تعیین اندازهٔ مناسب کرت‌های برآورد روان‌آب و رسوب آبخیزهای کوچک در حوزهٔ آبخیز سنگانه، استان خراسان رضوی

مهدی بشری سه‌قلعه[۱]، سیدحمیدرضا صادقی[*۱] و عبدالصالح رنگ‌آور[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۲)

چکیده

اطلاع از چگونگی فرآیند فرسایش و میزان توانایی حمل رسوب بر اساس مطالعات انجام شده در کرت‌های اندازه‌گیری برای بررسی فرآیندهای موجود در تحقیقات فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیکن، انجام بررسی در خصوص امکان تعمیم نتایج حاصل از کرت‌های آزمایشی به حوزه‌های آبخیز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو، در تحقیق حاضر سعی شد تا دقت کرت‌های مختلف فرسایش خاک در برآورد روان‌آب و رسوب حوزه‌های آبخیز کوچک مورد بررسی قرار گیرد. به منظور انجام تحقیق، تعداد ۱۲ کرت آزمایشی با طول‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر و عرض ثابت ۲ متر در دو دامنه شمالی و جنوبی یکی از حوزه‌های آبخیز پایگاه تحقیقاتی حفاظت خاک سنگانه واقع در شمال شرقی استان خراسان رضوی مستقر گردید. به منظور بررسی دقت کرت‌های مورد بررسی، مقادیر روان‌آب و رسوب خروجی از کرت‌ها و حوزهٔ آبخیز محاط بر آن به مساحت حدود ۱ هکتار با استفاده از مخازن، جمع‌آوری، اندازه‌گیری و برای مقایسه مورد استفاده قرارگرفت. در طول مدت تحقیق از اواخر آبان ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ به عنوان دوره بارندگی منطقه، ۱۲ رگبار منجر به روان‌آب به وقوع پیوست که کلیه داده‌های حاصل در خروجی کرت‌ها شامل روان‌آب، رسوب و غلظت جمع‌آوری و نهایتاً مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل دلالت بر افزایش دقت کرت‌های مورد مطالعه در برآورد روان‌آب و رسوب حوزه‌های آبخیز کوچک با افزایش طول آنها داشته و طول مناسب آنها برای تخمین صحیح هر یک از متغیرهای روان‌آب و رسوب به میزان طول متوسط شیب حوزهٔ آبخیز و بیش از ۲۰ متر بوده است.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، تولید روان‌آب، حوزهٔ آبخیز سنگانه، خراسان رضوی، فرسایش خاک، کرت آزمایشی

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sadeghi@modares.ac.ir

مقدمه

استفاده از کرت‌های آزمایشی فرسایش خاک به‌دلیل درک فرآیند حاکم، انجام مطالعات مقایسه‌ای و ارزیابی کارآیی مدل‌های برآورد فرسایش خاک حائز اهمیت فراوان بوده، لیکن تعیین ابعاد بهینهٔ آنها برای هر یک از شرایط به‌خصوص در حوزه‌های آبخیز از ضروریات است (۱۶). هم‌چنین ارزیابی عکس‌العمل فرآیند فرسایش خاک در برابر گزینه‌های مختلف مدیریتی با استفاده از کرت‌های آزمایشی امکان‌پذیر می‌باشد (۸ و ۱۴). از طرفی تعیین ابعاد مناسب کرت با توجه به اهداف مورد بررسی و سایر شرایط حاکم بر تصمیم‌گیری بسیار مهم بوده و زمینه‌ساز دست‌یابی به نتایج قابل اعتماد خواهد بود. به همین دلیل محققین متعددی به مقایسهٔ ابعاد مختلف کرت‌ها در بررسی برآورد فرسایش خاک و تولید روان‌آب حوزه‌های آبخیز پرداخته‌اند.

دابنی، کرت‌های آزمایشی به سطح ۸۰ مترمربع را با حوزهٔ آبخیز ۳ هکتاری مقایسه نمود و روان‌آب حوزهٔ آبخیز را ۲ برابر کرت‌ها به‌دست آورد (۴). پلیاکوف، کرت‌هایی با ابعاد ۴ در ۴ متر را با حوزهٔ آبخیز محاط بر آن در ایالات متحده مقایسه کرد و هدررفت خاک در کرت‌ها را بسیار بالاتر از سطح حوزهٔ آبخیز برآورد نمود (۲۲). شارپلی و کلینمن، کرت‌های به ابعاد ۲×۱ و ۱۰/۷×۳ متر را به‌منظور مقایسه با سطح حوزهٔ آبخیز در منطقه پنسیلوانیا به کار برده و نتیجه گرفتند که با افزایش مساحت، میزان روان‌آب در واحد سطح کاهش یافت (۲۳). کردان و همکاران کرت‌های ۴۴۰ و ۴۸۰ مترمربعی در حوزهٔ آبخیز نورماندی (Normandy) فرانسه استفاده نمودند و این‌دو را با دو حوزهٔ آبخیز ۹۰ هکتاری و ۱۱۰۰ هکتاری مقایسه نموده و به وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج حاصل از کرت آزمایشی و حوزه‌های مورد مطالعه دست پیدا نمودند (۱۲). بویکس‌فایوس و همکاران در اسپانیا کرت‌های ۱، ۳۰ و ۸۲ متر مربعی و کرت‌های گرد ۰/۲۴ مترمربعی را با سطح حوزهٔ آبخیز مقایسه نمودند که نهایتاً به اختلاف بین نتایج سطوح مختلف به‌دلیل تفاوت در عوامل موثر بر فرسایش در سطح کرت‌ها اذعان داشتند (۱۱). هم‌چنین مای، میزان روان‌آب و رسوب در درون سه سطح شامل کرت‌هایی با ابعاد ۲×۱ متر، زیرحوزهٔ آبخیزی با وسعت ۱۹/۱ هکتار و حوزهٔ آبخیز اصلی آنها در شمال ویتنام را برآورد نمود و نتیجه گرفت که میزان روان‌آب و رسوب برآوردی در زیرحوزهٔ آبخیز و حوزهٔ آبخیز اصلی محاط بر آن بسیار کمتر از میزان برآوردی درون کرت‌های داخل حوزهٔ آبخیز بوده‌است (۱۸).

در ایران نیز کاربرد انواع مختلف کرت‌های آزمایشی از وسعت چندین دسی‌مترمربع تا چندین صد مترمربع برای ارزیابی نقش تیمارهای مختلف (۳، ۴ و ۹) و یا اندازه‌گیری فرسایش و رسوب (۱، ۲، ۶، ۷ و ۸) مد نظر قرار گرفته است. هم‌چنین اغلب کرت‌های مورد استفاده در خارج و داخل کشور به‌صورت مربع و یا مستطیلی بوده و با استفاده از دیواره‌های خاکی، ورقه‌های چوبی و فلزی محصور شده‌اند.

نتایج بررسی سوابق نشان می‌دهد که به‌رغم تلاش‌های انجام شده در زمینه استانداردسازی روش‌های تحقیقات حفاظت خاک و هیدرولوژی از سطوح متفاوتی از کرت‌ها به‌منظور مطالعات مزبور استفاده شده، لیکن تحقیق کافی در زمینهٔ تعیین ابعاد مناسب کرت برای برآورد روان‌آب و رسوب حوزه‌های آبخیز محاط بر آنها صورت نگرفته است که ضرورت تحقیق حاضر در این راستا را تأکید می‌نماید. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دقت کرت‌های مختلف فرسایش خاک در برآورد روان‌آب، رسوب و غلظت رسوب تولیدی در حوزه‌های آبخیز کوچک برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام تحقیق حاضر، یکی از زیرحوزه‌های آبخیز پایگاه تحقیقاتی حفاظت خاک سنگانه واقع در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان مشهد با طول ″۳۰ ′۱۵ °۶۰ شرقی و عرض ″۱ ′۴۱ °۳۶ شمالی و در نزدیکی روستای سنگانه و ارتفاع

متوسط ۷۰۰ متر از سطح دریا با پوشش گیاهی، خاک و شیب یکنواخت انتخاب گردید. موقعیت و وضعیت کلّی عرصه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

میانگین دمای سالانهٔ منطقه برابر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ضریب دومارتن آن ۱۰/۲ بوده که با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۷ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه‌خشک است. از نظر زمین‌شناسی، سازند منطقه از شیل‌های یکنواختی تشکیل شده که دارای لایه‌های نازک از ماسه‌سنگ است و خاک‌های منطقه نیز در فیزیوگرافی فلات قرار گرفته و شامل رده‌های انتی‌سول و اریدی‌سول می‌باشد. تیپ غالب پوشش گیاهی عرصه درمنه (*Artemisia sieberi*) و حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد شیب‌های شمالی را تشکیل می‌دهد ولی در قسمت‌هایی نیز تیپ پوآ (*Poa bulbosa*) و سالسولا (*Salsola* spp.) غالب است. پوشش گیاهی در دامنه‌های جنوبی ضعیف و متوسط پوشش حوزهٔ آبخیز حدود ۲۰ درصد می‌باشد (۵ و ۷).

روش انجام کار

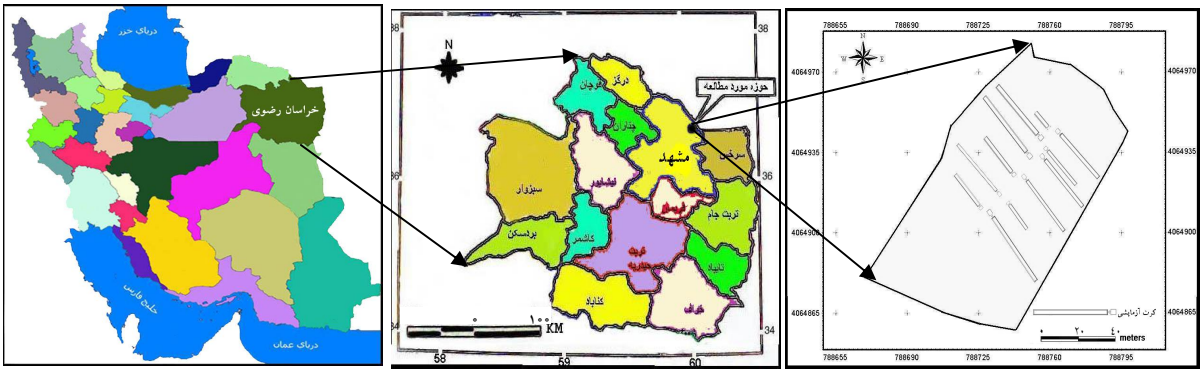
به‌منظور انجام تحقیق، ابتدا اقدام به احداث یک جفت کرت به عرض ثابت ۲ متر در طول‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر برای آزمون نتایج حاصل با خروجی‌های ثبت شده در انتهای حوزهٔ آبخیز کوچک مطالعاتی به مساحت یک هکتار گردید. جداسازی و محصورسازی محیط کرت‌ها با خارج با استفاده از ورق‌های فلزی به عرض ۳۰ سانتی‌متر (۷ و ۱۴) انجام شد. در انتهای هر کرت تأسیسات جمع‌آوری روان‌آب و رسوب حاصل از سطح کرت، شامل قیف جمع‌آوری و مخازن نصب گردید. امکان تکرار برای کرت‌های مورد بررسی به سبب عدم امکان دست‌یابی به دو طول شیب مساوی در قسمت‌های مشابه، محدودیت اعتبار و نیز عدم وجود حوزهٔ آبخیز مجهز به سامانه‌های اندازه‌گیری روان‌آب در خروجی و باران وجود نداشت. پس از نصب کرت‌ها نمونه برداری از روان‌آب و رسوب از اواخر آبان‌ماه ۱۳۸۵ آغاز گردید و در طول مدت اجرای تحقیق تا خردادماه ۱۳۸۶، جمعاً ۱۲ نوبت بارندگی مناسب و منجر به تولید روان‌آب و رسوب ریزش نمود. در هر بارندگی حجم روان‌آب موجود در مخازن ثبت و برای تعیین غلظت، از روان‌آب محتوی رسوب هر مخزن پس از به‌هم زدن کامل، از طریق شیر تخلیه کف مخزن (۱۰) نمونه‌برداری گردید و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد تا داده‌های اولیه رسوب استخراج و محاسبه گردد. در نهایت نیز میزان گل‌آلودگی برحسب گرم در لیتر، رسوب بر حسب گرم و روان‌آب بر حسب لیتر محاسبه گردید.

سپس به‌منظور ارزیابی دقت کرت‌های مختلف در برآورد مقدار روان‌آب و رسوب از مقایسهٔ نتایج حاصل از آنها با مقدار مشاهده‌ای متغیرهای مورد بررسی در خروجی حوزهٔ آبخیز مطالعاتی و در مقیاس رگبارهای اتّفاق افتاده و و احد سطح استفاده شد. به‌همین منظور کلیه داده‌های مذکور به نرم‌افزار SPSS 11.5 وارد شد. مقایسه نتایج حاصل از کرت‌ها و در مقایسه با خروجی به‌دست آمده از حوزهٔ آبخیز محاط بر آنها با استفاده از آنالیز واریانس وKruskal Wallis و بسته به نرمال و یا غیرنرمال بودن داده‌ها شد. به این منظور، ابتدا آزمون نرمالیتی برای بررسی داده‌ها با استفاده از روش Kolmogorov-Smirnov انجام و سپس آنالیز متناسب با آن استفاده شد. نهایتاً ابعاد و یا به عبارتی طول مناسب کرت‌ها با توجه به سطح غیرمعنی‌داری اختلاف میانگین داده‌های حاصل از رگبارهای مطالعاتی با مقادیر ثبت شده در خروجی حوزهٔ آبخیز انتخاب و برای هر مقوله روان‌آب و رسوب به‌طور جداگانه تحلیل شد.

نتایج

الف. نتایج مربوط به نمونه‌های صحرایی

جدول ۱ مشخصات روان‌آب و رسوب خروجی حوزهٔ آبخیز طی رگبارهای مشاهده‌ای و جدول ۲ میانگین مقادیر روان‌آب و رسوب در واحد سطح خروجی کرت‌های حوزهٔ آبخیز مطالعاتی طی رگبارهای مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت عرصه مطالعاتی در کشور، استان خراسان رضوی و نمایی از محل استقرار کرت‌ها

جدول ۱ مشخصّات روان‌آب و رسوب اندازه‌گیری شده در محل خروجی اصلی حوزهٔ آبخیز سنگانه طی رگبارهای مشاهده‌ای

متغیر / تاریخ	۱۳۸۵/۹/۲۸	۱۳۸۵/۱۱/۱۰	۱۳۸۵/۱۱/۳۰	۱۳۸۵/۱۲/۸	۱۳۸۵/۱۲/۱۸	۱۳۸۵/۱۲/۲۶	۱۳۸۵/۱۲/۳۰	۱۳۸۶/۱/۳	۱۳۸۶/۱/۸	۱۳۸۶/۱/۱۰	۱۳۸۶/۱/۱۶	۱۳۸۶/۱/۲۴
مقدار باران (میلی‌متر)	۶/۸	فاقد داده	۹/۴	۸/۵	فاقد داده	۰/۲	فاقد داده					۵/۸
حجم روان‌آب (لیتر)	۵۳۷/۹۰۰	۸۷/۶۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۴۰/۸۰۰	۳۸/۱۰۰	۰/۰۰۰	۲۱۶/۰۴۵	۲۵/۸۰۰	۵۳۱/۰۰۰	۲۷۷۲/۶۰۰	۱۷۹۴/۰۰۰
روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر بر مترمربع)	۰/۰۵۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۵۱	۰/۲۶۶	۰/۱۷۲
وزن کل رسوب (گرم)	۴۳۰/۳۲	۳۷/۸۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۵۱/۹۷۹	۵۳/۰۳۵	۰/۰۰۰	۲۰۱/۷۸۶	۳۲/۱۴۶	۲۱۹/۸۳۴	۵۶۴۱۱/۳۲۰	۶۰۱۶۵/۳۸۰
رسوب در واحد سطح (گرم بر مترمربع)	۰/۰۴۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	۵/۴۲۵	۵/۷۸۶

جدول ۲. میانگین مقادیر روان‌آب (لیتر بر مترمربع) و رسوب (گرم بر مترمربع) حاصل از هر یک جفت کرت با طول‌های مختلف در حوزهٔ آبخیز سنگانه طی رگبارهای مشاهده‌ای

طول کرت (متر)	متغیر / تاریخ	۱۳۸۵/۹/۲۸	۱۳۸۵/۱۱/۱۰	۱۳۸۵/۱۱/۳۰	۱۳۸۵/۱۲/۸	۱۳۸۵/۱۲/۱۸	۱۳۸۵/۱۲/۲۶	۱۳۸۵/۱۲/۳۰	۱۳۸۶/۱/۳	۱۳۸۶/۱/۸	۱۳۸۶/۱/۱۰	۱۳۸۶/۱/۱۶	۱۳۸۶/۱/۲۴
۲	روان‌آب	۰/۶۶۰	۱/۰۲۰	/۷۴۴۰	۰/۹۸۴	۱/۰۶۸	۰/۶۱۲	۰/۰۰۰	۰/۸۵۲	۰/۶۲۴	۲/۶۶۳	۱/۶۰۷	۲/۲۲۸
	رسوب	۱/۰۵۶	۱/۳۷۷	۷/۹۶۳	۱/۲۹۶	۱۸/۷۲۸	۰/۷۵۲	۰/۰۰۰	۱/۳۲۵	۰/۸۸۹	۴/۸۴۸	۵۲/۱۱۶	۷۳/۹۱۹
۵	روان‌آب	۰/۱۴۸	۰/۲۵۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۰	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	۰/۰۹۴	۰/۰۷۰۲	۰/۹۵۰	۱/۰۳۶	۱/۳۹۹
	رسوب	۰/۷۶۷	۰/۶۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۱۰	۰/۱۳۸	۰/۰۰۰	۰/۱۷۱	۰/۱۱۳	۱/۰۷۱	۴۹/۶۱۰	۱۶۵/۰۴۳
۱۰	روان‌آب	۰/۱۶۸	۰/۲۰۸	۰/۱۸۰	۰/۰۳۹	۰/۲۰۸	۰/۱۰۵	۰/۰۳۶۰	۰/۲۱۳	۰/۰۵۰	۰/۶۸۴	۰/۶۲۱۰	۰/۵۷۶۰
	رسوب	۰/۵۱۳	۰/۲۷۴	۰/۱۵۸	۰/۰۳۲	۰/۲۳۸	۰/۱۴۲	۰/۰۳۸۰	۰/۱۷۶	۰/۰۵۵	۰/۶۱۸	۴۳/۴۳۴	۳۵/۰۲۳
۱۵	روان‌آب	۰/۰۶۳	۰/۰۷۲	۰/۱۱۲	۰/۰۰۰	۰/۱۹۳	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰	۰/۱۶۹	۰/۰۲۶	۰/۳۶۰	۰/۴۱۶	۰/۷۲۸۰
	رسوب	۰/۲۵۳	۰/۱۴۲	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰	۰/۱۷۰	۱/۲۷۴	۰/۰۰۰	۰/۱۱۴	۰/۰۲۵	۰/۲۶۵	۷/۶۸۸	۵۷/۵۵۶
۲۰	روان‌آب	۰/۰۵۴	۰/۱۶۶	۰/۰۰۰	۰/۱۱۰	۰/۱۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۸۹	۰/۰۱۵	۰/۳۵۸	۰/۵۲۹۰	۰/۸۹۷۰
	رسوب	۰/۲۴۳	۰/۴۱۸	۰/۰۲۴	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۰۴۱	۰/۹۲۳	۳۵/۷۴۲	۱۱۵/۶۰۸
۲۵	روان‌آب	۰/۰۷۷	۰/۱۶۷	۰/۰۲۹	۰/۱۰۲	۰/۰۷۶	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۶۷	۰/۰۴۵	۰/۳۸۶	۰/۴۲۹۰	۰/۴۹۲۰
	رسوب	۰/۲۶۴	۰/۲۱۱	۰/۰۴۶	۰/۱۱۹	۰/۰۸۷	۰/۰۴۹	۰/۰۰۰	۰/۱۳۹	۰/۰۵۲	۰/۵۱۱	۱۶/۶۶۸	۲۳/۶۰۲

ب. نتایج مربوط به روان‌آب

جدول ۳ نیز مختصات توصیفی آماری داده‌های میانگین روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر بر مترمربع) جفت کرت‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج استفاده از آزمون Kruskal Wallis در مقایسه داده‌های غیرنرمال میانگین روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر بر مترمربع) جفت کرت‌های آزمایشی با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز مؤید اختلاف معنی‌دار آنها به یکدیگر با مقدار Chi-Square، درجه آزادی و سطح معنی‌داری به ترتیب ۲۵/۸۲۳، ۶ و کمتر از یک درصد بوده است. از این‌رو آزمون Mann-Whitney U برای رده‌بندی آنها انجام و نتایج مربوط و رده‌بندی حاصله در شکل ۲ ارائه شده است.

ج. نتایج مربوط به رسوب

مختصّات توصیفی آماری داده‌های میانگین رسوب در واحد سطح (گرم در متر مربع) درون جفت کرت‌ها نیز در جدول ۴ نشان داده شده‌اند

آزمون Kruskal Wallis در مقایسه داده‌های غیرنرمال میانگین رسوب در واحد سطح (گرم در مترمربع) جفت کرت‌های آزمایشی با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز انجام گرفت. نتایج این آزمون وجود اختلاف معنی‌دار آنها با یکدیگر به مقدار Chi-Square، درجه آزادی و سطح معنی‌داری به ترتیب ۱۷/۳۰۳، ۶ و ۰/۰۰۸ را تأیید نمود و لذا آزمون Mann-Whitney U برای رده‌بندی آنها به‌صورت ارائه شده در شکل ۳ انجام شد.

د. نتایج مربوط به غلظت

مختصّات توصیفی آماری داده‌های میانگین غلظت در واحد سطح (گرم در لیتر بر مترمربع) درون جفت کرت‌ها و خروجی حوزهٔ آبخیز در جدول ۵ ارائه شده است

برای بررسی مقادیر مربوط به غلظت نیز آزمون Kruskal Wallis به‌منظور مقایسه داده‌های غیرنرمال میانگین غلظت در واحد سطح (گرم در لیتر بر مترمربع) کرت‌های آزمایشی با طول برابر با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز انجام گرفت. نتایج آزمون مؤید اختلاف معنی‌دار آنها با یکدیگر با مقدارChi-Square، درجه آزادی و سطح معنی‌داری به ترتیب ۲۶/۷۵۳، ۶ و کمتر از یک درصد بوده است. لذا جهت بررسی دقیق‌تر آزمون Mann-Whitney U برای رده‌بندی آنها انجام و نتایج مربوط و مقایسه ترسیمی آن در شکل ۴ ارائه شده است.

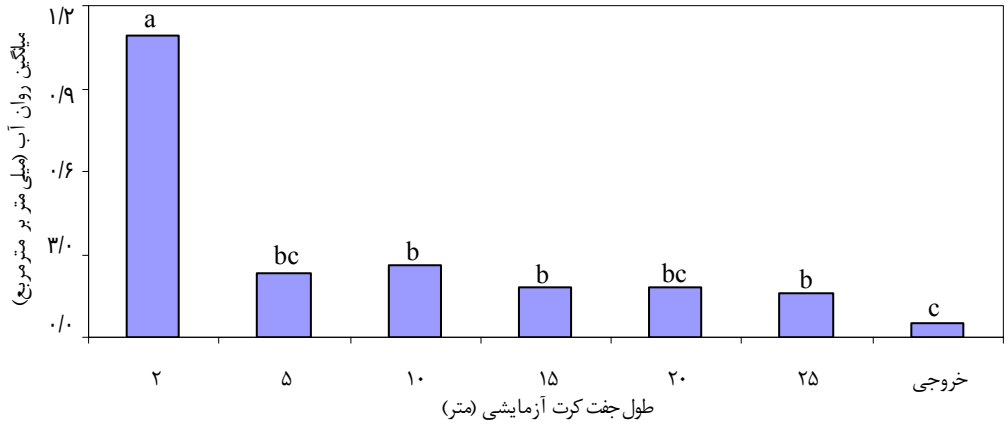
بحث و نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات مقادیر روان‌آب، رسوب و غلظت رسوب با تغییر در طول کرت (جدول ۲) حاصل از میانگین‌گیری مقادیر حاصل از کرت‌های زوجی روی دو دامنهٔ شمالی و جنوبی، مختصات توصیفی آماری این داده‌های میانگین (جداول ۳ تا ۵)، مقایسهٔ آماری داده‌های حاصل (شکل‌های ۲ تا ۴) و نیز مطالعات تفضیلی صادقی و همکاران (۷) در رابطه با نقش دو جهت دامنه بر مقادیر متغیرهای مورد بررسی در حوزهٔ آبخیز مشابه نشان می‌دهد که ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی با طول کرت‌ها به‌صورت کاهنده و غالباً غیرخطی است که با ایده‌های دندی وبولتون (۱۳) و پارکر و اوسترکمپ (۲۱) در این زمینه هم‌سو است ولی با یافته‌های نورتون و همکاران (۲۰) اختلاف دارد.

خروجی ویژهٔ ناچیز حوزهٔ آبخیز اصلی به‌دلیل وسعت بزرگ نسبی آن، کاهش شیب متوسط (۲۴) و طبعاً امکان ذخیره، هدررفت، نفوذ و تبخیر طی انتقال بوده که با یافته‌های لاکنو به نقل از نارایانا (۱۹)، و نیز صادقی و همکاران (۷) در حوزهٔ آبخیز مذکور هم‌سو می‌باشد. تفاوت در عملکرد مقادیر اندازه‌گیری شده در کرت‌ها خصوصاً در رابطه با مقدار رسوب را می‌توان به اختلاف مفهومی مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در کرت‌های آزمایشی به عنوان مقدار فرسایش اندازه‌گیری شده در سراب حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه و طبعاً ضرورت دخالت عامل نسبت تحویل رسوب (Sediment Delivery Ratio) در تبدیل

جدول ۳. مختصات توصیفی آماری داده‌های میانگین روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر بر مترمربع) جفت کرت‌ها طی ۱۲ رگبار مشاهداتی

طول کرت (متر)	میانگین	انحراف معیار	اشتباه استاندارد
۲	۱/۰۸۸	۰/۷۴۱	۰/۲۱۴
۵	۰/۳۳۲	۰/۴۹۵	۰/۱۴۳
۱۰	۰/۲۵۷	۰/۲۳۳	۰/۰۶۷
۱۵	۰/۱۸۴	۰/۲۱۷	۰/۰۶۲
۲۰	۰/۱۸۱	۰/۲۷۸	۰/۰۸۰
۲۵	۰/۱۶۰	۰/۱۷۲	۰/۰۴۹

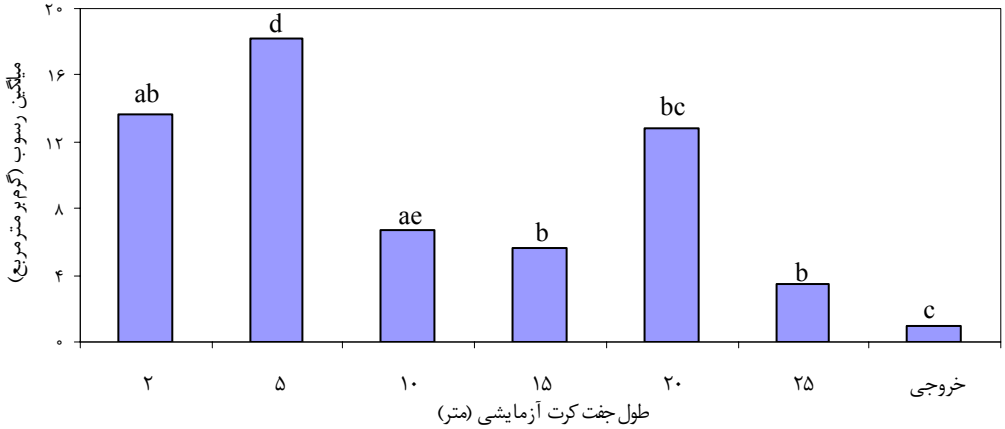


شکل۲. گروه‌بندی داده‌های میانگین روان‌آب در واحد سطح (میلی‌متر بر مترمربع) جفت کرت‌های آزمایشی با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز با استفاده از آزمون Mann-Whitney U

جدول ۴. مختصّات توصیفی آماری داده‌های میانگین رسوب در واحد سطح (گرم در متر مربع) در جفت کرت‌ها طی ۱۲ رگبار مشاهداتی

طول کرت (متر)	میانگین	انحراف معیار	اشتباه استاندارد
۲	۱۳/۶۸۹	۲۴/۰۷۷	۶/۹۵۰
۵	۱۸/۱۷۰	۴۸/۳۷۴	۱۳/۹۶۴
۱۰	۶/۷۲۵	۱۵/۲۸۸	۴/۴۱۳
۱۵	۵/۶۳۵	۱۶/۴۹۴	۴/۷۶۱
۲۰	۱۲/۷۶۹	۳۳/۹۶۱	۲/۲۸۶
۲۵	۳/۴۷۹	۷/۹۲۰	۰/۶۴۸

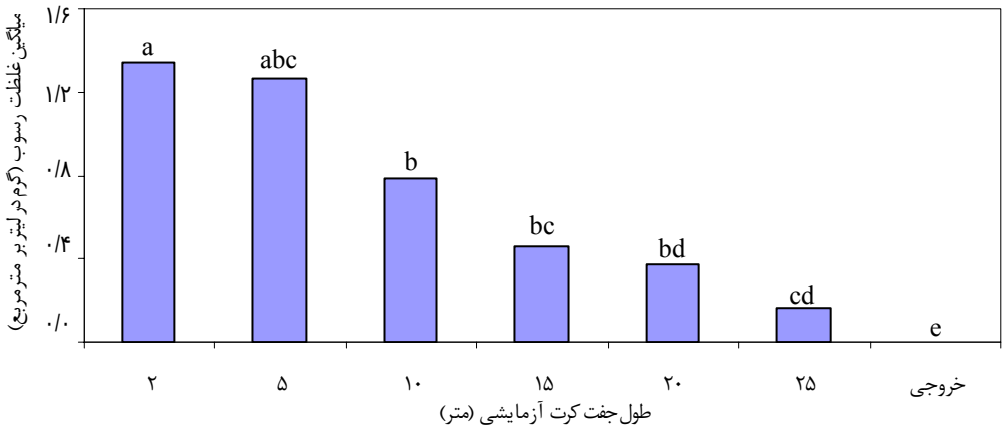
مقدار فرسایش به رسوب (۱۷) نسبت داد. از سوی دیگر دقت در نتایج حاصل از آزمون Mann-Whitney U در آنالیز داده‌های میانگین غلظت، روان‌آب و رسوب جفت کرت‌ها بیان می‌کند که کرت‌های کوچک نتایج بسیار متفاوتی را در رگبارهای مختلف به‌دست آورده‌اند و با افزایش طول کرت‌ها از میزان این اختلافات کاسته شده است و در کرت‌های با طول بالاتر نیز این اختلافات معنی‌دار نیست. اختلاف بین نتایج روان‌آب، رسوب و غلظت حاصل از کرت‌های ۲ متری با سایر کرت‌ها در سطح ۱



شکل۳. گروه‌بندی داده‌های میانگین رسوب در واحد سطح(گرم در مترمربع) جفت کرت‌های آزمایشی با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز با استفاده از آزمون Mann-Whitney U

جدول ۵ . مختصات توصیفی آماری میانگین غلظت در واحد سطح (گرم در لیتر بر مترمربع) در جفت کرت‌ها طی ۱۲ رگبار مشاهداتی

طول کرت (متر)	میانگین	انحراف معیار	اشتباه استاندارد
۲	۱/۳۳۹	۲/۵۰۳	۰/۷۲۲
۵	۱/۲۶۰	۲/۹۲۹	۰/۸۴۵
۱۰	۰/۷۸۹	۱/۹۲۳	۰/۵۵۵
۱۵	۰/۴۶۰	۱/۱۳۴	۰/۳۲۷
۲۰	۰/۳۷۶	۰/۸۴۱	۰/۲۴۲
۲۵	۰/۱۶۰	۰/۳۵۳	۰/۱۰۱



شکل۴. گروه‌بندی داده‌های میانگین غلظت در واحد سطح (گرم در لیتر بر مترمربع) کرت‌های آزمایشی با یکدیگر و با خروجی حوزهٔ آبخیز با استفاده از آزمون Mann-Whitney U

درصد (شکل‌های ۲ تا ۴) این نکته را تأیید می‌کند. هم‌چنین اختلاف معنی‌دار بین مقادیر غلظت در واحد سطح حاصل از میانگین مقادیر با خروجی بر عدم ارتباط خطی تغییرپذیری روان‌آب و رسوب تأکید داشته که منشا اختلاف بارز نتایج حاصل و در سطح ۱ درصد شده است که با بیانات جیمنزهورنرو و همکاران (۱۵) و تأکیدات دندی و بواتون (۱۳) و پارکر و اوستر‌کمپ (۲۱) مبنی بر ارتباط غیرخطی اغلب متغیرهای هیدرولوژیک با یکدیگر موافقت دارد. نهایتاً با توجه به سطح غیرمعنی‌داری اختلاف بین کرت‌های ۲۰ متری در برآورد مقادیر روان‌آب و رسوب در واحد سطح حاصل از کرت و خروجی حوزهٔ آبخیز می‌توان این طول را به‌منظور برآورد رسوب و روان‌آب حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه مناسب ارزیابی نمود که این طول با میزان حدود ۲۲ متر طول مورد استفاده در کرت‌های استاندارد تحقیقات فرسایش خاک توسط ویشمایر واسمیت (۲۵) و بسیاری از تحقیقات انجام شده در کرت‌های استاندارد اختلاف چندانی نداشته و تأییدی بر نتایج حاصل از تحقیق مذکور می‌باشد. اگرچه متصور است که با توجه به روند مشاهده شده افزایش طول کرت‌ها تا حد طول شیب متوسط حوزهٔ آبخیز و در حدود ۴۰ متر بتواند برآوردهای بهتر و منطقی‌تری از مقدار روان‌آب و رسوب خروجی از حوزهٔ آبخیز مطالعاتی ارائه دهد، حال آن‌که با توجه به شکل ۴، کرت‌های مورد استفاده با ابعاد انتخابی تخمین‌های قابل اعتمادتری برای برآورد غلظت رسوب خروجی از حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه ارائه می‌دهد.

بدین ترتیب با توجه به نتایج حاصل از تحقیق حاضر در راستای دست‌یابی به ابعاد مناسب کرت‌های فرسایشی در تخمین روان‌آب و رسوب خروجی از حوزه‌های آبخیز کوچک ناشی از رگبارها می‌توان جمع‌بندی نمود که با توجه به روند افزایش دقت برآورد مقادیر روان‌آب و رسوب توسط کرت‌ها با افزایش طول آنها و غیرمعنی‌دار شدن تفاوت تخمین کرت‌های با عرض ثابت ۲ متر و وسعت حدود ۳۰ متر مربع به بالا، حداقل طول کرت برای برآورد مناسب روان‌آب، رسوب و غلظت رسوب ۲۰ متر بوده و استفاده از کرت‌های با طول کمتر برای دست‌یابی به تخمین‌های مناسب توصیه نمی‌شود. از طرفی انجام تحقیقات گسترده‌تر در سایر نقاط کشور و در حوزهٔ آبخیز مشابه و با وسعت‌ها و ابعاد مختلف و حتی کرت‌های آزمایشی با شکل‌های هندسی متنوع به‌منظور دست‌یابی به جمع‌بندی‌های نهایی تأکید می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. آقارضی، ح. ا. ۱۳۸۴. اندازه‌گیری فرسایش خاک و برآورد آن با USLE در دیم‌زارها. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۴۷۳-۴۷۵، تهران.

۲. احمدیان، س. ح.، م. صفایی و ب. جعفری. ۱۳۸۴. مقایسهٔ فرسایش خاک در عرصه‌های دیم‌زار، دیم‌زار رها شده، مرتعی و جنگلی حوزهٔ آبخیز کسیلیان مازندران. سومین همایش ملّی فرسایش و رسوب، صفحات ۴۸۲-۴۸۶، تهران.

۳. اعتراف، ح. و ع. ر. تلوری. ۱۳۸۴. بررسی پوشش گیاهی و مدیریت چرای دام در فرسایش خاک مراتع لسی مراوه تپه. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، صفحات ۱۲۳-۱۲۷، تهران.

۴. اعظمی، ا.، ج. حسین زاده و ا. پیروانی. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی بررسی اثر نوع پوشش گیاهی بر روان‌آب و رسوب. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، ۳۷ ص.

۵. رنگ آور، ع. ص. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیق و بررسی در زمینه عوامل فرسایش خاک در مراتع استان خراسان. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۹۲ص.

۶. صادقی، س. ح. ر.، م. آذری و ب. قادری‌وانگاه. ۱۳۸۴الف. کاربرد و ارزیابی مدل HEM در تخمین فرسایش مراتع تالش. مجموعه مقالات سومین همایش ملّی فرسایش و رسوب، ۶ تا ۹ شهریور، صفحات ۶۱۳- ۶۱۵، تهران.

۷. صادقی، س. ح. ر.، م. بشری‌سه‌قلعه و ع. ص. رنگ‌آور. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۲۳۰-۲۳۹.

۸. صادقی، س. ح. ر.، ر. رئیسیان و س. ل. رضوی. ۱۳۸۴ب. مقایسه تولید روان‌آب و رسوب در کاربری کشاورزی رها شده و مرتع فقیر. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶ تا ۹ شهریور، صفحات ۶۰۸-۶۱۱، تهران.

۹. نبیی، م. ق. و ج. قدوسی. ۱۳۸۰. معرفی روشی برای کاهش رسوب‌زایی مناطق مارنی. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار. ۲ تا ۴ بهمن، صفحات ۴۷۱-۴۸۲، تهران.

۱۰. نیک‌کامی، د. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی بررسی وضعیت تعلیق رسوب در مخازن کرت‌های فرسایش و تعیین دقت نمونه‌برداری از آنها. وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۱ ص.

11. Boix-Fayos, C., M. Martinez-Mena, E. Arnau-Rosalen, A. Calvo-cases, V. Castillo and J. Albaladejo. 2006. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. Earth Sci. Rev. 78: 267-285.
12. Cerdan, O., Y. Le Bissonnais, G. Govers, V. Lecomte, K. Van Oost, A. Couturier, C. King and N. Dubreuil. 2004. scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in normandy. J. Hydrol. 299: 4-14.
13. Dendy, F.E. and G.C. Bolton. 1976. Sediment yield runoff drainage area relationship in the United States. J. Soil and Water Conserv. 31: 264-266.
14. Giesiolka, C.A.A. and C.W. Rose. 1997. The Measurement of Soil Erosion, Soil Erosion at Multiple Scales, Penning de Vries. PP. 287-301. *In*: F.W.T, Agus, F. and J. Kerr. (Eds.), Workshop on Soil Erosion Research, Indonesia.
15. Jimenez-Hornero, F.J., A. Laguna and V. Giraldez. 2005. Evaluation of linear and nonlinear sediment transport equation using hill slope morphology. Catena 64: 272-280.
16. Kimhi, A. 2003. Plot Size and Maize Productivity in Zambia, Hebrew University of Jerusalem, Online at: http://departments.agri.huji.ac.il.
17. Lu, H., C. J. Moran and I. P. Prosser. 2006. Modelling sediment delivery ratio over the murray darling basin. Environ. Model. and Software 21: 1297-1308.
18. Mai, V.T. 2007. Soil Erosion and Nitrogen Leaching in Northern Vietnam: Experimentation and Modeling, PhD Thesis, Wageningen University, the Netherlands, 182p. Online on: http://library.wur.nl.
19. Narayana, V.V. 2002. Soil and Water Conservation in India. ICAR Pub., 454p.
20. Norton, D., I. Shainberg, L. Cihacek and J. H. Edwards. 1999. Erosion and Soil Chemical Properties, Soil Quality and Soil Erosion, Soil Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton.
21. Parker, R. S. and W.R. Osterkamp. 1995. Identifying Trends in Sediment Discharge from Alteration in Upstream Land Use, In Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality, In: Boulder Symposium, Osterkamp, W.R. (Ed.), IAHS Pub., July 1995, 226: 207-213.
22. Polyakov, V.O. 2002. Use of Rare Earth Elements to Trace Soil Erosion and Sediment Movement, PhD Thesis, Purdue University, Online at: http://docs.lib.edu.
23. Sharpley, A. and P. Kleinman. 2003. Effect of rainfall simulator and plot scale on overland flow and phosphorus transport. J. Environ. Quality 32: 2172- 2179.
24. Suresh, R. 2000. Soil and Water Conservation Engineering. 3rd ed., Lomus Offset Press, UK.
25. Wischmier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. 39: 285-291.