

مقایسه ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها در جنوب دشت ارومیه با بررسی آئین نامه پل های شاهراهی ژاپن (۱۹۹۹) و معیار ونگ (۱۹۷۹)

علی نادری ساریجالو^{۱*}، یاسر گلستان، سرگل داودی

دانشجویان کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه آزاد اهر

Ali.Naderi87@Gmail.com

چکیده

روانگرایی یکی از عناوین اصلی ژئوتکنیک لرزه ای است. اثرات روانگرایی بر روی سازه ها و تاسیسات در هنگام زلزله می تواند بسیار مخرب باشد. در این پژوهش به ارزیابی این پدیده در منطقه جنوب دشت ارومیه با استفاده از آئین نامه پل های شاهراهی ژاپن (۱۹۹۹) و معیار ونگ پرداخته شده است. اساس روش ژاپنی ارزیابی پتانسیل روانگرایی با مقایسه مقاومت روانگرایی ارزیابی شده از دانه بندی و عدد SPT خاک با نسبت تنش برشی (یعنی نسبت تنش برشی ایجاد شده توسط زلزله بر تنش موثر عمودی) ناشی از زلزله می باشد و اساس روش ونگ درصد رس (ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلیمتر) و حد روانی خاک (LL) می باشد. از تعداد ۶ گمانه مورد مطالعه فقط یکی از گمانه ها با خطر روانگرایی بالا با استفاده از روش ژاپنی مورد ارزیابی قرار گرفت. و همچنین با توجه به اینکه جنس خاک در اعماق مختلف گمانه ها اکثرا از نوع خاک های چسبنده می باشد لذا پتانسیل روانگرایی آنها با استفاده از معیار ونگ نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که به موجب آن گمانه BH₂ در اعماق مورد بررسی که جنس خاک آن CL و CL-ML می باشد، در عمق ۸ متری در صورتی که رطوبت طبیعی خاک بیشتر از ۱۹/۸٪ باشد مستعد روانگرایی می باشد.

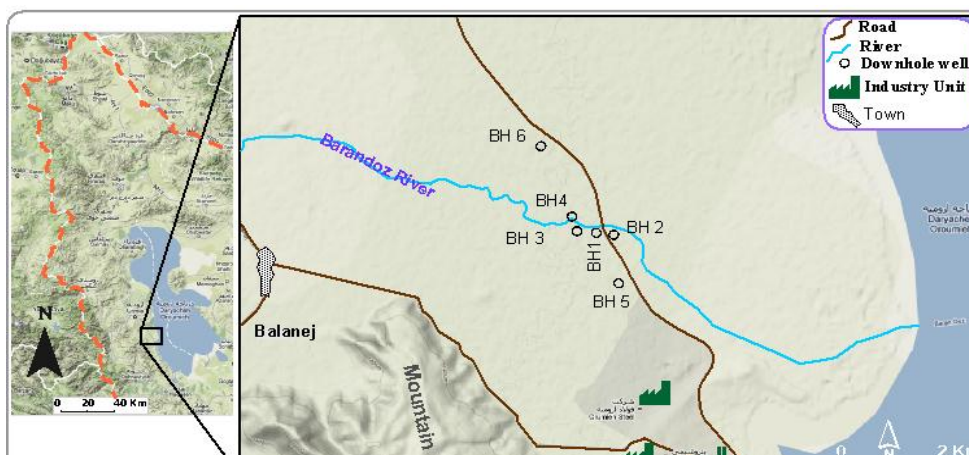
کلمات کلیدی: روانگرایی، آزمایش مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)، جنوب دشت ارومیه، گمانه، خاکهای رسی

۱- مقدمه

روانگرایی یکی از مهمترین عناوین مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای می باشد. از عوامل موثر بر وقوع روانگرایی می توان به بزرگای زلزله و مدت زمان آن، تخلخل، تراکم نسبی، درصد ریز دانه و نشانه خمیری خاک و دامنه تنش برش اعمالی بر توده خاک در زمان وقوع زلزله اشاره نمود. (Seed, H.B., and Idriss, I.M. 1971) در پدیده روانگرایی در حالت کلی هر گاه خاکهای غیر چسبنده، اشباع و شل در معرض ارتعاشات زمین در نتیجه زلزله قرار گیرند خاکها تمایل به تراکم پیدا می کنند، ولی در محدوده دانه بندی خاصی، زهکشی تا حدودی کند بوده به قسمی که تغییرات حجمی سریع خاک به دلیل عدم زهکشی صورت نگرفته و لزوما فشار منفذی بالا خواهد رفت. افزایش فشار آب حفره ای کاهش تنش موثر را به دنبال داشته که منتج به کاهش مقاومت برشی خاک می گردد، بر اساس رابطه تنش های ژئواستاتیکی در خاک، $\sigma' = \sigma - u$ ممکن است ازدیاد فشار منفذی سبب کاهش تنش موثر در خاک شده که منجر به کم و

یا حتی صفر شدن مقاومت برشی می شود. عموماً روانگرایی در نهشته های ماسه ای یکنواخت اشباع با وضعیت تراکمی شل و یا متوسط رخ می دهد.

با توجه به اهمیت نواحی جنوب دشت ارومیه که محل احداث پروژه های بزرگ صنعتی و راه سازی از قبیل ذوب آهن، پتروشیمی، نیروگاه، راه آهن سراسری و جمعیت انسانی مستقر در این منطقه و رشد روز افزون پروژه های عمرانی می باشد، این پژوهش برای تعیین قابلیت روانگرایی منطقه مورد مطالعه صورت پذیرفته است. محدوده مورد مطالعه مابین طولهای جغرافیایی ۱۵'، ۴۵° تا ۸'، ۴۵° و عرضهای جغرافیایی ۲۲'، ۳۷° تا ۲۸'، ۳۷° واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیای جنوب دشت ارومیه و محل گمانه های حفر شده در آن

۲- ارزیابی پتانسیل روانگرایی

برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی روشهای متعددی معرفی شده است، در این پژوهش از روش آئین نامه پل های شاهراهی ژاپن (۱۹۹۹) و همچنین از معیار ونگ استفاده شده است. اساس روش ژاپنی ارزیابی پتانسیل روانگرایی با مقایسه مقاومت روانگرایی ارزیابی شده از دانه بندی و عدد SPT خاک با نسبت تنش برشی (یعنی نسبت تنش برشی ایجاد شده توسط زلزله بر تنش موثر عمودی) ناشی از زلزله می باشد. (میر محمد حسینی م.، ۱۳۸۵) و اساس روش ونگ بر پایه درصد رس (ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلیمتر) و حد روانی خاک (LL) می باشد.

۱-۲ خصوصیات خاکهای مستعد روانگرایی

برای خاکهای شنی و ماسه ای

الف- سطح ایستایی بالاتر از ۱۰ متر باشد.

ب- لایه مورد نظر دارای عمق کمتر از ۲۰ متر باشد.

ج- $0.02 < D_{50} \leq 2 \text{ mm}$ باشد.

د- $(PI \leq 15\%)$ و $(FC \leq 35\%)$

که در آن D_{50} اندازه متوسط دانه ها، FC درصد ریز دانه و PI شاخص خمیری خاک می باشد. البته در مورد بند (ج) طبق تحقیقات جدید خاک های شنی با D_{50} بالاتر از 2 mm هم می توانند روانگرا باشند. (نورزاد ع، ۱۳۸۹).

همچنین با توجه به داده های بدست آمده از آزمون های آزمایشگاهی و عملکرد واقعی خاکها، بیشتر خاکهای رسی در اثر زلزله دچار روانگرایی نمی شوند، با این حال مطالعات صورت گرفته در چین نشان داد که در انواع معینی از مصالح رسی ممکن است در اثر تکانه های زلزله، افت مقاومت زیادی ایجاد شود. (میر محمد حسینی م. عارف پور ب.، ۱۳۸۸) این خاکها دارای ویژگی های زیر می باشند

۱- درصد اجزای ریزتر از 0.075 mm کوچکتر از ۱۵٪

۲- حد روانی (LL) کوچکتر از ۳۵٪

۳- درصد رطوبت طبیعی خاک بزرگتر از ۹٪ حد روانی آن باشد.

چنین خاک هایی در سیستم طبقه بندی یونیفاید در گروه خاک های ML و CL-ML و CL قرار دارند

۲-۲ نسبت تنش تناوبی (CSR)

با داشتن نسبت مقاومت تناوبی (CPR) (نورزاد ع، ۱۳۸۹) و نسبت تنش تناوبی (CSR) می توان ضریب اطمینان برای خاک مورد بررسی را برای زلزله با بزرگای $7/5$ به دست آورد. با توجه به اینکه زلزله طرح مورد بررسی ممکن است بزرگای بیشتر یا کمتر از $7/5$ داشته باشد باید ضریب تصحیح بزرگای زلزله تعریف شود.

$$(CSR) = \frac{\sigma_{max}}{\sigma'_{v0}} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot rd \quad (1)$$

نسبت تنش تناوبی برابر است با رابطه (۱) که در این رابطه σ_{max} بیشینه شتاب زلزله در سطح زمین، σ_{v0} تنش کل، σ'_{v0} تنش موثر g ، شتاب ثقل زمین و rd ضریب کاهش تنش که تابعی از عمق لایه مورد نظر می باشد و مقدار آن از رابطه (۲) بدست می آید (TC₄ ISSMGE, 1999)

$$rd = 1 - 0.015 Z \quad (2)$$

۲-۳ نسبت مقاومت تناوبی (RL)

از جمع کردن سه عامل فشار سربار، دانه بندی و مقدار ریز دانه مقدار برش تناوبی بدست می آید که روابط آن در ذیل آورده شده است. روابط (۳)، (۴)، (۵) و (۶)

$$R_L = CRR = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3)$$

$$R_1 = 0.0882 \sqrt{\frac{N_j}{\sigma'_{v0} + 0.7}} \quad (4)$$

$$R_2 = \begin{cases} 0/19 & 0.02mm \leq D_{50} < 0.05mm \\ ./.225 \log \frac{0.35}{D_{50}} & 0.05mm \leq D_{50} < 0.6mm \\ -0/05 & 0.6mm \leq D_{50} < 2.0mm \end{cases} / \quad (5)$$

$$R_3 = \begin{cases} 0.0 & 0\% \leq FC \leq 40\% \\ 0.004FC - 0.16 & 40\% < FC \leq 100\% \end{cases} \quad (6)$$

$$N_j = 0.833(N_1)_{60} \quad (7)$$

D_{50} اندازه متوسط دانه ها، FC درصد ریز دانه، σ'_{ν} تنش موثر قائم در عمق مورد مطالعه (Kpa) و N_j عدد SPT (براساس آئین

$$F_L = \left(\frac{CRR_7}{CSR} \right) \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \quad (8) \quad \text{نامه ژاپن}$$

MSF ضریب تصحیح بزرگای زلزله، K_{σ} ضریب تصحیح برای تنش های سربار وارد بر خاک و K_{α} ضریب تصحیح تنش های

برشی اولیه وارد بر خاک در حالت استاتیکی می باشد.

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{\nu}}{P_a} \right) f - 1 \quad (9)$$

σ'_{ν} تنش سربار موثر وارد بر خاک، P_a فشار اتمسفر و f توان تابعی از دانسیته نسبی، تاریخچه تنش، سن رسوبات و نسبت پیش تحکیمی است. f تابع تراکم نسبی (D_r) و برای تراکم نسبی ۴۰ تا ۶۰ درصد مقدار توان f بین ۰/۸ و ۰/۷ متغیر است و برای تراکم نسبی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد مقدار توان f بین ۰/۷ تا ۰/۶ می باشد.

$$\alpha = \frac{\tau_{st}}{\sigma'_{\nu 0}} \quad (10)$$

τ_{st} تنش برشی استاتیکی وارد بر لایه های خاک (وزن سازه سنگین بالایی)، $\sigma'_{\nu 0}$ تنش سربار موثر می باشد.

$$P_L = \int_0^Z F(Z) \cdot W(Z) \cdot d(Z) \quad (11)$$

$F(Z)$ ضریب اطمینان خاک در مقابل روانگرایی در عمق Z و تابعی از پارامتر F_L است و p_L شاخص پتانسیل روانگرایی است.

$$F(Z) = 1 - F_L \quad \text{و } W(Z) \text{ یک ضریب وزنی است. (12)}$$

F_L ضریب اطمینان وقوع روانگرایی که اگر مقدار آن $F_L > 1$ باشد در آن صورت روانگرایی به وقوع نمی پیوندد و مقدار F_Z صفر است

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

(۱۳)

۳- طرح مسئله

تعداد ۶ گمانه برای مطالعه خصوصیات خاک ها و آزمایشات صحرائی در منطقه حفر شده است که بیشتر در اطراف پل رودخانه باراندوز جای تمرکز دارند. برای تعیین پتانسیل روانگرایی خاک ابتدا به بررسی خصوصیات خاک ها طبق بند (۲-۱) و در صورت وجود شرایط لازم برای روانگرایی خاک به بررسی نسبت تنش تناوبی (CSR) طبق بند (۲-۲) و نسبت مقاومت تناوبی (R_L) با استفاده از بند (۲-۳) خواهیم پرداخت. با استفاده از مقادیر ذکر شده در صورت بدست آمدن مقادیر کمتر از ۱ برای F_L لایه مورد نظر دارای استعداد روانگرایی می باشد.

نتایج حاصل از آزمایشات صحرائی و خصوصیات خاک برای گمانه BH₁ در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایشات صحرائی و آزمایشگاهی در گمانه BH₁

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	فاز گروه	رشد الک ٪۲۰۰	از ٪۰.۰۷۵ بزرگتر mm	PI	LL %	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	(N ₁) ₆₀	h _w متر	نوع مصالح
۳	۱۱	رس با خاصیت خمیری کم	CL	۹۰	۴۶	۲۴	۴۵	<0/001	0/0062	۱۲	۱/۷	متوسط
۵	۱۷	رس با خاصیت خمیری کم	CL	۹۲	۴۳	۲۴	۴۳	<0/001	0/007	۱۷	۱/۷	سفت
۷	۳۰	شن همراه با ماسه	GP-GM	۹	۲۳	NP	-	0/1	6/0	۳۰	۱/۷	متراکم
۱۰	۳۱	رس با خاصیت خمیری کم	CL	۹۱	۳۷	۲۱	۳۵	<0/001	0/023	۲۷	۱/۷	بسیار سفت
۱۲	۲۴	رس همراه با ماسه	CL	۸۹	۳۲	۱۸	۳۵	<0/001	0/016	۲۰	۱/۷	بسیار سفت
۱۵	۱۱	رس همراه با ماسه	CL	۷۷	۲۱	۱۲	۲۹	<0/001	0/04	۸	۱/۷	سفت
۱۷	۱۴	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۸۰	۳۷	۲۳	۴۱	<0/001	0/01	۱۰	۱/۷	سفت
۱۸	۱۷	رس با خمیری زیاد	CH	۹۱	۳۱	۳۵	۵۶	<0/001	0/0026	۱۲	۱/۷	بسیار سفت
۲۰	۲۶	رس با خمیری زیاد	CH	۹۰	۳۹	۳۴	۵۵	<0/001	0/0025	۱۸	۱/۷	بسیار سفت
۲۴	۱۹	رس با خمیری کم ماسه دار	CH	۶۴	۲۳	۳۲	۵۱	<0/001	0/007	۱۲	۱/۷	بسیار سفت
۲۵	۱۸	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۶۷	۲۲	۱۱	۲۹	<0/001	0/05	۱۱	۱/۷	بسیار سفت

برای گمانه BH₁ شرایط خاک فقط در عمق ۱۵ متری مستعد روانگرایی است. ضرایب نسبت تنش تناوبی و نسبت مقاومت تناوبی (R_L) و همچنین F_L با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۲ برای گمانه BH₁ آورده شده است.

جدول ۲- محاسبه F_L و ضریب P_L گمانه BH₁

Z(m)	N _{SPT}	σ _{v0} (Kpa)	σ _{v0} (Kpa)	CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ	K _α	F _L	P _L %
۱۵	۱۱	۱۷۷/۶۴	۳۱۰/۶۴	۰/۲۹۸	۰/۳۵۵	۱/۳۲	۱/۳۳	۱/۰	۲/۱	۰
										P _L BH ₁ =0

طبق جدول ۲ گمانه BH₁ در عمق ۱۵ متری مستعد روانگرایی نمی باشد. نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و خصوصیات خاک برای گمانه BH₂ در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی در گمانه BH₂

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	فاز گروه	رشدگی الکی	رشدگی از ۰/۰۰۵	PI	LL %	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	(N ₁) ₆₀	h _w متر	توصیف مصالح
۲	۱۲	ماسه لای دار همراه با شن	SM	۳۱	۲۵	NP	-	0/02	0/35	۱۵	۱/۷	متوسط
۴	۳۹	ماسه لای دار	SM	۲۴	۳۲	NP	-	0/02	1/3	۳۸	۱/۷	متراکم
۶	۲۴	ماسه لای دار	SM	۸	۲۸	NP	-	0/18	2/8	۲۳	۱/۷	متراکم
۸	۵	رس همراه با لای و ماسه	CL-ML	۵۸	۹	۵	۲۲	<0/006	0/062	۵	۱/۷	سست
۹	۱۴	رس همراه با ماسه	CL	۷۴	۲۶	۱۳	۳۳	<0/001	0/024	۱۳	۱/۷	سفت
۱۰	۲۳	رس همراه با ماسه	CL	۸۲	۲۸	۲۱	۴۰	<0/001	0/032	۲۰	۱/۷	بسیار سفت
۱۱	۲۶	رس همراه با ماسه	CL	۷۶	۳۵	۱۴	۳۱	<0/001	0/018	۲۲	۱/۷	بسیار سفت
۱۳	۱۳	ماسه لای دار	SM	۴۶	۱۷	NP	-	<0/003	0/14	۱۰	۱/۷	متوسط
۱۵	۱۳	رس با خمیری زیاد	CH	۸۶	۲۳	۳۳	۵۱	<0/001	0/004	۱۰	۱/۷	سفت
۱۶	۱۵	رس همراه با ماسه	CL	۷۴	۱۷	۱۱	۲۶	<0/001	0/048	۱۱	۱/۷	سفت
۱۸	۱۷	رس با خمیری زیاد	CH	۷۷	۳۳	۳۷	۶۰	<0/001	0/002	۱۲	۱/۷	بسیار سفت
۲۰	۱۹	رس ماسه دار	CL	۶۲	۲۳	۲۲	۳۹	<0/001	0/035	۱۳	۱/۷	بسیار سفت
۲۲	۲۶	رس ماسه دار	CL	۶۸	۴۲	۲۹	۴۸	<0/001	0/008	۱۶	۱/۷	بسیار سفت
۲۴	۳۰	رس همراه با ماسه	CL	۷۳	۳۳	۱۹	۳۴	<0/001	0/028	۱۸	۱/۷	بسیار سفت

برای گمانه BH₂ شرایط خاک در اعماق ۲، ۴، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۱۶ متری مستعد روانگرایی است. ضرایب نسبت تنش تناوبی و نسبت مقاومت

تناوبی (R_L) و همچنین F_L با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۴ برای گمانه BH_2 آورده شده است.

جدول ۴- محاسبه F_L و ضریب P_L گمانه BH_2

Z(m)	N SPT	σ'_{v0} (Kpa)	σ_{v0} (Kpa)	CSR	CRR _{7.5}	MSF	K_σ	K_u	F_L	P_L %
۲	۱۲	۳۷/۴۲	۴۰/۲۴	۰/۲۳۱	۰/۰۵۱	۱/۳۲	۱	۱	۰/۳	۱۳
۴	۳۹	۵۸/۸۴	۸۱/۸۴	۰/۲۸۸	۰/۰۱۵	۱/۳۲	۱	۱	۰/۱	۲۹
۸	۵	۱۰۲/۰۴	۱۶۵/۰۴	۰/۳۱۳	۰/۲۵۸	۱/۳۲	۱/۰۱	۱	۱/۱	۰
۹	۱۴	۱۱۲/۸۴	۱۸۵/۸۴	۰/۳۱۳	۰/۳۵۳	۱/۳۲	۱/۰۶	۱	۱/۶	۰
۱۱	۲۶	۱۳۴/۴۴	۲۲۷/۴۴	۰/۳۱۱	۰/۳۶۶	۱/۳۲	۱/۱۶	۱	۱/۸	۰
۱۳	۱۳	۱۵۶/۰۴	۲۶۹/۰۴	۰/۳۰۵	۰/۱۳۴	۱/۳۲	۱/۳۱	۱	۰/۸	۰
۱۶	۱۵	۱۸۸/۴۴	۳۳۱/۴۴	۰/۲۹۴	۰/۳۴۵	۱/۳۲	۱/۳۷	۱	۲/۱	

$P_L BH_2=7$

طبق جدول ۴ گمانه BH_2 در اعماق ۴، ۲ و ۱۳ متری گمانه BH_2 مستعد روانگرایی هست. با توجه به مقدار حد روانی و مقدار ذرات ریزدانه کوچکتر از ۰/۰۰۵ mm نتیجه گرفته میشود که گمانه BH_2 در اعماق مورد بررسی که جنس خاک آن CL و CL-ML می باشد، در عمق ۸ متری در صورتی که رطوبت طبیعی خاک بیشتر از ۱۹/۸٪ باشد طبق معیار ونگ مستعد روانگرایی است. نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و خصوصیات خاک برای گمانه BH_3 در جدول ۵ درج شده است. عمق ۲ متری تراز آب زیرزمینی برای گمانه های BH_3 و BH_4 در زمان حفاری گزارش شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی در گمانه BH_3

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	گروه خاک	رشدده الک %/۲۰۰	ریزترتاز ۰/۰۰۵ mm	PI	LL %	D_{10} (mm)	D_{50} (mm)	$(N_1)_{60}$	h_w متر	موقعیت
۲	۱۲	رس با خمیری کم	CL	۸۲	۵۳	۱۷	۳۷	<0/001	0/0042	۱۵	۱/۵	متوسط
۴	۱۱	رس با خمیری کم	CL	۵۰	۴۱	۱۷	۳۴	<0/001	0/013	۱۱	۱/۵	متوسط
۷	۱۶	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۸۲	۵۳	۲۰	۳۹	<0/001	0/0037	۱۶	۱/۵	سفت
۹	۱۷	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۸۳	۵۰	۱۹	۳۹	<0/001	0/005	۱۵	۱/۵	بسیار سفت
۱۱	۳۰	رس با خمیری کم	CL	۷۲	۴۸	۲۰	۴۰	<0/001	0/0065	۲۶	۱/۵	بسیار سفت
۱۴	۲۶	رس با خمیری کم	CL	۷۷	۴۹	۱۹	۳۹	<0/001	0/005	۲۰	۱/۵	بسیار سفت
۱۶	۲۳	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۷۷	۵۳	۲۴	۴۴	<0/001	0/0042	۱۷	۱/۵	بسیار سفت
۱۸	۵۸	رس با خمیری کم	CL	۸۲	۶۳	۲۵	۴۷	<0/001	0/0022	۴۰	۱/۵	سخت

برای گمانه BH₃ شرایط خاک مستعد روانگرایی نبوده لذا از بررسی آن صرف نظر می کنیم. نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و خصوصیات خاک برای گمانه BH₄ در جدول ۶ درج شده است

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی در گمانه BH₄

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	خاک گروه	رطوبت درصد	آزاد mm	PI	LL %	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	(N ₁) ₆₀	h _w متر	نوع مصالح
۲	۹	رس با خمیری کم	CL	۸۳	۵۶	۲۲	۴۳	<0/001	0/0035	۱۱	۱/۵	متوسط
۵	۸	رس با خمیری کم	CL	۸۷	۴۸	۱۷	۳۶	<0/001	0/0055	۸	۱/۵	متوسط
۸	۳۱	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۸۴	۵۳	۲۲	۴۲	<0/001	0/0035	۱۲	۱/۵	سفت
۱۱	۲۱	رس با خمیری کم	CL	۸۰	۵۰	۱۷	۳۵	<0/001	0/005	۱۰	۱/۵	سفت
۱۳	۳۰	رس با خمیری کم	CL	۶۸	۳۷	۱۲	۲۸	<0/001	0/018	۱۰	۱/۵	بسیار سفت
۱۵	۵	رس با خمیری کم	CL	۸۴	۵۰	۲۲	۴۱	<0/001	0/005	۴	۱/۵	نرم
۱۷	۳۳	رس با خمیری کم	CL	۷۹	۵۶	۲۳	۴۲	<0/001	0/0038	۲۴	۱/۵	سخت
۱۹	۲۸	رس با خمیری کم	CL	۸۰	۵۱	۲۰	۳۹	<0/001	0/0048	۱۹	۱/۵	بسیار سفت

برای گمانه BH₄ شرایط خاک فقط در عمق ۱۳ متری مستعد است. ضرایب نسبت تنش تناوبی و نسبت مقاومت تناوبی (R_L) و همچنین F_L با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۷ برای گمانه BH₄ آورده شده است.

جدول ۷- محاسبه F_L و ضریب P_L گمانه BH₄

Z(m)	N _{SPT}	σ _{v0} (Kpa)	σ _{v0} (Kpa)	CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ	K _α	F _L	P _L %
۱۳	۱۲	۱۵۴/۲	۲۶۹/۲	۰/۳۰۹	۰/۳۲۲	۱/۳۲	۱/۲۴	۱	۱/۷	۰
										P _L BH ₄ =0

طبق جدول ۷ گمانه BH₄ در عمق ۱۳ متری مستعد روانگرایی نمی باشد.

نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و خصوصیات خاک برای گمانه BH₅ در جدول ۸ درج شده است. عمق ۱/۵ متری تراز آب زیرزمینی برای گمانه های BH₅ در زمان حفاری گزارش شده است.

جدول ۸- نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی در گمانه BH₅

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	گروه خاک	رشد یافته الک ۲۰۰٪	زیر ۰.۰۷۵ میلی متر	PI mm	LL %	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	(N ₁) ₆₀	h _w متر	توصیف مصالح
۲	۶	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۷۰	۳۲	۲۰	۳۹	<0/001	0/022	۸	۱/۵	نرم
۴	۸	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۸۳	۳۸	۱۷	۳۷	<0/002	0/025	۸	۱/۵	متوسط
۶	۱۴	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۶۰	۲۰	۱۳	۳۳	<0/0015	0/046	۱۳	۱/۵	سفت
۸	۱۶	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۷۲	۲۶	۱۶	۳۵	<0/002	0/035	۱۵	۱/۵	سفت
۱۰	۱۴	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۶۴	۲۷	۱۸	۳۸	<0/002	0/03	۱۲	۱/۵	سفت
۱۳	۱۳	رس با خمیری کم ماسه دار	CL	۸۲	۳۸	۲۳	۴۳	<0/001	0/012	۱۱	۱/۵	سفت
۱۵	۹	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۸۱	۳۱	۱۹	۳۹	<0/001	0/017	۷	۱/۵	متوسط
۱۷	۱۲	رس با خمیری کم همراه با ماسه	CL	۷۱	۲۵	۱۶	۳۶	<0/001	0/028	۹	۱/۵	سفت

برای گمانه BH₅ شرایط خاک مستعد روانگرایی نبوده لذا از بررسی آن صرف نظر می کنیم. نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و خصوصیات خاک برای گمانه BH₆ در جدول ۹ درج شده است. عمق ۱/۵ متری تراز آب زیرزمینی برای گمانه های BH₆ در زمان حفاری گزارش شده است.

جدول ۹- نتایج حاصل از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی در گمانه BH₆

عمق آزمایش (متر)	SPT (N)	نوع مصالح	گروه خاک	رشد یافته الک ۲۰۰٪	زیر ۰.۰۷۵ میلی متر	PI mm	LL %	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	(N ₁) ₆₀	h _w متر	توصیف مصالح
۲	۶	رس با خمیری کم	CL	۸۹	۵۹	۲۳	۴۶	<0/001	0/0038	۷	۲	نرم
۴	۸	رس با خمیری کم	CL	۹۱	۳۸	۱۸	۳۷	<0/001	0/0082	۸	۲	متوسط
۶	۶	رس با خمیری کم	CL	۸۸	۲۳	۱۱	۲۹	<0/0014	0/003	۶	۲	متوسط
۸	۴	رس با خمیری کم	CL	۹۰	۳۶	۱۶	۳۶	<0/001	0/013	۴	۲	نرم
۱۰	۱۷	رس با خمیری کم	CL	۸۸	۴۶	۲۰	۴۲	<0/001	0/0063	۱۴	۲	بسیار سفت
۱۳	۱۸	رس با خمیری کم	CL	۸۸	۳۷	۱۷	۳۶	<0/001	0/01	۱۴	۲	بسیار سفت

برای گمانه BH₆ شرایط خاک فقط در عمق ۶ متری مستعد است. ضرایب نسبت تنش تناوبی و نسبت مقاومت تناوبی (R_L) و همچنین F_L با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۱۰ برای گمانه BH₆ آورده شده است.

جدول ۱۰- محاسبه F_L و ضریب P_L گمانه BH₆

Z(m)	N _{SPT}	σ _{v0} (Kpa)	σ _{v0} (Kpa)	CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ	K _a	F _L	P _L %
۶	۶	۸۲/۲	۱۲۳/۲	۰/۲۹۶	۰/۴۰۴	۱/۳۲	۱/۰	۱/۰	۱/۸	۰
										P _L BH ₆ =0

طبق جدول ۱۰ گمانه BH₆ در عمق ۶ متری مستعد روانگرایی نمی باشد.

۴- نتیجه گیری

پذیری روانگرایی آن پائین می باشد. شاخص پتانسیل روانگرایی بدست آمده برای گمانه BH₁ برابر صفر است پس خطر برای این گمانه بالا است لذا این محدوده مستلزم تحقیقات بیشتری است. گمانه های BH₃ و BH₅ مستعد روانگرایی نمی باشد. برای گمانه BH₆ برابر صفر است. پس خطر پذیری روانگرایی خیلی پائین است. از نظر معیار ونگ نیز با توجه به اعداد حاصل از حد روانی و ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ mm تنها در گمانه BH₂ در اعماق مورد بررسی که جنس خاک آن CL و CL-ML می باشد، در عمق ۸ متری در صورتی که رطوبت طبیعی خاک بیشتر از ۱۹/۸٪ باشد مستعد روانگرایی می باشد و به غیر آن هیچ کدام از گمانه ها توسط این معیار مستعد روانگرایی نیست. در حالت کلی نیز منطقه جنوب دشت ارومیه به علت تراکم صنایع و راه های موجود مستلزم بررسی های بیشتر ژئوتکنیکی شامل گمانه زنی است و همچنین مطالعات ژئوفیزیکی از جمله استفاده از امواج برشی (V_s) می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- شهرایی، م، ۱۳۷۳، شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش ارومیه به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور، تهران
- علیزاده، ع، (۱۳۹۰). " مطالعه پتانسیل روانگرایی در خاک های جنوب ارومیه با نگرشی ویژه بر مسیر راه آهن مراغه- ارومیه در این منطقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد اهر.
- میر محمد حسینی، م، (۱۳۸۵). راهنمای مقاوم سازی زمین های سست در برابر روانگرایی، انتشارات دانشگاه امیر کبیر.
- میر محمد حسینی م. و عارف پور ب. (۱۳۸۸). مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- نقی زاده، ر، (۱۳۸۴). نقشه زمین شناسی چهار گوش اشنویه مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور، تهران.
- نورزاد، ع، (۱۳۸۹)، روانگرایی خاک یافته ها و دستاورد های نوین، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران.

TC4, ISSMGE. (1999), "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards", Revised version The Japanes Geotechnical Society

Seed, H.B., and Idriss, I.M. (1971). "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", J. of the Soil Mechanics and Found. Div., ASCE, 97(SM9), 1249-1273.