

ارزیابی و پهنه‌بندی توان روانگرایی نهشته‌های ساحلی (محدوده ساحلی میدان گازی پارس جنوبی)

عباسعلی محمدی^۱، علی ارومیه‌ای^{۲*}، کاظم مرادی هرسینی^۳

دریافت مقاله: ۹۲/۰۴/۰۵ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۲/۰۷

چکیده

پدیده روانگرایی یکی از مخاطرات زمین‌شناسی به شمار می‌آید که تأثیر مستقیم در پایداری سازه‌های زیربنایی دارد. امکان بروز پدیده روانگرایی در یک منطقه به وسیله عواملی مانند خصوصیات خاک، نحوه حضور آب زیرزمینی و توان لرزه‌خیزی ارزیابی می‌شود. منطقه پارس جنوبی در قسمت جنوبی استان بوشهر یکی از مناطق توسعه یافته صنعتی است که تعدادی سازه‌های زیربنایی حیاتی و حساس در آن وجود دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در یک محیط مخروط افکنه‌ای تشکیل شده که دربرگیرنده نهشته‌های سست و ناپیوسته جوان با ترکیبی از رس، سیلت، ماسه و شن می‌باشد.

در این تحقیق گزارش‌های مطالعاتی فازهای ۱۲، ۱۴ و ۱۹ و سایر گزارش‌های مربوط به توسعه تجهیزات ساحلی پارس جنوبی جمع‌آوری شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. عدد نفوذ استاندارد اندازه‌گیری شده در ۶۰ گمانه به همراه سایر اطلاعات ژئوتکنیکی جهت ارزیابی توان روانگرایی لایه‌های ماسه‌ای منطقه مورد استفاده قرار گرفتند. باتوجه به حجم زیاد داده‌ها در این مقاله اطلاعات ۱۶ گمانه منعکس شده است. بررسی‌ها نشان دهنده این است که در محدوده فازهای مطالعاتی ۱۲ و ۱۹ در اثر وقوع یک زلزله با بزرگی ۷ ریشتر و شتاب افقی $0.3g$ امکان بروز پدیده روانگرایی وجود دارد. پهنه‌بندی انجام شده بر اساس شاخص توان روانگرایی نشان دهنده این امر است که با نزدیک شدن به خط ساحلی و با اشباع شدن خاک‌های ماسه‌ای خطر روانگرایی بیشتر شده و با دور شدن از ساحل خطر نسبی روانگرایی کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: پارس جنوبی، خلیج فارس، روانگرایی، آزمون نفوذ استاندارد، خطر لرزه‌ای، پهنه‌بندی روانگرایی

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس uromeia@modares.ac.ir

۳. شرکت مهندسیین مشاور سازه‌پردازی ایران

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

در روش ساده شده، ضریب ایمنی در برابر روانگرایی (F_L) به صورت تناسب ارائه شده در رابطه ۱ بیان می‌گردد.

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

در رابطه فوق CRR مقاومت تناوبی خاک و CSR تنش تناوبی وارده بر خاک در عمق مشخص را نشان می‌دهند. بر مبنای مقدار F_L می‌توان مطابق جدول ۱ قابلیت روانگرایی خاک را در مورد ارزیابی قرار داد.

جدول ۱. ارزیابی قابلیت روانگرایی خاک‌ها بر مبنای

ضریب اطمینان F_L (Ulusay and Kuru, 2004)

ضریب اطمینان F_L	کمتر از ۱	۱- ۱/۲	بیش از ۱/۲
قابلیت روانگرایی	زیاد	متوسط	کم
توصیف خاک	روانگرا	حد واسط	غیر روانگرا

ضریب ایمنی محاسبه شده از این روش به تنهایی نمی‌تواند شدت آسیب وارده به پی‌ها و یا سازه‌ها را نشان دهد. جهت ارزیابی خطر آسیب‌پذیری حاصل از عمل روانگرایی لازم است شدت وقوع روانگرایی مورد بررسی قرار گیرد. به نظر ایواساکی و همکاران عواملی که در تشدید پدیده روانگرایی تأثیر گذارند شامل سه مورد به شرح زیر می‌باشند (Iwasaki et al., 1984):

۱. زیاد بودن ضخامت لایه روانگرا.

۲. کم بودن عمق لایه روانگرا.

۳. کمتر از ۱ بودن ضریب ایمنی لایه روانگرا.

در این مقاله، ارزیابی خطر روانگرایی در محدوده تجهیزات ساحلی میدان گازی پارس جنوبی مورد بررسی قرار گرفته است. این محدوده به دلیل حضور زیرساخت‌های پالایشگاهی و تجهیزات فرآوری میعانات گازی به عنوان منطقه‌ای حیاتی و استراتژیک به شمار می‌آید (سازمان بنادر و دریانوردی و ۱۳۸۷). تراکم بالای ساخت و سازهای صنعتی و فراهم بودن شرایط مساعد از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی و هیدروژئولوژی ضرورت انجام مطالعات یکپارچه جهت ارزیابی مقاومت مصالح خاکی در برابر روانگرایی در محدوده پارس جنوبی را می‌نماید.

ارزیابی قابلیت روانگرایی یکی از مسایل مورد توجه در زمین‌شناسی مهندسی به شمار می‌آید و این موضوع به ویژه به هنگام برنامه‌ریزی و طراحی پروژه‌های زیربنایی و توسعه‌ای برای یک منطقه در نظر باشد. از آنجا که بروز پدیده روانگرایی ارتباط مستقیم با فعالیت‌های لرزه‌خیزی دارد، روش‌های متعددی جهت ارزیابی توان روانگرایی مصالح دانه‌ای در اثر وقوع زمین‌لرزه پیشنهاد شده‌اند. این روش‌ها را می‌توان در چهار گروه اصلی به شرح زیر دسته‌بندی کرد (Iwasaki et al., 1984; Sonmez, 2003):

۱. ارزیابی توان روانگرایی بر مبنای عدد نفوذ استاندارد (SPT).

۲. ارزیابی توان روانگرایی بر مبنای خصوصیات زمین‌شناسی و مورفولوژی.

۳. ارزیابی توان روانگرایی بر مبنای نتایج آزمایش برش سیکلی.

۴. ارزیابی توان روانگرایی بر مبنای مطالعات لرزه‌نگاری و آزمایش میز لرزان.

استفاده از روش ارزیابی خطر روانگرایی بر مبنای عدد SPT در مقایسه با دیگر روش‌ها، یکی از روش‌های متداول برای مطالعه خطر روانگرایی در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران می‌باشد. در این خصوص روابط تجربی متعددی توسط محققین مختلف ارائه شده است. به عنوان مثال، سید و ادريس روش ساده شده‌ای برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس عدد نفوذ استاندارد (SPT) ارائه داده‌اند (Seed and Idriss, 1971). روش ساده شده اولیه سپس طی سال‌ها و توسط محققین مختلف، از جمله خود آن‌ها، مورد ارزیابی و بازنگری قرار گرفته است (Seed et al., 1985; Idriss and Boulanger, 2008; Seed et al., 1983; Seed et al., 2003; Youd et al., 2001) در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ دو کارگروه به منظور ارائه برخی تصحیحات و ایجاد یک توافق در مورد ارزیابی مقاومت مصالح خاکی در برابر روانگرایی برگزار گردید (Youd et al., 2001).

۱. شرایط زمین‌شناسی

و با کم شدن شیب زمین، از قدرت عامل رسوب‌گذار کاسته شده و اندازه دانه‌ها نیز کاهش می‌یابد. در مقابل در محدوده شمال غربی منطقه فراوانی مصالح درشت‌دانه نسبت به محدوده جنوب شرقی بیشتر می‌باشد.

با توجه به نتایج گمانه‌های حفاری شده و نیمرخ‌های رسم شده در شکل (۲)، ضخامت نهشته‌های سطحی از ۲۰ متر تا بیش از ۵۰ متر متغیر است. هم‌چنین در مناطق دور تر از خط ساحلی و با کاسته شدن از ضخامت نهشته‌های سطحی، نهشته‌های سخت شده مربوط به نئوژن (سازندهای آجاجاری و بختیاری) رخنمون می‌یابند. با دور شدن از خط ساحلی و با نزدیک شدن به ارتفاعات، نهشته‌ها از ماسه سیلتی به شن ماسه‌ای تغییر جنس پیدا می‌کنند.

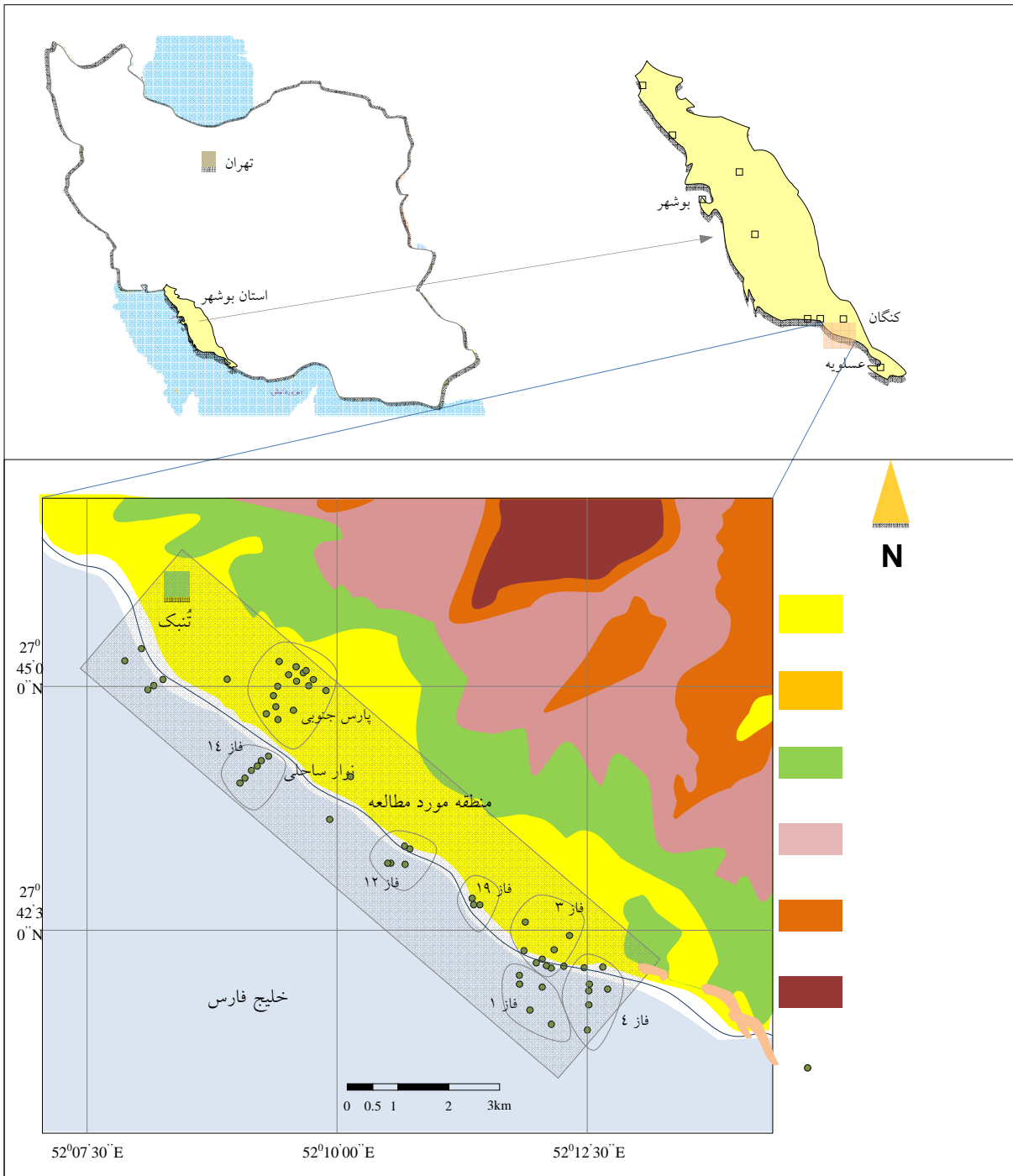
۱-۱. تکتونیک و لرزه‌خیزی منطقه

استان بوشهر از دیدگاه زمین‌شناسی، در پهنه ساختاری زاگرس و جنوب شرق زون فروافتادگی دزفول و فارس بیرونی قرار دارد (آقابات، ۱۳۸۳). به دلیل وجود زون برخوردی زاگرس، سواحل استان بوشهر از دیدگاه تکتونیکی ناحیه‌ای فعال محسوب می‌شود (Casciello et al., 2009). شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده جایگاه زمین‌ساختی منطقه و گسل‌های اصلی موجود می‌باشد. با توجه به فعالیت تکتونیکی منطقه، زمین‌لرزه‌های متعددی در طول زمان در منطقه رخ می‌دهد. جدول ۲ زلزله‌های مهم ۱۰۰ سال گذشته که در فاصله ۱۰۰ کیلومتری منطقه پارس جنوبی به وقوع پیوسته را نشان می‌دهد (وب سایت پژوهشکده بین‌المللی زلزله). با توجه کاتالوگ لرزه‌ای منطقه و با استفاده از روش گوتنبرگ-ریشتر حداکثر بزرگی احتمالی زلزله برابر با ۷ ریشتر و شتاب افقی بیشینه ناشی از زلزله برابر با $0.3g$ محاسبه شده است.

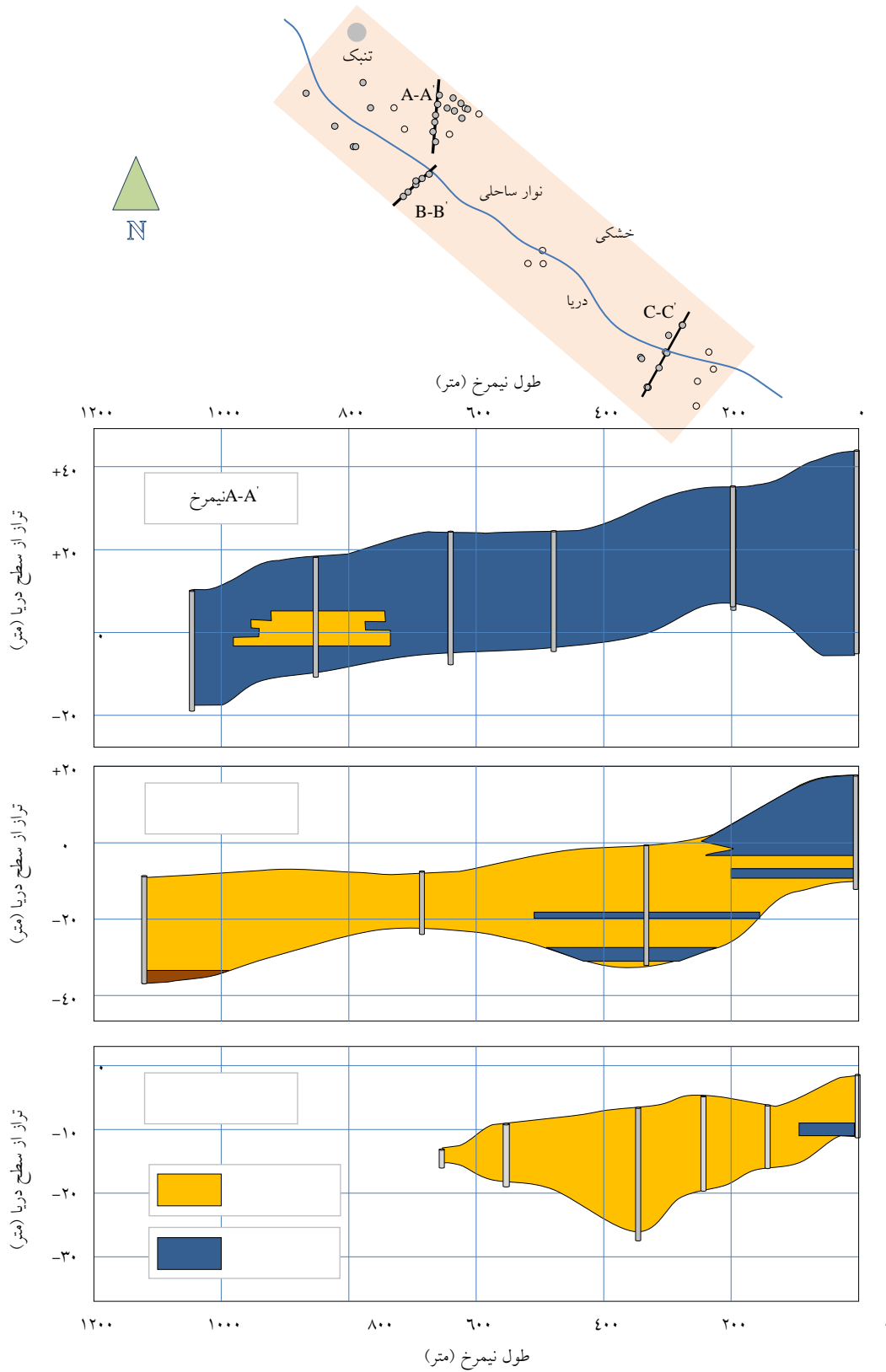
منطقه پارس جنوبی در قسمت جنوب شرقی استان بوشهر و در حدود ۱۵ کیلومتری شهرستان کنگان واقع شده است. از دیدگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل تناوبی از نهشته‌های رسوبی سنوزوئیک و کواترنر می‌باشد که از قدیم به جدید شامل سازندهای پابده گورپی، آسماری، گچساران، میشان و آجاجاری می‌شوند (آقابات، ۱۳۸۳). این واحدهای سنگی توسط نهشته‌های سست و جوان پوشیده شده‌اند. این نهشته‌ها عمدتاً شامل تناوبی از لایه‌های رس و سیلت، ماسه و شن هستند که در یک محیط مخروط افکنه‌ای تشکیل شده و در قسمت‌های ساحلی گسترش دارند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نوع نهشته‌های سطحی منطقه و خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی آن‌ها با حفر ۶۰ گمانه اکتشافی مورد بررسی قرار گرفتند (مهندسین مشاور ایران خاک ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶، مهندسین مشاور دریا خاک‌پی ۱۳۸۶، مهندسین مشاور زمیران ۱۳۹۰). موقعیت حفر گمانه‌های اکتشافی، تنوع نهشته‌های جوان و سطحی و نحوه پراکندگی آن‌ها با استناد به داده‌های حاصل از حفاری‌ها و مدل‌سازی‌های انجام شده در شکل ۲ نشان داده شده است. تنوع و پراکندگی نهشته‌ها در سه نیمرخ در قست‌های مختلف منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. در نیمه شمال غربی منطقه مورد مطالعه (نیمرخ A-A')، نهشته‌های شنی بخش اعظم منطقه را پوشش می‌دهد اما در محدوده جنوب شرقی (نیمرخ C-C')، و همچنین نواحی ساحلی (نیمرخ B-B') از فراوانی نهشته‌های شنی کاسته شده و نهشته‌های ماسه‌ای و ریزدانه‌ها بیشتر می‌گردند. این پدیده را می‌توان به کل شرایط رسوب‌گذاری منطقه نسبت داد که تا عمق ۲۰ متری محدوده مورد مطالعه گسترش دارد. به دلیل وجود محیط مخروط افکنه، با دور شدن از مناطق کوهپایه‌ای

جدول ۲. زلزله‌های مهم رخ داده در فاصله ۱۰۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه (وب سایت پژوهشگاه زلزله)

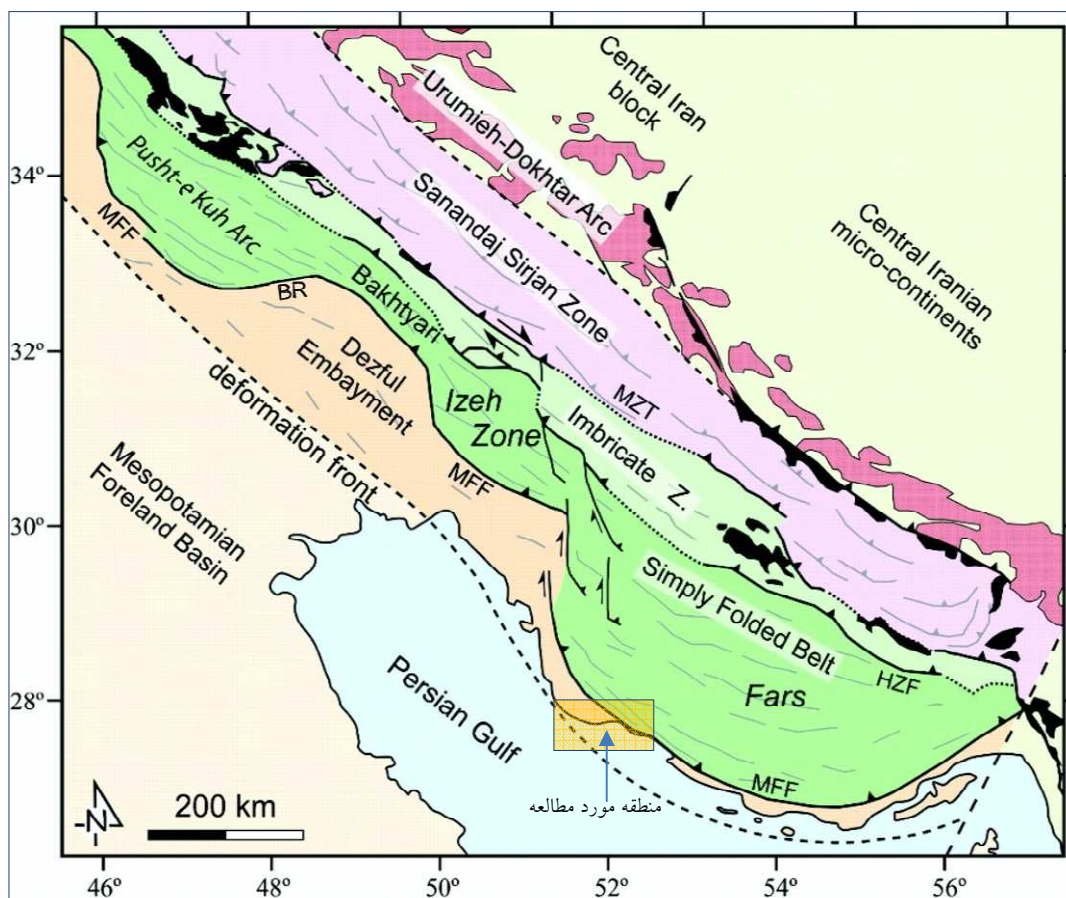
سال وقوع	۱۳۲۹	۱۳۳۵	۱۳۳۹	۱۳۴۳	۱۴۵۱	۱۳۶۴	۱۳۷۳	۱۳۸۱	۱۳۹۲
بزرگی (Ms)	۵/۸	۵/۶	۵/۵	۵/۶	۵/۷	۵/۶	۶/۱	۵/۵	۶/۲
عمق (km)	-	۳۶	۱۵	۱۵	۶	۱۱	۱۲	۱۷	۲۰
موقعیت	جنوب مهر	شمال مهر	غرب لامرد	شرق جم	فیرو کازرین	شرق مهر	فیروزآباد	کنگان	خورموج



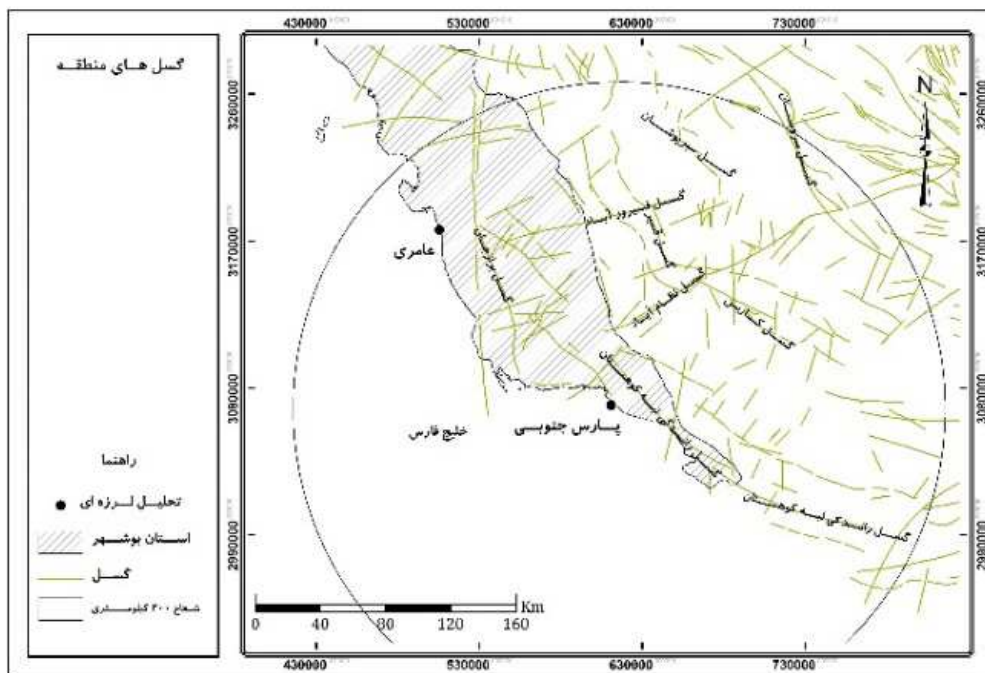
شکل ۱. نقشه زمین شناسی میدان گازی پارس جنوبی (اقتباس از محمدی ۱۳۹۱)



شکل ۲. موقعیت حفر گمانه‌های اکتشافی و خصوصیات نهشته‌های سوبی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. جایگاه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (نقل از Casciello et al., 2009)



شکل ۴. پراکندگی گسل های اصلی در محدوده منطقه مورد مطالعه (نقل از محمدی ۱۳۹۲)

۲-۱. سطح آب زیرزمینی

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده بیشترین ارتفاع زمین از سطح آب‌های آزاد در محدوده مورد مطالعه برابر با ۳۱ متر می‌باشد. در نزدیکی خط ساحلی، به دلیل وجود آب‌های آزاد، عمق آب بسیار کم بوده و به کمتر از یک متر می‌رسد. در مقابل، با دور شدن از خط ساحلی و افزایش ارتفاع، عمق آب زیرزمینی نیز افزایش یافته به نحوی که در مرتفع‌ترین گمانه‌ها عمق آب بین ۶ تا ۱۲ متری از سطح زمین متغیر می‌باشد (مهندسین مشاور زمیران ۱۳۹۰).

۳-۱. فراوانی انواع نهشته‌ها

همانطور که قبلاً مطرح شد، نهشته‌های سطحی و ناپیوسته منطقه در محیط‌های مخروط افکنه‌ای تشکیل شده‌اند. نمونه‌گیری‌های انجام شده در عملیات حفاری و آزمایش‌های دانه‌بندی صورت گرفته بر روی آن‌ها نشان‌دهنده این امر است که فراوانی مصالح دانه‌ای (شن و ماسه) بیشترین فراوانی را در منطقه دارند. مطابق نمودارهای ارائه شده در شکل ۵، و بر مبنای طبقه‌بندی خاک‌ها به روش یونیفاید، خاک‌های از نوع SM و GM به ترتیب ۴۱٪ و ۳۸٪ نهشته‌ها را تشکیل می‌دهند. در مقابل خاک‌های از نوع CL و ML به ترتیب ۱٪ و ۵٪ را شامل می‌شوند. بنابراین فراوانی نهشته‌های جوان و سست از یک طرف و عمق کم سطح آب زیرزمینی از طرف دیگر، شرایط مناسبی را برای وقوع روانگرایی به وجود آورده است.

۲. روش‌شناسی تحقیق

از آنجا که ضخامت، عمق و ضریب ایمنی لایه دارای توان روانگرایی در میزان خسارت ایجاد شده توسط پدیده روانگرایی تأثیر بسیار زیادی دارد، ایواساکی و همکاران به منظور بیان کمی شدت روانگرایی شاخص توان روانگرایی (Liquefaction Potential Index, LPI) را مطابق رابطه ۲

پیشنهاد کردند. این شاخص دربردارنده تأثیر عمق، ضخامت و مقدار ضریب ایمنی لایه روانگرا می‌باشد. رابطه ۲ بیان‌کننده نحوه محاسبه این شاخص می‌باشند (Iwasaki et al., 1984).

$$LPI = \int_0^{20} F W(Z) dz$$

که جایی که $F = 1 - F_L$ ، جایی که $F \leq 1$ باشد و $F = 0$ جایی که $F_L > 1$ باشد. ضمناً $W(Z) = 10 - 0.0Z$ در شرایطی که $Z < 20m$ باشد.

بر اساس نتایج حاصل از این روابط می‌توان خطر روانگرایی در مناطق مختلف را به صورت کمی بیان کرد. دسته‌بندی قابلیت روانگرایی خاک‌ها بر اساس محاسبه شاخص توان روانگرایی ارائه شده توسط (Iwasaki et al., 1984) که به وسیله (Sonmez, 2003) مورد بازبینی قرار گرفته است در جدول ۳ نشان داده شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر روانگرایی منطقه بر مبنای همین محاسبات و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc-GIS-10 انجام پذیرفت.

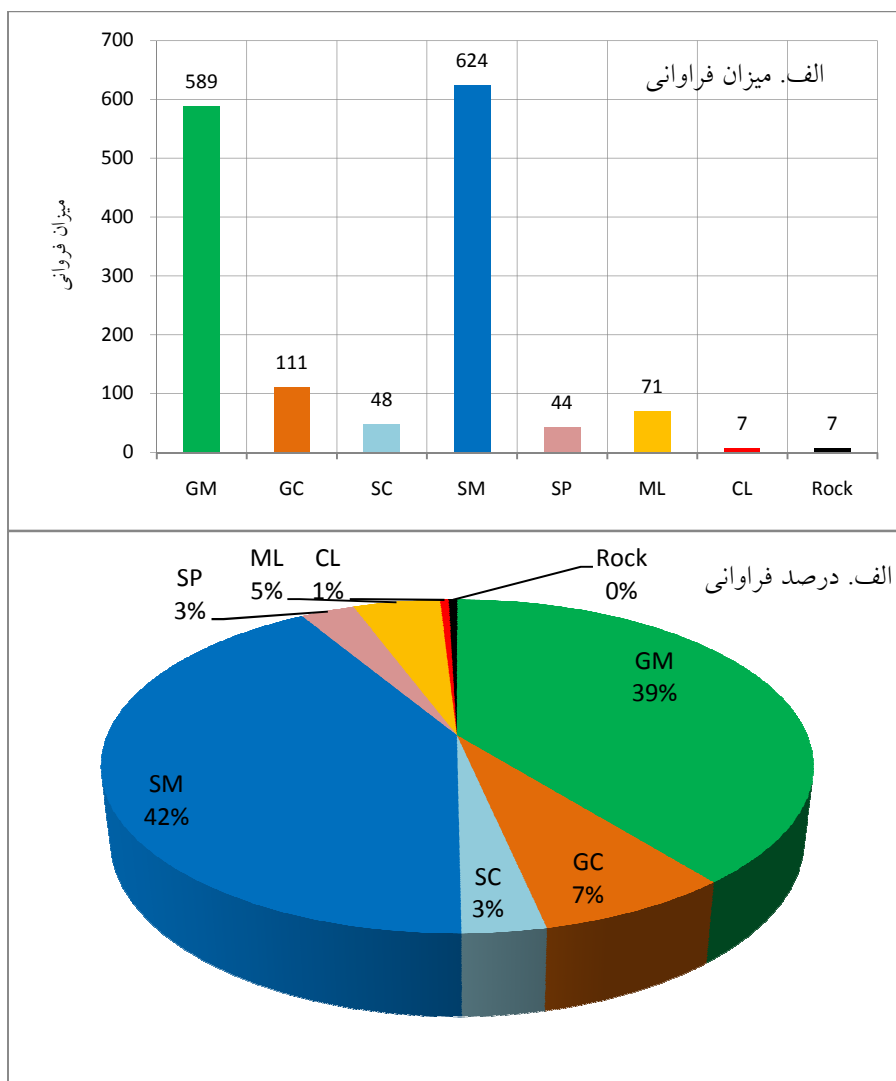
جدول ۳. رده‌بندی شاخص توان روانگرایی (LPI) خاک‌ها

(به نقل از Sonmez, 2003)

رده‌بندی روانگرایی	I	II	III	IV	V
(LPI)	0	0-2	2-5	5-15	15>
پتانسیل روانگرایی	وجود ندارد	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

۳. ارزیابی قابلیت روانگرایی نهشته‌های ساحلی

به منظور ارزیابی قابلیت روانگرایی نهشته‌های ساحلی از داده‌های ژئوتکنیکی به دست آمده از گمانه‌های حفاری شده استفاده گردید. تعداد ۶۰ گمانه با میانگین عمق ۳۰ متر از مجموعه گزارش‌های مطالعاتی انجام شده در منطقه استخراج شدند. جدول ۴ بخشی از اطلاعات ژئوتکنیکی منطقه را منعکس می‌کند.



شکل ۵. میزان و درصد فراوانی نوع خاک های منطقه مورد مطالعه

۱. حداکثر شتاب افقی زمین (a_{max}): بر اساس حداکثر شتاب افقی زمین با در نظر گرفتن شعاع تأثیر و عمق لایه مورد نظر شاخص میانگین تنش تناوبی (CSR) تعیین می شود. این شاخص نقش بازدارنده در محاسبه ضریب اطمینان دارد که قسمت کسر رابطه شماره ۱ را تشکیل می دهد.
۲. شدت زمین لرزه (M_w): شدت زمین لرزه در محاسبه ضریب تنش لرزه ای (MSF) محاسبه می شود که در آن نقش منفی دارد.
۳. عدد نفوذ استاندارد (N): عدد نفوذ استاندارد (N) در محاسبه عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده بر مبنای انرژی 60% (N_{60}) مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول ۴. فراوانی داده های ژئوتکنیکی جمع آوری شده از

گمانه در فازهای مختلف

تعداد گمانه	متوسط عمق	تعداد آزمایش SPT	حدود آتبرگ	برش مستقیم، تراکم تک محوری
۲۹	۳۳	۵۱۳	۳۴۷	۷۷
۱۰	۱۴	۳۵	-	۲۳
۴	۳۵	۴۲	۱۲	۶

محاسبه ضریب ایمنی در برابر روانگرایی با استفاده از روش ساده شده سید و ادریس که در سال (۱۹۷۱) معرفی گردید و با در نظر گرفتن اصلاحات پیشنهادی (Youd et al. 2001) انجام پذیرفت که به صورت نمودار در شکل ۶ نشان داده شده است. پنج عامل اصلی در این بررسی مورد توجه قرار می گیرند و شامل:

طریق روش پیشنهادی (Youd et al. 2001)، محاسبه عدد نفوذ استاندارد معادل برای ماسه‌های تمیز $(N_1)_{60CS}$ امکان‌پذیر است، ولی ارزیابی مقاومت برشی تناوبی (CRR) نهشته‌های دارای ریزدانه بیشتر از ۵ درصد بسیار محتاطانه خواهد بود. بود و همکاران خاطر نشان کرده‌اند که تصحیحات مربوط به محتوای ریزدانه نهشته می‌بایست با قضاوت مهندسی همراه باشد (Sonmez, 2003). از این رو معیارهای پیشنهادی (Andrews and Martin 2000) برای لایه‌های دارای ریزدانه بیشتر از ۳۵ درصد مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۴. نقشه پهنه‌بندی قابلیت روانگرایی

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی قابلیت روانگرایی در نهشته‌های ساحلی در محدوده تجهیزات ساحلی پارس جنوبی، ابتدا نقشه‌های پایه توپوگرافی منطقه رقومی شده و سپس موقعیت گمانه‌های حفاری شده با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 بر روی آن نشان داده شدند. با استناد به داده‌های ژئوتکنیکی استخراج شده و با استفاده از روش توضیح داده شده، ضریب اطمینان در برابر روانگرایی در اعماق مختلف هریک از گمانه‌ها محاسبه گردید. به دلیل حجم بالای داده‌های ورودی و به منظور مدیریت آسان‌تر محاسبات، نرم‌افزار Excel برای انجام آن‌ها به کار گرفته شد. پس از محاسبه ضریب اطمینان برای اعماق مختلف یک گمانه، شاخص توان روانگرایی (LPI) با استفاده از روابط بیان شده برای هریک از گمانه‌ها محاسبه گردید. خلاصه نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص توان روانگرایی برای تعدادی از گمانه‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

۴. فشار روباره مؤثر (σ'_v): تنش روباره مؤثر در لایه مورد نظر در محاسبه ضریب تصحیح فشار روباره (CN) به کار گرفته می‌شود.

۵. درصد فراوانی مواد ریزدانه ($FC\%$): درصد فراوانی مواد ریزدانه در خاک برای محاسبه دو ضریب α و β خاک که به ترتیب بیانگر فراوانی مواد ریزدانه سیلتی و مواد ریزدانه رسی در لایه مورد نظر است، می‌باشد.

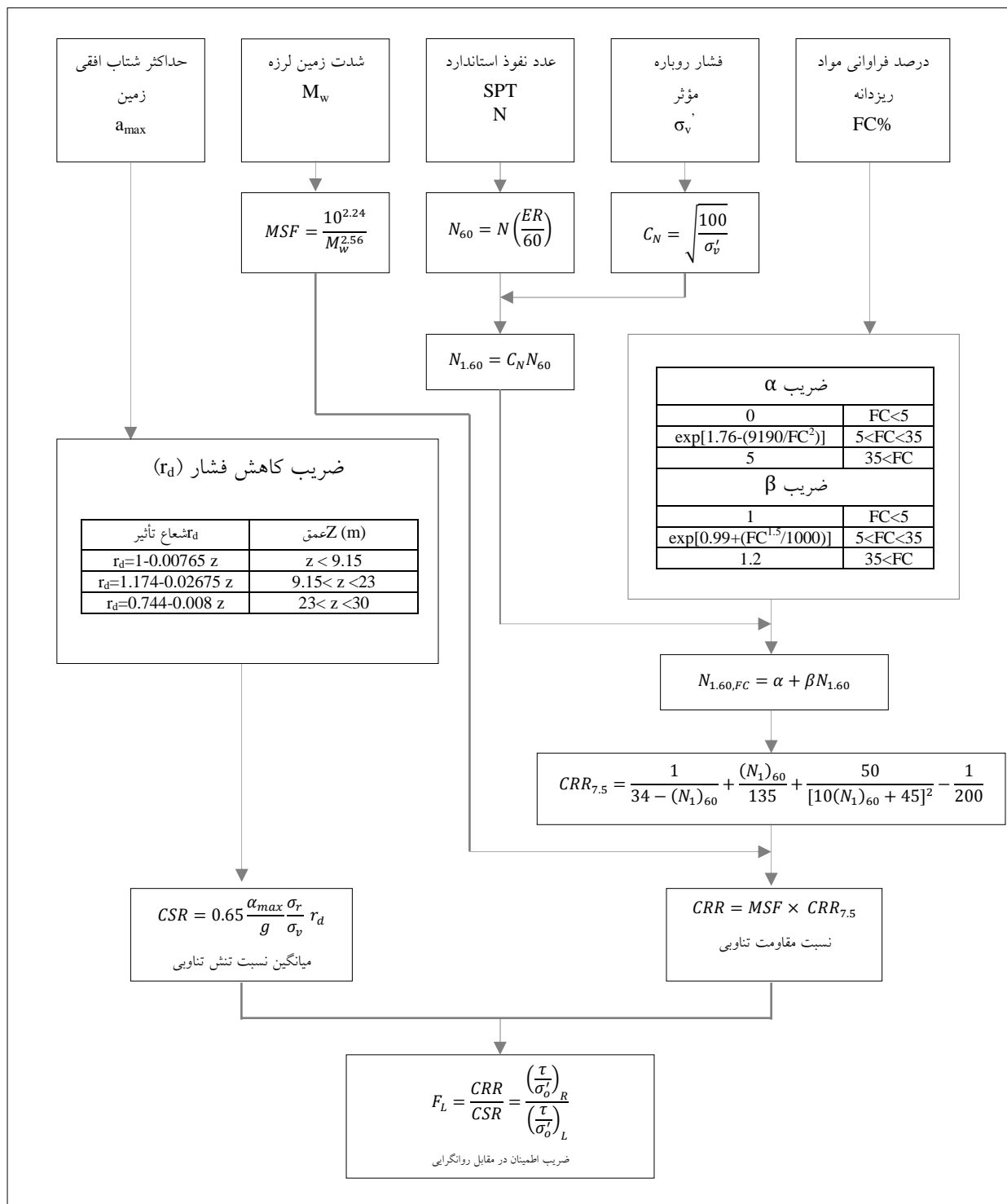
با توجه به مجموعه عوامل ۲ ال ۵ شاخص مقاومت تناوبی (CRR) محاسبه می‌شود. این شاخص رابطه مستقیم با ضریب اطمینان دارد. تصحیحات انجام شده در محاسبه ضریب اطمینان برای عوامل ۴، ۳، ۱ و ۵ بر اساس مقادیر پیشنهادی (Liao and Whitman 1986) و تصحیح عامل شدت زمین‌لرزه بر مبنای پیشنهاد (Robertson and Wride 1997) انجام پذیرفته است.

به منظور اطمینان از صحت داده‌های ورودی، با توجه به تنوع در منابع مورد استفاده، سعی شده است داده‌هایی به کار گرفته شوند که در شرایط مشابه (از دیدگاه شرایط آزمایش) برداشت شده باشند. همچنین با محاسبه انحراف معیار، از داده‌های دارای انحراف زیاد صرف‌نظر گردیده است. ضریب ایمنی محاسبه شده در برابر روانگرایی در اعماق مختلف برای یکی از گمانه‌ها در شکل ۷ ارائه شده است.

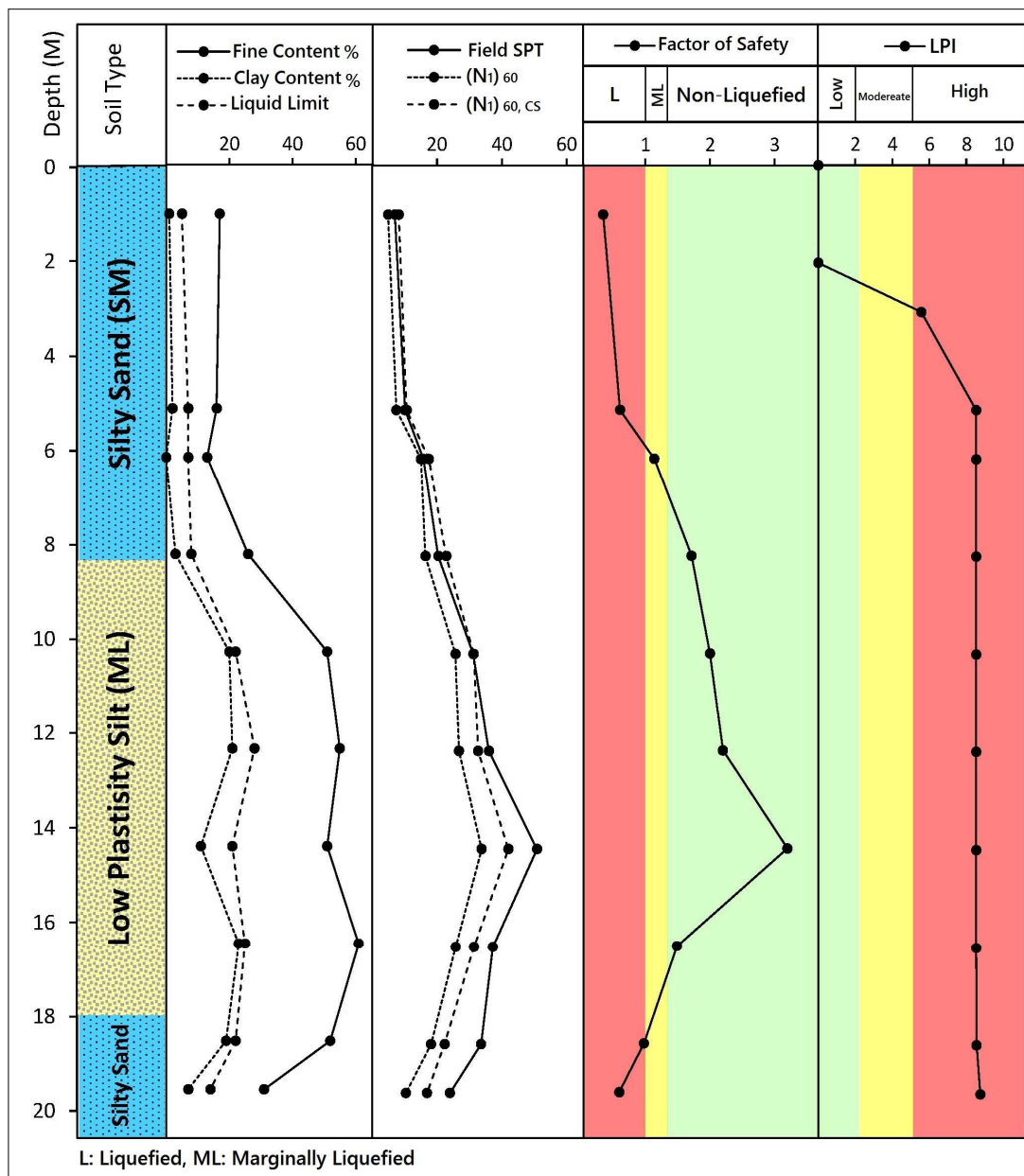
از آنجا که روابط ارائه شده توسط سید و ادیس در محدوده ماسه تمیز (ریزدانه کمتر از ۵ درصد) دارای اعتبار می‌باشد، می‌بایست عدد نفوذ استاندارد معادل برای ماسه‌های دارای بیشتر از ۵ درصد ریزدانه مورد محاسبه قرار بگیرد. اگرچه از

جدول ۵. شاخص توان روانگرایی (LPI) محاسبه شده برای برخی از گمانه‌ها

نام گمانه	عمق آب (متر)	LPI	توان روانگرایی	نام گمانه	عمق آب (متر)	LPI	توان روانگرایی
BH-1	دریایی	۲۳	خیلی زیاد	BH-9	دریایی	۳	متوسط
BH-2	۲	۰	خیلی کم	BH-10	دریایی	۲۰	خیلی زیاد
BH-3	۳	۱	کم	BH-11	دریایی	۳	متوسط
BH-4	۲	۳	متوسط	BH-12	دریایی	۱	کم
BH-5	۳	۲۲	خیلی زیاد	BH-13	دریایی	۰	خیلی کم
BH-6	۴	۱	کم	BH-14	دریایی	۰	خیلی کم
BH-7	دریایی	۱۱	زیاد	BH-15	۶	۰	خیلی کم
BH-8	دریایی	۰	خیلی کم	BH-16	۵	۱	کم



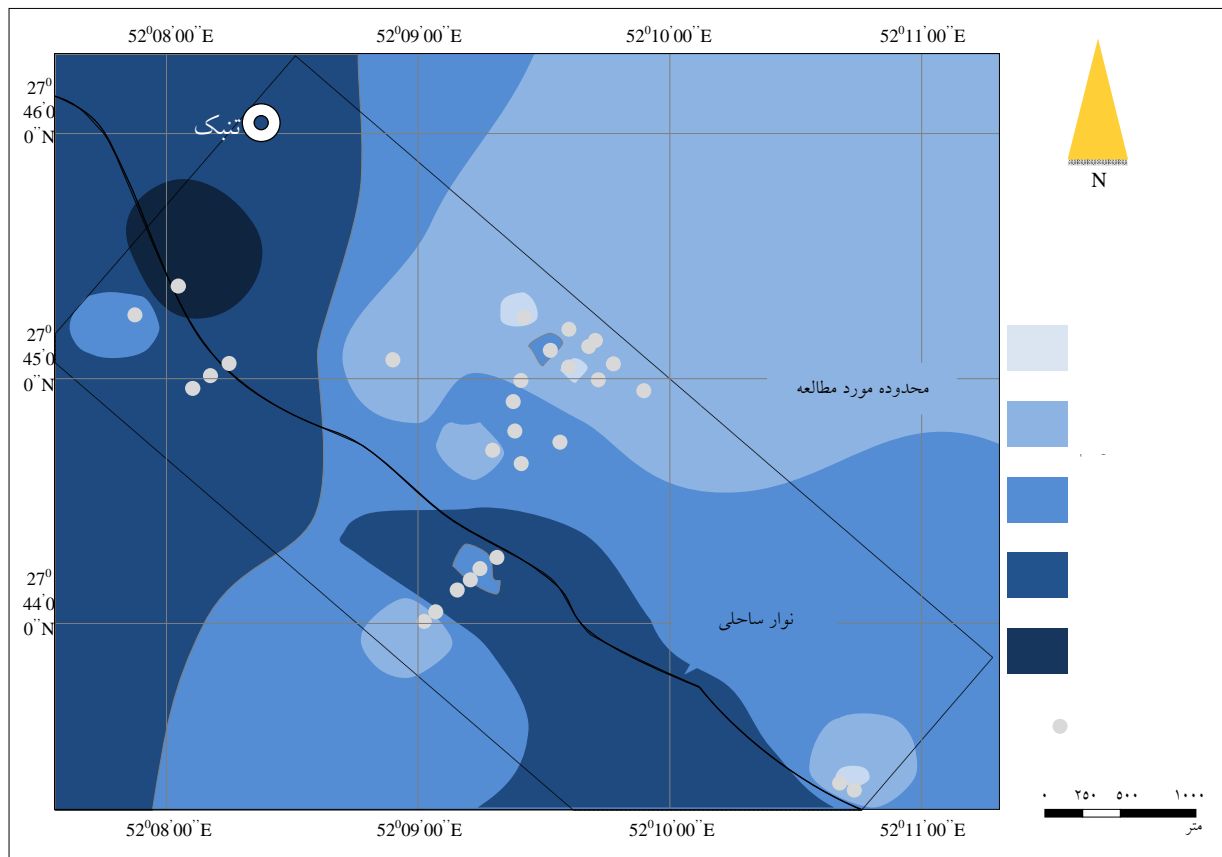
شکل ۶. روش محاسبه ضریب ایمنی در برابر روانگرایی (روش اصلاح شده Chung and Rogers, 2011)



شکل ۷. نمایش نتایج محاسبات شرایط روانگرایی در یکی از لاگ‌های حفاری گمانه شماره ۳۴ (مهندسین مشاور ایران خاک ۱۳۸۱)

منطقه از نظر توان روانگرایی به پنج پهنه تقسیم‌بندی شدند. بدترین حالت روانگرایی (خطر خیلی زیاد) در حوالی جنوب شهرستان تنبک و در نوار ساحلی دیده شد. نواحی غربی و بخش‌هایی از نواحی ساحلی جنوب منطقه نیز دارای خطر روانگرایی زیاد می‌باشند به سمت نواحی شمال‌شرقی و با درشت‌تر شدن اندازه ذرات خاک و پایین رفتن سطح تراز آب زیرزمینی مناطق با خطر روانگرایی کم حاکم می‌باشد.

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی برای منطقه، لازم شد از روش‌های مدل‌سازی زمین آماری استفاده شود. پس از بررسی روش‌های درون‌یابی مختلف مشخص گردید روش کریجینگ ساده با مدل برازش داده شده دایره‌ای بیشترین سازگاری را با پراکنندگی داده‌ها دارد. بنابراین این مدل به عنوان روش درون‌یابی داده‌ها در تهیه نقشه به کار گرفته شد. نقشه پهنه‌بندی خطر روانگرایی منطقه بر مبنای شاخص توان روانگرایی (LPI) در شکل ۸ ارائه شده است. در این نقشه



شکل ۸. نقشه پهنه بندی خطر روانگرایی در میدان گازی پارس جنوبی

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق، نقشه قابلیت روانگرایی نهشته‌های ساحلی در محدوده تجهیزات ساحلی پارس جنوبی در اثر زلزله‌ای با بزرگی ۷ ریشتر و شتاب بیشینه $0.3g$ تهیه گردید. عمق کم آب زیرزمینی به دلیل نزدیکی آب‌های آزاد و سن کم نهشته‌ها (هولوسن)، شرایط مناسبی جهت وقوع روانگرایی پدید آورده است. محدوده مورد مطالعه شامل بخشی از گمانه‌های حفاری شده در دریا و خشکی می‌باشد. مصالح دانه‌ای (ماسه و شن) بیش از ۹۰٪ از نمونه‌های اخذ شده را به خود اختصاص داده‌اند. در سمت خشکی، با فاصله گرفتن از نوار ساحلی به اندازه دانه‌ها افزوده می‌شود و نهشته‌های شنی غالب می‌گردند. در سمت دریا، فراوانی نمونه‌های ماسه‌ای بیشتر بوده و اکثریت نمونه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند.

روش به کار گرفته شده جهت محاسبه ضریب اطمینان در برابر روانگرایی ($F_L = \frac{CRR}{CSR}$) با توجه به در نظر گرفتن عوامل مختلف تأثیرگذار نتایج مطلوبی را نشان می‌دهد که با واقعیات زمین هماهنگی نزدیکی دارد. استفاده از این ضریب جهت محاسبه شاخص توان روانگرایی منجر به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر روانگرایی منطقه گردید که مبنای مناسبی جهت برنامه‌ریزی توسعه‌ای منطقه می‌باشد. نهشته‌های ماسه‌ای اشباع در بخش دریایی منطقه مورد مطالعه دارای قابلیت روانگرایی بالا تا متوسط هستند. در مناطق دورتر از ساحل و در سمت خشکی، نهشته‌های شنی دارای پتانسیل کم تا خیلی کم هستند. بیشترین منطقه با خطر روانگرایی خیلی زیاد در قسمت‌های جنوبی شهرستان تنبک دیده می‌شود.

منابع

- آقاباتی، سید علی. ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و تحقیقات معدنی کشور، ۶۴۰ صفحه.
- سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷، طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM)، ۱۲۸ صفحه.
- محمدی، عباس‌علی. ۱۳۹۱، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نوار ساحلی استان بوشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، استاد راهنما دکتر علی ارومیه‌ای، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهندسین مشاور ایران خاک، ۱۳۸۱، مطالعات ژئوتکنیکی مقدماتی و تکمیلی ال ان جی پارس، ۷۵ صفحه.
- مهندسین مشاور ایران خاک، ۱۳۸۶، مطالعات توسعه فاز ۱۲ میدان گازی پارس جنوبی (B1,B2)، ۶۸ صفحه.
- مهندسین مشاور دریا خاک پی، ۱۳۸۶، مطالعات توسعه فاز ۱۲ میدان گازی پارس جنوبی (B3,B4)، ۹۴ صفحه.
- مهندسین مشاور زمیران، ۱۳۹۰، مطالعات توسعه تجهیزات ساحلی میدان گازی پارس جنوبی، فاز ۱۹، ۸۶ صفحه.
- وب سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- [http://www.iiees.ac.ir/iiees/EQsearch/\(S\(n4vbbzkwklgh35flzc1wi2dt\)\)/EventQuery.aspx](http://www.iiees.ac.ir/iiees/EQsearch/(S(n4vbbzkwklgh35flzc1wi2dt))/EventQuery.aspx)
- Andrews, D., and Martin, G., 2000. Criteria for liquefaction of silty sands, in Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Casciello, E., Vergés, J., Saura, E., Casini, G., Fernández, N., Blanc, E., Homke, S., and Hunt, D., 2009, Fold patterns and multilayer rheology of the Lurestan Province, Zagros Simply Folded Belt (Iran): Journal of the Geological Society, v. 166, no. 5, p. 947-959.
- Idriss, I., and Boulanger, R. W., 2008, Soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute.
- Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K.-I., 1984, Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes: International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 3, no. 1, p. 49-58.
- Liao, S., and Whitman, R., 1986, Overburden Correction Factors for SPT in Sand: Journal of Geotechnical Engineering, v. 112, no. 3, p. 373-377.
- Robertson, P., K., and Wride, C. E., Cyclic liquefaction and its evaluation based on the SPT and CPT: Seismic Short Course on Evaluation and Mitigation of Earthquake Induced Liquefaction Hazards, in Proceedings NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, San Francisco, CA., 1997, p. 42-59.
- Seed, H.B., and Idriss, I. M., 1971, Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, v. 97, no. 9, p. 1249-1273.
- Seed, H.B., Idriss, I., and Arango, I., 1983, Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data: Journal of Geotechnical Engineering, v. 109, no. 3, p. 458-482.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L., and Chung, R., 1985, Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations: Journal of Geotechnical Engineering, v. 111, no. 12, p. 1425-1445.
- Seed, H.B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E., and Faris, A., 2003. Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework, in Proceedings Annual ASCE, Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA., April 30, 2003, COLLEGE OF ENGINEERING, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY, p. 72.
- Sonmez, H., 2003, Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey): Environmental Geology, v. 44, no. 7, p. 862-871.

Youd, T., Idriss, I., Andrus, R., Arango, I., Castro, G., Christian, J., Dobry, R., Finn, W., Harder, L., Hynes, M., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson, W., Martin, G., Mitchell, J., Moriwaki, Y., Power, M., Robertson, P., Seed, R., and Stokoe, K., 2001, Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 127, no. 10, p. 817-833.