

صحت‌سنجی عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوبدهی واحدهای مارنی با استفاده از داده‌های

بارانساز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامه‌عبدل آباد، گرمسار، ایران)

آیدا طالبی^{۱*}، امیرحسین چرخابی^۲، حمیدرضا پیروان^۳، علی‌اصغر هاشمی^۴

چکیده:

در این پژوهش به بررسی نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی واحدهای مارنی بر گسترش فرسایش پرداخته شده‌است. نمونه‌برداری از چهار واحدهای مارنی، براساس شکل فرسایش و شیب غالب منطقه انجام شده‌است. همچنین به منظور بررسی میزان رسوبدهی واحدهای مارنی، از دستگاه بارانساز قابل حمل استفاده گردیده‌است. مقادیر رسوب و رواناب هریک از واحدهای مارنی اندازه‌گیری و در آزمایشگاه بر روی نمونه‌ها، آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی خاک صورت گرفت. از آنالیز تحلیل واریانسی و میانگین، برای تحلیل داده‌ها استفاده و در نهایت با استفاده از آنالیز عاملی، بین ویژگی‌های شیمیایی مارن‌ها و رسوبدهی رابطه برقرار و شاخص‌های تأثیرگذار در فرسایش و تولید رسوب تعیین شد. بر طبق شاخص‌های آماری، با افزایش **EC, Na, Cl, SAR, SO₄** و سیلت و رس و همچنین با کاهش **TNV, HCO₃** و گراول، فرسایش گسترش یافته‌است. همچنین **TNV, SO₄, HCO₃, EC, Na, Cl, SAR** و گراول، سیلت و رس نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار بین اشکال مختلف فرسایش داشتند. نتایج آنالیز عاملی نشان‌داد که با افزایش شاخص‌های **EC, Na, Cl, SAR** و کاهش **TNV, HCO₃** شدت فرسایش و رسوبدهی بیشتر شده‌است.

واژه‌های کلیدی:

مارن، فرسایش، رسوبدهی، بارانساز، حوضه رامه‌عبدل‌آباد، گرمسار.

^۱ کارشناس ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، a.talebi77@hotmail.com

^۲ عضو هیئت علمی و رئیس بخش تحقیقات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، Charkhabi@yahoo.com

^۳ معاون بخش تحقیقات و عضو کمیته علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، hrpeyrowan@yahoo.com

^۴ عضو هیئت علمی - رئیس بخش آبخیزداری منابع طبیعی و امور دام سمنان، hashemiaa12@gmail.com

Abstract:

In this research, is reviewed the role of physical and chemical characteristics of the marl units on erosion extension. The sampling is done from 4 marl lithology, based on erosion shape and dominant area slope. In order to verification of marl units sediment we used of portable rain simulator. Measurement of sediment, runoff and soil physical and chemical analysis from each of the marl units was done. Analysis of variance and the mean was used for data analysis. With use of factor analysis, we establish relationship between chemical characteristics of marls and sediment, and then determine effective factors on erosion and sediment. According to the statistical parameters, erosion increase with increase of SAR, EC, Na, Cl, SO₄, silt and clay and decrease in HCO₃, TNV and gravel. Also, EC, SAR, Na, Cl, TNV, HCO₃, SO₄, gravel, silt and clay has significant difference between erosion types. Factor analysis results showed that erosion intensity and sediment increase with increase in SAR, Cl, Na, EC and decrease in HCO₃, TNV.

Keywords:

Marl, Erosion, Sedimentation, Rain simulator, Rameh- Abdolabad Watershed, Garmsar.

-
1. a.talebi77@hotmail.com
 2. Charkhabi@yahoo.com
 3. hrpeyrowan@yahoo.com
 4. hashemiaa12@gmail.com

خاک یکی از منابع طبیعی مهم در هر کشور به شمار می‌آید. فرسایش خاک به عنوان خطر جدی برای حیات انسان می‌باشد. فرسایش نه تنها سبب تخریب خاک شده، بلکه با رسوب مواد در آبراهه، مخازن سدها و کاهش ظرفیت آبیگری آن‌ها خسارت زیادی را سبب می‌گردد. واحدهای مارنی بیشترین رسوبات را در بین واحدهای سنگ شناسی در حوضه‌ها تولید می‌نمایند. این رسوبات به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری زیادی برخوردار بوده‌اند (عباسی، ۱۳۸۴).

اصولاً مارن‌ها براساس بافت، درصد رس، نوع رس (ایلیت، کائولینیت، مونتورینیت، پالی‌گورسکیت، اسمکتیت و غیره)، درصد کربنات کلسیم (۳۵-۶۵ درصد) و نوع اکسیدها (اکسیدهای آهن، آلومینیوم و غیره) گروه‌های مارنی مختلف با خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و فرسایشی متفاوتی تشکیل می‌دهند. این واحدها به علت داشتن ترکیبات خاص، نسبت به فرسایش حساس هستند، به طوری که عمدتاً بیشترین میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه‌های آبخیز مربوط به آنهاست (عباسی، ۱۳۸۴). لذا، مهمترین جنبه مطالعه مارن‌ها مسئله فرسایش‌پذیری آنها است که سبب تولید سالانه هزاران تن رسوب در مخازن سدها می‌نمایند و موجب کاهش عمر مفید سدها و بالا بردن هزینه تصفیه آب جهت ته‌شست کلونیدهای رسی می‌گردد. میزان فرسایش در مناطق نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و گرمسیری بیشتر از مناطق دیگر است (Morgan, 2005). با توجه به اینکه ایران در منطقه گرم و خشک قرار دارد، نهمین کشور در جنوب آسیا است که زمین‌های طبیعی و کشاورزی آن تحت تأثیر فرسایش زیاد قرار می‌گیرد (Vahabi and Nikkami, 2008). با توجه به تأثیر مهم قطرات باران بر روی خصوصیات خاک و اهمیت فرسایش و فرسایش‌پذیری خاک، بررسی و ارزیابی فرسایش‌پذیری با استفاده از بارندگی‌های طبیعی یا مصنوعی بسیار راهگشا است (Agassi et al., 1999). در بسیاری از مطالعات فرسایش، دستاوردهای استفاده از بارانساز، بیش از مطالعه تحت باران طبیعی است (Meyer, 1965). به عنوان مثال، Dimoyiannis و همکاران (۲۰۰۱)، به منظور مطالعه ویژگی‌های فرسایش‌پذیری برخی از خاک‌های آهکی یونان مرکزی، ناپایداری اگرگات‌های ۲-۴/۷ میلی‌متر را با استفاده از شبیه‌ساز باران مورد مطالعه قراردادند. همچنین، Iserloh و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از یک شبیه‌ساز باران قابل حمل و کوچک به آزمایش در رابطه با فرسایش خاک در محیط آزمایشگاهی پرداخته‌اند.

Hamed و همکاران (۲۰۰۲)، در مناطق نیمه خشک تونس به مقایسه بین فرسایش شبیه‌ساز باران و مشاهدات رسوبدهی مخزن در حوضه آبریز حساس به فرسایش پرداختند. آنها یک دوره ۷ ساله (۱۹۹۲-۱۹۹۹)، با مقادیر رسوبدهی مشاهده شده در مخزن پایین دست برای آزمایش انتخاب کردند. مقایسه بین از دست دادن خاک محاسبه شده از آزمایش‌های شبیه‌ساز باران و مشاهده رسوب در مخزن پایین دست، نتایج خوبی را در برداشت. به طور کلی، نتایج نشان داد که مقیاس شدت متغیر شبیه‌ساز باران می‌تواند تلفات خاک را در مقیاس حوضه آبریز برآورد کند.

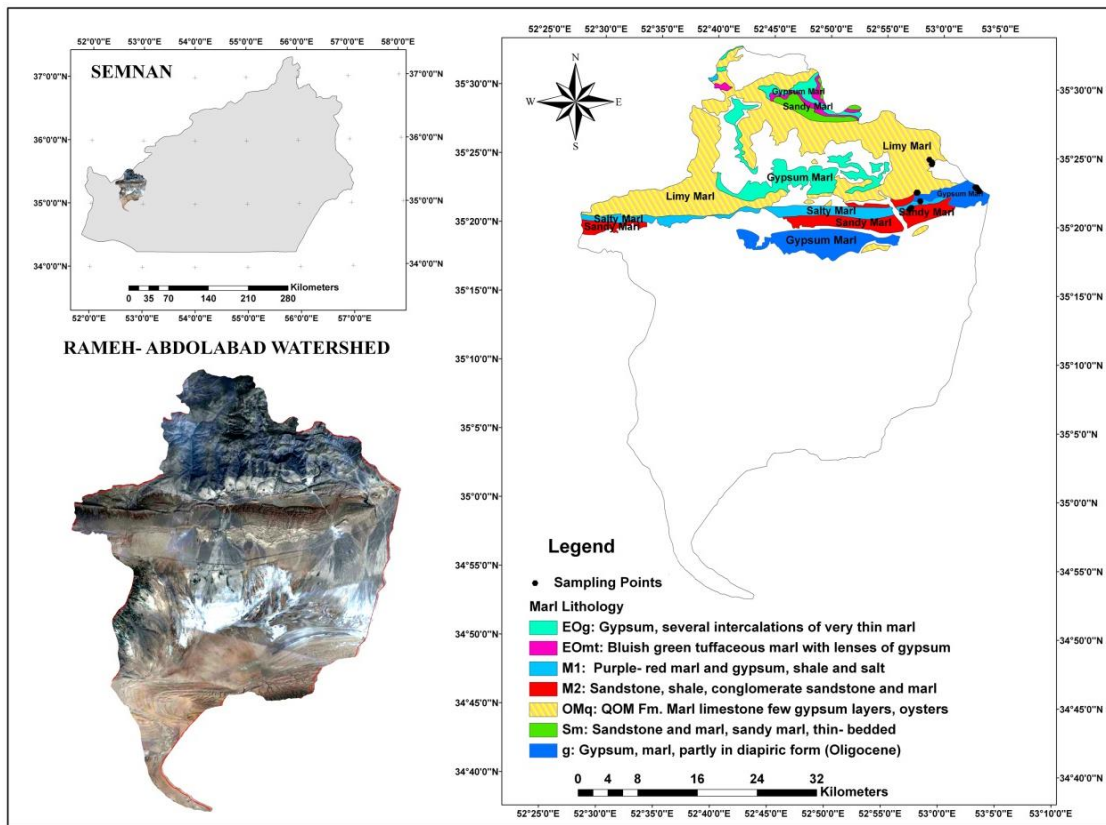
Tolhurst و همکاران ۲۰۰۸، تأثیر باران شبیه سازی شده بر روی آستانه فرسایش و خواص زیست شیمی رسوبات بین جذر و مدی را بررسی نمودند. طبق نتایج آن‌ها، باران باعث اختلال سطح رسوب در نتیجه فرسایش کم و در نتیجه افزایش سرعت فرسایش نسبی می‌شود. همچنین، خواص زیست شیمی رسوب از جمله کلروفیل و کربوهیدرات در مدت زمان کم بارش (۵ دقیقه) تجزیه می‌شود. از دیگر مطالعات فرسایش با استفاده از شبیه ساز باران می‌توان به مطالعه و حابی و نیکامی ۲۰۰۸، در حوضه طالقان ایران، **Fister** و همکاران ۲۰۱۲ در محیط آزمایشگاهی برای بررسی تأثیر همزمان باد و باران بر فرسایش خاک درجا و **Grismer** ۲۰۱۲، اشاره نمود.

با توجه به این که مارن‌های حوضه‌های آبخیز کشور از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و ژئوشیمیایی متفاوت می‌باشند می‌توان با انجام آزمون‌های محدود (فیزیک و شیمی خاک)، حساسیت پهنه‌های مارنی حوضه‌های آبخیز را تعیین نمود. وجود خاک‌هایی با این گونه رفتار فرسایشی در محدوده ۲۱۴۵ کیلومترمربع در حوزه رامه‌عبدل‌آباد در شمال شرق سمنان مورد توجه این مطالعه قرار گرفت. بنابراین، هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر شدت فرسایش و رسوبدهی و صحت‌سنجی عوامل با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران است.

۲- مواد و روشها

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و اقلیم حوضه مورد مطالعه:

حوضه رامه‌عبدل‌آباد به مساحت تقریبی ۲۱۴۰۰۰ هکتار و با امتداد شمالی- جنوبی، در شمال شرق شهرستان گرمسار (استان سمنان) واقع شده‌است. در واقع مرز شمالی حوضه را خط تقسیم آب‌های رشته کوه البرز و ارتفاعات شمالی آن و مرز جنوبی آن را کویر کهک تشکیل می‌دهد. از نظر مختصات جغرافیایی حوضه رامه‌عبدل‌آباد بین طول شرقی $۲۵^{\circ} ۵۲'$ تا $۵۳^{\circ} ۵'$ و عرض شمالی $۳۴^{\circ} ۵'$ تا $۳۵^{\circ} ۳۵'$ واقع شده است. حوضه آبخیز رامه‌عبدل‌آباد از شمال به حوضه رودخانه کبیر دریای خزر و از جنوب به حوضه کویر بزرگ و از شرق به سرخه و از غرب به ایوانکی محدود می‌شود. شکل ۱، موقعیت محدوده مطالعاتی را نسبت به استان سمنان و کشور نشان می‌دهد. این حوضه با روند شمال- جنوب در دامنه جنوبی البرز مرکزی واقع شده‌است که بخش شمالی آن را نواحی مرتفع و کوهستانی و بخش جنوبی آن را نواحی پست و مناطق دشتی تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع در غرب حوضه در قسمت شمالی برابر ۳۲۵۲ متر است و حداقل ارتفاع در جنوب حوضه برابر ۷۳۴ متر است. ارتفاع متوسط حوضه ۱۹۹۳ متر است. حوضه مورد مطالعه دارای آب و هوای متفاوتی است، اما به طور کلی، بخش گسترده‌ای از این حوضه دارای آب و هوای خشک است (متوسط بارندگی ۱۸۰ میلیمتر در سال) و تنها بخش شمالی حوضه دارای آب و هوای مرطوب و مدیترانه‌ای می‌باشد (مطالعات سیمای حوضه‌های آبخیز کشور، ۱۳۸۶).



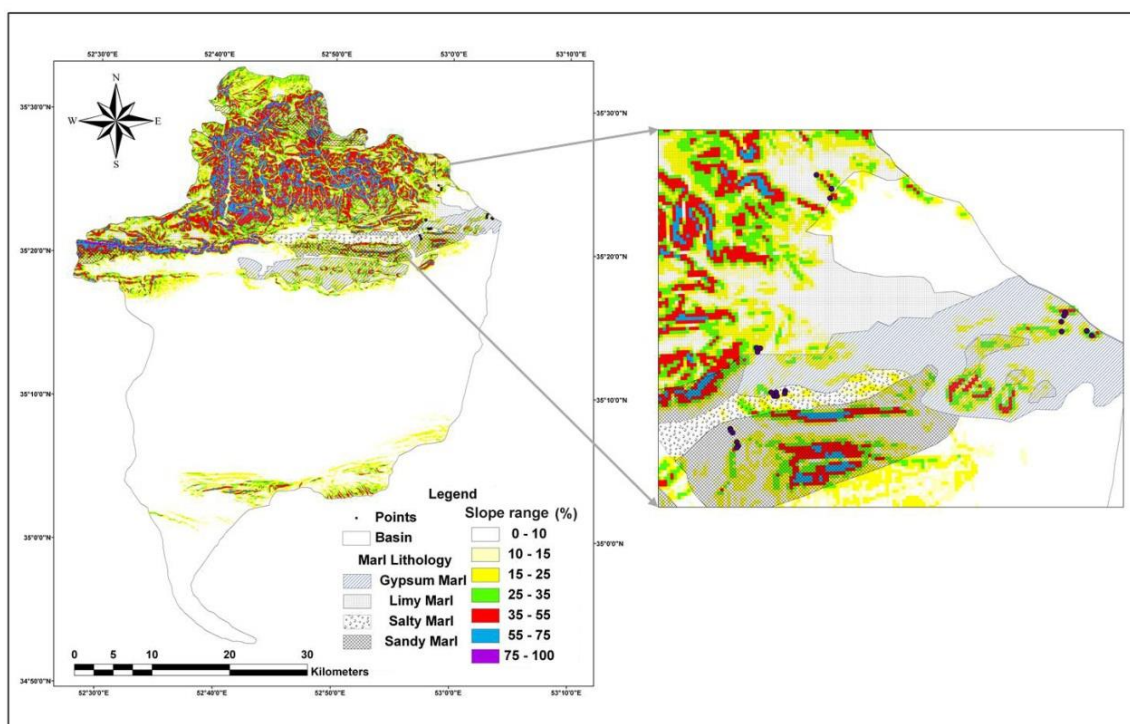
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه رامه عبدالآباد

۲-۲- روش تحقیق

به منظور پی بردن به وجود ارتباط نزدیک بین شکل ها و شدت فرسایش مارن ها با ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، در ابتدا ۴ واحد لیتولوژیکی مارنی و در ادامه ۳ رده شیب غالب منطقه و شکل های مختلف فرسایش واحدهای مارنی (شامل فرسایش سطحی، شیاری با شدت کم، شیاری شدید و فرسایش شیاری-آبراهه ای) شناسایی شدند. ۳۱ نمونه از چهار واحد لیتولوژی مارنی (OMq, M2, M1, g) و ۴ شکل فرسایشی (سطحی، شیاری با شدت کم، شیاری شدید، شیاری-آبراهه ای) غالب در این واحدها برداشت گردید. ۱۸ نمونه برای اشکال فرسایش سطحی (S) از عمق ۱۵ - ۰ سانتی متری، ۳ نمونه شیاری با شدت کم (L-R) و ۷ نمونه شیاری با شدت زیاد (H-R) از عمق ۳۰ - ۰ سانتی متری و در نهایت ۳ نمونه برای فرسایش شیاری-آبراهه ای (R-Ch) از عمق آبراهه برداشت شد.

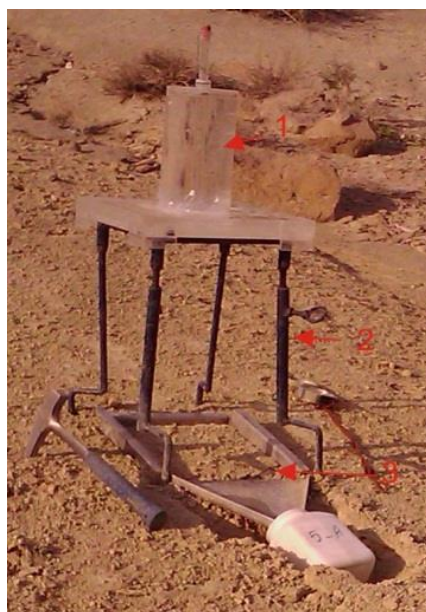
نمونه ها پس از خشک شدن در هوا، از الک ۲ میلی متر گذارنده و جهت انجام آزمایشات نگهداری شدند. در آزمایشگاه از نمونه ها، گل اشباع تهیه گردید و pH آن ها توسط دستگاه pH متر اندازه گیری شد. سپس از نمونه های گل اشباع، عصاره تهیه شد و توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، EC آن ها تعیین گردید. میزان سدیم و نسبت جذب سدیم (SAR) نیز اندازه گیری شد. گچ به روش استن، کربن آلی طبق روش وایکلی و بلک، ظرفیت تبادل کاتیونی با روش باور (Page et al., 1956) اندازه گیری شدند. با توجه به شیب های غالب (۳۰ -

۲۰ درصد) و لیتولوژی حوضه (اشکال مختلف فرسایش)، ۸ واحد کاری انتخاب و در هر واحد سه بار تکرار باران‌ساز قابل حمل صورت گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه ۸ واحد کاری باران‌ساز و شیب منطقه مورد مطالعه

آزمایشات با شدت بارندگی ۳۰ میلی‌متر در ساعت به مدت ۴ دقیقه (با توجه به توان دستگاه) و در شرایط خشک از لحاظ رطوبت اولیه خاک (حداقل ده روز بعد از آخرین بارندگی) انجام شد. نمونه‌های رسوب و رواناب به آزمایشگاه منتقل و حجم آن دو در آزمایشگاه محاسبه گردید برای انجام این تحقیق از باران‌ساز بدون فشار، طراحی شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی استفاده شد. این دستگاه از سه قطعه تشکیل شده است (شکل ۳). ۱- تانکر آب که حجمی برابر ۲ لیتر را در خود ذخیره می‌کند ۲- پایه متحرک که قابلیت تنظیم در شیب‌های مختلف را دارد ۳- پلات فلزی دارای ناودان برای هدایت رواناب و رسوب به ظروف جمع‌آوری. قطرات باران تحت نیروی گراویته در فشار اتمسفر به سمت پایین سقوط آزاد می‌کنند. شدت بارندگی توسط استوانه‌ای که بر روی مخزن آب قرار گرفته است تنظیم می‌شود. ارتفاع این دستگاه ۴۰ سانتیمتر و سطح تأثیر آن ۲۷/۵ سانتیمتر می‌باشد.



شکل ۳- شمایی از دستگاه شبیه‌ساز باران

بحث و نتایج:

(۱) شاخص‌های آماری:

میانگین، مهم‌ترین شاخص‌دهنده آماری می‌باشد. جدول ۱، نتایج میانگین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، پراکندگی داده‌ها به ویژه میزان کلر و سدیم در اشکال فرسایشی زیاد است. برای پی‌بردن به این که پراکندگی زیاد متغیرها بین میانگین‌های هر گروه حاصل شانس و خطای نمونه‌گیری است یا حاصل یک تفاوت منظم، می‌توان از آنالیز تحلیل واریانس استفاده کرد.

جدول ۱- میانگین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در اشکال مختلف فرسایش

اشکال فرسایشی				متغیرهای فیزیکی و شیمیایی	شاخص‌های شیمیایی
شیاری - آبراهه - ای	شیاری شدید	شیاری با شدت کم	سطحی		
۸۷/۰۳	۵۸/۸۰	۳۸/۱۶	۳/۷۵	EC (ms)	
۲/۰۰	۲/۲۱	۲/۵۰	۲/۵۰	HCO₃ (meq/l)	
۱۱۷۷/۵۰	۷۲۰/۵۰	۴۱۳/۳۳	۲۰/۸۷	Cl (meq/l)	
۲۴۴/۱۴	۱۸۸/۴۱	۱۳۹/۰۰	۳۱/۳۶	SO₄ (meq/l)	
۷۴/۲۷	۸۷/۷۱	۶۰/۹۳	۲۸/۳۱	Ca (meq/l)	
۸/۰۰	۱۷/۸۳	۱۸/۲۷	۴/۸۲	Mg (meq/l)	
۱۳۳۵/۵۳	۸۰۱/۷۶	۴۷۰/۰۰	۲۰/۳۴	Na (meq/l)	
۵/۸۳	۵/۱۸	۶/۰۸	۱/۲۹	K (meq/l)	

۲۱/۵۵	۲۰/۰۶	۲۰/۲۲	۳۶/۹۰	(کربنات) (%TNVفعال)	
۲/۵۷	۵/۰۳	۴/۱۹	۳/۶۳	CaSO ₄ (%)	
۲۰۹/۴۸	۱۱۲/۶۰	۸۰/۳۶	۴/۴۸	SAR (meq/l)	
۰/۵۷	۵/۱۸	۵/۶۷	۱۶/۲۰	درصد گراول	نتایج تجزیه و آزمایش
۲/۷۵	۲۱/۶۰	۱۵/۰۰	۲۴/۱۲	درصد ماسه	
۶۰/۵۶	۴۱/۳۴	۵۲/۰۳	۳۷/۳۲	درصد سیلت	
۳۶/۱۲	۳۱/۸۸	۲۷/۳۰	۲۲/۳۶	درصد رس	

در این قسمت یک روش آماری جهت تحلیل اطلاعات آماری از یک طرح یک متغیری با دو یا بیش از دو جامعه مستقل ارائه می‌گردد. این روش، تحلیل واریانس یک متغیری^۱ نامیده می‌شود. منظور از یک متغیری این است که با توجه به یک متغیر مستقل، آزمودنی‌ها فقط به یک طریق در گروه‌ها قرار می‌گیرند. با استفاده از این روش می‌توان فرضیه‌های مربوط به وجود تفاوت بین میانگین‌های دو یا بیش از دو جامعه را مورد آزمایش قرار داد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده طرح

^۱ANOVA

ANOVA						
		مجموع مربعات	درجه آزادی	متوسط مربعات	F مقدار آماره	سطح معنی داری F
EC	بین گروه ها	۵۶۱۰۲/۱۴۰	۳	۱۸۷۰۰/۷۱۳	۹۱۳/۵۰۲	.۰۰۰
HCO ₃	بین گروه ها	۲/۱۸۸	۳	۰/۷۲۹	۷/۳۱۳	.۰۰۰
Cl	بین گروه ها	۱/۰۴۸E7	۳	۳۴۹۲۲۷/۳۳۸ ۸	۹۸۰/۶۴۵	.۰۰۰
SO ₄	بین گروه ها	۳۹۰۲۰۳/۶۶۲	۳	۱۳۰۰۶۷/۸۸۷	۲۸/۶۲۴	.۰۰۰
Ca	بین گروه ها	۳۶۰۳۰/۰۲۵	۳	۱۲۰۱۰/۰۰۸	۴۹/۵۱۰	.۰۰۰
Mg	بین گروه ها	۲۰۶۳/۲۲۳	۳	۶۸۷/۷۴۱	۱۲/۲۸۷	.۰۰۰
Na	بین گروه ها	۱/۳۴۴E7	۳	۴۴۷۸۸۳/۵۳۷ ۹	۷۹۷/۲۰۰	.۰۰۰
K	بین گروه ها	۲۲۶/۰۴۷	۳	۷۵/۳۴۹	۹/۳۸۴	.۰۰۰
TNV	بین گروه ها	۳۳۱۳/۷۷۶	۳	۱۱۰۴/۵۹۲	۱۳/۲۹۸	.۰۰۰
CaSO ₄	بین گروه ها	۴۹/۳۶۹	۳	۱۶/۴۵۶	۷/۳۷۲	.۰۰۰
SAR	بین گروه ها	۳۱۲۵۲۲/۹۹۸	۳	۱۰۴۱۷۴/۳۳۳	۲۸۷/۲۶۰	.۰۰۰
Gravel	بین گروه ها	۱۹۹۸/۰۱۶	۳	۶۶۶/۰۰۵	۸/۳۸۷	.۰۰۰
Sand	بین گروه ها	۳۶۹۰/۶۰۲	۳	۱۲۳۰/۲۰۱	۱۳/۱۰۴	.۰۰۰
Silt	بین گروه ها	۴۱۸۵/۱۷۷	۳	۱۳۹۵/۰۵۹	۹/۱۸۳	.۰۰۰
Clay	بین گروه ها	۱۳۴۳/۲۴۰	۳	۴۴۷/۷۴۷	۴/۰۳۰	۰/۰۱۲

همان طور که از آنالیز واریانس مشاهده می شود تمامی متغیرهای اندازه گیری شده دارای اختلاف معنی داری بین میانگین گروه های فرسایشی از خود نشان داده اند. از جدول میانگین و نمودارهای پلات شده مشخص می شود که:

متغیرهای HCO₃EC, Cl, SO₄, Ca, Na, K, TNV, با سایر فرسایش سطحی با سایر فرسایش ها دارد. بین فرسایش سطحی و شیاری- آبراهه ای و همچنین با سایر فرسایش ها تفاوت معنی داری در میانگین نسبت

جذب سدیم (SAR) وجود دارد. متغیرهای گراول، ماسه، سیلت و رس تفاوت معنی داری بین فرسایش سطحی و با سایر فرسایش ها و بخصوص با فرسایش شیاری- آبراهه ای دارد.

برای مقایسه میانگین ها در تحلیل، آزمون های مختلفی وجود دارد از آن جمله می توان به آزمون Scheffe، آزمون توکی (HSD)، آزمون LSD و آزمون Dunnett اشاره نمود. هرکدام از این آزمون ها برای مقایسه یک به یک میانگین ها در سطح معنی دار ($\alpha = 0.05$) استفاده می شوند. در این تحقیق، برای مقایسه یک به یک میانگین ها از روش LSD استفاده شد و نتایج بدست آمده عبارتند از:

گروه های ۱، ۲، ۳، ۴ در آزمون LSD به ترتیب معرف فرسایش سطحی، شیاری با شدت کم، شیاری شدید و شیاری- آبراهه ای می باشد. با توجه به جدول ۳، گروه ۴ و ادر Mg و CaSO₄ تفاوت معنی داری باهم ندارند. گروه ۲ و ۳ هم در TNV, Mg و هم در CaSO₄, HCO₃, OC, SO₄ و K، گروه ۲ و ۱ در CaSO₄, HCO₃ و OC و در آخر ۳ و ۴ در HCO₃, K, TNV تفاوت معنی داری باهم ندارند.

در طبیعت عامل های فیزیکی و شیمیایی با هم عمل کرده و باعث ایجاد اشکال مختلف فرسایشی می شوند؛ بنابراین باید ارتباطی بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی یافت. در مرحله بعد به ارتباط بین این متغیرها می پردازیم. بر این اساس از آنالیز عاملی به روش Principal Axis Factoring استفاده نمودیم. پیش از استفاده از آیین آنالیز، در ابتدا ضریب همبستگی این عوامل را با شاخص فرسایش پذیری و دانسیته گرفته و متغیرهای تأثیرگذار از این طریق تأیید شد (همبستگی معنی دار آن ها مشاهده شد، جدول ۴).

جدول ۳- ارتباط بین شاخص فرسایش پذیری و دانسیته با متغیرها

	EC	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	TNV	CaS O ₄	SAR	Gravel	Sand	F.Silt	V.F.Si lt	Cl
D Pearson Correlation	۰/۳۰۵*	۰/۲۶۵*	۰/۳۱۵*	۰/۵۹۵**	-۰/۱۷۱	-۰/۰۸۱	۰/۳۸۹**	۰/۶۹۱**	۰/۲۰۱	-۰/۰۲۱	۰/۴۲۹**	۰/۲۳۶	۰/۱۵۹	۰/۰۰۷	۰/۰۵۴	-۰/۰۰۱
Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	۰/۲۰۵	۰/۵۴۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۱۳۴	۰/۸۷۵	۰/۰۰۱	۰/۰۸۰	۰/۲۴۱	۰/۹۶۱	۰/۶۸۸	۰/۰۰۱
Ei Pearson Correlation	۰/۴۶۰**	۰/۳۲۵*	۰/۴۶۶**	۰/۳۶۰**	۰/۳۷۸**	۰/۱۶۱	۰/۴۶۱**	۰/۱۷۵	۰/۶۷۰**	۰/۱۳۷	۰/۴۵۷**	۰/۸۷۴**	۰/۲۳۰	۰/۶۷۰**	۰/۵۷۹**	۰/۴۷۰**
Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۲۳۲	۰/۰۰۰	۰/۱۹۳	۰/۰۰۰	۰/۳۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

F.Silt = Fine Silt V.F.Silt = Very Fine Silt

همان طور که مشاهده می شود برخی متغیرهای شیمیایی تأثیرگذار در فرسایش با شاخص های فیزیکی مؤثر در شدت فرسایش همبستگی دارند.

۲) آنالیز عاملی^۲

آنالیز عاملی، الگوی ارتباط بین یک سری از متغیرها را روشن می‌سازد. این آنالیز اغلب در داده برای شناسایی تعداد کمی از عامل‌ها استفاده می‌شود که اکثر تفاوت‌های موجود در تعداد زیادی از متغیرها مشاهده شده را نشان می‌دهد. همچنین، این آنالیز برای ایجاد فرضیه‌ای در رابطه با مکانیزم‌های سببی نیز کاربرد دارد. روش اول برای داده‌هایی که باهم ارتباط خطی ندارند و به نام **Principal components** می‌باشد که در واقع مربوط به زمانی است که ماتریس‌های همبستگی نتواند قانع‌کننده باشد و در روش دوم که **Principal axis Factoring** می‌باشد، استخراج داده‌ها توسط ماتریس‌های همبستگی اصلی صورت گرفته که ضرایب همبستگی بصورت قطری، تخمین دقیقی در اختیار ما قرار داده؛ به بیان ساده‌تر این مدل روابط بین متغیرها را می‌آزماید (Kim & Mueller, 1978).

در این تحقیق از روش دوم استفاده شد؛ **EC, Cl, Na, SAR, HCO₃, TNV** و گراول، سیلت دانه متوسط و سیلت بسیار ریزدانه و رس، متغیرهای شیمیایی و فیزیکی بکار رفته در این روش هستند. این متغیرها با استناد بر میانگین جز اصلی‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در فرسایش هستند.

در ابتدای این روش، با دو آزمون **KMO^۳** و **Bartlett's Test^۴**، درجه سازگاری متغیرها آزموده می‌شود. آزمون **KMO** نشان‌دهنده‌ی آماری از تناسب واریانسی متغیرها است. روش آنالیز عاملی برای متغیرها وقتی مفید است که این مقدار بیشتر باشد (بجز 1.0). ارزش پایین‌تر از 0.05 نشان‌دهنده این است که نتایج آنالیز عاملی احتمالاً فاقد ارزش است. آزمون **Bartlett's Test** در برگیرنده آزمون فرضیه صفر با استفاده از ماتریس همبستگی است. بنابراین معنی‌دار بودن آن نشانه مفید بودن این آنالیز برای داده‌ها می‌باشد.

جدول ۵ نشان می‌دهد که نتایج هر دو آزمون کیفیت داده‌ها را تأیید کرده و اجازه استفاده از این آزمون را داده است.

جدول ۴- نتایج آزمون **KMO** و **Bartlett's**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۷۲۷
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۹۳۲/۱۰۸
	df	۴۵
	Sig.	۰/۰۰۰

^۲Factor Analysis

^۳Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy

^۴Bartlett's Test of Sphericity

در جدول ۶، در قسمت Initial Eigenvalues و در ستون Total تنها دو عامل بزرگتر از ۱ است که ۷۸/۳۲ درصد از داده‌ها در این دو عامل جای دارند.

جدول ۵- تشریح تمامی واریانس‌های محاسبه شده

Factor	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings			
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	
d i m e n s i o n s	۱	۲۰۰	۶۲/۰۰۰	۶۲/۰۰۰	۰۰۳	۶۰/۰۲۷	۶۰/۰۲۷	۴۸۱	۴/۸۱۵	۴۴/۸۱۵
	۶				۶			۴	۴	
	۲	۵۶۲	۱۵/۶۱۵	۷۷/۶۱۵	۲۸۸	۱/۸۷۵	۷۲/۹۰۲	۸۰۹	۲۸/۰۸۷	۷۲/۹۰۲
	۱				۱	۲		۲		
	۳	۹۲۴	۹/۲۳۸	۸۶/۸۵۳						
	۰									
	۴	۵۵۲	۵/۵۱۷	۹۲/۳۷۰						
	۰									
	۵	۴۷۰	۴/۷۰۳	۹۷/۰۷۳						
	۰									
۶	۱۶۸	۱/۶۷۸	۹۸/۷۵۱							
۰										
۷	۰۸۰	۰/۸۰۳	۹۹/۵۵۴							
۰										
۸	۰۳۸	۰/۳۸۱	۹۹/۹۳۵							
۰										
۹	۰/۰۰۴	۰/۰۴۴	۹۹/۹۷۹							
۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۱۰۰/۰۰۰							

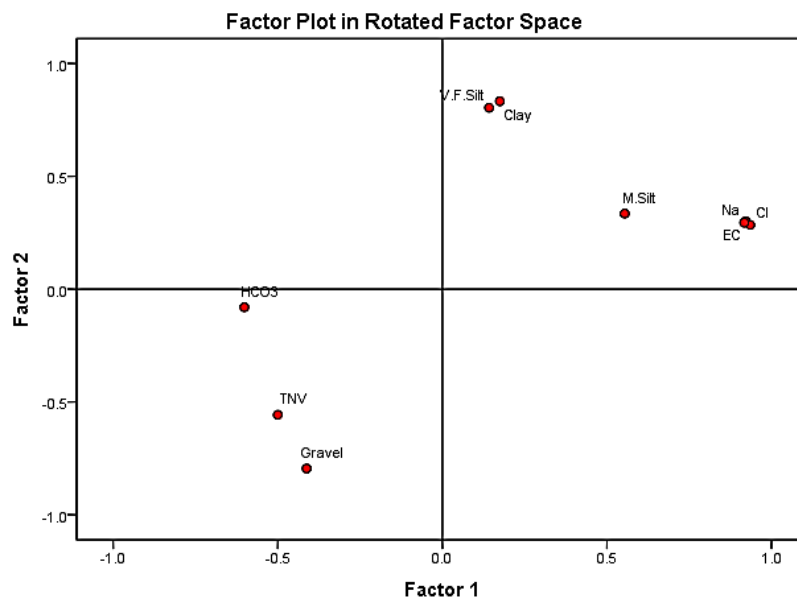
قسمت دوم جدول (Extraction Sums of Squared Loadings) درصد واریانس بدست آمده قبل از چرخش است. درصد انباشتگی در این قسمت ۷۳/۸۶ درصد است. اختلاف در این دو قسمت نشان‌دهنده وجود عوامل پنهان و منحصر به فرد متغیرهای اصلی است. قسمت سوم درصد واریانس حاصل از استخراج عاملها بعد از چرخش است. جدول زیر ضرایب هر متغیر را در دو عامل تعیین شده توسط مدل نشان می‌دهد.

جدول ۶- ضرایب شاخصها در عاملهای انتخابی چرخیده

	Factor	
	۱	۲
EC	۰/۹۲۹	۰/۳۱۲
HCO ₃	-۰/۵۷۴	-۰/۱۰۹
Cl	۰/۹۴۱	۰/۲۹۶
Na	۰/۹۴۰	۰/۲۹۸
TNV	-۰/۴۵۳	-۰/۵۸۷
SAR	۰/۹۱۹	۰/۲۸۹
Gravel	-۰/۳۶۴	-۰/۸۳۲
M.Silt	۰/۵۳۰	۰/۳۶۲
V.F.Silt	۰/۱۵۴	۰/۷۸۱
Clay	۰/۱۸۰	۰/۸۱۳

جدول ۷ نشان می‌دهد که چرخش هم به متعادل کردن داده‌ها و هم به تفکیک دقیق‌تر متغیرها پرداخته است. در عامل اول متغیرهای مؤثر در شدت فرسایش ضریب مثبت و متغیرهای مهار کننده ضریب منفی را دارند و در عامل دوم عکس این قضیه مشاهده شده است. شکل ۴ نتایج بدست آمده از جدول ماتریکس چرخیده است.

همانطوری که در نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود تمامی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی انتخاب شده به طور کامل به دو دسته تقسیم شده‌اند که در واقع این آنالیز متغیرهای مؤثر اصلی در کاهش و یا افزایش فرسایش را تفکیک نموده است. همان‌طور که نشان داده شده است متغیرهای شیمیایی مؤثر در افزایش شدت فرسایش هدایت الکتریکی، میزان سدیم و کلر و متغیرهای فیزیکی رس، سیلت دانه متوسط و بسیار ریز دانه است و متغیرهای شیمیایی کاهشده شدت فرسایش HCO₃ و TNV؛ متغیر فیزیکی کاهشده شدت فرسایش گراول می‌باشد.



شکل ۴- نمودار حاصل از نتایج آنالیز عاملی

با توجه به تأثیر مهم باران بر روی خصوصیات خاک و فرسایش پذیری آن‌ها و به منظور تأیید عوامل تأثیرگذار بر فرسایش و رسوب‌دهی، از داده‌های حاصل از باران‌ساز تعبیه شده در منطقه استفاده گردید. در ادامه بحث، به بررسی داده‌های بدست آمده (رواناب، رسوبدهی و عمق نفوذ) از باران‌ساز و پردازش این داده‌ها (میانگین، همبستگی و آنالیز عاملی) پرداخته می‌شود.

بطور کلی با افزایش تراکم خاک میزان رسوبدهی افزایش پیدا می‌کند. با کاهش تراکم خاک، افزایش نرخ نفوذپذیری و مقاومت خاک را داریم (Tekeste et al., 2006). هرچه خاک متراکم‌تر باشد، نرخ رواناب و رسوبدهی افزایش پیدا می‌کند. حضور سنگریزه‌های سطحی بر روی خاک، در واقع باعث کاهش سرعت رواناب شده و نفوذپذیری در سطح افزایش می‌یابد؛ در نتیجه عمق نفوذ زیاد می‌شود. جدول ۸ میانگین شاخصهای عمق نفوذ، رواناب و رسوبدهی را در گروه‌های فرسایشی نشان داده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش شدت فرسایش و رسوبدهی عمق نفوذ کاسته شده است.

جدول ۸- میانگین رسوب‌دهی، رواناب و عمق نفوذ در گروه‌های فرسایشی

گروه فرسایشی			
شیاری - آبراه‌های	شیاری شدید	شیاری با شدت کم	سطحی
میانگین			

عمق نفوذ (cm)	۱/۷۵۰	۲/۲۷۸	۲/۲۵۰	۳/۱۳۶
رواناب (cc)	۴۹۶/۸۵	۴۵۰/۹۱	۵۰۸/۴۱	۵۰۴/۷۷
رسوب‌دهی (g)	۶۴/۱۰	۵۴/۰۱	۴۷/۲۹	۱۶/۳۱

در جدول ۹، همبستگی بین رسوب‌دهی و رواناب با متغیرهای شیمیایی و فیزیکی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در خصوص ارتباط رسوب‌دهی واحدهای فرسایشی با شاخصهای شیمیایی می‌توان بیان داشت که رسوب‌دهی با EC, Cl, SO_4, Na, SAR رابطه مستقیم و معنی‌دار و با HCO_3, TNV نسبت عکس دارد؛ لذا، می‌توان با توجه به بررسی‌های آماری بیان نمود که عوامل EC, Cl, SO_4, Na, SAR از جمله عوامل مهم در ایجاد و شکل‌گیری انواع فرسایش می‌باشند و HCO_3, TNV از عوامل مهارکننده فرسایش هستند.

ارتباط آن با متغیرهای فیزیکی همان‌طور که ملاحظه می‌شود با گراول و ماسه رابطه‌ی عکس و با سیلت رابطه‌ی مستقیم دارد.

جدول ۹- همبستگی بین شاخص‌های باران‌ساز با متغیرهای فیزیکی و شیمیایی

	EC	HC O ₃	Cl	SO 4	Ca	Mg	Na	K	TN V	OC	CaS O ₄	SA R
Pearson Correlation	-۰/۰۶۵	۰/۱۴۴	-۰/۰۵۵	۰/۱۸۷	۰/۴۶۲**	۰/۵۵۵**	-۰/۰۴۲	۰/۰۰۷	۰/۳۸۶*	-۰/۱۵۰	۰/۴۲۷**	۰/۰۵۵
Runoff Sig. (2- tailed)	۰/۶۷۸	۰/۳۵۸	۰/۷۲۵	۰/۲۳۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۷۸۳	۰/۶۱۷	۰/۰۱۰	۰/۳۳۷	۰/۰۰۴	۰/۷۲۵
N	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
Sedi ment Pearson Correlation	۰/۶۳**	۰/۳۲۲**	۰/۶۵**	۰/۳۲۲*	۰/۱۷۲	-۰/۲۵۷	۰/۶۵**	۰/۰۰۷	۰/۳۷۲*	۰/۰۱۹	-۰/۱۹۷	۰/۷۲۱**
Sig. (2- tailed)	۰/۰۵	-	۰/۰۸	۰/	۰/۲۷۱	۰/۰۹۶	۰/۰۰۹	۰/۹۶۴	۰/۰۱۴	۰/۹۰۵	۰/۲۰۵	۰/۰۰۰
N	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴

	Gravel	V.C.Sand	C.Sand	M.Sand	F.Sand	V.F.Sand	C.Silt	M.Silt	F.Silt	V.F.Silt	Clay
Pearson Correlation	0.416^{**}	0.258	0.160	0.082	0.155	-0.060	0.153	0.062	0.063	-0.132	0.331^*
Runoff Sig. (2-tailed)	0.006	0.095	0.306	0.602	0.322	0.702	0.327	0.694	0.689	0.398	0.030
N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Pearson Correlation	0.494^{**}	0.571^{**}	0.512^{**}	0.450^{**}	0.398^{**}	0.424^{**}	0.152	0.794^{**}	0.697^{**}	0.342^*	0.164
Sediment Sig. (2-tailed)	0.001	0.000	0.000	0.002	0.008	0.005	0.330	0.000	0.000	0.025	0.292
N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

در انتها به بررسی آنالیز عاملی به منظور ایجاد ارتباط رسوبدهی با عوامل مؤثر در آن پرداختیم:

جدول ۱۰- نتایج آزمون KMO و Bartlett's

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0.709
Bartlett's Test of Sphericity	610.708
Approx. Chi-Square	
df	45
Sig.	0.000

جدول ۱۱- ضرایب شاخصها در عاملهای انتخابی چرخیده

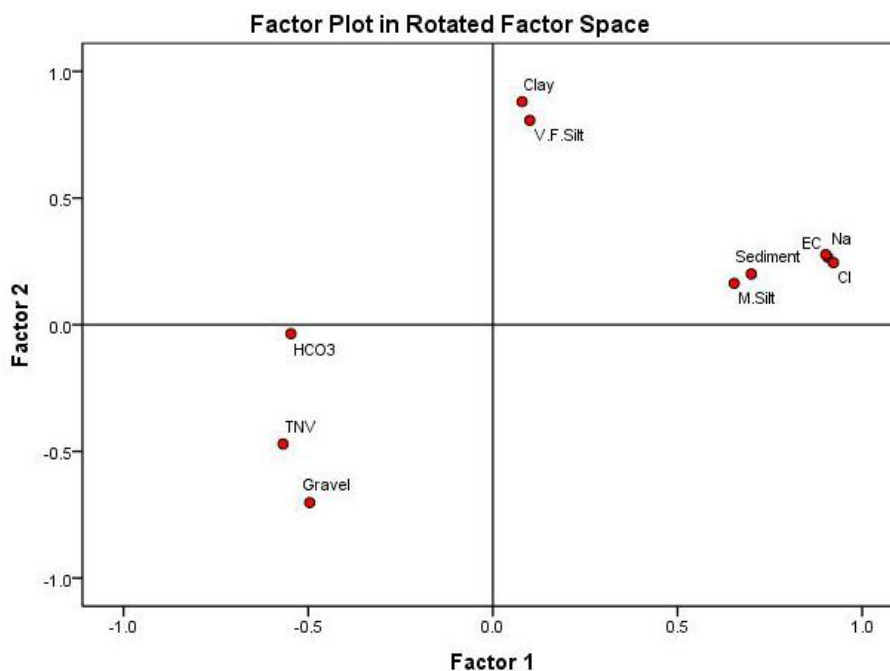
	Factor	
	۱	۲
EC	۰/۹۰۷	۰/۲۶۶
Cl	۰/۹۲۲	۰/۲۴۵
Na	۰/۹۰۱	۰/۲۷۷
TNV	-۰/۵۶۸	-۰/۴۷۱
HCO ₃	-۰/۵۵۹	-۰/۰۴۶
Sediment	۰/۷۰۰	۰/۲۰۰
Gravel	-۰/۴۹۶	-۰/۷۰۲
M.Silt	۰/۶۵۳	۰/۱۶۳
Clay	۰/۰۷۹	۰/۸۸۰
V.F.Silt	۰/۱۰۰	۰/۸۰۷

Extraction Method: Principal Axis Factoring.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

a. Rotation converged in 3 iterations.

همانطوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تمامی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اصلی تأثیر گذار در رسوب‌دهی بسته به افزایش و کاهش آن، از یکدیگر کاملاً تفکیک شده‌اند. بنابر آزمون فوق و روابط ایجاد شده تمامی متغیرهای انتخابی از دقت و صحت بالایی برخوردار هستند.



شکل ۵- نمودار حاصل از نتایج آنالیز عاملی

۳) نتایج:

در مطالعه منطقه مورد مطالعه، از مهم‌ترین شاخص آماری (میانگین) برای بررسی توصیف داده‌ها و از آنالیز عاملی برای تفکیک متغیرهای مهار کننده و تشدید کننده فرسایش استفاده شد. در نهایت، برای تأیید صحت متغیرهای تأثیرگذار بر فرسایش از تلفیق داده‌های بارانساز با این متغیرها در آنالیز عاملی پرداختیم.

نقش هدایت الکتریکی، سدیم، نسبت جذب سدیم و کلر به عنوان عامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری در حوضه رامه-عبدل‌آباد، با نتایج پیروان و نفوتی (۱۳۸۶) مطابقت نشان می‌دهد. قدیمی‌عروس محله (۱۳۷۸) در تحقیقی نتیجه گرفت که SAR یکی از مهم‌ترین شاخص پخش یا پراکندگی در مارن‌ها است که در واقع تأییدی دیگر بر یافته‌های این پژوهش می‌باشد. همچنین سدیم به عنوان عامل شیمیایی نقش مهمی در ایجاد اشکال مختلف فرسایش دارد که با نتایج (Behina et al., 1993) مطابقت دارد. همان‌طور که مشاهده شد در این حوضه با افزایش شدت فرسایش این متغیرهای شیمیایی افزایش یافته؛ بنابراین در فرسایش سطحی کمترین مقدار و در فرسایش شیاری-آبراه‌ای دارای حداکثر مقدار هستند. نتیجه مطالعات قبلی نیز تأییدی بر نتایج فوق می‌باشد که از جمله می‌توان به مطالعات بنیتو و همکاران (Benito et al., 1993) در منطقه بدلندهای اسپانیا، هید (Heed, 1971)، عباسی و عبدی (۱۳۸۴) در منطقه طارم زنجان، اشاره نمود.

بر طبق آنالیزهای آماری فوق، در منطقه مورد مطالعه، کربنات کلسیم فعال و HCO_3 در فرسایش سطحی بیشترین مقدار و با افزایش شدت فرسایش به کمترین حد خود می‌رسند که تحقیقات بوما و ایمسون (Bouma and Imeson, 1999) تأییدی بر نتایج بالا می‌باشد.

در رابطه با متغیرهای فیزیکی بررسی‌های قدوسی و داوری (۱۳۸۴)، تأییدی بر مؤثر بودن سیلت و رس بر شدت فرسایش می‌باشد. نتایج بالا نشان داد که با افزایش میزان گراول از شدت فرسایش کاسته شده و با افزایش درصد سیلت و رس شدت فرسایش افزایش یافته است. افزایش مقدار رس، خاصیت خمیری و جذب رطوبت در نمونه‌ها را افزایش داده که در نتیجه آن، کاهش دوام‌پذیری و شاخص‌های مقاومتی نمونه‌ها را داریم (کرامت و غیومیان، ۱۳۸۴). مطالعات ویشمایر و مانرینگ (Wischmeier And Mannering, 1965) نشان داده است تغییر جزئی در درصد سیلت خاک غالباً با تغییر قابل توجهی در مقدار فرسایش‌پذیری خاک همراه است. Richter and Negendank (۱۹۷۷)، نشان داده‌اند خاک‌هایی که دارای ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت می‌باشند فرسایش‌پذیرترین نوع خاک‌ها به شمار می‌روند. نتیجه مطالعات قبلی نیز تأییدی بر نتایج فوق می‌باشد که از جمله می‌توان به مطالعات بوما و همکاران (Bouma et al., 1999)، گوسیان و همکاران (Gossian et al., 1978) و قدیمی عروس محله و همکاران در سال ۱۳۷۸ نام برد.

نتیجه‌گیری:

نتایج حاصل از این تحقیق در حوضه رامه - عبدالآباد، به این صورت است که:

با افزایش هدایت الکتریکی، سدیم، نسبت جذب سدیم و کلر، شدت فرسایش افزایش یافته است. نسبت جذب سدیم و سدیم یکی از مهم‌ترین شاخص پخش یا پراکندگی در مارن‌ها است که در واقع یافته‌های این پژوهش در این مورد تأیید کننده تحقیقات پیشین می‌باشد. این متغیرها در فرسایش شیاری - آبراهه‌ای دارای حداکثر مقدار هستند. همچنین، کربنات کلسیم فعال و HCO_3 در فرسایش سطحی بیشترین مقدار و با افزایش شدت فرسایش به کمترین حد خود می‌رسند. در رابطه با متغیرهای فیزیکی، با افزایش میزان گراول و با کاهش درصد سیلت و رس، شدت فرسایش افزایش یافته است.

با بکار بردن متغیرهای اصلی تأثیر گذار در شدت فرسایش، در آنالیز عاملی مشخص شد که گراول، TNV و HCO_3 از جمله عوامل مهار کننده فرسایش و هدایت الکتریکی، سدیم، کلر، نسبت جذب سدیم، سیلت و رس از مهمترین عوامل تشدید کننده شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه بوده است.

بررسی داده‌های بارانساز نشان داد که با افزایش رسوبدهی و کاهش عمق نفوذ، شدت فرسایش افزایش یافته است. ضریب همبستگی پیرسون بازگو کننده ارتباط مستقیم رسوبدهی با عوامل تشدید کننده فرسایش و معکوس با عوامل کاهش دهنده شدت فرسایش است و هرچه شیب دامنه بیشتر بوده شدت فرسایش و رسوبدهی بیشتر شده است. در شیب‌های کم عمق نفوذ بیشتر از دامنه‌های پر شیب است.

در نهایت عوامل تشدید کننده فرسایش سدیم، کلر، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و سیلت و رس، بر روی میزان رسوبدهی تأثیر مثبت داشته و عوامل کاهش دهنده فرسایش HCO_3 , TNV و گراول مانع از رسوبدهی می شود.

فهرست منابع:

۱. پیروان، ح.م.، حسن زاده نفوتی. م.، (۱۳۸۶). "نقش عوامل فیزیکوشیمیایی موثر بر اشکال فرسایش در پهنه های مارنی" پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
۲. عباسی، ن. ۱۳۸۴. طبقه بندی زمین شناسی - فرسایشی مارن های حوضه قزل اوزن سفلی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۳. عباسی، ن.، عبدی، پ.، ۱۳۸۴. بررسی رابطه بین خصوصیات شیمیایی مارن ها با رفتارهای محیطی آن ها، مطالعه موردی حوضه قزل اوزن سفلی در منطقه طارم علیای استان زنجان. چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست ایران، ۲-۳ اسفند ۱۳۸۴، تهران دانشگاه تربیت مدرس، ایران، ۹۰۴-۹۱۱.
۴. قدوسی، ج.، داوری، م.، (۱۳۸۴). "تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندق ها". سومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
۵. قدیمی عروس محله، ف.، ۱۳۸۷. بررسی رابطه بین اشکال فرسایش با خصوصیات فیزیکی - شیمیایی مارن ها. فصلنامه علمی پژوهش و سازندگی. جلد ۱ شماره ۱، ۴۰، ۴۱، ۴۲. صفحات ۹۵-۹۹.
۶. قدیمی عروس محله، ف.، پورمتین، ا.، قدوسی، ج.، ۱۳۷۸. بررسی امکان طبقه بندی مارن ها براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در منطقه تفرش. مجله پژوهش و سازندگی، ش. ۴۰، ص. ۳۴-۳۰.
۷. کرامت، ا.، غیومیان، ج.، ۱۳۸۴. تأثیر شاخصهای شیمیایی نهشته های مارنی بر خصوصیات زمین شناسی مهندسی آن ها (با تأکید بر دوام پذیری) در منطقه قم. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
۸. مطالعات سیمای حوضه های آبخیز کشور. ۱۳۸۶. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

9. Agassi, M. and Bradford, J.M., 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies, *Soil Tillage Res.*, Vol. 49, p.277-287.
10. Dimoyiannis, D.G., Valmis, S., Vyrlas, P., 2001. A Rainfall simulation study of erosion of some calcareous soils. *Global Nest: the Int. J.*, Vol. 3 (2): 179- 183.
11. Meyer, L.D., and Harmon, W.C., 1979. Multiple- intensity rainfall simulator for erosion research on row side slopes, *Trans. ASAE*, Vol. 22, p. 100- 103.
12. Behina, K., Ouhadi, V.R., and Ghalandarzadeh, A., 1993. The use of sea-water in stabilization of marly soils with cement and lime, *Iranian Jour., Road Eng.*, 26, p. 54- 62.
13. Benito, S. Gutierrez, M. and Zaragonza, Cs., 1993. The influence of physic chemical properties on erosion process in badland areas, Ebor basin, NE Spain. *Z. Geomorph. N. F.* 37, 2, p.199- 214.

14. Bouma, N.A., and Imeson, A.C., 1999. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer Spain, *Catena*, Vol, 40, p. 147- 171.
15. Fister, W., Iserloh, T., Rise, J. B., Schmidt, R. G., 2012. A portable wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements. *Catena*. Vol. 91, 72- 84.
16. Ghossain, E.F. and M.J. Foster., 1978.Erosion and Analytical Characteristics of Superficial Forms Exemplified by Alasca Vinetards, *Geographique, -a- Strasbourg*, 9. WP Pub.
17. Grismer, M. E., 2012. Standards vary in studies using rainfall simulators to evaluate erosion. *California Agriculture*. Vol. 66 (3) :102- 107.
18. Hamed, Y., Albergel, J., Pepin, Y., Asseline, J., Nasri, S., Zante, P., Berndtsson, R., El-Niazy, M., Balah, M., 2002. Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion-sensitive semiarid catchment. *Catena*. Vol. 50 (1) : 1- 16.
19. Heed, B.H., 1971. Characteristics and processes of soil piping in gullies Dep. Of Agric. forest serve, Paper, Rm. 68, 15.
20. Iserloh, T., Fister, W., Seeger, M., Willger, H., Ries, J. B., 2012. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil and Tillage Research*. Vol. 124, 131- 137.
21. Kim, J., and C. W. Mueller. 1978. *Factor Analysis : Statistical Methods and Practical Issues*. Beverly Hills and London: Sage Publications.
22. Morgan, R.P.C., 2005. *Soil and water conservation*, Blackwell, 3rd eddition.
23. Page, A.L., Miller, R.M., and Keeney, d.B.,1956.“Methods of Soil Analysis”, Part 1. SSSA, Madison Wisconsin,pp. 1159.
24. Richter, G., and Negendank, J.F.W., 1977. *Soil erosion processes and their Conservation*. SWCS.
25. Tekeste, M.Z., Tollner, E.W., Raper, R.L., Way, T.R., and Joheson, C. E., 2006. Non- liner finite element analysis of cone penetration in layered sandy loam soil: considering the recompression stress state. In: *computer and Natural Resource*. ASABE Publications No. 701p0606, Orlando, Florida, USA.
26. Tolhurst, T. J., watts, C. W., Vardy, S., Saunders, J. E., Consalvey, M. C., Paterson, D. M., 2008. The effects of simulated rain on the erosion threshold and biogeochemical properties of intertidal sediments. *Continetal Shelf Research*. Vol. 28, 1217- 1230.
27. Wischmeier, W.H., and Mannering, J.V., 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *Jour. Soil and Water Conservation*. 20p.
28. Vahabi, J. and Nikkami, D.,2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator, *International Journal of Sediment Research* 23, 376-386.