مقایسه فرسایش‌پذیری خاک اراضی مارنی استان زنجان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

پرویز عبدی‌نژاد[1]، سادات فیض‌نیا و حمیدرضا پیروان

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان؛ Prz_abdi@yahoo.com

استاد دانشگاه تهران؛ sfeiz@u.t.ac.ir

استادیار پژوهشکده پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ hrpeyrowan@yahoo.com

دریافت: 91/6/19 و پذیرش: 92/7/22

چکیده

اراضی مارنی شامل واحدهای مارنی سازندهای زمین شناسی بوده و در حدود 4438 کیلومترمربع از سطح استان زنجان معادل 20%) را تشکیل می‌دهند. در این مقاله به مقایسه فرسایش‌پذیری خاک اراضی مارنی استان زنجان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران پرداخته شده‌است. برای این منظور با گروه‌بندی و تلفیق نقشه‌های شیب، اقلیم و واحدهای مارنی سازندهای زمین شناسی در محیط نرم افزار ArcGIS9.3 اقدام به تعریف واحدهای کاری به تعداد 18 واحد شده و در عملیات صحرایی برای هر واحدکاری سه تکرار آزمایش با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران به ابعاد کرت 1×1 متر و جمعاً 220 آزمایش انجام گردید. داده‌های به‌دست آمده از عملیات صحرایی با استفاده از برنامه آماری SAS و روش آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، روش تجزیه و تحلیل مدل‌های خطی (GLM Model)، آزمون F و روش مقایسه مقادیر میانگین دانکن مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی روابط بین زمان شروع، حجم و ضریب رواناب با مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی نشان می‌دهد که معادله رگرسیونی آنها از نوع درجه دوم بوده و تا حدودی می‌تواند روند تغییرات را تفسیر نماید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد که اثر واحدهای مارنی، شیب و اقلیم بر مقدار تلفات خاک واحدهای کاری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. بر اساس مقایسه میانگین مقادیر به روش دانکن واحدهای مارنی از نظر مقدار تلفات خاک دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. به‌طوری که واحد مارن پلیوسن (PL) و قرمز پائینی (OL) در یک گروه و واحد مارنی قم (OM)، واحد مارنی قرمز بالایی (Mu)، و مارن ائوسن (EM) هر کدام به تنهایی در یک گروه قرار می‌گیرند. در این واحدهای مارنی هرچقدر میزان سیلت موجود در آنها بالا باشد، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. زیرا سیلت چسبندگی ندارد و در اثر مرطوب شدن خاکدانه‌ها به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شوند. به همین ترتیب اثر شیب و اقلیم بر مقدار رسوب تولیدی واحدهای مارنی معنی‌دار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: حج حجم رواناب، تلفات خاک، شیب

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: زنجان: کیلومتر 5 جاده فرودگاه، جنب هنرستان کشاورزی شهید باهنر، مجتمع آموزش و تحقیقات جهاد کشاورزی استان زنجان، صندوق پستی، 474-45195

مقدمه

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز نیازمند اطّلاعات دقیق و درک وقایع به‌هم پیوسته پدیده‌های موجود در آن می‌باشد (راجاب و همکاران، 2003). در حوزه‌هائی که دارای اراضی مارنی هستند، قسمت عمده رسوبات از این اراضی تولید می‌شود، از این رو نقش مهمی در کاهش عمر مفید سدها دارند. رسوبات مارنی به دلیل وجود ذرات تخریبی (سیلت بالا و رس کم) و مواد شیمیائی (کربنات کلسیم، ژیپس، انیدریت و نمک) در ترکیب خود نسبت به سایررسوبات از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردارند. با شناخت شاخص‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارنها و طبقه‌بندی آنها می‌توان در الویت‌بندی واحدها جهت اصلاح و بهبود این اراضی به منظور کاهش فرسایش و تولید رسوب اقدام نمود، (حسن‌زاده نفوتی، 2006).

هدررفت خاک از اساسی ترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (شکل آبادی و همکاران، 2003 و اکو و همکاران، 2009). این پدیده، نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای است که در برگیرنده تعداد زیادی از متغیرهاست. مانند بارش، خاک، توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و نحوه مدیریت اراضی می‌باشد (صادقی و سینق، 2005 و چاپلات و بیسونایس، 2003). از دیگر عوامل مؤثر در رسوب زایی حوزه‌های آبخیز، جنس سازندهای موجود در منطقه می‌باشد. به طوری که سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوب‌دهی بیشتری هستند (فیض نیا، 1374).

درباره فرسایش و رسوب خیزی مارن‌ها مطالعات مختلف و زیادی توسط بنیتو و همکاران (1991) در اسپانیا، انگلند (1971) در جنوب داکوتای آمریکا، بوفالو و همکاران (1992) در فرانسه و سرونتیج و همکاران (1996) در اسپانیا صورت گرفته است که نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده توسط محققان یاد شده نشانگر حساسیت بسیار شدید مارن‌ها به فرسایش و تغییر و تحول اشکال فرسایشی در آنهاست و نقش شیب دامنه‌ها و شدت رواناب در تولید رسوب از عرصه‌های مارنی چشمگیر و قابل توجه است. ویکتورا و همکاران (1997) در کشور اروگوئه آسیب‌پذیری چهار نوع خاک کشاورزی را در اثر فرسایش ناشی از شدتهای مختلف بارندگی با یک دستگاه شبیه‌ساز باران بررسی کردند. طبق نتایج آن‌ها میزان آسیب‌پذیری این خا ک‌ها متفاوت بوده است. اسماعیل زاده (2002) با بررسی و مطالعه خاک‌های مارنی و انواع مختلف فرسایش در ایران اظهار می‌دارد که مارن‌ها در نواحی خشک دارای اختلاف فاحشی در فرسایش‌پذیری و رسوب در اراضی هستند. آغاسی و همکاران (1990) طی بررسی خود روی اثر تندی و جهت شیب بر فرسایش و رواناب، نشان دادند که جهت دامنه تحت تأثیر وزش باد اثر معنی‌داری روی تولید رواناب و رسوب دارد. لاوی و همکاران (1994) درباره واکنش خاک نسبت به تولید رواناب و فرسایش توسط شبیه‌ساز باران تحقیقی را انجام دادند. آنها دریافتند که تغییرات بیشتر یا کمتر رواناب و مقدار رسوب با مقدار بارندگی سالیانه رابطه خطی دارد. سردا (2002) بر اساس نتایج تحقیقات خود اظهار می‌دارد که طبیعت مواد مادری نقش اساسی در پدیده‌های هیدرولوژیکی و فرسایش ایفا می‌کند.

بررسی‌ها روی سه نوع خاک شامل مارن، رس و ماسه نشان داد که خاک‌های مارنی دارای کمترین نفوذ، بیشترین رواناب و بالاترین فرسایش می‌باشد. نتایج بررسی‌های ژانگ و همکاران (2004) نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌دار منفی بین مقدار رس و فرسایش وجود دارد. مارتیز (2002) میزان رواناب و رسوب را در مارن‌های فرانسه مورد مطالعه قرارداد و به این نتیجه رسید که درشرایط خشک میزان تولید رواناب و رسوب در این مارن‌ها کم تا متوسط است. براکن (2005) در بررسی میزان حمل رسوب و رواناب در دو حوضه نیمه خشک در جنوب اسپانیا نتیجه‌گیری کرد که حمل رسوب و عمق رواناب دراین مناطق به طور قابل توجهی در ارتباط با حساسیت سنگ‌ها می‌باشد. به طوریکه مناطق مارنی و ریزدانه دارای بیشترین تولید رسوب و رواناب هستند. نتایج تحقیق گومز و نیرینگ (2005) نشان داد که تفاوت آماری در مقدار رواناب و هدررفت خاک در شیب 20 درصد وجود ندارد و مقدار هدررفت خاک در سطوح با شیب 5 درصد بیش تر است. حسن زاده نفوتی (2006) اظهار می‌دارد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندها مانند SAR, EC و K عامل اصلی در فرسایش‌پذیری مارنها به شمار می‌رود.

پژوهش‌های آزولاین و بن هور (2006) نشان داد که هدر رفت خاک تحت تأثیر شدت بارندگی قرار داشته به نحویکه در شدت بارندگی 12 میلیمتر برساعت افزایش شیب تغییر معنی‌داری روی افزایش تولید رسوب ایجاد نکرده‌است. ولی در شدت 60 میلیمتر بر ساعت باعث افزایش نمایی هدررفت خاک شده است. فیض‌نیا و همکاران (2007) در بررسی خاک‌های لسی کواترنری به این نتیجه رسیدند که شاخص خشکی دومارتن و درصد

مواد آلی همبستگی بسیار بالایی با مقدار فرسایش و رسوب تولیدی داشته‌است. آرنیز (2007) مارنهای اسپانیا را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده که میزان رواناب با شدت بارندگی رابطه نمائی دارد و میزان هدررفت خاک نیز با شدت بارندگی افزایش می‌یابد. چنگ و همکاران (2008) با بررسی که در مناطق تپه ماهوری فلات لسی چین دادند، اظهار داشتند که با افزایش شیب 30-20 درجه، رواناب و هدررفت خاک افزایش و با شکستن سله سطح خاک، تولید رواناب و هدررفت خاک کاهش می‌یابد. وهابی و مهدیان (2008)، گزارش کردند که درصد رس، سیلت و رطوبت قبلی خاک دارای همبستگی معنی‌دار مثبت و درصد ذرات شن نیز به صورت همبستگی معنی‌دار منفی با میزان فرسایش شناخته شده است. نیسن و ورمرسچ (2010) نیز در بررسی خود در بلژیک نشان دادند که بین تندی و جهت شیب با فرسایش در اکثر موارد همبستگی مثبت وجود داشته است.

شکل آبادی و همکاران (1382) بافت خاک را مهمترین پارامتر در ایجاد رواناب و رسوب در حوزه آبخیز گل آباد دانستند. فیض نیا و همکاران (1384) به این نتیجه رسیدند که درصد ماده آلی همبستگی بسیار بالایی با رسوب تولیدی در خاک‌های لسی استان گلستان دارد. محمدزاده (1384) به بررسی اثر تندی و جهت شیب بر فرسایش مارن حوزهٔ آبخیز گیویچای در استان اردبیل پرداخت. نتایج به دست آمده حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار تولید رواناب دو دامنه شمالی و جنوبی بود حال آنکه نتایج رسوب تولیدی دو دامنه تفاوت معنی‌داری را نشان داد به نحویکه با افزایش شیب مقادیر رواناب و رسوب افزایش پیدا کرده بود. فرجی و همکاران (1385) بیان نمودند که افزایش شیب تأثیر قابل توجهی بر تولید رسوب سازندها و سنگ‌های مقاوم ندارد. همچنین اسدی و همکاران (1385) نشان دادند که اثر شیب روی میزان فرسایش بین شیاری تحت تأثیر شدت بارندگی و نوع خاک قرار دارد. صادقی و همکاران (1387) به بررسی تغییرپذیری روان‌آب و رسوب در سازندهای مختلف کواترنر با استفاده از شبیه ساز باران در پلات 0/625 مربعی پرداختند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که اختلاف بین سازندهای مختلف کواترنر از نظر میزان روان آب، رسوب و تلفات خاک معنی‌دار بوده است. ظریف و همکاران (1388) نیز در بررسی تغییرات روان آب و رسوب در دو شیب حوزهٔ آبخیز جنگلی و در کرتهای آزمایشی بیان نمودند که حجم روان‌آب در شیب زیاد بیشتر از شیب کم بوده در حالی که میزان رسوب در شیب زیاد بیشتر از شیب کم بوده است.

با توجه به توضیحات ارائه شده هریک از محققین مورد اشاره تلاش کرده‌اند که با استفاده از شبیه سازی باران نسبت به مطالعه خصوصیاتی از خاک و از جمله فرسایش و رواناب تولید شده و بیان روابط آن با سایر خصوصیات اقدام نمایند و با توجه به متفاوت بودن خصوصیات لیتولوژیکی، محیطی و حتی اقلیم رسوبات مارنی و یا خاک هر منطقه نتایج به‌دست آمده از هر تحقیق تا حدود زیادی وابسته به این خصوصیات ذاتی و محیطی است. لذا در هر منطقه نیاز است که این نوع تحقیقات برای خاک آن به‌صورت مختص و در آن شرایط محیطی انجام گردد. بر این اساس در این مقاله تلاش گردیده که با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران وضعیت فرسایش‌پذیری اراضی مارنی موجود در سطح استان زنجان مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد تا از این طریق بتوان در برنامه‌ریزی‌های آینده برای کنترل فرسایش و رسوبزایی این نوع اراضی استفاده نمود.

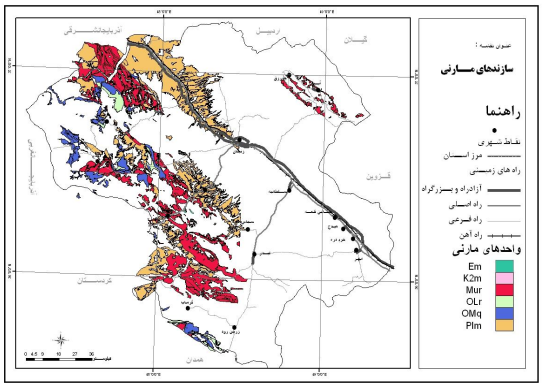
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه

استان زنجان با وسعت 22164 کیلومتر مربع در قسمت مرکزی شمال غرب کشور بین طول جغرافیایی 15و47 تا 25 و49 و عرض شمالی 35 و35 تا15و 37 واقع شده است. این استان دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با متوسط بارندگی سالانه 340 میلی‌متر بوده و دارای پستی و بلندی‌های زیادی است؛ به طوری که بیش-ترین وسعت آن را مناطق کوهستانی و تپه ماهورها فراگرفته است. استان زنجان دارای دو حوضه اصلی آبریز با محدودهٔ کاملاً مجزا است؛ که شامل حوضه آبریز قزل اوزن به مساحت 19064 کیلومترمربع معادل 86 درصد سطح استان و حوضه آبریز رودخانه شور به وسعت 3100 کیلومترمربع، معادل 14 درصد سطح استان می‌باشد. استان زنجان به‌دلیل واقع شدن در موقعیت میانی حوزه آبخیز سد سفید رود از گذشته‌های دور از نظر آبخیزداری مورد توجه بوده‌است. به‌منظور کنترل فرسایش خاک و کاهش حجم رسوبات وارده به مخزن سد سفیدرود فعالیت‌های مطالعاتی، اجرایی و تحقیقاتی گسترده‌ای انجام گرفته و یا در حال انجام است. از جمله عوامل ذاتی موجود در استان زنجان که بحث مطالعات و تحقیقات فرسایش و حفاظت خاک را جدی‌تر می‌سازد، وجود عوامل مهم محیطی مؤثر بر فرسایش خاک و رسوبزایی همچون شرایط اقلیمی، زمین شناسی و پستی و بلندی است.

روش تحقیق

این تحقیق بخشی از نتایج به‌دست آمده از اجرای یک طرح تحقیقاتی در ارتباط با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمایی، مکانیکی و فرسایش‌پذیری سازندهای مارنی استان زنجان می‌باشد (عبدی‌نژاد و همکاران، 1390). برای انجام این تحقیق ابتدا اقدام به جمع‌آوری اطلاعات، آمار و سوابق مطالعاتی شده و سپس با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی 1/100000 چهارگوش استان زنجان، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای متعدد و مکرر میدانی اقدام به تهیه نقشه واحدهای مارنی استان گردید (شکل 1).



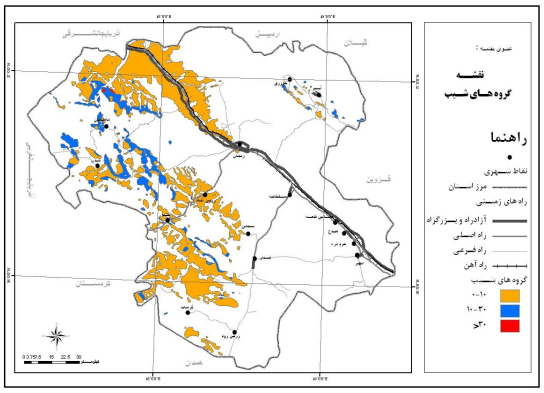
شکل 1- نقشه موقعیت و پراکنش واحدهای مارنی استان زنجان

سپس برای تهیه واحدهای کاری اقدام به تهیه نقشه شیب و طبقه‌بندی آن در سه گره 10-0، 30-10 و 30< درصد و نقشه اقلیم استان در دو گروه خشک تا نیمه خشک و مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب گردید (شکل‌های 2و 3).

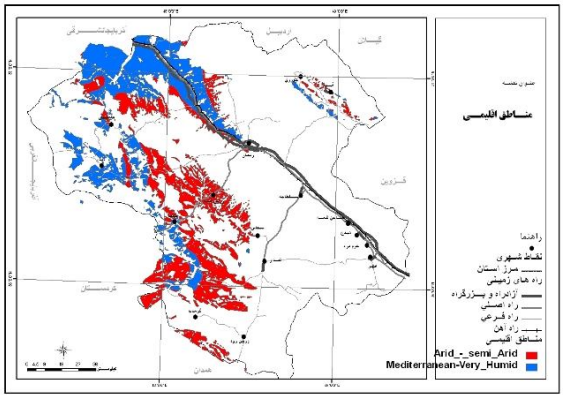
با تلفیق و روی‌هم قرار دادن این سه لایه در محیط GIS نقشه واحدهای کاری در 22 کلاس یا رده تهیه شد (شکل 4). در ادامه از هر کدام از واحدهای کاری سه نمونه انتخاب و با انجام عملیات میدانی اقدام به انجام آزمایش ایجاد بارش مصنوعی با استفاده از یک دستگاه شبیه‌ساز باران مصنوعی قابل حمل در صحرا استفاده شد که از یک تشتک به ابعاد 1×1 متر تشکیل شده است (شکل5). جنس تشتک از نوع Plexiglass با ضخامت 8 میلی‌متر در بدنه و کف می‌باشد. فاصله روزنه‌ها در امتداد طول و عرض شبیه‌ساز باران 8 میلی‌متر است. بنابراین مجموع کل روزنه‌ها 169 عدد می‌باشد و ارتفاع دیواره تشتک 20 سانتی‌متر و قطر روزنه‌ها 0/66 میلی‌متر است. با توجه به این‌که ضخامت کف تشتک 8 میلی‌متر است، لذا می‌توان شبیه‌ساز باران را از نوع لوله‌های باریک در نظر گرفت، به طوری که قطر لوله 0/66 میلی‌متر و طول آن 8 میلی‌متر است. متوسط اندازه قطرات 3.6 میلیمتر و سرعت ایجاد شده در اثر افتادن قطره از یک نازل 5.35 متر/ ثانیه می‌باشد. عوامل مؤثر بر شدت باران تولید شده به ارتفاع آب یا فشار آب روی روزنه‌ها، قطر مفید روزنه‌ها بستگی دارد. برای اینکه قطرات همواره در یک نقطه ثابت روی زمین ریخته نشوند، بلکه بتوانند کل سطح زمین را خیس نمایند، از یک دستگاه موتور الکتریکی برای حرکت دادن افقی تشتک شبیه‌ساز باران استفاده شده است.

مکان‌های مناسب برای اندازه گیری حجم رواناب و مقدار رسوب با بازدیدهای صحرائی تعیین شد. این مکان‌ها دارای شیب 5 و 20 درصد، فرسایش از نوع شیاری، سطحی و فاقد پوشش گیاهی هستند. در این مطالعه بارش به شدت 60 میلی‌متر در ساعت به مدت نیم ساعت در بیش از 65 محل با سه تکرار برای هر واحد مارنی و به‌طور کلی 220 آزمایش انجام شد. سپس مقدار فرسایش و حجم رواناب تولیدی جمع‌آوری و اندازه‌گیری گردید.

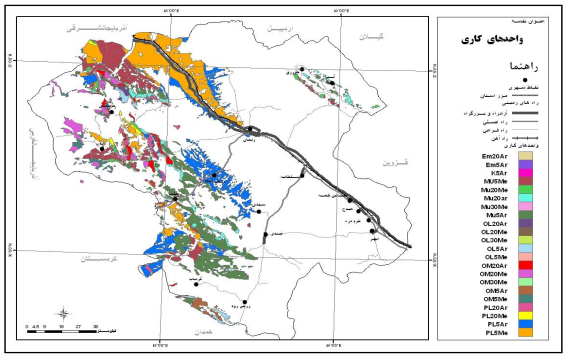
برای بررسی دقیق و آماری روابط بین عوامل مؤثر از لایه‌های اطلاعاتی شرکت کننده در تعریف واحدهای کاری واحدهای مارنی مورد بررسی از توانائی-های نرم افزار SAS استفاده گردید. بدین منظور داده‌های به‌دست آمده از انجام آزمایش‌های صحرایی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در هریک از واحدهای کاری تعریف شده (جدول1) وارد محیط برنامه SAS شدند. در محیط این برنامه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مدل-های خطی (GLM Model) و روش آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، آزمون F و روش مقایسه مقادیر میانگین دانکن این داده مورد ارزیابی قرار گرفت.



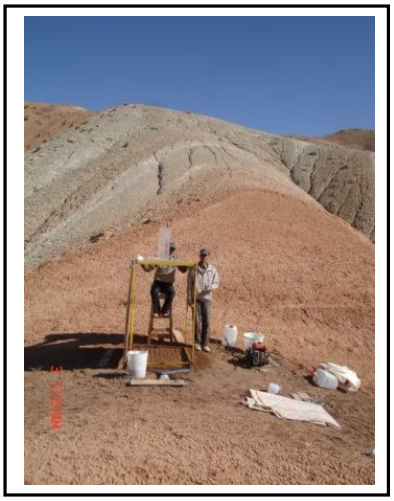
شکل 2 –نقشه گروه‌های شیب واحدهای مارنی استان



شکل 3– نقشه مناطق اقلیمی واحدهای مارنی استان



شکل 4 – نقشه واحدهای کاری مارنی استان زنجان



شکل 5 - نمایی از چگونگی استقرار شبیه‌ساز باران و انجام آزمایش در صحرا

واحدهای مارنی استان: به‌طور کلی پنج واحد یا سازند مارنی در سطح استان زنجان با مساحت‌ها و مناطق پراکنش متفاوت وجودارد (شکل4) که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

مارن پلیوسن(Plm): بیشترین وسعت این واحد در حوضه فرورفته زنجانرود و در دو سوی رودخانه زنجان رود قرار دارد. این واحد بصورت رخنمون هائی از مارن و کنگلومرا بصورت تپه‌های به هم چسبیده که ارتفاع با سطوح فرسایشی صاف و یک سطح گسترده، گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل مارن، سیلت، کمی به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه‌ای (Plm) و حاشیه‌ای شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن (Plc) تشکیل شده‌اند. این مجموعه‌ها دارای شیب ملایم و ضخامت کل حداکثر 200 متر است.

مارن کرتاسه(K2m): این واحد بصورت رخنمون کوچک در بخش مرکزی و در باختر روستای بلوبین نمایان است. این واحد ازیک سری مارن، سنگ-های آهکی مارنی و شیل‌های خاکستری پدید آمده است. مارن ائوسن(EM): این واحد بصورت یک واحد کوچک و محدود با لیتولوژی مارن سبز و سفید در نقشه زمین-شناسی حلب در حاشیه جاده زنجان- بیجار در شمال شرقی روستای ارکوئین قرار دارد.

سازند قم (O-Mq): در استان زنجان لیتولوژی غالب سازند قم شامل آهک توده‌ای و ضخیم، مارن سیلتی، آهک تخریبی و مارن، ژیپس سفید رنگ، مارن سبز زیتونی و آهک کرم رنگ است.

سازند قرمز بالائی: این سازند از 3 واحد مارنی تشکیل شده است. واحد M1 از مارن‌های الوان تشکیل

شده است که در تناوب با لایه‌های کم گچ، شیل و ماسه سنگ می‌باشد و با رنگ های متنوعی (قرمز، سبز متمایل به کرم، سبز زیتونی) که دارد (شکل 4)، از واحد M2 متمایز می‌شود. واحد M2 عمدتاً ماسه سنگ حفره‌دار و لایه‌های نازک شیل به همراه مارن تشکیل شده است. واحد M3 عمدتاً از مارن با لایه‌های کم ماسه سنگی و کنگلومرائی تشکیل شده است. رنگ آن کرم تا قهوه‌ای روشن است. لایه‌های ماسه سنگی دارای تناوب و ضخامت کمتر (2-1 متر) و سیمان سست تر نسبت به دو واحد دیگر است، به همین دلیل بیشتر در معرض فرسایش قرار گرفته و تپه ماهورهای فرسوده را بوجود آورده است. به دلیل وجود املاح فراوان، واحد های مارنی دارای پوشش گیاهی تنک و حتی فاقد پوشش گیاهی می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی خصوصیات فیزیکی واحدهای مارنی

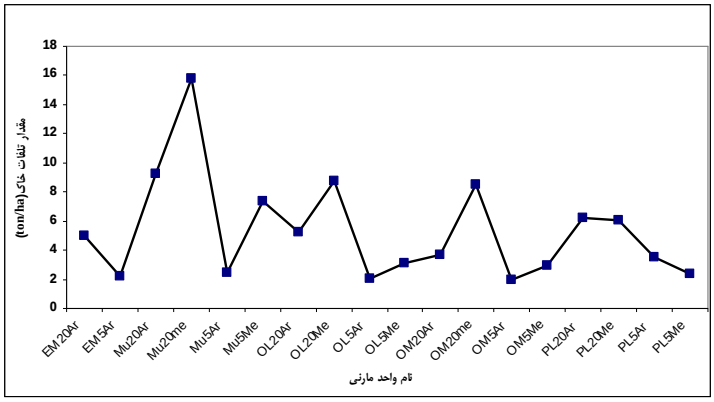
خصوصیات فیزیکی هریک از واحدهای کاری شامل حجم رواناب، مقدار فرسایش، زمان شروع رواناب، عمق نفوذ آب و میزان سنگریزه روی سطح واحد، اندازه‌گیری گردیده و براساس این داده‌ها ضریب رواناب واحدهای کاری محاسبه شدند که نتایج به‌دست آمده از این بررسی‌ها در جدول (1) ارائه شده است.

مقایسه مقدار فرسایش واحدهای مارنی

بر اساس داده‌های به‌دست آمده، اقدام به مقایسه میانگین فرسایش یا تلفات خاک در این واحدها به‌صورتی‌که در شکل (6) ارائه شده گردید. به‌طوری‌که در این شکل مشاهده می‌شود به‌ترتیب واحدهای مارنی قرمز بالایی در اقلیم مرطوب با شیب 20% (Mu20me)، واحد مارنی قم (OMu20me) در اقلیم خشک با شیب 20%، (Mu20Ar) و واحد مارنی قرمز پائینی در اقلیم مرطوب با شیب 20% (OL20me) دارای بیش‌ترین مقدار تلفات خاکتولیدی و واحدهای مارنی قم، قرمز پائینی، ائوسن و قرمز بالایی در اقلیم خشک با شیب 5% (OM5Ar)، (OL5Ar)، (EM5Ar) و (Mu5Ar) به ترتیب کم‌ترین مقدار تلفات خاک را دارند.

از دلایل مهم وجود این تفاوت در میزان تلفات خاک واحدهای مارنی اختلاف در نوع بافت خاک آنهاست. چرا که هر دو جزء فرآیند فرسایش (جدا شدن و انتقال) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (فیض‌نیا و همکاران، 2007).

بر اساس جدول(1) غالب واحدهای مارنی دارای بافت خاک از نوع سیلتی کلی یا سیلتی کلی لوم می‌باشند که در این نوع بافت بیشترین درصد فراوانی مربوط به سیلت می‌باشد یعنی غالب واحدهای مارنی و بخصوص واحدهای مارنی قرمز بالایی (Mu)، واحد مارنی قم (OM)، قرمز پائینی (OL) و مارن ائوسن (EM) دارای سیلت بیشتری نسبت به دو جزء دیگر بافت خاک آنها یعنی رس و شن هستند.



شکل 6- مقایسه فرسایش یا تلفات خاک واحدهای کاری

جدول 1- طبقه بندی بافت خاک واحدهای مارنی

نام واحد مارنی	%شن	%رس	%سیلت	طبقه بندی خاک
EM5/20 Ar	2	38	60	silty clay loam
Mu5/20 Ar	14	40	46	silty clay / silty clay loam
Mu 5/20 Me	14	40	46	silty clay / silty clay loam
OL 5/20 Ar	8	36	56	silty clay loam
OL 5/20 Me	16	28	56	silty clay loam
OM 5/20 Me	16	36	48	silty clay loam
OM 5/20 Ar	18	28	56	silt loam
PL5/20 Ar	44	20	36	loam
PL5/20 Me	30	28	42	clay loam

این یکی از دلایل مهم تولید رسوب در این واحدهای مارنی می‌تواند باشد. چرا که هر چه مقدار سیلت در خاک بیشتر باشد فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. زیرا سیلت چسبندگی ندارد و در اثر مرطوب شدن خاکدانه‌ها به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شوند و در نتیجه رسوب بیشتری را تولید می‌نماید. در حالیکه ذرات ماسه به علت اندازه بزرگتر مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس بدلیل پیوستگی و چسبندگی بین ذرات مقاوم به جدا شدن می‌باشند (فیض-نیا و همکاران،2007). این نتیجه مورد تأیید تحقیقات محققین دیگر چون کانگ و همکاران (1999)، میسپولینوس و همکاران (1998) می‌باشد. همچنین محققین دیگر بر اساس نتایج تحقیقات خود اظهار می‌دارند که تفاوت در نوع واحدهای مارنی باعث ایجاد یک اختلاف معنی‌دار در مقدار رسوب تولیدی می‌شود که از جمله آنها می‌توان به بنیتو و همکاران (1971) در اسپانیا، انگلند (1971) در جنوب داکوتای آمریکا، بوفالو و همکاران (1972)، سرونتیج و همکاران (1996)، رینکس و بوث (1999)، کامفورست (1987)، غضنفرپور (2006)، حسن زاده نفوتی و همکاران (1385) و نیز نتایج حسینی و همکاران (1386) اشاره کرد.

اثر خصوصیات فیزیکی واحدهای مارنی در مقدار فرسایش

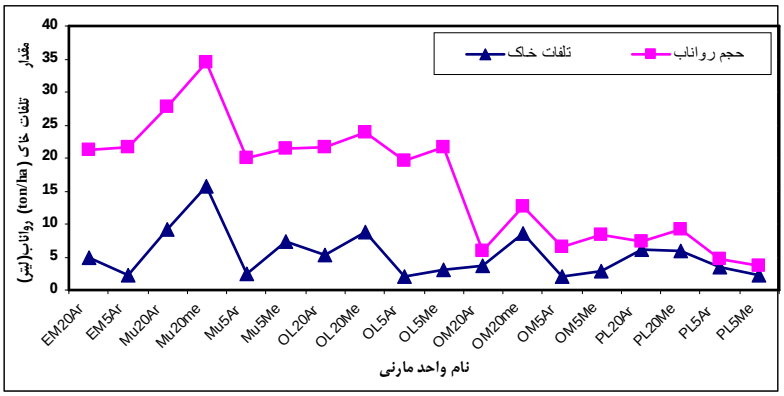
خصوصیات فیزیکی مورد نظر واحدهای مارنی شامل زمان یا آستانه شروع رواناب، عمق نفوذ آب، ضریب رواناب و درصد سنگریزه می‌باشد که در ادامه تأثیر و روابط موجود بین این عوامل فیزیکی و مقدار تلفات خاک واحدهای کاری مارنی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

رابطه بین مقدار تلفات خاک و زمان شروع رواناب

بر اساس بررسی صورت گرفته در این مقاله بین زمان شروع رواناب و مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی رابطه معنی‌داری وجود ندارد. یعنی اینکه شروع زود هنگام یا دیر هنگام جریان رواناب در پلات اندازه‌گیری تأثیری بر مقدار تلفات خاک تولید شده از سطح واحدهای مارنی ندارد. چرا که این پدیده، نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای است که در برگیرنده تعداد زیادی از متغیرهاست. مانند بارش، خاک، توپوگرافی و شیب، اقلیم، پوشش گیاهی و نحوه مدیریت اراضی می‌باشد (صادقی و سینق، 2005 و چاپلات و بیسونایس، 2003). از دیگر عوامل مؤثر در رسوب زایی حوزه‌های آبخیز، جنس سازندهای موجود در منطقه می‌باشد. به طوری که سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوب دهی بیشتری هستند (فیض‌نیا، 1374).

رابطه بین حجم و ضریب رواناب با مقدار تلفات خاک

با توجه به ضریب همبستگی بسیار پائین بین حجم و ضریب رواناب با مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی رابطه معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. به طوری که واحد مارنی که دارای بیشترین حجم رواناب، الزاماً دارای بیشترین مقدار تلفات خاک نمی‌باشند. همچنین در شکل (7) مقدار فراونی حجم رواناب و تلفات خاک واحدهای کاری مارنی با هم مقایسه شده که باز عدم وجود رابطه مشخص بین این دو را تأیید می‌نماید. این بدین دلیل است که مقدار تلفات خاک در واحدهای مارنی مورد بررسی فقط به حجم رواناب بستگی ندارد. بلکه عوامل دیگر مانند بافت خاک (بویژه مقدار رس و سیلت)، خصوصیات شیمیایی، شیب‌زمین و عوامل اقلیمی در آن تأثیر دارند.



شکل 7- مقایسه حجم رواناب و رسوب تولیدی در واحدهای کاری

کامفورست (1987) بر اساس اندازه‌گیری میزان رواناب، خاک از دست رفته و تلفات خاک برای خاک-های مختلف هلند دریافت که مقدار رواناب و غلظت‌های رسوب برای خاک‌های مختلف به شدت متغیر بوده‌است. بر اساس نتایج تحقیق لاوی و همکاران (1994) تغییرات بیشتر یا کمتر رواناب و مقدار رسوب با مقدار بارندگی سالیانه رابطه خطی دارد. ناواز (1993) از تحقیق خود نتیجه گرفت که شیب، پوشش گیاهی و نوع خاک به طور معنی‌داری بر مقدار رواناب و فرسایش تأثیر دارد. همچنین، مقدار رواناب با هدررفت خاک همبستگی مثبت دارد و بیشترین مقدار رواناب و فرسایش در کرت‌های با شیب تند ایجاد می‌شود. دلیل این اختلاف با نتیجه این بررسی می‌تواند به علت تفاوت در نوع خاک و عدم وجود پوشش گیاهی باشد. به طوری که سردا (2002) بر اساس نتایج تحقیقات خود اظهار می‌دارد که طبیعت مواد مادری نقش اساسی در پدیده‌های هیدرولوژیکی و فرسایش ایفا می‌کند. حسن زاده نفوتی (2006) در بررسی فرسایش‌پذیری مارنهای منطقه ایوانکی به این نتیجه رسید که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندها مانند SAR EC و K عامل اصلی در فرسایش‌پذیری مارنها به شمار می‌رود. آسولاین و بن هور (2006) نشان داد که هدر رفت خاک تحت تأثیر شدت بارندگی قرار داشته و هدررفت خاک بیش تر از رواناب تحت تأثیر شیب قرار دارد.

رابطه بین مقدار تلفات خاک با عمق نفوذ

بررسی رابطه بین مقدار تلفات خاک و عمق نفوذ آب در خاک در این مقاله نشان می‌دهد که رابطه معنی‌دار و مشخصی وجود ندارد. ضریب همبستگی بسیار کم (0.04) بین این دو نیز تائیدی بر این موضوع است.

سردا (2002) بر اساس نتایج تحقیقات خود اظهار می‌دارد که طبیعت مواد مادری نقش اساسی در پدیده‌های هیدرولوژیکی و فرسایش ایفا می‌کند. بررسی‌ها روی سه نوع خاک شامل مارن، رس و ماسه نشان داد که خاک‌های مارنی دارای کمترین نفوذ، بیشترین رواناب و بالاترین فرسایش می‌باشد.

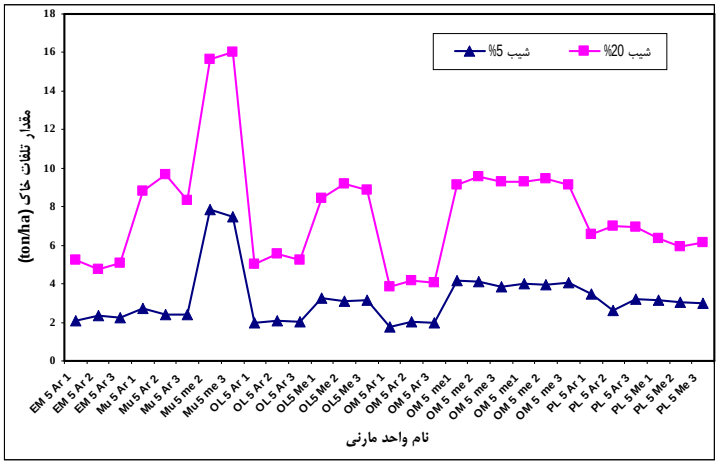
مقایسه تأثیر شیب بر مقدار تلفات خاک

شکل (8) نشان دهنده نوسانات و تغییرات مقدار رسوب واحدهای کاری مارنی در دوشیب 5 و 20 درصد است. با توجه به شکل منحنی‌ها و فاصل عمودی، تفسیر مشاهده‌ای رابطه بین این دو منخنی گویای وجود یک اختلاف معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده تأثیر موثر شیب در مقدار رسوب تولیدی واحدهای کاری این تحقیق می‌باشد. موضوعی که توسط تجزیه و تحلیل آماری نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد.

بررسی تأثیر شیب بر مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی به روش آزمون دانکن که نتایج آن در جدول (2) ارائه شده نشانگر تأثیر کاملاً معنی‌دار اختلاف مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی در دو شیب 5% و 20% با هم می‌باشد.

درباره فرسایش و رسوب خیزی مارن‌ها مطالعات مختلف و زیادی توسط بنیتو و همکاران (1991) در اسپانیا، انگلند (1971) در جنوب داکوتای آمریکا، بوفالو و همکاران (1992) در فرانسه و سرونتیج و همکاران (1996) در اسپانیا صورت گرفته‌است که نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده توسط محققان یاد شده نشانگر حساسیت بسیار شدید مارن‌ها به فرسایش و تغییر و تحول اشکال فرسایشی در آنهاست و نقش شیب دامنه‌ها و شدت رواناب در تولید رسوب از عرصه‌های

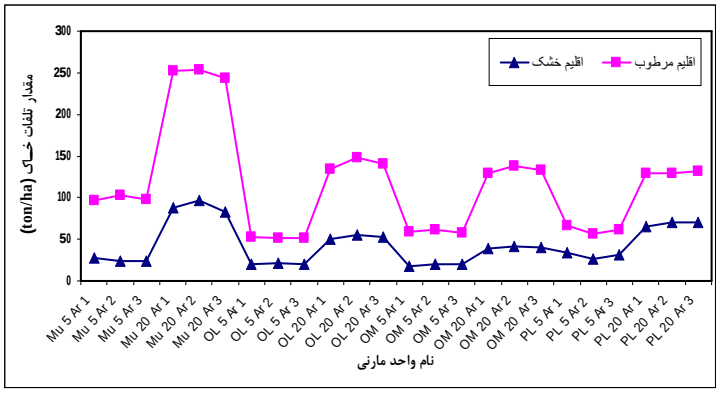
مارنی چشمگیر و قابل توجه است. همچنین بر اساس تحقیقات مایر و آغاسی و همکاران (1990)، ناواز (1993)، کرکبای (2001)، رحمتی (1383)، چنگ و همکاران (2008)، نیسن و ورمرسچ (2010)، محمدزاده (1384)، اسدی و همکاران (1385) و ظریف و همکاران (1388) نیز در بررسی خود نشان دادند که بین تندی شیب با فرسایش در اکثر موارد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد، به طوری که با افزایش شیب مقادیر رسوب افزایش پیدا می‌کند که نتایج بدست آمده از این تحقیق نیز مطابق با نتایج تحقیقات فوق الذکر می‌باشد.



شکل 8- بررسی تاثیر شیب بر مقدار تلفات خاک

جدول 2- مقایسه میانگین مقادیر خصوصیات مورد بررسی در واحدهای مارنی استان زنجان به روش دانکن

نام واحد مارنی / نام متغیر	واحد پلیوسن (PL)	قرمز بالایی (Mu)	واحد قم (OM)	قرمز پائینی (OL)	واحد ائوسن (EM)
حجم رواناب	1.68 c	17.50a	3.99b	16.90a	17.77a
ضریب رواناب	0.049 c	0.51a	0.12b	0.49a	0.51a
رسوب	46.7 c	87.87a	54.38 b	48.26c	36.2d



شکل 9- بررسی روند تغییرات مقدار رسوب واحدهای کاری نسبت به اقلیم

جدول 3- مقایسه میانگین مقادیر خصوصیات مورد بررسی واحدهای مارنی استان زنجان در شیب و اقلیم بروش دانکن

نام متغیر	شیب 5%	شیب 20%	اقلیم خشک	اقلیم مرطوب
حجم رواناب	10.02 b	10.76 a	12.20a	8.49b
ضریب رواناب	0.29 b	0.31 a	0.35a	0.25b
رسوب	33.44 b	80.72 a	46.30 b	70.09 a

بررسی تأثیر اقلیم بر مقدار تلفات خاک

بر اساس تفسیر نوسانات و تغییرات مقدار تلفات خاک در دو اقلیم مورد بررسی طبق منحنی‌های ارائه شده در شکل (9)، اختلاف معنی‌دار و مشخصی را نشان می‌دهد که حاکی از وجود تفاوت مشخص و معنی‌دار در مقدار تلفات خاک واحدهای کاری در دو اقلیم مرطوب و خشک است. به طوری که در این منحنی مشهود است در تمام واحدهای مارنی به جز واحد پلیوسن (Pl) مقدار تلفات خاک تولید شده واحدها در اقلیم مرطوب بیشتر از اقلیم خشک می‌باشد که این در واقع به خصوصیات فیزیکی خاک و از جمله به میزان رطوبت خاک بر می‌گردد و شاید بتوان گفت در اقلیم مرطوب رطوبت پیشین خاک بیشتر از اقلیم خشک بوده و همین عامل در میزان تولید رسوب مؤثر است. چرا که قبل از تولید رسوب بخشی از بارش صرف مرطوب کردن و به اشباع رساندن خاک می‌شود که در اقلیم مرطوب به دلیل وجود رطوبت پیشین بیشتر این شرایط بهتر از اقلیم خشک فراهم شده و لذا تأثیر بارش بر انتقال خاک در زمان بیشتر و قدرت کنش زیادتر صورت می‌گیرد.

نتایج بررسی تأثیر اقلیم بر مقدار تلفات خاک واحدهای مارنی به روش آزمون دانکن در جدول (3) نشان داده شده‌است. بر اساس این نتایج اختلاف تلفات خاک واحدهای مارنی در دو اقلیم مرطوب و خشک نیز کاملاً معنی‌دار می‌باشد. پس تفاوت در نوع اقلیم باعث ایجاد یک اختلاف معنی‌دار در مقدار تلفات خاک داشته است که این امر با نتایج رینکس و بوث (1999)، کامفورست (1987)، غضنفرپور (2006)، حسن زاده نفوتی و همکاران (1385) و اسماعیل زاده (2002) مطابقت دارد.

بررسی عوامل مؤثر در تلفات خاک واحدهای کاری

بر اساس نتایج آزمون F اثر واحدهای مارنی، شیب و اقلیم بر مقدار تلفات خاک در واحدهای کاری انتخابی در سطح 1% معنی‌دار است (جدول3). بر اساس نتایج این آزمون واحدهای مارنی مورد بررسی به چهار گروه قابل تفکیک می‌باشد. بطوریکه واحد مارن پلیوسن (PL) و قرمز پائینی (OL) در یک گروه و واحد مارنی قم (OM)، واحد مارنی قرمز بالایی (Mu)، و مارن ائوسن (EM) هر کدام به تنهایی در یک گروه قرار می‌گیرند. این نوع گروه‌بندی نشان‌دهنده وجود یک اختلاف و تفاوت مشهود و معنی‌داری در بین واحدهای مارنی از نظر مقدار تلفات خاک آنهاست که این موضوع به شرایط و خصوصیات ذاتی این واحدهای مارنی هم از نظر فیزیکی و هم از نظر شیمیایی مربوط می‌شود.

یکی دیگر از عوامل مؤثر در مقدار رسوب تولیدی و فرسایش واحدهای مارنی بافت خاک این واحدهاست. چرا که هر دو جزء فرآیند فرسایش (جدا شدن و انتقال) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (فیض‌نیا و همکاران، 2007). مشخصات کلی بافت خاک واحدهای کاری در جدول (1) ارائه شده و خلاصه اطلاعات و طبقه‌بندی بافت خاک آنها در جدول (2) نشان داده شده‌است. همانطوریکه قبلاً نیز اشاره گردید واحدهای مارنی مورد بررسی دارای بافت خاک از نوع سیلتی کلی یا سیلتی کلی لوم می‌باشند. به طوری که بخش سیلت در آنها فراوانی بیشتری داشته و بدلیل اینکه سیلت خاصیت چسبندگی ندارد به سهولت شکسته شده و منتقل می‌شوند. در نتیجه رسوب بیشتری را تولید می‌نماید. در حالیکه ذرات ماسه به علت اندازه بزرگتر مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس بدلیل پیوستگی و چسبندگی بین ذرات مقاوم به جدا شدن می‌باشند (فیض‌نیا و همکاران، 2007). این نتیجه مورد تأیید تحقیقات محققین دیگر چون کانگ و همکاران (1999)، میسپولینوس و همکاران (1998) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده از این بررسی در حدود 4438 کیلومترمربع از سطح استان که معادل 20 درصد مساحت کل استان است تحت اشغال اراضی مارنی

می‌باشد. در بین واحد های مارنی نیز واحد مارنی پلیوسن (Plm) و واحد مارنی طبقات قرمز بالایی (Mur) بیش از 85 درصد از سطح واحدهای مارنی را پوشش می‌دهند.

بررسی تأثیر عوامل سه گانه شرکت کننده در تعریف واحدهای کاری یعنی واحدهای مارنی، شیب و اقلیم بر مقدار رسوب تولیدی هریک از واحدهای کاری به روش آزمون F نشان‌دهنده این مطلب است که نوع واحدهای مارنی، شیب و اقلیم اثر معنی‌دار بر روی مقدار رسوب تولید شده داشته و بر این اساس می‌توان نسبت به تفکیک و طبقه بندی واحدهای کاری و واحدهای مارنی اقدام نمود. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین این سه عامل (واحدهای مارنی، شیب و اقلیم) به روش آزمون دانکن، واحدهای مارنی با توجه مقدار تلفات خاک در آنها به چهار گروه قابل تفکیک می‌باشند. بطوریکه واحد مارن پلیوسن (PL) و قرمز پائینی (OL) در یک گروه و واحد مارنی قم (OM)، واحد مارنی قرمز بالایی (Mu)، و مارن ائوسن (EM) هر کدام به تنهایی در یک گروه قرار می‌گیرند.

بر این اساس می‌توان گفت که این چهار گروه از نظر تفاوت در مقدار رسوب تولیدی با همدیگر اختلاف معنی‌داری دارند که این در واقع به شرایط و خصوصیات ذاتی این واحدهای مارنی مربوط می‌شود که باعث بروز رفتارهای مشابه یا متناقض در آنها می‌گردد. به همین ترتیب نتایج بررسی تأثیر شیب و اقلیم بر مقدار رسوب تولیدی از واحدهای کاری نشان می‌دهد که تفاوت مقدار رسوب تولیدی واحدهای مارنی در دو شیب و اقلیم انتخابی معنی‌دار می‌باشند. یعنی مقدار رسوب تولیدی واحدهای مارنی در شیب‌های 5% و 20% و اقلیم خشک و مرطوب با همدیگر تفاوت محسوس و معنی‌داری بوده و این در واقع نشان‌دهنده موثربودن شیب و اقلیم در این صفت می‌باشد. یکی از دلایل مهم و مؤثر در وجود تفاوت در تلفات خاک واحدهای مارنی اختلاف در نوع بافت خاک آنهاست. به طوری که غالب واحدهای مارنی دارای بافت خاک سیلتی کلی یا سیلتی کلی لوم می‌باشند. در این نوع بافت بیشترین درصد فراوانی مربوط به سیلت بوده و دارای مقدار رسوب تولیدی و شدت فرسایش بیشتری هستند. زیرا سیلت چسبندگی ندارد و در اثر مرطوب شدن خاکدانه‌ها به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شوند و در نتیجه رسوب بیشتری را تولید می‌نماید. در حالیکه ذرات ماسه به علت اندازه بزرگتر مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس بدلیل پیوستگی و چسبندگی بین ذرات مقاوم به جدا شدن می‌باشند

سپاسگزاری

این مقاله‌ای بخشی از یک طرح تحقیقاتی می‌باشد که هزینه‌های اجرای آن از طریق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تأمین شده‌است. لازم است از همکاری صمیمانه ریاست محترم مرکز جناب آقای مهندس غلامرضا داورپناه و از همکاری آقای مهندس اصغر حیدری و آقای وحید عبدی‌نژاد که در انجام عملیات میدانی همکاری را داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

فهرست منابع:

1. اسدی ح.، رفاهی ح.ق.، روحی پور ح. و قدیری ح.و. 1385. بررسی فرسایش بین شیاری و ارزیابی چند معادله در شرایط آزمایشگاهی با استفاده ازشبیه سازی باران، علوم کشاورزی ایران، جلد37 (5): ص784-775.
2. حسن زاده نفوتی، م، فیض‌نیا، س، احمدی، ح، پیروان،ح، غیومیان، ج. 1387. بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان رسوبدهی با استفاده از مدل فیزیکی باران‌ساز. نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، بهار 1387، جلد اول، شماره 1، ص 35 تا 48.
3. حسینی، س، فیض‌نیا، س، پیروان، ح و زهتابیان، غ. 1388، بررسی تولید رواناب و رسوب در سازندهای ریزدانه نئوژن با کمک بارانساز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 62 ، شماره 2، تابستان 1388 ، ص215 تا 229
4. رحمتی، م، عرب خدری، م و جعفری اردکانی، ع، 1383. تأثیر شدت چرا و شیب بر هدر رفت آب و خاک، فصلنامه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی شماره 62، ص 32 تا 37.

5. شکل آبادی، م، ح. خادمی، ا . چرخابی. 1382. تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری متفاوت در حوزه آبخیز گل آباد، اردستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی سال هفتم. شماره دوم. ص 85-100.
6. صادقی س.ح.ر.، بشری سه قلعه م. و رنگآور ع. 1387. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها، مجله علوم آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد22(2): ص239-230.
7. ظریف م.س.، صادقی س.ح.ر. و میرنیا س.خ. 1388. بررسی تغییرات روانآب و رسوب در دو شیب مختلف در حوزۀ آبخیز جنگلی کجور، پنجمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان، 2 و 3 اردیبهشت 1388،ص 212 .
8. عبدی نژاد، پرویز ، فیض نیا، سادات، پیروان، حمیدرضا و همکاران، 1390،بررسی خصوصیات فیزیکوشیمایی، مکانیکی و فرسایش پذیری سازندهای مارنی استان زنجان، مرکزتحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان،ص 256.
9. فرجی م.، احمدی ح.، مهدوی م.، محمدیان بهبهانی ع. و دادخواه م. 1385. بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوب دهی حوزۀ آبخیز بابا احمدی خوزستان با استفاده از مدل‌های تجربیEPM و MPSIAC.
10. فیض نیا، س.1374. مقاومت سنگ‌ها درمقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران.مجله منابع طبیعی ایران. شماره 47. ص 95تا186.
11. فیض‌نیا، س. سلاجقه، ع. احمدی، ح. و فضل اللهی آ، ع. 1386، بررسی رابطه خصوصیات فیزیکی خاک و میزان رواناب و رسوب در پادگانه‌های آبرفتی با استفاده از باران ساز (منطقه مورد مطالعه: زیر حوضه عباس آباد جاجرود)، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.
12. محمدزاده ع. 1384. بررسی اثر تندی و جهت شیب در فرسایش مارنها با استفاده از بارانساز مصنوعی در حوزۀ آبخیز گیوی چای در استان اردبیل، سومین همایش ملّی فرسایش و رسوب، تهران،9- 6 شهریور1384، ص673-678.
13. Agassi M., Shainberg I., and Morin J. 1990. Slope, Aspect and Phosphogypsum Effect on Runoff and Erosion. Soil Science Society of America Journal. 54: 1102-1106.
14. Areniz, J. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil & Tillage Research, 125-132.
15. Assouline, S., and Ben-Hur, M. 2006. Effects of rainfall intensity and slopegradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. Catena, 66:2211-20.
16. Benito G.، M. Gutierrez and C. Sancho، 1991. Erosion pattern in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain)، soil erosion studies in Spain، 41-54.
17. Bracken. L.J. 2005. Differences in hillslope runoff and sediment transport rates within two semi-arid catchements in southeast Spain. Geomorphology, 68:183-200.
18. Bufalo، M. and Nahon, D. ، 1992. Erosional process and Mediterranean badlands: A new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. Geoderma، 52، :133-147.
19. Canga, M. R. 1999. Effects of subsequent simulated rainfall on runoff and erosion. Turk. J. Agriculture Forestry, 23:659-665.
20. Cerda, A, (2002). The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soil in eastern Spain. J. of Arid Environoments, 52:319-337.
21. Chaplot V.A.M., and Bissonnais Y.L. 2003. Runoff Features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope length and gradient in an agricultural Loessial hillslope. Soil Science Society of America Journal. 67:844-851.
22. Cheng Q., Ma W., and Cai Q. 2008. The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: a case study in the hilly areas of the Loess Plateau, north China. GeoJournal. 71(2-3):117-125.
23. Ekwue, E.I., Bharat, C., and Samaroo, K. 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. Bios. Engine. 102:236-243.

24. Engelend، G.B. (1971). Runoff processes and slope development in badlands national monument. South Dakota، Journal of Hydrology, 18:55-79.
25. Gomez, J.A., and Nearing, M.A. 2005. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment. Catena. 59:253-266.
26. Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility, Netherlands Journal of Agricultural Science, 35.
27. Kirkby, M. 2001. Modeling the Interactions Between Soil Surface Properties and Water. Elsevier Catena،pp.89-102 (www.elsevier.com/locate/catena).
28. Levy, G.J., Levin, J., and Shainberg, I. 1994. Seal formation and interrill erosion. Soil Science Society of America Journal, 58:203-209.
29. Martinez, C,. (2002). Relation between interrill erosion process and sediment particle size disturbation in a semiarid Mediterranean area. Geomorphology, 45:261-275.
30. Mispolinos, N.D., Silleos, N. G. and Prodromou, K. P., 1998" The influence of exchangeable Mg on certain Physical soil properties in a number of Mg- affected soils" Catena, 15:127-136.
31. Navas, A. 1993. Soil loses under Simulator Rainfall in Semi-arid Shrublands of the Ebro Valley. Journal of Soil and Water Conservation, 42:211-215.
32. Rienks.S. M.، Botha.G.A & Hughes. J.C (1999). Some physical and chemical properties of sediments exposed in gully(donga) in northern kwazulu-Natal،South Africa and their relationship to the Erodibility of the colluvial Layers، South Africa، Hughes University of Natal
33. Sirventij، D.G.، Guticrres، M.S. & Benito، G. (1996). Erosion in badland areas recorded by collectors، erosion pins and profilometer techniques (Ebro basin، Nw- Spain). Geomorphology، 503.
34. Smaeil Zadeh.hamid. 2002. Marl soils and different types of erosion in Iran. 17th WCSS. Thailand. 22:8
35. Vahabi, J., and Mahdian, M.H. 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. Current Sci. 95:1439-1445.
36. Victora, C., Kacevas, A. and Fiori, H. 1997. Soil Vulnerability in Uruguay: Potential Effects of an Increase in Erosive Rainfall on Soil Loss. Climate Research, 9: 41-46.
37. Zheng, FL., Merrill, S.D., Huang, C.H., Tanaka, D.L., Darboux, F. and Liebig, M.A., (2004) Runoff, Soil Erosion and Erodibility of Conservation Reserve Program Land Under Crop and Hay Production, Journal of Soil Science Society of America, 68(4):1332-1341.