

بررسی رواناب و تلفات خاک در واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو، مقایسه در مقیاس شبیه‌ساز باران

محمد رضا شیخ ربیعی^۱، سادات فیض نیا^۲ و حمیدرضا پیروان^۳

^۱ گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

^۲ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^۳ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۲/۲۵

چکیده

فرسایش خاک یکی از پدیده‌هایی است که از آن به‌عنوان یک پدیده نامناسب نام برده می‌شود. فرسایش خاک، باعث فقیر شدن خاک و غیرقابل کشت شدن زمین‌ها و کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شود. برای بررسی و برآورد میزان فرسایش، روش‌های مختلفی وجود دارد که استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران، یکی از این روش‌ها است. در این پژوهش، ابتدا نقشه واحدهای کاری حوضه از تلفیق نقشه‌های سنگ‌شناسی، فرسایش و شیب، تهیه، سپس در ۱۷ واحد کاری و سه تکرار آزمایش شبیه‌ساز باران در هر واحد، ۵۱ آزمایش در عرصه انجام شد. هرز آب و رسوب حاصله از آزمایش شبیه‌ساز باران جهت تعیین میزان حجم رواناب و تلفات خاک تولید شده، به آزمایشگاه ارسال شد. در ۱۷ نقطه بیان شده، از دو دستگاه باران‌ساز قابل حمل و صحرایی با سطح بارش ۸۴ cm × ۱۲۰ cm و در مناطق دشوارگذار از باران‌ساز قابل حمل و صحرایی با سطح بارش ۲۵ cm × ۲۵ cm، با قابلیت تنظیم در شیب‌های مختلف که قطرات باران بدون سرعت اولیه فرود می‌آید، استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در حوزه آبخیز هیو، بیشترین میزان تولید رواناب، مربوط به آهک و دولومیت، با فرسایش سطحی و شیاری، با شیب عمومی بیش از ۴۰ درصد و بیشترین میزان تولید تلفات خاک مربوط به ماسه‌سنگ، با فرسایش سطحی و شیاری، با شیب عمومی بیش از ۴۰ درصد است. با توجه به نتایج شبیه‌ساز باران و تعمیم آن به سطح حوضه، میزان تولید تلفات خاک در کل حوضه هیو در نتیجه یک بار بارش با شدت ۱۹ میلی‌متر در ساعت و به‌مدت ۳۰ دقیقه، برای کل حوضه هیو برابر با ۱۰۵۷/۷۴ تن است.

کلیدواژه‌ها: رواناب، تلفات خاک، فرسایش، نقشه واحد کاری، حوزه آبخیز هیو، شبیه‌ساز باران

*نویسنده مسئول: محمد رضا شیخ ربیعی

E-mail: Rabiee1352@yahoo.com

۱- مقدمه

سنگریزه درون خاک، رواناب به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. سنگریزه سطحی نقش مهم‌تری نسبت به سنگریزه درون خاک نشان داد به گونه‌ای که افزایش آن باعث افزایش تولید تلفات خاک شد. حسن زاده نفوتی (۱۳۸۵)، ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها در منطقه ایوانکی را بررسی کرد، برای مقایسه واحدهای مارنی از نظر فرسایش‌پذیری، از یک شبیه‌ساز باران قابل حمل در صحرا استفاده و پس از اندازه‌گیری میزان رواناب و تلفات خاک و همچنین تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های منطقه این نتیجه حاصل شد که ویژگی‌هایی همچون SAR، K_{EC}، عامل تغییر میزان تلفات خاک در واحدهای مختلف مارنی است و از سویی این ویژگی‌ها در هر سه نوع فرسایش سطحی، شیاری، و آبراه‌ای اختلاف معناداری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ دارند. حسینی (۱۳۸۷)، طی پژوهشی بر روی مارن‌های مختلف حوضه طالقان به‌عنوان اقلیم مرطوب، میزان رواناب و تلفات خاک زمین‌های مارنی را به همراه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زمین‌های مارنی مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که متغیرهای شیمیایی شامل SAR و pH در میزان تولید تلفات خاک از عوامل مؤثر هستند.

(Jordan & Martinez, 2008) در پژوهشی برای اندازه‌گیری هدررفت خاک و میزان رواناب در جاده‌های جنگلی بدون پوشش (لخت) در شمال کشور اسپانیا، از شبیه‌ساز باران استفاده کردند. با توجه به شبیه‌سازی بارندگی با شدت ۷۲ mm/h و انجام ۳۰ آزمایش بر روی جاده‌های جنگلی در شمال کشور اسپانیا، مشاهده شد که ۵۸ درصد رواناب تولید شده پس از ۵۰ تا ۹۰ ثانیه در کنار جاده، ۲۷ درصد رواناب تولید شده پس از ۵ تا ۱۰۸ ثانیه در نقاط دارای گودی (چاله) در جاده و ۵۱ درصد رواناب تولید شده در کف جاده پس از ۲۵ تا ۸۹ ثانیه ایجاد شد که بیشترین مقدار هدررفت خاک در بخش کنار جاده به میزان ۱۰۶ گرم بر مترمربع بود. مشاهده شد که کاهش شیب کنار جاده در حدود ۴۰ درصد و افزایش پوشش گیاهی اطراف جاده در حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد، میزان فرسایش را کاهش می‌دهد و تولید تلفات خاک را تا کمتر از ۱۸ گرم بر مترمربع ثابت نگه می‌دارد.

بر اساس نظر Benet (به نقل از رفاهی، ۱۳۷۹)، معمولاً در یک خاک در شرایط دست نخورده حدود ۳۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲۵ میلی‌متر خاک سطحی تشکیل شود. این مقدار خاک تشکیل شده به‌مراتب کمتر از مقدار خاک فرسایش یافته است. در یک زمین زیر کشت و بدون رعایت همه‌جانبه اصول حفاظت خاک برای تشکیل همین ۲۵ میلی‌متر خاک، حدود ۱۰۰ سال وقت لازم است. یکی از عوامل تعیین‌کننده در فرایندهای هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل‌دهنده آنهاست. عوامل محیطی و ثانویه مانند اقلیم، پیش از آن که نقش کلیدی در تولید تلفات خاک داشته باشند، در تعیین نوع ویژگی‌های تلفات خاک ناشی از هوازدگی و فرسایش مؤثرند. تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوزه‌های آبخیز کوچک به‌طور چیره، کم و ثابت است و این در صورتی است که ویژگی‌های سنگ‌شناسی ذاتی مواد، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (فیض نیا، ۱۳۷۴) و از این نظر، کارآیی طبقه‌بندی مبتنی بر ویژگی‌های ذاتی را افزایش می‌دهد. واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی مختلف در حوضه هیو، بسته به نوع ترکیب سنگی، نوع فرسایش و شیب، توان تولید تلفات خاک متفاوتی دارند که منشأ تلفات خاک در حوضه به‌شمار می‌آید. نوع ترکیب سنگی و نوع فرسایش می‌تواند در میزان تلفات خاک دهی واحدهای کاری نقش مهمی ایفا کند. از آخرین دهه‌های قرن نوزدهم میلادی، مطالعات و پژوهش‌های گسترده‌ای توسط دانشمندان و پژوهشگران در مورد ویژگی‌های باران طبیعی انجام گرفته است. از اوایل قرن بیستم شبیه‌سازی بارش و ساخت شبیه‌ساز باران‌های اولیه شروع و در مورد کاربرد آنها در علوم طبیعی بویژه در مطالعه فرایند فرسایش و رواناب پژوهش‌های زیادی انجام شده است. محمودآبادی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی خود با عنوان تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و تلفات خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در منطقه گل‌آباد اردستان نتیجه گرفتند که با افزایش میزان رس، تولید تلفات خاک و همچنین غلظت تلفات خاک افزایش می‌یابد در حالی که بخش شن، تولید رواناب و تلفات خاک را کاهش می‌دهد. با افزایش سنگریزه سطحی و

پاشنده باران، ب) پایه فلزی بخش پاشنده باران (که قابل تنظیم است و برای حمل راحت تر از ۶ تکه مجزا ساخته شده است) و ج) قاب فلزی (پلات) و آب رو (که برای حمل آسان از سه تکه مجزا ساخته شده است) است (شکل ۷). همچنین به دلیل دشوار گذار بودن برخی از واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو، از یک دستگاه شبیه ساز باران قابل حمل صحرایی ساخته شده در دانشگاه کشاورزی Wageningen هلند استفاده شد (شکل ۶). این شبیه ساز باران در هر دو شرایط آزمایشگاهی و صحرایی برای مطالعات فرسایش خاک قابل استفاده است. بخش های مختلف شبیه ساز باران ۲۵×۲۵ سانتی متری (شامل الف) مخزن باران ساز و بخش پاشنده باران، ب) پایه فلزی بخش پاشنده باران (که قابل تنظیم است) و ج) قاب استیل (پلات) و آب رو یک تکه (که در درون خاک یا تلفات خاک کوبیده می شود و از حرکت جانبی در کرت آزمایشی به خاک پیرامون جلوگیری می کند و باعث هدایت رواناب و تلفات خاک به درون بطری نمونه گیری می شود) است.

آن دسته از تداوم هایی که از نظر تولید رواناب و ایجاد فرسایش و رسوب مهم هستند و معمولاً کاربرد بیشتری دارند، مورد توجه قرار گرفته است. بارش های P_{2}^{30} و P_{10}^{30} (مقدار بارش به میلی متر، ضریب بالا مدت بارش به دقیقه و ضریب پایین دوره بازگشت) به دلیل فراوانی وقوع بیشتر و آستانه تولید رواناب و رسوب بویژه در حوضه های کوچک اهمیت بیشتری دارند (رئیسیان، ۱۳۸۴). با توجه به این که در محدوده حوزه آبخیز هیو، ایستگاه های اندازه گیری شدت بارندگی وجود نداشت، از ایستگاه هواشناسی کرج که نزدیک ترین ایستگاه به منطقه و دارای آمار شدت بارندگی در زمان های مختلف است، استفاده شد (جدول ۲). بر این اساس، شدت بارندگی ۳۰ دقیقه ای در دوره بازگشت ده سال، برابر ۱۹ میلی متر در ساعت تعیین و در نظر گرفته شد. از میان ۲۶ واحد کاری، در ۱۷ واحد کاری آزمایش شبیه ساز باران و با سه تکرار در هر واحد در عرصه انجام گرفت. در واحدهای کاری با فرسایش مکانیکی، آزمایش شبیه ساز باران انجام نشد (۹ واحد کاری)؛ زیرا تولید رواناب و در نتیجه تولید تلفات خاک اهمیت کمتری دارد.

به دلیل دشوار گذار بودن ۴ واحد کاری به شماره های ۵، ۱۲، ۱۳ و ۱۷ در حوزه آبخیز هیو، امکان استفاده از شبیه ساز باران با سطح بارش ۸۴×۱۲۰ سانتی متری فراهم نبود. در واحدهای کاری یاد شده از شبیه ساز باران با سطح بارش ۲۵×۲۵ سانتی متری استفاده شد. نتایج بالا با نتایج به کارگیری شبیه ساز باران با سطح بارش ۸۴×۱۲۰ سانتی متری و شبیه ساز باران با سطح بارش ۲۵×۲۵ سانتی متری در واحدهای کاری مشابه در حوزه آبخیز فشنند (حوضه آبخیز همسایه و مشابه) با هم مقایسه شد (شیخ ربیعی، ۱۳۸۸). در پایان، نتایج حاصل از آزمایش شبیه ساز باران دستگاه بزرگ در حوزه آبخیز فشنند به واحدهای کاری دشوار گذار در حوزه آبخیز هیو تعمیم داده شد. سپس در شدت مورد نظر، میزان رواناب خروجی از پلات توسط بطری های ویژه ای جمع آوری و برای اندازه گیری حجم رواناب و همچنین تلفات خاک معلق به آزمایشگاه منتقل شد. برای مشخص شدن میزان حجم رواناب و میزان تلفات خاک به دست آمده در هر بار آزمایش، هرز آب حاصل (شامل: تلفات خاک آب) و پس از انتقال به آزمایشگاه، توسط پمپ خلاء و کاغذ صافی از یکدیگر جدا شدند سپس با اندازه گیری میزان آب به دست آمده، میزان حجم رواناب بدون تلفات خاک حاصل شد. وزن تلفات خاک جدا شده با کاغذ صافی و پس از آن خشک شده در آون، به دست آمد.

۳- نتایج

جدول شماره ۳ میزان ضریب رواناب و تلفات خاک تولید شده با استفاده از شبیه ساز باران در واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو را نشان می دهد. با توجه به جدول ۳، در حوضه هیو بیشترین میزان ضریب رواناب در واحد کاری ۱-۲-۱، ۴-۲-۱ به میزان ۴۱/۰۵ درصد، با جنس سنگ آهک و دولومیت و با فرسایش سطحی و

اضافه می شود در منطقه مورد مطالعه، ۴ نوع شکل فرسایشی شامل: ۱- مکانیکی، ۲- سطحی و شیاری، ۳- شیاری و آبراهه ای و ۴- ناشی از شخم، تشخیص داده شد. به تازگی پژوهشگران در مورد شکل جدیدی از فرسایش به نام فرسایش ناشی از شخم پژوهش هایی انجام داده اند. اثر شخم می تواند یکی از انواع شکل های فرسایش را ایجاد کند. در حقیقت فرسایش ناشی از شخم در زمین های کم شیب که تکرار عمل شخم بر روی آنها صورت گرفته است بیشتر دیده می شود. فرسایش ناشی از شخم در زمین های شیب دار که سوی شخم در سوی شیب باشد، بیشتر است. چنانچه شخم عمود بر سوی شیب باشد فرسایش ناشی از شخم معمولاً کاهش می یابد (Tiessen et al., 2007).

۲- مواد و روش ها

۲-۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هیو در محدوده ۵۵°، ۳۵' تا ۳۶°، ۱۰' عرض شمالی و ۳۶°، ۵۰' تا ۴۳°، ۵۰' طول خاوری واقع شده و در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری شمال باختر تهران در شمال شهرستان هشتگرد قرار گرفته است. مساحت حوزه آبخیز هیو ۵۲/۸۱ کیلومتر مربع و محیط آن برابر ۳۵/۵۰ کیلومتر است (شکل ۱).

۲-۲. تهیه نقشه واحدهای کاری

برای تهیه نقشه واحدهای کاری نیاز به نقشه سنگ شناسی، نقشه فرسایش و نقشه شیب بود که در زیر به جزئیات آن اشاره می شود؛ برای تهیه نقشه سنگ شناسی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده و با استفاده از عکس های هوایی، نقشه سنگ شناسی ادغام شده حوضه تهیه شد (شکل ۲). تلفیق سازندهای زمین شناسی به صورت زیر و بر اساس ترکیب سنگی چیره انجام پذیرفت:

- واحد سنگی آهک و دولومیت از تلفیق سازندهای زمین شناسی میلا، روتنه، لار، دلپچای و سلطانیه حاصل شد.
- واحد سنگی ماسه سنگ از تلفیق سازندهای زمین شناسی لالون و درود و واحد سنگ شناسی D_s حاصل شد.
- واحد سنگی بازالت از تلفیق سازندهای زمین شناسی کرج و واحد سنگ شناسی D_v حاصل شد.

- واحد سنگی شیل از تلفیق سازندهای زمین شناسی زاگون، کهر و شمشک حاصل شد.
- واحد سنگی آبرفت از تلفیق سازندهای زمین شناسی کواترنر (Q_1 ، Q_2) حاصل شد.
نقشه فرسایش، با استفاده از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای به دست آمده از سازمان نقشه برداری کشور و نیز طی بازدید صحرایی انجام شده از حوزه آبخیز هیو، تهیه شد (شکل ۳). از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با خطوط منحنی میزان ۲۰ متری، نقشه هیپسومتریک در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و رسم و سپس نقشه شیب حوزه آبخیز هیو در کلاس های ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۵۵ و بیش از ۵۵ درصد با توجه به روش رده بندی شیب به روش پیشنهادی فانو و به وسیله نرم افزار Arc Map تهیه شد (شکل ۴). پس از تهیه نقشه سنگ شناسی، شکل های فرسایشی و شیب، این نقشه ها با استفاده از نرم افزار Arc Map با یکدیگر تلفیق شدند. سپس نقشه واحد کاری تهیه شد که در جدول ۱، ویژگی های واحدهای کاری و در شکل ۵، نقشه واحدهای کاری حوضه آمده است. تعداد واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو ۲۶ واحد کاری تعیین شد.

۲-۳. به کارگیری شبیه ساز باران برای تعیین میزان فرسایش و تلفات خاک در

هر واحد کاری و در کل حوضه

برای اندازه گیری رواناب و تلفات خاک از دو دستگاه شبیه ساز باران قابل حمل صحرایی استفاده شده است.

در حوزه آبخیز هیو از یک دستگاه شبیه ساز باران قابل حمل صحرایی که توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده است، استفاده شد. بخش های مختلف شبیه ساز باران ۸۴×۱۲۰ سانتی متری (شامل الف) مخزن باران ساز و بخش

پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش محمودآبادی (۱۳۸۵) و شیخ رییعی (۱۳۸۸) همخوانی دارد. با توجه به شکل ۸، در حوضه هیو ضریب رواناب و میزان تولید تلفات خاک، در جنس سنگ‌های ماسه‌سنگ، آهک و دولومیت، شیل و آبرفت به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را دارند. در حوضه هیو از نظر ضریب رواناب و میزان تولید تلفات خاک در فرسایش‌های سطحی و شیاری، شیاری و آبراه‌های ناشی از شخم به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را دارند. در حوضه هیو از نظر ضریب رواناب و میزان تولید تلفات خاک در کلاس طبقات شیب، کلاس طبقات شیب چهارم، سوم، دوم و اول به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را دارند. از مقایسه میزان تولید رواناب و تلفات خاک توسط شبیه‌ساز باران در واحد کاری ۱-۲-۲-۴ و ۲-۴-۵-۲ در حوضه هیو می‌توان بیان کرد که بر اثر چرای بیش از حد، وجود دام بیش از ظرفیت مرتع و تخت‌انک فراوان بر اثر عبور بیش از حد دام و نیز شیب عمومی تند، واحد کاری ۱-۲-۲-۴ بیشترین میزان تولید تلفات خاک را نسبت به دیگر واحدهای کاری نشان می‌دهد و واحد کاری ۲-۴-۵-۲ به دلیل قرار گرفتن در واحد آبرفت (نفوذپذیری متوسط) و افزایش نفوذ ناشی از شخم و ترکیب اثر این دو عامل، کمترین میزان تولید رواناب و در نتیجه تولید تلفات خاک را نسبت به دیگر واحدهای کاری دارد.

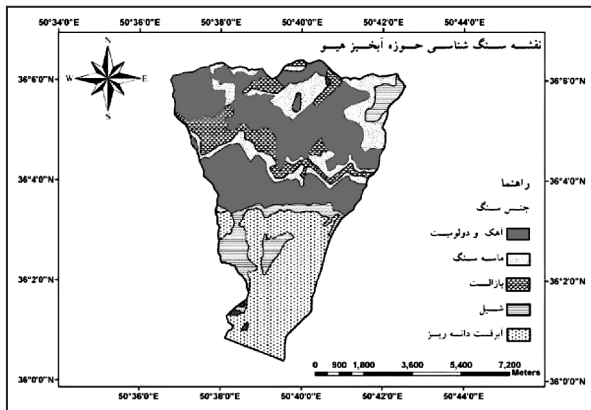
سیاسکزاری

از کلیه کارشناسان پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ایران که در انجام هر چه بهتر این پژوهش کمک‌های شایانی کردند، تقدیر و تشکر می‌شود.

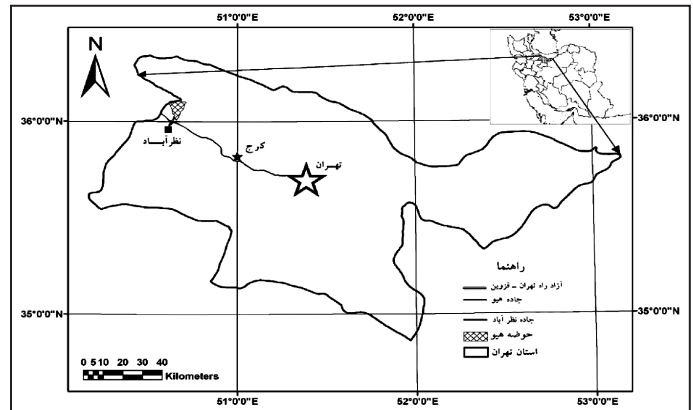
شیاری و با شیب بیش از ۴۰ درصد و کمترین میزان ضریب رواناب در واحد کاری ۱-۳-۱، به میزان ۴/۵۵ درصد با جنس سنگ آهک و دولومیت و با فرسایش سطحی و شیاری و شیب ۴۰-۲۰ درصد است. در حوضه هیو بیشترین میزان تولید تلفات خاک در واحد کاری ۱-۲-۲-۴، به میزان ۱۸/۸۴ گرم، با ماسه‌سنگ و با فرسایش سطحی و شیاری و با شیب بیش از ۴۰ درصد و کمترین میزان تولید تلفات خاک در واحد کاری ۲-۴-۵-۲، به میزان ۰/۰۶ گرم با جنس سنگ آبرفت و با فرسایش ناشی از شخم و شیب ۲۰-۱۰ درصد است. با توجه به میزان سطح هر واحد کاری و وزن تلفات خاک به دست آمده در واحد سطح (متر مربع)، در حوضه هیو میزان تولید تلفات خاک در نتیجه یک بار بارش با شدت ۱۹ میلی‌متر در ساعت برای کل حوضه هیو، ۱۰۵۷/۷۴ تن است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

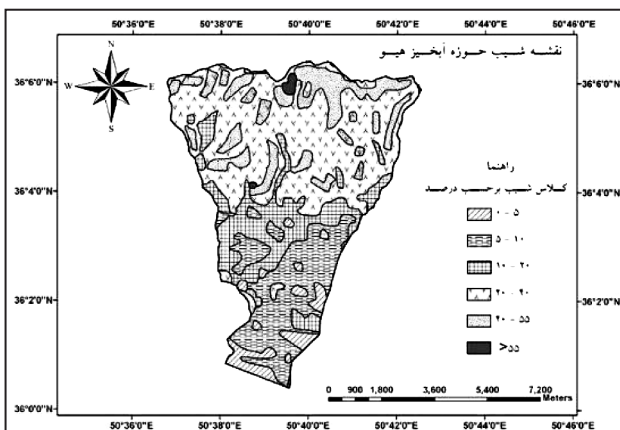
حسینی (۱۳۸۷) بر روی مارن‌های مختلف حوضه طالقان به‌عنوان اقلیم مرطوب و حسن زاده نفوتی (۱۳۸۵) بر روی همین زمین‌ها در حوضه ایوانکی به‌عنوان اقلیم خشک و نیمه‌خشک به کمک شبیه‌ساز باران، میزان رواناب و تلفات خاک زمین‌های مارنی را مطالعه کرده‌اند. در هر دو پژوهش، متغیرهای شیمیایی شامل SAR و pH را در میزان تولید تلفات خاک از عوامل مؤثر دانسته‌اند. هرچند در ایران مطالعات زیادی به‌وسیله شبیه‌ساز باران انجام شده است اما در هیچ یک از این مطالعات به جدایش واحد کاری براساس ترکیب سنگی توجه نشده است. نتایج حاصل از این



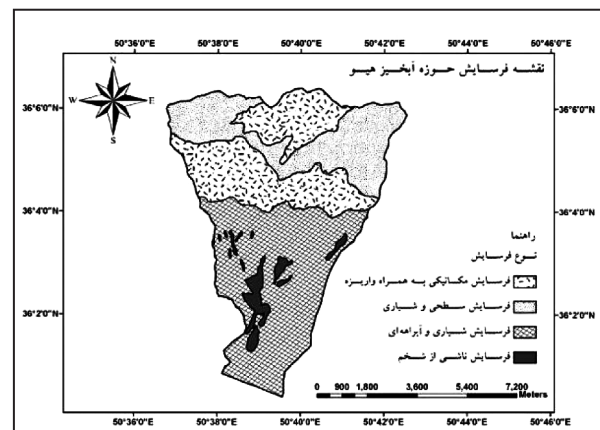
شکل ۲- نقشه سنگ‌شناسی حوزه آبخیز هیو.



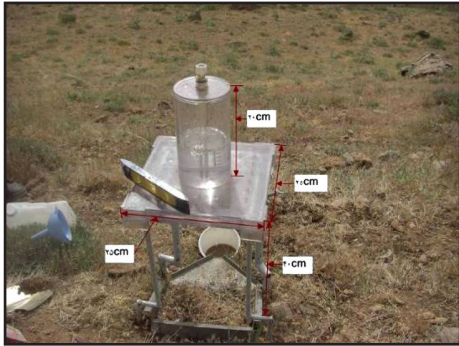
شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز هیو در استان تهران.



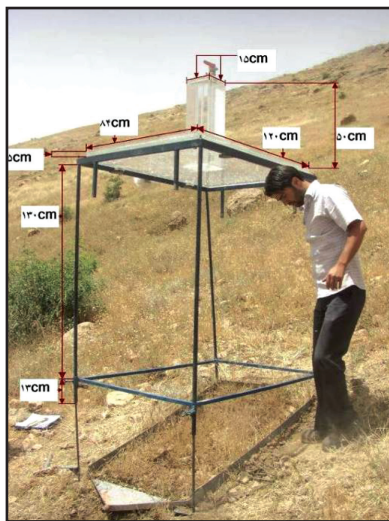
شکل ۴- نقشه دسته‌بندی شیب حوزه آبخیز هیو.



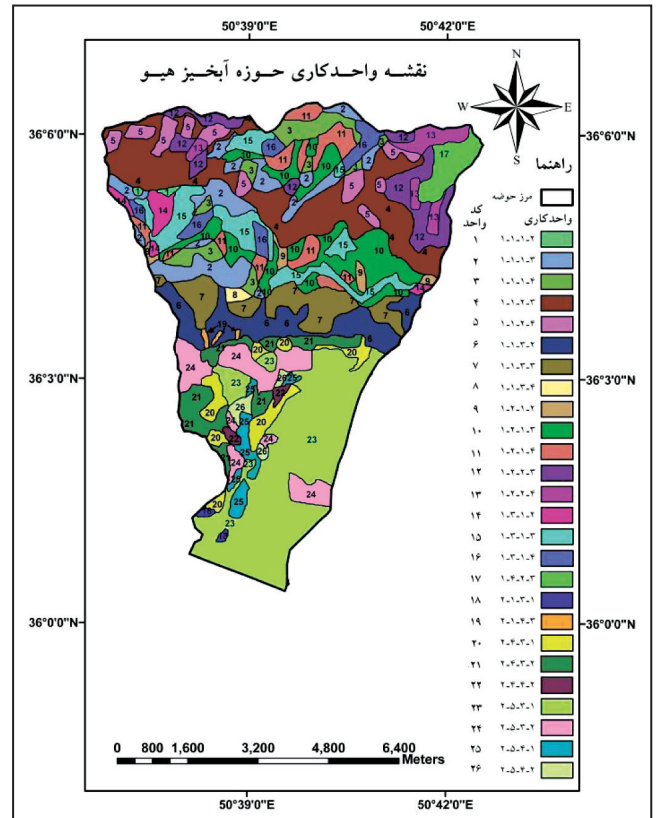
شکل ۳- نقشه انواع فرسایش حوزه آبخیز هیو.



شکل ۶- شبیه ساز باران قابل حمل (۲۵×۲۵ سانتی متری) در واحد کاری ۱-۲-۳ حوضه هیو.

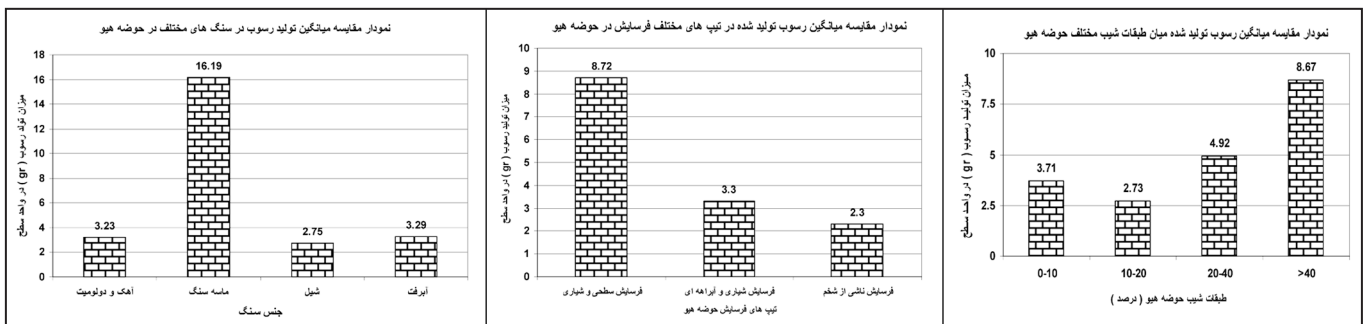


شکل ۷- شبیه ساز باران قابل حمل (۱۲۰×۸۴ سانتی متری) در واحد کاری ۱-۳-۳ حوضه هیو.

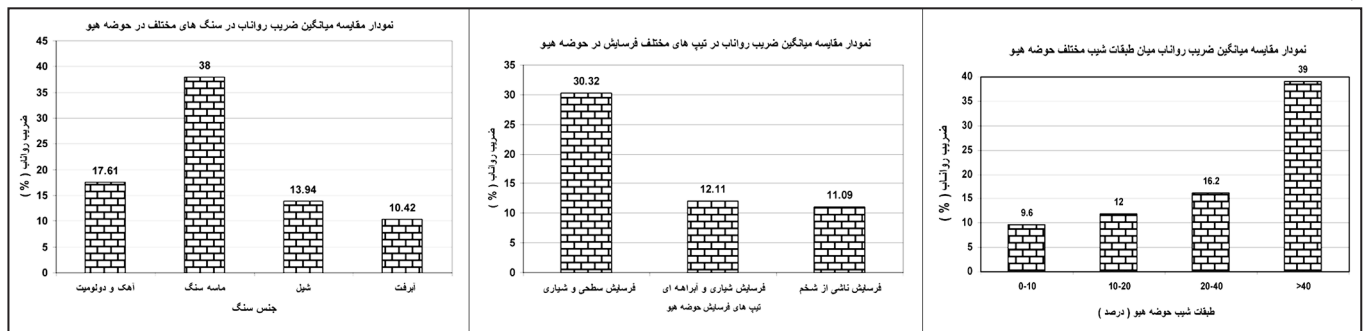


شکل ۵- نقشه واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو.

الف



ب



شکل ۸- نمودار مقایسه میانگین، الف) تلفات خاک و ب) ضریب رواناب: در طبقات شیب، نوع فرسایش و نوع جنس سنگ مختلف در حوضه هیو.

جدول ۱- مشخصات واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو.

ردیف	کد-نوع	نوع سنگ و سازند	نام نوع (فرسایش)	شیب %	واحد کاری	شماره واحد	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	
کوهستان (۱)	۱-۱	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)	فرسایش مکانیکی همراه با واریزه	۱۰-۲۰	۲-۱-۱	۱	۱۳/۴۳	۰/۲۵	
				۲۰-۴۰	۳-۱-۱	۲	۳۰۶/۶۷	۵/۸۱	
				>۴۰	۴-۱-۱	۳	۲۶۶/۷۰	۵/۰۵	
			فرسایش سطحی و شیاری	۲۰-۴۰	۳-۲-۱	۴	۷۰۴/۲۲	۱۳/۳۳	
				>۴۰	۴-۲-۱	۵	۱۶۶/۴۰	۳/۱۵	
				۱۰-۲۰	۲-۳-۱	۶	۳۲۸/۷۱	۶/۲۲	
				۲۰-۴۰	۳-۳-۱	۷	۲۶۱	۴/۹۴	
			فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	>۴۰	۴-۳-۱	۸	۱۸/۰۹	۰/۳۴	
				۱۰-۲۰	۲-۱-۲	۹	۵۳/۸۱	۱/۰۲	
	۲۰-۴۰	۳-۱-۲		۱۰	۳۹۳/۳۶	۷/۴۵			
	۲-۱	ماسه سنگ (سازند: لالون، Pd،Ds)	فرسایش مکانیکی همراه با واریزه	>۴۰	۴-۱-۲	۱۱	۱۷۶/۷۵	۳/۳۵	
				۲۰-۴۰	۳-۲-۲	۱۲	۲۲۰/۵۷	۴/۱۸	
			فرسایش سطحی و شیاری	>۴۰	۴-۲-۲	۱۳	۱۰۵/۲۲	۱/۹۹	
			۱۰-۲۰	۲-۱-۳	۱۴	۷۵/۹۷	۱/۴۴		
	۳-۱	بازالت (سازند: Dv, Ekv)	فرسایش مکانیکی همراه با واریزه	۲۰-۴۰	۳-۱-۳	۱۵	۲۶۸/۴۶	۵/۰۸	
				>۴۰	۴-۱-۳	۱۶	۱۱۵/۹۹	۲/۲۰	
			فرسایش سطحی و شیاری	۲۰-۴۰	۳-۲-۴	۱۷	۱۰۷/۱۳	۲/۰۳	
دشت سر (۲)	۱-۲	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)	فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	۰-۱۰	۱-۳-۱-۲	۱۸	۱۳/۴۷	۰/۲۵	
			فرسایش ناشی از شخم	۲۰-۴۰	۳-۴-۱-۲	۱۹	۱۰/۲۹	۰/۱۹	
	۴-۲	شیل (سازند: زاگون، کهر، Js)	فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	۰-۱۰	۱-۳-۴-۲	۲۰	۱۴۶/۹۹	۲/۷۸	
			فرسایش ناشی از شخم	۱۰-۲۰	۲-۳-۴-۲	۲۱	۱۹۸/۵۹	۳/۷۶	
	۵-۲	آبرفت (Q _۱ ، Q _۲)	فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	۰-۱۰	۱-۳-۵-۲	۲۳	۹۲۸/۵۳	۱۷/۵۸	
				۱۰-۲۰	۲-۳-۵-۲	۲۴	۲۲۷/۲۸	۴/۳۰	
			فرسایش ناشی از شخم	۰-۱۰	۱-۴-۵-۲	۲۵	۹۳/۲۹	۱/۷۷	
				۱۰-۲۰	۲-۴-۵-۲	۲۶	۳۹/۲۱	۰/۷۴	
	جمع کل							۵۲۸۱/۰۷	۱۰۰

جدول ۲- شدت بارندگی (mm/h) برای دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه هواشناسی کرج.

شدت بارندگی (mm/hr) و دوره بازگشت (سال)						زمان تداوم بارش (دقیقه)
i100	i50	i20	i10	i5	i2	
۶۷/۵۸	۶۱/۷۳	۵۲/۲۲	۴۴/۶۳	۳۶/۴۷	۲۱/۷۸	۱۰
۳۷/۶۳	۳۴/۲۹	۲۹/۵۸	۲۵/۷۸	۲۱/۶۱	۱۴/۸۸	۲۰
۲۶/۴۹	۲۴/۳۱	۲۱/۲۱	۱۸/۷	۱۵/۹۱	۱۱/۶۱	۳۰
۲۰/۶۴	۱۹/۰۵	۱۶/۷۵	۱۴/۸۹	۱۲/۸۱	۹/۶۵	۴۰
۱۷/۰۲	۱۵/۷۷	۱۳/۹۵	۱۲/۴۸	۱۰/۸۲	۸/۳۳	۵۰
۱۴/۵۳	۱۳/۵۱	۱۲/۰۱	۱۰/۸	۹/۴۳	۷/۳۷	۶۰
۱۰/۲۳	۹/۵۸	۸/۶۲	۷/۸۳	۶/۹۴	۵/۵۹	۹۰

جدول ۳- مقایسه ضریب رواناب و تلفات خاک تولید شده در واحدهای کاری حوزه آبخیز هیو با استفاده از شبیه‌ساز باران.

نوع سنگ و سازند	نام نوع (فرسایش)	شیب (%)	واحد کاری	شماره واحد	مساحت کیلومتر مربع	ضریب رواناب (%)	رسوب (گرم) در واحد سطح پلات	وزن رسوب (تن)
ماسه سنگ (سازند: لالون، Pd،Ds)	فرسایش سطحی و شیاری	>۴۰	۴-۲-۲-۱	۱۳	۱/۰۵	۳۷/۸۹	۱۸/۸۴	۳۱۷/۱۷
ماسه سنگ (سازند: لالون، Pd،Ds)	فرسایش سطحی و شیاری	۲۰-۴۰	۳-۲-۲-۱	۱۲	۲/۲۱	۳۸/۱۶	۱۳/۵۵	۴۷۸/۱۹
آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)	فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	۰-۱۰	۱-۳-۱-۲	۱۸	۰/۱۳	۱۵/۳۱	۵/۳۶	۰/۷۲
آبرفت (Q _۱ ، Q _۲)	فرسایش ناشی از شخم	۰-۱۰	۱-۴-۵-۲	۲۵	۰/۹۳	۱۰/۳۴	۵/۰۷	۴/۶۹

وزن رسوب (تن)	رسوب (گرم) در واحد سطح پلات	ضریب رواناب (%)	مساحت کیلومترمربع	شماره واحد	واحد کاری	شیب (%)	نام نوع (فرسایش)	نوع سنگ و سازند
۸۲/۱۱	۴/۷۹	۲۴/۲۱	۱/۰۷	۱۷	۳-۲-۴-۱	۲۰-۴۰	فرسایش سطحی و شیاری	ماسه سنگ (سازند: لالون، Pd،Ds)
۱۰/۶۶	۴/۸۳	۶/۷۶	۲/۲۷	۲۴	۲-۳-۵-۲	۱۰-۲۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	آبرفت (Q _۱ ، Q _۲)
۰/۷۰	۳/۹۲	۳۸/۱۶	۰/۱۸	۸	۴-۳-۱-۱	>۴۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۱۲/۳۹	۳/۸۰	۱۰/۲۰	۳/۲۹	۶	۲-۳-۱-۱	۱۰-۲۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۳۰/۵۸	۳/۳۲	۷/۳۱	۹/۲۹	۲۳	۱-۳-۵-۲	۰-۱۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	آبرفت (Q _۱ ، Q _۲)
۸۶/۷۹	۳/۲۶	۴۱/۰۵	۱/۶۶	۵	۴-۲-۱-۱	>۴۰	فرسایش سطحی و شیاری	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۲۲/۰۹	۳/۱۶	۱۰/۳۴	۷/۰۴	۴	۳-۲-۱-۱	۲۰-۴۰	فرسایش سطحی و شیاری	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۵/۵۴	۲/۸۱	۱۲/۸۲	۱/۹۹	۲۱	۲-۳-۴-۲	۱۰-۲۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	شیل (سازند: زاگون، کهر، Js)
۰/۹۳	۲/۲۹	۱۲/۹۶	۰/۴۱	۲۲	۲-۴-۴-۲	۱۰-۲۰	فرسایش ناشی از شخم	شیل (سازند: زاگون، کهر، Js)
۰/۱۹	۱/۸۳	۳/۷۲	۰/۱۰	۱۹	۳-۴-۱-۲	۲۰-۴۰	فرسایش ناشی از شخم	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۳/۳۴	۱/۲۹	۴/۵۵	۲/۶۱	۷	۳-۳-۱-۱	۲۰-۴۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	آهک و دولومیت (سازند: میلا، روته، لار، دلیچای و سلطانیه)
۱/۶۳	۱/۱۲	۵/۷۹	۱/۴۷	۲۰	۱-۳-۴-۲	۰-۱۰	فرسایش شیاری و آبراهه ای	شیل (سازند: زاگون، کهر، Js)
۰/۰۲	۰/۰۶	۱۷/۳۷	۰/۳۹	۲۶	۲-۴-۵-۲	۱۰-۲۰	فرسایش ناشی از شخم	آبرفت (Q _۱ ، Q _۲)
۱۰۵۷/۷۴	جمع کل وزن تلفات خاک تولید شده در حوضه (تن)							

کتابنگاری

- حسن زاده نفوتی، م.، ۱۳۸۵- بررسی ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها. پایان‌نامه دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری.
- حسینی، س.، ۱۳۸۷- بررسی میزان فرسایش و رسوب در مارن‌های منطقه طالقان با کمک باران‌ساز. پایان‌نامه دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری.
- رفاهی، ح.، ۱۳۷۹- فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.
- رتیسیان، ر.، چرخابی، ا.، نوروزی، ی. و نکویی مهر، م.، ۱۳۸۴- بررسی فرسایش‌پذیری خاک در حوضه گرگک چهارمجال و بختیاری با استفاده از باران‌ساز مصنوعی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. شماره ثبت ۸۴/۱۴۵.
- شیخ‌ربیعی، م.، ۱۳۸۸- بررسی میزان فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز هیو و فشنند با استفاده از شبیه‌ساز باران و مدل EPM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری.
- فیض‌نیا، س.، ۱۳۷۴- مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، ص. ۹۵-۱۱۶.
- محمودآبادی، م.، ۱۳۸۵- بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران مطالعه موردی منطقه گل‌آباد اردستان. پایان‌نامه دکتری آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

References

- Jordan, A. & Martinez, Z., 2008- Soil Loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management* vol. 255 no. 3 Contents pp: 913- 919.
- Tiessen, K. H. D., Lobb, D. A., Mehuys, G. R. & Rees, H. W., 2007- Tillage erosion within potato production in Atlantic Canada: // Erosivity of primary and secondary tillage operations. *Journal of Soil and Tillage Research* 95: 320- 331.