

## تاثیر فرسایش خاک و فرونشست زمین در مجاورت خطوط انتقال در دشت اشتهارد با استفاده از مطالعات رسوب‌شناسی و ژئوالکتربیک

خلیل رضایی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

نویسنده مسئول: [Khalil.rezaei@khu.ac.ir](mailto:Khalil.rezaei@khu.ac.ir)

دریافت: ۹۸/۱۲/۲۰ پذیرش: ۹۹/۳/۷

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

فرسایش خاک و فرونشست زمین در ایران به مقوله‌هایی آشنا و مخاطره‌انگیز تبدیل شده‌اند. به تازگی شریان‌های حیاتی محیط‌های شهری و بین‌شهری از جمله خطوط انتقال برق سراسری با عوارض ثانویه فرسایش خاک و فرونشست زمین مواجه شده‌اند. در این تحقیق محل عبور خط انتقال برق فشار قوی و مارن‌های متفاوت بالادستی (واحدهای  $M_1$ ،  $M_2$  و  $M_3$ ) در مسیر اشتهارد به بوبین‌زها مورد مطالعه رسوب‌شناسی و ژئوالکتربیک قرار گرفته است. آزمایش‌های دانه‌بندی غربال و هیدرومتری، کلسیمتری، هدایت‌الکتریکی، حدود آتربرگ، تعیین عناصر و تشخیص نوع کانی‌های رسی انجام شد. پدیده‌های فرسایش خاک منطقه عبارتند از: ورقه‌ای، شیاری، آبراه‌ای و خندقی که در مارن‌های قرمز بالایی و کوتاه‌تر دیده می‌شوند. مارن‌ها دارای خصوصاتی از جمله فرسایش‌پذیری بالا، دارای سیلت فراوان، غیرچسبنده، کاتیون‌های آکالی و آنیون‌های محلول هستند. نتایج نشان داده‌اند که یک لایه سیلتی به ضخامت حدود یک متر در زیر لایه سطحی متشکل از رس متراکم مونتموریلونیتی و در روی لایه ماسه‌رسی قرار داشته و بدلیل فرسایش‌پذیری بالا باعث ایجاد تونل‌ها و خندق‌های بزرگی شده‌اند که به سمت دکل‌های برق پیشروی نموده‌اند. مطالعات ژئوالکتربیک علاوه بر نمایش گسترش این لایه در منطقه، لایه‌های ماسه‌ای در اعماق حدود ۴۵ متر به پایین را نیز نشان داد. علت اصلی فرونشست زمین در این منطقه برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی توسط مجتمع فولاد می‌باشد که به ترک‌های سطح زمین ناشی از فرسایش خاک پیوسته است. مطالعات ژئوالکتربیک علاوه بر اندازه ذرات خاک، موقعیت حفرات زیرزمینی، لایه میانی سیلتی و مرطوب را نشان داده است که به فرسایش حساس می‌باشد.

واژگان کلیدی: رسوب، فرسایش، شریان‌های حیاتی، ژئوالکتربیک، اشتهارد

### پیشگفتار

خسارات ناشی از آن کمتر احساس شود. در ایران نیز سالانه به دلایل گوناگون مقدار زیادی از خاک‌های با ارزش بوسیله فرسایش از دسترس خارج می‌شود. بطوری که میزان فرسایش خاک حدود ۲ میلیارد تن تخمین زده می‌شود که ۷/۶ درصد کل فرسایش دنیا را شامل می‌شود و همه ساله مقادیر قابل‌توجهی از خاک‌های کشاورزی به صورت رسوب وارد رودخانه‌ها می‌شود (طالبی، ۱۳۹۰). فرسایش ویژه میانگین سطح کشور نیز ۱۵/۸ تن در کیلومتر مربع برآورد می‌گردد (میرزاده و همکاران، ۱۳۹۱). بدیهی است با شناخت دقیق عوامل موثر بر فرسایش در نقاط مختلف می‌توان اقدامات مناسبی را در جهت کاهش یا توقف روند افزایش فرسایش خاک انجام داد. تاکنون تحقیقات مختلف و متنوعی بر روی مارن‌ها و فرسایش‌پذیری آن‌ها با روش‌های مختلف تلفیقی

خاک یک منبع پویا و غیر قابل تجدید در طول عمر انسان‌ها است که برای تولید غذا و همچنین توازن جهانی اکوسیستم‌ها ضروری و حیاتی است. اما این خاک خود در معرض تهدید و فرسایش می‌باشد و می‌تواند حاصل‌خیزی این خاک زنده و پویا را از بین ببرد و رسوباتی را در آبراه‌ها مخازن سدها به‌جا بگذارد و باعث ایجاد هزینه‌های زیادی شود (رفاهی، ۱۳۸۵). به همین جهت است که باید به پدیده فرسایش توجه بیش‌تری شود بطوری که مبارزه با آن در جهان مورد توجه زیادی قرار گرفته است. باید توجه داشت که فرسایش عاملی است که دائماً و به صورت طبیعی در حال رخ دادن است و نمی‌توان آن را به طور کامل حذف کرد اما راه‌هایی وجود دارد که باید با استفاده از آن‌ها فرسایش را کنترل کرد تا

می‌باشد (شکل ۴). در این اقلیم یک رژیم نامنظم بارندگی غالباً با بارش‌های شدید و ناگهانی که در فواصل آن دوره‌های خشک قرار دارد (ماه‌های دی، اسفند، فروردین، آبان و آذر) و یک فصل خشک که در طول آن بر اثر حرارت و تابش خورشید، تبخیر شدید بوجود می‌آید (اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر).

نقشه عمومی خاک‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که بطور کلی سه نوع خاک در منطقه رخنمون دارند:

۱- خاک‌های اریدیسول؛ ۲- خاک‌های انتی‌سول همراه با رخنمون‌های سنگ و ۳- خاک‌های شور پلایا (شکل ۳). البته قسمت اعظم دشت و کلیه نقاط مورد بازدید و نمونه‌برداری شده در بخش خاک‌های مناطق خشک و اریدی‌سول قرار دارند. اگر خاکی بیش از نیم سال خشک باشد و بدون اپی‌پدون مالیک باشد را خاک اریدی‌سول می‌نامند و به معنی خاک‌های بیابانی، خاک‌های بیابانی قرمز رنگ، سیرزوم، سولونچاک، بعضی از خاک‌های قهوه‌ای یا قهوه‌ای متمایل به قرمز و خاک‌های سولونتز است و در زبان لاتین به معنی خشک است. خاک انتی‌سول (به تازگی تشکیل شده) نشانه‌ای از تکامل افق‌های پیدایش در آن دیده نمی‌شود و یا بسیار کم باشد و به معنی خاک‌های آزونال و دارای مقدار هوموس کم است. از نگاه زمین‌شناسی آقناباتی (۱۳۸۳)، منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی واقع شده است. شکل ۱، نقشه زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از نقشه‌های چهارگوش اشتهارد (۱:۱۰۰۰۰۰) تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی کشور، استفاده شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۶۷؛ آقناباتی، ۱۳۸۵). انواع فرسایش مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراه‌ای و خندقی بر روی نهشته‌های سازند قرمز بالایی و رسوبات کواترنر دشت می‌باشد که در شکل ۵ تصاویری از آن‌ها دیده می‌شود. پدیده فرسایش خندقی، زیرساخت‌های اصلی منطقه از جمله جاده، خطوط انتقال برق اصلی و فرعی و کارخانه‌ها بویژه مجتمع فولاد را تحت تاثیر قرار داده است که متاسفانه گاهی بعنوان دپوی زباله و یا احشام مرده مورد استفاده قرار می‌گیرد. نظیر بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک در این ناحیه، فرسایش آبراه‌ای بر روی سازندهای رس و مارن که دارای املاح ژپس و نمک هستند گسترش پیدا کرده است (احمدی، ۱۳۷۴).

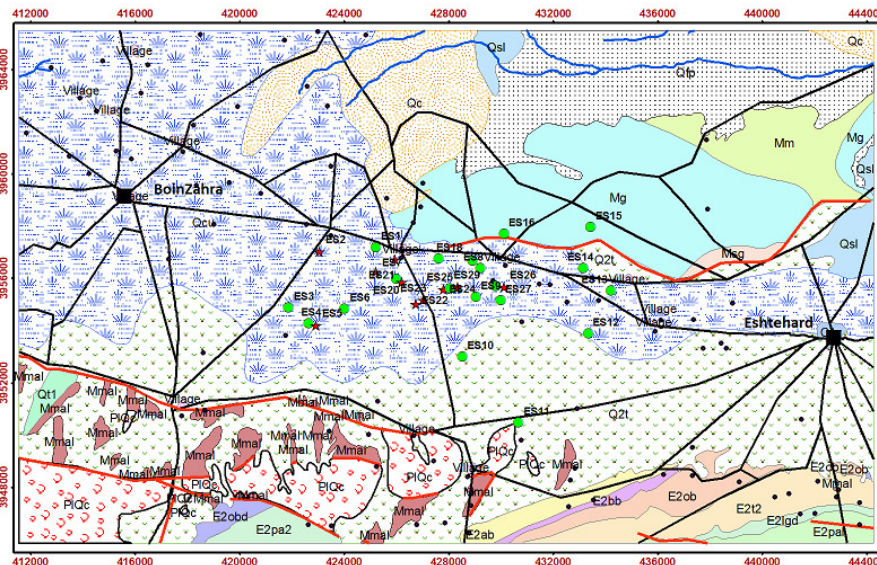
رسوب‌شناسی و ژئوالکترونیک انجام شده است (سومارگانال، ۲۰۰۲؛ بیمیش و همکاران، ۲۰۰۲؛ سواجان و همکاران، ۲۰۱۹؛ بیانچتی، ۲۰۰۱؛ سیمپسون، ۲۰۰۵؛ فرنبرگ، ۲۰۰۷؛ برزیسیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ سینها و همکاران، ۲۰۱۴) که نتایج این تحقیقات نشان داده است که با بررسی عوامل موثر بر ایجاد و تشدید فرسایش آبی، بطور کلی مارن و رس و اراضی ریزدانه به دلیل ساختار خود تراکم کافی و لازم را جهت مقاومت در مقابل عوامل آب وهوایی نداشته و در صورت سایر شرایط مساعد تخریب و فرسایش می‌یابند (زارع‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). بیش‌ترین میزان فرسایش مربوط به مناطق کشاورزی که در نواحی پرشیب و پرباران قرار دارند و کمترین میزان فرسایش مربوط به جنگل‌های طبیعی است. پوشش گیاهی در درجه اول و بارش و توپوگرافی نواحی در درجه دوم نقش موثری دارند (اوچاکوئوا و همکاران، ۲۰۱۳). از اطلاعات حاصل از هر یک از این روش‌ها می‌توان به پویایی فرآیندها بر روی شیب منطقه و همچنین فرسایش ایجاد شده پی‌برد (هاس و همکاران، ۲۰۱۶).

### مشخصات جغرافیایی منطقه

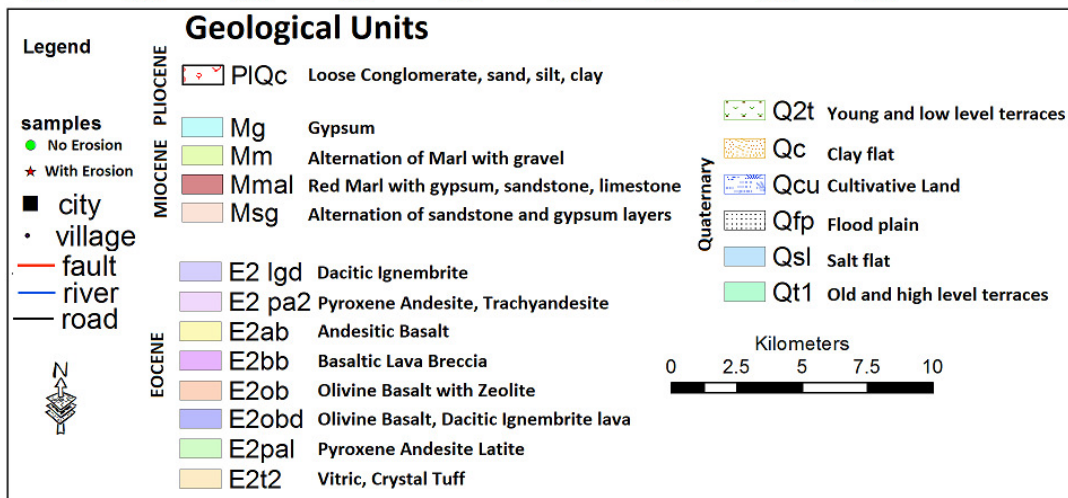
منطقه مورد مطالعه در حد فاصل بین اشتهارد و بوئین‌زهرها و بالادست جاده ترانزیت اصلی گرفته است. از نظر زمین‌شناسی، منطقه موردنظر در ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اشتهارد قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع میانگین منطقه ۱۲۷۰ متر و نقاط ارتفاعی عمده آن ۱۳۱۰ متر تا ۱۳۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد (نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه). البته در نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) محدوده مورد مطالعه شیب بسمت شمال بوده و حداکثر ارتفاع ۱۸۴۴ و حداقل آن ۱۱۱۷ متر می‌باشد (شکل ۲). از نظر اقلیمی به طور کلی منطقه مورد مطالعه جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک است، به طوری که دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک می‌باشد. میانگین بارندگی در این ناحیه بین ۱۷۹ تا ۲۵۴ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به میانگین سالانه بارندگی منطقه اشتهارد که ۲۷۰/۱ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای منطقه اشتهارد ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد اعلام شده است (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۰۴). نتایج منحنی آمبروترمیک منطقه اشتهارد نشان می‌دهد که اقلیم حاکم بر منطقه، اقلیم نیمه‌خشک

تبدیل محیط‌های دریایی سازند قم به حوضه‌های قاره‌ای سبب شده تا شرایط لازم برای نهشته شدن رسوبات آواری- تبخیری همزمان با فرایندهای فرسایش فراهم شود (امینی، ۲۰۰۱). یکی از ویژگی‌های سازند قرمز بالایی سیمای ظاهری آن است که به جز حاشیه ارتفاعات، به طور عموم نواحی کم ارتفاع دشت گونه را زیر پوشش دارد (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد، ۱۳۶۷). در شکل ۱ واحدهای آندزیت‌های ائوسن (*Eav*)، مارن‌های قرمز بالایی (*Mur*)، دیوریت‌ها و بازالت‌های الیگومیوسن (*OMd,b*) و پهنه‌های رسی نمکی و آبرفت‌های مخروط‌افکنه‌های جدید و قدیمی کواترنر (*Qcf,ft1,2*) رخنمون دارند.

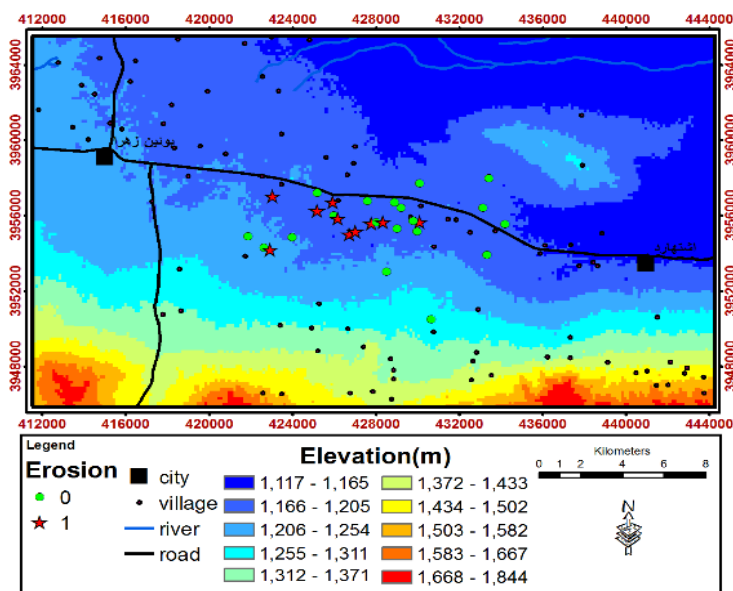
این نوع فرسایش به دو عامل مکانیکی یعنی نیروی برشی آب و مقاومت خاک در برابر جدا شدن ذرات بستگی کامل دارد (رفاهی، ۱۳۷۹). چینه‌شناسی شمال منطقه شامل رسوبات کواترنری و سازند قرمز بالایی بوده و منشاء رسوبات دشت در پایین دست جاده اصلی ترانزیت و شمال منطقه سازند قرمز بالایی به سن میوسن پسین است و به سه واحد *M3, M2, M1* تقسیم شده است (طالبی، ۱۳۹۰؛ میرزازاده و همکاران، ۱۳۹۱). در بیش‌تر نواحی باختر ایران مرکزی، سازند آهکی قم به سن الیگوسن- میوسن با لایه‌های آواری سرخ رنگی پوشیده می‌شود که نشانگر حوضه‌های رسوبی قاره‌ای است. براساس شواهد پس از اشکوب بوردیگالین، با پسروی دریا، تغییرات شدید رخساره و نوع نهشته‌ها فراهم آمده و



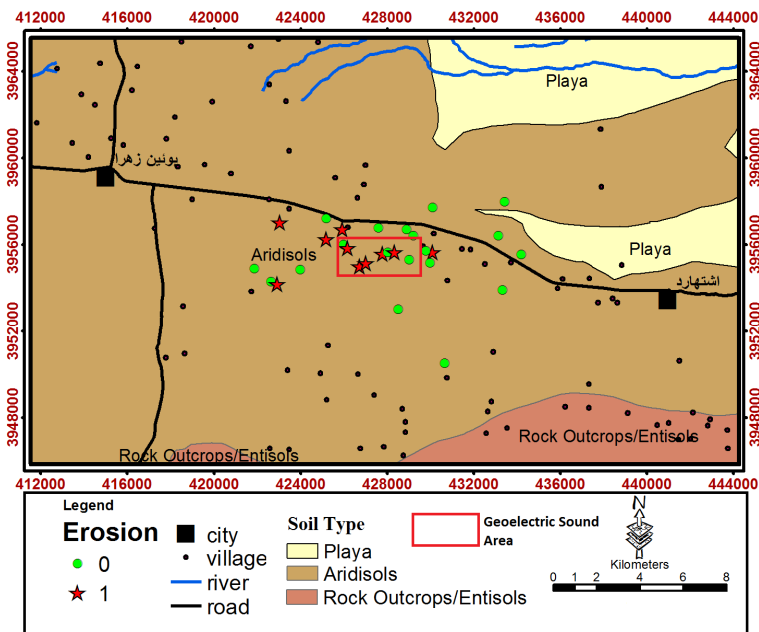
Geological Map of Study area Eshtehard



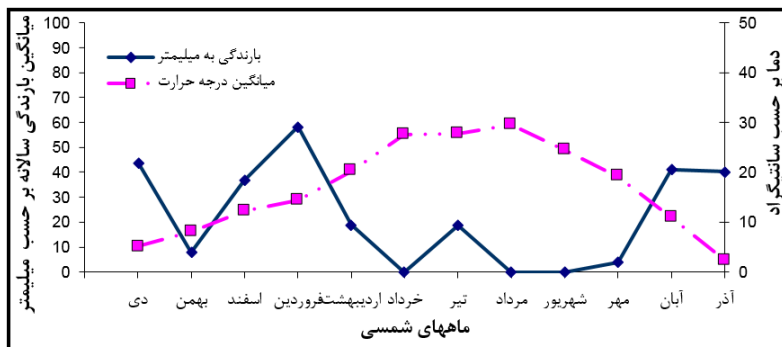
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی عمومی در محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد سازمان زمین‌شناسی، یوسفی و همکاران، ۱۳۶۷).



شکل ۲. نقشه مدل رقومی ارتفاع در محدوده مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه خاک‌شناسی عمومی منطقه



شکل ۴. منحنی آمبروترمیک، ترسیم با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه اشتهارد ۲۰۰۴

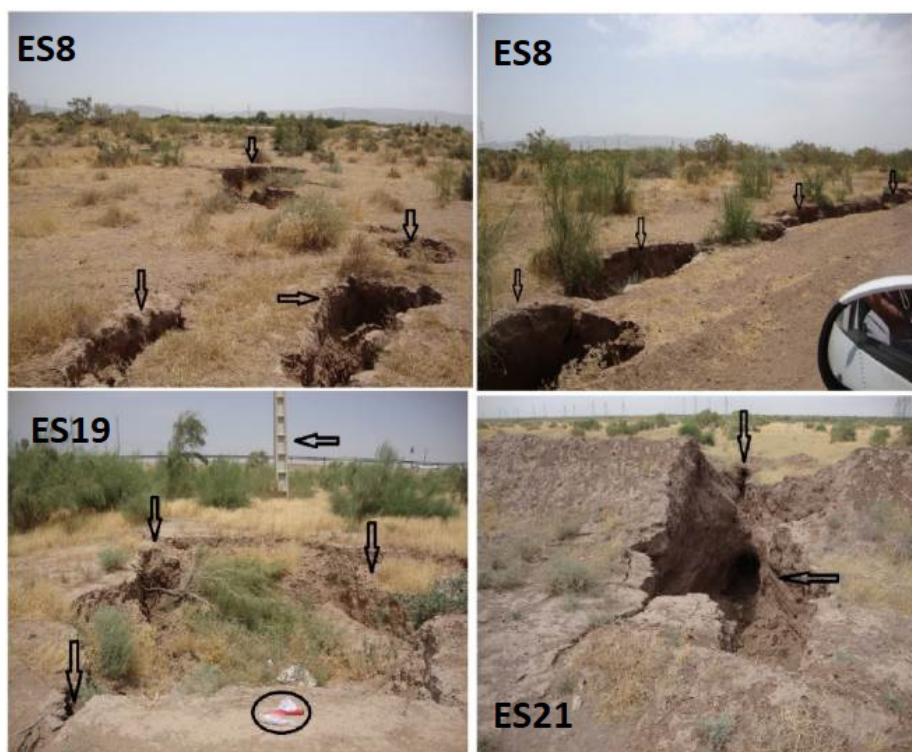
## مطالعات رسوب‌شناسی

در این تحقیق پس از بازدید میدانی از منطقه اشتهارد، پیمایش مسیر دکل‌های برق و مشاهده تاثیر مارن‌ها در فرسایش، تصمیم بر آن شد که علاوه بر خاک‌های مجاور دکل‌های برق (واحد  $Qft_2$  در نقشه زمین‌شناسی)، از سه نمونه متفاوت مارن موجود (واحدهای  $m_1$  و  $m_2$  و  $m_3$  متعلق به سازند سرخ بالایی، شکل ۹) در منطقه نیز نمونه‌برداری و آزمایشاتی بر روی آن‌ها انجام شود و نتایج مقایسه گردند. در نقشه زمین‌شناسی محل برداشت نمونه‌ها مشخص می‌باشد. (شکل ۱). برای نمونه‌برداری از نقاط تعیین شده تعداد ۶۰ نمونه خاک از عمق ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری به وزن ۲ کیلوگرم و در کیسه‌های نایلونی مناسب برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. هم‌چنین در محل برداشت با کیت مخصوص پارامترهایی نظیر  $PH$  و  $EC$  و  $TDS$  از خاک‌ها بصورت محلول در آب مقطر اندازه‌گیری و یادداشت شد. در آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشگاه خوارزمی، آزمایشات دانه‌بندی (غربال) و هیدرومتری، کلسیمتری، کاساگراند انجام شده و از قسمت ریزدانه بخشی جدا شده و برای

تعیین نوع کانی‌های رسی به آزمایشگاه زرآرما ارسال شد. نتایج در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## مطالعات ژئوالکتریک

برای درک چگونگی گسترش لایه‌های رسوبی و وجود و عدم وجود حفرات زیرسطحی در مجاورت دکل‌ها، براساس بازدیدهای میدانی و مطالعات رسوب‌شناسی با توجه به منابع مالی محدود دو خط برداشت یا پروفیل برای برداشت‌های صحرایی ژئوالکتریک در دو راستای موازی و عمود بر خط انتقال در یک از مناطق بحرانی انتخاب شد. خط برداشت اول شامل ۹ سونداژ و خط دوم ۵ سونداژ بودند (شکل ۱۶). پس از انجام برداشت‌ها، داده‌های مورد نظر با نرم‌افزار  $IPI2WIN$  پردازش و تفسیر شده و پس از تفسیر انفرادی و نقطه‌ای، پردازش گروهی انجام شده و شبه‌مقاطع و مقاطع ژئوالکتریکی، گرادیان عمقی مقاومت الکتریکی، مقطع تغییرات هدایت الکتریکی و پراکنش آماری مقادیر مقاومت ترسیم و مورد بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۱۷ تا ۲۰).



شکل ۵. چند نما از فرسایش تونلی و خندقی در منطقه اشتهارد (محدوده جنگل آبخیزداری مجاور جاده ترانزیت به همراه شماره نمونه‌ها)



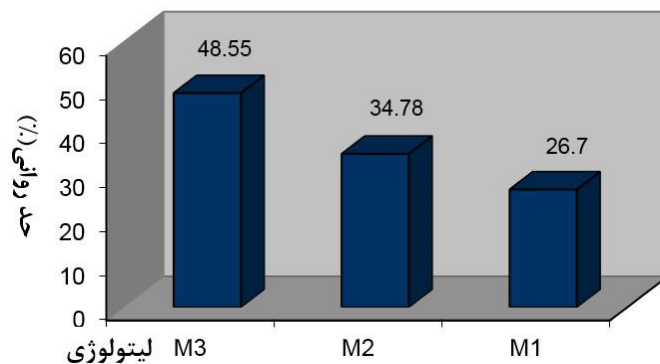
ادامه شکل ۵. چند نما از فرسایش تونلی و خندقی در منطقه اشتهارد (محدوده جنگل آبخیزداری مجاور جاده ترانزیت به‌مراه شماره نمونه‌ها)

### بحث

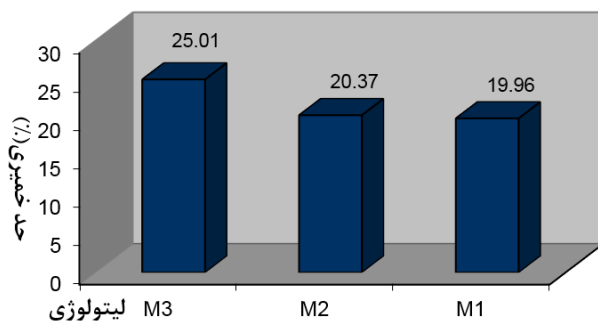
#### مطالعات رسوب‌شناسی

در این بخش به بررسی نتایج آزمایش‌های انجام شده و تفسیر آن‌ها پرداخته می‌شود. از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی و حدود آتبرگ، در منطقه اشتهارد، نمونه‌ها در محدوده *CL*، *ML and OL* و (یک مورد *MH and OH*) از خاک‌های ریزدانه قرار دارند که ترکیبی از سیلت و رس می‌باشند. این خاک‌ها ریزدانه بوده و دارای چسبندگی کم تا خیلی کم می‌باشند و خاصیت خمیری آن‌ها کم تا متوسط می‌باشد (شکل‌های ۶، ۷ و ۸).

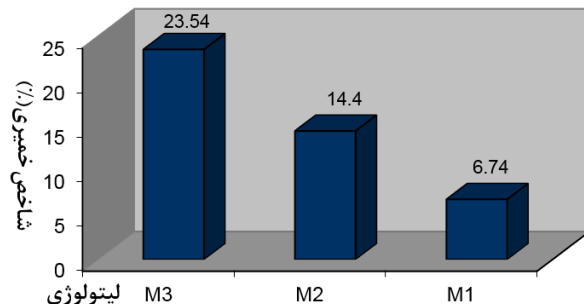
حدود آتبرگ معیار خوبی برای تشخیص رس و سیلت می‌باشد. به طوریکه خاک با ذرات کوچک‌تر از  $0.074$  میلی‌متر و حد روانی  $2.8\%$  یا کمتر و شاخص خمیری  $6\%$  یا کمتر سیلتی نامیده می‌شود و اگر حد روانی خاک ریزدانه بالاتر از  $2.8\%$  و شاخص خمیری آن بالاتر از  $6\%$  باشد، خاک رسی می‌باشد (باولز، ۱۹۹۲). حد خمیری در رسوبات اشتهارد حداقل  $14/62$  و حداکثر  $28/02$  درصد و شاخص خمیری نمونه‌های برداشت شده منطقه بین حداقل  $5/67$  تا  $26/4$  درصد در تغییر است.



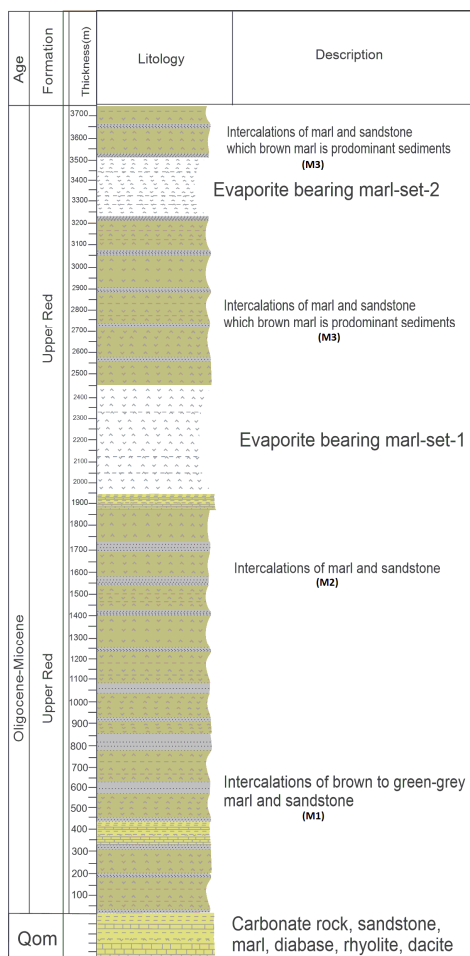
شکل ۶. مقایسه مقدار درصد حد روانی در واحدهای مختلف مارنی مربوط به سازند قرمز بالایی



شکل ۷. مقایسه مقدار درصد حد خمیری در واحدهای مختلف مارنی



شکل ۸. مقایسه مقدار درصد شاخص خمیری در واحدهای مختلف مارنی



شکل ۹. ستون چینه شناسی واحدهای زمین‌شناسی منطقه شامل واحدهای مختلف مارنی

باشد. این کانی‌ها آب دوست بوده و قابلیت انبساط بالایی دارند، آن‌ها هم‌چنین به علت داشتن سطح ویژه تبدالی<sup>۱</sup> بزرگ، حجم واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی در آن‌ها بالا بوده و به همین علت قابلیت خاک دانه‌سازی در آن‌ها بیش‌تر است. اما به علت قابلیت انبساطی، این رس‌ها و وجود کاتیون‌های با شعاع هیدراته بزرگ مانند یون سدیم، این رس‌ها آماس می‌کنند و ساختمان خاک از بین می‌برند. حساسیت کانی‌های رسی نسبت به آماس‌پذیری و تورم به صورت زیر است (امرسون، ۱۹۶۴):

افزایش حساسیت به تورم  
 مونتموریلونیت - ورمیکولیت - ایلیت - کلریت - کائولینیت

بعد از تعیین درصد اندازه دانه‌ها، مشخص شد که محدوده اندازه دانه‌ها در نمونه‌ها بین رس تا ماسه می‌باشند. یک مورد از نمونه‌ها دارای درصد کمی از ذرات درشت‌تر از ماسه می‌باشد. میزان رس در نمونه‌ها بین ۵ تا ۴۰ درصد می‌باشد. این در حالی است که درصد سیلت در نمونه‌ها بین ۲۵ تا ۸۷/۵ درصد است. درصد ذرات در حد ماسه بین ۲/۵ تا ۳۷/۵ درصد متغیر است. بخش‌های ریزدانه و حساس به فرسایش در هر یک از واحدهای سازند قرمز بالایی به طور عمده از نوع سیلت، سیلت‌ماسه‌ای، یک مورد ماسه سیلتی و یک مورد ماسه‌گلی با کمی گراول می‌باشد. بنابراین به کار بردن واژه مارن برای آن‌ها از لحاظ زمین‌شناسی درست نمی‌باشد و بهتر است به آن‌ها سیلت‌سنگ و گل‌سنگ، اطلاق کرد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

بنظر می‌رسد از واحد  $M_3$  به طرف واحد  $M_1$  محیط‌رسوبی دارای عمق بیش‌تر و محیطی با آرامش بیش‌تر شده است. انحلال یون‌ها و پایداری کانی‌ها به خصوص کانی‌های سیلیکاته، به  $pH$  وابسته است. در مارن که بستر تشکیل خاک‌های شور و قلیا است،  $pH$  در حدود ۸ تا ۸/۵ است. این مقدار اسیدیته باعث می‌شود عناصری مانند  $Al$ ،  $Si$  و آهن موجود در ساختمان کانی‌ها، انحلال یابد و به دنبال آن ساختمان کانی‌ها متلاشی می‌شود. ارتباط بین  $pH$  خاک و فرسایش‌پذیری بستگی به ساختمان و میزان سیلت خاک دارد. برای خاک‌های حاوی سیلت زیاد با افزایش  $pH$  فرسایش‌پذیری افزایش، ولی اگر ساختمان خاک متوسط باشد با افزایش  $pH$  فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد. مقدار  $pH$  در نمونه‌های آزمایش شده بین ۸/۱۵ تا ۹/۴۱ در تغییر

یکی از مشخصات مهم خاک‌های ریزدانه، قابلیت تغییر شکل آن‌ها بدون گسیختگی است. این خاصیت ناشی از وجود کانی‌های رسی یا مواد آلی در خاک می‌باشد. خاک‌های ریزدانه با افزایش مقدار آب جذب شده حالات مختلفی به خود می‌گیرند. افزایش آب، باعث پوشیده شدن دانه‌ها با یک لایه آب جذب سطحی می‌شود. با افزودن آب بر ضخامت لایه‌ی آب دور دانه‌ها اضافه شده و لغزش دانه‌ها بر روی یکدیگر راحت‌تر می‌شود. بنابراین، رفتار خاک در عمل به میزان آب داخل مجموعه بستگی دارد (به نقل از حقیقت، ۱۳۸۵). کانی‌های رسی به علت ساختمان بلوری، دارای نیروهای سطحی زیادی هستند که وجود آب جذب شده سطحی به علت وجود همین نیروها می‌باشد. این نیروها می‌توانند بر نیروی ثقل آب غلبه نمایند.

برای تعیین کانی‌های رسی، تعداد ۵ نمونه واحدهای مختلف مارنی منطقه به روش آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) با دستگاه Philips مدل PW1800 با لامپ مس در شرکت کانساران بینالود استفاده گردید (شکل ۹). معمولاً در خاک، پایداری خاکدانه‌ها به نوع کانی رسی بستگی دارد. رس‌هایی که در آن‌ها نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیم بیش‌تر باشد در اثر رطوبت متورم شده و خاکدانه‌ها ناپایدار می‌گردند و برعکس رس‌هایی که این نسبت در آن‌ها کمتر باشد خاکدانه‌ها در برابر آب مقاومت بیش‌تری دارند و فرسایش‌پذیری آن‌ها کمتر است. حساسیت کانی‌های رسی نسبت به آماس‌پذیری و تورم بترتیب از مونتموریلونیت به ورمیکولیت - ایلیت - کلریت - کائولینیت کاهش می‌یابد. کانی‌های رسی موجود در واحدهای مارنی مختلف سازند قرمز بالایی،  $M_1$  و  $M_2$  به علت دارا بودن کانی رسی انبساط‌پذیر و حساس به تورم مونتموریلونیت، مستعد فرسایش و از هم پاشیدگی خاکدانه‌ها می‌باشد. هم‌چنین واحد  $M_3$  به علت دارا بودن کوارتز و کلسیت که کانی‌های مقاوم‌تری است، فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به آن دو واحد دارد.

مونتموریلونیت در نتیجه آلتراسیون به کائولینیت و یا کلریت تبدیل می‌شود و در نتیجه دیاژنز تدفینی و فشار طبقات بالایی به ایلیت تبدیل می‌شود. این کانی در جریان فرسایش از بین می‌رود، فقدان و یا مقدار بسیار کم آن به تجمع رسوب در آب‌های شیرین نسبت داده می‌شود. محیط غیردریایی را برای آن مناسب می‌داند. عدم وفور کانی مونتموریلونیت می‌تواند واسطه شرایط تقریباً دریایی حوضه

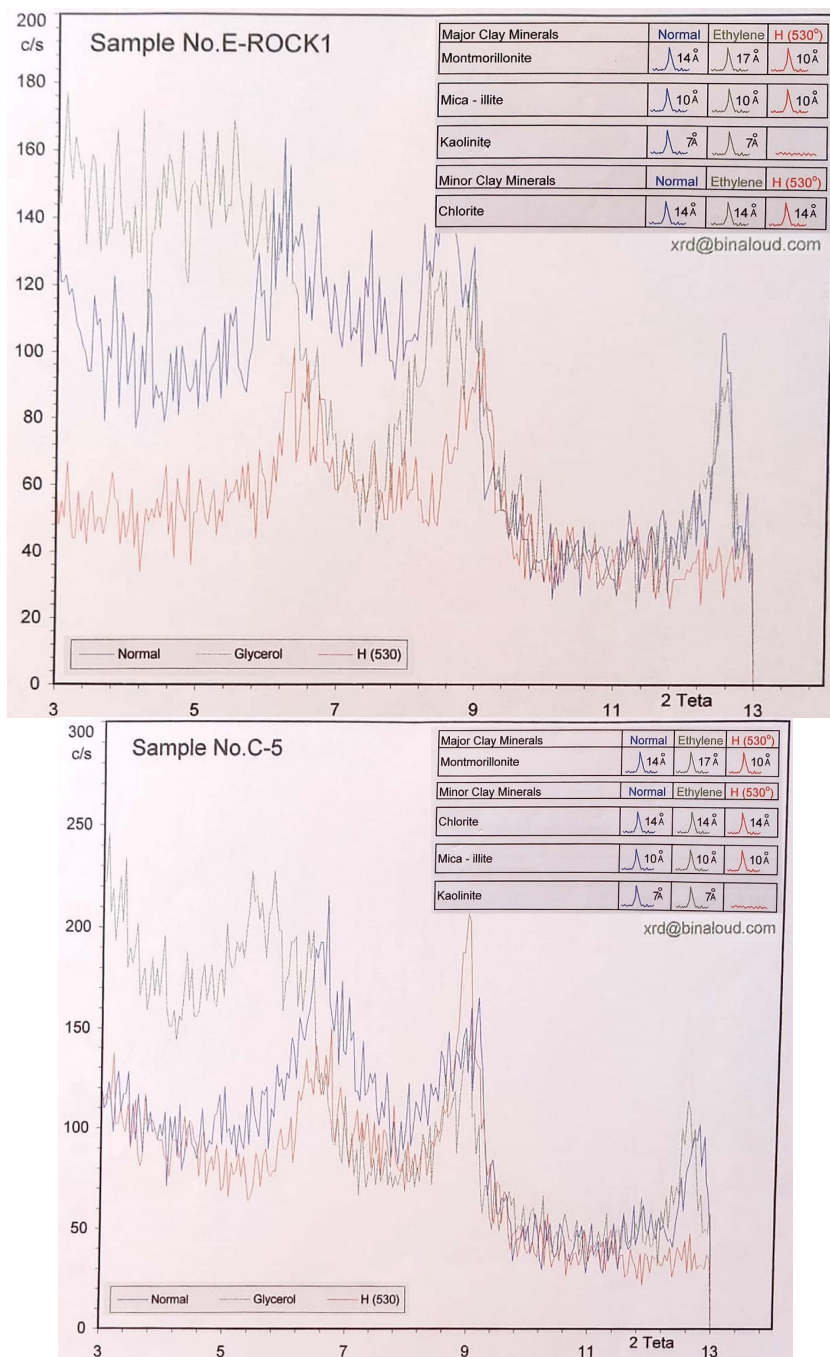
<sup>1</sup> Specific Surface area



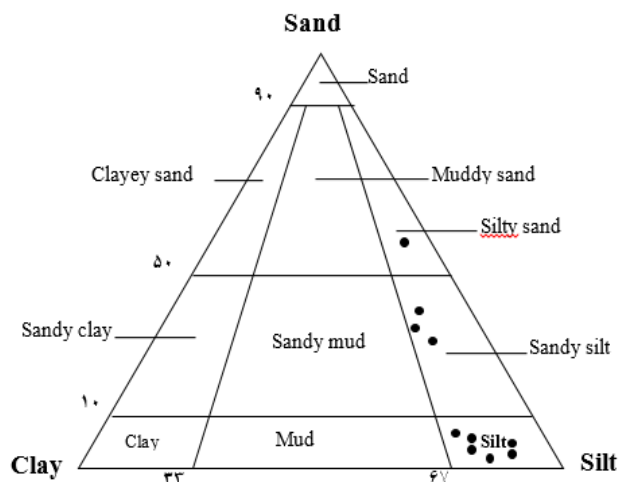
است تبادل حاصل کنند. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کاتیون‌های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم و کاتیون‌های تک‌ظرفیتی سدیم و پتاسیم، کاتیون غالب خاک می‌باشند. افزایش قدرت تبدالی کاتیون‌ها در محیط خاک را می‌توان براساس ردیف زیر طبقه‌بندی نمود:



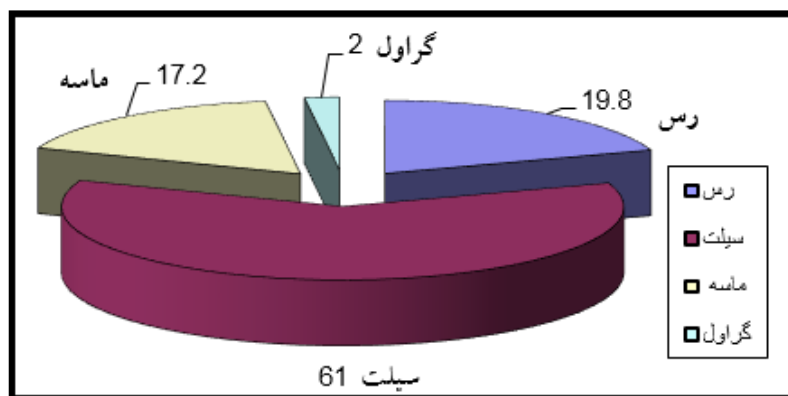
است. در منطقه مورد مطالعه، در واحد  $M_1$  سازند قرمز بالایی، این پارامتر نسبت به  $M_2$  و  $M_3$  افزایش نشان می‌دهد. لذا این واحد مستعد فرسایش می‌باشد. کاتیون‌های تبدالی یون‌هایی با بار مثبت از محلول خاک هستند که جذب سطح ذرات می‌شوند تا بار منفی آن‌ها را خنثی کنند. این کاتیون‌ها قادرند با کاتیون‌هایی که ظرفیت مشابه دارند و یا با دو کاتیون که ظرفیت آن نصف کاتیون جانشین شونده



شکل ۱۰. گراف آزمایش XRD مربوط به واحدهای  $M_3$  بالا و  $M_1$  پایین (آنالیزها توسط آزمایشگاه کانساران بینالود)



شکل ۱۱. موقعیت نمونه‌های معرف در مثلث‌های طبقه‌بندی رسوبات (فولک، ۱۹۷۴)



شکل ۱۲. نوع و درصد فراوانی اندازه ذرات تشکیل‌دهنده در بخش‌های ریزدانه سازند قرمز بالایی

در نمونه‌های منطقه بین ۰/۰۷ تا ۰/۵۵۷ در تغییر است. مقایسه بین واحدهای مارنی منطقه نشان داده که واحد  $M_2$  دارای بیش‌ترین مقدار ماده آلی (۰/۶۰۴) و واحد  $M_3$  با مقدار (۰/۲۶۲) دارای کمترین مقدار می‌باشد. با افزایش مواد آلی از ۰/۵ به ۲ درصد، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد و با افزایش مواد آلی از ۲ به ۳ درصد، فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد. کربن آلی تنها برای مقادیر کمتر از ۰/۵ درصد اهمیت دارد. در نتیجه مارن‌های هر سه واحد موجود در منطقه مورد مطالعه حساس به فرسایش هستند. مقدار  $CEC$  در نمونه‌های اشتهاورد بین ۶/۲۶ تا ۳۰/۹۶ میلی اکی‌والان در صد گرم خاک در تغییر است. در سازند قرمز بالایی در منطقه واحد  $M_2$  بیش‌ترین مقدار  $CEC$  و واحد  $M_1$  کمترین مقدار را دارا می‌باشد. بافت رسوبات سازند قرمز بالایی منطقه مورد مطالعه از نوع سیلت، سیلت ماسه‌ای و یک مورد ماسه‌سیلتی و یک مورد ماسه‌گلی با کمی گراول

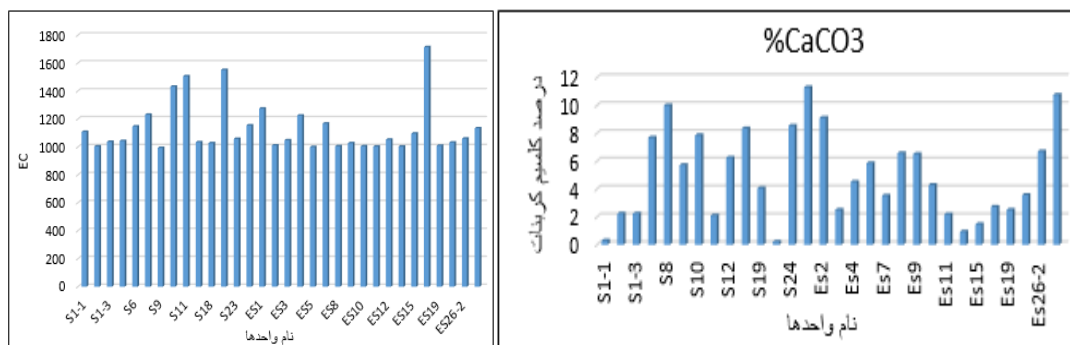
میزان میانگین کاتیون دوظرفیتی کلسیم در واحد  $M_2$  بیش‌تر از بقیه واحدها ولی میانگین یون‌های سدیم، پتاسیم و منیزیم در واحد  $M_1$  بیش‌تر است. مقادیر کاتیون‌های دوظرفیتی و یک ظرفیتی و نسبت بین کاتیون‌های یک ظرفیتی و دوظرفیتی در واحدهای مختلف سازند مورد مقایسه قرار گرفته است. نسبت کاتیون‌های یک ظرفیتی به دوظرفیتی در واحد  $M_3$  و  $M_1$  نسبت به واحد  $M_2$  بیش‌تر بوده، که دلالت بر حساسیت به فرسایش بیش‌تر این دو واحد می‌باشد. مقدار ژپس موجود در واحدهای مختلف مارنی سازند بین ۰/۰۰۹ تا ۱/۶۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر در تغییر است. مقایسه بین واحدهای مارنی اشتهاورد نشان می‌دهد که واحد  $M_3$  نسبت به دو واحد دیگر دارای مقدار ژپس بیش‌تری می‌باشد، در حالی که این پارامتر در واحد  $M_2$  کمترین مقدار است. مواد آلی مانند کانی‌های رسی دارای بار منفی در سطح خود می‌باشند. کربن آلی موجود

نمونه‌های مارن‌های شمال مورد مطالعه بین ۵۳/۲ تا ۲/۷۳ میکروموس بر سانتی‌متر در تغییر می‌باشد. با مقایسه میانگین این متغیر در سه واحد زمین‌شناسی سازند قرمز بالایی، مشخص می‌شود که واحد  $M_1$  بیش‌ترین مقدار و واحد  $M_2$  کمترین میزان املاح محلول را در عصاره اشباع خود دارا می‌باشند (شکل ۱۵). به کمک میزان هدایت الکتریکی می‌توان میزان شوری خاک را تعیین کرد. با افزایش شوری هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. ارتباط بین شوری و غلظت نمک‌های محلول خطی است (پیروان و اسدی، ۱۳۸۴). از ویژگی بارز اراضی مارنی وجود مقادیر فراوان نمک در آن‌هاست. این نکته هم باید یادآوری شود که  $EC$  محلول خاک، بستگی به تعداد نمک‌های محلول دارد و نه وزن آن‌ها (پیروان و اسدی، ۱۳۸۴). در خاک‌های مورد مطالعه شوری خاک بالاست که باعث ایجاد ساختمان دانه‌ای ریز در آن‌ها در حالت خشک می‌شود، ولی به محض رسیدن رطوبت به آن‌ها خاک متلاشی می‌شود. به عبارتی می‌توان گفت که این خاک‌ها دارای ساختمان دروغین<sup>۱</sup> هستند (فائو و یونسکو، ۱۹۷۲). بیش‌ترین کاتیون و آنیون محلول در این منطقه که در ارتباط با شوری خاک هستند یون‌های سدیم و کلر می‌باشند. به عبارتی شوری خاک در اراضی مارنی مورد مطالعه بیش‌تر تحت تأثیر سدیم و کلر قرار دارد. افزایش نمک در پروفیل خاک غیر از اثر بر غلظت محلول خاک ممکن است به تغییر کمپلکس تبدالی نیز بیانجامد. چنین تغییری به طور مشخص در جهت افزایش درصد یون  $Na^+$  قابل تبادل است. زیرا نمک‌های سدیمی انحلال‌پذیرترین نوع نمک‌های طبیعت هستند که انحلال آزاد شدن سدیم باعث دیسپرسه شدن خاک می‌شود. افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن می‌شود. مقدار هدایت الکتریکی که رابطه مستقیم با املاح دارد به عنوان شاخصی برای فرسایش‌پذیری مارن‌ها در نظر گرفته شده است. براساس نتایج بدست آمده آزمایش هدایت الکتریکی بر روی نمونه‌های رسوبی اشتهاارد می‌توان گفت که واحد  $M_1$  دارای شوری بسیار کم تا زیاد، واحد  $M_2$  شوری بسیار کم و زیاد داشته و در نهایت واحد  $M_3$  دارای شوری بسیار کم و متوسط می‌باشد (جدول ۱).

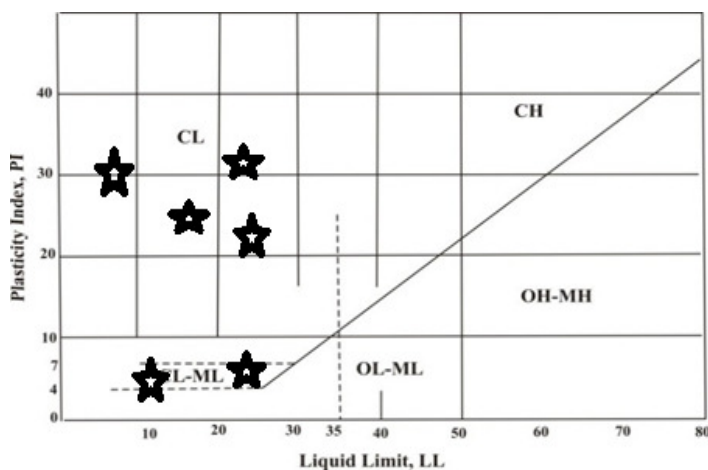
می‌باشد. پس از تعیین درصد اندازه دانه‌ها مشخص شد نمونه‌های مورد مطالعه دارای ۵ تا ۴۰ درصد رس، ۲۵ تا ۸۷/۵ درصد سیلت، ۲/۵ تا ۳۷/۵ درصد ماسه و مقدار بسیار جزئی گراول می‌باشند. رسوبات دارای جورشدگی بد می‌باشند. با توجه به این که نمونه‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه اندازه‌هایی در حد سیلت دارند لذا نتیجه می‌شود که نهشته‌های نئوژن منطقه در گروه ریزدانه عمدتاً سیلتی قرار می‌گیرند. هم‌چنین با توجه به اینکه مقادیر درصد آهک نمونه‌های مارنی بطور عمده زیر ۲۰ درصد است. در ضمن با توجه به فراوانی اجزاء سیلتی در نمونه‌ها (ارجاع به مثلث فولک) و فراوانی املاح ژیبس و نمک می‌توان به این رسوبات سیلت‌سنگ و گل‌سنگ‌های ژیبسی-نمکی اطلاق کرد. مطالعات شیمیایی در منطقه نشان می‌دهد که مقادیر  $SAR$  و  $pH$  و مقدار یون‌های سدیم، منیزیم، پتاسیم و کلر در واحد  $M_1$  نسبت به دیگر واحدها بالا بوده و در نتیجه این واحد مستعد هرگونه فرسایش است. زیرا هر چه مقدار  $SAR$  افزایش یابد نشانه آن است که مقدار کاتیون تک‌ظرفیتی (سدیم) نسبت به کاتیون‌های دوظرفیتی (کلسیم و منیزیم) بالاتر بوده و به علت میزان سدیم بیش‌تر و نقش آن در پخشیدگی خاکدانه‌ها، مقدار نفوذ کاهش و میزان رسوبدهی افزایش می‌یابد. هم‌چنین بالا بودن نسبت کاتیون‌ها تک‌ظرفیتی به دوظرفیتی در واحدهای مختلف نشان داد که واحد  $M_1$  و  $M_3$  دارای مقدار بالاتری نسبت به واحد  $M_2$  می‌باشند. مسلم است هر چه این نسبت بالاتر باشد دلالت بر حساسیت بیش‌تر نسبت به فرسایش می‌باشد. لذا واحدهای  $M_1$  و  $M_3$  فرسایش‌پذیری بالایی دارند.

میزان کربنات کلسیم در تشخیص عمق رسوبات دریایی اهمیت فراوانی دارد و غالباً پیشروی دریا با افزایش رسوب‌های آهکی توأم است و پیشروی آن، میزان رسوبات تخریبی را افزایش می‌دهد (معتد، ۱۳۷۴). هنگامی که مقدار درصد کربنات کلسیم زیاد می‌شود در رسوبات مارنی نشان‌دهنده عمیق شدن حوضه رسوبی و شرایط پایدارتر و آرام می‌باشد و برعکس هنگامی که درصد کربنات کلسیم کاهش و از طرفی میزان رس بالا می‌رود نشان‌دهنده کم عمق‌تر شدن حوضه رسوب‌گذاری است. از واحد  $M_3$  به طرف واحد  $M_1$  محیط‌رسوبی دارای عمق بیش‌تر و آرامش بیش‌تر می‌شود (شکل ۱۲). نتایج حاصل از برداشت‌های برجای میدانی نشان دادند که میزان املاح محلول در عصاره اشباع نمونه‌ها متغیر می‌باشد، به طوریکه محدوده  $EC$  در

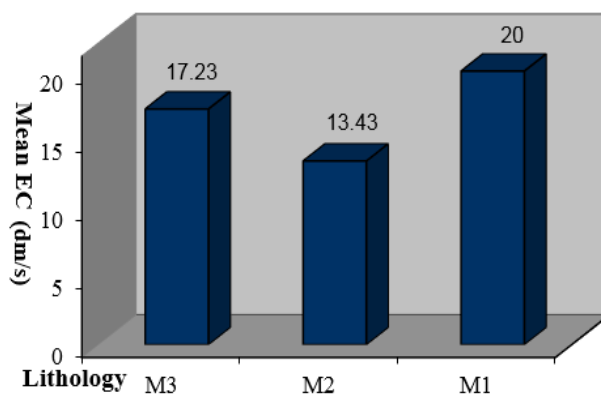
<sup>۱</sup> Pseudo Structure



شکل ۱۳. تغییرات میزان کربنات کلسیم و هدایت الکتریکی در نمونه‌ها



شکل ۱۴. نمودار کاساگراندهای خاک دو منطقه در مجاورت خطوط انتقال



شکل ۱۵. مقایسه مقدار EC در واحدهای مختلف مارنی

جدول ۱. طبقه‌بندی میزان شوری مارن‌های منطقه اشتهارد

نام واحد زمین‌شناسی	میزان در مارن‌های منطقه	توصیف خاک	Ec ( $\mu\text{moh/cm}$ )	کلاس
-	-	غیر شور	۰-۲	۰
M1-M2-M3	۲/۷۳-۳/۴۷	شوری بسیار کم	۲-۴	۱
M1	۴/۰۸	شوری کم	۴-۸	۲
M3	۱۲/۳۷	شوری متوسط	۸-۱۶	۳
M1-M2	۱۹/۵۴-۵۳/۲	شوری زیاد	۱۶<	۴

جدول ۲. مقایسه میانگین کاتیون‌های دوظرفیتی و یک ظرفیتی عناصر مهم در مارن‌های منطقه اشتهارد

واحد زمین‌شناسی			میانگین کاتیون‌ها
<i>M3</i>	<i>M2</i>	<i>M1</i>	
۴۸/۳۹	۶۹	۴۹/۸۴	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$
۱۸۴/۳۱	۹۰/۸۲	۱۸۹/۶	$Na^{+}+K^{+}$
۳/۸۰	۱/۳۱	۳/۸۰	$\frac{Na^{+}+K^{+}}{Ca^{2+}+Mg^{2+}}$

نشان داده است که با افزایش مواد آلی از ۰/۵ به ۲ درصد، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد و با افزایش مواد آلی از ۲ به ۳ درصد، فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد. طبق نظر آن‌ها کربن آلی تنها برای مقادیر کمتر از ۰/۵ درصد اهمیت دارد. بنابراین میزان کربن آلی در برآورد فرسایش‌پذیری در خاک‌های با مقدار کم کربن آلی حائز اهمیت است. در نتیجه مارن‌های هر سه واحد موجود در منطقه مورد مطالعه حساس به فرسایش هستند.

#### مطالعات ژئوالکتریک

در بخش ژئوالکتریک هدف نمایش گسترش حفرات زیرسطحی و تشخیص و تفکیک لایه‌های رسوبی زیرسطح زمین در این منطقه بوده است. برای اینکار ۱۴ سونداژ در دو راستای عمود و موازی خطوط انتقال در نقاط دارا و فاقد آثار فرسایش تونلی برداشت شد که محل آن‌ها در نقشه ۱۶ آورده شده است. نتایج در قالب مقاطع عرضی مختلفی تهیه و تفسیر شدند.

مطالعات ژئوالکتریک علاوه بر کاربردهای اکتشافی، بطور گسترده‌ای در بخش‌های مختلف شناسایی و پالایش مخاطرات زمین‌شناسی و زیست‌محیطی بکار گرفته شده‌اند (رینولد، ۱۹۹۷؛ سومرانگال، ۲۰۰۲؛ بیمیش و همکاران، ۲۰۰۲؛ سوگان و همکاران، ۲۰۱۹؛ بیانچتی، ۲۰۰۱). در بحث شناسایی و تعیین حدود حفرات زیرسطحی از جمله حفرات ناشی از توسعه فرسایش تونلی نیز مطالعات ژئوفیزیکی توانایی خود را نشان داده‌اند (بوتلر، ۲۰۰۰؛ سیمپسون، ۲۰۰۵؛ فرنبرگ، ۲۰۰۷؛ برزسیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ سینها و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق نیز پس از برداشت‌های صحرائی و پردازش داده‌ها، مقاطع عرضی مختلفی تهیه و تفسیر شدند. در شکل ۱۷ شبه مقاطع و در شکل ۱۸ مقاطع ژئوالکتریکی حاصله نشان داده شده‌اند. در هر دو شکل می‌توان دید که در زیر لایه سطحی زمین و در

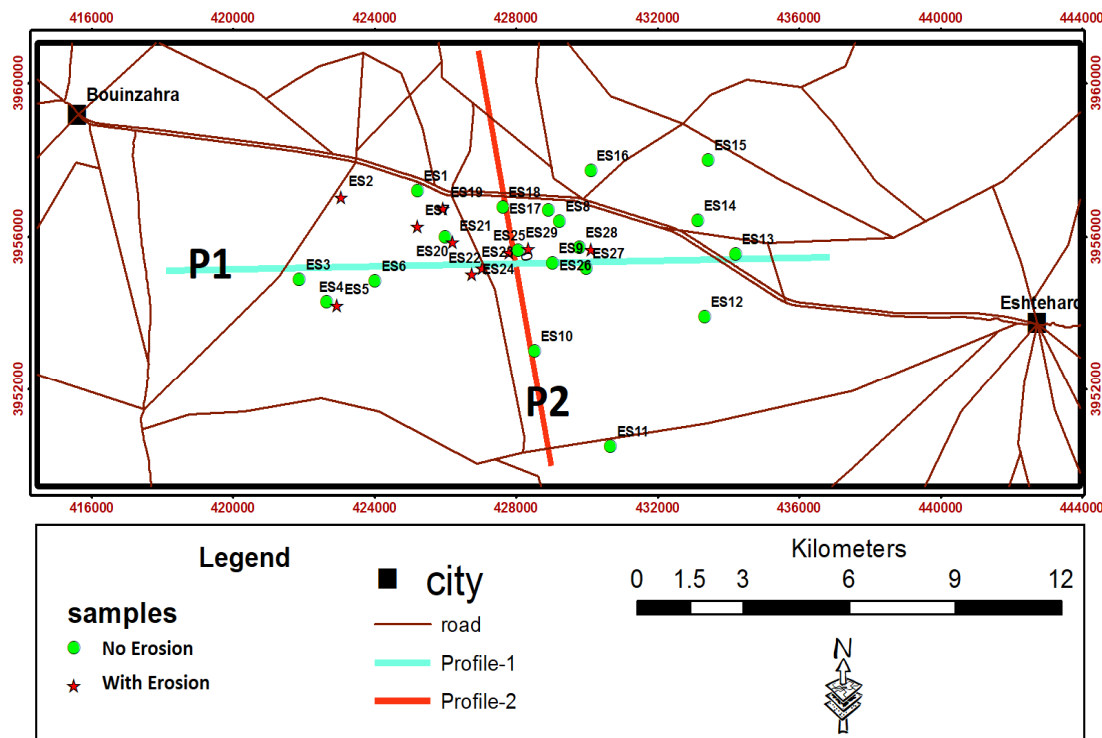
آنیون‌های سولفات، کلر و بی‌کربنات از مهم‌ترین آنیون‌های محلول موجود در مارن‌های منطقه هستند. با توجه به نمودارهای مقدار میانگین یون کلر در واحد  $M_1$  یون بی‌کربنات در واحد  $M_2$  و مقدار یون سولفات در واحد  $M_3$  بیش‌ترین مقدار است. یون کلر معمولاً در عصاره خاک‌های شور آنیون اصلی را تشکیل می‌دهد که گاهی غلظت آن به صدها میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌رسد. به طور کلی افزایش یون کلر می‌تواند در ترکیباتی به همراه سدیم و منیزیم شرکت کرده و موجب ناپایداری و فرسایش‌پذیری بیش‌تر مارن شود. نقش آنیون‌های فوق در ناپایداری خاک را مربوط به تشکیل ترکیبات کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم می‌داند (رفاهی، ۱۳۸۵).

خاک‌های مناطق خشک به میزان قابل‌توجهی ژپس داشته که بر اثر تبخیر آب‌های زیرزمینی و یا تکامل خاک‌ها از مواد مادری ایجاد می‌شوند. میزان ژپس موجود در خاک‌های مارنی، از اجزای مادری این مارن‌ها تأمین شده است. این فاکتور با دارا بودن یون کلسیم می‌تواند به عنوان ماده اصلاحی برای تثبیت خاک‌های ناپایدار و پخش شونده به کار رود. در مطالعاتی که نگارنده در زمینه تأثیر ژپس در پایداری خاک دانه‌ها، کاهش رواناب و فرسایش انجام داده به این نتیجه رسید که با اضافه کردن ژپس به خاک، مقدار رواناب کاهش معناداری نشان می‌دهد که این افزودن ژپس باعث جایگزینی یون‌های کلسیم ژپس با یون‌های سدیم خاک شده، با این کار ضخامت لایه دوگانه پیرامون رس‌ها کاهش یافته و با تشکیل اسیدسولفوریک باعث کاهش اسیدیته خاک شده و در نتیجه خاک پایدار می‌شود.

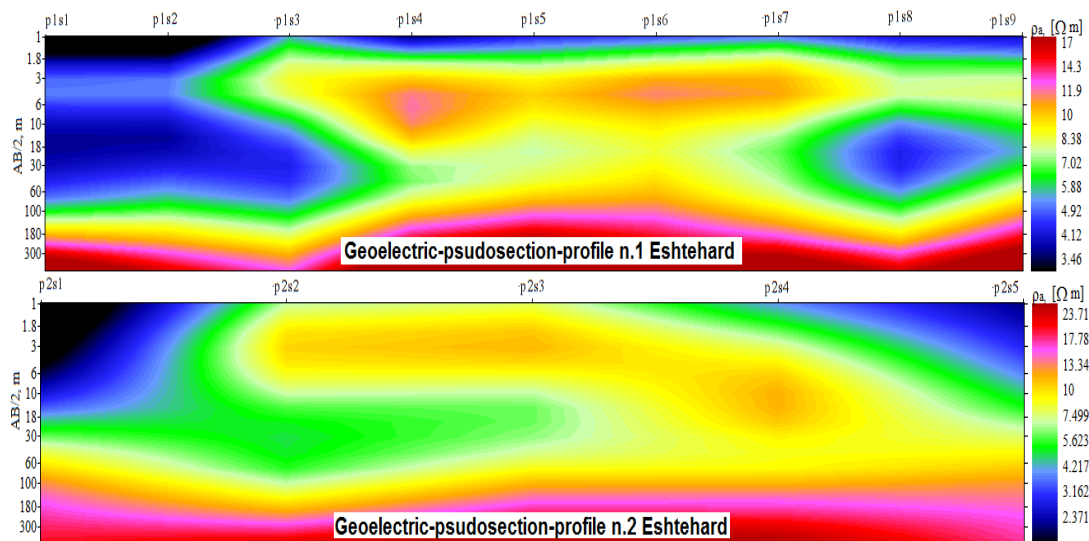
هم‌چنین کربن آلی موجود در نمونه‌های منطقه بین ۰/۰۷ تا ۰/۵۵۷ در تغییر است. مقایسه بین واحدهای مارنی منطقه نشان داده که واحد  $M_2$  دارای بیش‌ترین مقدار ماده آلی (۰/۶۰۴) و واحد  $M_3$  با مقدار (۰/۲۶۲) دارای کمترین مقدار می‌باشد. نتایج مطالعات الیوت و همکاران (۱۹۹۰)

حدود ۴۰ تا ۵۰ متر به بعد مجدداً افزایش مقاومت ناشی از وجود لایه آبدار و نسبتاً متوسط دانه دیده می‌شود که در فرایند فرورنشست زمین خود بعنوان مجرای برای حرکت آب و املاح رسوبی از سطح زمین به اعماق عمل می‌کند.

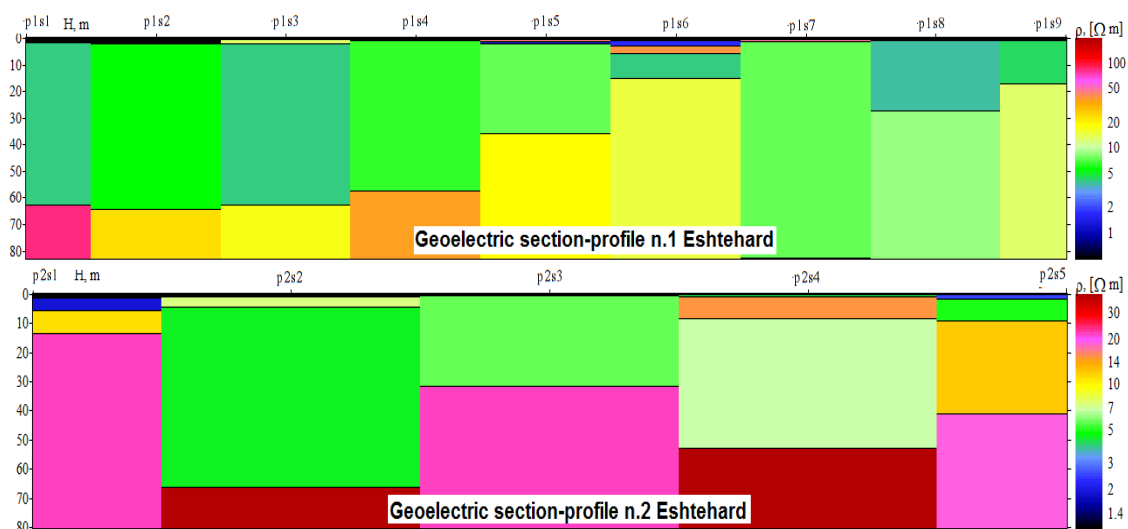
عمق حدود ۱ تا ۲ متر بدلیل افزایش اندازه ذرات و کاهش میزان رس، یک لایه نازک دارای مقاومت الکتریکی نسبتاً بالاتر دیده می‌شود که همان لایه سیلت و ماسه‌ای می‌باشد که در مطالعات رسوب‌شناسی نیز شناسایی شده بود. این لایه در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نیز بصورت کاهش هدایت و افزایش مقاومت الکتریکی دیده می‌شود. همچنین در اعماق



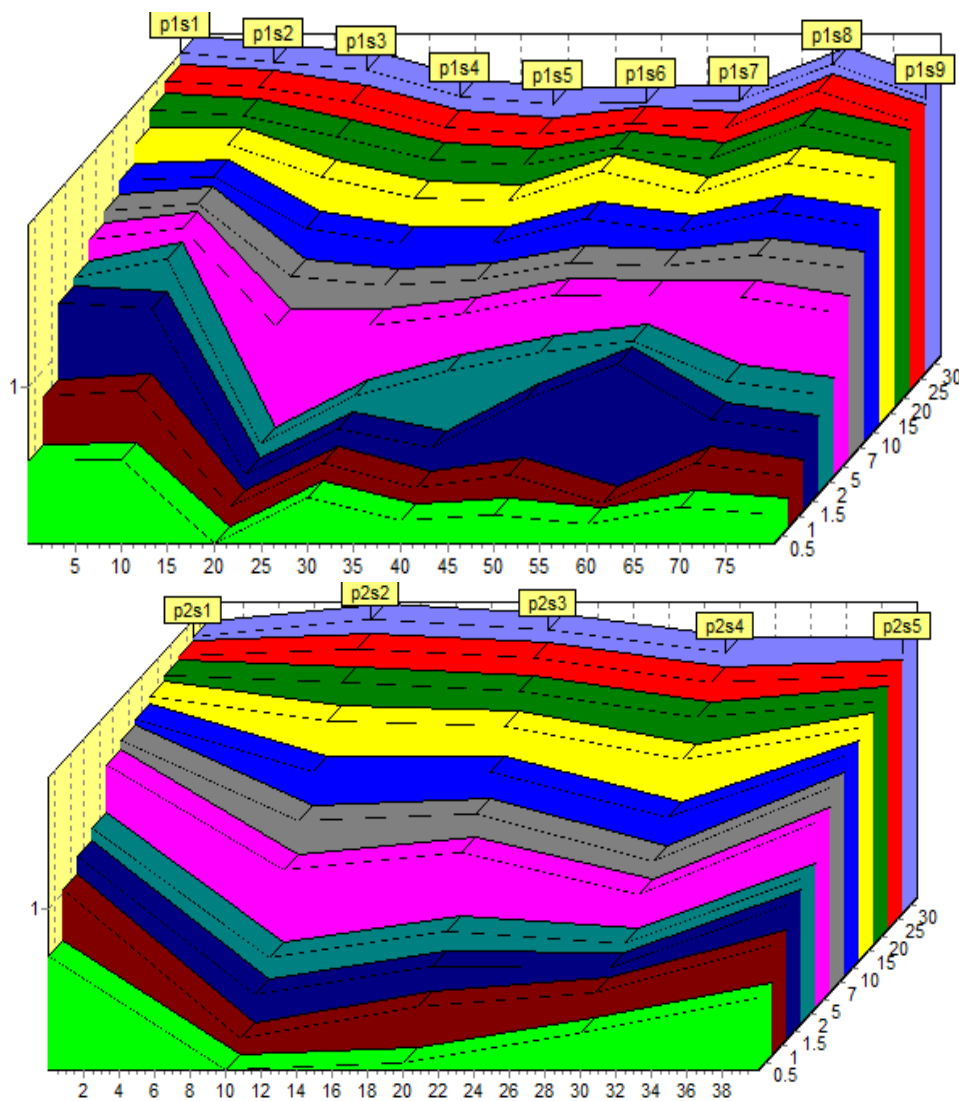
شکل ۱۶. نقشه محل نمونه‌های رسوب و محل دو پروفیل ژئوالکتریکی ۱ و ۲



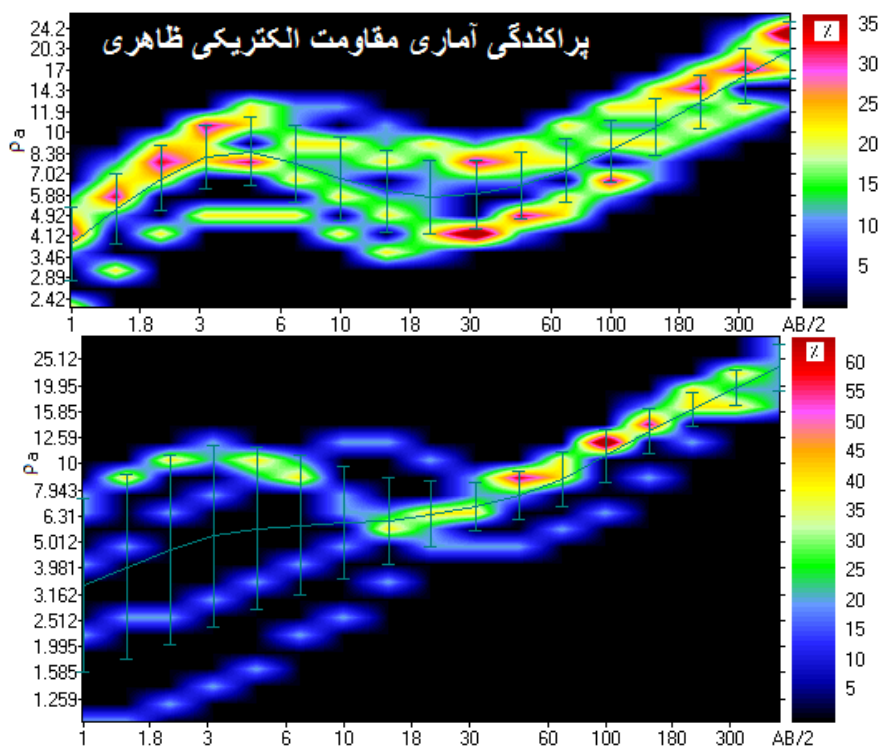
شکل ۱۷. شبه مقاطع ژئوالکتریکی دو پروفیل در راستای موازای (بالا) و عمود بر خط انتقال (پایین)



شکل ۱۸. مقاطع ژئوالکتریکی دو پروفیل ۱ و ۲ در راستای موازای (بالا) و عمود بر خط انتقال (پایین)



شکل ۱۹. مقاطع هدایت الکتریکی محاسباتی برای اعماق مختلف تا ۳۰ متر برای دو پروفیل ۱ و ۲



شکل ۲۰. پراکندگی آماری مقادیر مقاومت الکتریکی در سونداژهای دو پروفیل ۱ و ۲

### نتیجه‌گیری

مطالعات رسوب‌شناسی و ژئوالکتریکی در این مطالعه نشان دادند که در تشخیص و تفکیک پدیده‌ها و علل وقوع آن‌ها در دو مخاطره فرسایش و فرونشست زمین می‌تواند کمک کننده باشند. در منطقه اشتهارد بنظر می‌رسد وجود یک لایه عمدتاً سیلتی ماسه‌ای ریزدانه در نزدیکی سطح زمین (عمق یک تا دومتری) که دارای رس مونت‌موریلونیتی کمی می‌باشد علت اصلی فرسایش خاک در این محدوده می‌باشد. این لایه بمحض برخورد با آب‌های فرورونده سطحی از جای خود کنده شده و به حرکت در آمده‌اند. ترکیب شیمیایی خاک‌های منطقه متفاوت بوده و بنظر می‌رسد مناطقی که خاک دارای آهک بیشتری بوده است از استحکام بیشتری برخوردار بوده و در برابر فرسایش مقاومت بیشتری نموده است. این امر می‌تواند در ارائه پیشنهاد نهایی راهکار کنترلی مدنظر قرار گیرد. علت اصلی فرونشست کلی این منطقه را می‌توان استحصال آب برای صنعت فولاد در منطقه اشتهارد دانست که بعنوان موتور محرکه ایجاد ترک‌ها و شکاف‌های فرسایشی خاک شده است. مطالعات ژئوالکتریک علاوه بر نمایش دانه‌بندی خاک و محل گسترش حفرات زیرسطحی، توانسته وجود یک لایه ماسه سیلتی متوسط دانه آبدار در منطقه را اثبات نماید.

### تشکر و قدردانی

نویسنده از ریاست محترم انجمن رسوب‌شناسی ایران، جناب آقای دکتر سیدرضا موسوی‌حرمی و دبیر محترم علمی پنجمین همایش ملی رسوب‌شناسی ایران جناب آقای دکتر حامد زندمقدم بسیار قدردانی می‌نماید. همچنین از سردبیر محترم وقت نشریه رسوب‌شناسی کاربردی جناب آقای دکتر سعید خدابخش برای حمایت از همایش ملی رسوب‌شناسی و چاپ مقالات برگزیده تشکر می‌شود.

### منابع

رفاهی، ح (۱۳۸۵) فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.  
طالبی، آ (۱۳۹۰) بررسی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و تاثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در حوزه آبخیز حبله‌رود، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.  
میرزازاده، ص.، م.، کریم‌پور ریحان، م.، ر.، اسپهبد (۱۳۹۱) رسوب‌شناسی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های سازند قرمز بالایی در ناحیه ایوانکی، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست، سال ششم، شماره ۱۹.



- in the Himalayan foreland basin, India, *Sedimentary Geology*, 301: 133-149.
- Šujan, M., Braucher, R., Šujan, M., Hók, J., Povinec, P. P., Šipka, F., Team, A., Rugel, G., Scharf, A (2019) The tectono-sedimentary evolution of a major seismogenic zone with low slip rate activity: A geo-chronological and sedimentological investigation of the Dobrá-Voda Depression (Western Carpathians), *Sedimentary Geology*, 383: 248-267.
- Beamish, D., Clark, T. D. G., Clarke, E., and Thomson, A. W. P (2002) Geo-magnetically induced currents in the UK: geomagnetic variations and surface electric fields, *J. Atmos. Solar Terr*, 64: 1779– 1792.
- Bersezio, R., Giudici, M., Mele, M (2007) Combining sedimentological and geophysical data for high-resolution 3-D mapping of fluvial architectural elements in the Quaternary Po plain (Italy), *Sedimentary Geology*, 202, Issues, 1(2): 230-248.
- Bianchetti, R. L (2001) Survey method and evaluation techniques, in: *Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Second Edition*, edited by: Bianchetti, R. L., NACE International, Houston, 65–100.
- Boteler, D. H (2000) Geomagnetic effects on the pipe-to-soil potentials of a continental pipeline, *Adv. Space Res*, 26: 15–20,
- Fernberg, P. A., C. Samson, D. H. Boteler, L. Trichtchenko, and P. Larocca (2007) Earth conductivity structures and their effects on geomagnetic induction in pipelines, *Annales Geophysics*, 25: 207-218.
- Haas, F., Hilger, L., Neugirg, f., Umstädter, K., Breitung, Ch., Fischer, P., Hilger, P., Heckmann, T., Dusik, J., Kaiser, A., Schmidt, J., Della- Seta, M., Rosenkranz, R., Becht, M (2016) Quantification and analysis of geomorphic processes on a recultivated iron ore mine on the Italian island of Elba using long-term ground-based lidar and photogrammetric SfM data by a UAV, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* : 1269–1288.
- Hosl, R., Strauss, P (2015) Conservation tillage practices in the alpine forelands of Austria Are they effective?, *Catena*, 44-51.
- Mathys, N., Klotz, S., Esteves, M., Descroix, L., Lapetite, J. M (2005) Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: Observations and easurements at the plot scale, *Catena*, 63: 261-281.
- Ochoa-Cueva, P., Fries, A., Montesinos, P., Rodríguez-Díaz, J., Boll, J (2013) Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador, *land degradation & development*.
- Reynold, J. M (1997) *an Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Willey & Sons, New York.
- Sumarganal, L (2002) *Application Methods VLF for Mapping Contamination of Contaminant at TPA Pasir Impun Bandung. Proceeding PIT HAGI ke-28*.
- Simpson, F. and Bahr, K (2005) *Practical magneto-tellurics*, Cambridge University Press, New York.
- Sinha, R., Ahmad, J., Gaurava, K., Morin, G (2014) *Shallow subsurface stratigraphy and alluvial architecture of the Kosi and Gandak mega fans*