



بررسی خطر روانگرایی خاک در شرق میاندوآب

آرمین مظفریگی^۱، ابراهیم اصغری کلجاهی^۲، محمد آذرافزا^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تبریز armynmozafar@gmail.com

^۲ دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز e-asghari@tabrizu.ac.ir

^۳ پژوهشگر فرادکتری، دانشگاه تبریز m.azarafza.geotech@gmail.com

چکیده

امروزه به دلیل ساخت و ساز و توسعه شهری، مناطقی از اطراف شهرهای قدیمی در حال صنعتی سازی و گسترش می باشند، بر این اساس بررسی مخاطرات ژئوتکنیکی امری مهم می باشد. شهر میاندوآب یکی از شهرهای شمال غربی در آذربایجان غربی و کنار رودخانه زربینه رود واقع شده است. بخش شرقی این شهر با ساخته شدن کارخانجات و اماکن مهم دیگری همچون بیمارستان در حال توسعه به دلیل زلزله خیز بودن شمالغرب ایران، بررسی مخاطرات احتمالی حاصل از زلزله مانند روانگرایی که خسارت ناشی از آن بسیار زیان بار می باشد، امری ضروری است. بررسی ها نشان داد که لایه های خاک ریزدانه با طبقه بندی CL و لایه های ماسه ای با طبقه بندی SM در منطقه قابل مشاهده هستند. لایه های سنگی از جنس مارن و سیلتستون در عمق های بالای ۳۰ متر شناسایی شده اند. جریان آب زیرزمینی در منطقه شرق میاندوآب از جنوب به سمت شمال غرب است. با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی و لاگ های گمانه ها، پتانسیل روانگرایی خاک بررسی شده است. بر اساس آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) منطقه میاندوآب در پهنه با خطر نسبی متوسط واقع شده و شتاب مبنای طرح $0.25g$ می باشد. اطلاعات ژئوتکنیکی در شرق میاندوآب پروفیل تهیه شد و تحلیل روانگرایی با روش Iwasaki بر روی این پروفیل ها انجام شده و نقشه های پهنه بندی خطر روانگرایی با GIS تهیه شده است. بخش های مرکزی در شرق میاندوآب دارای خطر روانگرایی (PL) نزدیک به ۵ است که نشانگر خطر روانگرایی متوسط است. در بخش های شمالی و جنوبی شرق میاندوآب به دلیل وجود خاک مناسب از نظر مقاومت و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، احتمال روانگرایی پایین است. البته در زلزله های قوی و شتاب های بالا به عنوان مثال شتاب $0.3g$ احتمال وقوع روانگرایی دارد. به طور کلی با شتاب زلزله $0.25g$ در نقاط مرکزی محدوده مورد مطالعه، خاک قابلیت روانگرایی قرار دارد و در زلزله های با بزرگی بیش از ۷ با خطر روانگرایی جدی مواجه هستیم.

واژه های کلیدی

آزمایش SPT، میاندوآب، روانگرایی خاک، ماسه سست، روش Iwasaki



۱. مقدمه

یکی از پدیده‌های مهمی که در اثر زلزله و یا ضربات ناشی از انفجار می‌تواند ایجاد شود و خسارات مالی و جانی بالایی داشته باشد، روانگرایی است. با استفاده از پهنه بندی برای یک منطقه می‌توان مناطقی را که دارای خطر روانگرایی بالایی هستند مشخص کرد، که در نتیجه آن مسئولین مربوطه می‌توانند زیرسازی‌های لازم در جهت پیش‌گیری از بروز حادثه را داشته باشند. در این زمینه آیین‌نامه‌های متفاوتی در جهان به منظور طبقه بندی نقشه خطر روانگرایی ارائه داده‌اند؛ که برای مثال می‌توان به آیین‌نامه (TC4) [1] ، (راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک، نشریه ۵۲۵) [2] اشاره کرد. در ایران و در جهان در مورد روانگرایی خاک، مطالعات بسیاری انجام شده است. برای نمونه در کشور ایران، زارعی و همکاران [3] ارزیابی روانگرایی بندر ماهشهر، محمدی و همکاران [4] پهنه بندی توان روانگرایی ساحلی میدان گازی پارس جنوبی ، یازرلو و همکاران [5]، تاثیر کائولینیت بر روانگرایی در شهر شهر گرگان ، خیاط‌عالی [6] ، تاثیر طبقه بندی خاک بر روانگرایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین در سطح جهانی مطالعات، Casteli [7] بررسی اثر روانگرایی بعد از زلزله ۱۹۰۸ در Cakir and Cetin, Calabria [8] بررسی روانگرایی در زلزله Dortyol-Hatay می‌توان اشاره کرد.

۲. روش تحقیق

بر اساس راهنمای TC4 که مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای را پهنه بندی می‌کند، به میزان داده‌هایی که در دست هست، مقیاس منطقه مورد مطالعه که تاثیر زیادی بر روی دقت آن مطالعه می‌گذارد، سه درجه پهنه بندی ارائه می‌دهد (جدول ۱)، که با افزایش درجه به میزان دقت آن افزوده می‌شود.

جدول ۱. انواع گوناگون درجه پهنه بندی روانگرایی با داده‌های مختلف [1]

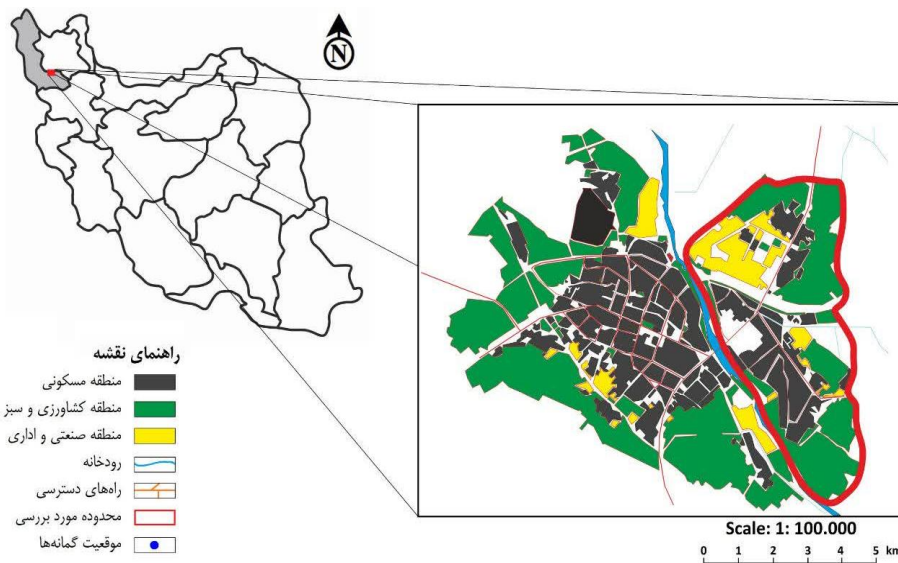
درجه ۳	درجه ۲	درجه ۱	اطلاعات
- اطلاعات ژئوتکنیکی - تحلیل پتانسیل روانگرایی	- عکس ماهواره‌ای و عکس هوایی - مطالعات صحرایی - پرس و جو از اهالی	- اطلاعات باقی مانده از زمین لرزه‌های تاریخی و گذشته - نقشه‌های ژئومورفولوژی و زمین شناسی	
۱:۵۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰۰	مقیاس نقشه

با توجه به میزان اطلاعات در دسترس برای این پهنه بندی که شامل داده‌های سطحی و گمانه‌های کار شده برای پروژه‌های متلف می‌باشد و با توجه به مقیاس نقشه، پهنه بندی روانگرایی درجه ۲ برای این منطقه انجام شده است.

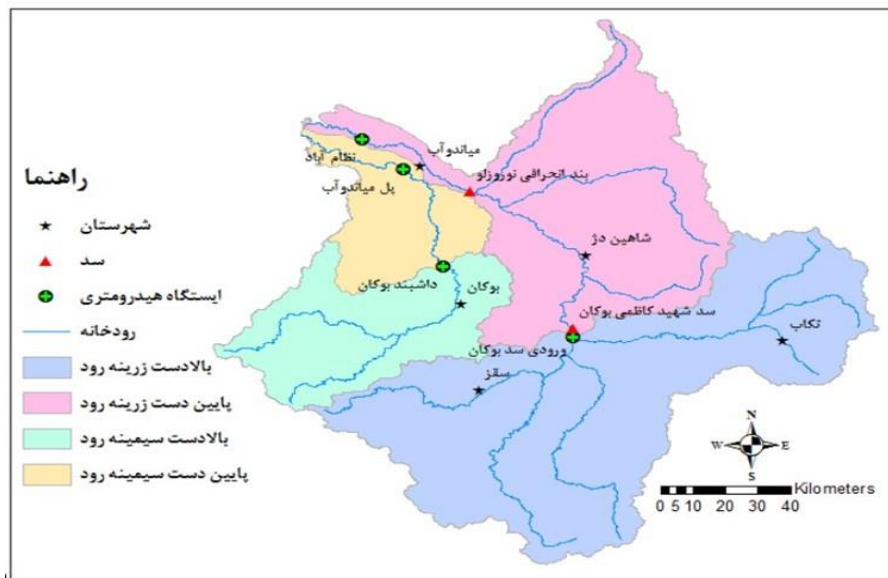
ابتدا با استناد به نقشه زمین شناسی میان‌دوآب، جمع آوری اطلاعات گمانه‌های مختلف در پروژه‌های مهم از جمله پروژه‌های کنارگذر شمالغرب، بیمارستان ۳۵۰ تخت خوابی در حال ساخت و سایر گمانه‌های کار شده ، بازدید صحرایی، نمونه برداری از مناطق مختلف و آزمایشات لازم از جمله طبقه بندی خاک به بررسی و پهنه بندی خاک منطقه با روش‌های مختلف از جمله روش استفاده از چارت دانه بندی Iai [9] ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های ریزدانه Riemer [10]، روش Iwasaki [11] و همچنین با استفاده از نرم افزار Liquefy pro پهنه بندی روانگرایی انجام شد.

۳. موقعیت جغرافیای محدوده مورد مطالعه

شهر میان‌دوآب با طول‌های جغرافیایی ۴۶° - ۴۶° و ۳۰' و ۳۰' و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۳۷° شمالی در شمالغرب ایران و در استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). با جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر از شمال با شهرستان ملکان، از شمال غربی با شهرستان چهاربرج، از شرق با شهرستان باروق، از غرب با شهرستان مهاباد و شهرستان نقده و از جنوب با بوکان همسایه است. این شهر با ارتفاع ۱۳۱۴ متر ارتفاع از سطح دریا در موقعیت جلگه‌ای که دو رودخانه پر آب، شامل رودخانه زرينه رود از وسط شهر و سیمینه رود از بخش شرقی شهر عبور می‌کنند واقع شده است (شکل ۲).



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه و شهرهای اطراف آن

۴. زمین شناسی منطقه

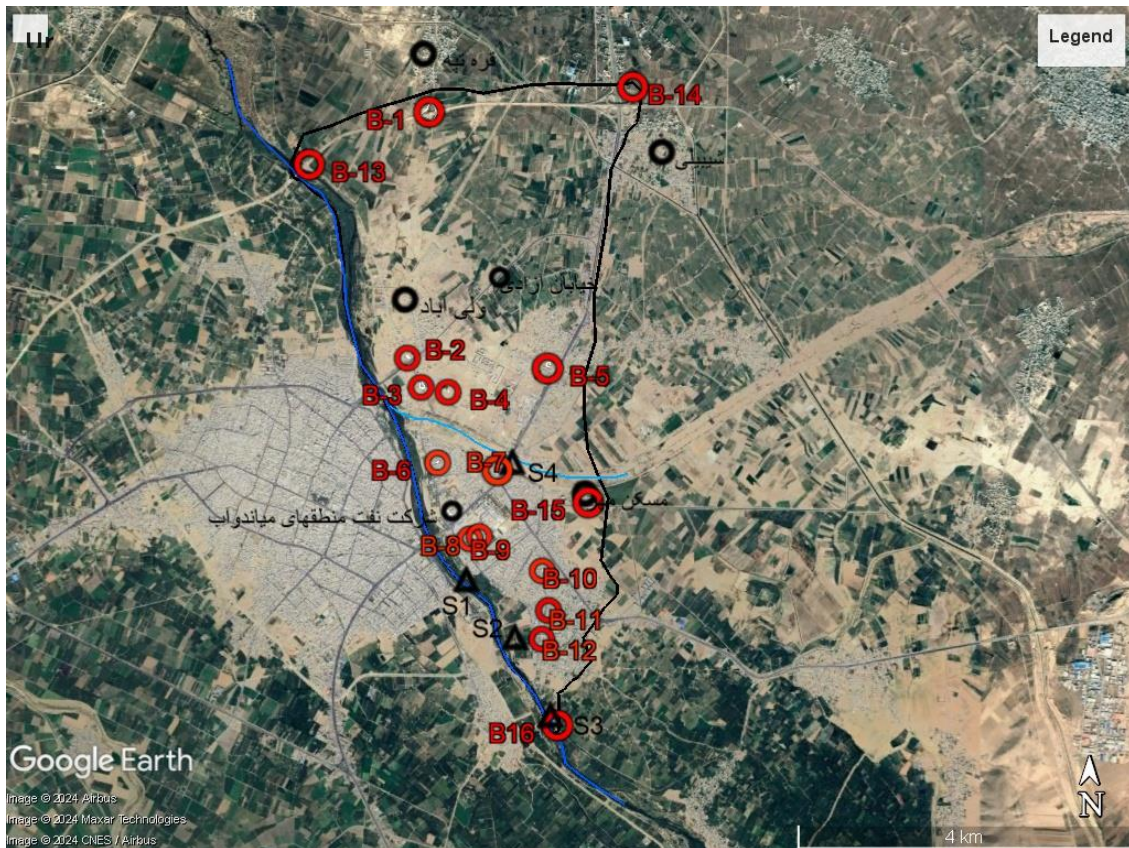
منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم بندی رسوبی- ساختمانی نبوی [12] در زون البرز غربی- آذربایجان واقع می باشد، حوادثی که از زمان دوران پرکامبرین تا الان رخ داده در این زون می‌توان مشاهده کرد. رخساره بسیار نمایان حاصل از پدیده تکتونیکی گل شمال در زمان ابتدای دونین قابل مشاهده است، که اثر آن تشکیل دو بلوک در آذربایجان می‌باشد که در زمان دونین آغازین بلوک قسمت شمال شرق شروع به فرسایش کرده است [13]. دوره تریاس فوقانی اثرات مهمی از جمله گسل زرينه رود و تقسیم صفحه پالئوزوئیک به دو بخش جدا از هم بر این منطقه گذاشته است. دگر شیئی زاویه‌ای بر قاعده سکانسی آهکی کرتاسه (کرتاسه آغازین) در اثر فاز تکتونیکی آلیپ حاصل شد. دوره آئوسن شروع فعالیت‌های آتشفشانی مهم منطقه می‌باشد. چین خوردگی ناشی از الیگوسن منجر به بالازدگی و



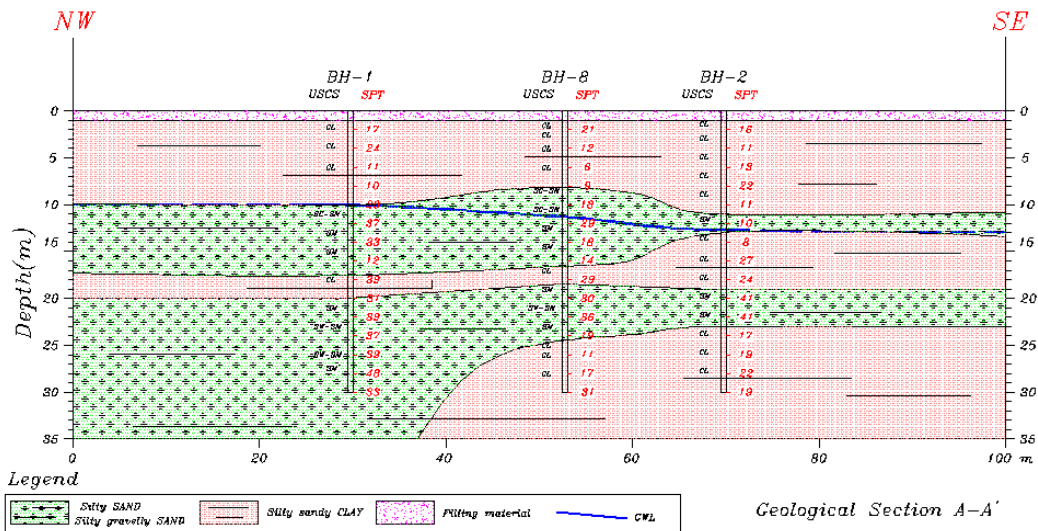
منجر به رسوب، رسوبات دریایی قم و سازندهای قرمز تکتانی و فوقانی در بخش‌های مرکزی و شمال شرقی و غربی در منطقه آذربایجان شد. بر روی سازند قرمز فوقانی، رسوبات پلیوسن به صورت دگر شیب ته نشین شد.

۵. مطالعات ژئوتکنیکی

برای مناطقی در شرق میاندوآب مطالعات ژئوتکنیکی مختلفی به روش گمانه‌زنی تا عمق‌های بیش از ۳۰ متری انجام شده است، یکی از این مطالعات بیمارستان ۳۵۰ تخت‌خوابی در حال ساخت می‌باشد که در مجموع ۱۳ گمانه در این محل حفاری شده، که در شکل ۴ مقطع زمین شناسی کارد شده برای سه گمانه این بیمارستان قابل مشاهده است، علاوه بر این چندین مورد از مطالعات ژئوتکنیکی موردی در بخش‌های مختلف شرق میاندوآب انجام شده است که اطلاعات آن جمع‌آوری و در پهنه بندی مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، محل دقیق منطقه مورد مطالعه و گمانه‌های جمع‌آوری شده آورده شده است. داده‌های بدست آمده از جمله نتایج SPT از اعماق مختلف با روش‌های گفته شده مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن در ادامه شرح داده شده است.



شکل ۳. نقشه محل مطالعات ژئوتکنیکی و گمانه‌های جمع‌آوری شده



شکل ۴. مقطع زمین شناسی مهندسی بیمارستان ۳۵۰ تخت‌خوابی (B9 و B8)

۶. تکتونیک و لرزه خیزی منطقه

منطقه میان‌دوآب به عنوان یکی از مناطق فعال از نظر تکتونیکی شناخته می‌شود از این رو دارای چندین گسل فعال در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از منطقه هستیم، همانطور که نام گسل‌های مهم در جدول ۲ نشان داده شده است، تاثیرگذارترین گسل‌های منطقه شامل گسل هشت بهشت با فاصله ۵۰ کیلومتری از محدوده مورد مطالعه، راندگی سقرز با فاصله ۵۲ کیلومتری، گسل قزل قیر با فاصله ۵۸ کیلومتری، گسل سراسکند و گسل پیرانشهر با فواصل ۸۹ و ۹۲ کیلومتری از محل دیده می‌شود، گسل شمال تبریز با طولی بیش از ۹۰ کیلومتر که از بخش‌هایی از شهر بستان‌آباد آغاز و تا شهر صوفیان در راستای شمال غربی- جنوب شرقی که دارای سازوکار فشارشی همراه با شیب تند در جهت شمال شرقی می‌باشد و شاهد بریده شدن رسوبات جوان عهد کواترنری توسط این گسل در محدوده فعالیت خود هستیم. از جمله زلزله‌هایی که برای این گسل در طول تاریخ ثبت شده است و خسارات سنگینی داشته است [14].

- زلزله سال ۸۵۸ میلادی با بزرگای ۶ ریشتر
- زلزله سال ۱۰۴۲ میلادی با بزرگای ۷/۶ ریشتر
- زلزله سال ۱۷۲۱ میلادی با بزرگای ۷/۷ ریشتر
- زلزله ۱۷۸۰ میلادی با بزرگای ۷/۷ ریشتر
- زلزله ۱۹۶۰ میلادی با بزرگای ۵/۱ ریشتر

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده برآورد شده است این گسل در حدود ۱۱۵ کیلومتری محل مورد مطالعه (میان‌دوآب) قرار دارد. در این پژوهش برای منطقه مورد مطالعه زلزله ۷ ریشتر را به عنوان بزرگای محتمل و حداکثر شتاب ناشی از زلزله با توجه به آئین نامه ۲۸۰۰، ۰/۲۵ g در نظر گرفته شده است [15].

جدول ۲. گسل‌های منطقه در شعاع ۱۵۰ کیلومتری میان‌دوآب

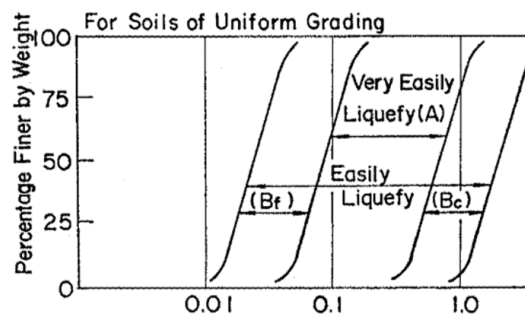
نام گسل‌ها	نام گسل‌ها
گسل شمال میشو	گسل شمال تبریز
گسل شبستر (صوفیان)	گسل جنوب میشو
گسل جنوب نقده	گسل اشنویه
گسل برکشلو	گسل سیه چشمه -خوی
گسل دوستان	گسل اصلی جوان ماکو
گسل سراسکند	راندگی سقرز
گسل راندگی شاونگ	راندگی پیرانشهر



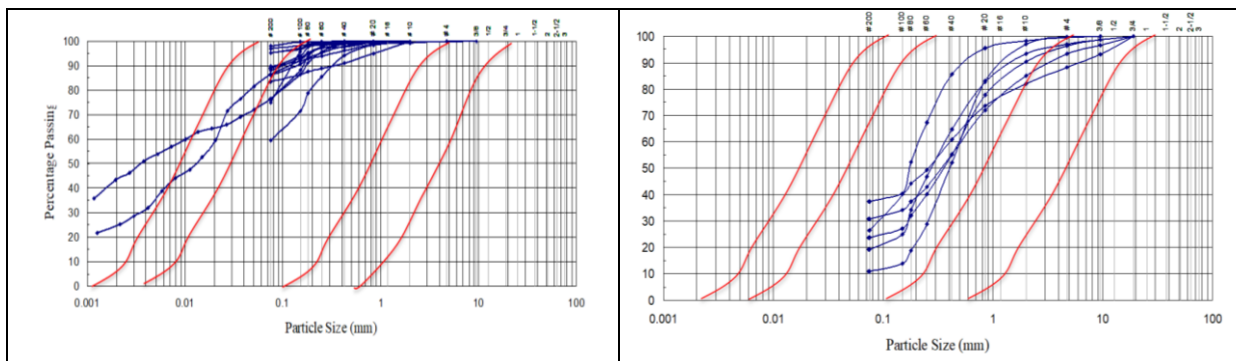
۷. بررسی استعداد روانگرایی

۱.۷. دانه بندی

در خاک‌های عمدتاً ماسه‌ای اشباع ایجاد ضربات محکم در خاک مانند زلزله یا انفجار و...، فرصت زهکشی در خاک وجود نداشته و بالا رفتن فشار آب حفره‌ای تجمعی، باعث کاهش تنش موثر شده و فرصتی برای وقوع روانگرایی ایجاد می‌شود. روش‌های مختلفی برای ارزیابی روانگرایی خاک وجود دارد که یکی از آن‌ها ارزیابی از روی اندازه دانه‌ها و میزان مواد ریز دانه موجود در خاک است (شکل ۵). باتوجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که استعداد روانگرایی در خاک‌های ماسه‌ای بالا می‌باشد همچنین فشار آب حفره‌ای در ماسه‌های ریز اشباع نیز می‌تواند منجر به روانگرایی شود اما با زهکشی به موقع در خاک‌های درشت دانه فشار آب حفره‌ای به سرعت کاهش یافته و روانگرایی نامحتمل می‌باشد [16] همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تحلیل روانگرایی برای نقطه شماره ۱ نشان دهنده وجود استعداد روانگرایی بسیار بالا در یکی از جدول دانه بندی و همچنین استعداد روانگرایی بالا در جدول دیگری از این نقطه هست. به طور کلی روانگرایی در سیلت‌های ماسه‌ای، ماسه‌های سیلتی، سیلت‌های غیر چسبنده با توجه به اینکه در برخی مشاهدات صحرایی دیده شده است، بر اساس پروژه در حال ساخت بر این موضوع باید اهمیت داده شود [17].



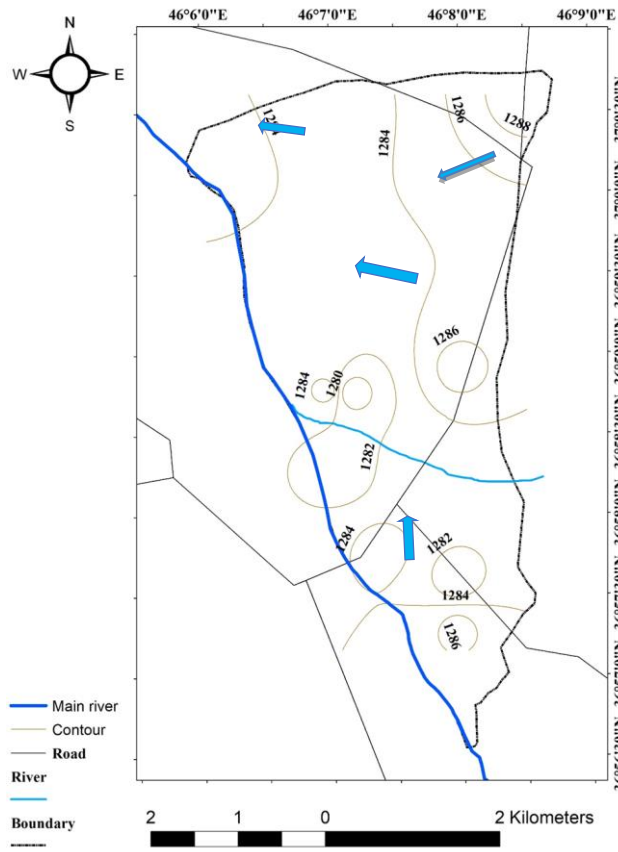
شکل ۵. محدوده خاک‌های دارای استعداد روانگرایی [9]



شکل ۶. مقایسه نمودارهای دانه بندی خاک‌های ایستگاه B1، با محدوده دارای استعداد روانگرایی بر اساس نمودار Iai

۲.۷. هیدروژئولوژی

دشت میان‌دوآب دارای دو رود پرآب زرینه رود و سیمینه رود است. سطح آب زیرزمینی در بیشتر گمانه‌های حفاری شده و چاه‌های موجود در عمق ۶ تا ۸ متری واقع شده است البته در برخی نقاط مخصوصاً بخش‌های شمالی چاه‌هایی با آب زیر زمینی بیشتر از ۱۴ متر نیز دیده شده است، با این حال کمترین و بیشترین عمقی که در گمانه‌های حفاری برای آب زیر زمینی مشاهده شده است به ترتیب ۵ و ۱۵ متر می‌باشد. همان طور که در شکل ۷، نقشه همتراز سطح آب زیر زمینی نشان داده شده است، جهت جریان آب زیرزمینی با توجه به این نقشه از جنوب به شمال می‌باشد و هرچه به سمت رودخانه باشد عمق آب زیر زمینی نیز کاهش می‌یابد. در برخی از نقاط تغییرات ناهمگنی در جهت جریان آب زیر زمینی دیده می‌شود که نشان دهنده برداشت آب زیر زمینی در این محل است.



شکل ۷. نقشه همتراز سطح آب زیرزمینی منطقه شرق میاندوآب

۳.۷. آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

برای همه گمانه‌ها در مناطق مختلف در هر دو متر آزمایش نفوذ استاندارد انجام شده است. در شکل ۸ نمونه‌ای از تغییرات در اعداد نفوذ استاندارد به عمق در پروژه کنار گذر شمال غرب میاندوآب و بیمارستان آورده شده است.

۴.۷. زلزله

a- نسبت تنش تناوبی ایجاد شده در اثر زلزله

رابطه ۱ که توسط Seed and Idriss [20] برای محاسبه CSR نوشته شد و پس از آن توسط Youd [21] اصلاحات لازم انجام و ارائه شد:

(۱)

$$CSR_{M=7.5} = 0.65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right) \times r_d$$

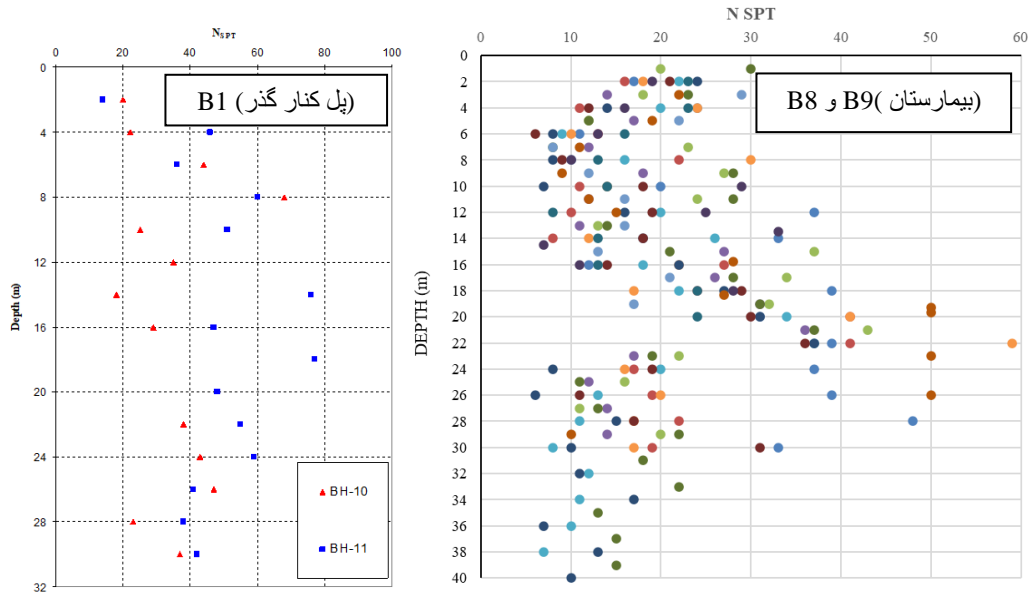
σ_v = تنش عمودی کل (کیلوپاسکال)

σ'_v = تنش عمودی موثر (کیلوپاسکال)

r_d = ضریب کاهش تنش

a_{max} = حداکثر شتاب افقی سطح زمین

به منظور تاثیر گذاری عمق بر روانگرایی، مقادیر ضریب کاهش تنش برای عمق‌های مختلف از روابط ۲ و ۳ استفاده شده است.



شکل ۸. تغییرات اعداد نفوذ استاندارد برای بیمارستان و کنار گذر

$$rd=1-0.00765 \times Z \quad (۲)$$

$$rd=1.174 - 0.0267 \times Z \quad (۳)$$

بر اساس اینکه چه عمقی از خاک مورد بررسی قرار گرفته از روابط ۲ و ۳ استفاده می‌شود به عبارت دیگر اگر عمق (Z) مورد نظر کمتر یا مساوی ۹.۱۵ متر باشد از رابطه ۲ و برای اعماق بیشتر از ۹.۱۵ متر تا عمق ۲۳ متری از رابطه ۳ استفاده می‌شود. ضریب تصحیحی نیز برای بزرگی زلزله‌ای کمتر از ۷/۵ ریشتر بر اساس رابطه ۴، به دلیل $CSR_{M=7.5}$ که نسبت تنش تناوبی ایجاد شده برای زلزله‌ای با قدرت ۷/۵ ریشتر می‌باشد، در رابطه ۱ در نظر گرفته شده است [22].

$$MSF = \frac{10^{2.4}}{M_w^{2.56}} \quad (۴)$$

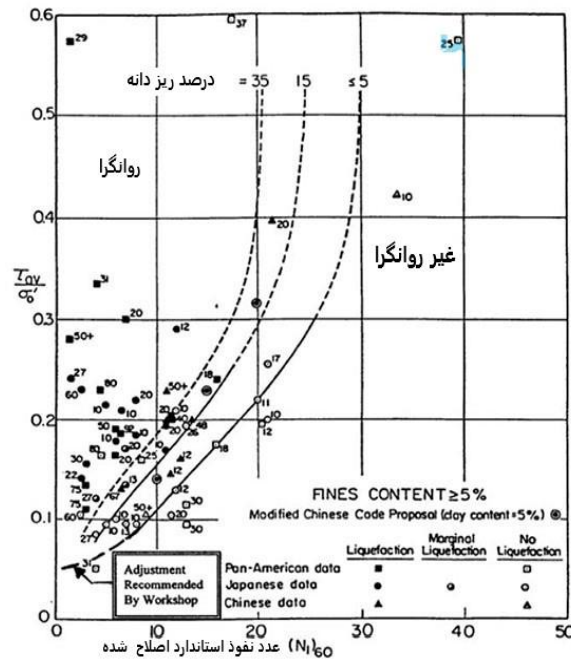
از رابطه ۴ برای محاسبه ضریب بزرگی زلزله (MSF) استفاده شد و با توجه به بیشینه بزرگایی ۷ که برای این منطقه در نظر گرفته شد، مقدار ۱.۴۵ برای ضریب بزرگی زلزله در محاسبات نسبت تنش تناوبی بر اساس رابطه ۵ در نظر گرفته شد.

$$CSR = CSR_{M=7.5} \times MSF \quad (۵)$$

b- نسبت مقاومت تناوبی در برابر روانگرایی (CRR)

با استفاده از نتایج آزمایش SPT و با کمک نمودار شکل ۹ می‌توان مقدار نسب مقاومت تناوبی توده خاک را محاسبه کرد. ابتدا با استفاده از این نمودار اعداد SPT محاسبه شده به $(N_1)_e$ تبدیل شده و مقدار $CRR_{M=7.5}$ نوشته شد، پس از آن بر اساس رابطه ۶ نسبت تنش مورد نظر برای بوجود آمدن زلزله ۷ ریشتر محاسبه شد.

$$CRR = CRR_{M=7.5} \times MSF \quad (۶)$$



شکل ۹. نمودار ارزیابی مقاومت روانگرایی با استفاده از SPT اصلاح شده [18]

C- برآورد ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی

با کمک فرمول $F_L = CRR/CSR$ می‌توان ضریب اطمینان را با استفاده از نسبت مقاومت تناوبی و نسبت تنش تناوبی که در محاسبات قبلی بدست آمده است، محاسبه کرد که در صورت پایین بودن این عدد از مقدار یک، احتمال وقوع روانگرایی در عمق مورد نظر وجود دارد و در صورت بالا بودن این مقدار از یک احتمال وقوع روانگرایی کم می‌شود [19].

۵.۷. روش Iwasaki

با توجه به روش‌های گفته شده که توسط Seed and Idriss برای محاسبه احتمال روانگرایی برای نقاط مختلف در یک گمانه استفاده می‌شود دارای جنبه‌های بسیار ضعیف از لحاظ اینکه در صورت وقوع روانگرایی تاثیر آن در سطح چگونه خواهد بود و به عبارت دیگر تمام جنبه‌های وقوع روانگرایی را در نظر نگرفته است، روشی را به منظور بررسی اثر روانگرایی در هر عمق بر روی سطح مورد نظر ارائه داده اند [11] که به صورت رابطه γ می‌باشد:

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(Z) dz \quad (7)$$

$$F = \begin{cases} 1 - F_S & FS \leq 1 \\ 0 & FS > 1 \end{cases}$$

$$W(Z) = 10 - 0.5 Z$$

P_L : اندیس پتانسیل روانگرایی، F : تابع ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی در عمق Z ، $W(Z)$: تابع عمق

بر اساس جدول ۳ برای نتایج بدست آمده که در جدول ۴ نمونه ای از این نتایج برای گمانه‌های مختلف بدست آمده چهار دسته بندی بسیار کم، کم، زیاد و بسیار زیاد توسط Iwasaki پیشنهاد شد.



جدول ۳. مقایسه شدت روانگرایی پتانسیل روانگرایی [11]

$P_L=0$	شدت روانگرایی بسیار کم
$P_L<5$	شدت روانگرایی کم
$5<P_L<15$	شدت روانگرایی زیاد
$P_L>15$	شدت روانگرایی بسیار زیاد

جدول ۴. نمونه‌ای از محاسبات انجام شده برای تعیین ضریب اطمینان در برابر روانگرایی با شتاب $0.25g$

گمانه	عمق	کل تنش (پاسکال کیلو)	موثر تنش (پاسکال کیلو)	تنش کاهش ضریب (rd)	L	R	اطمینان ضریب (FL)
B1	14	253	194.2	0.80	0.17	0.18	1.05
B2	14	234	175.2	0.80	0.17	0.17	0.96
B3	10	167.3	137.9	0.91	0.18	0.11	0.62
B4	4	62	62	0.97	0.16	0.27	1.68
B5	6	96.6	96.6	0.95	0.16	0.32	2.04
B6	4	61.6	61.6	0.97	0.16	0.31	1.96
B7	2	30.8	30.8	0.98	0.16	0.36	2.25
B8	14	239.6	200.4	0.80	0.16	0.13	0.81

۸. پهنه بندی خطر روانگرایی بر اساس نتایج روش Iwasaki

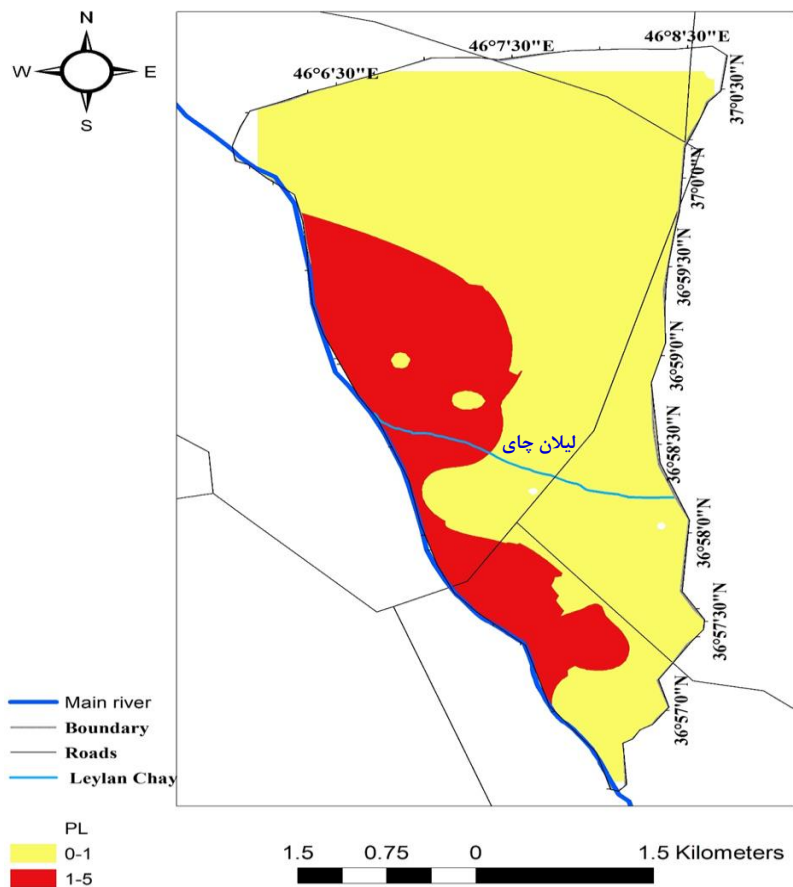
با استناد به روش Iwasaki پس از محاسبه مقدار P_L برای همه گمانه‌ها که نتایج آن بر اساس عمق خاک روانگرا و میزان تاثیر آن، با استفاده از نرم افزار GIS 10.8 محدوده مورد پژوهش پهنه بندی انجام شد. بر اساس نتایج حاصله که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، بیشتر مناطق شمال محدوده دارای اعداد بین صفر و یا کمتر از ۵ که نشان دهنده خطر روانگرایی بسیار کم و کم هستند. در برخی از مناطق جنوبی و به ویژه بخش غربی محدوده مورد مطالعه به دلیل پایین بودن آب زیر زمینی، نزدیکی به رودخانه و پایین بودن اعداد SPT، دارای شدت روانگرایی بالا تر از ۵ که نشان دهنده، شدت روانگرایی زیاد می‌باشد، خوشبختانه با وجود این بخش اعداد P_L بسیار بالا نبوده و در نزدیکی ۵ می‌باشند و هیچگونه P_L ، ۱۵ یا بیشتر که شدت روانگرایی را بسیار زیاد تعرف می‌کند مشاهده نشده است.

۹. نتیجه گیری

منطقه مورد مطالعه در دشت میاندوآب واقع بوده و پوشیده از رسوبات آبرفتی است. این رسوبات به وسیله رودخانه‌های زربنه رود و لیلان چای نهشته شده اند. عمده رسوبات سطحی شرق میاندوآب تا عمق ۸ متری غالباً ریزدانه بوده و بعد از آن رسوبات شن و ماسه ای وجود داشته و در اعماق ۴۰ متر به بعد لایه های مارن سیاه دیده می شود. همچنین عمق آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بین ۶ تا ۱۴ متر بوده و جهت عمومی جریان آب زیرزمینی به سمت شمال می‌باشد. مطابق آزمایشات دانه بندی، در محدوده مورد مطالعه، خاک‌های با خاصیت خمیری متوسط، با شاخص خمیری ۱۵ تا ۲۵ درصد دیده می‌شود. عمده طبقه بندی خاک‌های موجود بر اساس طبقه بندی USCS در این محدوده CL و SM می‌باشند. بر اساس نتایج آزمایشات SPT، خاک‌های محدوده طرح در بخش مرکزی و جنوبی در رده نرم تا متوسط و در قسمت‌های شمالی منطقه با تراکم متوسط تا خیلی متراکم قرار می‌گیرند. نوع زمین در منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی آئین نامه ۲۸۰۰ از نوع III و منطقه در پهنه خطر نسبی متوسط واقع شده است و شتاب مبنای طرح $0.25g$ تعیین شده است. در صورت وقوع زلزله با شتاب $0.30g$ و بزرگی ۷ وقوع روانگرایی تا عمق ۱۵ متری جدی است. در بخش‌های شمالی وقوع روانگرایی با احتمال کم پیش بینی می‌شود. خاک‌های ریزدانه محدوده مورد مطالعه پتانسیل روانگرایی قابل توجهی ندارند. با توجه به وجود یک لایه ۸ متری خاک ریزدانه غیر روانگرا در قسمت‌های سطحی شرق میاندوآب، بر اساس نمودار [23] Ishihara تاثیر روانگرایی خاک‌های ماسه‌ای اعماق ۸ تا ۱۵ متری تا شتاب $0.35g$ بر پی‌های سطحی مخرب نخواهند بود. عمده خسارت در شرایط لرزه‌ای و



پیامدهای پس از آن پدیده‌های گوناگون به اصطلاح ژئوتکنیک لرزه‌ای می‌باشد است و یکی از مهمترین این پدیده‌ها روانگرایی می‌باشد. عمده هدف در این مطالعه، بررسی و ارزیابی روانگرایی با استفاده از اعداد SPT با تاکید به روش Iwasaki می‌باشد. باتوجه به نتایج حاصله و بررسی‌های صورت گرفته نشان دهنده وجود پتانسیل روانگرایی کم و بسیار کم در بیشتر نقاط می‌باشد، هر چند در برخی عمق-ها اعداد ضریب اطمینان کمتر از یک بدست آمده است اما با توجه به عمق زیاد، تاثیر آنچنانی بر روی پروژه‌ها نخواهد داشت هر چند پیشنهاد می‌شود در پروژه‌های مهم و حیاتی به بررسی و مطالعات صحرایی دقیق در مورد روانگرایی پرداخته شود.



شکل ۱۰. پهنه بندی استعداد روانگرایی بر اساس روش Iwasaki

منابع

- [1] TC4 (Japan Working Group for TC-4 Committee), 1992. Seismic Zoning on the geotechnical hazard Draft report, Workshop on Seismic Zoning Methodologies for Geotechnical Hazard, LNEC, Lisbon, Portugal
- [2] سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۹۱)، راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک، پیامدها و روش‌های کاهش مخاطرات آن، نشریه شماره ۵۲۵
- [3] یعقوب زارعی، علی ارومیه ای، محمدرضا نیکودل، ۱۳۹۰، ارزیابی قابلیت روانگرایی زمین های سست بندر ماهشهر، هفتمین کنفرانس- زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود
- [4] عباسعلی محمدی، علی ارومیه ای، کاظم مرادی هرسینی، ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه بندی توان روانگرایی نهشته‌های ساحلی (محدوده ساحلی میدان گازی پارس جنوبی)
- [5] رسول یازرلو، ماشا اله خامه چیان، محمد رضا نیکودل، ۱۳۹۸. تاثیر رس کائولینیت بر مقاومت خاک ماسه ای در برابر روانگرایی،



مطالعه موردی شهرستان گرگان در شمال ایران

- [6] سالار خیاط عالی، ۱۴۰۱. بررسی تاثیر طبقه بندی خاک بر روانگرایی، دومین کنفرانس معماری، شهرسازی، عمران و محیط زیست
- [7] Casteli, F., Grasso, S., Lentini., Sammito, M, S, V., 2024. Assessment of liquefaction effects on dynamic soil -structure interaction for the 1908 Messina and Reggio Calabria scenario earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 178.
- [8] Cakir, E., Cetin, K, O., 2024. Liquefaction triggering and induced ground deformation at a metallurgical facility in Dortyol-Hatay after the February 6 Kahramanmaras earthquake sequence, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 178.
- [9] Iai, S., Tsuchida, H. and Koizumi, T. (1989), A liquefaction criterion based on field performances around seismograph stations hajime Tsuchida and Katsuhiko Koizumi, 29(2), 52-68.
- [10] Riemer, L., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E and Faris, A., 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering, 585-626
- [11] Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proc. 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle, 3, 1319-1330.
- [12] محمد حسین نبوی، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران
- [13] جمشید افتخار نژاد، ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲.
- [14] Berberian M., 1983. Generalized tectonic map of Iran, in continental Deformation in the Iranian Plateau: Contribution to the Seismo tectonic of Iran part IV, Geol. Surv. Iran, Vol.52.
- [15] مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲. آئین نامه طراحی سازه‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم
- [16] Idriss, I. M., and Boulanger, R. W., 2006. Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes, J. Soil Dynamics and Earthquake Eng. 26, 115-30
- [17] Perlea V.G., Prakash S., 1999. How liquefiable are cohesive soils, Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Portugal, Vol 2.
- [18] Seed, H.B., Tokimatsu K., Harder, L.F and Chung, R.M. (1984). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), 1425 -1445
- [19] Hsein C., Li D.K., 2007. Assessment of liquefaction hazards in Charleston quadrangle, South Carolina. Engineering geology, Vol. 92,59-72.
- [20] Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 10761249-1274
- [21] Youd, L., Idriss, I. M., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of geotechnical and geoenvironmental, ASCE, 297-313.
- [22] Lee D.H., Yuan H. (2003) A study of liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan. Engineering geology, Vol. 71, 97-117.
- [23] Ishihara, K. (1985), Stability of natural deposits during earthquakes, Proc., 11th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol.1, pp.321-376.