

## مدل سازی عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق های مارنی و تعیین سهم تولید رسوب حاصل از آنها (مطالعه موردی: حوزه درب خزینه، خوزستان)

- ❖ سجاد نیسی\*؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
- ❖ بیژن خلیلی مقدم؛ دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
- ❖ امین ذرتی پور؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

### چکیده

فرسایش خندقی از اشکال تشدیدشونده تخریب خاک در اراضی مرتعی و کشاورزی است که وجود آن هشدار جدی در تخریب سرزمین و نشانه‌ای از فرسایش پیش‌رونده است. پایش گسترش طولی خندق به منظور تعیین عوامل مؤثر بر آن برای برنامه‌ریزی کارایی حفاظت آب و خاک ضروری است. این مطالعه با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۳ و ۱۳۷۴ و پیمایش صحرایی سال ۱۳۹۳ به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به بررسی رشد طولی ۳۰ خندق و تعیین عوامل اصلی ایجاد آن و نیز تعیین سهم تولید رسوب (بارمعلق و بستر) حاصل از پیش‌روی خندق‌ها در حوزه درب خزینه خوزستان می‌پردازد. نتایج نشان داد که در دو دوره زمانی مذکور میزان متوسط رشد طولی خندق‌ها به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۶۵ متر در سال بوده که با مقایسه دو دوره زمانی سال ۱۳۴۳-۱۳۷۴ با ۱۳۷۴-۱۳۹۳، میزان رشد طولی خندق‌ها به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۶۵ متر در سال برآورد گردید که به‌طور متوسط دوره دوم نسبت به دوره اول، ۷۷ درصد رشد نشان داده است. همچنین مدل رگرسیونی نهایی گسترش طولی خندق با ۹ فاکتور اصلی و ضریب همبستگی ۰/۹۵ بسط داده شد؛ به طوری که مدل نشان داد از بین فاکتورهای اصلی، فاکتور سدیم محلول، هدایت الکتریکی و مقدار مواد آلی با ضریب تبیین ۰/۸۳ و بیشترین تأثیر را در توسعه خندق دارند. همچنین بیش از دو سوم رسوب خروجی خندق‌های منطقه به صورت بار معلق و یک سوم آن به صورت بار کف (ذرات بزرگتر از ۶۳ میکرون به‌عنوان بار کف) خارج می‌شوند. این موضوع در انتخاب نوع برنامه‌های پیشگیری و اصول حفاظتی خاک در منطقه اهمیت فراوانی دارد.

**کلید واژگان:** مدل سازی ادافیکی، خندق، بیلان رسوب، فتوگرامتری، درب خزینه.

## ۱. مقدمه

به طور کلی فرسایش خاک تشدیدشونده ناشی از بارش و رواناب مرتبط با آن یک فرایند بسیار پیچیده است که تاریخ آن به سن فعالیت‌های کشاورزی می‌رسد. به طوری که عملیات نادرست کشاورزی از موارد اساسی در ایجاد فرسایش خاک تشدیدشونده به شمار می‌آید [۴]. گالی (خندق) یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش است که سهم بسیار بالایی در تغییر شکل زمین دارد. توسعه گالی‌ها باعث هدررفت خاک حاصل‌خیز و ایجاد رسوب فراوان در اراضی کشاورزی می‌شود. این فرم فرسایش در اراضی دامنه‌ای و شیب‌دار نیز دیده می‌شود که نسبت به فرسایش شیاری و بین شیاری از اهمیت بیشتری برخوردار است [۱۲]. حذف پوشش گیاهی ناشی از توسعه کشاورزی در اراضی پست، فرایند خندقی شدن را توسعه می‌دهد که در ناپایداری اکوسیستم‌های منطقه بسیار مؤثر است که از آن جمله می‌توان به نمکی شدن دریاچه‌ها و مخازن آب حوزه، افزایش سهم رسوب خندق‌ها و خروجی حوزه آبخیز اشاره کرد [۱۳]. به طور کلی مطالعه دینامیک حرکت خندق و توسعه آن در طول زمان یک ضرورت در راستای توسعه پایدار در حوزه‌های آبخیز است. استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتریک یکی از روش‌های مطالعه توسعه خندق‌هاست [۴]. از مزایای مهم تکنیک‌های فتوگرامتریک را می‌توان به انعطاف‌پذیری آن در تجدیدپذیر بودن مطالعه در محدوده خطای به‌دست آمده دانست. به طوری که محققان زیادی به پتانسیل عکس‌های هوایی در کمک به آنالیز فرسایش اراضی اذعان نمودند [۶]. در این مطالعه با تشریح عکس‌های هوایی زوجی منطقه، به منظور برآورد مقدار هدررفت خاک، از خندق‌های اولیه اقدام شد. نتایج این روش در مقایسه با روش‌های اندازه‌گیری صحرائی در کمربند فرسایش بلژیک انجام شد. نتایج مطالعه رابطه معنی‌داری با ضریب تبیین  $R^2=0/88$  بین حجم خندق‌های اولیه (مشاهداتی) و خندق‌های برآورد شده نشان داد [۷]. مطالعات مختلف، معضل خندقی شدن اراضی را به

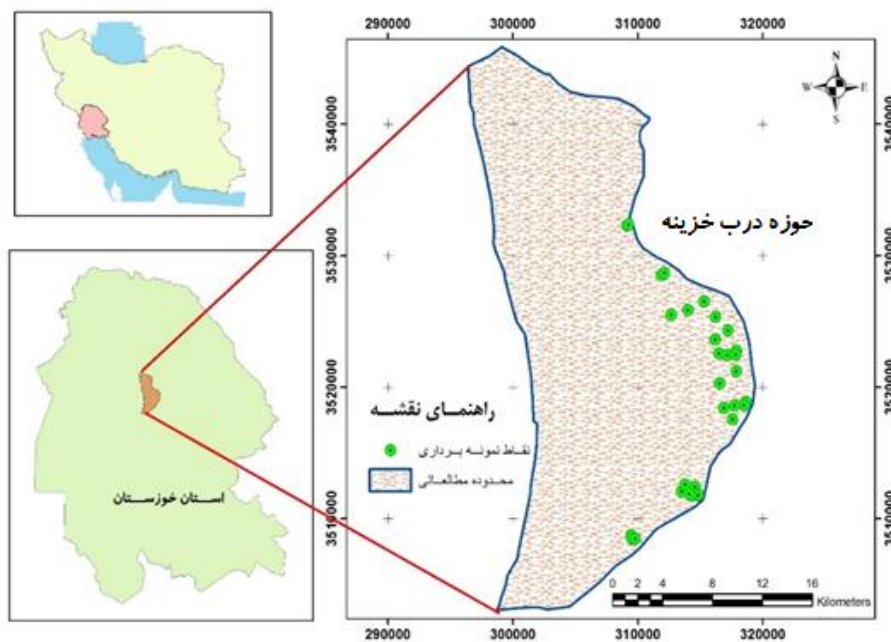
استفاده نادرست از زمین و تغییر کاربری اراضی، چرای بیش از اندازه، عدم مدیریت صحیح اراضی کشاورزی، شخم در جهت شیب، ساخت جاده و معدن‌کاری و غیره در حوزه‌های آبخیز نسبت داده‌اند. تشکیل خندق دلیلی بر افزایش حجم جریان‌های سطحی در مناطق خشک و عدم تغذیه آبخوان‌ها می‌باشد [۲]. در ادامه مطالعه‌ای به منظور بررسی پارامتر تمرکز جریان بین شیاری در جهت شیب هیدرولیک زمین و تغییرات مقاومت خاک انجام گردید، در نهایت توسعه جریان‌های بین شیاری و کاهش زبری خاک را باعث تشکیل خندق‌های اولیه بر سطح زمین دانستند [۱۱]. در مقیاس حوزه‌های آبخیز، مدل‌سازی منابع فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری حوزه نیازمند فراهم سازی بیلان رسوب حوزه، به صورت جامع و کامل است. ضمن اینکه مدل‌های فیزیکی پایه فرسایش، برای تشریح توسعه بخش‌های خندق به طور جداگانه به وجود آمده است، بنابراین چنین روش‌های کوچک‌مقیاسی نمی‌توانند در مقیاس‌های بزرگ، نظیر حوزه آبخیز (بزرگتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع) کاربرد داشته باشند. در این زمینه، روشی که مقدار بیلان آورد رسوب درازمدت فرسایش خندقی را درون زیرحوزه‌های کوچک‌تر از یک شبکه رودخانه‌ای معین می‌کند طراحی شده است. این روش در استرالیا در مطالعات بیلان رسوب بزرگ‌مقیاس مورد استفاده و کاربرد قرار گرفته است و در مدل Sed Net شرکت داده شده است. این روش مورد استفاده در فرسایش دامنه‌ای، خندقی و کنار رودخانه‌ای در مقیاس زیرحوزه با حمل رسوب‌گذاری رودخانه است. در راستای مدل‌های ارائه شده جهت رشد طولی خندق، محققان داخلی مدل‌های مختلفی را ارائه دادند. به طوری که مطالعه‌ای [۶] با تجزیه و تحلیل ۱۶ متغیر جمع‌آوری شده در مدل‌سازی طول خندق با استفاده از آنالیز عکس‌های هوایی رشد طولی خندق را به صورت یک رابطه غیر خطی و معنی‌دار با ضریب تبیین  $R^2=0/87$  اجرا گردید؛ به طوری که متوسط سالانه رشد طولی خندق را متأثر از چهار عامل سطح حوزه، درصد خاک‌های قهوه‌ای، نسبت سیلت به رس و عرض خندق

## ۲. روش‌شناسی تحقیق

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه درب خزینه یکی از زیرحوضه‌های حوزه مدرس شهرستان شوشتر در شمال استان خوزستان است. این حوزه در ۴۵ کیلومتری اهواز (شاخه شرقی رودخانه کارون تا محل بندقیقیر (رودخانه گرگر)) استقرار یافته است. قسمت اعظم این حوزه در شهرستان شوشتر و قسمت‌هایی از آن در محدوده جغرافیایی شهرستان‌های مسجدسلیمان و رامهرمز قرار گرفته است. طول و عرض جغرافیایی حوزه  $48^{\circ} 45' 58''$  و  $31^{\circ} 37' 42''$  طول شرقی و  $32^{\circ} 6' 6''$  عرض شمالی می‌باشد. مساحت آن ۶۶۶۸۵ هکتار است. میزان بارندگی به طور متوسط ۲۸۷ میلی‌متر بوده و میزان تبخیر در منطقه ۲۳۱۹/۹ اندازه‌گیری شده است. حداقل و حداکثر مطلق درجه حرارت در این حوزه ۱- و  $52/4$  درجه سانتی‌گراد، میانگین درجه حرارت منطقه  $25/9$  درجه سانتی‌گراد و مقدار رطوبت متوسط منطقه ۴۸ درصد است. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن و آمبرژه به ترتیب خشک و بیابانی گرم میانی می‌باشد.

به متر دانست. همچنین مطالعه‌ای [۱۲] با هدف بررسی ۲۵ خندق حوزه آبخیز دره کره برازجان بوشهر و آنالیز عکس‌های هوایی منطقه مطالعاتی به صورت صحرایی و با استفاده از پایگاه Google Earth و با استفاده از رگرسیون چندمتغیره آماری انجام شد، در نهایت مدل غیرخطی رشد طولی خندق را با ضریب تبیین ۰/۸۵ تبیین نمود و گسترش طولی خندق را به پنج عامل نسبت جذب سدیم، مساحت کل حوزه، مساحت حوزه بالادست خندق، فاصله رأس خندق تا مرز حوزه و ارتفاع بالاکنند خندق نسبت داد. ایشان در مطالعه خود با تأکید استفاده از عکس‌های هوایی به تعیین خصوصیات ژئومورفولوژیکی و ژئولوژیکی خندق‌ها پرداخت؛ و با پیمایش صحرایی به تأیید و برابری داده‌های ژئومتریک استخراج شده از عکس‌های هوایی با داده‌های صحرایی اذعان نمود. مهم‌ترین هدف مطالعه حاضر تعیین مهم‌ترین فاکتورهای فیزیکی- شیمیایی و مورفولوژی خاک بر توسعه طولی خندق‌های مارنی و نیز تفکیک سهم رسوب خروجی از رخساره خندقی به صورت بار معلق و بار کف می‌باشد، به طوری که با نتایج مطالعه پی به موقعیت خندق‌های فعال برده و اقدامات حفاظت آب و خاک مؤثرتری اجرا گردد.

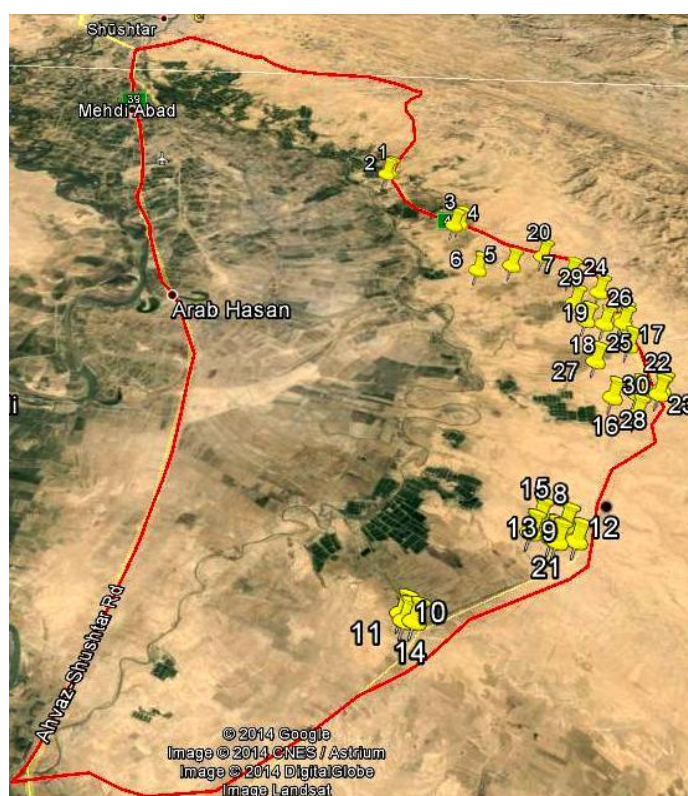


شکل ۱. موقعیت بخشی از زیرحوضه درب خزینه استان خوزستان و نقاط نمونه‌برداری خندق‌ها

## ۲.۲. روش مطالعه

به طور کلی فرایند توسعه و پیشرفت خندق‌ها توسط فاکتورهای مختلفی کنترل می‌شود که از آن جمله می‌توان به خصوصیات هیدرولیک جریان و ویژگی‌های مورفولوژیک خاک اشاره نمود. بنابراین آنالیز خصوصیات ژئومتریکی و هیدرولوژیک خندق سهم بسزایی در درک فرایند توسعه خندق دارد [۸]. بنابراین به منظور بررسی تأثیر فاکتورهای هیدرولیک و ژئومورفولوژی در توسعه

خندق و آنالیز ابعادی خندق به اندازه‌گیری خصوصیات ژئومورفولوژیکی - هیدرولیک در منطقه اقدام گردید. در این مطالعه با روش پیمایش صحرائی، خصوصیات ژئومتریکی شامل طول، عرض، عمق و شیب کف تعداد ۳۰ گالی در منطقه مطالعاتی اندازه‌گیری گردید. همچنین تعداد ۲۰ خصوصیت فیزیکی و شیمیایی، در سه عمق نمونه از هدکت<sup>۱</sup>، دیواره و کف خندق‌ها اندازه‌گیری گردید [۸].



شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در زیرحوزه درب خزینه

۵/۰ متر و تشریح آماری پیکسل‌های تصویر) انجام شد به طوری که عکس‌ها با استفاده از نقاط کنترل زمینی (GCP) به‌عنوان نقاط شاهد، زمین‌مرجع گردیدند. بنابراین نقشه پراکنش اولیه خندق‌ها از روی عکس‌های هوایی منطقه تولید و انتقال آن‌ها به محیط نرم‌افزار

نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مطالعاتی، از سازمان نقشه‌برداری با اندازه شبکه ۳۰ متر اخذ گردید. سپس به تهیه عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۴ سازمان نقشه‌برداری و ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۳ سازمان جغرافیایی ارتش اقدام شد. تفسیر چشمی عکس‌های هوایی به‌روز منطقه، با استفاده از نرم افزار SAS PLANET (تصاویری با قابلیت تفکیک مکانی

1 Head cut

2 Ground Control Point

ایشان در مطالعه خود پارامتر P را با استفاده از عملیات دانه بندی رسوب و انجام توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها، از طریق نسبت ذرات بزرگتر از ۶۳ میکرون به مجموع درصد ذرات شن و سیلت اندازه‌گیری نمود [۱۶].

### ۳. نتایج

در ابتدا بایستی اذعان نمود، تفسیر خندق‌های منطقه درب خزینه، در تولید نقشه پراکنش آن‌ها با استفاده از نرم افزار SAS Planet با داشتن دقت تفکیک مکانی (اندازه پیکسل) ۰/۵ متر انجام گرفت و نیز انتخاب خندق‌ها بر اساس قابلیت تشخیص آن‌ها در عکس‌های دو دوره زمانی ۱۳۴۳ تا ۱۳۷۴ و ۱۳۷۴ تاکنون صورت پذیرفت. نتایج بررسی خصوصیات مورفولوژی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ۳۰ خندق و در سه سطح، در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که شکل ۱، نشان می‌دهد خندق‌های مورد مطالعه جزء خندق‌های جبهه‌ای واقع در پایین‌دست اراضی کشاورزی در اطراف رودخانه گرگر توسعه یافته‌اند. شیب کف خندق‌ها به طور متوسط بین یک تا شش درصد اندازه‌گیری گردید. مطالعات سنگ‌شناسی حوزه نشان داد، سازند زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از نوع سازند کواترنری و دارای رسوبات آبی و بادی مربوط به زمان پیشروی آب دریا در دشت خوزستان است. با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی برداشت شده (جدول ۱)، متوسط طول، عرض و عمق خندق‌های منطقه دارای مقادیر متوسط به ترتیب ۳۲/۷، ۳/۲۱ و ۱/۷ متر اندازه‌گیری گردید.

با تجزیه و تحلیل اطلاعات عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۹۳ منطقه درب خزینه و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مقدار رشد طولی خندق‌ها به صورت سالانه به دست آمد. با توجه به نتایج جدول (۲)، متوسط گسترش طولی خندق در طول سال‌های ۱۳۴۳-۱۳۷۴ (طی حدود ۳۰ سال) حدود ۰/۳۷ متر در سال و سال‌های

Arc Gis انجام شد. به منظور تدقیق نقشه پراکنش خندق‌های منطقه، پیمایش میدانی از رخساره‌های خندقی شناسایی شده در منطقه انجام و به طور هم‌زمان نمونه‌برداری از آن‌ها در سه سطح سر همدکت، دیواره و کف خندق انجام گرفت. در مرحله بعد برداشت کلیه ویژگی‌های ژئومتری و هیدرولیک-توپوگرافی، کاربری اراضی، سطح مقطع، طول، عرض، عمق و شیب کف خندق اندازه‌گیری شد. در این مرحله ارزیابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت شده از رأس، کناره‌ها و کف خندق اجرا گردید. در نهایت آنالیز آماری ویژگی‌ها و تعیین فاکتورهای مؤثر بر گسترش رشد طولی خندق از طریق تحلیل همبستگی دو یا چندگانه و نیز رگرسیون چندمتغیره با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد.

در ادامه تحقیق، با توجه به مطالعه صورت گرفته [۱۴]، برآورد سهم رسوب بار کف (ذرات بزرگتر از ۶۳ میکرون به عنوان بار کف) و بار معلق (ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون به عنوان بار معلق) خندق‌های حوزه به روش بیلان رسوب خندق به اجرا درآمد. به طوری که در روش مذکور؛ GC (ton/year) مقدار سهم متوسط درازمدت رسوب فرسایش یافته از فرسایش خندقی از یک زیرحوزه با n خندق، به صورت بار بستر به صورت معادله (۱) زیر محاسبه می‌شود:

$$GC = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i L_i P)}{\tau} \quad (1)$$

به طوری که در این رابطه،  $A_i$  سطح مقطع عرضی خندق ( $m^2$ )،  $L_i$  طول خندق (m)،  $\rho$  چگالی رسوب خندق ( $t/m^3$ )، P نسبت سهم رسوب بار کف، T طول زمانی تشکیل خندق (سال) می‌باشد. با توجه به مطالعات Rustomji [۱۶]،  $L_i$  طول خندق تولید شده از عکس‌ها و تصاویر،  $\rho$  برابر ۱/۵ مترمکعب بر تن، p برابر ۰/۵، A برابر ده مترمربع و T برابر ۱۰۰-۱۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود. نکته حائز اهمیت این است که 1-p، نسبت سهم بیلان رسوب به صورت بار معلق در شبکه رودخانه است.

است)، که با نتایج مطالعات انجام شده [۱۴] همخوانی دارد. با میانگین گیری از دو دوره آماری نیز میانگین رشد طولی خندق‌ها در دو مرحله (۱۳۴۳-۱۳۷۲؛ ۱۳۷۲-۱۳۹۳)، ۰/۵ متر در سال برآورد گردید.

۱۳۷۴-۱۳۹۳ (طی حدود ۲۰ سال)، حدود ۰/۶۵ متر در سال برآورد گردید. به کلام دیگر با افزایش طول دوره زمانی، مقدار نرخ رشد طولی خندق‌ها نیز بیشتر خواهد شد (یعنی از ۰/۳۷ به ۰/۶۵ متر در سال افزایش یافته

جدول ۱. خصوصیات مورفولوژی و فیزیوگرافی خندق‌های برداشت شده

شماره خندق	عمق متوسط خندق (متر)	عرض متوسط خندق (متر)	حجم خندق (مترمکعب)	سطح مقطع عرضی متوسط (مترمربع)	طول خندق در سال ۱۳۹۳	طول خندق در سال ۱۳۷۴	طول خندق در سال ۱۳۴۳
۱	۱	۰/۵	۲/۵	۰/۵	۵	۰	۰
۲	۱	۲/۶	۱۸/۲	۲/۶	۷	۰	۰
۳	۱	۲/۹	۱۷/۴	۲/۹	۶	۰	۰
۴	۰/۵	۲/۶	۱۳	۱/۳	۱۰	۰	۰
۵	۱	۲/۵	۲۰	۲/۵	۸	۰	۰
۶	۱/۳	۲/۷	۱۷۵/۵	۳/۵۱	۵۰	۳۵	۱۵
۷	۱	۲/۴	۱۰۸	۲/۴	۴۵	۳۰	۱۰
۸	۱/۵	۵/۷	۳۴۲	۸/۵۵	۴۰	۲۵	۵
۹	۱/۸	۵/۷	۲۴۶/۳	۱۰/۲۶	۲۴	۹	۰
۱۰	۱/۳	۵/۲	۲۶۳/۷	۶/۷۶	۳۹	۲۴	۴
۱۱	۳	۴/۵	۶۷۵	۱۳/۵	۵۰	۳۵	۱۵
۱۲	۵/۷	۲/۵	۱۱۴	۱۴/۲۵	۸	۰	۰
۱۳	۱	۳/۸	۲۰۵/۲	۳/۸	۵۴	۳۹	۱۹
۱۴	۰/۵	۳/۱	۳۲/۵۵	۱/۵۵	۲۱	۶	۰
۱۵	۰/۶	۱	۱۳/۲	۰/۶	۲۲	۷	۰
۱۶	۰/۶	۱/۳	۱۹/۵	۰/۷۸	۲۵	۱۰	۰
۱۷	۱	۰/۵	۱۰	۰/۵	۲۰	۵	۰
۱۸	۲/۳	۱/۷	۵۸/۶۵	۳/۹۱	۱۵	۰	۰
۱۹	۲	۲/۳	۱۳۸	۴/۶	۳۰	۱۵	۰
۲۰	۳/۱	۳/۲	۵۹۵/۲	۹/۹۲	۶۰	۴۵	۲۵
۲۱	۱	۲/۲	۶۶	۲/۲	۳۰	۱۵	۰
۲۲	۳/۶	۵/۷	۱۰۹۸	۱۸/۳	۶۰	۴۵	۲۵
۲۳	۲/۲	۱	۱۱	۲/۲	۵	۰	۰
۲۴	۵/۸	۱۲/۵	۲۵۳۷/۵	۷۲/۵	۳۵	۲۰	۰
۲۵	۱	۱/۲	۱۸	۱/۲	۱۵	۰	۰
۲۶	۱	۳/۳	۲۸۷/۱	۳/۳	۸۷	۷۲	۵۲
۲۷	۱	۱/۷	۸۵	۱/۷	۵۰	۳۵	۱۵
۲۸	۱/۵	۵/۶	۳۱۳/۶	۸/۹۶	۳۵	۲۰	۰
۲۹	۱	۱/۲	۵/۰۴	۱/۲	۴/۲	۰	۰
۳۰	۱	۲/۹	۱۰۷/۳	۲/۹	۳۷	۲۲	۲
میانگین					۲۹/۹	۱۷/۱	۶/۲

پتاسیم، CEC، گچ، پایداری و درصد شن بقیه فاکتورها در سطح ۹۵ درصد نرمال بودند. به منظور نرمال کردن دو پارامتر مذکور از لگاریتم پایه ۱۰ استفاده شد. متوسط سطح مقطع خندق‌های نمونه‌برداری شده ۴/۸ مترمربع برآورد گردید. بیشترین و کمترین سطح مقطع خندق‌ها به ترتیب ۱۸ و ۰/۵ مترمربع اندازه‌گیری شد.

نتایج آماری حاصل از اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی خندقی در سه سطح سر هکت، دیواره و کف خندق در جدول (۲) آورده شده است. به منظور تعیین نرمال بودن داده‌ها جهت انجام آزمون‌های آماری پارامتری، از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف (K-S)، استفاده گردید. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشخص گردید کلیه فاکتورها بجز فاکتورهای

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیوگرافی و مرفولوژی خندق‌های برداشت شده به لحاظ آماری

پارامتر آماری	طول خندق	عرض خندق	عمق خندق	حجم خندق	شیب زمین
تعداد	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
Min (کمینه)	۴/۲	۰/۵	۰/۶	۵/۰۴	۱
Max (بیشینه)	۱۱۰	۱۲/۵	۵/۸	۷۹۷۵	۶
Mean (میانگین)	۳۲/۷	۳/۲۱	۱/۷	۴۴۹/۱	۳/۶
Median (میانه)	۲۷/۵	۲/۶	۱/۱۰	۹۲/۶	۴
Mode (نما)	۵۰/۰۰	۵/۷۰	۱	۵/۰۴	۴
Std. Deviation (انحراف معیار)	۲۵/۵	۲/۲	۱/۳	۱۴۳۴	۱/۳۱
Skew ness (چولگی)	۱/۱۵۹	۲/۲۷	۲/۰۸	۴/۹	۱/۷۰
Kurtosis (کشیدگی)	۱/۲۶۱	۷/۰۵۹	۳/۷	۲۴/۲	۱/۹۵۰

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی خندقی در سه سطح (سر هکت، دیواره و کف خندق) به همراه آزمون نرمال بودن داده‌ها

پتاسیم	میزرم	نسبت جذب سدیم	رطوبت تبادل کاتیونی	(میلی‌اکی والان گرم در لیتر)	نسبت (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	یون کلر	یون سولفات	کربن آلی (درصد)	سدیم تبادل	درصد عمده اشباع	آهک (درصد)	کلسیم	(میلی‌اکی والان پرلیتر)	گچ	(دسی‌ژنیمس برض)	شوری	pH خاک
۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
۰	۵	۳/۸۵	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۱۳۸۰	۱۵۹	۲۰/۹۹	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۸۳۲	۶۰/۷	۱۱/۱	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۲۶/۴	۴/۵	۳/۶	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۸۳۵	۴۹/۳۵	۱۲/۹	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۶۳۰	۲۲/۵	۱۲/۸	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۲۵۰	۴۳/۴	۳/۳	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
-۴	۱/۶	۱/۰۸	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
۱/۹۵۰	-۱/۷	۱/۲۷	۲۰/۹۹	۱۰/۸	۲۷۱	۳۰	۲۰	۸	۵	۱	۰/۶	۱۱۱۰	۱۵۷	۳۸/۴	۵	۰/۵	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۷
× آزمون همگنی کولموگراف اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن داده‌ها																				
۱/۰۰۰	۱/۴۶۲	۱/۰۰۰	۱/۲۹	۱/۵۰	۱/۱۱	۱/۱۵۰	۱/۰۱۱	۱/۰۱۱	۱/۴۷	۱/۵۱۲	۱/۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۲۲
آزمون K-S	۱/۳۵۷	۱/۲۵۷	۱/۰۲	۰/۱۴۵	۱/۰۷۳	۱/۰۸۳	۱/۸۵	۱/۱	۱/۳۲۸	۱/۰۱۹	۱/۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۹	۱/۰۲۲	۱/۰۲۲

جدول (۴)، مدل برآزش داده شده در تبیین فاکتورهای مؤثر بر گسترش طولی خندق‌ها را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. همچنین جدول (۵)، خصوصیات مدل رگرسیونی نهایی که به روش گام به گام<sup>۱</sup> تهیه شده است را نشان می‌دهد. به طوری که از بین کلیه فاکتورهای برداشت شده، فاکتورهای سدیم، هدایت الکتریکی، مقدار مواد آلی، پایداری، کلر، رطوبت اشباع، پتاسیم، کلسیم و CEC بر مقدار تغییرات گسترش طولی خندق‌ها تأثیر گذاشته و در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند. مدل

رگرسیونی حاصل توانسته با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۸ تغییرات فرایند خندقی شدن را در اراضی مارنی تبیین نماید. همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهد که از بین فاکتورهای مؤثر، فاکتور مقدار سدیم، هدایت الکتریکی و مقدار مواد آلی خاک بیشترین تأثیر را در گسترش طولی خندق‌ها داشته‌اند. به طوری که این سه فاکتور، مقدار ضریب تبیین ۰/۸۳ از مدل نهایی بسط داده شده را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۴. مدل رگرسیونی چندمتغیره آماری بین متغیر توسعه طولی خندق با فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک

مدل	ضریب همبستگی R	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تبیین استاندارد شده R <sup>2</sup>	خطای استاندارد شده	متغیرهای مستقل در مدل رشد طولی خندق
۱	۰/۹۴۳ <sub>i</sub>	۰/۸۸۹	۰/۸۷۷	۸/۹۸	<i>i. Predictors: (Constant), na, ec, om, sustain, cl, sp, k, ca, cec</i>

جدول ۵. ضرایب فاکتورهای مدل رگرسیونی نهایی در تبیین متغیر توسعه طولی خندق

	مدل رشد طولی	ضریب بتا	خطای استاندارد شده	آماره t	عامل تورم واریانس (VIF)	Sig.
۹	ضریب ثابت	۱۲۰/۰۵۱	۱۷/۸۳۰	۶/۷۳۳	-	/۰۰۰
	na	/۰۰۴	/۰۰۱	۳/۵۲۲	۲/۳۳	/۰۰۱
	Ec	/۲۲۷	/۰۵۸	۳/۹۳۰	۱/۸	/۰۰۰
	om	-۹۸/۵۶۸	۱۷/۸۹۳	-۵/۵۰۹	۲/۵۹	/۰۰۰
	پایداری خاکدانه ها	-۲۶/۹۵۹	۵/۴۶۲	-۴/۹۳۶	۱/۳۷	/۰۰۰
	cl	/۰۲۵	/۰۰۸	۳/۳۲۱	۳/۲	/۰۰۱
	عصاره اشباع	/۱۸۵	/۰۶۹	۲/۶۹۶	۱/۳۳	/۰۰۹
	k	/۰۱۰	/۰۰۴	۲/۴۷۸	۲/۵۵	/۰۱۵
	ca	-/۰۶۷	/۰۳۰	-۲/۲۳۶	۱/۲۵	/۰۲۸
cec	/۶۲۱	/۲۹۴	۲/۱۰۹	۱/۹	/۰۳۸	

*a. Dependent Variable Gully length*

رابطه نهایی:

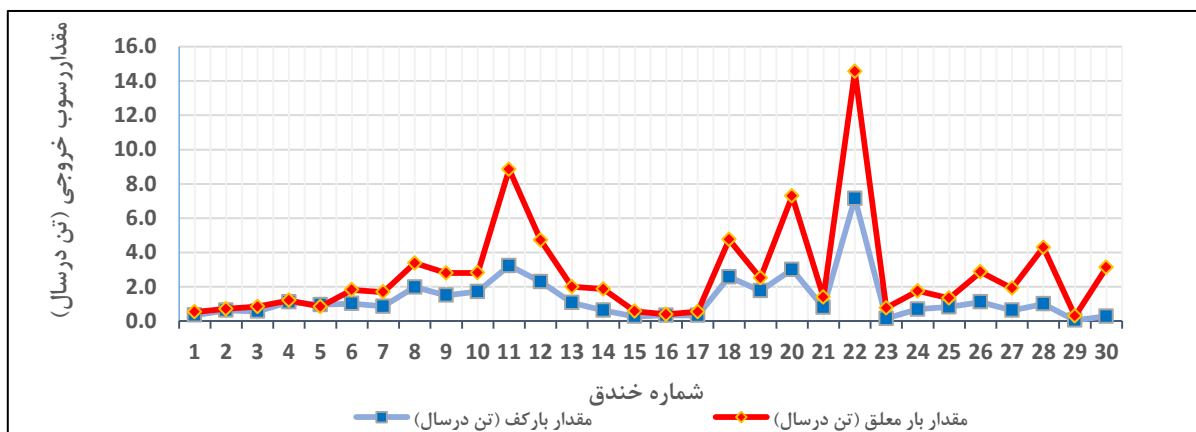
$$\text{مقدار رشد طولی خندق} = ۰/۰۰۴\text{Na} + ۰/۲۲۷\text{Ec} - ۹۸/۵\text{OM} - ۲۷\text{Sus} + ۰/۰۲۵\text{Cl} + ۰/۱۸۵\text{Sp} + ۰/۰۱\text{K} + ۰/۶۷\text{Ca} + ۰/۶۲\text{CEC} + ۱۲۰$$

<sup>1</sup> Stepwise



شده است. شکل (۳)، تغییرات نسبت سهم و نیز مقدار رسوب خروجی حوزه که ناشی از فرسایش خندقی باشد را به صورت بارکف و بار معلق در طول سال نشان می‌دهد.

همچنین در این مطالعه مقدار سهم متوسط درازمدت رسوب فرسایش‌یافته از فرسایش خندقی از یک زیرحوزه با  $n$  خندق، به صورت باربستر با استفاده از مطالعه ایشان [۱۶]، اندازه‌گیری و نتایج حاصل از آن در شکل (۳) ارائه



شکل ۳. نمودار تغییرات نسبت بار کف به بار معلق به همراه میزان رسوب بار کف و بار معلق در طول سال

می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که به‌طور متوسط حدود ۳۹۵ تن در هکتار در سال رسوب از خروجی این ۳۰ خندق خارج شده و وارد شبکه آبراهه‌ای و پایین‌دست اراضی زراعی منطقه می‌شود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

گسترش طولی خندق‌ها در اراضی کشاورزی متأثر از فاکتورهای متعدد فیزیکی، شیمیایی و اداپتیکی منطقه تغییر می‌کند. تحقیق حاضر با بررسی عکس‌های هوایی منطقه، پیمایش صحرائی و مطالعه ویژگی‌های مورفومتریکی و نیز با بهره‌گرفتن از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی خندقی پی به دلایل اصلی ایجاد رخساره خندقی و نحوه گسترش آن‌ها در طی پنجاه سال اخیر می‌پردازد. به طوری که نتایج نشان داد، در دو دوره زمانی مختلف از سال ۱۳۴۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۴-۱۳۹۲، میزان متوسط رشد طولی خندق‌ها به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۶۵ متر در سال می‌باشد که به طور متوسط ۷۷ درصد

باتوجه به نتایج به دست آمده از معادله بیلان رسوب، مشخص گردید که در کلیه خندق‌های انتخابی، عمده رسوب خروجی به صورت بار معلق می‌باشد، به طوری که نمودار شکل (۳) نشان می‌دهد، به طور میانگین ۶۸ درصد رسوب خروجی از خندق‌های مورد مطالعه به صورت بار معلق بوده و ۳۲ درصد حجم کل آن، به صورت بار کف خارج می‌شود. به طوری که از ۳۰ خندق مورد مطالعه به طور مجموع ۱۲۱/۵ تن در سال رسوب خارج و وارد شبکه آبراهه‌ای و پایین‌دست خندق‌ها می‌شود که از این مقدار ۸۲/۵ تن به صورت بار معلق و ۳۹ تن از آن به صورت بار کف می‌باشد. این موضوع با توجه به ماهیت سازند زمین‌شناسی منطقه که از سازند کواترنر و مارن ریز دانه نمکی می‌باشند، قابل انتظار است. بنابراین توسعه خندق‌ها می‌تواند حجم قابل توجهی خاک کشاورزی حاصلخیز را از دسترس خارج نماید.

همچنین مشخص گردید با توجه به سطح متوسط ۳۰ خندق مطالعاتی در منطقه درب خزینه (طول خندق ضربدر عرض متوسط خندق) که برابر ۳۰۷۴ مترمربع

دارد. مشخص گردید فاکتورهای مقدار مواد آلی، پایداری خاک و کلسیم در گسترش طولی خندق تأثیر منفی داشته که این موضوع به دلیل خاصیت فولیکوله کردن ذرات و بالا بردن پایداری خاکدانه‌ها با توجه به خاصیت تورم لایه دوگانه در کاتیون‌های دوظرفیتی (کلسیم و منیزیم) قابل قبول بوده، ولیکن بقیه موارد تأثیر مثبت در رشد طولی خندق داشته‌اند. نتایج حاصل با یافته‌های مطالعات [۲ و ۱۱]، مطابقت دارد. درنهایت با استفاده از مدل بیان رسوب خندق مشخص گردید که از مجموع ۱۲۱/۵ تن رسوب سالیانه خروجی از خندق‌های مطالعاتی، بیش از دو سوم رسوب خروجی خندق‌های منطقه مطالعاتی به صورت بار معلق و کمتر از یک سوم آن به صورت بار کف خارج می‌شود. دلیل آن را می‌توان به حساسیت خاک ریزدانه مارنی و رسوبات حاصل از تخریب گروه فارس، بالابودن درصد سیلت، شن ریز (بیش از ۴۲ درصد) و املاح آن و همچنین شدت بالای بارندگی‌های ۲۴ ساعته حوزه دانست. این موضوع در انتخاب نوع اقدامات حفاظتی خاک و اولویت‌بندی آن‌ها در منطقه مطالعاتی بسیار حایز اهمیت می‌باشد.

رشد نشان داده است، به کلام دیگر با گذشت زمان، رشد طولی خندق‌ها تشدید یافته است. این موضوع را می‌توان به حساسیت بالای خاک مارن (سازندهای گروه فارس)، اقلیم گرم و خشک و توسعه اراضی کشاورزی منطقه درب خزینه نسبت داد. نتایج حاصل با یافته‌های مطالعات [۱۲ و ۱۴]، مطابقت دارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی فاکتورهای مؤثر در رشد خندق نشان داد که فاکتورهای سدیم، هدایت الکتریکی، مقدار مواد آلی، پایداری، کلر، رطوبت اشباع، پتاسیم، کلسیم و CEC بر گسترش طولی خندق‌ها با ضریب همبستگی ۰/۹۵ مؤثر می‌باشند. به طوری که از بین آن‌ها، فاکتور سدیم، هدایت الکتریکی و مقدار مواد آلی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. لذا نقش سدیم در پراکنده کردن ذرات رس و انحلال مواد محلول خاک مارن و انتشار به جریان‌های زیرقشری در نهایت ایجاد پدیده پایپینگ و تشکیل خندق بسیار حائز اهمیت می‌باشد، به طوری که یون سدیم باعث انتشار بالای ذرات خاک به‌ویژه ذرات رس می‌گردد، و در نتیجه مقاومت خاک در مقابل پاشمان و جریانات سطحی کاهش می‌یابد، نتایج حاصل با یافته‌های [۱۰ و ۱۷] همخوانی

## References

- [1] Abedini, M. (2012). Quantitative analysis of gully erosion in the watershed Klqan Chai (East Sahand). *Geography and Urban Planning Regional*, 7, 97-110.
- [2] Ahmadi, H. (1999). *Applied Geomorphology, Vol. 1 (water erosion), and 5th Edition*. University of Tehran Press. 688 p.
- [3] Chaplot, V., G. Giboire, P. Marchand and C. Valentin. (2005). Dynamic modeling for gully initiation and development under climate and land – use changes in northern Laos. *Catena*, 63:318–328.
- [4] Daba, S., Rieger W., Strauss, P. (2003). Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques. *Catena* 50, 273– 291.
- [5] Feiznia, S. Heshmati, S.M., Ahmadi, H. and Ghodosi, J. (2007). Investigation of gully erosion in Marly AghaJari formation in Zagross (Case study: Ghasre Shirin, Kermanshah). *Pajouhesh and Sazandegi*, 74, 32-40.
- [6] Ghaffari, A.R. (1998). *Aerospace techniques applied to gully erosion studied in Shahre-kord, Iran*. M.Sc. dissertation, ITC, Enschede, The Netherlands, 113 pp.
- [7] Maghsoodi, M., Shadfar, S. and Abbasi, M. (2012). Zoning of land sensitivity to gully erosion in Zavvarian Basin, Qom Province. *Quantitative geomorphological research*, 2, 35-52.
- [8] Manley, B.F.J. (2009). *Introduction to Multivariate Methods*, translate by: Moghaddam, M. Mohammadi, S.A. and Aghae, M., Parivar Publications, 25, 45-58.

- [9] Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation, Blackwell, 316p.
- [10] Nachtergaele, J., Poesen, J., Wijdenes, O.D. and Vandekerckhove, L. (2002). Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. *Geomorphology*, 46:223–239.
- [11] Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Mohammadi A., Ghoddousi, J., Salajegheh, A. and Boggs, G. (2010). Factors controlling gully advancement and models evaluation for prediction of gully head advancement (Case study: Hableh Rood Basin, Iran). *Water Resources Management*, 24:1531-1549.
- [12] Nazari Samani, A., Avazadeh tavakoli, F., Ahmadi, H., Rahi, G. R. (2014). Determining of Effective Factors on Gully Longitudinal Advancement (Case study: Dareh Koreh Watershed). Volume 67, Issue 1, Page 117-126.
- [13] Nyssen, J., Poesen, J. Moeyersons, J. Luyten, E. Veyret-Picot, M. Deckers, J. Mitiku, H. and Govers, G. (2002). Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27:1267–1283.
- [14] Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50, 91– 133.
- [15] Poesen, J., Vandaele, K., Wesemael, V. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*. IAHS Publication, vol. 236, pp. 251–266.
- [16] Rustomji, P., 2006. Analysis of gully dimensions and sediment texture from southeast Australia for catchment sediment budgeting. *Catena* 67 (2006) 119 – 127.
- [17] Soleiman Por, S., Sofi, M. and Ahmadi, H. (2007). An investigation on effective factors on gully Erosion, soil loss and sediment yield in Goraspid region, Fars province. 5th Conference on Engineering Geology and Environment.

