Archive of SID

تابستان ۹۵، سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰، صفحه ۹۹ تا ۱۰۸

ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های دلتای سفیدرود بر پایه شاخص‌های زمین‌شناسی مهندسی

مرتضی هاشمی [۱*]، رسول اجل لوئیان [۲] و محمدرضا نیکوول [۳]

[۱] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

[۲] استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

[۳] دانشیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۱/ ۰۷/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۱۹/ ۱۰/ ۱۳۹۴

چکیده

در این پژوهش فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های مختلف دلتای سفیدرود بر پایه شاخص‌های مهم و تأثیرگذار زمین‌شناسی مهندسی، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا محدوده مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته و نهشته‌های مختلف موجود در این محدوده تفکیک شده است. سپس بر پایه داده‌های ژئوتکنیک موجود و نتایج بررسی‌های صحرایی و انجام آزمون نفوذ مخروط دینامیکی (DCP) در ۳۲ محل، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی این نهشته‌ها تعیین شده است. در پایان، فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بر پایه شاخص‌های بافت و مقاومت برشی با روشی ساده و در عین حال مناسب و دقیق ارزیابی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری نهشته‌ها با شرایط رسوب‌شناسی آنها ارتباط مستقیمی دارد و می‌توان فرسایش‌پذیری آنها را بر پایه تاریخچه زمین‌شناسی نهشته‌ها تجزیه و تحلیل کرد. همچنین بر پایه نتایج به دست آمده نهشته‌های خاکریزهای طبیعی دارای بیشترین فرسایش‌پذیری و نهشته‌های دلتایی قدیمی دارای کمترین فرسایش‌پذیری در محدوده دلتای سفیدرود هستند. نتایج این پژوهش، نقش مؤثری در توسعه پایدار منطقه خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: فرسایش‌پذیری، نهشته‌های دلتایی، بافت، مقاومت برشی، دلتای سفیدرود.

***نویسنده مسئول:** مرتضی هاشمی

E-mail: M-hashemi@sci.ui.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

عوامل تعیین کننده درجه فرسایش خاک را می‌توان به ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد. این عوامل شامل فرسایندگی عامل فرسایش (Erosivity of eroding agent)، فرسایش‌پذیری خاک (Erodibility)، شیب زمین و طبیعت پوشش زمین است. از میان این عوامل، ویژگی‌های خاک و فرسایش‌پذیری آن، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده مقاومت خاک در برابر فرسایش است. فرسایش‌پذیری خاک عبارت است از مقاومت در برابر جدایش (Detachment) و حمل ذرات تشکیل‌دهنده خاک (Morgan, 2005). فرسایش‌پذیری با بافت خاک، رطوبت طبیعی، تراکم (نسبت تخلخل و وزن واحد حجم)، مقاومت برشی، پلاستیسیته و واگرایی، نفوذپذیری و میزان مواد آلی و شیمیایی موجود در خاک تغییر می‌کند (Morgan, 2005; Knapen et al., 2007; Hanson & Hunt, 2007; McClerren et al., 2012). در ابتدای امر که فرسایش‌پذیری خاک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت، در بیشتر موارد، قطر میانگین ذرات و یا درصد رس به عنوان شاخص‌های مؤثر در مقاومت خاک در برابر فرسایش در نظر گرفته شد. بر این اساس، در خاک‌های دانه‌ای و غیرچسبنده، مقاومت فرسایشی خاک با افزایش اندازه متوسط ذرات افزایش می‌یابد؛ ولی در خاک‌های چسبنده این گونه نیست و چسبندگی خاک، تعیین‌کننده مقاومت فرسایشی خاک است (Knapen et al., 2007).

با پیشرفت پژوهش‌ها مشخص شد که بافت خاک، یکی از عوامل مهم در فرسایش‌پذیری خاک است. تأثیر بافت خاک در فرسایش‌پذیری به گونه‌ای است که ذرات درشت‌تر به دلیل اینکه نیروی بیشتری برای حمل نیاز دارند، در برابر حمل شدن مقاوم‌ترند. همچنین خاک‌های ریزدانه به دلیل چسبنده بودن در مقابل جدایش و تجزیه مکانیکی مقاوم‌ترند. کم‌مقاومت‌ترین ذرات در برابر فرسایش، سیلت و ماسه‌های ریز هستند (Morgan, 2005). Sheridan et al. (2000 a & b) در پژوهش‌های خود دریافته‌اند که فرسایش‌پذیری خاک‌های رسی و سیلتی کمتر است و با افزایش اندازه ذرات تا ۱۰ میلی‌متر، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. آنها در شرح دلایل این مسئله بیان می‌دارند که ذرات ریزتر از ۲۰ میکرومتر موجب چسبندگی خاک و کاهش فرسایش‌پذیری آن می‌شوند، درصورتی که ذرات بزرگ‌تر از ۲۰ میکرومتر راحت‌تر از یکدیگر جدا می‌شوند و بنابراین فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. در اندازه‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر نسبت جرم به سطح ذرات افزایش می‌یابد و بنابراین جدایش و حمل ذرات، سخت می‌شود و در پی آن، فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد.

افزون بر بافت، مقاومت برشی خاک نیز در فرسایش‌پذیری آن مؤثر است (Cruse & Larsen, 1977; Jacobs et al., 2011). مقاومت برشی خاک، شاخصی برای چسبندگی و مقاومت در برابر نیروهای برشی که در اثر نیروی وزن، جریان سیال‌ها و یا بارهای مکانیکی اعمال می‌شوند، است. بنابراین فرسایش‌پذیری خاک با مقاومت برشی آن نسبت عکس دارد و با افزایش مقاومت برشی خاک، فرسایش‌پذیری آن کاهش می‌یابد. به دلیل اینکه شاخص مقاومت برشی به آسانی و سرعت قابل دست‌یابی است و نیز می‌توان آن را به دیگر شاخص‌های مؤثر در فرسایش‌پذیری ارتباط داد، بنابراین این شاخص به‌طور شایع در تعیین فرسایش‌پذیری خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Knapen et al., 2007; Leonard & Richard, 2004).

در این پژوهش سعی شده است به عنوان مطالعه موردی، فرسایش‌پذیری نهشته‌های دلتای سفیدرود (شکل ۱) بر پایه شاخص‌های مؤثر زمین‌شناسی مهندسی بررسی و ارزیابی شود. برای این منظور، روشی ساده و مناسب برای ارزیابی فرسایش‌پذیری انواع مختلف نهشته‌ها ارائه شده است. دلتای سفیدرود بزرگ‌ترین دلتای ایرانی در ساحل جنوبی دریای خزر است (جداری عیوضی و همکاران، ۱۳۸۴). این دلتا که بخش عمده‌ای از جلگه گیلان را تشکیل می‌دهد، تراکم جمعیت زیادی دارد و همواره در معرض فرایندهای پویای رودخانه‌ای و دریایی و نیز فعالیت‌های مختلف انسانی است. بنابراین فرسایش و پیامدهای آن در این محدوده اهمیت قابل توجهی دارند. استفاده از نتایج این پژوهش برای انجام فعالیت‌های عمرانی، گام مثبتی در راستای توسعه پایدار منطقه دلتای سفیدرود خواهد بود.

۲- روش پژوهش

در این پژوهش فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه شاخص‌های مهم و تأثیرگذار زمین‌شناسی مهندسی، بررسی و مورد ارزیابی

www.SID.ir

Archive of SID

قرار گرفته است. برای این منظور در ابتدا محدوده مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌شناسی بررسی و نهشته‌های مختلف موجود تفکیک شده است. در ادامه بر پایه داده‌های ژئوتکنیکی موجود و نیز نتایج بررسی‌های صحرایی و انجام آزمون نفوذ مخروط دینامیکی (Dynamic Cone Penetrometer, DCP)، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی این نهشته‌ها تعیین شده است. در پایان، بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌ها، فرسایش‌پذیری آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های دلتایی، از میان همه عوامل زمین‌شناسی مهندسی، شاخص‌های بافت و مقاومت برشی خاک برای این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این شاخص‌ها افزون بر اینکه به آسانی برای هر یک از نهشته‌ها تعیین می‌شوند، دقت خوبی نیز دارند. برای این منظور در گام اول، معیار ترکیب بافتی برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها از دیدگاه بافت مطابق با جدول ۱ توسعه داده شد. بر پایه معیار ارائه شده، نهشته‌های شنی به دلیل مقاومت ذرات تشکیل‌دهنده در برابر حمل (و تا حدودی در مقابل جدایش) دارای کمترین فرسایش‌پذیری هستند. رتبه فرسایش‌پذیری این نهشته‌ها از دیدگاه ترکیب بافتی، ۵ است. به طور متقابل، نهشته‌های سیلتی و ماسه‌ای به دلیل سبک بودن ذرات و چسبندگی کم، فرسایش‌پذیری بالا و از دیدگاه ترکیب بافتی رتبه یک دارند. دیگر نهشته‌ها بر پایه ترکیب بافتی میان این دو حد قرار می‌گیرند.

در گام دوم برای ارزیابی دقیق‌تر فرسایش‌پذیری نهشته‌ها، در کنار معیار ترکیب بافتی، از معیار مقاومت برشی آنها نیز استفاده شده است. باید توجه شود که مقاومت برشی، خود نتیجه و برآیند ویژگی‌های دیگری از خاک مانند چگالی (Density) و تراکم است که این ویژگی‌ها نیز در فرسایش‌پذیری خاک مؤثرند. بنابراین، معیار مقاومت برشی، به شکل غیر مستقیم شاخص‌های دیگری را نیز در ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک دخالت می‌دهد. از این رو، مقاومت برشی معیاری جامع برای ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک است. در این پژوهش، معیار مقاومت برشی برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های ریزدانه چسبنده مطابق با جدول ۲ و برای نهشته‌های دانه‌ای غیرچسبنده مطابق با جدول ۳ گسترش یافته است. همان‌گونه که در جدول‌های ۲ و ۳ مشخص است، فرسایش‌پذیری نهشته‌ها با مقاومت برشی آنها نسبت عکس دارد. برای تعیین مقاومت برشی نهشته‌ها از نتایج آزمایش‌های DCP و داده‌های ژئوتکنیک موجود (نتایج آزمایش SPT) استفاده شده است. در جدول‌های ۲ و ۳ نیز همانند جدول ۱، رتبه‌بندی از ۱ تا ۵ بر پایه فرسایش‌پذیری خیلی زیاد تا خیلی کم انجام شده است.

برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های رسی، در بخش‌هایی که آزمایش DCP انجام شده، از میانگین مقادیر Cu در ۳ متر اول گمانه‌ها و در بخش‌هایی که آزمایش DCP انجام نشده، از میانگین مقادیر SPT در ۳ متر ابتدای گمانه‌ها استفاده شده است. همچنین برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های دانه‌ای در بخش‌هایی که آزمایش DCP انجام شده، از میانگین مقادیر DPI (Dynamic Penetration Index) در ۳ متر ابتدای گمانه‌ها و در بخش‌های که آزمایش DCP انجام نشده، از میانگین مقادیر SPT در ۳ متر ابتدای گمانه‌ها استفاده شده است.

در پایان، با ترکیب دو معیار بافت نهشته‌ها و مقاومت برشی آنها با یکدیگر، نتیجه دقیق‌تری از فرسایش‌پذیری نهشته‌ها به دست خواهد آمد. در این پژوهش برای ترکیب این دو معیار از روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical hierarchy process, AHP) (Saaty, 2008) با کمک نرم‌افزار Expert Choice 11 استفاده شده است. برای تعیین برتری هر یک از دو معیار نسبت به یکدیگر، در ابتدا نسبت‌های مختلف ۵۰ به ۵۰، ۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد به ترتیب برای معیارهای مقاومت و بافت در نظر گرفته شد و پس از بررسی نتیجه پایانی، نسبت ۶۰ به ۴۰ به عنوان برتری معیار مقاومت برشی نسبت به بافت انتخاب شد. این نسبت به این معنی است که در تعیین فرسایش‌پذیری نهشته‌ها، معیار مقاومت برشی ۱/۵ برابر نسبت به معیار ترکیب بافتی برتر در نظر گرفته شده است.

۳- زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی محدوده مورد مطالعه

شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی دلتای سفیدرود را نشان می‌دهد. این نقشه بر پایه مطالعات پیشین (نوگل‌سادات، ۱۳۷۰؛ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۴؛ Annells et al., 1975) و بازدیدها و بررسی‌های صحرایی تهیه شده است. همان‌گونه که در نقشه شکل ۲ دیده می‌شود، این محدوده از رسوبات دلتایی، رسوبات رودخانه‌ای، رسوبات خاکریزهای طبیعی، رسوبات ساحلی، رسوبات لاگونی، رسوبات دریایی و رسوبات ساحلی قدیمی تشکیل شده است. رسوبات دلتایی بیشترین پراکنش را در محدوده مورد مطالعه دارند به‌طوری که رسوبات دلتایی و رودخانه‌ای روی رسوبات دریایی پلیستوسن ته‌نشین شده و رسوبات دریایی قدیمی‌تر را می‌پوشانند (درویش‌زاده، ۱۳۸۷). رسوبات دلتایی را می‌توان به سه بخش رسوبات دلتایی قدیمی، رسوبات دلتایی میانی و رسوبات دلتایی جدید تقسیم کرد. رسوبات دلتایی قدیمی که در اوایل هولوسن نهشته شده‌اند (Kazanci & Gulbabazade, 2013)، از امامزاده هاشم تا شمال سنگر و به سوی شمال خاور، تا خاور رشت گسترش دارند. بخش عمده دلتا از رسوبات دلتایی میانی که در هولوسن میانی نهشته شده‌اند (Kazanci & Gulbabazade, 2013; Lahijani et al., 2009) تشکیل شده است. رسوبات دلتایی جوان نیز که در ۵۰۰ سال اخیر نهشته شده‌اند (کوثری، ۱۳۶۵) در شمال کیاشهر گسترش دارند و بخش فعال دلتای سفیدرود را تشکیل می‌دهند (خوشرفتار، ۱۳۸۴). رسوبات دلتایی قدیمی از خاک‌های درشت‌دانه شنی و نهشته‌های دلتایی میانی و جوان از خاک‌های ریزدانه‌تر ماسه‌ای و سیلتی و در برخی موارد رسی تشکیل شده‌اند.

برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌ها، ۳۲ آزمایش DCP در بخش‌های مختلف دلتا انجام شد (شکل ۲). افزون بر بررسی‌های صحرایی و انجام آزمایش‌های برجای DCP، از داده‌ها و اطلاعات ژئوتکنیک موجود مربوط به پروژه‌های عمرانی سرتاسر محدوده مورد مطالعه نیز استفاده شده است. جدول ۴، برخی از ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های محدوده دلتا را به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد.

۴- فرسایش‌پذیری نهشته‌ها

همان‌گونه که در شرح روش ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بیان شد، فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه دو شاخص بافت و مقاومت برشی خاک ارزیابی شده است.

در این پژوهش، فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه، از دیدگاه بافت رسوبات، بر پایه جدول ۱ بررسی و ارزیابی شده است. بر این اساس، فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه ترکیب بافتی آنها در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۵ دیده می‌شود، نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه و نهشته‌های دلتایی قدیمی، با داشتن بافت شنی، دارای کمترین فرسایش‌پذیری و نهشته‌های خاکریزهای طبیعی و دلتایی جوان با بافت سیلتی و ماسه‌ای ریز، دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند. فرسایش‌پذیری نهشته‌های دریایی و لاگونی با بافت رسی در رده کم و فرسایش‌پذیری نهشته‌های دلتایی میانی، رودخانه‌ای ریزدانه و ساحلی با بافت ماسه‌ای در رده متوسط قرار دارند. نقشه فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه، بر پایه ترکیب بافتی آنها، در شکل ۳ ارائه شده است.

برای ارزیابی دقیق‌تر فرسایش‌پذیری نهشته‌ها، در کنار معیار ترکیب بافتی نهشته‌ها از معیار مقاومت برشی آنها نیز استفاده شده است و سپس این دو معیار، با یکدیگر

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب شده‌اند. در این پژوهش ارزیابی فرسایش‌پذیری بر پایه مقاومت برشی برای نهشته‌های ریزدانه چسبنده بر پایه جدول ۲ و برای نهشته‌های دانه‌ای غیرچسبنده بر پایه جدول ۳ انجام شده است. بر این اساس فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه بر پایه مقاومت برشی آنها در جدول ۶ ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۶ دیده می‌شود، نهشته‌های دلتایی جوان، نهشته‌های خاکریزهای طبیعی و نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه دارای بیشترین فرسایش‌پذیری بر پایه مقاومت برشی هستند و رتبه این نهشته‌ها ۱ است. در برابر آن، نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه و نهشته‌های دلتایی قدیمی دارای کمترین فرسایش‌پذیری هستند و رتبه آنها ۴ تا ۵ است. فرسایش‌پذیری دیگر نهشته‌ها در محدوده میان فرسایش‌پذیری نهشته‌های نام برده در بالاست. نقشه فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه، بر پایه مقاومت برشی آنها، در شکل ۴ ارائه شده است.

مقایسه جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که بر پایه هر دو معیار بافت و مقاومت، نهشته‌های دلتایی قدیمی و رودخانه‌ای درشت‌دانه دارای فرسایش‌پذیری خیلی کم تا کم، نهشته‌های لاگونی و مردابی و رس دریایی دارای فرسایش‌پذیری کم تا متوسط، نهشته‌های ساحلی دارای فرسایش‌پذیری متوسط، نهشته‌های دلتایی جوان دارای فرسایش‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد و نهشته‌های خاکریزهای طبیعی دارای فرسایش‌پذیری خیلی زیاد هستند. از سوی دیگر نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه بر پایه معیار بافت دارای فرسایش‌پذیری کم و بر پایه معیار مقاومت دارای فرسایش‌پذیری زیاد هستند. همچنین نهشته‌های دلتایی میانی بر پایه معیار بافت دارای فرسایش‌پذیری کم و بر پایه معیار مقاومت دارای فرسایش‌پذیری زیاد هستند.

همان‌گونه که در بخش روش پژوهش نیز بیان شد، در این پژوهش برای دست‌یابی به نتیجه بهتر، دو معیار بافت نهشته‌ها و مقاومت برشی آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با یکدیگر ترکیب شده است. در هنگام ترکیب، در ابتدا نسبت‌های مختلف ۵۰ به ۵۰، ۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد به ترتیب برای معیارهای مقاومت و بافت در نظر گرفته شد.

برای انجام تحلیل سلسله مراتبی، مقایسه دوبه‌دویی فرسایش‌پذیری هر یک از نهشته‌ها بر پایه معیار ترکیب بافتی با استفاده از رتبه فرسایش‌پذیری نهشته‌ها (جدول ۵) انجام شده است. شکل ۵ رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بر پایه معیار ترکیب بافتی را نشان می‌دهد. مقایسه دوبه‌دویی فرسایش‌پذیری هر یک از نهشته‌ها بر پایه معیار مقاومت برشی نیز با استفاده از رتبه فرسایش‌پذیری نهشته‌ها (جدول ۶) انجام شده است. شکل ۶ رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بر پایه معیار مقاومت برشی را نشان می‌دهد.

پس از انجام مقایسه‌ها در سطوح مختلف، فرایند تحلیل کامل خواهد شد و برتری کلی این سلسله مراتب، برتری گزینه‌ها نسبت به یکدیگر را بر پایه همه معیارها نشان می‌دهد. برتری کلی مدل سلسله مراتبی این پژوهش، رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه بر پایه هر دو معیار ترکیب بافتی و مقاومت برشی نهشته‌ها را نشان می‌دهد. این رتبه‌بندی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، با تغییر نسبت و سهم هر معیار، نتیجه پایانی تفاوت‌های کمی نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که با تغییر نسبت‌ها، رتبه فرسایش‌پذیری پایانی نهشته‌ها تغییر نمی‌کند و تنها فاصله میان رتبه‌های اول تا سوم کمتر یا بیشتر می‌شود. با توجه به اینکه تغییر نسبت‌ها تأثیر چندانی در نتیجه پایانی ندارد، بنابراین بر پایه ویژگی‌های رسوبات محدوده مورد مطالعه و بر پایه تجارب به دست آمده در این پژوهش، نسبت ۶۰ درصد مقاومت برشی و ۴۰ درصد ترکیب بافتی برای دست‌یابی نتیجه پایانی انتخاب شده است.

بر این اساس و همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، نهشته‌های خاکریزهای طبیعی در رتبه اول، نهشته‌های دلتایی جوان در رتبه دوم، نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه در رتبه سوم، نهشته‌های دلتایی میانی در رتبه چهارم، نهشته‌های ساحلی در رتبه پنجم، نهشته‌های لاگونی و مردابی و نهشته‌های رسی دریایی در رتبه ششم و در آخر نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه و نهشته‌های دلتایی قدیمی در رتبه هفتم (آخرین رتبه) فرسایش‌پذیری قرار دارند. نقشه پایانی فرسایش‌پذیری نهشته‌های دلتای سفیدرود بر پایه هر دو معیار ترکیب بافتی و مقاومت برشی، در شکل ۹ نشان داده شده است.

۵- بحث و بررسی

نتایج این پژوهش با ویژگی‌های رسوب‌شناسی نهشته‌ها و تاریخچه زمین‌شناسی آنها در کواترنر، همخوانی خوبی دارد. نهشته‌های خاکریزهای طبیعی که بیشتر در خاور دلتا گسترش دارند و از خاک‌های سیلتی و ماسه‌ای ریز تشکیل شده‌اند، در بازه زمانی میان ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سال گذشته در پیرامون سفیدرود کهنه و در شرایط سیلابی رودخانه نهشته شده‌اند. این نهشته‌ها به دلیل جوان بودن تراکم کمی دارند و این امر در کنار چسبندگی بسیار کم آنها سبب شده است تا مقاومت برشی کمی داشته باشند. در مجموع، مقاومت برشی کم و بافت ماسه‌ای ریز و سیلتی سبب شده است تا این نهشته‌ها دارای بیشترین فرسایش‌پذیری در محدوده مورد مطالعه باشند. نهشته‌های دلتایی جوان نیز شرایط مشابهی دارند. این نهشته‌ها در ۵۰۰ سال اخیر و پس از آخرین تغییر مسیر رودخانه سفیدرود از مسیر سفیدرود کهنه به مسیر فعلی، در شمال کیاشهر نهشته شده و دلتای جدید و فعال سفیدرود را تشکیل داده‌اند. در حال حاضر رسوب‌گذاری نهشته‌های مشابه در این محدوده به سوی دریا ادامه دارد. جوان بودن، تراکم کم، مقاومت برشی کم و بافت ماسه‌ای ریزدانه نهشته‌های دلتایی جوان سبب شده است تا این نهشته‌ها دارای فرسایش‌پذیری زیادی باشند. نهشته‌های دلتایی جوان به دلیل ترکیب بافتی و چسبندگی بیشتر ذرات، در مقایسه با نهشته‌های خاکریزهای طبیعی، فرسایش‌پذیری کمتری دارند.

نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه نیز به دلیل جوان بودن و مقاومت برشی کم و تا حدودی بافت ماسه‌ای، فرسایش‌پذیری زیادی دارند. ولی این نهشته‌ها به دلیل شرایط بافتی بهتر در مقایسه با نهشته‌های خاکریزهای طبیعی و نهشته‌های دلتایی جوان، فرسایش‌پذیری کمتری دارند. در برابر این نهشته‌ها که فرسایش‌پذیری زیادی دارند، نهشته‌های دلتایی قدیمی که در حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش، در اوایل هولوسن (در زمانی که ساحل در پای ارتفاعات فعلی و در حد فاصل رشت، سنگر و لاهیجان قرار داشته است) و در یک محیط دلتایی مخروط‌افکنه‌ای نهشته شده‌اند، به دلیل تراکم زیاد، مقاومت برشی خوبی دارند. همچنین، این نهشته‌ها به دلیل فاصله کم حمل از منشأ، بیشتر درشت‌دانه هستند و بنابراین در برابر حمل توسط جریان‌های فرساینده مانند آب، مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. تراکم زیاد، مقاومت برشی زیاد و بافت درشت‌دانه و سنگین بودن ذرات، سبب شده است تا این نهشته‌ها دارای کمترین فرسایش‌پذیری در محدوده مورد مطالعه باشند. فرسایش‌پذیری دیگر نهشته‌های محدوده مورد مطالعه که در میان نهشته‌های خاکریزهای طبیعی و نهشته‌های دلتایی قدیمی قرار دارند نیز با توجه به تاریخچه و شرایط زمین‌شناسی آنها قابل تجزیه و تحلیل و توجیه‌پذیر است. در شکل ۱۰ نمایی از برخی از رسوبات محدوده مورد مطالعه که دارای فرسایش‌پذیری متوسط تا زیاد هستند، نشان داده شده است.

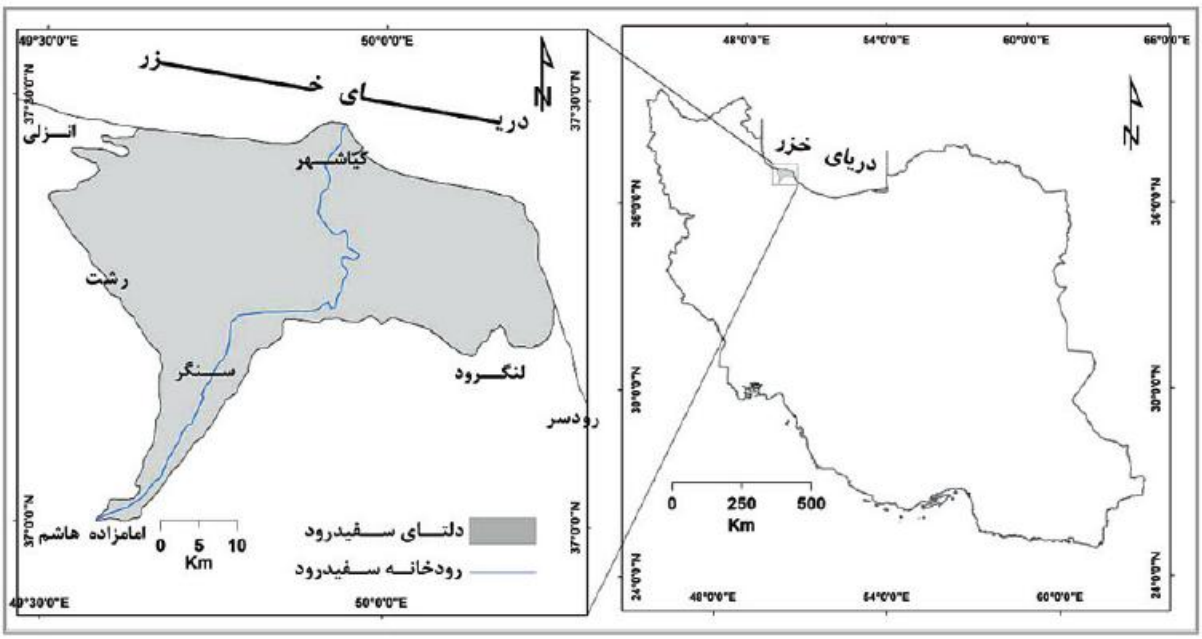
۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده دلتای سفیدرود مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها، از ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی آنها از جمله دو شاخص ترکیب بافتی و مقاومت برشی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از این معیارها، می‌توان فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف یک ناحیه را به آسانی و با دقت مناسب تعیین کرد. بنابراین روش

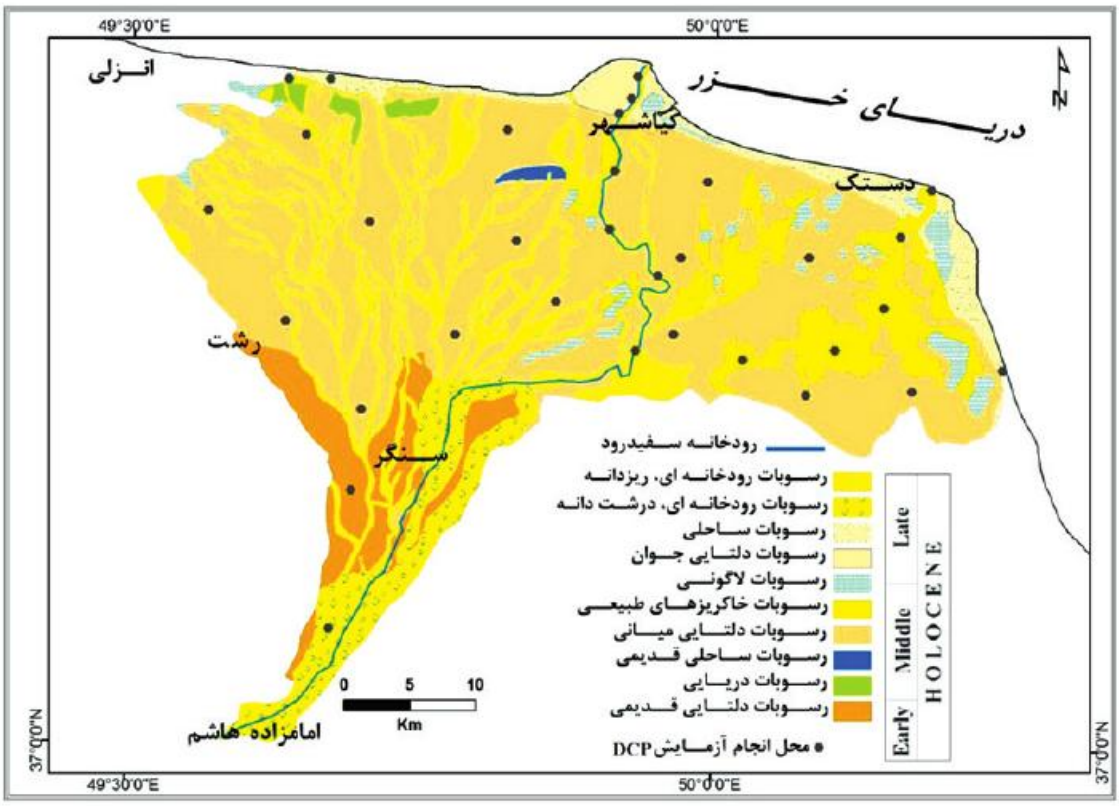
www.SID.ir

Archive of SID

ارائه شده در این پژوهش، روشی مناسب برای ارزیابی فرسایش‌پذیری نهشته‌های مناطق مختلف به‌ویژه مناطق ساحلی که اهمیت ویژه‌ای دارند، است. بر پایه نتایج این پژوهش، نهشته‌های خاکریزهای طبیعی بیشترین فرسایش‌پذیری را دارند و پس از آن نهشته‌های دلتایی جوان، نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه و نهشته‌های دلتایی میانی دارای فرسایش‌پذیری قابل توجهی هستند. فرسایش‌پذیری دیگر نهشته‌های محدوده مورد مطالعه در رده متوسط و کم قرار دارد.



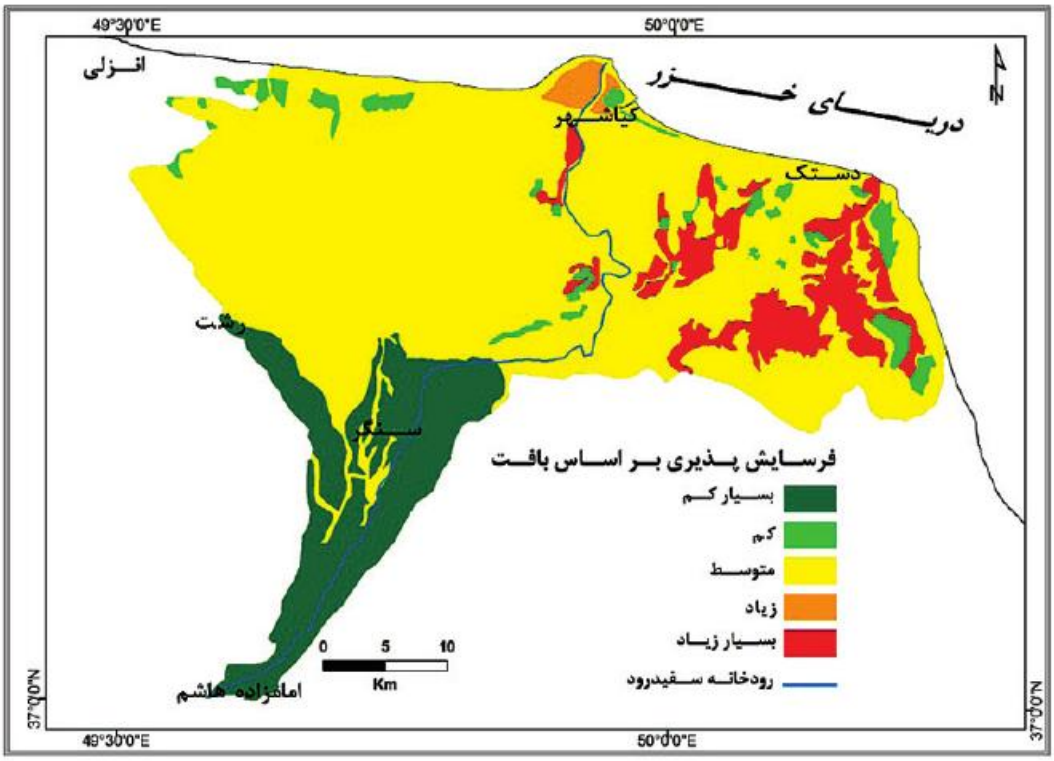
شکل ۱- دلتای سفیدرود.



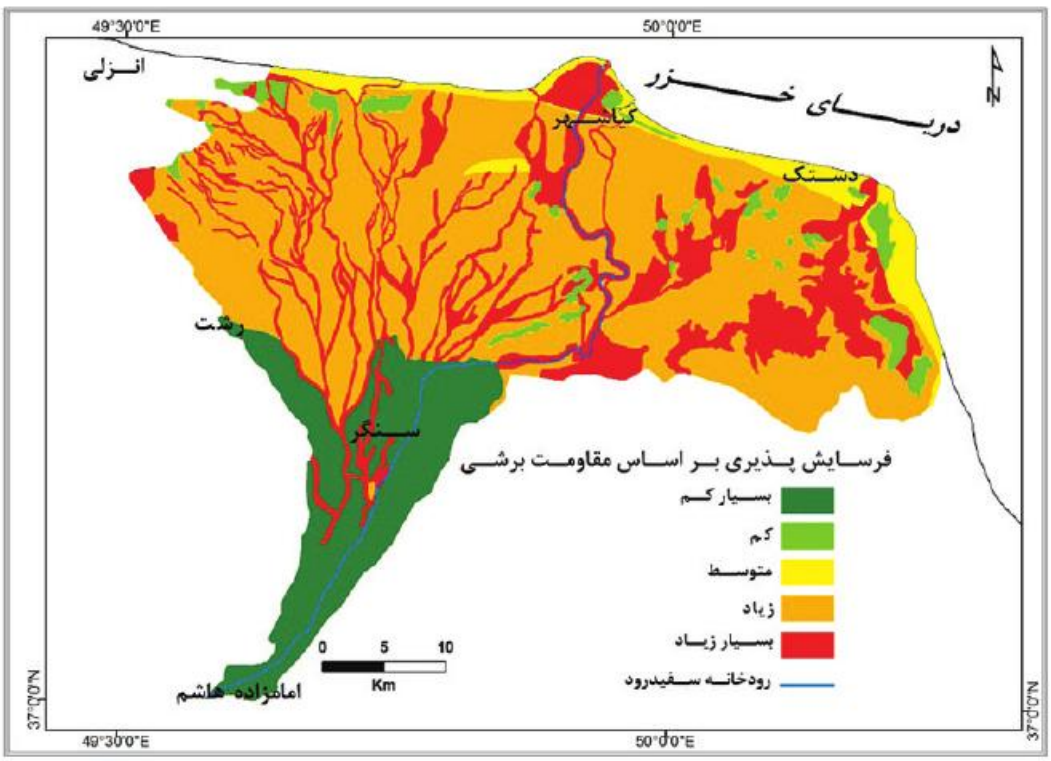
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه.

www.SID.ir

Archive of SID



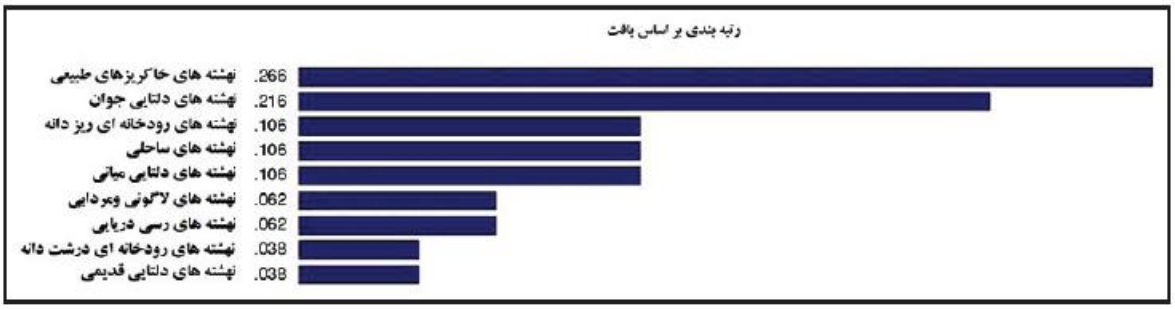
شکل ۳- نقشه فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه بر پایه ترکیب بافتی آنها.



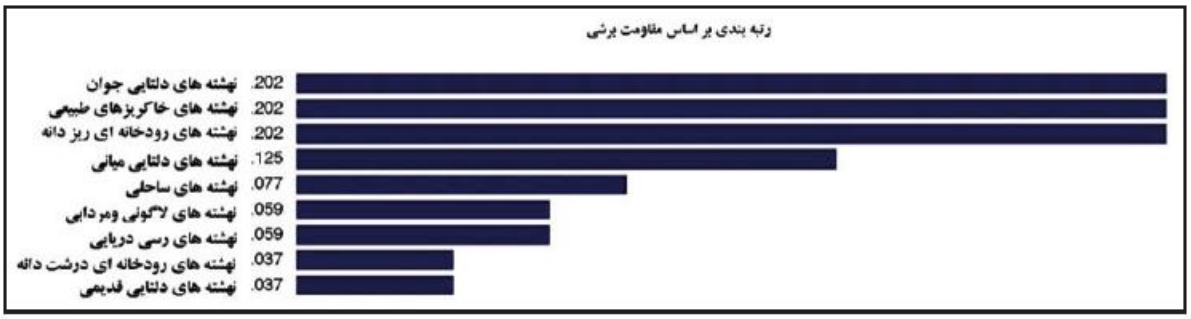
شکل ۴- نقشه فرسایش‌پذیری نهشته‌های مختلف محدوده مورد مطالعه بر پایه مقاومت برشی آنها.

www.SID.ir

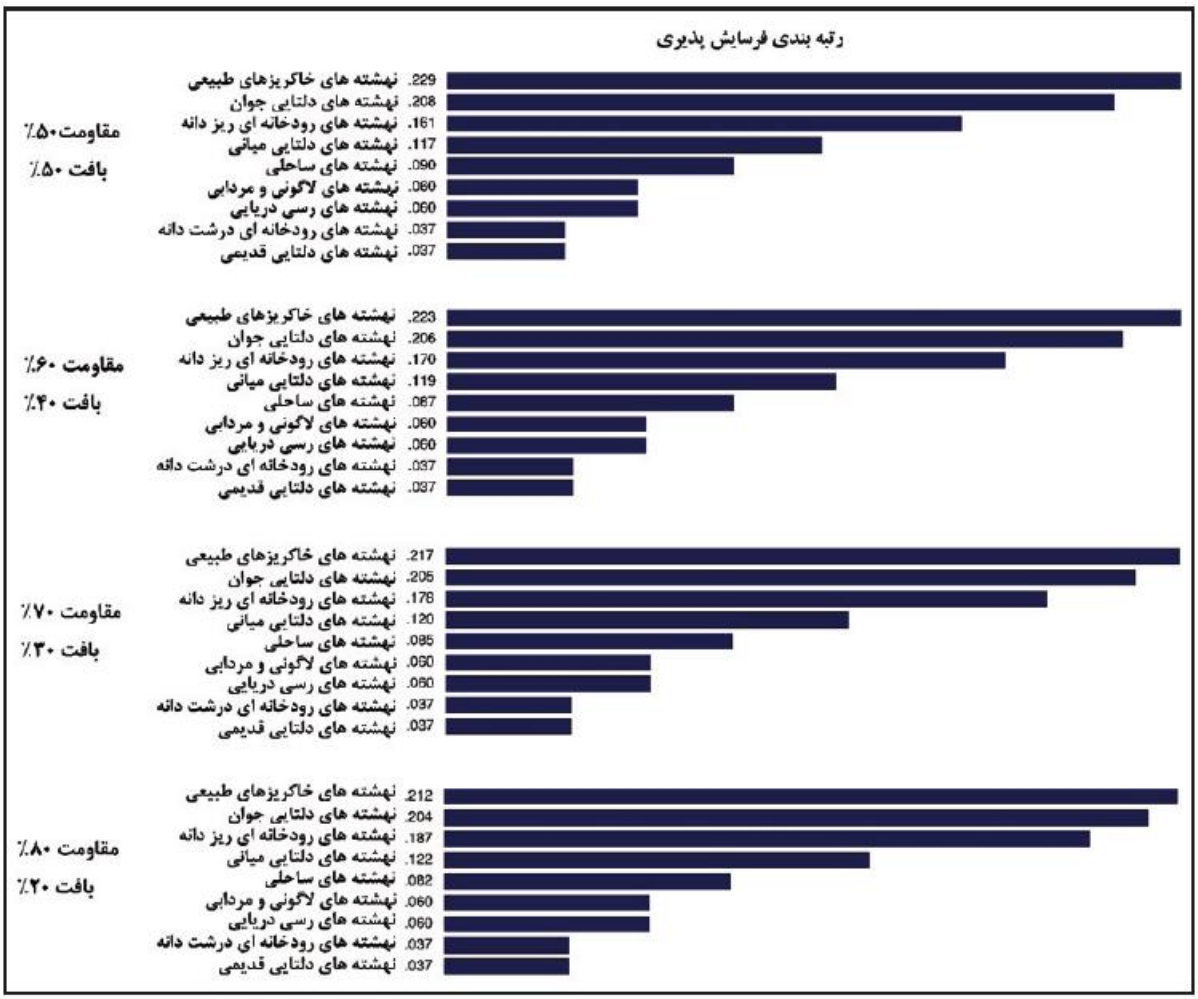
Archive of SID



شکل ۵- رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بر پایه معیار ترکیب بافتی.



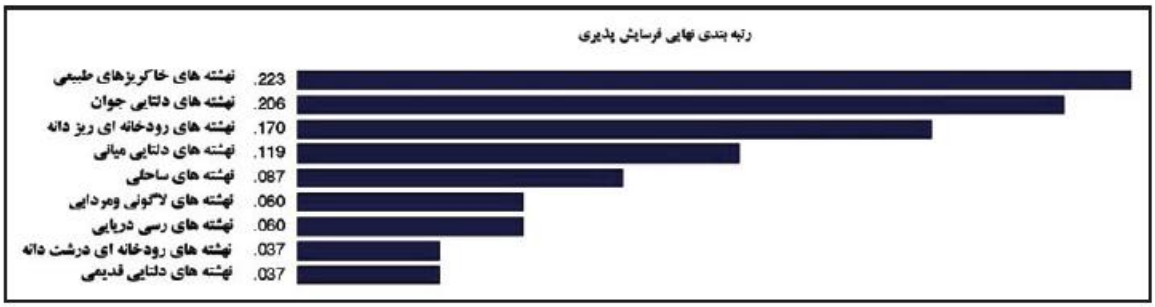
شکل ۶- رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌ها بر پایه معیار مقاومت برشی.



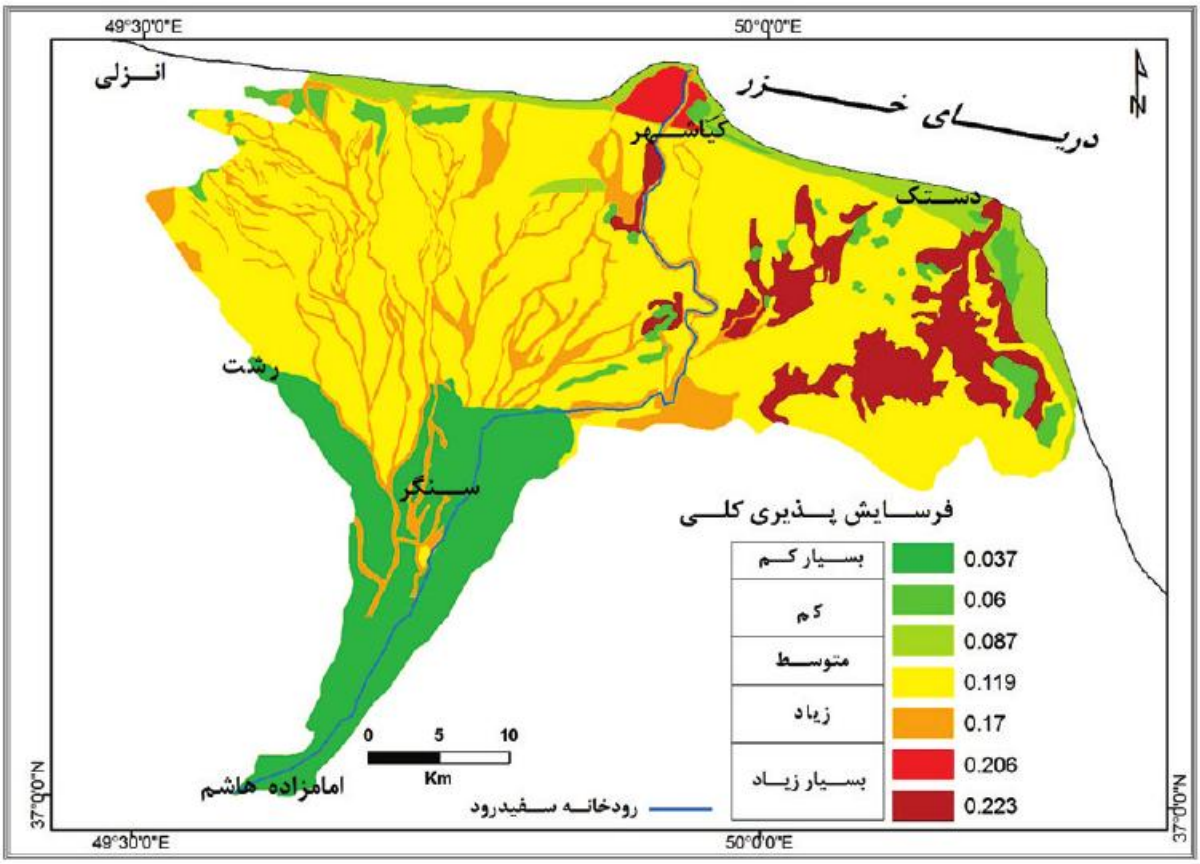
شکل ۷- رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه معیارهای ترکیب بافتی و مقاومت برشی با نسبت‌های مختلف.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- رتبه‌بندی پایانی فرسایش‌پذیری نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه نسبت معیارها به ترتیب ۶۰ ٪ مقاومت برشی و ۴۰ ٪ ترکیب بافتی.



شکل ۹- فرسایش‌پذیری کلی نهشته‌های محدوده مورد مطالعه.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۰- نمایی از رسوبات: الف) مخاکریزهای طبیعی؛ ب) دلتایی جوان؛ ج) رودخانه‌ای ریزدانه؛ د) دلتایی میانی.

جدول ۱- فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌ها بر پایه ترکیب بافتی.

نوع نهشته‌ها (ترکیب بافتی)	مقاومت ذرات در برابر جدایش	مقاومت ذرات در برابر حمل	توصیف فرسایش‌پذیری	رتبه فرسایش‌پذیری
نهشته‌های شنی	کم تا متوسط	زیاد	خیلی کم	۵
نهشته‌های رسی	زیاد	کم	کم	۴
نهشته‌های ماسه‌ای درشت	کم	متوسط	متوسط	۳
نهشته‌های سیلتی رس‌دار	کم تا متوسط	کم	زیاد	۲
نهشته‌های سیلتی ـ ماسه‌ای ریز	کم	کم	خیلی زیاد	۱

جدول ۲- فرسایش‌پذیری نهشته‌های ریزدانه چسبنده بر پایه مقاومت برشی.

SPT	Cu (kPa)*	قوام	توصیف فرسایش‌پذیری	رتبه فرسایش‌پذیری
۰ - ۲	کمتر از ۱۲/۵	خیلی سست	خیلی زیاد	۱
۳ - ۵	۱۲/۵ – ۲۵	سست	زیاد	۲
۶ - ۹	۲۵ - ۵۰	متوسط	متوسط	۳
۱۰ - ۱۶	۵۰ - ۱۰۰	سفت	کم	۴
بیشتر از ۱۶	بیشتر از ۱۰۰	خیلی سفت	خیلی کم	۵

* بر پایه نتایج حاصل از آزمایش‌های DCP

جدول ۳- فرسایش‌پذیری نهشته‌های دانه‌ای غیرچسبنده بر پایه مقاومت برشی.

SPT	DPI (mm/blow)*	تراکم نسبی	توصیف فرسایش‌پذیری	رتبه فرسایش‌پذیری
۲ - ۳	بیشتر از ۴۵	خیلی سست	خیلی زیاد	۱
۴ - ۷	۲۵ - ۴۵	سست	زیاد	۲
۸ - ۲۰	۱۵ - ۲۵	متوسط	متوسط	۳
۲۱ - ۴۰	۵ - ۱۵	متراکم	کم	۴
بیشتر از ۴۰	کمتر از ۵	خیلی متراکم	خیلی کم	۵

* بر پایه نتایج حاصل از آزمایش‌های DCP

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- ویژگی های زمین‌شناسی مهندسی انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه.

نوع نهشته‌ها	ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی
نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه	ترکیب سنگی این نهشته ها شامل ماسه به همراه مقادیری سیلت است و رسوبات شنی در آنها دیده نمی‌شوند. این نهشته‌ها بر پایه سامانه رده‌بندی متحد در رده خاک‌های SP، SP-SM و SM قرار دارند. بر پایه نتایج آزمایش های DCP، مقادیر DPI در بخش های سطحی این نهشته ها بیش از ۴۵ میلی‌متر بر ضربه است.
نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه	ترکیب سنگی این نهشته ها بیشتر شامل شن به همراه مقادیری ماسه و قلوه‌سنگ، شن با دانه‌بندی بد همراه با ماسه و قلوه‌سنگ است. این نهشته‌ها بر پایه سامانه رده‌بندی متحد در رده خاک‌های GW، GP، GP-GM، GM قرار دارند. اعداد نفوذ استاندارد، SPT، در این خاک‌ها در بیشتر موارد بیش از ۳۰ و در بسیاری موارد بیش از ۵۰ است.
نهشته‌های دلتایی جوان	این رسوبات دلتایی بیشتر ریزدانه و شامل سیلت‌های رسی (ML)، سیلت‌های ماسه‌ای (ML)، ماسه‌های سیلتی (SM) و ماسه‌های ریزدانه (SP) هستند. در بخش های سطحی، مقادیر SPT کمتر از ۵ و مقادیر DPI بر پایه آزمایش DCP، بیش از ۴۵ میلی‌متر بر ضربه است.
نهشته‌های دلتایی میانی	در مقایسه با رسوبات دلتایی جوان، این رسوبات دلتایی درشت‌دانه‌تر و شامل ماسه‌های سیلتی (SM)، ماسه‌های ریزدانه (SP)، سیلت‌های ماسه‌ای (ML)، و رس (CL) هستند. مقادیر SPT میان ۴ تا ۱۰ و مقادیر DPI بر پایه آزمایش DCP، بیش از ۳۵ میلی‌متر بر ضربه است.
نهشته‌های دلتایی قدیمی	نهشته های دلتایی قدیمی در مقایسه با نهشته‌های دلتایی میانی و جوان، درشت‌دانه‌تر و شامل شن همراه با ماسه و قلوه‌سنگ هستند. این رسوبات تراکم خوبی دارند و اعداد نفوذ استاندارد در آنها در بیشتر موارد بیشتر از ۳۵ است. مقادیر DPI نیز میان ۴ تا ۱۰ متغیر است.
نهشته‌های خاکریزهای طبیعی	این رسوبات بیشتر از نهشته‌های سیلتی و ماسه‌ای ریزدانه تشکیل یافته‌اند. بر پایه نتایج آزمایش های DCP، مقادیر DPI در بخش های سطحی این نهشته ها بیش از ۴۵ میلی‌متر بر ضربه است.
نهشته‌های ساحلی	ترکیب سنگی این نهشته ها شامل ماسه (بیشتر ریزدانه و در بخش‌هایی درشت‌دانه) و ماسه لای‌دار است. بر پایه رده‌بندی متحد، این خاک‌ها در رده خاک‌های SP، SP-SM و SM قرار دارند. در بخش های سطحی، مقادیر SPT میان ۸ تا ۲۳ و مقادیر DPI بر پایه آزمایش DCP، میان ۱۵ تا ۲۵ میلی‌متر بر ضربه است.
نهشته‌های لاگونی و مردابی	ترکیب سنگی این نهشته ها شامل رسوبات ریزدانه رس، رس سیلت‌دار و گاه رس ماسه‌دار است. رس‌های لاگونی بیشتر در رده خاک‌های CL و در برخی موارد در رده خاک‌های CH، ML و OH قرار دارند. مقادیر SPT در این نهشته ها میان ۶ تا ۱۲ در تغییر است.
نهشته‌های دریایی	ترکیب سنگی این نهشته ها شامل رس، رس لای‌دار و رس ماسه‌دار است. بر پایه رده‌بندی متحد، این نهشته‌ها بیشتر در رده خاک‌های CL و گاه در رده خاک‌های CH و در موارد کمی در رده خاک‌های ML قرار دارند. مقاومت زهکشی نشده این رس‌ها (Cu)، بر پایه آزمایش DCP، بیشتر میان ۳۰ تا ۸۰ کیلوپاسکال و در بخش های سطحی میان ۴۰ تا ۶۰ کیلوپاسکال متغیر است.

جدول ۵- فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه ترکیب بافتی آنها.

نوع نهشته‌ها	ترکیب بافتی	توصیف فرسایش‌پذیری	رتبه فرسایش‌پذیری
نهشته‌های دلتایی قدیمی	شنی	خیلی کم	۵
نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه	شنی	خیلی کم	۵
نهشته‌های لاگونی و مردابی	رسی	کم	۴
نهشته‌های دریایی	رسی	کم	۴
نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه	ماسه‌ای	متوسط	۳
نهشته‌های دلتایی میانی	ماسه‌ای	متوسط	۳
نهشته‌های ساحلی	ماسه‌ای	متوسط	۳
نهشته‌های دلتایی جوان	سیلتی رس‌دار - سیلتی و ماسه‌ای ریز	زیاد تا خیلی زیاد	۱ تا ۲
نهشته‌های خاکریزهای طبیعی	ماسه‌ای ریز، سیلتی	خیلی زیاد	۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- فرسایش‌پذیری انواع نهشته‌های محدوده مورد مطالعه بر پایه مقاومت برشی آنها.

نوع نهشته‌ها	SPT	DPI (mm/blow)	Cu (kPa)	توصیف فرسایش‌پذیری	رتبه فرسایش‌پذیری
نهشته‌های رودخانه‌ای درشت‌دانه	بیش از ۳۵	-	-	کم تا خیلی کم	۴ تا ۵
نهشته‌های دلتایی قدیمی	بیش از ۳۵	۱۰ - ۴	-	کم تا خیلی کم	۴ تا ۵
نهشته‌های لاگونی و مردابی	۱۲ - ۶	-	-	کم تا متوسط	۳ تا ۴
نهشته‌های دریایی	-	-	۶۰-۴۴	کم تا متوسط	۳ تا ۴
نهشته‌های ساحلی	۲۳ - ۸	۲۵ - ۱۵	-	متوسط	۳
نهشته‌های دلتایی میانی	۴ تا ۸	بیش از ۳۵	-	زیاد	۲
نهشته‌های دلتایی جوان	کمتر از ۵	بیش از ۴۵	-	خیلی زیاد	۱
نهشته‌های خاکریزهای طبیعی	-	بیش از ۴۵	-	خیلی زیاد	۱
نهشته‌های رودخانه‌ای ریزدانه	-	بیش از ۴۵	-	خیلی زیاد	۱

کتابنگاری

جداری عیوضی، ح.، پیمانی، م. و خوشرفتار، د.، ۱۳۸۴ تکامل ژئومرفولوژی دلتای سفیدرود در کواترنر، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص. ۹۹ تا ۱۲۰.

خوشرفتار، ر.، ۱۳۸۴ تکامل ژئومرفولوژی دلتای سفیدرود، رساله دوره دکترای جغرافیا، دانشگاه تهران.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۷ منشأ تپه‌های ماسه‌ای ساحلی خزر و تالاب انزلی. فصلنامه تخصصی زمین و منابع، سال اول، پیش شماره اول، زمستان ۸۷، صص. ۳۹ تا ۶۱.

سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۴ نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، چهارگوش‌های رشت و لنگرود.

کوثری، س.، ۱۳۶۵ تکامل دلتای سفیدرود و راهنمای بازدی از منطقه، مجله رشد آموزش زمین‌شناسی، سال دوم، شماره ۷، صص. ۳۱ تا ۴۱.

نوگل سادات، م.، ۱۳۷۰ مطالعات جامع زمین‌شناسی گیلان، استانداری گیلان.

References

Annells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A. & Davies, R. G., 1975- Explanatory text of the Qazvin and Rasht Quadrangles Map 1:250000. Geological survey of Iran.

Cruse, R. M. & Larson, W. E., 1977- Effect of soil shear strength on soil detachment due to raindrop impact. Soil Science Society of America Journal 41: 777–81.

Hanson, G. J. & Hunt, S. L., 2007- Lessons learned using laboratory jet method to measure soil erodibility of compacted soils. Applied Engineering in Agriculture 23(3): 305-312.

Jacobs, W., Hir, P. L., Kesteren, W. V. & Cann, P., 2011- Erosion threshold of sand–mud mixtures. Continental Shelf Research 31 (10): 14-25.

Kazanci, N. & Gulbabazadeh, T, 2013- Sefidrud delta and Quaternary evolution of the southern Caspian lowland, Iran. Marine and Petroleum Geology 44: 120-139.

Knapen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels, G. & Nachtergaele, J., 2007- Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. Earth-Science Reviews 80: 75–109.

Lahijani, A. H., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V. & Hosseindoost, M., 2009- Evidence for late Holocene highstands in Central Guilan–East Mazanderan, South Caspian coast, Iran. Quaternary International 197: 55-71.

Leonard, J. & Richard, G., 2004- Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. Catena 57 (3): 233–249.

McClerren, M. A., Hettiarachchi, H. & Carpenter, D. D., 2012- An investigation on erodibility and geotechnical characteristics of fine grained fluvial soils from Lower Michigan. Geotech Geol Eng 30:881–892.

Morgan, R. P. C., 2005- Soil erosion and conservation. Third Edition, Blackwell Publishing Ltd, 304 pages.

Saaty, T. L., 2008- Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences 1 (1): 83–98.

Sheridan, G. J., So, H. B., Loch, R. J. & Walker, C. M., 2000a- Estimation of erosion model erodibility parameters from media properties. Australian Journal of Soil Research 38 (2): 256–284.

Sheridan, G. J., So, H. B., Loch, R. J., Pocknee, C. & Walker, C. M., 2000b- Use of laboratory-scale rill and interrill erodibility measurements for the prediction of hillslope-scale erosion on rehabilitated coal mine soils and overburdens. Australian Journal of Soil Research 38: 285–297.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of erodibility of Sefidroud Delta deposits based on engineering geological factors

M. Hashemi [1*], R. Ajalloeian [2] & M. R. Nikoudel [3]

[1] Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran
[2] Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran
[3] Associate Professor, Department of Engineering Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2015 October 03 Accepted: 2016 January 09

Abstract

In the present study, erodibility of various deposits of Sefidrud Delta was evaluated based on effective engineering geological factors. First of all, the study area was studied from geology and sedimentology point of view and various deposits were identified in this area. Then the engineering geological characteristics of deposits were determined based on existing geotechnical data, field investigation and performance of 32 dynamic cone penetrometer test (DCP). Finally, by development a simple and precise method, the erodibility of various deposits was evaluated based on texture and shear strength factors. The results show that the erodibility of deposits has a close relationship to the sedimentological characteristics and erodibility could be analyzed regarding the geological history of deposits. According to the results of this research, natural levee deposits have highest erodibility and in other hand old deltaic deposits have lowest erodibility in Sefidrud Delta area. Such researches have a main role in sustainable development of the study area.

Keywords: Erodibility, Deltaic deposits, Texture, Shear strength, Sefidrud Delta.

For Persian Version see pages 99 to 108

*Corresponding author: M. Hashemi; E-mail: M-hashemi@sci.ui.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional
www.SID.ir