

## تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: فارس، منطقه دشت کهور لامرد)

سید محمد زمان‌زاده\* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران  
مهدی احمدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۵

### چکیده

این مطالعه در مناطق دارای فرسایش خندقی دشت کهور لامرد، واقع در جنوب استان فارس انجام گرفته است. این نوع از فرسایش در منطقه مورد مطالعه، موجب تخریب اراضی، عدم امکان فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از عرصه‌های منابع طبیعی شده است. در این نوشتار تلاش شده تا رابطه بین شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات، براساس نتایج حاصل از پژوهش ارائه شود. برای دستیابی به این هدف مبتنی بر اجرای پژوهش، در دو مرحله شناسایی ویژگی‌های منطقه پژوهش در چارچوب مطالعات و بررسی‌های متداول طرح‌های آبخیزداری، تهیه نقشه‌ها، جداول، ذخیره آمار و اطلاعات ذریع در محیط GIS از یکسو و مشخص کردن مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی و تقسیم‌بندی خندق‌های موجود در محدوده مورد مطالعه بر اساس مورفولوژی آنها با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و همراه با عملیات میدانی، نمونه‌برداری رسوبات و تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها از سوی دیگر بوده است. در این پژوهش شش خندق فعال و معرف گزینش شدند. طول خندق، عمق، عرض بالا و پایین و حجم فرسایش در آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین عوامل مؤثر در گسترش و رسوب‌زایی خندق‌ها، با بهره‌گیری از روش Stepwise در نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری صورت گرفت. میزان حساسیت رسوبات به فرسایش خندقی با توجه به مقادیر (pH، OM، TNV) در کل محدوده مورد مطالعه میزان بالایی را نشان می‌دهد، بین مقادیر متغیرهای (SAR)، (EC) و تا حد کمی میزان گچ با میزان گسترش خندق‌ها رابطه‌ای کاملاً معکوس دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، رسوب تولیدی ناشی از گسترش خندق‌ها در دشت کهور تابع سه متغیر گستره آبخیز، درصد سیلت و ماسه در آبخیز واقع در بالای پیشانی خندق‌ها است. این نتایج بیانگر تأثیر ویژگی حوضه آبخیز و سازند زمین‌شناسی در تولید رسوب ناشی از فرسایش خندقی است.

کلیدواژه‌ها: دشت کهور لامرد، فرسایش خاک، فرسایش خندقی، ویژگی‌های فیزیکی خاک.

## مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله منطقه دشت کهور لامرد در جنوب استان فارس، توزیع ناهمگن پوشش گیاهی، مدیریت غیراصولی زمین و همچنین تأثیر عوامل زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و اقلیمی، سرعت تغییرات مکانی را افزایش داده و ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی سطح زمین را به‌طور قابل ملاحظه‌ای دگرگون ساخته‌اند (شکل ۱). این نوع از فرسایش در سطح وسیعی از منطقه دشت کهور لامرد در جنوب استان فارس، موجب تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیت‌های کشاورزی شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرسایش تونلی و انحلالی بسیار فعال‌تر بوده و رابطه آن با ایجاد خندق شناخته‌شده‌تر است (احمدی، ۲۰۰۶: ۲۵۶-۲۵۴؛ قدوسی، ۲۰۰۳: ۳۶۸؛ نظری سامانی و همکاران، ۲۰۰۹). پیامدهای فرسایش، تلفات خاک، ایجاد رسوب در مخازن و از بین رفتن زمین‌های زراعی و پوشش گیاهی هستند (ایونس و لیندسی، ۲۰۱۰).



شکل ۱. نمایی از فرسایش خندقی در منطقه دشت کهور

یکی از عوامل تأثیرگذار در فرسایش خاک، پایداری خاکدانه‌ها و عوامل مؤثر در تغییر آن است. در صورت تعیین عوامل مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها، می‌توان نسبت به رفع محدودیت‌های موجود در این زمینه اقدام کرد. لسچن، کوک، وربورگ و کامرات (۲۰۰۷) فرسایش خندقی را در زمین‌های کشاورزی و متروک بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که زمین‌های متروک، به دلیل کاهش ذخیره و نفوذ آب، کاهش مواد آلی، تمرکز جریان سطحی، در مقایسه با زمین‌های کشاورزی در معرض خطر جدی فرسایش خندقی هستند. سیکس، ایلپوت و پاستیان (۲۰۰۰) عدم پایداری خاکدانه‌ها را عامل افزایش حساسیت خاک‌ها به فرسایش آبی معرفی می‌کنند. بنا به باور تاپ، رینالد و کارتر (۱۹۹۷) خاک‌هایی که دارای خاکدانه‌های قوی بوده و سهم خاکدانه‌های درشت در آنها زیاد است، خاک‌های پایدار هستند. امباگو (۱۹۸۹) با بررسی پراکنش وسیعی از خاک‌ها به لحاظ بافت، دریافت که پایداری خاکدانه‌ها در بافت‌های متفاوت به ترتیب از رسی < لومرسی < لوم < تا لوم سنی کاهش می‌یابند. ریچر و نگندانک (۱۹۷۷: ۲۶۱-۷۸) فرسایش‌پذیرترین خاک‌ها را خاک‌هایی با ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت می‌دانند. گرینلند، ریمر و پابین (۱۹۷۵) دریافتند که برای جلوگیری از پخشیدگی خاک‌ها، آستانه مقدار ماده آلی حدی معادل دو درصد است؛ در صورتی که کاندیا (۱۹۷۶) مقدار بهینه ماده آلی برای ایجاد

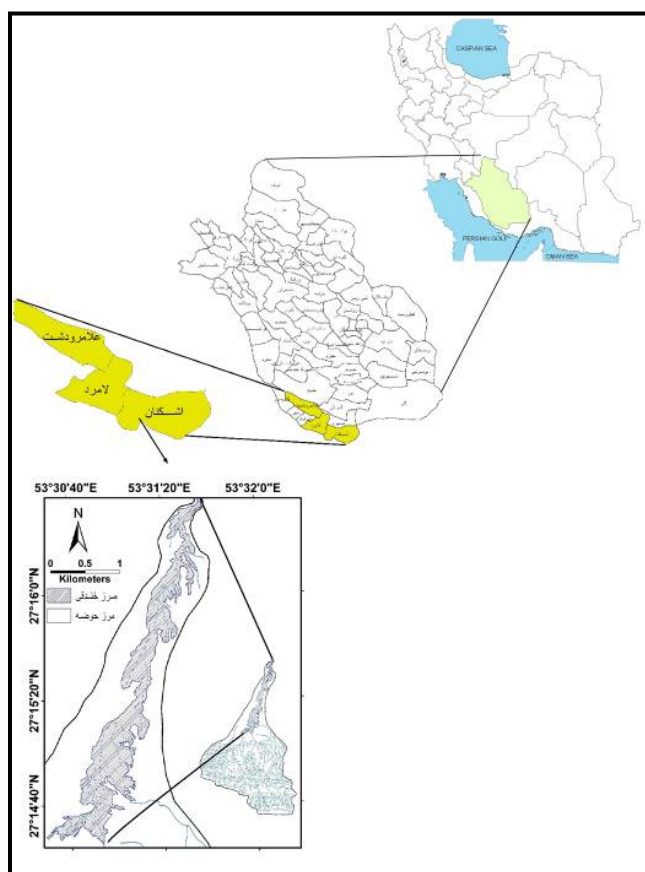
خاکدانه پایدار را چهار درصد وزنی معرفی می‌کند. مطالعات گمپر و کوچ (۱۹۶۶) نشان داد که رس زمانی پایداری را افزایش می‌دهد که میزان سدیم در خاک کم باشد و در حضور سدیم زیاد، تأثیر منفی بر پایداری دارد. مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش (SAR)<sup>۱</sup>، غلظت بحرانی انعقاد (CCC)<sup>۲</sup> افزایش می‌یابد. یعنی با افزایش نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی (EC)<sup>۳</sup> مورد نیاز برای انعقاد یا همآوری رس‌ها زیاده‌تر می‌شود. در این خاک‌ها پس از آبیاری و بارندگی غلظت الکترولیت از حد بحرانی کمتر شده و مرحله اول خاکدانه‌سازی، یعنی کنار هم قرار گرفتن رس‌ها و تشکیل دومین<sup>۴</sup> با مشکل مواجه خواهد شد و موجب پراکندگی رس‌ها می‌شود (ابوشرار، بینگام و رودس ۱۹۸۷). مورگان (۲۰۰۵: ۱۹۸) میزان گچ به همراه سدیم را در سازندهای رس و مارن عامل بسیار مهم در حساس بودن آنها به فرایند پایپینگ<sup>۵</sup> و ایجاد خندق می‌داند. شهریور (۱۳۷۷) در منطقه سوق بدین نتیجه رسید که به ترتیب، املاح محلول موجود در خاک، شدت بالای بارندگی و از بین بردن پوشش طبیعی، تأثیر زیادی در ایجاد خندق و توسعه آن داشته است. راهی (۱۳۷۷: ۱۰۶) در پژوهشی سازوکار و علل تشکیل خندق در بندر گناوه را مورد مطالعه قرار داده است. به باور وی، یکی از دلایل خندقی شدن، مقدار املاح فراوان در خاک منطقه مورد مطالعه بوده است. وجود رسوبات سست مانند شیل، مارن‌های شور و گچی با درصد بالای سیلت و رسوبات رسی - سیلتی دوره‌های ترشباری و کواترنری ترشباری و کواترنری، زمینه مناسبی برای ایجاد شبکه‌ای از خندق‌های متراکم در بسیاری از نقاط دنیا، از جمله ایران فراهم آورده است (صوفی، ۱۳۸۲: ۸۳). زارع مهرجردی، صوفی، چوپانی و برخوردار (۱۳۸۴) در بررسی‌های خود در منطقه کندوران هرمزگان اظهار کردند که علاوه بر تأثیرپذیری فرسایش خندقی از درصد املاح افق سطحی خاک، درصد املاح افق تحتانی نیز بر این امر مؤثر بوده و بافت خاک سیلتی بیشترین میزان رسوب را تولید می‌کنند. قرلی، فتاحی و صوفی (۱۳۸۴) یکی از عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها را وجود املاح زیاد در خاک، به‌ویژه سدیم می‌داند. طباطبایی (۱۳۷۹) عوامل طبیعی تأثیرگذار در بروز پدیده فرسایش خندقی را وجود لایه‌های مارنی و گچی در سازندهای میشان و آغاچاری، رسوب‌های ریزدانه کواترنر متشکل از ذرات ریزدانه ماسه و سیلت و رس، پایداری کم خاک، ساختمان ضعیف خاکدانه‌ها، کمبود مواد آلی و وجود املاح گچ و آهک، معرفی کرده است. بررسی منابع و آثار منتشر شده نشان داد که تا به حال هیچ‌گونه مطالعه‌ای در مورد فرسایش خندقی در این منطقه انجام نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی مقدار هریک از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پایداری خاکدانه‌ها و مقایسه روند تغییرات هر یک از عوامل اندازه‌گیری شده با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه و تعیین تأثیر عوامل و ویژگی‌های حوضه آبخیز و زمین‌شناسی در گسترش خندق و تولید رسوب ناشی از آنها است.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان فارس، در مسیر جاده لامرد - اشکنان در ۳۰ کیلومتری شمال خط ساحلی خلیج فارس واقع شده است. دشت کهور یک دشت دامنه‌ای حاصل از رسوبات آبرفتی دوران سنوزوئیک است که در بین دو

1. Sodium Adsorption Ratio
2. Critical Coagulation Concentration
3. Electrical Conductivity
4. Domain
5. Piping

رشته طاق‌دیس با جهت شمال غربی - جنوب شرقی واقع شده است. حوضه دشت کهور ۱۹۷۲/۶۲ هکتار مساحت دارد و میزان مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی، حدود ۱۱۶/۱۶ هکتار برآورد شده است. محدوده مورد پژوهش دشتی است با پستی و بلندی کم و شیب ملایم، تمام خندق‌های ایجاد شده در دشت کهور در شیب کمتر از ۳ درصد ایجاد شده‌اند، میزان بارندگی متوسط سالانه برابر ۲۱۱/۵ میلی‌متر (اطلاعات ایستگاه باران‌سنجی لامرد)، حداکثر شدت بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله در حوضه آبخیز لامرد برابر ۱۶۹/۸ میلی‌متر است. در بارندگی ۴۸ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله، حوضه آبخیز لامرد دارای حداکثر شدت ۲۲۱/۸ میلی‌متر است (صوفی و همکاران، ۱۳۸۳). میزان تبخیر سالانه بین ۲۸۶۷ تا ۳۷۰۴ میلی‌متر متغیر است و دمای متوسط سالانه برابر ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس، ۱۳۸۶: ۹۸). اقلیم این منطقه با استفاده از روش دومارتن به صورت خشک بیابانی معرفی شده است. از لحاظ پوشش گیاهی، این منطقه در وضعیت ضعیفی قرار دارد. تپ غالب پوشش منطقه کهور بومی بوده، گونه‌های همراه اغلب شامل کنار، تاغ و علف شور است. شکل ۲ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



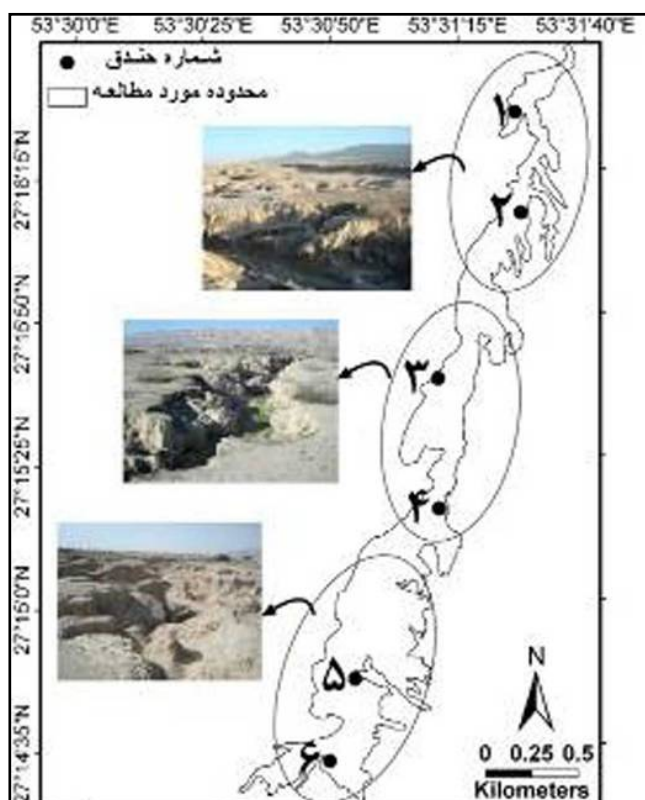
شکل ۲. نقشه محدوده مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

برای مشخص کردن مرز خندق‌های محدوده مورد مطالعه، از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۲ استفاده شده است. از GPS برای ثبت موقعیت هر خندق و از نرم‌افزار Arc GIS به منظور آماده‌سازی آن برای کار

استفاده شده است. ابزارهای فیزیکی که در کار میدانی برای برداشت داده‌های میدانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، شامل GPS، دوربین عکاسی، وسایل اندازه‌گیری و وسایل نمونه‌برداری هستند.

با توجه به هدف پژوهش که بررسی مقدار هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک در رسوبات محدوده مورد مطالعه و مقایسه روند تغییرات آنها با گسترش خندق‌های همان محدوده است، از این رو با توجه به تعداد زیاد خندق‌های



شکل ۳. موقعیت خندق‌های معرف

منطقه و عدم امکان مطالعه همه آنها، براساس خصوصیات کلی و ظاهری خندق‌ها، تعداد شش خندق با فواصل تقریباً برابر از محدوده پایین دست که کمترین میزان فرسایش در آن رخ داده (شکل ۳ خندق شماره ۱) تا محدوده بالادست که بیشترین میزان فرسایش در آن رخ داده (شکل ۳ خندق شماره ۶) و با توجه به مشاهدات میدانی در محدوده یادشده، خندق‌های معرف انتخاب شدند.

حجم فرسایش خندقی با تعیین و اندازه‌گیری مقاطع عرضی خندق‌های نمونه در صحرا تعیین شد. با ملاحظه میدانی خندق‌ها و پلان عمومی آنها، فاصله مناسب برای تعیین مقاطع عرضی و اندازه‌گیری آنها در طول خندق، مقاطع مربوط به ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد طول شاخه اصلی از پیشانی خندق مشخص شد. سپس در هر مقطع ابعاد خندق (عمق، عرض بالا

و پایین) را اندازه‌گیری میدانی کرده و حجم فرسایش خندقی از مجموع احجام جزئی در خندق‌ها به دست آمد. حجم جزئی از ضریب متوسط دو مقطع مجاور در فاصله بین آنها تعیین شد. مساحت آبخیز واقع در بالای پیشانی هر خندق، پس از تعیین نقاط ارتفاعی با استفاده از GPS محاسبه شد.

برای تعیین برخی از مهم‌ترین خصوصیات رسوبات محدوده مورد مطالعه، از هر خندق چهار نمونه رسوب، دو نمونه در قسمت پیشانی و دو نمونه در مقطع ۵۰ درصدی از طول خندق برداشت شد. نمونه‌گیری رسوب به صورت عمقی انجام گرفت. برای این کار و برای جلوگیری از خطا، به دلیل وجود لایه نازکی از رسوبات روی دیواره، ابتدا لایه‌ای از جداره محل برداشت نمونه رسوب تراشیده (حدود ۱۰ سانتی‌متر) و سپس از این محل (حدود ۴۰۰ گرم) نمونه‌برداری انجام گرفت؛ بدین صورت که از دیواره خندق یک نمونه از عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح و یک نمونه از عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری (شکل ۴) توسط کاردک تراشیده و هر کدام را در کیسه نمونه‌برداری جداگانه‌ای قرار داده و با ثبت

مشخصات روی کیسه‌ها، برای تعیین برخی از خصوصیات رسوب به آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران انتقال داده شدند. در مجموع ۲۴ نمونه رسوب برداشت شده است.



شکل ۴. روش نمونه‌برداری از دیواره خندق

برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوب از روش‌هایی استفاده شده است که در ادامه شرح داده می‌شود. مقدار اسیدیته با استفاده از دستگاه pH Meter (pH) خاک عبارت است از لگاریتم منفی فعالیت یون هیدروژن در گل اشباع خاک:  $\text{pH} = -\log(H)$  که در آن، H نماینده فعالیت یون هیدروژن برحسب گرم بر لیتر در سوسپانسیون (گل اشباع) آب و خاک است. pH کمتر از ۴، نشانه وجود اسیدیته آزاد است که معمولاً از اکسیداسیون سولفیدها ایجاد می‌شود، pH کمتر از ۵/۵ احتمالاً آلومینیوم قابل تبادل است و pH بین ۷/۸ تا ۸/۲ وجود کربنات کلسیم را نشان می‌دهد. در pH بالاتر از ۸/۳ کربنات سدیم در خاک دیده می‌شود که معمولاً درصد سدیم تبدلی نیز بیشتر از ۱۵ است (جعفری اردکانی، پرتویی، پیروان و قدوسی، ۱۳۷۶: ۱۲۰). هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه Ec Meter، گچ به روش استون<sup>۱</sup>، سدیم به روش فلیم فتومتری<sup>۲</sup>، آهک‌کُل به روش کالسیمتری، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلک)<sup>۳</sup>، بافت به روش هیدرومتری و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون<sup>۴</sup>. پارامتر SAR نیز از رابطه 
$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})^{2+}}}$$
 به دست آمد و برحسب (mmol/lit) است. این نسبت با افزایش سدیم در خاک افزایش می‌یابد. در نهایت رابطه بین حجم فرسایش و عوامل مرتبط با استفاده از روش گام‌به‌گام Stepwise در نرم‌افزار SPSS، تعیین و تحلیل آماری روی آنها انجام گرفت.

## یافته‌های پژوهش

جدول ۱ نتایج پارامترهای مهم اندازه‌گیری شده رسوب در مقاطع مختلف خندق‌های معرف را نشان می‌دهد.

1. Acetone
2. Flame photometer
3. Walkley and Black
4. Titrimetric

جدول ۱. برخی از عوامل مهم اندازه‌گیری شده رسوب در مقاطع مختلف خندق‌های معرف

SAR	(Ca+Mg) <sup>2+</sup> MeI <sup>1</sup>	Na <sup>+</sup>	کلاس بافت	درصد						E.C (dS/m)	pH	عمق	مقطع	شماره خندق
				Silt	Clay	Sand	O.C	TNV	گچ					
۳/۲۸	۷/۲	۶/۲۲	لوم، رسی، سیلت	۵۴	۳۳	۱۳	۰/۵۶	۵۰/۸	۰/۲	۱/۲۳	۸/۳	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۱
۰/۹	۳۳/۲	۳/۵۳	لوم، رسی	۲۶	۳۱	۲۳	۰/۲۵	۴۵/۵	۵/۱	۲/۸۱	۸/۱	۶۰ تا ۳۰	پیشانی	
۹۹	۸۶	۶۵۰	لوم، رسی	۳۴	۳۰	۲۶	۰/۲۱	۳۰/۸	۵/۶	۳/۱۵	۷/۹	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۲
۱۰۰۹	۱۹۵	۱۰۸۰	رسی	۴۱	۵۶	۳	۰/۱۹	۴۲/۴	۳/۳	۸۰/۵	۷/۹	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۴/۸	۵۸/۵	۲۶/۱	لوم	۲۶	۱۳	۵۱	۰/۵۱	۵۶/۴	۲/۲	۶/۸۹	۸	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۳
۲/۳	۲۹	۸/۹۵	لوم، رسی	۴۱	۲۹	۳۰	۰/۲۹	۶۱/۵	۰/۲	۲/۹۲	۷/۹	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۵۹/۶	۱۲۰	۴۶۲	لوم، رسی	۲۶	۳۰	۲۴	۰/۳۸	۵۱/۵	۵/۴	۳۴/۷	۷/۸	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۴
۱۱۳	۱۸۰	۱۰۷۵	لوم، رس، سیلتی	۲۶	۲۱	۵۳	۰/۲۹	۵۴/۸	۴/۲	۷۸/۷	۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۲/۸	۵	۴/۴۲	لوم	۴۹	۲۰	۳۱	۰/۳۸	۶۸	۰	۰/۸۳	۸/۵	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۵
۲/۹	۲۶/۶	۱۰/۶	لوم	۴۹	۲۰	۳۱	۰/۲۴	۷۳/۶	۰	۳/۸۵	۷/۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۲/۱	۲۸	۹/۶	لوم، رسی، سیلت	۴۸	۳۴	۱۸	۰/۲۳	۶۰/۴	۱/۷	۳/۶۷	۷/۹	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۶
۴۵/۷	۱۴۲	۳/۵	رسی، سیلتی	۴۱	۵۱	۸	۰/۲۱	۵۹/۱	۲/۵	۴۰	۷/۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۱/۳	۴	۱/۹۲	لوم، رسی، سیلت	۵۰	۳۵	۱۵	۰/۴۶	۵۱/۵	۰	۰/۵۶	۸/۲	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۴
۳/۶	۲۶	۱۵/۲۲	رسی، سیلتی	۲۶	۴۴	۱۰	۰/۲۵	۳۳/۵	۰	۳/۸۹	۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۱/۹	۵	۳/۱۱	لوم	۴۹	۲۶	۲۵	۰/۳۹	۵۴/۸	۰	۰/۷۱	۸/۲	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۵
۱۷/۸	۵۷/۵	۹۵/۶	لوم	۳۲	۲۶	۴۲	۰/۲۵	۵۸/۹	۰	۱۱/۳۵	۷/۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۱/۶	۷/۶	۳/۱۹	لوم	۴۹	۲۵	۲۶	۰/۵۲	۵۲/۴	۰	۱/۰۲	۸/۲	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۵
۳/۵	۹	۷/۴	لوم	۳۵	۲۲	۴۳	۰/۲۵	۶۰	۰	۱/۴۸	۸/۲	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۵/۹	۵/۸	۱۰/۱۳	لوم، شن	۳۲	۱۵	۵۳	۰/۲۱	۶۰/۴	۰	۱/۵۵	۸/۲	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۶
۳/۵	۱۲/۴	۸/۶۸	لوم	۴۱	۲۰	۳۹	۰/۱۹	۵۴/۸	۰	۱/۸۱	۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۲/۱	۶/۶	۳/۸۴	لوم، سیلت	۵۶	۲۴	۲۰	۰/۴۰	۵۳/۵	۰	۰/۹۴	۸/۲	۳۰ تا ۳۰	پیشانی	۶
۴/۳	۲۴/۴	۱۵/۰۲	لوم، رسی، سیلت	۴۸	۳۴	۱۸	۰/۲۵	۴۷/۵	۰	۲/۵۱	۸	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	
۲/۳	۶	۴/۰۶	لوم، رسی، سیلت	۵۸	۲۹	۱۳	۰/۴۰	۲۶/۲	۰	۰/۹۵	۸/۳	۳۰ تا ۳۰	%۵۰	۶
۴/۳	۱۴۵	۲۶/۲۶	لوم، رسی	۲۵	۴۴	۲۱	۰/۳۲	۴۸/۲	۰	۱۵/۲۱	۷/۶	۶۰ تا ۳۰	%۵۰	

جدول ۲ میزان رسوب تولیدی در خندق‌های برگزیده دشت کهور را نشان می‌دهد، کمینه این میزان ۴۳۷/۹۲ متر مکعب در خندق شماره ۱ و بیشینه آن ۲۰۶۱/۶۲ متر مکعب در خندق شماره ۶ اندازه‌گیری شده که این میزان رسوب متناسب با گستره آبخیز بالای خندق‌ها، یک روند افزایشی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. حجم رسوب تولیدی و گستره آبخیز بالای خندق

شماره خندق	طول خندق (m)	میزان رسوب تولیدی (m <sup>3</sup> )	گستره آبخیز بالای خندق (m <sup>2</sup> )
۱	۱۳۶	۴۳۷/۹۲	۷۸۸۰/۰۴
۲	۱۷۵	۸۷۸/۵	۲۱۵۲۳/۶۹
۳	۱۷۹	۱۲۰۸/۸۴	۹۲۴۱۷/۷۷
۴	۱۴۷	۱۳۶۰/۴۷	۱۲۷۳۳۵/۸۴
۵	۱۴۲	۱۵۱۸/۱۲	۱۵۰۵۳۵/۹۳
۶	۱۵۸	۲۰۶۱/۶۲	۱۶۰۰۰۶/۰۵

### بافت خاک

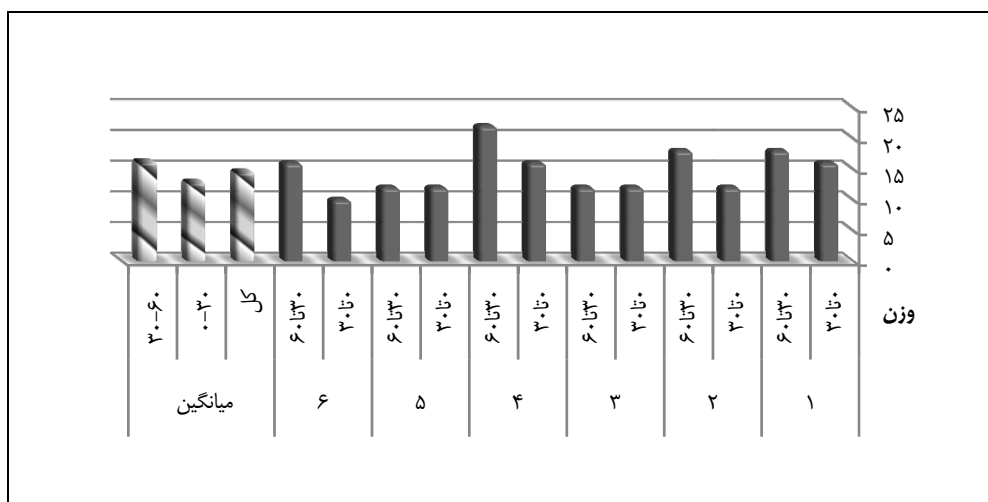
برای به تصویر کشیدن بافت خاک‌ها از حالت کیفی به کمی، بر مبنای تقسیم‌بندی بافت خاک (جدول ۳) به سنگین‌ترین بافت، بیشترین واحد (وزن) و به سبک‌ترین بافت، کمترین واحد (وزن) داده شده است. این وزن‌دهی قراردادی است و از آن برای بهتر نشان دادن داده‌ها روی نمودار استفاده شده است.

جدول ۳. تقسیم بندی بافت خاک

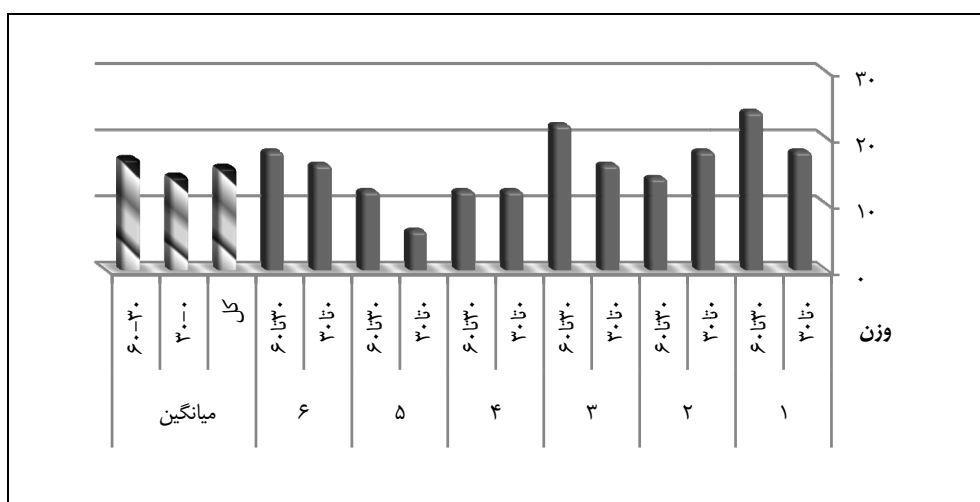
وزن (قراردادی)	۲۴	۲۲	۲۰	۱۸	۱۶	۱۴	۱۲	۱۰	۸	۶	۴	۲
سبکی و سنگینی خاک	خیلی سنگین	خیلی سنگین	خیلی سنگین	سنگین	سنگین	سنگین	متوسط	متوسط	متوسط	سبک تا متوسط	سبک	خیلی سبک
بافت خاک	رس	رسی سیلتی	رسی شنی	لوم رسی	لوم رسی سیلت	لوم رسی سیلتی	لوم	لوم سیلت	سیلت	لوم شنی	شن لومی	شن

با توجه به میانگین‌های کلاس بافت، بافت رسوبات محدوده مورد مطالعه متوسط (لوم تا لوم رسی سیلت) تشخیص داده شدند. درصد میانگین رس، سیلت و ماسه به ترتیب برابر ۲۹/۲۵، ۴۳/۸۴ و ۲۶/۹۱ به دست آمد که بالاترین وزن مربوط به مقطع ۵۰ درصدی (از عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) است (شکل ۶) و کمترین وزن مربوط به مقطع پیشانی (از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) است (شکل ۵). با توجه به نمودارهای ترسیم شده، مشاهده می‌شود که بافت رسوبات در اکثر خندق‌ها، در هر دو مقطع از عمق ۰-۳۰ به ۳۰-۶۰ سنگین‌تر می‌شود. این خصوصیت به دلیل درصد پایین‌تر رس نسبت به سیلت در لایه‌های سطحی رسوبات محدوده مورد مطالعه است که در نتیجه فقدان پدیده سیمانی شدن، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و سست بودن ساختمان خاک را در پی خواهد داشت.



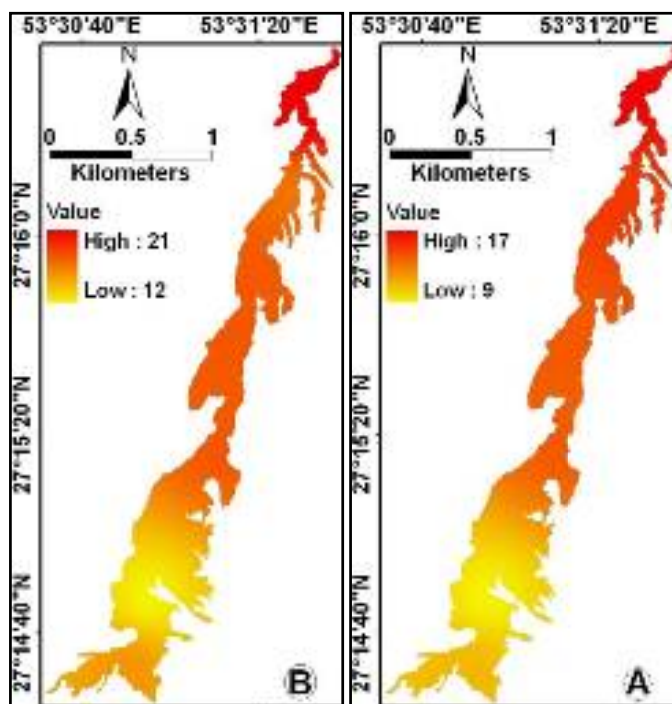


شکل ۵. سبکی و سنگینی بافت خاک در مقطع پیشانی خندق‌های نمونه



شکل ۶. سبکی و سنگینی بافت خاک در مقطع ۵۰ درصد خندق‌های نمونه

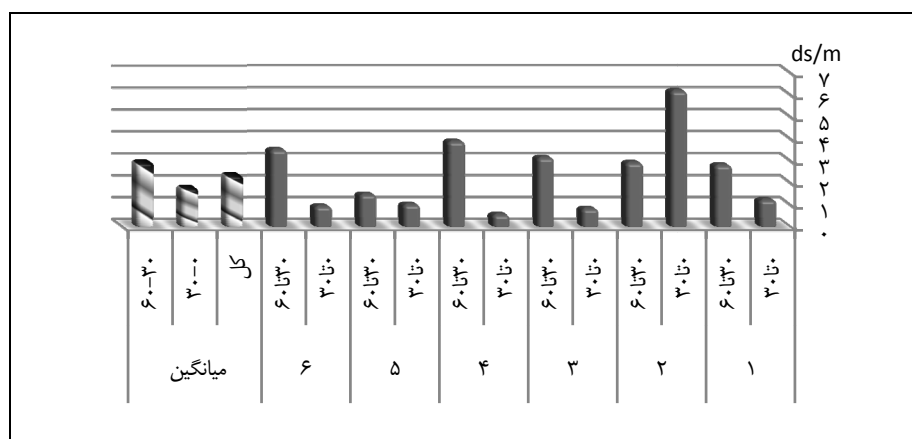
مقایسه و بررسی روند تغییرات بافت رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده یک رابطه کاملاً مستقیم است که با سبک‌تر شدن بافت رسوبات، گسترش خندق‌ها نیز بیشتر شده است (شکل ۷).



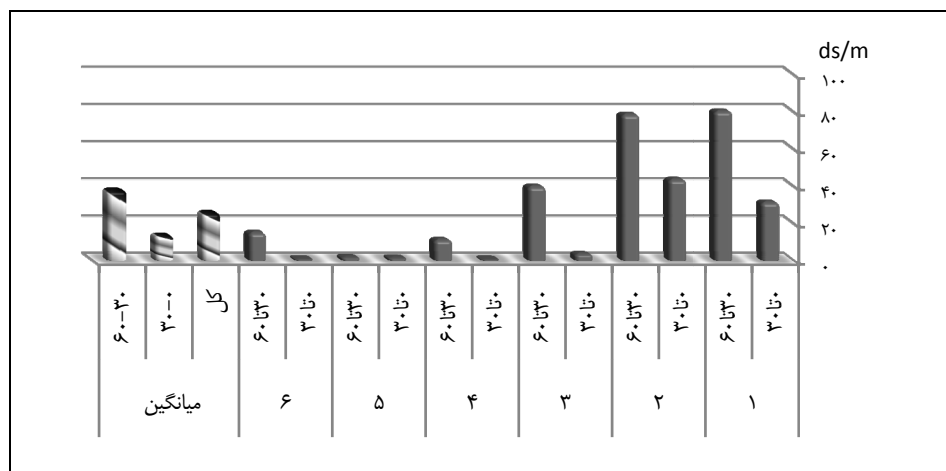
شکل ۷. روند تغییرات بافت رسوبات (براساس وزن‌های داده شده) در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

### هدایت الکتریکی خاک (EC)<sup>۱</sup>

مقدار EC در مقطع ۵۰ درصدی از طول خندق‌های ۱ تا ۳، به‌خصوص در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری، تفاوت فاحشی را نسبت به سایر خندق‌ها و سایر مقاطع نشان می‌دهد (شکل ۹). مقدار EC تقریباً در اکثر خندق‌ها و در هر دو مقطع از عمق ۰-۳۰ به ۳۰-۶۰ روند افزایشی دارد (شکل ۸ و ۹). به نظر می‌رسد این اختلاف در مقدار EC از خندق‌های ۱ تا ۳ نسبت به خندق‌های ۴ تا ۶ می‌تواند به خاطر شست‌وشوی کمتر خاک در قسمت‌های پایین دست محدوده مورد مطالعه باشد.

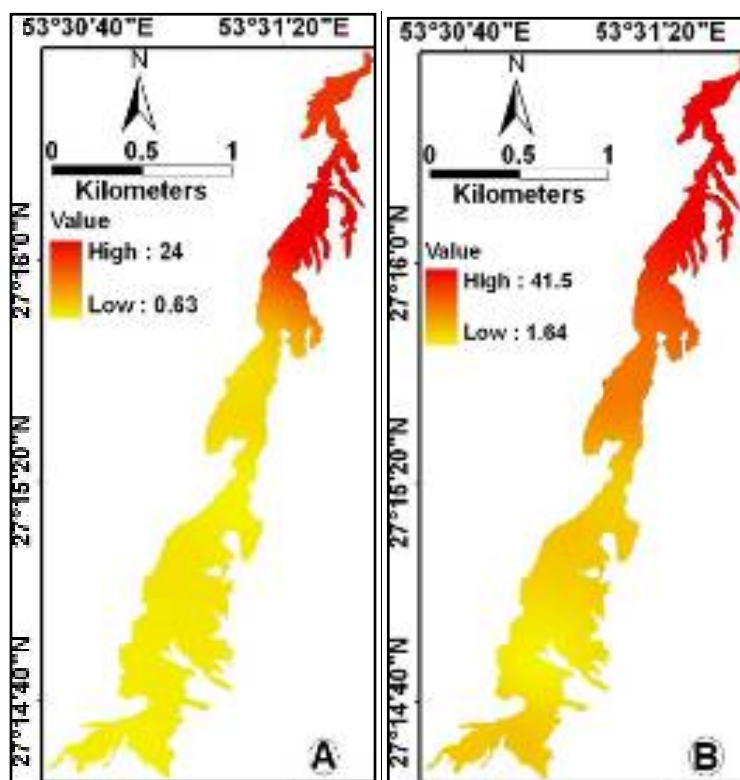


شکل ۸. مقدار EC خاک در مقطع پیشانی خندق‌های نمونه



شکل ۹. مقدار EC خاک در مقطع ۵۰ درصد خندق‌های نمونه

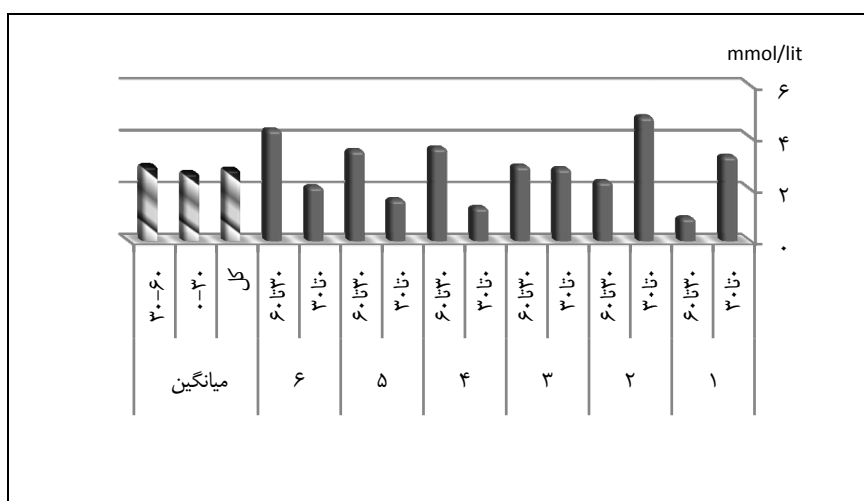
مطالعات انجام شده در ارتباط با مقدار EC و میزان فرسایش خاک، نشان‌دهنده یک رابطه مستقیم است. به نوعی که با افزایش مقدار EC میزان فرسایش نیز افزایش پیدا می‌کند. بررسی روند تغییرات EC رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده یک رابطه معکوس است که بیان می‌کند با کاهش مقدار EC در رسوبات، گسترش خندق‌ها بیشتر شده است (شکل ۱۰).



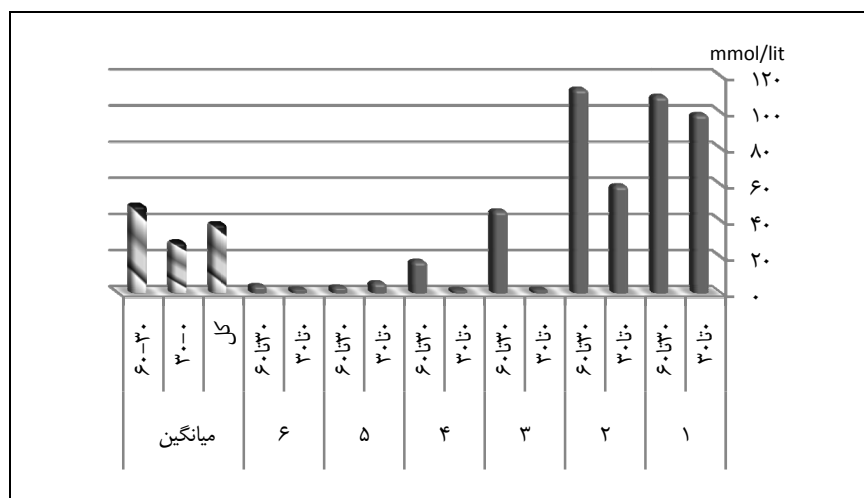
شکل ۱۰. روند تغییرات EC رسوبات در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

نسبت جذب سدیم (SAR)<sup>۱</sup>

مقدار SAR نیز تقریباً مشابه مقدار EC است (شکل ۱۱ و ۱۲). این مقدار در مقطع ۵۰ درصدی از طول خندق‌های ۱ تا ۳ میزان بسیار بالایی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). به دلیل شست‌وشوی کمتر خاک در قسمت‌های پایین دست محدوده مورد مطالعه، به خصوص در مقطع ۵۰ درصدی از طول خندق‌ها، املاح سدیم در لایه‌های فوقانی در مقایسه با کلسیم و منیزیم موجود در رسوبات، افزایش می‌یابد و مقدار SAR در این محدوده میزان چشمگیری را نشان می‌دهد؛ زیرا یون سدیم دارای شعاع یونی هیدراته بزرگی است و مولکول‌های آب زیادی را جذب می‌کند و بعد از جذب آب متورم شده، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و در اثر بارش و رواناب‌های حاصل از آن، فرسایش و تلفات خاک به میزان زیادی افزایش می‌یابد (جو و کاپات: ۲۰۰۹).

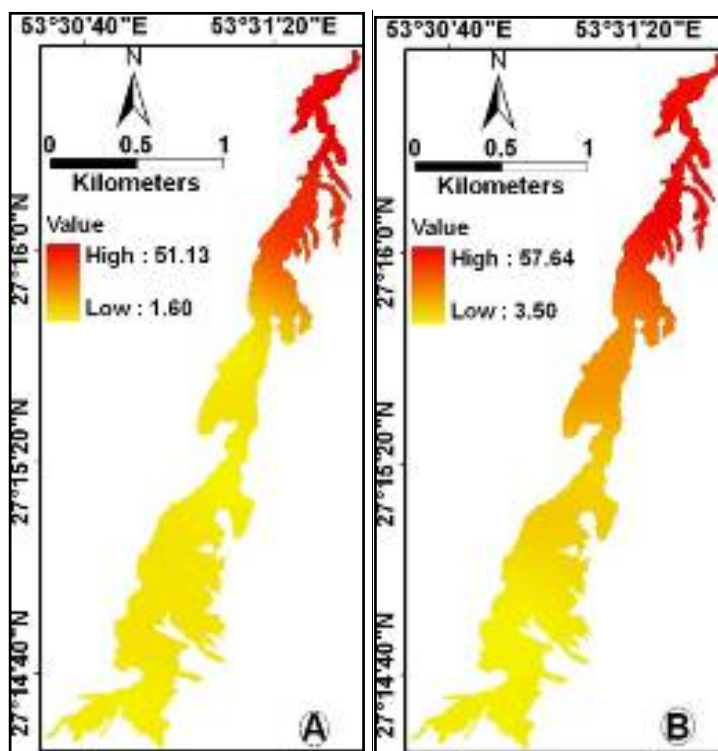


شکل ۱۱. مقدار SAR خاک در مقطع پیشانی خندق‌های نمونه



شکل ۱۲. مقدار SAR خاک در مقطع ۵۰ درصد خندق‌های نمونه

مقایسه و بررسی روند تغییرات SAR رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده یک رابطه کاملاً معکوس است به این معنا که با افزایش مقدار SAR در رسوبات یا به‌گفته دیگر افزایش مقدار یون سدیم در خاک، گسترش خندق‌ها کمتر شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. روند تغییرات SAR رسوبات در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

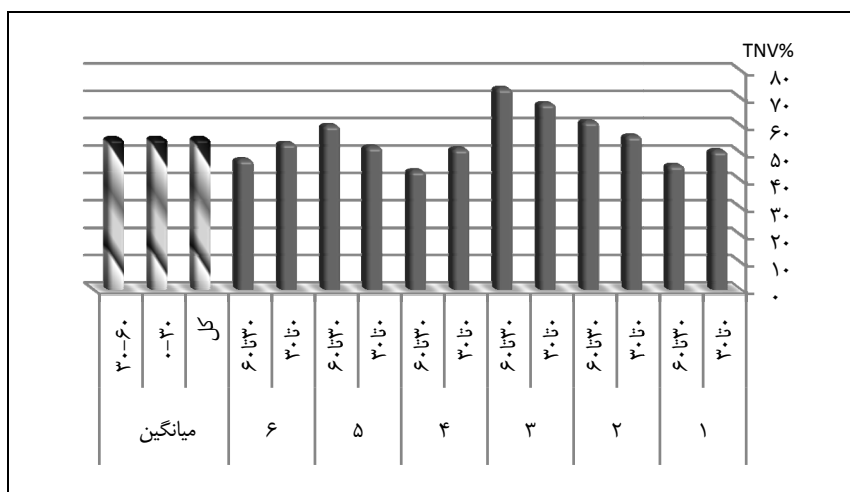
### مقدار مواد خنثی‌شونده کل خاک یا آهک کل (TNV)<sup>۱</sup>

مواد آهکی خاک‌های مختلف کشاورزی ارزش‌های گوناگون دارند. مقدار مواد آهکی کشاورزی به منشأ زمین‌شناسی مواد آهکی بستگی دارد و اینکه چه میزان کربنات کلسیم و کربنات منیزیم در یک تن خاک آهکی وجود دارد و فرایند تشکیل کربنات کلسیم چگونه است. مقدار این دو کربنات، مقدار خنثی‌شده کل (TNV) را تعریف می‌کند. قسمت اعظم خاک‌های مناطق خشک ایران، از خاک‌های آهکی و آهکی شور یا شور قلیایی تشکیل یافته‌اند. بنابراین در تجزیه‌های شیمیایی این مناطق، تعیین کربنات کلسیم اهمیت زیادی دارد. منابع آهک در طبیعت شامل، کربنات کلسیم و کربنات کلسیم - منیزیم است (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲: ۱۴۰).

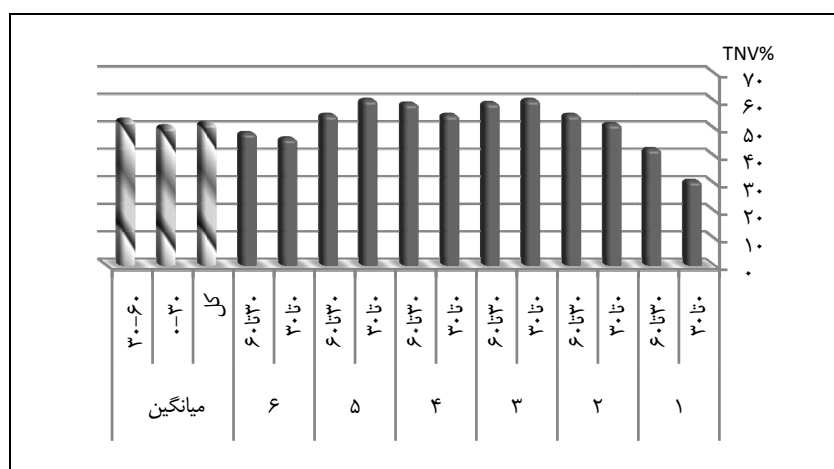
در نتایج حاصل از آزمایش‌های TNV در کل محدوده مورد مطالعه، تغییرات جزئی دیده می‌شود؛ غیر از یک نمونه رسوب که آهک کل آن ۳۰ درصد اندازه‌گیری شده در تمام نمونه‌های دیگر بالای ۴۰ درصد را نشان می‌دهد (شکل ۱۴ و

1. Total Neutralizing Value

(۱۵) و با توجه به اینکه میانگین آهک کل در هر دو مقطع حدود ۵۰ درصد است، این میزان در فرسایش انحلالی بسیار تأثیر می‌گذارد.

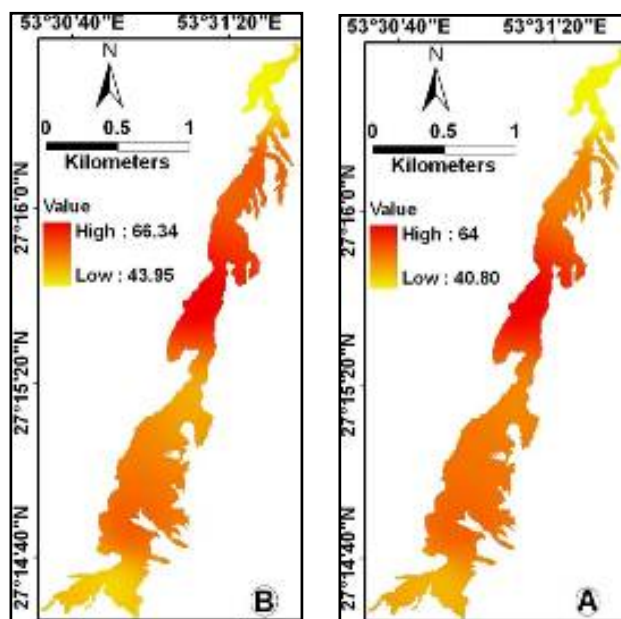


شکل ۱۴. مقدار آهک کل خاک در مقطع پیشانی خندق‌های نمونه



شکل ۱۵. مقدار آهک کل خاک در مقطع ۵۰ درصد خندق‌های نمونه

مقایسه و بررسی روند تغییرات TNV رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه، رابطه نسبتاً مستقیمی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۶ مشخص می‌شود تمرکز آهک کل محدوده مطالعاتی در بخش مرکزی است. با وجود این ملاحظه می‌شود که در این بخش نسبت به بالادست محدوده مورد پژوهش فرسایش کمتری رخ داده است. گستره آبخیز بالای خندق در بخش مرکزی نسبت به بالادست محدوده مورد مطالعه، وسعت کمتری دارد و همچنین بافت رسوبات در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه نسبت به بالادست محدوده مورد مطالعه سنگین‌تر است. به نظر می‌رسد این دو عامل از افزایش فرسایش در این منطقه جلوگیری کرده‌اند.



شکل ۱۶. روند تغییرات TNV رسوبات در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

### خاک (pH)

تقسیم بندی خاک‌ها از نظر pH، برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل ایران به‌صورت زیر است:

اسیدی قوی: pH= ۴-۵/۵

اسیدی ضعیف: pH= ۵/۵-۶/۹

خنثی: pH= ۷

خاک‌های قلیایی ضعیف: pH= ۷-۸/۳

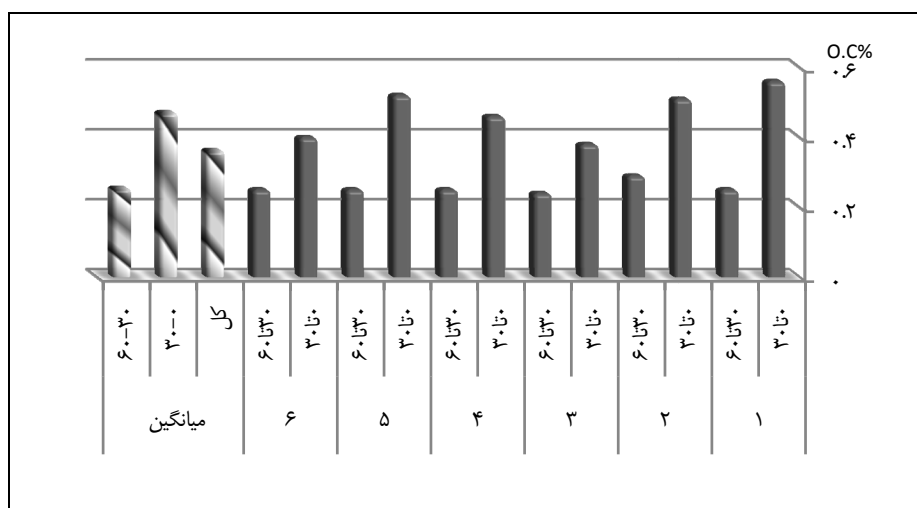
خاک‌های قلیایی قوی (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲: ۱۲۰).

در نتایج حاصل از آزمایش‌های pH در کل محدوده مطالعاتی تغییرات جزئی دیده می‌شود. روند تغییرات pH بین ۷/۶-۸/۵ است که نشان می‌دهد به‌طور عمده خاک این محدوده در گروه خاک‌های قلیایی قرار دارد. در صورت قلیایی بودن خاک، به‌دلیل پدیده پراکندگی خاکدانه‌ها، ذرات خاک همراه با آب باران و رواناب ناشی از آن قابل حمل خواهد شد.

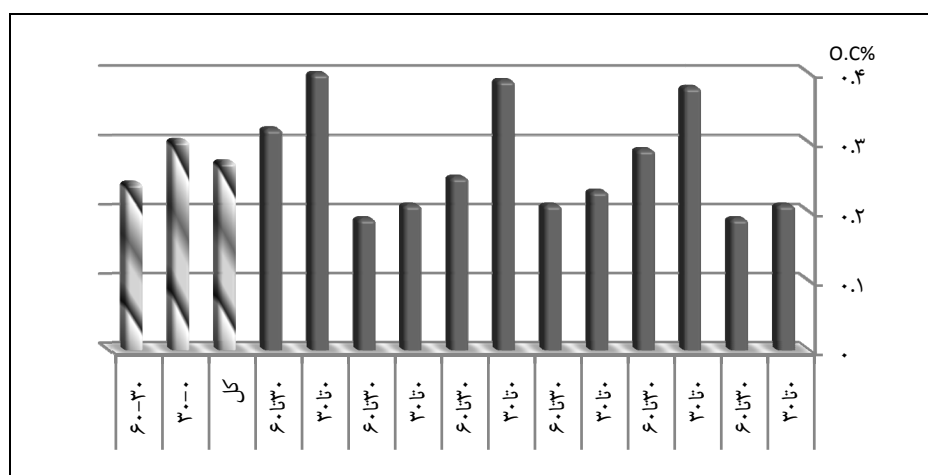
### مواد آلی خاک (O.C)

نابودی پوشش گیاهی، چه به‌صورت چرای دام و چه به‌صورت برداشت محصول، باعث کاهش سریع مواد آلی شده که خراب‌شدن خاک و خطر کویری شدن را در پی خواهد داشت. مواد آلی و هوموس، سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شوند؛ به‌طوری که در تشکیل ساختمان خاک مؤثر بوده، نفوذپذیری خاک را مناسب و تهویه آنها را متعادل کرده و از فرسایش ذرات خاک جلوگیری می‌کند (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲: ۱۳۲). مقدار مواد آلی در نمونه‌های برداشت‌شده از محدوده مورد مطالعه، در حد بسیار کم و تغییرات آن ناچیز بوده است. مقدار مواد آلی خاک در هر دو مقطع میزان بسیار پایینی را نشان می‌دهد. در تمام خندق‌ها و در هر دو مقطع، نسبت آن از عمق ۰-۳۰ به ۳۰-۶۰ روند کاهشی دارد

(شکل ۱۷ و ۱۸) که این میزان از ۰/۵۶ - ۰/۱۹ متغیر است. این کاهش از تمرکز مواد آلی در سطح ناشی می‌شود. در خاک‌های دارای ۱/۵ درصد ماده آلی، مقدار نفوذپذیری خاک و درجه پایداری خاکدانه‌ها، حداکثر است (صوفی و چرخابی، ۱۳۸۳: ۶).



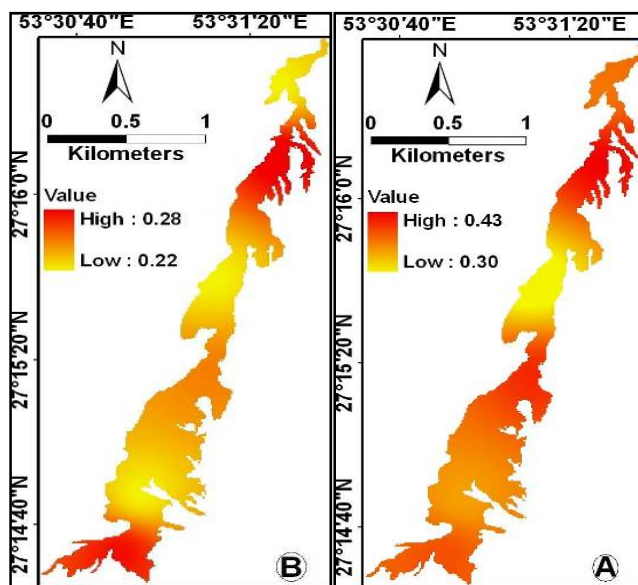
شکل ۱۷. مقدار مواد آلی خاک در مقطع پیشانی خندق‌های نمونه



شکل ۱۸. مقدار مواد آلی خاک در مقطع ۵۰ درصد خندق‌های نمونه

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد فرسایش‌پذیری خاک با مقدار ماده آلی، همبستگی معناداری (لیت هولدر، بلیر و پرکی: ۲۰۰۶). مقایسه و بررسی روند تغییرات O.C رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده عدم رابطه بین دو متغیر مقدار مواد آلی و گسترش خندق‌ها در این محدوده است. با توجه به شکل ۱۹ و فرض اینکه میزان تأثیرگذاری هریک از فاکتورهای اندازه‌گیری شده در محدوده مورد مطالعه به‌طور یکسان عمل می‌کنند، این مقدار بسیار کم مواد آلی با تغییرات جزئی، به‌تنهایی نمی‌تواند در محدوده مورد مطالعه بر گسترش و پراکندگی خندق‌ها تأثیرگذار باشد.

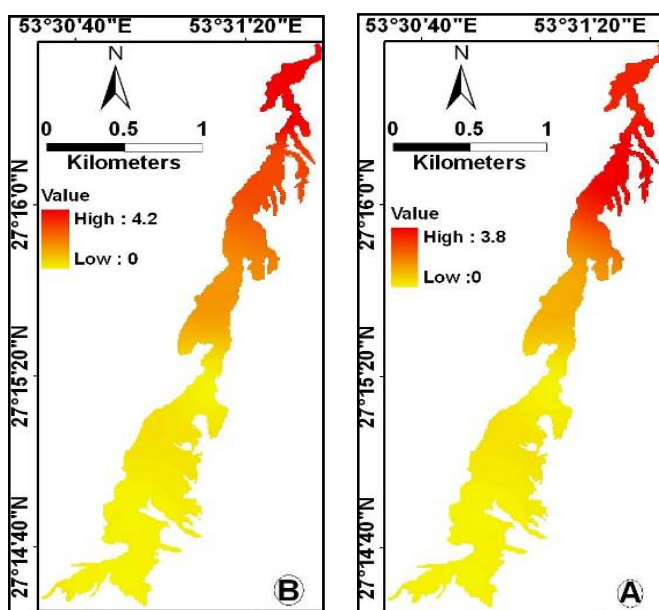




شکل ۱۹. روند تغییرات O.C رسوبات در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

### مقدار گچ

مقدار گچ در نمونه‌های برداشتی محدوده مورد مطالعه در حد بسیار پایینی قرار دارد. مقایسه و بررسی روند تغییرات مقدار گچ رسوبات در لایه‌های سطحی و عمقی با گسترش خندق‌ها در این محدوده، نشان از یک رابطه کاملاً معکوس دارد؛ به این معنا که با کاهش مقدار گچ در رسوبات، گسترش خندق‌ها بیشتر شده است (شکل ۲۰). یافته‌های مطالعه ویلیامز (۱۹۸۱) نشان داده است که گچ تأثیر مثبتی در از بین بردن اثر سدیم خاک دارد. با افزایش مقدار گچ، دو عامل تخریب شیمیایی و فیزیکی از طریق افزایش مقاومت خاکدانه‌ها و عدم پخشندگی، کاهش می‌یابد.



شکل ۲۰. روند تغییرات مقدار گچ رسوبات در لایه‌های سطحی (A) و عمقی (B) با گسترش خندق‌ها

به نظر می‌رسد با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، حوضه واقع در پیشانی هر یک از خندق‌های پایین‌دست (خندق‌های ۱ تا ۳) نسبت به خندق‌های ۴ تا ۶ کوچکتر است، این خصوصیت باعث شده که رواناب تولیدی کمتر و در پی آن شست‌وشوی خاک نیز کمتر باشد و به املاح سدیم تا عمق کمتری در خاک نفوذ کند. همچنین در فصل گرما نیز با توجه به اینکه میزان تبخیر در منطقه بسیار بالاست، این املاح سریع‌تر در سطح زمین ظاهر شوند. به نظر می‌رسد همین امر نیز باعث شده سطح زمین در این محدوده فاقد هرگونه پوشش گیاهی باشد. این روند به سمت خندق شماره ۶ با گسترده‌شدن حوضه خندق‌ها تغییر کرده و به دنبال آن، رواناب تولیدی افزایش یافته و تنش برشی جریان بالا رفته است که این امر باعث شست‌وشوی بهتر خاک می‌شود و با توجه به سبک‌تر بودن بافت، موجب گسترش خندق‌ها در این محدوده خواهد شد. از یک سو به دلیل تأثیر غیر مستقیم املاح سدیم و از سوی دیگر، به دلیل عدم عملیات کشاورزی درازمدت در منطقه و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی موجود در اثر فرسایش و خشکسالی، میزان ماده آلی در کل محدوده مورد مطالعه پایین است. جدول ۴ میزان حساسیت رسوبات در کل محدوده مورد مطالعه را نسبت به متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.

جدول ۴. میزان حساسیت رسوبات در کل محدوده مورد مطالعه نسبت به متغیرهای اندازه‌گیری شده

میزان حساسیت رسوبات در مناطق کمتر فرسایش یافته	میزان حساسیت رسوبات در مناطق بیشتر فرسایش یافته	
کم	زیاد	بافت خاک
خیلی زیاد	کم	هدایت الکتریکی
خیلی زیاد	کم	نسبت جذب سدیم
زیاد	زیاد	آهک کل
زیاد	زیاد	مواد آلی
زیاد	زیاد	pH
در حد کم	زیاد	گچ

با توجه به نوع رسوبات منطقه که دارای بافت لومی بوده و از املاح محلول زیاد و مواد آلی کم تشکیل شده است، نسبت به فرسایش حساسیت زیادی دارد و چون در منطقه دشتی با شیب ملایم رواناب حاصل از بارندگی واقع شده است، فرصت نفوذ به داخل خاک و انحلال کانی‌های دارای سدیم، گچ و آهک را دارد. از آنجاکه شدت بارندگی در این منطقه زیاد است و در مدت زمان کوتاهی حجم زیادی از رواناب وارد آن می‌شود و نیز، به دلیل عمق زیاد خاک و همگن بودن آن از لحاظ میزان املاح (به‌ویژه سدیم) به‌خصوص در محدوده پایین‌دست (خندق‌های ۱ تا ۳) و با توجه به مشاهدات میدانی، می‌توان گفت در این محدوده خندق‌های عمیق در اثر پدیده تونلی شدن به‌وجود آمده‌اند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱. پدیده تونلی شدن در اثر افزایش میزان املاح (به‌ویژه سدیم) در خاک (محدوده خندق‌های شماره ۱ تا ۳)

### عوامل مؤثر در تولید رسوب خندق‌های دشت کهور

برای تعیین مؤثرترین عوامل تولید رسوب، میزان حجم گسترش خندق به‌منزله رسوب تولیدی و متغیر وابسته ( $Y$ ) و عواملی چون، گستره آبخیز ( $X_1$ )، درصد رس ( $X_2$ )، درصد سیلت ( $X_3$ )، درصد شن ( $X_4$ )، درصد گچ ( $X_5$ )، pH ( $X_6$ )، درصد آهک کل ( $X_7$ )، درصد موادآلی ( $X_8$ )، EC ( $X_9$ ) و SAR ( $X_{10}$ ) به‌عنوان متغیرهای مستقل ( $X_1$  تا  $X_{10}$ )، در نرم‌افزار SPSS با بهره‌گیری از روش Step Wise مورد بررسی قرار گرفتند. جدول ۵ دامنه تغییرات متغیرهای مستقل به‌کار رفته در معادله رگرسیونی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی در منطقه دشت کهور

متغیرها	کمینه	بیشینه	خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین
میزان رسوب تولیدی ( $m^3$ )	۴۳۷/۹۲	۲۰۶۱/۶۲	۲۲۶/۷۰	۵۵۵/۳۰	۱۲۴۴/۲
گستره آبخیز ( $m^2$ )	۷۸۸۰/۰۴	۱۶۰۰۶/۰۵	۲۶۶۶۶	۶۵۳۱۹	۹۳۲۸۳
درصد رس	۱۳	۵۶	۲/۱۰	۱/۰۲	۲۹/۲۵
درصد سیلت	۲۶	۵۸	۱/۶۵	۸/۱۱	۴۳/۸۴
درصد شن	۳	۵۳	۲/۹۲	۱/۴۳	۲۶/۹۱
درصد گچ	۰	۵/۶	۰/۴۰	۱/۹۸	۱/۲۶
pH	۷/۶	۸/۵	۰/۰۴	۰/۲۰	۸/۰۳
TNV %	۳۰/۸	۷۳/۶	۱/۸۱	۸/۸۹	۵۳/۵۷
O.C %	۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۳۱
EC (ds/m)	۰/۵۶	۸۰/۵	۴/۸۳	۲/۳۶	۱۴/۰۹
SAR (mmol/lit)	۰/۹	۱۱۳	۷/۴۰	۳/۶۲	۲۰/۷۲

تحلیل همبستگی رسوب تولیدی در خندق‌های دشت کهور با متغیرهای مستقل، نشان می‌دهد که رسوب تولیدی در خندق‌های منطقه با چهار عامل گستره آبخیز (در سطح ۱ درصد) و مقادیر گچ، EC و SAR (در سطح ۵ درصد)

دارای همبستگی معنادار است (جدول ۶). همبستگی رسوب تولیدی با گستره آبخیز مثبت و با درصد گچ، EC و میزان SAR منفی است. به گفته دیگر، این مطلب گویای این است که با افزایش گستره آبخیز در بالای پیشانی خندق‌ها، رواناب بیشتری تولید می‌شود و می‌تواند در گسترش خندق‌ها تأثیر بیشتری داشته باشد، ولی با افزایش اعداد مربوط به درصد گچ، EC و میزان SAR، از گسترش خندق‌ها کاسته می‌شود که این نیز خود تحت تأثیر غیر مستقیم گستره آبخیز قرار دارد.

جدول ۶. میزان ضریب همبستگی رسوب تولیدی با متغیرهای مورد بررسی در منطقه دشت کهور

SAR ( $\frac{\text{mmol}}{\text{lit}}$ )	EC (ds/m)	O.C %	TNV %	pH	درصد گچ	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	گستره آبخیز ( $\text{m}^2$ )	ضریب همبستگی $r$
-۰/۸۹۲*	-۰/۸۱۷*	۰/۱۱۰	۰/۲۱۳	۰/۲۵۰	-۰/۸۹۰*	۰/۰۶۸	۰/۱۶۵	-۰/۳۲۶	۰/۹۳۴**	متغیرها

\* معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

\*\* معنی‌دار بودن در سطح ۱٪

معادله تولید رسوب در خندق‌های منطقه دشت کهور نشان می‌دهد که رسوب تولیدی تابع سه متغیر گستره آبخیز ( $X_1$ )، درصد سیلت ( $X_3$ ) و درصد شن ( $X_4$ ) است. بیشترین تأثیر سه عامل یاد شده مربوط به گستره آبخیز با  $B_1 = ۰/۹۲$  و کمترین آن مربوط به درصد شن با  $B_3 = ۰/۱۹$  است. این سه عامل با ضریب تبیین اصلاح شده ۹۲ درصد در سطح ۱ درصد، تأثیر معناداری بر تولید رسوب خندق‌های منطقه دشت کهور دارند (جدول ۷).

جدول ۷. معادله نهایی روش رگرسیون گام‌به‌گام و ضریب‌های آن در منطقه دشت کهور

معادله	ضرایب استاندارد			ضریب تبیین اصلاح شده	سطح معنی‌داری $R^2$
	$B_1$	$B_2$	$B_3$		
$Y = -۰.۲/۱ + ۰/۴۸۶X_1 + ۹/۵۳۳X_3 + ۴/۴۷۸X_4$	۰/۹۲	۰/۲۳	۰/۱۹	٪۹۲	٪۱

با توجه به ضریب‌های استاندارد و معادله خطی بالا مشخص می‌شود، به ازای هر واحد  $X_1$  (گستره آبخیز) میزان  $X_3$  (درصد سیلت) میزان  $۰/۲۳$  و هر واحد  $X_4$  (درصد شن) میزان  $۰/۱۹$ ، به میزان  $Y$  (رسوب تولیدی) اضافه می‌شود. در نتیجه در منطقه دشت کهور عوامل گستره آبخیز، درصد سیلت و درصد شن، به ترتیب جزء مهم‌ترین مشخصه‌ها در گسترش فرسایش خندقی و تولید رسوب شناخته شدند. به بیان دیگر، ویژگی‌های آبخیز (گستره آبخیز) و زمین‌شناسی (سیلت و شن) از عوامل مؤثر در گسترش خندق‌های دشت کهور هستند.

## بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج آزمایش‌های رسوبات و پهنه‌بندی هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده، نشان داد که با وجود بالا بودن میزان هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و تا حد کمی میزان گچ در رسوبات پایین دست محدوده مورد مطالعه، اراضی کمتری در این محدوده تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته‌اند. به بیانی دیگر، یک رابطه کاملاً معکوس بین مقدار متغیرهای «هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و گچ» با میزان گسترش خندق‌های این محدوده دیده می‌شود. از بین

پارامترهای اندازه‌گیری شده، تنها بین متغیر بافت رسوبات با گسترش خندق‌های محدوده مورد مطالعه یک رابطه کاملاً مستقیم دیده می‌شود. میزان حساسیت رسوبات به فرسایش خندقی با توجه به مقادیر TNV، OM و pH در کل محدوده مورد مطالعه، میزان بالایی را نشان می‌دهد. تحلیل آماری داده‌های موجود نشان داد که مهم‌ترین عوامل در تولید رسوب و گسترش خندق‌ها، ویژگی‌های آبخیز واقع در بالادست پیشانی خندق (مانند گستره آبخیز) و ریزدانه بودن ذرات تشکیل‌دهنده سازند زمین‌شناسی (مانند سیلت و ماسه) هستند و این عوامل، بستر بسیار مناسبی برای پیشروی طولی خندق‌ها ایجاد کرده‌اند. به دلیل سدیم زیاد در محدوده پایین‌دست، در صورت افزایش ماده آلی در این محدوده، امکان اصلاح خاک وجود ندارد، بنابراین لازم است ابتدا اصلاح شیمیایی و جایگزینی کاتیون‌های دوظرفیتی، مانند کلسیم با سدیم صورت گیرد و سپس در مورد پوشش گیاهی این محدوده اقدام کرد. همچنین با اجرای برنامه‌های مدیریتی، شامل تعادل دام در مرتع به‌همراه مدیریت پوشش گیاهی، کاشت گیاهان مقاوم در برابر خشکی و شوری و سازگار با شرایط محیطی (مانند آتریپلکس و سمر یا کهور پاکستانی)، می‌توان از گسترش فرسایش خندقی در منطقه جلوگیری کرد. با توجه به تولید زیاد رواناب سطحی در بالادست خندق‌ها، می‌توان با احداث بندهای خاکی در انتهای خندق‌ها، رواناب سطحی را جمع‌آوری و در استقرار پوشش گیاهی در پیرامون خندق‌ها تلاش کرد.

## منابع

- جعفری اردکانی، ع.؛ پرتویی، ا.؛ پیروان، ح. و قدوسی، ج. (۱۳۷۶). تأثیر گچ در شیب‌های مختلف بر روی آبدوی و فرسایش خاک‌های ناپایدار. تهران: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- جعفری حقیقی، م. (۱۳۸۲). روش‌های تجزیه خاک. تهران: انتشارات ندای ضحی.
- راهی، غ. (۱۳۷۷). بررسی مکانیسم و علل فرسایش خندقی در بندر گناوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
- زارع مهرجردی، م.؛ صوفی، م.؛ چوپانی، س. و برخوردار، ج. (۱۳۸۴). بررسی رابطه ویژگی‌های مورفولوژیکی آبکند با خصوصیات خاک در منطقه کندوران هرمزگان. مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب. تهران: ۶ تا ۹ شهریور ۱۳۸۴.
- شهریور، ع. (۱۳۷۸). بررسی علل فرسایش خندقی در منطقه سوق. پژوهش و سازندگی، شماره ۴۱، صص ۴۰-۴۲.
- صوفی، م. (۱۳۸۲). بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان فارس. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ثبت ۱۱۵۳/۱۳۳.
- صوفی، م. و چرخابی، ا. (۱۳۸۳). فرایند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و علامرودشت. تهران: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- طباطبایی، س. م. ر. (۱۳۷۹). بررسی تغییرات فرسایش خندقی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب. تهران: ۶ تا ۹ شهریور ۱۳۸۴.
- طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس. توسط وزارت مسکن و شهرسازی (مرداد ۱۳۸۶). ص ۹۸.
- قرلی، ح.؛ فتاحی، م.؛ صوفی، م. (۱۳۸۴). بررسی خصوصیات اقلیمی و مورفولوژیکی آبکندها (مطالعه موردی: استان قم). مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب. تهران: ۶ تا ۹ شهریور.

- Abu-Sharar, T.M., Bingham, F.T. and Rhoades, J.D., 1987, **Stability of Soil Aggregate as Affected by Electrolyte Concentration and Composition**, Soil Sci. Soc. Am. J., 51, PP. 309-314.
- Ahmadi, H., 2006, **Applied Geomorphology (Water Erosion)**, Vol. 1, Tehran University Press.
- Evens, M. & Lindsay, J., 2010, **High Resolution Quantification of Gully Erosion in Upland Peatlands at the Landscape Scale**, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 35, No. 8, PP. 876-886.
- Ghoddousi, J., 2003, **Gully Erosion Morphology Modeling and Hazard Zonation (Studied Area: Zanjanrood Drainage Basin)**, ph.D Thesis, University of Tehran.
- Greenland, D.J., Rimmer, D., and Payne, D., 1975, **Determination of the Structural Stability Class of English & Welsh Soils, Using a Water Coherence Test**, Journal of Soil Science, Vol. 26, No. 3, PP. 294-303.
- Jha, V. C. & Kapat, S., 2009, **Rill and Gully Erosion Risk of Lateritic Terrain in South-Western Birbhum District, West Bengal, India**, Sociedade & Natureza (Online), Vol. 21, No. 2, PP. 141-158.
- Kemper, W.D. and Koch, E.J., 1966, **Aggregate Stability of Soils from Western United States and Canada, in: Measurement Procedure, Correlations with Soil Constituents**, Agricultural Research Service, Washington.
- Kandiah, A., 1976, **Influence of Organic Matter on the Erodibility of a Saturated Illitic Soil**, Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, Vol. 41, No.1, PP. 397-406.
- Leithold, E.L., Blair, N.E. & Perkey, D.W., 2006, **Geomorphologic Controls on the Age of Particulate Organic Carbon from Small Mountainous and Upland Rivers**, Global Biogeochemical Cycles, Vol. 20, No. 3, GB3022.
- Lesschen, J. P., Kok, K., Verburg, P. H. & Cammeraat, L. H., 2007, **Identification of Vulnerable Areas for Gully Erosion under Different Scenarios of Land Abandonment in Southeast Spain**, Catena, Vol.71, No. 1, PP. 110-121.
- Mbagwu, J.S.C., 1989, **Specific Dispersion Energy of Soil Aggregates in Relation to Field and Laboratory Measured Stability Indices and Physical Properties**, East African Agricultural and Forestry Journal. Vol. 54, No. 4, PP. 173-183.
- Morgan, R.P.C., 2005, **Soil Erosion and Conservation**, Blackwell Publishing.
- Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Guy, B., Ghoddousi, J., Malekian, A., 2009, **Geomorphic Threshold Conditions for Gully Erosion in Southwest Iran (Boushehr-Smal Watershed)**, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 35, PP. 180-189.
- Richter, G., Negendank, J., 1977, **Soil Erosion Processes and their Measurement in the German Area of the Moselle River**, Earth Surface Processes, Vol.2, No. 2-3, PP.78-261.
- Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K., 2000, **Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy**, Soil Science Society of America Journal, Vol. 64, No. 3, PP. 1042-1049.
- Topp, G.C., Reynolds, W.D., and Carter, M.R, 1997, **Physical Attributes of Soil Quality**, in: Gregorich, E.G. and M.R. Carter, (eds), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, PP. 81-114, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- William, B.O., 1981, **Practical Experience in Combating Desertification, Process, Problems and Prospects of Desertification Control in the Escap Region, Bangkok, Thailand**, P.39-48.