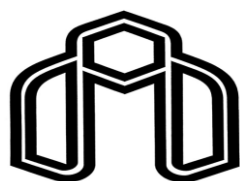


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

عنوان

ریز پهنه‌بندی خطر روانگرایی در سواحل بندرعباس

محسن قاسمی گوربندی

اساتید راهنما

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر ابراهیم حق‌شناس

استاد مشاور

دکتر پیمان رضائی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۰



دانشگاه گیلان

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن قاسمی گوربندی رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان: ریز بهنه بندی خطر روانگرایی در سواحل بندرعباس که در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز ۱۸/۱۶)
--------------------------------	------------------------------------	--

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹-۱۸)

۳- قابل قبول (۱۵/۹۹-۱۶)

۴- خوب (۱۷/۹۹-۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر ناصر حaghghi مقدس	۱- استاد ارشد
	استاد	دکتر امیرحسین حق شناس	۲- استاد ارشد
	استاد	دکتر بهمن رحمانی	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر غلامعلی گانظری	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر غلامحسین گرمی	۵- استاد معین
	استاد	دکتر محمد عطایی	۶- استاد معین

رئیس دانشکده:

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود


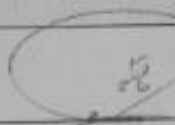

دانشکده : علوم زمین

گروه : آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن قاسمی گوربندی

تحت عنوان: ریز پهنه بندی خطرروانگرایی در سواحل بندرعباس

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه خیلی خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر پیمان رضایی		نام و نام خانوادگی : دکتر ناصر حافظی مقدس
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر ابراهیم حق شناس

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر غلامعباس کاظمی		نام و نام خانوادگی : دکتر غلامحسین کرمی
			نام و نام خانوادگی : دکتر محمد عطائی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم ہے:

حامیان زندگی ام:

پدر دل سوز و مہربانم

مادر بزرگو اور صبورم

تشکر و قدردانی

اینک که به لطف پروردگار قادر به اتمام این تحقیق گشته‌ام به مصداق این روایت از امام رضا (ع)

(مَنْ لَمْ يَشْكُرِ الْمُنْعِمَ مِنَ الْمَخْلُوقِينَ لَمْ يَشْكُرِ اللَّهَ عَزَّوَجَلَّ)

بر خود لازم می‌دانم از عزیزانی که بنده را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند قدردانی نمایم. از خانواده دلسوزم به خصوص پدر و مادر مهربانم نهایت تشکر و قدردانی را دارم که زمینه تحصیل و رفاه بنده را فراهم نمودند و از خداوند منان آرزوی توفیق و سلامتی روزافزون برای ایشان دارم. از اساتید بزرگوام جناب آقای دکتر حافظی مقدس، دکتر حق‌شناس و دکتر رضائی که در طی مراحل انجام پایان نامه با حوصله و متانت مرا راهنمایی و مشاوره نمودند کمال تقدیر و تشکر را دارم.

وظیفه خود می‌دانم از تمامی اساتیدی که در دوران تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد افتخار شاگردی در محضرشان را داشتم از جمله آقایان دکتر کرمی، دکتر فردوست، دکتر قشلاقی و مهندس نادری و سرکار خانم دکتر دهرآزما و همچنین از کارشناسان محترم دانشکده جناب آقای مهندس خانعلیزاده و سرکار خانم فارسی کمال تشکر را دارم.

از مهندس درویش زاده و مهندس کوتاهی که در مراحل جمع آوری اطلاعات و انجام پایان نامه بنده را یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌نمایم. همچنین از دوستان عزیزم که به نحوی در انجام این تحقیق بنده را یاری نموده‌اند؛ آقایان احمدی‌ششده، افروغ، کردوانی، محمودی‌نیکو، درویش‌پور، قاسم زاده، فتحی هفشجانی، شفیعی رشوانلو، رستمی زرین‌آبادی، زارع، شکری، شمسی و خانم‌ها رفیعی، آذرمی، اسکندری و منصوری قدردانی می‌نمایم.

محسن قاسمی گوربندی

بهمن ماه ۱۳۹۰

تعهد نامه

اینجانب محسن قاسمی گوربندی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش ریزست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ریز پهنه بندی خطر روانگرایی در سواحل بندر عباس تحت راهنمایی دکتر ناصر حافظی مقدس و دکتر ابراهیم حق شناس متعهد می شوم

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و امانت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا استیضای در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود رنده (یا یافته های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی کسبی رعایت شده است.

۸۸۰۲۳۸۴

تاریخ

امکتهای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مفصلی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بسیاری از خسارت‌های ناشی از زلزله، ناشی از وقوع پدیده‌های مخرب ژئوتکنیک لرزه‌ای هستند. یکی از این پدیده‌ها، روانگرایی می‌باشد که به هنگام وقوع زلزله در خاک‌های اشباع غیر مترکم از نوع ماسه ریز دانه یا لای درشت مشاهده می‌شود. با توجه به شرایط بالای لرزه‌خیزی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی آب شور نفوذی از دریا و خصوصیات بافت خاک، بخش خاوری شهر بندرعباس از استعداد بالایی برای وقوع روانگرایی برخوردار می‌باشد.

در این تحقیق، پتانسیل خطر روانگرایی بخش خاوری ساحل شهر بندرعباس به مساحت حدود ۱۲ کیلومتر مربع، بر اساس اطلاعات ژئوتکنیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت شرایط زمین‌شناسی و بافت خاک در بروز روانگرایی، ابتدا بافت خاک این محدوده توسط بازید صحرایی، گمانه‌های حفاری شده و عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، نقشه سطح آب زیرزمینی با استفاده از برداشت‌های محلی و سطح آب ثابت شده در گمانه‌ها به هنگام حفاری، ترسیم گردید. در این مطالعه از تعداد ۳۰ گمانه اکتشافی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) که در آنها آزمایش دانه‌بندی و طبقه‌بندی خاک انجام شده بود، به عنوان پایگاه اطلاعات ژئوتکنیکی استفاده قرار گرفته است. برای مطالعه دقیق و سیستماتیک پتانسیل خطر روانگرایی، محدوده مطالعاتی به شبکه‌های ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر تقسیم و خصوصیات خاک در هر شبکه برآورد گردید.

به منظور ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روش تعیینی سید و همکاران (Seed et al. 2003) استفاده و ضریب اطمینان روانگرایی (FS) برای اعماق مختلف محاسبه شد. سپس شاخص پتانسیل روانگرایی (PL) براساس روش ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al. 1982) برای هر گمانه بدست آمد. در این تحقیق از شتاب $0.35g$ ، که آئین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله برای شهر بندرعباس تعیین کرده، به عنوان شتاب سنگ بستر مورد استفاده قرار گرفته است. البته شتاب آئین‌نامه برای سطح زمین است ولی بصورت محافظه کارانه این مقدار در این مطالعه به سنگ بستر نسبت داده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار EERA شتاب در سطح تعیین گردید و بر مبنای آن ضریب اطمینان و شاخص پتانسیل روانگرایی محاسبه شد. بررسی بافت خاک نشان داد که بافت خاک محدوده مطالعاتی عمدتاً ماسه‌ای و از نوع SM و SP می‌باشد. همچنین بررسی سطح آب زیرزمینی حاکی از تغییرات زیاد سطح آب در این محدوده است به طوری که در نزدیکی ساحل سطح آب $0.5 - 1$ متر بوده و با فاصله گرفتن از ساحل، در باختر و شمال غرب شهر به $15 - 20$ متر نیز می‌رسد.

بر اساس یافته‌های این تحقیق، بخشی از خاور شهر بندرعباس که بین خط ساحلی تا محدوده مرکزی قرار دارد، دارای شاخص پتانسیل بیشتر از ۱۵ بوده که این امر نشان دهنده خطر روانگرایی زیاد در این محدوده است. بنابراین، نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق‌تر برای احداث انواع سازه‌ها ضروری می‌باشد و استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی الزامی است. از محدوده مرکزی به سمت شمال منطقه مطالعاتی، به استثنای تعداد محدودی از شبکه‌ها و حریم ۵۰ متری که برای رودخانه‌های در نظر گرفته شده است در سایر شبکه‌ها پتانسیل خطر روانگرایی صفر بوده و نیازی به تحقیقات و مطالعات تکمیلی نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: زلزله، روانگرایی، بندرعباس، آزمایش نفوذ استاندارد

فهرست مطالب

عنوان	فصل اول: کلیات	صفحه
۱-۱- مقدمه.....		۲
۲-۱- ضرورت و اهداف تحقیق.....		۴
۳-۱- روش انجام تحقیق.....		۴
۴-۱- ویژگی‌های عمومی منطقه مورد مطالعه.....		۵
۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....		۶
۲-۴-۱- ویژگی‌های اقلیمی.....		۶
۵-۱- ساختار پایان‌نامه.....		۸

فصل دوم: زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی منطقه

۱-۲- مقدمه.....		۱۰
۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه.....		۱۰
۱-۲-۲- سازند میشان.....		۱۳
۲-۲-۲- سازند آغاچاری.....		۱۳
۳-۲-۲- نهشته‌های کوترنری.....		۱۴
۳-۲- بررسی وضعیت تراز آب زیرزمینی.....		۱۴
۴-۲- زمین‌ساخت استان هرمزگان.....		۱۶
۵-۲- لرزه زمین‌ساخت.....		۱۶
۱-۵-۲- گسل لبه کوهستان.....		۱۸
۲-۵-۲- گسل پیش‌ژرفای کوهستان.....		۱۸
۳-۵-۲- گسل‌های امتداد لغز.....		۱۹
۶-۲- لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه.....		۲۰
۷-۲- جمع‌بندی.....		۲۳

فصل سوم: ادبیات فنی و مروری بر مطالعات گذشته

۱-۳- مقدمه.....		۲۵
۲-۳- پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای.....		۲۵
۳-۳- مشخصات و درجه‌های پهنه‌بندی.....		۲۷

- ۲۷..... ۱-۳-۳- پهنه‌بندی درجه یک.....
- ۲۸..... ۲-۳-۳- پهنه‌بندی درجه دو.....
- ۲۸..... ۳-۳-۳- پهنه‌بندی درجه سه.....
- ۲۹..... ۴-۳- تاریخچه مطالعه پدیده روانگرایی.....
- ۳۰..... ۵-۳- سازوکار وقوع روانگرایی.....
- ۳۱..... ۶-۳- عوامل کنترل کننده روانگرایی.....
- ۳۲..... ۱-۶-۳- تراز آب زیرزمینی.....
- ۳۲..... ۲-۶-۳- شدت و مدت زلزله.....
- ۳۲..... ۳-۶-۳- نوع خاک.....
- ۳۳..... ۴-۶-۳- چگالی نسبی خاک.....
- ۳۴..... ۵-۶-۳- دانه‌بندی.....
- ۳۴..... ۶-۶-۳- شرایط زهکشی.....
- ۳۴..... ۷-۶-۳- شرایط زمین شناسی.....
- ۳۴..... ۸-۶-۳- ویژگی‌های سخت‌شدگی.....
- ۳۵..... ۷-۳- سازوکارهای گسیختگی ناشی از روانگرایی.....
- ۳۵..... ۱-۷-۳- جوشش ماسه.....
- ۳۶..... ۲-۷-۳- گسیختگی جریان.....
- ۳۶..... ۳-۷-۳- گسترش جریان.....
- ۳۷..... ۴-۷-۳- از دست رفتن ظرفیت باربری خاک.....
- ۳۷..... ۸-۳- تاریخچه ارزیابی پتانسیل روانگرایی.....
- ۳۸..... ۱-۸-۳- روش تنش دوره‌ای.....
- ۴۲..... ۹-۳- ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر مبنای آزمایش نفوذ استاندارد.....
- ۴۵..... ۱-۹-۳- روش سید و همکاران (۱۹۸۵).....
- ۴۶..... ۲-۹-۳- روش (NCEER 1997,2011).....
- ۵۰..... ۳-۹-۳- روش سید و همکاران (۲۰۰۳).....
- ۵۳..... ۱۰-۳- ارزیابی اثرات روانگرایی.....
- ۵۴..... ۱۱-۳- مروری بر مطالعات گذشته پهنه‌بندی روانگرایی.....

فصل چهارم: بررسی اطلاعات ژئوتکنیکی و ارزیابی پتانسیل روانگرایی

۵۹	۱-۴- مقدمه.....
۵۹	۲-۴- بررسی رسوبات ساحلی از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی.....
۶۶	۳-۴- تهیه پروفیل‌های شاخص ژئوتکنیکی از دیدگاه روانگرایی.....
۶۸	۴-۴- شتاب (PGA) در سنگ بستر.....
۶۹	۱-۴-۴- محاسبه بیشینه شتاب افقی ماکزیمم در سطح زمین.....
۷۱	۵-۴- روش مورد استفاده جهت ارزیابی خطر روانگرایی.....
۷۳	۶-۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی.....
۸۳	۷-۴- بحث و بررسی.....
۸۹	۸-۴- ارزیابی حساسیت نقشه‌های تهیه شده نسبت به شتاب سنگ‌بستر.....
۸۹	۹-۴- مقایسه نقشه خطر تعیین شده با مطالعات پیشین.....
۹۱	۱۰-۴- روش‌های کاهش مخاطرات ناشی از روانگرایی.....
۹۱	۱-۱۰-۴- روش تراکم.....
۹۲	۲-۱۰-۴- روش استهلاک فشار آب منفذی.....
۹۲	۳-۱۰-۴- روش سیمنتاسیون و جامد سازی.....
۹۲	۴-۱۰-۴- روش جایگزینی.....
۹۲	۵-۱۰-۴- روش پیش بارگذاری.....
۹۳	۱۱-۴- جمع‌بندی.....

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادها

۹۶	۱-۵- مقدمه.....
۹۶	۲-۵- نتایج.....
۹۷	۳-۵- پیشنهادها.....
۹۸	منابع فارسی.....
۹۹	منابع لاتین.....

فهرست شکل‌ها

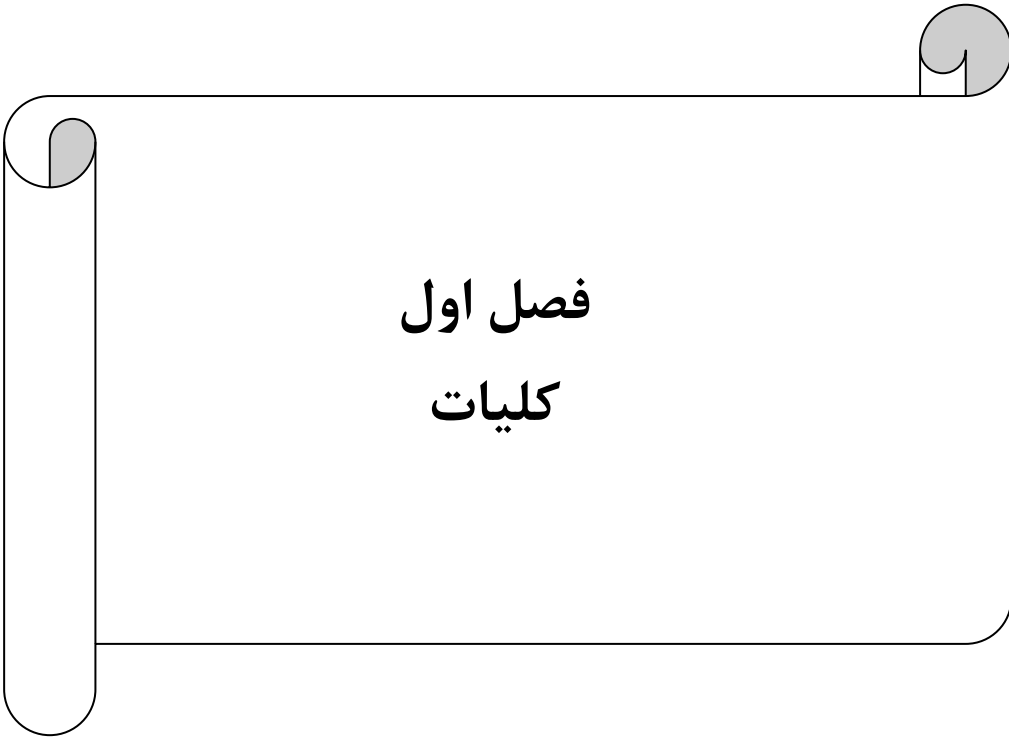
- شکل ۱-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۱-۲- پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران..... ۱۰
- شکل ۲-۲- مراحل مختلف تشکیل و مهاجرت چین‌خوردگی در زاگرس چین خورده..... ۱۲
- شکل ۳-۲- زیرپهنه‌های عمده زاگرس ۱۲
- شکل ۴-۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس..... ۱۳
- شکل ۵-۲- نقشه ترازآب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه..... ۱۵
- شکل ۶-۲- نقشه گسل‌های فعال منطقه..... ۱۷
- شکل ۷-۲- توزیع مکانی و بررسی عمق زمین لرزه‌ها..... ۲۰
- شکل ۸-۲- زلزله‌های تاریخی و زلزله‌های دستگاهی محدوده مورد مطالعه به شعاع ۵۰ کیلومتر..... ۲۳
- شکل ۱-۳- تصاویر از سازوکار وقوع روانگرایی..... ۳۱
- شکل ۲-۳- همبستگی میان شتاب حداکثر زمین و تراکم نسبی ماسه مستعد روانگرایی..... ۳۳
- شکل ۳-۳- جوشش ماسه..... ۳۵
- شکل ۴-۳- شکل قیاسی از گسیختگی جریان‌ی..... ۳۶
- شکل ۵-۳- روانگرایی و گسترش جانبی..... ۳۶
- شکل ۶-۳- گسیختگی ظرفیت باربری..... ۳۷
- شکل ۷-۳- شکل شماتیک تعیین تنش برشی ماکزیمم..... ۳۹
- شکل ۸-۳- دامنه تغییرات I_d پروفیل خاک..... ۴۰
- شکل ۹-۳- تغییرات نامنظم تنش برشی در طول زلزله..... ۴۰
- شکل ۱۰-۳- رابطه بین بزرگا زلزله و تعداد سیکل‌های معادل..... ۴۱
- شکل ۱۱-۳- تشخیص ناحیه روانگرا براساس دستور العمل تنش دوره‌ای..... ۴۲
- شکل ۱۲-۳- ضریب مقیاس بزرگا پیشنهادی (Seed & Idriis, 1982)..... ۴۵
- شکل ۱۳-۳- ارزیابی پتانسیل روانگرایی ماسه‌های تمیز و سیلتی (Seed et al. 1985)..... ۴۶
- شکل ۱۴-۳- ضریب تصحیح C_N (Seed & Idriis, 1983) ۴۶
- شکل ۱۵-۳- محدوده تغییرات I_d در مقابل عمق..... ۴۷
- شکل ۱۶-۳- منحنی مبتنی بر SPT خاک‌های ماسه‌ای تمیز برای زلزله با بزرگای ۷/۵..... ۴۸
- شکل ۱۷-۳- منحنی پیشنهادی NCEER برای تخمین برای کاربردهای مهندسی..... ۴۹
- شکل ۱۸-۳- وضعیت تنش صفحات افقی زیر سطح زمین هموار و شیبدار..... ۴۹
- شکل ۱۹-۳- مقدار K_α پیشنهادی برلی فشارهای همه جانبه کمتر از 3atm..... ۵۰
- شکل ۲۰-۳- مقادیر پیشنهادی ضرایب اثر مدت، (Seed et al. 2003) با اندکی اصلاح..... ۵۲
- شکل ۲۱-۳- مقادیر پیشنهادی K_σ برای $\sigma'_v > 2atm$ (Seed et al. 2003) ۵۲
- شکل ۲۲-۳- C_R پیشنهادی (Seed et al. 2003)..... ۵۳
- شکل ۲۳-۳- رابطه شروع روانگرایی مبتنی بر آزمایش SPT برای $M_w=7.5$ و $\sigma' = 1 atm$ (Seed et al. 2003) ۵۳

فهرست شکل ها

- شکل ۴-۱- نقشه بافت خاک سطحی محدوده مطالعات..... ۶۰
- شکل ۴-۲- پروفیل گمانه‌های حفر شده در محدوده مطالعاتی..... ۶۱
- شکل ۴-۳- نقشه موقعیت گمانه‌ها..... ۶۴
- شکل ۴-۴- مقاطع عرضی از پروفیل خاک در محدوده مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۵- شبکه بندی محدوده و موقعیت گمانه‌ها..... ۶۷
- شکل ۴-۶- انتشار موج لرزه‌ای در سنگ بستر مهندسی و خاک سطحی (Yuan, 2003)..... ۶۸
- شکل ۴-۷- عدد SPT گمانه BH₃₀ و سرعت موج برشی نظیر آن..... ۷۱
- شکل ۴-۸- محیط نرم افزار LiqIT v.4.70..... ۷۲
- شکل ۴-۹- نقشه پتانسیل خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل روانگرایی برای شبکه‌های دارای اطلاعات ۸۶
- شکل ۴-۱۰- نقشه پتانسیل خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل روانگرایی..... ۸۷
- شکل ۴-۱۱- نقشه پتانسیل روانگرایی بر مبنای کمترین ضریب اطمینان در هر گمانه..... ۸۸
- شکل ۴-۱۲- نقشه خطر روانگرایی بلوک بندرعباس- قشم (حق شناس و همکاران)..... ۹۰

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱- برخی از رویدادهای تغییر شکل ناشی از روانگرایی..... ۳
- جدول ۱-۲- فهرست زمین لرزه‌های تاریخی گستره استان هرمزگان..... ۲۱
- جدول ۲-۲- فهرست زمینلرزه‌های بزرگ و مهم شهر بندرعباس در گستره ۵۰ کیلومتری اطراف آن در یکصدسال اخیر..... ۲۲
- جدول ۱-۳- راهنمای روش‌های پهنه‌بندی پدیده‌های ژئوتکنیک لرزه‌ای در سطوح مختلف..... ۲۷
- جدول ۲-۳- اصلاحات SPT..... ۴۴
- جدول ۳-۳- تعیین خطر روانگرایی بر اساس شاخص P_L (Iwasaki et al. 1982)..... ۵۴
- جدول ۳-۴- مطالعات پهنه بندی روانگرایی انجام شده در ایران..... ۵۵
- جدول ۳-۵- نقشه‌های پهنه‌بندی روانگرایی تهیه شده در دنیا تا سال..... ۵۶
- جدول ۳-۶- انواع نقشه‌های پهنه‌بندی روانگرایی و روش مورد استفاده در تهیه آنها..... ۵۷
- جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌ها..... ۶۰
- جدول ۲-۴- محاسبه نسبت تنش دوره‌ای برای گمانه BH₁..... ۷۴
- جدول ۳-۴- محاسبه نسبت مقاومت دوره‌ای برای گمانه BH₁..... ۷۴
- جدول ۴-۴- محاسبه ضریب اطمینان و شاخص پتانسیل برای گمانه BH₁..... ۷۵
- جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده..... ۷۶
- جدول ۴-۶- حداقل شتاب (PGA) در گمانه‌های بحرانی..... ۸۹



فصل اول
کلیات

۱-۱- مقدمه

پدیده روانگرایی به عنوان یکی از اثرات مستقیم ناشی از زلزله محسوب می‌شود که در زلزله‌های گذشته خسارت‌های قابل توجهی به بار آورده است. به طور کلی هرگاه خاک‌های غیر چسبنده، اشباع و سست در معرض ارتعاشات زمین، به‌ویژه زلزله قرار گیرند، تمایل به تراکم پیدا می‌کنند ولی در محدوده‌ی خاصی از دانه‌بندی زهکشی تا حدودی کند بوده، به طوری که تغییرات حجمی سریع خاک به دلیل عدم زهکشی یا زهکشی کند صورت نگرفته و لزوماً فشار آب منفذی بالا خواهد رفت. افزایش فشار آب منفذی، کاهش تنش موثر را به دنبال داشته که منجر به کاهش مقاومت برشی خاک می‌گردد. بر اساس رابطه تنش‌های ژئواستاتیکی در خاک ممکن است ازدیاد فشار منفذی سبب کاهش تنش مؤثر در خاک شده که منجر به کم و یا حتی صفر شدن مقاومت برشی شده و حالت سیال گونه خاک گردد. به این حالت اصطلاحاً روانگرایی (Liquefaction) گفته می‌شود. این شرایط اغلب در خاک‌های ماسه‌ای بدانه‌بندی شده و سست یا ماسه‌های لای‌دار که بیشتر در سواحل یافت می‌شوند، وجود دارد (انصاری، ۱۳۸۹).

وقوع زلزله و به دنبال آن پدیده روانگرایی می‌تواند اثرات زیانبار اقتصادی و اجتماعی به همراه داشته باشد. یکی از اقدامات مهم در کاهش تلفات بلایای طبیعی، شناسایی سریع منطقه بحران زده و تخمین مناسب فاجعه، نیازها و تصمیم‌گیری‌های به موقع است. وقوع بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیل و طوفان اغلب تاثیرات مخربی بر سکونتگاه‌های انسانی باقی می‌گذارد. بر اثر وقوع این بلایا تاسیسات و ابنیه‌ها نابود و عوارض اقتصادی و اجتماعی پدیده‌های بر جوامع و کشورها تحمیل می‌شود. به طور متوسط هر سال در سطح جهان در اثر بلایا و سوانح طبیعی، ۲۲۵ هزار نفر کشته و ۳۶ میلیون دلار خسارت اقتصادی به جامعه بشری وارد می‌شود (Hansen, 1984). پدیده روانگرایی به عنوان یکی از این بلایای طبیعی ناشی از زلزله محسوب می‌شود که در زلزله‌های گذشته خسارات قابل توجهی به بار آورده است. به عنوان مثال می‌توان به خسارات ناشی از زلزله آلاسکا در سال ۱۹۶۴ و زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ اشاره کرد که به ترتیب بیش از ۱۰۰ و ۳۰۰ میلیون دلار برآورد گردید. در جدول (۱-۱)

مجموعه‌ای از آسیب‌های ناشی از روانگرایی، در طی زلزله‌های گذشته به اختصار بیان شده است (حسینی، ۱۳۸۸).

جدول ۱-۱- برخی از رویدادهای تغییر شکل روانگرایی ناشی از زلزله (حسینی، ۱۳۸۸)

زلزله	تغییر شکل‌ها و خسارت‌های ناشی از روانگرایی
چی - چی (۱۹۹۹)	تخریب بیش از ۲۰۰ محل سکونت در شهر Yuanlin خسارت‌های گسترده به ۴ لنگرگاه در بندر Taichung
کوسائل (۱۹۹۹)	تغییر مکان جانبی زمین در نواحی ساحلی نشست و کج شدگی ساختمان‌ها در شهر Adapazari
کوبه (۱۹۹۵)	خرابی‌های گسترده‌ی خاکریز و دیواره‌های کناره‌ی رودخانه، تغییر مکان اسکله و دیوارهای ساحلی، خسارت به پی ساختمان‌ها، گسیختگی یا خرابی خاکریز ۴ سد خاکی کوچک
نورثریدج (۱۹۹۴)	شکستگی لوله‌ها و خرابی پیاده‌روها لغزش جریان‌ی سد باطله‌ی Tapo Canyon
رودبار - منجیل (۱۹۹۰)	نشست برخی خانه‌ها مسکونی تا عمق بیش از ۱ متر بازشدگی سطح زمین تا عمق بیش از ۱ متر شکستگی لوله‌ها و مجراهای زیرگذر
لوماپریتا (۱۹۸۹)	آسیب به آپارتمان‌های واقع در ناحیه‌ی Marina
نیگاتا ژاپن (۱۹۶۴)	از دست رفتن ظرفیت باربری ساختمان‌ها و پایه پل‌ها گسیختگی خاکریز راه آهن و دیدارهای ساحلی

از اثرات روانگرایی می‌توان به نشست زمین، گسیختگی‌های جریان‌ی، گسترش جانبی، لرزش زمین، از دست رفتن ظرفیت باربری خاک ساختگاه، خرابی سازه‌های ساحلی، شناوری سازه‌های مدفون و اثر بر روی پاسخ ساختگاه اشاره کرد که می‌تواند ساختمان‌ها، پل‌ها، سازه‌های ساحلی، شریان‌های حیاتی و بسیاری از تجهیزات ساخته شده‌ی دیگر را به شیوه‌های مختلف تحت تاثیر قرار دهد. معمولاً نواحی ساحلی به علت وجود خاک غیرچسبنده به صورت گسترده و نیز بالا بودن سطح آب زیرزمینی مستعد روانگرایی هستند. وقوع روانگرایی در سواحل زمینه ساز افزایش احتمال وقوع سیلاب، تغییر در مسیر آبراهه‌ها، تخریب سازه‌ها، خطوط لوله نفت و مخازن و غیره می‌گردد که در نهایت می‌تواند آثار کوتاه مدت و بلند مدتی را در محیط زیست داشته باشد. بنابراین با توجه به قابلیت خطر حاکم در هر منطقه که هر لحظه احتمال آزاد شدگی آن نیز می‌رود، بهترین و مناسب‌ترین اقدام لازم، جداسازی

انسان از مناطق پر خطر است.

۱-۲- ضرورت و اهداف تحقیق

با توجه به لرزه‌خیزی بالای استان هرمزگان و با ملاحظه این واقعیت که شهر بندرعباس به لحاظ شرایط ساختگاهی و بالا بودن آب سطح زیرزمینی، دارای شرایط مساعدی برای وقوع روانگرایی می‌باشد. همچنین در پهنه‌بندی خطر روانگرایی سواحل جنوبی کشور (حق شناس و همکاران، ۱۳۸۹) که در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ انجام گرفته، بلوک بندرعباس - قشم به عنوان پهنه‌ای با خطر روانگرایی بالا تعیین شده است. شهر بندرعباس به عنوان مرکز شهرستان بندرعباس و محل احداث تاسیسات زیربنایی و بنادر کشتیرانی مهم و همچنین تبادلات تجاری با سایر کشورها و اقتصاد کشور از یک سوی و رشد سریع و غیر علمی جمعیت انسانی و مناطق مسکونی از سوی دیگر، روز به روز بر آسیب پذیری این ناحیه که از اهمیت راهبردی فراوان برخوردار است، خواهد افزود. با توجه به مطالب بیان شده، ارزیابی خطر روانگرایی شهر بندرعباس که تاکنون انجام نگرفته، یکی از مسائل مهم، لازم و ضروری مدیریت بحران زلزله در شهر بندرعباس است. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی پتانسیل روانگرایی و تهیه نقشه روانگرایی در مقیاس بزرگ در محدوده شرق شهر بندرعباس بر اساس اطلاعات ژئوتکنیکی موجود است. با مطالعه و ارزیابی این گونه خطرها می‌توان، پیش‌بینی‌ها و تمهیدات لازم را قبل از انتخاب ساختگاه و احداث سازه‌ها، برای جلوگیری از وقوع خطرهای احتمالی و اتخاذ تدابیر لازم را مد نظر قرار داد و همچنین با تعیین مناطق پرخطر و کم‌خطر کمک شایانی در اهداف کوتاه مدت و بلند مدت و توسعه‌های عمرانی نمود. از دیگر اهداف این تحقیق می‌توان به، تهیه بانک اطلاعات ژئوتکنیکی شهر بندرعباس، تهیه نقشه بزرگ مقیاس از بافت خاک در محدوده ساحلی اشاره کرد.

۱-۳- روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق شامل سه مرحله مطالعات کتابخانه‌ای، جمع‌آوری اطلاعات پایه و انجام تحلیل‌های

لازم برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی می‌باشد.

۱- برای دستیابی به اهداف مورد نظر در این تحقیق، ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، مراجع و مقالات مختلف درباره سازوکار رخداد روانگرایی، نحوه شناسایی این پدیده و روش‌های موجود برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- اطلاعات پایه و ناحیه‌ای که شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، خطر لرزه‌ای و نقشه‌های وضعیت آب زیرزمینی و تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و همچنین اطلاعات محلی که شامل اطلاعات ژئوتکنیکی مرتبط با حفاری‌های ژئوتکنیکی پروژه‌های انجام شده در منطقه و چاه‌های آب موجود می‌باشد، گردآوری شد.

۳- با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ نقشه بافت خاک سطحی و همچنین با استفاده از نرم افزار Rockwork/14 و اطلاعات گمانه‌های موجود نقشه بافت خاک زیر سطحی محدوده مورد مطالعه تهیه گردید.

۴- سپس با استفاده از اطلاعات فوق محدوده مورد مطالعه توسط نرم افزار Arc GIS 9.3 در ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر شبکه‌بندی شد و برای هر شبکه یک پروفیل شاخص خاک در نظر گرفته شد و شبکه‌هایی که فاقد اطلاعات گمانه‌ای بودند با توجه به اطلاعات شبکه‌های مجاور و همچنین اطلاعات زمین‌شناسی و بافت خاک منطقه مورد ارزیابی قرار گرفتند. در مرحله بعد با تعیین شتاب لرزه‌ای در اعماق مورد نظر، تجزیه و تحلیل روانگرایی برای هر پروفیل شاخص انجام شد و در نهایت نقشه خطر روانگرایی بر اساس شاخص پتانسیل روانگرایی و همچنین کمترین ضریب اطمینان در هر گمانه، تهیه شد.

۱-۴- ویژگی‌های عمومی منطقه

استان هرمزگان داری ۱۱ شهرستان به نام‌های بندرعباس، رودان، میناب، بندرلنگه، بستک، قشم، حاجی‌آباد، ابوموسی، پارسیان، جاسک و خمیر می‌باشد. شهر بندرعباس، مرکز شهرستان بندرعباس

بوده و تقریباً دارای ۳۰ کیلومتر خط ساحلی و وسعتی حدود ۵۳۲۳ هکتار است. این شهر به لحاظ تقسیمات اداری از ۳ منطقه و ۱۸ ناحیه و به لحاظ تقسیمات محله‌ای از ۳۲ محله تشکیل شده است. جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۸۵ حدود ۳۶۷ هزار نفر بوده است. طبق بررسی‌های انجام شده بیشترین تعداد واحدهای مسکونی در منطقه دو (منطقه مرکزی شهر) با ۲۰۲۹۸ واحد مسکونی و ۱۲۰۹۲۶ نفر پرجمعیت‌ترین و منطقه سه با ۱۱۲۴۷ واحد مسکونی، ۶۳۰۹۰ نفر کم جمعیت‌ترین منطقه شهر محسوب می‌شود (مهندسین مشاور پیشاهنگان آمایش، ۱۳۸۲)

شهر بندرعباس از شمال به ارتفاعات و کوه‌ها و از جنوب به دریا منتهی می‌شود و شیب عمومی آن در راستای شمال به جنوب می‌باشد. بخش قابل توجهی از شهر دارای سطحی هموار بوده و از ارتفاعی بین ۰/۶ متر تا حداکثر ۵ متر از سطح دریا برخوردار می‌باشد و از نظر شرایط آب و هوایی این شهر گرم و مرطوب است. محدوده مورد مطالعه بخشی از منطقه یک می‌باشد که در شرق شهر بندرعباس واقع شده است. این محدوده به لحاظ تعداد واحدهای مسکونی و میزان جمعیت در حدواسط منطقه ۲ و منطقه ۳ قرار دارد.

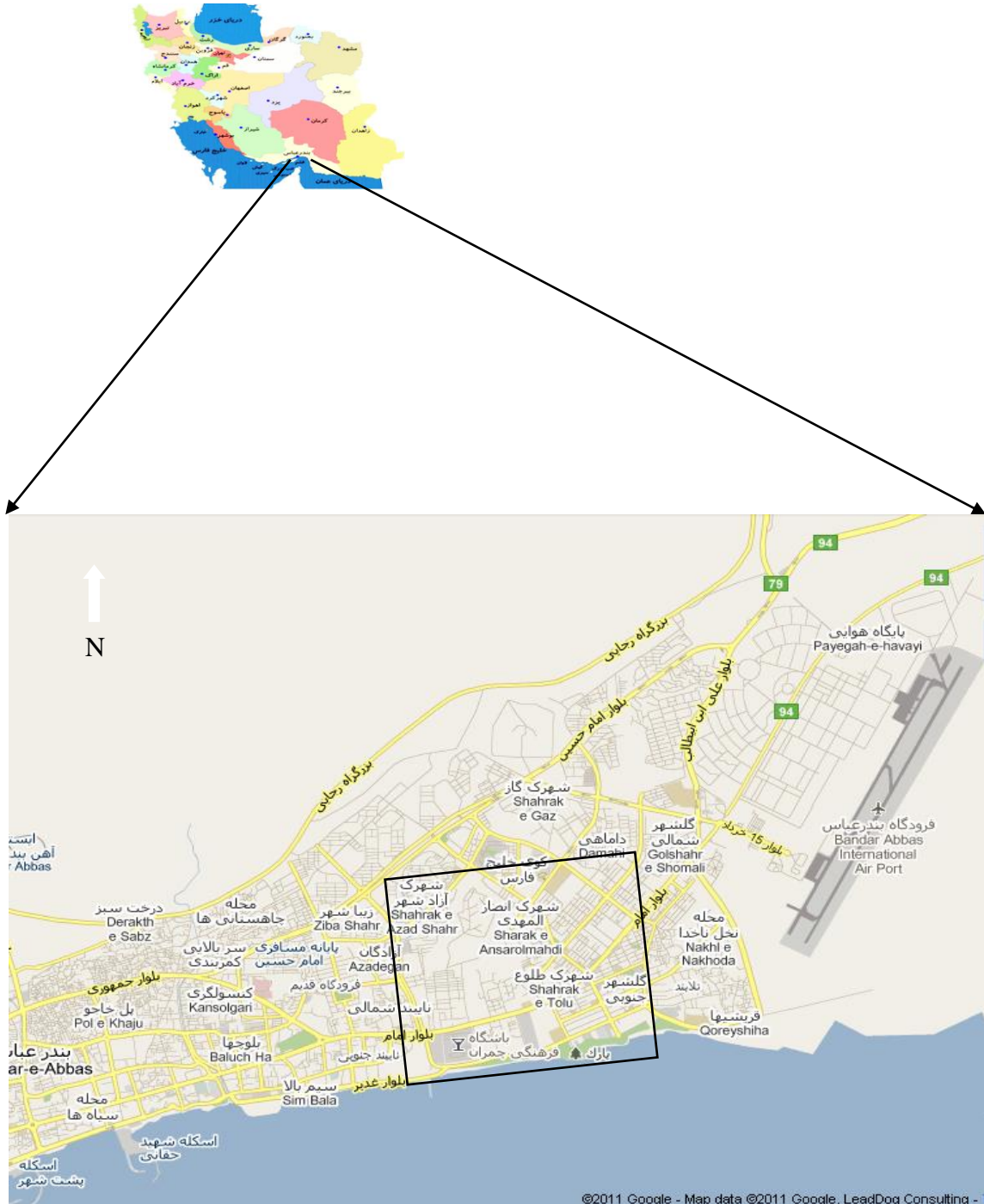
۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به موازات ساحل و در شرق شهر بندرعباس، بین مختصات جغرافیایی $27^{\circ} 10'$ تا $27^{\circ} 12'$ عرض شمالی و $56^{\circ} 18'$ تا $56^{\circ} 21'$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱-۲).

۱-۴-۲- ویژگی‌های اقلیمی

با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار استان هرمزگان در منطقه فوق حاره‌ای، گرمی هوا مهمترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. این استان از مناطق گرم و خشک ایران است که اقلیم آن تحت تاثیر آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد. نوار ساحلی این استان دارای تابستان‌های بسیار گرم و مرطوب است. فصل تابستان در این شهر نزدیک به ۹ ماه از سال ادامه دارد. دمای هوای شهر بندرعباس در گرم‌ترین روزهای سال به ۴۴ درجه سانتی‌گراد و در سردترین روزهای سال به ۴ درجه

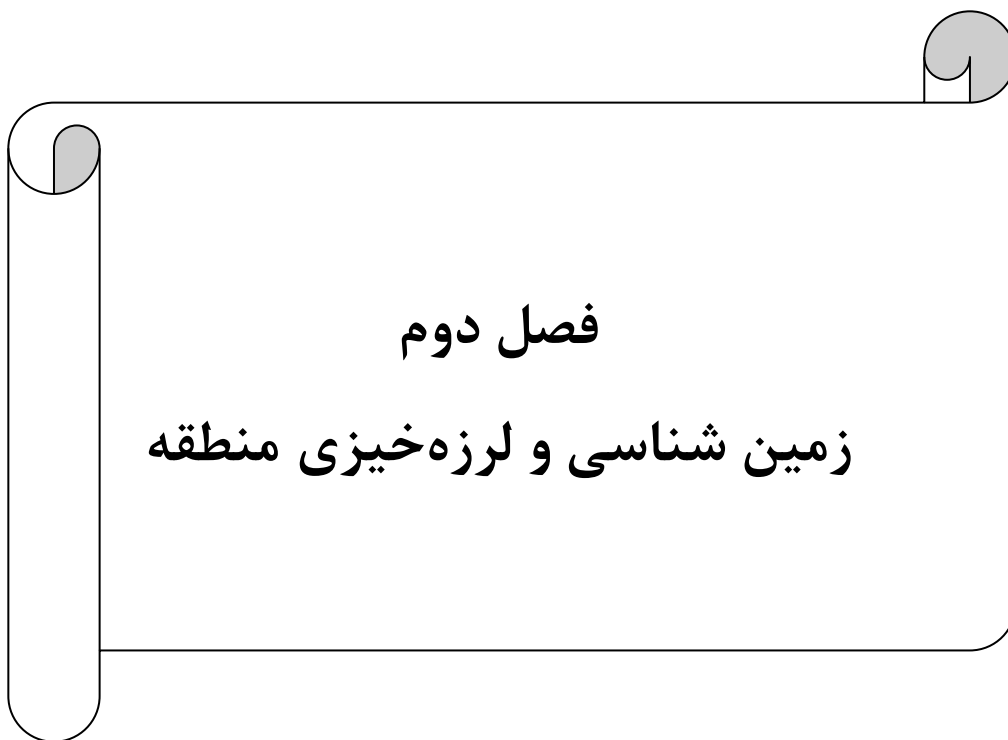
سانتی‌گراد نیز می‌رسد. میزان متوسط بارندگی سالیانه این منطقه با توجه به شرایط فصلی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر متغیر است. میزان رطوبت نسبی در سواحل خلیج فارس عمدتاً بالاست و حتی به بیش از ۸۵ درصد هم می‌رسد (اسفندیار نژاد و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۱-۲- کادر مشکی رنگ محدوده مورد مطالعه (Google Map)

۱-۵- ساختار پایان نامه

مطالب این تحقیق در پنج فصل ارائه گردیده است: فصل اول، کلیات را شامل می‌شود. در فصل دوم، زمین شناسی و لرزه‌خیزی منطقه بیان شده است. فصل سوم، شامل مشخصات و درجه‌های پهنه‌بندی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای، سازوکار روانگرایی، عوامل تاثیرگذار در وقوع روانگرایی، مکانسیم‌های گسیختگی، روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی و مروری بر مطالعات گذشته است. فصل چهارم، بافت خاک و اطلاعات ژئوتکنیکی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روش مورد نظر پتانسیل روانگرایی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در فصل پنجم، بر اساس مطالعات انجام شده نتایج و پیشنهاداتی ارائه گردیده است و در نهایت فهرست منابع و مآخذ مورد استفاده در این تحقیق درج گردیده است.



فصل دوم

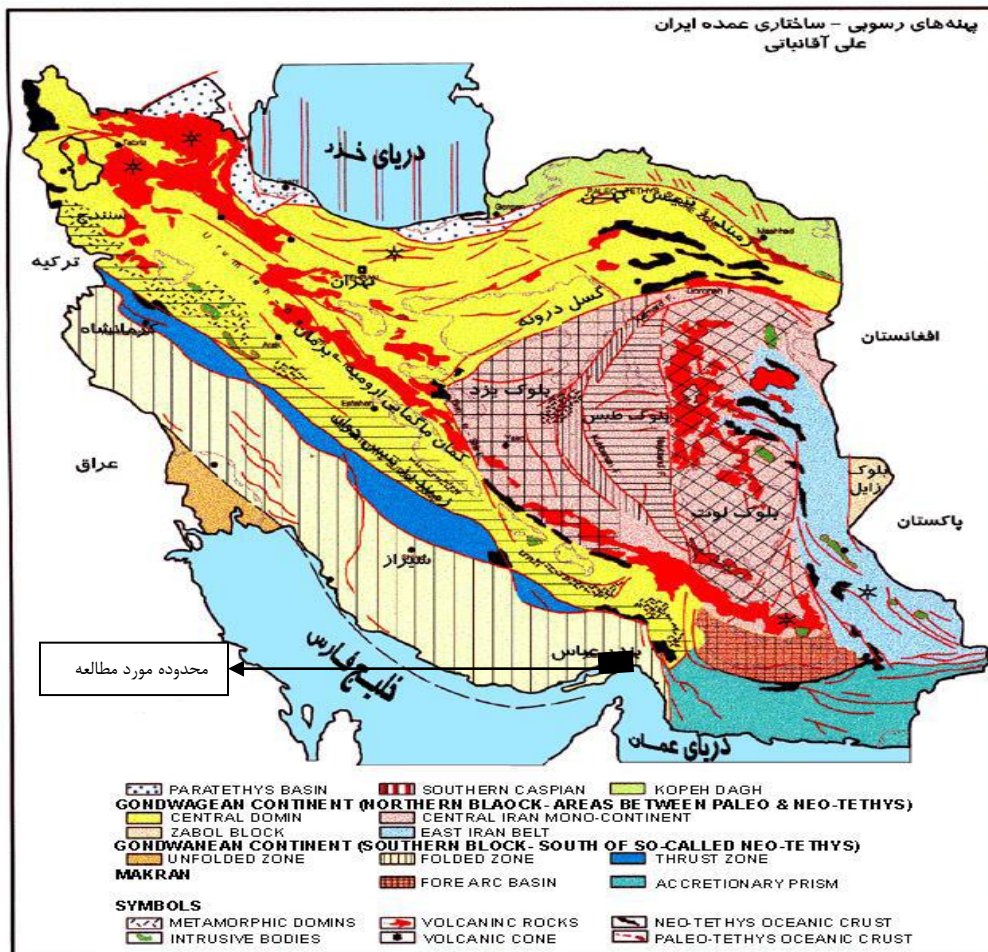
زمین شناسی و لرزه خیزی منطقه

۱-۲- مقدمه

شرایط زمین شناسی و زمین ساختی یک منطقه، در بروز پدیده روانگرایی از اهمیت بسزایی برخوردار هستند، بنابراین شناخت و آگاهی از وضعیت زمین شناسی، زمین ریخت شناسی و آب های سطحی و زیرزمینی یک منطقه و همچنین بررسی وضعیت لرزه زمین ساختی و لرزه خیزی آن در ارزیابی پتانسیل خطر روانگرایی ضروری می باشد. در این فصل به بررسی زمین شناسی عمومی منطقه و محدوده مورد مطالعه و همچنین و لرزه خیزی منطقه پرداخته می شود.

۲-۲- زمین شناسی عمومی منطقه

استان هرمزگان از نظر تقسیم بندی پهنه های رسوبی - ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳)، در دو پهنه زاگرس چین خورده و مکران واقع گردیده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- پهنه های رسوبی - ساختاری عمده ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳)

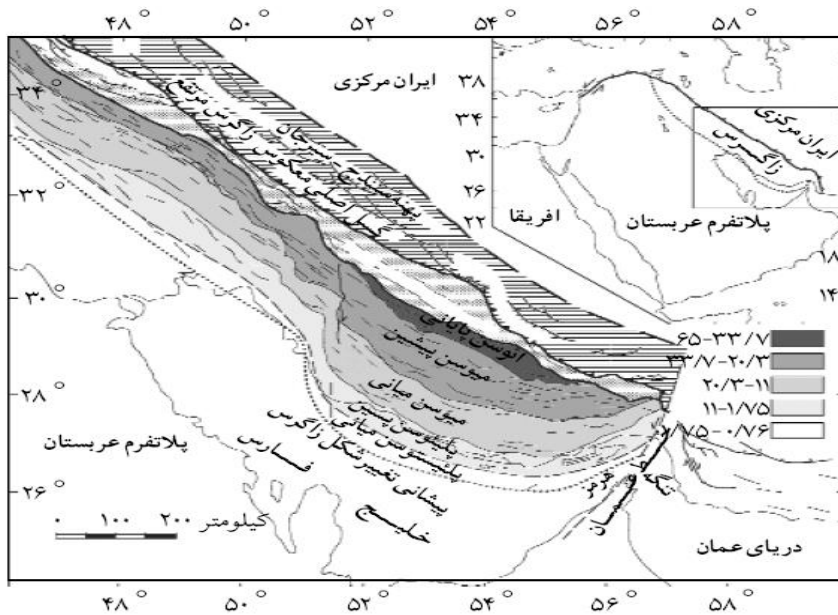
پهنه زاگرس به دو زیرپهنه زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده تقسیم می شود. زاگرس چین خورده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، حاشیه ای کراتونی سپر عربستان است که در مزوزوئیک و سنوزوئیک در حال نشست پیوسته بوده و همزمان ضخامت زیادی از رسوبات در آن انباشته شده است. در گستره زاگرس چین خورده، سنگ های پرکامبرین پسین تا تریاس میانی، رخساره های مشابه با دیگر نواحی ایران دارند. ولی توالی های مزوزوئیک و سنوزوئیک آن با رسوب های همزمان دیگر نواحی ایران، تفاوت دارند و بیشتر معرف رخساره های جنوب تتیس جوان است. این نکته نشان می دهد که از تریاس میانی به بعد، شرایط حاکم بر زاگرس چین خورده، نسبت به دیگر مناطق ایران تفاوت داشته است (آقناباتی، ۱۳۸۳).

الگوی ساختاری زاگرس در همه جایکسان نیست. بررسی های ساختاری زاگرس نشانگر آن است که از شمال خاور به جنوب باختر پوشش رسوبی روی پی سنگ در برابر تنش های فشارشی واکنش متفاوتی داشته اند، بنابراین از لحاظ ساختاری نیز می توان زاگرس را به زیرپهنه راندگی ها و زیرپهنه چین خورده تقسیم کرد. وجود شواهد ساختاری و چین نگاری گوبای آن است که چین خوردگی زاگرس از کرتاسه پسین آغاز شده ولی در زمان پلیوسن به بیشترین مقدار خود رسیده است که نتیجه آن کاهش پهنای زاگرس به اندازه ۲۰ درصد است (جمالی، ۱۳۷۰). به دلیل تداوم حرکت پوسته قاره ای عربستان چین خوردگی زاگرس ادامه دارد. جابه جایی افقی امروزی در حدود $3/5$ تا $4/8$ سانتیمتر و حرکت های قائم بیش از ۲ میلی متر در سال برآورد می شود (آقناباتی، ۱۳۸۳).

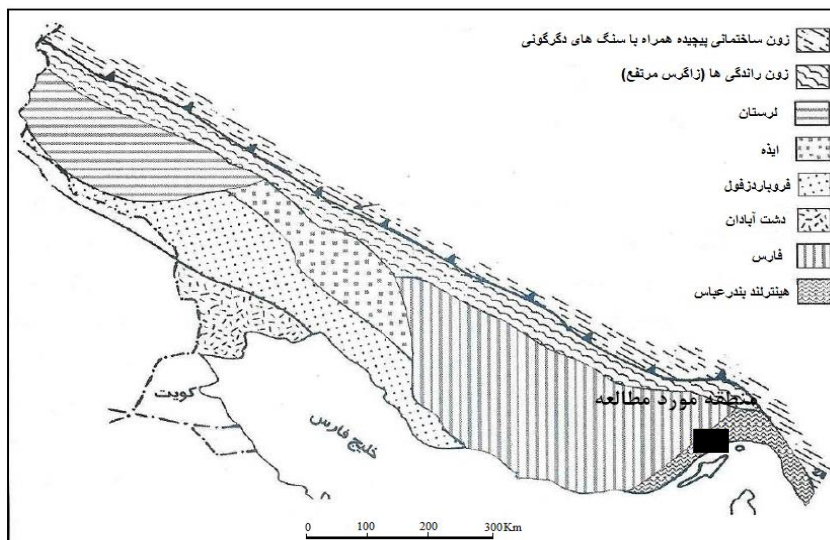
شکل (۲-۲) مراحل چین خوردگی در زاگرس را به نقل از حسامی و همکاران (Hessami et al. 2001b) نشان می دهد، اعداد راهنمای ارائه شده در این شکل، نمایانگر سن نهشته ها (میلیون سال) بوده و بیانگر تمام رسوباتی است که در آن فاصله زمانی ته نشین شده و در دوره های مشخص شده چین خوردگی یافته اند. دگرشیبی زاویه دار بین سازندهای بختیاری و رسوبات جوان تر، چین خوردگی و گسلش در رسوبات عهد حاضر و وقوع زمین لرزه های مکرر بر ادامه حرکات کوهزایی ناشی از برخورد

قاره‌ای در زاگرس دلالت دارند.

محدوده مورد مطالعه در زاگرس چین خورده و زیرپهنه‌ی پس خشکی بندرعباس واقع شده است (شکل ۲-۳). پس خشکی بندرعباس محدوده‌ای از پایانه جنوب خاوری زاگرس است که مرز خاوری آن گسل میناب و مرز جنوبی آن جبهه چین‌های زاگرس است که از درون خلیج فارس می‌گذرد. مرز شمالی آن منطبق برگسل رازک می‌باشد.

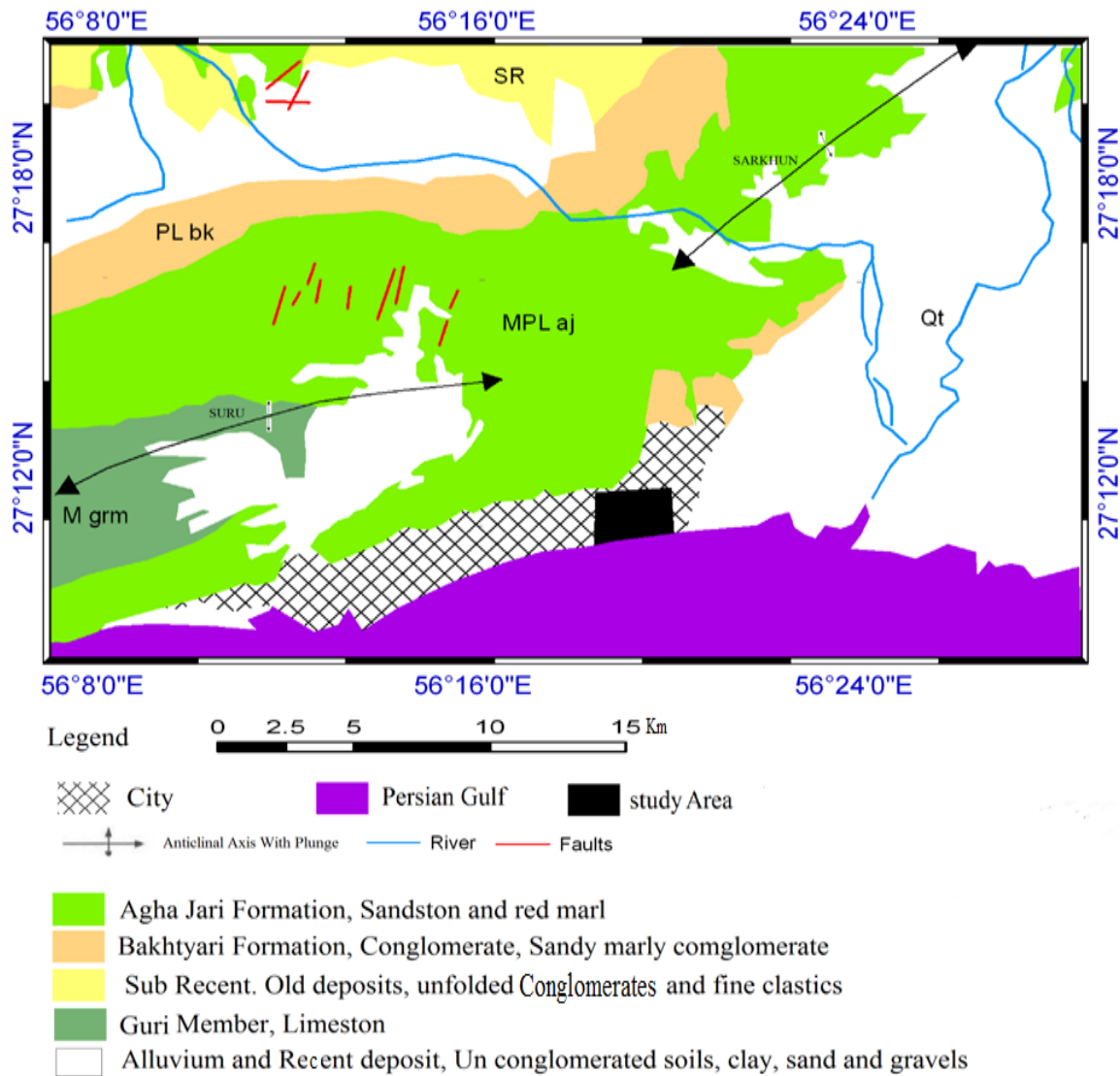


شکل ۲-۲- مراحل مختلف تشکیل و مهاجرت چین خوردگی در زاگرس چین خورده (Hessami et al. 2001b)



شکل ۲-۳- زیرپهنه‌های عمده زاگرس و موقعیت محدوده مورد مطالعه (آقائباتی، ۱۳۸۳)

در شکل (۲-۴) نقشه زمین شناسی منطقه نشان داده شده است. سازندهای زمین شناسی که در نزدیکی محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند، عبارتند از:



شکل ۲-۴- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ بندرعباس (فخاری، ۱۳۷۴)

۲-۲-۱- سازند میشان: در برش الگو تهیه شده (درمحل میدان نفتی گچساران) ضخامت سازند میشان ۷۱۰ متر، شامل مارن خاکستری و آهک فسیل دار گزارش شده است. از محل برش الگو به سمت شرق زاگرس، سازند میشان بیشتر ماسه‌ای بوده ولی در فارس داخلی و بندرعباس بیشتر به رخساره‌های سیلتی تغییر یافته است.

۲-۲-۲- سازند آغاچاری: سازند آغاچاری از سنگ‌های مارلی-سیلتستونی و ماسه‌سنگی تشکیل شده است که فرسایش این سنگ‌ها در ارتفاعات و رسوبگذاری آن در نواحی پست و دشت‌گونه، خاک-های سیلتی-ماسه‌ای و مارلی نرم را تشکیل داده است. این سازند در بندرعباس و جزیره قشم ویژگی‌های دریایی دارد و بیشتر به صورت تناوب تکراری نهشته‌ها است که البته به سمت بالا ریزدانه می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲-۳- نهشته‌های کواترنری

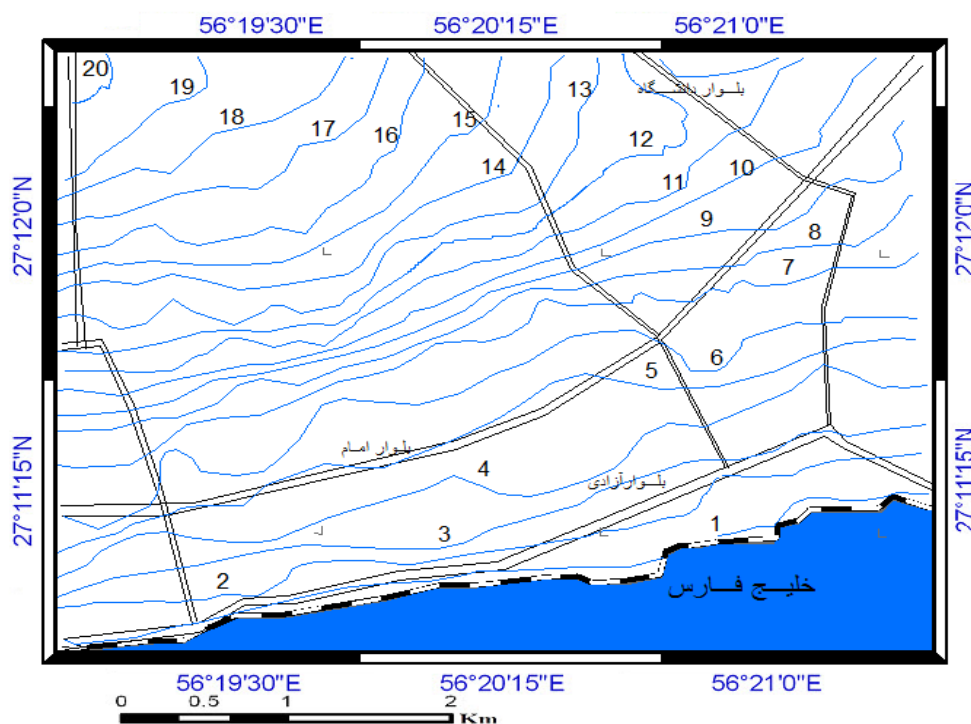
در طی کواترنر گسترده‌ترین رسوبات پوششی که عمدتاً از تخریب و فرسایش ارتفاعات به وجود آمده‌اند. در بین نهشته‌های کواترنری، نهشته‌های آبرفتی بیشترین سهم را دارند، اینها مواد فرسایشی هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها گسترده‌اند و با دور شدن از ارتفاعات، درشتی دانه‌ها کاهش می‌یابد. به همین دلیل، به نام‌های مختلف دشت، هامون، جلگه، کفه، تگو، دغ و شیخ نامیده شده‌اند (نبوی، ۱۳۵۵). این نهشته‌ها عمدتاً از رسوبات شنی، ماسه‌ای، سیلتی و رسی تشکیل شده‌اند و بیشترین اهمیت را در مطالعه حاضر دارند. بطور کلی شهر ساحلی بندرعباس بر روی نهشته‌های ترشیاری و کواترنری واقع شده است. این رسوبات شامل نهشته‌های ساحلی، رسوبات بادی، تبخیری و رودخانه‌ای می‌باشند که عمدتاً از سنگ‌های متشکله از ارتفاعات شمال این شهر منشاء گرفته‌اند. همچنین واریزه‌های کوهپایه‌ای و لایه‌هایی از خاکریزهای دستی در قسمت‌هایی از شهر دیده می‌شود.

۲-۳- بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی

با توجه با این که پدیده روانگرایی در توده‌های اشباع به وقوع می‌پیوندد باید وضعیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعاتی به دقت مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. به طور کلی سه عامل: آب‌های سطحی، فاضلاب شهری و آب‌های ساحلی، تغییرات سطح آب زیرزمینی شهر بندرعباس را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در حال حاضر در مناطق مختلف شهر بندرعباس آب‌های سطحی از طریق جوی‌ها و

نهرها و جمع آوری شده و به همراه کانال های فاضلاب احداث شده به دریا منتقل می شوند. همچنین دفع فاضلاب های خانگی توسط چاه های جذبی نیز باعث بالاتر آمدن سطح آب زیرزمینی و اشباع شدن خاک ها در این محدوده می شود. این سیستم جمع آوری فاضلاب کامل نبوده و در شرایط بارندگی شدید و یا عدم توجه به دفع زباله ها، باعث جاری شدن سیلاب و آبگرفتگی در برخی از قسمت های شهر می شود. این شبکه های موجود در کنترل و ثابت نگه داشتن سطح آب زیرزمینی نقش بسزایی دارند. عامل دوم آب های ساحلی هستند که نوسانات سطح آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار خواهند داد. با توجه به این نوسانات نسبتاً زیاد آب دریا به صورت روزانه و فصلی، ممکن است سطح آب زیرزمینی نیز تا چندین متر جابه جا شود. در محدوده مورد مطالعه از جنوب به شمال با فاصله گرفتن از ساحل سطح آب زیر زمینی پایین تر می رود. به طوری که در قسمت جنوبی مجاور ساحل سطح آب زیرزمینی به عمق ۰/۵ تا ۱ متر و با فاصله گرفتن از ساحل در غرب و شمال غرب شهر به ۱۵-۲۰ متر نیز می رسد. شکل (۲-۵) سطح آب زیرزمینی را در محدوده مورد مطالعه نشان می دهد.

این نقشه با استفاده از اطلاعات سطح آب زیرزمینی گمانه های حفر شده و همچنین مشاهده صورت گرفته در محدوده مورد مطالعه که شامل چاه های حفر شده و پی ساختمان های در حال احداث می باشد، ترسیم شده است.



شکل ۲-۵- نقشه سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

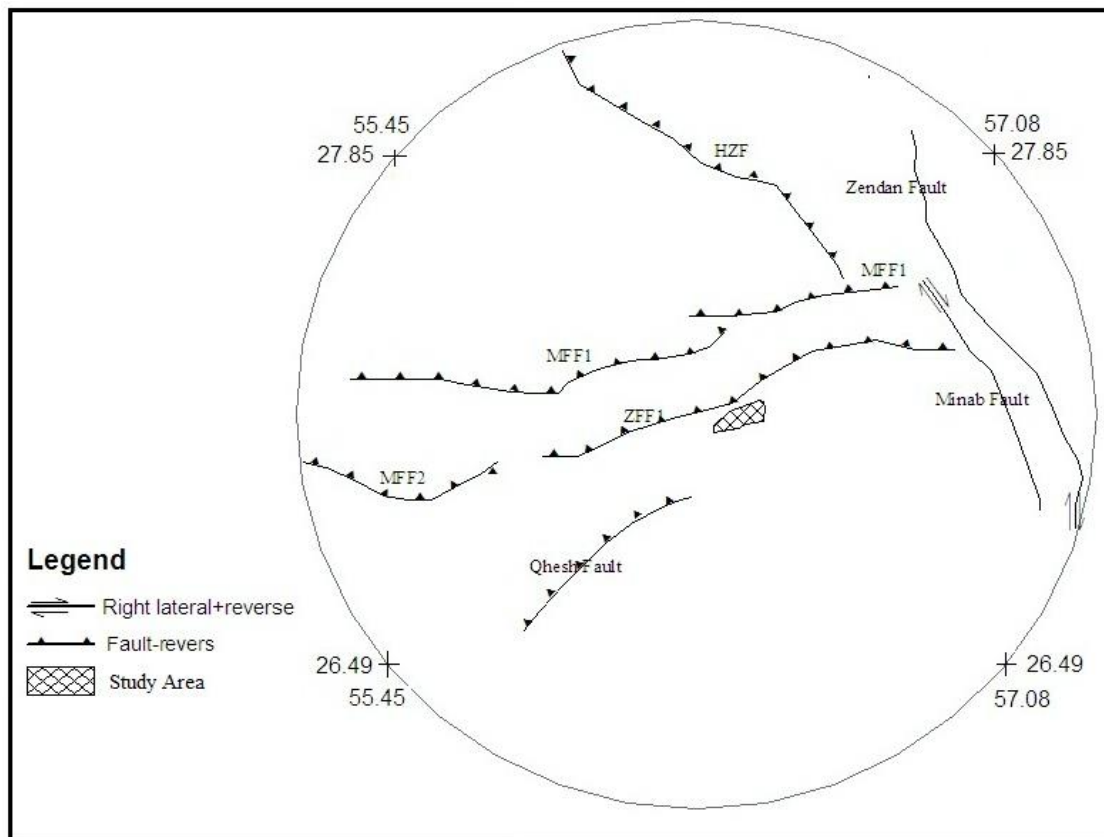
۲-۴- زمین ساخت استان هرمزگان

کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند چین خورده آلپ- هیمالیا، جزء مناطق فعال تکتونیکی کره زمین محسوب می شود که ویژگی های ساختمانی و زمین شناختی آن طی فعالیت های زمین ساختی دوره های ترشیاری و کواترنری شکل گرفته است. بر مبنای تقسیم بندی ساختاری ایران بربریان (Berberian 1995) استان هرمزگان از سه زیرپهنه ساختاری تشکیل شده است. این استان در محل برخورد مرزهای سه پهنه ساختاری، نوار چین خورده- رانده جنبای زاگرس (-Zagros active fold-thrust belt) در پهنه باختری استان، کوه های بهم افزوده مکران (Makran Accretionary Wedge) در پهنه خاوری استان و زون سنندج - سیرجان (Sanandaj-Sirjan Zone) در پهنه شمال تا شمال باختری، واقع شده است. با این وجود، نمود غالب پهنه های ساختاری زاگرس و مکران سبب شده تا استان هرمزگان متأثر از ویژگی های لرزه زمین ساختی پهنه انتقالی (Transitional Zone) زاگرس- مکران که کوهزاد برخوردی قاره ای زاگرس و پهنه همگرایی قاره ای- اقیانوسی مکران است، باشد. پهنه انتقالی زاگرس- مکران، یک زون دگرریختی متأثر از ویژگی های رسوبات به شدت چین خورده زاگرس در خاور و سازندهای مکران در باختر است. سازندهای خاور ارتفاعات استان به شدت چین خورده اند و فرسایش آنها از پلیستوسن عهد حاضر موجب توسعه نهشته های کوهپایه ای شده است. این نهشته ها شامل رسوبات جوان آبرفتی جوان کواترنری و نهشته های رودخانه ای کنگلومرایی- ماسه ای می باشند که تاثیرپذیریشان از حرکت گسل های در عوارض ریخت شناسی منطقه (رودخانه ها و مخروط افکنه های عهد حاضر) دیده می شود و این مسئله حکایت از زمین ساخت کواترنری فعال این ناحیه دارد.

۲-۵- لرزه زمین ساخت

بررسی های نو زمین ساختی نشان می دهد زاگرس چین خورده، در اثر حرکت رو به شمال صفحه عربی

و برخورد آن با صفحه ایران، در راستای شمال خاور- جنوب باختر فشرده می‌شود. این فشردگی باعث ایجاد دگرشکلی‌هایی می‌شود که هم راستا با ساختارها و شکستگی‌های آلپی (NW-SE) و پیش از آلپی (N-S) می‌باشند. عملکرد این عوامل باعث ایجاد شرایط نو زمین‌ساختی و لرزه زمین‌ساختی و در نتیجه لرزه‌خیزی کنونی زاگرس شده است. بزرگای این زلزله‌ها عموماً کمتر از ۷ ریشتر و عمق کانونی بیشتر آنها، کمتر از ۳۰ کیلومتر می‌باشد (آقاباتی، ۱۳۸۳). مطالعه گسل‌ها می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی باشد. گسل‌ها بر اساس شواهد لرزه‌ای و زمین‌ساختی به دسته گسل‌ها فعال (جنبا) و گسل‌های با توان جنبایی تقسیم می‌شوند. شکل (۲-۶) گسل‌های فعال محدوده مورد مطالعه به شعاع ۱۰۰ کیلومتر نشان می‌دهد. حق‌شناس و همکارن (۱۳۸۶) با تکیه بر شواهد صحرائی و داده‌های موجود از زمین‌لرزه‌های روی داده در منطقه، گسل‌های مختلف شناسایی و بر پایه سازوکارهای غالب آنها دسته‌بندی کردند. این نقشه بر اساس نقشه گسل‌های فعال منطقه که توسط حق‌شناس و همکارن (۱۳۸۶) ارائه شده، ترسیم گردیده است.



شکل ۲-۶- نقشه گسل‌های فعال منطقه

با توجه به نقشه ارائه شده و فاصله این گسل‌ها از محدوده مورد مطالعه و همچنین بر اساس سابقه لرزه‌خیزی منطقه می‌توان مهمترین گسل‌های فعال معکوس منطقه را که از توان لرزه‌خیزی بالایی برخوردار بوده، به گسل زاگرس مرتفع (HZF)، قطعات مختلف گسل جبهه کوهستان (MFF)، قطعات مختلف گسل پیشگودال زاگرس (ZFF) اشاره کرد. با توجه به تاثیرپذیری لرزه‌خیزی محدوده مورد مطالعه از گسل‌های MFF و ZFF، در این قسمت به بررسی این دو گسل پرداخته می‌شود.

۲-۵-۱- گسل لبه کوهستان

گسل لبه کوهستان (Mountain Front Fault) از قطعات ناپیوسته گسل‌های تراستی تشکیل شده است که طول کلی گسلیده در ایران بالغ بر ۱۳۵۰ کیلومتر است. این گسل توسط گسل‌های راستالغز فعال کازرون و برازجان دست‌کم به میزان ۱۴۰ کیلومتر به صورت راستگرد جابه‌جا شده است (Berberian, 1995). بر پایه شواهد مختلف بویژه شواهد هندسی، گسل لبه کوهستان زاگرس در این محدوده به دو قطعه اصلی (MFF_1-MFF_2) تقسیم می‌شود. قطعه MFF_2 به طول حدود ۱۷۰ کیلومتر از یک امتداد شرقی-غربی برخوردار است، در حالی که قطعه MFF_1 به طول حدود ۱۴۷ کیلومتر از روند عمومی زاگرس تبعیت نمی‌کند و به سوی شمال شرق تمایل دارد. وقوع چندین زمین‌لرزه در پیوند با قطعه گسلی MFF_1 بویژه زمین‌لرزه ۱۹۷۷ خورگو با بزرگی $M=7/1$ بر لرزه‌زا بودن این قطعه گسلی دلالت دارد (حق‌شناس و همکاران، ۱۳۸۶).

۲-۵-۲- گسل پیش ژرفای زاگرس

این گسل (Zagros Fordeep Fault) حوضه پیش ژرفای زاگرس (در شمال و شمال خاوری) را از حاشیه ساحلی زاگرس (در جنوب و جنوب باختری) جدا می‌کند، همچنین این گسل لبه شمال خاوری پوشش آبرفتی ساحلی خلیج فارس را تشکیل می‌دهد و اساساً حرکت معکوس دارد (آقانباتی ۱۳۸۳). گسل پیش ژرفای زاگرس مجموعه‌ای از چندین قطعه گسلی است. پهنه گسلی پیش ژرفای

زاگرس از سابقه لرزه‌خیزی پایینی برخوردار است. با این وجود بربریان (Berberian, 1995) وقوع زمین لرزه‌های تاریخی ۱۴۹۷ و ۱۹۰۷ که به ترتیب با بزرگی ۶/۵ و ۵/۷ در شمال بندرعباس به وقوع پیوست و همچنین زمین لرزه‌های ۱۹۴۹ و ۱۹۷۱ به ترتیب با بزرگای ۶/۳ و ۵/۷ را به فعالیت قطعه گسلی ZFF₁ نسبت داده است. سرعت جابجائی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های GPS بر پائین بودن نرخ استرین در عرض این گسل دلالت دارد (حق‌شناس و همکاران (۱۳۸۶)).

۲-۵-۳- گسل‌های امتدادلغز

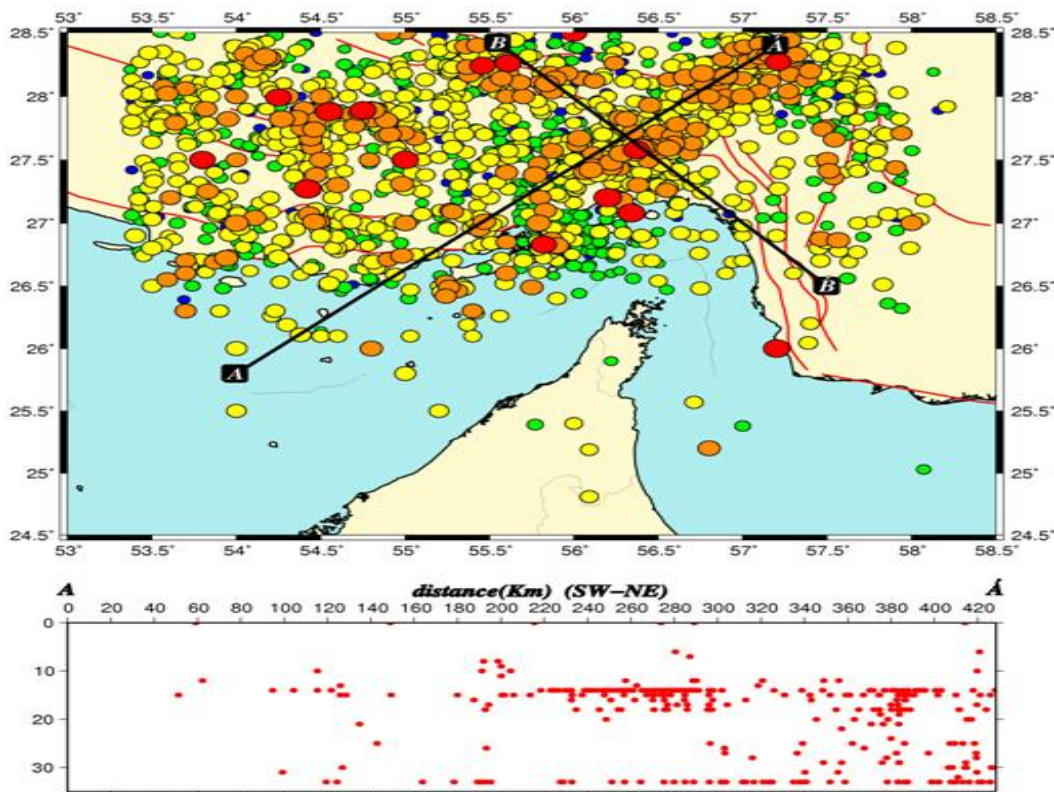
گسل‌های امتدادلغز فعال در گستره استان هرمزگان دارای ساختارهای تکتونیکی متفاوتی هستند. گسل‌های امتدادلغزی که در پهنه زمین‌ساختی زاگرس قرار دارند فعالیتشان بیشتر در قالب تغییر روند محور چین‌خوردگی‌ها و تأثیر بر روی توزیع مکانی گنبد‌های نمکی بوده و به ندرت از رخنمون سطحی برخوردار هستند ولی در پهنه انتقالی زاگرس- مکران بیشترین تغییر شکل‌ها در طول گسل‌های امتداد لغز روی می‌دهد. از مهمترین گسل‌های امتدادلغز این پهنه می‌توان به سیستم گسلی زندان- میناب و سیستم گسلی سبزواران- جیرفت اشاره کرد. سیستم‌های گسلی زندان- میناب و سبزواران- جیرفت به ترتیب در غرب و شرق قرار دارند.

سیستم گسلی زندان- میناب با یک روند شمال- شمال غربی در طول کمربند چین‌خورده- رانده میناب به طول حدود ۲۵۰ کیلومتر و پهنای ۲۰ کیلومتر از تراس اصلی زاگرس در شمال تا سواحل دریای عمان در جنوب امتداد دارد. این سیستم گسلی از سه زون گسلی اصلی که از غرب به شرق عبارتند از میناب، زندان و پالامی تشکیل شده است. زون گسلی میناب بوضوح در طول حدود ۵۰ کیلومتر به موازات ساحل هرمز با امتداد E160N گسترش دارد. این زون گسلی شامل یک توالی از قطعات گسلی ناپیوسته و غیرخطی از گسل‌های تراستی با شیب به سوی شرق می‌باشد که رسوبات سنوزوئیک بالایی و کواترنر را متأثر نموده است. زون گسلی زندان با روند شمال - شمال غرب و با شیب به سوی شرق اصلی‌ترین مرز لیتولوژیکی بین زاگرس و مکران را تشکیل می‌دهد. طول تقریبی

آن حدود ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد که از تراست اصلی زاگرس در شمال تا خلیج عمان در جنوب امتداد دارد (حق شناس و همکاران، ۱۳۸۶).

۲-۶- لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در منتهی‌الیه زاگرس چین‌خورده واقع شده است و دارای خصوصیات لرزه‌خیزی پهنه انتقالی زاگرس- مکران است. شکل (۲-۷) بررسی توزیع مکانی رویدادهای لرزه‌ای یکصد سال اخیر منطقه به شعاع ۲۰۰ کیلومتر، حاکی از لرزه‌خیزی بالای این محدوده است. بررسی پروفیل AA، شکل (۲-۷) که در راستای جنوب باختر- شمال خاور قرار دارد و رویدادهای داخل خلیج فارس تا محل تلاقی مکران- زاگرس را در بر می‌گیرد، نشان می‌دهد که عمق اکثر رویدادها در امتداد این پروفیل در محدوده ۱۰-۱۵ کیلومتری قرار می‌گیرد. اما تعدادی از این رویدادها در عمق بیش از ۳۰ کیلومتر واقع شده‌اند که غالباً مربوط به رویدادهای قبل از ۱۹۹۰ میلادی می‌باشند و در ناحیه مکران قرار دارند (حق شناس و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۲-۷- توزیع مکانی و بررسی عمق زمین لرزه ها، حق شناس و همکاران (۱۳۸۶)

در طی ۲ ماه نصب شبکه لرزه‌نگاری محلی توسط یمینی‌فرد و همکاران (Yaminifard et al. 2003) فعالیت‌های لرزه‌ای مهمی را در پهنه انتقالی زاگرس- مکران نشان داد و هیچ رویداد لرزه‌ای در شمال خاور گسل جیرفت به ثبت نرسید. مطالعه این خرد لرزه‌ها نشان داد تا عمق ۱۱ کیلومتری رسوبات، هیچ نشانی از فعالیت لرزه‌ای دیده نمی‌شود و ژرفای کانونی رویدادهای لرزه‌ای بین ۱۵-۳۰ کیلومتر گزارش شده است. ریگارد و همکاران (Regard et al. 2003) لرزه‌خیزی استان هرمزگان را عموماً با زمین لرزه‌های کم عمق در مرتبط می‌دانند که پهنه رومرکز آنها در بخش باختری سامانه گسلی زندان- میناب در نزدیکی بخش انتهایی شمال باختری مکران واقع شده است. این لرزه‌خیزی بر مبنای شبکه لرزه‌نگاری جهانی و زمین لرزه‌های تاریخی، از نوع فعالیت لرزه‌خیزی نسبتاً کم عمق در پهنه دگرریختی می‌باشد.

بررسی زمین لرزه‌های تاریخی در این محدوده نشان دهنده فعالیت لرزه‌ای قابل توجه این منطقه در دوره‌های گذشته است. به منظور بررسی وضعیت لرزه‌خیزی تاریخی از کتاب تاریخ زمین لرزه‌های ایران آمبرسز و ملویل (Ambraseys & Melville, 1982) و گزارش مطالعات پهنه‌بندی خطر زلزله و مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای جزیره قشم که توسط حق شناس و همکاران (۱۳۸۶) انجام شده، استفاده شده است (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲- فهرست زمین لرزه‌های تاریخی گستره استان هرمزگان

ردیف	تاریخ	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بزرگا	منطقه	منبع
۱	۱۳۳۶ ه ش	-----	-----		جزیره قشم	نوربخش ۱۳۶۹
۲	۱۳۶۱ م	۵۶/۲	۲۶/۹	۵/۳	جزیره قشم	AMB
۳	۱۴۹۷ م	۵۶/۳	۲۷/۲	-----	هرمز	AMB
۴	۱۹۲۲/۱۰/۰۴ م	۵۶/۴	۲۷/۱	-----	بندرعباس	AMB
۵	۱۷۰۳ م	۵۴/۹	۲۶/۶	۶/۸	قیش- هنگام	AMB
۶	۱۸۲۹ م	۵۵/۳	۲۶/۷	-----	جزیره قشم	AMB
۷	۱۸۴۹ م	۵۷/۶	۲۷/۷	-----	کهنوج	AMB
۸	۱۸۸۸/۰۵/۱۹ م	۵۶	۲۶/۹		جزیره قشم	AMB
۹	۱۸۹۷/۰۱/۱۰ م	۵۶	۲۶/۶	۶/۴	جزیره قشم	AMB

علاوه بر زمین لرزه‌های تاریخی، بررسی زلزله‌های دستگاهی استخراج شده از بانک اطلاعات لرزه‌ای

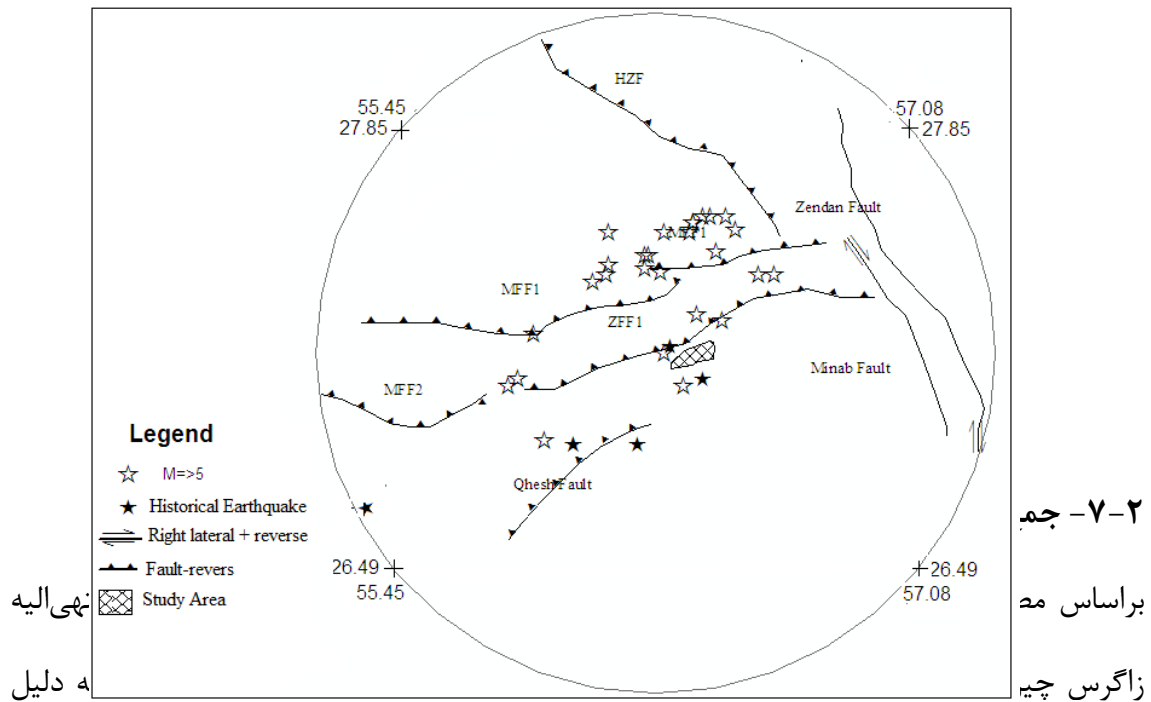
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES) نشان می‌دهد که ۲۷ مورد زلزله با بزرگای بیشتر از ۵ ریشتر از محدوده مورد مطالعه به شعاع ۵۰ کیلومتر اتفاق افتاده است که عمق اکثر این زلزله‌ها کمتر از ۲۰ کیلومتر بوده و همچنین برخی از این زمین‌لرزه‌ها مانند زلزله سال ۱۹۰۷ میلادی با بزرگای Ms=5.7 در شهر بندرعباس و زلزله سال ۱۹۰۲ میلادی با بزرگای Ms=6.4 در ۱۲ کیلومتری جنوب شهر بندرعباس اتفاق افتاده‌اند جدول (۲-۲). همچنین در شکل (۲-۸) نحوه

جدول ۲-۲- فهرست زمین‌لرزه‌های بزرگ و مهم شهر بندرعباس و گستره ۵۰ کیلومتری اطراف آن در یکصد سال اخیر

ردیف	تاریخ	زمان	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق	Mw	Ms	Mb	M _L	منبع
۱	۱۹۰۲/۰۷/۰۹	۳:۳۸:۰۰	۲۷/۰۸	۵۶/۳۴	----	----	۶/۴	----	----	AMB
۲	۱۹۰۷/۰۷/۰۴	۹:۱۲:۰۰	۲۷/۱۸	۵۶/۲۸	----	----	----	۶	----	AMB
۳	۱۹۴۹/۰۴/۲۴	۴:۲۲:۰۰	۲۷/۲۸	۵۶/۴۶	----	----	۶/۳	۶/۱	----	AMB
۴	۱۹۴۹/۰۷/۰۵	۲:۳۰:۰۴	۲۷/۴۲	۵۶/۵۷	۳۳	----	----	۵/۵	----	NAB
۵	۱۹۷۱/۱۰/۰۵	۱۸:۳۱:۱۸	۲۷/۲۴	۵۵/۵۸	۴۴	----	----	۵/۱	----	ICS
۶	۱۹۷۱/۱۲/۰۹	۱:۴۲:۳۱	۲۷/۳	۵۶/۳۸	۱۰	----	----	۵/۳	----	EHB
۷	۱۹۷۵/۰۳/۰۷	۷:۰۴:۴۲	۲۷/۴۸	۵۶/۲۲	۱۱	----	----	۵/۸	----	EHB
۸	۱۹۷۵/۰۳/۰۷	۱۴:۲۶:۵۱	۲۷/۴۸	۵۶/۲۳	۱۷	----	----	۵/۱	----	EHB
۹	۱۹۷۵/۰۸/۲۷	۱۶:۵۹:۳۰	۲۷/۵۵	۵۶/۱۱	۱۸	----	----	۵	----	EHB
۱۰	۱۹۷۷/۰۱/۰۵	۵:۴۴:۴۰	۲۷/۴۴	۵۶/۲۲	۲۰	----	----	۵/۵	----	EHB
۱۱	۱۹۷۷/۰۳/۲۱	۲۱:۱۸:۵۲	۲۷/۵۸	۵۶/۳۷	۵	----	----	۶/۲	----	EHB
۱۲	۱۹۷۷/۰۳/۲۱	۲۱:۳۳:۱۶	۲۷/۵۵	۵۶/۳۶	۱۰	----	----	۵/۲	----	EHB
۱۳	۱۹۷۷/۰۳/۲۱	۲۲:۴۲:۰۵	۲۷/۶	۵۶/۴۷	۱۵	----	----	۵/۷	----	EHB
۱۴	۱۹۷۷/۰۳/۲۲	۲:۲۵:۵۶	۲۷/۴۳	۵۶/۲۷	۱۵	----	----	۵	----	EHB
۱۵	۱۹۷۷/۰۳/۲۲	۱۱:۵۷:۲۹	۲۷/۶	۵۶/۴۲	۱۱	----	----	۵/۷	----	EHB
۱۶	۱۹۷۷/۰۳/۲۳	۲۰:۴۰:۵۶	۲۷/۴۹	۵۶/۴۴	۲۰	----	----	۵	----	EHB
۱۷	۱۹۷۷/۰۳/۲۹	۲۲:۲۹:۱۵	۲۷/۵۸	۵۶/۳۷	۱۱	----	----	۵/۱	----	EHB
۱۸	۱۹۷۷/۰۴/۰۱	۱۳:۳۶:۲۴	۲۷/۵۵	۵۶/۲۸	۱۲	----	----	۶	----	EHB
۱۹	۱۹۷۷/۰۴/۳۰	۱۴:۳۵:۳۵	۲۷/۵۶	۵۶/۵	۱۳	----	----	۵/۱	----	EHB
۲۰	۱۹۸۰/۱۱/۱۷	۱۸:۲۴:۳۰	۲۷/۴	۵۶/۰۶	۱۵	----	----	۴/۷	۵/۳	EHB
۲۱	۱۹۸۱/۰۷/۰۳	۳:۵۱:۵۹	۲۷/۱	۵۶/۸۳	۱۱	----	----	۴/۴	۵/۳	EHB
۲۲	۱۹۸۳/۰۷/۱۲	۱۱:۳۴:۱۸	۲۷/۱	۵۶/۴	۱۸	----	----	۵/۷	۵/۸	EHB
۲۳	۱۹۸۷/۰۴/۲۹	۱:۴۵:۲۴	۲۷/۰۸	۵۶/۱	۱۰	----	----	۵/۸	۵/۴	EHB
۲۴	۱۹۹۷/۰۷/۲۷	۲۳:۳۳:۲۵	۲۷/۴۲	۵۶/۶۲	۱۹	----	----	۴/۸	۴/۷	EHB
۲۵	۲۰۰۳/۱۱/۰۵	۷:۵۸:۵۰	۲۷/۴۵	۵۶/۳۴	۱۵	----	----	۵/۲	----	EHB
۲۶	۲۰۰۶/۰۶/۰۳	۷:۱۵:۳۷	۲۷/۹۱	۵۵/۹۱	۱۴	----	----	۵/۱	----	IIIES

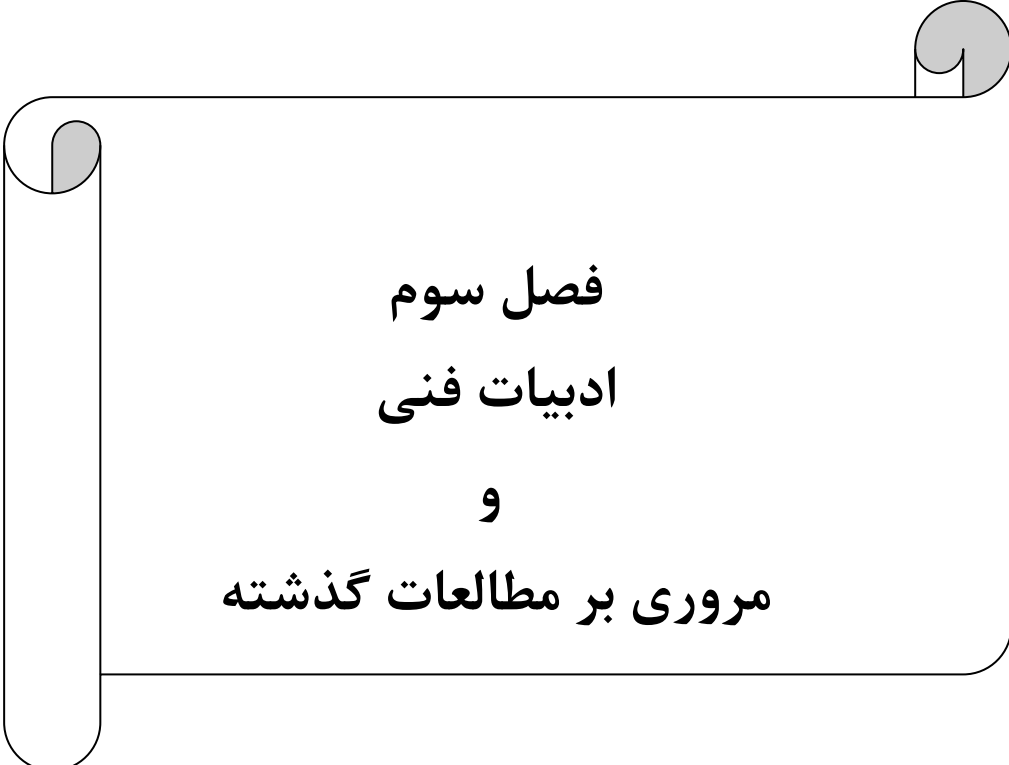
جدول ۲-۲- فهرست زمین لرزه های بزرگ و مهم شهر بندرعباس و گستره ۵۰ کیلومتری اطراف آن در یکصد سال اخیر

IIEES	۵	----	----	----	۱۵	۵۵/۸	۲۷/۰۸	۱۵:۰۹:۲۷	۲۰۰۸/۱۲/۰۹	۲۷		
AMB: Ambraseys,N.N,Melville,C.P.,1982												
EHB: Engdahl, van der Hilst and Buland Catalog												
ICS: International Seismological Centre,UK												
IIEES: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology												
NAB: Nabavi, Institute of Geophysics-Tehran University												
M _L : Local magnitude					بزرگای محلی			Ms: Surface wave magnitude			بزرگای امواج سطحی	
M _b : Short Period Body Wave Magnitude								M _w : Moment magnitude			بزرگای گشتاوری	



شکل ۲-۸- زلزله های تاریخی و دستگاهی محدوده مورد مطالعه به شعاع ۵۰ کیلومتر ساحلی بوس معیر بوده و با نور سدن ار ساحل، سطح اب اص محسوسی می سد. با توجه به بررسی شرایط زمین ساختی و لرزه زمین ساختی محدوده مورد مطالعه، گسل های MFF و ZFF که دارای پتانسیل بالای لرزه خیزی هستند و سابقه وقوع زلزله های تاریخی را دارند، دارای کمترین فاصله از این

محدوده می‌باشند. همچنین بررسی زلزله‌های تاریخی و دستگاهی، نشان از لرزه‌خیزی بالای منطقه دارد. این زلزله‌ها عمدتاً کم عمق بوده و دارای عمقی در حدود ۱۰-۱۵ کیلومتر می‌باشند.



فصل سوم
ادبیات فنی
و
مروری بر مطالعات گذشته

۳-۱- مقدمه

روانگرایی به عنوان یکی از علل عمده خرابی زمین در طول زمین لرزه شناخته شده است که به واسطه از بین رفتن مقاومت خاک در زمین‌های ماسه‌ای به علت افزایش فشار آب منفذی اتفاق می‌افتد. ارزیابی پتانسیل روانگرایی و همچنین ارزیابی مخاطرات ناشی از آن، از مهمترین مشکلات مهندسی ژئوتکنیک به شمار می‌رود که در چند دهه گذشته توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است.

در ابتدا این پدیده پس از اثرات ویران کننده زلزله نیگاتای ژاپن ($M_s=7.5$) سال ۱۹۶۴ و جمعه خوب (Good Friday, $M_w=9.2$) آلاسکا در سال ۱۹۶۴ مورد توجه جدی محققین قرار گرفت (Castro, 1995). پس از گذشت چهار دهه از این رویداد با بهبود وسایل آزمایشگاهی و همچنین توسعه نرم افزارهای جدید، توانایی دانشمندان زلزله و ژئوتکنیک برای بررسی این پدیده افزایش یافته است. در حقیقت روانگرایی پدیده پیچیده‌ای می‌باشد که فهم کامل آن مشکل است. بر پایه تحقیقات مستمر و تلاش محققین در دهه اخیر عوامل مختلفی که باعث ایجاد پدیده روانگرایی می‌شوند، شناسایی و قابل درک شده‌اند. بسیاری از محققین با ارائه روش‌های آنالیز تئوری و عددی و همچنین نحوه استفاده از تجهیزات پیشرفته در زمینه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، سهم به‌سزایی در افزایش درک ما از پدیده روانگرایی ایفا کرده‌اند.

در ادامه این فصل، به بررسی مشخصات و روش‌های پهنه‌بندی پدیده روانگرایی، عوامل تأثیر گذار در وقوع روانگرایی، اثرات مخرب ناشی از آن و روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی پرداخته می‌شود.

۳-۲- پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای

پهنه‌بندی (Zoning) در حقیقت تعیین محدوده‌های وقوع پدیده‌های مخاطره‌آمیز ناشی از زلزله با میزان احتمالات مختلف می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس نوع، مساحت و مقیاس، نوع و دقت اطلاعات و داده‌ای موجود و کاربری آنها به دو سطح کلان پهنه‌بندی (Macrozonation) و ریز

پهنه‌بندی (Microzonation) قابل تقسیم و تهیه هستند. کلان پهنه‌بندی نتیجه‌ای از برآورد کلی خطرات ناشی از زمین‌لرزه است. با توجه به این که مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای نسبت مستقیم با حرکات زمین و زلزله دارد، پهنه‌بندی مناطق برای حرکات زمین و زلزله‌ها از مبانی مهم یک پهنه-بندی جهت خطرات زلزله می‌باشد. کلان پهنه‌بندی، یک نقشه کوچک مقیاس از توزیع جغرافیایی فاکتورها و پارامترهای اساسی مرتبط با پدیده‌های ژئوتکنیک لرزه‌ای است.

برای مقابله با مخاطرات زمین‌لرزه و ایمن‌سازی تاسیسات و سازه‌ها در برابر آن، علاوه بر طراحی سازه به صورت مقاوم در مقابل اثرات مخرب نیروهای دینامیکی، ایمنی ساختگاه در مقابل وقوع پدیده‌های مخرب ژئوتکنیک لرزه‌ای، نیز بایستی مطالعه و تامین شود. اثرات نیروهای دینامیکی زمین‌لرزه به صورت مستقیم و غیر مستقیم در آیین نامه‌ها و استانداردهای طراحی، منعکس و با ارائه پارامترهای اساسی طراحی سازه، قابل محاسبه و ارزیابی هستند ولی در رابطه با موضوع دوم، اطلاعات پایه محدودی در اختیار بعضی مراکز تحقیقاتی بوده و به همین دلیل توجه عمومی کمتری نسبت به ایمنی ساختگاه در مقابل پدیده‌های مخرب ژئوتکنیک لرزه‌ای و تهیه نقشه‌های بهره‌گیری از زمین شده است (میرحسینی و همکاران، ۱۳۷۶).

رشد روز افزون در شناخت این پدیده‌ها، به دنبال وقوع لغزش‌های زمین در مقیاس بزرگ و روانگرایی‌های عظیم که در اغلب زمین لرزه‌ها مشاهده شده است، اهمیت حفظ ایمنی ساختگاه را مورد توجه بسیاری از مهندسين، محققين و استفاده کنندگان از زمین در مناطق فعال و لرزه‌خیز دنیا قرار داده است و باعث شده تا شهرهای بزرگی که دارای خطر پذیری بالایی نسبت به مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای هستند مورد توجه دقیق قرار گیرند. در این راستا، پس از ارزیابی‌های دقیق، نتایج آنها به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی و منطقه‌ای، بزرگ مقیاس ارائه شده است. بنابراین، ریزپهنه‌بندی یک نقشه بزرگ مقیاس از ارزیابی‌های دقیق نسبت به مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای می‌باشد.

۳-۳- مشخصات و درجه‌های پهنه‌بندی

بر اساس کارهای صورت گرفته توسط کمیته فنی مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای (TC4) که در سال ۱۹۸۵ توسط انجمن بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی به رسمیت شناخته شد، نقشه‌های پهنه‌بندی بنا بر دقت مورد نیاز، اطلاعات موجود و بودجه، به سه سطح طبقه‌بندی شده است (میرحسینی و همکاران، ۱۳۷۶). طبقه‌بندی انجام شده در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

جدول ۳-۱- راهنمای روش‌های پهنه‌بندی پدیده‌های ژئوتکنیک لرزه‌ای در سطوح مختلف، (میرحسینی و همکاران، ۱۳۷۶)

درجه سه	درجه دو	درجه یک	
تحقیقات ژئوتکنیکی (تحلیل پاسخ زمین)	میکروترمور و مطالعات اولیه ژئوتکنیکی	زلزله‌های تاریخی و اطلاعات موجود، نقشه‌های زمین شناسی و مصاحبه با ساکنین محلی	حرکات زمین
تحقیقات ژئوتکنیکی (تحلیل پایداری شیب)	عکس‌های هوایی و برداشت ای کلی (دورسنجی)، مطالعات محلی، پوشش گیاهی و بارش	زلزله‌های تاریخی و اطلاعات موجود، نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین ریخت شناسی	ناپایداری شیب
تحقیقات ژئوتکنیکی (تحلیل روانگرایی)	عکس‌های هوایی و برداشت ای کلی (دورسنجی)، مطالعات محلی، مصاحبه با ساکنین	زلزله‌های تاریخی و اطلاعات موجود، نقشه‌های زمین شناسی و زمین ریخت‌شناسی	روانگرایی
۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰۰	مقیاس

۳-۳-۱- پهنه‌بندی درجه یک

اولین سطح پهنه‌بندی، بر پایه تعریف و تفسیر اطلاعات موجود، اسناد تاریخی، گزارش‌های منتشر شده و دیگر اطلاعات قابل دسترسی است. این روش کم هزینه‌ترین و ابتدایی‌ترین روش معمول و سریع‌ترین روش ارزیابی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای برای پوشش اطلاعاتی در سطح یک منطقه بزرگ مانند: کشور، استان یا نواحی محلی است. در این روش می‌توان با بهره‌گیری از کاتالوگ زلزله‌ها،

نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختارهای زمین موجود (بویژه نهشته‌های جوان دوران کواترنری) و همچنین گزارش‌های آزمایشات و مطالعات صحرایی پروژه‌های احداث شده، می‌توان شرایط خاک و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تعیین کرد. با اصلاح و طبقه‌بندی داده‌های زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی منطقه بر حسب سطوح مختلف خطر، نقشه‌های پهنه‌بندی برای مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای را تهیه کرد.

۳-۳-۲- پهنه‌بندی درجه دو

این درجه از پهنه‌بندی، به دلیل دارا بودن اطلاعات بیشتر از کیفیت بهتر نسبت به پهنه‌بندی درجه یک برخوردار است. در این پهنه‌بندی، با استفاده از عکس‌های هوایی قدیمی، بویژه اگر قبل از توسعه شهری تهیه شده باشند، شرایط زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی با داده‌های بیشتر و دقیق‌تر بدست می‌آید. همچنین با مطالعات صحرایی بیشتر، گزارشات ژئوتکنیکی ارائه شده توسط بخش‌های دولتی و غیر دولتی و نیز استفاده از اندازه‌گیری‌های میکروترمور، اطلاعات بیشتری از لایه‌های زمین و مشخصات بزرگنمایی حرکات زمین بدست می‌آید. این روش از پهنه‌بندی از هزینه معقولی برخوردار است. با ارائه این نقشه‌ها اطلاعات بسیار مفیدی از میزان خطر پذیری یک منطقه نسبت به مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای بویژه روانگرایی بدست می‌آید و لذا داشتن این نقشه‌ها، معیار مناسبی برای مطالعات دقیق‌تر در نواحی با پتانسیل بالا می‌باشد.

۳-۳-۳- پهنه‌بندی درجه سه

هنگامی که توسعه یک منطقه از دیدگاه اجتماعی، اقتصادی و سیاسی و نظامی حائز اهمیت باشد، ایمنی ساختگاه نیز برای چنین مجموعه‌هایی لازم و ضروری است. بدین منظور یک پهنه‌بندی با کیفیت بالا به همراه جزئیات کامل مورد نیاز است. در این روش با انجام مطالعات صحرایی بیشتر و دقیق‌تر، همچنین با تهیه نمونه‌های دست نخورده با کیفیت مطلوب و مناسب و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی می‌توان به نتایج دقیق‌تری دست پیدا کرد. نتایج این مطالعات به وسیله برنامه‌های

تحلیلی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای که بر اساس روش‌های تحقیقاتی و مدرن ارائه شده است، می‌تواند در تحلیل پاسخ لرزه‌ای زمین، رفتار ناپایداری شیب و یا پتانسیل روانگرایی یک منطقه اطلاعات کاملی ارائه نماید و این اطلاعات به صورت نقشه‌های کاربری و پهنه‌بندی درجه سه راهگشای تامین ایمنی ساختگاه باشد. بنابراین بر اساس آیین نامه‌های موجود برای ارائه یک نقشه پهنه‌بندی درجه سه می‌بایست اطلاعات در فاصله‌های ۵۰۰ متری وجود داشته باشد. از این رو منطقه را بر اساس دقت مورد نیاز به شبکه‌های مربعی تقسیم کرده و سپس اقدام به جمع‌آوری اطلاعات در شبکه‌های مورد نظر می‌کنیم. این سطح از پهنه‌بندی عموماً پرهزینه است اما برای محل‌هایی که پتانسیل خطر بالا می‌باشد و یا گسترش آینده آن مد نظر است، چنین سطحی از مطالعات و در نهایت پهنه‌بندی درجه سه در برابر مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای ضروری می‌باشد (میرحسینی و همکاران، ۱۳۷۶).

۳-۴- تاریخچه مطالعه پدیده روانگرایی

روانگرایی خاک به عنوان یکی از اثرات مستقیم خرابی در زلزله‌ها به شمار می‌رود. این پدیده اغلب به عنوان کاهش سریع مقاومت برشی تعریف می‌شود، این فرایند ممکن است سیکنی باشد (مانند حالت زلزله) یا یکنواخت (مانند حالت گسیختگی شیب). بانیتا (Bonita, 2000) این گونه بیان می‌کند: هازن (Hazen, 1920) اولین شخصی بود که این افت مقاومت (روان شدن) را گزارش کرد اما ترزاقی (Terzaghi, 1925) اولین محقق بود که اصطلاح روانگرایی را ابداع کرد که در آن هنگام آنرا چنین بیان داشت: "اگر خاک اشباع فروریزد روانگرایی رخ می‌دهد، که منجر به انتقال وزن ذرات جامد به داخل آب احاطه کننده می‌شود. یکی از پیامدها این است که فشار آب هیدرواستاتیک، که در آن هنگام نزدیک به سطح غوطه‌وری خاک است، در هر عمقی افزایش می‌یابد" (Castro, 1969).

بررسی متون تخصصی نشان می‌دهد که کاساگراند (Casagrande, 1936) اولین محقق بود که این پدیده را مورد مطالعه قرار داد. گر چه کاساگراند در آن زمان از عبارت روانگرایی استفاده ننمود، ولی تعریف این پدیده را این‌گونه بیان کرد: "تراکم بسیاری از خاک‌های غیر چسبنده در حالت سست،

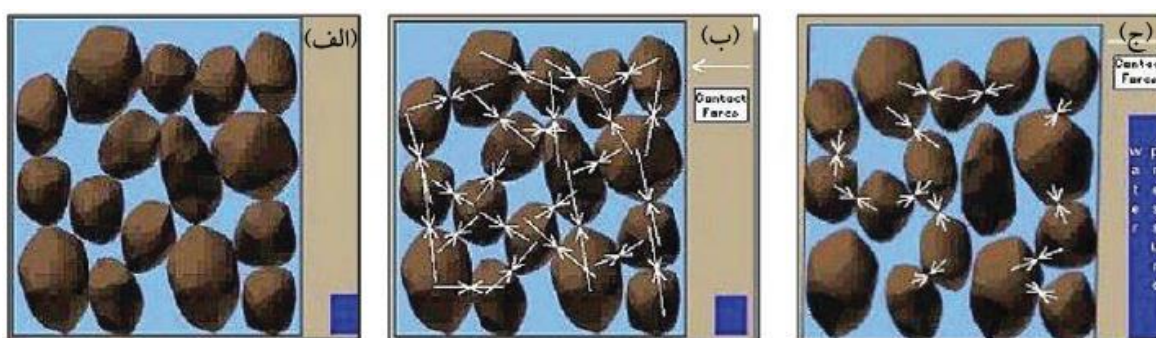
بویژه ماسه‌های یکنواخت متوسط تا ریز، به میزان قابل توجهی در زیر تراکم بحرانی قرار دارد. برخی مصالح در حالت سست خود، چنانچه در معرض تغییر شکل‌های پیوسته قرار گیرند، گرایش به کاهش حجم دارند. اگر منافذ به وسیله آب پر شده باشند و آب نتواند با همان سرعتی که تغییر شکل ایجاد می‌گردد زهکشی شود، در این صورت یک انتقال بار موقتی به آب اتفاق می‌افتد و کاهش زاویه اصطکاک به وجود آمده به پایداری توده آسیب می‌رساند، که در حالت نهایی خود می‌تواند به لغزش جریانی منجر گردد". مفهوم روانگرایی در دهه ۱۹۶۰، بدنبال وقوع زلزله‌ها ۱۹۶۴ در انگریج آلاسکا و نیگاتای ژاپن که گسیختگی خاک در آنها موجب آسیب‌های سازه‌ای عظیمی شد، در سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفت.

نخستین بار ترزاقی و پک (Terzaghi & Peak, 1948) عبارت " روانگرایی خود به خودی یا طبیعی " را برای نشان دادن تغییر ناگهانی نهشته‌های سست ماسه‌ای به جریان‌اتی شبیه سیال لزج به واسطه اغتشاش جزئی مورد استفاده قرار دادند (Bonita, 2000). کاساگراند (Casagrande, 1975) روانگرایی را در قالب روانگرایی واقعی و روانگرایی دوره‌ای تعریف کرد. روبرتسن (Robertson, 1994) واژگان مرتبط با روانگرایی ارائه شده توسط کاساگراند و کاسترو (Castro & Casagrande) را به وسیله یک سیستم طبقه‌بندی که در آن هم نوع بارگذاری و هم نوع رفتار تنش- کرنش خاک شرکت دارند، خلاصه نمود و اصطلاحات روانگرایی جریانی (Flow Liquefaction) و نرم شوندگی دوره‌ای (Cyclic Softening) را ارائه کرد.

۳-۵- سازوکار وقوع روانگرایی

مقاومت خاک‌های غیر چسبنده، ناشی از مقاومت اصطکاکی میان ذرات می‌باشد و در هر عمقی از زمین، بخشی از وزن خاک و دیگر بارهای روی آن توسط نیروهای میان ذرات و بخشی دیگر به وسیله آب تحمل می‌گردد. خاک‌های غیرچسبنده اشباع هنگامی که تحت تاثیر ارتعاش، به ویژه حرکات لرزه قرار می‌گیرند ممکن است همانند گل مایع، ناگهان به صورت یک سیال در آیند. در این نوع خاک‌ها

پیش از وقوع زمین لرزه، بدلیل تماس ذرات خاک با یکدیگر که موجب ایجاد مقاومت برشی می‌شود، خاک پایداری سازه تامین می‌کند (شکل ۳-۱- الف). هنگامی که خاک در اثر تنش‌های برشی ناشی از ارتعاش‌های زمین لرزه، تغییر شکل می‌دهد شکل‌های (۳-۱- ب و ۳-۱- ج)، تماس بین ذرات از بین می‌رود. در نتیجه نیروهایی که اصولاً به وسیله تماس بین ذرات در امتداد قائم تحمل می‌شوند به آب منفذی منتقل شده و این امر موجب کاهش تنش موثر و بروز پدیده روانگرایی می‌شود (ارومی‌های و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۳-۱- تصاویر به ترتیب از چپ به راست چگونگی کاهش نیروی تماس به دانه‌ای را نشان می‌دهد. نوار آبی رنگ کنار هر تصویر نشان دهنده میزان فشار آب منفذی است (After www.ce.washington.edu).

۳-۶- عوامل کنترل کننده روانگرایی

عوامل مختلفی برای جداسازی ساختگاه‌هایی که به طور مشخص نسبت به وقوع روانگرایی بی خطر هستند از ساختگاه‌هایی که نیاز به مطالعات تفصیلی بیشتر دارند وجود دارد. براساس نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی ایشیهارا (Ishihara. 1985)، سید و لی (Seed & Lee. 1965) و همچنین مطالعات محلی و مشاهدات صحرایی انجام شده، معیارهای گزینشی زیر مهمترین عواملی هستند که روانگرایی کنترل کرده و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس آنها تعریف می‌شوند. این معیارها عبارتند از: تراز آب زیرزمینی، شدت و مدت زلزله، نوع خاک، چگالی نسبی، دانه بندی، شرایط زهکشی، شرایط زمین‌شناسی، تاریخچه تنش.

۳-۶-۱- تراز آب زیر زمینی

روانگرایی در خاک‌های اشباع و بسیار نزدیک به اشباع به وقوع می‌پیوندد. نهشته‌هایی که در تراز آزاد آب زیر زمینی - تراز دائم یا بالا آمده آب، قرار دارند عموماً اشباع می‌باشند. مقاومت روانگرایی به طور محسوسی با عمیق‌تر شدن تراز آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. تحقیقات ژئوتکنیکی در ساختگاه‌هایی که در گذشته روانگرایی در آنها رخ داده است، نشان می‌دهد که بیشترین موارد روانگرایی در مناطقی با تراز آب زیرزمینی کمتر از ۳ متر به وقوع پیوسته است. البته در برخی موارد روانگرایی با تراز آب زیرزمینی ۱۰ متر و همچنین موارد اندکی در نواحی با تراز بیشتر از ۱۵ مشاهده شده است (حسینی، ۱۳۸۸).

۳-۶-۲- شدت و مدت زلزله

شایع‌ترین علت روانگرایی آزاد شدن انرژی لرزه‌ای ناشی از زلزله است. پتانسیل روانگرایی با افزایش خصوصیتی از زلزله از قبیل مدت زمان لرزش، شتاب و همچنین تنش‌های برشی که باعث انقباض ذرات خاک و افزایش اضافه فشار آب منفذی می‌شوند، افزایش می‌یابد. برای شروع روانگرایی یک حد آستانه‌ای از شتاب ماکزیمم (a_{max}) لازم است.

ایشیهارا (Ishihara 1985) این شتاب را $0.1g$ و بزرگی محلی (M_L) تقریباً ۵ معرفی کردند. علاوه بر زلزله شرایط دیگر از قبیل انفجار زیر سطحی، شمع کوبی و ارتعاشات ناشی از ترافیک قطار نیز می‌توانند باعث روانگرایی شوند (حافظی مقدس، ۱۳۸۹).

۳-۶-۳- نوع خاک

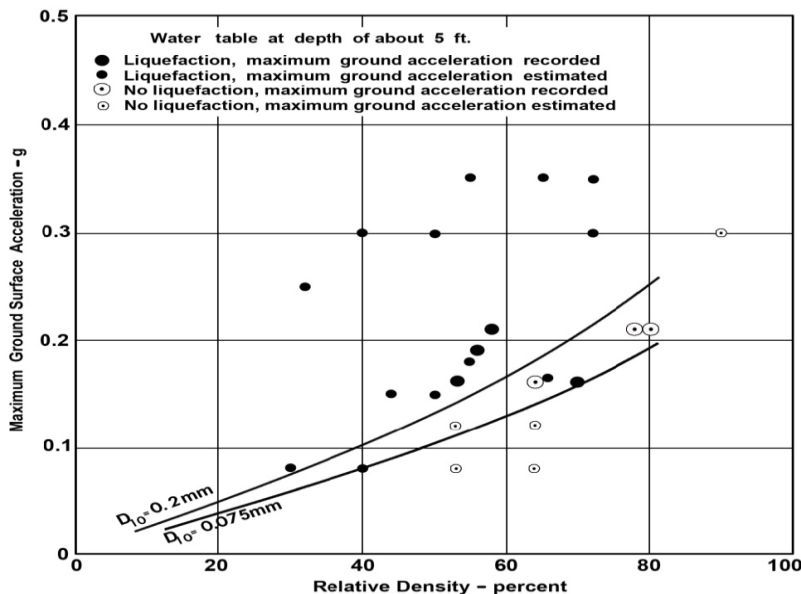
یکی از گام‌های مهم در ارزیابی پتانسیل شروع روانگرایی خاک، تعیین نوع خاک است. ایشیهارا (Ishihara, 1985) "بیشترین خطر روانگرایی در طول زلزله مربوط به ماسه‌های ریز تا متوسط و ماسه‌های که حاوی ذرات ریز کم شکل پذیر هستند، می‌باشد البته در مواردی روانگرایی در خاک‌های گراولی نیز گزارش شده است".

سید و همکاران (Seed et al. 1983) براساس آزمون‌های آزمایشگاهی و مطالعات میدانی اظهار داشتند، اکثریت خاک‌های چسبنده در طول زلزله حالت مایع گونه پیدا نمی‌کنند. با استفاده از معیارهای اصلی ارائه شده توسط سید و همکاران (Seed & Idriss, 1982) یک خاک چسبنده جهت روانگرا شدن باید دارای شرایط زیر باشد:

الف- درصد اجزاء کوچکتر از ۰,۰۰۵ میلی متر کمتر از ۱۵ درصد، ب- خاک‌های باحد روانی کمتر از ۳۵، پ- درصد رطوبت بیشتر از ۰,۹ حد خمیری باشد. خاک‌های چسبنده‌ای که این شرایط را نداشته باشند روانگرا نمی‌شوند اما افت مقاومت برشی در بار لرزه‌ای را خواهند داشت.

۳-۶-۴- چگالی نسبی خاک

مطالعات میدانی نشان داده خاک‌های غیرچسبنده که دارای چگالی نسبی (D_r) پایینی هستند، مستعد روانگرایی می‌باشند. شکل (۲-۳) ارتباط میان بیشینه شتاب سطح زمین (a_{max}) و تراکم نسبی خاک (D_r) را نشان می‌دهد که با افزایش تراکم نسبی، قابلیت روانگرایی کاهش پیدا می‌کند هرچند این رابطه با محدودیت‌هایی مواجه شد و ادامه پیدا نکرد ولی گام بلند و مهمی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی بود (Seed & Idriss, 1971).



شکل ۲-۳- همبستگی میان شتاب حد اکثر زمین و تراکم نسبی ماسه مستعد روانگرایی، (Seed & Idriss, 1971)

۳-۶-۵- دانه‌بندی

نحوه توزیع ذرات با ابعاد مختلف در داخل یک توده نهشته‌های رسوبی بر رفتار آنها تحت تاثیر بارهای ارتعاشی تاثیر می‌گذارد. معمولاً خاک‌های خوب دانه‌بندی شده نسبت به خاک‌های با دانه‌بندی ضعیف - یکنواخت و یا ناپیوسته استعداد کمتری برای روانگرایی دارند. در یک خاک خوب دانه‌بندی شده، پرشدن حفره‌های میان ذرات بزرگتر با ذرات ریزدانه، سبب کاهش پتانسیل تغییر حجم در شرایط زهکشی شده و در نتیجه اضافه فشار آب منفذی کمتر می‌گردد.

۳-۶-۶- شرایط زهکشی

تمایل به انقباض خاک‌ها در طی تکان‌های لرزه‌ای (بیشتر خاک‌های سست) سبب بالا رفتن فشار آب منفذی می‌شود. چنانچه این امکان وجود داشته باشد که فشار آب منفذی اضافی به سرعت زهکشی گردد، روانگرایی خاک تا حد زیادی کاهش می‌یابد. خاک‌های درشت‌دانه شنی از جمله خاک‌هایی هستند که فرایند زهکشی در آنها به سرعت انجام می‌گیرد، مگر آنکه زهکشی این خاک‌ها به دلیل قرار گرفتن مصالح ریزدانه با نفوذپذیری کم در اطرافشان و یا در خلل و فرجشان کاهش یافته باشد.

۳-۶-۷- شرایط زمین‌شناسی

از عوامل زمین‌شناسی موثر بر استعداد روانگرایی می‌توان به شرایط رسوب‌گذاری، شرایط هیدرولیکی و سن توده خاک اشاره کرد. یود و پرکینس (Youd & Perkins, 1978) به این نکته اشاره کردند که مقاومت روانگرایی به طور محسوسی با سن زمین‌شناسی افزایش می‌یابد. سید (Seed, 1979) افزایش قابل توجه مقاومت روانگرایی را با افزایش سن نمونه‌های ماسه‌ای بازسازی شده در آزمایشگاه مشاهده کرد. در این بررسی و طی انجام آزمایش‌های دوره‌ای بر روی نمونه‌های ماسه‌ای بازسازی شده‌ی تازه و نمونه‌های ۱۰۰ روزه، افزایشی به میزان ۲۵ درصد در نسبت مقاومت دوره‌ای ثبت کرد.

۳-۶-۸- ویژگی‌های سخت‌شدگی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد ویژگی‌های دیاژنتیکی خاک شامل سیمانی شدن، نسبت پیش تحکیمی (Over Consolidation Ratio) و ضریب فشار جانبی در حالت سکون (K_0) می‌تواند روانگرایی آن را تحت تاثیر قرار دهند. با افزایش نسبت پیش تحکیمی و همچنین ضریب فشار جانبی در حال سکون، مقاومت روانگرایی افزایش می‌یابد (Seed & Idriss, 1971).

۷-۳- سازکارهای گسیختگی ناشی از روانگرایی

وقوع پدیده روانگرایی به طرق مختلفی بر ساختمان‌ها، پل‌ها، شریان‌های حیاتی، تاسیسات و دیگر سازه‌ها تأثیر می‌گذارد. تغییر شکل زمین ناشی از وقوع پدیده روانگرایی، گسیختگی نامیده می‌شود. این گسیختگی‌ها زمانی مهم قلمداد می‌شوند که به اندازه کافی بزرگ بوده و به سازه‌ها آسیب برسانند. در این قسمت برخی از مهمترین انواع گسیختگی‌های زمین در اثر وقوع روانگرایی معرفی می‌گردد.

۱-۷-۳ جوشش ماسه

جوشش ماسه (Sand boil) نشان دهنده افزایش فشار آب منفذی در عمق می‌باشد. دو شرط برای تشکیل جوشش ماسه لازم است. اولاً وجود اضافه فشار آب منفذی است که بتواند گرادیان هیدرولیکی کافی ایجاد کند و ثانیاً حجم آب کافی که بتواند جریان لازم برای رساندن مواد به سطح زمین فراهم سازد. فرآیند جوشش ماسه به عمق، تراکم، ضخامت و پیوستگی محدوده اضافه فشار آب منفذی بستگی دارد (شکل ۳-۳).

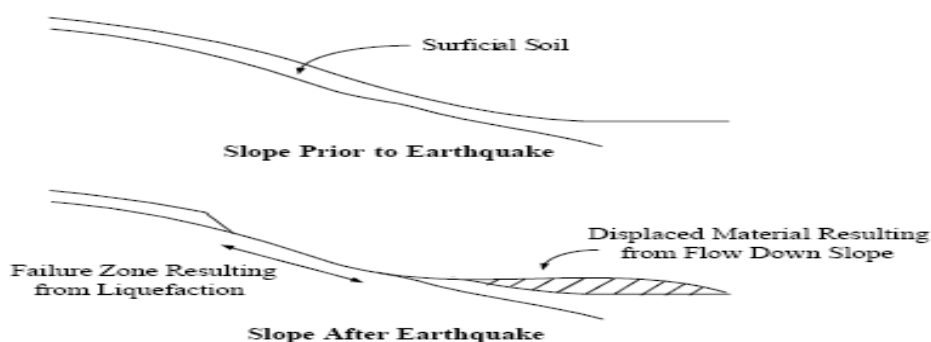


شکل ۳-۳- الف) جوشش مخروطی شکل ماسه در زلزله (Imperial Valle, 1979)

ب) جوشش ماسه خطی در زلزله (Loma Prieta, 1989)

۳-۷-۲- گسیختگی جریان

گسیختگی جریان (Flow failure) عبارت است از تغییر مکان سریع لایه روان شده و فرو افتادن لایه‌ی فوقانی در شیب‌های تند، عموماً بزرگتر از سه درجه. شکل (۳-۴) یک نمای قیاسی از گسیختگی جریان نشان می‌دهد.

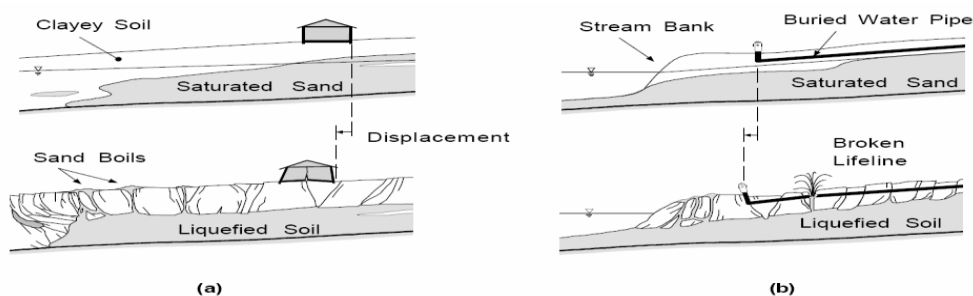


شکل ۳-۴- شکل قیاسی از گسیختگی جریان، (Youd, 1984 as cited in Cook, 2000)

این گسیختگی‌ها معمولاً توده‌های عظیم خاک را ده‌ها متر جابه‌جا می‌کنند و در موارد کمی توده‌های عظیم خاک ده‌ها کیلومتر به سمت پایین دست شیب‌ها با سرعت‌هایی در محدوده ده‌ها کیلومتر بر ساعت و بیشتر حرکت کرده‌اند.

۳-۷-۳- گسترش جانبی

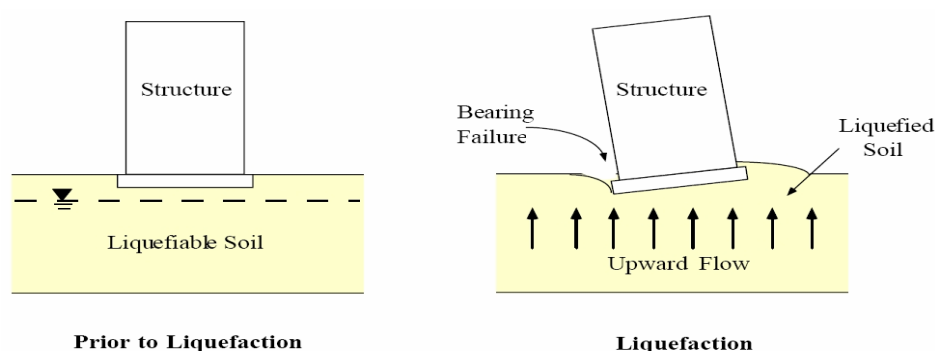
گسترش جانبی (Lateral spreading) ناشی از روانگرایی به صورت تغییر مکان جانبی محدود زمین با شیب ملایم در نتیجه افزایش فشار منفذی یا روانگرایی در نهشته‌ی کم عمق، تعریف می‌شود. گسترش جانبی ناشی از روانگرایی به صورت شماتیک در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- روانگرایی و گسترش جانبی با شیب ملایم (a)، روانگرایی و گسترش جانبی به سمت سطح آزاد (b) (Rauch, 1997 as cited in Bardet, 2003)

۳-۷-۴- از دست رفتن ظرفیت باربری خاک

از دست رفتن ظرفیت باربری (Loss of bearing capacity) ناشی از افت مقاومت به همراه افزایش فشارهای آب منفذی و نرم‌شدگی خاک، به هنگام وقوع پدیده روانگرایی رخ می‌دهد. این پدیده باعث نشست و جابه‌جایی در پایه‌ی پل‌ها می‌شود (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- گسیختگی ظرفیت باربری، (Youd, 1984 as cited in Cook, 2000)

۳-۸- تاریخچه ارزیابی پتانسیل روانگرایی

بر مبنای تحقیقات سید و همکارانش در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ پیشرفت مهمی در درک پدیده روانگرایی ایجاد شد. این تحقیقات بیشتر در زمینه ارزیابی شرایط بارگذاری لازم جهت شروع روانگرایی بود و بر حسب تنش برشی دوره‌ای توصیف می‌شد. بر این اساس پتانسیل روانگرایی بر پایه دامنه تغییرات و تعداد سیکل‌های تنش برشی ناشی از زلزله ارزیابی گردید. بدنبال زلزله‌های فاجعه بار نیگاتا (۱۹۶۴) و آلاسکا (۱۹۶۴)، سید و ادريس (Seed & Idriss, 1971) دستورالعملی برای ارزیابی مقاومت روانگرایی لرزه‌ای خاک‌ها پیشنهاد نمودند که بعدها به روش ساده شده معروف شد. تا کنون این دستورالعمل چندین دفعه مورد بازبینی و الحاق قرار گرفته است که از شاخص‌ترین این مطالعات می‌توان به (Seed & Idriss, 1982; Seed et al. 1997, 2001; Youd et al. 1985) اشاره نمود. در سال ۱۹۸۵، کمیته‌ی مهندسی زلزله انجمن تحقیقات ملی (National Research Council)، کارگروه تخصصی متشکل از ۳۶ تن از متخصصان و ناظران، توسط پروفیسور Whitman از دانشگاه MIT، برای

ارزیابی و به روز رسانی این روش جمع شدند. نتایج این کارگروه در قالب گزارشی ارائه گردید و تا مدت‌ها به عنوان معتبرترین مرجع استفاده می‌شد. در سال ۱۹۹۶ کارگروه دیگری با محوریت پروفیسور یود (Yood) و ۲۱ نفر از متخصصان تشکیل شد. هدف این کارگروه تخصصی که بوسیله مرکز ملی تحقیقات مهندسی زلزله (National Center for Earthquake Engineering Research) حمایت مالی می‌شد ارزیابی پیشرفت‌های حاصل در ۱۰ سال پس از تشکیل کارگروه NRC بود. این کارگروه در سال ۲۰۰۱ نیز دوباره آخرین پیشرفت‌های به دست آمده در روش ساده شده را مورد بازبینی قرار دادند. با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که در راستای درک هر چه بهتر از مشخصات حرکات لرزه‌ای و سازوکار روانگرایی صورت گرفته است، بیشتر اصلاحات جزئی بوده و روش ساده شده چهار چوب اصلی خود را حفظ کرده است. در حال حاضر این روش به عنوان یک استاندارد اجرایی در آمریکا، کانادا و بسیاری از کشورهای دیگر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر مبنای تحقیقات انجام شده روش‌های مختلفی برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی ارائه شده است که عبارتند از: ۱- روش‌های مبتنی بر تنش دوره‌ای ۲- روش‌های مبتنی بر کرنش دوره‌ای ۳- روش‌های مبتنی بر انرژی ۴- روش‌های مبتنی بر احتمالات.

در روش تنش دوره‌ای، ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس آزمایش‌های صحرایی انجام می‌شود، این آزمایش‌ها عبارتند از: آزمایش نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test)، آزمایش نفوذ مخروط (Cone Penetration Test) و آزمایش سرعت موج برشی (Velocity Shear wave). با توجه به این که در تحقیق حاضر از گمانه‌های آزمون SPT برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی استفاده می‌شود، ابتدا روش تنش دوره‌ای شرح داده می‌شود و سپس روش ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر مبنای آزمایش نفوذ استاندارد مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۸-۱- روش تنش دوره‌ای

این روش به لحاظ مفهومی بسیار ساده است و بر مبنای همبستگی تجربی بین نسبت تنش برشی

دوره‌ای (Cyclic Stress Ratio) و نسبت مقاومت دوره‌ای (Cyclic Resistance Ratio) می‌باشد. این دستورالعمل به شکل زیر انجام می‌شود:

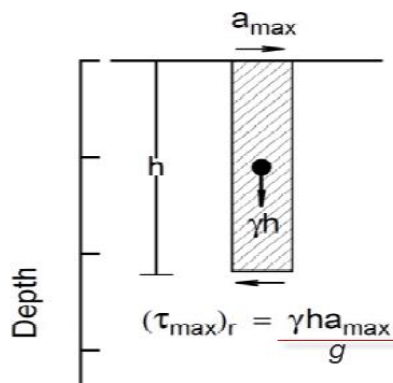
الف- جهت محاسبه CSR از روش ساده شده پیشنهادی سید و ادریس (1971) استفاده می‌شود. در این روش تاریخچه زمانی تنش‌های نامنظم حرکات لرزه‌ای به تعدادی از دوره‌های تنش یکنواخت معادل تبدیل می‌شود و مقدار تنش برشی از طریق تقسیم کردن مقدار محاسبه شده بر تنش موثر سربار نرمالیزه می‌گردد:

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} \quad (1-3)$$

در این روش فرض می‌شود ستونی از خاک که در بالای یک المان خاک در عمق h قرار دارد مانند یک جسم صلب رفتار می‌کند. اگر شتاب حداکثر در سطح زمین (a_{max}) باشد، تنش برشی ماکزیمم شکل (۷-۳) در انتهای ستون خاک برابر خواهد بود با:

$$(\tau_{max})_r = \gamma h \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad (2-3)$$

که در آن: γ وزن مخصوص کل خاک و g شتاب ثقل زمین است.



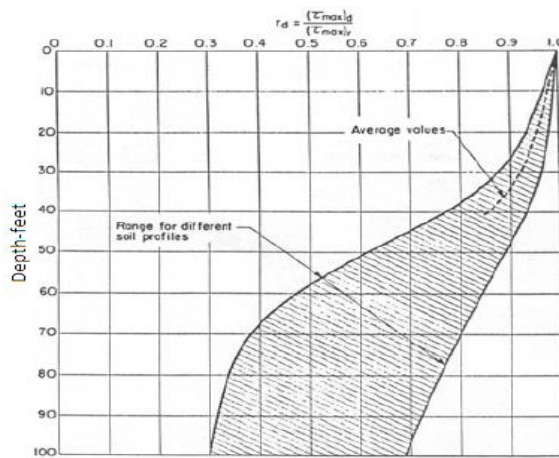
شکل ۳-۷- شماییک تعیین تنش برشی ماکزیمم $(T_{max})_r$

با توجه به اینکه ستون خاک صلب نمی‌باشد و رفتار واقعی آن تغییر شکل پذیر بوده، تنش کمتری در عمق h وارد می‌کند. این کاهش تنش ناشی از عواملی نظیر افت شتاب در عمق، پاسخ غیر خطی خاک و غیره است. بنابراین تنش برشی واقعی در هر عمق را می‌توان به صورت معادله (۴-۳) بیان

کرد.

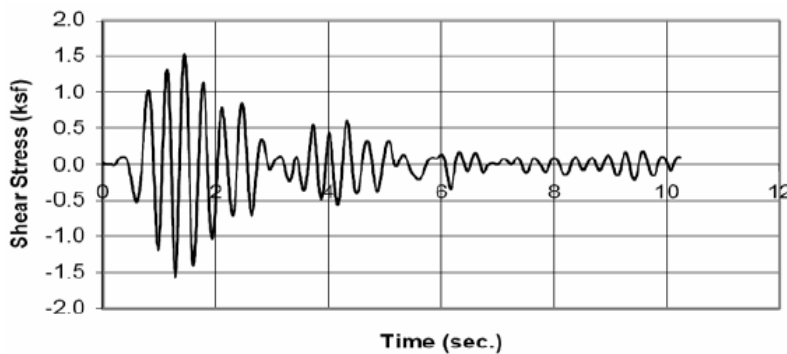
$$(\tau_{\max})_{real} = r_d (\tau_{\max})_{rigid\ body} \rightarrow r_d = \frac{(\tau_{\max})_{real}}{(\tau_{\max})_{rigid\ body}} = \frac{a_{\max, depth\ of\ int\ rest}}{a_{\max, ground\ surface}} \quad (3-3)$$

در این فرمول ضریب کاهش تنش برشی است که تابعی از عمق و سختی ستون خاک می‌باشد و مقداری کمتر از یک خواهد داشت. شکل (۳-۸) ضریب r_d را برای گستره وسیعی از حرکات زمین و شرایط ماسه‌ها تا عمق ۱۵ متری را نشان می‌دهد، r_d با افزایش عمق کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۸- دامنه تغییرات r_d پروفیل خاک (Seed & Idriis, 1971)

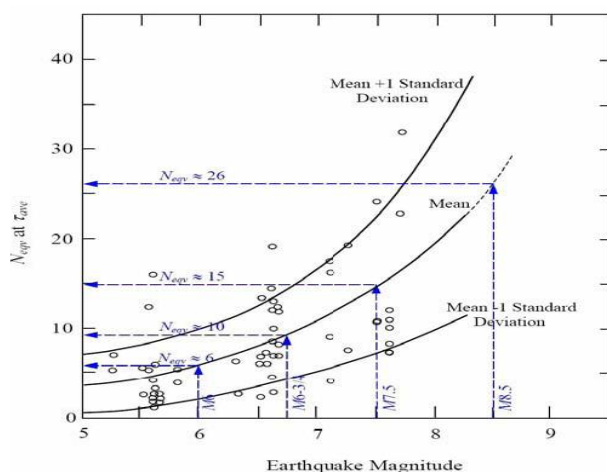
تغییرات تنش برشی ناشی از زلزله با زمان در هر نقطه از توده خاک شکل نامنظمی شبیه آنچه در شکل (۳-۹) ترسیم شده است، خواهد داشت.



شکل ۳-۹- تغییرات نامنظم تنش برشی در طول زلزله

با استفاده از این رابطه تنش - زمان می‌توان تنش برشی میانگین یکنواخت معادل را بدست آورد، با توجه به اینکه در روش ساده شده، بیشترین تحقیقات بر مبنای آزمون‌های آزمایشگاهی بود، دامنه

نامنظم تاریخیچه زمانی زلزله، به دامنه یکنواخت معادل برای دوره‌های هم‌هنگ تبدیل شد و اساس آن عبارت است از: (به معادله در آوردن جنبش‌های لرزه‌ای گذرا به بار دوره‌ای یکنواخت N_{eqv} سیکل، که در بردارنده بیشینه دامنه‌های مختلف باشد). سید و همکاران (Seed et al. 1975) رابطه بین بزرگای زلزله و تعداد دوره‌های معادل را ارائه کردند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰- رابطه بین بزرگای زلزله و تعداد دوره‌های معادل (Seed et al. 1975)

سید و همکاران (۱۹۷۱) این روابط را به صورت دقیق‌تر مورد بررسی قرار دادند و مقدار 0.65 انتخابی آنها، تا امروزه پا برجامانده است ($\tau_{cyc} = 0.65\tau_{max}$). با همپایه کردن تنش برشی دوره‌ای یکنواخت معادل به وسیله تنش سربار موثر اولیه، تنش یکنواخت معادل (CSR_{eqv}) به صورت رابطه (۳-۴) بدست می‌آید:

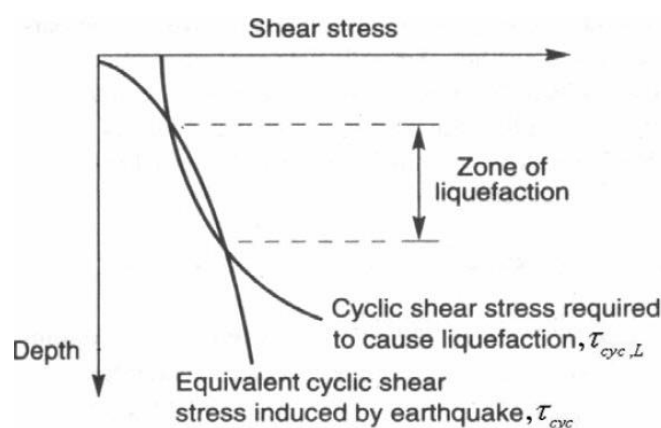
$$CSR_{eq} = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) (r_d) \quad (3-4)$$

که در آن؛ CSR_{eq} : نسبت تنش دوره‌ای افقی معادل، a_{max} : بیشینه شتاب افقی در سطح زمین، σ_{v0} : تنش کل قائم اولیه، σ'_{v0} : تنش موثر قائم اولیه، r_d : ضریب کاهش تنش در عمق، g : شتاب ثقل. ب- برای محاسبه نسبت مقاومت دوره‌ای دو روش وجود دارد ۱- روش مبتنی بر آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های شاخص دست نخورده، ۲- روش‌هایی که بر اساس آزمایش‌های صحرایی و مشاهدات روانگرایی در زلزله‌های گذشته تدوین گردیده‌اند.

در روش‌های آزمایشگاهی تهیه نمونه دست نخورده از نهشته‌های زیر تراز آب زیرزمینی، مشکل و پرهزینه و در خیلی موارد امکان پذیر نیست (Ishihara, 1993). از این رو استفاده از آزمایش‌های صحرایی جهت ارزیابی مقاومت روانگرایی مورد استقبال محققان قرار گرفت. از جمله مزایای آزمایش‌های صحرایی می‌توان به سریع و موثر بودن جهت تعیین مشخصات خاک، نمونه برداری در خاک‌های چسبنده و رسوبات ساحلی و کف دریا، اشاره کرد (Robertson et al. 1985).

ج- با ترسیم تنش‌های برشی بدست آمده در دو مرحله قبل بر روی یک نمودار (شکل ۳-۱۱)، در عمق مورد نظر اگر تنش برشی ایجاد شده در اثر زلزله از مقاومت دوره‌ای بیشتر باشد و یا به عبارت دیگر زمانی که طبق معادله (۳-۵) ضریب اطمینان روانگرایی کمتر از یک باشد، روانگرایی رخ می‌دهد.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{\tau_{cyc, L}}{\tau_{cyc}} \quad (۳-۵)$$



شکل ۳-۱۱- تشخیص ناحیه روانگرا براساس دستور العمل تنش دوره‌ای

۳-۹- ارزیابی پتانسیل روانگرایی برمبنای آزمایش مقاومت نفوذ استاندارد

آزمایش SPT در حدود سال ۱۹۲۷ ابداع گردید. امروزه یکی از متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها در مهندسی ژئوتکنیک برای طبقه‌بندی خاک، تخمین مقاومت برشی و ظرفیت باربری خاک‌ها در ساحل و خشکی می‌باشد و از سال ۱۹۵۸ تحت عنوان ASTM D1586 استاندارد شده است. در این آزمایش نمونه‌گیر استوانه‌ای شکافدار استاندارد بوسیله یک چکش ۶۳/۵ کیلوگرمی از ارتفاع ۷۶۰

میلی متری به صورت سقوط آزاد تا عمق ۴۵۰ میلی متری کوبیده می‌شود. از شمارش ۱۵۰ میلی متری اولیه با این احتمال که امکان دست خوردگی در نمونه وجود دارد، صرف نظر می‌شود و تعداد ضربات مورد نیاز جهت ۳۰۰ میلی متر بعدی به عنوان عدد SPT در نظر گرفته می‌شود (حافظی مقدس، ۱۳۹۰). استفاده از SPT به عنوان ابزاری برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی نخستین بار پس از وقوع خرابی‌های گسترده‌ی ناشی از روانگرایی در طی دو زلزله مخرب ۱۹۶۴ (جمعه خوب در آلاسکا با بزرگای ۸ و نیگاتای ژاپن با بزرگای ۷/۵) مطرح شد. تا کنون محققین بسیاری از جمله (NCEER, 1996, 2001; Seed, 1975; Seed and Idriis, 1971; Ohsaki, 1966; Kishida, 1966)؛ (Idriis & Boulanger, 2004; Seed et al., 2003, 2004) اقدام به ایجاد ارتباط بین شرایط تنش‌های زلزله‌ی ایجاد کننده روانگرایی و شمارش ضربات آزمایش SPT نموده‌اند. عوامل متعددی از جمله ناتوانی در اعمال بار هیدرولیکی کافی در گمانه، راندمان اضافی نمونه‌گیر، بسته شدن نمونه‌گیر با شن، روش حفاری نادرست، استفاده نکردن از سقوط استاندارد چکش، سقوط نکردن وزنه بصورت آزاد، استفاده نکردن از وزنه درست، ثبت بدون دقت تعداد ضربات و نفوذ، استفاده از سوراخ‌های حفاری خیلی بزرگ، نظارت غیرکافی، روی نتایج این آزمایش موثرند (Bengt et al. 1988). بنابراین عدد آزمایش نفوذ استاندارد باید نسبت به عواملی همچون فشار سربار، انرژی چکش و غیره اصلاح شود. با توجه به اینکه مقدار N آزمایش نفوذ استاندارد با افزایش تنش سربار موثر افزایش می‌یابد، فاکتور اصلاح تنش سربار اعمال می‌گردد (Seed and Idriis. 1982). این فاکتور به طور معمول از رابطه (۳-۳)

(۶) زیر محاسبه می‌شود (Liao & Whitman, 1986a):

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \quad (۳-۶)$$

در این رابطه C_N ، مقدار N_m برای فشار سربار موثر σ'_{v0} (1atm) 100kpa نرمالیزه می‌کند. عدد SPT نرمالیزه شده با N_1 نشان داده می‌شود و از ضرب کردن عدد SPT اصلاح نشده در ضریب تصحیح عمق (C_N) محاسبه می‌شود. یود و همکاران (Youd et al. 2001) حد بالایی C_N را به ۱٫۷ محدود کردند. بدلیل تغییراتی که در نحوه انجام آزمایش صورت می‌پذیرد، اجرای ضرایب تصحیح متعددی

طبق رابطه (۸-۳) و جدول (۳-۳) زیر لازم است (Youd et al. 2001).

$$(N_1)_{60} = N_M C_N C_E C_B C_R C_S \quad (8-3)$$

در این رابطه؛ N_M : تعداد ضربات SPT اندازه گیری شده، C_N : ضریب اصلاح فشار موثر سربراره، C_E : ضریب تصحیح نسبت انرژی چکش، C_B : ضریب تصحیح قطر گمانه، C_R : ضریب تصحیح طول میله و C_S : ضریب اصلاح برای نمونه گیرهای دارای غلاف یا فاقد غلاف است.

نسبت انرژی که به نمونه گیر منتقل می شود به عوامل مختلفی بستگی دارد. کواکز و سلومون دریافتند که انرژی ورودی به نمونه گیر برای ایجاد نفوذ در حدود ۳۰ تا ۸۰ درصد انرژی ورودی نظری است، در حالی که ریگز و همکاران آن را در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ درصد انرژی نظری برآورد کردند. بولز برآورد

جدول ۳-۲- اصلاحات SPT، اصلاح به وسیله (Skempton, 1986)
لیست شده بوسیله (Robertson & wrilde, 1988)

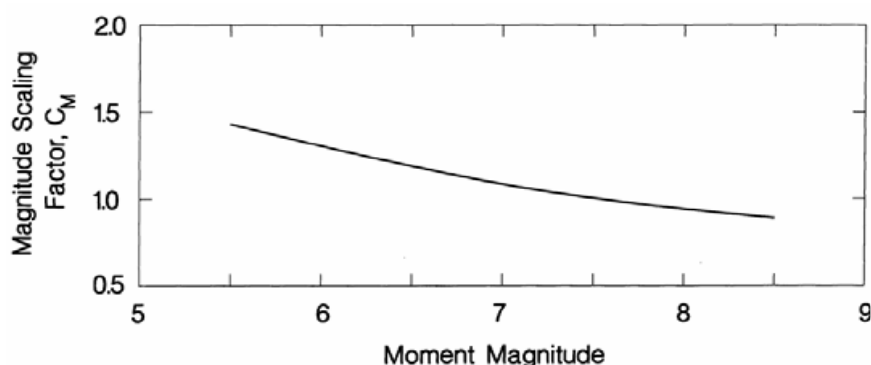
ضریب	نوع تجهیزات	مقدار
C_N	-----	$(p_a/\sigma_{v0})^{0.5}, C_N \leq 1.7$
C_E	چکش حلقه‌ای	۰,۵ تا ۱
	چکش ایمنی	۰,۷ تا ۱/۲
	چکش لغزشی اتوماتیک	۰,۸ تا ۱/۳
C_B	قطر گمانه ۶۵ تا ۱۱۵ میلی متر	۱
	قطر گمانه ۱۵۰ میلی متر	۰,۵ تا ۱
	قطر گمانه ۲۰۰ میلی متر	۱
C_R	طول میله کمتر از ۳ متر	۱/۰۵
	طول میله کمتر از ۳ متر	۱/۱۵
	طول میله ۳ تا ۴ متر	۰,۸
	طول میله ۴ تا ۶ متر	۰,۸۵
	طول میله ۱۰ تا ۳۰ متر	۰,۹۵
C_S	نمونه گیر استاندارد	۱
	نمونه گیر فاقد غلاف	۱/۱ تا ۱/۳

نمود که نسبت انرژی ابزارهای آمریکای شمالی به ۷۰ درصد نزدیک است (اورمیهای و همکاران، ۱۳۸۵). در پیش‌نویس دستوالعمل آزمایش تهیه شده در ایران این نسبت انرژی، ۶۰ درصد پیشنهاد شده است (روشن ضمیر، ۱۳۸۲).

۳-۹-۱- روش سید و همکاران (۱۹۸۵)

محاسبه نسبت تنش دوره‌ای:

به دلیل تعداد محدود داده‌های محلی روانگرایی در دهه‌ی ۷۰ میلادی، سید و ادریس (۱۹۸۲) قادر نبودند برای مقادیر بزرگای غیر از ۷/۵ به مرزهای مناسبی بین مناطق روانگرا شده و نشده بر روی منحنی‌های CSR ایجاد کنند. بنابراین مجموعه‌هایی از ضرایب مقیاس بزرگا را از روی تعداد معادل دوره‌های بارگذاری برای زلزله‌های با بزرگاهای مختلف و نتایج آزمونهای آزمایشگاهی ارائه کردند (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲- ضریب مقیاس بزرگا پیشنهادی (Seed & Idriis, 1982)

ضریب مقیاس بزرگا (Magnitude Scale Factor) به صورت زیر بر CSR اعمال می‌شود:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF} \quad (۳-۹)$$

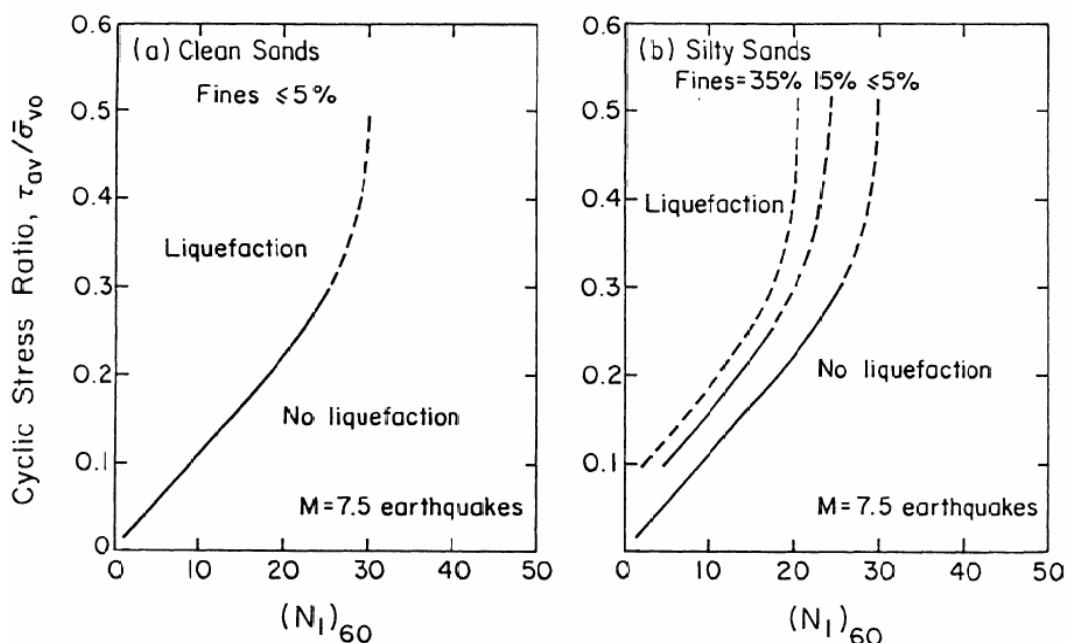
رابطه بین تعداد سیکل‌های تنش معادل و بزرگای گشتاوری (M_w) بر اساس ترکیب اطلاعات آزمایشگاهی و صحرایی عبارت است از (Seed et al. 1985):

$$N_{eq.} \approx 0.0007 \times M_w^{4.49} \quad (۳-۱۰)$$

سید (Seed, 1979) روشی برای برآورد نسبت مقاومت دوره‌ای ماسه در زمین مسطح بر اساس داده‌های SPT تدوین نمودند. وجود مقادیر ریز دانه بر مقاومت روانگرایی تاثیر دارد و باید در ارزیابی

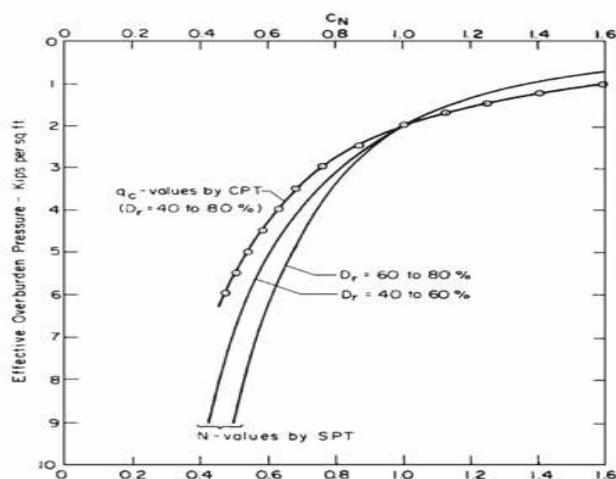
مقاومت روانگرایی به حساب آیند و مقاومت ماسه‌ها متأثر از ریزدانه‌ها نخواهد بود مگر اینکه مقدار آنها بیشتر از ۵ درصد خاک باشد (Seed et al. 1985).

شکل (۳-۱۳) نمودار پیشنهادی سید و همکاران (۱۹۸۵) برای بزرگی زلزله $M=7.5$ نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۳- ارزیابی پتانسیل روانگرایی ماسه‌های تمیز و سیلتی (Seed et al. 1985)

در روش سید و همکاران (۱۹۸۵) جهت اصلاح فشار موثر سرباره از نمودار شکل (۳-۱۴) استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱۴- ضریب تصحیح C_N (Seed & Idriss, 1983)

۳-۹-۲- روش (NCEER, 1997; 2001)

این کارگروه، روش سید و همکاران (Seed et al. 1985) را از جهات مختلف مورد بازنگری قرار داده و

در راستای تکمیل و بهبود آن، توصیه‌های جدیدی ارائه نمودند که به شرح زیر می‌باشد:
 در این روش CSR با استفاده از معادله (۳-۵) محاسبه می‌شود ولی برای محاسبه r_d معادلات ارائه شده به وسیله لیاو و ویزمن (Liao & Whitman, 1986b) پیشنهاد شده است:

$$r_d = 1 - 0.00765z \rightarrow \text{for } z \leq 9.15m \quad (11-3)$$

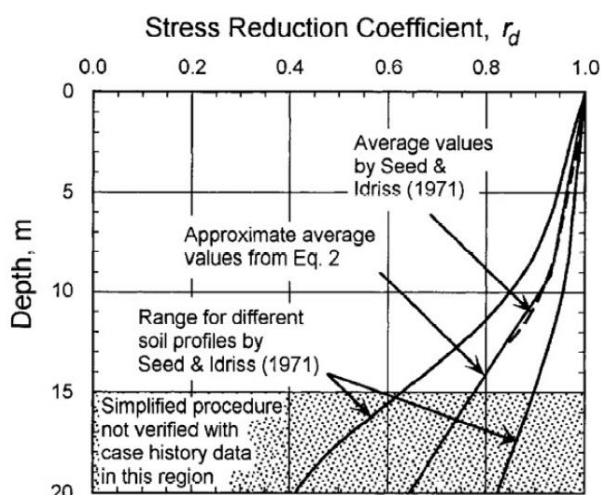
$$r_d = 1.174 - 0.0267z \rightarrow \text{for } 9.15 < z \leq 23m$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \rightarrow \text{for } 23 < z \leq 30m$$

$$r_d = 0.5z \rightarrow \text{for } z > 30m$$

برای راحتی در محاسبات بلاک (Blake, 1996) رابطه (۳-۱۲) را به عنوان یک تقریب از مقدار متوسط منحنی پیشنهاد نموده است (شکل ۳-۱۵)، که برای برنامه‌نویسی و استفاده در کاربردهای معمول مهندسی ساده‌تر است.

$$r_d = \frac{(1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (12-3)$$



شکل ۳-۱۵ - محدوده تغییرات r_d در مقابل عمق (Seed & Idriss, 1971) به همراه مقدار میانگین رابطه (۳-۴)

برای وارد کردن MSF بر CSR، روابط مختلفی که از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۷ برای MSF پیشنهاد شده بود توسط کارگروه مورد بررسی قرار گرفت و روابط زیر ارائه شد.

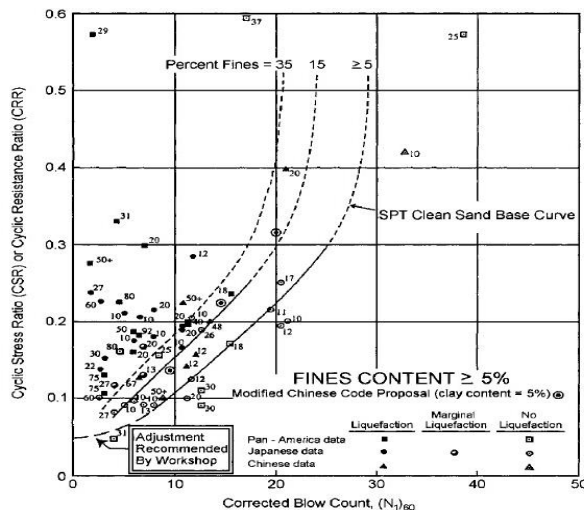
$$MSF_{idriis} = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad (13-3)$$

$$MSF_{Andrus-Stoke} = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3} \quad (14-3)$$

محاسبه نسبت مقاومت دوره‌ای:

کارگروه (NCEER, 1997;2001) با اصلاح منحنی مقاومت روانگرایی سید و همکاران (Seed et al. 1985) آن را به صورت شکل (۱۶-۳) ارائه نمودند. راچ (Rauch, 1998) رابطه (۱۵-۳) را برای تقریب عددی منحنی ماسه تمیز به NCEER پیشنهاد کرده است. و همچنین این رابطه برای محاسبات در صفحات گسترده Excel و دیگر تکنیک‌های تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$CSR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (15-3)$$



شکل ۱۶-۳ - منحنی مبتنی بر SPT خاک‌های ماسه‌ای

تمیز برای زلزله با بزرگای ۷/۵

(Youd et al. 2001)؛(Youd & Idriis, 1977)

با توجه به موثر بودن مقدار ریز دانه در مقاومت روانگرایی، سید و ادريس روابط زیر را برای اصلاح

مقدار ریز دانه به NCEER پیشنهاد کردند.

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (16-3)$$

$$\alpha = 0 \quad \text{for} \quad FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190 / FC^2)] \quad \text{for} \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{for} \quad FC \geq 35\%$$

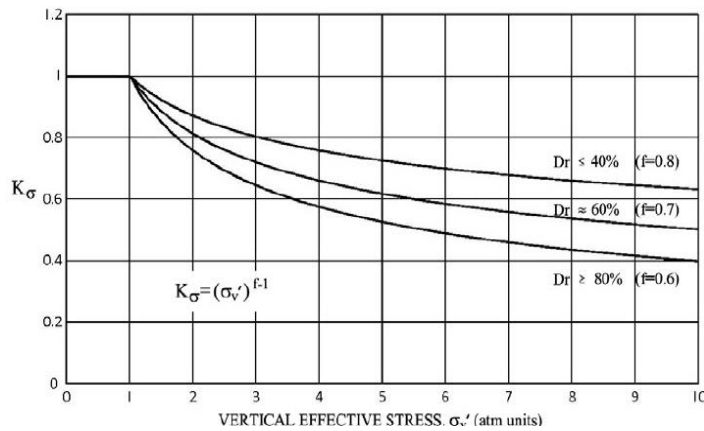
$$\beta = 1.2 \text{ for } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1. \text{ for } FC \geq 5\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ for } FC \geq 35\%$$

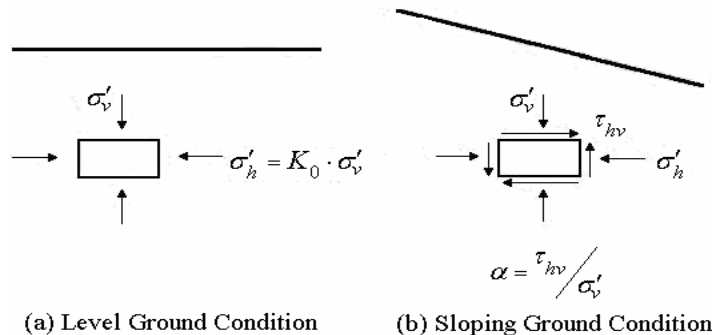
دستور العمل ساده شده تنها برای سطوح صاف و یا با شیب کم زمین (تنش برشی ایستایی کم) و عمق‌های کم‌تر از حدود ۱۵ متر (فشار سربار کم) ارائه شده و معتبر است. به منظور گسترش دستورالعمل ساده شده برای فشار سربار و تنش برشی ایستایی بزرگتر از مقادیر موجود در داده‌های تاریخیچه‌ی موردی که دستورالعمل ساده شده از آنها استخراج شده بود، ضریب تصحیح K_α و K_σ ارائه شده توسط سید (Seed, 1983)، را مورد بررسی قرار دادند. کار گروه NCEER رابطه‌ای که هینس و السن (Hynes & Olesn, 1999)، برای مقدار k_σ بدست آورده بود (شکل ۳-۱۷)، را پیشنهاد دادند.

$$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{(f-1)} \quad (17-3)$$



شکل ۳-۱۷- منحنی پیشنهادی NCEER برای تخمین برای کاربردهای مهندسی

شکل (۳-۱۸) وضعیت تنش بر روی صفحات افقی روی سطح زمین هموار و شیبدار را نشان می‌دهد

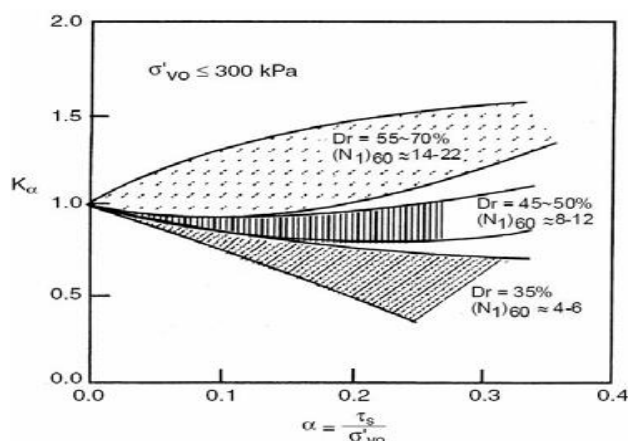


شکل ۳-۱۸- وضعیت تنش صفحات افقی زیر سطح زمین هموار

و وضعیت تنش صفحات افقی زیر سطح زمین شیبدار

(Seed & Idriis, 1979)

روشی برای بیان اثرات تنش‌های برشی محرک استاتیکی غیر صفر، مطابق شکل (۳-۱۹) پیشنهاد کردند که در آن K_α ضریب تصحیح برای تنش‌های استاتیکی اولیه است.



شکل ۳-۱۹- مقدار K_α پیشنهادی برلی فشارهای همه جانبه کمتر از 3atm (Harder & Boulanger, 1997)

۳-۹-۳- روش سید و همکاران (۲۰۰۳)

روابط سید و همکاران (۲۰۰۳) به دلیل استفاده از روش احتمالاتی پیشرفته (روش بیز) و پردازش و تحلیل مجدد اطلاعات تاریخی، نسبت به سایر منابع از خطای کمتری برخوردار است. در این روش به تجزیه و تحلیل تعدادی از موضوعات مهم از جمله ضریب بزرگی زلزله، تصحیحات برای مقدار ریزدانه و اصلاحات برای تنش سربار پرداخته شده است. اطلاعاتی که روش سید و همکاران (۲۰۰۳) بر اساس آنها تدوین شده است عبارتند از :

- ۱- ۱۲۶ نقطه اطلاعات موارد تاریخی ۲- موارد تاریخی که (Liao et al. 1988) ، Youd and Noble (1997)، (Toprak et al. 1999)، (Juang et al. 2002) ۳- مجموعه اطلاعات انحصاری زلزله کوبه (۱۹۹۵)، ۴- اطلاعات تکمیلی جمع آوری شده توسط سید و همکاران. در مجموع ۴۵۰ مورد تاریخی صحرائی جمع آوری شد که در نهایت ۲۱۰ مورد دارای کیفیت مطلوب بوده و در تدوین روابط جدید توسط سید و همکاران (۲۰۰۳) مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین سید و همکاران (۲۰۰۳) با توجه به شرایط ساختگاه و نیز مشخصات حرکات زمین، ۲۱۵۳ تحلیل برای به دست آوردن خطوط میانگین و انحراف معیار ضریب کاهش تنش انجام دادند. روابط ارائه شده در شامل دو بخش روابط تعیینی و روابط احتمالاتی می‌باشند. در این قسمت به بررسی روابط تعیینی برای تعیین احتمال وقوع روانگرایی پرداخته می‌شود.

$$r_d = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949.a_{\max} + 0.999.M_W + 0.0525.V_{S,12m}^*}{16.528 + 0.201.e^{0.341(-d+0.0785V_{S,12m}+7.586)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949.a_{\max} + 0.999.M_W + 0.0525.V_{S,12m}^*}{16.528 + 0.201.e^{0.341(-d+0.0785V_{S,12m}+7.586)}}} \right] \pm \sigma_{\varepsilon d} \quad (18-3)$$

$$d < 20m (\approx 65 ft)$$

$$d \geq 20m (\approx 65 ft)$$

$$r_d = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949.a_{\max} + 0.999.M_W + 0.0525.V_{S,12m}^*}{16.528 + 0.201.e^{0.341(-d+0.0785V_{S,12m}+7.586)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949.a_{\max} + 0.999.M_W + 0.0525.V_{S,12m}^*}{16.528 + 0.201.e^{0.341(-d+0.0785V_{S,12m}+7.586)}}} \right] - 0.046.(d - 20) \pm \sigma_{\varepsilon d} \quad (19-3)$$

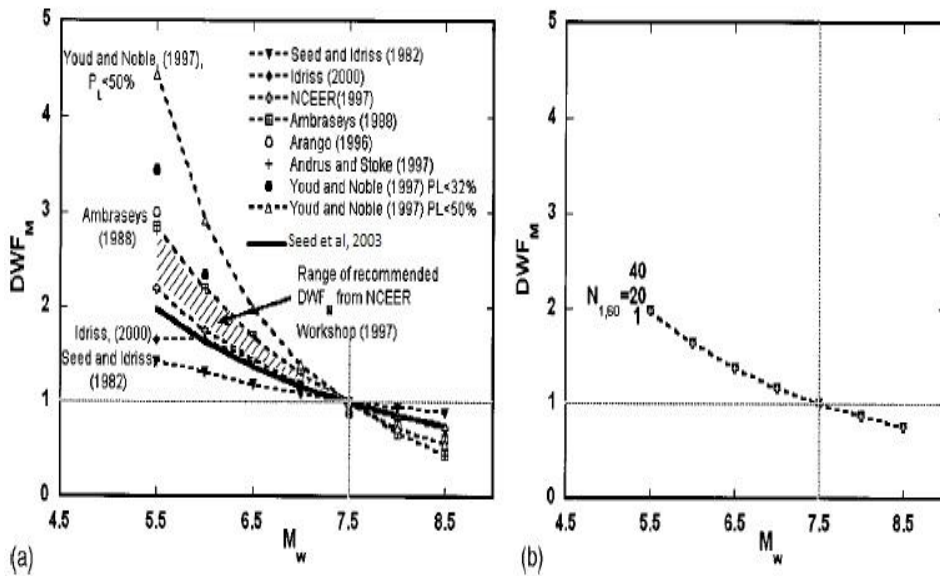
که در آن d بر حسب متر، $V_{s,12m}^*$ بر حسب m/s و a_{\max} شتاب افقی ماکزیمم در سطح زمین (g/s) است. استفاده از معادلات نیاز به تخمین فاکتور سختی ساختگاه $V_{s,12m}$ دارد. این فاکتور را می‌توان با استفاده از اطلاعات V_s اندازه گیری شده و یا با تخمین V_s ، ۱۲ متر فوقانی پروفیل خاک مورد نظر بدست آورد. در نهایت اگر در موردی تخمین $V_{s,12m}^*$ به مشکل برخورد در این صورت می‌توان $V_{s,12m}^* \approx 150 \sim 200 m/s$ را برای اکثر زمین‌های بالقوه روانگرا با دقت کافی برای بسیاری از کاربردهای مهندسی در نظر گرفت (Cetin et al. 2004).

محاسبه نسبت تنش دوره‌ای:

CSR با استفاده از رابطه (۳-۵) محاسبه شده و سپس نسبت به DWF_M اصلاح می‌گردد. این فاکتور اصلاحی ضریب اثر مدت مرتبط با بزرگی زلزله (Magnitude-Related Duration Weighting Factor) می‌باشد که با استفاده از شکل (۳-۲) تعیین می‌شود.

$$CSR_{eq}^* = CSR_{eq,M=7.5,1atm} = CSR_{eq,M=7.5} / MWF_M$$

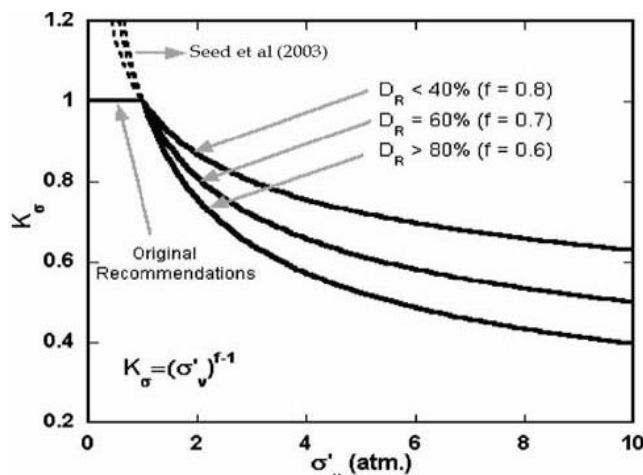
(۲۰-۳)



شکل ۳-۲۰- مقادیر پیشنهادی ضرایب اثر مدت، (Seed et al. 2003) با اندکی اصلاح

سپس $CSR_{eq,M=7.5}$ محاسبه شده باید نسبت به تنش سربار موثر اصلاح گردد، مقادیر K_σ در واقع همان مقادیر پیشنهادی NCEER با اندکی اصلاح می باشد (شکل ۳-۲۱).

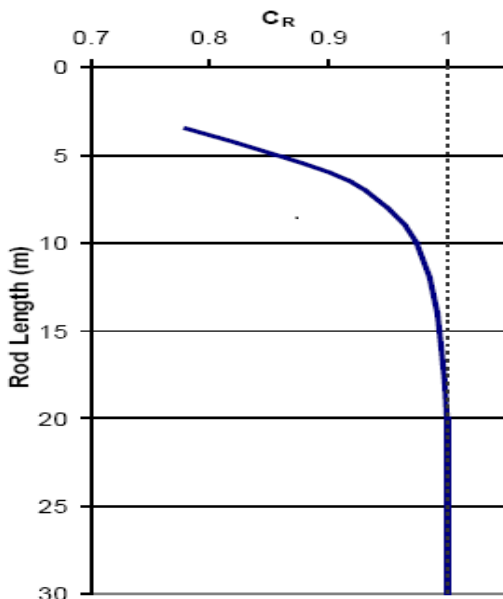
$$CSR_{eq}^* = CSR_{eq,M=7.5,1atm} = CSR_{eq,M=7.5} / K_\sigma \quad (۲۱-۳)$$



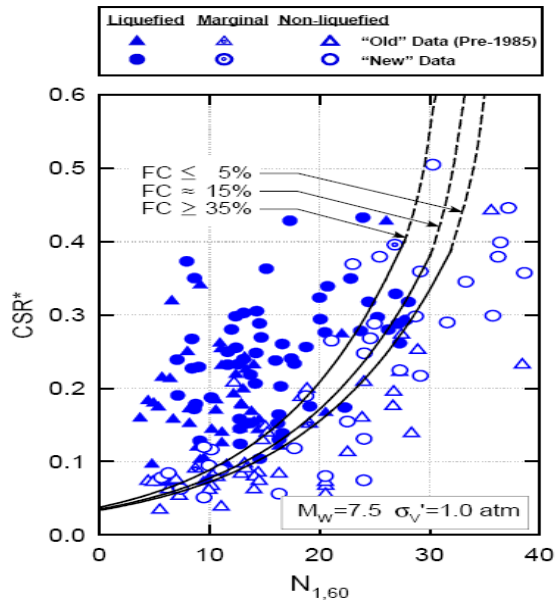
شکل ۳-۲۱- مقادیر پیشنهادی K_σ برای $\sigma'_v > 2atm$ (Seed et al. 2003)

در مرحله بعدی باید مقادیر $N_{1,60}$ با استفاده از روش پیشنهادی NCEER(1977) محاسبه شود. فقط C_R با استفاده از شکل (۳-۲۲) بدست می آید. ضریب تصحیح تنش سربار به $C_N \leq 1.6$ محدود می شود.

در نهایت از شکل (۳-۲۳) زیر برای تعیین شروع روانگرایی استفاده می‌شود.



شکل ۳-۲۲- CR پیشنهادی (Seed et al. 2003)



شکل ۳-۲۳- رابطه شروع روانگرایی مبتنی بر آزمایش SPT برای $M_w=7.5$ و $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$ (Seed et al. 2003)

۳-۱۰- ارزیابی اثرات روانگرایی

به لحاظ مهندسی وقوع روانگرایی به خودی خود معمولاً مهم نیست، بلکه به خاطر آثاری که بر سطح زمین دارد، مورد توجه می‌باشد. ضریب اطمینان روانگرایی، تنها شروع یا وقوع روانگرایی را در یک المان خاک و در یک عمق مشخص پیش‌بینی می‌کند ولی شاخص پتانسیل روانگرایی (PL) پیش‌بینی برای کل ستون خاک و عواقب روانگرایی در سطح زمین را نشان می‌دهد (Toprak & Holzer, 2003). در این قسمت روش ایواساکی و همکاران (۱۹۸۲) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شاخص پتانسیل روانگرایی ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al. 1982) به صورت معادله (۳-۲۲) بیان می‌شود:

$$P_L = \int_0^{20} (F)(10 - 0.5z) dz \quad (3-22)$$

که در این رابطه، z : عمق از سطح زمین بر حسب متر، F : ضریب اطمینان روانگرایی است و تابع اثر عمق می‌باشند که به صورت روابط (۳-۲۳) و (۳-۲۴) تعریف می‌شوند:

$$F = \begin{cases} 1 - FS & \text{for } FS \leq 1 \\ 0 & \text{for } FS > 1 \end{cases} \quad (3-23)$$

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

(۲۳-۳)

(۲۴-۳)

معادله (۲۲-۳) حدود تغییرات P_L را بین صفر برای خاک‌های فاقد قابلیت روانگرایی و ۱۰۰ برای لایه‌های دارای استعداد روانگرایی بالا تا ضخامت ۲۰ متر را بدست می‌دهد (Iwasaki et al. 1978). ایواساکی و همکاران (۱۹۸۲) با محاسبه شاخص پتانسیل روانگرایی برای ۶۳ ساختگاه روانگرا شده و ۲۲ ساختگاه روانگرا نشده، نتیجه گرفتند که ساختگاه‌هایی با مقادیر P_L بزرگتر از ۱۵ محتمل اثرات جدی روانگرایی هستند. در حالیکه این اثرات در ساختگاه‌هایی با P_L کمتر از ۵ به حداقل خود می‌رسد و در نهایت بر اساس مشاهدات میدانی سیستم طبقه‌بندی ساده شده‌ای مطابق جدول (۳-۳) زیر برای برآورد خطر روانگرایی پیشنهاد کردند.

جدول ۳-۳- تعیین خطر روانگرایی بر اساس شاخص P_L (Iwasaki et al. 1982)

خطر روانگرایی	محدوده تغییرات شاخص پتانسیل روانگرایی
بسیار کم	0
کم	$0 < P_L \leq 5$
زیاد	$5 < P_L \leq 15$
بسیار زیاد	$15 < P_L$

۳-۱۱- مروری بر مطالعات گذشته پهنه‌بندی روانگرایی

مطالعات متعددی در زمینه پهنه‌بندی روانگرایی در درجه‌های مختلف، در سراسر نواحی لرزه‌خیز دنیا از جمله ایران انجام شده است. جدول (۳-۴) مطالعات پهنه‌بندی انجام شده در درجه‌های مختلف در ایران را نشان می‌دهد و همچنین جدول (۳-۵) مهم‌ترین نقشه‌های روانگرایی تهیه شده در دنیا به همراه روش مورد استفاده را ارائه می‌دهد (حق‌شناس و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۳-۴- مطالعات پهنه‌بندی روانگرایی انجام شده در ایران

ردیف	پروژه	محققین	مرکز تحقیقاتی	سال	درجه
۱	پهنه بندی خطر روانگرایی تهران	بربریان و همکاران	سازمان زمین شناسی کشور	۱۳۷۱	۱
۲	بررسی استعداد روانگرایی در شهر رشت و پهنه‌بندی مقدماتی این شهر در برابر روانگرایی	همکاران و حائری	مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران	۱۳۷۳	۲ و ۳
۳	پهنه‌بندی کوچک مقیاس خطر روانگرایی در ایران	کمک پناه و همکاران	پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	۱۳۷۵	۱
۴	ریز پهنه‌بندی روانگرایی تهران	میر محمد حسینی و قاسمی	پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	۱۳۷۸	۳
۵	ریز پهنه‌بندی روانگرایی جنوب غربی تهران	کمک پناه و همکاران	دانشگاه تربیت مدرس	۱۳۸۰	۳
۶	ریز پهنه‌بندی جنوب شرقی تهران در برابر روانگرایی	میر محمد حسینی	پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	۱۳۸۱	۳
۷	ریز پهنه‌بندی روانگرایی بوشهر	میر محمد حسینی	دانشگاه امیر کبیر	۱۳۸۱	۳
۸	ریز پهنه‌بندی روانگرایی جنوب غربی تهران	حائری و همکاران	دانشگاه صنعتی شریف	۱۳۸۵	۳
۹	ریز پهنه‌بندی روانگرایی شهر قم	کمالیان و همکاران	پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	۱۳۸۵	۳
۱۰	ریز پهنه‌بندی روانگرایی جنوب شرقی تهران	بازیار و همکاران	تهران دانشگاه علم و صنعت	۱۳۸۵	۳
۱۱	پهنه‌بندی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای جزیره قشم	حق شناس و همکاران	پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	۱۳۸۶	۲
۱۲	تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر	حق شناس و	پژوهشگاه بین المللی	۱۳۸۹	۲

		زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	همکارن	روانگرایی در سواحل جنوبی کشور	
۲	۱۳۸۸	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	حق‌شناس و همکارن	پهنه‌بندی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای شهرهای قشم و درگهان	۱۳

جدول ۳-۵- نقشه‌های پهنه‌بندی روانگرایی تهیه شده در جهان

COUNTRY	LOCALITY OR REGION	TECHNIQUES USED(2)	REFERENCE
Argentina	Valle de Tulum, San Juan Province	SUS: Geol., Geot. OPP: M-amax	INPRES, 1982
	Mendoza Province	SUS: Geol., Geot. OPP: M-amax	INPRES, 1987
Canada	Offshore Regions	OPP: M-amax	Atkinson, 1985
	Quebec City (3)	SUS: Hist., Geol., Geot.	Chagnon and Canada Locat, 1988
	Greater Vancouver(3)	SUS: Geol. POT: Geol., Geot.	Watts et al., 1992
China	Tangshan Region	SUS: Hist., Geol., Geot.	Fang et al., 1980
United States	Memphis, Tennessee	SUS: Geot.	Sharma & Kovacs, 1980
United States	Charleston, South Carolina	SUS: Geot. OPP: Mamax	Elton & Hadj- hamou, 1990
	New York - Manhattan and Buffalo	SUS: Geol., Geot.	Budhu et al., 1987
	Portland, Oregon (3)	SUS: Geol., Geot., DIS:	Youd & Jones (1993)
Italy	Italy	SUS: Hist.	Berardi et al 1990
Greece	Thessaloniki	SUS: Geot	Pitilakis et al., 1982
Yugoslavia	Monte Negro Region	„SUS: Hist., Geol	Talagonov &

		other	Aleksovski,1984
--	--	-------	-----------------

جدول ۳-۵- نقشه‌های پهنه‌بندی روانگرایی تهیه شده در جهان

COUNTRY	LOCALITY OR REGION	TECHNIQUES USED(2)	REFERENCE
Japan	Shimizu Prefecture	SUS: Geol., Geot.	Iwasaki et al.,1982 1982
	Tokyo Region	SUS: Hist., Geol., other	Kotoda et al., 1988
	Tokyo Downtown	SUS: Geol., Geot.	Ishihara &Ogawa, 1978
	Tokyo Lowlands	SUS: Hist., Geol.	Kusano, 1989 Kusano et al., 1990
India	Dehli region	microzonation	Rao et al., (2002)
China	Chennai City	microzonation	Anbazhagan et al.,(2004)
Turkey	Izmit	microzonation	Zarif et al., (2006)

در جدول (۳-۶) اصطلاحات ارائه شده در قسمت (2) TECHNIQUES USED جدول (۳-۵) شرح داده شده است.

جدول ۳-۶- انواع نقشه‌های پهنه‌بندی روانگرایی و روش مورد استفاده در تهیه آنها

روش مورد استفاده در تهیه نقشه OPP	روش مورد استفاده در تهیه نقشه SUS	نوع نقشه
M-R: رابطه بزرگا - فاصله	Geol: نقشه زمین شناسی	SUS: استعداد روانگرایی
M-a _{max} : رابطه بزرگا-شتاب حداکثر	Geot: تحلیل زئوتکنیکی	OPP: احتمال روانگرایی
LSI: شاخص شدت روانگرایی	Hisr: رخدادهای تاریخی	POT: پتانسیل روانگرایی
-----	-----	DIS: جابجایی زمین ناشی از زلزله

فصل چهارم

بررسی اطلاعات ژئوتکنیکی و ارزیابی
پتانسیل روانگرایی در منطقه مطالعاتی

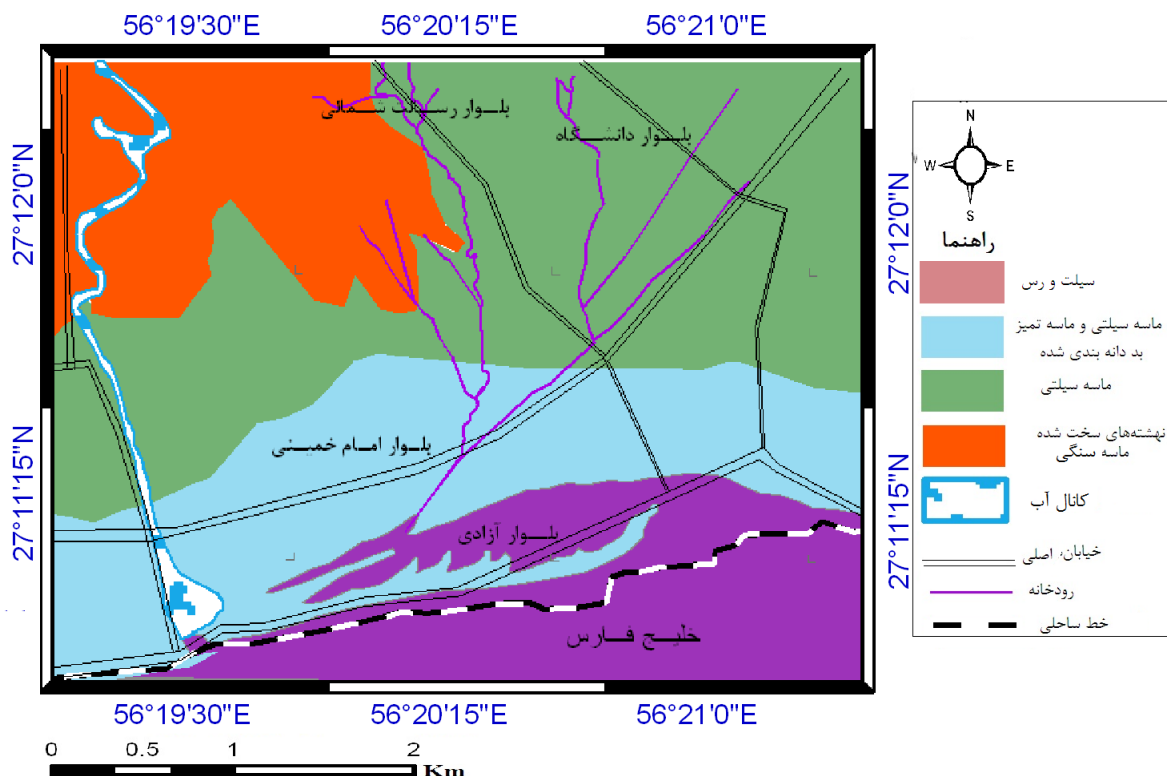
۴-۱- مقدمه

در مطالعه پدیده روانگرایی پس از استعدادیابی منطقه و بررسی روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی، داشتن بانک اطلاعات ژئوتکنیکی با کیفیت و کمیت بالا، از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این فصل ابتدا با ترسیم نقشه بافت خاک سطحی با استفاده از عکس‌های هوایی و همچنین ترسیم مقاطع عرضی توسط نرم افزار Rockwork/14، خصوصیات نهشته‌های رسوبی از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس اطلاعات ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده برای تهیه پروفیل‌های شاخص ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه با توجه به اهمیت جنبش نیرومند زمین در ایجاد روانگرایی، شتاب سنگ بستر لرزه‌ای (PGA) و بیشینه شتاب افقی در سطح زمین (a_{max}) و همچنین روش مورد استفاده در آنالیز روانگرایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج آنالیزهای انجام شده در قالب جداولی ارائه شده و در نهایت نقشه خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل روانگرایی و همچنین بر مبنای کمترین ضریب اطمینان در هر گمانه ارائه خواهد شد.

۴-۲- بررسی رسوبات ساحلی از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی

شهر بندرعباس بر روی رسوبات عهد حاضر واقع شده است. این رسوبات شامل نهشته‌های ساحلی، رسوبات بادی، تبخیری و رودخانه‌ای می‌باشند که عمدتاً از سنگ‌های متشکله از ارتفاعات شمال این شهر منشاء گرفته‌اند. به منظور بررسی شرایط خاک سطحی در محدوده مورد مطالعه، ابتدا عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفت و نقشه اولیه‌ای از بافت خاک سطحی ترسیم گردید (شکل ۴-۱). همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود قسمت عمده بافت خاک سطحی از نهشته‌های ماسه‌ای و نهشته‌های سخت شده ماسه سنگی تشکیل شده است و فقط بخشی کوچکی که در نزدیکی ساحل قرار دارد شامل نهشته‌های ریزدانه سیلتی و رسی می‌باشد. برای ارزیابی دقیق‌تر شرایط زیرسطحی و خصوصیات خاک، داده‌های ژئوتکنیکی موجود در محدوده مطالعاتی از سازمان‌های مختلف گردآوری شده است. در این راستا تعداد ۱۶۰ گمانه جمع‌آوری شد که از این تعداد ۴۵

گمانه در محدوده مطالعاتی قرار داشت (شکل ۴-۲). از این تعداد ۳۰ گمانه که دارای اطلاعات کاملی بودند برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی از آنها استفاده شد. در جدول (۴-۱) مشخصات گمانه‌های فوق و در شکل (۴-۳) توزیع موقعیت گمانه‌ها آمده است.

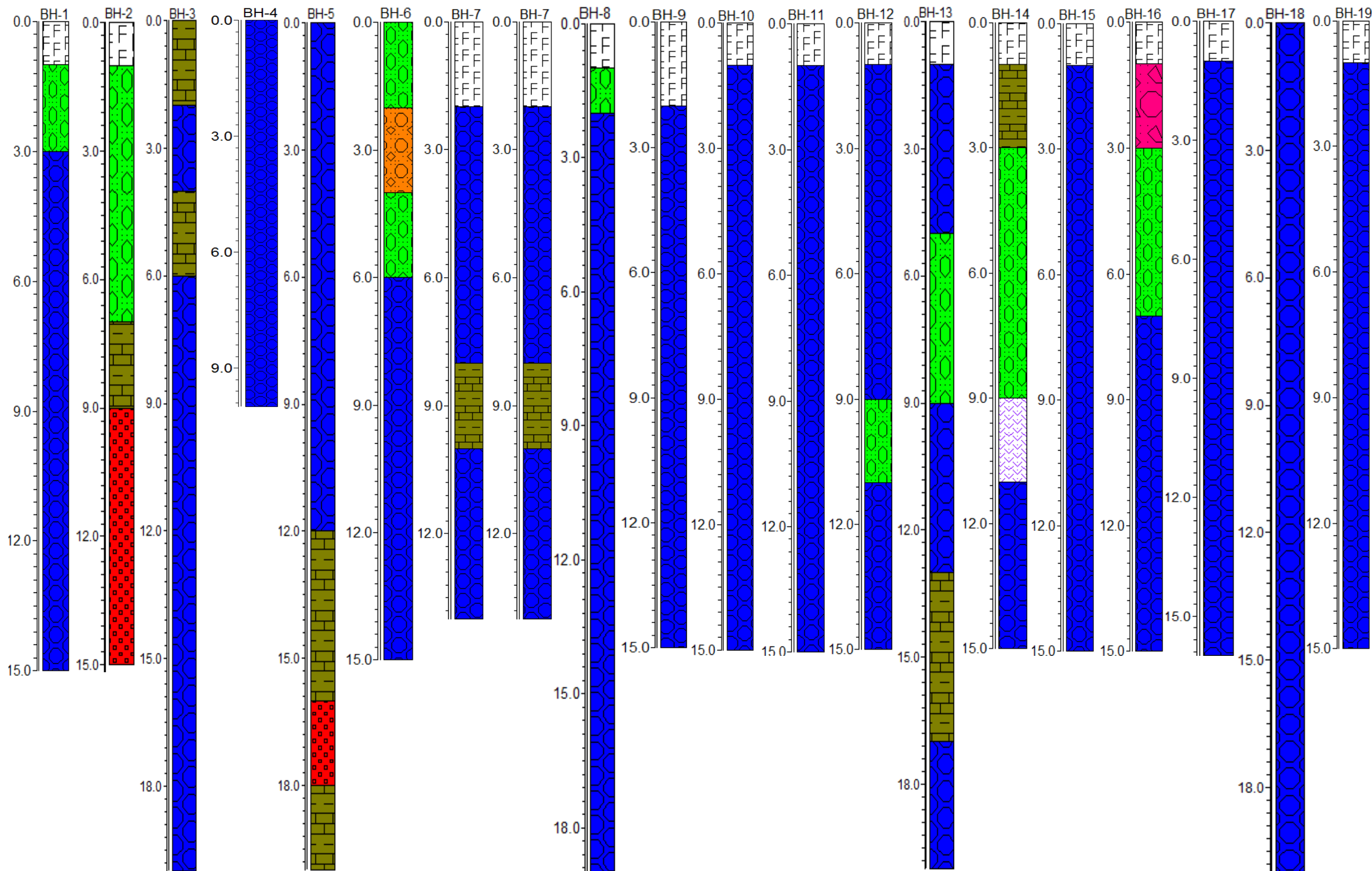


شکل ۴-۱- نقشه بافت خاک سطحی محدوده مطالعاتی

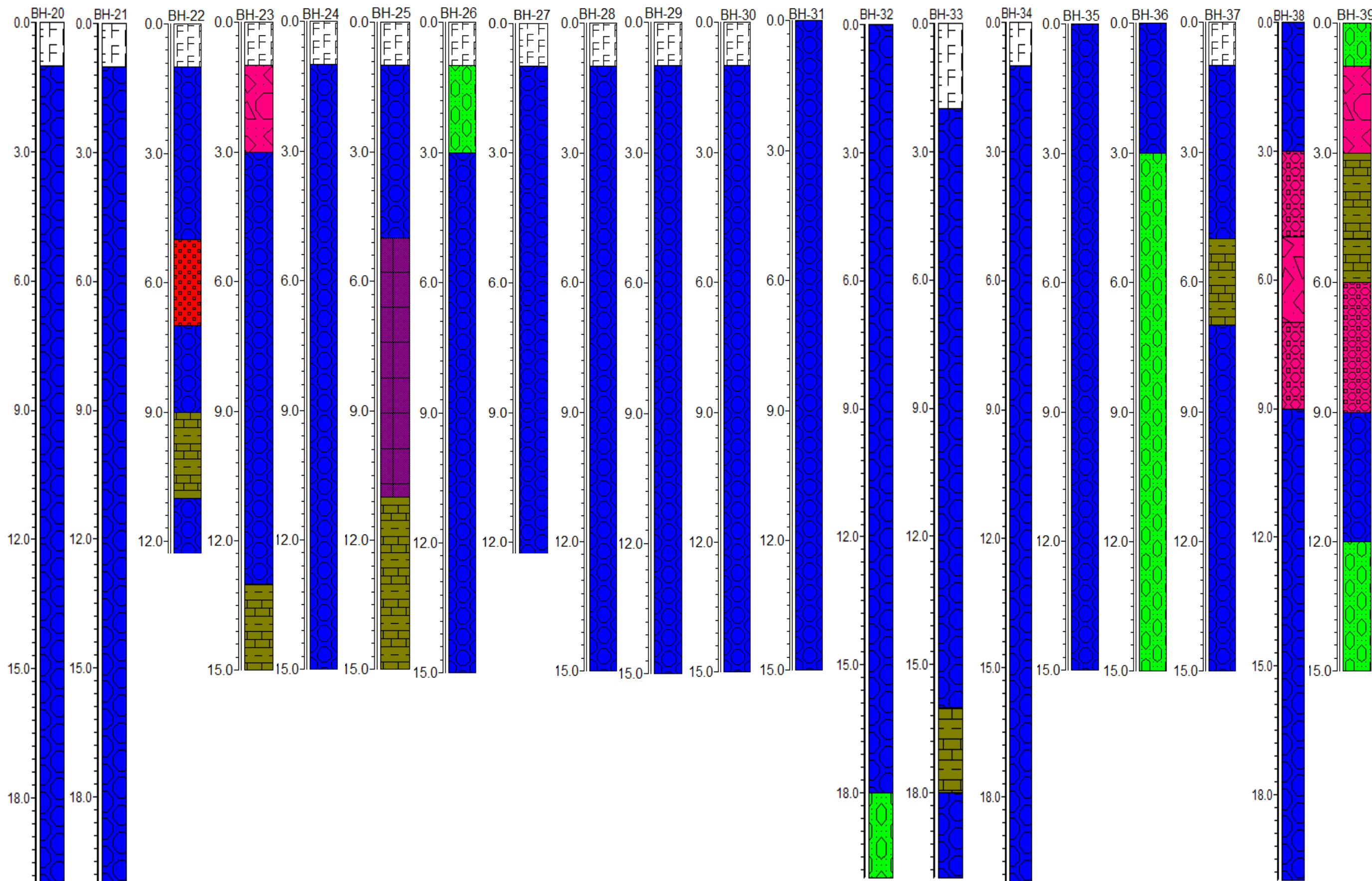
جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌ها

عمق (متر)	تعداد	نوع آزمایش‌های انجام شده
۱۲-۰	۳	آزمایش نفوذ استاندارد، آزمایش‌ها دانه‌بندی، آزمایش‌ها شاخص خاک
۱۴-۰	۱۷	"
۱۵-۰	۶	"
۱۸-۰	۲	"
۲۰-۰	۲	"

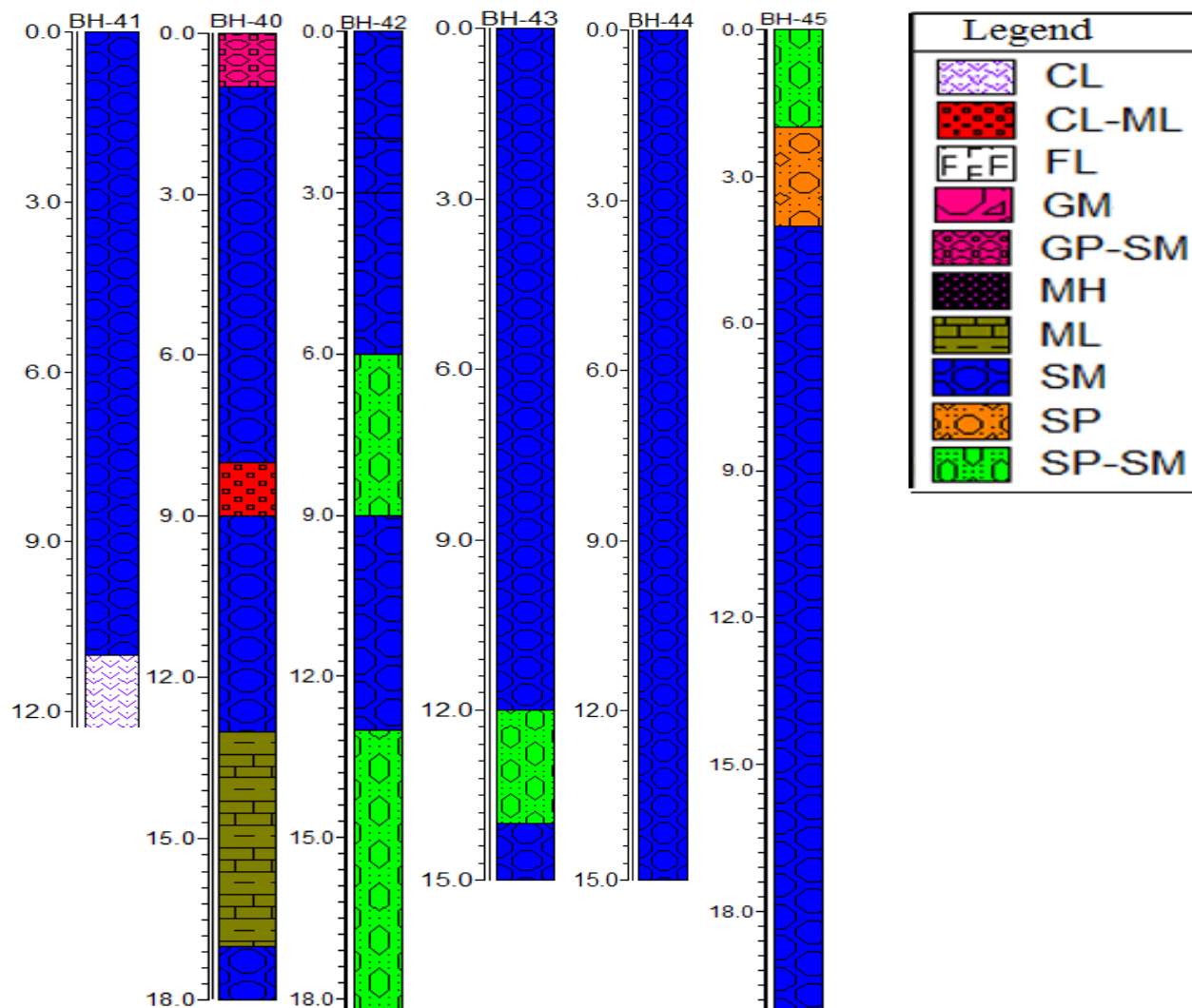
برای ارزیابی دقیق تر بافت خاک زیر سطحی، یکسری مقاطع عرضی توسط نرم افزار Rockwork/14 از گمانه‌های حفر شده در محدوده مطالعاتی ترسیم گردید.



شکل ۴-۲- پروفیل گمانه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه

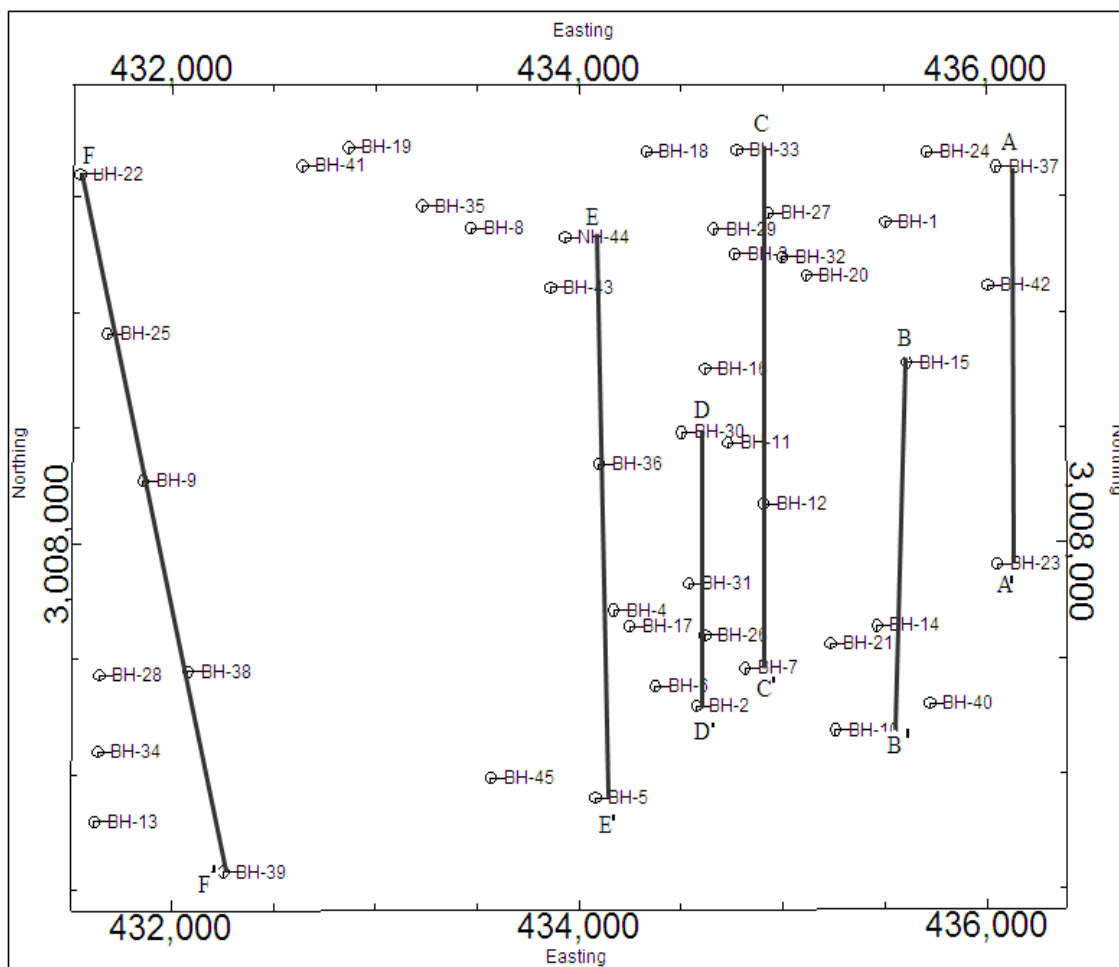


شکل ۴-۲- پروفیل گمانه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه

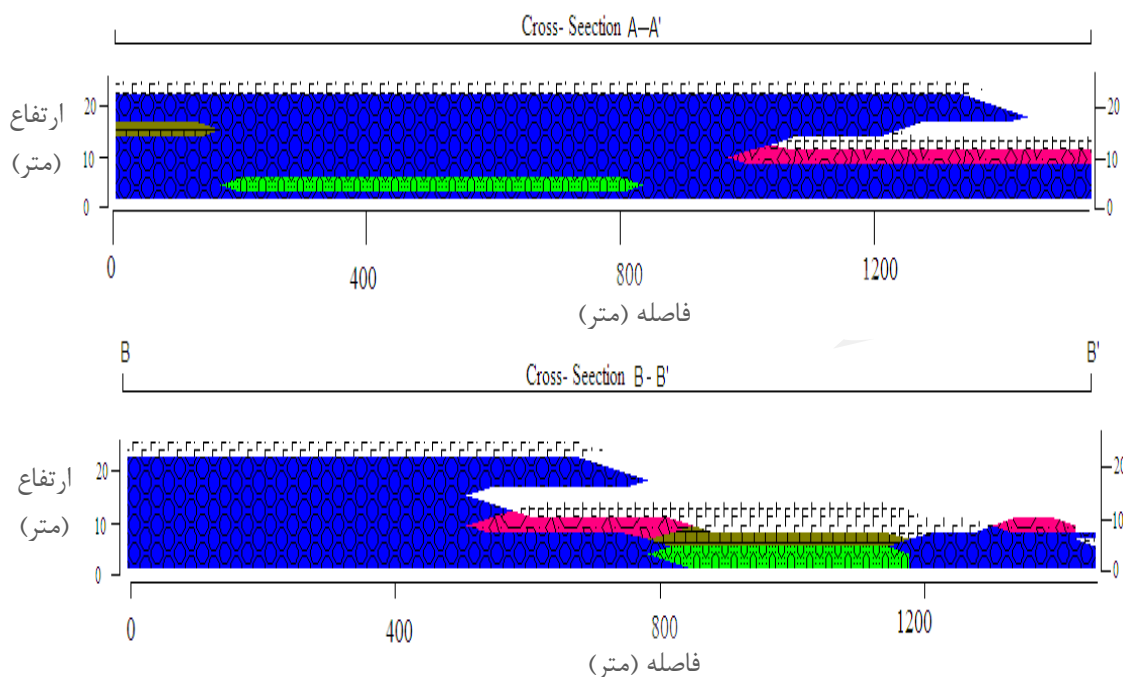


شکل ۴-۲- پروفیل گمانه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه

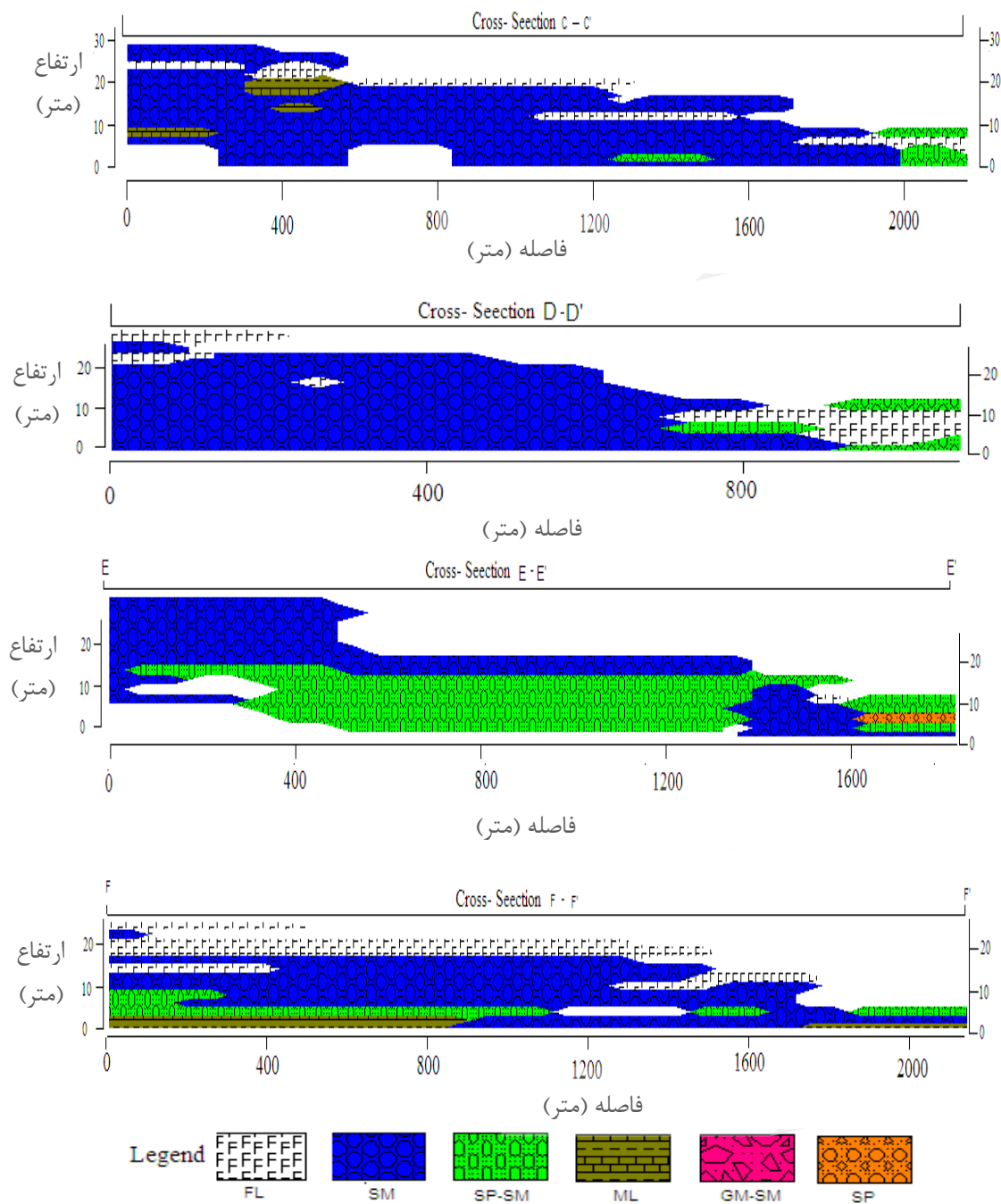
شکل (۲-۴) نقشه موقعیت گمانه‌ها و شکل (۴-۴) نیمرخ‌های عرضی ترسیم شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ - نقشه موقعیت گمانه‌ها



شکل ۴-۴ - مقاطع عرضی از پروفیل خاک در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۴- مقاطع عرضی از پروفیل خاک در محدوده مورد مطالعه

نیمرخ‌های عرضی ترسیم شده، شرایط زیرسطحی تقریباً همگن و با قاعده‌ای را نشان می‌دهند. با توجه به نقشه بافت خاک سطحی و مقاطع عرضی ترسیم شده می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که بافت خاک محدوده مورد مطالعه عمدتاً از نهشته‌های ماسه‌ای تشکیل شده است. از خط ساحلی تا محدوده مرکزی مورد مطالعه نهشته‌های ماسه‌ای بیشتر از نوع ماسه تمیز بد دانه‌بندی شده (SP) و ماسه سیلتی (SM) می‌باشند. نهشته‌های ماسه‌ای (SP) را می‌توان به عنوان ماسه‌های ساحلی حاصل از

فرآیندهای جزرمدی در پهنه‌های ساحلی قدیمی برشمرده که در میان نهشته‌های ماسه‌ای (SM) حاصل از فرآیندهای آبی و بادی تشکیل شده‌اند. با فاصله گرفتن از پهنه‌ی ساحلی و محدوده مرکزی مورد مطالعه به سمت شمال از مقدار نهشته‌های ماسه‌ای (SP) کاسته شده و بر نهشته‌های ماسه‌ای (SM) افزوده می‌شود. بخش‌های قرمز رنگ نهشته‌های ماسه‌ای سخت شده را نشان می‌دهد، وجود گمانه‌های با SPT بالا در این محدوده نشانی بر صحت این موضوع می‌باشد. در این محدوده علاوه بر نهشته‌های ماسه، میان لایه‌های نازک سیلتی و رسی نیز در گمانه‌های حفر شده مشاهده شده است.

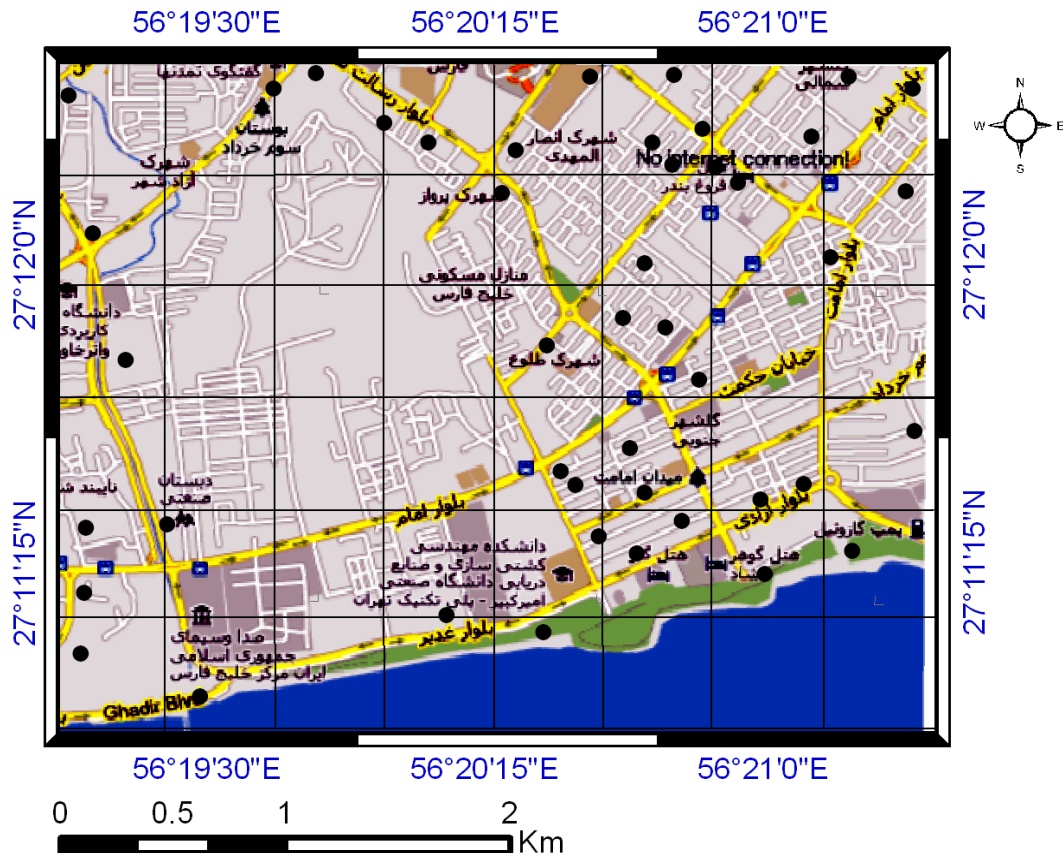
۳-۴- تهیه پروفیل‌های شاخص ژئوتکنیکی از دیدگاه روانگرایی

یکی از عوامل مهم در میزان قابلیت روانگرا شدن خاک‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آنها می‌باشد. خاک‌های ماسه‌ای و سیلت‌ها به دلیل نداشتن چسبندگی قابل ملاحظه و زهکشی ضعیف به هنگام زلزله، مستعد روانگرایی هستند ولی خاک‌های رسی غالباً به دلیل چسبندگی ذاتی و خاک‌های شنی به علت مستهلک شدن سریع فشار آب منفذی به هنگام زلزله، عمدتاً از قابلیت روانگرایی برخوردار نیستند (عسکری، ۱۳۸۲).

به منظور تعیین و شناسایی خاک‌های مستعد روانگرایی، گمانه‌های ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده از گزارش‌های ژئوتکنیکی شرکت‌ها و موسسات مختلف در منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نحوه توزیع اطلاعات جمع‌آوری شده در منطقه، محدوده‌ای که به لحاظ اطلاعات از کمیت و کیفیت بهتری برخوردار بود برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی انتخاب شد و اقدام به تهیه پروفیل‌های شاخص برای بررسی روانگرایی خاک‌ها گردید. مراحل تهیه پروفیل‌های شاخص با در نظر گرفتن وضعیت آب زیرزمینی به شرح زیر است:

۱- پیاده کردن موقعیت گمانه‌ها بر روی نقشه محدوده مطالعاتی (شکل ۴-۵).

۲- شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه: برای مطالعه دقیق و سیستماتیک خطر روانگرایی، محدوده مورد مطالعه به شبکه‌های منظم که هر واحد آن شامل مربعی به ضلع ۵۰۰ متر بوده، تقسیم‌بندی شد.



شکل ۴-۵- شبکه بندی محدوده مطالعاتی (نقاط مشکی رنگ موقعیت گمانه‌ها)

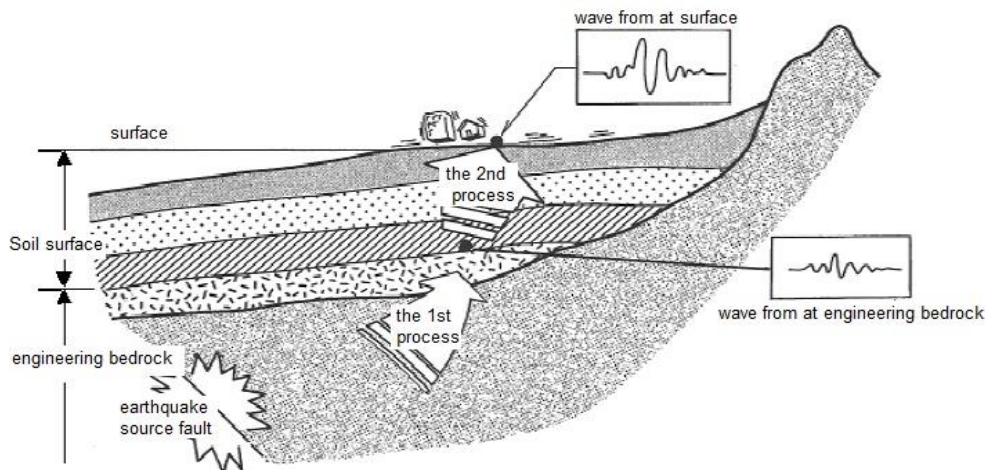
ابتدا برای تمام گمانه‌های موجود آنالیزهای لازم انجام شد و سپس شبکه‌هایی که فاقد اطلاعات بودند با استفاده از اطلاعات شبکه‌های مجاور و همچنین نقشه بافت خاک زیر سطحی، مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت با استفاده از آنالیزهای انجام شده برای هر شبکه شاخص پتانسیل روانگرایی تعیین شد. لازم به ذکر است محدوده‌ای که در غرب محدوده مطالعاتی فاقد هر گونه اطلاعات است، منطقه نظامی می‌باشد.

۳- سطح آب زیرزمینی در بروز خطر روانگرایی از اهمیت بالایی برخوردار است. معمولاً در اعماق بیشتر از ۲۰ متر تنش‌های موثر قائم خاک به حدی می‌رسند که امکان روانگرا شدن وجود ندارد. به دلیل ساحلی بودن محدوده مورد مطالعه، بخش‌هایی از محدوده که در نزدیک ساحل قرار دارند دارای سطح آب زیرزمینی بالا و در حدود ۰/۵ متر هستند و با فاصله گرفتن از ساحل در قسمت‌های شمالی سطح آب زیرزمینی به ۱۵ تا ۲۰ نیز می‌رسد. بنابراین گمانه‌هایی که سطح آب زیرزمینی در آنها بیشتر از ۲۰ متر بود، حذف شدند. اطلاعات ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده مربوط به سال‌های ۱۳۸۷،

۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ می‌باشد، با توجه به جدیدتر بودن گمانه‌های سال ۱۳۸۹، سطح آب زیرزمینی که در این گمانه‌ها ارائه شده است از صحت بیشتری برخوردار است، بنابراین ارزیابی پتانسیل روانگرایی در شبکه‌هایی که شامل چندین گمانه از سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ بودند، بر اساس سطح آب زیرزمینی گمانه‌های حفر شده در سال ۱۳۸۹ انجام شد.

۴-۴- شتاب (PGA) در سنگ بستر

اولین مرحله در ارزیابی خسارات زلزله، برآورد حرکات نیرومند زمین است. با توجه به شکل (۴-۶) این فرآیند شامل دو مرحله است. مرحله اول برآورد جنبش نیرومند در سنگ بستر و مرحله دوم ارزیابی اثرات ساختگاهی و برآورد شتاب در سطح زمین است (Yuan, 2003).



شکل ۴-۶- انتشار موج لرزه‌ای در سنگ بستر مهندسی و خاک سطحی (Yuan, 2003)

معمولاً جنبش زمین در اثر زلزله بر حسب جابه‌جایی، سرعت و شتاب سطح زمین توصیف می‌شود. در مباحث مهندسی مرسوم است که از شتاب بجای سرعت یا جابه‌جایی استفاده می‌کنند. چون شتاب مستقیماً با نیروهای دینامیکی که زلزله بر خاک القاء می‌کند در ارتباط است. در مهندسی زلزله به شتاب‌های قائم توجه کمتری نسبت به شتاب‌های افقی می‌شود، زیرا وزن سازه‌ها در برابری نیروهای دینامیکی ناشی از شتاب قائم حاشیه اطمینان مناسبی ایجاد می‌کند. برای اکثر زلزله‌ها، شتاب افقی از شتاب قائم بزرگتر است، بنابراین شتاب افقی حداکثر (Peak Horizontal Acceleration) همان

شتاب حداکثر زمین (PGA) خواهد بود (Day, 2002). با توجه به قابل پیش‌بینی نبودن زلزله‌ها، PGA بر اساس مطالعات سائزموکتونیک و با استفاده از روابط کاهندگی تعیین می‌شود. ارزیابی خطر لرزه‌ای به دو روش تعیینی (Deterministic Seismic Hazard Analysis) و احتمالاتی (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) انجام می‌شود. روش تعیینی (DSHA) بر این فرض استوار است که زمین لرزه‌های آینده در محل‌های خاص (سرچشمه‌های لرزه‌ای) و با بزرگی مشخص اتفاق می‌افتند. در روش احتمالاتی برخلاف روش تعیینی که فرقی بین اهمیت و عمر مفید پروژه قائل نمی‌شود، با بکارگیری توابع احتمالاتی امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان، مکان و بزرگی زمین لرزه‌ها را فراهم می‌آورد و برآورد پارامترهای حرکتی بر اساس درصد خطای قابل قبول می‌باشد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۸).

ارزیابی خطر لرزه‌ای در این محدوده توسط سازمان‌های مختلف صورت گرفته ولی نتایج بدست آمده دارای اختلافاتی می‌باشد بنابراین در این تحقیق از شتاب ارائه شده توسط آیین‌نامه طرح ساختمان ۲۸۰۰ استفاده شده است. براساس آئین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (آئین‌نامه ۲۸۰۰ - چاپ چهارم) ایران به سه پهنه با خطر نسبی بالا، خطر نسبی متوسط و خطر نسبی پایین تقسیم شده است. محدوده مورد مطالعه در پهنه‌ای با خطر نسبی بالا قرار گرفته است. در این تحقیق از شتاب $0.35g$ ، که آئین‌نامه طرح ساختمان‌ها برای شهر بندرعباس تعیین کرده، به عنوان شتاب سنگ بستر مورد استفاده قرار گرفته است. البته شتاب آئین‌نامه برای سطح زمین است ولی بصورت محافظه کارانه این مقدار در این مطالعه به سنگ بستر نسبت داده شده است.

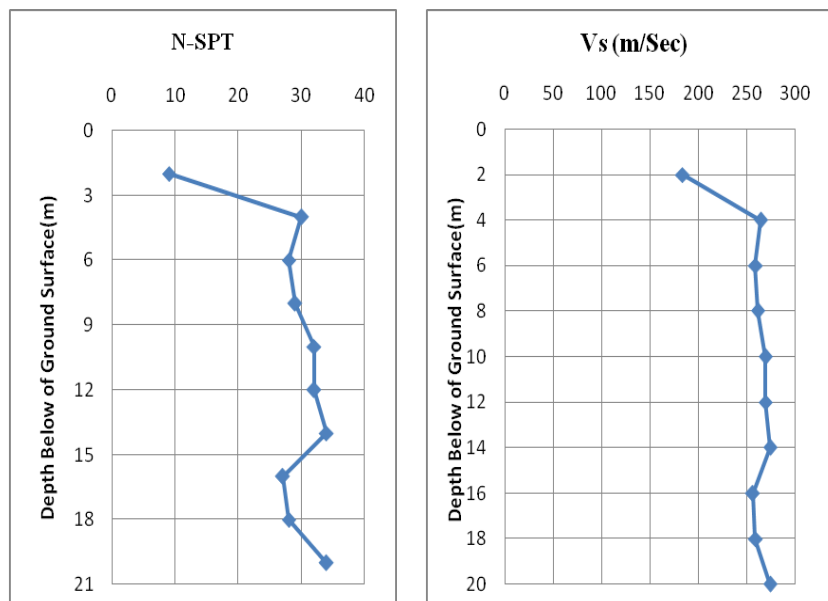
۴-۴-۱- محاسبه بیشینه شتاب افقی در سطح زمین

به طور کلی پارامترهای لرزه‌ای در سطح زمین متاثر از سرعت امواج لرزه‌ای، ضخامت آبرفت، توپوگرافی سطحی، شدت زمین لرزه و برای داری گسل زمین‌لرزه‌ای، می‌باشند. در انتشار امواج لرزه‌ای از عمق به سطح زمین، خاک‌های فوقانی شبیه یک فیلتر عمل کرده و سبب تقویت امواج لرزه‌ای در

پریودهای خاص و میرایی یا تضعیف امواج لرزه‌ای در پریودهای دیگر می‌شود. به طوری که امواج لرزه‌ای که دارای پریود تقریباً مشابه خاک باشند، تقویت شده و سایر امواج تضعیف می‌گردد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۸). برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی باید از بیشینه شتاب سطح زمین (a_{max}) استفاده گردد، بنابراین برای در نظر گرفتن اثرات ساختگاهی باید شتاب سنگ بستر به شتاب سطح زمین تبدیل شود. برای این کار از نرم افزار EERA استفاده شده است. برنامه کامپیوتری EERA (Equivalent-liner Earthquak Site Response Analyses) در کالیفرنیا جنوبی توسط باردت و همکاران (Bardet et al. 2000) بر پایه روش خطی معادل تهیه شده است. ورودی‌ها و خروجی‌های آن به طور کامل از طریق صفحات گسترده Excel صورت می‌گیرد.

برای تخمین شتاب در سطح زمین، باید خصوصیات پروفیل خاک به برنامه معرفی گردد. این خصوصیات عبارتند از: نوع مصالح (رسی، ماسه‌ای و سنگی)، ضخامت لایه بر حسب فوت، وزن مخصوص و سرعت موج برشی. با توجه به در دسترس نبودن پروفیل‌های سرعت موج برشی در محدوده مورد مطالعه، در این تحقیق از همبستگی بین عدد آزمایش نفوذ استاندارد (N-SPT) و سرعت موج برشی بر اساس رابطه یوما و همکاران (Uma et al. 2008) برای بدست آوردن پروفیل سرعت موج برشی در هریک از گمانه‌ها استفاده شده است (رابطه ۴-۱). این رابطه توسط یوما و همکاران (۲۰۰۸) برای شهر ساحلی چنای (Chennai) در کشور هند ارائه شده است. این شهر به لحاظ زمین‌شناسی عمدتاً از نهشته‌های ماسه، ماسه‌سنگ و همچنین رس و شیل تشکیل شده و به دلیل مشابهت شرایط زمین‌شناسی با منطقه مورد مطالعه، بر رابطه‌های ارائه شده دیگر ترجیح داده شد. شکل (۴-۷) نتیجه حاصل از کاربرد این رابطه برای گمانه شماره BH30 در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$V_s = 95.64(N)^{0.301} \quad r^2 = 0.83 \quad (1-4)$$



شکل ۴-۷- عدد SPT گمانه شماره BH30 و سرعت موج برشی نظیر آن که بر اساس رابطه یوما و همکاران (۲۰۰۸) محاسبه شده است

۴-۵- روش مورد استفاده برای ارزیابی خطر روانگرایی

با توجه به این که داده‌های موجود در تحقیق حاضر شامل نتایج آزمایش نفوذ استاندارد می‌باشد. برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی از بین روش‌هایی که در فصل ۳، بر مبنای آزمایش نفوذ استاندارد ارائه شده، روش تعیینی سید و ادريس (Seed & Idriis, 2003) انتخاب شد. برای انجام آنالیز روانگرایی از نرم افزار LiqIT v.4.70 که به صورت آزمایشی در دسترس می‌باشد، استفاده شده است. این نرم افزار توسط پروفیسور پیترو روبرتسن (Robertson, 2007) بر مبنای آخرین دست آوردهایی که در زمینه ارزیابی پتانسیل روانگرایی ارائه شده، طراحی شده است. اطلاعات ورودی این نرم افزار می‌تواند شامل آزمایش‌های صحرائی SPT، CPT و Vs باشد. شکل (۴-۸) محیط این نرم افزار را نشان می‌دهد که دارای ۴ کار برگ است.

۱- کار برگ تعریف داده‌های ورودی Input data definition

در این کار برگ باید خصوصیات گمانه که شامل عمق، تعداد ضربات نفوذ استاندارد، مقدار ریزدانه،

وزن مخصوص است، به نرم افزار معرفی گردد.

۲- کار برگ پارامترهای کلی General parameters

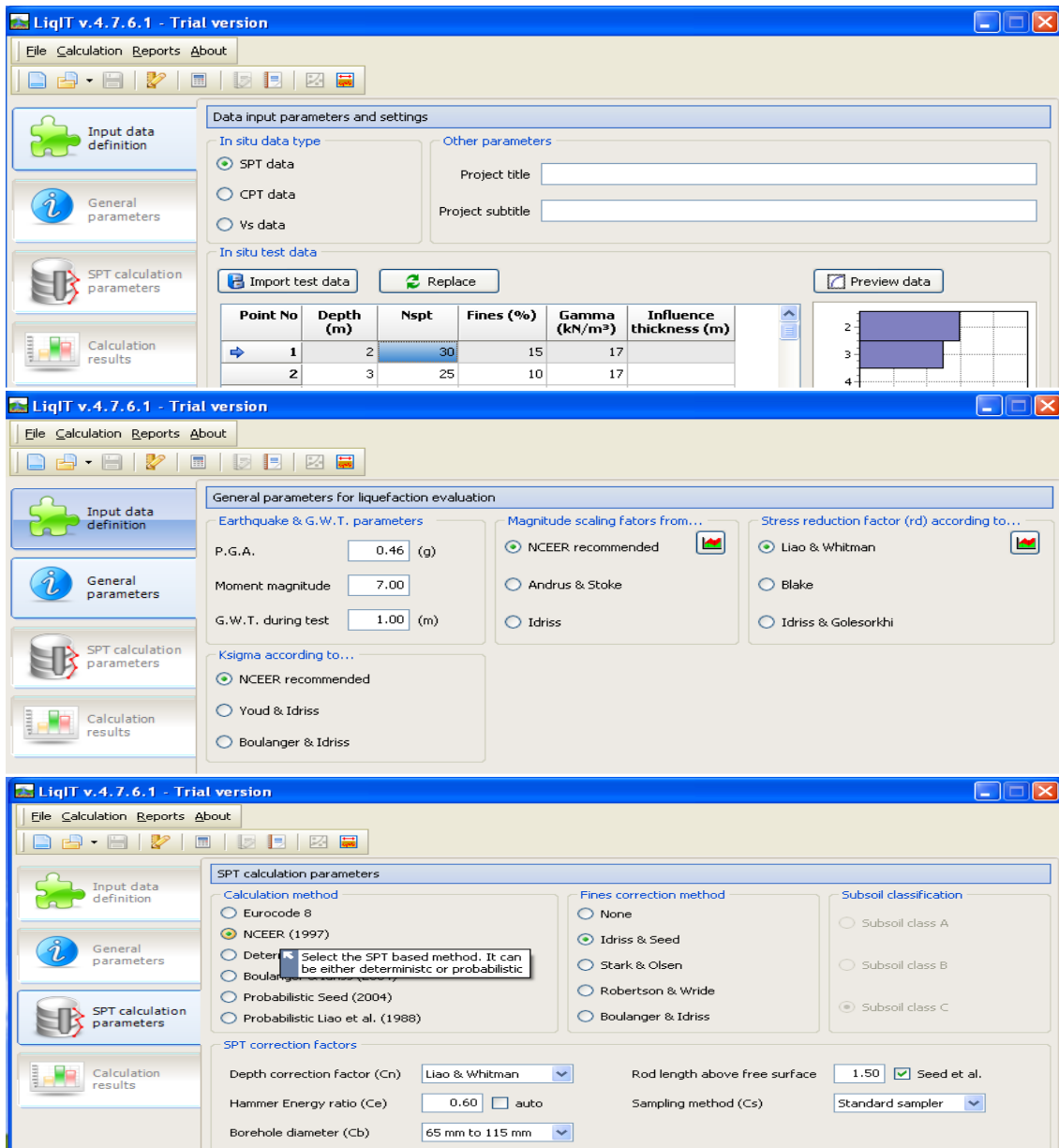
این کار برگ شامل: بیشینه شتاب سطح زمین، تراز آب زیرزمینی و بزرگای زلزله مورد نظر.

۳- کار برگ پارامترهای محاسبات نفوذ استاندارد SPT calculation parameters

در این کار برگ روش‌های مختلف ارزیابی پتانسیل روانگرایی، روش‌های اصلاح مقدار ریز دانه و

فاکتورهای اصلاح تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد ارائه شده است.

۴- کار برگ نتایج محاسبات Calculation results



شکل ۴-۸- محیط نرم افزار LiqIT v.4.70

۴-۶- ارزیابی پتانسیل روانگرایی

برای محاسبه پتانسیل روانگرایی ابتدا باید نسبت تنش دوره‌ای ناشی از زلزله را محاسبه کرد. این پارامتر بر اساس مراحل شرح داده شده در روش تعیینی سید و ادريس (Seed & Idris, 2003) در فصل سوم محاسبه شده است.

برای محاسبه نسبت مقاومت دوره‌ای، ابتدا باید عدد آزمایش نفوذ استاندارد اصلاح شده و $N_{1,60}$ محاسبه گردد، اصلاحات مربوطه در فصل سوم ارائه شده است.

یکی از نکات دیگر در ارزیابی خطر روانگرایی، استفاده از بزرگترین زلزله‌ای که ممکن است در منطقه به وقوع بپیوندد، می‌باشد. در این تحقیق طبق مطالعه تحلیل خطر لرزه‌ای بندرعباس، بزرگترین زلزله محتمل با دوره بازگشت ۴۷۵، برای این شهر ۷ ریشتر تعیین شده است (مهندسين مشاور پيشاهنگان آمایش، ۱۳۸۶). کلیه محاسبات برای زلزله با بزرگا ۷ ریشتر انجام شده است در مرحله بعدی باید تاثیر مقدار ریزدانه‌ها را بر نسبت مقاومت دوره‌ای محاسبه شود. در این روش برای محاسبه تاثیر گذاری مقدار ریز دانه از رابطه (۴-۱) زیر استفاده می‌شود:

که در این رابطه: C_{FINES} ضریب اصلاح ریزدانه، FC مقدار ریزدانه، $N_{1,60}$ عدد استاندارد اصلاح شده است. در تمام محاسبات انجام شده از مقدار میانگین ضریب کاهش تنش استفاده شده است. در اینجا نتایج محاسبات انجام شده برای گمانه BH₁، به عنوان نمونه در جداول (۴-۲ تا ۴-۴) آورده شده است. نتایج محاسبات برای گمانه‌های مختلف در جدول (۴-۵) آورده شده است.

$$N_{1,60,CS} = N_{1,60} C_{FINES} \quad (1-4)$$

$$C_{FINES} = (1 + 0.004FC) + 0.05 \left(\frac{FC}{N_{1,60}} \right)$$

$$\text{lim} : FC \geq 5\% \text{ and } FC \leq 35\%$$

جدول ۴-۲- محاسبه نسبت تنش دوره‌ای برای گمانه BH₁

عمق (متر)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_σ	CSR*
۲	۳۶	۹/۸۱	۲۶/۱۹	۰/۹۷	۰/۴۰	۱/۱۴	۰/۳۵	۱/۴۹	۰/۲۳
۳	۵۴	۱۹/۶۲	۳۴/۳۸	۰/۹۴	۰/۴۴	۱/۱۴	۰/۳۹	۱/۳۶	۰/۲۸
۵	۹۰	۳۹/۲۴	۵۰/۷۶	۰/۸۷	۰/۴۶	۱/۱۴	۰/۴۱	۱/۲۱	۰/۳۴
۶	۱۰۸	۴۹/۰۵	۵۸/۹۵	۰/۸۳	۰/۴۶	۱/۱۴	۰/۴۰	۱/۱۶	۰/۳۴
۷	۱۲۶	۵۸/۸۶	۶۷/۱۴	۰/۷۹	۰/۴۴	۱/۱۴	۰/۳۹	۱/۱۲	۰/۳۵
۱۰	۱۸۰	۸۸/۲۹	۹۱/۷۱	۰/۶۵	۰/۳۸	۱/۱۴	۰/۳۴	۱/۰۲	۰/۳۳
۱۲	۲۱۶	۱۰۷/۹۱	۱۰۸/۰۹	۰/۵۹	۰/۳۵	۱/۱۴	۰/۳۱	۰/۹۸	۰/۳۲
۱۴	۲۵۲	۱۲۷/۵۳	۱۲۴/۴۷	۰/۵۵	۰/۳۳	۱/۱۴	۰/۲۹	۰/۹۴	۰/۳۱

σ (kPa): تنش کل در عمق مورد مطالعه، u (kPa): فشار آب منفذی، σ' (kPa): تنش موثر، r_d : ضریب

کاهش تنش، CSR: نسبت تنش دوره‌ای، MSF: فاکتور مقیاس بزرگ، K_σ : فاکتور اصلاح سرباره

جدول ۴-۳- محاسبه نسبت مقاومت دوره‌ای برای گمانه BH₁

عمق (متر)	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	Δ_N	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
۲	۳۰	۱/۶	۰/۶۰	۱	۰/۷۸	۱/۳۰	۲۹/۲۰	۲/۵	۳۱/۷۱	۰/۳۶
۳	۲۵	۱/۶	۰/۶۰	۱	۰/۸۳	۱/۲۵	۲۴/۸۸	۱/۵	۲۶/۳۷	۰/۲۴
۵	۱۴	۱/۴	۰/۶۰	۱	۰/۹۲	۱/۱۴	۱۲/۳۲	۰/۸۹	۱۳/۲۱	۰/۰۹
۶	۲۷	۱/۳	۰/۶۰	۱	۰/۹۴	۱/۲۷	۲۵/۱۹	۲/۷۱	۲۷/۹۰	۰/۲۷
۷	۵۰	۱/۲۲	۰/۶۰	۱	۰/۹۶	۱/۳۰	۴۵/۴۷	۸/۱۲	۵۳/۵۹	۱/۸۴۴
۱۰	۵۰	۱/۰۴	۰/۶۰	۱	۰/۹۸	۱/۳۰	۳۹/۹۳	۶/۲۹	۴۶/۲۲	۱/۰۹
۱۲	۵۰	۰/۹۶	۰/۶۰	۱	۰/۹۹	۱/۳۰	۳۷/۰۹	۶/۹۴	۴۴/۰۳	۰/۹۰
۱۴	۵۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۱	۰/۹۹	۱/۳۰	۳۴/۷۴	۶/۶۱	۴۱/۳۵	۰/۷۴

Field SPT : ضربات آزمایش نفوذ استاندارد C_{11} : ضریب اصلاح برای فشار سربار، C_e : ضریب اصلاح انرژی چکش، C_b : ضریب اصلاح قطر نمونه گیر، C_r : ضریب اصلاح طول میله، C_s : ضریب اصلاح نمونه-گیر، $N_{1(60)}$: تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد اصلاح شده، ΔN : ضریب اصلاح مقدار ریزدانه، $N_{1(60)CS}$: تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد اصلاح شده بر اساس مقدار ریزدانه $CRR_{7.5}$: نسبت مقاومت دوره‌ای.

جدول ۴-۴- محاسبه ضریب اطمینان و شاخص پتانسیل روانگرایی برای گمانه BH ₁		
عمق (متر)	ضریب اطمینان (FS)	شاخص پتانسیل روانگرایی (PL)
۲	۱/۵۲	۰
۳	۰/۸۴	۱/۳۷
۵	۰/۲۷	۱۱/۰۲
۶	۰/۷۸	۱/۵۶
۷	۵	۰
۱۰	۳/۲۲	۰
۱۲	۲/۸۴	۰
۱۴	۲/۳۶	۰

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
BH ₁	۲	۱	۳۰	۲۹/۲	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۳۶	۱/۵۲	۱۳/۹۵
	۳		۲۵	۲۴/۸۸		۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۸۴	
	۵		۱۴	۱۲/۳۲		۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۲۷	
	۶		۲۷	۲۵/۱۹		۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۷۸	
	۷		۵۰	۴۵/۴۷		۰/۳۵	۱/۸۴	۵/۲۵	
	۱۰		۵۰	۳۹/۹۳		۰/۳۳	۱/۰۶	۳/۲۱	
	۱۲		۵۰	۳۷/۰۹		۰/۳۲	۰/۹	۲/۸۱	
	۱۴		۵۰	۳۴/۷۴		۰/۳۱	۰/۷۴	۲/۳۸	
BH ₂	۲	۱	۲۱	۱۹/۰۳	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۶۳	۵۰/۸۰
	۳		۱۳	۱۱/۶۹		۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۲۷	
	۵		۱۷	۱۵/۳۵		۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۳۵	
	۶		۱۷	۱۴/۶۱		۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۳۲	
	۸		۱۱	۸/۱۶		۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۱۸	
	۱۰		۱۸	۱۳/۰۵		۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۲۷	
	۱۲		۲۷	۱۹/۵۶		۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۵۶	
	۱۴		۲۷	۱۸/۳۲		۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۵	
	۱۵		۵۲	۳۴/۰۷		۰/۳۲	۰/۶۹	۲/۱۵	
BH ₃	۱	۱/۶	۴۹	۴۵/۸۶	۰/۳۹	۰/۱۵	۱/۲۳	۸/۲	۰
	۲		۲۸	۲۶/۸۴		۰/۲۰	۰/۲۷	۱/۳۵	
	۵		۳۰	۲۸/۴۹		۰/۲۸	۰/۳۱	۱/۱	
	۷		۳۲	۲۷/۹۱		۰/۲۹	۰/۳۳	۱/۱۴	
	۹		۵۴	۴۶/۶۲		۰/۲۸	۱/۷۶	۶/۵۱	
	۱۱		۵۸	۴۳/۳۳		۰/۲۷	۱/۴۱	۵/۲۲	
	۱۵		۵۸	۲۶/۳۲		۰/۲۶	۰/۹۹	۳/۸	

♦	۱/۵	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۳۸	۲۹/۲۵	۳۲	۲/۶	۳	BH ₄
	۱/۱	۰/۳۱	۰/۲۸		۲۷/۱۸	۳۱		۵	
	۱/۵۸	۰/۴۶	۰/۲۹		۳۲/۷۵	۴۰		۷	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۹	۱/۵	۴۴	۳۳/۵۷	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۶۳	۲/۲۵	♦
	۱۱							۳/۸۱	
	۱۳							۴/۳۸	
	۱۵							۳/۹۲	
BH ₅	۱	۱/۵	۶۷	۵۸/۸۲	۰/۳۵	۰/۲۶	۴/۱۹	۱۵	♦
	۳							۲۲	
	۵							۱۷	
	۷							۱۶	
	۹							۱۸	
	۱۱							۹	
	۱۲							۹	
BH ₆	۳	۲/۱	۵۷	۲۶/۳۹	۰/۵۲	۰/۳۳	۱/۰۸	۰/۴۲	۱۹/۸۵
	۵							۵	
	۷							۵	
	۹							۰/۵۴	
	۱۱							۱/۴۸	
	۱۳							۳/۲۴	
	۱۵							۳/۵۵	
BH ₇	۲	۱/۷	۳۲	۲۳/۹۲	۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۲۹	۱۶	۱۳/۴۴
	۴							۱۲	
	۶							۱/۸۴	
	۸							۱/۲	
	۱۰							۰/۵	

	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۲۳		۱۰/۲۷	۱۶		۱۲	
	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۲۳		۱۱/۰۵	۱۸		۱۴	
۳۱/۷۲	۰/۵۹	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۵۱	۱۷/۴۶	۱۹	۱/۸	۲/۵	BH ₈
	۰/۴۰	۰/۱۳	۰/۳۳		۱۶/۵۴	۱۹		۴/۵	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
BH ₈	۶/۵	۱/۸	۹	۶/۶۹	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۱۷	۳۱/۷۲
	۸/۵		۲۹	۲۳/۳۲		۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۷۹	
	۱۰/۵		۴۲	۳۱/۶۳		۰/۳۴	۰/۵۶	۱/۶۵	
	۱۲/۵		۵۵	۳۸/۷۷		۰/۳۳	۱/۰۴	۳/۱۵	
	۱۴/۵		۵۹	۳۹/۱۹		۰/۳۳	۱/۰۸	۳/۲۷	
	۱۶/۵		۶۰	۳۷/۷۶		۰/۳۳	۰/۹۵	۲/۸۷	
	۱۸/۵		۷۲	۴۳/۱۴		۰/۳۴	۱/۵۱	۴/۴۴	
BH ₉	۲	۵/۷	۳۸	۳۶/۹۹	۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۸۹	۴/۶	۳۴/۷۱
	۴		۱۸	۱۳/۲۱		۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۶۸	
	۶		۱۶	۱۰/۲۱		۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۵۱	
	۸		۱۴	۸/۴		۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۴۲	
	۱۰		۱۶	۹/۳		۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۴۲	
	۱۲		۱۴	۷/۶۲		۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۳۶	
	۱۴		۱۹	۱۰/۳۲		۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۴۷	
	۱۵		۲۴	۱۳/۰۲		۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۵۵	
BH ₁₀	۲	۲/۲	۷	۵/۷۷	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۳۳	۲۸/۹۱
	۴		۲۶	۲۳/۴۵		۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۹۱	
	۶		۲۵	۲۰/۹۶		۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۶۲	
	۸		۲۷	۲۱/۳۰		۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۶۶	
	۱۰		۳۰	۲۲/۵۵		۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۸	
	۱۲		۳۱	۲۱/۸۳		۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۷۴	
	۱۴		۳۲	۲۱/۲۵		۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۷۲	

۵۳/۰۶	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۴۶	۴/۱۲	۵	۵/۲	۲	BH ₁₁
	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۲۲		۴/۱	۶		۴	
	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۲۴		۸/۲۸	۱۳		۶	
	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۲۵		۱۰/۶۸	۱۷		۸	
	۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۲۵		۱۵/۹۴	۲۵		۱۰	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۱۲		۲۷	۱۶/۶۵		۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۵۸	
	۱۴		۳۶	۲۱/۶۸		۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۸۴	
	۱۵		۳۸	۲۱/۹		۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۸۸	
BH ₁₂	۲	۴/۸	۵	۴/۱۲	۰/۵	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۲۶	۲۲/۷۰
	۴		۱۷	۱۲/۳۷		۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۴۶	
	۶		۳۳	۲۴/۶۶		۰/۲۶	۰/۲۹	۱/۰۹	
	۸		۳۵	۲۴/۸۶		۰/۲۸	۰/۳۲	۱/۱۳	
	۱۰		۴۰	۲۶/۹۳		۰/۲۸	۰/۲۸	۱	
	۱۲		۳۹	۲۴/۹۴		۰/۲۸	۰/۲۸	۱	
	۱۴		۳۸	۲۳/۱۶		۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۸۹	
BH ₁₃	۲	۵/۵	۳۵	۳۴/۰۷	۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۵۹	۳/۹۷	۰
	۴		۴۰	۳۲/۳۴		۰/۱۷	۰/۵۰	۲/۹۱	
	۶		۴۷	۳۳/۹۳		۰/۱۸	۰/۶۳	۳/۴۹	
	۸		۳۹	۲۶/۸۹		۰/۱۹	۰/۳۵	۱/۸۴	
	۱۰		۴۱	۲۶/۹۰		۰/۱۹	۰/۳۷	۱/۹۱	
	۱۲		۵۸	۳۶/۲۵		۰/۱۹	۰/۸۴	۴/۳۱	
	۱۴		۵۱	۳۰/۴۴		۰/۲۰	۰/۵۱	۲/۶۰	
BH ₁₄	۲	۶/۸	۸	۶/۵۹	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۳۱	۱۶/۸۳
	۴		۲۲	۱۶/۶۹		۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۷۲	
	۶		۴۲	۲۹/۶۳		۰/۲۲	۰/۴۳	۱/۹۲	
	۸		۳۸	۲۴/۹۱		۰/۲۳	۰/۲۷	۱/۱۷	

	۱/۴۴	۰/۳۴	۰/۲۳		۲۷/۶۰	۴۴		۱۰	
	۱/۱۴	۰/۲۷	۰/۲۳		۲۳/۴۱	۳۹		۱۲	
	۱/۱۵	۰/۲۷	۰/۲۴		۲۳/۶۰	۴۱		۱۴	
۵۸/۶۵	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۴۹	۲/۴۷	۳	۱/۹	۲	BH ₁₅
	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۳۰		۴/۸۶	۶		۴	
	۰/۲	۰/۰۷	۰/۳۳		۷/۵۳	۱۰		۶	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT اصلاح شده	SPT	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۸		۱۰/۹۰	۱۵		۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۲۷	
	۱۰		۱۴/۹۱	۲۱		۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۴۱	
	۱۲		۱۷/۱۴	۲۵		۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۵۰	
	۱۴		۲۰/۱۴	۳۰		۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۶۵	
BH ₁₆	۲	۵	۳۲/۱۲	۳۳	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۰۵	۳/۴۸	.
	۴		۶۴/۶۸	۸۰		۰/۱۷	۶/۸۹	۴۰	
	۶		۳۶/۲۵	۴۹		۰/۱۸	۰/۷۷	۴/۲۱	
	۸		۲۹/۵۸	۴۲		۰/۱۹	۰/۴۴	۲/۳	
	۱۰		۳۲/۰۸	۴۸		۰/۱۹	۰/۵۸	۲/۹۷	
	۱۲		۲۹/۲۲	۴۶		۰/۱۹	۰/۴۶	۲/۳۷	
	۱۴		۲۱/۸۴	۴۱		۰/۱۹	۰/۳۲	۱/۶۱	
BH ₁₇	۲	۳	۲۲/۲۸	۲۴	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۲۰	۱/۴۲	.
	۴		۲۲/۹۵	۲۷		۰/۱۸	۰/۲۱	۱/۱۵	
	۶		۲۳/۸۰	۲۹		۰/۲۱	۰/۲۳	۱/۰۶	
	۸		۲۳/۹۸	۳۱		۰/۲۲	۰/۲۴	۱/۰۶	
	۱۰		۲۳/۹۲	۳۳		۰/۲۲	۰/۲۳	۱/۰۴	
	۱۲		۲۴/۵۷	۳۶		۰/۲۱	۰/۲۴	۱/۱۳	
	۱۴		۲۴/۵۴	۳۸		۰/۲۱	۰/۲۴	۱/۱۳	
BH ₁₈	۲	۱۲	۶۸/۱۴	۷۰	۰/۳۵	۰/۱۴	۱۲/۸۲	۹۱	.
	۴		۵۹/۸۳	۷۴		۰/۱۷	۶/۲۹	۳۷	

	۱۵	۲/۵۷	۰/۱۷		۴۹/۳۸	۷۰		۶	
	۷/۷	۱/۲۴	۰/۱۶		۴۰/۸۳	۶۵		۸	
	۷/۶	۱/۱۴	۰/۱۵		۳۹/۹۰	۷۰		۱۰	
	۶/۳۳	۰/۹۵	۰/۱۵		۳۷/۷۸	۷۲		۱۲	
	۷	۰/۹۸	۰/۱۴		۳۸/۱۳	۷۵		۱۴	
.	۱۸	۲/۶۳	۰/۱۴	۰/۳۵	۴۹/۶۵	۵۱	۱۲	۲	BH ₁₉
	۹	۱/۵۵	۰/۱۷		۴۴/۴۷	۵۵		۴	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۶			۵۶		۰/۱۷	۰/۹۸	۵/۷	
	۸			۵۸		۰/۱۶	۰/۸۵	۵/۳	
	۱۰			۵۸		۰/۱۵	۰/۶۱	۴	
	۱۲			۶۰		۰/۱۵	۰/۵۲	۳/۴۶	
	۱۴			۶۱		۰/۱۴	۰/۵۳	۳/۷۸	
BH ₂₀	۲	۶/۴		۲۸	۰/۴	۰/۱۶	۰/۳۵	۲/۱۵	.
	۴			۲۹		۰/۱۹	۰/۲۶	۱/۳۶	
	۶			۳۳		۰/۲۲	۰/۳۲	۱/۴۹	
	۸			۴۱		۰/۲۳	۰/۴۶	۲	
	۱۰			۴۹		۰/۲۳	۰/۶۶	۲/۸۸	
	۱۲			۴۸		۰/۲۳	۰/۵۴	۲/۳۷	
	۱۴			۶۹		۰/۲۳	۱/۰۷	۴/۶۷	
BH ₂₁	۲	۶/۶		۲۸	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۲۸	۱/۶۴	۳۶/۳۹
	۴			۲۴		۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۸۹	
	۶			۱۰		۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۲۹	
	۸			۱۵		۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۳۹	
	۱۰			۱۶		۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۳۹	
	۱۲			۱۷		۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۳۹	
	۱۴			۲۱		۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۴۴	

	۰/۵	۰/۱۱	۰/۲۲		۱۳/۳۶	۲۵		۱۶	
	۰/۷۲	۰/۱۶	۰/۲۳		۱۷/۱۱	۳۲		۱۸	
	۰/۸۶	۰/۱۲۰	۰/۲۳		۱۹/۶۰	۳۸		۲۰	
۱۱/۰۵	۰/۸۰	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۴۶	۱۹/۰۳	۲۱	۴/۵	۲	BH ₂₂
	۰/۶۳	۰/۱۴	۰/۲۲		۱۷/۵۹	۲۳		۴	
	۳/۹۲	۰/۹۷	۰/۲۵		۴۰/۹۹	۵۴		۶	
	۵/۲۳	۱/۳۶	۰/۲۶		۴۳/۹۱	۶۱		۸	
	۳/۴۹	۰/۹۲	۰/۲۶		۳۹/۵۱	۵۸		۱۰	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۱۲			۲۹/۰۸				۱/۳۶	
	۱۴			۲۲/۱۴				۰/۷۴	
	۱۶			۲۱/۱۳				۰/۵۴	
	۱۸			۳۴/۹۰				۰/۷۵	
BH ₂₃	۲	۷/۴		۲۸/۰۱	۰/۳۵			۲/۵۷	.
	۴			۲۱/۳۲				۰/۲۲	
	۶			۲۹/۶۳				۰/۴۷	
	۸			۲۱/۸۱				۰/۲۴	
	۱۰			۲۲/۷۶				۰/۲۶	
	۱۲			۲۱/۸۳				۰/۲۴	
BH ₂₄	۲	۶/۵		۳۰/۸۹	۰/۳۵			۳/۷۸	.
	۴			۲۹/۰۴				۰/۴۰	
	۶			۲۶/۳۷				۰/۳۶	
	۸			۲۳/۷۰				۰/۲۴	
	۱۰			۲۶/۵۸				۰/۳۴	
	۱۲			۲۴/۶۴				۰/۳۷	
BH ₂₅	۲	۴		۱۰/۰۶	۰/۴۲			۰/۴۷	۲۲/۸۵
	۴			۱۴/۰۶				۰/۱۳	

	۰/۵۵	۰/۱۳	۰/۲۴		۱۶/۱۰	۲۲		۶	
	۰/۸۸	۰/۲۲	۰/۲۵		۲۲/۰۹	۳۰		۸	
	۱/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۵		۲۶/۴۰	۳۸		۱۰	
	۱/۵	۰/۳۶	۰/۲۴		۲۶/۳۰	۴۰		۱۲	
	۱/۷۵	۰/۴۲	۰/۲۴		۲۸/۱۱	۴۵		۱۴	
.	۴/۸۳	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۳۵	۳۴/۰۷	۳۵	۱۲/۵	۲	BH ₂₆
	۲۹	۵/۰۱	۰/۱۷		۵۷/۴۰	۷۱		۴	
	۵	۰/۸۷	۰/۱۷		۳۶/۶۸	۵۲		۶	
	۵	۰/۸۵	۰/۱۶		۳۶/۴۳	۵۸		۸	

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۱۰		۶۳	۳۵/۹۱		۰/۱۵	۰/۸۱	۵	
	۱۲		۶۰	۳۱/۴۸		۰/۱۵	۰/۵۶	۳/۷۳	
	۱۴		۶۸	۳۴/۵۷		۰/۱۵	۰/۷۲	۴/۸	
.	۲/۵	۴/۵	۳۴	۳۱/۸۱	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۴۷	۳/۱۳	.
	۴/۵		۴۹	۳۸/۲۲		۰/۱۷	۰/۸۳	۴/۹۱	
	۶/۵		۵۴	۳۶/۹۳		۰/۱۷	۰/۸۱	۴/۷۹	
	۹		۴۶	۲۷/۴۷		۰/۱۶	۰/۳۱	۱/۹۲	
	۱۰/۵		۴۹	۲۷/۳۲		۰/۱۵	۰/۳۰	۱/۹۷	
	۱۲/۵		۵۵	۲۹/۲۹		۰/۱۵	۰/۴۶	۳/۰۳	
	۱۴/۵		۴۴	۲۲/۶۷		۰/۱۶	۰/۲۶	۱/۶۷	
BH ₂₇	۲	۱	۳۱	۳۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۵۰	۲/۵	۱۵/۴۸
	۳		۸	۷/۲۲		۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۳	
	۵		۲۶	۲۵/۲۸		۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۸۸	
	۶		۲۶	۲۳/۴۸		۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۸۴	
	۸		۲۷	۲۲/۹۱		۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۷۶	
	۹		۳۱	۲۵/۷۸		۰/۲۹	۰/۳۱	۱/۰۷	
	۱۰/۵		۳۲	۲۵/۰۶		۰/۲۸	۰/۲۹	۱/۰۳	
BH ₂₈									

	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۲۸		۲۲/۲۵	۳۰		۱۲	
	۱/۱۲	۰/۳۰	۰/۲۷		۲۵/۰۱	۳۶		۱۴	
۷/۷۳	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۴	۱۶/۹۳	۱۹	۴	۲	BH ₂₉
	۰/۸۳	۰/۱۶	۰/۱۹		۱۸/۹۲	۲۵		۴	
	۰/۹۱	۰/۲۱	۰/۲۳		۲۲/۶۴	۳۰		۶	
	۱/۵	۰/۳۶	۰/۲۴		۲۷/۶۸	۳۹		۸	
	۱/۵۲	۰/۳۵	۰/۲۳		۲۸/۰۵	۴۲		۱۰	
	۲/۱۷	۰/۵۰	۰/۲۳		۳۰/۲۷	۴۸		۱۲	
	۲/۷۲	۰/۶۳	۰/۲۳		۳۲/۹۰	۵۵		۱۴	
۱۸/۲۴	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۴۲	۷/۴۱	۹	۱/۹	۲	BH ₃₀

جدول ۴-۵- نتایج محاسبات انجام شده

شماره گمانه	عمق (متر)	تراز آب زیرزمینی (متر)	SPT	SPT اصلاح شده	شتاب	نسبت تنش دوره‌ای	نسبت مقاومت دوره‌ای	ضریب اطمینان	شاخص پتانسیل روانگرایی
	۴		۳۰	۲۸/۷۱		۰/۲۵	۰/۳۶	۱/۴۴	
	۶		۲۸	۲۴/۵۵		۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۹۳	
	۸		۲۹	۲۳/۶۴		۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۹۳	
	۱۰		۳۲	۲۴/۴۰		۰/۲۸	۰/۲۹	۱/۰۲	
	۱۲		۳۲	۲۲/۸۲		۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۸	
	۱۴		۳۴	۲۲/۸۲		۰/۲۷	۰/۲۷	۱	
	۱۶		۲۷	۱۶/۷۶		۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۴۸	
	۱۸		۲۸	۱۶/۶۷		۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۴۶	
	۲۰		۳۴	۱۹/۶۳		۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۵۹	

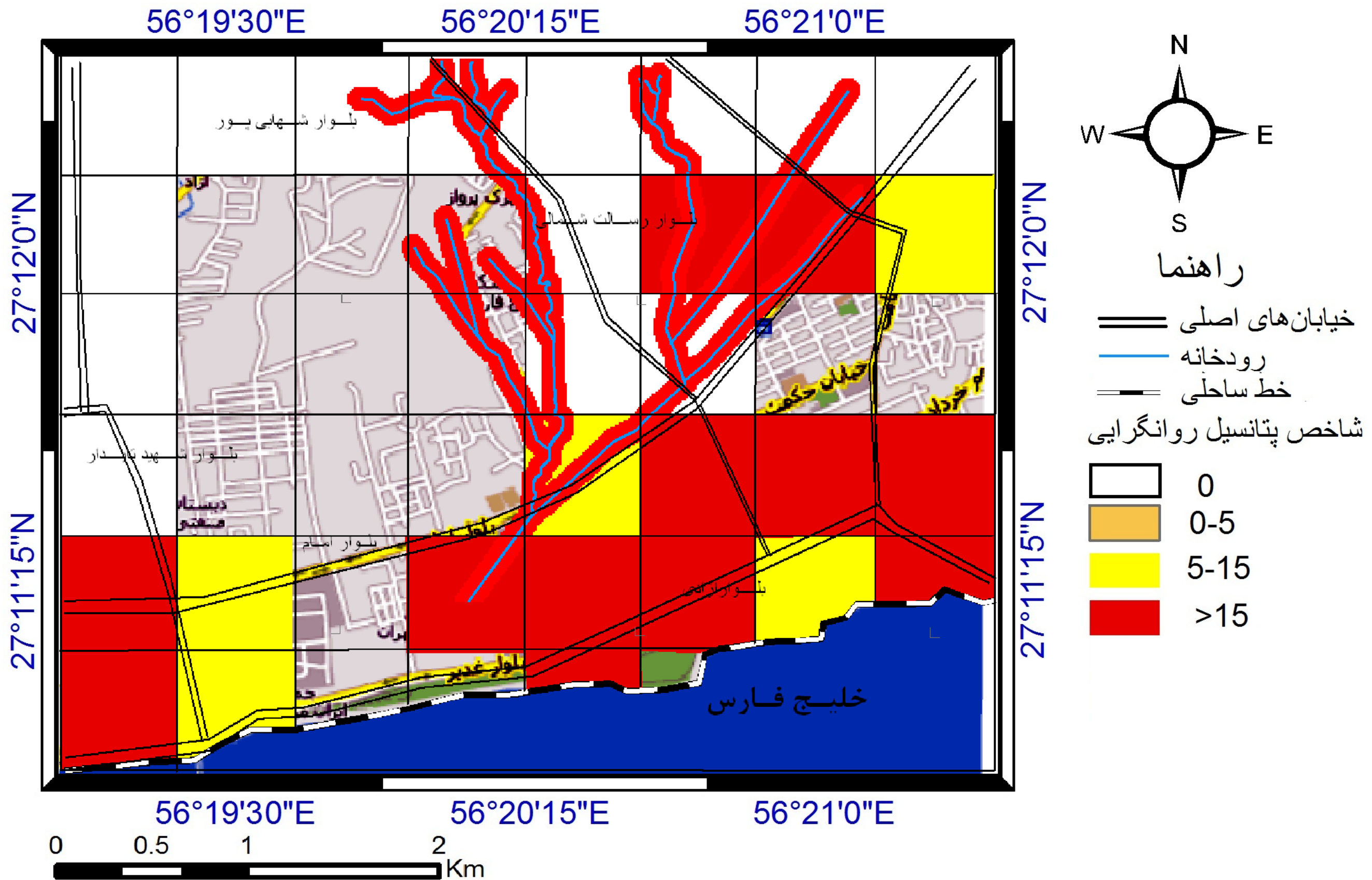
۴-۷- بحث و بررسی

در شکل (۴-۹) نقشه اولیه‌ای از پتانسیل خطر روانگرایی نشان داده شده است. این نقشه بر اساس شاخص پتانسیل روانگرایی و برای شبکه‌های که دارای اطلاعات بودند، ارائه شده است. بر اساس رابطه ارائه شده توسط ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al. 1982) شبکه‌هایی که دارای شاخص پتانسیل

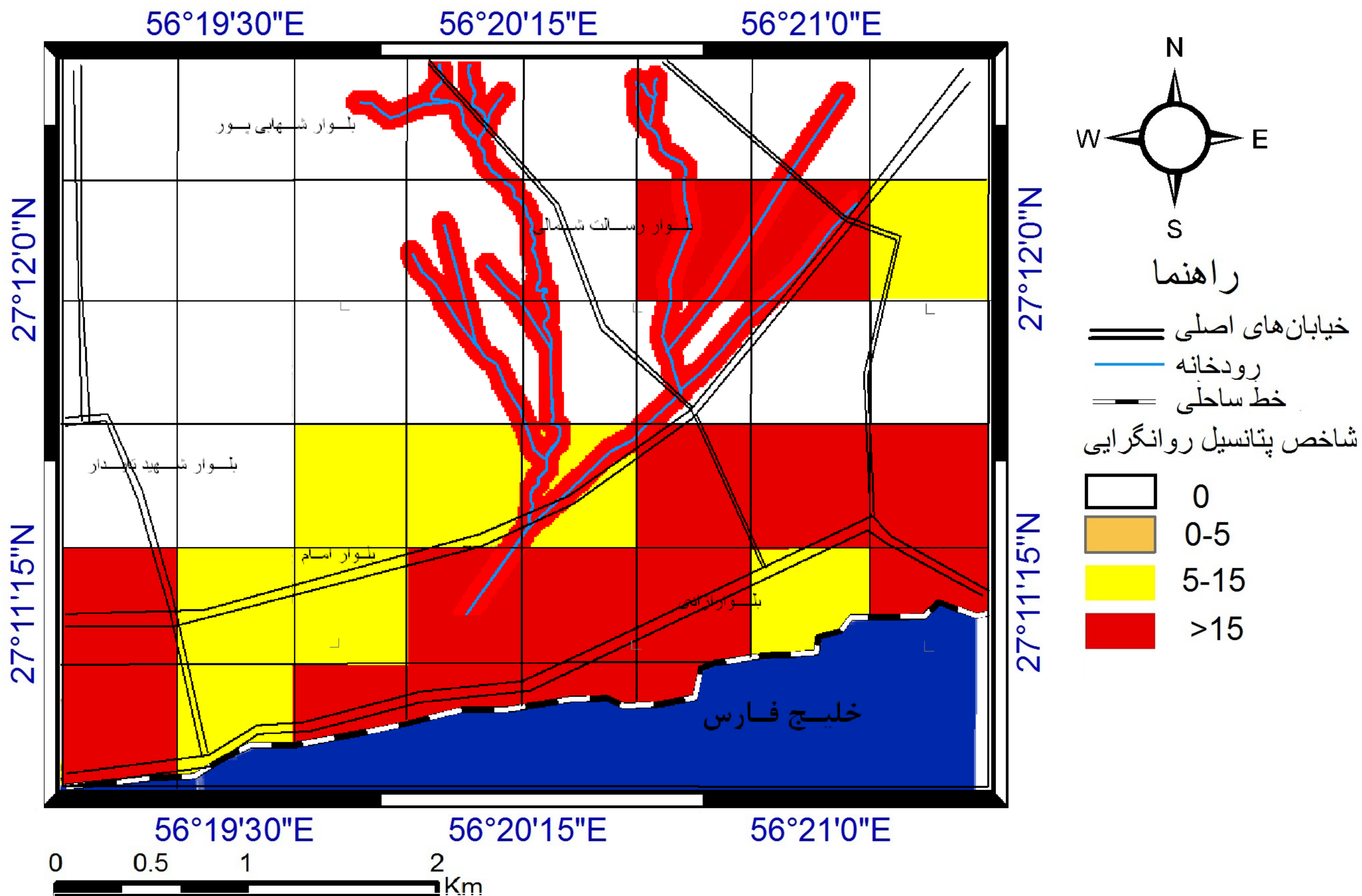
صفر هستند دارای خطر روانگرایی خیلی کم بوده و عموماً نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق در این شبکه‌ها نمی‌باشد. شبکه‌ایی که دارای شاخص پتانسیل بین ۰ تا ۵ هستند از خطر روانگرایی کمی برخوردار بوده ولی با این حال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای برای سازه‌های مهم می‌باشد. مناطقی که در محدوده‌ای با شاخص پتانسیل روانگرایی بین ۵ تا ۱۵ قرار می‌گیرند دارای خطر روانگرایی زیاد و همچنین محدوده‌های با شاخص پتانسیل بیشتر از ۱۵ از خطر روانگرایی خیلی زیادی برخوردار هستند بنابراین نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد. استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی معمولاً ضرورت دارد.

شبکه‌هایی که فاقد اطلاعات بودند نیز بر اساس اطلاعات شبکه‌های مجاور، نقشه بافت خاک و پروفیل‌های ترسیم شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل (۴-۱۰) نقشه پتانسیل خطر روانگرایی نهایی منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی عکس‌های هوایی قدیمی و تغییرات شیب زمین در محدوده مطالعاتی توسط نرم افزار (Google Earth 5.2) مرز بین ماسه سیلتی و ماسه تمیز بد دانه‌بندی شده در نقشه بافت خاک، به عنوان پهنه‌ی ساحلی قدیمی در نظر گرفته شده است. بنا براین با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در خط ساحلی جدید و پائین بودن تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد در این محدوده، برای شبکه‌های فاقد اطلاعات در مجاور خط ساحلی جدید شاخص پتانسیل روانگرایی بالای ۱۵ در تعیین شد. برای شبکه‌هایی که بین خط ساحلی جدید و خط ساحلی قدیم قرار داشتند به علت پایین تر بودن سطح آب زیرزمینی شاخص پتانسیل بین ۵ تا ۱۵ در نظر گرفته شد. شبکه‌های فاقد اطلاعات که در بالای خط ساحلی قدیم و در قسمت‌های باختری و شمالی قرار داشتند، دارای تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد بالایی بودند و همچنین سطح آب زیرزمینی در این قسمت پائین و در حدود ۷ تا ۱۵ می‌باشد. بنابراین برای این شبکه‌ها شاخص پتانسیل صفر در تعیین شده است. برای رودخانه‌ها نیز تا حریم ۵۰ متری از طرفین به عنوان محدوده‌ای با خطر بالا در نظر گرفته شد. در شکل (۴-۱۱) نقشه خطر روانگرایی بر مبنای کمترین ضریب اطمینان بدست آمده در هر گمانه ترسیم شده است. شبکه‌هایی که دارای ضریب اطمینان کمتر از یک هستند به عنوان مناطق

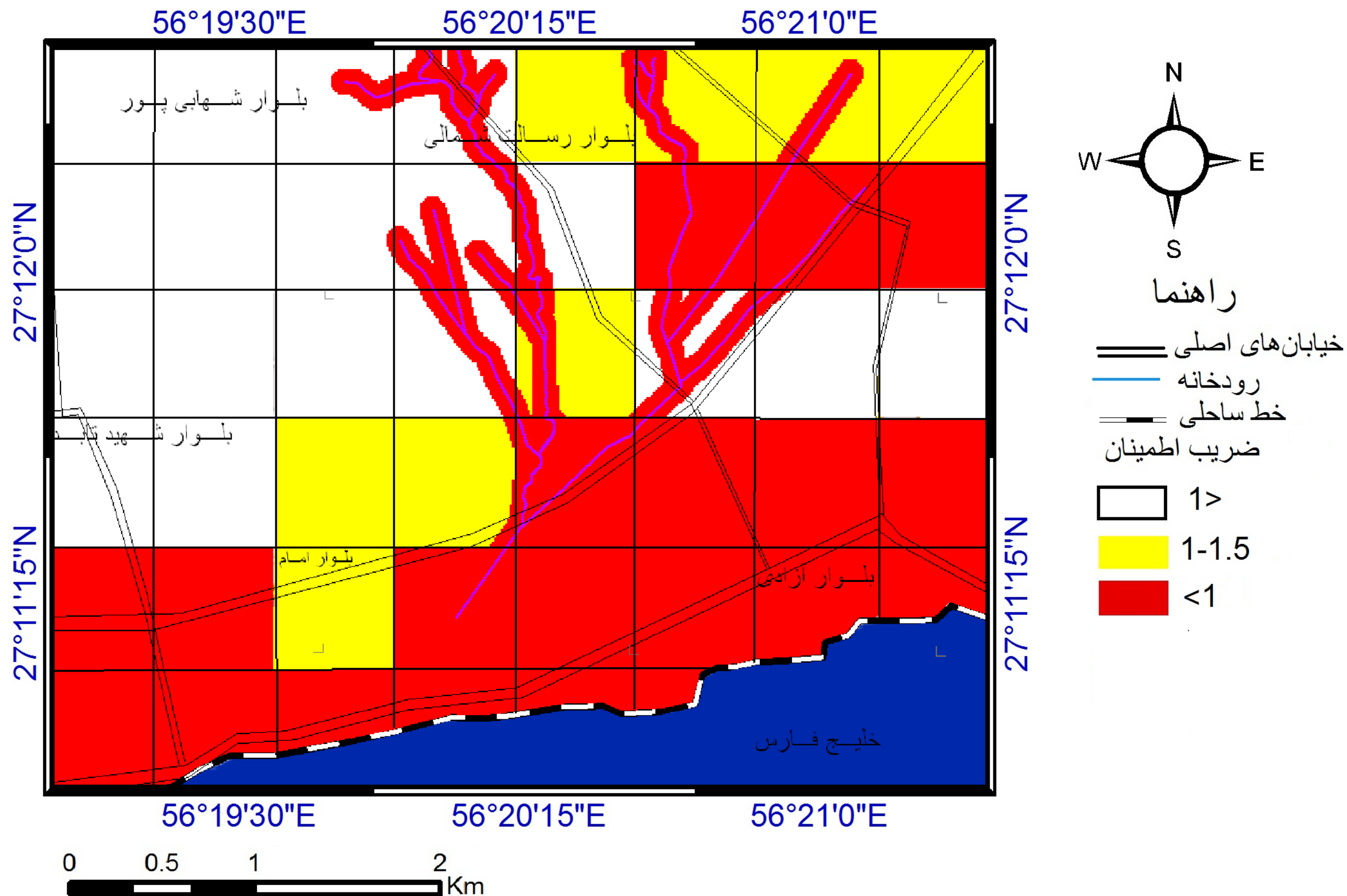
بحرانی و مناطقی که ضریب اطمینان آنها در محدوده ۱-۱/۵ قرار دارد به عنوان مناطق شبه بحرانی در نظر گرفته شده‌اند. ضریب اطمینان بالاتر از ۱/۵ نیز نشان دهنده پایدار بودن منطقه می‌باشد. این نقشه پتانسیل خطر روانگرایی را به صورت موضعی و در اعماق خاص از یک گمانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹- نقشه خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل روانگرایی برای شبکه‌های دارای اطلاعات



شکل ۴-۱۰- نقشه نهایی خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل روانگرایی



شکل ۴-۱۱- نقشه خطر خطر روانگرایی بر مبنای کمترین ضریب اطمینان در هر گمانه

۴-۸- ارزیابی حساسیت نقشه تهیه شده نسبت به شتاب سنگ بستر

شتاب (PGA) ناشی از زلزله یکی از مولفه‌های اصلی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی می‌باشد. تغییرات این شتاب و به موجب آن ایجاد پدیده تشدید یا تضعیف توسط شرایط ساختگاهی می‌تواند اثرات زیانبار ناشی از روانگرایی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. بدین منظور در این تحقیق حساسیت نقشه تهیه شده نسبت به شتاب سنگ بستر مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای انجام این کار شتاب سنگ بستر در گمانه‌های که در شرایط بحرانی قرار داشتند ($PL > 5$) را کاهش داده و مقدار شتابی که در آن شاخص پتانسیل روانگری برابر ۵ می‌شد را به عنوان شتاب بحرانی در آن گمانه در نظر گرفته شد. در جدول (۴-۶) حداقل شتاب (PGA) که در گمانه‌های بحرانی باعث وقوع روانگرایی می‌شود ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد بسیاری از گمانه‌ها در شتاب کمتر از نصف شتاب برآورد شده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال نیز احتمال روانگرا شدن وجود داد.

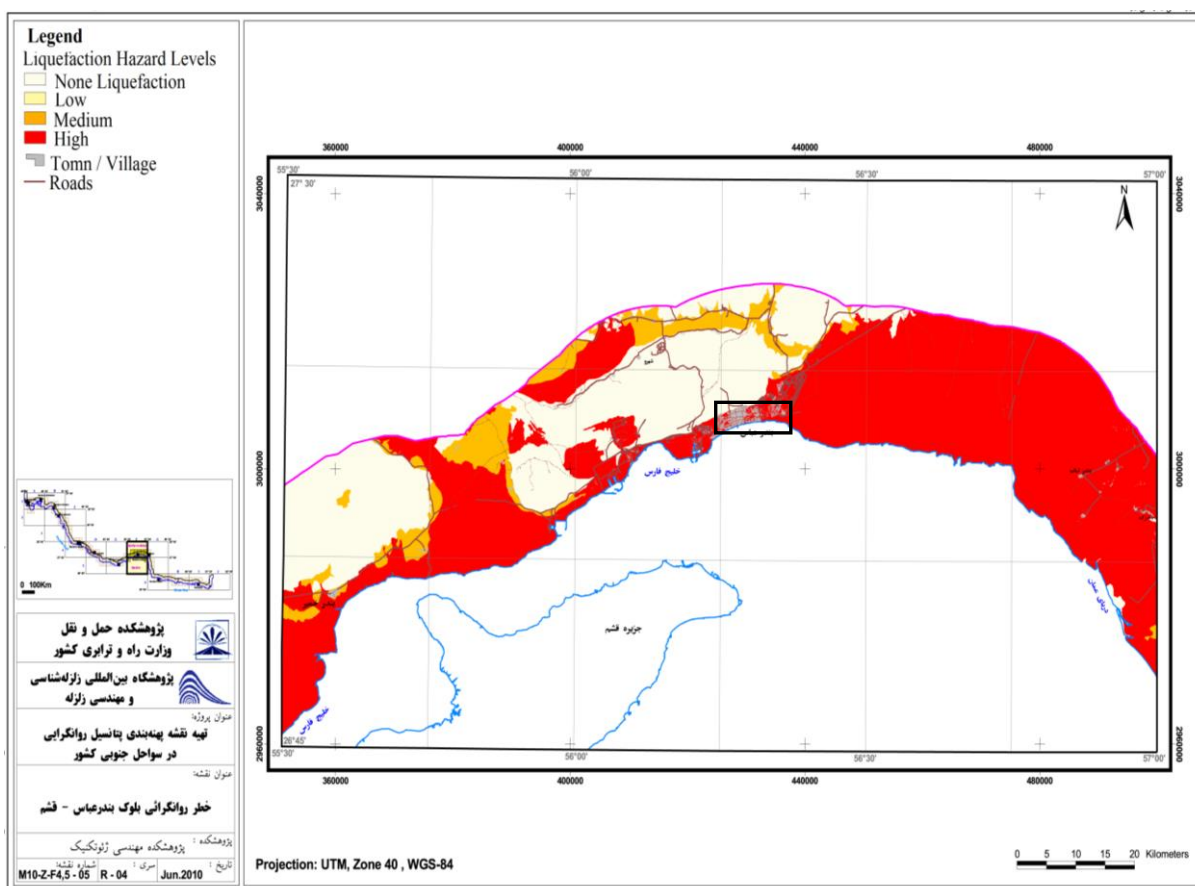
جدول ۴-۶- حداقل شتاب (PGA) در گمانه‌های بحرانی

شماره پروفیل	شتاب	شماره پروفیل	شتاب
BH ₁	۰/۱۵	BH ₉	۰/۱۶
BH ₂	۰/۱	BH ₆	۰/۱۸
BH ₁₁	۰/۱	BH ₂₈	۰/۱۶
BH ₁₂	۰/۱۷	BH ₂₉	۰/۳۳
BH ₈	۰/۱	BH ₂₅	۰/۲۱
BH ₁₅	۰/۱	BH ₃₀	۰/۲
BH ₂₂	۰/۲۸	BH ₇	۰/۱۹
BH ₂₁	۰/۱۳	BH ₁₀	۰/۱۵
BH ₁₄	۰/۱۵	----	----

۴-۹- مقایسه نقشه خطر تعیین شده با مطالعه پیشین

مطالعات ارزیابی پتانسیل خطر روانگرایی سواحل جنوبی کشور توسط حق‌شناس و همکاران (۱۳۸۹) در قالب پروژه مطالعات پهنه‌بندی خطر روانگرایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای پهنه‌ای به عرض ۲۰

کیلومتر در سواحل جنوبی کشور، صورت گرفته است. در این مطالعات نوار ساحلی جنوب کشور در قالب بلوک‌های جداگانه‌ای تقسیم بندی شده است که یکی از این آنها، بلوک بندرعباس - قشم می‌باشد شکل (۴-۱۲). همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود شهر بندرعباس (کادر مشکی رنگ) به عنوان پهنه‌ای با خطر روانگرایی بالا برآورد شده است. در مقایسه در تحقیق حاضر فقط بخش‌هایی که در محدوده خط ساحلی قرار دارند با پتانسیل بالای روانگرایی برآورد شده‌اند و از محدوده مرکزی شهر به سمت شمال، به استثنای تعداد محدودی از شبکه‌ها و حریم در نظر گرفته شده برای رودخانه‌های قدیمی، شاخص پتانسیل روانگرایی صفر بوده و خطری این مناطق را تهدید نمی‌کند.



شکل ۴-۱۲- نقشه خطر روانگرایی بلوک بندرعباس - قشم (حق شناس و همکاران، ۱۳۸۹)
کادر مشکی رنگ محدوده شهر بندرعباس می‌باشد

۴-۱۰-۱- روش‌های کاهش مخاطرات ناشی از روانگرایی

زمانی که ساختمانی با پتانسیل روانگرایی وجود دارد، اغلب به منظور محافظت و تامین عملکرد سازه، تقویت خاک مورد نیاز می‌باشد. تقویت ساختمانی در برابر روانگرایی می‌تواند به دو بخش زیر دسته بندی می‌شود (حسینی، ۱۳۸۹):

- ۱- مقابله با روانگرایی به وسیله بهسازی خاک ۲- مقابله با روانگرایی در تعامل با طراحی سازه در عمل ترکیبی از این دو روش اغلب مناسب به نظر می‌رسد.
- روش‌های تقویت در برابر روانگرایی:

۴-۱۰-۱-۱- روش تراکم

یکی از روش‌هایی که به صورت گسترده به منظور مقابله با روانگرایی استفاده می‌شود متراکم سازی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از ضربه و ارتعاش می‌باشد. این روش معمولاً فشارخاک را افزایش می‌دهد و باعث ارتعاش و ایجاد سروصدا حین تراکم می‌شود. بنابراین اثر تراکم روی خاک مجاور و سازه‌های همسایه حین اجرای روش قابل ملاحظه است، بعلاوه زمانی که درصد ریزدانه خاک زیاد باشد، تراکم مشکل است. تراکم لایه خاک بعنوان یک روش اجرای تقویت درمقابل روانگرایی با استفاده از میله فولادی یا غلاف فولادی برای اعمال نیرو به شن و ماسه خاک با قابلیت روانگرایی و اعمال ارتعاشات قوی در این خاک‌ها بکار می‌رود.

۴-۱۰-۲- استهلاک فشار آب منفذی

روش زهکشی باعث کاهش لرزش و سروصدا می‌شود و همچنین تاثیرروی محیط اطراف را به حداقل می‌رساند که این مزایا از برتری‌های روش زهکشی در مقایسه با روش تراکم می‌باشد.

این روش اغلب زمانی استفاده می‌شود که اجرای روش‌های دیگر مانند تراکم مشکل باشد. بعنوان یک راهکار برای تقویت روانگرایی، زهکشی آب از طریق یک شمع می‌باشد که این روش اثر استهلاک

اضافه فشار آب حفره ای را بامقاومت شمع ترکیب می کند. در خاکهای با نفوذ پذیری پائین و درصد بالای ریزدانه، کاربرد روش زهکشی مشکل است.

۳-۱۰-۴ روش سیمانناسیون و جامد سازی

سیمانناسیون از جمله روشهای اجرای تقویت روانگرایی می باشد که شامل روشهای مخلوط عمیق و روش پیش مخلوط می باشد.

روش مخلوط عمیق با اختلاط مواد تثبیت کننده مثل سیمان در خاک ماسه ای و جامد سازی خاک باعث ایجاد مقاومت در برابر روانگرایی می شود. این روش حتی برای مقاوم سازی خاک زیر سازه های موجود نیز بکار می رود. در این روش با مقید کردن تغییرشکل‌های برشی، خاک زیر ساختمان از طریق ایجاد دیوار زیرزمین درمقابل روانگرایی تقویت می شود.

روش پیش مخلوط با اضافه کردن مصالح تثبیت کننده به خاک و ماسه از قبل و ریختن خاک بهسازی شده در آب با لوله‌های ترمی یا بارج های مخصوص انجام می شود. با انجام تقویت در مقابل روانگرایی، بعد از جایگزینی خاک مخلوط، روشی مثل تراکم مورد نیاز نبوده و دوره زمانی ساخت کاهش می یابد.

۴-۱۰-۴ روش جایگزینی

روشی است که در آن خاک محل با مصالحی که پتانسیل روانگرایی ندارد، جایگزین می شود. شن و خاک مخلوط شده با سیمان، مصالحی بدون قابلیت روانگرایی می باشند که در روش جایگزینی برای مقابله با روانگرایی استفاده می شوند. در اجرای این روش ارزیابی و کنترل پایداری خاکبرداری در حین جایگزینی ضروری است. همچنین نیاز به مدیریت خاکبرداری خاک و ماسه می باشد.

۵-۱۰-۴ پیش بارگذاری

افزایش مقاومت در مقابل روانگرایی از طریق روش پیش بارگذاری با بیش تحکیم یافته کردن خاک

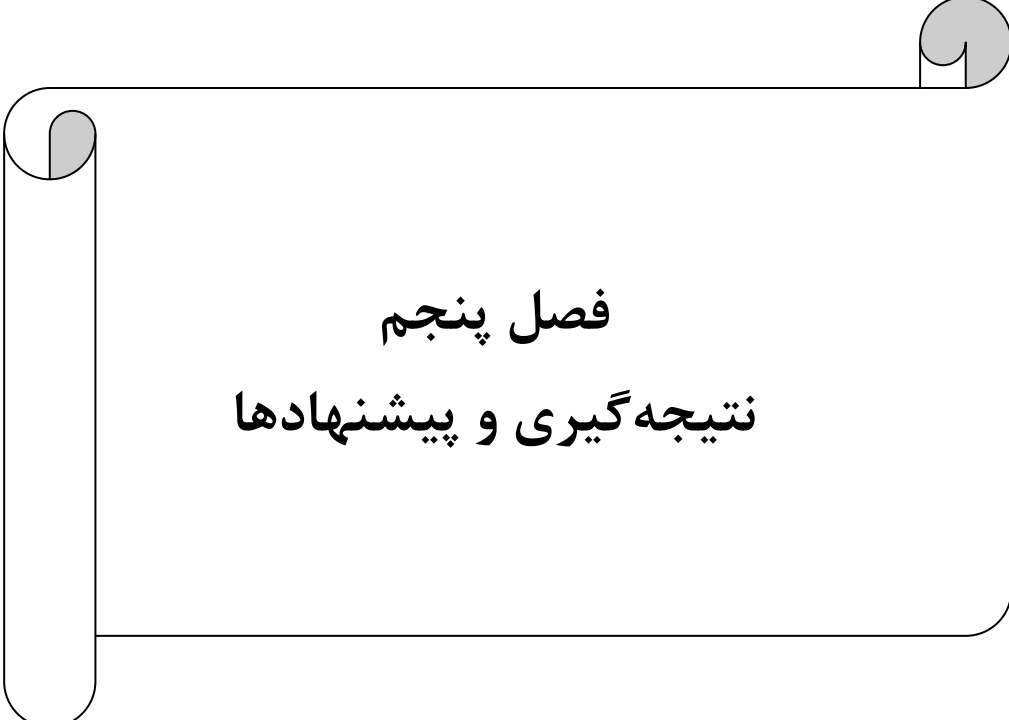
توسط سربار خاکریز امکان پذیر است. این روش را می توان در خاکهای با درصد بالای ریزدانه بکاربرد.

همچنین می توان پیش بارگذاری را با بیش تحکیم کردن خاک از طریق پایین بردن سطح آب زیرزمینی حتی زیر سازه های موجود اعمال کرد .

۴-۱۱- جمع بندی

به منظور ارزیابی خطر روانگرایی ابتدا بر اساس روش تعیینی سید و همکاران (Seed et al. 2003) در هر گمانه ضریب اطمینان در برابر روانگرایی برای اعماق مختلف و سپس شاخص پتانسیل روانگرایی بر اساس رابطه ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al. 1982) برای کل گمانه محاسبه شد. بر اساس نتایج آنالیزهای انجام شده نقشه پتانسیل خطر روانگرایی بر مبنای شاخص پتانسیل خطر روانگرایی و همچنین نقشه پتانسیل خطر روانگرایی بر مبنای کمترین ضریب اطمینان محاسبه شده در هر گمانه ترسیم شد. ارزیابی های صورت گرفته نشان داد محدوده بین خط ساحلی تا قسمت مرکزی مورد مطالعه از خطر روانگرایی بالایی برخوردار است. بیشتر شبکه هایی که در این محدوده قرار گرفته اند دارای شاخص پتانسیل بالای ۱۵ بوده و فقط تعدادی از شبکه ها داری شاخص پتانسیل بین ۵ تا ۱۵ می باشند (شکل ۴-۱۰). با توجه به این که این محدوده در مجاورت ساحل قرار دارد، سطح آب زیرزمینی آن بیشتر تحت تاثیر دریا بوده و تغییرات آن زیاد می باشد. طبق نقشه سطح آب زیرزمینی که در فصل سوم ارائه شده است در بیشتر شبکه هایی که در این محدوده قرار دارند حداکثر سطح آب زیرزمینی ۵ متر و حداقل آن که در نزدیک ساحل می باشد ۱ متر می باشد. همچنین با توجه به نقشه بافت خاک و پروفیل های ترسیم شده، در این محدوده بافت ماسه ای بوده و بیشتر از نوع SP و SM می باشد و یکسری میان لایه ای سیلتی - رسی نیز در آنها وجود دارد. این عامل نیز می توان در بالابردن پتانسیل روانگرایی این محدوده بسیار تأثیر گذار باشد. از قسمت مرکزی محدوده مطالعاتی به سمت شمال، شاخص پتانسیل روانگرایی صفر بوده و خطر روانگرایی وجود این منطقه را تهدید نمی کند به استثنای چند شبکه که داری خطر بالا هستند و حریم ۵۰ متری که برای رودخانه ها در نظر گرفته شده است. در این سه شبکه تراز آب زیرزمینی بین ۵ تا ۹ متر می باشد. بافت خاک این محدوده از دو

بخش تشکیل شده است. قسمتی ماسه‌ای و از نوع SM بوده و در قسمتی دیگر شامل نهشته‌های ماسه‌ای سخت شده می‌باشد. گمانه‌هایی که در این قسمت حفر شده‌اند دارای عدد SPT بالایی بوده و صحتی بر این موضوع می‌باشد.



فصل پنجم
نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

در تحقیق حاضر پتانسیل روانگرایی خاک در بخش خاوری شهر بندرعباس مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا بر اساس بازدیدهای صحرایی، نقشه زمینی‌شناسی و اطلاعات گزارش‌های موجود، وضعیت زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی و سطح آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس نقشه سطح آب زیرزمینی و نقشه بافت خاک منطقه تهیه شد. در مرحله بعد اطلاعات ژئوتکنیکی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روش تعیینی سید و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد و ضریب اطمینان در برابر روانگرایی برای اعماق مختلف در هر گمانه و سپس شاخص پتانسیل روانگرایی برای هر گمانه بر اساس روش ایواساکی و همکاران (۱۹۸۲) محاسبه گردید.

۵-۲- نتایج

۱- بررسی وضعیت زمین‌شناسی آبرفت و مقاطع عرضی نشان داد که بافت غالب خاک منطقه ماسه‌ای می‌باشد. در پهنه‌ی ساحلی تا محدوده مرکزی مورد مطالعه این ماسه‌ها بیشتر از نوع SP و SM بوده، و از محدوده مرکزی به سمت شمال منطقه ماسه‌ها غالباً از نوع SM می‌باشند.

۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی این منطقه متأثر از سه عامل آب‌های ساحلی، آب‌های سطحی و فاضلاب شهری می‌باشد. نقشه سطح آب زیرزمینی ترسیم شده حاکی تغییرات زیاد آب در این محدوده است به طوری که در نزدیکی ساحل این سطح آب ۰/۵ تا ۱ متر بوده ولی در قسمت‌های باختری و شمال باختری به ۱۵ تا ۲۰ متر نیز می‌رسد.

۳- محدوده مطالعاتی در منتهی‌الیه زاگرس چین‌خورده واقع شده است و به لحاظ لرزه‌خیزی دارای خصوصیات پهنه انتقالی زاگرس- مکران است. بررسی زمین لرزه‌های تاریخی و توزیع مکانی رویدادهای لرزه‌ای یکصد سال اخیر منطقه، بیانگر لرزه‌خیزی بالای این محدود می‌باشد. بیشتر این زلزله‌ها کم‌عمق بوده و دارای عمقی بین ۱۰-۱۵ کیلومتر هستند. در مطالعه حاضر تحلیل خطر زلزله

بصورت جداگانه انجام نشده است و شتاب افقی ۰/۳۵ شتاب ثقل که در آئین نامه ۲۸۰۰ معرفی شده مورد استفاده قرار گرفته است.

۴- ارزیابی صورت گرفته نشان داد محدوده‌ای که بین خط ساحلی تا محدوده مرکزی مورد مطالعه قرار دارد از خطر روانگرایی بالایی برخوردار است. بنابراین نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد و استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی ضرورت دارد.

۵- از محدوده مرکزی به سمت شمال منطقه مطالعاتی به استثنای تعداد محدودی از شبکه‌ها و حریم ۵۰ متری که برای رودخانه‌های در نظر گرفته شده است در سایر شبکه‌ها پتانسیل خطر روانگرایی صفر می‌باشد و عموماً نیازی به تحقیقات و مطالعات دقیق نمی‌باشد.

۶- در نقشه تهیه شده توسط حق‌شناس و همکاران (۱۳۸۹) بلوک بندرعباس به عنوان پهنه‌ای با خطر روانگرایی بالا برآورد شده بود. نقشه تهیه شده در این تحقیق نشان داد فقط محدوده‌ای که در پهنه‌ی ساحلی قرار دارد از پتانسیل روانگرایی بالایی برخوردار بوده و در سایر مناطق پتانسیل روانگرایی صفر می‌باشد.

۵-۳- پیشنهادها

برای تکمیل مطالعات انجام شده، موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- با توجه به اهمیت اطلاعات ژئو تکنیکی در این گونه مطالعات، استفاده از تعداد مناسب گمانه‌های حفر شده (به ازای هر شبکه حداقل یک گمانه) توسط دستگاه‌های مدرن CPT و نیز آزمایش SPT .
۲- با توجه به اهمیت شتاب سنگ بستر لرزه‌ای و همچنین اثرات ساختگاهی در پدیده تشدید شتاب سنگ بستر، مطالعه دقیق تحلیل خطر لرزه‌ای و اثرات ساختگاهی منطقه توصیه می‌گردد.

۳- برای مناطقی که داری خطر بالای روانگرایی برآورد شده‌اند، مطالعات تفصیلی بیشتری صورت گیرد و در صورت نیاز از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی استفاده گردد.

منابع فارسی

- ارومیه‌ای، ع.، برزگری، ق.، (۱۳۸۷)، "ارزیابی پتانسیل روانگرایی پی آبرفتی ساختگاه سد مخزنی چیر آباد بر اساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)"، مجله علوم زمین، سال هفدهم، شماره ۶۸.
- اسفندیارنژاد، ا.، آهنگر، ر.، پورهاتفی، م.، کمالیان، ر.، سنگچولی، ط.، شفیع، ر.، (۱۳۸۸)، "مطالعات استحصال آب و مه و رطوبت هوا در مناطق ساحلی (مطالعه موردی استان هرمزگان)"، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان.
- آقنابتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۵۰ صفحه.
- انصاری، ز.، (۱۳۸۹). "ارزیابی قابلیت روانگرایی در خاک‌های رسی (مطالعه موردی: سایت اجرایی ایستگاه پمپاژ جزیره مینو)" پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ماه، ص. ۱-۴.
- حافظی مقدس، ن.، غفوری، م.، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی زیست‌محیطی"، چاپ اول، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۷۲ صفحه.
- حافظی مقدس، ن.، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی مهندسی"، چاپ اول، انتشارات آرسس، مشهد، ۴۸۸ صفحه.
- حسینی، س. م.، (۱۳۸۹)، "تهیه و تدوین راهنمای برآورد پتانسیل روانگرایی خاک و پیامدهای ناشی از آن"، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.
- حق شناس، ا.، عسکری، ف.، گریوانی، ه.، مهدویفر، م.، تاجیک، و.، رخشنده، م.، (۱۳۸۹)، "پهنه بندی خطر روانگرایی در سواحل جنوبی ایران در مقیاس (۱:۲۵۰۰۰۰)"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- حق شناس، ا.، شفیع، ع.، عسکری، ف.، مهدویفر، م.، جعفری، م. ک.، گریوانی، ه.، تاجیک، و.، صفائیان آملی، ر.، رخشنده، م.، (۱۳۸۶). "مطالعات پهنه‌بندی خطر زلزله و مخاطرات ژئوتکنیک لرزه ای جزیره قشم. مرحله دوم: پهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای و مخاطرات زمین شناختی در جزیره قشم" پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- روشن ضمیر، م. ع.، شکرانی، ح.، (۱۳۸۲)، "مهندسی پی"، انتشارات موسسه علمی دانش پژوهان برین.
- عسکری، ف.، کسای، م.، (۱۳۸۲)، "ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۷، شماره ۲، شهریور ماه، ص ۲۵۷ تا ۲۶۸.
- فخاری، م.، (۱۳۷۴)، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس"، اداره کل زمین شناسی اکتشافات شرکت ملی نفت ایران.
- مهندسین مشاور پیشاهنگان آمایش (۱۳۸۲)، "پهنه‌بندی خطر زمینلرزه‌ای و بررسی آسیب پذیری مراکز جمعیتی و سکونت گاهی استان هرمزگان و ریز پهنه بندی خطر زمین لرزه‌ای شهر بندر عباس"، سازمان مسکن و شهرسازی استان هرمزگان.
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۴)، "آیین نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران"، چاپ چهارم.
- میرحسینی، س. م.، عارف پورف، م.، قاسمی، ا.، (۱۳۷۶)، "راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- نبوی، م.، (۱۳۵۵)، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C.P., (1982). "A History of Persian Earthquakes, Cambridge Univ", Press, New York, p. 219.
- Bardet, J. P., Ichii, K., and Lin, C. H. (2000). "EERA, A Computer Program for Equivalent Linear Earthquake Site Response Analysis of Layered Soils Deposits", University of Southern California, Los Angeles. 40p.
- Bardet, J. P. (2003). "71 Advances in analysis of soil liquefaction during earthquakes", International Geophysics, Volume 81, Part B, pp. 1175-1201.
- Berberian, M. (1995). Master "Blind" Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds; Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics, Tectonophysics, 241, pp.193-224.
- Bonita J., (2000), Ph.D. Thesis, "The Effects of Vibration on the Penetration Resistance and Pore Water Pressure in Sands," Department of Civil Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- Borms Bengt, B., and Flodin, Nils. "History of soil penetration testing", Penetration Testing, ISOPT-1, Balkema, Rotterdam, Vol. 1, 1988, pp. 157- 220.
- Casagrande, A. (1936). "Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills", Journ. of the Boston Society of Civil Engineers, Jan1936. (Originally Published in "Contributions to Soil Mechanics, 1925-1940", Boston Society of Civil Engineers, Oct. 1940).
- Casagrande, A. (1976). "Liquefaction and Cyclic Deformation of Sands - A Critical Review", Harvard Soil Mech, Series No. 88, Harvard University, Cambridge, MA.
- Castro G., (1969), Ph.D. Thesis, "Liquefaction of Sands", Harvard Soil Mech, Harvard University
- Castro, G. (1995). "Empirical methods in liquefaction evaluation" , Primer Cielo de Conferencias Internacionales, Leonardo Zeevart, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Kiureghian, A. D., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen , R. E., and Moss, R. E. S. (2004). "Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential" , Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130 (12), pp. 1314-1340.
- Cooke H.G. (2000), Ph.D. Thesis, "Ground Improvement for Liquefaction Mitigation at Existing Highway Bridges, Department of Civil Engineering, Virginia Tech.
- Day, R. W., (2002). "Geotechnical Earthquake Engineering Handbook", McGraw-Hill, New York.
- Hansen, M. J. (1984), "Strategies for Classification of Landslides, In: Slope Instability, Brunsden & Prior (eds.)", John Wiley and Sons Ltd, 1-25pp.
- Harder, L. F., Jr., and Boulanger, R. W. (1997). "Application of Ks and Ka correction factors", Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Nat. Ctr. for Earthquake Engrg. Res., State Univ. of New York at Buffalo, pp. 167-190.
- Hessami, K., H.A., Koyi, C.J., Talbot, H., Tabasi and E., Shabaniyan, 2001b. "Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountain", Journal of the Geological Society, London, 158, 969-981.
- Hynes, M. E., and Olsen, R. S. (1999). "Influence of confining stress on liquefaction resistance", Proc., Int. Workshop on Phys. and Mech. of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 145-152.
- Idriss, I. M. (1999). "An Update to the Seed-Idriss Simplified Procedure for Evaluating Liquefaction Potential", Proc., TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction, January, Publication No.FHWA-RD-99-165, Federal Highway Administration.
- Ishihara, K. (1993). "Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes", Geotechnique, 43 (3), pp. 351-415.
- Ishihara, K. (1985). "Stability of Natural Deposits During Earthquakes", 11th International Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., and Yasuda, S. (1978). "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", 2nd International conference on microzonation, San Francisco, pp. 885-896.

References

- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H. (1982). "Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using Simplified Methods", 3rd International Earthquake Microzonation Conference, Seattle, pp. 1319-1330.
- Liao, S., and Whitman, R. V. (1986a). "Overburden correction factors for SPT in sand", *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 112(3), pp. 373-377.
- Liao, S. S. C., and Whitman, R. V. (1986b). "Catalogue of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes", Res. Rep., Dept. of Civ. Engrg., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- Regard V, O. Bellier, M.R. Abbassi, J.C. Thomas, J. Mercier, E. Shabanian, Kh. Fegghi, Sh. Soleymani, S. Bonnet, D. Bourlès, R. Braucher and J. Martinod (2003). "Seismic Hazard Assessment of the Zagros Collision vs. Makran Subduction Transfer Deformation Zone (SE Iran)", proceeding CD of Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May 2003 Tehran, Islamic Republic of Iran.
- Robertson, P.K. and Campanella, R.G., (1985). "Liquefaction Potential of Sands Using the CPT", *Journal of Geotechnical Engineering*, 111 (3), pp.384-403.
- Robertson, P. K., and Wride, C. E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test", *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- Robertson, P.K. (1994). "Suggested Terminology for Liquefaction: An Internal CANLEX Report", University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Seed, H. B., and Lee, K. L. (1965). "Studies of Liquefaction of Sands Under Cyclic Loading Conditions", Report TE-65-65, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., (1971). "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 97 (SM9), pp. 1249-1273.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., Makdisi, F., and Banerjee, N. (1975). "Representation of Irregular Stress Time Histories by Equivalent Uniform Stress Series in Liquefaction Analysis", Report No. EERC 75-29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, October.
- Seed, H. B. (1979). "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquake", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 105 (GT2), pp. 201-255.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1982). "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Monograph Series, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I. (1983). "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 109 (3), pp. 458-482.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M. (1985). "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations," *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 111 (12), pp.1425-1445.
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E. and Faris, A. (2003). "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework", Keynote Presentation, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, LongBeachCA.
- Skempton, A. K. (1986). "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging, and overconsolidation", *Geotechnique, London*, 36(3), 425-447.
- Toprak, S., Holzer, T. L., Bennett, M. J., and Tinsley, J. C. (1999). "CPT- and SPT-based Probabilistic Assessment of Liquefaction Potential," Proceedings of Seventh US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Counter-measures Against Liquefaction, Seattle, pp. 69-86.
- Toprak, S., and Holzer, T. L. (2003). "Liquefaction Potential Index-A Field Assessment", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 129 (4), pp. 315-322.
- Uma, M. R., Boominathan, A., Dodagoudar, G. R., (2008). "Development of empirical Correlation Between Shear Wave Velocity and Standard Penetration Resistance in Soils of Chennai City", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Yamini Fard F, D. Hatzfeld, M. Mokhtari, A.M. Farahbod (2003). "Microseismicity and crustal structure of the transition zone Zagros-Makran based on the data of a local dense temporary seismological network". proceeding CD of Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May2003 Tehran, Islamic Republic of Iran.

References

- Youd, T. L., and Idriss, I. M., (1997). "Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils" , Technical Report No. NCEER-97-0022.
- Youd, T. L. and Perkins, D.M. (1978). "Mapping of Liquefaction Induced Ground Failure Potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 104 (GT4) , pp. 433-446.
- Youd, T. L., and Idriss, I. M. (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, ASCE, 127 (4), pp. 297–313.
- Yuan Z. (2003)., M.Sc "Development of A GIS Interface for Seismic hazard Assessment", International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The NETHERLANDS.

Abstract

Very damages which are caused from earthquakes, are related to seismic geotechnic. One of these phenomena, saturated soil liquefaction during an earthquake, is a non-compact type of fine-grained sand or coarse sediment is observed. Considering the high seismicity conditions, high groundwater levels and soil characteristics, the eastern part of Bandar Abbas City for the occurrence of high liquefaction potential is high.

Liquefaction hazard potential in this sector, an area about 12 kilometers east coast city of Bandar Abbas, has been evaluated based on geotechnical data. Given the importance of geological and soil conditions in the occurrence of liquefaction, the soil in this area by field observation, drilling boreholes and 1:20000 scale aerial photographs were evaluated. Then the map using the local groundwater levels and water levels recorded in boreholes during drilling, was drawn. In this study data from 30 exploration boreholes such as standard penetration test (SPT), aggregation and soil classification, has been used as a base. Detailed and systematic study of the potential for liquefaction risk, study area, 500 meters to 500 meters, divided into grids and soil properties were estimated in each network. In order to evaluate the liquefaction potential, method of Seed et al (2003) use of liquefaction safety factor (FS) was calculated for different depths. Than potential indicators liquefaction (PL) and the Iwasaki et al (1982) method were obtained for each borehole. In this study, the acceleration 0.35g , which designs buildings in earthquake regulations set for the city of Bandar Abbas, has been used as the bedrock acceleration. Regulations for the acceleration of the earth's surface, but as a conservative value in this study have been attributed to the bedrock. Then using EERA software acceleration level was determined based on its reliability and liquefaction potential index was calculated.

Investigation showed that the soil is mostly sandy soil of study area and is of type SM and SP. Also check the water level indicates a change in water level is in this range. The beach near the water surface with 0.5-1 m away from the beach, in the West and North West of the city also reaches 15-20 m. According to the survey, part of the city of Bandar Abbas is located between the coastal line to the central area has a potential indicator of more than 15, which represents a high risk of liquefaction is in this range. Thus, for make of different structures,detail studies for reduce of liquefaction hazards, is essential. The study area of north central range with the exception of a limited number of channels and rivers in the privacy of 50 meters that is considered at risk of liquefaction potential is zero and the other networks generally do not require detailed studies.

Keywords: Earthquake, liquefaction, Bandar Abbas, the standard penetration test



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Science

**Liquefaction hazard microzonation in the coastal
areas of Bandar Abbas**

Mohsen Ghasemi Gurbandi

Supervisor:

Dr. N. Hafezi Moghaddas

Dr. E. Haghshenas

Advisor:

Dr. P. Rezaee

February 2012