



Research Article

Investigation of the relationship between physicochemical properties and forms of sheet and rill erosion in marl units of Zanjan province

Parviz Abdinezhad^{1*} , Sadat Feiznia², Hamidreza Payrowan³

1-Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran

2-Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

3-Faculty of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Zanjan, Iran

Received: 12 Mar 2025 Accepted: 20 Feb 2026

Extended Abstract

Introduction

Marls are one of the most important sedimentary units in Iran, which have high sedimentation and erodibility in terms of physical-chemical properties. This property of marls has caused a lot of environmental and construction damage, and therefore it is necessary to study the erosion and sedimentation of marl units. The factors affecting marl erosion are very many, and it has a very complex process, so that it is a function of external factors such as rainfall distribution and internal factors such as physical properties of soil and clay minerals. Accordingly, in studying the erosion and sedimentation potential of marls, it is necessary to pay careful attention to the type, physical and chemical properties and their relationship with the formation and spread of erosion types, as well as to the weather conditions, hydraulic and hydrological behaviors, topographic conditions, and current land use. It is obvious that a general judgment based on quantitative figures and numbers about the results of the research conducted, which is case-specific and regional, is not possible and scientific. Accordingly, it is not possible and logical to use the results obtained from them with complete confidence on a wide scale. But what is certain is that the approaches mentioned are steps that have been taken based on the knowledge and study of marls and confirm that the strategies for estimating erosion and sedimentation in marl areas cannot be based 100% on the common principles in the presented models that are used in watershed management today, but rather it is necessary to provide scientific and practical guidelines on how to investigate erosion and sedimentation potential in marls by completing the studies and research. In addition, the approaches mentioned should be calibrated and tested repeatedly in climatic conditions, topography, and in marl areas that differ in terms of physical and chemical properties. The occurrence and formation of types of erosion in marls is so widespread that it requires special research on the types of marls with erosive forms. Determining the physical, mechanical, and chemical characteristics of marls and investigating the relationship between the type of erosion and these characteristics are very effective and practical in determining and adopting effective strategies to curb erosion and sedimentation of marl fields, but they have received less attention in watershed plans. The result has been the implementation of management and implementation of operations, which, especially before the 1981, led to the failure of plans and the intended goals were not achieved. The occurrence and formation of types of erosion in marls is so wide that it requires special research in relation to types of marls with erosion forms.

Citation: Abdinezhad, P. et al, 2026. Investigation of the relationship between physicochemical properties and forms, *Res. Earth. Sci.* 17(1), (1-24) DOI: 10.48308/esrj.2026.106663

* Corresponding author E-mail address: Prabdi@gmail.com



This research investigated the physical and chemical characteristics, forms of erosion and intensity of sedimentation of marl units in Zanjan province.

Materials and Methods

This study investigated the physical and chemical properties, erosion patterns, and sedimentation intensity of marly units in Zanjan province. To analyze the physical and chemical properties of marly units, 120 samples were taken from marly materials of marly units at two depths of 0-10 and 0-30 cm. To prepare the erosion profile map of marly units, 366 working units were created by combining marly unit maps, elevation maps above sea level, slope maps, slope direction maps, and land use maps in a GIS environment, eliminating duplicate units, and processing them. Then, using satellite images, aerial photographs, and conducting field visits and controls, along with completing the BLM scoring tables, the type and profile of erosion in each of the working units were determined. This study investigates the physical and chemical properties, forms of erosion and sedimentation intensity of marl units in Zanjan province. To analyze the physical and chemical properties of marl units, sampling of marl materials of marl units in two depths of 0-10 and 0-30 cm was performed on 120 samples. To provide a map of erosion of marl units by combining maps, marl units, altitude map, slope map, direction map and land use together in GIS environment and by removing duplication and processing units, 366 work units were created. Then, using satellite images, aerial photographs and field study and controls along with completing the BLM method score tables, the type and appearance of erosion in each of the work units was determined. The obtained data were analyzed using SAS and SPSS statistical programs.

Results and Discussion

Study of erosion forms in marl units

Based on field studies, the water erosion process is the main erosion process in the region. In general, all the marl units under study have erosion and, according to the physicochemical and environmental characteristics (climate, slope, vegetation, etc.), have different erosion forms. The main erosion forms in the marl units of Zanjan province include raindrop erosion, surface erosion, furrow, ditch, tunnel erosion, thousand-valley erosion, and mass erosion.

Comparison of different erosion forms with t-test

Different water erosions are seen in marl units, but the dominant erosions in them are sheet and furrow erosion. Therefore, statistical studies have been conducted for these two erosions. Based on the results of comparing pairwise means of erosion using the t-test method for the two dominant erosions, surface and groove, it has been observed that characteristics such as organic matter percentage (OC), sodium absorption ratio (SAR), liquid limit (LL), and plasticity index (PI) have significant differences in both erosions.

Studying the effect of physical and chemical variables on erosion forms of marly units

Based on the results obtained from variance analysis and comparison of the means related to sheet and groove erosion forms using Duncan's method, the variables of organic matter percentage (carbon percentage), sodium absorption ratio, fluid limit and plasticity index in these two forms of erosion in the marly units of Zanjan province have significant differences, and in other variables, this difference and difference is not significant. Therefore, it is possible to use these characteristics and variables to separate these two forms of erosion in the marly units of the studied area. 3-4- Studying the relationship between the physicochemical properties of marly units and erosion forms since the environmental and physicochemical conditions required for the creation and development of erosion forms are different. Therefore, the erosion forms existing in these marly units are not at the same level in terms of both erosion form and expansion and abundance. Most of these erosion forms can be observed in the studied marl units with different frequency and extent. However, in terms of frequency and extent, the dominant erosion forms in them are surface or sheet erosion, groove and channel erosion. Of course, gully and mass erosion also have a significant frequency and extent in most of the studied marl units. Based on the results obtained, the physicochemical elements in the groove erosion form are more than the plate erosion form, and in fact, it indicates an increase in these elements from plate erosion to groove erosion. Except for the variables Silt, Electrical Conductivity (EC) and Absorbable Phosphorus (PAV), other elements and variables in groove erosion are more than in plate erosion. Accordingly, it can be said that in the groove erosion form, the physicochemical variables are more concentrated and focused, which is due to the greater erosion intensity than in the plate erosion state. Based on the results obtained from the T-test, analysis of variance using the F-test and comparison of means using the Duncan method, the


physicochemical characteristics of sheet and groove erosion forms of marly units, among the 22 physicochemical variables recorded and studied, of these erosion forms, the variables of organic matter percentage (OC), sodium absorption ratio (SAR), liquid limit (LL) and plasticity index (PI) in both surface and groove erosion types had significant differences and it was possible to distinguish between the two erosion forms based on them. Of course, this does not mean that there is no difference between these two erosions in other variables and physicochemical characteristics. Because there are also differences and differences between other variables. But from a statistical point of view, it is said that it is not significant. Therefore, in this regard, these four variables are introduced as distinguishing characteristics between these two erosion forms among marly units existing at the provincial level in this study.

Conclusion

The erosion forms present in the marls of Zanjan province include raindrop erosion, surface erosion, furrow erosion, ditch erosion, tunnel erosion, thousand-valley erosion, and mass erosion. However, since the environmental and physicochemical conditions required for the creation and development of erosion forms are different, the erosion forms present in these marl units are not uniform in terms of both the type of erosion form and the extent and frequency. In terms of frequency and extent, the dominant erosion forms in them are surface or sheet erosion, furrow erosion, and channel erosion. Of course, ditch and mass erosion also have a significant frequency and spread in most of the marl units studied. An examination of the differences and changes in the physicochemical properties of the marly working units at two depths of 0-10 and 0-30 cm using the t-test method showed that the marly working units at the above two depths had a high correlation coefficient in most of the physicochemical variables and had significant differences in the variables silt, cation exchange capacity (C.E.C), organic matter percentage (O.C), neutralizable matter percentage (lime percentage) (TNV), dissolved sodium content (NaSol), sodium absorption ratio (SAR), chlorine content (Cl), sulfate (So₄), and liquid limit (LL). Based on the results obtained from the T-test, analysis of variance using the F-test and comparison of means using the Duncan method, the physicochemical characteristics of the surface and groove erosion forms of marly units were recorded and studied among 22 physicochemical variables. Of these erosion forms, the variables of organic matter percentage (OC), sodium absorption ratio (SAR), liquid limit (LL) and plasticity index (PI) had significant differences in both surface and groove erosion types, and it is possible to distinguish between these two erosion forms based on them. Therefore, in this regard, these four variables are introduced as distinguishing characteristics between these two erosion forms among the marly units existing in Zanjan province in this study.

Keywords: Marl deposites, Erosion Shape, Physical and chemical properties, Zanjan province.

بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و اشکال فرسایش صفحه‌ای و شیاری در واحدهای مارنی استان زنجان

پرویز عبدی‌نژاد^{۱*} , سادات فیض‌نیا^۲، حمیدرضا پیروان^۳

۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۲- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱

چکیده گسترده

مقدمه

مارن‌ها یکی از مهمترین واحدهای رسوبی در ایران می‌باشند که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی از رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری زیادی برخوردار هستند. این خاصیت مارن‌ها سبب خسارات زیست‌محیطی و عمرانی زیادی شده و از این رو مطالعه فرسایش و رسوب‌زایی واحدهای مارنی ضروری می‌باشد عوامل مؤثر بر فرسایش مارن‌ها بسیار زیاد بوده، دارای فرایندهای بسیار پیچیده‌ای است، به طوری که تابعی از عوامل خارجی نظیر توزیع بارندگی و عوامل داخلی مثل خصوصیات فیزیکی خاک و کانی‌های رس می‌باشد. رخداد و شکل‌گیری انواع فرسایش در مارن‌ها به حدی گسترده است که خود نیازمند انجام پژوهش‌های خاص در رابطه با انواع مارن‌ها با اشکال فرسایشی می‌باشد. تعیین خصوصیات فیزیکی، میکانیکی و شیمیایی مارن‌ها و بررسی رابطه بین نوع فرسایش با این خصوصیات در تعیین و اتخاذ راهکارهای مؤثر در مهار فرسایش و رسوب عرصه‌های مارنی بسیار مؤثر و کاربردی باشد، در طرح‌های آبخیزداری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نتیجه حاصل، اعمال مدیریت‌ها و اجرای عملیاتی بوده است که بویژه تا قبل از دهه ۱۳۶۰ منجر به شکست برنامه‌ها شده و اهداف مورد نظر حاصل نشده‌اند. بر این اساس در بررسی فرسایش و توان رسوب‌زایی مارن‌ها، لازم است افزون بر توجه به نوع، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و رابطه آن با شکل‌گیری و گسترش انواع فرسایش، شرایط آب‌هوائی، رفتارهای هیدرلیکی و هیدرولوژیکی و شرایط توپوگرافی و بهره‌برداری فعلی از اراضی را نیز به دقت مورد توجه قرار داد. بدیهی است قضاوت کلی و مبتنی بر ارقام و اعداد کمی درباره نتیجه تحقیقات انجام شده که به صورت موردی و منطقه‌ای می‌باشد، مقدور و علمی نیست. بر این اساس استفاده از نتایج بدست آمده از آنها با اطمینان کامل در سطوح وسیع ممکن و منطقی نمی‌باشد. اما آنچه که مسلم است، رهیافت‌های عنوان شده گام‌هایی هستند که بر اساس شناخت و مطالعه مارن‌ها برداشته شده‌اند و تاییدی می‌باشد بر این که راهکارهای برآورد فرسایش و رسوب در عرصه‌های مارنی نمی‌تواند بصورت صد در صد بر اساس اصول متداول و رایج در مدل‌های ارائه شده که امروزه در آبخیزداری از آنها استفاده می‌شود، استوار باشد، بلکه لازم است با تکمیل مطالعات و تحقیقات صورت گرفته اقدام به ارائه دستورالعمل علمی و عملی در خصوص نحوه بررسی فرسایش و توان رسوب‌زایی در مارن‌ها شود.

استناد: عبدی‌نژاد، پ. و همکاران، ۱۴۰۴. بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و اشکال فرسایش صفحه‌ای و شیاری، پژوهشهای دانش زمین: ۱۷(۱)، (۲۴-۱)، DOI: 10.48308/esrj.2026.106663

افزون بر این، رهیافت‌های مطرح شده را نیز باید با تکرار در شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و در عرصه‌های مارنی متفاوت از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد واسنجی و آزمون و آزمایش قرار داد. این تحقیق به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، اشکال فرسایش و شدت رسوب‌زایی واحدهای مارنی استان زنجان پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، اشکال فرسایش و شدت رسوب‌زایی واحدهای مارنی استان زنجان پرداخته است. برای تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی واحدهای مارنی، نمونه‌برداری از مواد مارنی واحدهای مارنی در دو عمق ۰-۱۰ و ۰-۳۰ سانتیمتری به تعداد ۱۲۰ نمونه انجام شد. برای تهیه نقشه سیمای فرسایش واحدهای مارنی با تلفیق نقشه‌های، واحدهای مارنی، نقشه ارتفاع از سطح دریا، نقشه شیب، نقشه جهات شیب و کاربری اراضی با هم در محیط GIS و با حذف واحدهای تکراری و پردازش آن تعداد ۳۶۶ واحد کاری ایجاد گردید. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و انجام بازدیدها و کنترل‌های صحرایی همراه با تکمیل جداول امتیازی روش BLM اقدام به تعیین نوع و سیمای فرسایشی موجود در هر یک از واحدهای کاری گردید. برای شناسایی متغیرهای که در تفکیک شکل فرسایش (سطحی، ورقه‌ای، شیاری، خندقی) و پیش‌بینی تعلق اعضاء به اشکال فرسایش موثر می‌باشد. از دو آزمون تحلیل واریانس ANOVA و آزمون t استفاده گردیدند. در آزمون تحلیل واریانس، متغیرهای فیزیکی و شیمیایی بعنوان متغیرهای کمی وابسته و متغیر شکل فرسایش (سطحی، ورقه‌ای و شیاری، خندقی) به عنوان متغیر مستقل اسمی انتخاب گردید. در آنالیز تفکیکی (تمیزی) نوع فرسایش با سه سطح بعنوان متغیر اسمی وابسته و متغیرهای کمی فیزیکی شیمیایی به عنوان متغیرهای عامل و پیش‌بین انتخاب شده و آزمون به دو روش پلکانی و همگانی (دخالته همه متغیرها) انجام گردید. تجزیه و تحلیل آماری تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفته است.

نتایج و بحث

بررسی اشکال فرسایش در واحدهای مارنی

بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام شده فرآیند فرسایش آبی فرآیند اصلی فرسایش در منطقه می‌باشد. به طور کلی تمام واحدهای مارنی مورد بررسی دارای فرسایش بوده و با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی و محیطی (اقلیم، شیب، پوشش گیاهی و ...) دارای اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشند. عمده‌ترین اشکال فرسایش موجود در واحدهای مارنی استان زنجان شامل فرسایش قطرات باران، فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، فرسایش تونلی، فرسایش هزاردره‌ای و فرسایش توده‌ای بوده است.

مقایسه اشکال مختلف فرسایش با آزمون t

در واحدهای مارنی فرسایش‌های آبی مختلف دیده می‌شود ولی فرسایش‌های غالب در آنها فرسایش ورقه‌ای و شیاری است. لذا بررسی‌های آماری برای این دو فرسایش انجام شده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های دو به دو فرسایش‌ها به روش آزمون t برای دو فرسایش غالب سطحی و شیاری، مشاهده گردیده که خصوصیات مثل درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو فرسایش دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

بررسی تاثیر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در اشکال فرسایشی واحدهای مارنی

جدول ۵ نتایج مربوط به نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مربوط به اشکال فرسایشی ورقه‌ای و شیاری را به روش دانکن، متغیرهای درصد مواد آلی (درصد کربن)، نسبت جذب سدیم، حد روانی و شاخص خمیری در این دو شکل فرسایش در واحدهای مارنی استان زنجان دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد و در سایر متغیرهای این تفاوت و اختلاف معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان با استفاده از این خصوصیات و متغیرها نسبت به تفکیک این دو شکل فرسایش در واحدهای مارنی منطقه مورد بررسی اقدام نمود.

بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی واحدهای مارنی با اشکال فرسایش

از آنجایی که شرایط محیطی و فیزیکوشیمیایی مورد نیاز برای ایجاد و گسترش اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشد. لذا اشکال فرسایشی موجود در این واحدهای مارنی هم از حیث شکل فرسایش و هم از نظر گسترش و فراوانی در یک سطح نمی‌باشد. به طوری که اکثر این اشکال فرسایشی در واحدهای مارنی مورد بررسی با مقدار فراوانی و گسترش متفاوت قابل مشاهده می‌باشد.

اما از نظر فراوانی و گسترش اشکال فرسایش غالب در آنها فرسایش سطحی یا ورقه‌ای و شیاری و آبراهه‌ای می‌باشد. البته فرسایش خندقی و توده‌ای نیز در غالب واحدهای مارنی مورد بررسی از فراوانی و گسترش چشم‌گیری برخوردار است. بر اساس نتایج به دست آمده، عناصر فیزیکوشیمیایی در شکل فرسایشی شیاری نسبت به شکل فرسایشی صفحه‌ای بیشتر است و در واقع نشان دهنده افزایش این عناصر از فرسایش صفحه‌ای به فرسایش شیاری است. به طوری که به جز متغیرهای سیلت (Silt)، هدایت الکتریکی (EC) و فسفر قابل جذب (pav)، سایر عناصر و متغیرهای در فرسایش شیاری بیشتر از فرسایش صفحه‌ای است. بر این اساس می‌توان گفت که در شکل فرسایش شیاری متغیرهای فیزیکوشیمیایی تغلیظ و تمرکز بیشتری پیدا کرده که بدلیل شدت فرسایش بیشتر از حالت فرسایش صفحه‌ای می‌باشد. بر اساس نتیجه بدست آمده از آزمون T، تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن خصوصیات فیزیکوشیمیایی اشکال فرسایش ورقه‌ای و شیاری واحدهای مارنی از بین ۲۲ متغیر فیزیکوشیمیایی ثبت شده و مورد بررسی از این اشکال فرسایش، متغیرهای درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو نوع فرسایش سطحی و شیاری دارای اختلاف معنی‌دار بوده و می‌توان بر اساس آنها بین دو شکل فرسایشی تمایز قابل گردید. البته این به معنای عدم اختلاف بین این دو فرسایش در سایر متغیرها و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نیست. چرا که بین سایر متغیرها نیز اختلاف و تفاوت وجود دارد. ولی از نظر آماری اصطلاحاً گفته می‌شود که معنی‌دار نیست. لذا از این نظر این چهار متغیر به عنوان خصوصیات متمایز کننده بین این دو شکل فرسایش در بین واحدهای مارنی موجود در سطح استان در این تحقیق معرفی می‌گردند.

نتیجه‌گیری

اشکال فرسایشی موجود در مارن‌های استان زنجان شامل فرسایش قطرات باران، فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، فرسایش تونلی، فرسایش هزار دره‌ای و فرسایش توده‌ای می‌باشد. اما از آنجائی که شرایط محیطی و فیزیکوشیمیایی مورد نیاز برای ایجاد و گسترش اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشد لذا اشکال فرسایشی موجود در این واحدهای مارنی هم از حیث نوع شکل فرسایش و هم از نظر گسترش و فراوانی در یک سطح نمی‌باشد. از نظر فراوانی و گسترش اشکال فرسایش غالب در آنها فرسایش سطحی یا ورقه‌ای و شیاری و آبراهه‌ای می‌باشد. البته فرسایش خندقی و توده‌ای نیز در غالب واحدهای مارنی مورد بررسی از فراوانی و گسترش چشم‌گیری برخوردار است. بررسی تفاوت‌ها و تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی واحدهای کاری مارنی در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری به روش آزمون t نشان داد که واحدهای کاری مارنی در دو عمق فوق در اکثر متغیرهای فیزیکوشیمیایی دارای ضریب همبستگی بالا بوده و در متغیرهای سیلت (Silt)، ظرفیت تبادل کاتیونی (C.E.C)، درصد مواد آلی (O.C)، درصد مواد خنثی شونده (درصد آهک) (TNV)، مقدار سدیم محلول (NaSol)، مقدار سدیم محلول (NaSol)، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار کلر (Cl)، سولفات (So4) و حد روانی (LL) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. بر اساس نتیجه بدست آمده از آزمون T، تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن خصوصیات فیزیکوشیمیایی اشکال فرسایش سطحی و شیاری واحدهای مارنی از بین ۲۲ متغیر فیزیکوشیمیایی ثبت شده و مورد بررسی از این اشکال فرسایشی متغیرهای درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو نوع فرسایش سطحی و شیاری دارای اختلاف معنی‌دار بوده و می‌توان بر اساس آنها بین این دو شکل فرسایشی تمایز قابل گردید. لذا از این نظر این چهار متغیر به عنوان خصوصیات متمایز کننده بین این دو شکل فرسایش در بین واحدهای مارنی موجود در سطح استان زنجان در این تحقیق معرفی می‌گردند.

واژگان کلیدی: واحد مارنی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، اشکال فرسایش، استان زنجان.

مقدمه

مارن‌ها یکی از مهمترین واحدهای رسوبی در ایران می‌باشند که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی از رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری زیادی برخوردار هستند. این خاصیت مارن‌ها سبب خسارات زیست‌محیطی و عمرانی زیادی شده و از این رو مطالعه فرسایش و رسوب‌زایی واحدهای مارنی ضروری می‌باشد (Rezaei, 2016). مارن‌ها به عنوان بخش عمده‌ای از رسوبات ریزدانه تلقی می‌شوند که دارای رفتار فرسایشی متفاوتی بر حسب نوع ترکیبات کانی‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسته به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه می‌باشند که به دنبال آن اشکال مختلف مروفولومیکی در سطح زمین ظاهر می‌شود. احمدی (Ahmadi, 2008). عوامل مؤثر بر فرسایش مارن‌ها بسیار زیاد بوده، دارای فرایندهای بسیار پیچیده‌ای است، به طوری که تابعی از عوامل خارجی نظیر توزیع بارندگی و عوامل داخلی مثل خصوصیات فیزیکی خاک و کانی‌های رس می‌باشد. خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده خاک‌های مارنی شامل درصد اشباع، سنگریزه سطحی، شن، سیلت، رس، رس ریز، شن ریز، وزن مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها به روش الک خشک، حد روانی، حد خمیری، فعالیت و نسبت رس ریز به رس کل می‌باشد (Esmail Nejad et al, 2015). مارن‌ها به دلیل ترکیبات فیزیکی و شیمیایی و عدم استقرار پوشش گیاهی در بستر آن‌ها و در نتیجه مواد آلی کم از حساس‌ترین سازندها به فرسایش محسوب می‌شوند، به طوری که که با جدا شدن ذرات خاک و حمل آن به مناطق پایین دست منجر به ایجاد اشکال مختلف فرسایش می‌گردد (Pourheydari et al, 2019). بنابراین می‌توان مارن‌ها را به عنوان عامل و منشا اصلی تولید رسوب به ویژه در مناطق خشک تلقی نمود. به طور مثال در حوزه آبخیز سفیدرود براساس مطالعات مهندسی مشاور سوگرا به بیش از ۷۵ درصد از رسوبات تنها از ۵ درصد حوزه آبخیز که مارنی هستند سرچشمه می‌گیرد. در اکثر عرصه‌های تحت پوشش مارن‌ها نبود پوشش گیاهی و یا ناچیز بودن آن، نفوذپذیری کم، پر شیب بودن تپه‌های مارنی، وجود املاح محلول در خاک و سنگ مارن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کانی‌ها به ویژه کانی‌های رس، فرآیندهای فرسایشی بسیار فعال بوده و انواع اشکال فرسایشی بویژه فرسایش هزاردره در آنها دیده

می‌شود. در هر حال اشکال مختلف فرسایشی بویژه هزاردره (بدلند) یکی از ویژگی‌های بارز در مارن‌ها است (Thornes, 1980). بنیتو و همکارانش (Beniti et al, 1993) وجود سدیم و مقادیر SAR بویژه نمک طعام در مارن‌ها را برای تشکیل هزاردره و یا شکل‌گیری فرسایش بدلندی لازم و اساسی می‌دانند. نکته حائز اهمیت در مارن‌ها و تولید رسوب از عرصه‌های مارنی بویژه به هنگامی که املاح محلول در آنها بالا باشد (مارن‌های تبخیری بطور اخص) رخداد فرسایش انحلالی است که منجر به تشکیل خندق‌های با هدکت عمودی می‌شود، بدون اینکه آثاری از فرسایش آبکندی در اثر تمرکز رواناب‌های سطحی بصورت جریان خطی در عرصه دیده شود. اما این نوع فرسایش افزون بر تاثیر مستقیم در تشکیل خندق‌ها در پای دامنه تپه‌های مارنی و در شکل‌گیری شیارها و حرکت‌های گلی بر روی دامنه‌ها نیز موثر است (Ghodosi et al, 1997). مارن‌ها الگوهای فرسایش متفاوتی را بر حسب ترکیب، شیب، اقلیم و پوشش گیاهی از خود به نمایش می‌گذارند. مارن‌های دریایی معمولاً الگوهای فرسایش حاد مانند هزاردره و خندق از خود نشان نمی‌دهند و عمدتاً دارای الگوهای فرسایش سطحی، شیاری کم عمق تا متوسط می‌باشد. مارن‌های تبخیری عموماً الگوهای فرسایشی شدیدتری از جمله شیارهای عمیق، هزاردره و خندق را از خود به نمایش می‌گذارند (Hassanzadeh Nafouti, 2006). رخداد و شکل‌گیری انواع فرسایش در مارن‌ها به حدی گسترده است که خود نیازمند انجام پژوهش‌های خاص در رابطه با انواع مارن‌ها با اشکال فرسایشی می‌باشد. تجربیات بدست آمده نشان می‌دهند که شکل‌گیری فرسایش آبراهه‌ای (Water Erosion)، حرکات توده‌ای (Mass Movement)، فرسایش تونلی یا انحلالی (Erosion Pipe)، فرسایش هزار دره (Badland Erosion) و بالاخره فرسایش خندقی (Gully Erosion) در مارن‌ها، تنها تابعی از نوع و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها نمی‌باشد. بلکه شرایط آب و هوایی (اقلیم) و رفتارهای هیدرولوژیکی و ویژگی‌های هیدرولیکی توام با شرایط توپوگرافی از عوامل تعیین‌کننده مهم و موثر در شکل‌گیری و گسترش انواع فرسایش‌های یاد شده در بالا در مناطق مختلف می‌باشد. به طور مثال، وجود دوره‌های خشک و نیمه خشک و یا مرطوب، وجود شیب هیدرولیکی مناسب و شرایط خاص

توپوگرافی، اقلیم، شکل فرسایش طبقه‌بندی و اشکال فرسایش غالب را بررسی نماید. قوامی و همکاران (Ghavami, 1980)، عوامل سنگ‌شناسی، خاک‌شناسی و اقلیم منطقه را در پدید آمدن اشکال فرسایش موثر می‌داند. حشمتی (Heshmati, 2006) ارتباط بین شکل فرسایش با خصوصیات کانی‌شناسی مارن‌ها را ارائه نموده و نتیجه گرفت که نوع سازند (به خصوص درصد رس و املاح آن) بیشترین تأثیر را در ظهور انواع اشکال فرسایش داشته است. قدیمی عروس محله و همکاران (Ghadimi Arous Mahalle et al, 1999) در تحقیق دیگری با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش ایجاد شده، دریافتند که فرسایش ورقه‌ای در مارن‌های غیر پخش شونده و فرسایش شیاری و خندقی در انواع پخش شونده شایع می‌باشد. فرسایش شیاری یکی از مهمترین اشکال فرسایش خاک در دامنه‌ها است که به دلیل تمرکز رواناب سطحی به وجود می‌آید (Vaezi et al, 2016). توزیع اندازه ذرات خاک مشخصه مهم خاک از نظر فرسایش‌پذیری شیاری است. این مشخصه خاک در شدت جدا شدن ذرات از شیارها و در نتیجه توسعه شیار نقشی اساسی دارد (Vatani and Vaezi, 2014). تأثیر رواناب بر شدت جداشدگی ذرات در شیار و همچنین نقش عواملی مانند طول شیب، نفوذپذیری خاک، تندی شیب، شدت بارندگی، سرعت جریان، تنش برشی بحرانی بر مورفولوژی بستر شیار و توسعه شیار موضوعاتی بوده‌اند که در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Aksoy et al, 2013). واعظی و قره داغلی (Vaezi and Gharehdaghlili, 2013) نشان دادند که حجم شیار شاخصی مهم در گسترش فرسایش شیاری در سازند های مارنی است. فرسایش شیاری یکی از عوامل اصلی هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی است. حسینی و همکاران (Hosseini et al, 2012) نشان داد که همبستگی منفی بین فراوانی شیارها در طول دامنه و مقدار رس خاک وجود دارد. وطنی و واعظی (Vatani and Vaezi, 2014) با مطالعه بر روی هدررفت خاک در شیارها در خاک‌هایی با بافت مختلف در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که خاک رسی به دلیل نفوذپذیری پایین و داشتن ذرات انتقال پذیر زیاد، بیشترین میزان فرسایش شیاری را دارد. قدیمی عروس محله و همکاران (Ghadimi Arous Mahalle et al, 1999)

توپوگرافی افزون بر نوع مارن، نوع کانی رسی، وجود املاح قابل انحلال در شکل‌گیری و تشدید و گسترش فرسایش انحلالی در مارن‌ها بسیار موثر می‌باشد. در شکل‌گیری و گسترش فرسایش هزاردره در عرصه‌های مارنی نیز صرفنظر از عامل بهره‌برداری پیشین و فعلی از اراضی، شرایط آب هوایی و توپوگرافی دخالت مستقیم دارند. در تحقیق انجام شده توسط مسیب حشمتی (Heshmati, 2006)، مشخص شده که در مناطق مدیترانه‌ای و گرم (نظیر منطقه قصر شیرین و نفت شهر) پدیده‌های فرسایش در فصل زمستان که فصل مرطوب در منطقه است رخ می‌دهند، این موضوع در تحقیق انجام شده در منطقه زنجان نیز ثابت شده است. به طوری که شکل‌گیری هزاردره‌ها در منطقه سرچم زنجان تابعی از شرایط آب هوایی است. عدم گسترش بدلندها و تولید رسوب در طول سال‌های مرطوب در منطقه یاد شده نوید این نکته است که به هنگام وقوع بارش‌های ناچیز و یا کم، به دلیل تقلیل آبشویی املاح موجود در سازندهای مارنی، میزان سدیم آزاد در سطح افزایش یافته و به علت تأثیر مستقیم یون سدیم در انتشار پذیری ذرات رس، قشر پودری در سطح زمین ایجاد می‌گردد. هر چه مدت یا دوره خشکسالی بیشتر باشد بر ضخامت این قشر پودری شکل افزوده می‌شود و با شروع ترسالی و وقوع اولین بارش‌های قابل ملاحظه انواع فرسایش‌ها به ویژه حرکت‌های توده‌ای مانند لغزش، سولیفلیکسیون، جریان‌های گلی، واریزه، خزش، تحتانک، ریزش و فرسایش شدید خندقی و تشدید آن توسط فرسایش انحلالی به وقوع می‌پیوندد. در حوزه آبخیز سفیدرود در منطقه حلب واقع در بخش ماهنشان در حاشیه رودخانه قزل اوزن ملاحظه شده است که پس از یک دوره خشکسالی ۳ تا ۵ ساله حرکت توده‌ای به صورت زمین لغزه (Land slide) در عرصه مارنی سازندهای ریزدانه حاوی رس، مارن، شیل و دارای املاح در سطح وسیعی با آغاز ترسالی به وقوع پیوسته است (Ghodosi et al, 1997). حسن زاده نفوتی و همکاران (Hassanzadeh Nafouti, 2006). در بررسی فرسایش پذیری مارن‌های منطقه ایوانکی اظهار می‌کند که بطور کلی تنوع اشکال فرسایش و وجود عوامل محدود کننده برای استقرار پوشش گیاهی افزون بر محدودیت بهره‌برداری، از ویژگیهای بارز مارن‌ها می‌باشد (Ghodosi et al, 1997). احمدی (Ahmadi, 2008) سعی نموده تا مارن‌ها را بر اساس ویژگی‌های آنها و عواملی نظیر

مختلف فرسایش به ویژه فرسایش هزار دره‌ای یکی از خصوصیات بارز در عرصه‌های مارنی است. از گذشته تاکنون مطالعات زیادی بر روی فرسایش‌پذیری مارن‌ها صورت گرفته‌است، به طوری که بر اساس این مطالعات عواملی چون هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم، ارتباط زیادی با اشکال فرسایشی بدلندها دارند (Bouma and Imeson, 2000). همچنین درصد سدیم تبادلی و نسبت جذب سدیم شاخص مهمی در شناسایی اشکال فرسایش خندقی می‌باشد (Moreno, 2016). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کمبود مواد آلی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در اشکال فرسایش بدلند محسوب می‌گردد، زیرا این مواد تاثیر زیادی در اصلاح بافت خاک دارد (Katharina, 2008). بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده بر روی اشکال مختلف فرسایشی بدلندها به‌عنوان مهمترین منبع تولید رسوب در حوزه‌ها در هر رویداد شناخته می‌شوند (Gallart, et al, 2013). همچنین در بین انواع فرم‌های فرسایش، فرسایش ورقه‌ای در اراضی مارنی دارای غلظت کم یون سدیم، نسبت جذب سدیم پایین و مواد غیر پخش شونده، مقدار متوسط املاح، سیمای غالب فرسایش است. در حالی که بیشترین تراکم فرسایش شیاری و آبکنندی مربوط به مارن‌هایی با سدیم محلول و نسبت جذب سدیم زیاد است. سدیم زیاد باعث تخریب خاکدانه‌ها شده و نهایتاً وقوع فرسایش را تشدید می‌کند (Vacher, et al, 2013). نتایج مطالعه سلماسی و احمدی (Salmasi and Ahmadi, 2012) نشان داد که از بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده، pH، درصد گچ و درصد شن نمونه‌ها، اختلاف معنی‌دار در بین اشکال مختلف فرسایش داشتند. در تحقیق میرزازاده و همکاران (Mirzazadeh et al, 2012) مشخص شده است که بین مقادیر نمک، گچ و آهک در رسوبات مارنی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این سه عامل را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های مهم در تفکیک اشکال فرسایش در نظر گرفت. اسماعیل نژاد و همکاران (Esmail Nejad et al, 2015) اثر ویژگی‌های شیمیایی خاک و کانی‌های رس بر اشکال مختلف فرسایش از منجیل تا گیلوان در استان گیلان مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این بررسی مقادیر هدایت الکتریکی و یون سدیم دارای تفاوت معنی‌دار بین همه اشکال فرسایش می‌باشند. نتایج تحقیق اسماعیل نژاد و

دریافتند که فرسایش ورقه‌ای فرآیندی متداول در مارن‌هایی با ویژگی غیرپخش شوندگی است که سدیم محلول و نسبت جذب سدیم (SAR) در آنها اندک است و اشکال شیاری، هزاردره‌ای و خندق‌ها بطور معمول بر روی مارن‌های با ویژگی پخش شوندگی که سدیم محلول و نسبت جذب سدیم در آنها زیاد است، مشاهده می‌گردد. همچنین با بررسی و مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که میزان سدیم، منیزیم، SAR و pH و کربن آلی در فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری و هزاردره‌ای دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. همچنین اظهار نمودند که میزان SAR مناسب‌ترین شاخص فرسایش در مارن‌های منطقه میزان نسبت جذب سدیم می‌باشد. عباسی و همکاران (۱۳۸۴) با آنالیز و بررسی ۲۹ نمونه از مارن‌های محدوده قزل اوزن سفلی به این نتیجه رسیدند که هر چقدر بر میزان Ca^{2+} ، Cl^- ، Na^+ ، HCO_3^- و گچ در مارن‌ها افزوده می‌شود شدت فرسایش بالا رفته و اشکال فرسایش شیاری، هزار دره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) گسترش می‌یابند. ایمسون و همکاران (Imeson, 1982) گزارش کرده است که خصوصیات فیزیکی شیمیایی سازند زمین‌شناسی مهمترین عامل تعیین کننده اشکال فرسایش می‌باشد. بنیتو و همکاران (Beniti et al, 1993)، در اسپانیا مشخص کرده‌اند که سدیم به‌عنوان یک عامل شیمیایی نقش مهمی را در انواع اشکال فرسایش در مارن‌ها دارد. همچنین فرسایش هزار دره‌ای را در مارن‌های با میزان مواد محلول زیاد، مقادیر SAR بالاتر از ۴۰ و میزان متوسط نمک گزارش کردند. سوزان و همکاران (Suzanne et al, 1999) در تحقیقی مشخص نمودند که بیشترین خندق در رسوباتی دیده شده که سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالایی دارند. رینکس و همکاران (Rienks 2000) با مطالعه رسوبات در مناطق با فرسایش خندقی در مارن‌های آفریقای جنوبی دریافتند که بیشترین خندق‌ها در مارن‌هایی دیده می‌شود که سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالایی دارا می‌باشد. حمیدزاده (Hamid Zadeh, 2002) انواع فرسایش در خاک‌های مارنی ایران را بررسی نموده و غالب اشکال فرسایشی در خاک‌های مارنی را فرسایش ورقه‌ای، شیاری و بدلند اشاره نموده است. توماس و همکاران (Thomas et al, 2004) بر اساس تحقیقات خود اظهار می‌دارند که اشکال

فرسایش لغزشی و پتاسیم با فرسایش بدلند رابطه مستقیم دارد و با کربن آلی رابطه معکوس دارد. با توجه به مجموعه مطالب ارائه شده در این بخش می‌توان اینگونه جمع‌بندی نمود که تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مارن‌ها و بررسی رابطه بین نوع فرسایش با این خصوصیات در تعیین و اتخاذ راهکارهای موثر در مهار فرسایش و رسوب عرصه‌های مارنی بسیار موثر و کاربردی باشد، در طرح‌های آبخیزداری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نتیجه حاصل، اعمال مدیریت‌ها و اجرای عملیاتی بوده است که بویژه تا قبل از دهه ۱۳۶۰ منجر به شکست برنامه‌ها شده و اهداف مورد نظر حاصل نشده‌اند (Ghodosi et al, 1997). بر این اساس در بررسی فرسایش و توان رسوبزایی مارن‌ها، لازم است افزون بر توجه به نوع، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و رابطه آن با شکل‌گیری و گسترش انواع فرسایش، شرایط آب هوایی، رفتارهای هیدرلیکی و هیدرولوژیکی و شرایط توپوگرافی و بهره‌برداری فعلی از اراضی را نیز به دقت مورد توجه قرار داد. بدیهی است قضاوت کلی و مبتنی بر ارقام و اعداد کمی درباره نتیجه تحقیقات انجام شده که بصورت موردی و منطقه‌ای می‌باشد، مقدور و علمی نیست. بر این اساس استفاده از نتایج بدست آمده از آنها با اطمینان کامل در سطوح وسیع ممکن و منطقی نمی‌باشد. اما آنچه که مسلم است، رهیافت‌های عنوان شده گام‌هایی هستند که بر اساس شناخت و مطالعه مارن‌ها برداشته شده‌اند و تاییدی می‌باشد بر این که راهکارهای برآورد فرسایش و رسوب در عرصه‌های مارنی نمی‌تواند بصورت صد در صد بر اساس اصول متداول و رایج در مدل‌های ارائه شده که امروزه در آبخیزداری از آنها استفاده می‌شود، استوار باشد، بلکه لازم است با تکمیل مطالعات و تحقیقات صورت گرفته اقدام به ارائه دستورالعمل علمی و عملی در خصوص نحوه بررسی فرسایش و توان رسوبزایی در مارن‌ها شود. افزون بر این، رهیافت‌های مطرح شده را نیز باید با تکرار در شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و در عرصه‌های مارنی متفاوت از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد واسنجی و آزمون و آزمایش قرار داد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

مشخصات منطقه: استان زنجان با وسعت ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی شمال غرب کشور بین طول

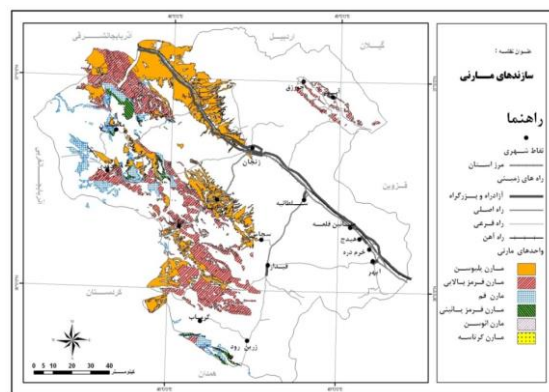
همکاران (Esmaeil Nejad et al, 2015) نشان دهنده تغییرات معنی‌دار درصد رس، رس ریز، درصد اشباع، میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها، حد روانی و فعالیت خاک در برخی از اشکال فرسایش بود، در حالی که سایر پارامترها اثر معنی‌داری در شکل و نوع فرسایش نداشتند. بر اساس نتایج تحقیق قاسمی دهنوی و همکاران (Ghasemi Dehnavi et al, 2015) در اشکال و شدت فرسایش مارن‌های نئوژن منطقه ورامین، شاخص خمیری فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش اختلاف زیادی ندارد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در فرسایش آبراهه‌ای بیش‌تر از سایر اشکال فرسایش می‌باشد. رضایی (Rezaei, 2016) در پژوهشی در منطقه نوبران ساوه، نتیجه می‌گیرد که اشکال مختلف فرسایشی در میزان یون سدیم، نسبت جذب سدیم و میزان درصد رس، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. میزان میانگین یون سدیم و نسبت جذب سدیم از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی در مارن‌های منطقه افزایش یافته و میزان میانگین درصد رس از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی کاهش می‌یابد. همچنین سه متغیر یون سدیم، نسبت جذب سدیم و درصد رس نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در فرسایش مارن‌های منطقه و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی دانست. همچنین (Rezaei, 2016) با بررسی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی واحدهای مارنی و تأثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه لاشور پاکدشت نتیجه گرفت که اشکال مختلف فرسایشی از نظر میزان عناصر و دانه بندی، در میزان یون سدیم، سولفات و میزان درصد سیلت، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. به طوری که چهار متغیر یون سدیم، هدایت الکتریکی یا EC، سولفات و درصد سیلت نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در توسعه فرسایش و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی در مارن‌های منطقه دانست. پورحیدری و همکاران (Pourheydari et al, 2019) به بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان و اشکال فرسایش آنها در حوزه حوضه عون ابن علی پرداخت. بر اساس نتایج تحقیق پورحیدری و همکاران (Pourheydari et al, 2019) در حوزه حوضه عون ابن علی از نظر توزیع فراوانی نوع فرسایش، بیشترین نوع فرسایش مربوط به فرسایش سطحی و بارانی، همچنین میزان هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی و کلر با

مارن، سیلت، کمی به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه‌ای (Plm) و حاشیه‌ای شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن (Plc) تشکیل شده‌اند. واحد مارنی کرتاسه (K2m) به صورت یک سری مارن، سنگ‌های آهکی مارنی و شیل‌های خاکستری پدید آمده است. سنگ‌های آهکی دارای رنگ هوازده کرم رنگ و رنگ تازه خاکستری‌اند. واحد مارن ائوسن (EM) به صورت یک واحد کوچک و محدود با لیتولوژی مارن سبز و سفید در نقشه زمین‌شناسی حلب در حاشیه جاده زنجان- بیجار در شمال شرقی روستای ارکوئین قرار گرفته است. واحد مارنی سازند قم (OM) که به صورت ترکیبی از آهک توده‌ای و ضخیم، مارن سیلتی، آهک تخریبی و مارن، ژئپس سفید رنگ، مارن سبز زیتونی و آهک کرم رنگ در سطح استان زنجان رخنمون یافته است. واحدهای مارنی قرمز بالایی شامل سه واحد است. واحد M1 از مارن‌های الوان تشکیل شده است که در تناوب با لایه‌های کم گچ، شیل و ماسه سنگ می‌باشد و با رنگ‌های متنوعی (قرمز، سبز متمایل به کرم، سبز زیتونی) که دارد. از واحد M2 متمایز می‌شود. واحد M2 عمدتاً ماسه سنگ حفره‌دار و لایه‌های نازک شیل به همراه مارن تشکیل شده است. ضخامت و توالی طبقات ماسه‌سنگ نسبت به واحد M3 و M1 بسیار بیشتر است و در بعضی مناطق ضخامت آن به ۱۰ متر می‌رسد. واحد M3 عمدتاً از مارن با لایه‌های کم ماسه سنگی و کنگلومرائی تشکیل شده است. رنگ آن کرم تا قهوه‌ای روشن است. واحد مارنی قرمز زیرین^۱ در استان زنجان متشکل از کنگلومرا، مارن و مارن‌های ماسه‌ای قرمز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های سبز تا خاکستری با ضخامت ۵۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد.

جغرافیایی ۱۵° و ۴۷' تا ۲۵° و ۴۹' شرقی و عرض شمالی ۳۵° و ۳۵' تا ۱۵° و ۳۷' واقع شده است. این استان دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با متوسط بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر بوده و دارای پستی و بلندی‌های زیادی است، به طوری که بیشترین وسعت آن را مناطق کوهستانی و تپه ماهورها فراگرفته است. استان زنجان دارای دو حوزه آبخیز اصلی با محدوده کاملاً مجزا است، که شامل حوضه آبخیز قزل اوزن به مساحت ۱۹۰۶۴ کیلومترمربع معادل ۸۶ درصد سطح استان و حوضه آبخیز رودخانه شور به وسعت ۳۱۰۰ کیلومترمربع معادل ۱۴ درصد سطح استان می‌باشد. استان زنجان بدلیل واقع شدن در موقعیت میانی حوزه آبخیز سد سفیدرود از گذشته‌های دور از نظر آبخیزداری مورد توجه بوده است به منظور 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 موثر بر فرسایش و رسوبزایی همچون شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و پستی و بلندی است.

واحدهای مارنی استان

بر اساس نقشه واحدهای مارنی استان به طور کلی پنج واحد یا سازند مارنی در سطح استان زنجان با مساحت‌ها و مناطق پراکنش متفاوت وجود دارد (شکل ۱) که شامل واحدهای زیر است (عبدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). مارن پلیوسن (Plm) که به صورت رخنمون‌هایی از مارن و کنگلومرا به صورت تپه‌های به هم چسبیده کم ارتفاع با سطوح فرسایشی صاف گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل



شکل ۱: نقشه گروه‌بندی و پراکنش واحدهای مارنی استان زنجان

Fig. 1: Grouping and distribution map of marly units in Zanjan province

مواد و روش‌ها

این تحقیق بخشی از نتایج بدست آمده از اجرای یک طرح تحقیقاتی می‌باشد (Abdinejad et al, 2011) که در سطح واحدهای مارنی استان زنجان (به مساحت حدود ۴۴۳۸ کیلومترمربع) انجام شده است. برای این منظور ابتدا اقدام به جمع‌آوری اطلاعات، آمار و سوابق مطالعاتی شده و سپس با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استان زنجان، تصاویر ماهواره‌ای (برای کنترل مرز سازندها و واحدهای مارنی) و بازدیدهای میدانی، اقدام به تهیه نقشه واحدهای مارنی استان گردید (شکل ۲). سپس برای تهیه واحدهای کاری اقدام به تهیه نقشه شیب و طبقه‌بندی آن در سه گره ۱۰-، ۳۰-۱۰ و >30 درصد و نقشه اقلیم استان در دو گروه خشک تا نیمه خشک و مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب و نقشه نشان دهنده واحدهای مارنی گردید. با تلفیق و روی هم قرار دادن این سه لایه (نقشه واحدهای مارنی، نقشه اقلیم و نقشه شیب) در محیط نرم افزار ArcGIS 10 نقشه واحدهای کاری در ۲۰ واحد تهیه شد (شکل ۲) (Hassanzadeh Nafouti, 2006). از این ۲۰ واحد ۲ واحد به دلیل موقعیت قرارگیری و وسعت کم امکان (حدود ۴۰۰ مترمربع و در بالای کوه که امکان استقرار دستگاه شبیه ساز باران وجود نداشت) بررسی وجود نداشت. لذا تعداد واحدکاری به ۱۸ واحد کاهش یافت. پس از تعیین واحدهای کاری، با انجام عملیات صحرایی اقدام به نمونه برداری از واحدهای مارنی از دو عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتر و ۳۰ - ۰ سانتیمتر به تعداد ۱۲۰ نمونه گردید (جدول ۱). نمونه‌ها تهیه شده جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل شده و پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته (pH)، درصد مواد خنثی شونده، درصد کربن آلی، مقادیر کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم، مقادیر آنیون‌های بی کربنات، کلرید و سولفات و مقدار نسبت جذب سدیم، فاکتور گچ، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقادیر درصد رس، درصد لای، درصد ماسه، حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و بافت نمونه‌ها تعیین گردیدند. برای تهیه نقشه سیمای فرسایش واحدهای مارنی با تلفیق نقشه‌های نقشه واحدهای مارن که شامل ۶ واحد مارنی در سطح استان، نقشه ارتفاع از سطح دریا (در سه گره تفکیک شده)، نقشه شیب (که باز در سه گره تقسیم شد)، نقشه جهات شیب و کاربری اراضی (که در دو گروه اراضی کشاورزی و اراضی

مرتعی تعریف شدند) باهم در محیط GIS و با حذف واحدهای تکراری و پردازش آن تعداد ۲۰۲ واحد کاری ایجاد گردید. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و انجام بازدیدها و کنترل‌های صحرایی همراه با تکمیل جداول امتیازی روش BLM اقدام به تعیین نوع و سیمای فرسایشی موجود در هر یک از واحدهای کاری گردید. با در نظر گرفتن وجود بیش از یک نوع فرسایش در تعدادی از واحدهای کاری، تعداد واحدهای کاری از نظر نوع یا سیمای فرسایش به ۳۶۶ واحد افزایش یافت. با جمع بندی و یکپارچه سازی نوع فرسایش واحدهای کاری اقدام به تهیه نقشه سیمای فرسایش واحدهای مارنی استان زنجان گردید. برای شناسایی متغیرهای که در تفکیک شکل فرسایش (سطحی، ورقه‌ای، شیاری، خندقی) و پیش‌بینی تعلق اعضاء به اشکال فرسایش موثر می‌باشد. از دو آزمون تحلیل واریانس ANOVA و آزمون t استفاده گردیدند. در آزمون تحلیل واریانس، متغیرهای فیزیکی و شیمیایی به عنوان متغیرهای کمی وابسته و متغیر شکل فرسایش (سطحی، ورقه‌ای و شیاری، خندقی) به عنوان متغیر مستقل اسمی انتخاب گردید. در آنالیز تفکیکی (تمیزی) نوع فرسایش با سه سطح به عنوان متغیر اسمی وابسته و متغیرهای کمی فیزیکو شیمیایی به عنوان متغیرهای عامل و پیش‌بین انتخاب شده و آزمون به دو روش پلکانی و همگانی (دخاله همه متغیرها) انجام گردید. تجزیه و تحلیل آماری تحقیق با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفته است.

بحث و نتایج

بررسی اشکال فرسایش در واحدهای مارنی

بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام شده فرآیند فرسایش آبی فرآیند اصلی فرسایش در منطقه می‌باشد. به طور کلی تمام واحدهای مارنی مورد بررسی دارای فرسایش بوده و با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی و محیطی (اقلیم، شیب، پوشش گیاهی و ...) دارای اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشند. عمده‌ترین اشکال فرسایش موجود در واحدهای مارنی استان زنجان به صورت نقشه سیمای فرسایش در شکل ۳ نمایش داده شده و در جدول ۲ مشخصات هر یک از اشکال فرسایش ارائه گردیده است. بر این اساس اشکال فرسایشی موجود در واحدهای مارنی استان زنجان شامل

محلول آهک به طرف سطح حرکت نموده و بر اثر تبخیر کالیچی تشکیل شود. نمونه‌های عمقی pH بیشتری از نمونه‌های سطحی دارند که ممکن است ناشی از میزان مواد آلی و بی‌کربنات بالاتر نمونه‌های سطحی باشد که در حقیقت به اسیدی بودن محیط کمک می‌نمایند و در مقابل وجود سدیم زیادی در عمق باعث افزایش pH شود. درصد مواد آلی در نمونه‌های عمقی بیشتر از مواد مارنی سطحی است که این هم می‌تواند مربوط به انتقال از سطح به عمق از طریق آب‌های فرورو و هم وجود آثار باقی مانده و مدفون شده گیاهی در داخل مواد مارنی عمقی باشد.

فرسایش قطرات باران، فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، فرسایش تونلی، فرسایش هزار دره‌ای و فرسایش توده‌ای بوده است که در زیر تشریح شده‌اند (شکل ۴). به طور متوسط غلظت املاح نمونه‌های عمقی بیشتر از نمونه‌های سطحی است که این ویژگی در میزان EC نیز قابل مشاهده است. املاح Ca^{+2} و HCO_3^- (دو یون سازنده آهک‌ها) بر خلاف سایر املاح دارای غلظت بیشتری در نمونه‌های سطحی می‌باشد. این امر را می‌توان به پدیده کالیچی (Caliche) نسبت داد. کالیچی یک خاک سرشار از آهک است که در خاک‌های بعضی از نواحی نیمه خشک تشکیل می‌شود. خاصیت موئینگی باعث می‌شود تا آب‌های دارای

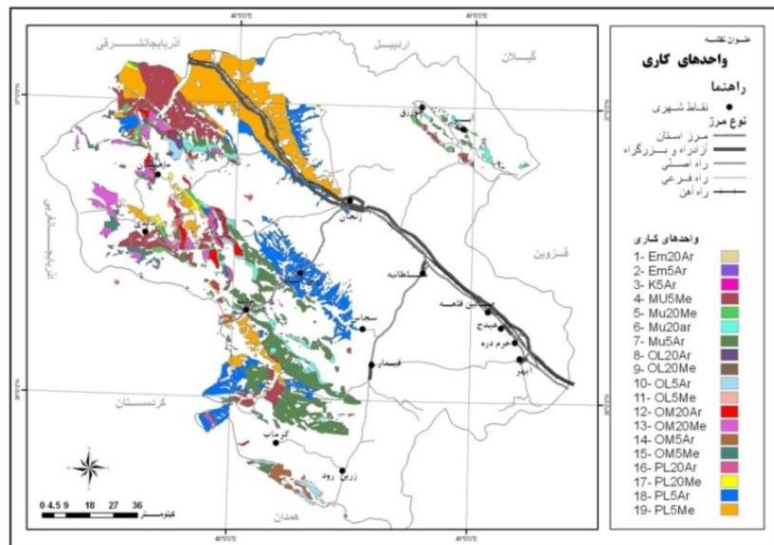
جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی واحدهای مارنی در دو عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتر و ۳۰ - ۰ سانتیمتر
Table 1: Results of chemical analysis of marl units at two depths of 0-10 and 0-30 cm.

نوع عنصر Element type	واحد Unit	عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر Depth 0 to 10 cm				عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر Depth 0 to 30 cm			
		max10	min	mean	std	max30	min	mean	std
CLAY	%	42	6	28.53	9.44	41	18	30.67	7.11
SILT	%	61	22	45.8	10.88	62	24	43.7	11.34
SAND	%	72	2	25.83	19.15	51	3	25.7	15.15
C.E.C	meq/100 gr	21	4	15.54	4.11	20.5	12.92	16.73	2.52
O.C	%	0.67	0.11	0.23	0.15	4	0.15	0.56	0.8
PAV	ppm	3.6	0	0.77	1	1.4	0	0.6	0.48
KAV	ppm	1402.3	119.8	432.19	383.73	1991.2	149.3	473.36	521.21
TNV	%	29.3	9.48	16.55	5.87	39.6	8.72	19.04	8.5
CASO4	%	96.2	0	17.26	30.69	130	0	23.9	33.74
PH		7.96	7.46	7.74	0.12	8.3	7.28	7.75	0.22
EC	ds/m	277	0.49	15.15	50.67	54	0.49	9.29	16.1
SP	%	68.48	26.9	49.23	11.58	69.28	32.9	51.57	11.94
KSOL	meq/L	1.51	0.22	0.59	0.39	1.52	0.18	0.74	0.49
NASOL	meq/L	40.19	1.64	11.74	14.23	51.3	1.24	16.27	17.42
CAMGSOL	meq/L	335.2	2.75	60.33	104.91	485.2	3.58	74.8	144.62
SAR	%	7.62	0.38	2.18	1.97	21.31	0.59	4.44	5.94
HCO3	meq/L	2.84	1	1.98	0.49	195	0	14.71	48.61
CL	meq/L	315.6	1	45.76	98.63	485.3	0.95	74.96	151.21
SO4	meq/L	59.1	1.83	18.02	16.96	50	0.98	21.45	14.18
LL	%	42.9	22.6	35.11	5.86	66.63	26	40.03	11.76
PL	%	37.9	0	21.94	9.42	33.6	17	23.35	4.79
PI	%	22.72	0.95	13.16	6.2	33.08	6.4	16.68	7.45

جدول ۲: مشخصات اشکال فرسایش واحدهای مارنی بر اساس نقشه سیمای فرسایش
Table 2: Characteristics of erosion patterns of marly units based on erosion profile map

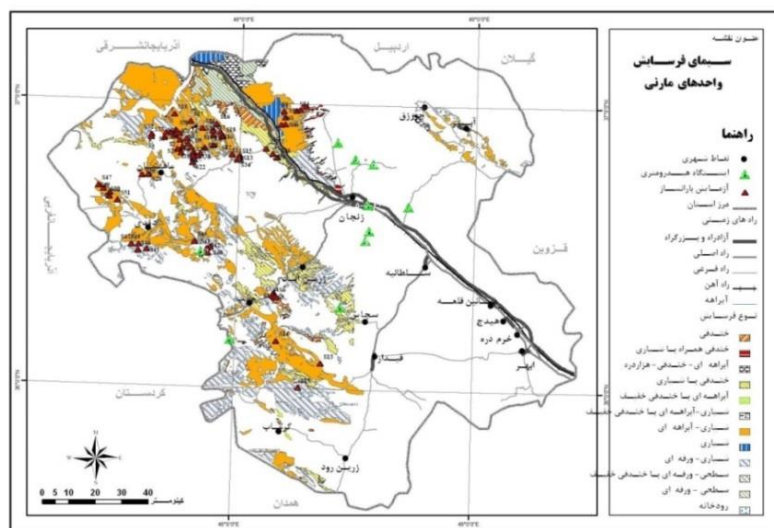
Area (%)	مساحت Area (km) ²	محیط Environment (km)	تعداد پلی‌گون Number of polygons	شدت فرسایش Erosion rate
0.17	7.76	25.16	2	فرسایش آبراهه‌ای با خندقی خفیف stream erosion with slight gully
0.72	32.59	88.93	5	فرسایش شیاری و آبراهه‌ای با خندقی خفیف Rill and stream erosion with slight gully
0.79	35.55	248.11	39	فرسایش خندقی همراه با شیاری Gully erosion with rill
1.44	65.23	207.60	2	بستر رودخانه Riverbed

2.76	104.83	137.67	5	فرسایش شیاری Rill erosion
2.33	105.49	124.09	4	فرسایش آبراه‌های، خندقی و هزارده محلی stream erosion, gully and badland
3.55	160.60	540.43	57	فرسایش خندقی Gully erosion
4.73	307.72	464.98	5	فرسایش سطحی و ورقه‌ای با خندق خفیف Surface and sheet erosion with slight gully
13.86	441.78	1432.06	100	فرسایش سطحی و ورقه‌ای Surface and sheet erosion
23.25	969.42	2521.05	170	فرسایش شیاری و ورقه‌ای Rill and sheet erosion
46.4	1844.53	4240.42	245	فرسایش شیاری و آبراه‌های Rill and stream erosion



شکل ۲: نقشه واحدهای کاری واحدهای مارنی سازندهای زمین‌شناسی استان زنجان

Fig. 2: Map of working units of marly units of geological formations of Zanjan province



شکل ۳: نقشه سیمای فرسایش واحدهای مارنی استان زنجان

Fig. 3: Erosion profile map of marly units in Zanjan province



شکل ۴: فرسایش خندقی در واحد مارنی پلیوسن منطقه گمیش آباد آبخیز زنجانرود

Fig. 4: Gully erosion in the Pliocene marly unit of the Gomish Abad area of the Zanzanrood watershed

فرسایش غالب سطحی و شیاری در جدول ۴ و مشخصات آزمون t اشکال فرسایش سطحی و شیاری واحدهای مارنی در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به این جداول، مشاهده می‌شود که خصوصیات مثل درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو فرسایش دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

مقایسه اشکال مختلف فرسایش با آزمون t

همان طوری که قبلاً اشاره گردید در واحدهای مارنی فرسایش‌های آبی مختلف دیده می‌شود ولی فرسایش‌های غالب در آنها فرسایش ورقه‌ای و شیاری است. لذا بررسی‌های آماری برای این دو فرسایش انجام شده است. خلاصه آمار خصوصیات فیزیکوشیمیایی در انواع فرسایش‌های سطحی و شیاری در جدول ۳ آمده است. نتایج مقایسه میانگین‌های دو به دو فرسایش‌ها به روش آزمون t برای دو

جدول ۳: خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی فرسایش‌های ورقه‌ای و شیاری واحدهای مارنی

Table 3: Physical, mechanical and chemical properties of sheet and groove erosion of marly units

Variable	E.Shape	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
clay	1	120	28.53	9.44	1.72
	2	120	30.67	7.11	1.3
silt	1	120	45.8	10.88	1.99
	2	120	43.7	11.34	2.07
sand	1	120	25.83	19.15	3.5
	2	120	25.7	15.15	2.77
C.E.C	1	120	15.54	4.11	0.75
	2	120	16.73	2.52	0.46
O.C	1	120	0.23	0.15	0.03
	2	120	0.56	0.8	0.15
Pav	1	120	0.77	1	0.18
	2	120	0.6	0.48	0.09
Kav	1	120	435.18	390.17	72.45
	2	120	47.36	521.21	95.16
TNV	1	120	16.55	5.87	1.07
	2	120	19.04	8.5	1.55
CaSO ₄	1	120	17.26	30.69	5.6
	2	120	23.9	33.74	6.16
pH	1	120	7.74	0.12	0.02
	2	120	7.75	0.22	0.04
EC	1	120	15.15	50.67	9.25
	2	120	9.29	16.1	2.94
SP	1	120	49.23	11.58	2.11
	2	120	51.57	11.94	2.18
ksol	1	120	0.59	0.39	0.07
	2	120	0.74	0.49	0.09
NaSol	1	120	11.74	14.23	2.6
	2	120	16.27	17.42	3.18
CaMgSOL	1	120	60.33	104.91	19.15
	2	120	74.8	144.62	26.4
SAR	1	120	2.18	1.97	0.36

	2	120	4.44	5.94	1.08
HCO ₃	1	120	1.98	0.49	0.09
	2	120	14.71	48.61	8.87
	1	120	45.76	98.63	18.01
Cl	2	120	74.96	151.21	27.61
	1	120	18.02	16.96	3.1
SO ₄	2	120	21.45	14.18	2.59
	1	120	35.11	5.86	1.07
LL	2	120	40.03	11.76	2.15
	1	120	21.94	9.42	1.72
PL	2	120	23.35	4.79	0.88
	1	120	13.16	6.2	1.13
PI	2	120	16.68	7.45	1.36

جدول ۴: نتایج آزمون F اشکال فرسایش سطحی و شیاری واحدهای مارنی

Table 4: Results of F-test of surface erosion and groove shapes of marly units

ANOVA		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
clay	Between Groups	68.27	1	68.27	0.977	0.327
	Within Groups	4052.13	119	69.86		
	Total	4120.4	1			
silt	Between Groups	66.15	119	66.15	0.536	0.467
	Within Groups	7157.1	1	123.4		
	Total	7223.25	119			
sand	Between Groups	0.27	1	0.27	0.001	0.976
	Within Groups	17292.47	119	298.15		
	Total	17292.73	1			
C.E.C	Between Groups	21.32	119	21.32	1.834	0.181
	Within Groups	674.44	1	11.63		
	Total	695.77	119			
O.C	Between Groups	1.72	1	1.72	5.168	*0.027
	Within Groups	19.27	119	0.33		
	Total	20.99	1			
Pav	Between Groups	0.43	119	0.43	0.698	0.407
	Within Groups	35.87	1	0.62		
	Total	36.3	119			
Kav	Between Groups	21500.41	1	21500.41	0.101	0.752
	Within Groups	12140670.66	119	212994.22		
	Total	12162171.07	1			
TNV	Between Groups	92.73	119	92.73	1.738	0.193
	Within Groups	3094.6	1	53.36		
	Total	3187.32	119			
CaSO ₄	Between Groups	661.94	1	661.94	0.636	0.428
	Within Groups	60324.72	119	1040.08		
	Total	60986.66	1			
pH	Between Groups	0	119	0	0.057	0.812
	Within Groups	1.85	1	0.03		
	Total	1.85	119			
EC	Between Groups	513.57	1	513.57	0.363	0.549
	Within Groups	81971.18	119	1413.3		
	Total	82484.75	1			
SP	Between Groups	82.39	119	82.39	0.595	0.444
	Within Groups	8028.12	1	138.42		
	Total	8110.51	119			
ksol	Between Groups	0.36	1	0.36	1.823	0.182
	Within Groups	11.37	119	0.2		
	Total	11.73	1			
Nasol	Between Groups	308.4	119	308.4	1.219	0.274
	Within Groups	14673.84	1	253		
	Total	14982.24	119			
CaMgSOL	Between Groups	3141.58	1	3141.58	0.197	0.659
	Within Groups	925755.07	119	15961.29		
	Total	928896.65	1			
SAR	Between Groups	76.01	119	76.01	3.879	*0.054
	Within Groups	1136.37	1	19.59		
	Total	1212.38	119			
HCO ₃	Between Groups	2428.38	1	2428.38	2.055	0.157
	Within Groups	68532.25	119	1181.59		
	Total	70960.62	1			
Cl	Between Groups	12787.26	119	12787.26	0.785	0.379
	Within Groups	945194.21	1	16296.45		
	Total	957981.47	119			
	Between Groups	176.68	1	176.68	0.723	0.399

SO₄	Within Groups	14178.35	119	244.45		
	Total	14355.03	1			
LL	Between Groups	363.74	119	363.74	4.217	*0.045
	Within Groups	5003.13	1	86.26		
	Total	5366.87	119			
PL	Between Groups	29.57	1	29.57	0.529	0.47
	Within Groups	3240.73	119	55.87		
	Total	3270.3	1			
PI	Between Groups	185.89	119	185.89	3.959	*0.051
	Within Groups	2723.42	1	46.96		
	Total	2909.31	119			

جدول ۵: مشخصات آزمون t اشکال فرسایش سطحی و شیاری واحدهای مارنی

Table 5: T-test characteristics of surface erosion and groove shapes of marly units

ANOVA		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df				Upper	Lower
		Lower	Upper	Lower	Upper				Lower	Upper
clay	Equal variances assumed	1.733	0.193	-0.988	118	0.327	-2.133	2.158	-6.453	2.187
	Equal variances not assumed			-0.988	53.892	0.327	-2.133	2.158	-6.46	2.194
silt	Equal variances assumed	0.05	0.824	0.732	118	0.467	2.1	2.868	-3.641	7.841
	Equal variances not assumed			0.732	57.901	0.467	2.1	2.868	-3.642	7.842
sand	Equal variances assumed	2.613	0.111	0.03	118	0.976	0.133	4.458	-8.791	9.058
	Equal variances not assumed			0.03	55.077	0.976	0.133	4.458	-8.801	9.068
C.E.C	Equal variances assumed	5.726	*0.020	-1.354	118	0.181	-1.192	0.88	-2.955	0.57
	Equal variances not assumed			-1.354	48.138	0.182	-1.192	0.88	-2.963	0.578
O.C	Equal variances assumed	10.984	*0.002	-2.273	118	0.027	-0.338	0.149	-0.636	-0.04
	Equal variances not assumed			-2.273	30.961	0.03	-0.338	0.149	-0.642	-0.035
Pav	Equal variances assumed	1.99	0.164	0.836	118	0.407	0.17	0.203	-0.237	0.576
	Equal variances not assumed			0.836	41.587	0.408	0.17	0.203	-0.24	0.58
Kav	Equal variances assumed	0.147	0.703	-0.318	118	0.752	-38.185	120.185	-278.851	202.482
	Equal variances not assumed			-0.319	53.683	0.751	-38.185	119.602	-278.006	201.636
TNV	Equal variances assumed	1.172	0.283	-1.318	118	0.193	-2.486	1.886	-6.262	1.289
	Equal variances not assumed			-1.318	51.565	0.193	-2.486	1.886	-6.272	1.299
CaSO ₄	Equal variances assumed	0	0.997	-0.798	118	0.428	-6.643	8.327	-23.311	10.025
	Equal variances not assumed			-0.798	57.486	0.428	-6.643	8.327	-23.314	10.028
pH	Equal variances assumed	1.386	0.244	-0.238	118	0.812	-0.011	0.046	-0.103	0.081
	Equal variances not assumed			-0.238	45.677	0.813	-0.011	0.046	-0.104	0.082
EC	Equal variances assumed	1.618	0.208	0.603	118	0.549	5.851	9.707	-13.579	25.281

	Equal variances not assumed			0.603	34.798	0.551	5.851	9.707	-13.858	25.561
SP	Equal variances assumed	0.388	0.536	-0.772	118	0.444	-2.344	3.038	-8.424	3.737
	Equal variances not assumed			-0.772	57.946	0.444	-2.344	3.038	-8.424	3.737
ksol	Equal variances assumed	5.64	*0.021	-1.35	118	0.182	-0.154	0.114	-0.383	0.074
	Equal variances not assumed			-1.35	55.164	0.182	-0.154	0.114	-0.383	0.075
Nasol	Equal variances assumed	1.687	0.199	-1.104	118	0.274	-4.534	4.107	-12.755	3.686
	Equal variances not assumed			-1.104	55.785	0.274	-4.534	4.107	-12.762	3.693
CaMgSOL	Equal variances assumed	0.888	0.35	-0.444	118	0.659	-14.472	32.62	-79.769	50.825
	Equal variances not assumed			-0.444	52.903	0.659	-14.472	32.62	-79.903	50.959
SAR	Equal variances assumed	9.112	*0.004	-1.97	118	0.054	-2.251	1.143	-4.539	0.037
	Equal variances not assumed			-1.97	35.296	0.057	-2.251	1.143	-4.57	0.068
HCO ₃	Equal variances assumed	9.28	*0.003	-1.434	118	0.157	-12.724	8.875	-30.49	5.042
	Equal variances not assumed			-1.434	29.006	0.162	-12.724	8.875	-30.876	5.428
Cl	Equal variances assumed	3.67	*0.060	-0.886	118	0.379	-29.197	32.961	-95.176	36.781
	Equal variances not assumed			-0.886	49.893	0.38	-29.197	32.961	-95.405	37.01
SO ₄	Equal variances assumed	0.868	0.355	-0.85	118	0.399	-3.432	4.037	-11.513	4.649
	Equal variances not assumed			-0.85	56.239	0.399	-3.432	4.037	-11.518	4.654
LL	Equal variances assumed	11.037	*0.002	-2.053	118	0.045	-4.924	2.398	-9.725	-0.124
	Equal variances not assumed			-2.053	42.57	0.046	-4.924	2.398	-9.762	-0.087
PL	Equal variances assumed	2.44	0.124	-0.727	118	0.47	-1.404	1.93	-5.267	2.459
	Equal variances not assumed			-0.727	43.072	0.471	-1.404	1.93	-5.296	2.488
PI	Equal variances assumed	1.328	0.254	-1.99	118	0.051	-3.52	1.769	-7.062	0.021
	Equal variances not assumed			-1.99	56.142	0.052	-3.52	1.769	-7.064	0.024

بررسی تاثیر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در اشکال فرسایشی واحدهای مارنی

جدول ۶ نتایج مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مربوط به اشکال فرسایشی ورقه‌ای و شیاری را به روش دانکن نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده از این مقایسه میانگین و همان طوری که در این جدول نیز مشهود است. متغیرهای درصد مواد آلی (درصد کربن)، نسبت جذب

سدیم، حد روانی و شاخص خمیری در این دو شکل فرسایش در واحدهای مارنی استان زنجان دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد و در سایر متغیرهای این تفاوت و اختلاف معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان با استفاده از این خصوصیات و متغیرها نسبت به تفکیک این دو شکل فرسایش در واحدهای مارنی منطقه مورد بررسی اقدام نمود.

جدول ۶: تجزیه واریانس و مقایسه میانگین خصوصیات اشکال فرسایشی به روش دانکن

Table 6: Analysis of variance and comparison of mean characteristics of erosion shapes using Duncan's method

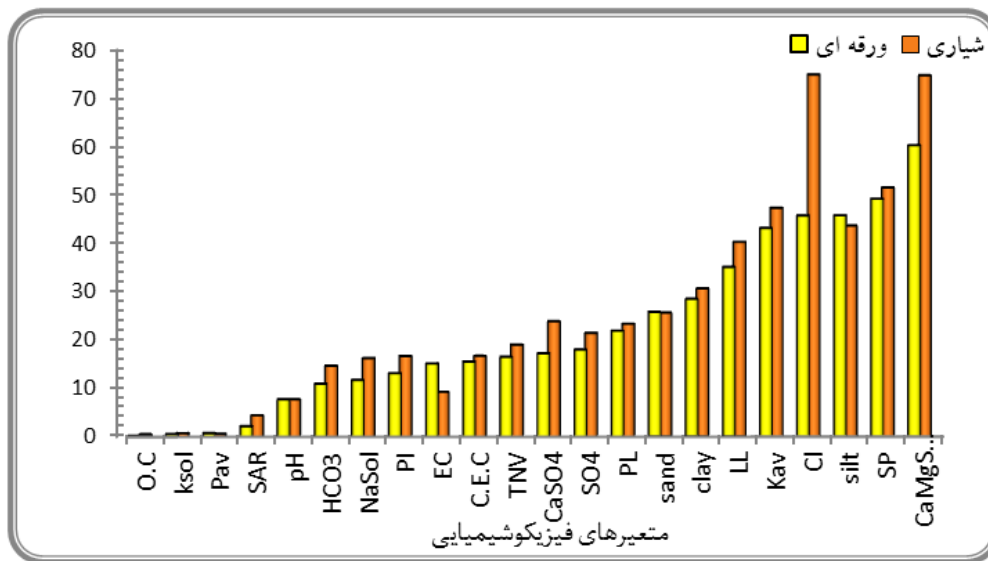
متغیر Variable	DF	Squares	Mean Square	F Value	F < Pr	سطح اطمینان Confidence level	شکل فرسایش Erosion Shapes	
						ورقه‌ای Sheet	شیاری Rill	
clay	1	68.27	68.27	0.98	0.327		28.53a	30.67a
Silt	1	66.15	66.15	0.54	0.467		45.8a	43.7a
Sand	1	66.15	66.15	0.54	0.467		25.83a	25.7a
CEC	1	21.09	21.09	1.83	0.181		15.54a	16.73a
OC	1	1.71	1.71	5.15	0.027	*	0.23b	0.56a
PAv	1	0.43	0.43	0.7	0.407		0.77a	0.6a
TNV	1	92.72	92.72	1.74	0.193		16.55a	19.04a
KAv	1	21499.91	21499.91	0.1	0.752		435.2a	473.4a
CaSO ₄	1	661.94	661.94	0.64	0.428		17.26a	23.9a
pH	1	0.001815	0.001815	0.06	0.812		7.74a	7.75a
EC103	1	513.65	513.65	0.36	0.549		15.15a	9.29a
SP	1	82.36	82.36	0.6	0.444		49.23a	51.57a
KSol	1	0.36	0.36	1.84	0.181		0.59a	0.74a
Nasol	1	308.3	308.3	1.22	0.274		11.74a	16.27a
CaMgSol	1	3141.58	3141.58	0.2	0.659		60.33a	74.8a
SAR	1	76.04	76.04	3.88	0.054	*	2.183b	4.435a
HCO ₃ ⁻	1	2428.38	2428.38	2.06	0.157		1.98a	14.71a
CL ⁻	1	12787.26	12787.26	0.78	0.379		45.76a	74.96a
SO ₄ ⁻	1	176.68	176.68	0.72	0.399		18.02a	21.45a
LL	1	363.74	363.74	4.22	0.045	*	b35.11	a40.03
PL	1	29.57	29.57	0.53	0.47		a21.94	a23.35
PI	1	185.89	185.89	3.96	0.051	*	b13.16	a16.68

خسارات عمده‌ای به این اراضی و بهره برداران وارد می‌نماید. فرسایش توده‌ای نیز در بخشی از اراضی مناطق ایجرود، دندی، ماهنشان، خدابنده و طارم در داخل واحدهای مارنی پلیوسن، قم و قرمز بالایی گسترش یافته و باعث ایجاد خسارت‌های مالی و محیط گردیده است. در هر حال اشکال مختلف فرسایش یکی از خصوصیات بارز در عرصه‌های مارنی است (Esmail Nejad et al, 2015). بر اساس نمودار فراوانی عناصر فیزیکوشیمیایی ترسیمی در شکل ۵ غالب عناصر فیزیکوشیمیایی در شکل فرسایشی شیاری نسبت به شکل فرسایشی صفحه‌ای بیشتر است و در واقع نشان‌دهنده افزایش این عناصر از فرسایش صفحه‌ای به فرسایش شیاری است. به طوری که بر اساس این نمودار به جز متغیرهای سیلت (Silt)، هدایت الکتریکی (EC) و فسفر قابل جذب (pav)، سایر عناصر و متغیرهای در فرسایش شیاری بیشتر از فرسایش صفحه‌ای است. بر این اساس می‌توان گفت که در شکل فرسایش شیاری متغیرهای فیزیکوشیمیایی تغلیظ و تمرکز بیشتری پیدا کرده که دلیل شدت فرسایش بیشتر از حالت فرسایش صفحه‌ای می‌باشد.

بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی واحدهای

مارنی با اشکال فرسایش

به طور کلی اشکال فرسایشی موجود در مارن‌های استان زنجان شامل فرسایش قطرات باران، فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، فرسایش تونلی، فرسایش هزار دره‌ای و فرسایش توده‌ای می‌باشد. اما از آنجایی که شرایط محیطی و فیزیکوشیمیایی مورد نیاز برای ایجاد و گسترش اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشد. لذا اشکال فرسایشی موجود در این واحدهای مارنی هم از حیث شکل فرسایش و هم از نظر گسترش و فراوانی در یک سطح نمی‌باشد. به طوری که اکثر این اشکال فرسایشی در واحدهای مارنی مورد بررسی با مقدار فراوانی و گسترش متفاوت قابل مشاهده می‌باشد. اما از نظر فراوانی و گسترش اشکال فرسایش غالب در آنها فرسایش سطحی یا ورقه‌ای و شیاری و آبراهه‌ای می‌باشد. البته فرسایش خندقی و توده‌ای نیز در غالب واحدهای مارنی مورد بررسی از فراوانی و گسترش چشم‌گیری برخوردار است. به طوری که در حوزه آبخیز زنجانرود وجود فرسایش خندقی در پایاب حوزه به یکی از معضلات اساسی در بهره‌برداری از اراضی کشاورزی تبدیل شده و سالانه



شکل ۵: نمودار فراوانی متغیرهای فیزیکو شیمیایی در اشکال فرسایشی صفحه‌ای و شیاری
 Fig. 5: Frequency diagram of physicochemical variables in sheet and rill erosion forms

اشکال فرسایشی و برخی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کمبود مواد آلی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در اشکال فرسایش بدلند محسوب می‌گردد، زیرا این مواد تاثیر زیادی در اصلاح بافت خاک دارد (Katharina, 2000). مقایسه میانگین کربن آلی در فرم‌های مختلف فرسایشی مشخص است که بین فرسایش آبکندی با هزاردره‌ای و شیاری با صفحه‌ای اختلاف معنی‌داری از نظر کربن آلی وجود ندارد، در صورتی که این اختلاف بین اشکال صفحه‌ای با آبکندی، صفحه‌ای با هزاردره، شیاری با آبکندی و شیاری با هزاردره معنی‌دار شد. مواد آلی باعث پایداری ساختمان خاک می‌شود به طوری که با رس‌ها کمپلکس پایداری را تشکیل می‌دهند و در برابر سدیم و pH زیاد خاکدانه‌ها را محافظت می‌کنند. خاک‌های مارنی که بیشتر املاح تشکیل دهنده آن‌ها نمک است، شرایط برای رشد گیاه فراهم نیست، بنابر این دارای فقر ماده آلی می‌باشند، که به طبع آن خاکدانه سازی و ساختمان‌سازی کم و ذرات بدون ساختمان به وجود می‌آید که این‌گونه خاک‌ها مستعد هرگونه فرسایش می‌باشند (Names and Yakov, 2005). بررسی اشکال فرسایشی مانند فرسایش ورقه‌ای، شیاری و بدلندی نشان داد که بیشترین شدت فرسایش شیاری و خندقی در رسوبات مارنی که دارای مقدار سدیم محلول و نسبت جذب سدیم بالایی (SAR) هستند، ایجاد می‌شود (Hamid Zadeh, 2002). حسن‌زاده نفوتی و همکاران (Esmail

بر اساس نتیجه بدست آمده از آزمون T، تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن خصوصیات فیزیکو شیمیایی اشکال فرسایش ورقه‌ای و شیاری واحدهای مارنی از بین ۲۲ متغیر فیزیکو شیمیایی ثبت شده و مورد بررسی از این اشکال فرسایش، متغیرهای درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو نوع فرسایش سطحی و شیاری دارای اختلاف معنی‌دار بوده و می‌توان بر اساس آنها بین دو شکل فرسایشی تمایز قایل گردید. البته این به معنای عدم اختلاف بین این دو فرسایش در سایر متغیرها و خصوصیات فیزیکو شیمیایی نیست. چرا که بین سایر متغیرها نیز اختلاف و تفاوت وجود دارد. ولی از نظر آماری اصطلاحاً گفته می‌شود که معنی‌دار نیست. لذا از این نظر این چهار متغیر به عنوان خصوصیات متمایز کننده بین این دو شکل فرسایش در بین واحدهای مارنی موجود در سطح استان در این تحقیق معرفی می‌گردند. نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج بسیار از محققانی که در این زمینه اقدام به انجام پژوهش نموده‌اند، مطابقت داشته و تایید شده است. به طوری که سانتیس و همکاران (Santis et al, 2010) معتقدند که بین برخی خصوصیات شیمیایی خاک‌ها و شکل فرسایش آنها یک رابطه معنی‌دار وجود دارد. به گونه‌ای که به کمک آنها می‌توان شکل فرسایش در هر نقطه از عرصه را پیشگویی کرد. مطالعه اشکال فرسایشی در مارن‌های ایران نشان می‌دهد که یک رابطه خطی بین

محلول و نسبت جذب سدیم زیاد است. سدیم زیاد باعث خاکدانه‌ها شده و نهایتاً وقوع فرسایش را تشدید می‌کند (Vacher et al, 2004). تحقیق میرزازاده و همکاران (Mirzazadeh et al, 2012) مشخص شده است که بین مقادیر نمک، گچ و آهک اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این سه عامل را می‌توان به عنوان شاخص‌های مهم در تفکیک اشکال فرسایش در نظر گرفت. اسماعیل نژاد و همکاران (Esmaeil Nejad et al, 2015) اثر ویژگی‌های شیمیایی خاک و کانی‌های رس بر اشکال مختلف فرسایش از منجیل تا گیلوان در استان گیلان مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق اسماعیل نژاد و همکاران (Esmaeil Nejad et al, 2015) مقادیر هدایت الکتریکی و یون سدیم دارای تفاوت معنی‌دار بین همه اشکال فرسایش می‌باشند. رضایی (Rezaei, 2016) در پژوهش خود نتیجه می‌گیرد که اشکال مختلف فرسایشی در میزان یون سدیم، نسبت جذب سدیم و میزان درصد رس، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. میزان میانگین یون سدیم و نسبت جذب سدیم از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی در مارن‌های منطقه افزایش یافته و میزان میانگین درصد رس از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی کاهش می‌یابد. همچنین سه متغیر یون سدیم، نسبت جذب سدیم و درصد رس نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در فرسایش مارن‌های منطقه و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی دانست. بنابراین بین نوع لندفرم و خواص فیزیکی و شیمیایی مواد سازنده و نحوه و میزان فرسایش‌پذیری آن ارتباط وجود دارد. رضایی (Rezaei, 2016) همچنین در بررسی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی واحدهای مارنی و تأثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه لانتشور پاکدشت، چهار متغیر یون سدیم، هدایت الکتریکی یا EC، سولفات و درصد سیلت نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در توسعه فرسایش و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی در مارن‌های منطقه می‌داند. بر اساس نتایج تحقیق پورحیدری و همکاران (Pourheydari et al, 2019) از نظر توزیع فراوانی نوع فرسایش، بیشترین نوع فرسایش مربوط به فرسایش سطحی و بارانی بوده و همچنین میزان هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبدالی و کلر با فرسایش لغزشی و پتاسیم با فرسایش بدلند رابطه مستقیم دارد و با کربن آلی رابطه معکوس دارد، در واقع کربن آلی نیز با پوشش

(Nejad et al, 2015). اظهار داشتند که پارامترهایی همچون SAR, EC, SO₄, K_d شکل‌گیری انواع فرسایش موثرند. مقدار این پارامترها از فرسایش سطحی به فرسایش شیاری افزایش می‌یابد. قدیمی عروس محله و همکاران (Ghadimi Arous Mahalle et al, 1999) دریافت که فرسایش ورقه‌ای فرآیندی متداول در مارن‌هایی با ویژگی غیرپخش شونده‌گی که سدیم محلول در آنها اندک است و اشکال شیاری، هزار دره‌ای و خندقی به‌طور معمول بر روی مارن‌های با ویژگی پخش شونده‌گی که سدیم محلول در آنها زیاد است مشاهده می‌گردد. همچنین با بررسی و مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که میزان سدیم، منیزیم S.A.R، pH و کربن آلی در فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری و هزاردره‌ای دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. علاوه بر این حمید زاده (Hamid Zadeh, 2002) نتایج فوق را بر روی مارن‌های تفرش تایید نموده است. عباسی و همکاران (۱۳۸۴) به این نتیجه رسیدند که هر چقدر میزان Ca, HCO₃, Na, Cl و گچ در مارن‌ها افزوده شود، شدت فرسایش بالا رفته و اشکال فرسایش شیاری، هزار دره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) گسترش می‌یابند. حشمتی (Heshmati, 1996) نتیجه گرفت که نوع سازند (به خصوص درصد رس و املاح آن) بیشترین تأثیر را در ظهور انواع اشکال فرسایش داشته است. مقادیر SAR و نوسانات آن اهمیت بالایی در فرسایش خاک داشته و معرفی برای پخش و تلاشی خاک محسوب می‌شوند (بوما و همکاران، ۲۰۰۰). در مورد یون سدیم، حداقل و حداکثر مقدار یون سدیم به ترتیب مربوط به فرسایش صفحه‌ای و خندقی است. یون سدیم دارای یک روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی است. همچنین با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس، بین تمام اشکال فرسایشی از نظر یون سدیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ بنابراین می‌توان یون سدیم را به‌عنوان یک شاخص برای تفکیک اشکال مختلف فرسایشی قلمداد کرد (Vacher et al, 2013; Bouma and Ghadimi Arous Mahalle et al, 1998; Imeson, 2000). در بین انواع فرم‌های فرسایش، فرسایش ورقه‌ای در اراضی مارنی دارای غلظت کم یون سدیم، نسبت جذب سدیم پایین و مواد غیر پخش شونده، مقدار متوسط املاح، سیمای غالب فرسایش است؛ در حالی که بیشترین تراکم فرسایش شیاری و آبکندی مربوط به مارن‌هایی با سدیم

فراوانی در یک سطح نمی‌باشد. از نظر فراوانی و گسترش اشکال فرسایش غالب در آنها فرسایش سطحی یا ورقه‌ای و شیاری و آبراهه‌ای می‌باشد. البته فرسایش خندقی و توده‌ای نیز در غالب واحدهای ماری مورد بررسی از فراوانی و گسترش چشم گیری برخوردار است. بررسی تفاوت‌ها و تغییرات خصوصیات فیزیکی شیمیایی واحدهای کاری ماری در دو عمق ۰-۱۰ و ۰-۳۰ سانتیمتری به روش آزمون t نشان داد که واحدهای کاری ماری در دو عمق فوق در اکثر متغیرهای فیزیکی شیمیایی دارای ضریب همبستگی بالا بوده و در متغیرهای سیلت (Silt)، ظرفیت تبادل کاتیونی (C.E.C)، درصد مواد آلی (O.C)، درصد مواد خنثی شونده (درصد آهک) (TNV)، مقدار سدیم محلول (NaSol)، مقدار سدیم محلول (NaSol)، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار کلر (Cl)، سولفات (So4) و حد روانی (LL) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. بر اساس نتیجه بدست آمده از آزمون T، تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن خصوصیات فیزیکی شیمیایی اشکال فرسایش سطحی و شیاری واحدهای ماری از بین ۲۲ متغیر فیزیکی شیمیایی ثبت شده و مورد بررسی از این اشکال فرسایشی متغیرهای درصد مواد آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) در هر دو نوع فرسایش سطحی و شیاری دارای اختلاف معنی‌دار بوده و می‌توان بر اساس آنها بین این دو شکل فرسایشی تمایز قایل گردید. لذا از این نظر این چهار متغیر بعنوان خصوصیات متمایز کننده بین این دو شکل فرسایش در بین واحدهای ماری موجود در سطح استان زنجان در این تحقیق معرفی می‌گردند.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

گیاهی رابطه مستقیمی دارد، به طوری که مواد آلی باعث افزایش پوشش گیاهی و پوشش گیاهی نیز منجر به آبشویی سدیم و پتاسیم و در نتیجه بر میزان هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم تاثیر مستقیم دارد. بیشینه مقدار حد خمیری مربوط به هزاردره‌ها و کمینه آن مربوط به شیاریها است. با افزایش مقدار رس خاک، حدود روانی و خمیری افزایش می‌یابد. در واقع با کاهش اندازه ذرات، رطوبت حد خمیری و روانی افزایش یافته ولی افزایش حد روانی (سیلان) بیشتر می‌باشد. تغییرات رطوبت حد خمیری به مراتب کمتر از حد سیلان بوده، با افزایش سطح ذرات رس در خاک افزایش می‌یابد، ولی این افزایش متناسب نیست. بنابراین حد خمیری را نمی‌توان فقط تابع ساده ای از رطوبت موجود در روی ذرات رس تصور نمود (Wang et al, 2012). بر اساس نتایج به دست آمده، خاک‌ها دارای حدود آتربرگ نسبتاً بالایی هستند که علت این امر را باید اولاً به دلیل رس زیاد و ثانیاً به پائین بودن درصد آهک در این خاک‌ها نسبت داد. زیرا وجود آهک از طریق ایجاد ساختمان و افزایش نفوذپذیری باعث کاهش حد روانی و حد خمیری خاک‌ها می‌شود. خواص، خمیری خاک ناشی از آب جذب شده‌ای است که ذرات رس را احاطه کرده است، می‌توان انتظار داشت که نوع و مقدار کانی‌های رسی، بر روی حدود روانی و خمیری و در نتیجه در فعالیت خاک نیز مؤثر خواهد بود (Bybordi, 2001).

نتیجه‌گیری

اشکال فرسایشی موجود در مارن‌های استان زنجان شامل فرسایش قطرات باران، فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، فرسایش تونلی، فرسایش هزار دره‌ای و فرسایش توده‌ای می‌باشد. اما از آنجائی که شرایط محیطی و فیزیکی شیمیایی مورد نیاز برای ایجاد و گسترش اشکال فرسایشی متفاوت می‌باشد لذا اشکال فرسایشی موجود در این واحدهای ماری هم از حیث نوع شکل فرسایش و هم از نظر گسترش و

پانویس

1-Lower Red formation

References

Abdinejad, P., Pirvan, HR., Mousavi, J. and Heydari, A., 2017. Final-Special Report, Investigation of Physical, Mechanical and Chemical Properties of Marls in Zanjan Province and Its Relationship

with Erosion Type, Tehran: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Registration No. 51966, 2017
Abdinejad, P., Feiznia, S. and Peyrowan, H.R., 2011. Study of characterization, mechanical erodible

- marl formations Zanjan. Final Report of Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, 92 p. (In Persian).
- Ahmadi, H., 1999. Applied Geomorphology Vol. 1 (Water Erosion). Second Edition. Tehran University Press.
- Ahmadi, H., 2008. Applied Geomorphology, Volume 1, Water erosion, Tehran University Publications.
- Aksoy, H., Unal, N.E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., Inci, S.B., Eris, E. and Pak, G., 2013. Laboratory experiments of sediment transport from a bare soil with rill. *Hydrol. Sci. J.* v. 58(7), p. 1505-1518.
- Benito G., Gutierrez, M. and Zaragoza, Cs., 1993. The influence of physicochemical properties on erosion process in badland areas, Ebro Basin NE-Spain *Geomorph. NF.* v. 37.2.199.214.
- Bouma, N.A. and Imeson, A.C., 2000, Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. *Journal of Catena*, v. 40, p. 147-171.
- Bybordi, M., 2001. Soil physics. Tehran University Press, 671 pages (In Persian).
- Esmail Nejad, L., Ramezanzpour, H. and Seyed Mohammadi, J., 2015. The development of different types of erosion due to changes in soil physical properties and clay mineral types in marl lands in southern Guilan Province. *Watershed Engineering and Management*, v. 7(4), p. 523-535. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=358570>
- Esmail Nejad, L., Seyed Mohammadi Marsht, J. and Shaban Pourshahrestani, M., 2013. The effect of chemical and mineralogical properties of marls on different forms of erosion in southern Guilan Province. *Watershed Management Research (Research and Construction)*, v. 26(1 (98th series), p. 2-14.
- Gallart, F., Pérez Gallego, N., Latron, J., Catari, G., Martmez Carreras, N. and Nord, G., 2013. Short and long-term studies of sediment dynamics in a small humid mountain Mediterranean basin with badlands. *Geomorphology*, v. 196, p. 242-251.
- Ghadimi Arous Mahalle, F., Pourmatin, A. and Ghodousi, J., 1999. The effect of physical and chemical properties of marls on creating erosion potential forms. The First Conference on Geology and Environment of Iran. October 19, 1999, Tehran, Iranian Society of Engineering Geology and Iranian Society of Engineering Geology, p. 919-929.
- Ghasemi Dehnavi, A., Sarikhani, R., Shoaei, Z. and Karimi Khalidi, M., 2015. Investigation of Physical and Chemical Properties of Neogene Marls on Erosion Forms and Intensity in the Varamin Region, Southeast of Tehran Province. *Bi-Quarterly Journal of Applied Sedimentology*, v. 3(6), p. 57-69.
- Ghavami, Sh., 1980. Studying the relationship between geomorphology and erosion in the Miocene Formation of Taleghan Basin. Faculty of Natural Resources, Karaj, Master's thesis in watershed management.
- Ghodosi, F. and Pourmatin, J., 1999. The effect of physical and chemical properties of marls on creating erosion potential forms. First Iranian Geology and Environment Conference. p. 929-919.
- Ghodosi, J., Sepehriyan, M., Ghadimi Arous Mahalle, F. and Pourmatin, A., 1997. Identification and classification of marls and mudstones in the watershed. Tehran Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.
- Hamid Zadeh, S., 2002. Marl soils and different types of erosion in Iran. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 2 paper No, sym. v. 37. P.N. 2235, p. 1-8.
- Hassanzadeh Nafouti, M., Feiznia, S., Ghayoumian, J., Ahmadi, H., Pirovan, H. (2006). Investigating the effective properties on marl erodibility - case study of Ivanki watershed (brine water). PhD thesis in watershed management. Islamic Azad University - Science and Research Branch.
- Heshmati, M., 1996. Physical-chemical properties. Erosibility and sediment production of Pabdeh, Gachsaran and Aghajari formations in Qasr-e Shirin region. Master's thesis in watershed management. University of Tehran.
- Hosseini, M.S., Mosaedi, H., Naseri, K. and Golkarian, A., 2012. Identification of the most effective elements on rill erosion in the hill slope units of Mashhad south west, Iran. *Geog. Environ. Hazards*. v. 2, p. 87-99 (In Persian).
- Imeson, A.C., 1982. The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badlands in morocco. *Badland geomorphology and piping*. Bryan & yair (eds.), p. 47-57.
- Katharina, J.A., 2008. Badlands in marl lithologies: A field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies. *Catena*, v. 04-005.
- Mirzazadeh, S., Karimpour Reyhan, M. and Espahbod, M., 1391. Sedimentology and determination of erodibility indices of marls of the Upper Red Formation in the Ivanki region. *Quarterly Journal of Environmental Geology*, v. 6(19), p. 65-80.
- Moreno, M., 2016. Lithology controls the regional distribution and morphological diversity of montane Mediterranean badlands in the upper Llobregat basin (eastern Pyrenees), v. 273, p. 107-115.
- Names, A., Rawls, J. and Yakov, A., 2005. Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society American Journal*, v. 69, p. 1330-1337.

- Pourheydari, S., Ahmadi, H., Moeini, A., Feiznia, S. and Jafari, M., 2019. Investigating the effect of physical and chemical properties of marls on the rate and forms of their erosion, case study: Aun Ibn Ali Basin (Sorkhab Tabriz), Quarterly Journal of Rangeland and Watershed Management, 73rd year, v. 3, p. 487-473.
- Rainfall. Iranian Journal of Engineering Geology Society, v. 1387(1), p. 35-48 (In Persian).
- Rezaei, K., 2016. Study of effects of physical and chemical properties of marls on erosion and sediment production of them using rainfall simulator in Lotshour-Pakdasht area. *jsaeh.*; v. 3(3), p. 21-40 URL: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2618-fa.html>
- Rezaei, K., 2016. The effect of physical and chemical properties of marl sediments on their erosion and sedimentation using a rain simulator in the Latshor Pakdasht region. Spatial analysis of environmental hazards. 2016; v. 3(3), p. 21-40
- Rezaei, K., 2016. The effect of physicochemical properties of marls on their erodibility using a rain simulator in the Nobaran region, Saveh, Quantitative Geomorphology Research, 5th year, Winter 2016, v. 3 (serial 19).
- Rienks, S.M., Botha, G.A. and Hughes, J.C., 2000. Some Physical and Chemical properties of Sediments Exposed in a Gully (Donga) in Northern KwaZulu-Natal, South Africa and their Relationship to the Erodibility of the colluvial Layers. *Catena*, v. 39, p. 11-31.
- Salmasi, R. and Ahmadi, A., 2012. The relationship between soil characteristics of marls and different forms of erosion in the Talkhe Rud watershed. *Geography and Environmental Sustainability (Geographical Research Journal)*, v. 2(3), p. 11-23. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=199317>
- Santis, F., Giannossi, M.L., Medici, L., Summa, V. and Tateo, F., 2010. Impact of physicochemical soil properties on erosion features in the Aliano area (Southern Italy) *Catena* 81(2), p. 172-181.
- Suzanne, V. et al, 1999. Some physical and chemical properties of sediments exposed in gully in northern Kwazulu-Natal, South Africa, Hughes University of Natal. *Soil Science*, v. 155, p. 45-50.
- Thomas, M., Hill, S.M., Spry, M.J., Chen, X.Y., Mount, T.J. and Sheldon, F., 2004. The geomorphology of the Barwon-Darling Basin. In: Breckwoldt, R., Boden, R. & Andrew J., The Darling. Murray-Darling Basin Commission, p. 68-103.
- Thornes, I.B., 1980. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls, a theoretical viewpoint, in: M.J. Kirkby and R. P. C. Morgan (Editors), *Soil erosion*, Wiley, p. 120-128.
- Vacher, C.A., Raine, S.R. and Loch, R.J., 2004. Testing procedures to characterize tunneling risk on soil materials. 13th International Soil Conservation Organization Conference-Brisbane. July 2004 (ISCO).
- Vacher, C.A., Raine, S.R. and Loch, R.J., 2004. Testing procedures to characterize tunneling risk on soil materials. 13th International Soil Conservation Organization Conference-Brisbane. July 2004 (ISCO).
- Vaezi, A., Gharehdaghi, H. and Marzvan, S., 2016. Investigating the role of slope and soil characteristics in causing rill erosion on slopes (Case study: Tahamchay watershed, northwest of Zanjan), *Journal of Soil and Water Conservation Research*, v. 23(4), p. 100-83. Doi: 10.22069/jwfst.2016.8978.2280
- Vaezi, A.R. and Gharehdaghi, H., 2013. Quantification of rill erosion development in marl soils of Zanjan Roud watershed in North West of Zanjan. *Iran. J. Water Soil.*, v. 27, p. 872-881 (In Persian).
- Vatani, A. and Vaezi, A.R., 2014. Soil loss in rill and temporal variation during rainfall in different soil textures. *Water and Soil Science*, v. 24(3), p. 83-92 (In Persian).
- Wang, L., Yan, M., Zhang, Q. and Zhikaun, J., 2012. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern loess Plateau of China. *Soil, Air and Water*, v. 40(1), p. 7-15.
- Wichmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.V., 1971. A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, *J. Soil and Water Conser*, v. 26, 189-193.