] به عنوان ابزار تصمیم‌گیری شد (غلامعلی‌فرد، ۱۳۸۵: ۴). زمینه اولیه تصمیم‌گیری برای تغییر کاربری، ارزیابی آثار هیدرولوژیکی است که می‌تواند شامل تغییر در کاربری کشاورزی یک منطقه یا تبدیل به کاربری‌های غیرکشاورزی باشد. برای شبیه‌سازی آثار تغییر کاربری یک منطقه یا حوضه آبخیز مدل‌های هیدرولوژیکی زیادی وجود دارد که مدل L-THIA یکی از آنهاست و در ایران، تنها در یک مورد در منطقه چالوس و نوشهر اجرا شده است.

منطقه مورد مطالعه این پژوهش بخش‌های بالایی از حوضه آبخیز قره‌سو، بالاتر از فرودگاه اردبیل را شامل می‌شود که از مهم‌ترین زیرشاخه‌های آن می‌توان به هیرچای، سقزچی‌چای، نمین چای و سولاچای اشاره کرد.

1- Decision Support System
2- Geographic Information System

وسعت حوضه مورد مطالعه معادل ۱۰۶۰ کیلومتر مربع و از زیر شاخه‌های ارس است (شکل شماره ۱). در طی چند دهه اخیر تغییرات زیادی در کاربری زمین در حوضه آبخیز قره‌سو به ویژه در دشت اردبیل، در مراتع و ارتفاعات در اثر چرای مفرط و شخم زدن مراتع رخ داده است. شناسایی نقاطی که دچار تغییر کاربری و افزایش رواناب شده‌اند و معرفی آنها به‌عنوان نقاط بحرانی می‌تواند به مدیریت بهتر حوضه و عملیات آبخیزداری در بخش‌های بحرانی حوضه آبخیز منجر شود عدم شناخت در بسیاری موارد باعث تصمیم‌گیری غلط و گرفتن نتیجه منفی در محیط می‌شود.



شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه در استان اردبیل

در این پژوهش آثار تغییر کاربری ۲۵ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۲) بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبخیز رودخانه قره‌سو به منظور شناسایی نقاط بحرانی و سیل‌خیز و مدیریت بحران‌های طبیعی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدلی که برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته، مدل ارزیابی آثار درازمدت هیدرولوژیکی[1] (L-THIA) است. در همین راستا از مهم‌ترین کارهای صورت گرفته در زمینه سیل و برآورد رواناب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل L-THIA آثار تغییر کاربری را در تولید رواناب در منطقه چالوس و نوشهر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در طی ۱۴ سال ۱۷/۳ میلیمتر به ارتفاع رواناب سالانه افزوده شده است که معادل ۷/۷۹ میلیون متر مکعب رواناب می‌شود. بهشتی و

1- Long-Term Hydrologic Impact Assessment

مددی (۱۳۹۱) با استفاده از مدل SCS-CN آثار تغییر کاربری در سیل‌خیزی را در حوضه رودخانه بالخلو برای بارشهای حداکثر ۲۴ ساعته انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مساحت پهنه‌های پر خطر تا سه برابر افزایش نشان می‌دهد. رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری زمین را در وقوع سیلاب مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، به علت تغییرات کاربری اراضی، دبی اوج سیل در سال ۱۳۸۱ نسبت به ۱۳۶۶ کاهش متوسط ۱۶/۱۷ درصدی را نشان می‌دهد و روند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به لحاظ سیل‌خیزی مثبت ارزیابی شده است.

ویجی سکارا و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی آثار تغییرات کاربری بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی را در حوضه رودخانه البو مورد بررسی کردند. مدل هیدرولوژیکی به‌کار رفته در پژوهش نشان داد که جریان آب به مقدار ۷ درصد در مناطق بالادست افزایش یافته و یک کاهش ۱، ۱۲ و ۲/۳ درصدی به ترتیب در تبخیر وت عرق، جریان پایه و نفوذپذیری رخ داده است. اوزتورک و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری اراضی را در هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز روستایی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که حجم رواناب تولیدی به‌شدت با تغییرات زمین از نوع جنگل به کشاورزی در ارتباط است و واکنش کمتری را در زمینهای با کاربری جنگلی دارد. آنها دریافتند که به طور کلی مدل‌سازی ابزاری مفید برای ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی یک است. چاتچایی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در سیلابهای حوضه‌های بزرگ حاره‌ای پرداختند. مدل شبیه‌سازی شده و آنالیزهای حساسیت نشان داد که احتمال عقلی وقوع سیلاب‌های حداکثر در محل سد معادل ۶۳۱۱ مترمکعب در ثانیه است که تنها اندکی از سیلاب‌های در نظر گرفته شده (۶۰۰۰ مترمکعب در ثانیه) بیشتر است. از دیگر کارها می‌توان به پژوهش‌های صورت گرفته توسط خلیقی و همکاران (۱۳۸۴)، قهرودی (۱۳۸۵)، غفاری و همکاران (۱۳۸۸)، یاراحمدی و نیکجو (۱۳۹۱)، ونگ و همکاران (۲۰۰۵) و کادن و همکاران (۲۰۰۶) یانگ و همکاران (۲۰۰۸)، اشاره کرد.

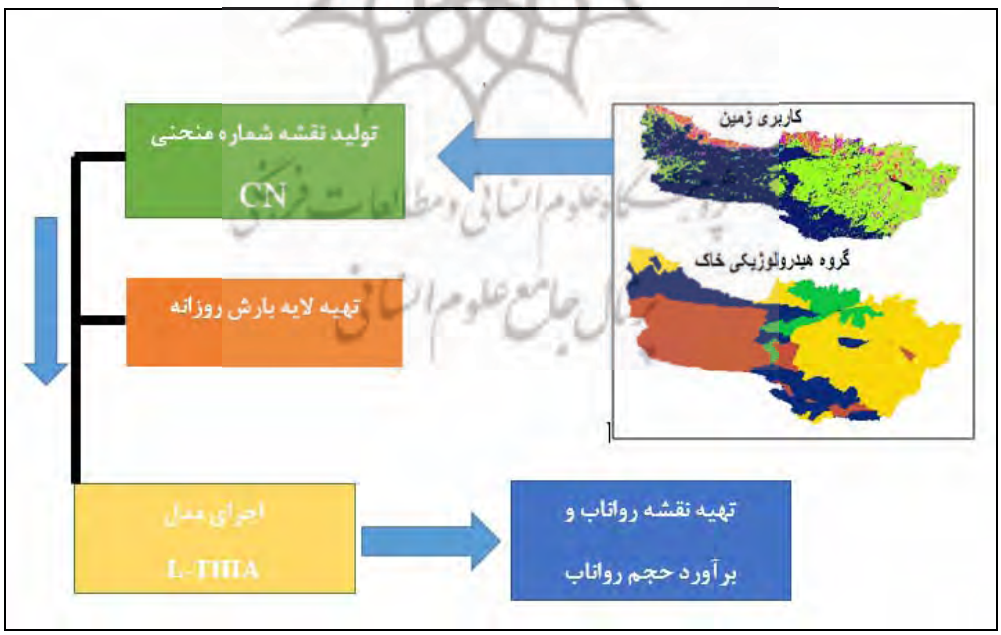
بررسی و جمع‌بندی تحقیقات صورت گرفته با مدل فوق، نشان‌دهنده رویکردی جدید در بررسی نحوه تأثیر تغییر کاربری بر مقادیر رواناب و برآورد رواناب سالانه در مقیاس حوضه است به گونه‌ای که در کشورمان تنها یک مورد با استفاده از این مدل در منطقه چالوس و نوشهر صورت گرفته است و نمونه موردی دیگری وجود ندارد.

مواد و روشها

مدل استفاده شده در این پژوهش L-THIA است. مدل فوق ابزار مناسبی برای کمک به سنجش آثار بالقوه تغییر کاربری بر رواناب سطحی و آلودگی آب است (سلمان ماهینی، ۱۳۹۱) با این مدل می‌توان مکانهای

مناسب برای یک کاربری خاص را شناسایی نمود تا بتوان از این طریق آثار موجود بر محیط زیست را به حداقل رساند (حسین‌نیا. ۱۳۸۷: ۴۵). هسته اصلی این مدل بر مبنای روش شماره منحنی (CN) سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است. مقادیر CN را بین ۱۰۰-۰ بیان می‌نماید که در آن مقادیر بالا به کاربریهای شهری و مقادیر پایین برای مناطقی با نفوذپذیری بالا مثل تالابها و مراتع با تراکم پوشش گیاهی بالا تعلق می‌گیرد. در واقع استفاده از CN در L-THIA یک جای‌گرین ساده و مناسب برای مدل‌های هیدرولوژیکی پیچیده‌ای است که به داده‌های زیادی نیاز دارند و اغلب برای بیشتر مناطق در دسترس نیست (تانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۳).

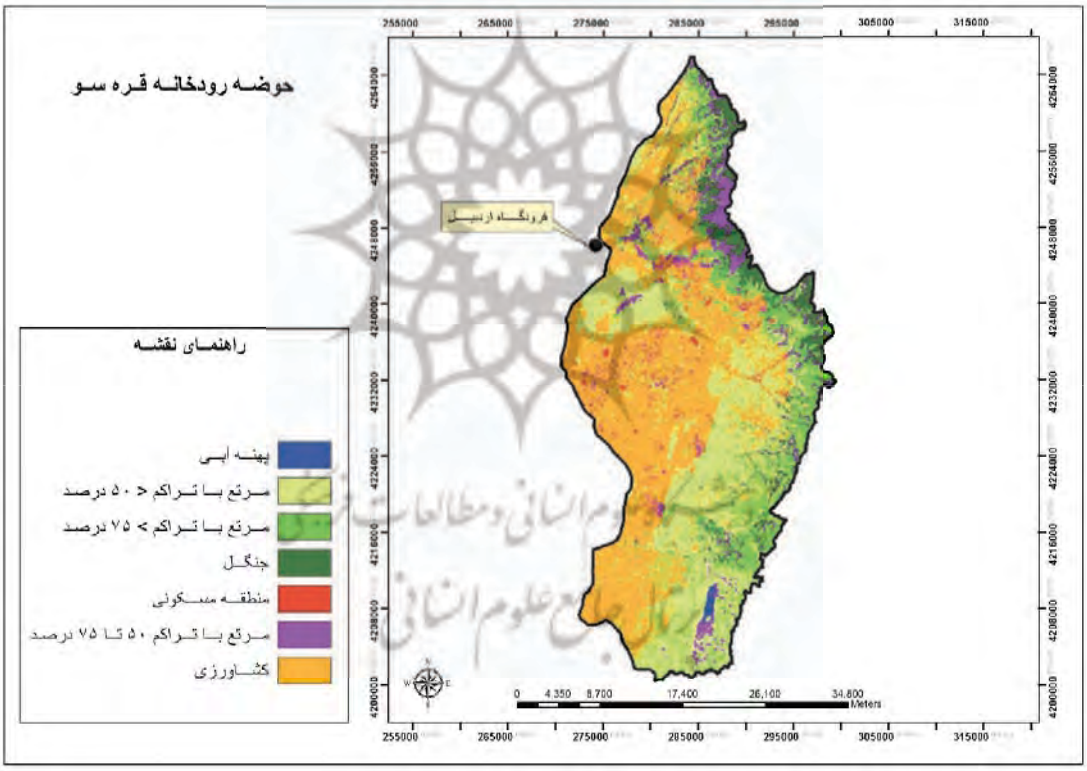
یکی از مزایای L-THIA عدم نیاز به کالیبراسیون مدل با داده‌های واقعی منطقه است. در این سامانه مقادیر CN پیش‌فرض برای کاربری‌ها و ترکیب گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آماده شده است. همچنین دامنه‌ای از مقادیر CN برای هر کاربری و ترکیب گروه هیدرولوژیکی وجود دارد که وابسته به شرایط رطوبت پیشین خاک، تیپ پوشش و مدیریت سرزمین است. کالیبراسیون مدل به صورت خودکار با استفاده از ترکیب‌های مختلف CN پیش‌فرض موجود در L-THIA GIS صورت می‌پذیرد و به این دلیل مورد توجه سیاست‌گذارانی است که می‌خواهند پیامدهای مدیریت بحران را شناسایی نموده و آثار نامطلوب آن را اصلاح نمایند (پرری و نواز، ۲۰۰۸: ۱۰). شکل شماره ۲ نحوه اجرای مدل را نمایش می‌دهد.



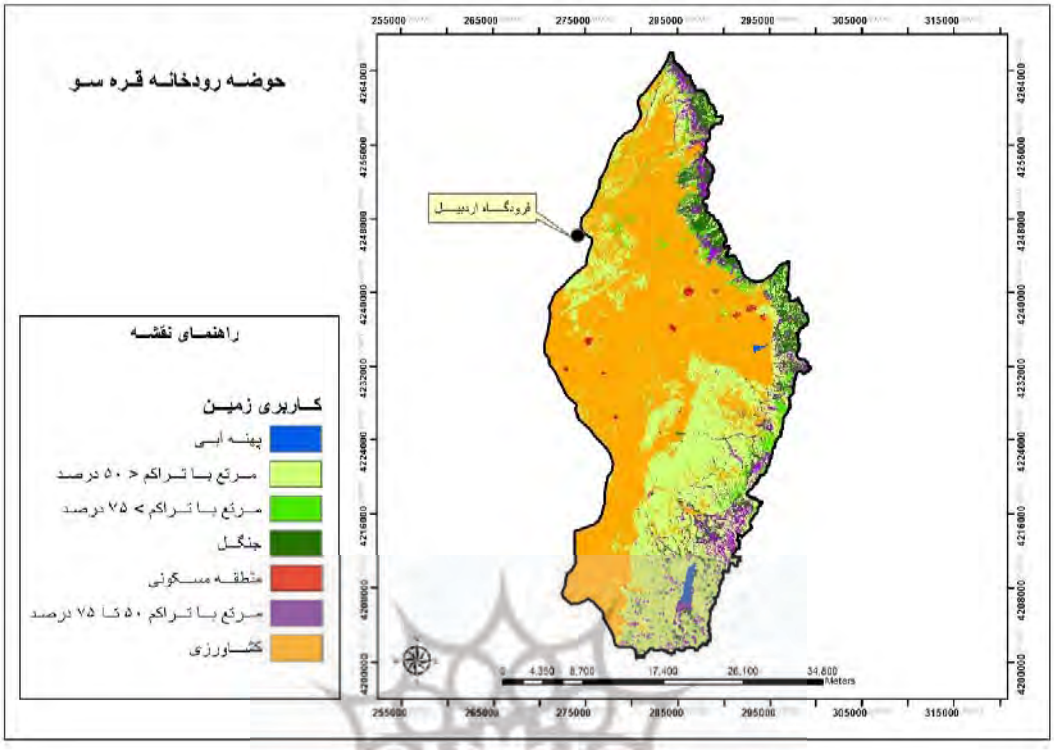
شکل (۲) اجرای مدل L-THIA

با توجه به مدل ارائه شده در بالا وجود لایه کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از موارد ضروری برای اجرای مدل است. برای تهیه نقشه کاربری زمین در دو دوره مختلف (سالهای ۱۹۸۵و ۲۰۱۲) از تصاویر

سنجنده‌های ETM و TM ماهواره لندست در سالهای ۱۹۸۵ و ۲۰۱۲ استفاده شده‌است. با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تولید رواناب است برای سالهای ۱۹۸۷ و ۲۰۱۲ به طور جداگانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لایه کاربری زمین تهیه شد تا در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. برای انجام این کار تصاویر پس از آماده‌سازی وارد محیط نرم‌افزار ENVI شدند و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده لایه کاربری زمین تهیه شد. لایه بعدی مورد استفاده شاخص پوشش گیاهی NDVI است که با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای در محیط نسخه ۱۰ نرم‌افزار Arc Map تهیه و با لایه کاربری زمین ترکیب شد تا طبقه‌بندی کاربری اراضی به صورت مناسب‌تری انجام گیرد. با ترکیب لایه NDVI و لایه کاربری، در نهایت لایه‌های کاربری اراضی در هفت طبقه کاربری طبقه‌بندی شدند (شکل ۳ و ۴) که اطلاعات مربوط به هرکدام در جدول شماره ۱ ارائه شده است.



شکل (۳) لایه کاربری زمین در سال ۱۹۸۷



شکل (۳) لایه کاربری زمین در سال ۱۹۸۷

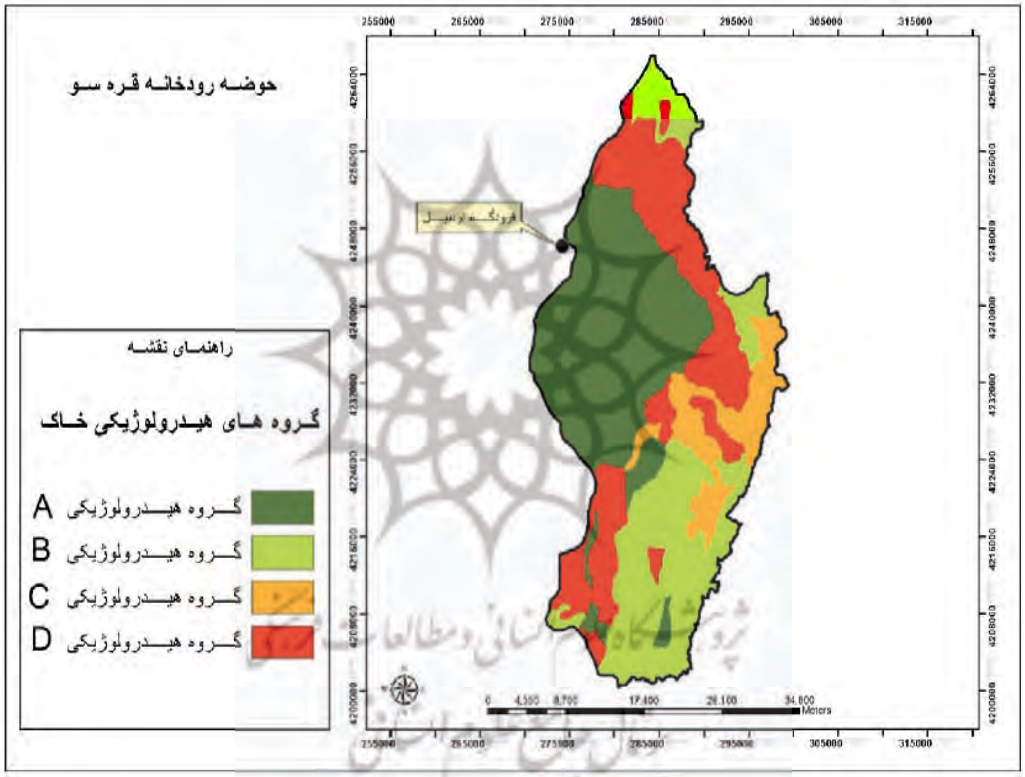
طبق اطلاعات جدول بیشترین مساحت منطقه را در هر دو دوره زمانی کاربری نوع کشاورزی تشکیل می‌دهد. در رتبه بعدی زمینهای مرتعی با تراکم کمتر از ۵۰ درصد قرار دارند که جزو مراتع فقیر و آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند.

جدول (۱) مساحت کاربری زمین

نوع کاربری سال ۱۳۸۹	مساحت کاربری به درصد	نوع کاربری سال ۲۰۱۲	مساحت کاربری به درصد
پهنه های آبی	۰/۲۶	پهنه های آبی	۰/۴۲
مرتع با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	۳۰/۶۵	مرتع با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	۳۲
مرتع با تراکم ۵۰ تا ۷۵ درصد	۷/۶	مرتع با تراکم ۵۰ تا ۷۵ درصد	۵/۵
مرتع با تراکم بیشتر از ۷۵ درصد	۱۳/۴	مرتع با تراکم بیشتر از ۷۵ درصد	۴/۳
جنگل	۴/۷۵	جنگل	۴/۶
منطقه مسکونی	۰/۱۸	منطقه مسکونی	۰/۳
کشاورزی	۴۳/۱	کشاورزی	۵۲/۸

از لایه‌های دیگری که در این مدل مورد استفاده واقع شده، داده‌های مربوط به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک است. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک معیاری است که برای تعیین مقدار رواناب حاصل از بارندگی در یک ناحیه به کار برده می‌شود، خاکهای مختلف توانایی ایجاد رواناب متفاوتی دارند. طبق تقسیم‌بندی سازمان

حفاظت خاک آمریکا، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک شامل چهار گروه A، B، C، D است که هر یک از گروه‌ها به ترتیب دارای پتانسیل تولید رواناب کم، متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد است. به طور کلی شدت نفوذپذیری از گروه A بـه سمت گروه D کاهش مـی‌یابد (بهشتی جاوید، ۱۳۹۰: ۱۰۶). برای تـهیه این لایه از نقشه گروه-های هیدرولوژیکی خاک حوضه رودخانه قره‌سو (مهندسان مشاور بوم آب، ۱۳۷۶) استفاده شده است. شکل شماره ۴ نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه را نشان می‌دهد. در جدول شماره ۲ درصد مساحت هر کدام از این گروه‌ها نشان داده شده است. طبق اطلاعات جدول هیدرولوژیکی A (با نفوذ پذیری بالا) با ۳۷ درصد بیشترین بخش حوضه را در بر می‌گیرد.



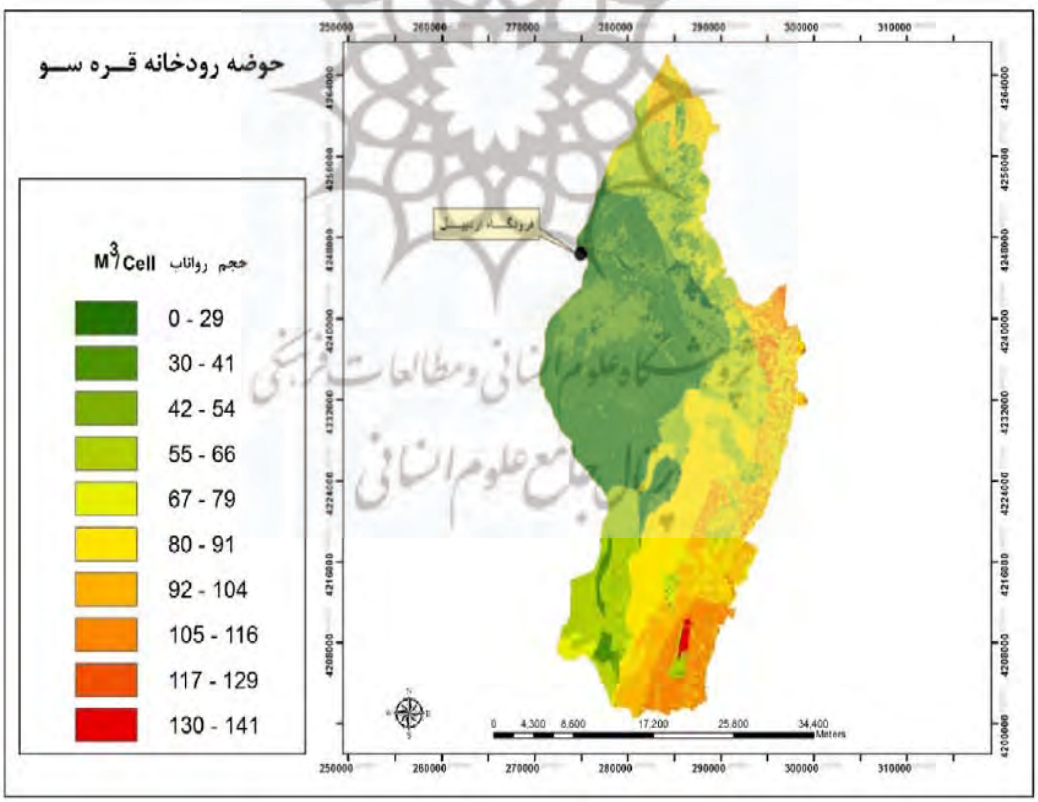
شکل (۴) نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه رودخانه قره‌سو

جدول (۲) مساحت گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به درصد

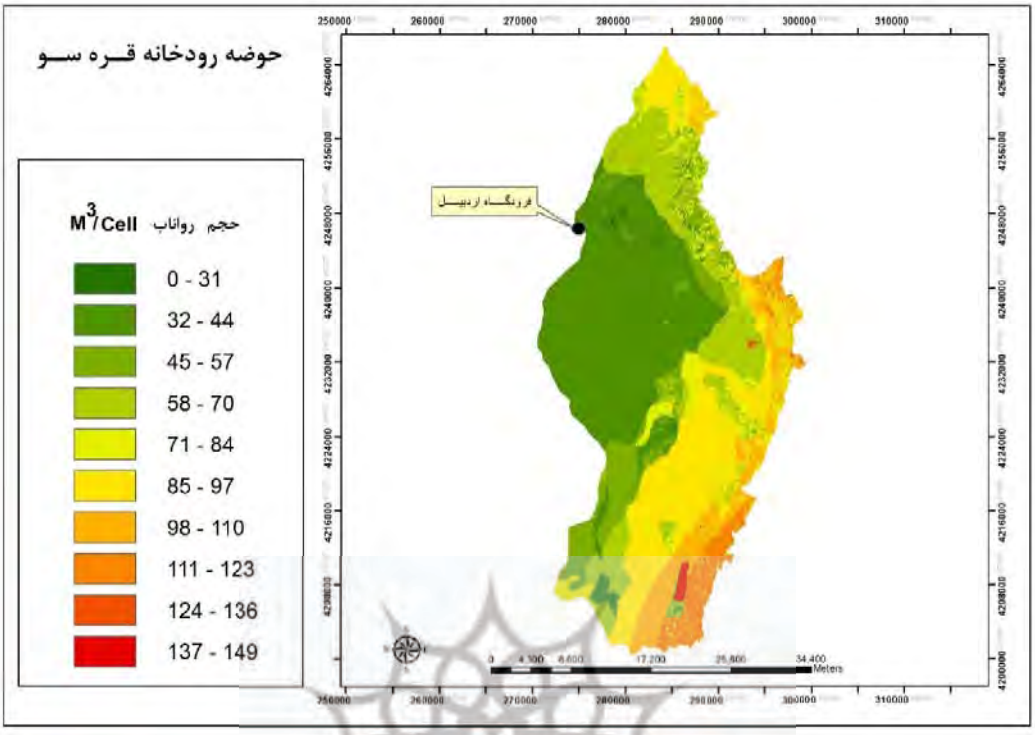
نوع گروه هیدرولوژیکی خاک	مساحت گروه هیدرولوژیکی خاک به درصد
گروه هیدرولوژیکی A	۳۷
گروه هیدرولوژیکی B	۲۶/۷
گروه هیدرولوژیکی C	۱۰/۲
گروه هیدرولوژیکی D	۲۶/۱

داده‌های بارش

در مدل L-THIA داده‌های سالانه بارش به‌صورت بارش‌های مجزا مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این امر لازم است برای ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد نظر داده‌های بارش به صورت روزانه تهیه شود. چهار ایستگاه باران‌سنجی در محدوده حوضه وجود دارد (اردبیل، بیله‌ورق، جعفرلو و فولادلو) با توجه به دوره آماری ثبت شده در آنها، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ به عنوان دوره آماری مشترک در نظر گرفته شده‌اند. پس از آماده‌سازی داده‌های بارش روزانه به جهت استفاده در مدل، داده‌ها وارد محیط نرم‌افزار Excel شدند. پس از تهیه لایه‌های مذبور (آمار بارش روزانه، کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک)، داده‌ها در محیط نرم‌افزار ARCMAP با استفاده از نرم‌افزار تخصصی L-THIA مدل‌سازی شدند و در نهایت نقشه نهایی منطقه برای دو دوره ۱۹۸۷ (با استفاده از کاربری سال ۱۹۸۷) و ۲۰۱۲ (با استفاده از کاربری سال ۲۰۱۲) به دست آمد که ارتفاع رواناب سالانه را در بخش‌های مختلف حوضه نشان می‌دهد (شکل شماره ۵ و ۶). در ادامه با استفاده از همین نقشه‌ها مقدار حجم رواناب تولیدی در واحد سطح و نیز سطح کل حوضه محاسبه شد.



شکل (۵) نقشه حجم رواناب تولیدی در سال ۱۹۸۷



شکل (۶) نقشه حجم رواناب تولیدی در سال ۲۰۱۲

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه‌های کاربری زمین و اطلاعات حاصل از آن، تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۱۹۸۷در جدول شماره ۳ ارائه شده است. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد، درصد تغییرات کاربری‌ها در هر طبقه نشانگر افزایش تولید رواناب در منطقه است. بیشترین تغییرات کاربری با ۶۷/۶- درصد مربوط به مراتع با تراکم بیشتر از ۷۵ درصد است. بررسی دو نقشه نشان می‌دهد که تغییرات این کاربری در جهت تبدیل به مراتع با تراکم کمتر از ۵۰ درصد و زمینهای کشاورزی بوده است. توسعه مناطق مسکونی مانند شهرها و روستاها از دیگر کاربری‌هایی است که دست‌خوش بیشترین تحول شده است. مناطق مسکونی به دلیل وجود آسفالت و مواد غیرقابل نفوذ از مناطقی هستند که مقدار تولید رواناب در آنها به بیشترین مقدار خود می‌رسد. درصد تغییرات این کاربری در حدود ۶۵ درصد نسبت به دوره قبل افزایش یافته است. در طی دوره زمانی مورد مطالعه حدود ۲۳/۴ درصد به مساحت زمین‌های کشاورزی افزوده شده است که این توسعه ناشی از تخریب زمین‌های مرتعی در نواحی پای کوهی شمال، شمال‌شرق و شرق حوضه است. جنگلها از دیگر کاربری‌های منطقه هستند. مناطق جنگلی حوضه در واقع ادامه جنگلهای هیرکانی شمال را تشکیل می‌دهند. با توجه به این امر گستردگی کاربری در بخش‌های شرقی و شمال شرقی حوضه بیشتر از مناطق دیگر آن

است. تغییرات رخ داده در این کاربری نیز چشم‌گیر است و حدود ۱۳/۱ درصد از مساحت این زمینها تخریب شده و از مساحت آن کاسته شده است.

جدول (۳) مساحت کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۲ و تغیرات آنها

نوع کاربری	مساحت کاربری سال ۱۹۸۷ کیلومر مربع	مساحت کاربری سال ۲۰۱۲ کیلومترمربع	درصد تغییرات
پهنه‌های آبی	۲/۷	۴/۵	۶۶/۶
مرتع با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	۳۲۵/۲	۳۳۹/۹	۴/۵
مرتع با تراکم ۵۰ تا ۷۵ درصد	۸۰/۶	۵۸/۵	-۲۷/۴
مرتع با تراکم بیشتر از ۷۵ درصد	۱۴۲/۲	۴۶/۱	-۶۷/۶
جنگل	۵۰/۳	۴۳/۷	-۱۳/۱
منطقه مسکونی	۲	۳/۳	۶۵
کشاورزی	۴۵۷	۵۶۴	۲۳/۴

تأثیرات این تغییرات کاربری را به خوبی می‌توان در نقشه حجم رواناب تولیدی مشاهده کرد. با توجه به اندازه سلول‌های نقشه نهایی (۳۰*۳۰متر) متوسط حجم رواناب در حوضه، با کاربری سال ۱۹۸۷ برابر با ۵۹/۴ مترمکعب در سال در سلول است. در نقشه عمق رواناب به دست آمده با استفاده از کاربری سال ۲۰۱۲ مقدار متوسط حجم رواناب در هر سلول به ۵۹/۴ مترمکعب افزایش یافته است. این آمار نشانگر افزایش تولید رواناب در بخش‌های مـختلف حوضه است. در کل حوضه با توجه بـه افزایش متوسط ۱/۸ میلی‌متری تولید حجم رواناب تولید شده در یک سال به مقدار ۲/۸۶ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. جدول شماره ۴ وضعیت حجم و عمق رواناب تولیدی در حوضه را نشان می‌دهد.

جدول (۴) وضعیت حجم و عمق رواناب در حوضه

رواناب \ سال	سال ۱۹۸۷	سال ۲۰۱۲
متوسط عمق رواناب (mm)	۶۴/۱۶	۶۵/۹۶
متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۵۷/۷	۵۹/۴
حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۶۷۳۷۷۳۷۲	۷۰۲۳۹۱۹۱

برای این که بتوانیم تحلیل مناسبی از تأثیرات تغییرات کاربری در بخش‌های مختلف حوضه داشته باشیم، حوضه مورد مطالعه را به شش واحد کاری (شش زیرحوضه) تقسیم کردیم. بعد از این مرحله، وضعیت متوسط عمق و حجم رواناب و نیز حجم کل رواناب تولیدی در واحدها را برای هر دو دوره ۱۹۸۷ و ۲۰۱۲ استخراج کردیم (جدول شماره ۵). با توجه به آمار استخراجی از بین شش زیرحوضه برخلاف کل حوضه در ۲ زیرحوضه

شماره ۴ و ۵ مقدار حجم رواناب تولیدی به ترتیب به مقدار ۶/۴۴ و ۰/۷ درصد کاهش یافته است. علت این امر ناشی از افزایش سطح زمین‌های کشاورزی در منطقه است. به عنوان مثال در حوضه شماره ۴ به دلیل قرارگیری بخش وسیعی از آن در منطقه دشت اردبیل، وسعت تمامی کاربری‌ها به نفع زمین‌های کشاورزی کاهش یافته است به گونه‌ای که وسعت زمین‌های کشاورزی از ۶۵ درصد در سال ۱۹۸۷ به ۸۴ درصد افزایش یافته است. این تغییرات باعث شده است که تولید رواناب در این زیرحوضه‌ها کاهش یابد. شرایط مشابه این تحول را در حوضه شماره ۵ نیز می‌توان مشاهده کرد. با توجه به این امر تغییرات کاربری این دو زیرحوضه از نظر تولید رواناب و سیل‌خیزی در جهت مثبت عمل کرده و از توان سیل‌خیزی منطقه کاسته است. در سایر زیرحوضه‌ها به دلیل نوع تغییرات کاربری رخ داده همچون جنگل به مرتع یا مرتع متراکم به مراتع با تراکم کم، مقدار رواناب تولیدی افزایش یافته است. از این رو زیرحوضه شماره ۳ با بیشترین تغییرات در تولید رواناب ، بیشترین تأثیر را از تغییرات کاربری زمین دریافت کرده و برای سیل‌خیزی شرایط مساعدتری را دارد. جدول شماره ۵ خلاصه‌ای از شرایط هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها را به همراه میزان تغییرات رخ داده در آنها نشان می‌دهد.

جدول (۵) خلاصه‌ای از شرایط هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها

شماره زیرحوضه	رواناب	سال ۱۹۸۷	سال ۲۰۱۲	درصد تغییرات
زیرحوضه ۱	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۶۹	۷۰/۲	۱/۷۴
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۳۴۸۹۲۶۹	۳۵۳۹۰۰۷	۱/۴۲
زیرحوضه ۲	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۵۸	۵۹/۶	۲/۷۶
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۳۹۲۳۰۳۰	۴۰۲۳۲۶۷	۲/۵۵
زیرحوضه ۳	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۶۳/۴	۶۵/۶	۳/۴۷
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۱۷۰۵۱۵۷۳	۱۷۶۲۸۵۱۵	۳/۳۸
زیرحوضه ۴	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۴۲/۱	۳۹/۴	-۶/۴
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۲۳۸۰۹۲۸	۲۲۲۷۶۸۳	-۶/۴۴
زیرحوضه ۵	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۵۶/۳	۵۵/۹	-۰/۷
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۱۲۰۶۷۸۰۸	۱۱۹۸۲۰۰۵	-۰/۷
زیرحوضه ۶	متوسط حجم رواناب ($m^3/cell$)	۷۰/۵	۷۱	۰/۷۱
	حجم کل رواناب تولیدی (m^3)	۲۸۷۲۷۲۹۷	۲۸۹۳۶۶۰۹	۰/۷۲

نتایج حاصل از مدل در حوضه نشانگر افزایش متوسط ۱/۸ میلی‌متری تولید رواناب است. این امر سبب افزایش ۲/۸۶ میلیون مترمکعبی حجم رواناب در منطقه شده است. تغییرات کاربری عمدتاً در جهت افزایش مناطق مسکونی، کاهش سطح زمینهای جنگلی و مراتع بوده است. در برخی از مناطق مثل دشت اردبیل به

دلیل تبدیل مراتع به زمین کشاورزی تغییر کاربری در جهت مثبت عمل کرده و باعث افزایش نفوذپذیری زمین و متقابلاً کاهش تولید رواناب در این بخش از منطقه شده است. نتایج به دست آمده از تحقیق با نتایج پژوهش محققانی مانند سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۹۱)، انجل[1] و همکاران (۲۰۰۳)، سعادتی و همکاران (۱۳۸۵) و غفاری و همکاران (۱۳۸۸) هم‌خوانی دارد.

نتایج به دست آمده از مدل‌سازی صورت گرفته بیانگر قابلیت بالای آن در ارزیابی تأثیرات کاربری زمین در شرایط هیدرولوژیکی حوضه است. ترکیب مدل فوق با مدلهای ارزیابی و هیدرولوژیکی جدیدتر می‌تواند تا درجه زیادی بر دقت و صحت نتایج بیفزاید. نتایج این مدل اتفاقات رخ داده در سال مشخصی را پیش‌بینی نمی‌کند بلکه یک بینش کلی نسبت به آثار هیدرولوژیکی بلندمدت نسبی، حاصل از سناریوهای کاربری‌های مختلف را ایجاد می‌کند (پاندی[2] و همکاران، ۲۰۰۰: ۶). نتایج به دست آمده از پژوهش مذکور را می‌توان در جهت مدیریت سیلاب، شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و مدیریت کاربریها به کار برد. همچنین می‌توان نتایج را در جهت الویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای انجام اقدامات آبخیزداری در بخش‌های آسب‌پذیر کاربردی کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Engel
2- Pandey

منابع

ـ امیدوار، کمال؛ کیانفر، آمنه (۱۳۸۹)، **پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی**. شماره ۷۲، تابستان ۱۳۸۹صص-۷۳-۹۰.

بهشتی جاوید، ابراهیم (۱۳۹۰)، **پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبریز بالغلوچای (بالخلی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد**. دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده جغرافیا.

ـ حسین‌نیا، اکرم (۱۳۸۷)، **بررسی تغییرات کمی آبها سطحی با استفاده از مدل‌سازی روند توسعه شهری به روش SLEUTH در شهرهای چالوس و نوشهر، ایران**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی.

ـ خلیقی، بهرام؛ مهدوی، محمد؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴)، **بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی با استفاده از مدل NRCS مطالعه موردی: حوضه باراندوزچای آذربایجان غربی**، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۸. شماره ۴.

رضوی‌زاده، سمانه؛ سلاجقه، علی؛ خلیقی، شهرام؛ جعفری، محمد (۱۳۹۲)، **بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر خصوصیات سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)**، نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، صص۳۷۳-۳۸۶.

ـ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ حسین نیا، اکرم؛ قاسم‌پوری، سیدمحمود؛ توسلی، احد؛ رضایی، مهری (۱۳۹۱)، **ارزیابی درازمدت آثار هیدرولوژیک (L-THIA) تغییر کاربری بر رواناب سالانه در مقیاس حوضه آبخیز**. جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶ بهار ۱۳۹۱.

ـ سعادتی، حسین؛ غلامی، شعبانعلی؛ شریفی، فرود؛ ایوب‌زاده، سیدعلی (۱۳۸۷)، **بررسی آثار تغییر کاربری اراضی در رواناب سطحی**. دوره ۴، شماره ۳، اسفند ۱۳۸۷: صص ۳۰۱-۳۱۵.

ـ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ حسین‌نیا، اکرم؛ قاسم‌پوری، سیدمحمود؛ توسلی، احد؛ رضایی، مهری (۱۳۹۱)، **ارزیابی درازمدت آثار هیدرولوژیک (L-THIA) تغییر کاربری بر رواناب سالانه در مقیاس حوضه آبخیز**. جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶ بهار ۱۳۹۱.

ـ غفاری، گلاله؛ قدوسی، جمال؛ احمدی، حسن (۱۳۸۸)، **بررسی تأثیر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان رود)**. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد شانزدهم. شماره اول، ۱۳۸۸، صص ۱۶۳-۱۸۸.

ـ غلامعلی‌فرد، مهدی (۱۳۸۵)، **ارائه مدل مکانی- ارزیابی عرضه و تقاضا زمین برای محل‌های دفن مواد جامد شهری با استفاده از مدل‌سازی دینامیک شهری در محیط GIS**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی.

ـ فرجزاده، منوچهر؛ فلاح، مهنام (۱۳۸۷)، **ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم سیلابی رودخانه تجن با استفاده از تکنیک سنجش از دور**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تابستان ۱۳۸۷صص ۸۹-۱۰۴

ـ قهرودی‌تالی، منیژه، (۱۳۸۵)، ارزیابی مدل SCS-CN، در **تخمین رواناب، مطالعه موردی: حوضه آبریز سد امیرکبیر (کرج)**. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳. زاهدان. پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا.

ـ مددی، عقیل؛ ابراهیم بهشتی جاوید (۱۳۹۱)، **تغییرات کاربری زمین و آثار آن در سیل‌خیزی (مطالعه موردی حوضه رودخانه بالخلو)**. تهران، همایش محیط زیست و انسان، بهمن ۱۳.

ـ یاراحمدی، جمشید؛ نیکجو، محمدرضا (۱۳۹۱)، **بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وقوع سیلاب‌ها در حوضه صوفی‌چای**. جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۶، شماره ۳۹، بهار ۱۳۹۱، صفحه ۱۵۱-۱۶۹.

- Chatchai Jothityangkoon, Chow Hirunteeyakul, Kowit Boonrawd, Murugesu Sivapalan, 2013, **Assessing the impact of climate and land use changes on extreme floods in a large tropical catchment**, Journal of Hydrology, Volume 490, 20 May 2013, Pages 88-105.
- Cowden J.R, Watkins D, Croley T.E., 2006, **Investigating Urban Land Use Effects on Runoff by using the Distributed Large Basin Runoff Model**. The World Environmental and Water Resource Congress 2006 Examining the Confluence of Environmental Water Concerns Confluence of Environmental Water Concerns Environmental and Water Resource Institute American Society of Civil Engineers. Omaha, Nebraska, May 21-25.
- Engel B.A, Choi J.Y, Harbor J, Pandey Sh., 2003, **Web-based DSS for Hydrologic Impact Evaluation of small Watershed land use changes**. Computers and Electronics in Agriculture 39 (2003) 241-249.
- Oztürk, Melih, Nadim K. Copty, Ali Kerem Saysel, 2013, **Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed**, Journal of Hydrology, Volume 497, 8 August 2013, Pages 97-109.
- Pandey S, Gunn R, Lim K, Engel B, Harbor J., 2000, **Developing a Web-enabled Tool to Assess Long-term Hydrologic impacts of land-use change**, information technology issues and a case study. URISA Journal Vol.12, No.4:5-17.
- Perry P, Nawaz R., 2008, **An investigation into the extent and impacts of hard surfacing of domestic gardens in an area of Leeds**, United Kingdom. Landscape and Urban Planning 86(2008) 1-13 .
- Tang Z, Engel B.A, Pijanowski B.C, Lim K.J, 2005, **Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale**. Environmental impact at a watershed scale. Journal of Environmental Management 76 45-35.
- Wang Y, Choi W., Deal B.M., 2005, **Long-term Impacts of Land Use Change on Non-point Source Pollutant Loads for St.Louis Metropolitan Area**, USA. Environmental Management 35 (2): 194-205.
- Wije sekara, G.N.A. Gupta, C. Valeo, J.G. Hasbani, Y. Qiao, P. Delaney, D.J. Marceau, 2012, **Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada**, Journal of Hydrology, Volumes 412-413, 4 January 2012, Pages 220-232.

- Yang L, Ma K, Guo Q, Bai X., 2008, **Evaluating long-term hydrological impacts of regional urbanization in Hanyang, China**, using a GIS model and remote sensing. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 15, 350-356.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی