

## بررسی و برآورد اثرات هیدرولوژیک ناشی از تغییرات کاربری در حوضه اوجان چای (دامنه شرقی کوهستان سهند، شمال غرب ایران)

دکتر مریم بیاتی خطیبی<sup>۱\*</sup>، دکتر بهروز ساری صراف<sup>۲</sup>، دکتر فریبا کریمی<sup>۳</sup>

### چکیده

تأثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و نوع مدیریت زمین، در قالب تغییر در عمق رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق آشکار می‌شود. افزایش تولید رواناب در یک منطقه خاص، علاوه بر افزایش پتانسیل سیل‌خیزی، تأثیرات دیگری را نیز به دنبال دارد. در محدوده اوجان چای (از زیرحوضه‌های مهم واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند) به‌واسطه نوع خاک و ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیم حاکم، تغییرات ناشی از دست‌اندازی انسان به شیب‌ها و تغییرات زیاد در کاربری، به تغییرات در حجم و عمق رواناب منجر شده‌است. در محدوده مورد مطالعه که از محدوده‌های مرتعی کشور محسوب می‌شود و اغلب به دلیل اینکه در محدوده‌های مرتعی کشت و آن هم کشت افراطی صورت می‌گیرد، خاک دامنه‌ها توسط رواناب‌ها تحت فرسایش شدید قرار گرفته‌اند. در این تحقیق با هدف بررسی نقش تغییرات هیدروژئومورفولوژیک ناشی از تغییرات کاربری، از مدل L-THIA. برای تخمین رواناب ناشی از تغییر کاربری در حوضه اوجان چای استفاده شده‌است. مدل L-THIA یک ابزار مناسب برای کمک به سنجش اثرات بالقوه تغییر کاربری بر رواناب سطحی و آلودگی آب است. برای به‌کارگیری این مدل، بارش ایستگاه‌ها تهیه و از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده TM و ETM) و نرم‌افزار تخصصی Arc Map و L-THIA استفاده شد و نوع کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو سال متفاوت (۲۰۱۸ و ۱۹۸۸) تعیین شد. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوع کاربری در زمین‌های محدوده حوضه اوجان چای عمدتاً کشاورزی و مرتع است که محدوده این دو نوع کاربری از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ تغییراتی داشته‌است؛ به عبارت دیگر، در طی ۳۰ سال از محدوده مراتع کاسته شده و بر محدوده زمین‌های کشاورزی افزوده شده‌است. بررسی تغییرات نشان می‌دهد که در طی سه دهه، یک‌پنجم از زمین‌های مرتع در اختیار زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. بررسی برآوردهای صورت‌گرفته با استفاده از مدل نشان می‌دهد که بالاترین میزان حجم رواناب که در سال ۱۹۸۸ در قسمت‌های مرکزی و در اطراف شیب‌های منتهی به دشت‌های سیلابی قرار گرفته بودند، تغییر مکان داده و تمرکز رواناب‌ها در قسمت‌های دیگر حوضه قرار گرفته‌است؛ یعنی در قسمت‌هایی که بیشتر به فرسایش مستعد هستند.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۲، بهار ۱۴۰۰  
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۰۵  
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۵  
صفحات: ۷۹-۱۰۲



واژه‌های کلیدی:

تغییرات کاربری، رواناب، فرسایش، حوضه اوجان چای، مدل L-THIA، سیلاب.

### مقدمه

باشد. تغییر کاربری و پوشش اراضی، در مقیاس‌های محلی، ناحیه‌ای و جهانی، نتایج هیدرولوژیک به‌همراه دارد. 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. افزایش تولید رواناب در یک منطقه خاص، علاوه بر افزایش پتانسیل سیل‌خیزی، تأثیرات دیگری را نیز به دنبال دارد؛ از جمله: کاهش میزان نفوذپذیری زمین، در نتیجه افت سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش قدرت تخریب آب، افزایش قدرت

نوع کاربری و تغییرات در نوع کاربری، با میزان رواناب و تغییرات در آن، ارتباط دارد. نوع کاربری با آثار مستقیم در سرعت رواناب، میزان نفوذپذیری و زمان تمرکز سیل را کنترل می‌کند. در این میان 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 به‌واسطه تغییر کاربری می‌تواند شاخص خوبی برای تعیین احتمال بالقوه افزایش سیلاب در یک حوضه

۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه Gis و سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) M\_bayati@tabrizu.ac.ir

۲- استاد آب‌هوشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز sarraf@tabrizu.ac.ir

۳- استاد ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز fkarami@tabrizu.ac.ir

۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه Gis و سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲- استاد آب‌هوشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳- استاد ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز

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 (Chatchai et al, 2013: 89)

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 مترمکعب رواناب می‌شود (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۶).

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از مدل l-thia آثار تغییر کاربری در سیل‌خیزی را در حوضه رودخانه قره‌سوبرای بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مساحت پهنه‌های پرخطر تا سه برابر افزایش نشان می‌دهد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۵).

آتشخوار و همکاران (۱۳۹۰)، طی تحقیقی با عنوان بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آقبلاغ، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM در محدوده مورد مطالعه و به منظور دستیابی به صحت اطلاعات به دست آمده، طی یک بازدید میدانی، ۵۰ نقطه را به عنوان مبنای کنترل زمینی برداشت کردند و کاربری آن‌ها مشخص شد. پس از تجزیه و تحلیلی که توسط نرم‌افزار Ilwis انجام شد، اراضی به ۱۰ نوع کاربری مختلف تقسیم شدند.

نتایج به دست آمده با صحت کلی متوسط ۹۱٪ در ابتدا و انتهای دوره نشان داد که طی گذر زمان در حوضه مورد مطالعه به ترتیب بیشترین تغییرات کاهشی سال ۱۳۶۹ نسبت به سال ۱۳۸۸ مربوط به مراتع خوب، زراعت آبی آیش، باغ و جنگل و درنهایت

حمل رسوب و خارج از دسترس شدن خاک‌های مناسب، افزایش قدرت حمل رسوب و پرکردن مخزن‌های سدها، کاهش کیفیت آب و ... .

با عنایت به تأثیر تغییرات کاربری بر روی رواناب‌ها، محققان مختلفی سعی کرده‌اند که از ابعاد مختلف، نحوه و میزان تأثیرات را بررسی کنند. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) تغییرات در مسیر جریان رودخانه‌ها را در رابطه با مدیریت محیطی مورد مطالعه قرار دادند و با مطالعات آزمایشگاهی اثرات تغییرات در پارامترهای مختلف را بر رفتار رودخانه‌ها به اثبات رساندند (Wang et al 2005: 196).

«مالیک و موهانتی» و «مارن» (۲۰۰۷) از دیگر محققانی هستند که بر نقش ویژگی‌های زهکشی و نوع سازندها در تغییر الگوی جریان رودخانه‌ها تأکید کردند (Malik & Mohanty & Maren, 2007: 99).

ویجی سکارا و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی آثار تغییرات کاربری بر روی فرایندهای هیدرولوژیک را در حوضه رودخانه ابو بررسی کردند. مدل هیدرولوژیک به کاررفته 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 و ترق، جریان پایه و نفوذپذیری رخ داده است (Wije sekara et al, 2012: 222).

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 به شدت 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 است (Oztürk et al et al, 2013: 98).

چاتچایی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در سیلاب‌های

بررسی و جمع‌بندی تحقیقات صورت‌گرفته با مدل فوق، نشان‌دهنده رویکردی جدید در بررسی نحوه تأثیر تغییر کاربری بر مقادیر رواناب و برآورد رواناب سالانه در مقیاس حوضه است؛ به‌گونه‌ای که در کشورمان تنها یک مورد با استفاده از این مدل در منطقه چالوس و نوشهر و به‌طور محدود در غرب کشور صورت‌گرفته است و نمونه موردی دیگری وجود ندارد. محدوده مورد مطالعه به‌عنوان مهم‌ترین مراکز دامپروری و کشت بعضی از محصولات و عمدتاً جو، با استناد به شواهد آبکندهای ایجادشده در شیب‌ها بیشتر در معرض تعرض انسان و تبعات ناشی از تغییرات کاربری شده‌است؛ بنابراین در این تحقیق سعی بر این است که با توسل به مدل قابل‌اطمینان تأثیر تغییرات کاربری بر عملکرد فرایندهای هیدروژئومورفولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد.

در محدوده اوجان‌چای (از زیرحوضه‌های واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند) به‌واسطه نوع خاک و ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیم حاکم، تغییرات ناشی از دست‌اندازی انسان به شیب‌ها و تغییرات کاربری زمین زیاد بوده‌است. با توجه کندوکاری‌های ناشی از فرسایش شیب‌ها و به‌طور کلی آبکندی در دامنه‌های محدوده اوجان‌چای، به نظر می‌رسد که تغییرات در میزان رواناب‌ها به‌واسطه تغییرات کاربری در محدوده مورد نظر بسیار زیاد است. به‌دلیل کمبود داده‌ها در زمینه مقدار بارش و رسوب (به‌علت کافی نبودن ایستگاه‌های سنجنده لازم در حوضه) سعی شد تا از ایستگاه‌های اطراف کمک گرفته شود که این البته می‌تواند در نتایج تأثیرگذار باشد.

#### - موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی حوضه اوجان‌چای

حوضه اوجان‌چای از زیرحوضه‌های مهم آبی‌چای است که از غرب به زیرحوضه سعیدآباد و از شرق به زیرحوضه‌های دیگری که از رودخانه‌های دامنه‌های شرقی سهند تغذیه می‌شوند، محدود می‌شود. این

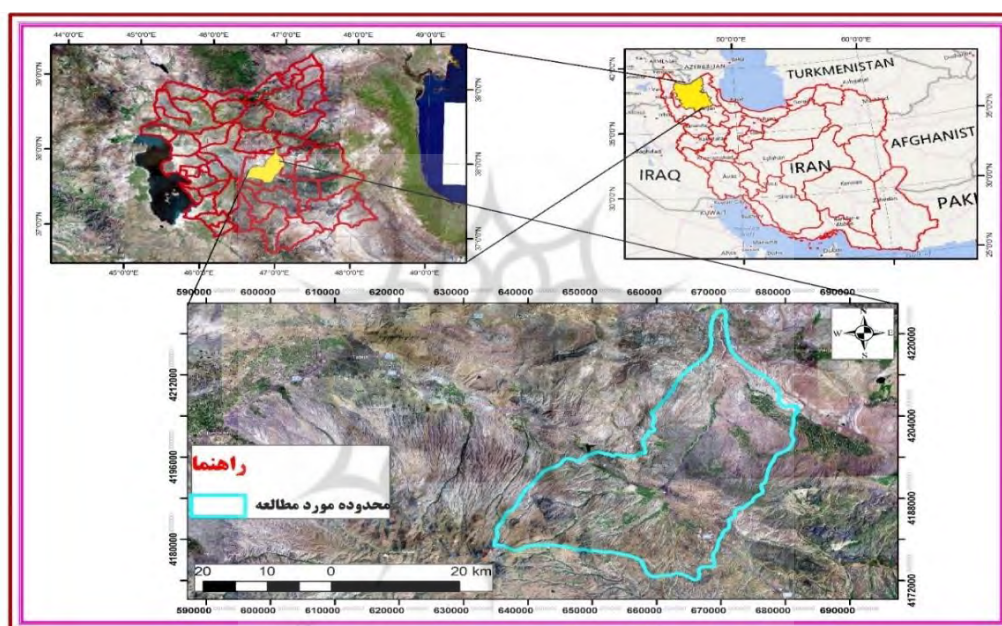
مناطق بدون پوشش است که به‌ترتیب برابر با ۱۳/۹۵، ۵۶/۳۷، ۷۰/۱۶۸ و ۲۴/۳۴ درصد است و در مقابل زراعت دیم مراتع ضعیف و خاک لخت افزایش یافته‌است (آتشخوار و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۹).

رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری زمین در وقوع سیلاب را مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج شبیه‌سازی، به‌علت 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 شده‌است (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۱۷).

مؤذنی و همکاران (۱۳۹۴) در طی تحقیقی با عنوان بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر پارس‌آباد مغان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور تحلیل تغییرات در طی دوره‌های مختلف از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای لندست TM سال ۱۳۶۸، لندست ETM+ سال ۱۳۸۱، لندست ۸ (OLI) سال ۱۳۹۴ و نقشه‌های کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه استفاده شده‌است. فاصله زمانی بین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده ۱۳ سال و ابزارهای مورد استفاده نیز نرم‌افزارهای ENVI 5, ARC.GIS 10.1, IDRISI SELVA است. نتایج این مطالعات نشان داد که با توسعه شهر از مساحت کاربری مزارع و اراضی بایر کاسته شده‌است و اراضی پیرامون شهر دچار تغییراتی شده‌اند و اراضی تولیدکننده محصولات زراعی که دارای شرایط مناسب برای کشت هستند، به اراضی ساخته‌شده و مسکونی تبدیل شده‌اند. (مؤذنی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۸). از دیگر کارها می‌توان به پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط خلیقی و همکاران (۱۳۸۴: ۳۵)، قهرودی (۱۳۸۵: ۱۹۹)، غفاری و همکاران (۱۳۸۸: ۱۶۵)، یاراحمدی و نیکجو (۱۳۹۱: ۱۷۰)، تانگ و همکاران (۲۰۰۵: ۷۵)، و پاندی و همکاران (۲۰۰۰: ۷)، اشاره کرد.

در زیرحوضه اوجان‌چای، فرسایش خطی در شدیدترین حالت خود و در بخش‌های پایینی سطوح کشت‌شده و در دامنه‌های تندتر بالای بخش‌های تحت کشت تشکیل دیده می‌شود؛ به دلیل اینکه آبخیز اوجان‌چای از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند به‌شمار می‌آید.

حوضه از زیرحوضه‌های دامنه‌های شرقی سهند است که در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 44'$  تا  $37^{\circ} 54'$  عرض شمالی و  $46^{\circ} 31'$  تا  $46^{\circ} 50'$  طول شرقی قرار گرفته‌است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع آن در بخش جنوب-جنوب‌غربی یعنی بزداغ با ارتفاع ۳۵۴۰ متر قرار گرفته و حداقل ارتفاع آن در محل پیوست رودخانه اوجان به آبی‌چای دیده می‌شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه اوجان‌چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

نوع رودخانه‌ای همراه با گل و لای، رس و ماسه‌های تخریب‌شده از سنگ‌های حوضه محسوب می‌شوند.

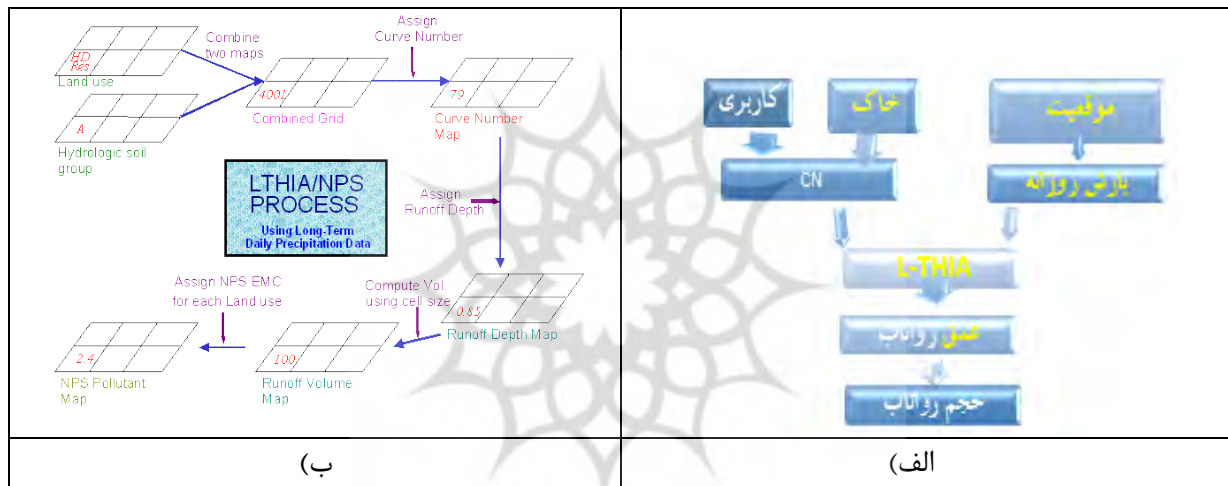
#### داده‌ها و روش‌ها

برای شبیه‌سازی آثار تغییر کاربری یک منطقه یا حوضه آبخیز، مدل‌های هیدرولوژیک مختلفی ارائه شده‌است. مدل L-THIA که در این تحقیق از آن استفاده شده، یکی از آن‌هاست. مدل L-THIA روشی برای ارزیابی آثار درازمدت هیدرولوژیک در یک حوضه است که کاربران می‌توانند توسط آن تغییرات نسبی را

زمین‌شناسی و لیتولوژی حوضه اوجان‌چای بسیار متنوع است. سنگ‌های رسوبی و آذرین و خاک‌هایی با ضخامت زیاد بخش‌های مختلف آن را پوشش می‌دهند. تشکیلات ولکانوسدیمانترها بخش وسیعی از حوضه اوجان‌چای را دربرگرفته‌اند. بخش مهمی از حوضه، سنگ‌های رسوبی مربوط به میوسن است که شامل سازند قرمز تحتانی و واحدهای متشکل از مارن ژپرسی و ماسه‌سنگ است. رسوبات کواترنر به شکل تراس‌ها و مخروط افکنه‌ها به‌طور عمده در قسمت‌های شمالی حوضه دیده می‌شوند. جنس این آبرفت‌ها از

این سامانه مقادیر CN پیش فرض 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 پیش فرض موجود در L-THIA GIS صورت می‌پذیرد (شکل ۲).

که به واسطه تغییر کاربری در رواناب رخ داده، تعیین کنند. هسته اصلی این مدل بر مبنای روش شماره منحنی (CN) سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است. مقادیر CN را بین ۰-۱۰۰ بیان می‌کند 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 (Tang et al, 2005: 43). یکی از مزایای L-THIA عدم نیاز به کالیبراسیون مدل با داده‌های واقعی منطقه است. در



شکل ۲: الف) داده‌ها و اطلاعات لازم، ب) مراحل اجرایی مدل

مأخذ: Ahiablame2012:3

پایه‌ریزی شده است؛ بنابراین معیار اختصاص دادن یک پیکسل به هر کلاس بر مبنای تابع توزیع احتمال است. در این روش واریانس و کوواریانس کلاس‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ برای این منظور فرض می‌شود که همه مناطق آموزشی از پراکندگی نرمالی برخوردارند. در این روش احتمال قرارگیری یک پیکسل در یک کلاس خاص محاسبه شده، سپس احتمال قرارگیری آن در سایر کلاس‌ها برآورد شده و براساس بیشترین شباهت (حداکثر احتمال) در یکی از کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شود که براساس رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$P(w|x) = \frac{p(w)p(x|w)}{p(x)} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی با انجام پیش‌پردازش‌های اولیه، مانند: تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری، همچنین تهیه نمونه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزارهای سنجش از دور، با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، طبقه‌بندی شدند. آشکارسازی تغییرات، فرایند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده به وسیله مشاهده آن در زمان‌های متفاوت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین در این پژوهش به منظور آشکارسازی تغییرات با مقایسه پس از طبقه‌بندی، از جدول‌بندی افقی استفاده شده است. یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها، روش حداکثر احتمال با نظارت الگوریتم ML است. مبنای طبقه‌بندی تصویر در این روش براساس قوانین احتمال

(سنجنده TM و ETM) و نرم‌افزار تخصصی L-THIA و Arc Map استفاده شده‌است. با توجه به مدل ارائه شده (شکل ۲) برای تهیه لایه کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک که از موارد ضروری برای اجرای مدل است، در دوره‌های مختلف از تصاویر سنجنده‌های ماهواره لندست استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تولید رواناب است، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های مختلف به‌طور جداگانه لایه کاربری زمین تهیه شد تا در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. برای انجام این کار تصاویر پس از آماده‌سازی وارد محیط نرم‌افزار شده و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده، لایه کاربری زمین تهیه شد. لایه‌های مربوط شاخص‌های مختلف تهیه و در نهایت لایه ترکیبی به‌دست آمد. تعیین شماره منحنی CN به‌صورت زیر به‌دست آمده است:

۱- ارتفاع نگهداشت آب برحسب میلی‌متر از رابطه زیر به‌دست آمده‌است:

$$S=(25400/CN)-254 \quad \text{رابطه ۴:}$$

۲- محاسبه ارتفاع معادل رواناب سطحی R برحسب mm از رابطه زیر به‌دست آمده‌است:

$$R=(P-0.2S)/(P+0.8S) \quad \text{رابطه ۵:}$$

۳- تبدیل واحد R به واحد m، A به واحد m<sup>2</sup> و سپس محاسبه حجم رواناب به m<sup>3</sup> از رابطه زیر محاسبه شده‌است:

$$V=R.A \quad \text{رابطه ۶:}$$

در رابطه (۱)؛ P(X) عبارت است از احتمال حضور کلاس Wi در تصویر، P(Wi / X) احتمال تعلق هر پیکسل با مشخصه طیفی X به کلاس Wi و p(Wi / X) احتمال تعلق هر پیکسل با مشخصه طیفی X که در تصویر ظاهر شده به کلاس Wi و P(X) احتمال حضور پیکسل با مشخصه طیفی (جمالی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۹). برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر، از ماتریس خطا، ضریب کاپا و دقت کلی استفاده شد. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$\text{رابطه ۲:} \quad OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii}$$

در این رابطه OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی و  $\sum P_{ii}$  جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا است.

شاخص کاپا پیکسل طبقه‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. ضریب کاپا، صحت یک طبقه‌بندی را نسبت به طبقه تصادفی (حالتی که یک تصویر کاملاً به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی شده باشد) محاسبه می‌کند. شاخص کاپا از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه ۳:} \quad Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \times 100$$

که po درستی مشاهده شده و pc توافق مورد انتظار است. ماتریس خطا، تداخل یا تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد.

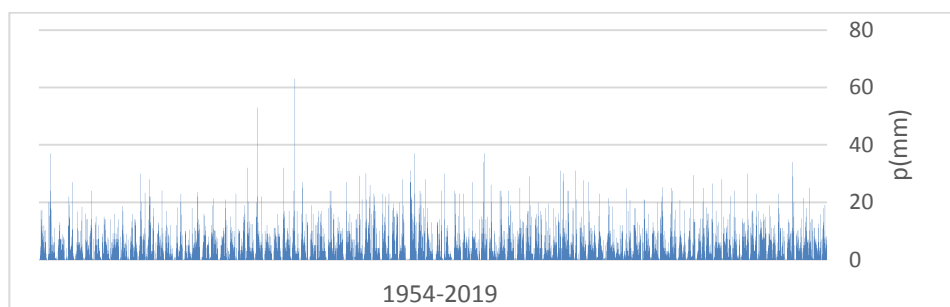
در این تحقیق برای به‌کارگیری مدل L-THIA بارش ایستگاه‌ها تهیه و از تصاویر ماهواره‌ای لندست

## نتایج و بحث

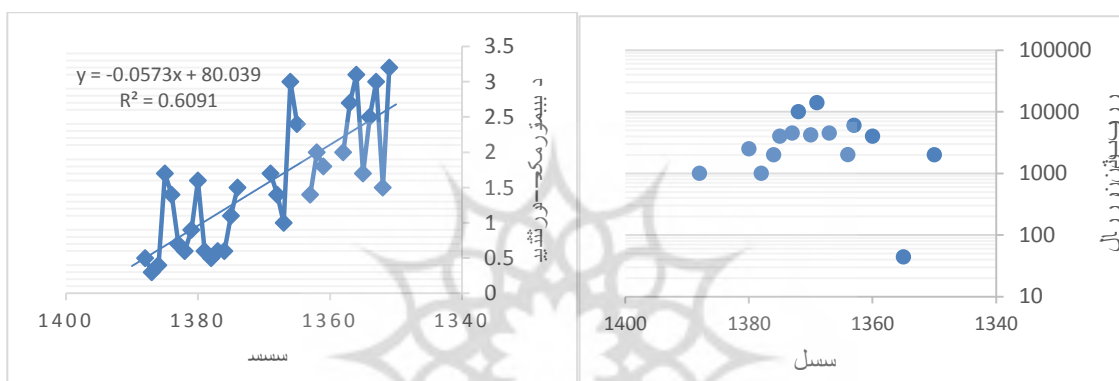
## الف- بررسی بارش و دبی در حوضه اوجان چای

از عوامل اصلی ایجاد رواناب‌ها، وقوع بارش در یک محدوده و یکی از پایه‌های اصلی مدل L-THIA بررسی میزان بارش در محدوده موردنظر است. براساس آمار ایستگاه‌های موجود، متوسط بارش سالانه در ایستگاه لیقوان، ۳۲۷ میلی‌متر، سعیدآباد ۴۴۴,۳۴ میلی‌متر، ارشتناب ۲۹۹,۲ میلی‌متر و بستان‌آباد ۲۶۷,۳ میلی‌متر است که توزیع آن در طول سال به‌طوریکسان صورت نمی‌گیرد. نتایج حاصل از بررسی روند بارش در ایستگاه‌های موردنظر حاکی از این است که طی ۵۰ سال اخیر، بارش در منطقه به‌طور محسوسی روند کاهشی داشته‌است؛ یعنی تقریباً از متوسط ۳۵۰ میلی‌متر بارش سالانه به ۲۵۰ میلی‌متر رسیده‌است. این کاهش بارش به‌منزله کاهش درصد پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش حفاظ دامنه‌ها و همچنین کاهش رطوبت موجود در خاک دامنه‌ها است که موجب می‌شود دامنه‌ها بیشتر در معرض فرسایش آبی قرار گیرند. نتایج بررسی داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی حاکی از این است که در محدوده مورد مطالعه متوسط بارش روزانه ۶۴ میلی‌متر بوده‌است. هرچند که متوسط بارش سالانه روند کاهشی را نشان می‌دهد، اما بررسی بارش‌های روزانه در همه ایستگاه‌ها حاکی از این است که حداکثرهای بارش‌های روزانه از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته‌است. این می‌تواند در تشدید ایجاد رواناب‌ها سهیم باشد (شکل ۳). نتایج بررسی بارندگی‌های ایستگاه‌های سینوپتیک نیز حاکی از این است که حداکثر بارندگی‌های روزانه نسبت به سال‌های قبلی بیشتر شده و گاه میزان آن به دو برابر سال‌های قبل از ۲۰۰۰

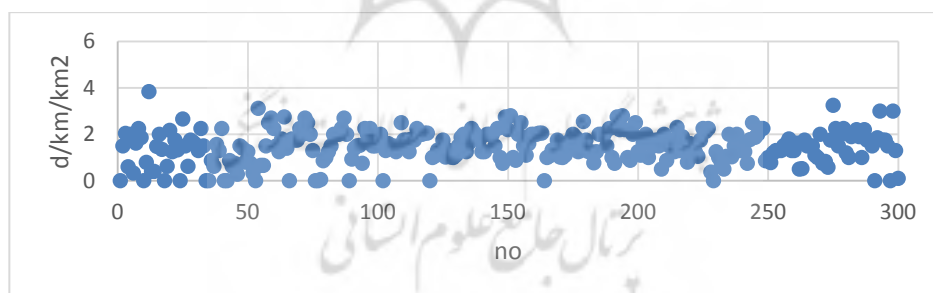
رسیده‌است (شکل ۳). این بدین معنی است که شدت رواناب در وقوع یک بارش روزانه می‌تواند افزایش یابد و به همان میزان وقوع سیلاب‌ها و میزان فرسایش نیز افزایش یابد. دبی رودخانه اوجان طبق شرایط حاکم بر طول سال و تغییر شرایط در سال‌های متمادی بسیار متفاوت است. اوج دبی در هر دو شاخاب اصلی، از شرایط آب‌وهوایی، به‌ویژه وقوع بارش بر منطقه تبعیت می‌کند. اوج دبی رودخانه در ایستگاه بستان‌آباد و مسیر اوجان چای در ماه فروردین به ثبت رسیده‌است؛ این در حالی است که در ماه‌های مرداد و تیر میزان دبی به حداقل خود می‌رسد. در واقع زمانی که بارش‌های محلی شروع می‌شود (ماه‌های اردیبهشت و فروردین)، میزان رسوب در رودخانه نسبت به ماه‌های دیگر سال به‌مراتب بیشتر است که دلیل این امر عدم حفاظت دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی است. بررسی روند تغییرات دبی و رسوب نشان می‌دهد که از دهه ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۹۰ از میزان دبی کاسته شده‌است، اما روند رسوب افزایشی بوده‌است که این امر اهمیت توجه به کاهش فرسایش دامنه‌ها را دو چندان می‌کند. بررسی‌ها همچنین حاکی از این است که میزان کاهش اوج‌های دبی در طی چهار دهه گذشته بیش از ۶ برابر بوده و در طول رودخانه اوجان افزایش میزان رسوب در دهه ۱۳۷۰ بیشتر از سایر دهه‌ها بوده‌است (شکل ۴). بررسی تغییرات روند رسوب و دبی نشان می‌دهد که از دهه ۱۳۵۰ به این طرف از میزان دبی به میزان قابل توجهی کاسته شده (شکل ۴)، اما بر میزان رسوب نسبت به میزان دبی افزوده شده‌است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که حداکثر تراکم زهکشی ۳,۸۴ و متوسط تراکم زهکشی در کل حوضه ۱,۴۶ است (شکل ۵).



شکل ۳: بارش روزانه کل ایستگاه‌های سینوپتیک در حوضه اوجان چای (از سال ۱۹۵۴ تا اوایل سال ۲۰۱۹)  
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۴: روند کاهشی دبی در رودخانه اوجان و میزان رسوب در طی سال‌های متمادی در ایستگاه بستان آباد (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷)



شکل ۵: تراکم زهکشی در کل حوضه اوجان چای  
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

مشخص است (شکل ۷)، محدوده گروه هیدرولوژیک A در بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی مشاهده می‌شود. محدوده مربوط به گروه هیدرولوژیک B بیشتر در بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی و مرکزی به صورت پراکنده دیده می‌شود. گروه هیدرولوژیک C در حوالی دشت‌های سیلابی که در قسمت مرکزی حوضه قرار گرفته، گسترده شده است و در نهایت گروه هیدرولوژیک

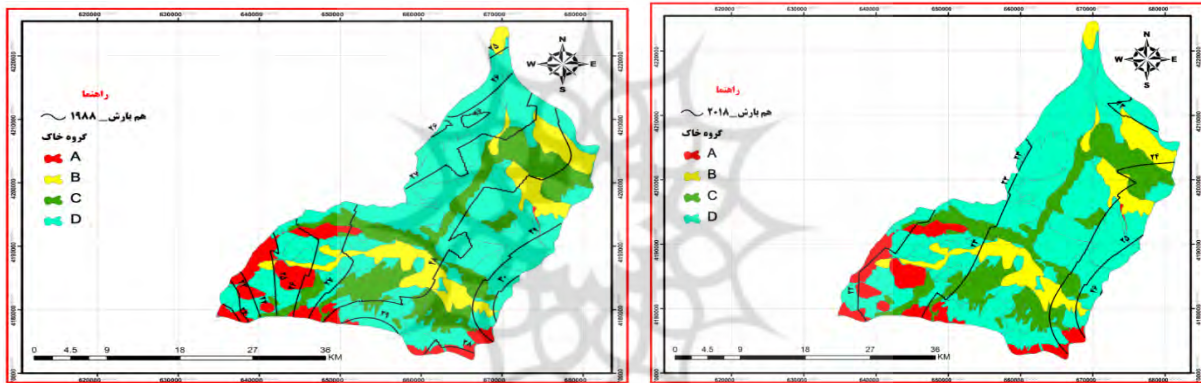
#### ب- ویژگی خاک‌های حوضه اوجان چای

در این تحقیق با استفاده از مدل L-THIA، نوع خاک با توجه به نقشه‌های خاک موجود، نمونه‌های تهیه‌شده، گزارش خاک، مطالعات سایر سازمان‌ها و همچنین با تکیه بر تجربیات میدانی، گروه خاک محدوده مورد مطالعه به‌عنوان اساس مدل به‌کارگرفته‌شده، تعیین شد (جدول ۱ و ۲). همان‌طور که در نقشه تهیه‌شده



فرسایش آبکندی فراهم می‌سازد. در ماه‌های خشک سال ترک‌های چندضلعی در سطح چنین خاک‌هایی تشکیل می‌شوند و این ترک‌ها در فصول بارانی و تشکیل رواناب‌ها به‌عنوان محل ایجاد آبراهه و تشکیل شیارهای بعدی در سطوح شیب‌دار محل تشکیل خندق‌ها نقش ایفا می‌کنند. بررسی داده‌های حاصل از افق‌های خاک نیز حاکی از این است که در بخش‌های سطحی درصد سیلت و رس در بافت خاک زیاد است که این ساختار خاک را در برابر فرسایش آبی بسیار حساس می‌کند.

D که بخش اعظم حوضه اوجان را دربرگرفته است (شکل ۶ و جدول ۱). با عنایت به اینکه میزان رواناب‌ها از نوع خاک‌ها نیز تبعیت می‌کنند، نوع خاک‌های محدوده مورد مطالعه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که نوع خاک‌های محدوده مورد مطالعه از نوع خیلی عمیق هستند که در بخشی بدون شوری و قلیایی و در قسمتی از اراضی با شوری و قلیایت نسبتاً زیاد تشکیل شده‌اند. بافت خاک متوسط تا سنگین و ساختمان آن فشرده است (جدول ۲ و شکل ۶). این خاک در بخش‌های شیب‌دار، بستر مناسبی را برای



شکل ۶: گروه هیدرولوژیک خاک (مربوط به ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸) در حوضه اوجان چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۱: گروه‌بندی خاک برحسب میزان نفوذپذیری

| ردیف | حداقل نفوذپذیری<br>(میلی‌متر در ساعت) | گروه | نوع خاک (ویژگی‌ها)   |
|------|---------------------------------------|------|--|
| ۱    | ۷,۵-۱۱,۵                              | A    | خاک‌هایی را شامل می‌شود که نفوذپذیری بالایی دارند. اغلب ترکیب این خاک‌ها شن یا گراول است.  |
| ۲    | ۳,۸-۷,۵                               | B    | خاک‌هایی را شامل می‌شود که نفوذپذیری بالایی دارند. اغلب ترکیب این خاک‌ها شن یا گراول است.  |
| ۳    | ۳,۸-۱,۳                               | C    | این خاک‌ها نفوذپذیری پایینی دارند و زمانی که مرطوب می‌شوند، دارای بافت نسبتاً ریز تا ریز هستند و میزان جابه‌جایی در آن‌ها کند است. |
| ۴    | ۰-۱,۳                                 | D    | این گروه خاک‌ها نفوذپذیری خیلی پایینی دارند. این خاک‌ها عمدتاً رس هستند و پتانسیل بالایی برای انقباض و انقباض دارند.               |

مأخذ: Chatchai, 2013

جدول ۲: مقدار CN برای حوضه‌ها با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک

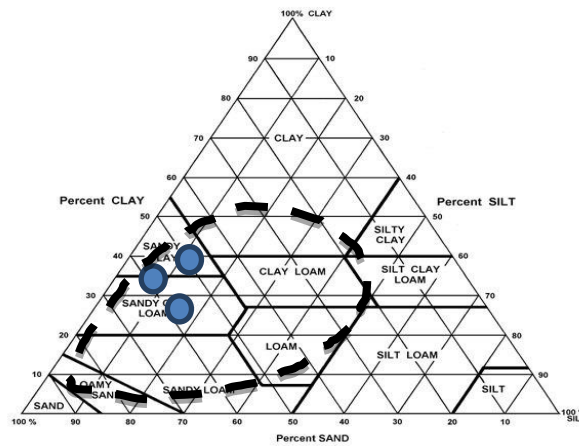
| ردیف | خصوصیات پوشش سطح حوضه                       | A  | B  | C  | D  |
|------|---|----|----|----|----|
| ۱    | خصوصیات پوشش سطح حوضه                       | ۳۶ | ۶۰ | ۷۳ | ۷۹ |
| ۲    | پوشش جنگلی متوسط                            | ۲۵ | ۵۵ | ۷۰ | ۷۷ |
| ۳    | پوشش جنگلی خوب                              | ۴۹ | ۶۹ | ۷۹ | ۸۴ |
| ۴    | مراتع طبیعی با پوشش متوسط                   | ۳۹ | ۶۱ | ۷۴ | ۸۰ |
| ۵    | اراضی کشاورزی                               |    |    |    |    |
| ۶    | زیرکشت حبوبات                               | ۵۵ | ۶۹ | ۷۸ | ۸۳ |
| ۷    | زیرکشت غلات (ردیف‌های مستقیم)               | ۶۵ | ۷۶ | ۸۴ | ۸۸ |
| ۸    | زیرکشت غلات (ردیف‌ها به موازات خطوط تراز)   | ۶۱ | ۷۳ | ۸۱ | ۸۴ |
| ۹    | زیرکشت گیاهان ردیفی                         |    |    |    |    |
| ۱۰   | ردیف‌های مستقیم با پوشش متوسط               | ۷۲ | ۸۱ | ۸۸ | ۹۱ |
| ۱۱   | ردیف‌های مستقیم با پوشش خوب                 | ۶۷ | ۷۸ | ۸۵ | ۸۹ |
| ۱۲   | ردیف‌ها به موازات خطوط تراز                 |    |    |    |    |
| ۱۳   | با پوشش متوسط                               | ۷۰ | ۷۹ | ۸۴ | ۸۸ |
| ۱۴   | با پوشش خوب                                 | ۶۵ | ۷۵ | ۸۲ | ۸۶ |
| ۱۵   | پشت‌بام‌ها، پارکینگ‌ها و دیگر جاهای آسفالتی | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ |
| ۱۶   | مناطق مسکونی با ۶۵ درصد آسفالت              | ۷۷ | ۸۵ | ۹۰ | ۹۲ |
| ۱۷   | مناطق مسکونی با ۲۰ درصد آسفالت              | ۵۱ | ۶۸ | ۷۹ | ۸۴ |
| ۱۸   | خیابان‌ها و جاده‌های آسفالتی                | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ |
| ۱۹   | جاده‌های خاکی                               | ۷۲ | ۸۲ | ۸۷ | ۸۹ |
| ۲۰   | جاده‌های شوسه                               | ۷۶ | ۸۵ | ۸۹ | ۹۱ |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۳: افق خاک در یکی از نمونه‌های برداشت شده

| افق | عمق (سانتی‌متر) | ماسه  | سیلت  | رس    |
|-----|-----------------|-------|-------|-------|
| AP  | ۰-۲۵            | ۴۴,۲۰ | ۴۱,۰۰ | ۱۴,۸۰ |
| C1  | ۲۵-۷۸           | ۵۰,۲۰ | ۳۴,۰۰ | ۱۵,۸۰ |
| C2  | ۷۸-۹۵           | ۸۵,۲۰ | ۱۱,۰۰ | ۳,۸۰  |
| C3  | ۹۵-۱۵۰          | ۴۸,۲۰ | ۴۲,۰۰ | ۹,۸۰  |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۷: هرم بافت خاک یک نمونه از خاک در حوضه اوجان چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

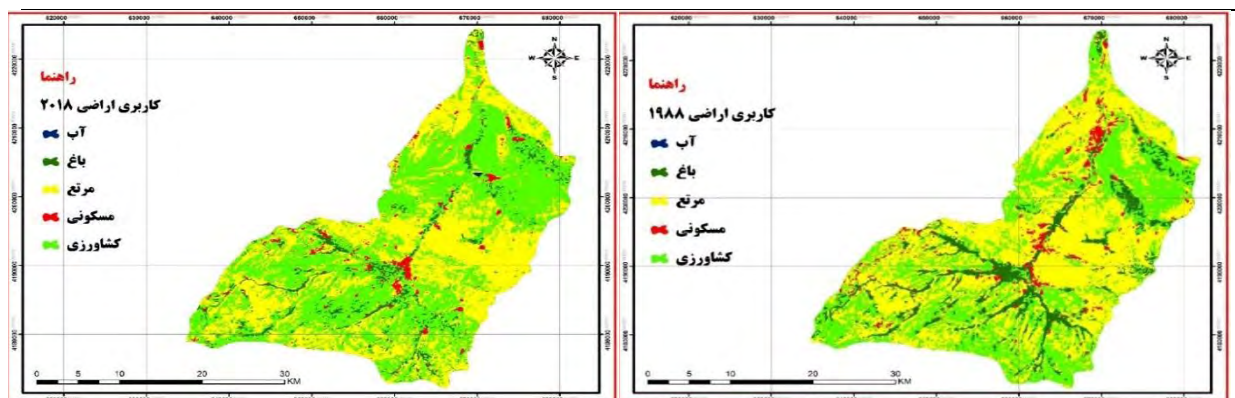
#### پ- بررسی نوع کاربری محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق نوع کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو سال متفاوت (۲۰۱۸ و ۱۹۸۸) تعیین شده است (شکل ۸) پیش از پردازش تصاویر ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی تصاویر با روش حداکثر احتمال پرداخته شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای دو دوره زمانی (سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۱۸) و همچنین نقشه تغییرات کاربری‌ها به یکدیگر در نقشه‌های مربوط آورده شده است (شکل ۹). پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره زمانی مورد مطالعه شد. این تغییرات شامل کاهش، افزایش و تغییرات برای هر کلاس و انتقال از یک کلاس به کلاس‌های دیگر است که در جدول (۴) و شکل (۸) آورده شده است.

شکل (۸-الف) نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۸ را نشان می‌دهد. در این نقشه بیشترین مساحت مربوط به کاربری مرتع با مساحت ۵۴۴,۶۵۷۵۱۸۱ کیلومتر

مربع و کمترین مساحت مربوط به محدوده آب برابر با ۰,۱۸۹۸۹۹۹۷۵ کیلومترمربع است. شکل (۸-ب) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. در این نقشه بیشترین مساحت مربوط به کاربری کشاورزی با مساحت ۵۱۰,۵۸۸۹۵۱۹ کیلومترمربع و کمترین مساحت مربوط به کاربری راه برابر با ۰,۵۷۱۵ کیلومترمربع است (جدول ۴).

نوع کاربری در زمین‌های محدوده حوضه اوجان چای عمدتاً کشاورزی و مرتع است که محدوده این دو نوع کاربری در دو بازه زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ تغییراتی کرده است. در طی ۳۰ سال از محدوده مراتع کاسته شده و بر محدوده زمین‌های کشاورزی افزوده شده است. این بدین معنی است که زمین‌هایی که استعداد زیادی برای امر کشت نداشتند، از محدوده زمین‌های مرتع خارج و تحت کشت قرار گرفته‌اند. در واقع در طی سه دهه، یک‌پنجم از زمین‌های مرتع در اختیار زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند (شکل ۹ و جدول ۶).



ب

الف

شکل ۸: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۹۸۸، (ب) نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

کیلومترمربع و کمترین تغییرات در کاربری آب به کشاورزی بوده‌است. به‌منظور برآورد میزان عمق یا ارتفاع رواناب‌های در سطح گروه‌های مختلف هیدرولوژیک و کاربری‌های مختلف با میزان حداکثر بارش روزانه، تمامی نقشه‌های مربوط به CN، کاربری در دو بازه زمانی مختلف تهیه و محاسبات لازم صورت گرفت و نتایج در جداول (۵ و ۶) درج شد.

برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر برای سال‌های فوق، از ماتریس خطا استفاده شد. ضریب کاپا، دقت کلی و مساحت (کیلومترمربع) هریک از کاربری‌ها برای سال‌های فوق طبق جدول (۵) به‌دست آمد. جدول (۵) بیانگر ماتریس تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ است. بیشترین تغییرات در کاربری مرتع به مرتع با مساحت ۳۴۴،۲۸۱۷۹۸۱

جدول ۴: مساحت و ماتریس تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۸

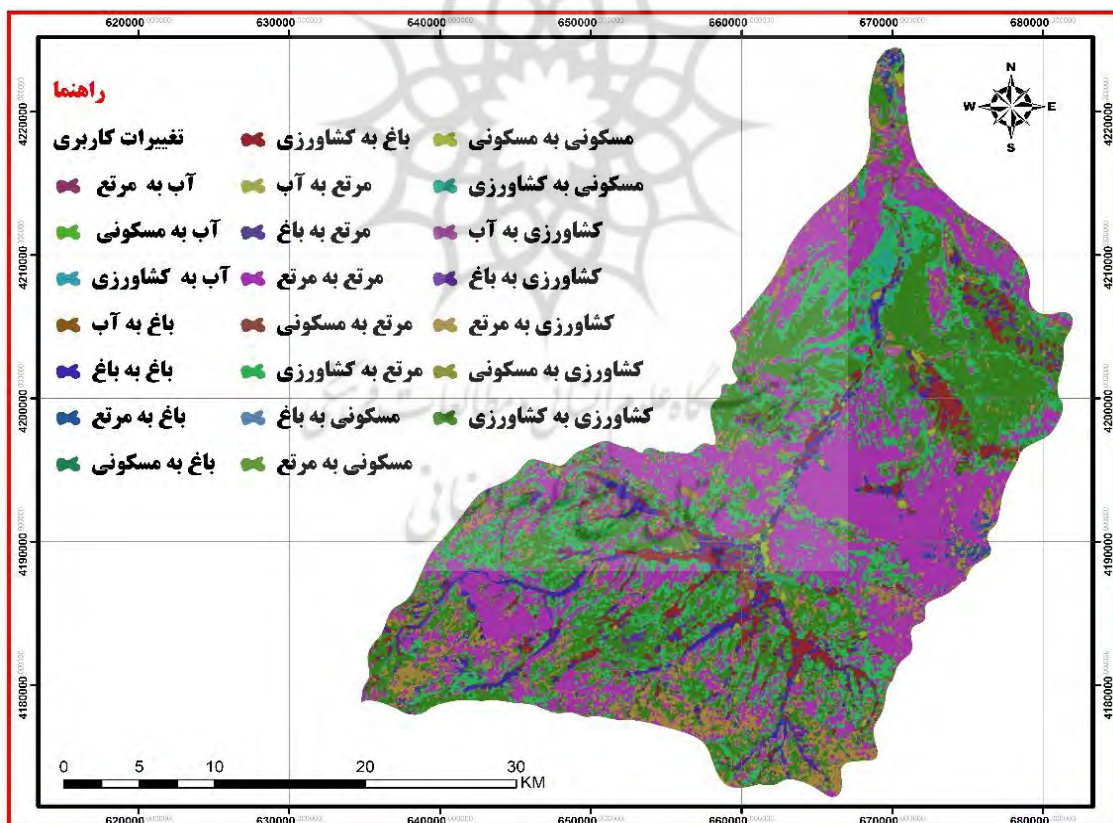
| مساحت (KM <sup>2</sup> ) و ماتریس تغییرات کاربری اراضی ۱۹۸۸-۲۰۱۸ |             |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| کاربری   | آب          | باغ         | کشاورزی     | مرتع        | مسکونی      |
| آب   | -           | -           | ۰,۰۵۰۳۹۹۹۹۳ | ۰,۰۸۹۱۰۰۰۱۱ | ۰,۰۶۰۳۹۹۹۸۷ |
| باغ  | ۰,۰۷۲۸۹۹۹۹۳ | ۳۲,۱۰۷۴۹۹۳۳ | ۵۴,۸۵۲۹۳۵۵۱ | ۱۶,۱۴۷۶۲۶۸۸ | ۳,۲۷۳۳۰۰۰۰۲ |
| کشاورزی  | ۰,۴۶۵۲۹۹۹۶۵ | ۱۷,۹۴۲۰۴۰۴۶ | ۲۵۳,۶۳۹۰۱۰۶ | ۹۰,۴۸۷۸۸۱۸۴ | ۵,۹۵۷۴۰۲۳۸۸ |
| مرتع   | ۰,۰۸۳۳۰۰۰۰۵ | ۵,۳۱۴۳۴۲۴۱۳ | ۱۸۳,۸۳۹۶۲۱  | ۳۴۴,۲۸۱۷۹۸۱ | ۱۱,۱۸۸۴۵۹۰۵ |
| مسکونی   | -           | ۰,۷۷۰۴۰۰۰۰۶ | ۱۸,۲۰۶۹۶۷۸۹ | ۱۲,۲۲۳۴۵۰۲۹ | ۶,۳۲۳۰۵۲۸۲  |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۵: مساحت کاربری‌ها، ضریب کاپا و دقت کلی کاربری ارضی برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۸

| الگوریتم      | سال  | ماهواره | سنجده | کاربری  | مساحت (KM <sup>2</sup> ) | ضریب کاپا | دقت کلی |
|---------------|------|---------|-------|---------|--------------------------|-----------|---------|
| حداکثر احتمال | ۱۹۸۸ | لندست ۵ | TM    | آب      | ۰,۱۸۹۸۹۹۹۷۵              | ۰,۹۳      | ۹۵,۱    |
|               |      |         |       | باغ     | ۱۰۶,۴۵۴۲۶۱۸              |           |         |
|               |      |         |       | کشاورزی | ۳۶۸,۴۹۱۷۹۵۷              |           |         |
|               |      |         |       | مرتع    | ۵۴۴,۶۵۷۵۱۸۱              |           |         |
|               |      |         |       | مسکونی  | ۳۴,۵۲۳۸۷۰۷۷              |           |         |
|               | ۲۰۱۸ | لندست ۸ | OLI   | آب      | ۰,۵۷۱۵                   | ۰,۹۵      | ۹۷,۷    |
|               |      |         |       | باغ     | ۵۶,۱۳۴۲۸۲۰۹              |           |         |
|               |      |         |       | کشاورزی | ۵۱۰,۵۸۸۹۵۱۹              |           |         |
|               |      |         |       | مرتع    | ۴۶۳,۲۲۹۸۸۶۱              |           |         |
|               |      |         |       | مسکونی  | ۲۹,۷۹۲۷۲۶۱۸              |           |         |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۹: تغییرات کاربری در حوضه اوجان چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۶: تغییرات در مساحت کاربری‌های از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸

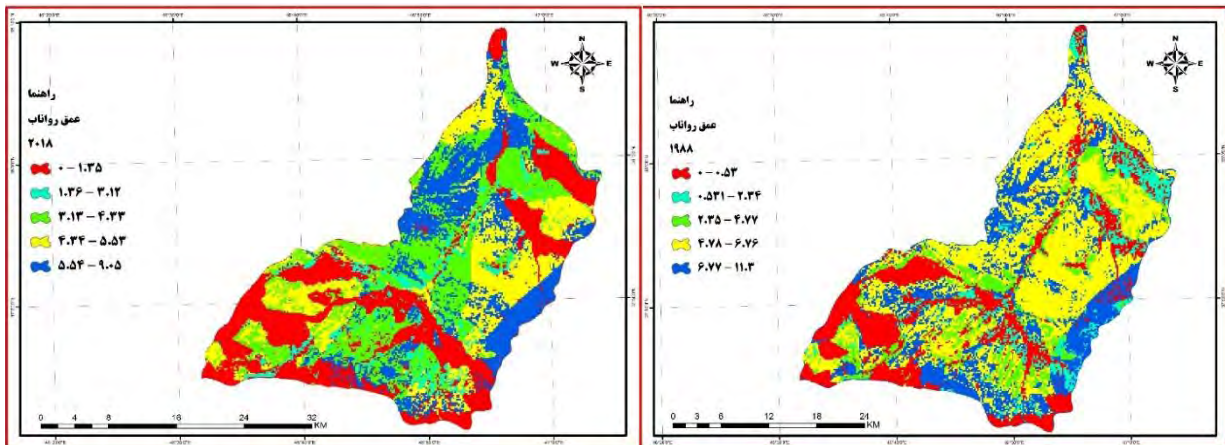
| گروه خاک          |                          |            |
|-------------------|--------------------------|------------|
| خاک               | مساحت (km <sup>2</sup> ) | درصد مساحت |
| A                 | ۱۰۳/۰۲                   | ۸/۹۵       |
| B                 | ۱۳۷/۰۵                   | ۱۱/۹۲      |
| C                 | ۲۱۷/۳۴                   | ۱۸/۹۰      |
| d                 | ۶۹۲/۳۶                   | ۶۰/۱۸      |
| کاربری اراضی ۱۹۸۸ |                          |            |
| کاربری            | مساحت (km <sup>2</sup> ) | درصد مساحت |
| آب                | ۰/۱۸۹                    | ۰/۰۱۸      |
| باغ               | ۱۰۶/۴۵                   | ۱۰/۰۹      |
| کشاورزی           | ۳۶۸/۴۹                   | ۳۴/۹۵      |
| مرتع              | ۵۴۴/۶۵                   | ۵۱/۶۵      |
| مسکونی            | ۳۴/۵۲                    | ۳/۲۷       |
| کاربری اراضی ۲۰۱۸ |                          |            |
| کاربری            | مساحت (km <sup>2</sup> ) | درصد مساحت |
| آب                | ۰/۵۷۱                    | ۰/۰۵       |
| باغ               | ۵۶/۱۳۴                   | ۵/۳۹       |
| کشاورزی           | ۵۱۰/۵۸                   | ۴۸/۱۵      |
| مرتع              | ۴۶۳/۲۲                   | ۴۳/۶۸      |
| مسکونی            | ۲۹/۷۹                    | ۲/۸        |

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

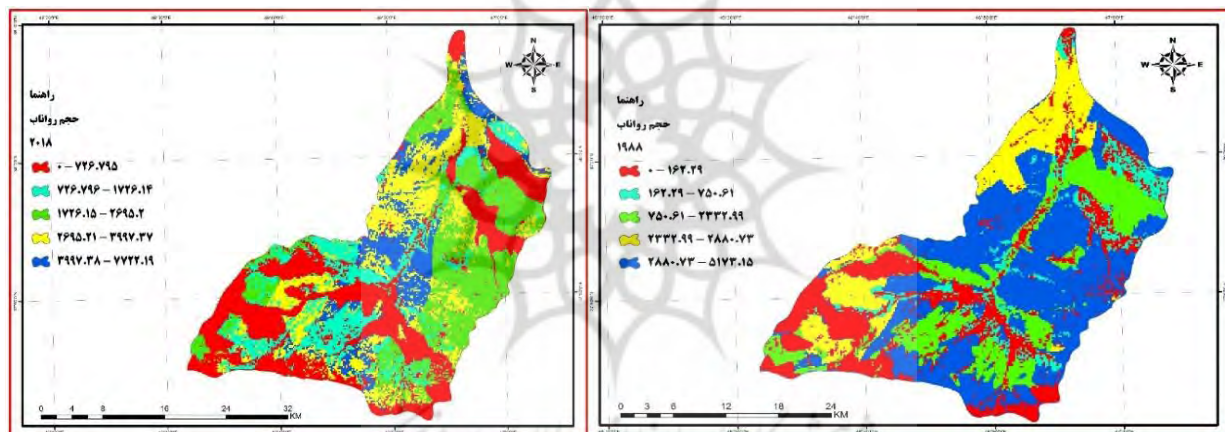
مکان‌های حداکثری صورت گرفته‌است. در سال ۱۹۸۸ رواناب‌های قوی با قدرت سایش بالا، بیشتر در قسمت‌های جنوب‌شرقی متمرکز شده بودند و پس از ۳۰ سال و با شدت کمتر در قسمت‌های مرکزی متمرکز شده‌اند که علت آن بیشتر مربوط به تغییرات کاربری‌ها در قسمت‌های مرکزی و قسمت‌های جنوب‌شرقی است (شکل‌های ۱۱ و ۱۰). بررسی اشکال مربوط به حجم رواناب نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۸ محدوده‌هایی با بیشترین رواناب در قسمت‌های مرکزی و در اطراف شیب‌های منتهی به دشت‌های سیلابی قرار گرفته بودند (شکل‌های ۱۱ و ۱۰). پس از سه دهه، در محدوده‌های مربوط به بیشترین حجم رواناب تغییرات مکانی دیده می‌شود. در سال‌های اخیر تمرکز حجم بالای رواناب در قسمت‌های مرکزی متمرکز شده‌است.

**ت- بررسی ویژگی‌های سطوح مختلف حوضه برای ایجاد رواناب**

سطوح حوضه در رابطه با ویژگی‌های خاک یا توپوگرافی‌ای که دارند، می‌توانند رواناب‌هایی با دبی متفاوت ایجاد کنند. یکی از روابط معتبر که برای برآورد دبی در سطوح دامنه‌ها به منظور بررسی میزان رواناب‌های تولیدشده مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا است. با توجه به نوع پوشش سطحی و بارش و نوع کاربری، رواناب‌های سطحی را بررسی و برآورد می‌کند. در این روش به نوع خاک و نوع کشت توجه شده‌است. براساس نوع خاک و مقادیر ارائه‌شده، میزان رواناب‌های تولیدشده مورد محاسبه قرار گرفته‌اند. نقشه‌های نهایی که براساس مدل L-THIA برای دو بازه زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ تهیه شده (شکل ۱۱ و ۱۰) نشان می‌دهد که تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای از نظر مقدار رواناب و



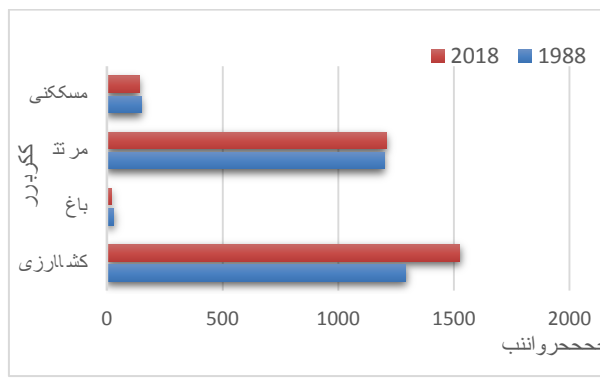
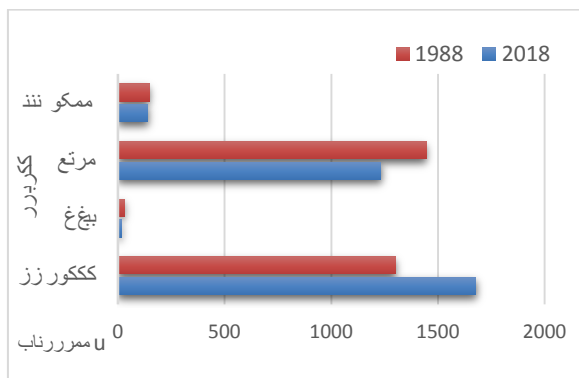
شکل ۱۰: الف) نقشه عمق رواناب در سال ۱۹۸۸، ب) در سال ۲۰۱۸ بر روی انواع کاربری‌ها تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۱۱: الف) نقشه حجم رواناب در سال ۱۹۸۸، ب) در سال ۲۰۱۸ بر روی انواع کاربری‌ها تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

دهد. این وضعیت در رابطه با محدوده باغات متفاوت است. مخصوصاً در سال‌های اخیر وضعیت پیچیده‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). در مراتع بین ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸ در میزان ارتفاع رواناب، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۳).

بررسی نمودارهای ارتفاع رواناب‌ها و مقایسه دو بازه زمانی متفاوت در یک کاربری ویژه (شکل‌های ۱۴ تا ۱۵) در رابطه با تغییر پارامتر بارش نشان می‌دهد که تغییر در پارامتر بارش می‌تواند در محدوده‌های کشاورزی رواناب را به صورت قابل‌ملاحظه‌ای افزایش

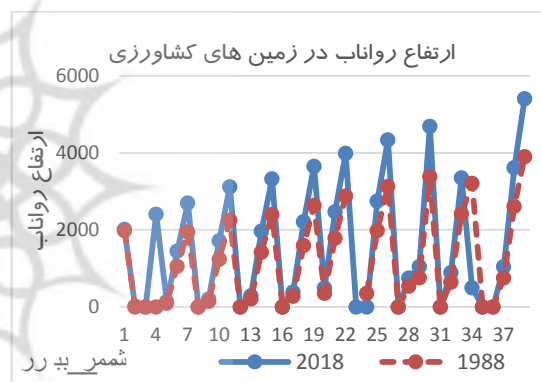
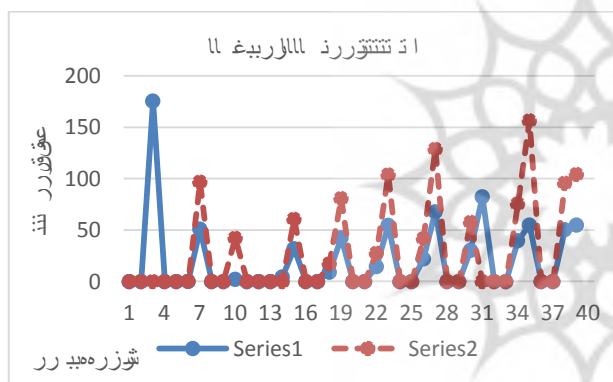


ب

الف

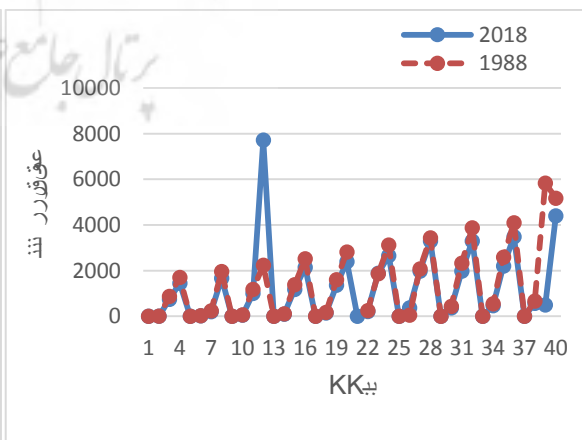
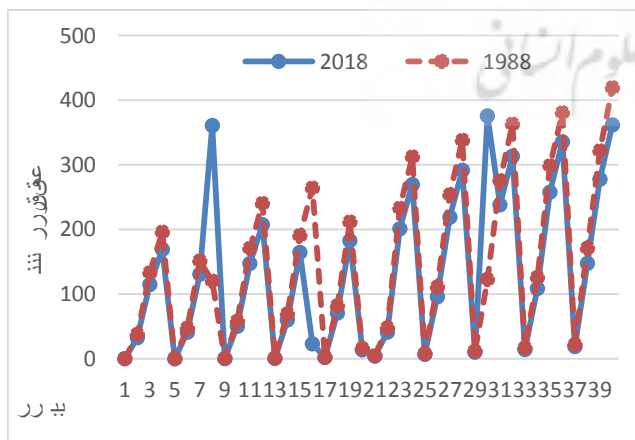
شکل ۱۲: روند تغییرات حجم رواناب، (ب) عمق رواناب در نوع کاربری‌ها در دو سال ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۱۳: ارتفاع رواناب در زمین‌های کشاورزی (برای بارش‌های ۲۱ تا ۳۰ میلی‌متری) و عمق رواناب در باغات در دو بازه زمانی متفاوت

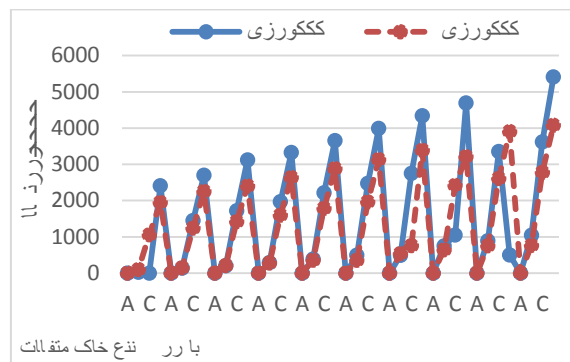
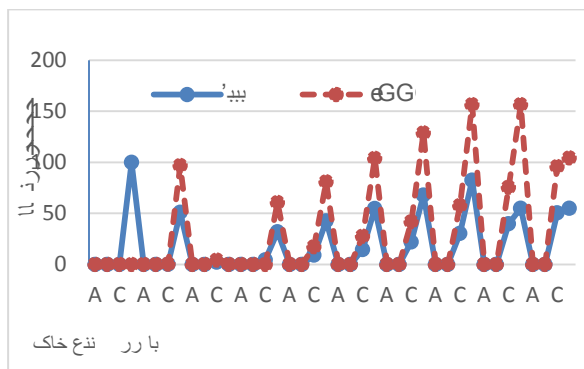
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۱۴: عمق رواناب در مراتع ۲۰۱۸ و عمق رواناب در نواحی مسکونی در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸

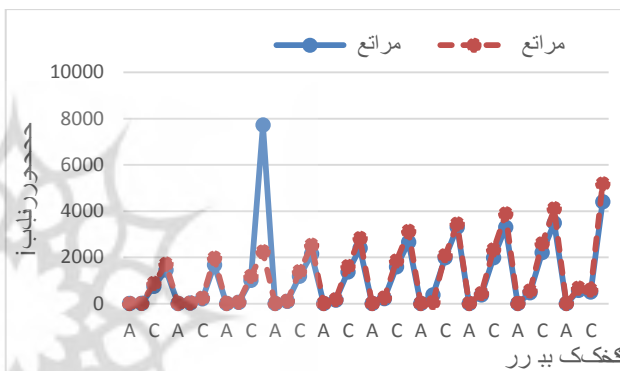
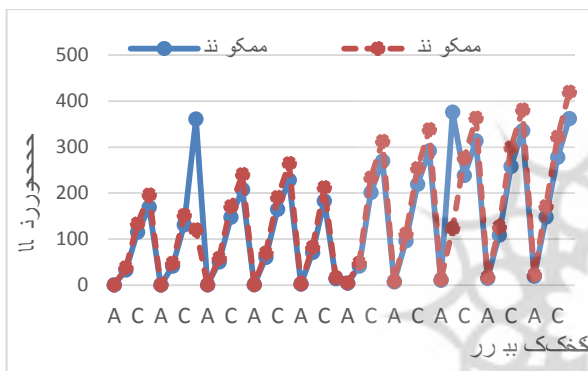
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷





شکل ۱۵: حجم رواناب در کاربری کشاورزی و حجم رواناب در کاربری باغات در سال‌های ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۱۶: حجم رواناب در کاربری مراتع و کاربری مسکونی در سال‌های ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

فراهم ساخته‌است. براساس بازدیدهای میدانی و با عنایت به حضور شواهدی از فرسایش تشدیدشده، می‌توان این محدوده را جزء محدوده‌های تحت فرسایش شدید ناشی از تغییرات در میزان رواناب‌های به سبب تغییرات کاربری معرفی کرد. با عنایت به تغییرات اقلیمی و روند خشکی محیط و همچنین افت سطح آب‌های زیرزمینی، به نظر می‌رسد که در سال‌های پیش‌رو آشفستگی دامنه‌ها تشدید شده و میزان رواناب‌ها افزایش یافته و بر تعداد سیلاب‌های مخرب افزوده خواهد شد. اغلب به دلیل اینکه در محدوده‌های مرتعی مورد نظر کشت و آن هم کشت افراطی صورت می‌گیرد، خاک دامنه‌ها توسط رواناب‌ها تحت فرسایش شدید قرار گرفته‌است.

در این تحقیق که هدف آن بررسی نقش تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی ناشی تغییرات کاربری با تأکید

عمق رواناب در انواع کاربری‌ها و بارش‌های متفاوت نشان می‌دهد که در بارش‌های کمتر بیشترین ارتفاع رواناب در زمین‌های تحت کاربری کشاورزی دیده می‌شود. با افزایش بارندگی، مراتع بیشترین رواناب را تولید می‌کنند و دوباره با افزایش بارش بیشترین تولید رواناب مربوط به زمین‌های کشاورزی است. در زمین‌های کشاورزی میزان رواناب در سه دهه افزایش و در مراتع کاهش یافته‌است (شکل ۱۶). موارد مورد ذکر در مورد حجم رواناب نیز صادق است.

### نتیجه

محدوده مورد مطالعه از محدوده‌های مرتعی کشور محسوب می‌شود و متأسفانه تغییرات کاربری و کشت غیراصولی در دامنه‌ها زمینه را برای فرسایش آبکندی

دشت‌های سیلابی قرار گرفته بودند. پس از سه دهه در محدوده‌های مربوط به بیشترین حجم رواناب تغییرات مکانی دیده می‌شود. در سال‌های اخیر تمرکز حجم بالای رواناب بر قسمت‌های مرکزی بوده است.

نتایج جیخول و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) و سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۹۱) تأییدکننده این امر است که با تغییرات کاربری در میزان رواناب‌ها، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای صورت می‌گیرد.

درنهایت می‌توان گفت که در محدوده‌های خشک و نیمه‌خشک، خاک و آب از منابع طبیعی تقریباً کمیاب محسوب می‌شوند و حفظ این منابع و استفاده درست و اصولی از آن‌ها باید از اولویت‌های کشور محسوب شود. متأسفانه در سال‌های اخیر با این تصور که می‌توان به راحتی تغییر کاربری داد یا بدون در نظر گرفتن توان خاک از آن بهره‌کشی کرد، بسیاری از فرایندهای طبیعی را مختل کرده یا عملکرد آن‌ها را تسریع بخشیده است. حوضه اوجان‌چای در گذشته از حوضه‌های پرآب منطقه محسوب می‌شد که تغییرات در منابع آبی در این حوضه نیز جلوه‌گر شده است. عدم توجه به تغییرات در شرایط اقلیمی، موجب سرمایه‌گذاری عمرانی و ایجاد سدهای متعددی در این حوضه شده است. مردم محلی نیز بر زمین‌های کشت و همچنین مراتع فشار مضاعفی وارد کرده‌اند که خود این عوامل عملکرد فرایند هیدروژئومورفولوژیکی حوضه را تغییر داده است. ارزیابی محدوده‌ها تحت خطر فرسایش و وقوع رواناب‌ها می‌تواند اقدامات اصولی را در مسیر درست و منطبق با توان اکولوژیک قرار دهد و از آشفته‌گی‌های محلی جلوگیری کند.

بر نقش رواناب‌ها در فرسایش سطحی است، با استفاده از مدل L-THIA نقش تغییرات کاربری در ایجاد رواناب‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بررسی‌ها نشان داد که نوع کاربری در زمین‌های محدوده حوضه اوجان‌چای عمدتاً کشاورزی و مرتع است. در محدوده این دو نوع کاربری در دو بازه زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ تغییراتی رخ داده است؛ بدین صورت که در طی ۳۰ سال از محدوده مراتع کاسته شده و بر محدوده زمین‌های کشاورزی افزوده شده است. این بدین معنی است که زمین‌هایی که استعداد زیادی برای امر کشت نداشتند، از محدوده زمین‌های مرتع خارج و تحت کشت قرار گرفته‌اند. در واقع در طی سه دهه، یک‌پنجم از زمین‌های مرتع در اختیار زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. بیشترین تغییرات در کاربری مرتع، به مرتع با مساحت ۳۴۴,۲۸۱۷۹۸۱ کیلومترمربع و کمترین تغییرات در کاربری آب به کشاورزی بوده است.

نقشه‌های نهایی که براساس مدل L-THIA برای دو بازه زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ تهیه شده است، نشان می‌دهد که تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای از نظر مقدار رواناب و مکان‌های حداکثری صورت گرفته است. در سال ۱۹۸۸ رواناب‌های قوی با قدرت سایش بالا، بیشتر در قسمت‌های جنوب‌شرقی متمرکز شده بودند و بعد از ۳۰ سال و با شدت کمتر در قسمت‌های مرکزی متمرکز شده‌اند که علت آن بیشتر تغییرات کاربری‌ها در قسمت‌های مرکزی و قسمت‌های جنوب‌شرقی است. نتایج بررسی‌ها حاکی از این است که در سال ۱۹۸۸ محدوده‌هایی با بیشترین رواناب در قسمت‌های مرکزی و در اطراف شیب‌های منتهی به

## منابع

- غفاری، گلاره؛ جمال قدوسی؛ حسن احمدی (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 ۱. ۱۳۸۸. صفحات ۱۸۸-۱۶۳.  
[http://jwsc.gau.ac.ir/article\\_585.html](http://jwsc.gau.ac.ir/article_585.html)
- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۵). ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد امیرکبیر (کرج))، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳. صفحات ۱۹۸-۱۸۵.  
[https://gdij.usb.ac.ir/article\\_3808\\_98e9f917c6e7f05032e3f1ce0fa0e908.pdf](https://gdij.usb.ac.ir/article_3808_98e9f917c6e7f05032e3f1ce0fa0e908.pdf)
- مؤذنی، مهدی؛ واحد آقایی؛ احد بدلی؛ پری همایون پری (۱۳۹۴). بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر پارس‌آباد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اولین کنگره بین‌المللی زمین‌فضا و انرژی پاک. اردبیل. صفحه ۲۷.  
<https://civilica.com/doc/456660/>
- یاراحمدی، جمشید؛ محمدرضا نیکجو (۱۳۹۱). بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وقوع سیلاب‌ها در حوضه صوفی‌چای، جغرافیا و برنامه‌ریزی. دوره شانزدهم. شماره ۳۹. بهار ۱۳۹۱. صفحات ۱۶۹-۱۵۱.  
[https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article\\_197\\_38ae4717e203d607c506d9043261b3a4.pdf](https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_197_38ae4717e203d607c506d9043261b3a4.pdf)
- Ahiablame. Laurent M, Bernard A. Engel & Indrajeet Chaubey (2012). Representation and Evaluation of Low Impact Development Practices with L-THIA-LID: An Example for Site Planning, Environment and Pollution, Vol. 1, No. 2.1-13.  
[https://www.researchgate.net/publication/271324096\\_Representation\\_and\\_Evaluation\\_of\\_Low\\_Impact\\_Development\\_Practices\\_with\\_L-THIA-LID\\_An\\_Example\\_for\\_Site\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/271324096_Representation_and_Evaluation_of_Low_Impact_Development_Practices_with_L-THIA-LID_An_Example_for_Site_Planning)
- آتسخوار، فاطمه؛ حسین صمدی؛ عطاالله ابراهیمی (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آقبلاغ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، سومین همایش ملی مهندسی. تهران. ص ۶۸.  
<https://civilica.com/doc/156131>
- اسفندیاری، فریبا؛ ابراهیم بهشتی‌جاوید؛ محمدحسین فتحی (۱۳۹۳). ارزیابی آثار هیدرولوژیک تغییر کاربری بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبخیز قره‌سو با استفاده از مدل L-THIA هیدروژئومورفولوژی، دوره یکم. شماره ۱. صفحات ۷۳-۵۹.  
[https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article\\_197\\_38ae4717e203d607c506d9043261b3a4.pdf](https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_197_38ae4717e203d607c506d9043261b3a4.pdf)
- خلیقی، بهرام؛ محمد مهدوی؛ بهرام ثقفیان (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. صفحات ۵۲-۳۴.  
[https://journals.ut.ac.ir/article\\_25409\\_cb2c6806bb7f762362e276c3c683fee8.pdf](https://journals.ut.ac.ir/article_25409_cb2c6806bb7f762362e276c3c683fee8.pdf)
- رضوی‌زاده، سمانه؛ علی سلاجقه؛ شهرام خلیقی؛ محمد جعفری (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 شصت‌وششم. شماره ۳. صفحات ۳۸۶-۳۷۳.  
[https://jrwm.ut.ac.ir/article\\_36514\\_0a24782a5cfa5b396ff0e7332c70f613.pdf](https://jrwm.ut.ac.ir/article_36514_0a24782a5cfa5b396ff0e7332c70f613.pdf)
- سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ اکرم حسین‌نیا؛ سیدمحمود قاسم‌پوری؛ احد توسلی؛ مه‌در رضایی (۱۳۹۱). ارزیابی درازمدت آثار هیدرولوژیک (L-THIA) تغییر کاربری بر رواناب سالانه در مقیاس حوضه آبخیز. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۶. صفحات ۱۳۴-۱۲۵.  
[https://gdij.usb.ac.ir/article\\_485\\_369666123c53783e48fb27e447ee6015.pdf](https://gdij.usb.ac.ir/article_485_369666123c53783e48fb27e447ee6015.pdf)

- 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 No.76, 45-35.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15854735/>
- 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 Vol.35, No.35, 194-205.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15902457/>
- 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, No.4 ,Pages 220-232.  
<https://erwp.org/index.php/data-and-research/61/>
- 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, No.20 , 88-105.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216941300245X>
- Jichul Ryu, Won Seok Jang, Jonggun Kim, Gwanjae Lee, Kwangsik Yoon, Yong Seok Kim and Kyoung Jae Lim (2017). Development and evaluation of ArcGIS based watershedscale L-THIA ACN-WQ system for watershed management, Water Science & Technology: Water Supply, No.60, 139-149.  
<https://iwaponline.com/ws/article/18/4/1206/39224/Development-and-evaluation-of-ArcGIS-based>
- 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, No.8, 97-109.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23312041.2015.1115691>
- 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.  
[file:///D:/Downloads/Developing a Web-Enabled Tool to Assess Long-Term %20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/Developing a Web-Enabled Tool to Assess Long-Term %20(1).pdf)