

تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک تحت باران طبیعی در شمال غرب ایران

علیرضا واعظی^۱، حسینعلی بهرامی^۲، سید حمید رضا صادقی^۳ و محمد حسین مهدیان^۴

۱- نویسنده مسئول: استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان (vaezi.alireza@gmail.com)

۲- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۴- استادیار پژوهش سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی تهران

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۲۰

چکیده

این پژوهش به منظور شناخت تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی دیم در شهرستان هشتروند در شمال غربی ایران انجام گرفت. هدررفت خاک در کرت‌های استاندارد (۲۲/۱ متر × ۱/۸۳ متر) در ۳۶ زمین کشاورزی دیم تحت رخدادهای طبیعی باران طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، هدررفت خاک به طور معنی‌دار تحت تاثیر شاخص فرساینده‌گی باران (EI_r) قرار گرفت ($R^2=0/88, P<0/001$). فرساینده‌گی باران و هدررفت خاک در ماه اردیبهشت با ۴۵/۱ و ۵۲/۷ درصد مقدار سالانه، به ترتیب بیشترین مقدار بودند. تغییرات مکانی هدررفت خاک در ماه اردیبهشت شبیه به مقدار سالانه آن بود و به صورت مدلی کروی با شعاع تاثیر ۲/۴۲ کیلومتر شبیه‌سازی شد. بالاترین مقدار هدررفت خاک در شمال غرب منطقه مورد بررسی مشاهده شد؛ بنابراین مهار فرسایش خاک در شمال غرب منطقه در ماه اردیبهشت، اقدامی موثر در کاهش هدررفت خاک سالانه می‌تواند باشد. این نتایج آشکار می‌کند که برآورد هدررفت خاک در ابعاد زمانی ماهانه و تعیین توزیع مکانی آن می‌تواند به طور موفق برای مهار فرسایش در سطوح حساس و در زمان بحرانی به کار گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: باران طبیعی، تغییرات زمانی، تغییرات مکانی، هدررفت خاک

مقدمه

اساسی در حوزه‌های آبخیز کشور است که مقدار ویژه آن بین ۸ تا ۱۶ تن در هکتار در سال است (۴). بنابراین جلوگیری از هدررفت خاک، اهمیتی فوق‌العاده در مدیریت و حفظ منابع طبیعی دارد (۶). این مسأله اهمیتی زیاد در زمین‌های کشاورزی دارد. فرسایش خاک دارای تغییرات زمانی و مکانی است. در این راستا بررسی تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک در مدیریت حفظ خاک در بحرانی‌ترین زمان و در حساس‌ترین نقطه در هر منطقه حائز اهمیت است.

فرسایش آبی، هدررفت خاک حاصلخیز سطحی را منجر می‌شود و در نتیجه آن، خاک زیر سطحی غیرحاصلخیز به سطح زمین آورده می‌شود. از آنجا که خاک سطحی برای رشد گیاه مناسب می‌باشد، کاهش توان حاصلخیزی خاک از عوارض مهم فرسایش است (۱۱). در بسیاری موارد، کاهش حاصلخیزی خاک در اثر فرسایش غیرقابل جبران می‌باشد (۷). گزارش‌ها نشان می‌دهد که فرسایش خاک مهم‌ترین مشکل زیست محیطی در جهان است که خسارات اقتصادی زیادی را موجب می‌شود (۱۷). فرسایش آبی همچنین به عنوان مشکل

جمله USLE و نسخه‌های برگرفته از آن در کشورهای مختلف انجام گرفته است. بررسی‌ها انجام گرفته در عراق نشان داد که با تعیین عوامل موثر بر فرسایش خاک در اراضی کشاورزی با استفاده از USLE می‌توان مقدار فرسایش خاک را به طور مکانی پیش‌بینی کرد (۱۱). گزارش‌ها نشان می‌دهد که مدل‌سازی فرسایش خاک به دلیل تغییرات مکانی و زمانی هدررفت خاک بسیار پیچیده است. این تغییرات به عواملی متعدد و برهمکنش بین آن‌ها وابسته است. عامل فرساینده باران در RUSLE در فصل‌های مختلف سال دارای تغییرات زیادی است که موجب می‌شود تا هدررفت خاک به طور زمانی تغییر کند. با بررسی تغییرات مکانی عامل فرساینده باران در هر فصل، می‌توان هدررفت فصلی خاک را به طور مکانی پیش‌بینی کرد (۱۸). در برخی از مطالعات، توزیع مکانی فرسایش و رسوب در آبخیزهای کوچک با استفاده از سزیم ۱۳۷ بررسی شده است (۲۱). بررسی‌ها در مورد مدل‌سازی توان فرسایشی خاک در آبخیزی در ناحیه گرمسیری کلمبیا نشان داد که فرسایش خاک دارای تغییرات زمانی است؛ به طوری که در فصل‌های خشک، حدود ۱۱ درصد سطح حوزه (۵۳۴ هکتار) دارای توان فرسایشی بسیار بالا (بیشتر از ۳/۵ تن در هکتار) و طی فصول مرطوب، این سطوح به میزان ۲۸ درصد (۱۳۴۸ هکتار) افزایش می‌یابد (۱۰). پژوهش‌های انجام گرفته در زیر حوزه های مهم رودخانه هراز نشان داد که رسوب معلق رودخانه هراز دارای تغییرات زمانی و مکانی است؛ به طوری که بیشترین و کمترین میزان رسوب خروجی از منطقه به ترتیب در فصل بهار با مقدار ۱۱۱۷/۷۲ تن در روز (۷۵/۵ درصد) و فصل پاییز با مقدار ۶۹۵/۸۵ تن در روز (۴/۷ درصد) است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات مکانی موید بیشترین میزان مشارکت در تولید رسوب در ایستگاه هراز ۵

یکی از روش‌هایی که به طور گسترده برای برآورد فرسایش آبی استفاده می‌شود، رابطه جهانی فرسایش خاک یا USLE^۱ (۲۰) است. پس از ارائه مدل USLE، نسخه‌های مختلفی از آن مثل MUSLE^۲ (۱۹)، RUSLE^۳ (۱۵)، USLE_M^۴ (۱۲) و RUSLE2^۵ (۵) برای برآورد فرسایش خاک ارائه شده است. سادگی بسیاری از متغیرهای موجود در USLE سبب شده است تا این رابطه به عنوان گسترده‌ترین روش برآورد هدررفت خاک مورد پذیرش باشد (۱۶). بر اساس USLE، مقدار هدررفت خاک (A) از حاصلضرب شش عامل فرساینده باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، طول شیب (L)، درجه شیب (S)، پوشش گیاهی (C) و کارهای حفاظتی خاک (P) به دست می‌آید (۱۷) ($A=R.K.L.S.C.P$). در کرت استاندارد یا واحد (کرتی به عرض ۱/۸۳ و طول ۲۲/۱ متر واقع در زمینی با شیب ۹ درصد که در جهت شیب شخم خورده و سطح آن بدون پوشش گیاهی و بقایایی گیاهی می‌باشد)، هدررفت خاک تابعی از عامل فرساینده باران و عامل فرسایش‌پذیری خاک است ($A=R.K$). چنانچه توزیع مکانی فرساینده باران در منطقه‌ای یکسان باشد، هدررفت خاک در زمین‌های مختلف آن منطقه که تحت شرایط یکسانی از نظر شیب، پوشش گیاهی و مدیریت خاک قرار دارند، تابعی از فرسایش‌پذیری خاک خواهد بود. در شرایطی نیز که هدررفت خاک در خاک‌های یکسان تحت رخدادهای مختلف باران مورد بررسی قرار گیرد، مقدار هدررفت خاک تابعی از فرساینده باران خواهد بود (۱۸).

تحقیقات گسترده‌ای در مورد تغییرات مکانی و زمانی هدررفت خاک بر اساس مدل‌های مختلف از

- 1- Universal Soil Loss Equation
- 2- Modified USLE
- 3- Revised USLE
- 4- USLE-Modified
- 5- Revised USLE, version 2

اندازه‌گیری هدررفت خاک

برای بررسی تغییرات مکانی فرسایش خاک، در سطح منطقه مورد بررسی بر اساس نقشه قابلیت اراضی منطقه، ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر × ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد و در هر شبکه، یک زمین کشاورزی دیم تحت آیش با شیب ۹ درصد به عنوان محل اندازه‌گیری هدررفت خاک تعیین شد. با استفاده از سیستم مکانیاب جهانی (GPS)، مختصات جغرافیایی زمین‌های انتخاب شده مشخص شد- (شکل ۱).

زمین‌ها در آغاز بهار ۱۳۸۴ مطابق با شرایط کرت استاندارد USLE (۲۰) در جهت شیب شخم و دیسک زده شد و بقایای گیاهی سطح آنها جمع-آوری گردید؛ سپس تعداد سه کرت، به طول ۲۲/۱ متر در امتداد شیب و به عرض ۱/۸۳ متر (۲۰) با فاصله ۱/۲ متر از یکدیگر در هر شبکه ایجاد شد. در مجموع تعداد ۱۰۸ کرت واحد در ۳۶ شبکه ایجاد گردید. برای جلوگیری از ورود و خروج رواناب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شد و در انتهای هر کرت لوله‌ای ۵ اینچی از جنس پلیکا و مخزنی با حجم ۷۰ لیتر (۱۴) قرار داده شد. برای جلوگیری از ورود آب باران، رواناب یا ذرات خاک پاشمان یافته به داخل مخزن-ها، سطح آنها با درب‌هایی پوشانده شد. برای اندازه-گیری مقدار رواناب، پس از پایان هر بارندگی منجر به رواناب، ابتدا حجم مخلوط رواناب و رسوب داخل مخزن‌ها به وسیله ظرفی با حجم معین اندازه‌گیری شد و برای تعیین غلظت رسوب، محتویات مخزن‌ها با همزن دستی کاملاً به صورت یکنواخت (۱۱) درآمد و نمونه‌ای ۵۰۰ میلی‌لیتری از آن برداشت و در آزمایشگاه پس از جداسازی رسوب با کاغذ صافی، نمونه‌های رسوب در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک (۱۴) و غلظت رسوب آنها تعیین گردید. مقدار هدررفت خاک هر کرت در هر رگبار از ضرب غلظت رسوب

(۳۴/۷ درصد) و کمترین میزان در ایستگاه هراز ۲ (۰/۲۴ درصد) بود (۱).

آگاهی از زمان وقوع بیش‌ترین مقدار فرسایش می‌تواند در برنامه‌ریزی زمانی مناسب مدیریت خاک و مدیریت زراعی جهت کاهش هدررفت خاک موثر باشد. از سوی دیگر شناخت مکان‌های دارای بیش‌ترین مقدار فرسایش در برنامه‌ریزی مناسب کارهای حفاظت خاک در نقاط مختلف حائز اهمیت است. تا کنون مطالعه‌ای دقیق در مورد تغییرات مکانی و زمانی هدررفت خاک در اراضی کشاورزی دیم در شمال‌غرب کشور انجام نگرفته است. این پژوهش در این راستا بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرائی رسوب به منظور تعیین تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک در بخشی از ناحیه نیمه‌خشک شمال‌غرب کشور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در ۹۰۰ کیلومتر مربع از زمین‌های کشاورزی دیم در شهرستان هشترود واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ انجام گرفت. منطقه مورد مطالعه در $37^{\circ} 18' 49''$ تا $37^{\circ} 35' 0''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 46' 5''$ تا $47^{\circ} 6'$ طول شرقی قرار دارد و دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است. زمین‌های این ناحیه عمدتاً دارای شیب بین ۵ تا ۱۵ درصد است و غالباً زیر کشت دیم گندم قرار دارند (۳). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محل کرت‌های آزمایشی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارندگی را نشان می‌دهد. بر اساس بازدیدهای اولیه، فرسایش خاک در منطقه اغلب به شکل‌های سطحی، شیاری و آبکندی دیده می‌شود. وقوع فرسایش‌های شدید در کنار تفکیک اراضی به قطعات کوچک، کاهش حاصلخیزی خاک و در نتیجه عملکرد محصول را موجب شده است.

ایستگاه باران‌نگاری تعیین شد. انرژی جنبشی باران (E) از ضرب انرژی جنبشی به ازای ارتفاع باران (KE) در ارتفاع بارندگی (d) به دست آمد. مقدار KE نیز از رابطه زیر تعیین شد (۲۰):

$$E = KE \cdot d \quad (۱)$$

$$KE = ۲۱۰/۳ + ۸۷ \text{Log}_{10}I \quad (۲)$$

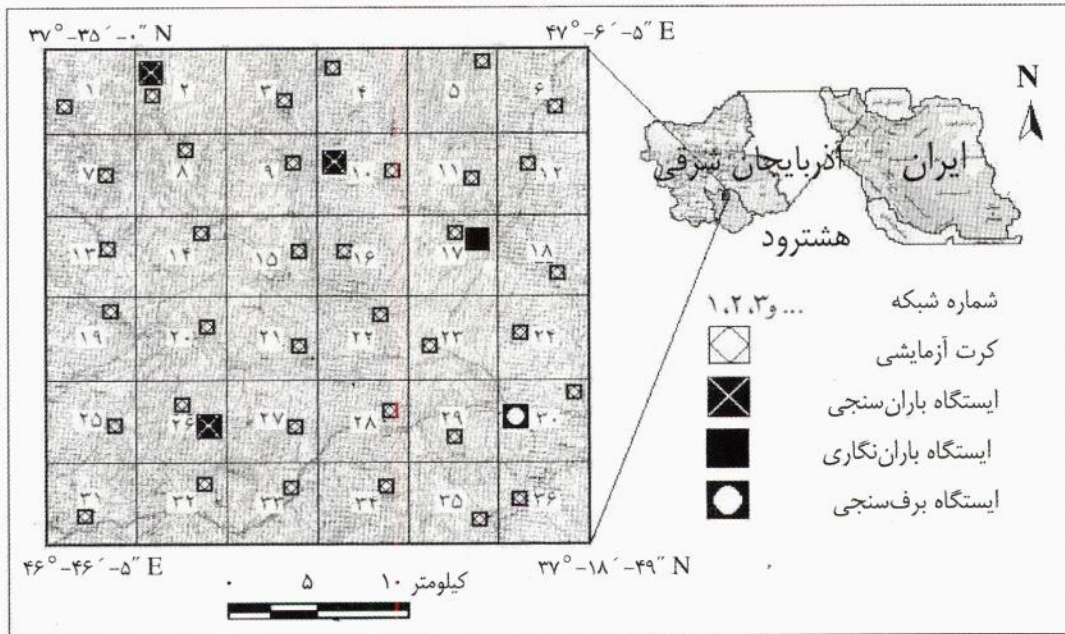
که در آن KE: انرژی جنبشی باران در واحد ارتفاع باران (ژول بر متر مربع در سانتی‌متر)، d ارتفاع (سانتی‌متر) و I شدت بارندگی (سانتی‌متر در ساعت) است. از مجموع شاخص‌های فرساینده‌گی باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه در ابعاد ماه، فصل و سال، شاخص فرساینده‌گی باران ماهانه، فصلی و سالانه تعیین شد:

$$R = \frac{\sum EI_{30}}{100} \quad (۳)$$

هر نمونه و حجم کل مخلوط داخل محفظه به دست آمد. مقدار هدررفت خاک هر زمین از میانگین هدررفت خاک سه کرت مستقر در آن به دست آمد. با جمع مقادیر هدررفت خاک در ماه، فصل و سال، مقدار هدررفت خاک ماهانه، فصلی و سالانه هر زمین به دست آمد.

تخمین فرساینده‌گی باران

برای بررسی مقدار باران در هر رخداده منجر به رواناب، از داده‌های چهار ایستگاه بارندگی منطقه (شکل ۱) استفاده شد. ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ از نوع باران‌سنجی و در شبکه ۱۷ از نوع باران‌نگاری بود. ارتفاع، مدت و شدت باران بر اساس آمار ایستگاه باران‌نگاری به دست آمد. فرساینده‌گی باران (R) بر اساس USLE از حاصلضرب انرژی جنبشی باران (E) و بیش‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (I_{۳۰}) با استفاده از داده‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، محل کرت‌های آزمایشی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارندگی

بیشتر باشد، واریانس بین آن‌ها بیشتر شده و در نتیجه مقدار تغییرنا بیشتر خواهد بود. تغییرنمای تجربی هدررفت خاک با مدل‌های نظری^۳ (کروی، نمایی، توانی و غیره) برآزش داده شد. اجزای مدل‌ها به صورت شعاع تاثیر^۴، اثر قطعه‌ای^۵، آستانه^۶، خطا^۷ (نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه) و ضریب تعیین^۸ (R^2) بیان شد. شعاع تاثیر نشان دهنده فاصله ایست که در آن نمونه‌ها به هم وابستگی دارند و در بیشتر از آن رفتاری تصادفی دارد (۲). مقدار تغییرنا یا واریانس دو نمونه که از نقطه واحدی برداشت شده‌اند، در حالت ایده‌آل برابر صفر است. در برخی موارد به دلیل خطای نمونه‌گیری یا غیره این مقدار بیشتر از صفر بوده است که به آن اثر قطعه‌ای می‌گویند. با افزایش فاصله مقدار تغییرنا افزایش می‌یابد و در بیشترین فاصله‌ای که متغیر رفتار مکانی دارد (شعاع تاثیر) مقدار تغییرنا بیشترین خواهد بود و نشان دهنده آستانه است. با تعیین تغییرنمای هدررفت خاک، امکان میان‌یابی مکانی آن فراهم شد. در این روش مقدار هدررفت خاک در نقاط اندازه‌گیری نشده با مختصات معلوم، با استفاده از مقدار آن در نقاط اندازه‌گیری شده و با مختصات معلوم، با روش کریجینگ برآورد شد. این روش بر میانگین متحرک وزنی استوار است و به دلیل حداقل کردن واریانس خطا، کاربرد زیادی دارد (۱۳).

نتایج و بحث

بر اساس نتایج، طی دوره دو ساله پژوهش، از ۹۶ رخدادهای باران با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه، ۴۱ رخداد باران در هدررفت خاک در کرت‌ها موثر واقع شد. جدول ۱ فرسایندهای باران و هدررفت خاک در رخدادهای باران منجر به رسوب طی سال ۱۳۸۴ و

که در آن: R فرسایندهای باران ماهانه، فصلی یا سالانه بر حسب مگاژول میلی‌متر در هکتار در ساعت به ترتیب در ابعاد ماه، فصل و سال است.

تعیین سایر عوامل مدل USLE

از آنجا که مقدار هدررفت خاک (A) در کرت‌های استاندارد، تحت اندازه‌گیری قرار گرفت، مطابق با مدل USLE، مقدار هر یک از عوامل طول شیب (L)، درجه شیب (S)، پوشش گیاهی (C) و کارهای حفاظتی خاک (P) برابر واحد بود. در این صورت مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) برابر با مقدار هدررفت خاک به ازای عامل فرسایندهای باران بود.

تعیین تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک

هدررفت خاک متناسب با فرسایندهای باران، در طول سال تغییر می‌کند. هدررفت خاک در ابعاد رگبار، ماهانه، فصلی و سالانه تعیین و بیشترین هدررفت خاک ماهانه و فصلی مشخص شد. بر اساس همبستگی هدررفت خاک سالانه با مقدار فصلی و ماهانه آن، حساس‌ترین زمان هدررفت خاک مشخص شد. برای بررسی تغییرات مکانی هدررفت خاک از زمین‌آمار^۱ استفاده شد. در این روش بین مقادیر مختلف یک متغیر (هدررفت خاک) با فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌های آن می‌توان رابطه‌ای برقرار کرد (۲۲). در زمین‌آمار وابستگی مکانی بین نمونه‌ها با تغییرنا^۲ بیان می‌شود. تغییرنا عبارت از متوسط مربع اختلاف میان کمیت‌های یک متغیر است:

$$\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (4)$$

که در آن: $\gamma(h)$ مقدار تغییرنا یا واریانس متغیر، $Z(x)$ مقدار متغیر در نقطه x ، $Z(x+h)$ مقدار متغیر در فاصله h از x و N تعداد جفت‌های مقایسه‌ای است. در این روش، هر قدر فاصله نمونه‌های اندازه‌گیری شده از یک متغیر (هدررفت خاک)

3- Theoretical models
4- Range
5- Nugget effect
6- Sill
7- Error

1- Geostatistics
2 -Variogram

های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۷/۱۵، ۶/۷۶، ۶/۹۷ و ۷/۰۸ میلی‌متر بود. بررسی تفاوت مقدار باران‌های منجر به رسوب در ایستگاه‌های بارندگی نشان داد که مقدار P-Value (معیار آماری تفاوت) برابر ۰/۱۹۸ است و مقدار باران در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران تفاوتی معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارد. به عبارت دیگر بارندگی در منطقه دارای پراکنش یکنواختی بود.

۱۳۸۵ را نشان می‌دهد. مقدار شاخص فرساینده در رخدادهای باران منجر به رسوب به ترتیب از ۱/۰۷۷ تا ۷۳/۴۰۲ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت تغییر یافت و میانگین آن ۱۵/۴۴۴ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت بود. مقدار هدررفت خاک در ۴۱ رگبار از ۰/۰۱۵ تا ۰/۲۹۸۸ تن در هکتار در رگبار متفاوت بود و میانگین آن ۰/۰۷۳۹ تن در هکتار در رگبار بود. میانگین مقدار باران‌های منجر به رسوب در ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه-

جدول ۱- فرساینده‌گی باران و هدررفت خاک در رخدادهای باران منجر به رسوب طی سال ۱۳۸۴ و

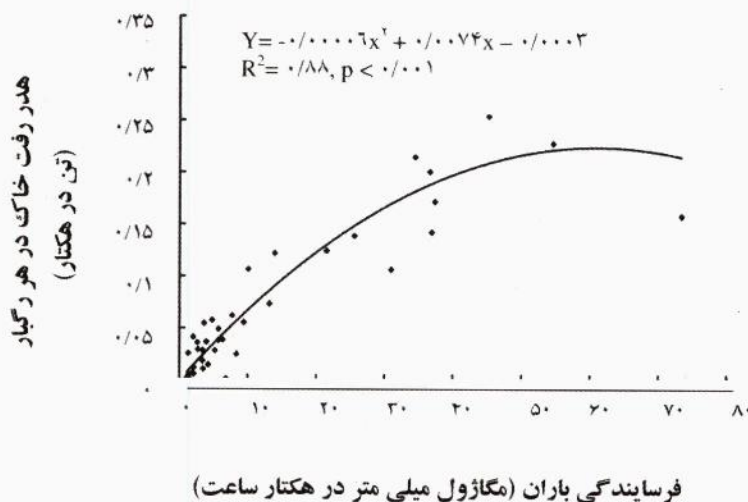
۱۳۸۵

| تاریخ رخداد | فرساینده‌گی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) | تاریخ رخداد | هدررفت خاک (تن در هکتار در رگبار) | فرساینده‌گی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) | تاریخ رخداد |
|-------------|---|-------------|-----------------------------------|---|-------------|
| ۱۳۸۴/۱/۱۳ | ۱/۱۷۲۴۵۵ | ۱۳۸۵/۱/۹ | ۰/۰۰۱۵ | ۸/۳۶۱۸۱۸ | ۰/۰۲۵۱ |
| ۱۳۸۴/۱/۱۴ | ۱/۸۷۵۱۹۷ | ۱۳۸۵/۱/۱۶ | ۰/۰۰۶۷ | ۳/۴۷۴۷۸۷ | ۰/۰۱۰۸ |
| ۱۳۸۴/۱/۲۵ | ۳۶/۶۴۲۳۳ | ۱۳۸۵/۱/۱۸ | ۰/۲۰۰۶ | ۴/۲۲۲۷۲ | ۰/۰۱۴۷ |
| ۱۳۸۴/۱/۲۶ | ۱/۳۰۲۷۱۲ | ۱۳۸۵/۱/۲۸ | ۰/۰۲۵۷ | ۳۶/۹۱۹۳۶۰ | ۰/۱۴۲۲ |
| ۱۳۸۴/۱/۲۷ | ۳/۹۷۹۷۸۱ | ۱۳۸۵/۲/۴ | ۰/۰۳۶۷ | ۳/۳۸۰۹۳۸ | ۰/۰۱۸۶ |
| ۱۳۸۴/۱/۲۸ | ۳/۳۷۸۴۴۹ | ۱۳۸۵/۲/۵ | ۰/۰۲۸۹ | ۲/۰۹۵۱۴۰ | ۰/۰۰۵۹ |
| ۱۳۸۴/۲/۶ | ۲۱/۵۴۵۱۰۰ | ۱۳۸۵/۲/۶ | ۰/۱۲۴۴ | ۵/۷۳۵۸۸۷ | ۰/۰۴۹۱ |
| ۱۳۸۴/۲/۷ | ۲/۶۵۶۲۷۰ | ۱۳۸۵/۲/۱۳ | ۰/۰۳۵۹ | ۱۰/۰۹۹۹۹۹ | ۰/۱۰۶۷ |
| ۱۳۸۴/۲/۱۲ | ۱۳/۲۰۴۳۶ | ۱۳۸۵/۲/۱۴ | ۰/۰۷۳۴ | ۲/۷۳۶۴۳۳ | ۰/۰۲۹۴ |
| ۱۳۸۴/۲/۱۳ | ۱/۲۳۴۷۸۵ | ۱۳۸۵/۲/۱۵ | ۰/۰۰۳۹ | ۲/۱۳۸۳۳۱ | ۰/۰۱۲۰ |
| ۱۳۸۴/۲/۱۴ | ۲/۰۳۷۱۲۳ | ۱۳۸۵/۲/۱۶ | ۰/۰۴۱۴ | ۵/۷۵۷۷۹ | ۰/۰۳۸۳ |
| ۱۳۸۴/۲/۱۵ | ۳/۶۱۶۶۰۹ | ۱۳۸۵/۲/۲۰ | ۰/۰۵۴۶ | ۷/۷۴۶۱۴۳ | ۰/۰۶۲۱ |
| ۱۳۸۴/۲/۲۴ | ۵۴/۶۳۴۱۳۰ | ۱۳۸۵/۴/۸ | ۰/۲۲۷۶ | ۶/۸۰۹۰۴ | ۰/۰۰۱۵ |
| ۱۳۸۴/۲/۲۵ | ۶۲/۸۸۱۰۸۰ | ۱۳۸۵/۶/۲۶ | ۰/۲۹۸۸ | ۴۵/۲۲۲۳۱ | ۰/۲۵۳۸ |
| ۱۳۸۴/۲/۲۶ | ۳۷/۳۷۳۶۲۰ | ۱۳۸۵/۷/۲۳ | ۰/۱۷۱۶ | ۹/۴۵۸۳۰۴ | ۰/۰۵۵۷ |
| ۱۳۸۴/۲/۲۹ | ۳۰/۹۸۵۹۸۰ | ۱۳۸۵/۷/۲۸ | ۰/۱۰۶۴ | ۱/۳۹۸۲۶۷ | ۰/۰۰۱۷ |
| ۱۳۸۴/۲/۳۰ | ۲۵/۶۱۶۱۳۰ | ۱۳۸۵/۸/۳ | ۰/۱۳۸۷ | ۳۴/۴۷۶۵۳۰ | ۰/۲۱۴۶ |
| ۱۳۸۴/۳/۱۰ | ۴/۸۲۲۱۷۶ | ۱۳۸۵/۸/۵ | ۰/۰۵۷۷ | ۱۳/۹۸۴۹۷۰ | ۰/۱۲۲۱ |
| ۱۳۸۴/۳/۱۲ | ۱/۰۷۷۰۵۸ | | ۰/۰۰۲۱ | | |
| ۱۳۸۴/۷/۶ | ۷۳/۴۰۲۴۰ | | ۰/۱۵۷۹ | | |
| ۱۳۸۴/۱۱/۱۵ | ۵/۲۲۰۵۵۴ | | ۰/۰۲۸۵ | | |
| ۱۳۸۴/۱۱/۲۰ | ۱/۹۵۲۸۴۰ | | ۰/۰۰۶۸ | | |
| ۱۳۸۴/۱۲/۱۸ | ۶/۳۴۶۵۸۸ | | ۰/۰۳۸۷ | | |

بررسی هدررفت خاک در ۴۱ رگبار رخ داده طی دوره پژوهش نشان داد که بین فرساینده‌گی باران و میانگین هدررفت خاک در ۳۶ زمین، همبستگی معنی‌دار ($R^2 = 0/88, P < 0/001$) وجود دارد. با افزایش مقدار فرساینده‌گی باران، هدررفت خاک بر اساس تابع درجه دوم افزایش یافت. شکل ۲ همبستگی بین هدررفت خاک و فرساینده‌گی باران در ۴۱ رگبار در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. بدیهی است آگاهی از مقدار هدررفت خاک در ابعاد ماهانه و فصلی نسبت به اطلاع از آن در مقیاس رگبار، اهمیتی بیشتر در مدیریت زمانی مهار فرسایش خاک دارد.

میانگین سالانه فرساینده‌گی باران، ۳۳۴/۵۴۲۸ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت بود. نتایج نشان داد که فرساینده‌گی باران در ماه اردیبهشت (۱۵۰/۱۸۹۶۷ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) بیشترین مقدار (۴۵/۱ درصد فرساینده‌گی باران سالانه) و در ماه‌های مرداد، آذر و دی (صفر مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) کمترین مقدار را داراست.

هدررفت خاک کرت‌ها در ماه‌های مختلف دارای تغییرات زیادی بود و از این جهت بین ماه‌های مختلف از نظر آماری اختلافی معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت. بر اساس نتایج، هدررفت خاک در ماه اردیبهشت (۰/۷۹۹ تن در هکتار) بالاترین مقدار (۵۲/۷ درصد از هدررفت خاک سالانه) و در ماه‌های مرداد، آذر و دی پایین‌ترین مقدار (صفر) بود. ماه اردیبهشت طی دوره پژوهش بحرانی‌ترین زمان از نظر فرساینده‌گی باران و هدررفت خاک در منطقه مورد بررسی بود. هدررفت خاک پس از ماه اردیبهشت، در ماه فروردین بیشترین مقدار (۰/۲۴۶ تن در هکتار (۱۶/۲ درصد سالانه) بود. در ماه مرداد به دلیل فقدان بارندگی و در ماه‌های آذر و دی به دلیل بارش برف و ذوب تدریجی آن در اثر دمای پایین هوا، هدررفت خاک مشاهده نشد. جدول ۲ میانگین فرساینده‌گی باران و هدررفت خاک در ماه‌های مختلف طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۲- همبستگی بین هدررفت خاک و فرساینده‌گی باران در ۴۱ رگبار در منطقه مورد بررسی

جدول ۲- میانگین فرسایندهی باران و هدررفت خاک در ماه‌های مختلف
(میانگین سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵)

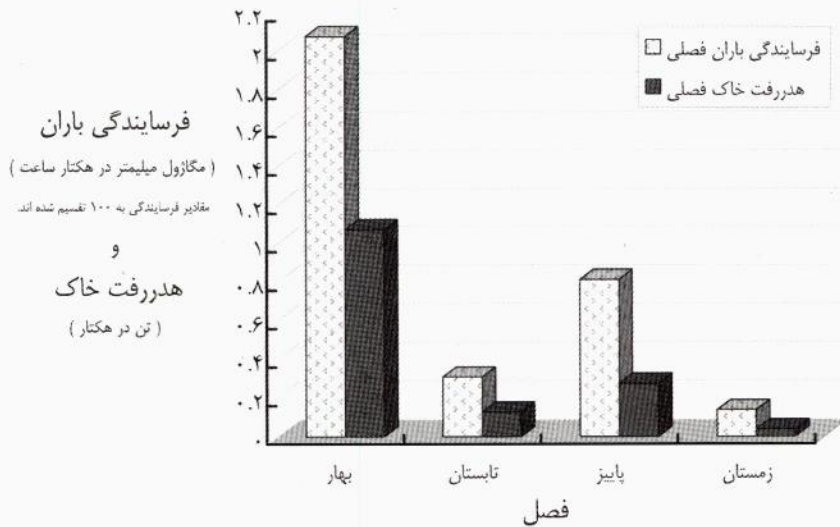
| ماه | فرسایندهی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) | درصد سالانه فرسایندهی باران | هدررفت خاک (تن در هکتار) | درصد سالانه هدررفت خاک |
|------------|---|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| فروردین | ۵۳/۳۷۴۴ | ۱۵/۹۵۴ | ۰/۲۴۶۵ | ۱۶/۲۵۴ |
| اردیبهشت | ۱۵۰/۸۹۶۷ | ۴۵/۱۰۵ | ۰/۷۹۹۵ | ۵۲/۷۱۵ |
| خرداد | ۳/۸۲۵۴ | ۱/۱۴۳ | ۰/۰۲۹۹ | ۱/۹۷۵ |
| تیر | ۳/۴۰۴۵ | ۱/۰۱۸ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۵ |
| مرداد | ۴/۶۳۵۷ | ۱/۳۸۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |
| شهریور | ۲۲/۹۱۵۵ | ۶/۸۵۰ | ۰/۱۲۶۹ | ۸/۳۷ |
| مهر | ۴۶/۸۴۶۷ | ۱۴/۰۰۳ | ۰/۱۰۷۶ | ۷/۰۹ |
| آبان | ۳۱/۰۰۶۹ | ۹/۲۶۸ | ۰/۱۶۸۴ | ۱۱/۱۰ |
| آذر | ۳/۹۰۰۹ | ۱/۱۶۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |
| دی | ۰/۳۵۷۹ | ۰/۱۰۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |
| بهمن | ۸/۶۶۰۵ | ۲/۵۸۹ | ۰/۰۱۷۶ | ۱/۱۶ |
| اسفند | ۴/۷۱۷۶ | ۱/۴۱۰ | ۰/۰۱۹۳ | ۱/۲۷ |
| جمع سالانه | ۳۳۴/۵۴۲۸ | ۱۰۰ | ۱/۵۱۶۷ | ۱۰۰ |

بهار و ماه اردیبهشت به ترتیب ۹۸ درصد و ۹۷ درصد تغییرات هدررفت خاک سالانه در زمین‌ها را تبیین کردند. در حقیقت فصل بهار و به طور ویژه ماه اردیبهشت حساس‌ترین زمان از نظر فرسایندهی باران و هدررفت خاک در منطقه بود. تغییرات زمانی عامل فرسایندهی باران و افزایش آن در ماه اردیبهشت و فصل بهار عاملی مهم در افزایش هدررفت خاک در سال است. این نتایج، یافته‌های سایر پژوهشگران (۱۸) را تایید می‌کند. افزایش رطوبت خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری آن در فصل بهار و به ویژه ماه اردیبهشت به دلیل بارندگی‌های پیاپی، نقشی مهم در افزایش رواناب، فرسایش‌پذیری و هدررفت خاک داشت. بالابودن هدررفت خاک در فصل مرطوب نسبت به فصل خشک در بررسی‌های سایر محققان (۱۰) نیز بیان شده است. به طور کلی فصل بهار و به طور ویژه ماه

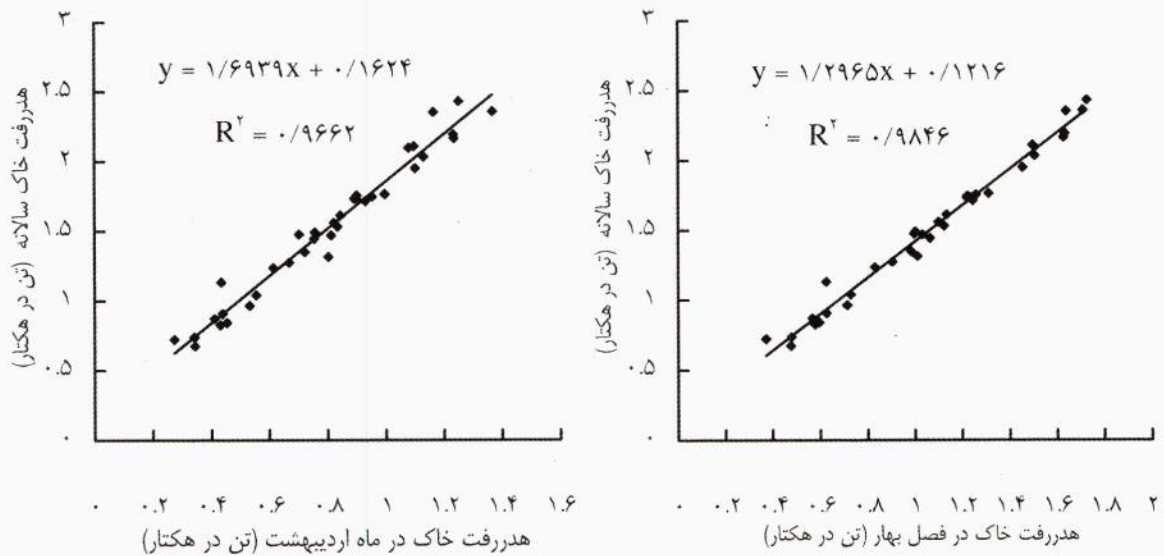
فرسایندهی باران در فصل بهار (۲۰۸/۰۹۶۵) مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) بیش‌ترین مقدار (۶۲/۲ درصد سالانه) و در فصل زمستان (۱۳/۷۳۶۱) مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) کمترین مقدار (۴/۱ درصد سالانه) بود. میانگین هدررفت خاک سالانه در کرت‌ها، ۱/۵۱۷ تن در هکتار بود. هدررفت خاک نیز بسته به تغییرات فرسایندهی باران، در فصل بهار (۱/۰۷۶۰ تن در هکتار) بالاترین مقدار (۷۱ درصد سالانه) و در فصل زمستان (۰/۰۳۷۰ تن در هکتار) کمترین مقدار (۲/۴ درصد سالانه) را داشت. هدررفت خاک در فصل‌های تابستان و پاییز به ترتیب ۸/۴ و ۱۸/۲ درصد سالانه بود (شکل ۳). همبستگی معنی‌دار بین هدررفت خاک سالانه و هدررفت خاک در بهار (R^۲=۰/۹۸, P<۰/۰۰۱) و در ماه اردیبهشت (R^۲=۰/۹۷, P<۰/۰۰۱) برقرار بود (شکل ۴). فصل

زمان و تعیین حساس ترین نقاط به فرسایش، در مدیریت مناسب کارهای حفاظتی در نقاط مختلف منطقه ضروری است.

اردیبهشت، زمان اوج رخداد فرسایش خاک در منطقه است و از این رو مهم ترین زمانها در برنامه ریزی حفاظت خاک در منطقه هستند. بنابراین بررسی تغییرات مکانی هدررفت خاک در این دو



شکل ۳- تغییرات فرسایش خاک و باران در فصول مختلف طی دوره پژوهش



شکل ۴- همبستگی بین هدررفت خاک سالانه و هدررفت خاک در فصل بهار و ماه اردیبهشت طی دوره پژوهش

مختصات جغرافیایی کرت‌ها، می‌توان چگونگی تغییرات هدررفت خاک را به طور مکانی در سطح منطقه بررسی کرد. جدول ۳ میانگین هدررفت خاک ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره پژوهش در کرت‌های تحت بررسی را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که هدررفت خاک ماهانه، فصلی و سالانه در ۳۶ زمین (کرت) دارای تغییرات زیادی است. از آنجا که توزیع مکانی باران در سطح منطقه یکنواخت بود، بنابراین تفاوت در مقدار هدررفت خاک در کرت‌های مختلف در هر رخداد باران به دلیل تفاوت در نوع خاک کرت‌ها بود. با توجه به

جدول ۳- میانگین هدررفت خاک ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره پژوهش در کرت‌های تحت بررسی

| مختصات هدررفت خاک | | | | مختصات هدررفت خاک | | | | شماره کرت | شماره کرت | |
|-------------------------------|-------|----------|-------|-------------------------------|-------|-------|----------|-----------|-----------|----|
| مختصات جغرافیایی (دقیقه-درجه) | | | | مختصات جغرافیایی (دقیقه-درجه) | | | | | | |
| سال | بهار | ارديبهشت | عرض | طول | سال | بهار | ارديبهشت | عرض | طول | |
| ۲/۰۳۴ | ۱/۵۰۶ | ۱/۱۳۱ | ۳۷-۶ | ۴۶-۴۸ | ۲/۴۳۱ | ۱/۷۲۷ | ۱/۲۵۱ | ۳۷-۳۳ | ۴۶-۶ | ۱ |
| ۱/۴۹۱ | ۱/۰۰۲ | ۰/۷۵۶ | ۳۷-۲۵ | ۴۶-۵۱ | ۲/۰۹۷ | ۱/۵۰۵ | ۱/۰۷۹ | ۳۷-۳۳ | ۴۶-۵۰ | ۲ |
| ۰/۸۷۰ | ۰/۵۶۶ | ۰/۴۱۱ | ۳۷-۲۵ | ۴۶-۵۵ | ۲/۳۵۳ | ۱/۶۳۷ | ۱/۱۶۴ | ۳۷-۳۳ | ۴۶-۵۴ | ۳ |
| ۱/۲۳۵ | ۰/۸۳۱ | ۰/۶۱۴ | ۳۷-۲۶ | ۴۶-۵۸ | ۱/۴۷۶ | ۰/۹۹۸ | ۰/۷۰۲ | ۳۷-۳۴ | ۴۶-۵۶ | ۴ |
| ۱/۷۴۵ | ۱/۲۲۲ | ۰/۹۵۳ | ۳۷-۲۴ | ۴۷-۰ | ۲/۱۱۰ | ۱/۴۹۷ | ۱/۰۹۷ | ۳۷-۳۴ | ۴۷-۰۲ | ۵ |
| ۱/۴۶۹ | ۱/۰۳۲ | ۰/۸۱۳ | ۳۷-۲۳ | ۴۷-۳ | ۰/۷۳۷ | ۰/۴۷۸ | ۰/۳۴۲ | ۳۷-۳۳ | ۴۷-۰۴ | ۶ |
| ۲/۱۹۳ | ۱/۶۳۴ | ۱/۲۳۳ | ۳۷-۲۲ | ۴۶-۴۸ | ۱/۱۳۱ | ۰/۶۲۶ | ۰/۴۳۴ | ۳۷-۳۰ | ۴۶-۴۸ | ۷ |
| ۰/۹۶۴ | ۰/۷۱۴ | ۰/۵۳۱ | ۳۷-۲۳ | ۴۶-۵۱ | ۱/۰۳۹ | ۰/۷۲۸ | ۰/۵۵۵ | ۳۷-۳۱ | ۴۶-۵۱ | ۸ |
| ۰/۸۴۲ | ۰/۵۹۶ | ۰/۴۵۴ | ۳۷-۲۲ | ۴۶-۵۵ | ۱/۶۱۲ | ۱/۱۳۶ | ۰/۸۴۴ | ۳۷-۳۱ | ۴۶-۵۵ | ۹ |
| ۲/۱۶۵ | ۱/۶۲۸ | ۱/۲۳۵ | ۳۷-۲۳ | ۴۶-۵۸ | ۱/۹۵۰ | ۱/۴۵۴ | ۱/۱۰۲ | ۳۷-۳۰ | ۴۶-۵۸ | ۱۰ |
| ۱/۵۵۹ | ۱/۱۰۱ | ۰/۸۲۲ | ۳۷-۲۲ | ۴۷-۰۱ | ۱/۷۱۴ | ۱/۲۴۵ | ۰/۹۳۰ | ۳۷-۳۰ | ۴۷-۰۱ | ۱۱ |
| ۱/۷۶۵ | ۱/۳۱۰ | ۰/۹۹۷ | ۳۷-۲۳ | ۴۷-۰۵ | ۰/۹۰۶ | ۰/۶۲۶ | ۰/۴۳۹ | ۳۷-۳۱ | ۴۷-۰۴ | ۱۲ |
| ۱/۳۵۰ | ۰/۹۸۴ | ۰/۷۲۲ | ۳۷-۱۹ | ۴۶-۴۷ | ۲/۳۵۸ | ۱/۷۰۹ | ۱/۳۶۷ | ۳۷-۲۸ | ۴۶-۴۸ | ۱۳ |
| ۰/۶۷۴ | ۰/۴۷۶ | ۰/۳۴۴ | ۳۷-۲۰ | ۴۶-۵۲ | ۱/۷۳۱ | ۱/۲۳۷ | ۰/۸۹۹ | ۳۷-۲۹ | ۴۶-۵۲ | ۱۴ |
| ۱/۳۱۴ | ۱/۰۱۱ | ۰/۸۰۳ | ۳۷-۲۰ | ۴۶-۵۴ | ۱/۷۳۲ | ۱/۲۲۱ | ۰/۸۹۱ | ۳۷-۲۸ | ۴۶-۵۵ | ۱۵ |
| ۱/۲۷۳ | ۰/۹۰۵ | ۰/۶۶۸ | ۳۷-۲۰ | ۴۶-۵۸ | ۰/۷۲۲ | ۰/۳۷۱ | ۰/۲۷۴ | ۳۷-۲۸ | ۴۶-۵۷ | ۱۶ |
| ۱/۵۳۲ | ۱/۱۲ | ۰/۸۳۴ | ۳۷-۱۹ | ۴۷-۰۲ | ۰/۸۲۶ | ۰/۵۷۸ | ۰/۴۳۱ | ۳۷-۲۹ | ۴۷-۲ | ۱۷ |
| ۱/۴۴۴ | ۱/۰۶۳ | ۰/۷۵۶ | ۳۷-۲۰ | ۴۷-۰۳ | ۱/۷۵۵ | ۱/۲۵۸ | ۰/۹۰۰ | ۳۷-۲۷ | ۴۷-۰۵ | ۱۸ |

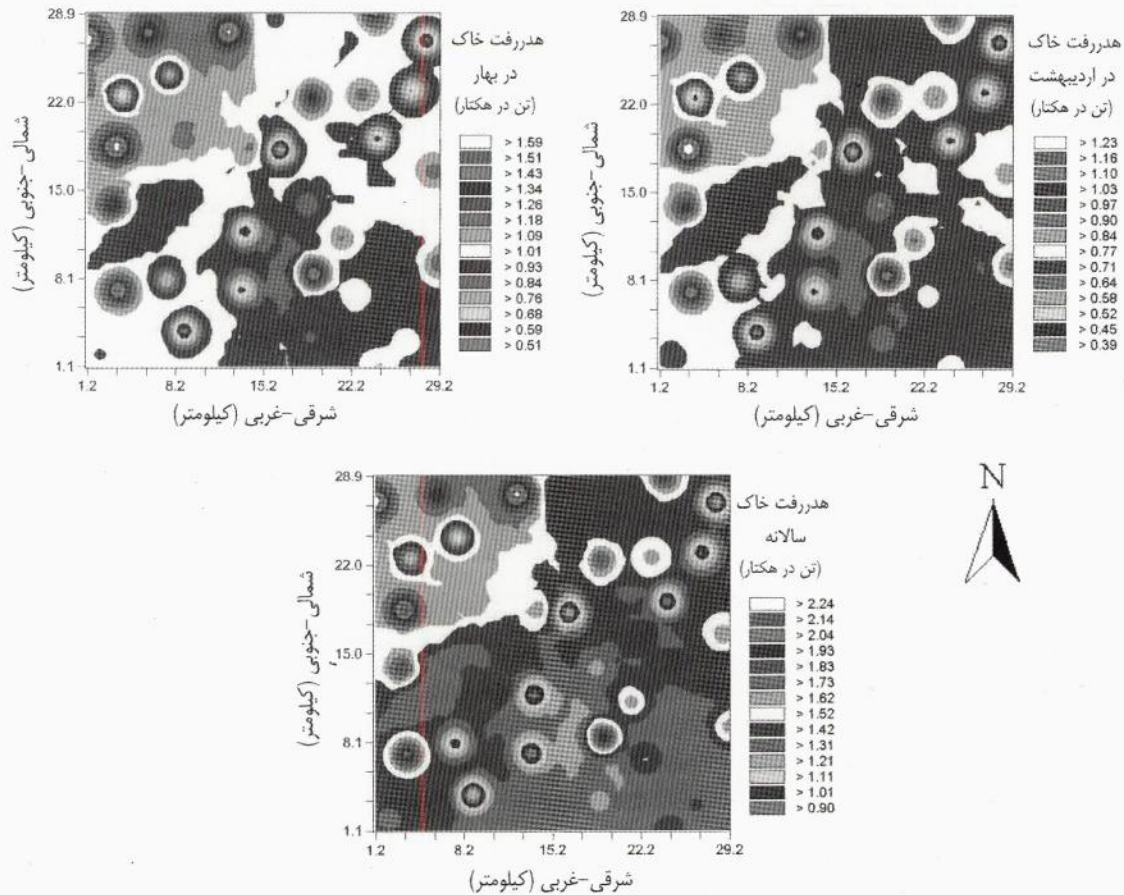
پراکنده در شمال شرق و جنوب غرب، در سایر نقاط بالاترین مقدار (بیشتر از ۱/۰۱ تن در هکتار) بود. هدررفت خاک سالانه نیز در شمال غرب و به طور بسیار پراکنده در برخی نقاط در منطقه، بالاترین مقدار (۱/۵۲ تن در هکتار) بود.

هدررفت خاک در ماه اردیبهشت مانند مقدار آن در بهار و در سال، در شمال غرب منطقه بیشترین بود. این نتیجه نشان می‌دهد که توزیع مکانی هدررفت خاک در ماه اردیبهشت تاحدی شبیه الگوی هدررفت خاک سالانه است. در حقیقت جلوگیری از فرسایش خاک در شمال غرب منطقه در ماه اردیبهشت نقشی مهم در کاهش فرسایش خاک سالانه در آن دارد. نتایج این پژوهش نظر سایر پژوهشگران (۸) در مورد اهمیت سازگاری کارهای کشاورزی با شرایط متغیر مکانی و زمانی هدررفت خاک برای حفظ خاک و استفاده از کریجینگ برای میان‌یابی و تهیه نقشه توزیع مکانی را تایید می‌کند. در این راستا مطابق نظر برخی محققان (۹)، بررسی توزیع مکانی هدررفت خاک و تعیین عوامل موثر بر آن در نقاط مختلف، می‌تواند در مدیریت درست کاهش خطرات هدررفت خاک موثر باشد.

توزیع آماری داده‌های هدررفت خاک در کرت-های مختلف در ماه اردیبهشت، فصل بهار و نیز در کل سال نرمال بود. بررسی تغییرنمای هدررفت خاک در زمان‌های مذکور نشان داد که تغییرنمای هدررفت خاک در اردیبهشت، بهار و نیز در کل سال از مدلی کروی به ترتیب با شعاع تاثیر ۲/۴۲، ۲/۴۳ و ۲/۴۲ کیلومتر پیروی می‌کند. در حقیقت مقدار هدررفت خاک سالانه تا فاصله ۲/۴۲ کیلومتر دارای تغییرات مکانی بود و در بیشتر از آن رفتاری تصادفی را نشان داد. خطای تغییرات مکانی در هر سه مورد بسیار پایین (به ترتیب ۱/۷، ۰/۲ و ۲/۴ درصد) بود. جدول ۴ مشخصات تغییرنمای هدررفت خاک در ابعاد زمانی مختلف طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ را نشان می‌دهد. بررسی تغییرات مکانی هدررفت خاک در ابعاد زمانی نشان داد که توزیع مکانی هدررفت خاک سالانه تقریباً شبیه به توزیع مکانی هدررفت خاک در فصل بهار و ماه اردیبهشت است (شکل ۵). هدررفت خاک در ماه اردیبهشت عمدتاً در شمال غرب و تاحدی در جنوب غرب و به طور پراکنده در شرق منطقه بالاترین (بیشتر از ۰/۷۷ تن در هکتار) بود. هدررفت خاک در بهار بجز در بخش‌هایی از جنوب و جنوب شرق و به طور

جدول ۴- مشخصات تغییرنمای هدررفت خاک در ابعاد زمانی مختلف طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

| هدررفت خاک | مدل | اثر قطعه ای | آستانه | شعاع تاثیر (کیلومتر) | خطا | ضریب تعیین |
|--------------|------|-------------|--------|----------------------|-------|------------|
| ماه اردیبهشت | کروی | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۹۹۴ | ۲/۴۲ | ۰/۰۱۷ | ۰/۹۰ |
| فصل بهار | کروی | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۱۷۵۸ | ۲/۴۳ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۳ |
| کل سال | کروی | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۲۹۰ | ۲/۴۲ | ۰/۰۲۴ | ۰/۷۷ |



شکل ۵- توزیع مکانی هدررفت خاک در ماه اردیبهشت، فصل بهار و کل سال در منطقه مورد بررسی

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی دیم در شمال غرب ایران انجام گرفت. اندازه‌گیری هدررفت خاک در ۳۶ زمین کشاورزی دیم در کرت‌های استاندارد تحت رخدادهای طبیعی باران طی دو سال نشان داد که هدررفت خاک تحت تاثیر مثبت معنی‌دار فرسایندهای باران قرار دارد (۰/۰۰۱ R^2). مقدار فرسایندهای باران و هدررفت خاک در ماه اردیبهشت (به ترتیب ۴۵/۱ و ۵۲/۷ درصد سالانه) و در فصل بهار بیشترین مقدار (به ترتیب ۶۲/۲ درصد و ۷۱ درصد سالانه) بود. هدررفت خاک سالانه همبستگی مثبت معنی‌داری با هدررفت خاک در فصل بهار (۰/۹۸ R^2) و ماه

اردیبهشت (۰/۹۷ R^2) داشت. تغییرات مکانی هدررفت خاک سالانه (با شعاع تاثیر ۲/۴۲ کیلومتر) بسیار شبیه به تغییرات مکانی آن در فصل بهار (با شعاع تاثیر ۲/۴۳ کیلومتر) و در ماه اردیبهشت (با شعاع تاثیر ۲/۴۲ کیلومتر) بود. توزیع مکانی هدررفت خاک در اردیبهشت مانند مقدار آن در بهار و در سال، در شمال غرب منطقه بسیار بیشتر از سایر نقاط بود؛ بنابراین جلوگیری از فرسایش خاک در شمال غرب منطقه در ماه اردیبهشت نقشی مهم در کاهش فرسایش خاک سالانه دارد. این نتایج آشکار می‌کند که با تعیین هدررفت خاک در ابعاد ماهانه و بررسی توزیع مکانی آن می‌توان اقدامی سریع و موثر در کاهش هدررفت خاک انجام داد.

سیاسگزاری

اختیار گذاشتن زمین‌های کشاورزی برای انجام آزمایش سیاسگزاری می‌شود.

از اداره آبیاری شهرستان هشتروند به خاطر ارائه داده‌های باران و از کشاورزان منطقه به خاطر در

منابع

۱. آقابییگی امین، س.، صادقی، س.ح.ر. و وفاه خواه، م. ۱۳۸۴. الگوی تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق در زیر حوزه هاب مهم رودخانه هراز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، صص ۵۳-۸۸.
۲. حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار. انتشارات دانشگاه تهران، ایران، صص ۷۳-۷۷.
۳. حکیمی، م. ۱۳۶۵. گزارش خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی اجمالی منطقه هشتروند. نشریه شماره ۷۶۷، وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، موسسه تحقیقات خاک و آب، صص ۳-۱۲.
۴. مهدیان، م. ح. ۱۳۸۴. بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج، ۶ تا ۹ شهریور ۱۳۸۴، صص ۲۲۶-۲۳۱.
5. Anonymous. 2009. Revised Universal Soil Loss Equation 2 - Overview of RUSLE2. Available on the <http://www.ars.usda.gov/research/docs>.
6. Aggasi, M. 1996. Soil erosion, conservation, and rehabilitation. Marcel Dekker, New York, pp: 86-107.
7. Bruce, R.R., Langdale, G.W., Est, L.J., and Miller, W.P. 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. Soil Science Society of American Journal, 59: 654-660.
8. Castrignano, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., and Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. Geoderma, 97: 39-60.
9. Cerri, C.E.P., Bernoux, M., Chaplot, V., Volkoff, B., Victoria, R.L., Melillo, J.M., Paustian, K., and Cerri, C.C. 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. Geoderma, 123: 51-68.
10. Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63: 85-108.
11. Hussein, M.H., Kariem, T.H., and Othman, A.K. 2007. Predicting soil erodibility in northern Iraq using natural runoff data. Soil and Tillage Research, 94: 220-228.
12. Kinnell, P.I.A. 2000. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non point source pollution model. Environmental Modelling and Software, 15: 331-341.

13. Polhmann, H. 1993. Geostatistical modeling of environmental data. *Catena*, 20: 191-198.
14. Rejman, J., Turski, R., and Paaluszek, J. 1998. Spatial and temporal variation in erodibility of loess soil. *Soil and Tillage Research*, 46: 61-68.
15. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G. A., McCool, D.K., Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404 p.
16. Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W., and Barnes, K.K. 1981. Soil and water conservation engineering. Third edition, John Wiley and Sons, New York, pp: 100-103.
17. Tejada, M., and Gonzalez, J.L. 2006. The relationship between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 86: 97-106.
18. Wang, G. Gertner, G. Liu, X., and Anderson, A. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena*, 46:1-14.
19. Williams, J.R. and Berndt, H.D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Trans. Am. Society Agriculture Engineering*, 20: 1100-1104.
20. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC., pp: 13-27.
21. Yang, M.Y., Tian, J.L., and Liu, P.L. 2005. Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China using ¹³⁷Cs. *Soil and Tillage Research*, 83(3): 121-128.
22. Yates, S.R., and Warrick, A.W. 1992. Estimation soil water content using cokriging. *Soil Science Society of American Journal*, 51: 23-30.