

## بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌های تئوزن بر اشکال و شدت فرسایش در منطقه ورامین جنوب‌شرق استان تهران

آر تیمس قاسمی‌دهنوی<sup>۱</sup>، رامین ساریخانی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا پیروان<sup>۲</sup>، ضیاءالدین شعاعی<sup>۲</sup> و محمد کریمی‌خالدی<sup>۳</sup>

۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان

۲ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

۳ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات البرز

نویسنده مسئول: Sarikhani.r@gmail.com

دریافت: ۹۴/۸/۲۸ پذیرش: ۹۵/۳/۲۹

### چکیده

مارن‌ها در بین واحدهای سنگ‌شناسی، بیش‌ترین رسوبات را در حوضه‌های آبخیز تولید می‌نمایند. این خاصیت مارن‌ها سبب کاهش عمر مفید سدها، سیل، رسوب‌گذاری کانال‌های آبرسانی، تخریب جاده، تاسیسات و در نهایت پدیده بیابان‌زایی می‌شود. از این رو شناخت خصوصیات موثر در فرسایش‌پذیری و واگرایی مارن‌ها می‌تواند در اولویت باشد. در این مطالعه مارن‌های جنوب استان تهران (جنوب حسن آباد - ورامین) از نقطه نظر شکل و شدت فرسایش، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، مهندسی و واگرایی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. واحد مارنی مطالعه شده شامل مارن‌های خشکی سازند قرمز بالایی واحد M3 و مارن‌های پلیوسن واحد P1m می‌باشد. نمونه‌برداری در واحد زمین‌شناسی قرمز بالایی و پلیوسن در شیب‌های ۵٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ انجام شده است. برای دستیابی به اهداف آزمایش‌هایی نظیر دانه‌بندی، حدود آتربرگ، آنالیزهای شیمیایی نظیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها، نسبت جذب سدیم (SAR) هدایت الکتریکی (EC) کل مواد محلول جامد (TDS) و هیدرومتری دوگانه و پین‌هول انجام شد. در منطقه مورد مطالعه و با مقایسه شاخص خمیری در بین اشکال مختلف فرسایش ملاحظه می‌شود که شاخص خمیری فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش اختلاف زیادی ندارد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در نمونه‌ها بین ۱۴/۲ تا ۲۵/۸۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر که میانگین این متغیر در فرسایش آبراهه‌ای بیش‌تر می‌باشد و محدوده این متغیر در نمونه‌ها بین ۰/۹ تا ۲/۱۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد. میانگین این متغیر در فرسایش آبراهه‌ای و خندقی بیش‌تر از بقیه واحدهای سازند قرمز بالایی می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون‌های هیدرومتری دوگانه در ۲۰ نمونه، نشان‌دهنده عدم واگرایی می‌باشد. نمونه دست نخورده برداشت شده از ایستگاه ۱ با شکل فرسایش خندقی و ایستگاه ۵ با شیب ۵٪ با شکل فرسایش آبراهه‌ای و واگرایی متوسط نشان می‌دهد. طبق آزمایش پین‌هول انجام شده در ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه ۵ با شکل فرسایش آبراهه‌ای واحد M3 و ایستگاه ۷ با شکل فرسایش خندقی واحد M3 و واگرایی متوسط از خود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: مارن، واگرایی، پین‌هول و هیدرومتری دوگانه، فرسایش، آنالیز شیمیایی

### مقدمه

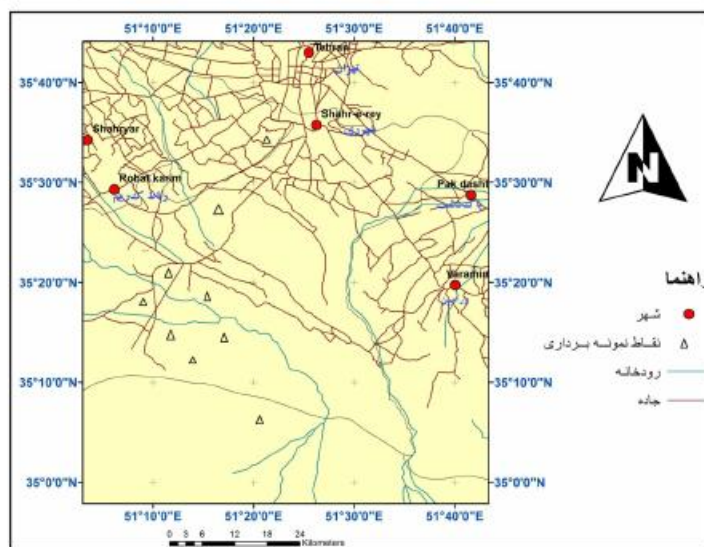
ژئومورفولوژیکی و رسوبی مشابه به طور متفاوتی تحت تأثیر حرکت توده‌ای و فرسایش خندقی هستند [۲۶]. از جمله این سازندها می‌توان به سازندهای قرمز زیرین و بالایی در ایران مرکزی و سازندهای آغاچاری، میشان و گچساران در منطقه زاگرس اشاره کرد. به طوری‌که مارن‌های آغاچاری تولید رسوب کمتری نسبت به مارن‌های میشان دارند [۱]. وجود لایه‌های مارنی آهنکی و گچی در سازندهای میشان و آغاچاری و هم‌چنین رسوبات ریزدانه کواترنر که متشکل از ذرات ریزدانه ماسه و سیلت و رس بوده و حساسیت زیادی به فرسایش دارند را عامل اصلی تأثیرگذار در ایجاد فرسایش خندقی منطقه

پدیده فرسایش خاک و رسوب‌دهی ناشی از آن خسارات جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد که در دراز مدت باعث بروز معضلات اساسی در حوضه‌های آبخیز و تحمیل هزینه‌های سنگین پر بودجه کشور می‌شود. آثار فرسایش شامل گل آلوده شدن و افزایش حجم بار رسوب رودخانه‌ها، از بین رفتن پوشش گیاهی و پر شدن مخازن سدها و کاهش حجم آب قایل بهره‌برداری از آن‌ها می‌باشد. برای مقابله با این مشکلات شناخت خصوصیات سازندهای حساس به فرسایش ضروری می‌باشد [۱۸] و [۲۹]. تشکیلات زمین‌شناسی یا ویژگی‌های

شدت فرسایش یا خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی به دست آید.

#### موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه در جنوب و جنوب شرق استان تهران در ۱۰ کیلومتری ایوانکی، ۳۵ کیلومتری گرمسار در جنوب شرقی تهران (پیشوا) نزدیک روستای شور قاضی با موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ}16'13''$  شمالی و  $52^{\circ}00'53''$  شرقی واقع شده است. بلندترین محل در منطقه مورد مطالعه کوه مره به ارتفاع ۱۵۰۱ متر و پست‌ترین نقطه آن در منتهی الیه جنوب شرق منطقه و به ارتفاع ۸۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و محل نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه

۲. قدیمی‌ترین واحدی که در منطقه پرون‌زد دارد گدازه‌ها و سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی آنوسن می‌باشد که در کوه مره رخنمون دارند. سازند قم به سن الیگوسن بالایی-میوسن زیرین به صورت کمربند پارکی در اطراف کوه مره دیده می‌شود که به صورت دگرشیب واحد سنگ‌های ولکانیک آنوسن را می‌پوشاند (شکل ۳). وضعیت تکتونیکی و ساختاری منطقه، مربوط به فاز کوهزایی لارامید (اواخر کرتاسه)، می‌باشد که موجب ایجاد ارتفاعات و تشکیل حوضه‌های رسوب‌گذاری در حال فرونشینی شده است. منطقه مورد مطالعه شامل یک سری گسل‌های فرعی در امتداد شمال‌غرب به جنوب‌غرب و تاقدیس (تاقدیس شمال کوه مره، تاقدیس کوه سرخ) و تاودیس (تاودیس شمال کوه مره) می‌باشد [۱۳ و ۱۴].

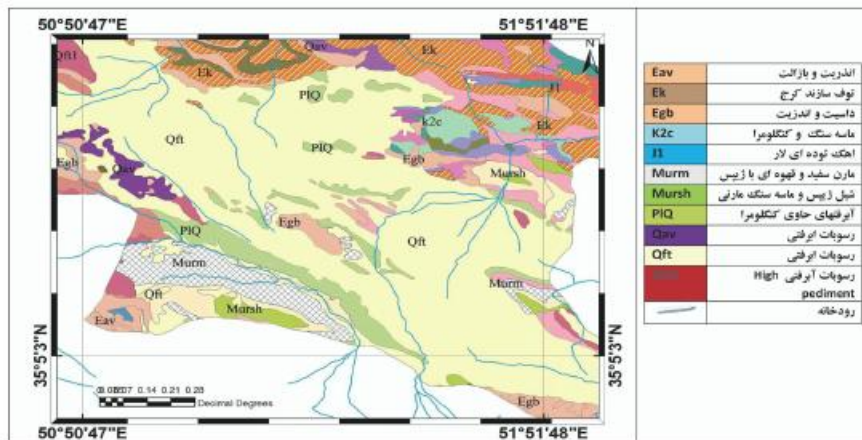
می‌دانند [۱۶]. هدف از این تحقیق بررسی فاکتورهای احتمالی مؤثر بر روی یخس‌هایی از سازند قرمز بالایی در جنوب و جنوب شرق استان تهران می‌باشد، تا با بررسی آن‌ها بتوان برای جلوگیری از فرسایش این پهنه‌ها اقدام کرد. از بین فاکتورهای مختلف، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نهشته‌های تخریبی- تیخیری نئوژن بررسی گردید. در این تحقیق رابطه بین اشکال و شدت فرسایش پهنه‌های سازند قرمز بالایی با خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و هم‌چنین رابطه این خصوصیات یا رفتار مهندسی آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است تا از این طریق بتوان رابطه‌ای بین شکل

#### زمین‌شناسی منطقه

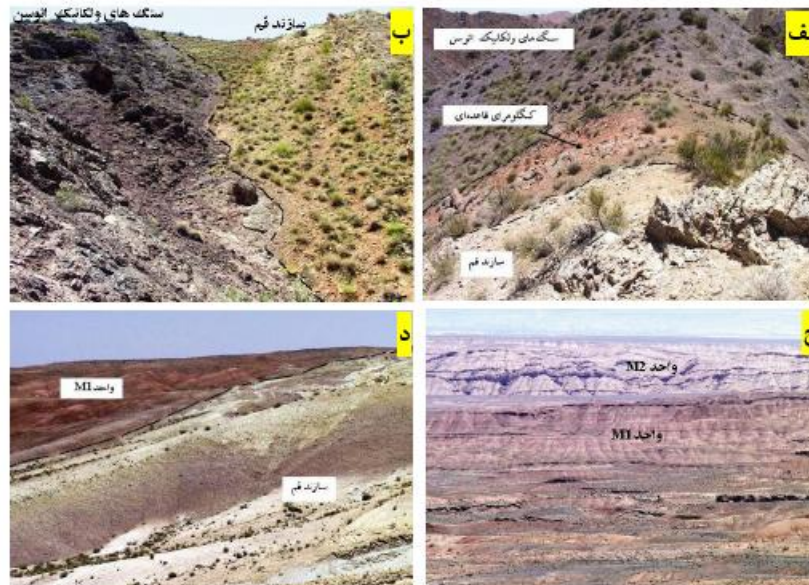
حوضه رسوبی قم در کرتاسه بالایی در اثر جنبش‌های کوهزایی شدید تشکیل شده است. مرز شمالی و جنوبی حوضه قم از کوه مره واقع در شمال شرق قم شروع و به میمه اصفهان ختم می‌شود. با پسروی دریا در اواخر دوره آنوسن در البرز مرکزی و خشکی‌زایی در دوره الیگوسن و میوسن در دامنه جنوبی البرز (به علت بالا آمدن البرز در امتداد گسل رورانه بخش جنوبی آن)، در اواخر الیگوسن دریا به سمت ایران مرکزی یعنی حوضه قم پیشروی و رسوبات دریایی الیگو-میوسن سازند قم را بر جای گذاشته است [۹ و ۱۲]. سازندهای منطقه شامل رسوبات کواترنری، سازندهای قرمز بالایی، قم و سنگ‌های آذرآواری و سنگ‌های ولکانیک آنوسن می‌باشد (شکل

کاتی‌های تشکیل شده‌اند که دارای منشأ دریایی و دارای سیمای فرسایش سطحی، شیاری، خندق‌ی و آبراه‌های هستند. در نواحی پروتزد این نوع مارن‌ها خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی تشکیل می‌شوند. این مارن‌ها اغلب جوان‌تر بوده و از نظر سنی متعلق به دوران سنوزوئیک می‌باشند. به این مارن‌ها، مارن‌های تیپ ۲ نیز می‌گویند که این مارن‌ها الوان بوده و پوشش خاک کم ضخامتی 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 پیش‌تری به فرسایش دارند [۷ و ۱۰].

نهشته‌های مارتی مخلوطی از رس و کریئات و دیگر دریاچه‌ای یا آب شیرین هستند. مواد شیمیایی نهشته‌های مارتی متنوع بوده و شامل ژپس، انیدریت و نمک طعام می‌باشد. مارن‌های ایران از نظر دارا بودن یا نبودن مواد قابل انحلال نمک طعام، ژپس، انیدریت به دو دسته عمده مارن‌های تیخیری و مارن‌های غیر تیخیری طبقه‌بندی می‌کنند. عمده مارن‌های غیر تیخیری متعلق به ما قیل ترشیری و عمده مارن‌های تیخیری متعلق به ترشیری می‌باشند. مارن‌های منطقه مورد مطالعه در محیط دریاچه‌های شور تشکیل شده و فاقد فسیل‌های دریایی می‌باشند. این مارن‌ها حاوی ذرات تخریبی متشکل از سیلت و رس و مواد شیمیایی متشکل از کلسیت، هالیت، ژپس و انیدریت یا یکی از این کاتی‌ها



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. الف) همپری سازند قم با کنگلومرای پلی‌زنتیک و سنگ‌های ولکانیک انوسن در کوه مره. ب) همپری سنگ‌های ولکانیک انوسن یا سازند قم در منطقه کوه مره (دید به سمت غرب). ج) واحد M1 در کنار واحد M2 در شمال کوه مره، واحد M3 در شمال غربی کوه مره (حاشیه اتوبان تهران - قم) (دید به سمت شرق). د) همپری سازند قم یا واحد M1 از سازند قرمز پالایی در نزدیکی کوه مره (دید به سمت شمال شرق)

## روش انجام کار

مرحله کلیدی و حساس در مطالعات زمین‌شناسی جمع‌آوری اطلاعات از یک گستره زمین‌شناسی است. این موضوع نه تنها در علوم زمین بلکه در سایر علوم نیز از اهمیت خاصی برخوردار است [۸]. در مطالعه حاضر جهت دستیابی به ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مهندسی پهنه‌های رسوبی جهت شناخت هرچه بهتر این رسوبات اقدام به نمونه‌برداری با GPS شده است. واحدهای نمونه‌برداری بر پایه واحدهای زمین‌شناسی تعیین شده‌اند که روش نمونه‌برداری سیستماتیک و یا به عبارتی نمونه‌برداری در یک چهار چوب معین جهت نمونه‌برداری انتخاب شده است. نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه حاشیه آزاد راه تهران - قم ۲۴ کیلومتری تهران در جنوب حسن‌آباد و در ۱۰ کیلومتری ایوانکی، ۳۵ کیلومتری گرمسار در جنوب شرقی تهران (پیشوا) نزدیک روستای شور قاضی واقع شده است که در شکل ۱ و جدول ۱ ذکر شده است. در این تحقیق نمونه‌برداری در قسمت پایین‌دست شیب دامنه‌ها رسوبات آیرفتی حاصل از فرسایش دیده می‌شوند که به دلیل سرعت بالای فرسایش و شستشوی املاح در این بخش‌ها خصوصیات شیمیایی و یافتی این آیرفت‌ها یا رسوبات بخش بالایی شیب دامنه‌ها متفاوت می‌باشد، بنابراین نمونه‌برداری از قسمت بالای شیب دامنه‌ها و از نقطه شروع فرسایش صورت گرفت. این قسمت‌ها از لحاظ ویژگی‌های شیمیایی، یافتی و کاتی‌شناسی مشابه سنگ مادر می‌باشند. نمونه‌برداری در واحد زمین‌شناسی قرمز بالایی و پلیوسن در شیب‌های ۵٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ و در هر شیب به میزان ۱۵ کیلوگرم نمونه دست خورده اخذ شده است. به طوری که عمق نمونه‌برداری ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در فرسایش خندقی از محل ابتدای خندق و از دیواره آن نمونه گرفته شده است. بر این اساس تعداد ۲۰ نمونه از سازند قرمز بالایی واحد M3 و پلیوسن واحد PLM براساس شکل فرسایش غالب نمونه‌برداری شده است که در جدول ۱ به صورت خلاصه آورده شده است. در مطالعات مارن‌ها آزمایش‌های شیمیایی pH، EC، اندازه‌گیری مقدار کاتیون‌های  $Na^+$ ،  $K^+$ ،  $Ca^{++}$  و  $Mg^{++}$  و آنیون  $Cl^-$  تعیین شده است. خصوصیات مهندسی از جمله حدود آترپرگ، شاخص خمیری و انجام آزمایش‌های مخصوص به واگرایی نظیر پین‌هول و

هیدرومتری مضاعف از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد در همین راستا مطالعات منحنی دانه‌بندی خاک، آزمایش هیدرومتری، اندازه‌گیری حد روانی به روش چندنقطه‌ای، تعیین درصد رطوبت خاک و سنگ در آزمایشگاه، آزمایش وزن مخصوص دانه‌های خاک ASTM D 854، ارزیابی واگرایی خاک‌های رسی به روش هیدرومتری دوگانه ASTM D 4241. شناسایی و رده‌بندی رس‌های واگرا با آزمایش پین‌هول ASTM D 4647 از نمونه‌های آماده شده در آزمایشگاه پژوهشکده خاک و آپخیزداری وزارت جهاد کشاورزی (کیلومتر ۸ جاده تهران - کرج) انجام شده است [۵ و ۲۳].

## روش هیدرومتری دوگانه

در این آزمایش دانه‌بندی ذرات خاک با روش هیدرومتری استاندارد در دو حالت تعیین شده و نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه و پتانسیل واگرایی براساس این مقایسه ارزیابی می‌گردد. در یک مرحله آزمایش هیدرومتری طبق روش استاندارد و با کمک ماده شیمیایی پراکنده‌ساز و با استفاده از هم‌زن مکانیکی صورت می‌گیرد. در مرحله بعدی همین آزمایش بدون استفاده از محلول شیمیایی پراکنده‌ساز و هم‌زن مکانیکی صورت گرفته و منحنی‌های دانه‌بندی در دو مرحله ترسیم و مقدار درصد ذرات ریزتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در هر دو روش تعیین می‌گردد. نتایج حاصل از آزمون‌های هیدرومتری دوگانه (مضاعف) بر روی ۱۸ نمونه نشان می‌دهد در اکثر موارد عدم واگرایی وجود دارد (جدول ۴). نمونه دست نخورده برداشت شده از ایستگاه ۱ با شکل فرسایش خندقی و ایستگاه ۵ با شیب ۵٪ و شکل فرسایش آبراهه‌ای واگرایی متوسط نشان می‌دهد.

## آزمایش پین‌هول

آزمایش پین‌هول برای اندازه‌گیری مستقیم فرسایش‌پذیری خاک‌های ریزدانه ابداع شده است. یک نمونه متراکم شده خاک تحت بارهای آبی مختلف (۵۰، ۱۸۰، ۳۸۰، ۱۰۲۰ میلی‌متر) قرار می‌گیرد. طبق آزمایش پین‌هول انجام شده (جدول ۵). در ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه ۵ با شکل فرسایش آبراهه‌ای واحد M3 و ایستگاه ۷ با شکل فرسایش خندقی واحد M3 واگرایی ضعیف از خود نشان دادند.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۱)

ایستگاه	شیب	فرم فرسایش	مختصات جغرافیایی	
			طول (درجه)	عرض (درجه)
۱	5%	فرسایش ختدلی	۳۵/۱۸	۵۱/۲
	20%		۳۵/۱۸	۵۱/۲
	40%		۳۵/۱۸	۵۱/۲
۲	5%	فرسایش سطحی	۳۹/۱۸	۵۱/۲
	20%		۳۹/۱۸	۵۱/۲
	40%		۳۹/۱۸	۵۱/۲
۳	10-20%	فرسایش لانه زنبوری	۳۹/۱۸	۵۱/۲
			۳۹/۱۸	۵۱/۲
			۳۹/۱۸	۵۱/۲
۴	5%	فرسایش شیبی	۳۹/۱	۵۱/۵
	20%		۳۹/۱	۵۱/۵
	40%		۳۹/۱	۵۱/۵
۵	5%	فرسایش آبرانه ای	۳۹/۱	۵۱/۶
	20%		۳۹/۱	۵۱/۶
	40%		۳۹/۱	۵۱/۶
۶	10-20%	فرسایش تونلی	۳۵/۶	۵۲
			۳۵/۶	۵۲
			۳۵/۶	۵۲
۷	10-20%	فرسایش ختدلی	۳۵/۳	۵۲
			۳۵/۳	۵۲
			۳۵/۳	۵۲

جدول ۲. درصد خاک‌های عبور کرده در آزمایش دانه‌بندی در منطقه مورد مطالعه

آزمایشگاه	شیب	واحد زمین‌شناسی	L.L	P.I.	UNIFIED CLASS	Passing	Passing	Passing	Passing	Passing	Passing	Passing				
						۴/۷۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵				
						mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				
S1	۷۵	M3	۳۸	۲۰	CL	۱۰۰	۹۹/۱۹	۹۷/۲۷	۹۷/۵۲	۹۶/۹۲	۹۵/۹۳	۹۴/۶۸				
	۷۲۰		۳۴	۲۱		۱۰۰	۹۹/۲۵	۹۸/۵۳	۹۷/۴۸	۹۶/۵۰	۹۴/۸۳	۸۹/۹۲				
	۷۴۰		۳۰	۱۵		۱۰۰	۹۹/۰۵	۹۷/۶۵	۹۴/۸۳	۹۱/۱۰	۸۶/۹۶	۸۲/۳۰				
S2	۷۵		۳۶	۲۱		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۸۹	۹۴/۶۹	۹۰/۹۹	۸۶/۲۲				
	۷۲۰		۳۹	۲۴		۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۶۰	۹۶/۴۶	۹۳/۹۹	۸۸/۱۵	۸۱/۱۹				
	۷۴۰		۳۷	۲۲		۱۰۰	۹۷/۴۱	۹۴/۳۹	۸۹/۸۱	۸۵/۴۵	۸۲/۲۵	۷۷/۳۹				
S3	۷۵		-	-		SM	۱۰۰	۱۰۰	۸۶/۰۷	۶۳/۷۸	۴۴/۲۷	۳۱/۴۶	۲۱/۴۳			
S4	۷۵		M3	۲۳		۱۲	CL	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۳۹	۹۶/۶۲	۹۴/۲۴		
	۷۲۰			۳۷		۲۲		۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۸۵	۹۷/۲۰	۹۴/۴۹	۹۲/۳۱	۸۷/۹۹		
	۷۴۰	۳۵		۲۱	۱۰۰	۹۹/۲۶		۹۸/۰۹	۹۶/۹۷	۹۵/۶۰	۹۲/۵۲	۸۸/۴۰				
S5	۷۵	M3		۳۳	۲۰	CL		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۸۴	۹۷/۵۷	۹۵/۳۱		
	۷۲۰			۳۸	۲۵			۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۷۸	۹۶/۴۸	۹۳/۵۳	۸۹/۰۸		
	۷۴۰			۳۷	۲۳			۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۴۷	۹۴/۵۷	۸۹/۶۸	۸۴/۲۷	۷۸/۳۱		
S6	۷۵			PL <sub>m</sub>	۳۸			۱۴	CL	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۵۲	۹۴/۵۴	۹۰/۸۲	۸۶/۵۶	۸۱/۲۸
	۷۲۰				۳۲			۱۶		۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۱۹	۹۵/۹۵	۹۲/۱۱	۸۵/۸۹	۷۳/۸۷
	۷۴۰				۳۰			۱۴		۱۰۰	۹۶/۸	۹۳/۰۴	۸۲/۳۲	۷۳/۵۳	۶۲/۳۵	۵۱/۹۱
S7	۷۵		M3		۳۱		۱۵	CL		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۷۷	۹۶/۲۹	۹۱/۱۷

جدول ۳. نسبت سیلت به مجموع رس. ماسه و شن در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	اشکال فرسایش	واحد	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	رس + ماسه / سیلت
S1	خستگی	M3	۳۸	۵۱/۰۷	۱۰/۷۱	۱/۰۴
S2	سطحی	M3	۳۵/۳	۵۹/۰۷	۱۰/۶۳	۱/۳۸
S3	لانه زنبوری	M3	۳	۳۰	۷۷	۰/۳۵
S4	شیاری	M3	۴۰/۳۳	۴۹/۸۷	۹/۷۹	۰/۹۹
S5	آبراهه‌ای	M3	۳۸	۴۹/۳	۱۳/۳۶	۰/۹۸
S6	تولی	Plm	۳۲	۴۶	۲۲	۰/۸۵
S7	خستگی	M3	۴۴	۴۹	۷	۰/۹۶

جدول ۴. نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	منطقه	شیب	واحد زمین‌شناسی	نسبت واگرایی	نتیجه آزمایش واگرایی
۱	چتوب حسن آباد	٪۵	M3	۰	غیر واگرا
		٪۲۰		۵/۳	غیر واگرا
		٪۴۰		۵	غیر واگرا
		نمونه دست‌نخورده		۲۴	واگرایی متوسط
۲	چتوب حسن آباد	٪۵	M3	۱۰/۳	غیر واگرا
		٪۲۰		۰	غیر واگرا
		٪۴۰		۲۳/۹	واگرایی متوسط
۳	چتوب حسن آباد	٪۲۰	M3	۰	غیر واگرا
۴	چتوب حسن آباد	٪۵	M3	۰/۴۴	غیر واگرا
		٪۲۰		۰	غیر واگرا
		٪۴۰		۵/۷	غیر واگرا
		٪۵		۲۵/۴	واگرایی متوسط
۵	چتوب حسن آباد	٪۲۰	M3	۰/۰۵	غیر واگرا
		٪۴۰		۰	غیر واگرا
		٪۵		۰	غیر واگرا
۶	ورامین	٪۵	Pl <sup>m</sup>	۰	غیر واگرا
		٪۲۰		۰	غیر واگرا
		٪۴۰		۰	غیر واگرا
۷	ورامین	٪۲۰	M3	۲۳	واگرایی متوسط

جدول ۵. نتایج آزمایش بین‌هول در منطقه مورد مطالعه

شماره ایستگاه	شیب	واحد زمین‌شناسی	شکل فرسایش	آزمایش بین‌هول	رده‌بندی واگرایی خاک
۱	٪۵	M3	خستگی	ND1	غیر واگرا
	٪۲۰				
	٪۴۰				
۲	٪۵	M3	سطحی	ND2	غیر واگرا
	٪۲۰				
	٪۴۰				
۳		M3	لانه زنبوری	ND3	
۴	٪۵	M3	شیاری	ND2	غیر واگرا
	٪۲۰				
	٪۴۰				
۵	٪۵	M3	آبراهه‌ای	ND3	واگرایی ضعیف
	٪۲۰				
	٪۴۰				
۶	٪۵	Pl <sup>m</sup>	تولی	ND2	غیر واگرا
	٪۲۰				
	٪۴۰				
۷	٪۲۰	M3	خستگی	ND3	واگرایی ضعیف

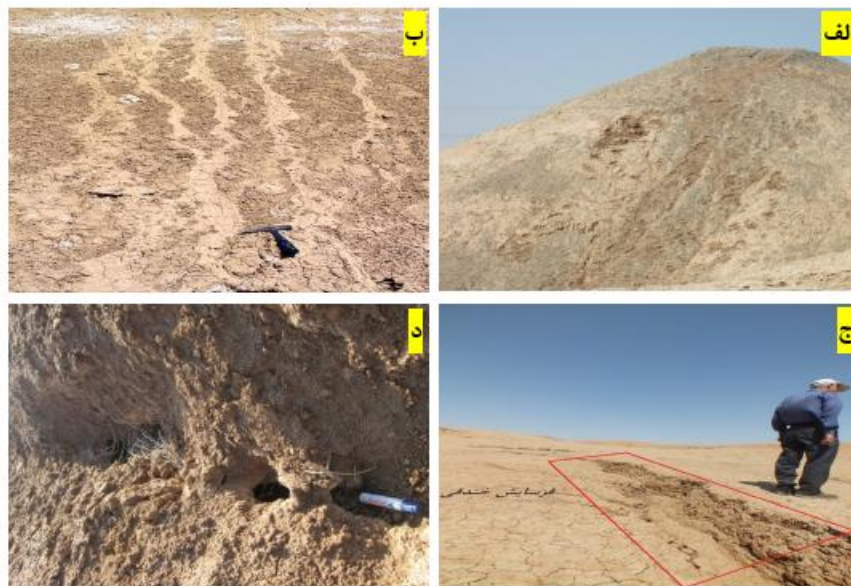
واحدکاری به منظور هدفدار کردن مطالعات، کاهش هزینه و تعداد نمونه‌ها تعریف می‌شود. یک واحدکاری بخشی از جمعیت است که براساس ویژگی خاصی از سایر مواد جمعیت مجزا شده و نمونه‌برداری بر روی آن عمل می‌آید. در این مطالعه، واحدهای کاری بر اساس لیتولوژی، شیب عمومی و فرسایش غالب منطقه تعریف شده‌اند. براساس نقشه زمین‌شناسی واحدهای سنگی منطقه حاوی پهنه‌های رسوبی حساس به فرسایش شامل دو نوع واحد لیتولوژیکی مشخص می‌باشند که یک واحد M3 از سازند قرمز بالایی و واحد Plm هستند. یکی از معیارهای تعیین واحدکاری شیب منطقه می‌باشد که منطقه دارای یک نوع اقلیم بوده و محدوده شیب آن به علت پست بودن منطقه که فقط دارای برآمدگی‌های تپه ماهوری می‌باشد بین ۰ تا ۴۰ درجه تعیین شده است. فرسایش نیز به عنوان یکی از واحدهای کاری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در بازدیدهای صحرایی مشخص شد که اشکال فرسایشی موجود در واحدهای کاری منطقه شامل فرسایش سطحی (شکل ۴ الف)، فرسایش شیاری (شکل ۴ ب)، فرسایش آبراهه‌ای، فرسایش تونلی (شکل ۴ ج) و فرسایش خندقی (شکل ۴ د) می‌باشند.

### طبقه‌بندی مهندسی پهنه‌های مورد مطالعه

در زمین‌شناسی مهندسی خاک‌های که رفتار مشابهی از خود نشان می‌دهند را می‌توان در یک طبقه قرار داد. به این منظور برای توصیف مهندسی (خاصیت خمیری و دانهدندی) نمونه‌ها از سیستم طبقه‌بندی یوتیفاید (USC) استفاده شده است. پارامترهای لازم برای این طبقه‌بندی، آزمایش دانهدندی، حدهای آتریرگ و شاخص خمیری می‌باشد [۳]. شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌ها در نمودار کاسگراند را نشان داده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است همه نمونه‌ها در محدوده CL و CL-ML از خاک‌های ریزدانه قرار دارند، که ترکیبی از سیلت و رس می‌باشند. از این طبقه‌بندی نتیجه می‌شود که این خاک‌ها ریزدانه بوده و دارای چسبندگی کم تا خیلی کم می‌باشند و خاصیت خمیری آن‌ها پایین می‌باشد. این طبقه‌بندی نشان‌دهنده آن است که پهنه‌های انتخابی حاوی خاک‌هایی با استحکام داخلی کم و مستعد فرسایش می‌باشند.

### نتایج و بحث

#### پارامترهای انتخابی در واحدکاری



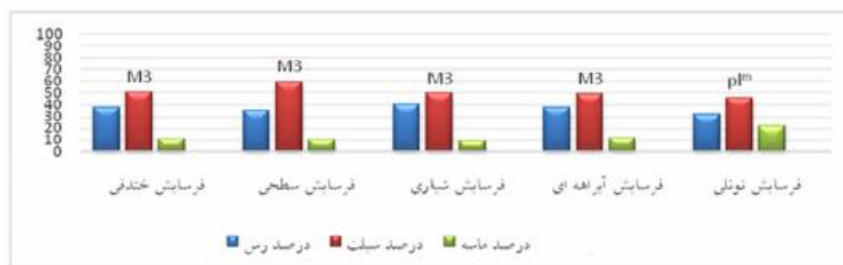
شکل ۴. الف) آغاز فرسایش سطحی در واحد M3 از سازند قرمز بالایی (حسن آباد- ایستگاه دوم). ب) شروع فرسایش شیاری در دامنه واحد M3 از سازند قرمز بالایی (انوبان تهران - قم - ایستگاه دوم). ج) فرسایش خندقی در واحد M3 سازند قرمز بالایی (پیشوا - ایستگاه هفت). د) فرسایش تونلی واحد مارتی پلیوسن (ورامین - پیشوا)

## ویژگی‌های بافتی رسوبات مورد مطالعه

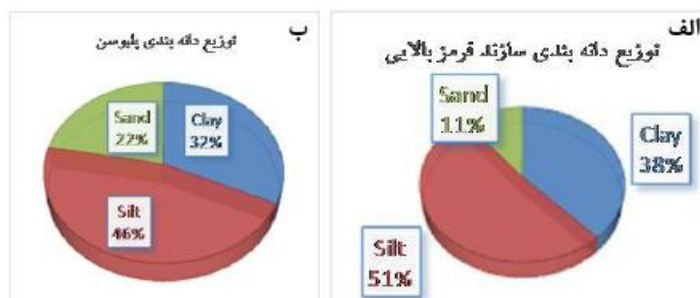
در این بخش، نتایج مربوط به آنالیز اندازه دانه‌ها و منحنی‌های دانه‌بندی ارائه شده است. سپس روش‌های نام‌گذاری رسوبات در مثلث‌های نام‌گذاری رسوبات و سنگ‌های رسوبی فولک [۲۵] توضیح داده شده است (شکل ۷). بعد از تعیین درصد اندازه دانه‌ها، مشخص شد که محدوده اندازه دانه‌ها در نمونه‌ها بین رس تا ماسه می‌باشد. میزان رس در نمونه‌ها بین ۱۲ تا ۳۵ درصد است. این در حالی است که درصد سیلت در نمونه‌ها بین ۴۶ تا ۵۹ درصد است. درصد ذرات در حد ماسه بین ۹ تا ۲۲ درصد متغیر است. غالب ذرات تشکیل‌دهنده پهنه‌های انتخابی، اندازه‌های در حد سیلت دارا هستند. یا توجه به اندازه دانه‌ها در نمونه‌ها، پهنه‌های انتخابی در واحدهای سازند قرمز بالایی و پلیوسن در گروه رسوبات ریزدانه می‌باشند. توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها نشان می‌دهد که در مجموع درصد ذرات سیلت نسبت به دو ذره دیگر (رس و ماسه) بیش‌تر می‌باشد و این خود عاملی برای تشدید فرسایش در منطقه می‌باشد. نسبت سیلت به مجموع رس و ماسه در تمامی ایستگاه‌ها نزدیک ۱ می‌باشد. توزیع دانه‌بندی در شیب‌های مختلف اختلاف چندانی نشان نداد. یا توجه به مقایسه توزیع دانه‌بندی دو واحد M3 و Plm شرایط نزدیک به یکدیگر را دارا می‌باشند. موقعیت نمونه‌ها در نمودار فولک [۲۵] در گروه Mud، Silty sand و Sandy mud (ایستگاه ۳ میان لایه ماسه‌سنگی) قرار می‌گیرد (شکل ۷).

## ویژگی مکانیکی و مهندسی پهنه‌های مورد مطالعه

یکی از مشخصات مهم خاک‌های ریز دانه قابلیت تغییر شکل آن‌ها بدون گسیختگی است. این خاصیت ناشی از وجود کانی‌های رسی و یا مواد آلی در خاک می‌باشد. برای مثال اگر توده‌ای از خاک رس یا مقداری آب مخلوط گردد، آب به شدت جذب خاک می‌شود، یا افزایش بیش‌تر آب، خاک رس حالت‌های مختلفی را به خود می‌گیرد که به حدود آتربرگ معروف می‌باشند. حد روانی در اشکال مختلف فرسایش سازند قرمز بالایی بین ۲۷ تا ۳۶ متغیر است. میانگین این حد در اشکال مختلف فرسایش سازند قرمز بالایی در اشکال ۵ و ۶ آورده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است بین حد روانی این اشکال فرسایش اختلاف چندانی وجود ندارد. هرچه شاخص خمیری بزرگ‌تر باشد قدرت چسبندگی خاک و در نتیجه مقاومت داخلی آن بیش‌تر است. دامنه شاخص خمیری نشان می‌دهد که یک خاک در مقابل جذب آب تا چه حد حساس است. اگر این شاخص عددی کوچک باشد، به معنی این است که مقدار کمی آب کافی است که خاک را از حالت مقاوم بودن به حالت غیر مقاوم برساند. لازم به ذکر است که شاخص خمیری در نمونه‌های برداشت شده از ۱۴/۵ تا ۲۲/۶ درصد در تغییر است. یا توجه به مقایسه حدود آتربرگ و شکل فرسایش ملاحظه می‌شود حدود آتربرگ اراضی مازنی نزدیک به هم می‌باشد و اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.



شکل ۵. توزیع فراوانی ذرات تشکیل‌دهنده در انواع فرسایش در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶. الف) توزیع دانه‌بندی سازند قرمز بالایی واحد M3، ب) توزیع دانه‌بندی پلیوسن



از نظر واگرایی، آزمایش هیدرومتری دوگانه (مضاعف) در شیب‌های ۵٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ نسبت واگرایی به ترتیب ۵/۳ و ۵ می‌باشند که از این نظر واگرایی منتفی می‌باشد. نتیجه آزمایش پین‌هول بدست آمده در جنوب حسن‌آباد یا شکل فرسایش خندقی ND1 غیرواگرا و در محدوده ورامین - پیشوا ND3 واگرایی متوسط نشان داده است. در فرسایش آبراهه‌ای محدوده اندازه دانه‌ها در محدوده خاک‌های ریزدانه میزان رس ۳۸ درصد و سیلت ۴۹/۳ درصد و ذرات در حد ماسه ۱۲/۲۶ درصد می‌باشد. توزیع اندازه ذرات در شکل فرسایش آبراهه‌ای نشان می‌دهد که در مجموع درصد ذرات سیلت نسبت به دو ذره دیگر (رس و ماسه) بیش‌تر به طوریکه این نسبت ۰/۹۸ می‌باشد. درصد سیلت بالا خود عاملی برای تشدید فرسایش و به طبع آن واگرایی می‌باشد. با توجه به مقایسه حدود آتریرگ و شکل فرسایش ملاحظه می‌شود حدود آتریرگ اراضی مارتی نزدیک به هم و اختلاف قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود. توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها (فرسایش شیاری) نشان می‌دهد، درصد رس ۴۰/۳۳، درصد سیلت ۴۹/۸۷ و درصد ماسه ۹/۷۹ که در مجموع درصد سیلت نسبت به دو ذره رس و ماسه بیش‌تر و این نسبت ۰/۹۹ می‌باشد. خصوصیات نمونه‌های برداشت شده (اشکال مختلف فرسایش) اختلاف زیادی با یکدیگر ندارند. با مقایسه حدود آتریرگ و اشکال مختلف فرسایش ملاحظه می‌شود حدود آتریرگ نزدیک به هم بوده و اختلاف زیادی دیده نمی‌شود. با این حال شاخص خمیری فرسایش شیاری در رتبه سوم قرار می‌گیرد (شکل ۱۰). از نقطه نظر واگرایی، آزمایش‌های هیدرومتری دوگانه، پین‌هول جز خاک‌های غیرواگرا قرار می‌گیرند. اشکال فرسایش تونلی مطالعه شده در منطقه ساختاری ساده داشته و شامل تعدادی حفره یا گودال‌های قیفی شکل با ابعاد گوناگون و یک شبکه زهکشی زیرزمینی بوده که این شبکه توسط خروجی‌هایی به شبکه زهکشی سطحی متصل است. علیرغم ساختمان فیزیکی ساده این اشکال، مکانیسم تشکیل آن‌ها بسیار پیچیده می‌باشد. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد توسعه و گسترش این اشکال به میزان قابل‌توجهی به بافت رسوب بستگی داشته به طوری که در بخش‌هایی از سازند که درصد سیلت بیش‌تری نسبت به رس و ماسه وجود دارد توسعه خندقی بیش‌تر است.

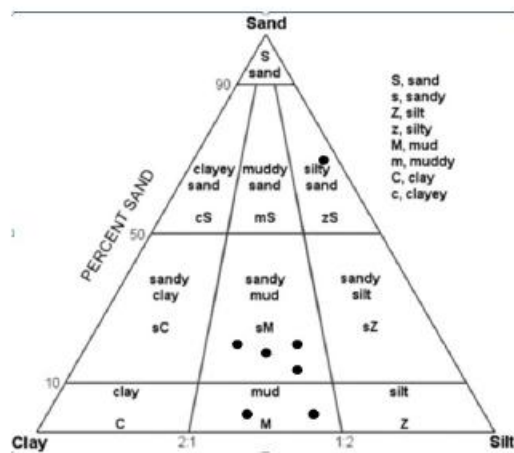
مقایسه بین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی در

### بین اشکال مختلف فرسایش

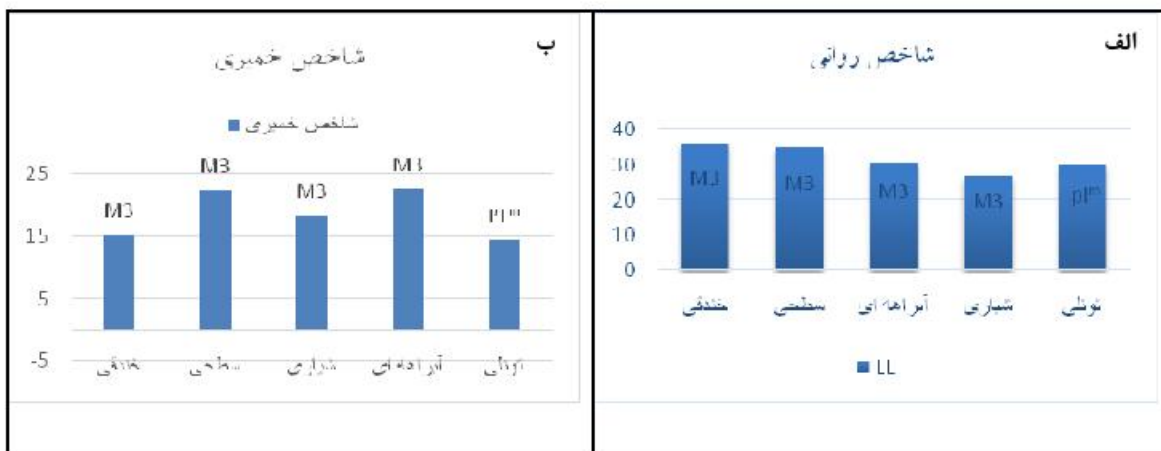
در منطقه مورد مطالعه محدوده اندازه دانه‌ها در فرسایش سطحی و در محدوده خاک‌های ریزدانه قرار می‌گیرند که میزان رس ۳۵/۳ درصد است. این در حالی است که درصد سیلت ۵۹/۰۷ درصد می‌باشد. هم‌چنین درصد ذرات در حد ماسه ۱۰/۶۳ درصد می‌باشد. توزیع اندازه ذرات در شکل فرسایش سطحی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع درصد ذرات سیلت نسبت به دو ذره دیگر (رس و ماسه) بیش‌تر می‌باشد به طوری که این نسبت ۱/۲۸ می‌باشد. درصد سیلت در شکل فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش بیش‌تر است که این خود عاملی برای تشدید فرسایش و به طبع آن واگرایی می‌باشد، بازدیدهای صحرایی در منطقه وجود لایه‌های فراوان سخت شده گچ در ایستگاه ۲ با شکل فرسایش سطحی دیده شده است که این خود عاملی برای جلوگیری از پیشرفت فرسایش می‌شود. یکی از مشخصات بارز خاک‌های ریزدانه قابلیت تغییر شکل آن‌ها بدون گسیختگی است. شاخص خمیری (PI) معرف درجه چسبندگی خاک است به طوریکه هرچه شاخص خمیری بزرگ‌تر باشد قدرت چسبندگی خاک و در نتیجه مقاومت داخلی خاک بالاتر می‌باشد. شاخص خمیری (PI) در فرسایش سطحی ۲۲/۵ می‌باشد که با مقایسه شاخص خمیری در بین اشکال مختلف فرسایش، شاخص خمیری فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش بیش‌تر می‌باشد که این خود عاملی برای به تعویق افتادن فرسایش می‌باشد، اما در مجموع اختلاف زیادی با سایر اشکال فرسایش ندارد و طبق طبقه‌بندی یونیفاید در محدوده CL<sub>ML</sub> قرار می‌گیرد. در فرسایش خندقی توزیع اندازه ذرات به این قرار است که رس ۳۸ درصد، سیلت ۵۱/۰۷ درصد و ماسه ۱۰/۷۱ درصد می‌باشد. حد روانی در بین اشکال مختلف فرسایش اختلاف چندانی نشان نمی‌دهد و شاخص خمیری (PI) اشکال مختلف فرسایش در محدوده‌ای بین ۱۴/۵ تا ۲۲/۶ درصد در تغییر است. فرسایش خندقی پایین‌ترین شاخص خمیری را در بین اشکال فرسایش دارا می‌باشد به طوریکه شاخص خمیری هرچه پایین‌تر باشد به طبع آن مقاومت داخلی آن خاک ناچیز می‌باشد.

درصد رس نسبت به سایر اشکال فرسایش در سطح پایین‌تری قرار دارد همین عامل باعث کاهش چسبندگی خاک می‌شود. با مقایسه حدود آترپرگ و اشکال مختلف فرسایش ملاحظه می‌شود حدود آترپرگ نزدیک به هم بوده و اختلاف زیادی دیده نمی‌شود. از نقطه نظر واگرایی، آزمایش‌های هیدرومتری دوگانه، پین‌هول جز خاک‌های غیر واگرا قرار می‌گیرد. هم‌چنین در بازدیدهای صحرایی در منطقه جنوب حسن‌آباد فرسایش لانه زنبوری میان لایه ماسه‌سنگ و مارتی ( ایستگاه ۳) دیده شده که توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها نشان از درصد بالای ماسه دارد به طوریکه درصد رس ۰.۳٪، درصد سیلت ۲۰٪ و درصد ماسه ۷۷٪ درصد می‌باشد.

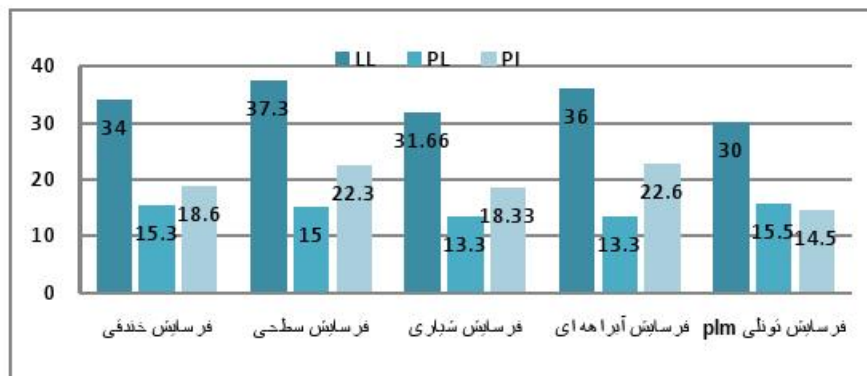
هم‌چنین نقش املاح و خصوصیات شیمیایی سازند در مرحله دوم اهمیت قرار می‌گیرد و نقش کمی در توسعه و گسترش آن‌ها دارد به طوری که در مناطقی که کاتیون‌های یک ظرفیتی نسبت به کاتیون‌های دو ظرفیتی بیش‌تر می‌شود، شرایط پراکنش فراهم شده و امکان شستشوی ذرات بیش‌تر می‌گردد. توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها در فرسایش تونلی نشان می‌دهد که درصد رس ۳۲، درصد سیلت ۴۶ و درصد ماسه ۲۲ می‌باشد که در مجموع درصد سیلت نسبت به دو ذره رس و ماسه بیش‌تر و این نسبت ۰/۸۵ می‌باشد. مقایسه توزیع دانه‌بندی دو واحد M3 و PLm نشان می‌دهد که به طور متوسط میزان ماسه در نهشته‌های پلیوسن دو برابر مارن‌های واحد M3 می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه



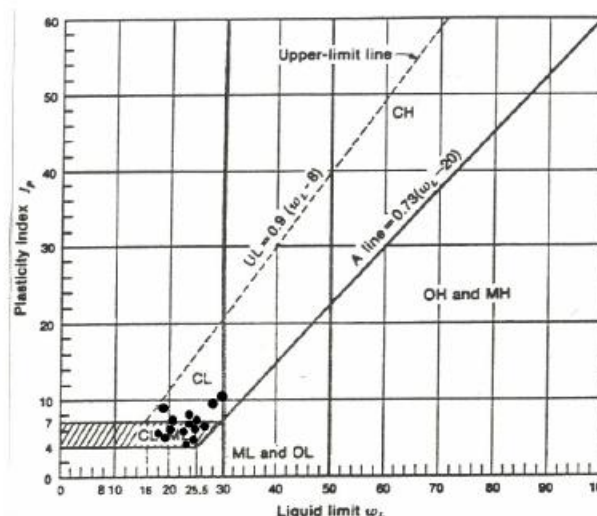
شکل ۷. موقعیت نمونه‌ها در نمودار فولک [۲۵]



شکل ۸. الف) میانگین حد روانی در اشکال مختلف فرسایش سازند قرمز بالایی و پلیوسن (ب) میانگین شاخص خمیری سازند قرمز بالایی و پلیوسن در فرسایش‌های مختلف



شکل ۹. حدود آتریگ سازند قرمز بالایی و پلیوسن در فرسایش‌های مختلف



شکل ۱۰. موقعیت نمونه‌ها در نمودار کاساگران

### نتیجه‌گیری

در بررسی ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها در منطقه مورد مطالعه به این نتیجه منتج شده است که خصوصیات نظیر SAR, EC, K عامل تغییر میزان رسوب در واحدهای مختلف مارتی است. مارن‌های دارای فرسایش هزار دره‌ای درصد SAR بالایی، مارن‌های نوع شیاری، سدیم و درصد SAR متوسط و نوع ورقه‌ای میزان SAR و سدیم پایینی دارند. تفاوت ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی در مارن‌ها است که موجب تغییر اشکال فرسایش و شدت تولید رسوب در آن‌ها می‌شود. همچنین کاتی‌شناسی، شاخص مناسی برای پیش‌بینی فرسایش‌پذیری خاک و سدیم به عنوان یک عامل شیمیایی، نقش مهمی در تولید اشکال فرسایش دارد. در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین گالی در رسوباتی با سدیم محلول (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالا دیده می‌شوند. در بازدید صحرایی انجام شده پنج شکل

فرسایش آبی شامل فرسایش سطحی، فرسایش شیاری، فرسایش آبراهه‌ای، فرسایش تونلی و فرسایش خندقی ملاحظه شده است که توزیع دانه‌بندی نشان می‌دهد تمامی ایستگاه‌ها درصد سیلت نسبت به رس و ماسه بیش‌تر می‌باشد. به طوریکه هر چقدر درصد سیلت در خاکی بالا رود چسبندگی خاک کاهش یافته که این خود عاملی برای تشدید فرسایش و واگرایی تلقی می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده ارتباط ویژگی‌های فیزیکی (دانه‌بندی) با اشکال فرسایش است. شاخص خمیری در نمونه‌های برداشت شده عددی کوچک است که بیان کننده این است که مقدار کمی آب کافی است که خاک از حالت مقاوم به حالت غیرمقاوم تبدیل شود. طبقه‌بندی مهندسی یونیفاید پهنه انتخابی در گروه CL و CL-ML قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد پهنه انتخابی در گروه خاک‌های ریزدانه قرار گرفته و دارای چسبندگی می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه در بازدید صحرایی

- [۲] پیروان، ح. ر. و اسدی، ت (۱۳۸۴) مروری بر نقش عوامل فیزیکوشیمیایی موثر بر اشکال فرسایش در پهنه‌های مارنی. نهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج ص. ۵۶۰-۵۶۲.
- [۳] توکلی، ب (۱۳۷۸) زمین‌شناسی مهندسی، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- [۴] جعفری اردکانی، ع.، پیروان، ح. ر (۱۳۸۱) تاثیر گچ در شیب‌های مختلف برروی آبروی سطحی و فرسایش خاک‌های ناپایدار. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- [۵] حیدریان، ه (۱۳۹۰) روش استاندارد آزمون‌های آزمایشگاه مکانیک خاک براساس ASTM 2000، انتشارات آوند اندیشه.
- [۶] حشمتی، م، فیض‌نیا، س (۱۳۸۶) بررسی فرسایش آبکندی سازند مارنی آغاچاری در منطقه قصر شیرین، مجله منابع طبیعی، شماره ۵۸۶، ص ۳۹-۴۵.
- [۷] حسن‌زاده نفوئی، م (۱۳۸۵) بررسی ویژگی‌های موثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها، پایان‌نامه دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، گروه علوم مهندسی و آبخیزداری.
- [۸] حسنی‌پاک، ع شرف‌الدین، م (۱۳۸۰) انتشارات دانشگاه تهران، تحلیل داده‌های اکتشافی
- [۹] خالدی ک. م پیروان ح. شعاعی، ض. ساریخانی ر (۱۳۹۳) بررسی خصوصیات مهندسی مارن‌های نئوزن موثر بر اشکال و شدت فرسایش در منطقه ورامین جنوب استان تهران، پایان‌نامه دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات البرز، گروه زمین‌شناسی.
- [۱۰] خامه‌چیان، م (۱۳۶۹) بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مارنی - رسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۱۱] خامه‌چیان، م، و سلوکی، ح. ر (۱۳۷۸) بررسی روش‌های شناسایی خاک‌های واگرا، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز.
- [۱۲] درویش‌زاده، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، ویراست انتشارات امیرکبیر .
- [۱۳] سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۵) نقشه تهران ۱:۲۵۰۰۰۰.
- [۱۴] سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۱) نقشه راه استان‌های کشور به مقیاس ۱:۱۴۰۰۰۰، چاپ اول.
- [۱۵] شکل‌آبادی، م (۱۳۸۲) بررسی تولید رواناب و رسوب در حوزه آبخیز گل‌آباد، اردستان، فصل‌نامه علوم منابع طبیعی، سال هفتم، شماره ۲، ص ۸۵.
- [۱۶] طباطبایی، م. ر (۱۳۹۰) پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در حوزه آبخیز تلدارچای استان کردستان با

صورت گرفته لایه سخت شده گچ دیده شده که خود مانعی طبیعی برای گسترش فرسایش و واگرایی می‌باشد. نتایج آزمایش هیدرومتری دوگانه: ایستگاه ۱ با فرسایش خندقی (نمونه دست‌نخورده)، ایستگاه ۲ با شیب ۴۰٪ فرسایش سطحی، ایستگاه ۵ با شیب ۵٪ فرسایش آبراه‌های و ایستگاه ۷ با فرسایش خندقی در تمامی شیب‌ها واگرایی متوسط را نشان می‌دهند. طبق نتایج آزمایش پهن‌هول ایستگاه ۵ با شکل فرسایش آبراه‌های و ایستگاه ۷ با شکل فرسایش خندقی واگرایی کم تا متوسط که به آرامی فرسایش می‌یابند.

با توجه به اینکه مارن‌ها در بین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین رسوبات را ایجاد نموده‌اند این خاصیت سبب کاهش عمر مفید سدها در پایین دست منطقه، سیل، رسوب‌گذاری کانال‌های آبرسانی، تخریب سازه‌ها، پدیده بیابانزایی و ایجاد گردوغبار در فصول خشک شده است. از این رو شناخت خصوصیات موثر مختلف فرسایشی و رسوب‌گذاری واحد مارنی مطالعه شده شامل مارن‌های خشکی سازند قرمز بالایی واحد M3 و مارن‌های پلیوسن واحد Plm می‌تواند در اولویت مطالعات آتی در منطقه مورد مطالعه باشد.

در منطقه مورد مطالعه هر ساله چندین عامل از جمله اقلیم و کاهش بارندگی‌ها موجب افزایش مناطق بیابانی می‌شوند. منطقه جنوب استان تهران یا سه چالش عمده کمبود آب شیرین، تغییر اقلیم و بیابان‌زایی و فرسایش مواجه شده است مساحت زیادی در شهرستان‌های جنوبی استان تهران تحت تاثیر فرسایش است که با توجه به وجود فرسایش مختلف در منطقه می‌توان گفت که یکی از کانون اصلی گرد و غبار استان تهران در شهرستان ورامین واقع در جنوب شرق تهران است از این رو مطالعه دقیق‌تر فرسایش‌ها، کنترل آن‌ها و تاثیر آن بر روی گرد و غبار جنوب استان تهران از اهمیت زیادی برخوردار است از این رو پیشنهاد می‌شود با مدیریت پوشش گیاهی، پروژه‌های آبخیزداری و یکارگیری از تصاویر ماهواره‌ای مطالعات کامل‌تری در منطقه انجام شود.

## منابع

- [۱] ارشم، ع (۱۳۸۵) مقایسه رواناب و رسوب سازندهای مختلف زمین‌شناسی با استفاده از دستگاه باران‌ساز در حوزه آبخیز رامهرمز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

- Kwazula, South Africa and their Relationship to the Evodibility of the colluvial Layers . catena, No.39,11-31.
- [29] Sokouti, R. Razagi S (2015) Erodibility and loss of marly drived soils, Eurasian Journal of soil science, no4, 279-286
- استفاده از GIS، گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استان کردستان، پاییز.
- [۱۷] عباسی، ن (۱۳۸۴) طبقه‌بندی زمین‌شناسی - فرسایشی مارن‌های حوزه قزلاوزن سفلی، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست ایران، اسفند، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۱۸] فیض‌نیا، س (۱۳۷۴) مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، ص ۱۱۶-۹۵.
- [۱۹] قدیمی عروس‌مجله، ف، پورمتین ا. و قدوسی ج، (۱۳۷۸) تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در ایجاد اشکال فرسایش، اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص. ۹۲۹-۹۱۹.
- [۲۰] قدیمی عروس‌مجله، ف، پورمتین ا. و قدوسی ج (۱۳۷۸) بررسی امکان طبقه‌بندی مارن‌ها براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در منطقه نفرش، مجله پژوهش و سازندگی، ش. ۴۰، ص. ۳۴-۳۰.
- [۲۱] قدیمی عروس‌مجله، ف، پورمتین ا. و قدوسی ج (۱۳۷۸) بررسی عوامل موثر بر تشدید و گسترش فرسایش ورقه‌ای و شیبی در حوزه آبخیز قمرود، مجله پژوهش و سازندگی، ش. ۴۹، ص. ۴۲-۳۸.
- [۲۲] قدوسی، ج. فیض‌نیا س.، احمدی، ح.، شعبانی م. و سررشته داریا (۱۳۸۵) بررسی رابطه بین تغییر نوع استفاده از ارضی با مقادیر ۱۲۴-۱۳۰: فرسایش و رسوب. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۳.
- [23] American Society for Testing and Materials (1986) ASTM book of Standards, Sec.4, Vol .04.08, Philadelphia, pa.
- [24] Benito, S. Gutierrez, M and Zaragonza, CS, (1993) The influence of physis chemical properties on Erosion process in Badland areas, Ebor basin , NE Spain Gemorph N.F.37,2, p 199-214
- [25] Folk, R.L (1974) Petrology of sedimentary Rocks: Hemphill publishing co., Austin, texas, 182p.
- [26] Imeson , A.C (1982) The relationship of Soil Physical and chemical Properties to The development of badland in Morocco. Badland geomorphology and piping. Bryan yair, pp: 44-57
- [27] Jang, W (2010) Erosion study of new Orleans Levee Soils subjected to pLunging water, Ph.D. Dissertation, university of Mississippi, 295p.
- [28] Rienks, S.M., Botha, G.A., Hughes, J.C (2000) some physical and chemical properties of sediments Exposed in a Gully in Northen