

## ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک منطقه چالوس و نوشهر در اثر وقوع زلزله با استفاده از روش سرعت موج برشی (Vs)

صمید علیزاده

کارشناسی ارشد، گروه فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر، نوشهر، ایران  
نرگس افسری\*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر، نوشهر، ایران  
ng\_afsari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۷۹/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۳/۰۲

### چکیده:

روانگرایی یکی از شایع ترین اثرات تغییر شکل زمین در اثر وقوع زمین لرزه است و اغلب علت اصلی آسیب و تخریب ساختمانها و زیر ساختها می باشد. منطقه مورد مطالعه (گستره چالوس و نوشهر) در نوار ساحلی دریای خزر واقع شده و بر روی مواد سست آبرفتی واقع شده و در طول تاریخ، شاهد زلزله های متعددی بوده است. در این تحقیق، روش سرعت موج برشی (Vs) با به کار بردن ۵ رابطه تجربی جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک های شهرهای چالوس و نوشهر با فرض شرایط بدون سمنتاسیون و با سمنتاسیون مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با توجه به توزیع گمانه های مورد ارزیابی که در قسمت رسوبی گستره مورد مطالعه با سن کمتر از ۱۰۰۰۰ سال قرار دارند، جواب های با شرایط بدون سمنتاسیون مورد قبول است؛ آنالیزهای انجام شده نشان می دهد که از میان ۴۶ حلقه گمانه، تحلیل شده، ۳۵ گمانه مستعد روانگرایی هستند که بیشتر آنها در شهرستان نوشهر واقع شده اند. با توجه به مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی بدست آمده در گستره مورد مطالعه بر اساس روش سرعت موج برشی با فرض شرایط بدون سمنتاسیون خاک، ۸/۷ درصد گستره مورد مطالعه در محدوده  $PL=0$ ، ۱۵/۲ درصد در محدوده  $0 < PL < 5$ ، ۴۱/۳ درصد در محدوده  $15 < PL < 34/8$  درصد در محدوده  $PL > 15$  قرار دارند. نظر به این که عمق سطح ایستابی یک پارامتر مهم در روانگرایی خاک می باشد، با توجه به بالا بودن سطح ایستابی، و با در نظر گرفتن پتانسیل بالای لرزه خیزی منطقه، احتمال روانگرایی بالا می رود.

**کلید واژگان:** روانگرایی، سطح ایستابی، سرعت موج برشی، مقاومت برشی تناوبی

## ۱- مقدمه

روانگرایی یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی مرتبط با زلزله می‌باشد که در طول سالیان گذشته بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. در فاصله سه ماه در سال ۱۹۶۴ میلادی دو زلزله بزرگ آلاسکا ( $M_s=8/2$ ) و نیگاتای ژاپن ( $M_s=7/5$ ) به وقوع پیوست، و توجه مهندسان ژئوتکنیک را بیشتر به خود جلب کرد. هر دو زمین‌لرزه با روانگرایی همراه بود و خرابی‌های زیادی به صورت‌های مختلف نظیر زمین‌لغزش‌ها، شکست و خرابی فوندانسیون‌های ساختمان‌ها و پل‌ها، شناور شدن سازه‌های مدفون در خاک که وزن کمی داشتند، جوشش ماسه در سطح زمین، خروج آب از میان ترک‌های سطح زمین و در نهایت رفتار ماسه‌گونه زمین‌های سخت را بوجود آورد. روانگرایی فقط در خاکهای اشباع صورت می‌گیرد. آب موجود بین ذرات خاک فشاری را به ذرات خاک وارد می‌کند که این فشار سبب می‌شود ذرات خاک بطور محکم بهم فشرده شوند. پیش از زلزله فشار آب نسبتاً کم است اما با وقوع لرزش زلزله فشار آب افزایش یافته بطوریکه ذرات خاک به سرعت در کنارهم شروع به حرکت می‌کنند. هرچند اغلب لرزش زمین سبب افزایش فشار آب منفذی می‌گردد اما فعالیت‌های مرتبط ساختمانی همانند انفجار یا آبیگری مخازن و بطور کلی تغییر در تنش ارتجاعی زمین از طریق بارگذاری و باربرداری نیز می‌تواند سبب روانگرایی در خاک گردد. با وقوع روانگرایی مقاومت خاک کاهش یافته و توانایی خاک زیر پی برای حفظ پایداری ساختمانها و پلها از بین می‌رود. این پدیده معمولاً در مناطق نزدیک آب همانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، خلیج‌ها و اقیانوسها اثرات تخریبی بیشتری دارد. اثرات این پدیده عمدتاً در مناطق نزدیک آب شامل لغزش عمده خاک به سمت ساحل و فرونشست آن همانند دریاچه مرسید (Lake Merced) در ۱۹۵۷ و یا حرکت زمین و ایجاد ترک در ساحل دریا در اثر تنش اضافی همانند رودخانه موتاگوا (Motagua River) در زلزله ۱۹۷۶ گواتمالا می‌باشد. منطقه مورد مطالعه (چالوس - نوشهر) در گستره ایالت لرزه زمین ساختی البرز-آذربایجان [1] و در حاشیه دریای خزر قرار دارد، و بارها رخداد زلزله را تجربه کرده که موجب تلفات جانی فراوان شده است. از این رو ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک‌های این منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های متعددی که بر پایه دیدگاه‌های متفاوتی استوار هستند توسط اشخاص مختلف جهت بررسی پدیده روانگرایی در خاک ارائه شده‌اند دو روش عمده عبارتند از:

۱- انجام عملیات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دست نخورده، ۲- آزمایش‌های در محل.

نظر به مشکل بودن تهیه نمونه‌های دست نخورده از ماسه و شرایط سخت آزمایش‌های تناوبی، که گاهی منجر به نتایج غیر واقعی می‌گردد

(زیرا ممکن است روانگرا بودن خاک در اثر دست خوردگی از بین برود)، اکثر محققین از دهه‌ی هشتاد میلادی ترجیح داده‌اند که جهت ارزیابی روانگرایی و پتانسیل گسترش جانبی خاک‌ها از آزمایش‌های صحرایی استفاده کنند. روش‌های آزمایش در محل از دقت بالاتری در تعیین مشخصات خاک‌های روانگرا برخوردار می‌باشد. آزمایش‌های در محل را می‌توان به دو گروه نفوذی و آزمایش‌های ویژه طبقه‌بندی کرد. مرسوم‌ترین آزمایش‌های نفوذی که در آزمایش‌های صحرایی کاربرد وسیعی دارند عبارتند از:

۱- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)<sup>۹</sup>

۲- آزمایش نفوذ مخروطی (CPT)<sup>۸</sup>

و مهم‌ترین آزمایش ویژه که جهت تعیین مشخصات دینامیکی خاک بکار می‌رود، آزمایش‌های ژئوسایزیمیک با اندازه‌گیری سرعت موج برشی ( $V_s$ ) می‌باشد. ماسه‌ها و ماسه‌های لای دار مستعدترین رسوبات برای وقوع روانگرایی هستند. بخصوص اگر دارای دانه‌بندی ضعیفی باشند. همچنین می‌دانیم رسوباتی مستعد آبیگونی‌اند که در زیر سطح ایستایی قرار گرفته و اشباع شده‌اند [2]. قسمت اعظم گستره مورد مطالعه (شهرهای چالوس و نوشهر) در یک دشت آبرفتی قرار گرفته و به وسیله گسل‌های مهمی مانند گسل خزر، گسل شمال البرز که سابقه لرزه‌خیزی دارند، احاطه شده‌اند با توجه به وجود این گسل‌ها و لرزه‌خیزی آن‌ها و قرار گیری شهرهای چالوس و نوشهر بر روی رسوبات آبرفتی همواره آنها را مستعد وقوع پدیده روانگرایی خاک که از پیامدهای وقوع زلزله است، ساخته است. در این پژوهش سعی بر این است تا روانگرایی خاک منطقه با استفاده از روش صحرایی سرعت موج برشی ( $V_s$ ) بر اساس روابط تجربی ارزیابی گردد. روش اندازه‌گیری سرعت موج برشی ( $V_s$ ) بر اساس طرح ارائه شده توسط انستیتو ملی تکنولوژی امریکا (NIST) در سال ۱۹۹۹ به کار گرفته شده است [۳].

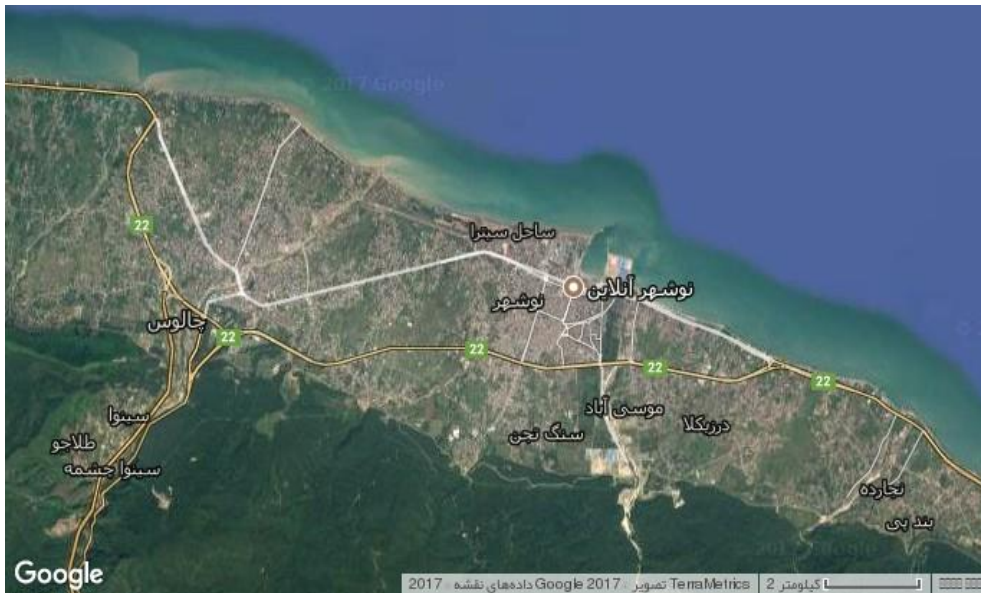
## ۲- موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی و لرزه‌زمین ساخت

### منطقه مطالعه

محدوده مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی مابین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه ۵۵ دقیقه الی ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی قرار گرفته است. شکل (۱) نقشه هوایی گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شهرهای چالوس و نوشهر (بخش مرکزی استان مازندران)، از نظر تقسیم‌بندی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی بخشی از واحد زمین‌ساختی - رسوبی البرز به شمار می‌آیند، در اینجا به اختصار در مورد سرگذشت زمین‌شناسی، تکتونیکی و لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه شرح می‌دهیم.

9. Cone Penetration Test

8. Standard Penetration Test



شکل ۱- نقشه هوایی چالوس و نوشهر (بر گرفته از Google Earth)

زاگرس، بزرگترین رشته کوه ایران و باقیمانده‌ای از پوسته اقیانوسی در نظر گرفته می‌شود که به سرعت غوطه‌ور شده و توسط رسوباتی به ستبرای ۲۰ کیلومتر پوشانده شده است [۴]. رشته کوه البرز یک کمربند چین خورده- راندگی با لرزه خیزی بالا در امتداد جنوب دریای خزر است که از انتهای جنوبی کوه‌های تالش در غرب تا محل اتصال آن‌ها به کوه‌های کپه داغ در شرق گسترده شده است. البرز یک زون باریک (با پهنای ۱۵۰-۱۲۰ km و ۶۰۰ km درازا) و با دامنه‌های پرشیب که به وسیله گسل‌های رورانده اصلی از شمال (مانند گسل خزر و گسل شمال البرز) و از جنوب (مانند گسل‌شمال تهران، گسل شمال قزوین، مشاء، آستانه و گسل سمنان) مرزبندی شده است [۵]. شیپ‌گسل‌های معکوس مرز شمالی به سمت جنوب که باعث به زیر راندگی جنوب حوزه خزر شده [۶] و شیب‌گسل‌های معکوس مرز جنوبی به سمت شمال است که هر دو در کوتاه شده‌گی بین ایران مرکزی و صفحه اوراسیا موثر است. بیشتر گسل‌های فوق موازی البرز بوده و تعدیل کننده نیروی حاصل از همگرایی مایل بلوک‌های ایران مرکزی و صفحه اوراسیا هستند. البرز در حال حاضر نیز دگرشکلی بالایی را بین فلات ایران و صفحه اوراسیا در شمال از خود نشان می‌دهد؛ و در راستای شمالی - جنوبی کوتاه شدگی دارد. گسله‌های البرز در ناحیه شرق دارای رخنمون‌های بسیارنمایتری نسبت به ناحیه غربی هستند. شکل (۲) نقشه گسل‌های مهم منطقه البرز مرکزی را نشان می‌دهد. در طول سالیان گذشته، زون البرز شاهد زمین‌لرزه‌های متعددی بوده است. تاریخچه لرزه خیزی البرز نشان می‌دهد که شهرهایی مانند رشت، لاهیجان، فشم، جیرود، آمل، بابل، بابلسر، ساری، بهشهر، گرگان و بعضی نواحی ساحلی بارها و بارها ویران شده‌اند. زمین‌لرزه‌های پی‌در پی و پر شمار نشانه لرزه‌خیزی بالای البرز است.

## ۲-۱ زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه

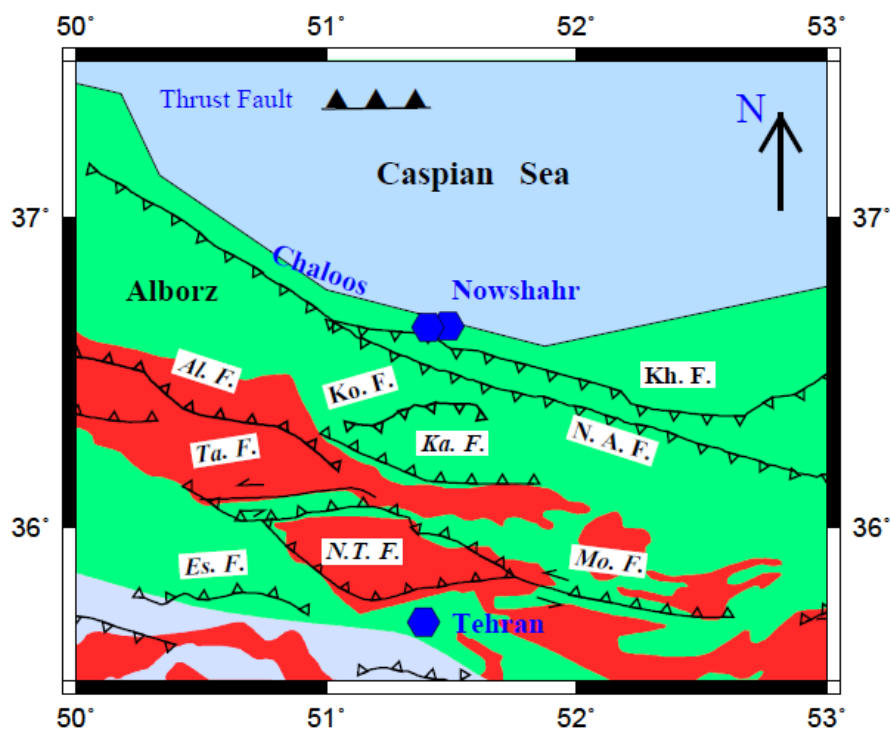
در مطالعه زمین‌شناسی چالوس و نوشهر، از شمال به جنوب سه رخساره به کلی متفاوت (۱) دریای خزر، (۲) جلگه‌های آبرفتی و (۳) بلندی‌های جنوبی به چشم می‌آیند. پوشش گیاهی و درختان جنگلی، بیشتر دشت‌ها، جلگه‌ها و ارتفاعات منطقه را پوشانیده‌اند. از دیدگاه رسوب‌شناسی، سواحل شمال کشور از مجموعهٔ رسوبات دریایی، رودخانه‌ای، تخییری و بادرفتی سخت نشده ای تشکیل شده که در رخساره‌های مختلف نهشته شده‌اند. منشأ این رسوبات، سازندهای زمین‌شناسی البرز شمالی و کپه داغ‌اند که در برگیرندهٔ واحدهای سنگی پرکامبرین تا کواترنر هستند. در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، نهشته‌های کواترنر شامل جلگه‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌های رودخانه‌ای پرشمار همراه با نهرهای طبیعی و دستی فراوان، گسترش وسیعی را نشان می‌دهند که با مزارع پوشیده شده‌اند و به سوی جنوب به نهشته‌های کوهپایه‌ای پایان می‌پذیرند. در منطقه چالوس، بلندهای جنوبی، بیشترشان از جنس سنگ‌ها و نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی است؛ در حالی که در منطقه نوشهر، سنگ‌های رخنمون یافته همگی رسوبی هستند. در هر دو منطقه، سنگ‌ها شامل ردیف‌های چینه‌شناسی از پرمین تا کواترنری به استثنای چند نبود رسوب‌گذاری بوده است. از شمال به جنوب اختلاف ارتفاع زیادی در منطقه دیده می‌شود. روند به تقریب خاوری- باختری (کمی متمایل به شمال باختر) رشته‌کوه‌های البرز در این منطقه، اشکال زمین ریخت‌شناسی را پدید آورده است که از ساختمان‌های اصلی منطقه پیروی می‌کنند.

## ۲-۲ لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه

همانطور که پیشتر گفته شده، گستره مورد مطالعه از نظر زمین‌ساختی در بخش شمالی رشته کوه‌های البرز واقع شده است. البرز پس از

های البرز راستالغز چپگرد همسو باراستای گسل‌های رشته کوه است. جدول (۱) لیست زمین‌لرزه‌های دستگاهی (سده بیستم) روی داده در منطقه البرز را نشان می‌دهد.

بر اساس نقشه لرزه زمین‌ساخت ایران [۷] در البرز، زمین‌لرزه‌ها کم ژرفا هستند. بعضی انواع متوسط نیز وجود دارند و بر روی هم البرز خاوری لرزه‌خیزتر از البرز باختری است [۸]. سازوکار (هاروارد) بیشتر زمین‌لرزه



شکل ۲- نقشه گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه. گسل خزر: *Kh. F.*، گسل شمال البرز: *N. A. F.*، گسل

کجور: *Ko. F.*، گسل کندوان: *Ka. F.*، گسل الموتود: *Al. F.*، گسل مشاء: *Mo. F.*، گسل: شمال تهران: *N.T. F.*

گسل طالقان: *Ta. F.*، گسل اشتهارد: *E.s. F.*

جدول ۱- لیست زمین‌لرزه‌های دستگاهی سده بیستم با بزرگای بیشتر از ۵ ( شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران)

Date	Time	Lat. (°)	Lon (°)	Mb	Ms	Mw	M <sub>L</sub>	Ref.	منطقه
1935/03/05	10:26	35.94	53.06	-	5.8	-	-	Amb.	تالار رود
1935/04/11	23:14	36.36	53.32	-	6.8	-	-	Amb.	کسوت مازندران
1957/07/02	00:42	36.07	52.47	-	7.0	-	-	Amb.	بندی- مازندران
1962/09/01	19:20	35.71	49.81	6.9	7.2	-	-	Amb.	بوئین‌زهرا
1990/06/20	21:00:11	36.99	49.35	6.2	7.4	7.4	-	ISC	منجیل- رودبار
2004/05/28	17:08:41	36.30	51.60	-	6.3	-	-	IIEES	فیروزآباد- کجور

در رابطه (۲) پارامتر  $V_{SI}^*$ ، که حداکثر سرعت موج برشی برای وقوع روانگرایی در عمق مورد مطالعه است، با استفاده از مقدار درصد ریزدانه FC، طبق روابط (۳) بدست می‌آید.

$$FC \geq \%35 \quad V_{SI}^* = 200 \frac{m}{s} \quad (2)$$

$$\%5 \leq FC \leq \%35 \quad V_{SI}^* = 215 - 0.5 (FC - 5) \text{ m/s} \quad (3)$$

$$FC \leq \%5 \quad V_{SI}^* = 215 \text{ m/s}$$

پارامتر MSF نیز فاکتور مقیاس بزرگای زلزله است که از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$MSF = \left( \frac{M_w}{7.5} \right)^n \quad (4)$$

در این مطالعه،  $M_w$ ،  $7/5$  فرض شده در نتیجه با توجه به رابطه بالا فاکتور مقیاس بزرگای زلزله (MSF) برابر ۱ می‌شود. شکل (۳) رابطه بین بزرگای زلزله ( $M_w$ ) و فاکتور مقیاس بزرگا را نشان می‌دهد. ضریب  $c$ ، مبین درجه سمتماسیون خاک است. اگر خاک مورد ارزیابی، بدون سمتماسیون و یا سن آن کمتر از ۱۰۰۰۰ سال باشد، مقدار ضریب  $c$  برابر یک است. اما در مناطقی که خاک آن‌ها دارای سمتماسیون و یا سن بیشتر از ۱۰۰۰۰ سال داشته باشد، مقدار پارامتر  $c$  بین  $0/6$  تا  $0/8$  متغیر است.

لازم به ذکر است در صورتی که در عمق مورد مطالعه تنش مقدار تنش قائم موثر بیش از  $100 \text{ kPa}$  باشد، مقدار مقاومت برشی تناوبی توده خاک (CRR) با استفاده از رابطه (۵) اصلاح شده است:

$$CRR_j = K_{\sigma} \cdot CRR \quad (5)$$

در رابطه فوق، CRR مقدار مقاومت برشی تناوبی توده خاک در عمق مورد مطالعه و  $CRR_j$  مقاومت برشی تناوبی اصلاح شده توده خاک در آن عمق است. ضریب تصحیح سربار  $K_{\sigma}$  برای تنش قائم بزرگتر از  $100 \text{ kPa}$  بوده که تابع سست یا متراکم بودن خاک می‌باشد که از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$K_{\sigma} = \left( \frac{\sigma'_v}{100} \right)^{f-1} \quad (6)$$

برای خاک‌های سست  $f = 0/8$  برای خاک‌های با تراکم متوسط  $f = 0/7$  و برای خاک‌های بسیار متراکم  $f = 0/6$  می‌باشد. در مرحله بعد ارزیابی پتانسیل روانگرایی، تعیین نسبت تنش برشی تناوبی توده خاک (CSR) ایجاد شده توسط زلزله در عمق مورد مطالعه است. مطابق طرح ارائه شده توسط NIST، مقدار تنش برشی تناوبی ایجاد شده (CSR) بر اثر وقوع زلزله در عمق مورد مطالعه، با استفاده از رابطه (۷) که توسط سید و ادريس در سال ۱۹۷۱ [۱۷] ارائه شده، بدست می‌آید:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times \frac{\alpha_{max}}{g} \times r_d \quad (7)$$

که در رابطه فوق،  $\alpha_{max}$  حداکثر شتاب افقی زلزله در سطح زمین؛ گشتاب ثقل؛  $\sigma_v$  تنش قائم کل؛  $\sigma'_v$  تنش قائم موثر و  $r_d$  ضریب کاهش تنش است. مقدار ضریب کاهش تنش ( $r_d$ ) برای گستره وسیعی از مقادیر زلزله و شرایط خاک و با احتساب وجود ماسه در ۱۵ متر بالایی محاسبه شده است که با استفاده از نمودارهای شکل (۴) بدست می‌آید. لازم به ذکر است که در این مطالعه شتاب حداکثر سطح زمین با توجه به تحلیل

### ۳- روش مورد مطالعه: پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی ( $V_s$ )

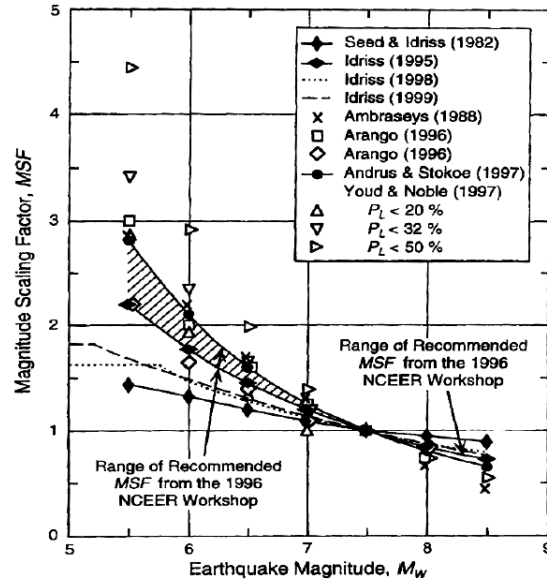
سرعت موج برشی از جمله خواص دینامیکی خاک است که می‌تواند به عنوان نشان دهنده رفتار دینامیکی خاک مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که که سرعت موج برشی در کرنش‌های کوچک و مقاومت خاک در مقابل روانگرایی هر دو متأثر از تخلخل، وضعیت تنش در خاک و سن زمین‌شناسی می‌باشند، از این رو سرعت می‌تواند به عنوان شاخص جهت تعیین مقاومت روانگرایی به کار رود. در ارزیابی خاک‌های مستعد روانگرایی (ماسه و لای) با استفاده از مقدار سرعت موج برشی، به جای استفاده از عدد SPT، از مقدار سرعت موج برشی خاک برای ارزیابی روانگرایی آن استفاده می‌شود. این روش در مقایسه با روش‌های SPT و CPT روش جدیدی است. در ایران نیز می‌توان به مطالعات انجام شده توسط عسکری و همکاران [۹، ۱۰]، شفیعی و همکاران [۱۱، ۱۲]، عادل و همکاران [۱۳]، خلیلی و همکاران [۱۴]، نیرومند و همکاران [۱۵] و اشنویه و دبیری [۱۶] برای بررسی روانگرایی خاک با استفاده از روش سرعت موج برشی در مناطق مختلف اشاره نمود. برای برآورد روانگرایی خاک با استفاده از  $V_s$ ، روش ارائه شده توسط انسیتو ملی تکنولوژی و تحقیقات آمریکا (NIST, 1999) مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. مراحل و اصلاحات مورد نیاز برای استفاده از این روش به طور خلاصه در ادامه آورده شده است. مقدار سرعت موج برشی به وسیله انجام آزمایش‌های صحرایی (روش انکساری، انعکاسی، درون چاهی و آنالیز طیفی امواج سطحی) محاسبه می‌شود. با توجه به این که در گستره چالوس و نوشهر هیچگونه آزمایش ساینمیک برای محاسبه سرعت موج برشی انجام نگرفته است، از معادلات تجربی بین عدد نفوذ استاندارد (N) و سرعت موج برشی مندرج در جدول ۱ استفاده شده است. (با توجه به اینکه لایه‌های خاک یک دست نبود از روابطی که برای همه خاک‌ها بودند، استفاده شده است). بر اساس این روش، مقدار سرعت موج برشی بدست آمده در عمق‌های مورد مطالعه باید با استفاده از رابطه ۱ نسبت به تنش موثر قائم در همان عمق اصلاح شود.

$$V_{SI} = V_s \left( \frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \quad (1)$$

در این رابطه  $V_{SI}$  سرعت موج برشی اصلاح شده،  $P_a$  تنش مینا معادل  $100 \text{ kPa}$  (عدد فشار اتمسفر) و  $\sigma'_v$  تنش موثر قائم در عمق مورد مطالعه بر حسب  $\text{kPa}$  می‌باشد. مقدار مقاومت برشی توده خاک (CRR) با استفاده از رابطه (۲) که توسط انسیتو ملی استانداردها و تکنولوژی آمریکا (NIST) در سال ۱۹۹۸ بسط داده شده است، محاسبه می‌شود [۳].

$$CRR = \left\{ a \left( \frac{cV_{SI}}{100} \right)^2 + b \left( \frac{1}{V_{SI}^* - V_{cSI}^*} - \frac{1}{V_{SI}^*} \right) \right\} MSF \quad (2)$$

خطر لرزه‌ای انجام شده به روش قطعی با استفاده از منطق فازی [۱۸] در محدوده مورد مطالعه  $0.4g$  در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- نمودارهای مختلف ارتباط بین بزرگای زلزله (MW) و فاکتور مقیاس بزرگا (MSF) [۱۹].

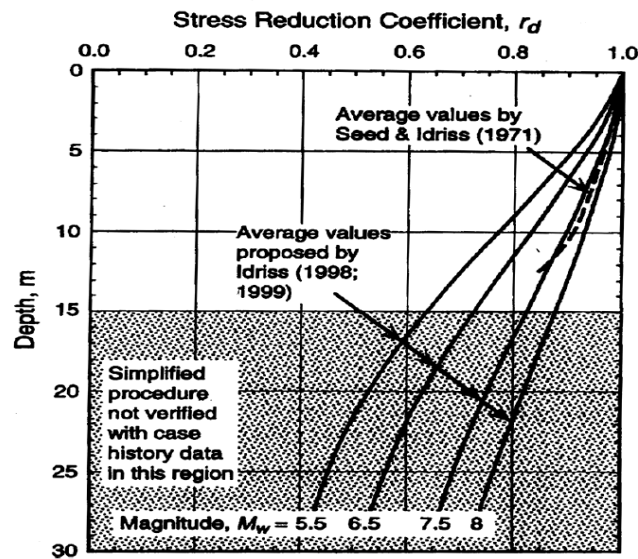
برای محاسبه نسبت تنش برشی (CSR) در توده خاک از نوع لای از آیین نامه پلهای شاهراهی ژاپن که توسط ایواساکی در سال ۱۹۷۸ [۲۰] ارائه شده، استفاده شده است (رابطه ۸) [۲۱].

$$CSR = \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times r_d \quad \text{و} \quad r_d = 1 - 0.015Z \quad (۸)$$

با داشتن مقدار مقاومت برشی تناوبی توده خاک (CRR) (یا  $CRR_j$ ) و مقدار تنش برشی تناوبی CSR می‌توان ضریب اطمینان برای لایه های خاک مورد بررسی با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$FS = \frac{CRR_j}{CSR} \quad (۹)$$

وقتی که مقدار  $FS < 1$  یا مساوی یک باشد روانگرایی رخ می‌دهد و زمانیکه  $FS > 1$  باشد احتمال وقوع روانگرایی نمی‌رود [۲۲].



شکل ۴) مقادیر  $r_d$  برحسب عمق و بزرگای زلزله [۲۳].

که در این رابطه PL شاخص پتانسیل روانگرایی و FS ضریب اطمینان در برابر روانگرایی در عمق Z می‌باشد. مقدار PL بین صفر تا ۱۰۰ است. جدول (۲) نشان دهنده شاخص پتانسیل روانگرایی می‌باشد. ایواساکی و همکاران [۲۴] نشان دادند که در مناطق دارای PL بیش از ۱۶ پتانسیل روانگرایی زیاد بوده و در مناطق دارای PL کمتر از ۵، پتانسیل روانگرایی به حداقل می‌رسد.

برای برآورد شدت روانگرایی احتمالی در یک ساختمان از رابطه (۱۰) که توسط ایواساکی و همکاران (۱۹۸۲) [۲۴] ارائه شده استفاده شده است:

$$PL = \int_0^{20} F \cdot W(Z) dz \quad (10)$$

که برای  $FS < 0$ ،  $F = 1 - FS$  و برای  $FS > 0$ ،  $F = 0$  و  $W(Z) = 10 - 0.5Z$  در نتیجه خواهیم داشت:

$$PL = \int_0^{20} (1 - FS)(10 - 0.5z) dz \quad (11)$$

جدول ۲- تخمین پتانسیل روانگرایی با استفاده شاخص پتانسیل روانگرایی [۲۴].

خطر روانگرایی خیلی کم است و عموماً نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق نمی‌باشد	PL=0
خطر روانگرایی خیلی کم است، با این حال نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای سازه‌های مهم می‌باشد	0 < PL < 5
خطر روانگرایی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق برای انواع سازه‌ها می‌باشد. استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی ضرورت دارد.	5 < PL < 15
خطر روانگرایی خیلی زیاد است و نیاز به تحقیقات و مطالعات دقیق می‌باشد. استفاده از روش‌های کاهش مخاطرات روانگرایی ضروری است.	PL > 15

مربوط به گمانه‌های حفاری شده توسط آزمایشگاه‌های فنی مکانیک خاک منطقه تهیه گردید.

#### ۴-۱ شرایط آب زیرزمینی (سطح ایستابی) چالوس و نوشهر

با توجه به این که در این تحقیق از اطلاعات گمانه‌های حفاری شده در گستره چالوس و نوشهر حد فاصل نمک‌آبرود تا دانشگاه آزاد نوشهر، استفاده شده، لذا در ابتدا تعیین سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد

#### ۴- داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش

اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس اسناد کتابخانه‌ای، دیجیتالی و مراجعه به سازمان‌ها و آزمایشگاه‌های فنی مکانیک خاک است. در این رابطه داده‌های مربوط به عمق سطح ایستابی از اندازه‌گیری‌های ماهیانه سازمان امور آب چالوس و نوشهر و آزمایشگاه مکانیک خاک در گمانه‌های مورد استفاده در این مطالعه انجام پذیرفته، استفاده گردید. همین‌طور اطلاعات مربوط به خواص مکانیکی و فیزیکی توده خاک (دانه‌بندی، دانسیته، درصد ریز دانه و ...)

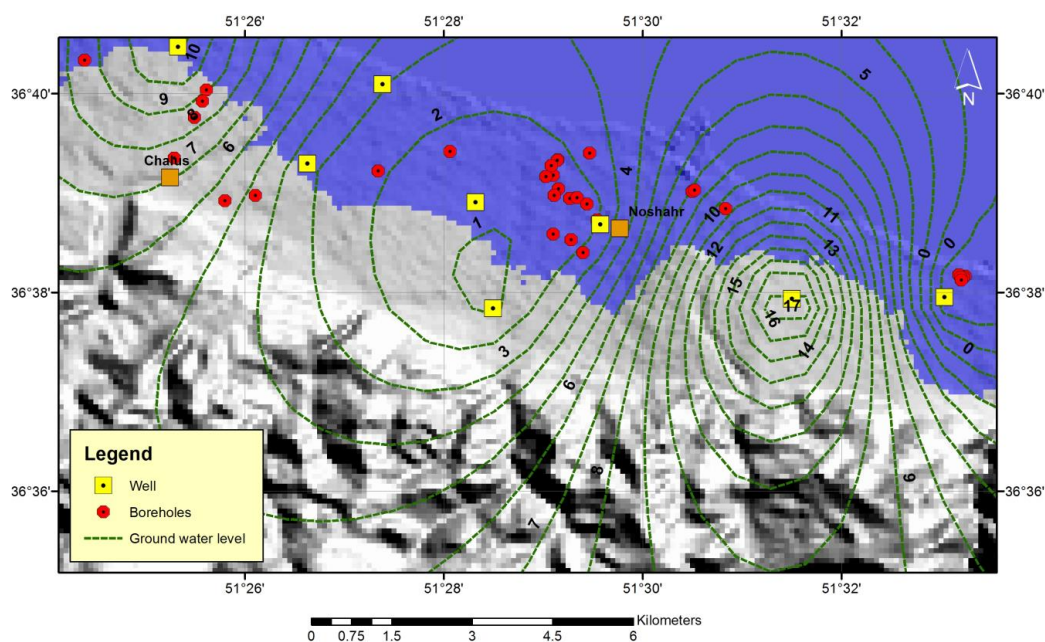
## ۵- نتایج استفاده از سرعت موج برشی ( $V_s$ ) در توده خاک های چالوس و نوشهر

به منظور برآورد پتانسیل روانگرایی گستره مورد مطالعه، اطلاعات ژئوتکنیکی ۵۴ گمانه در گستره چالوس و نوشهر حد فاصل نمک‌آبرود تا دانشگاه آزاد نوشهر که به صورت ماشینی حفاری شده‌اند، جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. خاک‌های رسی به دلیل چسبندگی ذاتی و خاک‌های شنی به علت مستهلک کردن سریع فشار آب منفذی به هنگام زلزله از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار هستند. با توجه به این موضوع، در ابتدا واحدهای غیر مستعد روانگرایی که دارای شرایط زیر بودند را از دیگر واحدها جدا شده است

۱- واحدهایی که در آن‌ها سطح ایستایی در عمق بیشتر از ۲۰ متر قرار داشته است

۲- واحدهایی که در آن‌ها جنس خاک از نوع رسی بوده است. با توجه به شرایط ذکر شده، از ۵۴ گمانه موجود در گستره مورد مطالعه، پتانسیل روانگرایی ۴۶ گمانه ( ۷ گمانه در چالوس و بقیه در نوشهر ) مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت گمانه‌های بررسی شده در شکل ۵ را نشان داده شده است. جدول (۲) جنس خاک گمانه‌های مورد مطالعه و تعداد لایه‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.

توجه قرار گرفته است. برای ارزیابی عمق آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از اطلاعات موجود در گمانه‌های حفر شده در منطقه و آخرین داده‌های موجود در نقشه‌های هم عمق آب زیرزمینی گستره چالوس و نوشهر که ماهیانه توسط سازمان امور آب چالوس و نوشهر تهیه می‌شود، استفاده شده است. عمق آب زیرزمینی تحت تاثیر عوامل مختلف، در گستره چالوس و نوشهر متفاوت است. با توجه به گزارش امور آب چالوس و نوشهر، سطح آب زیر زمینی در نقاطی که نزدیک خط ساحلی است بالا می‌باشد و هر چه از خط ساحلی دور می‌شویم سطح آب زیرزمینی پایین‌تر می‌آید. همچنین در مقایسه گستره چالوس با نوشهر، سطح آب زیرزمینی در چالوس پایین‌تر است ( از ۲۱-۱/۴ m). در حالی که در گستره نوشهر تغییرات سطح آب زیرزمینی ۱۴m - ۰/۷۵m است. شکل ( ۵ ) نقشه هم تراز سطح آب زیرزمینی گستره چالوس- نوشهر را در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ نشان می‌دهد.



شکل ۵- گمانه‌ها و چاه‌های مورد استفاده در این مطالعه. دایره‌های قرمز رنگ و مربع‌های زرد رنگ به ترتیب، موقعیت گمانه‌ها و چاه‌ها و خطوط خط چین سبز رنگ خطوط هم تراز سطح آب زیر زمینی را نشان می‌دهند.



جدول ۳- نشان دهنده جنس خاک و تعداد لایه‌های مورد بررسی در این مطالعه

کل لایه‌های موجود در ۴۶ گمانه	نوع خاک		
	لای	ماسه	شن
۲۹۸	۸۹	۱۶۸	۴۱
درصد	۲۹/۹	۵۶/۴	۱۳/۷

در جدول (۴) استفاده شده است (با توجه به اینکه لایه‌های خاک یک دست نبود از روابطی که برای همه خاک‌ها بودند، استفاده شده است).

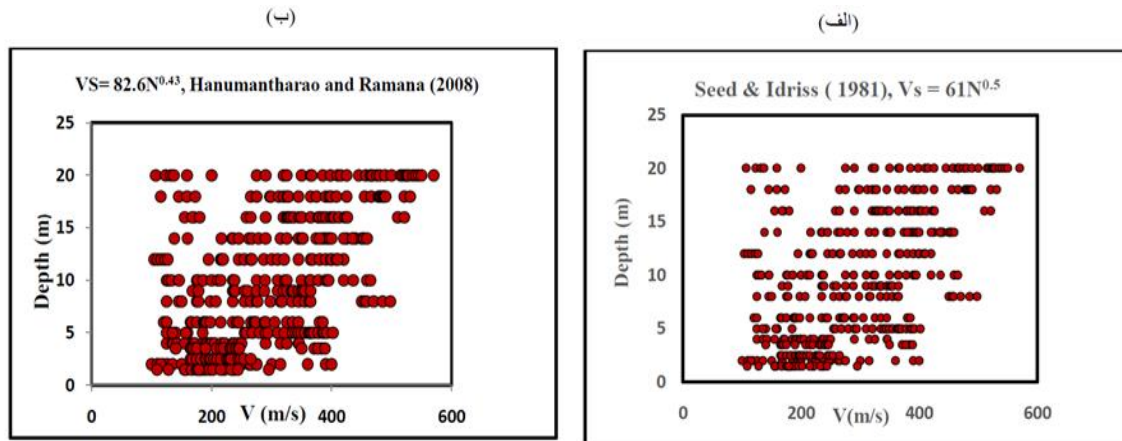
با توجه به این که در گستره چالوس و نوشهر هیچگونه آزمایش سائیمیک برای محاسبه سرعت موج برشی انجام نگرفته است، از معادلات تجربی بین عدد نفوذ استاندارد (N) و سرعت موج برشی مندرج

جدول ۴- لیست معادلات تجربی بین نفوذ استاندارد عدد (N) و سرعت موج برشی ( $V_s$ )

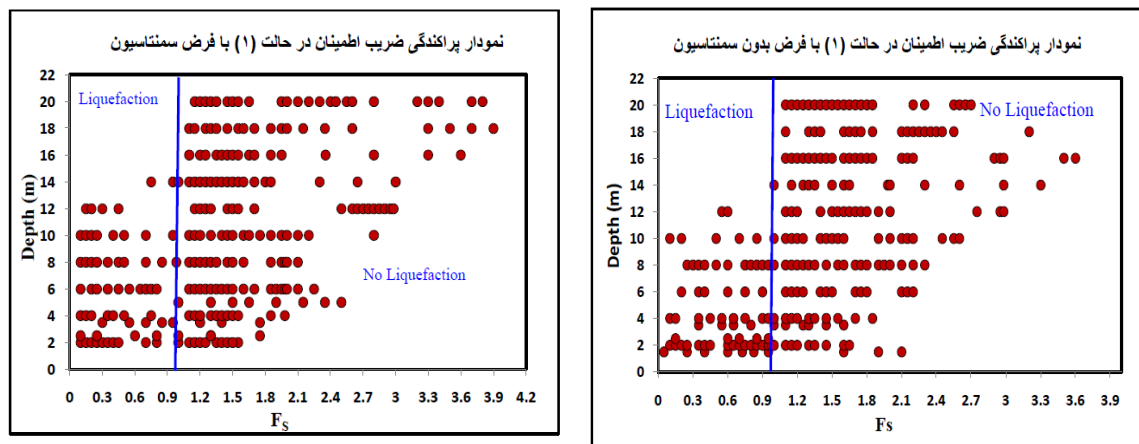
No.	Presented by	Soil Type	$V_s$ (m/s)
معادله (۱)	Seed and Idriss (1981)[25]	ALL	$V_s=61N^{0.5}$
معادله (۲)	Hanumantharao and Ramana (2008)[26]	ALL	$V_s= 82.6N^{0.43}$
معادله (۳)	Ohba and Toriumi (1970)[27]	ALL	$V_s= 84N^{0.31}$
معادله (۴)	Imai (1977)[28]	ALL	$V_s = 91N^{0.34}$
معادله (۵)	Jafari et al. (2002)[29]	ALL	$V_s=121N^{0.27}$

(متوسط بین ۰/۶ تا ۰/۸) فرض شد. شکل (۷) پراکندگی مقادیر ضریب اطمینان محاسبه شده در لایه‌های خاکی بر اساس مقادیر سرعت موج برشی بدست آمده از رابطه (۱) مندرج در جدول (۴) در شرایط سمنتاسیون و بدون سمنتاسیون خاک را نشان می‌دهد. شکل (۸) نمونه از پروفیل ژئوتکنیکی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول (۵) نیز محاسبات انجام شده برای این پروفیل ژئوتکنیکی برای حالت بدون سمنتاسیون و با استفاده از معادله (۵) ارائه شده است. همانطور که قبلاً گفته شد، لایه‌هایی که برای آن‌ها ضریب اطمینان کوچکتر یا مساوی ۱ بدست می‌آید، آن لایه روانگرا است.

پس از جدا سازی گمانه‌های غیر مستعد روانگرایی، پتانسیل روانگرایی گمانه‌های باقیمانده خاک‌ها بر اساس سرعت موج برشی برآورد شده است [۲۰]. به همین منظور ابتدا با استفاده از عدد نفوذ استاندارد و روابط تجربی بین  $N$  و  $V_s$  (جدول ۳) سرعت موج برشی در هر عمق را حساب کرده و سپس با استفاده از رابطه (۱) سرعت موج برشی اصلاح شده حساب شده است. شکل ۶ مقادیر سرعت موج برشی محاسبه شده با استفاده از معادلات (۱) و (۲) برای لایه‌های خاکی در عمق‌های مختلف در گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که تمام محاسبات برای خاک‌ها در دو حالت با سمنتاسیون و بدون سمنتاسیون انجام شده است. برای حالت خاک بدون سمنتاسیون مقدار  $c$  را برابر ۱ و برای حالت خاک با سمنتاسیون مقدار  $c$  را ۰/۷



شکل ۶- نمودار پراکندگی مقادیر سرعت موج برشی بر حسب عمق در لایه‌های خاکی در محدوده مورد مطالعه. (الف) برای معادله (۱) و (ب) برای معادله (۲).



شکل ۷- نمودار پراکندگی مقادیر ضریب اطمینان محاسبه شده در لایه‌های خاکی در محدوده مورد مطالعه بر اساس سرعت موج برشی در شرایط سمتاسیون و بدون سمتاسیون در حالت اول. خط آبی مقدار ضریب اطمینان ۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۵- محاسبات انجام شده برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی را برای پروفیل ژئوتکنیکی شکل (۸) را نشان می‌دهد.

عمق مورد بررسی (m)	N	$\sigma_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$V_s$ m/s	$V_{s1}$ m/s	$V_{s1}^*$ m/s	$K_\sigma$	$r_d$	CSR	CRR	CRRj	$F_s$
۱	۳	۱۵/۳	۵/۳	۱۶۲/۷۸	۳۳۹/۲۶	۲۰۰	-	۰/۹۸۵	۰/۷۳۹	۰/۲۱۹	-	۰/۲۹۶
۳/۲۵	۳۶	۵۶/۷	۲۴/۲	۳۱۸/۴۱	۴۵۳/۹۷	۲۱۵	-	۰/۹۵۱	۰/۵۷۹	۰/۱۸۳	-	۰/۳۱۶
۵	۴۴	۹۰/۶۵	۴۰/۶۵	۳۳۶/۱۴	۴۲۰/۹۷	۲۱۵	-	۰/۹۲۵	۰/۵۳۶	۰/۳۶۳	-	۰/۶۷۷
۷/۲	۴۴	۱۳۳/۷۷	۶۱/۷۷	۳۳۶	۳۷۹/۱۶	۲۱۵	-	۰/۸۹۲	۰/۵	۰/۲۸۶	-	۰/۵۷۲
۹	۴۹	۱۶۹/۵۹	۷۹/۵۹	۳۴۶/۰۵	۳۶۶/۳۷	۲۱۵	-	۰/۸۶۵	۰/۴۷۹	۰/۲۶۴	-	۰/۵۵۱
۱۱	۴۵	۲۰۷/۱۹	۹۷/۱۹	۳۳۸/۱۸	۳۴۰/۶	۲۱۵	-	۰/۸۳۵	۰/۴۶۲	۰/۲۲	-	۰/۴۷۶
۱۳	۴۲	۲۴۵/۳۹	۱۱۵/۳۹	۳۳۱/۹۴	۳۲۰/۲۷	۲۱۵	۰/۹۵۷	۰/۸۰۵	۰/۴۴۵	۰/۱۸۶	۰/۱۷۸	۰/۴
۱۵	۳۷	۲۸۲/۳۹	۱۳۲/۳۹	۳۲۰/۷۷	۲۹۹	۲۱۵	۰/۹۱۹	۰/۷۷۵	۰/۴۲۹	۰/۱۵	۰/۱۳۸	۰/۳۲۱
۱۷	۴۴	۳۲۲/۱۹	۱۵۲/۱۹	۳۲۶/۱۴	۳۰۲/۶۴	۲۱۵	۰/۸۸	۰/۷۴۵	۰/۴۱	۰/۱۵۶	۰/۱۳۸	۰/۳۳۶
۱۹	۵۳	۳۶۷/۵۹	۱۷۷/۵۹	۳۵۳/۴۶	۳۰۶/۱۹	۲۱۵	۰/۸۴	۰/۷۱۵	۰/۳۸۴	۰/۱۶۲	۰/۱۳۷	۰/۳۵۶

مشخصات و نمودار گمانه ها										شماره کار: 001230015				
تاریخ ثبت ریز: 1397-11-17										پروژه: ارتقاء ایمنی سازه - واحد ترابری				
محل آزمایش: 1- خرمی										شماره گمانه: BH1				
حالت آزمایشی	محل ترمیمی	تعداد ضربه ها				برسند شده		معمول	درصد	شرح لایه ها	طبقه بندی		شماره نمونه	عمق (m)
		30cm	15cm	15cm	15cm	200	4				PI	LL		
GW							97	38	73	خاک نرم	MH	29601	0	
GP							87	30	84	لایه ارتعاشی	MH	29602 29603-606 29604	1	
GM										لایه ارتعاشی			2	
GC		3	2	1	1								3	
SW							2	19	NP	غیرقابل تعیین	GP	29606 20607	3	
SP										شن با دانه بندی بد همراه با ماسه			4	
SM		36	19	17	14								5	
SC							1	31	NP	غیرقابل تعیین	GW	29608	6	
CL										شن با دانه بندی خوب همراه با ماسه			7	
OH		44	24	20	16								8	
PT							3	88	NP	غیرقابل تعیین	SP	29609-10	9	
ROCK		44	24	20	14					ماسه با دانه بندی بد			10	
RS							2	53	NP	غیرقابل تعیین	SP	29611	11	
RP		49	27	22	16					ماسه با دانه بندی بد همراه با شن			12	
RS							2	51	NP	غیرقابل تعیین	SP	29612	13	
RS		15	24	21	12					ماسه با دانه بندی بد همراه با شن			14	
RS							1	61	NP	غیرقابل تعیین	SP	29613	15	
RS		42	23	15	14					ماسه با دانه بندی بد همراه با شن			16	
GP							1	44	NP	غیرقابل تعیین	GP	29614-15	17	
GP		37	20	17	10					شن با دانه بندی بد همراه با ماسه			18	
GM							2	55	NP	غیرقابل تعیین	SP	29616	19	
GC										ماسه با دانه بندی بد همراه با شن			20	
SW		44	26	18	14								21	
SP							2	66	NP	غیرقابل تعیین	SP	29617	22	
SM										ماسه با دانه بندی بد همراه با شن			23	
SC		53	31	22	14								24	
ML										وایان تعاقبات جذبی			25	
CL													26	
OH													27	
PT													28	
ROCK													29	
RS													30	

شکل ۸- یک نمونه از پروفیل ژئوتکنیکی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد.

فرض خاک بدون سمنتاسیون و دارای سمنتاسیون در جدول ۷ ارائه شده است. ج) تعداد گمانه های مورد ارزیابی با استفاده از سرعت موج برشی (Vs) با کاربرد پنج رابطه تجربی با فرض نمودن دو حالت با سمنتاسیون و بدون سمنتاسیون برای خاک نشان می دهد که تقریباً بطور میانگین ۶۹/۵۶ درصد گمانه ها روانگرا و ۳۰/۴۴ درصد گمانه ها غیر روانگرا برآورد شدند (جدول ۸).

نتایج حاصل از ارزیابی روانگرایی لایه ها با استفاده از روش سرعت موج برشی (Vs) به صورت زیر است: الف) ۴۶ لوگ گمانه تحت بررسی شامل ۲۹۸ لایه بوده که ۸۹ لایه لای، ۱۶۸ لایه ماسه و ۴۱ لایه شن بوده است. نتایج برآورد پتانسیل روانگرایی با کاربرد ۵ رابطه تجربی جدول ۳ در دو حالت خاک با سمنتاسیون و بدون سمنتاسیون در عمق های مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. ب) میانگین شاخص پتانسیل روانگرایی (PL) در گستره مورد مطالعه برای ۴۶ لوگ گمانه با استفاده از روش اندازه گیری سرعت موج برشی با کاربرد ۵ رابطه تجربی و با دو

جدول ۶- نتایج ارزیابی پتانسیل روانگرایی در اعماق مختلف از روش سرعت موج برشی (VS) و با استفاده از ۵ رابطه تجربی در دو حالت خاک با سمنتاسیون و بدون سمنتاسیون

شماره معادله	شرایط توده خاک	تعداد کل لایه‌ها	روانگرا	غیر روانگرا	لای	شن	ماسه
معادله (۱)	با سمنتاسیون	۲۹۸	۱۸۸	۱۱۰	۴۸	۶	۱۳۴
معادله (۲)	با سمنتاسیون	۲۹۸	۲۱۶	۸۲	۶۷	۳	۱۴۶
معادله (۳)	با سمنتاسیون	۲۹۸	۱۷۰	۱۲۸	۳۱	۷	۱۳۲
معادله (۴)	با سمنتاسیون	۲۹۸	۲۰۴	۹۴	۶۱	۵	۱۳۸
معادله (۵)	با سمنتاسیون	۲۹۸	۲۱۲	۸۶	۶۸	۴	۱۴۰
میانگین ۵ معادله	با سمنتاسیون	۲۹۸	۱۹۸	۱۰۰	۵۵	۵	۱۳۸
درصد	با سمنتاسیون	۲۹۸	۶۶/۴۴	۳۳/۵۶	۲۸	۳	۶۹
معادله (۱)	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۱۹۶	۱۰۲	۵۳	۷	۱۳۶
معادله (۲)	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۲۲۰	۷۸	۶۱	۹	۱۵۰
معادله (۳)	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۱۸۶	۱۱۲	۴۸	۶	۱۳۲
معادله (۴)	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۲۱۲	۸۶	۵۸	۶	۱۴۸
معادله (۵)	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۲۱۶	۸۲	۶۰	۷	۱۴۹
میانگین ۵ معادله	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۲۰۶	۹۲	۵۶	۷	۱۴۳
درصد	بدون سمنتاسیون	۲۹۸	۶۹/۱۲	۳۰/۸۸	۲۷/۱۸	۳/۴۰	۶۹/۴۲

جدول ۷- میانگین شاخص پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی با کاربرد ۵ معادله تجربی و با فرض خاک بدون سمنتاسیون و با سمنتاسیون

شاخص پتانسیل روانگرایی		PL = 0	۰ < PL < ۵	5 < PL < 15	PL > 15
میانگین ۵ معادله	بدون سمنتاسیون	۴	۷	۱۹	۱۶
	با سمنتاسیون	۶	۱۲	۱۸	۱۰
درصد	بدون سمنتاسیون	۸/۷	۱۵/۲	۴۱/۳	۳۴/۸
	با سمنتاسیون	۱۳/۰۵	۲۶/۰۸	۳۹/۱۳	۲۱/۷۴

جدول ۸- تعداد گمانه‌های روانگرا و غیر روانگرا بر اساس سرعت موج برشی (Vs)

تعداد گمانه‌های بررسی شده	شرایط خاک	تعداد گمانه‌های روانگرا	تعداد گمانه‌های غیر روانگرا
۴۶	بدون سمنتاسیون	۳۵	۱۱
	درصد	۷۶/۰۹	۲۳/۹۱
	با سمنتاسیون	۲۸	۱۸
	درصد	۶۰/۸۷	۳۹/۱۳

[3] Andrus, R. D., Stokoe, K. H. and Chung, R. M. (1999), " Draft Guidelines for Evaluating Liquefaction Resistance Using Shear Wave Velocity Measurements and Simplified Procedures", National Institute of Standards and Technology (NIST).

[4] Brunet, M., Korotaev, M. V., Ershov, A. V., and Nikishin, A. M., 2003. The South Caspian Basin: A review of its evolution from subsidence modeling, *Sediment. Geol.* 156(1-4), 119-148, doi:10.1016/S0037-0738(02)00285-3.

[5] Berberian, M. and Yeats, R. S., 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 120-139.

[6] Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. and Bergman, E. (2007). The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: over thrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of blique convergence and the seismic hazard of Tehran, *Geophys J. Int.*, 170, 249-261.

[7] Berberian, M. (1976), Generalized Fault Map of Iran, Scale 1:5000000, Geological Survey of Iran.

[۸] آقاباتی، ع. ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ ص.

[۹] عسکری، ف؛ دبیری، ر؛ کشاورز بخشایش، م، " ارزیابی

پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی "

پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال ۶ شماره

(۱۹)، بهار ۱۳۸۲، ص ۳۲-۲۴.

[۱۰] عسکری، ف؛ دبیری، ر؛ کشاورز بخشایش، م، " مقایسه ارزیابی

پتانسیل روانگرایی با روش‌های مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) و اندازه-

گیری سرعت موج برشی (Vs) در جنوب تهران، " مجله زلزله‌شناسی

و مهندسی زلزله، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۵، ص ۱۰۳-۹۵.

[۱۱] شفیعی، ع؛ عسکری، ف؛ دبیری، ر، " تعیین رابطه بین مقاومت

روانگرایی مخلوط‌های ماسه-لاهی و سرعت موج برشی (Vs) بر پایه

مطالعات آزمایشگاهی، " سومین کنگره ملی مهندسی عمران،

اردیبهشت ۱۳۸۶، ص ۲۵۰-۲۴۲.

[۱۲] شفیعی، ع؛ عسکری، ف؛ دبیری، ر، " بررسی آیین‌نامه اتحادیه

اروپا (Eurocode 8) در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها در جنوب

شرق تهران، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال ۱۱، شماره

۳، پاییز ۱۳۸۷، ص ۲۵-۱۶.

[۱۳] عادل، ف؛ دبیری، ر؛ حاجیلوی بناب، م، " مقایسه ارزیابی

پتانسیل روانگرایی با روش‌های آزمون مقاومت نفوذ مخروط (CPT) و

سرعت موج برشی (Vs) بر اساس روابط تجربی در جنوب تهران، "

مجله سازه‌های آبی، سال سوم، شماره ۵، ص ۴۶-۳۶.

[14] Khalili Noutash, M., Dabiri, R., Hajilalilue Bonab, M. (2012), " Evaluating the Liquefaction Potential of Soil in the South and Southeast of Tehran based on the Shear Wave Velocity through Empirical Relationship", *Journal of Structure Engineering and Geotechnics*, 2(1), pp, 29-41.

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

روانگرایی خاک آسیب‌های بزرگی به ساختمانهای بنا نهاده شده بر خاک وارد می‌کند. در این مطالعه با استفاده از روش سرعت موج برشی (VS)، پتانسیل روانگرایی گستره چالوس و نوشهر در اثر وقوع زلزله در دو حالت خاک با شرایط سیمانی و بدون شرایط سیمانی با استفاده از اطلاعات حفاری ۴۶ گمانه که مشتمل بر ۲۹۸ لایه می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور برای محاسبه سرعت موج برشی، از روابط تجربی بین عدد نفوذ استاندارد (N) و سرعت موج برشی استفاده شد.

محاسبات انجام شده بر روی گمانه‌ها با استفاده از سرعت موج برشی (VS)، با به کار بردن روابط تجربی (جدول ۲) و با فرض حالت با سمتاسیون برای خاک نشان می‌دهد که تقریباً ۶۰/۸۷ درصد گمانه‌ها تحت بررسی، روانگرا ارزیابی شده و ۳۹/۱۳ درصد گمانه‌ها به صورت غیر روانگرا می‌باشند و با فرض شرایط سمتاسیون، تقریباً ۷۶ درصد گمانه‌های تحت بررسی روانگرا و ۲۳/۹ درصد گمانه‌ها غیر روانگرا ارزیابی شدند. همچنین نتایج محاسبات با فرض دوحالت با سمتاسیون و بدون سمتاسیون برای خاک نشان می‌دهد که تقریباً به طور متوسط ۶۷/۷۸ درصد کل لایه‌ها روانگرا ارزیابی شده و ۳۲/۲۲ درصد لایه‌ها غیر روانگرا هستند.

با توجه به توزیع گمانه‌های مورد ارزیابی که در قسمت رسوبی گستره مورد مطالعه با سن کمتر از ۱۰۰۰۰ سال قرار دارند. جواب‌های با فرض بدون سمتاسیون مورد قبول می‌باشند و از ۳۵ گمانه دارای پتانسیل روانگرایی، سه گمانه در منطقه چالوس که دو تا در رادیو دریا و دیگری در نمک‌آبرود واقع است. بقیه در گستره نوشهر قرار دارند. همچنین با توجه به مقادیر شاخص پتانسیل روانگرایی بدست آمده در گستره مورد مطالعه بر اساس روش سرعت موج برشی با فرض بدون سمتاسیون خاک، با کاربرد ۵ رابطه تجربی، مشاهده می‌شود که ۸/۷ درصد گستره مورد مطالعه در محدوده  $PL = 0$ ،  $PL < 5$ ،  $PL < 15$ ،  $PL < 34/8$  و  $PL > 15$  قرار دارند. نظر به این که عمق سطح ایستایی یک پارامتر مهم در روانگرایی خاک یک منطقه می‌باشد، در گستره مطالعه با توجه به نزدیکی به دریا بخصوص در نقاط مجاور دریا به دلیل بالا بودن سطح ایستایی احتمال روانگرایی بالا می‌رود. نتایج نیز مبین آن هستند که خطر روانگرایی در چالوس و نوشهر بالا است.

## مراجع

[1] Mirzaei, N., Mengtan, G. and Yuntai, C. (1998), "Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces", *Journal of Earthquake. Predication. Research*, 7, 465- 495.

[2] معماریان، ح، ۱۳۸۷، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، دانشگاه تهران، تهران.

- [24] Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H., 1982, "Microzonation for soil liquefaction Potential using simplified methods", Proceedings of the Third International Earthquake Microzonation Conference, Seattle. Pp.1319-1330.
- [25] 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.F. and Faris, A. (2003), "Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework", Technical Report No. EERC 2003-6, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 72 pp.
- [26] Seed, R. B. and Idriss, I. M. (1981), "Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes", ASCE National Convention, Missouri, pp, 81-544.
- [27] Hanumantharao, C. and Ramana, G. V. (2008), " Dynamics soil properties for microzonation of Dehli, India", J. Earth Syst. Sci. 117(S2):719-730.
- [28] Ohba, S. and Toriumi, I. (1970), "Dynamic response characteristic of Osaka Plain", In: Proceeding pf the annual meeting, AIJ. (in Japanese).
- [29] Imai, T. (1977), "P and S wave velocities of the ground in the Japan", Proc IX. IntConf Soil Mech Found Eng, 2:127-132.
- [28] Jafari, M. K., Shafiee, A. and Razmkhah, A. (2002), "Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran", Soil Dyn Earth Eng. 4(1):23-35.
- [29] Andrus, R. D., Stokoe, K, H., II. (1997), "liquefaction resistance Based on share wave velocity," NCEER Workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, Technical Report NCEER-97-0022, T.L Youd and I.M. Idriss, eds., held 4-5 january 1996, salt lake city , UT, national center for earthquake engineering research, Buffalo, NY, pp.89-128.
- [۱۵] نیرومند، ع؛ دبیری، ر؛ برادر رضی‌زاده، ف، "مقایسه ارزیابی پتانسیل روانگرایی در لایه‌های خاکی حاشیه جنوب‌غربی شهرستان اهر بر اساس مقاومت نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال ۱۹، شماره اول، ۱۳۹۵، ص ۱۵-۱.
- [۱۶] اوشنویه، د و دبیری، ر، " مقایسه روش‌های مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) و سرعت موج برشی (Vs) در تعیین خطر روانگرایی در امتداد خط ۲ متروی تبریز"، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۱۳۹۷، جلد ۱۲، شماره ۲، ص ۲۱۲-۱۸۳.
- [17] Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971), "Simplified procedure for Evaluating soil Liquefaction potential", Journal of the soil Mechanics and foundations Division, ASCE, Vol. 97, SM9, pp.1249-1273.
- [۱۸] علیزاده، ف، ۱۳۹۶، " ارزیابی قطعی خطر لرزه‌ای در بندر نوشهر با استفاده از سیستم فازی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر.
- [19] Youd, L., Idriss, I. M. (2001), "Liquefaction resistance of soils: Summury report from the 1996 and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils", journal of geotechnical and geoenvironmental, ASCE, pp.297-313.
- [20] 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." Proc., Second International Conference on Microzonation for Safer Construction – Research and Application. San Francisco, California, Nov 26 – Dec 1, 885-896.
- [۲۱] دبیری، ر، (۱۳۸۲)، " ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- [22] Hwang, H. and Lee, C. C., 1992, " Evaluation of liquefaction potential in Memphis area, USA. Earthquake Engineering, Tenth World Conference , Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 060 5.
- [23] Idriss, I. M., 1999, " An Update of the Seed-Idriss Simplified Procedure for Evaluation Liquefaction Potential", Presentation Notes for Transportation Research Board Workshop on New Approaches to Liquefaction Analysis, Held 10 Jan. 1999, Washington D.c.

## Potential of Soil Liquefaction Assessment in Chalus and Nowshahr Region during an Earthquake using Shear Wave Velocity (Vs) Method

Samid Alizadeh

Master of Geotechnical, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University,  
Nowshahr Branch, Nowshahr, Iran

Narges Afsari\*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University,  
Nowshahr Branch, Nowshahr, Iran

### Abstract:

Liquefaction is one of the most common ground deformation effects of earthquakes often a major cause of damage and destruction to buildings and infrastructures. The area on the study (Chalus and Nowshahr region) is located on the coastal strip of Caspian Sea, on the loose alluvial material which has been hit by numerous earthquakes throughout history. In this study, the shear wave velocity (Vs) method has been used with five experimental relationships to evaluate the soil liquefaction potential of Chalus and Nowshahr region under the assumption of non-cementation and cementation conditions. Due to the distribution of boreholes evaluated in the sediment section of the area which is less than 10,000 years old, solutions with non-cemented conditions are acceptable. Analyses have shown that among 46 borehole loops, 35 boreholes are prone to liquefaction, which most of them are located in the region of Nowshahr. Considering the values of the liquefaction potential index obtained, based on the shear wave velocity method, in non-cementation conditions, 8.7% of area is  $PL = 0$ , 15.2%, in the range of  $5 > PL > 0$ , 41.3% in the range of  $15 > PL > 5$  and 34.8% in the range of  $15 < PL$ . Due to the fact that the surface depth is an important parameter in soil lubricity, and the high level of the station, considering the high potential of seismicity of the area as well, the likelihood of liquefaction increases.

**Keywords:** Liquefaction, Water table, Shear wave velocity, Cyclic Shear Resistance