

## Assessing the Effects of Rey-Sari Oil Pipeline on the Environment Using Environmental Geotechnics Parameters

Maryam Naeimi<sup>1\*</sup>, Abdolhosein Haddad<sup>2</sup>, Saber Nokandeh<sup>3</sup>, Samira Zandifar<sup>1</sup>, Ali Lashgari<sup>4</sup>

1. Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran
2. Associate Professor, Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
3. PhD Student of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
4. PhD holder in Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

(Received: Wednesday, May 13, 2020; Accepted: Tuesday, August 11, 2020)

### Abstract

Oil pollution in the pipelines transporting petroleum products is an inevitable consequence of population growth and industrialization of communities. In addition to negative environmental effects such as groundwater and soil contamination, it causes changes in the geotechnical properties of local soil. Changes in soil engineering properties can lead to soil rupture and poor performance of transmission lines. Therefore, this study intended to assess the effects of the oil pipeline in the north of Iran on the environment using environmental geotechnic parameters during operation. By analyzing the Iranian matrix, it was found that there were 5 negative effects and consequences in the row and column. The consequences in the column were related to the diversion of the river, creating dams, and spinning, while in the row, these were related to landslides and soil contamination. The results of laboratory studies to investigate the effect of soil contamination on geotechnical parameters showed that the uniaxial strength of samples is decreased by 22%. In addition, the analysis of soil rupture by PLAXIS software showed that by changing the angle of the reinforcements from 20 to 23 degrees, the slope reliability of the soil decreases to less than the minimum reliability in the regulations. Finally, it was suggested that in order to reduce the negative effects and consequences of the projects, the pipelines should not be crossed through forested and sloping areas as much as possible.

### Keywords

Environmental impact assessment, Oil pipelines, Iranian matrix, Environmental geotechnics parameters.

---

\* Corresponding Author, Email: [naeimi@rifr-ac.ir](mailto:naeimi@rifr-ac.ir)

## ارزیابی تأثیر خط لوله نفت ری- ساری بر محیط زیست با به کارگیری پارامترهای ژئوتکنیک زیست محیطی

مریم نعیمی<sup>۱\*</sup>، عبدالحسین حداد<sup>۲</sup>، صابر نوکنده<sup>۳</sup>، سمیرا زندی فر<sup>۱</sup>، علی لشکری<sup>۴</sup>

۱. استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

۳. دانشجوی دکتری مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

۴. دکترای مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱)

### چکیده

آلودگی های نفتی در مسیر خطوط لوله انتقال فرآورده های نفتی پیامدی اجتناب ناپذیر از افزایش جمعیت و صنعتی شدن جوامع است که علاوه بر تأثیرات منفی زیست محیطی، مانند آلودگی سفره های آب زیرزمینی و خاک، باعث تغییراتی در خصوصیات ژئوتکنیکی خاک محل می شود. تغییرات خصوصیات مهندسی خاک ها می تواند به گسیختگی خاک و عملکرد نامطلوب خطوط انتقال منجر شود. از این رو، در این پژوهش آثار خط لوله انتقال نفت شمال کشور بر محیط زیست، با به کارگیری پارامترهای ژئوتکنیک در زمان بهره برداری، ارزیابی شد. روش مورد استفاده برای ارزیابی ماتریس ایرانی بود. با تجزیه و تحلیل ماتریس ایرانی مشخص شد تعداد آثار میانگین جبری منفی در ستون برابر با ۵ عدد و تعداد پیامدهای میانگین جبری منفی در ردیف برابر با ۵ عدد است که در این بین تعداد پیامدهای منفی کمتر از ۳/۱- در ستون مربوط به تغییر مسیر رودخانه، ایجاد بند، و ریسه کردن و در ردیف مربوط به لغزش و آلودگی خاک است. نتایج مطالعات آزمایشگاهی جهت بررسی میزان اثر آلودگی خاک بر پارامترهای ژئوتکنیکی نشان داد مقاومت تک محوری نمونه ها ۲۲ درصد کاهش یافته است. همچنین، تحلیل گسیختگی خاک به وسیله نرم افزار PLAXIS نیز نشان داد با تغییر زاویه مسلح کننده ها از ۲۰ به ۲۳ درجه ضریب اطمینان شیروانی خاک به کمتر از حداقل ضریب اطمینان در آیین نامه کاهش می یابد. در نهایت، پیشنهاد شد جهت کاهش آثار و پیامدهای منفی پروژه سعی شود تا حد امکان خطوط لوله از مناطق جنگلی و شیب دار عبور داده نشود.

### کلیدواژگان

ارزیابی آثار زیست محیطی، پارامترهای ژئوتکنیک زیست محیطی، خط لوله انتقال نفت، ماتریس ایرانی.

\* رایانامه نویسنده مسئول: naeimi@rifr-ac.ir

## مقدمه

در چند دهه گذشته، بروز مسائل بی‌شمار در محیط زیست موجب شد جامعه انسانی دریابد گستره فعالیت‌های وی در محیط زیست بدون حد و مرز است (Robert et al 2005: 10). از سوی دیگر، محیط زیست نیز محدودیت‌هایی دارد که حتی با بهترین فناوری‌های قابل تصور نیز به طور نامحدود قابل گسترش نیست و عدم توجه به این محدودیت‌ها طی فرایند توسعه اقتصادی تخریب محیط زیست را به همراه خواهد داشت. ازین رو، هر گونه بهره‌برداری از طبیعت باید پس از ارزیابی منابع و در چارچوب توان و ظرفیت محیط صورت گیرد. از جمله این بهره‌برداری‌ها گزارش‌هایی مبنی بر دسترسی به منابع انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی است. خطوط لوله، جهت ایجاد دسترسی منابع انرژی، از مناطق مختلف، از جمله اکوسیستم جنگل و کوهپایه و مناطق شیب‌دار، عبور داده می‌شود (Bao et al 2012: 41). این موضوع هنگامی اهمیت می‌یابد که این خطوط لوله از نزدیکی مناطق مسکونی یا منابع آبی عبور کنند (Shabarchin & Tesfamariam 2016: 480). با آنکه خطوط لوله یکی از راه‌های مطمئن و به‌صرفه برای انتقال مواد نفتی است، در صورت بروز حادثه، می‌تواند آثار مخرب زیست محیطی جبران‌ناپذیری بر جای بگذارد. با وجود گسترش فن، همچنان حوادثی در این زمینه صورت می‌گیرد. مثلاً، در سال ۱۳۹۷، نشتی بنزین در نقطه‌ای از خطوط لوله نفت شمال در شهرستان سوادکوه، ناشی از ترکیدگی لوله انتقال، به علت زمین‌لرزه‌هایی با قدرت بیشتر از ۴ ریشتر، صورت گرفت (شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران). تاکنون مطالعاتی در زمینه آثار ناشی از چنین نشتی‌هایی بر محیط زیست گزارش نشده است.

با توجه به اهمیت ایران در مقام پنجمین تولیدکننده نفت و فرآورده‌های نفتی در جهان، که همسایه‌های نفت‌خیز نیز دارد و ترانزیت نفت و فرآورده‌های شیمیایی در آن صورت می‌گیرد، اهمیت مطالعات ارزیابی آثار زیست‌محیطی مشخص می‌شود. ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست روشی است که برای اطمینان از رعایت ضوابط و معیارها و قوانین زیست‌محیطی در طرح‌های مختلف ابداع شده است (Leknes 2001: 310؛ Vijayan & Vijayan 2013: 233) و هدف اصلی آن پیش‌بینی و شناسایی و تجزیه و تحلیل دقیق همه نشان‌زدهای (آثار) مثبت و منفی طرح بر محیط زیست طبیعی و انسانی است (Sebastiani et al 2001: 139؛ نعیمی و همکاران ۱۳۹۷: ۳۰۹). به منظور دستیابی به توسعه پایدار

پروژه‌های عمرانی و صنعتی در ایران ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست در سال ۱۳۷۳ قانونمند شد و در سال ۱۳۷۹ این قانون برای خطوط لوله انتقال نفت و گاز به تصویب رسید (رحمتی ۱۳۹۱: ۲۱). بررسی‌های انجام شده در خطوط لوله به دو بخش زمان ساخت و بهره‌برداری تقسیم می‌شود. در مطالعات انجام شده در هر دو شاخه خطوط گاز و نفت بیشتر آثار زمان ساخت مد نظر قرار گرفته است. طی دوره ساخت به طور کلی نحوه احداث خطوط نفت و گاز تشابه زیادی با هم دارند. بررسی محققان نشان داده است در دوره ساخت خاک‌برداری و خاک‌ریزی (صالحی مؤید و کریمی ۱۳۸۶: ۴۱) و انفجار جهت لوله‌گذاری (Neba & Ngeh 2009: 225) و ایجاد جاده‌های دسترسی (Karimi et al 2014: 686) بیشترین اثر مخرب را بر محیط زیست می‌گذارند.

در مطالعات پیشین (صالحی مؤید و کریمی ۱۳۸۶: ۴۱) هنگام بهره‌برداری بیشتر به بررسی جنبه مثبت احداث خطوط نفت و گاز، همچون کارایی و درآمد سرانه، توجه شده است. نظر به قرارگیری طولانی مدت خطوط در خاک و احتمال خرابی لوله‌ها، نیاز به فعالیت‌های مرتبط با نگهداری به منظور کاهش آثار آلودگی یا دیگر تغییرات منفی ایجاد شده در پارامترهای مکانیکی خاک انکارناپذیر است (Zhang et al 2020: 72). از طرفی، نشت مواد نفتی و شیمیایی می‌تواند به مرور آثار قابل توجهی بر پارامترهای مقاومتی و ظرفیت باربری خاک بگذارد (مهدی‌زاده و همکاران ۱۳۹۵: ۳۴۷). تغییرات خصوصیات مهندسی خاک‌ها می‌تواند به گسیختگی خاک و عملکرد نامطلوب خطوط انتقال منجر شود. السناد<sup>۱</sup> و همکارانش (۱۹۹۵) نشان دادند تغییرات افزایشی ورود نفت به یک خاک ماسه‌ای می‌تواند باعث کاهش مقاومت برشی و نفوذپذیری شود. مطالعات بسیاری در زمینه اثر نفت بر زاویه اصطکاک و چسبندگی خاک‌ها (به منزله پارامترهای مقاومتی) انجام شده است (مانند Shin et al 2000; Khomehchian et al 2007; Rahman et al 2007; Nazir et al 2011; خسروی و همکاران ۱۳۹۰؛ مهدی‌زاده و همکاران ۱۳۹۵) که همگی گویای آن است که نشت نفت می‌تواند آثار قابل توجهی بر پارامترهای مقاومتی بگذارد. همچنین سیم<sup>۲</sup> و همکارانش (۲۰۱۲) نشان دادند نشت نفت موجب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. از طرفی در

1. Al-Sanad  
2. Sim

اثر آلودگی خاک‌ها به گازوییل مقاومت خاک‌ها در برابر فرسایش کاهش می‌یابد و مقدار افت وزنی بیشتر می‌شود. در نتیجه مقاومت فشاری تک‌محوری خاک‌های آلوده با فرسایش‌پذیری نسبت عکس دارد (Mohammadi & Hosseinabadi 2019: 314).

تغییرات در هر یک از پارامترهای خاک می‌تواند موجب تغییر رفتار خاک در مقابل بارهای وارده شوند. مثلاً کاهش مقاومت برشی خاک در اثر نشست می‌تواند به کاهش قابل توجه ظرفیت باربری خاک منجر شود (Shin et al 2001: 130). همچنین، پایداری یک شیروانی خاکی<sup>۱</sup>، به علت تغییرات زاویه اصطکاک و چسبندگی خاک، می‌تواند تحت تأثیر میزان کاهش این پارامترها قرار گیرد (Shin et al 2001: 130). به عبارت بهتر، کاهش مقاومت خاک کاهش ضریب اطمینان و ناپایداری شیب را به همراه خواهد داشت. از طرفی، عبور خطوط لوله انتقال آب - فاضلاب یا مواد سوختی روی بستر فرسایشی دریا و رودخانه سبب ایجاد اندرکنشی بین لوله و بستر فرسایشی می‌شود و تغییراتی را در هیدرودینامیک جریان اطراف لوله به وجود می‌آورد (مرادی و همکاران ۱۳۹۵: ۳۴۷؛ مرادی و همکاران ۱۳۹۷: ۱۸۰). در نتیجه، آب‌شستگی موضعی ایجادشده زیر خط لوله سبب ناپایداری و خمش و حتی شکست لوله می‌شود. در صورت بروز مشکل برای این خطوط لوله، علاوه بر خسارات اقتصادی فراوان، ناشی از شکست لوله، لطمه‌های زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری به منطقه وارد خواهد شد. بر این اساس، هدف از نوشتار حاضر مطالعه پارامترهای ژئوتکنیک زیست‌محیطی<sup>۲</sup> در ارزیابی آثار توسعه خط لوله انتقال نفت شمال کشور در زمان بهره‌برداری بود. به همین منظور ابتدا سعی شد با مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی شناختی واقعی از محیط زیست و خصوصیات مکانیکی خاک محل اجرای پروژه کسب شود. سپس، هم‌زمان با مرور منابع فنی پروژه، به شناسایی همه فعالیت‌ها در فاز بهره‌برداری و نگهداری پرداخته شود.

### محدوده و قلمرو مورد مطالعه

شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران منطقه شمال و طیفه انتقال فرآورده‌های نفتی، شامل بنزین و نفت گاز و نفت سفید، به استان‌های مازندران و گلستان و همچنین انتقال نفت خام

۱. اگر سطح زمین با راستای افقی زاویه‌ای غیر از صفر بسازد، به این سطح شیب‌دار شیروانی خاکی (Slope Soil) گفته می‌شود.

2. Environmental geotechnics

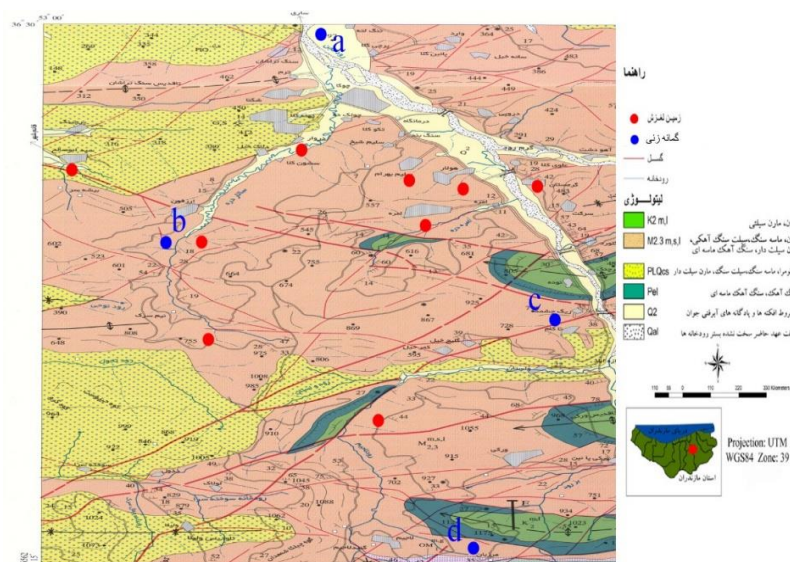
کشورهای آسیای میانه (طرح سوآپ) راه، از طریق تقریباً ۶۰۵ کیلومتر خطوط لوله، بر عهده دارد. همچنین، منطقه شمال با ۶۲۰ کیلومتر خطوط لوله قدرت انتقال ۲۷ میلیون لیتر انواع فرآورده‌های نفتی، شامل بنزین معمولی و بنزین سوپر و نفت گاز و نفت سفید، را دارد. خط لوله ری- ساری شامل لوله نفت خام ۳۲" با طول عمر ۱۰ سال و فرآورده‌های نفتی با لوله به قطر ۱۲" با طول عمر بیش از ۴۰ سال می‌شود. خط لوله ۱۲" از طریق فشارشکن ورسک، مرکز انتقال نفت مرگاو، و فشارشکن لاجیم به تأسیسات انتهایی ساری متصل می‌شود. قدرت انتقال این خط روزانه ۵۰۰ هزار بشکه نفت خام، معادل حدود ۸ میلیون لیتر فرآورده نفتی، است که به انبار نفت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی منطقه ساری تحویل می‌شود. خط لوله ۳۲" نفت خام وارداتی ری- ساری از مراکز انتقال ساری، گل پل، و اوریم پمپاژ و پس از طی ۲۲۰ کیلومتر در فشارشکن مغانک به منطقه تهران تحویل می‌شود (Iranian Oil Pipeline and Telecommunication company).

هر دو خط لوله از مناطق صعب‌العبور کوهستانی و جنگلی مازندران عبور می‌کنند. در نوشتار حاضر، منطقه مورد مطالعه حد فاصل بین مرکز نفت ساری تا ایستگاه لاجیم برای خط لوله فرآورده‌ها و تا ایستگاه گل پل برای خط لوله نفت خام است. علت انتخاب این بخش از مسیر گزارش‌های متعدد خرابی در خط لوله با عبور از رودخانه و بخش‌های جنگلی بود. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی منطقه به دو نوع آب‌وهوای معتدل خزری و آب‌وهوای کوهستانی تقسیم می‌شود. منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی در بخش خاوری البرز مرکزی قرار گرفته است. سازند قرمز بالایی (M2, 3m, s, 1) از مارن، ماسه‌سنگ و سیلت سنگ آهکی، مارن سیلت‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای تشکیل شده است که لیتولوژی منطقه را مشخص می‌کند. شکل ۲ نشان‌دهنده نقشه زمین‌شناسی و تکنیک منطقه همراه نقاط دارای لغزش است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. زمین شناسی و تکتونیک منطقه و مکان گمانه‌ها (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

مطالعات ژئوتکنیکی مناطق نیازمند حفر گمانه جهت شناسایی نوع خاک منطقه و تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی است. به همین منظور اطلاعات چهار دسته از گمانه‌ها، که با توجه به رخدادهای ژئوتکنیکی گزارش شده ناشی از لوله‌گذاری و بهره‌برداری از خطوط لوله شمال کشور است، از آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک مازندران تهیه و در جدول ۲ ارائه شده است.

ارزیابی تأثیر خط لوله نفت ری- ساری بر محیط زیست با به کارگیری پارامترهای ژئوتکنیک زیست محیطی ۴۶۳

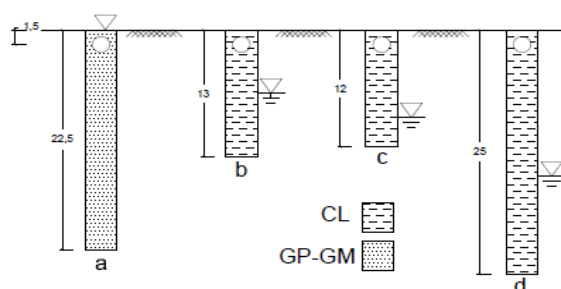
بر این اساس خاک مناطق مختلف در سه گروه خاک رودخانه‌ای، خاک جنگلی، خاک ایستگاه فشارشکن دسته‌بندی شده است. منطقه جنگلی به دلیل وسعت زیاد با دو دسته گمانه بررسی شد تا اطلاعات دقیق‌تر در دست باشد. مکان گمانه‌های انتخاب شده در شکل ۲ مشخص شده است. همچنین، مشخصات ژئوتکنیکی به دست آمده از اطلاعات گمانه‌ها بررسی و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی رخدادهای ژئوتکنیکی ناشی از لوله‌گذاری (Petro Energy Information Network)

نام منطقه	رخداد ژئوتکنیکی	سال	پیامد
رودخانه تجن	آب‌شستگی	۹۵	طغیان رودخانه و آب‌شستگی خط لوله ۱۲ اینچ دچار آسیب شد و ۲۰۰۰۰ لیتر گازوئیل در آب رودخانه پخش شد.
منطقه جنگلی	لغزش	۸۸	خاک منطقه روستای هولار در مسیر خط ۱۲ اینچ دچار لغزش و ایجاد ۱۰۰۰ متر مکعب لجن و پخش ۳۶۶۰۰۰ لیتر گازوئیل در منطقه شد.
ایستگاه فشارشکن	نشت آلاینده	۸۵	آلودگی محیط در اطراف تلمبه‌خانه گل پل

جدول ۲. مشخصات ژئوتکنیکی خاک منطقه (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک مازندران)

منطقه	خاک	$\gamma$	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_u$ (deg)	$C'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (deg)	$E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu$
a	GP-GM	۲/۱	۱/۶	-	-	۰	۳۲	۸۳۰	۰/۲۵
b	CL	۱/۹	۱/۴۹	۰/۲۷	۴	۰/۱۲	۲۵	۹۵	۰/۳۵
c	CL	۲	۱/۷	۰/۵	۱۵	۰/۱	۲۷	-	-
d	CL	۲/۱	-	۰/۵	۱۲	۰/۱	۲۳	۳۰۰	۰/۴



شکل ۳. پروفیل خاک گمانه‌ها (a)، خاک رودخانه‌ای (b)، خاک جنگلی (c)، خاک فشارشکن (d)



## روش و ابزار تحقیق

## ارزیابی آثار خطوط لوله نفت بر محیط زیست

ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست با استفاده از روش‌های متعدد شامل چک‌لیست، ماتریس، روی هم گذاری نقشه‌ها، سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری، مدل‌سازی-انجام می‌شود (Canter & Wood 1996). در این مطالعه از ماتریس ایرانی برای ارزیابی آثار زیست‌محیطی استفاده شد. روش ماتریس ایرانی با طبقه‌بندی مناسب و ساختار ساده‌ای که دارد روشی مناسب برای ارزیابی است. در این روش، ماتریسی تشکیل می‌شود که ریز فعالیت‌های پروژه در مراحل بهره‌برداری در ستون‌های آن و فاکتورهای مختلف ژئوتکنیک زیست‌محیطی در سطرها آن نوشته می‌شود. در مربع محل تقاطع هر فعالیت زیست‌محیطی که از آن فعالیت متأثر خواهد شد و شدت و دامنه اثر پیش‌بینی و ارزیابی می‌شود. ماتریس ایرانی برای هر اثر طبق جدول ۳ بر اساس شدت و ماهیت آثار مقداری در بازه ۵- تا ۵+ در نظر می‌گیرد. تفسیر نتایج آثار این امکان را می‌دهد که تصمیم‌گیری درست درباره پروژه به‌سادگی انجام پذیرد (Makhdoum 2002: 151). همچنین، نتیجه ماتریس ممکن است یکی از پنج حالت «پروژه مردود است»، «پروژه تأیید می‌شود»، «پروژه با گزینه‌های اصلاحی قابل تأیید است»، «پروژه با ارائه طرح‌های به‌سازی تأیید می‌شود»، یا «پروژه با ارائه طرح‌های به‌سازی و گزینه‌های اصلاحی قابل تأیید است» باشد. بر اساس مطالعات گذشته (Shin et al 2001: 132؛ صالحی مؤید و کریمی ۱۳۸۶: ۴۲) و بررسی ویژگی‌های فنی پروژه ریز فعالیت‌های مؤثر در فаз بهره‌برداری انتخاب شد.

جدول ۳. معیار امتیازدهی در ماتریس ایرانی (Makhdoum 2002)

ارزش	آثار منفی	ارزش	آثار مثبت
-۵	تخریب بسیار زیاد	+۵	سودمندی بسیار زیاد
-۴	تخریب زیاد	+۴	سودمندی زیاد
-۳	تخریب متوسط	+۳	سودمندی متوسط
-۲	تخریب کم	+۲	سودمندی کم
-۱	تخریب بسیار کم	+۱	سودمندی بسیار کم

### بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی

در ادامه، اثر آلودگی نفت خام بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک بررسی شد. برای این منظور، با در نظرگیری خصوصیات یادشده در جدول ۲، برای گمانه d، با ساخت نمونه مصنوعی خاک، اثر آلودگی نفت خام بر خصوصیات مهندسی خاک بررسی شد. بدین منظور میزان رطوبت، مواد آلی، دانه بندی، و حدود اتربرگ آن‌ها در آزمایشگاه خاک تعیین شد که در جدول ۴ نشان داده شده است. در این تحقیق، چگالی ویژه نمونه‌ها با استفاده از استاندارد ASTM D854-02 تعیین شد. برای برآورد چگالی ویژه از روش A برای نمونه‌های مرطوب استفاده شد. آزمایش‌های حد روانی نیز با استفاده از استاندارد ASTM04318-10 انجام شد. سپس، نمونه‌ها در آزمایشگاه به صورت مصنوعی با ۵ و ۱۰ درصد نفت خام آلوده شدند. نمونه نفت خام با وزن مخصوص ۰/۷۵۰۱ (در دمای ۱۵/۵۶°C)، ویسکوزیته ۳/۸۱ (در دمای ۴۰°C)، و نقطه جاری شدن ۲۱- جهت اختلاط با نمونه‌های خاک تهیه شد. برای اختلاط نسبتاً مناسب با نفت خام نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس آزمایش مقاومت تک‌محوری برای آن‌ها اجرا شد. آزمایش مقاومت تک‌محوری محدود نشده بر اساس استاندارد ASTM D2166-85 انجام شد. در این آزمایش، نمونه خاک مورد نظر تا رسیدن به گسیختگی تحت بار محوری به صورت کنترل کرنش قرار گرفت و مقاومت آن بر اساس تنش کل ایجادشده در نمونه هنگام گسیختگی محاسبه شد. برای آماده‌سازی نمونه‌های دست‌نخورده از قالب استوانه‌شکل به قطر ۳۶ میلی‌متر و ارتفاع ۷۲ میلی‌متر استفاده شد. همچنین، بارگذاری به صورت قائم و با سرعت ثابت ۱ میلی‌متر بر دقیقه روی سطح نمونه وارد شد.

جدول ۴. مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک ساخته‌شده جهت بررسی اثر آلودگی نفتی در محل گمانه d

ویژگی	نوع خاک	رس (%)	ماسه (%)	سیلت (%)	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	حد خمیری (PL)	حد روانی (LL)	رطوبت اولیه (%)
مقدار	CL	۵۹	۴	۳۷	۲/۷۴	۲۰	۳۶	۱۳/۲

جدول ۵. ارزیابی آثار خط لوله نفت ری- ساری در مرحله بهره‌برداری به روش ماتریس ایرانی

فعالیت‌ها پارامترها	انتقال نفت	تغییر مسیر رودخانه	ایجاد بند روی رودخانه	حفری	ریسه کردن	عملیات تراکم	شع کوبی	گایون‌بندی و	تعداد ارزش‌ها	تعداد ارزش‌های مثبت	نسبت ارزش‌های مثبت به کل	جمع جبری ارزش	میانگین رده‌بندی
نشست خاک	-۳	۰	۰	-۳	-۳	+۳	-۲	۵	۱	۰/۲	-۸	-۱/۶	
لغزش	-۴	-۵	-۳	-۵	-۵	+۲	۰	۶	۱	۰/۱۶	-۲۰	-۳/۳۳	
کاهش باربری خاک	-۱	۰	۰	-۲	-۳	+۳	۰	۴	۱	۰/۲۵	-۳	-۰/۷۵	
آب‌شستگی	۰	-۴	-۴	-۲	۰	۰	+۳	۴	۱	۰/۲۵	-۷	-۱/۷۵	
آلودگی خاک	-۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	-۴	-۴	
تعداد ارزش‌ها	۴	۲	۲	۴	۳	۳	۲						
تعداد ارزش‌های مثبت	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۱						
نسبت ارزش‌های مثبت به کل	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۵						
جمع جبری ارزش	-۱۲	-۹	-۷	-۱۲	-۱۱	+۸	+۱						
میانگین رده‌بندی	-۳	-۴/۵	-۳/۵	-۳	-۳/۶۶	+۲/۶۶	+۰/۵						

### یافته‌های پژوهش

#### ارزیابی آثار خط لوله نفت بر محیط زیست

در مطالعه حاضر پارامترهای ژئوتکنیک زیست‌محیطی در ارزیابی آثار توسعه خط لوله انتقال نفت شمال کشور در زمان بهره‌برداری بررسی شد. بررسی گمانه‌ها نشان داد منطقه از سه نوع خاک رودخانه‌ای و جنگلی و فشارشکن تشکیل شده است. نظر به قرارگیری خط لوله ری- ساری در منطقه صعب‌العبور جنگلی و همچنین با توجه به مطالعات خاک پیش‌بینی و تحلیل آثار نشان می‌دهد عمده‌ترین آثار پروژه بر پارامترهای ژئوتکنیکی زیست‌محیطی منطقه- شامل لغزش، آب‌شستگی،

نشست خاک، کاهش ظرفیت باربری خاک، آلودگی خاک- است. ارزیابی آثار خطوط لوله نفت ری- ساری با بهره‌گیری از ماتریس ایرانی و با تکیه بر پارامترهای ژئوتکنیکی در مرحله بهره‌برداری و نگهداری در جدول ۵ ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل ماتریس ایرانی مشخص شد تعداد آثار میانگین جبری منفی در ستون برابر با ۵ عدد و تعداد پیامدهای میانگین جبری منفی در ردیف برابر با ۵ عدد است که در این بین تعداد پیامدهای منفی کمتر از  $3/1$ - در ستون مربوط به تغییر مسیر رودخانه و ایجاد بند و ریشه کردن است. همچنین، تعداد آثار منفی کمتر از  $3/1$ - در ردیف مربوط به آلودگی خاک و لغزش است. بر این اساس، نتیجه‌گیری از ماتریس نشان می‌دهد پروژه مورد نظر در حالت پنجم قرار می‌گیرد. در این حالت تعدادی از میانگین‌های رده‌بندی هم در ستون هم در ردیف‌ها کمتر از  $3/1$ - است؛ در حالی که تعداد آن‌ها به ۵۰ درصد نمی‌رسد. در این حالت، پروژه با ارائه طرح‌های به‌سازی و گزینه‌های اصلاحی مورد تأیید است.

### بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی

#### الف) آلودگی خاک

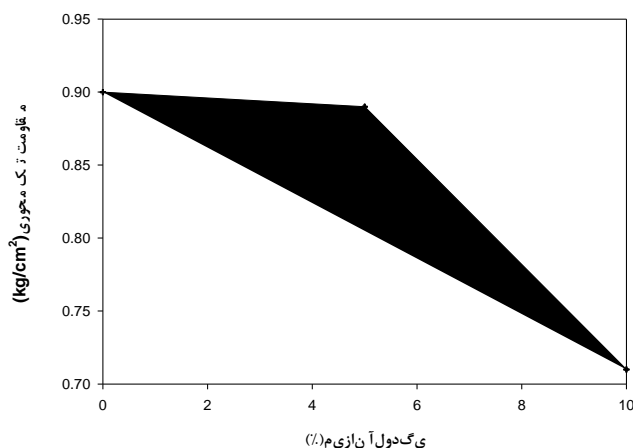
بررسی گمانه‌ها و قرارگیری اطلاعات مربوطه جهت ارزیابی آثار بر محیط زیست در استفاده از ماتریس ایرانی (جدول ۵) نشان داد پارامتر آلودگی خاک دارای ارزش تخریبی زیاد برابر ۴- است. همچنین، تنها فعالیتی که بیشترین آثار منفی را بر آلودگی محیط زیست منطقه ایجاد می‌کند انتقال نفت است که ارزش آن ۴- است. با توجه به شکل ۳(d)، خاک اطراف ایستگاه فشارشکن متعلق به خاک‌های ریزدانه با خاصیت خمیری پایین و از نوع کائولینیت است. گزارش‌ها حاکی از نشست اتصالات یا نشست‌های جزئی در مسیر لوله یا ایستگاه‌ها در انتقال نفت در این بخش در اطراف تلمبه‌خانه گل پل به دلیل نشست آلاینده‌ها در سال ۱۳۸۵ است. این‌گونه نشست‌ها معمولاً پس از گذشت مدت طولانی با آلودگی‌هایی که در منطقه پخش شده است مشخص و قابل شناسایی می‌شود که ممکن است در این مدت سطح وسیعی از منطقه دچار آلودگی شده باشد. بر اساس نظر شکفورد<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) پراکنش یا نشست در یک منطقه با رابطه ۱ تعریف می‌شود:

1. Shacklford

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda C \quad (1)$$

که در آن C غلظت آلاینده، t زمان، x موقعیت مکانی آلاینده،  $\lambda$  ثابت فساد، و  $D_a$  ضریب ظاهری انتشار در واحد سطح است. بر اساس رابطه ۱، انتشار یک آلاینده در خاک تابع زمان و مکان است. با گذشت زمان، غلظت آلاینده مساحت بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گفتنی است میزان فراگیری آلاینده در یک محیط به نوع خاک و نفوذپذیری آن نیز وابسته است که در پارامتر  $D_a$  لحاظ می‌شود. ازین رو و با توجه به حضور خاک ریزدانه فشارشکن در منطقه و عدم ایجاد آلودگی محیط زیست، تخمین پراکنش طی دوره‌های زمانی مختلف برای شناسایی نشت‌های احتمالی خط لوله الزامی است تا قبل از پخش شدن آلاینده تعمیرات لازم انجام شود.

در همین زمینه، بررسی تأثیر آلودگی نفت خام بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک های آلوده به نفت خام در شکل ۴ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد مقاومت تک‌محوری محدودنشده با افزایش آلودگی کاهش می‌یابد. در عین حال، نمونه با ۱۰ درصد آلودگی میزان مقاومت کمتری از نمونه با ۵ درصد آلودگی را نشان داد. با توجه به شکل ۴، مقاومت نمونه آلوده به ۱۰ درصد نفت خام حدوداً ۲۲ درصد کاهش یافته است؛ طوری که مقادیر تنش تک‌محوری حداکثر همه نمونه‌های آلوده کمتر از مقدار متناظر برای خاک طبیعی است. علت قرارگیری آلاینده نفتی بین ذرات خاک بوده که موجب روغن کاری و کاهش اندرکنش بین ذرات خاک به سبب کاهش چسبندگی ذرات رس است. همچنین، مقادیر کرنش گسیختگی نسبت به خاک طبیعی در نمونه آلوده به ۱۰ درصد نفت خام ۳۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد. نتایج مطالعات پیشین (Khomehchian et al 2007: 227؛ قیاس‌روشن و باقری‌پور ۱۳۹۸: ۱۱۱) که به بررسی تأثیر آلودگی نفتی بر خصوصیات ژئوتکنیکی پرداختند نیز نشان داد در خاک رس افزایش میزان آلودگی موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی و کاهش میزان چسبندگی خاک می‌شود و در نمونه‌های ماسه‌سیلتی و ماسه بددانه‌بندی‌شده موجب کاهش مقادیر نفوذپذیری و مقاومت فشاری تک‌محوری و زاویه اصطکاک داخلی و عدم تغییر در میزان چسبندگی خاک می‌شود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.



شکل ۴. تغییرات مقاومت تک محوری نمونه‌های آلوده به نفت خام

### ب) لغزش خاک

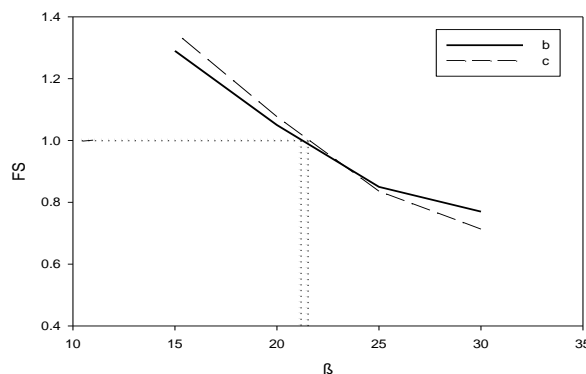
قرارگیری اطلاعات مربوطه جهت ارزیابی آثار خطوط لوله با در نظرگیری پارامترهای ژئوتکنیک زیست محیطی با استفاده از ماتریس ایرانی در جدول ۵ نشان داد پارامتر لغزش خاک اثر تخریبی زیاد با میانگین رده بندی برابر ۳/۲- دارد که اثر با تخریب متوسط همراه است. همچنین فعالیت‌هایی که بیشترین اثر منفی را بر لغزش در منطقه می‌گذارند شامل انتقال نفت، تغییر مسیر رودخانه، ایجاد بند بر رودخانه، و حفاری و ریشه کردن اند. نیز عملیات تراکم پس از نگهداری از خطوط لوله از فعالیت‌هایی بوده که با میانگین رده بندی ۲+ اثر مثبت محسوب می‌شود.

در ادامه، بررسی‌های ژئوتکنیکی با کمک گمانه‌ها نشان داد یکی از مشکلات خطوط ری- ساری لغزش خاک در محل و اطراف خاک منطقه جنگلی است. خاک منطقه جنگلی تا اعماق زیاد به طور کامل ریزدانه است که در شکل ۳ (c) و ۳ (b) نشان داده شده است. همچنین، به دلیل گسترش مارن‌های میوسن در این منطقه به طور کلی پتانسیل بروز لغزش در ناحیه بالاست. از زمین لغزش‌های مهم اطراف سایت واقع بر این زون سلیم بهرام، گرمستان، هولار، و امره را می‌توان برشمرد (Geological Survey and Mineral Exploration of Iran). اکثر دامنه‌های جنگلی این ناحیه دارای پروفیل‌های خاص مناطق لغزشی اند. به دلیل بارش فراوان در منطقه و حضور خاک ریزدانه،

به مرور زمان، رطوبت خاک افزایش یافته و با عبور خط لوله از پاشنه گوه‌های گسیختگی لغزش در بسیاری از موارد موجب فعال شدن سطوح لغزشی می‌شود. بر این اساس، بخشی از شکست لوله‌های خط مربوط به فعال شدن گوه‌های لغزش به دلیل قرار گرفتن لوله در ترانشه‌هاست. پایداری یک شیب نامحدود با رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

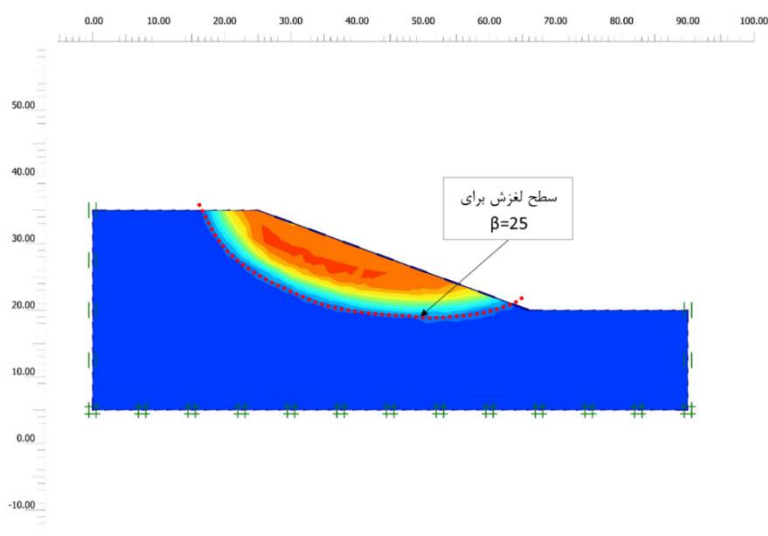
$$FS = \frac{c' + (\gamma - n\gamma_w)H \cos^2 \beta \tan \phi'}{\gamma H \sin \beta \cos \beta} \quad (2)$$

که در آن  $c'$  چسبندگی مؤثر،  $\gamma$  وزن مخصوص،  $\gamma_w$  وزن مخصوص آب،  $n$  نسبت تراز آب به ضخامت لایه،  $H$  ضخامت لایه،  $\beta$  زاویه شیب، و  $\phi'$  زاویه اصطکاک مؤثر است. رابطه ۲ نشان می‌دهد ضریب اطمینان تابع شرایط هندسی و ژئوتکنیکی محل است. مثلاً با افزایش شیب لایه ضریب اطمینان کاهش می‌یابد یا با کاهش زاویه اصطکاک و چسبندگی ضریب اطمینان کاهش می‌یابد. به طور معمول، شیب‌های پایدار در جنگل با قطع درختان و حفاری با احتمال ناپایدار شدن روبه‌رو هستند. پس از حفاری فعالیت‌هایی همچون ریشه کردن و جاده‌های دسترسی با تغییر شرایط زهکشی خاک باعث افزایش رطوبت خاک و تغییر شرایط پایداری خاک می‌شود. با توجه به خصوصیات خاک منطقه جنگلی برای گمانه  $b$  و  $c$  زاویه شیب محاسبه و در شکل ۵ نشان داده شده است. محاسبات نشان داد ضریب اطمینان در پایداری شیب برای گمانه  $b$  و  $c$  برای زاویه بالای ۲۲ درجه است.



شکل ۵. محاسبه زاویه شیب و ضریب اطمینان خاک منطقه جنگلی برای گمانه‌های  $b$  و  $c$

در این تحقیق تحلیل گسیختگی خاک به وسیله نرم افزار PLAXIS نیز انجام شد که در شکل ۶ نمایش داده شده است. همچنین، مشاهده می شود که با تغییر زاویه مسلح کننده ها از ۲۰ به ۲۵ درجه ضریب اطمینان شیروانی به کمتر از حداقل ضریب اطمینان در آیین نامه (FS=1.07) کاهش می یابد که این موضوع باعث ناپایداری در سطح لغزش شیب می شود و در نتیجه زاویه بالای ۲۲ درجه زاویه مناسبی برای جای گذاری خطوط نیست.



شکل ۶. محاسبه زاویه شیب برای خاک منطقه جنگلی برای گمانه b و c از خروجی plaxis

مطالعه اثر رطوبت در پایداری شیب در خاک گمانه b و c نشان داد ضریب اطمینان با افزایش رطوبت کاهش محسوسی خواهد داشت و از ۱/۰۷ به ۰/۵۵ در شرایط اشباع کامل کاهش پیدا می کند. پیش تر صفایی و فتاحی (۲۰۱۰) نیز گزارشی از کاهش ضریب اطمینان شیب در منطقه مورد مطالعه با افزایش رطوبت کاهش در شرایط اشباع کامل ارائه دادند. حال آنکه در فصل های پربارش امکان افزایش محسوس رطوبت در خاک منطقه وجود دارد. همچنین، همان طور که در مقدمه بیان شد، در صورت نشت مواد آلاینده امکان کاهش زاویه اصطکاک و چسبندگی وجود دارد که این موضوع باعث کاهش ضریب اطمینان می شود.



## ج) آب‌شستگی

بررسی گمانه‌ها و قرارگیری اطلاعات مربوطه جهت ارزیابی آثار زیست‌محیطی با استفاده از ماتریس ایرانی نشان داد پارامتر آب‌شستگی دارای ارزشی برابر  $1/75$  - است که اثری منفی با تخریب کم محسوب می‌شود. همچنین فعالیت‌هایی که بیشترین آثار منفی را بر آب‌شستگی در منطقه ایجاد می‌کنند شامل تغییر مسیر رودخانه، ایجاد بند بر رودخانه، و حفاری هستند. همچنین گابیون‌بندی و شمع‌کوبی از فعالیت‌هایی است که با ارزش  $3+$  اثر مثبت با سودمندی متوسط محسوب می‌شود.

از طرفی، بررسی‌های ژئوتکنیکی نشان می‌دهد در محدوده مورد مطالعه با عبور از رودخانه تجن و منطقه جنگلی اکثر خرابی‌ها مرتبط با آب‌شستگی گزارش شده است (جدول ۱). مناطقی که لوله از بستر رودخانه مانند گمانه a عبور می‌کند با ایجاد بند در پایین دست محل عبور لوله سعی در آرام کردن جریان و افزایش فرصت ته‌نشینی رسوبات در اطراف لوله می‌شود. باید در نظر داشت که همواره ایجاد بند مؤثر نیست و در برابر سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا امکان شکست وجود دارد. با شکست بند امکان آب‌شستگی و بیرون‌زدگی لوله از خاک بستر رودخانه و شکست لوله محتمل است. ازین رو، لازم است ابتدا به شرایط فرسایش‌پذیری بستر توجه و از این دیدگاه حداکثر عمق آب‌شستگی زیر خطوط لوله تخمین زده شود. بر اساس تحقیقات گذشته (Melville & Chiew 1999: 63) عمق آب‌شستگی با رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp \left\{ -0.03 \left| \frac{u}{u_c} \ln \frac{t}{t_e} \right|^{1/6} \right\} \quad (3)$$

که در آن  $d_s$  عمق آب‌شستگی،  $d_{se}$  عمق آب‌شستگی در زمان تعادل،  $u$  سرعت جریان،  $u_c$  سرعت جریان بحرانی،  $t$  زمان، و  $t_e$  زمان تعادل است. بر اساس رابطه ۳، عمق آب‌شستگی تابع زمان و جریان است. به عبارت بهتر، در صورت وجود جریان‌های آشفته، که معمولاً بعد از شکست بند رخ می‌دهد، عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد. همچنین، با گذشت زمان در یک جریان با سرعت مشخص نیز عمق آب‌شستگی قابل محاسبه است. بر اساس رابطه ۳، عمق آب‌شستگی در هر منطقه باید محاسبه شود و خطوط لوله در تراز پایین‌تر از عمق آب‌شستگی اجرا شوند. در شرایطی

که عمق آب شستگی رعایت نشود و شکسن بند نیز رخ دهد، علاوه بر ترمیم لوله، نیاز به ایجاد بند در پایین دست است که مستلزم تغییر مسیر جریان رودخانه است. تغییر مسیر رودخانه، خود، بر آثار مخرب محیط اطراف می افزاید. مشکل دیگر ایجاد بند قطع ارتباط مسیر رودخانه و تخریب محیط زیست آبریان است.

### نتیجه و پیشنهاد

در پژوهش حاضر پارامترهای ژئوتکنیک زیست محیطی در ارزیابی آثار توسعه خط لوله انتقال نفت شمال کشور در زمان بهره برداری بررسی شد. ارزیابی آثار نشان داد محل عبور لوله و محل احداث روی فاز بهره برداری تأثیر گذاشته و می تواند بر فعالیت ها و هزینه های لازم جهت نگهداری و تعمیر خطوط بسیار مؤثر باشد. نتیجه گیری از مطالعه حاضر عبارت است از:

- با تجزیه و تحلیل ماتریس ایرانی مشخص شد تعداد آثار میانگین جبری منفی در ستون برابر با ۵ عدد و تعداد پیامدهای میانگین جبری منفی در ردیف برابر با ۵ عدد است که در این بین تعداد پیامدهای منفی کمتر از ۳/۱- در ستون مربوط به تغییر مسیر رودخانه، ایجاد بند، و ریشه کردن است. همچنین، تعداد آثار منفی کمتر از ۳/۱- در ردیف مربوط به آلودگی خاک و لغزش است. بر این اساس، نتیجه گیری از ماتریس نشان می دهد پروژه مورد نظر در حالت پنجم قرار می گیرد. در این حالت، پروژه با ارائه طرح های به سازی و گزینه های اصلاحی مورد تأیید است. بر اساس این روش، طرح های به سازی و گزینه های اصلاحی از بخش های شیوه های کاهش آثار محسوب می شوند. طرح های به سازی مربوط به پیامدهاست و گزینه های اصلاحی مربوط به آثار.

- نتایج آزمایشگاهی بررسی اثر آلودگی خاک بر پارامترهای ژئوتکنیکی نشان داد مقاومت تک محوری محدود نشده با افزایش آلودگی کاهش می یابد. در عین حال، نمونه با ۱۰ درصد آلودگی میزان مقاومت کمتری از نمونه با ۵ درصد آلودگی نشان داد. علت قرارگیری آلاینده نفتی بین ذرات خاک است که موجب روغن کاری و کاهش اندرکنش بین ذرات خاک به سبب کاهش چسبندگی ذرات رس می شود.

- کاهش آلودگی خاک ناشی از فعالیت انتقال نفت شامل نگهداری و بررسی احتمال خرابی یا شکستگی خطوط لوله و تست‌های دوره‌ای است. این کار به کاهش آثار احتمالی کمک شایانی خواهد کرد.

- تثبیت لغزش و کاهش آثار ریشه کردن در مناطق شیب‌دار و دامنه‌ها در جهت کاهش نیروهای محرک و افزایش نیروهای مقاوم به لغزش جهت دستیابی به ضرایب اطمینان  $FS=1.07$  شامل کاستن از زاویه شیب با روش پلکانی، زهکشی خاک، و کاربرد ژئوسنتیک‌ها و عموماً شمع‌کوبی پیشنهاد می‌شود. همچنین، به دلیل آسیب‌های وارده به مناطق جنگلی پیشنهاد می‌شود تا حد امکان عبور لوله از جنگل، به خصوص دامنه‌ها و شیب‌ها، انجام نشود.

- کاهش پیامدهای آب‌شستگی و آثار تغییر مسیر رودخانه و ایجاد بند بر رودخانه نیازمند استفاده از روش‌های مناسب، از جمله ایجاد پایه‌هایی برای عبور دادن لوله از روی رودخانه، است. با این روش مسیر رودخانه کاملاً مسدود نمی‌شود. برای احداث پایه‌های با عمق دفن کافی می‌توان از شمع‌کوبی استفاده کرد تا در زمان سیلاب مشکلات ناشی از آب‌شستگی مرتفع شود. از طرفی با این روش حیات آبزیان منطقه دچار مشکل نمی‌شود. اما آثار منفی، همچون تخریب چشم‌انداز طبیعی، به دنبال دارد. با این حال، روش جایگزین موجب تقلیل آثار منفی خواهد شد.

## منابع

- خسروی، الهه؛ محمدرضا صبوری؛ حسن قاسم‌زاده؛ فاطمه کاهی (۱۳۹۰). «مطالعه آزمایشگاهی تأثیر گازوییل بر پارامترهای مقاومت برشی کائولینیت»، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، تهران.
- رحمتی، علی (۱۳۹۱). «بررسی روند ارزیابی آثار محیط زیستی در ایران، چالش‌ها و راهکارها»، محیط زیست و توسعه، د ۳، ش ۵، صص ۱۵ - ۲۳.
- روشن‌قیاس، سید محسن؛ محمدحسین باقری‌پور (۱۳۹۸). «تأثیر آلودگی نفت خام بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک رس کائولینیت در بستر راه»، مهندسی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، (۲) ۵، صص ۱۰۱ - ۱۱۲.
- صالحی مؤید، مهدی؛ سعید کریمی (۱۳۸۶). «انجام مطالعه ارزیابی آثار محیط‌زیستی (EIA) خط انتقال گاز همدان به بیجار با تأکید بر استفاده از RS و GIS»، محیط‌شناسی، د ۳۳، ش ۴۱، صص ۳۳ - ۴۴.
- صفایی، مهرداد؛ مریم فتاحی‌بندی (۱۳۸۸). «بررسی و تحلیل زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی زمین‌لغزش سایت پیشنهادی کارخانه کمپوست شهرستان ساری، استان مازندران»، مهندسی و مدیریت آبخیز، د ۱، ش ۴، صص ۲۶۶ - ۲۷۴.
- مرادی، سبحان؛ کاظم اسماعیلی؛ سعیدرضا خداشناس (۱۳۹۷). «بررسی توسعه زمانی آب‌شستگی اطراف خطوط لوله با بهینه‌یابی موقعیت نصب پیگیبک‌لاین»، علوم و مهندسی آبیاری، د ۴۱، ش ۴، صص ۱۷۳ - ۱۸۷.
- مرادی، سبحان؛ کاظم اسماعیلی؛ محمدرضا اکبرزاده؛ سعیدرضا خداشناس؛ کاظم اسماعیلی (۱۳۹۵). «بررسی تأثیر پیگیبک لاین بر آب‌شستگی موضعی زیر خطوط لوله افق»، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، د ۲۳، ش ۶، صص ۳۴۹ - ۳۶۳.
- مهدی‌زاده، محمدجواد؛ رضا غیائی؛ کامبیز بهنیا (۱۳۹۵). «مطالعه تأثیر آلودگی نفتی بر نفوذپذیری و مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای»، پژوهش نفت، د ۲۶، ش ۴، صص ۴۵ - ۵۶.
- نعیمی، مریم؛ علی لشگری؛ عبدالحسین حداد (۱۳۹۷). «تأثیر پارامترهای ژئوتکنیکی بر ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست، مطالعه موردی: کارخانه سیمان آبیگ»، پژوهش‌های محیط زیست، د ۹، ش ۱۸، صص ۲۹۹ - ۳۱۱.

نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساری، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Al-Sanad, H. A., Eid, W. K., & Ismael, N. F. (1995). "Geotechnical properties of oil-contaminated Kuwaiti sand", *Journal of geotechnical engineering*, 121(5), pp. 407-412.
- ASTM D4318 (2010). Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soil.
- ASTM D854 (2010). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
- Bao, L. C. X. Y. G. & Qingyuan, G. X. H. (2012). "Characteristics of Environmental Impact Assessment of Oil and Gas Transmission Pipeline Projects [J]", *Environmental Protection of Oil & Gas Fields*, 1.
- Canter, L. W. & Wood, C. (1996). Environmental impact assessment.
- Karimi, S., Alavipoor, F. S., Foroughi, N., Nahavandchi, M., & Khakian, A. (2014). "Environmental Impact Assessment (EIA) of Gas Pipeline Transmission (Case Study: Duzdizan-Ahar)", *Current World Environment*, 9(3), 686 p.
- Khamehchiyan, M., Charkhabi, A. H., & Tajik, M. (2007). "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils", *Engineering geology*, 89(3-4), pp. 220-229.
- Khosravi, E., Sabour, M.R., Ghasem zadeh, H., & Kahi, F. (2011). "Laboratory study of the effect of diesel fuel on kaolinite shear strength parameters", 2nd International Symposium on Environmental Engineering, Tehran. (in Persian)
- Leknes, E. (2001). "The roles of EIA in the decision-making process", *Environmental Impact Assessment Review*, 21(4), pp. 309-334.
- Makhdoum, M. F. (2002). "Degradation model: a quantitative EIA instrument, acting as a Decision Support System (DSS) for environmental management", *Environmental management*, 30(1), pp. 151-156.
- Map 1: 250,000 Sari, Geological Survey of Iran. (in Persian)
- Mehdizadeh, M.J., Ghiasi, R., & Behnia, K. (2016). "Study of the effect of oil pollution on the permeability and shear strength of sandy soils", *Oil Research*, 26(4), pp. 45-56. (in Persian)
- Melville, B. W. & Chiew, Y. M. (1999). "Time scale for local scour at bridge piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), pp. 59-65.
- Mohammadi, S. D. & Hosseinabadi, E. (2019). "Investigation of gasoil contamination effect on the erodibility of soils rich-lime around the Hamedan oil storage using rainfall simulator", *Journal of Engineering Geology*, 13(2), pp. 289-316.
- Moradi, S., Ismaili, K., Akbarzadeh, M.R., Khodashenas, S.R., & Ismaili, K. (2016). "Investigating the Impact of Pygmy Line on Local Disruption under Horizontal Pipelines", *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 23 (6), pp. 349-363. (in Persian)
- Moradi, S., Ismaili, K., & Khodashenas, S.R. (2018). "Investigating the temporal development of waterlogging around pipelines by optimizing the position of the piggyline installation", *Irrigation Science and Engineering*, 41 (4), pp. 173-187. (in Persian)

- Persian)
- Naeimi, M., Lashgari, A., & Haddad, A. (2019). "The effect of geotechnical parameters on environmental impact assessment, Case study: Abik Cement Factory", *Environmental Research*, 9 (18), pp. 299-311. (in Persian)
- Nazir, A. K. (2011). "Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay", *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), pp. 331-335.
- Neba, N. E. & Ngeh, B. P. (2009). "Environmental assessment of the Chad-Cameroon oil and pipeline project in the Kribi region of Cameroon", *International NGO Journal*, 4(5), pp. 225-235.
- Petro Energy Information Network. Available from <http://www.shana.ir/>. Accessed 10th January 2017.
- Rahman, Z. A., Umar, H., & Ahmad, N. (2010). "Geotechnical characteristics of oil-contaminated granitic and metasedimentary soils", *Asian Journal of Applied Sciences*, 3(4), pp. 237-249.
- Rahmati, A. (2012). "A Study of the Environmental Impact Assessment Process in Iran Challenges and Strategies", *Environment and Development*, 3 (5), pp. 15-23. (in Persian)
- Robert, K. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). "What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice", *Environment: science and policy for sustainable development*, 47(3), pp. 8-21.
- Roshan-Ghiyas, S. M. & Bagheripour, M.H. (2019). "Impact of crude oil pollution on the geotechnical properties of kaolinite clay in the road bed", *Transportation Infrastructure Engineering*, (2)5, pp. 101-112.
- Safaie, M. & Fattahi Bandpay, M. (2009). "Analysis and evaluating the stability of the region for development of compost factory project in Lajim-Sari-Iran", *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(4), pp. 266-274. (in Persian)
- Salehi Moayad, M. & Karimi, S. (2007). "Environmental Impact Assessment (EIA) of gas pipeline transmission in Bijar with GIS and RS method", *International Journal of Environmental Research*, 33 (41), pp. 33-44. (in Persian)
- Sebastiani, M., Martín, E., Adrianza, D., Méndez, C., Villaró, M., & Saud, Y. (2001). "Linking impact assessment to an environmental management system. Case study: a downstream upgrading petroleum plant in Venezuela", *Environmental Impact Assessment Review*, 21(2), pp. 137-168.
- Shabarchin, O. & Tesfamariam, S. (2016). "Internal corrosion hazard assessment of oil & gas pipelines using Bayesian belief network model", *Journal of loss prevention in the process industries*, 40, pp. 479-495.
- Shackelford, C. D. (2014). "The ISSMGE Kerry Rowe Lecture: The role of diffusion in environmental geotechnics", *Canadian Geotechnical Journal*, 51(11), pp. 1219-1242.
- Shin, E. C. & Das, B. M. (2001). "Bearing capacity of unsaturated oil-contaminated sand", *International Journal of offshore and polar Engineering*, 11(3), pp. 10-17.
- Shin, E. C., Lee, J. B., & Das, B. M. (1999). "Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand", *Geotechnical & Geological Engineering*, 17(2), pp. 123-132.
- Sim, Y. L. (2012). "Some geotechnical properties of palm biodiesel contaminated mining

- sand and weathered granite soil”, *International Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research*, 1(4), pp. 1-8.
- Vijayan, L. & Vijayan, V. S. (2013). “Conservation and Management of Wetland Birds in Rajasthan: Perspectives and Challenges”, in *Faunal Heritage of Rajasthan, India* (pp. 231-244). Springer, Cham.
- Zhang, X., Yu, R., & Chen, J. (2020). “Abandonment Research and Environmental Impact Analysis for Retired Dong-Huang Pipelines”, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 735(1), IOP Publishing.