



بررسی نقش تغییرات کاربری زمین بر تغییرات هیدروولوژیکی سطوح در محدوده ی کوهستانی مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز اوجان چای

مریم بیاتی خطیبی*

استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

چکیده

در حوضه های زهکشی که بدون توجه به توان اکولوژیکی به شدت مورد استفاده قرار گرفته و در آنها بدون عنایت به توان شیب های طبیعی و نوع خاک به تغییرات کاربری اقدام شده است، آشفتگی های شدیدی در سطح دامنه ها رخ داده است. یکی از تبعات مهم چنین تغییراتی، افزایش میزان رواناب های سطحی و به دنبال آن افزایش فرسایش خاک می باشد. در محدوده ی اوجان چای (از زیرحوضه های مهم واقع در دامنه های شرقی کوهستان سهند) علی رغم توجه به نوع خاک و ویژگی های توپوگرافی و اقلیم حاکم، تغییرات ناشی از دست اندازی انسان به شیب ها و تغییرات کاربری زیاد است. با توجه کندوکاری های ناشی از فرسایش شیاری و بطور کلی آبکندی به نظر می رسد که تغییرات رواناب به واسطه ی تغییر کاربری در محدوده ی مورد نظر بسیار زیاد می باشد. محدوده ی مورد مطالعه از محدوده های مرتعی کشور محسوب می شود و اغلب به دلیل اینکه در محدوده های مرتعی کشت و آنهم کشت افراطی صورت می گیرد، خاک دامنه ها توسط رواناب ها تحت فرسایش شدید قرار گرفته اند. در این تحقیق هدف بررسی نقش تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی ناشی تغییرات کاربری در حوضه ی اوجان چای است. در این تحقیق از مدل L-THIA برای تخمین رواناب ناشی از تغییر کاربری در حوضه استفاده شده است. برای بکارگیری مدل L-THIA ابتدا بارش ایستگاه ها تهیه و از تصاویر ماهواره ای لندست (سنجنده TM و ETM) و نرم افزار تخصصی L-THIA و Arc Map استفاده شد. با توجه به مدل ارائه شده، لایه کاربری زمین و گروه های هیدروولوژیکی خاک تهیه شد. نتایج بررسی ها نشان داد که در سطوحی که تغییر کاربری صورت گرفته، ارتفاع و حجم رواناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ به دو برابر افزایش یافته است. در حوضه ی مورد مطالعه، افزایش وسعت زمین های تحت کشت و تغییرات کاربری زمین از مرتع به زمین کشاورزی به تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی منجر شده است.

کلمات کلیدی: تغییرات کاربری زمین، رواناب، سیلاب، فرسایش، مدل L-THIA، حوضه ی آبریز اوجان چای

۱- مقدمه

در یک حوضه‌ی زهکشی، تغییر در کاربری زمین، عملکرد فرایندهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در محدوده‌های خشک که شیب‌ها بی‌نهایت نسبت به دست‌اندازی‌های غیراصولی انسان حساس هستند، فرایندهای هیدروژئومورفولوژیکی نسبت به کوچک‌ترین تغییرات در نوع کاربری (بدون توجه به ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه) عکس‌العمل نشان می‌دهند. در حوضه‌های زهکشی نواحی خشک و نیمه-خشک که اکوسیستم توان ترمیم سریع خود را ندارد، نهایت دقت در کاربری زمین باید صورت گیرد. تأثیرات هیدرولوژیک ناشی از تغییرات در کاربری اراضی در قالب تغییر در عمق رواناب، ددبی 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 که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش میزان نفوذپذیری زمین، که به فرسایش شیاری منجر می‌شود و همچنین افزایش قدرت حمل رسوب و خارج از دسترس شدن خاک‌های مناسب، کاهش کیفیت آب و بسیاری از موارد دیگر.

بررسی اثرات فعالیت‌های انسانی و تغییرات در نوع کاربری بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی در آثار محققانی زیادی مانند هاک و هاروی و کیس و همکاران^۱ (۲۰۰۸) قابل پیگیری است. این محققین از جمله محققانی هستند که در سال ۲۰۰۸ به بررسی فرآیندهایی که به تغییرات در رفتار و مورفولوژی رودخانه‌ها و در نتیجه به فرسایش کناری منجر می‌شود پرداختند. در این بررسی‌ها آنها به این نتیجه رسیدند که، تغییرات در رفتار رودخانه‌ها نقش انسان و تغییرات کاربری زمین برجسته است. ویجی سکارا و همکاران^۲ (۲۰۱۲) در پژوهشی آثار تغییرات کاربری بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی را در حوضه‌ی رودخانه البو مورد بررسی قرار دادند. مدل هیدرولوژیکی به کار رفته در پژوهش این محققین 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 تعرق، جریان پایه و نفوذپذیری رخ داده است. اوزتورک و همکاران^۳ (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. بوکسوال و گوی مر^۴ (۲۰۰۷) تغییرات در مسیر جریان رودخانه‌ها را در رابطه با مدیریت محیطی مورد مطالعه قرار دادند و با مطالعات آزمایشگاهی اثرات

۱- Hack and harvey, Kiss et al.,

۲- Vichi et al.,

۳- Ozturk et al.,

۴- Boxall and Guymer

تغییرات در پارامترهای مختلف را بر رفتار رودخانه‌ها به اثبات رساندند. چاتچایی و همکاران^۱ (۲۰۱۳)، در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیم و تغییرات کاربری اراضی در سیلاب‌های حوضه‌های بزرگ حاره‌ای پرداختند. مدل شبیه‌سازی شده آنها و آنالیزهای حساسیت نشان داد که احتمال 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. 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. ونگ و همکاران^۲ (۲۰۰۵) و کادن و همکاران^۳ (۲۰۰۶) یانگ و همکاران^۴ (۲۰۰۸)، از دیگر محققان خارجی قابل ذکری هستند که در محدوده موضوع کارهای تحقیقی ارایه داده‌اند. رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری زمین را در وقوع سیلاب‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده، 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 منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ سیل خیزی مثبت بوده است. آتشخوار و همکاران (۱۳۹۱)، مودنی و همکاران (۱۳۹۴)، خلیقی و همکاران (۱۳۸۴)، قهرودی (۱۳۸۵)، غفاری و همکاران (۱۳۸۸)، یاراحمدی و نیکجو (۱۳۹۱)، از دیگر محققینی هستند که در زمینه تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از تغییرات کاربری کارهای پژوهشی ارزنده‌ای ارایه داده‌اند.

در محدوده‌ی حوضه‌ی آبریز اوجان‌چای (از زیرحوضه‌های واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند) با توجه به نوع خاک (خاک سنگین) و ویژگی‌های توپوگرافی (کوهستانی بودن) و اقلیم حاکم (نیمه‌خشک)، تغییرات هیدروژئومورفولوژی ناشی از دست‌اندازی انسان به شیب‌ها و تغییرات کاربری زمین زیاد بوده است. با توجه به کندوکاری‌های ناشی از فرسایش در دامنه‌های محدوده اوجان‌چای، به نظر می‌رسد که تغییرات در میزان رواناب‌ها به واسطه‌ی تغییرات کاربری در محدوده‌ی مورد نظر بسیار زیاد می‌باشد. محدوده‌ی مورد مطالعه از محدوده‌های مرتعی کشور محسوب می‌شود و متأسفانه کشت بطور غیر اصولی در دامنه‌هایی که برای کشت توان ندارند، صورت می‌گیرد. با عنایت به تغییرات اقلیمی (افزایش دما و کاهش بارش طی ۴۰ سال گذشته) و روند خشکی محیط و همچنین افت سطح آب‌های زیرزمینی انتظار می‌رود که در سال‌های پیش‌رو آشفته‌گی دامنه‌ها تشدید شده و میزان رواناب‌ها افزایش یافته و بر تعداد سیلاب‌های مخرب افزوده

۱- Chatchai et al.,

۲- Vang et al.,

۳- Caden et al.,

۴- Yang et al.,

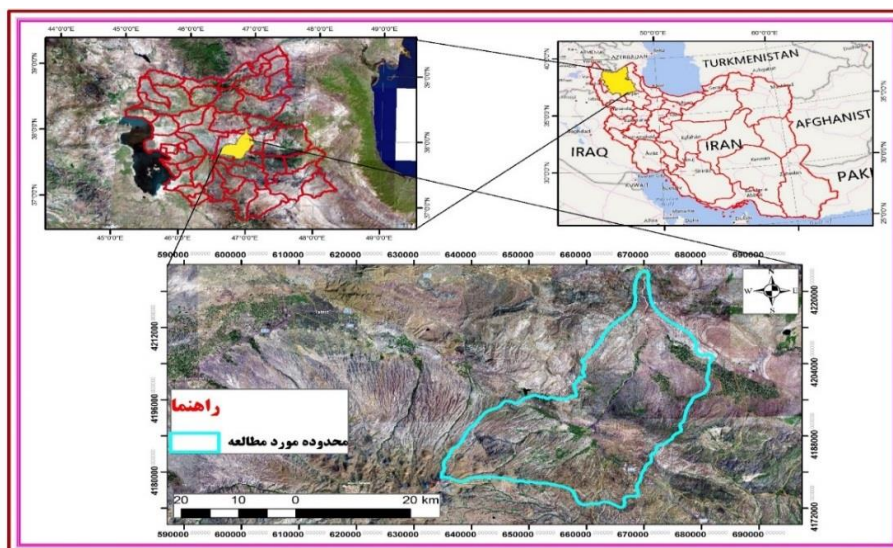
شود. اغلب به دلیل اینکه در محدوده‌های مرتعی محدوده مورد نظر کشت و آنهم کشت افراطی صورت می‌گیرد، خاک دامنه‌ها توسط رواناب‌ها تحت فرسایش شدید قرار گرفته‌اند. با توجه به این که محدوده‌ی مورد مطالعه مهم‌ترین مرکز دامپروری و محل کشت محصولات کلیدی بوده و در سال‌های اخیر تحت آشفتگی‌های زیادی قرار گرفته و میزان وقوع سیلاب‌ها و میزان فرسایش افزایش یافته است، لازم است که توان زمین در رابطه با نوع کاربری‌ها و تغییرات فرسایش مورد مطالعه قرار گیرد. در این تحقیق، نقش تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی ناشی تغییرات کاربری زمین با تأکید بر نقش رواناب‌ها در فرسایش سطحی مورد بررسی قرار گرفته است. به عبارت دیگر سعی بر این بوده است که با توسل به مدل قابل اطمینان تأثیر تغییرات کاربری بر عملکرد فرایندهای هیدروژئومورفولوژیکی در حوضه اوجان مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی حوضه اوجان چای

حوضه‌ی اوجان‌چای از زیرحوضه‌های مهم آجی‌چای است که از غرب به زیر حوضه‌ی سعیدآباد، از شرق به زیرحوضه‌های دیگری که از رودخانه‌های دامنه‌های شرقی سهند تغذیه می‌شوند، از شمال به کوهستان سهند و از جنوب به بستان‌آباد محدود می‌شود. این حوضه در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 44'$ تا $37^{\circ} 54'$ عرض شمالی و $46^{\circ} 31'$ تا $46^{\circ} 50'$ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

حداکثر ارتفاع آن در بخش جنوب-جنوب غربی یعنی بزداغ با ارتفاع ۳۵۴۰ متر قرار گرفته و حداقل ارتفاع آن در محل پیوست رودخانه‌ی اوجان به آجی‌چای دیده می‌شود. آبخیز اوجان‌چای به مساحت حدود ۱۰۸۲ کیلومتر مربع، از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند بشمار می‌آید. سنگ‌های رسوبی و آذرین و خاک‌هایی با ضخامت زیاد بخش‌های مختلف آن را پوشش می‌دهند. تشکیلات ولکانوسدیمانترها (ایگنبریت‌ها) بخش وسیعی از حوضه‌ی اوجان‌چای را در بر گرفته است. بخش مهمی از حوضه توسط سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است. سنگ‌های رسوبی میوسن شامل سازند قرمز تحتانی و واحدهای متشکل از مارن ژیبسی و ماسه سنگ تشکیل شده است. رسوبات کواترنر به شکل تراس‌ها و مخروط افکنه‌ها به طور عمده در قسمت‌های شمالی حوضه دیده می‌شوند. جنس این آبرفت‌ها از نوع رودخانه‌ای همراه با گل و لای، رس و ماسه‌های تخریب شده از سنگ‌های حوضه محسوب می‌شوند.



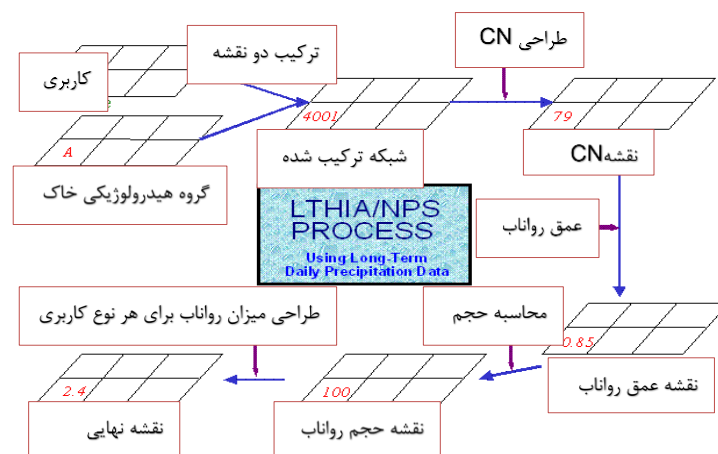
شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی (محدوده) مورد مطالعه

Fig (1): The study area

۲-۲- روش تحقیق

برای شبیه‌سازی آثار تغییر کاربری یک منطقه یا حوضه‌ی آبریز، مدل‌های هیدرولوژیکی زیادی وجود دارد که مدل L-THIA یکی از آنهاست. این مدل روشی برای ارزیابی آثار درازمدت هیدرولوژیک در یک حوضه است که می‌توان توسط آن تغییرات نسبی را که به واسطه تغییر کاربری در رواناب رخ داده، تعیین نمود. مدل فوق ابزار مناسبی برای کمک به سنجش آثار بالقوه تغییر کاربری بر رواناب‌های سطحی است (سلمان ماهینی، ۱۳۹۱؛ حسین‌نیا، ۱۳۸۷: ۴۵). بخش اصلی این مدل بر مبنای روش شماره‌ی منحنی (CN) سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است (تانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۳). یکی از مزایای L-THIA عدم نیاز به کالیبراسیون مدل با داده‌های واقعی منطقه است. کالیبراسیون مدل به صورت خودکار با استفاده از ترکیب‌های مختلف CN پیش‌فرض موجود در L-THIA GIS صورت می‌پذیرد (پری و نواز، ۲۰۰۸: ۱۰). در این مقاله برای به کارگیری مدل L-THIA، بارش ایستگاه‌ها تهیه گردیده و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده TM و ETM) و نرم‌افزار تخصصی L-THIA و Arc Map استفاده شد (شکل ۲). با توجه به مدل ارائه شده (شکل ۲) لایه‌ی کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک که از موارد ضروری برای اجرای مدل است تهیه گردید. برای تهیه نقشه‌ی کاربری زمین در دوره‌های مختلف (طی ۳۰ سال)، از تصاویر سنجنده‌های ماهواره لندست استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تولید رواناب است برای سال‌های مختلف به طور جداگانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لایه‌ی کاربری زمین تهیه گردید تا در مدل‌سازی مورد

استفاده قرار گیرد. برای انجام این کار، تصاویر پس از آماده‌سازی وارد محیط نرم‌افزار شد و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده لایه کاربری زمین تهیه گردید. برای لایه های مربوط شاخص‌های مورد نظر تهیه و در نهایت لایه ترکیبی بدست آمد. در این محاسبات، بخشی از اطلاعات از نقشه‌های رقومی گرفته شده و بخشی از داده‌های مورد نیاز -مخصوصاً در مواردی که ابهامات وجود داشت -از بررسی‌ها و سنجش‌های میدانی بدست آمده است.



شکل (۲): مراحل اجرایی مدل L-THIA

Fig (2): Execution steps of L-THIA model

-تعیین شماره‌ی منحنی CN براساس کاربری اراضی و با فرض رطوبت متوسط از جداول مربوطه بدست آمده است.

-ارتفاع نگهداشت آب نیز بر حسب میلی‌متر از رابطه‌ی زیر بدست آمده است:

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (1)$$

-محاسبه‌ی ارتفاع معادل رواناب سطحی R بر حسب mm از رابطه‌ی زیر محاسبه شده است:

$$R = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad (2)$$

-تبدیل واحد R به واحد m و A به واحد m^2 و سپس محاسبه‌ی حجم رواناب به m^3 از رابطه‌ی زیر محاسبه شده است:

$$V = R.A \quad (3)$$

به منظور تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی با انجام پیش‌پردازش‌های اولیه مانند تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری، همچنین تهیه نمونه‌های تعلیمی، تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزارهای مربوطه، با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی گردیدند. (Lu et al., 2004: 31). در این پژوهش به منظور آشکارسازی تغییرات از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها، روش حداکثر احتمال با نظارت الگوریتم ML است (Richards et al, 1999: 263) استفاده شده است. براساس اینکه مبنای طبقه‌بندی تصویر در این روش بر اساس قوانین احتمال پایه‌ریزی شده است، لذا معیار اختصاص دادن یک پیکسل به هر کلاس بر مبنای تابع توزیع احتمال بوده و در این روش، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور فرض شده است که همه مناطق مورد نظر از پراکندگی نرمالی برخوردارند. در این مقاله و با استفاده از روش مذکور، 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 طبقه بندی شده است که موارد فوق براساس رابطه‌ی (۴) بیان می‌شود. (Rasouli, 2009: 777).

$$(w_i|x) = \frac{p(w_i)p(\frac{x}{w_i})}{p(x)} \quad (4)$$

در این رابطه؛ $P(X)$ عبارت است از احتمال حضور کلاس w_i در تصویر، $P(w_i/x)$ احتمال تعلق هر پیکسل با مشخصه طیفی x به کلاس w_i و $p(w_i/x)$ احتمال تعلق هر پیکسل با مشخصه طیفی x که در تصویر ظاهر شده به کلاس w_i و $p(X)$ احتمال حضور پیکسل با مشخصه طیفی است می‌باشد (جمالی و همکاران، ۳۹: ۱۳۹۶). برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر، از ماتریس خطا، ضریب کاپا و دقت کلی استفاده شده است. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل از رابطه‌ی (۵) به دست آمده است.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (5)$$

در این رابطه؛ OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی، $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد. ضریب کاپا، صحت یک طبقه‌بندی را نسبت به طبقه تصادفی محاسبه می‌کند. شاخص کاپا از رابطه‌ی (۶) محاسبه شده است.

$$Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \times 100 \quad (6)$$

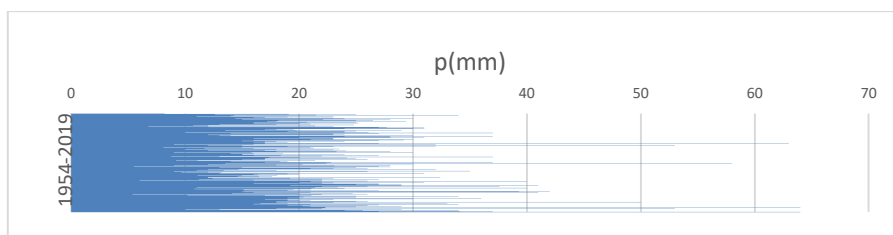
در این رابطه؛ po موارد مشاهده شده، pc توافق مورد انتظار در ماتریس خطا، در رابطه با تداخل یا تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد. نقشه‌های کاربری اراضی برای دو دوره‌ی زمانی (سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۱۸) و همچنین نقشه‌ی تغییرات کاربری‌ها در طی ۳۰ سال تهیه شده است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- اقلیم

برای بررسی شرایط اقلیمی محدوده‌ی مورد مطالعه از آمار ایستگاه‌های مجاور و ایستگاه‌های مسیر جریان شخاب‌های اصلی اوجان استفاده شده است. براساس آمار ایستگاه‌های موجود متوسط بارش سالانه در ایستگاه ليقوان، ۳۲۷ میلی‌متر، سعیدآباد ۴۴۴/۳۴ میلی‌متر، ارشتناب ۲۹۹/۲ میلی‌متر و بستان‌آباد ۲۶۷/۳ میلی‌متر می‌باشد که توزیع آن در طول سال بطور یکسان صورت نمی‌گیرد. نتایج حاصل از بررسی روند بارش در ایستگاه‌های مورد نظر حاکی از این است که طی پنجاه سال اخیر روند کاهش بارش بطور محسوسی در منطقه‌ی مورد مطالعه صورت گرفته است. بررسی داده‌های بارش توسط نگارنده نشان می‌دهد که تقریباً از متوسط ۳۵۰ میلی‌متر بارش سالانه به ۲۵۰ میلی‌متر رسیده است. این کاهش بارش به منزله‌ی کاهش درصد پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش حفاظ دامنه‌ها و همچنین کاهش رطوبت موجود در خاک دامنه‌ها است که موجب می‌شود که دامنه‌ها بیشتر در معرض فرسایش دامنه‌ای و بطور اخص در معرض فرسایش قرارگیرند. نتایج بررسی روند دما نیز نشان می‌دهد که روند دما در محدوده‌ی مورد مطالعه افزایشی بوده است یعنی از متوسط ۱۲/۵ درجه به ۱۳/۱۳۵ درجه رسیده است.

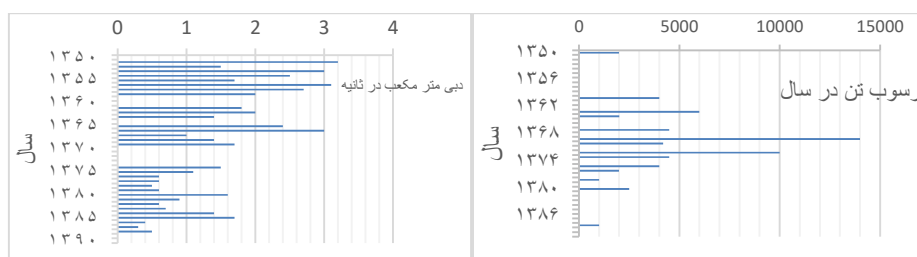
هر چند که متوسط بارش سالانه روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۳)، اما بررسی بارش‌های روزانه در کلیه ایستگاه‌ها حاکی از این است که حداکثرهای بارش‌های روزانه یعنی بارش‌های رگباری که در به راه افتادن رواناب‌ها و تشدید فرسایش سهمیم هستند، از سال ۲۰۰۰ به این طرف افزایش یافته است. میزان حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مستقر در محدوده‌ی حوضه و خارج از محدوده‌ی آن استخراج و هم درمدل و هم در پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد که در دو نقشه مربوط به ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸ بیشترین بارش مربوط به قسمت‌های جنوبی محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد.



شکل (۳): بارش روزانه کل ایستگاه‌های باران سنجی و سینوپتیک حوضه‌ی آبریز اوجان چای
Fig (3): Daily precipitation of all climatic synoptic stations of Ojan Chay basin

۳-۲- دبی و رسوب

با توجه به ویژگی‌های حاکم بر شیب‌های محدوده‌ی مورد مطالعه یعنی نوع ترکیبات خاک (اغلب رسی - لومی) در سطوح شیب‌دار، عدم حفاظت دامنه‌ها و تغییرات سریع در سطوح آنها و همچنین کشت غیراصولی، رواناب‌های منتهی به رودخانه‌ی اصلی مواد دامنه‌ای زیادی را در اختیار رودخانه‌ی اوجان قرار می‌دهد. اوج دبی رودخانه در ایستگاه بستان‌آباد در مسیر اوجان چای در ماه فروردین ثبت شده و در ماه‌های مرداد و تیر میزان دبی به حداقل خود می‌رسد. در ایستگاه دیزناب هم چنین شرایطی دیده می‌شود. بررسی روند تغییرات دبی و رسوب نشان می‌دهد که از دهه ۵۰ تا سال ۱۳۹۰ از میزان دبی کاسته شده، اما روند رسوب افزایشی بوده است که این امر اهمیت توجه به کاهش فرسایش دامنه‌ها را افزایش می‌دهد. بررسی‌ها همچنین حاکی از این است که میزان کاهش در اوج‌های دبی در طی چهار دهه‌ی گذشته بیش از ۶ برابر بوده است. در طول رودخانه‌ی اوجان افزایش میزان رسوب در دهه‌ی ۷۰ بیشتر از سایر دهه‌ها بوده است (شکل ۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که از دهه‌ی ۵۰ به این طرف از میزان دبی به میزان قابل توجهی کاسته شده است اما بر میزان رسوب افزوده شده است.



شکل (۴): روند کاهش دبی و میزان رسوب در طی سال‌های متمادی در ایستگاه بستان‌آباد

Fig (4): Decreasing trend of discharge and sediment rate over many years at Bostan Abad station

حداکثر تراکم زهکشی ۳/۸۴ و متوسط تراکم زهکشی در کل حوضه ۱/۴۶ است. بیشترین تراکم زهکشی نیز در بخش‌های مرکزی اوجان دیده می‌شود که این محدوده منطبق با محدوده‌ی گسترش خاک‌های رسی است.

۳-۳- خاک

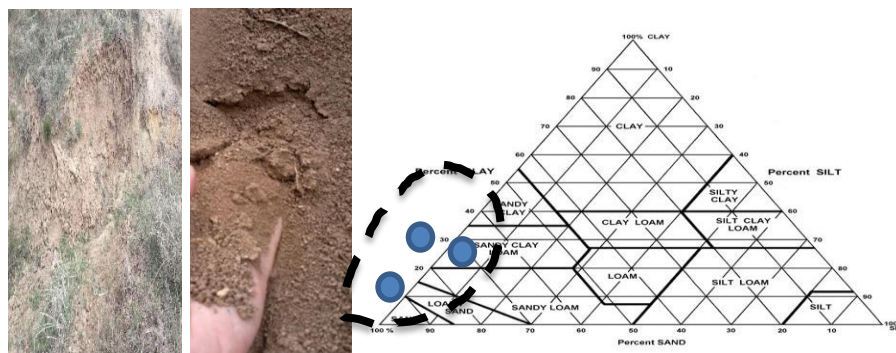
خاک‌های محدوده‌ی مورد مطالعه خاک‌هایی از نوع خیلی عمیق هستند (در بعضی از قسمت‌ها به بیش از ۳ متر) که در بخشی بدون شوری و قلیایی و در قسمتی از اراضی با شوری و قلیایت نسبتاً زیاد تشکیل شده‌اند. بافت خاک متوسط تا سنگین و ساختمان آن فشرده است. این خاک در بخش‌های شیب‌دار بستر مناسبی را برای تشکیل خندق‌های عمیق و گسترده فراهم نموده است. بررسی داده‌های حاصل از افق‌های خاک نیز حاکی از این است که در بخش‌های سطحی درصد سیلت و رس در بافت خاک زیاد است (جدول ۱) که این ساختار خاک را در برابر فرسایش آبی بسیار حساس می‌کند (شکل ۵).

نوع خاک همراه با چند عامل دیگر تعیین‌کننده‌ی میزان جابجایی آب در سطوح شیب‌دار است. محدوده‌ی مورد مطالعه با ماهیت کوهستانی و دارا بودن شرایط آب و هوایی خاص، بسیار مستعد برای تشکیل رواناب‌ها و فرسایش بعدی است. در این تحقیق با استفاده از مدل L-THIA. نوع خاک با توجه به نقشه‌های خاک موجود، نمونه‌های تهیه شده، گزارش خاک مطالعات سایر سازمان‌ها و همچنین با تکیه بر تجربیات میدانی، گروه هیدرولوژیک خاک در محدوده‌ی مورد مطالعه به عنوان اساس مدل بکار گرفته شده، تعیین گردید (جدول ۲). در نقشه‌ی تهیه شده مشخص است، محدوده‌ی گروه هیدرولوژیک A در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی مشاهده می‌شود. محدوده مربوط به گروه هیدرولوژیک B بیشتر در بخش‌های شمالی، شمال شرقی 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 D که بخش اعظم حوضه‌ی اوجان را در بر گرفته است (شکل ۶).

جدول (۱): افق خاک در یکی از نمونه‌های برداشت شده

Tab (1): Soil horizon in one of the samples taken

افق	عمق (سانتی متر)	ماسه (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
AP	۲۵-۰	۴۴/۲۰	۴۱/۰۰	۱۴/۸۰
C1	۷۸-۲۵	۵۰/۲۰	۳۴/۰۰	۱۵/۸۰
C2	۹۵-۷۸	۸۵/۸۲۰	۱۱/۰۰	۱۳/۸۰
C3	۱۵۰-۹۵	۴۸/۲۰	۴۲/۰۰	۹/۸۰



شکل (۵): هرم بافت خاک از یک نمونه از خاک در حوضه‌ی اوجان چای
Fig (5): Soil texture pyramid from a sample of soil in the Ojan Chai basin

بعد از گروه‌بندی خاک، مقدار CN برای حوضه‌ها با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک تعیین شده است. نوع کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو سال متفاوت (۲۰۱۸ و ۱۹۸۸) تعیین گردیده است (شکل ۷) نوع کاربری در زمین‌های محدوده‌ی حوضه‌ی اوجان چای عمدتاً کشاورزی و مرتع است که محدوده‌ی این دو نوع کاربری در دو بازه‌ی زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ تغییراتی را دیده است. در طی ۳۰ سال از محدوده‌ی مرتع کاسته شده و بر محدوده‌ی زمین‌های کشاورزی افزوده شده است. این بدین معنی است که زمین‌هایی که استعداد زیادی برای امر کشت نداشتند از محدوده‌ی زمین‌های مرتع خارج و تحت کشت قرار گرفته‌اند. در واقع در طی سه دهه، یک پنجم از زمین‌های مرتع در اختیار زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند.

جدول (۲): گروه بندی خاک برحسب میزان نفوذپذیری

Tab (2): Soil grouping according to permeability

گروه	حداقل نفوذپذیری (میلی متر در ساعت)	ردیف
A	۷/۵-۱۱/۵	۱
B	۳/۸-۷/۵	۲
C	۳/۸-۱/۳	۳
D	۰-۱/۳	۴

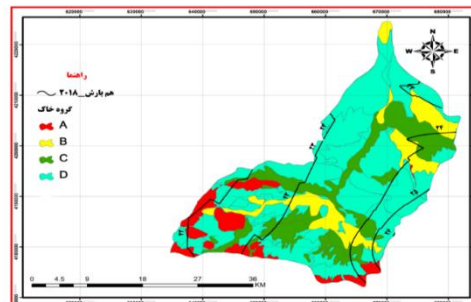
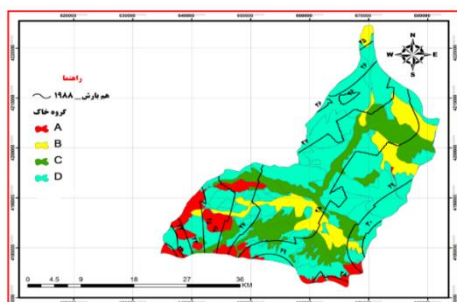
بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره‌ی زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مساحت مربوط به کاربری مرتع با مساحت ۵۴۴/۶۵۷۵ کیلومتر مربع و کمترین مساحت با مربوط به کاربری آب برابر با ۰/۸۹۸۹۹ کیلومتر مربع می‌باشد (جدول ۳). شکل (۷) نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. در این نقشه بیشترین مساحت مربوط به کاربری کشاورزی با مساحت ۵۱۰/۵۸۸۹ کیلومتر مربع و کمترین مساحت با مربوط به کاربری راه برابر با ۰/۵۷۱۵ کیلومتر مربع می‌باشد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی

تصاویر برای سال‌های فوق، از ماتریس خطا استفاده شده است (ضریب کاپا). جدول (۴) بیانگر ماتریس تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ می‌باشد. بیشترین تغییرات در کاربری مرتع با مساحت ۳۴۴/۲۸۱۷۹ کیلومتر مربع و کمترین تغییرات در کاربری آب به کشاورزی بوده است (شکل ۸). به منظور برآورد میزان عمق و یا ارتفاع رواناب‌های در سطح گروه‌های مختلف هیدرولوژیک و کاربری‌های مختلف با میزان حداکثر بارش روزانه، تمامی نقشه‌های مربوط به CN، کاربری در دو بازه‌ی زمانی مختلف تهیه و محاسبات لازم صورت گرفت. بررسی نقشه‌های عمق رواناب مربوط به سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای از نظر مقدار و مکان حداقل‌ها و حداکثرها صورت گرفته است. در سال ۱۹۸۸ رواناب‌های قوی با قدرت سایش بالا بیشتر در قسمت‌های جنوب شرقی متمرکز شده بودند، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بعد 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 جنوب شرقی است (شکل ۹ و ۱۰).

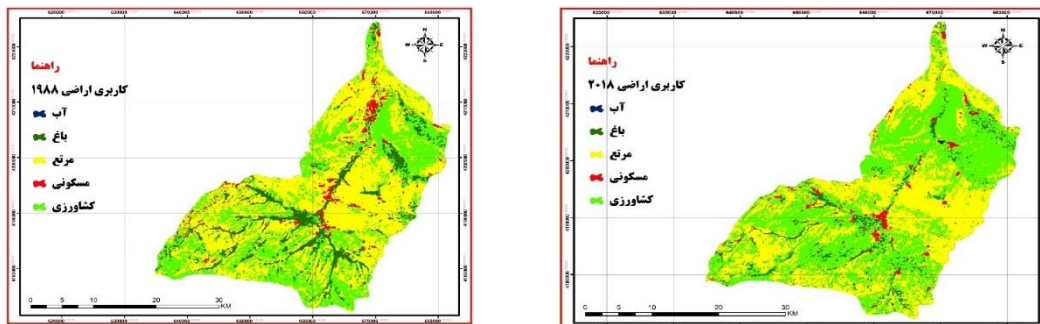
جدول (۳): مساحت کاربری‌ها، ضریب کاپا و دقت کلی کاربری ارضی برای سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۱۸

Tab (3): Land use area, kappa coefficient and overall land use accuracy for 1987, 2018

الگوریتم	سال	ماهواره	سنجنده	کاربری	مساحت (KM ²)	ضریب کاپا	دقت کلی
حداکثر احتمال	۱۹۸	لندست ۵	TM	آب	۰/۱۸۹۹۹۷	۰/۹۳	۱/۹۵
	۸			کشاورزی	۳۶۸/۳۹۱۷۹		
				مرتع	۵۴۴/۶۵۷۵		
				مسکونی	۲۴/۵۲۲۸		
				آب	۰/۵۷۱۵		
	۲۰۱	لندست ۸	OLI	باغ	۵۶/۱۲۴۲	۰/۹۵	۹۷۷
	۸			کشاورزی	۵۱۰/۵۸۸۹		
				مرتع	۳۶۲/۲۲۹۸		
				مسکونی	۲۹/۷۹۳۷		



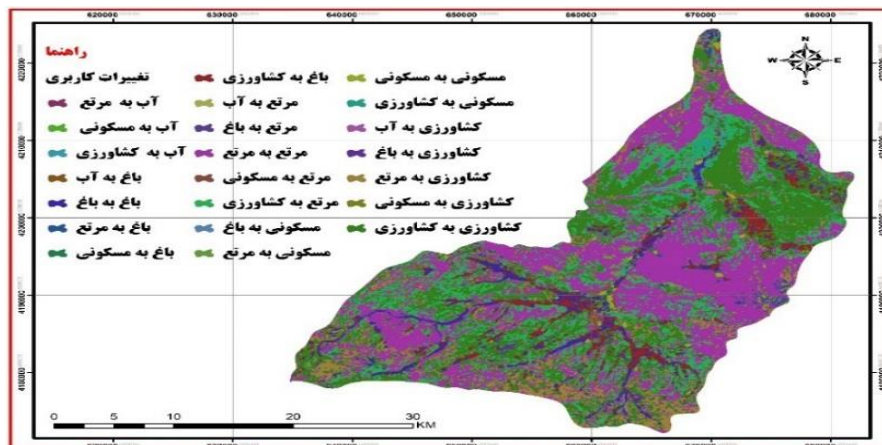
شکل (۶) گروه هیدرولوژیک خاک همراه با بارش (مربوط به ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸) حوضه‌ی آبریز اوجان چای
Fig (6) Soil hydrological group with precipitation curves (corresponding to 2018 and 1988) of Ojan Chay basin



شکل (۷): نقشه‌ی طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸
Fig (7): Land use classification map of 1988 and 2018

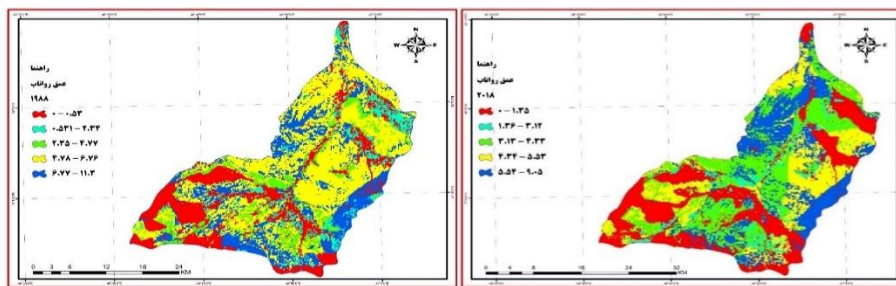
جدول (۴): مساحت و ماتریس تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۱۸
Tab (4): Area and matrix of land use changes for the years 1987, 2018
 مساحت (KM²) و ماتریس تغییرات کاربری اراضی ۱۹۸۸-۲۰۱۸

کاربری	آب	باغ	کشاورزی	مرتع	مسکونی
آب	-	-	۰/۰۵۰۳۹۹	۰/۰۸۹۹۱	۰/۰۶۰۳۹۹
باغ	۰/۰۷۲۸۹۹	۳۲/۱۰۷۴	۵۴/۸۵۲۹۳	۱۶/۱۳۷۴	۳/۳۷۳۳
کشاورزی	۰/۴۶۵۲۹۹۹	۱۷/۹۴۲۰	۲۵۳/۶۳۹۰	۹۰/۲۸۷۸۸	۵/۹۵۷۴
مرتع	۰/۰۸۳۲۰۰	۵/۳۱۴۲	۱۸۳/۸۲۹۶۲	۲۳۳/۲۸۱۷	۱۱/۱۸۸۴۵
مسکونی	-	۰/۷۷۰۴۰	۱۸/۲۰۶۹۶۷	۱۲/۲۳۳۴۵	۶/۳۲۳۰۵

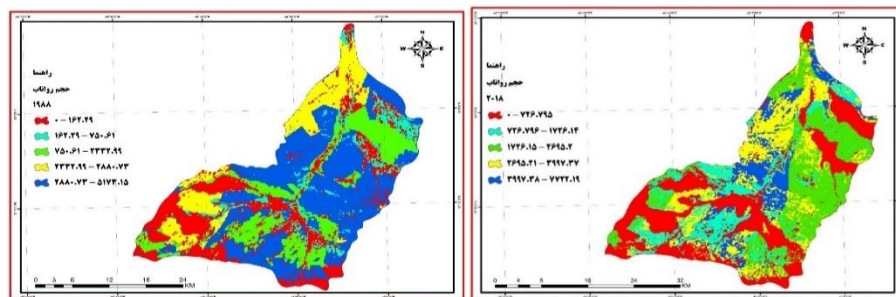


شکل (۸): تغییرات کاربری در حوضه آبریز اوجان چای
Fig (8): Land use changes in Ojan Chay Basin

بررسی اشکال مربوط به حجم رواناب (شکل ۹ و ۱۰) نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۸ محدوده‌هایی با بیشترین رواناب در قسمت‌های مرکزی و در اطراف شیب‌های منتهی به دشتهای سیلابی قرار گرفته بودند.



شکل (۹): نقشه‌ی عمق رواناب در سال ۱۹۸۸ (راست) و ۲۰۱۸ (چپ) بر روی انواع کاربری‌ها
Fig (9): Runoff depth map in 1988 and 2018 on various land uses



شکل (۱۰): نقشه‌ی حجم رواناب در سال ۱۹۸۸ (راست) و ۲۰۱۸ (چپ) بر روی انواع کاربری‌ها
Fig (10): Runoff volume map in 1988 and 2018 on a variety of land uses

بعد از سه دهه در محدوده‌های مربوط به بیشترین حجم رواناب تغییرات مکانی دیده می‌شود. به لحاظ تغییرات کاربری در سال‌های اخیر تمرکز حجم بالای رواناب در قسمت‌های مرکزی متمرکز شده است. تغییر در میزان رواناب در محدوده‌های کشاورزی به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایشی است. این وضعیت در رابطه با محدوده‌ی باغات متفاوت است. مخصوصاً در سال‌های اخیر وضعیت پیچیده‌ای را نشان می‌دهد. در مورد مراتع بین ۲۰۱۸ و ۱۹۸۸ در میزان ارتفاع رواناب تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. عمق رواناب در انواع کاربری‌ها و بارش‌های متفاوت است. در بارش‌های کمتر بیشترین ارتفاع رواناب در زمین‌های تحت کاربری کشاورزی دیده می‌شود. اما با افزایش بارندگی مراتع بیشترین رواناب را تولید می‌کند 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 یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های نشان می‌دهد که در طول سه دهه‌ی گذشته در محدوده‌ی مورد مطالعه، زمین‌های مرتعی زیادی به زیر کشت رفته‌اند. به عبارت دیگر سطوح شیب‌داری که در سال ۱۹۸۸ به عنوان مراتع شناخته می‌شدند و باید در این راستا مورد استفاده قرار می‌گرفتند، تغییر کاربری داده و به زیر کشت رفته‌اند. وسعت زمین‌های کشاورزی از ۳۶۸/۴۹ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۸ به ۵۱۰/۵۸ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ رسیده است. نتایج محاسبات در چنین زمین‌های نشان می‌دهد که ارتفاع و حجم رواناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ به دو برابر افزایش یافته است. در واقع با افزایش وسعت زمین‌های تحت کشت و تغییرات کاربری زمین از مرتع به زمین کشاورزی بر میزان رواناب‌ها افزوده است و با ادامه چنین روندی زمین‌هایی با توان کمتر می‌توانند به زمین‌های بایر تبدیل شوند. نتایج بررسی‌ها بر روی خاک‌های مستقر بر شیب‌ها نشان می‌دهد که با وقوع بارش‌های روزانه شدید در کمترین زمان رواناب‌های عمیق با حجم بالا تشکیل و خاک فرسوده گردد. کشت ردیفی در زمین‌هایی که قبلاً مرتع بودند به تشکیل رواناب‌ها کمک زیادی می‌کنند.

بیش از ۴۰۰ هکتار از زمین‌های تحت کشت در محدوده‌ی مورد مطالعه با عملکرد متوسط ۵۰ تن در هکتار در به کشت هویج اختصاص دارد و در سال‌های اخیر بیش از ۲۰ هزار تن هویج از مزارع محدوده برداشت می‌شود. علاوه بر این محصول، زمین‌های شیب‌دار تحت انواع کشت نامتناسب با توان زمین قرار گرفته است که خود این امر به فرسایش بیشتر خاک منجر شده و می‌شود. نتیجه بررسی‌ها با مدل مورد استفاده و نتیجه نهایی حاصل از این تحقیق در محدوده‌ی حوضه اوجان چای نشان می‌دهد که بخش عمده علت افزایش ارتفاع و حجم رواناب، تغییرات کاربری زمین در این حوضه بوده است.

۵- منابع

- Khaligi, B., Mahdavi, M., Sagafiyan, B. (2005). Investigating the effect of land use change on flooding using NRCS model, *Natural Resources of Iran*, Vol.58, No. 4, 41-58.
- Razvizadeh, S., alajegehe, A., Khaligi, S., Gafari, M. (2014). Investigating the effect of land use change on flooding using, HEC-HMS model (case study: Taleghan watershed) *Journal of Rangeland and Watershed Management*, Vol. 66, No.3, 373-386.
- Sadati,H,Golami,S.,Sharifi,F.,Ayobzadeh,A.(2008).Investigating the effect of land use change on runoff, *Journal of Rangeland and Watershed Management*, Vol,4.No.3.301-315.

- Gafari, G., Godosi, J., Amadi, H. (2009). Investigating the effect of land use on hydrological responses of the watershed (Case study: Zanjan River watershed). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, Vol.16, No.1, 163-188.
- Gohrodi, M. (2006). Evaluation of SCS-CN model, in runoff estimation, Case study: Amirkabir dam catchment (Karaj). *Journal of Geography and development*, No.3, 27-40.
- Mahini, S., Hosseinnia, A. Resaimehri, A. (2012). Long-term evaluation of the hydrological effects (L-THIA) of land use change on annual runoff at the watershed scale, *Journal of Geography and development*, No. 26, 52-75.
- Soleimani, L., Hagizadeh, A., Zainivand, H. (2016). Determining the best models for estimating infiltration in different land uses, for optimal management of watersheds (Case study: Kakashraf watershed, Lorestan province), *Journal of Watershed Management*, Vol. 7, No.13. 17-35.
- Vahidi, Mohammadjavad; Rasoul Mirabbasi Najafabadi; Mohsen Ahmadi. (2020). Analysis and ranking of soil erosion prevention methods using multi-criteria decision-making methods in rural areas of Darmian County, South Khorasan, *Hydrogeomorphology*, Vol. 6, No, 23.209-233.
- Yamani, Mojtaba, Hamid Ganjaeian; Lila Garoso; Mahnaz Javedan. (2020). Identification of susceptible areas for the development of agricultural lands based on parameters Hydro geomorphology (Case study: Sanandaj city), *Hydrogeomorphology*, Vol. 6, No, 23.1-20.
- 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*, Vol, 490. 88-105.
- Evrard, O., Julien Némery., Nicolas Gratiot., Clément Duvert., Sophie Ayrault., Irène Lefèvre., Jérôme Poulenard., Christian Prat., Philippe Bonté., Michel Esteves (2010). Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides, *Geomorphology*, No. 124. 42-54.
- Feng, X., Yafeng Wang., Liding Chen., Bojie Fu., Gangshuan Bai. (2010). Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau, *Geomorphology*, No. 118, 239-248.
- Gabet, E., Andy Bookter. (2008). A morphometric analysis of gullies scoured by post-fire progressively bulked debris flows in southwest Montana, USA, *Geomorphology*, No.96. 298-309.
- Govers, G., Rafael Giménez Kristof Van Oost. (2007). Rill erosion: Exploring the relationship between experiments, modelling and field observations *Earth-Science Reviews*, No.84, 87-102.

- Hentati, A., Akira Kawamura, Hideo Amaguchi, Yoshihiko Iseri. (2010). Evaluation of sedimentation vulnerability at small hillside reservoirs in the semi-arid region of Tunisia using the Self-Organizing Map, *Geomorphology*, No. 122, 56–64.
- Kakembo, V., W.W. Xanga, K. Rowntree. (2009). Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of communal areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa, *Geomorphology*, No. 110, 188–194.
- Khairulmaini Osman Salleh and Fatemeh Mousazadeh (2011). Gully erosion in semiarid regions, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, No. 19, 651–661.
- Kertész, Á., Gergely, J. (2011). The 2nd International Geography Symposium GEOMED2010 Gully erosion in Hungary, review and case study, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 693–701.
- Kheir, R., Jean Chorowicz., Chadi Abdallah., Damien Dhont. (2008). Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model for Lebanon, *Geomorphology*, No. 93, 482–492.
- Imaizumi, F., Tsuyoshi Hattanji., Yuichi S. Hayakawa. (2010). Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan, *Geomorphology*, No. 115, 32–42.
- Lubo, G., Yun Lei, Ren Yi., Cui Zhewei., Bi Huaxing. (2011). Spatial and temporal change of landscape pattern in the Hilly-gully region of Loess Plateau *Procedia Environmental Sciences*, No 8, 103-111.
- 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*, No. 86, 1-13.
- 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*, No. 15, 350-356.