Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

Research Article

Marl units classified of Zanjan province based on physiochemical characteristics and Cluster analysis

Parviz Abdinezhad[1*], Sadat Fieznia[2], Hamidreza Peyrowan[1]

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

2-Department of Agriculture and Natural Resources, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 12 Apr 2021 Accepted: 09 Oct 2021

Extended Abstract

Introduction

Marly units cover about 4438 square kilometers (20% of the total area) of Zanjan Province territory. The research shows that various scholars, although sporadically, have considered a relationship between physicochemical factors and the classification of Marl. In this paper, the classification of Marls in Zanjan Province has been investigated based on physicochemical properties and cluster analysis.

Materials and Methods

To conduct this research, 18 studied units have been defined by grouping and combining the slope, climate and Marl units of geological formations in ArcGIS9.3 software environment. In addition, 120 samples were taken from two depths of 0-10 and 0-30 cm. The data obtained from physicochemical analyzes were analyzed using SPSS statistical program.

Results and Discussion

According to the results, Marl units of Zanjan province, are divided into two groups based on their physicochemical characteristics: evaporative or non-marine such as Pliocene, upper red, lower red, and Eocene Marl, and non-evaporative or marine such as Qom and Cretaceous Marl.These marl units are part of normal formations in the surface layers while in the deep layers the situation is different, the salinity and alkalinity of some of these units such as Pliocene and Qom marl units increases. But other units, despite the increase in depth according to the chemical analysis performed at a depth of 0-30 cm, are still in normal category in terms of salinity and alkalinity. According to cluster analysis, 6 variables including clay, sand, PI, cation exchange capacity (CEC), the amount of dissolved sodium (Nasol) and sulfate (So4) were situated in the center of the classification. This shows their importance in the separation and grouping of marl units. Therefore, it can be concluded that these 6 variables can be effective and useful in classification of marl units in Zanjan province.

Citation: Abdinezhad, P., Fieznia, S. and Peyrowan, H.R., 2021. Marl units classified of Zanjan province based on physiochemical characteristics and Cluster analysis, Iran, *Res. Earth. Sci:* 12(4), (1-18) DOI: 10.48308/esrj.2022.101293

* Corresponding author E-mail address: prz_abdi@yahoo.com

Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Shahid Beheshti University

Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

Conclusion

Investigation of differences and changes in physicochemical properties of marl units at depths of 0-10 and 0-30 cm by t-test show that the units at the two mentioned depths have a high correlation coefficient in most physical, mechanical and chemical variables. Also, they show significant differences in some variables as silt, cation exchange capacity (CEC), percentage of organic carbon, the total neutralizing value (TNV) of the limestone, the amount of dissolved sodium (NaSol), sodium absorption ratio (SAR), Chloride (Cl), sulfate (SO4) and the liquid limit (LL). Therefore, according to these physicochemical properties, it is possible to classify and group Marls in Zanjan Province.

Investigation of the effect of physicochemical variables on the separation of marl units using F-test and comparison of means for different units by Duncan test confirmed the feasibility of separation and grouping of marl units based on physicochemical variables. They can be classified at least in one group based on the electrical conductivity or at most in three groups according to effective variables such as silt, sand, lime percentage, sodium absorption ratio and liquid limit and plasticity index.

Based on the cluster analysis, 6 variables of the amount of clay, sand, and the plasticity index (PI), cation exchange capacity (CEC), dissolved sodium (NaSol) and sulfate (So4) are vital in the classification and indicate importance in separation and grouping of Marl units. Therefore, it can be said that these 6 variables can be effective and useful in providing a classification of marl units in Zanjan Province.

Keywords: Zanjan province, Cluster analysis, Physicochemical, Classification, Marly units.

Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

طبقه‌بندی مارن‌های استان زنجان براساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تحلیل خوشه‌ای

پرویز عبدی نژاد*[۱]، سادات فیض نیا[۲]، حمیدرضا پیروان[۱]

۱-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۲-گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۷/۱۷

چکیده

واحدهای مارنی در حدود ۴۴۳۸ کیلومترمربع از سطح استان زنجان معادل ۲۰ درصد را تشکیل می‌دهند. در این مقاله طبقه‌بندی مارن‌های استان زنجان براساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی واحدهای مارنی، ۱۸ واحدهای کاری مشخص شده و در عملیات صحرایی اقدام به نمونه‌برداری از مواد مارنی به تعداد ۱۲۰ نمونه از دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری گردید. داده‌های حاصله با استفاده از برنامه آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج تحقیق، واحدهای مارنی استان زنجان با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها به دو گروه تبخیری یا غیر دریایی شامل واحدهای مارنی پلیوسن، قرمز بالایی، قرمز پائینی و مارن ائوسن و مارن غیر تبخیری یا دریایی شامل واحدهای مارنی قم و مارن کرتاسه می‌باشد. واحدهای مارنی در لایه‌های سطحی جزء سازندهای عادی هستند و در لایه‌های عمقی وضعیت متفاوت است و بر مقدار شوری و قلیائیت برخی از این واحدها افزوده می‌شود. بررسی تفاوت‌ها و تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی واحدهای کاری مارنی به روش آزمون t نشان داد که واحدهای کاری مارنی در دو عمق فوق در اکثر متغیرهای دارای ضریب همبستگی بالا و اختلاف معنی‌دار می‌باشند که می‌توانند براساس این خصوصیات طبقه‌بندی شوند. همچنین بررسی متغیرهای فیزیکوشیمیایی واحدهای مارنی به روش آزمون F و مقایسه میانگین‌ها، نشان داد که واحدهای مارنی قابل تفکیک و گروه‌بندی می‌باشند. براساس تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ۶ متغیر فیزیکوشیمیایی در ارائه یک طبقه بندی از واحدهای مارنی استان زنجان موثر و مفید باشند.

واژه‌های کلیدی: استان زنجان، تحلیل خوشه‌ای، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، طبقه‌بندی، واحدهای مارنی.

*- نویسنده مسئول: Email: Prz_abdi@yahoo.com

مقدمه

مارن‌ها مواد زمین‌شناسی ناپیوسته رسوبی متشکل از ذرات تخریبی و شیمیایی هستند که از نظر طبقه‌بندی سنگ‌ها، بین سنگ‌های رسوبی تخریبی و سنگ‌های رسوبی شیمیایی قرار می‌گیرند. نسبت ذرات تخریبی و شیمیایی در یک مارن ممکن است از ۴۰ تا ۶۰ درصد متغیر باشد. ذرات تخریبی در یک مارن عمدتاً از سیلت و رس بوده ولی مواد شیمیایی در مارن، متنوع می‌باشد. کربنات کلسیم همیشه بخش مهمی از مارن را تشکیل می‌دهد که ممکن است همراه با یک یا چند کانی شیمیایی دیگر شامل ژیپس، انیدریت و نمک طعام باشد. شرایط تشکیل مارن به نحوی است که گسترش آنها از نظر مکانی و زمانی (مزوزوئیک تا ترشیاری) بسیار زیاد است. مارن‌های ایران حدوداً از اوایل - اواسط دوران مزوزوئیک تشکیل شده‌اند (حسن زاده نفوتی، ۱۳۸۵). در حوضه‌هایی که دارای واحدهای مارنی هستند، قسمت عمده رسوبات از این واحد تولید می‌شود. مارن‌ها که یکی از مسایل مهم و تعیین کننده برای ارائه راهکارهای موثر در مهار فرسایش و رسوب از عرصه‌های مارنی هستند، در طرح‌های آبخیزداری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نتیجه حاصل، اعمال مدیریت‌ها و اجرای عملیاتی بوده است که به ویژه تا قبل از دهه ۱۳۶۰ منجر به شکست برنامه‌ها شده و اهداف مورد نظر، حاصل نشده‌اند (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۶). با شناخت شاخص‌های موثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها می‌توان در الویت‌بندی اراضی مارنی جهت اصلاح و بهبود این اراضی به منظور کاهش فرسایش و تولید رسوب، اقدام نمود (نفوتی و همکاران، ۱۳۸۷). بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که محققین مختلف هر چند پراکنده، رابطه بین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی را با طبقه بندی مارن‌ها مورد توجه قرار داده‌اند که البته هر کدام از آنها در منطقه مورد مطالعه موضوع فوق را، بررسی نموده است. اغلب نتایج به دست آمده از این تحقیقات نشان می‌دهد که نسبت جذب سدیم (S.A.R) مهم‌ترین فاکتوری است که با نوع مارن و نوع فرسایش رابطه موثری نشان می‌دهد و اغلب آنها بیان نموده‌اند که متغیرهای شیمیایی برای طبقه‌بندی مارن‌ها و تعیین نوع فرسایش از متغیرهای فیزیکی، مناسب‌تر می‌باشد. بنیتو و همکاران (Benito et al, 1991)، در اسپانیا با مقایسه میانگین مقادیر استاندارد متغیرهای فیزیکی و شیمیایی و مقادیر استاندارد متغیرها در توابع متمایز کننده، معلوم کردند که سدیم مهم‌ترین متغیری است که در طبقه‌بندی مارن‌ها نقش اصلی دارد. سردا و همکاران (Cerda, 1997) به کمک یک دستگاه شبیه‌ساز باران میزان رسوبدهی هر یک از واحدهای مارنی را اندازه‌گیری کرده و براساس میزان رسوبدهی، واحدهای مارنی طبقه‌بندی شدند. اسماعیل‌پور (۱۳۷۵) پارامترهای درصد رس، درصد ماسه، وزن مخصوص ظاهری، حد روانی Ec، K، pH، SO4، Ca، درصد گچ و TNV را به عنوان پارامترهای موثر در تعیین حساسیت به فرسایش و شاخص طبقه‌بندی مارن‌ها در نظر گرفته است. قدوسی و همکاران (۱۳۷۶)، با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی، مارن‌ها را طبقه‌بندی‌کرده‌اند و چنین اظهار نموده که از میان متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، فقط متغیرهای شیمیایی در طبقه‌بندی فرسایشی مارن‌ها از نظر رسوب‌زایی اهمیت‌دارند و با تحقیقات خود مشخص نموده‌اند که سدیم مهم‌ترین متغیری است که در طبقه‌بندی مارن‌ها نقش اصلی را دارد. احمدی (۱۳۷۸) در طرح بررسی مارن‌های میوسن حوزه آبخیز طالقان به منظور مشخص نمودن اشکال مختلف فرسایش از نظر کمی و کیفی، سعی نموده تا مارن‌ها را براساس ویژگی‌های آنها و عواملی نظیر

توپوگرافی، اقلیم، شکل فرسایش، طبقه‌بندی و اشکال فرسایش غالب را بررسی نماید. قدیمی عروس‌محله و همکاران (۱۳۷۸) در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی منشاء مارن‌های تفرش بیان داشته‌اند که اکسیدهای اصلی مانندAl2O3 و Na2O و نیز عناصر فرعی چون، Zr، Co، Ni، Ba و Rb مهم‌ترین عناصر در تفکیک منشاءهای مختلف سازندهای منطقه بوده و اظهار داشتند که فقط شش متغیر در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه نقش اساسی ایفا می نماید که مهم‌ترین آنها سدیم است. به طور کلی آن ها نتیجه گرفتند که از بین کلیه متغیرهای فیزیکی و شیمیایی فقط متغیرهای شیمیایی هستند که در طبقه‌بندی مارن‌ها از نظر تولید رسوب دارای کاربرد می‌باشد. از این رو می‌توان اقدامات اصلاحی را به منظور کاهش تولید رسوب و مهار آن متناسب با ویژگی‌های شیمیایی در مارن‌ها انجام داد. عباسی و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیق خود سازندهای مارنی حوضه قزل‌اوزن را براساس لیتولوژی و سیمای فرسایش بررسی و طبقه‌بندی نموده است. سکوتی اسکوئی و همکاران (۱۳۸۸) براساس تحقیق انجام شده تحت عنوان طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان آذربایجان غربی اظهار می‌دارند که سدیم، کلر، درصد ماسه، آهک، ضریب خمیری، حجم رواناب، شکل فرسایش و نسبت رس از جمله عوامل موثر بر طبقه‌بندی مارن‌ها می‌باشد که از بین اینها حجم رواناب موثرترین آنها است. امیری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی متغیرهای موثر در طبقه‌بندی مارن‌های استان همدان و شناسایی مدل‌هایی جهت طبقه‌بندی آن‌ها و تعیین رابطه بین گروه‌های مارنی با نوع و شدت فرسایش پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مارن‌های منطقه به تفکیک متغیرهای شیمیایی، فیزیکی و ترکیب آن‌ها به ترتیب به چهار (S1, S2, S3, S4)، پنج (P1, P2, P3, P4, P5) و شش (T1, T2, T3, T4, T5, T6) گروه تقسیم می‌شوند. توابع خطی فیشر که از این طبقه‌بندی‌ها به دست آمده است، گروه‌های مارنی را به ترتیب با دقت هایی معادل۹۶/۵، ۸۳/۹ و ۹۶/۹ درصد درست پیش‌بینی می‌نمایند که متغیرهای شیمیایی برای طبقه‌بندی مناسب‌تر می‌باشند. این پژوهش نشان می‌دهد که مارن‌های با حد روانی بالا و حاوی مقدار کمی از مواد خنثی شونده دارای قابلیت فرسایش پذیری بیشتری هستند. جون و همکاران (Jung, 2009) در تحقیقی برای طبقه‌بندی مارن‌ها، از خصوصیات فیزیکی ساختاری آن‌ها استفاده کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌توان با ایجاد تغییراتی در مارن از آن به عنوان ماده‌ای در ساخت و ساز مهندسی استفاده کرد. در سال ۲۰۰۵ طی بررسی کمیته فنی بخش محیط زیست وزارت محیط زیست و فواید عامه طرحی تحت عنوان اقدام ملی برای دو منطقه باربودا و آنتیگوا تنظیم و طی این مطالعه مشخص شد، مارن‌ها لایه سطحی سنگ سیلت استون را تشکیل داده، نسبت به سایر لایه‌ها مقاومت کمتری نسبت به فرسایش دارند (United Nations Convention to Combat Desertification, 2005). همچنین، در کتابی که به وسیله USDA در سال ۲۰۱۲ منتشر شده، با استفاده از خواص معین ماده سنگ مانند خواص مربوط به خود سنگ و توده سنگ در محل، از جمله ناپیوستگی آن اقدام به تعیین میزان مقاومت و پایداری آن کرده‌اند (USDA, 2012). به‌طور کلی، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اولا وجود ترکیباتی چون مواد آلی، آهک و اکسیدهای آهن و آلومینیوم به عنوان سیمان، باعث پایداری مارن‌ها و یون‌های سدیم با پخش کردن ذرات رس موجب ناپایداری و افزایش شدت فرسایش در آن‌ها می‌شود (Greenland, 1975، Payne ;Roth et al, 1984 Heed, 1971،). دپارتمان حمل و نقل ایالت ایندیانا در ایالات متحده نیز در مطالعات و گزارشات خود

براساس آزمایشات ساده‌ای اقدام به شناسایی و طبقه‌بندی مارن‌های ایالت در دو گروه خاک‌های آلی و کربناته کرده و هر گروه را براساس آزمایشات به چهار بخش تقسیم نموده است (INDOT, 2016; El Howayek, 2012). بر این اساس در این تحقیق مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مد نظر قرار گرفته و این خصوصیات از طریق به کارگیری روش آنالیز رگرسیون چند متغیره مورد ارزیابی و از این طریق مهم‌ترین خصوصیات موثر و مناسب برای طبقه‌بندی شناسایی و معرفی گردیده است.

بدیهی است که نتایج این طرح در درجه اول برای مارن‌های استان زنجان قابل کاربرد خواهد بود و برای رسیدن به نتایج کلی و قابل تعمیم آن به سایر مناطق باید همین تحقیقات و تجزیه و تحلیل‌ها در سایر مناطق ایران و جهان انجام و با هم مقایسه شود تا بتوان به نتایج ارزنده و کاملاً قابل قبولی، دست یافت. قطعاً در پایان و با اجرای تجزیه و تحلیل همه داده‌ها، نوع متغیرهایی که در کل مارن ها و به خصوص مارن‌های ایران جهت طبقه‌بندی، تعیین شدت و میزان فرسایش نقش اساسی ایفا می نمایند، شناسایی و معرفی خواهند شد و امیدواریم به این سوال که آیا نتایج تحقیقات بر روی مارن‌ها و فرسایش‌پذیری آنها مخصوص همان منطقه‌ای است که تحقیقات بر روی آن انجام شده است و یا قابل کاربرد برای سایر مناطق نیز می‌باشد، جواب داده شود.

با توجه به این مطالب در این مقاله نیز تلاش گردیده که طبقه‌بندی واحدهای مارنی استان زنجان براساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی مورد بررسی قرار گیرد تا ازاین طریق بتوان در برنامه ریزی‌های آینده برای کنترل فرسایش و رسوبزایی این نوع اراضی استفاده نمود.

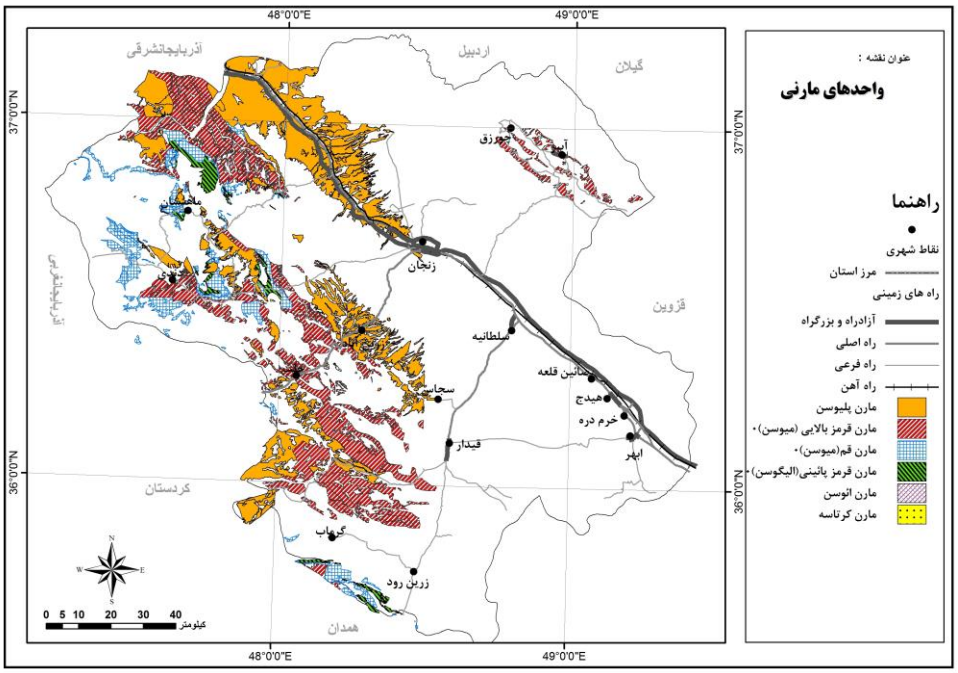
منطقه مورد مطالعه

استان زنجان با وسعت ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی شمال غرب کشور بین طول جغرافیایی ‘۱۵و°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، استان زنجان دارای تیپ اراضی کوهستان، تپه‌ماهور، فلات و دشت (دارای ۷ دشت مهم) می‌باشد. به‌طوری که بیشترین وسعت آن را مناطق کوهستانی و تپه ماهورها فرا گرفته است. استان زنجان دارای دو حوزه آبریز اصلی با محدوده کاملاً مجزا است، که شامل حوضه آبخیز قزل اوزن به مساحت ۱۹۰۶۴ کیلومترمربع معادل ۸۶ درصد سطح استان و حوضه آبریز رودخانه شور به وسعت ۳۱۰۰ کیلومترمربع معادل ۱۴ درصد سطح استان می‌باشد. استان زنجان به دلیل واقع شدن در موقعیت میانی حوزه آبریز 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

براساس نقشه واحدهای مارنی به‌طورکلی 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

رخنمون‌هائی از مارن و کنگلومرا به صورت تپه‌های به هم چسبیده کم ارتفاع با سطوح فرسایشی صاف گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل مارن، سیلت، کمی به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه‌ای (Plm) و حاشیه‌ای شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن (Plc) تشکیل شده‌اند. 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 زمین-شناسی 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، ژیپس 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 عمدتا 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. در شکل ۲ نمایی از واحدهای مارنی قرمز بالایی در منطقه اندآباد شهرستان زنجان دیده می‌شود. واحد مارنی قرمز زیرین[1] 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.



شکل ۱: نقشه گروه‌بندی و پراکنش واحدهای مارنی استان زنجان

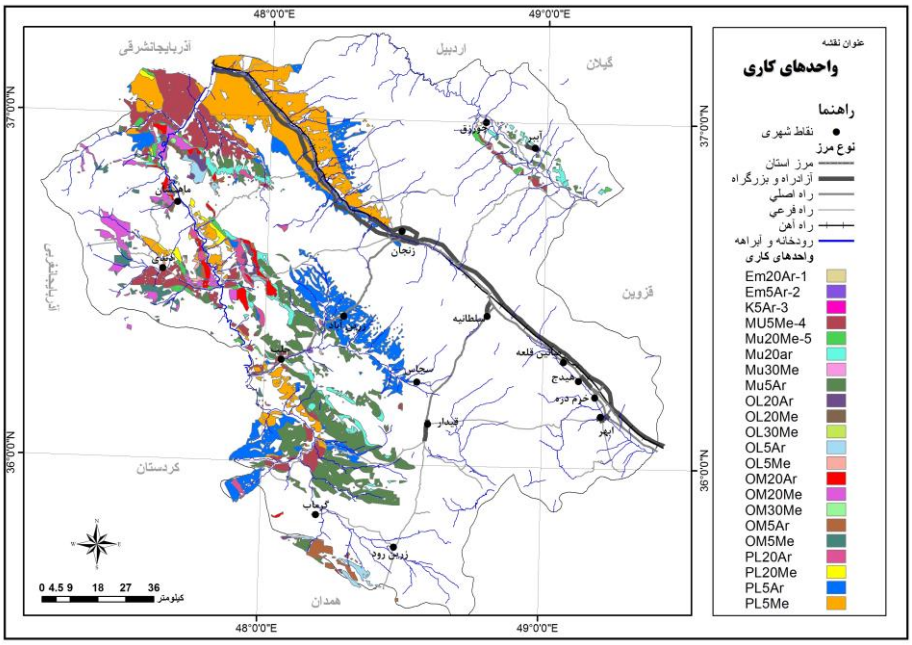
مواد و روش‌ها

این تحقیق بخشی از نتایج به دست آمده از اجرای یک طرح تحقیقاتی می‌باشد (عبدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) 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 ۰-۱۰، ۱۰-۳۰ و ۳۰< 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 نرم‌افزار ArcGIS10 نقشه واحدهای کاری در ۲۰ واحد تهیه شد (شکل ۳) (حسن زاده نفوتی و همکاران، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۸). از این ۲۰ واحد ۲ واحد به‌دلیل موقعیت قرارگیری و وسعت کم امکان (حدود ۴۰۰ مترمربع و در بالای کوه که امکان استقرار دستگاه شبیه‌ساز باران وجود نداشت) بررسی نبود. لذا تعداد واحدکاری به ۱۸ واحد کاهش یافت. پس از تعیین واحدهای کاری، با انجام عملیات صحرایی اقدام به نمونه‌برداری از واحدهای مارنی از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری به تعداد ۱۲۰ نمونه گردید. نمونه‌های 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. تجزیه و تحلیل آماری تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفته است.

شکل ۲: نمایی از واحدهای مارنی قرمز بالایی در منطقه اندآباد شهرستان زنجان دیده می‌شود.

بررسی توزیع نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌ها

براساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های توزیع نرمال داده‌ها، می‌توان گفت تقریباً تمام داده‌های مورد استفاده دارای توزیع نرمال می‌باشد. چرا که داده‌های پرت براساس روش‌های متداول شناسایی و حذف گردیدند. جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات آزمون توزیع نرمال داده‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای مارنی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نقشه واحدهای کاری واحدهای مارنی سازندهای مارنی استان زنجان

جدول ۱: مشخصات آزمون توزیع نرمال داده‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای مارنی

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
CLAY	۰,۲۴۷	۹	۰,۱۲۱	۰,۸۹۴	۹	۰,۲۱۹
SILT	۰,۲۳۶	۹	۰,۱۵۷	۰,۹۲۹	۹	۰,۴۷۲
SAND	۰,۲۷۸	۹	۰,۰۴۴	۰,۸۸۷	۹	۰,۱۸۶
CEC	۰,۲۳۶	۷	۰,۲۰۰(*)	۰,۹۲۲	۷	۰,۴۸۶
OC	۰,۱۴۷	۷	۰,۲۰۰(*)	۰,۹۵۶	۷	۰,۷۸۸
P_AV	۰,۲۴۳	۷	۰,۲۰۰(*)	۰,۸۸	۷	۰,۲۲۴
KAV	۰,۲۱۳	۷	۰,۲۰۰(*)	۰,۸۵۶	۷	۰,۱۴
TNV	۰,۲۲۹	۷	۰,۲۰۰(*)	۰,۸۸۶	۷	۰,۲۵۶
CaSO4	۰,۳۲۷	۵	۰,۰۸۶	۰,۸۰۹	۵	۰,۰۹۶
Ph	۰,۲۷۷	۵	۰,۲۰۰(*)	۰,۸۲۴	۵	۰,۱۲۵
EC	۰,۳۲۲	۵	۰,۱	۰,۷۵۹	۵	۰,۰۳۶
SP	۰,۳۲۳	۵	۰,۰۹۶	۰,۸۳۸	۵	۰,۱۵۹
K(SOL**)	۰,۱۷۷	۵	۰,۲۰۰(*)	۰,۹۸۵	۵	۰,۹۶۱
Na(SOL)	۰,۲۱۷	۵	۰,۲۰۰(*)	۰,۸۸۲	۵	۰,۳۲۱
CaMg(SOL)	۰,۳۱۸	۵	۰,۱۰۹	۰,۷۴۱	۵	۰,۰۲۴
SAR	۰,۱۹۲	۵	۰,۲۰۰(*)	۰,۹۳۶	۵	۰,۶۴
HCO3	۰,۲۵۴	۵	۰,۲۰۰(*)	۰,۹۱۴	۵	۰,۴۹۲
CL	۰,۴۲۷	۵	۰,۰۰۳	۰,۶۰۱	۵	۰,۰۰۱
SO4	۰,۲۹۶	۵	۰,۱۷۵	۰,۷۸۴	۵	۰,۰۵۹

* This is a lower bound of the true significance.

a) Lilliefors Significance Correction b) is constant. It has been omitted.

** (SOL)= محلول

بحث و نتایج

بررسی واحدهای مارنی استان زنجان از نظر شوری و قلیایی

واحدهای مارنی در سطح استان زنجان از نظر مساحت و گسترش عمدتاً جزء واحدهای مارنی پلیوسن و قرمز بالایی بوده و انتظار می‌رود که با توجه به شاخصه‌های این واحدها جزء واحدهای مارنی شدیداً شور و قلیا باشد. ولی مطالعات انجام شده در این منطقه و براساس تجزیه تحلیل نمونه‌های سطحی و عمقی سازند و جدول ۲ طبقه‌بندی سازندهای شور و قلیا مشخص می‌گردد که این واحدها (PL, Mu, OM, OL, EM, K2m) در لایه‌های سطحی جزء سازندهای عادی هستند و هدایت الکتریکی کمتر از ۴ و نسبت جذب سدیم نیز کمتر از ۱۳ می‌باشد. از طرفی در لایه‌های عمقی وضعیت متفاوت است و بر مقدار شوری و قلیائیت برخی از این واحدها از جمله واحد مارن پلیوسن و مارن قم، افزوده می‌شود. اما سایر واحدها با وجود افزایش عمق با توجه به آنالیز شیمیایی به عمل آمده از آنها در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر همچنان از نظر شوری و قلیایی در رده یا گروه عادی می‌باشد.

دلیل این تفاوت را در واحدهای مارنی پلیوسن و قم در حالت عمقی را می‌توان به شرایط اقلیمی و میزان بارش زیاد (تفاوت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متری در بارش سالانه) منطقه مرتبط دانست. به‌طوری که می‌توان گفت با توجه به شرایط آب و هوایی و بارش‌های منطقه، املاح از لایه‌های سطحی شسته شده و به وسیله جریان‌های سطحی از منطقه خارج شده است. لذا روی این اصل لایه‌های سطحی در این منطقه جزء سازندهای عادی محسوب می‌شوند. شاهد این امر وجود پوشش‌گیاهی در بخشی از این واحدهاست. چراکه بیشتر گونه‌های مستقر شده در این زیر واحدها، گراس‌های یکساله و گیاهانی است که دارای ریشه سطحی و افشان هستند و ریشه عمیق ندارند. لذا می‌توان گفت که لایه‌های سطحی این زیرواحدها در اثر آبشویی املاح خود را از دست داده‌اند و جزء سازندهای عادی از نظر شوری و قلیایی محسوب می‌شوند. ولی لایه‌های عمقی به خاطر عدم آبشوئی یا به مقدار کم خصوصیات بارز واحدهای مارنی املاح زیاد را حفظ کرده و جزء واحدهای شور محسوب می‌شوند.

جدول ۲: بررسی وضعیت واحدهای مارنی استان زنجان از نظر شوری و قلیایی

نام واحد مارنی	EMAr	K2Me	MuAr	MuMe	OLAr	OLMe	OMAr	OMMe	PLAr	PLMe
سطحی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی
عمقی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	عادی	شور	شور	شور

طبقه‌بندی واحدهای مارنی براساس محیط تشکیل، نوع و سن

مارن‌های ایران را براساس دارا بودن یا نبودن مواد قابل انحلال نمک طعام، ژیپس، انیدریت به دو دسته عمده مارن‌های تبخیری و مارن‌های غیر تبخیری طبقه‌بندی می‌کنند. از نظر سنی نیز مارن‌های ایران به دو دسته مارن‌های ما قبل ترشیری و مارن‌های ترشیری طبقه‌بندی می‌شوند. عمده مارن‌های غیر تبخیری متعلق به ما قبل ترشیری و عمده مارن‌های تبخیری متعلق به ترشیری می‌باشد. مارن‌های دریایی ایران از دوران پالئوزوئیک، دوران مزوزوئیک و اوایل دوران سنوزوئیک در زون‌های زمین‌شناسی مختلف وجود داشته و اغلب به صورت مخلوط با سنگ‌های دیگر از جمله آهک، شیل و غیره بوده‌اند (حسن زاده نفوتی، ۱۳۸۵). بر این اساس و با توجه به مشخصات

فیزیکوشیمیایی واحدهای مارنی موجود در سطح استان زنجان که خلاصه‌ای از آنها در جدول ۳ ارائه شده، این واحدها را از نظر محیط تشکیل، نوع مارن و سن زمین‌شناسی به نحوی که در جدول ۴ منعکس گردیده، می‌تواند به شرح زیر تقسیم‌بندی شوند.

مارن‌های غیر تبخیری یا مارن‌های دریایی (مارن‌های ما قبل ترشیری)

واحدهای مارنی قم و کرتاسه جزء این گروه یعنی مارن‌های غیرتبخیری یا مارن‌های دریایی قرار می‌گیرند. مساحت این گروه در حدود ۲٪ از سطح واحدهای مارنی استان زنجان می‌باشد. این نوع از واحداهای مارنی در شمال‌غربی (شهرستان ماهنشان) و جنوب (منطقه بزینه‌رود و گرماب) استان رخنمون شده است. به‌طورکلی با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این واحدهای مارنی، این مارن‌ها حاوی ذرات تخریبی متشکل از رس و سیلت و مواد شیمیایی متشکل از کلسیت می‌باشد. این نوع مارن‌ها فاقد کانی‌های تبخیری با حلالیت بالا مثل هالیت، ژیپس و انیدریت می‌باشد. محیط تشکیل این مارن‌ها دریاهای با شوری معمولی می‌باشد. این مارن‌ها اغلب قدیمی‌تر بوده و از نظر سنی عموماً مربوط به ما قبل ترشیری می‌باشد که به آنها مارن‌های تیپ I نیز می‌گویند. این واحدهای مارنی دارای فرسایش‌های عمدتاً سطحی و شیاری کم‌عمق می‌باشد. افق خاک تشکیل شده بر روی این مارن‌ها اغلب کم ضخامت بوده اما خاک از نظر ژئوشیمیایی نامساعد نمی‌باشد و بنابراین استقرار پوشش گیاهی بر روی این مارن‌ها امکان‌پذیر است. بر این اساس در بیشتر مناطق دارای رخنمون این واحد پوشش‌گیاهی وجود دارد. این مارن‌ها الوان نبوده و اغلب به رنگ کرم نخودی دیده می‌شوند. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی انجام شده از نمونه‌های خاک این واحدها (جدول ۴) واحدهای مارن قم و کرتاسه را می‌توان از نوع مارن‌های کلسیتی دانست. با توجه به درصد بالای سیلت در اینها و به خصوص در واحد مارنی قم، این واحد دارای شدت فرسایش بالایی می‌باشد.

مارن‌های تبخیری یا دریاچه‌های شور (مارن‌های ترشیری)

واحدهای مارنی پلیوسن، قرمز بالایی، قرمز پائینی و مارن ائوسن جزو گروه مارن‌های تبخیری یا دریاچه‌های شور می‌باشد. این گروه ۹۸٪ مساحت واحدهای مارنی استان زنجان را پوشش می‌دهند. این مارن‌ها حاوی ذرات تخریبی متشکل از سیلت و رس و مواد شیمیایی متشکل از کلسیت، هالیت، ژیپس و انیدریت و یا یکی از این کانی‌ها می‌باشد. مارن‌های تبخیری را می‌توان به دو گروه مارن‌های پالئوژن و مارن‌های نئوژن تقسیم‌بندی نمود. با توجه به مشخصات و سن زمین‌شناسی واحدهای مارنی مورد بررسی در این گروه می‌توان گفت واحدهای مارنی پلیوسن و قرمز بالایی از گروه مارن‌های نئوژن و واحدهای مارنی قرمز پائینی و ائوسن از گروه مارن‌های پالئوژن هستند (جدول ۳). محیط تشکیل این مارن‌ها اغلب دریاچه‌های شور بوده و فاقد فسیل‌های دریایی می‌باشد. این مارن‌ها اغلب جوان‌تر بوده و از نظر سنی متعلق به دوران ترشیری می‌باشد. به این مارن‌ها، مارن‌های تیپ II نیز می‌گویند. این مارن‌ها الوان بوده و انواع رنگ را دارا می‌باشد. پوشش خاک کم ضخامت بر روی این مارن‌ها ایجاد می‌شود و خاک از نظر ژئوشیمیایی حاوی عناصر مضر برای استقرار گیاه می‌باشد. از این نظر پوشش گیاهی کمی در این اراضی مستقر می‌شود و در نتیجه حساسیت بیشتری به فرسایش دارند. این واحدهای مارنی در شمال‌غربی (شهرستان‌های زنجان و ماهنشان)، غرب و جنوب‌غربی (مناطق دندی و بزینه‌رود) دارای رخنمون گسترده می‌باشند.

جدول ۳: خلاصه مشخصات فیزیکوشیمیایی واحدهای مارنی استان زنجان

UNIT	واحد	EM			MU			OL			OM			PL			K2M		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
TIME2	s	۳.۰۰	۵.۰۰	۴.۱۷	۲.۰۰	۶.۰۰	۴.۲۷	۲.۰۰	۶.۰۰	۳.۷۵	۸.۰۰	۱۳.۰۰	۱۱.۰۶	۶.۰۰	۲۱.۰۰	۱۵.۵۴	به دلیل عدم وجود رخنمون مناسب و صعب العبور بودن محل قرارگیری واحد مارنی و عدم امکان انتقال دستگاه شیمیه‌ساز باران این مشخصات اندازه گیری نشده است.		
V	lfer	۱۵.۰۰	۱۹.۵۰	۱۷.۷۷	۱۳.۰۰	۲۰.۸۰	۱۷.۵۰	۱۴.۲۰	۱۹.۰۰	۱۶.۹۱	۱.۴۰	۶.۰۰	۳.۹۹	۱.۰۰	۴.۰۰	۱.۶۸			
D	Cm	۳.۳۰	۴.۳۰	۳.۶۵	۲.۰۰	۳.۵۰	۲.۶۸	۲.۰۰	۵.۵۰	۳.۷۲	۷.۰۰	۱۳.۵۰	۸.۸۹	۸.۵۰	۱۳.۰۰	۱۰.۴۸			
V28		۰.۰۰	۷.۰۰	۴.۶۷	۰.۰۰	۱۰.۰۰	۱.۶۷	۰.۰۰	۱۰.۰۰	۴.۷۵	۰.۰۰	۱۵.۰۰	۴.۸۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰			
Co. RUNOFF		۰.۴۶	۰.۵۷	۰.۵۱	۰.۳۸	۰.۶۰	۰.۵۱	۰.۴۱	۰.۵۵	۰.۴۹	۰.۰۴	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۱۲	۰.۰۵			
SEDM	Gr/liter	۲۰.۸۰	۵۲.۳۰	۳۶.۲۰	۲۳.۸۰	۱۶۴.۲۰	۸۷.۸۷	۱۹.۸۰	۹۲.۰۰	۴۸.۲۶	۱۷.۶۰	۹۵.۶۰	۵۴.۳۸	۲۶.۱۰	۷۰.۱۰	۴۶.۷۰			
CLAY	%	۳۶.۰۰	۳۸.۰۰	۳۷.۰۰	۱۸.۰۰	۴۱.۰۰	۲۸.۲۰	۲۶.۰۰	۳۹.۰۰	۳۲.۸۳	۲۶.۰۰	۳۸.۰۰	۳۳.۷۸	۱۹.۰۰	۳۰.۰۰	۲۴.۳۸	۱۳.۰۰	۲۱.۰۰	۱۷.۰۰
SILT	%	۵۸.۰۰	۶۱.۰۰	۵۹.۶۷	۳۲.۰۰	۴۶.۰۰	۳۸.۶۷	۵۲.۰۰	۵۶.۰۰	۵۵.۱۷	۴۸.۰۰	۵۶.۰۰	۵۰.۶۷	۳۶.۰۰	۴۴.۰۰	۳۹.۶۶	۲۸.۰۰	۳۶.۰۰	۳۱.۰۰
SAND	%	۲.۰۰	۵.۰۰	۳.۶۷	۱۴.۰۰	۴۸.۰۰	۳۳.۷۳	۷.۰۰	۱۸.۰۰	۱۲.۰۰	۱۴.۰۰	۱۸.۰۰	۱۵.۵۶	۲۹.۰۰	۴۵.۰۰	۳۶.۳۱	۴۵.۰۰	۵۸.۰۰	۵۲.۰۰
C.E.C	meq/100 gr	۱۸.۸۰	۲۱.۰۰	۱۹.۸۵	۴.۰۰	۲۰.۰۰	۱۲.۷۵	۱۴.۹۵	۱۷.۲۰	۱۶.۳۵	۱۶.۸۵	۱۹.۳۵	۱۸.۴۶	۱۱.۱۰	۱۷.۰۰	۱۴.۱۴	۱۰.۹۵	۱۳.۲۰	۱۲.۰۵
O.C	%	۰.۲۲	۰.۲۶	۰.۲۴	۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۳۵	۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۳۶	۰.۲۱	۰.۲۸	۰.۲۳	۰.۱۹	۰.۵۲	۰.۳۵	۰.۵۸	۰.۷۶	۰.۶۸
PAV	ppm	۰.۹۰	۱.۱۰	۱.۰۰	۰.۳۵	۰.۶۰	۰.۴۹	۰.۱۹	۰.۸۲	۰.۵۰	۰.۰۰	۰.۸۱	۰.۲۶	۰.۰۰	۰.۴۰	۰.۲۱	۱.۳۵	۳.۶۰	۲.۴۷
KAV	ppm	۱۳۹.۳۰	۱۴۱.۷۸	۱۴۰.۶۳	۳۸۸.۲۶	۸۱۰.۲۰	۶۰۴.۲۴	۱۱۹.۸۰	۲۲۱.۳۰	۱۷۱.۰۹	۴۱۵.۶۷	۱۴۰۲.۳۰	۱۰۷۲.۵۸	۲۳۸.۹۰	۳۴۸.۸۲	۲۹۷.۰۲	۱۵۷.۹۰	۱۹۱.۰۸	۱۷۵.۲۰
TNV	%	۲۰.۶۰	۲۲.۱۰	۲۱.۴۱	۱۰.۸۰	۱۳.۲۰	۱۲.۱۳	۹.۴۸	۲۲.۶۳	۱۶.۰۲	۱۱.۳۹	۱۳.۶۱	۱۲.۹۰	۱۵.۶۰	۱۷.۹۰	۱۶.۶۲	۲۳.۴۵	۲۹.۳۰	۲۶.۳۹
CASO4	%	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۲۸.۰۰	۱۴.۶۸	۰.۰۰	۹۶.۲۰	۴۸.۰۰	۰.۰۰	۴.۵۱	۲.۹۵	۰.۳۸	۴۸.۰۰	۲۵.۶۹	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
pH		۷.۸۸	۷.۹۶	۷.۹۳	۷.۶۸	۷.۸۱	۷.۷۴	۷.۷۹	۷.۸۴	۷.۸۱	۷.۵۸	۷.۸۲	۷.۶۸	۷.۴۶	۷.۷۰	۷.۵۶	۷.۷۲	۷.۸۶	۷.۷۹
EC	ds/m	۰.۴۹	۰.۶۲	۰.۵۶	۲.۳۵	۸.۰۰	۴.۶۳	۰.۶۵	۲.۶۵	۱.۶۵	۰.۹۰	۳.۶۱	۲.۶۷	۲.۸۹	۲۷۷.۰۰	۶۳.۹۲	۰.۴۹	۰.۵۷	۰.۵۳
SP	%	۵۰.۹۰	۵۲.۳۰	۵۱.۶۰	۲۹.۰۰	۶۸.۴۸	۴۵.۵۹	۵۱.۳۵	۵۲.۶۱	۵۱.۸۸	۴۸.۹۰	۵۴.۰۰	۵۰.۷۸	۴۹.۵۰	۵۸.۵۰	۵۴.۴۸	۲۶.۹۰	۳۳.۴۵	۳۰.۱۶
KSOL	meq/L	۰.۲۲	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۵۹	۰.۷۵	۰.۶۹	۰.۳۱	۰.۶۱	۰.۴۷	۰.۲۸	۱.۱۰	۰.۷۸	۰.۲۳	۱.۵۱	۰.۹۰	۰.۲۷	۰.۳۰	۰.۲۹
NASOL	meq/L	۲.۷۳	۲.۷۸	۲.۷۵	۱.۶۴	۳۵.۶۲	۱۵.۶۳	۲.۳۴	۳.۸۵	۳.۱۰	۲.۶۷	۲۰.۱۰	۱۴.۱۸	۶.۱۸	۴۰.۱۹	۲۴.۴۲	۱.۱۴	۲۰.۵	۱.۶۵
CAMGSOL	meq/L	۲.۷۵	۲.۹۰	۲.۸۲	۲۰.۲۴	۱۷۷.۱۸	۸۳.۳۶	۴.۱۹	۲۱.۶۲	۱۲.۷۹	۶.۲۰	۱۴.۰۰	۱۱.۳۶	۲۴.۱۰	۲۳۵.۲۰	۱۸۸.۷۳	۳.۱۰	۳.۷۴	۳.۴۰
SAR	%	۲.۲۷	۲.۳۷	۲.۳۲	۰.۳۸	۰.۷۵	۰.۵۴	۱.۱۶	۱.۶۶	۱.۴۱	۱.۵۲	۷.۶۲	۵.۵۵	۱.۸۶	۳.۱۳	۲.۵۴	۰.۹۳	۱.۶۳	۱.۲۸
CO3	meq/L	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
HCO3	meq/L	۲.۳۸	۲.۴۳	۲.۴۰	۱.۶۰	۲.۴۰	۲.۰۶	۱.۹۵	۲.۲۰	۲.۱۹	۱.۹۵	۲.۸۴	۲.۵۲	۱.۰۰	۱.۷۱	۱.۳۵	۱.۵۸	۳.۲۰	۲.۴۶
CL	meq/L	۱.۳۸	۱.۵۰	۱.۴۴	۱.۰۰	۶۳.۵۰	۲۶.۴۶	۱.۹۲	۱۹۷.۰۰	۳۴.۲۵	۲.۴۶	۳.۰۰	۲.۶۵	۲.۴۳	۳۱۵.۶۰	۱۶۹.۶۶	۰.۹۵	۱.۵۰	۱.۲۳
SO4	%	۱.۸۳	۱.۹۳	۱.۸۸	۱۴.۰۰	۱۹.۸۰	۱۷.۳۷	۲.۸۵	۲۲.۱۰	۱۲.۴۸	۴.۳۸	۳۰.۰۰	۲۱.۱۶	۲۴.۵۰	۵۹.۱۰	۴۲.۹۸	۰.۴۸	۲.۶۳	۱.۷۱
LL	%	۳۵.۵۰	۳۵.۶۳	۳۵.۵۸	۳۱.۱۸	۳۶.۳۰	۳۴.۲۲	۲۹.۳۵	۴۶.۰۴	۳۲.۷۵	۴۱.۷۱	۴۴.۹۰	۴۲.۱۹	۳۵.۲۰	۴۰.۰۰	۳۷.۴۲	۲۲.۶۰	۲۶.۰۵	۲۴.۳۵
PL	%	۱۹.۷۵	۱۹.۹۵	۱۹.۸۷	۲۳.۲۰	۲۰.۳۵	۲۶.۰۸	۱۶.۰۰	۲۲.۰۰	۱۸.۹۷	۲۵.۷۹	۲۷.۹۰	۲۳.۷۸	۲۱.۲۰	۲۳.۲۰	۲۲.۳۰	۰.۰۰	۱۹.۶۰	۹.۷۹
PI	%	۱۵.۶۵	۱۵.۷۵	۱۵.۷۰	۰.۹۵	۱۲.۹۱	۸.۱۴	۱۳.۳۰	۱۴.۲۲	۱۳.۷۸	۴.۱۰	۱۷.۰۵	۸.۴۲	۱۲.۰۰	۱۸.۶۹	۱۵.۱۱	۶.۴۰	۲۲.۷۲	۱۴.۵۶

جدول ۴: تقسیم‌بندی واحدهای مارنی استان زنجان براساس سن، محیط تشکیل و نوع مارن

درصد از سطح استان	مساحت (کیلومتر مربع)	نوع مارن	کانی شناسی	نوع و محیط تشکیل	نام واحد مارنی	عنوان واحد مارنی	دوران و سن واحد مارنی		
۹,۱۸۶	۲۰۳۵,۲۵	نمکی و گچی	سیلت، رس، کلسیت، هالیت، ژیپس و انیدریت	مارن نیمه‌عمیق (II)	مارن پلیوسن	Plm	پلیوسن	نئوژن	سنوزوئیک
۷,۹۴۴	۱۷۶۰,۲۵	نمکی و گچی			قرمز بالایی	Mur	میوسن		
۲,۱۶۹	۴۸۰.۵	کلسیتی	رس، سیلت و کلسیت	مارن نوع دریایی (I)	مارن قم	OM	میوسن – الیگوسن		
۰,۷۱۰	۱۵۷,۲۵	گچی	سیلت، رس، کلسیت، هالیت، ژیپس و انیدریت	مارن نیمه‌عمیق (II)	قرمز پائینی	OL	الیگوسن	پالئوژن	
۰,۰۱۸	۴	کلسیتی			مارن ائوسن	Em	ائوسن		
۰,۰۰۳	۰,۷۵	کلسیتی	رس، سیلت و کلسیت	مارن نوع دریایی (I)	مارن کرتاسه	K2m	کرتاسه		مزوزئیک

بررسی خصوصیات شیمیایی واحدهای مارنی

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی ۱۲۰ نمونه‌های مواد مارنی واحدهای مارنی در دو عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتر و ۳۰ – ۰ سانتیمتر در جدول ۵ ارائه شده است. با دقت در داده‌های این جداول مشاهده می‌شود که بافت نمونه‌های عمقی دارای رس بیشتری است. ولی هر دو عمق دارای نوع بافت مشابه از کلی تا سیلتی کلی لوم هستند. در کل میزان درصد اشباع آب نمونه‌های عمقی (SP٪) بیشتر از نمونه‌های سطحی می‌باشد. ظرفیت ذخیره آب در خاک‌ها یا مارن‌ها میزان فرسایش آنها را کنترل می‌کند. در مورد خاک‌ها با افزایش عمق مقدار این ظرفیت کاهش می‌یابد. بنابراین در صورت یکسان بودن سایر شرایط، فرسایش در خاک‌های عمیق کمتر از فرسایش در خاک‌های کم‌عمق می‌باشد (رفاهی، ۱۳۷۵). به‌طور 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 کالیچ (Caliche) نسبت داد. کالیچ یک خاک سرشار از آهک است که در خاک‌های بعضی از نواحی نیمه خشک تشکیل می‌شود. خاصیت موئینگی باعث می‌شود تا آب‌های دارای محلول آهک به طرف سطح حرکت نموده و بر اثر تبخیرکالیچ تشکیل شود. نمونه‌های عمقی pH بیشتری از نمونه‌های سطحی دارند که ممکن است ناشی از میزان موادآلی 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 موادآلی 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 به دلیل وجود آثار باقی مانده و مدفون شده گیاهی در داخل مواد مارنی عمقی باشد.

جدول ۵: نتایج تجزیه شیمیایی واحدهای مارنی در دو عمق ۱۰ - ۰ سانتیمتر و ۳۰ – ۰ سانتیمتر

نوع عنصر	واحد	عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر				عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر			
		max10	min	mean	std	max30	min	mean	std
CLAY	%	۴۲	۶	۲۸,۵۳	۹,۴۴	۴۱	۱۸	۳۰,۶۷	۷,۱۱
SILT	%	۶۱	۲۲	۴۵,۸	۱۰,۸۸	۶۲	۲۴	۴۳,۷	۱۱,۳۴
SAND	%	۷۲	۲	۲۵,۸۳	۱۹,۱۵	۵۱	۳	۲۵,۷	۱۵,۱۵
C.E.C	meq/100 gr	۲۱	۴	۱۵,۵۴	۴,۱۱	۲۰,۵	۱۲,۹۲	۱۶,۷۳	۲,۵۲
O.C	%	۰,۶۷	۰,۱۱	۰,۲۳	۰,۱۵	۴	۰,۱۵	۰,۵۶	۰,۸
PAV	ppm	۳,۶	۰	۰,۷۷	۱	۱,۴	۰	۰,۶	۰,۴۸
KAV	ppm	۱,۴۰۲,۳۰	۱۱۹,۸	۴۳۲,۱۹	۳۸۳,۷۳	۱,۹۹۱,۲۰	۱۴۹,۳	۴۷۳,۳۶	۵۲۱,۲۱
TNV	%	۲۹,۳	۹,۴۸	۱۶,۵۵	۵,۸۷	۳۹,۶	۸,۷۲	۱۹,۰۴	۸,۵
CASO4	%	۹۶,۲	۰	۱۷,۲۶	۳۰,۶۹	۱۳۰	۰	۲۳,۹	۳۳,۷۴
PH		۷,۹۶	۷,۴۶	۷,۷۴	۰,۱۲	۸,۳	۷,۲۸	۷,۷۵	۰,۲۲
EC	ds/m	۲۷۷	۰,۴۹	۱۵,۱۵	۵۰,۶۷	۵۴	۰,۴۹	۹,۲۹	۱۶,۱
SP	%	۶۸,۴۸	۲۶,۹	۴۹,۲۳	۱۱,۵۸	۶۹,۲۸	۳۲,۹	۵۱,۵۷	۱۱,۹۴
KSOL	meq/L	۱,۵۱	۰,۲۲	۰,۵۹	۰,۳۹	۱,۵۲	۰,۱۸	۰,۷۴	۰,۴۹
NASOL	meq/L	۴۰,۱۹	۱,۶۴	۱۱,۷۴	۱۴,۲۳	۵۱,۳	۱,۲۴	۱۶,۲۷	۱۷,۴۲
CAMGSOL	meq/L	۳۳۵,۲	۲,۷۵	۶۰,۳۳	۱۰۴,۹۱	۴۸۵,۲	۳,۵۸	۷۴,۸	۱۴۴,۶۲
SAR	%	۷,۶۲	۰,۳۸	۲,۱۸	۱,۹۷	۲۱,۳۱	۰,۵۹	۴,۴۴	۵,۹۴
HCO3	meq/L	۲,۸۴	۱	۱,۹۸	۰,۴۹	۱۹۵	۰	۱۴,۷۱	۴۸,۶۱
CL	meq/L	۳۱۵,۶	۱	۴۵,۷۶	۹۸,۶۳	۴۸۵,۳	۰,۹۵	۷۴,۹۶	۱۵۱,۲۱
SO4	meq/L	۵۹,۱	۱,۸۳	۱۸,۰۲	۱۶,۹۶	۵۰	۰,۹۸	۲۱,۴۵	۱۴,۱۸
LL	٪	۴۲,۹	۲۲,۶	۳۵,۱۱	۵,۸۶	۶۶,۶۳	۲۶	۴۰,۰۳	۱۱,۷۶
PL	٪	۳۷,۹	۰	۲۱,۹۴	۹,۴۲	۳۳,۶	۱۷	۲۳,۳۵	۴,۷۹
PI	٪	۲۲,۷۲	۰,۹۵	۱۳,۱۶	۶,۲	۳۳,۰۸	۶,۴	۱۶,۶۸	۷,۴۵

بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای مارنی در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری به روش آزمون t

نتیجه بررسی ضرایب همبستگی بین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای کاری مارنی در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری در جدول ۶ ارائه شده است. به‌طوری که در این جدول مشهود است واحدهای کاری مارنی به جز خصوصیات میزان مواد آلی (O.C)، هدایت الکتریکی (EC) و یون بیکربنات (HCO_3) در سایر خصوصیات دارای ضریب همبستگی بالا و معنی‌داری می‌باشند. به عبارت دیگر این همبستگی بالا نشان دهنده وجود ارتباط قوی بین آنهاست. به‌طوری که مقادیر و تغییرات این متغیرها باهم مرتبط هستند. نتیجه بررسی تفاوت‌ها و تغییرات خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای کاری مارنی در دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری به روش t در جدول ۷ ارائه شده است. بر این اساس واحدهای کاری مارنی در دو عمق فوق 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)، (So_4) و حد روانی (LL) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. یعنی در این متغیرها واحدهای کاری تفاوت محسوس و مشخص هستند که به دلیل وجود این اختلاف عمق است. بنابراین می‌توان براساس این خصوصیات فیزیکوشیمیایی نسبت به طبقه‌بندی و گروه‌بندی واحدهای مارنی استان زنجان اقدام نمود.

جدول ۶: ضرایب همبستگی بین متغیرهای واحدهای کاری در عمق ۱۰-۰cm و ۳۰-۰

Row	Paired Samples	N	Mean	Correlation	Sig.	Sig2.
Pair 1	clay & clay30	30	29.07	0.744	0.000	**
Pair 2	silt & silt30	30	30.67	0.855	0.000	**
Pair 3	sand & sand30	30	46.03	0.924	0.000	**
Pair 4	c.e.c & C.E.C30	30	43.70	0.808	0.000	**
Pair 5	o.c & O.C30	30	25.07	0.153	0.419	
Pair 6	Pav & Pav30	30	25.70	0.633	0.000	**
Pair 7	kav & Kav30	30	15.54	0.910	0.000	**
Pair 8	tnv & TNV30	30	16.73	0.661	0.000	**
Pair 9	Caso4 & Ca so430	30	16.12	0.381	0.038	*
Pair 10	pht & pH30	30	13.24	0.612	0.000	**
Pair 11	Ec & EC30	30	10.37	0.139	0.465	
Pair 12	sp & SP30	30	7.49	0.757	0.000	**
Pair 13	ksol & ksol30	30	4.62	0.833	0.000	**
Pair 14	nasol & NaSol30	30	1.74	0.921	0.000	**
Pair 15	camgsol & CaMgsol30	30	-1.14	0.984	0.000	**
Pair 16	sar & SAR30	30	-4.01	0.895	0.000	**
Pair 17	hco3 & Hco330	30	-6.89	0.012	0.948	
Pair 18	cl & Cl30	30	-9.77	0.890	0.000	**
Pair 19	so4 & So430	30	-12.64	0.898	0.000	**
Pair 20	LL & LL30	30	-15.52	0.461	0.010	**
Pair 21	PL & PL30	30	-18.39	0.444	0.014	*

* در سطح ۵٪ ** در سطح ۱٪

تجزیه واریانس و مقایسه خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای مارنی

بررسی وضعیت تاثیر متغیرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی بر تفکیک واحدهای مارنی به روش آزمون F و مقایسه میانگین‌ها برای واحدهای مختلف به روش دانکن در جدول ۸ نشان داده شده است. در این جدول پارامترهای آماری مختلف مربوط به متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های واحدهای مارنی در سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مقایسه شده است. با دقت در جدول دیده می‌شود که براساس این متغیرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی می‌توان واحدهای مارنی را تفکیک و گروه بندی نمود. به‌طوری که حداقل آنها براساس متغیر هدایت الکتریکی در یک گروه و حداکثر در سه گروه با توجه به تاثیر هر یک از متغیرها گروه‌بندی کرد که متغیرهایی چون سیلت، ماسه، درصد آهک، نسبت جذب سدیم و حد روانی و خمیری از متغیرهای با مقدار تاثیر بالا در تفکیک واحدهای مارنی در گروه‌بندی می‌باشد.

تحلیل خوشه‌ای برای تفکیک زیر واحدهای مارنی

در این تحقیق اندازه‌گیری فاصله، مبنای طبقه‌بندی قرار گرفته است. از عمومی‌ترین معیار فاصله به کار رفته که همان فاصله اقلیدسی است، استفاده شده است. به این ترتیب براساس میزان تشابه خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی، بعضی از داده‌ها با هم پیوند خورده و در کنار هم در یک گروه جای می‌گیرند. با توجه به‌این فرض که تعداد خوشه‌های مورد نیاز برای گروه‌بندی واحدهای کاری مارنی، مشخص نیست از آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی و برای نسبت دادن مشاهدات به خوشه‌های مختلف، از روش Wards و روش مناسب تعیین فاصله بین مقادیر روش (Chebychev) بهره گرفته شد. بر این اساس با لحاظ تمام ۲۶ خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به دست آمده برای واحدهای کاری مارنی، همان طوری که

در شکل ۴ نشان داده شده‌است. در فاصله قطری ۱ به تعداد واحدهای کاری دارای گروه‌های مجزا خواهیم بود. اما با افزایش فاصله به ترتیب به حدود ۲ باعث محدود شدن و گروه‌بندی واحدهای کاری مارنی به ۹ گروه، به فاصله ۳ در حدود ۵ گروه و در فاصله قطری ۷ به ۴ گروه تقسیم می‌شوند.

جدول ۷: بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی واحدهای مارنی دو عمق ۱۰-۰ و ۳۰-۰ سانتیمتری به روش آزمون t

Paired Samples Test	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Upper	Lower	t	df	Sig.
Clay[1] - clay30[2]	-1.600	5.739	1.048	-3.743	0.543	-1.527	29	0.138
silt – silt30	2.333	5.892	1.076	0.133	4.533	2.169	29	0.038*
sand – sand30	-0.633	6.764	1.235	-3.159	1.893	-0.513	29	0.612
C.E.C-C.E.C30	-1.186	2.554	0.466	-2.139	-0.232	-2.543	29	0.017*
O.C – O.C30	-0.338	0.793	0.145	-0.634	-0.042	-2.338	29	0.026*
Pav – Pav30	0.170	0.792	0.145	-0.126	0.465	1.173	29	0.250
Kav – Kav30	-41.174	233.951	42.713	-128.533	46.185	-0.964	29	0.343
TNV – TNV30	-2.486	6.385	1.166	-4.871	-0.102	-2.133	29	0.042*
$CaSo_4$ – $CaSo_4$30	-6.643	35.943	6.562	-20.064	6.778	-1.012	29	0.320
pH – pH30	-0.011	0.175	0.032	-0.076	0.054	-0.345	29	0.733
EC – EC30	5.851	50.993	9.310	-13.190	24.892	0.628	29	0.535
SP – SP30	-2.344	8.210	1.499	-5.409	0.722	-1.564	29	0.129
Ksol – ksol30	-0.154	0.272	0.050	-0.256	-0.053	-3.108	29	0.004**
Nasol – NaSol30	-4.534	7.027	1.283	-7.158	-1.910	-3.534	29	0.001**
CaMgsol – CaMgsol30	-14.472	45.249	8.261	-31.368	2.424	-1.752	29	0.090
Sar – Sar30	-2.251	4.272	0.780	-3.846	-0.656	-2.886	29	0.007**
Hco_3 – $Hco_3$30	-12.724	48.606	8.874	-30.874	5.426	-1.434	29	0.162
Cl – Cl30	-29.197	77.851	14.214	-58.267	-0.127	-2.054	29	0.049*
So_4 – $So_4$30	-3.432	7.522	1.373	-6.241	-0.623	-2.499	29	0.018*
LL – LL30	-4.924	10.441	1.906	-8.823	-1.026	-2.583	29	0.015*
PL – PL30	-1.404	8.463	1.545	-4.564	1.756	-0.909	29	0.371

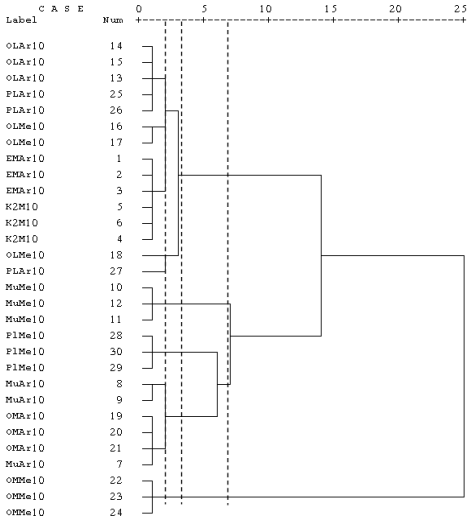
1- depth: 0-10 cm 2- depth: 0-30 cm * در سطح ۵٪ ** در سطح ۱٪

با توجه به قرارگیری واحدهای کاری در گروه‌های جدا و بر این اساس مقایسه خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها مشاهده می‌شود که در فاصله قطری ۲ و تفکیک واحدهای کاری به ۹ گروه در این فاصله تا حدود زیاد واحدهای کاری در داخل خودشان و بدون مشارکت با سایر واحدهای کاری گروه‌بندی شده‌اند که در واقع نشان‌دهنده وجود ارتباط نسبتا قوی در بین آنهاست. با افزایش فاصله به ۳ واحدهای کاری دارای خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مشترک با هم در یک گروه قرار گرفته و تعداد گروه‌ها به ۵ گروه کاهش می یابد. البته با توجه به نتایج به دست آمده از سایر بررسی‌های صورت گرفته مانند آنالیز آماری مقدار رواناب و رسوب تولید شده از واحدهای مارنی تفکیک صورت گرفته در این نوع آنالیز خوشه‌ای (خوشه‌بندی براساس تمام خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی) تفکیک و گروه‌بندی مناسبی را ایجاد نکرده، به‌طوری که در بعضی از گروه‌ها واحدهای مارنی با خصوصیات بسیار متفاوت در یک گروه قرار گرفته‌اند که این شاید به دلیل هم پوشانی ایجاد شده در تفاوت‌های بین آنها باشد که باعث تعدیل آن شده است. لذا باید خصوصیاتی که تاثیر بیشتری در این گروه‌بندی هستند شناسایی شوند. بر این اساس با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل عاملی که براساس آن ۱۲ متغیر یا خصوصیت از واحدهای کاری به عنوان خصوصیات موثر در طبقه‌بندی واحدهای مارنی انتخاب شده‌اند را به عنوان مبناء قرار داده و به نحوی که در شکل

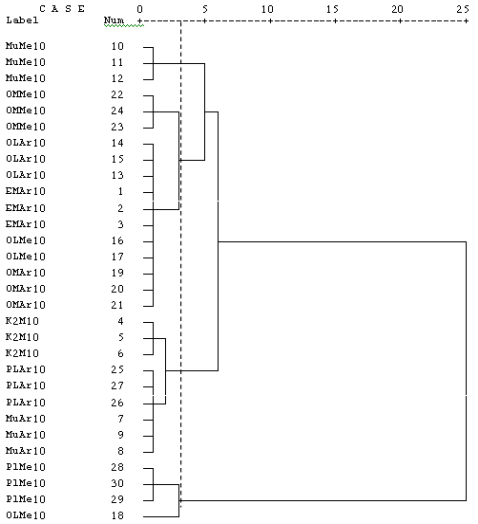
۵ نشان داده شده اقدام به گروه‌بندی دوباره گردید. براساس این آنالیز خوشه‌ای در فاصله بیش از ۳ واحدهای کاری به چهار گروه تفکیک که نسبت به حالت قبل واحدهای کاری در گروه‌هایی قرار می گیرند که قرابت و مشابهت بیشتری از نظر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی دارند. پس با این گروه‌بندی نتیجه بهتری حاصل می‌شود. در شکل ۶ نتایج آنالیز خوشه‌ای متغیرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی دخیل در طبقه‌بندی واحدهای کاری مارنی ارائه شده است. در حالت استفاده از تمام خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی (شکل ۴) در فاصله بیشتر از ۲ به ۵ گروه قابل تفکیک می‌باشند. در این حالت در مرکز این گروه-بندی ۹ متغیر از ۱۲ متغیر انتخاب شده در تجزیه و تحلیل عاملی قرار گرفته که تاییدی بر درست بودن نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل می‌باشد. در شکل ۷ اقدام به انجام آنالیز خوشه‌ای ۱۲ متغیر انتخاب شده در تجزیه و تحلیل عاملی گردید. در این گروه‌بندی ۶ متغیر شامل مقدار رس (Clay)، ماسه (Sand)، شاخص‌خمیری (PI)، ظرفیت تبادل‌کاتیونی (CEC)، سدیم محلول (NaSol) و سولفات (So4) در مرکز طبقه‌بندی قرار گرفته و نشان‌دهنده اهمیت آنها در تفکیک و گروه‌بندی واحدهای مارنی است. پس بر این اساس می‌توان گفت این ۶ متغیر می‌توانند در ارائه یک طبقه‌بندی از واحدهای مارنی استان زنجان موثر و مفید باشند.

جدول ۸: مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی واحدهای مارنی به روش دانکن

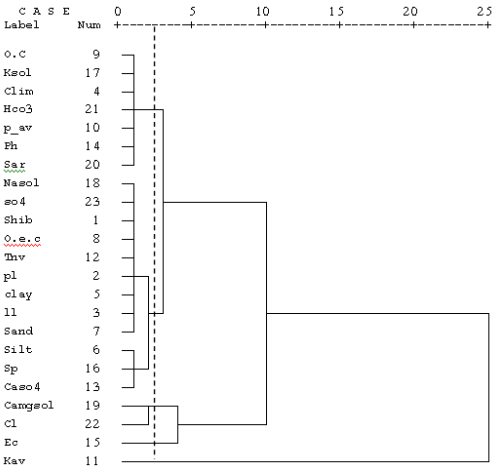
متغیره	سطح اطمینان	تعداد گروه قابل تفکیک	واحدهای مارنی					
			EM	OL	OM	Mu	PL	K2M
clay	*	۲	۳۶,۳۳۳a	۳۳ ba	۳۲,۳۳۳ ba	۲۸ ba	۲۳,۸۳۳ bc	۱۴,۶۶۷c
silt	**	۳	۶۰,۳۳۳a	۵۵,۳۳۳ba	۵۱,۶۶۷ b	۳۷,۸۳۳c	۳۹,۵ c	۲۹ d
Sand	**	۳	۳,۶۶۷ c	۱۱,۶۶۷c	۱۶ c	۳۴,۶۶۷ b	۳۶,۸۳۳b	۵۶,۳۳۳a
CEC	*	۲	۱۹,۸۴۹ a	۱۶,۳۵ ba	۱۸,۰۷۳ ba	۱۳,۹۶۹ bc	۱۳,۸۹۸ bc	۱۱,۰۰۸c
OC	**	۳	۰,۱۴۱۰۳cb	۰,۲۰۷b	۰,۱۳۴۵۳c	۰,۲۰۲۷۵b	۰,۱۹۴۸ cb	۰,۶۳۲۹۷ a
Pav	**	۳	۱b	۰,۴۹۸۳c	۰,۳۹۳۳ c	۰,۴۷۳۳c	۰,۱۹۸۳c	۳,۵۶۶۷a
TNV	**	۳	۲۱,۳۱b	۱۶,۰۲c	۱۲,۵۷۳c	۱۲,۲۸۷c	۱۶,۷۱۴c	۲۹,۰۴۴a
KAv	**	۲	۱۴۰,۶ c	۱۷۱,۱c	۹۰۹,۳a	۶۳۷,۶ ba	۲۸۲,۱ bc	۱۵۹,۹c
CaSO4	*	۲	۰b	۴۸a	۲,۲۲b	۱۲,۲۳ ba	۲۳,۸۳ ba	۰b
pH	**	۳	۷,۹۲۶۶۷a	۷,۸۱۱۶۷b	۷,۷۱۱۶۷b	۷,۷۴۸۳۳b	۷,۵۶۶۶۷c	۷,۷۵۶۶۷b
EC	---	۱	۰,۵۶a	۱,۶۵a	۲,۲۴a	۵,۱۹a	۶۶,۱a	۰,۵۵a
SP	*	۲	۵۱,۵۹۸a	۵۱,۸۷۷a	۵۱,۴۸۴a	۴۹,۲۸a	۵۴,۱۶۲a	۲۷,۰۸۶b
KSol	*	۲	۰,۲۲۹ b	۰,۴۶۵۱ ba	۰,۶۶۰۹ ba	۰,۶۹۱۸ ba	۰,۸۵۷۲a	۰,۲۸۵۹b
NaSol	*	۲	۲,۷۵b	۳,۱۰۳b	۱۱,۳۲۶ ba	۱۸,۷۷۳ ba	۲۳,۱۰۹a	۲,۰۲b
CaMgSol	*	۲	۲,۸۲b	۱۲,۷۹b	۱۰,۱b	۹۸,۸۸ ba	۱۷۶,۸۹a	۳,۱۶b
SAR	**	۲	۲,۳۱۵b	۱,۴۰۵b	۴,۵۵۱a	۰,۵۱۱b	۲,۴۸۸ ab	۱,۶۰۷b
HCO3	**	۲	۲,۴۰۳۳a	۲,۱۸۵a	۲,۳۸۶۷a	۱,۹۸۳۳ ba	۱,۳۶۵c	۱,۶ bc
Cl	*	۲	۱,۴۴b	۳۴,۲۵ ba	۲,۷۳b	۳۲,۶۳ ba	۱۵۷,۷۴a	۱,۴۸b
SO4	**	۲	۱,۸۸۳b	۱۲,۴۸۳b	۱۶,۹۸۲b	۱۶,۸۰۸b	۴۱,۶۶۷a	۲,۳۹۳b
LL	**	۳	۳۵,۵۷۷ cb	۳۲,۷۴۸c	۴۲,۳۴۷a	۳۳,۷۲۳c	۳۷,۵۹۲b	۲۲,۶۶۷d
PL	**	۳	۱۹,۸۷۳ c	۱۸,۹۶۸c	۳۱,۸۰۳a	ba ۲۶,۷۷۷	۲۲,۲۳۷ bc	۰d
PI	*	۲	۱۵,۷۰۳ b	۱۳,۷۸b	۱۰,۵۴۳ cb	۶,۹۴۷c	۱۵,۳۵۵b	۲۲,۶۶۷a



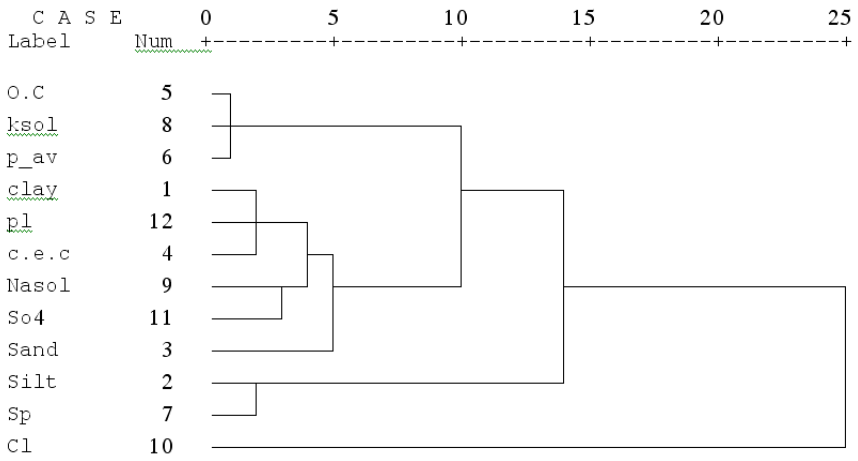
شکل ۴: آنالیز خوشه‌ای واحدهای مارنی براساس کل متغیرهای فیزیکوشیمیایی



شکل ۵: آنالیز خوشه‌ای واحدهای مارنی براساس ۱۲ متغیر فیزیکوشیمیایی شده از طریق تجزیه و تحلیل عاملی



شکل ۶: آنالیز خوشه‌ای کل متغیرهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده از واحدهای مارنی



شکل ۷: آنالیز خوشه‌ای ۱۲ متغیر فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده انتخابی از واحدهای مارنی براساس تجزیه و تحلیل عاملی

نتیجه‌گیری

واحدهای مارنی استان زنجان با توجه به خصوصیات آنها به دو گروه تبخیری یا غیر دریایی شامل واحدهای مارنی پلیوسن، قرمز بالایی، قرمز پائینی و مارن ائوسن و مارن غیر تبخیری یا دریایی شامل واحدهای مارنی قم و مارن کرتاسه می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده از این بررسی در حدود ۴۴۳۸ کیلومتر مربع از سطح استان که معادل ۲۰ درصد مساحت کل استان است تحت اشغال اراضی مارنی می‌باشد. در بین واحدهای مارنی نیز واحد مارنی پلیوسن (Plm) و واحد مارنی طبقات قرمز بالایی (Mur) بیش از ۸۵ درصد از سطح واحدهای مارنی را پوشش می‌دهند و با توجه به مجموعه درصد مساحت مارن قم و مارن کرتاسه که در حدود ۲٪ است. پس در حدود ۹۸٪ واحدهای مارنی استان از نوع تبخیری یا غیر دریایی است. این مارن‌ها حاوی ذرات تبخیری متشکل از سیلت و رس و مواد شیمیایی متشکل از کلسیت، هالیت، ژیپس و انیدریت و یا یکی از این کانی‌ها می‌باشد. واحدهای مارنی موجود در سطح استان زنجان در لایه‌های سطحی جزء سازندهای عادی هستند و در این واحدها هدایت الکتریکی کمتر از ۴ و نسبت جذب سدیم نیز کمتر از ۱۳ می‌باشد. از طرفی در لایه‌های عمقی وضعیت متفاوت است و بر مقدار شوری و قلیائیت برخی از این واحدها از جمله واحد مارن پلیوسن و مارن قم افزوده می‌شود. اما سایر واحدها با وجود افزایش عمق با توجه به آنالیز شیمیایی به عمل آمده از آنها در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر همچنان از نظر شوری و قلیائیت در رده عادی می‌باشد. بررسی تفاوت‌ها و تغییرات خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی 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 فیزیکی، مکانیکی و 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)، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار کلر (Cl)، سولفات (SO4) و حد روانی (LL) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. یعنی در این متغیرها واحدهای کاری تفاوت محسوس و مشخص هستند که به دلیل وجود این اختلاف عمق است. بنا بر این می‌توان براساس این خصوصیات

فیزیکوشیمیایی نسبت به طبقه‌بندی و گروه‌بندی واحدهای مارنی استان زنجان اقدام نمود. براساس وضعیت تاثیر متغیرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی بر تفکیک واحدهای مارنی به روش آزمون F و مقایسه میانگین‌ها، می‌توان واحدهای مارنی را تفکیک و گروه‌بندی نمود. به طوری که حداقل آنها براساس متغیر هدایت الکتریکی در یک گروه و حداکثر در سه گروه با توجه به تاثیرهریک از متغیرها گروه‌بندی کرد که متغیرهایی چون سیلت، ماسه، درصدآهک، نسبت جذب سدیم و حد روانی و خمیری از متغیرهای با مقدار تاثیر بالا در تفکیک واحدهای مارنی در گروه‌بندی می‌باشد. براساس تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ۶ متغیر شامل مقدار رس، ماسه، شاخص‌خمیری، ظرفیت تبادل‌کاتیونی، سدیم محلول و سولفات در مرکز طبقه‌بندی قرار گرفته و نشان‌دهنده اهمیت آنها در تفکیک و گروه بندی واحدهای مارنی است. پس بر این اساس می توان گفت این ۶ متغیر می‌توانند در ارائه یک طبقه بندی از واحدهای مارنی استان زنجان موثر و مفید باشند.

پانوشت

1-Lower Red formation

منابع

-احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی جلد ۱ (فرسایش آبی)، چاپ ۲، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۵ ص.

-امیری، م.، پیروان، ح. و احمدی خلجی، ا.، ۱۳۹۴. طبقه‌بندی مارن‌های همدان و ارتباط گروه‌های مارنی منطقه با نوع و شدت فرسایش، مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره ۷(۴)، ص ۴۲۵-۴۴۱.

-حسن زاده نفوتی، م.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ح.، پیروان، ح. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان رسوبدهی با استفاده از مدل فیزیکی باران‌ساز، نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، بهار ۱۳۸۷، جلد اول، شماره ۱، ص ۳۵-۴۸.

-حسن‌زاده نفوتی، م.، فیض نیا، س.، غیومیان، ج.، احمدی، ح. و پیروان، ح.، ۱۳۸۵. بررسی ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها- مطالعه موردی حوزه آبخیز ایوانکی (آب شور)، رساله دکتری رشته آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات.

-حسینی، س.، فیض نیا، س.، پیروان، ح. و زهتابیان، غ.، ۱۳۸۸. بررسی تولید رواناب و رسوب در سازندهای ریزدانه نئوژن با کمک شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۸، ص ۲۱۵-۲۲۹.

-سکوتی اسکوئی، ر.، پیروان، ح.، بروشکه، ا.، خواجه‌ای، ا.، احمدی، ع. و مصطفایی، ا.، ۱۳۸۸. طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان آذربایجان غربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.

-عبدی نژاد، پ. و عباسی، ن.، ۱۳۸۴. بررسی رابطه بین خصوصیات شیمیایی مارن‌ها با رفتارهای محیطی آنها (مطالعه موردی حوزه قزل اوزن سفلی در منطقه طارم علیای استان زنجان)، چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست ایران، تهران دانشگاه تربیت مدرس.

-عبدی نژاد، پ.، پیروان، ح. و حیدری، ا.، ۱۳۸۸. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، طبقه‌بندی مارن‌های

استان زنجان بر مبنای متغیرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی با استفاده از آنالیز چند متغیره، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان.
-قدوسی، ج.، سپهریان، م.، قدیمی عروس محله، ف. و پورمتین، ا.، ۱۳۷۶. شناخت و طبقه‌بندی مارن‌ها و بدلندها در حوضه آبخیز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران.
-قدیمی عروس محله، ف. و قدوسی، ج.، ۱۳۷۸. بررسی امکان طبقه‌بندی مارن‌ها براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیائی مارن‌ها، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۴۰، ۴۱، ۴۲، ص ۳۰-۳۷.

-INDOT, 2016. Geotechnical Manual, Indiana Department of Transportation, Indianapolis.
-Jung, C., Jung, S., Bobet, A. and Siddiki, N.Z., 2009. Classification of marl soils. TRB Subject Code:61-6 Soil Classification, Publication No. FHWA/IN/JTRP-2009/20, SPR-3227, Final Report.
-Roth, C.B., Nelson, D.W. and Romkens, M.J.M., 1984. Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters. Project No. 15030 HIX, Research reporting series, environmental protection Agency, Washington, D. C. 20460.
-United Nations Convention to Combat Desertification, 2005. Draft national action plan for Antigua and Barbuda, 61 p.
-USDA, 2012. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Part 631, Geology National Engineering Handbook. Engineering Classification of Rock Materials, 210–VI–NEH, Amend, 55 p.

-Benito, G., Gutierrez, M. and Sancho, C., 1991. Erosion pattern in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain), soil erosion studies in Spain, p. 41-54.
-Cerda, A., 1997. The effect of patchy distribution of Stipa Tenacissima on runoff and erosion. Journal of arid environments, v. 36, p. 37-51.
-El Howayek, A., Bobet, A., Dawood, S., Ferdon, A., Santagata, M. and Siddiki, NZ., 2012. Classification of Organic Soils and Classification of MarlsTraining of INDOT Personnel, Publication FHWA/IN/JTRP-2012/22, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana.
-Greenland, G.J. and Payne, D., 1975. Determination of the structural stability class of english and welsh soil using a water coherence test. Journal of Soil Science, v. 46, p. 294-303.
-Heed, B.H., 1971. Characteristics and processes of soil piping in gullies. Department of African forestserv, v. 68, p. 1-15.