



هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران

دانشگاه صنعتی شهرورد، شهریور ۱۳۹۰



## ارزیابی مشخصات دینامیکی خاک در مسیر تونل انرژی رضایی - عباسپور

### شهر مشهد

ناهید وطن پور

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، مشهد

محمد غفوری، غلامرضا لشکری پور

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، مشهد

احمد باقرپور مقدم

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، مشهد

### چکیده

پروژه احداث تونل انرژی رضایی - عباسپور به طول ۱۵۰۰ متر در سال ۱۳۸۸ در شهر مشهد به منظور آزادسازی فضای سطحی زمین جهت ساخت و ساز و برقراری ارتباط بین دو پست موجود در منطقه برای تأمین برق مناطق مسکونی و تجاری ناحیه آغاز گردیده است. بدیهی است که تحلیل دینامیکی یک سازه از مهمترین عوامل در شناخت کامل وضعیت قرارگیری لایه‌های زیرسطحی و تعیین مشخصات دینامیکی آنها محسوب می‌شود. در این مقاله به منظور تکمیل اطلاعات ژئوتکنیکی بدست آمده از حفاری‌ها و شناخت نوع زمین از نظر مهندسی زلزله و همچنین لزوم ارزیابی پارامترهای دینامیکی لایه‌های خاک، آزمایشات لرزه‌ای درون گمانه‌ای با استفاده از امواج برشی و تراکمی صورت پذیرفته است. همچنین با دردست داشتن کمیت‌هایی نظیر سرعت امواج برشی و طولی و داشتن اطلاعاتی از دانسیته، پارامترهای مدول الاستیسیته، مدول برشی و نسبت پواسون محاسبه شده و بر اساس داده‌های بدست آمده چند لایه در خاک زیرسطحی شناسایی گردیده است که شناخت آن برای طراحی سازه ضروری می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آزمون لرزه‌ای، سرعت موج، پارامترهای دینامیکی، تونل انرژی

## Geodynamical evaluation of Rezaei- Abbaspour energy tunnel in Mashhad city

Nahid Vatanpour

Ferdowsi university of mashhad, science department, Mashhad

Mohammad Ghafoori, Gholamreza Lashkaripour

Ferdowsi university of mashhad, science department, Mashhad

Ahmad Bagherpour Moghaddam

Ferdowsi university of mashhad, science department, Mashhad

**Abstract:** Underground integrated urban energy tunnels are preferable approach instead other methods due to economical, safety and accessibility issues. In order to connect tow power stations, Rezaei and Abbaspour square, and gratifying the electricity power needed for residential and commercial area of Mashhad city, the Rezaei-Abbaspour energy tunnel with 1500 meter length have began to construct. Regarding to safety concerns and determination of dynamic characters of a building instrument, analysis of the dynamic characters are necessary. In this paper, we used intra-borehole seismic assays with shear and compressional waves, in order to complete

geotechnical view obtained from excavations and dynamically evaluation of project area's soil layers by seismological engineering approach. Also poisson ratio, elastic and shear module were calculated by observed quantities such as velocity of slicing and longitude waves and soil density. Data analysis lead to determin of different layers at the underground soil and it is critical for construction of building instrument.

**Keywords:** seismic assay, wave velocity, dynamic parameters, energy tunnel

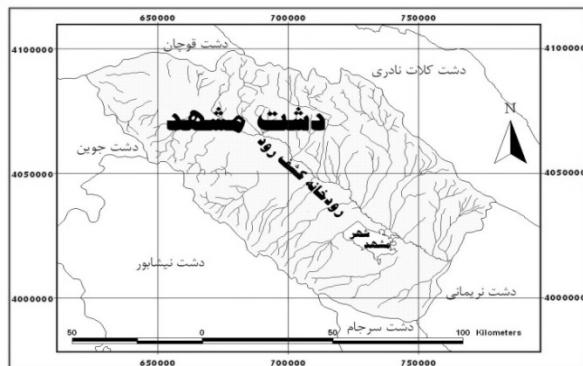
## ۱ مقدمه

در اغلب شهرها تقریباً تمام فضای زیرزمینی شهری در عمق حدود ۲ متری با تجهیزات خدمات شهری پر شده است. بدین منظور استفاده از تونل انرژی جهت آزاد سازی فضا مفید می‌باشد. تونل انرژی مسیری زیرزمینی جهت استقرار و عبور تأسیسات شهری نظیر آب، برق، گاز، مخابرات و غیره بوده و در حقیقت سازه‌ای جهت تجمعیع خدمات شهری در فضایی با دسترسی آسان در هر نقطه از مسیر می‌باشد. از این‌رو در هنگام طراحی و ساخت این تأسیسات طبقه بندی پروفیل خاک و ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی خاک از اهمیت بالای برخوردار می‌باشد، طبقه بندی پروفیل خاک به روش لرزه‌ای، در تعیین مقاومت فشاری خاک [Williams, 2003], Boore and Thompson, (2007), ASTM D7400, (2008) و به تبع آن پارامترهای مدول یانگ، مدول برشی، مدول بالک و نسبت پواسون [ISRM, 1988], ASTM D7400, (2008) ای زمین در نزدیک سطح (اثر سایت بر جنبش زمین) [Boore and Thompson, (2007)] کاربرد دارد. از سوی دیگر این پارامترها در کارهای مهندسی از اهمیت و کاربرد وسیعی برخوردار هستند [Williams, 2003]. پروژه مسیر تونل شبکه کابلی رضایی- عباسپور شهر مشهد در ابتدای بلوار سرخس واقع در شرق شهر مشهد و به طول ۱۵۰۰ متر و ابعاد ۲ متر در ۲ متر و فاصله عمودی ۱۰ متری کف تونل از سطح زمین در حال احداث می‌باشد. جهت تعیین وضعیت خاک در محل ساختگاه این تونل تعداد شش گمانه ماشینی و یک حلقه گمانه دستی حفاری گردیده است که دو گمانه پس از لوله گذاری و پرکردن اطراف لوله بوسیله ماسه، آماده آزمایش لرزه نگاری شدند. در این عملیات مطالعات لرزه نگاری موج تراکمی و برشی به روش سطح به عمق Downhole تا عمق ۳۰ متری به فواصل ۲ متر برداشت و تفسیر گردیده است. در این مقاله به نتایج حاصله از این آزمون پرداخته و لایه‌های مختلف خاک مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲ جغرافیا و زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

محل پروژه به لحاظ جغرافیایی در استان خراسان رضوی و در دشت مشهد قرار دارد (شکل ۱). محدوده پلیت مشهد در شمال شرقی ایران و در حد فاصل کوههای بینالود و هزار مسجد، با امتداد شمال غرب و جنوب شرق واقع شده است. در این گستره، بلندترین نقطه ۱۷۳۰ متر و پست ترین آن ۸۰۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این منطقه در حوضه آبریز قره قوم قرار دارد و معروف ترین رودخانه‌های اطراف پروژه شامل رودخانه‌های طرق و کشف رود می‌باشد. همچنین مهمترین کوههای اطراف پروژه رشته کوههای بینالود و هزارمسجد است.

به طور کلی شهر مشهد بر روی رسوبات و مخروط افکنه حاصل از کشف رود و چند رودخانه فصلی و دائمی مانند وکیل آباد، طرق به، عارفی و راد کان قرار دارد. همچنین مهمترین عامل در تشکیل رسوبات شهر مشهد رودخانه های فرعی انشعاب یافته از ارتفاعات جنوبی شهر هستند که غالباً از جنس شیست و فیلیت می باشند و رسوبات سیلابی دشت مشهد را ایجاد نموده اند [غفوری و همکاران (۱۳۸۴)].



شکل ۱ - موقعیت شهر مشهد در حوضه آبریز کشف رود و دشت مشهد

### ۳ بررسی شرایط ژئوتکنیکی منطقه

برای بررسی پارامترهای ژئوتکنیک منطقه، تعداد ۶ حلقه گمانه ماشینی به اعماق ۲۵ و ۳۰ متری و یک حلقه گمانه دستی به عمق ۲۵ متری از تراز سطح خیابان حفر گردیده است. با توجه به اینکه اطلاعات حاصل از گمانه های ژئوتکنیکی واقع در یک راستای معین، اطلاعات مربوط به اعماق مختلف را در اختیار ما قرار خواهد داد، مطالعات جامعی بر روی گمانه های حفر شده در مسیر این تونل انجام پذیرفته است (جدول ۱). علاوه بر انجام آزمایش های لازم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک ها، آزمون لرزه ای درون گمانه ای به جهت بررسی خصوصیات دینامیکی خاک ها انجام گرفته است [پی کاوان شرق (۱۳۸۸)].

با توجه به اطلاعات حاصل از گمانه ها پروفیل زیرسطحی از مسیر پروژه رسم گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است همانطور که در این پروفیل مشاهده می شود بخش اعظم خاک ها در طول مسیر از نوع سیلت و رس با پلاستیسیتهای پایین تا متوسط می باشند.

### ۴ آزمایش های لرزه ای درون گمانه ای

#### ۱-۱ تئوری روش های لرزه ای

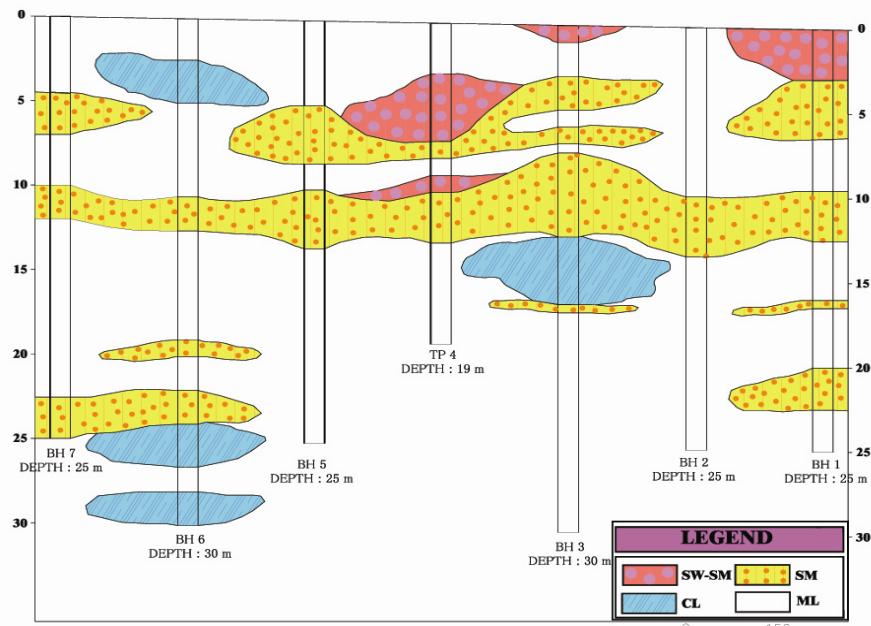
روشهای لرزه ای بر مبنای انتشار امواج مکانیکی در یک محیط الاستیک استوار هستند. موج تولید شده توسط چشمی لرزه ای (نظیر ضربه چکش) به گیرنده امواج (ژئوفون) می رسد و سپس توسط دستگاه لرزه نگار تقویت و ثبت می شود[ISRM (1988)]. به این ترتیب با داشتن زمان انتشار موج و فاصله ای بین منبع انتشار موج ای و گیرنده موج، سرعت موج لرزه ای تعیین می گردد و بر اساس سرعت موج تعیین شده پروفیل خاک یا سنگ طبقه بندی می شود[Williams, (2003), ASTM D7400, (2008), ISRM, (1988)]. چون در

روشهای لرزه‌ای امواج به صورت تقریباً مستقیم از چشم به گیرنده می‌رسند بنابراین از دقت بیشتری نسبت به روش‌های سطحی برخوردار هستند [ASTM D7400, (2008)]. سرعت موج برشی را می‌توان از طریق روش‌هایی مثل انعکاس/انعکاس لرزه‌ای سطحی (surface seismic reflection/refraction)، آنالیز طیفی موج سطحی (wave spectral analysis of surface)، روش لرزه‌ای درون گمانه‌ای تعیین کرد [Boore and Thompson, (2007), Williams, (2003)] .

جدول ۱- اطلاعات کلی گمانه‌های حفر شده در طول مسیر

طبقه‌بندی یونیفاید	جنس کلی خاک	شماره گمانه
SM	ماسه سیلتی	BH1
CL- ML	سیلت رسی به همراه ماسه	BH2
ML	سیلت	BH3
SW-SM	ماسه خوب دانه‌بندی شده به همراه سیلت و گراول	TP4
SM / ML	ماسه سیلتی - سیلت همراه با ماسه	BH5
ML / CL	سیلت و رس سفت	BH6
ML / SM	سیلت به همراه ماسه	BH7

پروفیل لایه‌های خاک پژوهه تونل انرژی مسیر رضایی - عباسپور



شکل ۲- پروفیل لایه‌های خاک در مسیر تونل رضایی - عباسپور

## ۲-۴ روش سطح به عمق (Down hole)

در این روش با استفاده از یک چشم‌لرزه زا (انفجار یا ضربه چکش) در یک نقطه‌ی مشخص در سطح زمین، موج لرزه‌ای P یا S و یا هر دو موج تولید شده و امواج لرزه‌ای توسط گیرنده امواج در داخل گمانه دریافت می‌شوند [ISRM, (1988), ASTM D7400 (2008)]. برای شروع آزمایش در مرحله اول، گیرنده امواج در داخل گمانه و در سطح زمین در عمق مشخصی نصب شده و امواج لرزه‌ای دریافت می‌شوند و سپس در مرحله دوم با توجه به شرایط و اهداف پروژه گیرنده به عمق پایین تر انتقال یافته و با تکرار آزمایش به روش بالا امواج لرزه‌ای دوباره دریافت می‌گردد. با تکرار این فرایند در نهایت به عمق نهایی مورد نظر می‌رسیم [ASTM D7400, (2008)]. به این ترتیب زمان عبور موج بین منبع و گیرنده ثبت می‌شود و سپس با استفاده از زمان عبور موج، سرعت موج لرزه‌ای تعیین می‌گردد. در نهایت با استفاده از سرعت موج لرزه‌ای تعیین شده، ویژگی‌های یک پروفیل مشخص (در خاک یا سنگ) قابل ارزیابی خواهد بود [ASTM D7400, (2008), ISRM, (1988)].

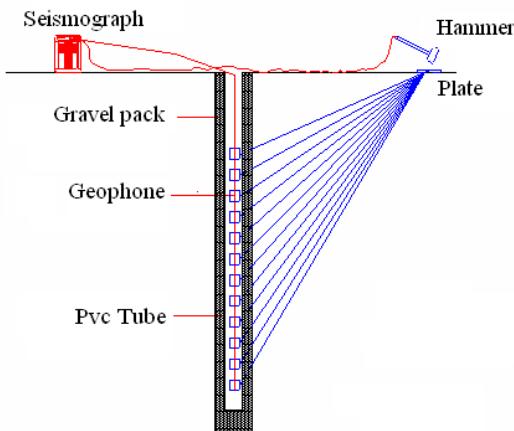
در زمان اجرای آزمون باید به نکات ذیل توجه گردد:

- I. اگر بخواهیم از هر دو موج P و S استفاده کنیم بهتر است یک بار آزمایش را با موج P و بار دیگر با موج S انجام دهیم.
- II. برخی موقع برای آزمون از یک گیرنده لرزه‌ای استفاده شده و گاهی از دو گیرنده لرزه‌ای بهره گرفته خواهد شد. زمانی که از دو گیرنده استفاده می‌شود این دو گیرنده بایستی در دو عمق مختلف نصب شده و یا گیرنده بین دو عمق مشخص در حرکت باشد.
- III. بهتر است که در هر مرحله، آزمایش سه تا پنج بار تکرار شود تا بهترین نتیجه حاصل شود در این روش امواج لرزه‌ای بصورت خط مستقیم حرکت می‌کنند.
- IV. در مواردی که تغییر ناگهانی در چگالی یا وزن مخصوص سنگ یا خاک رخ می‌دهد، امواج لرزه‌ای ممکن است بصورت یک خط مستقیم حرکت نکنند، در این حالت باید از قانون Snell استفاده کرد [ASTM D7400, (2008)].

از آنجا که سرعت موج لرزه‌ای (موج P و S) مستقیماً با ثابت‌های الاستیکی نسبت پواسان، مدول یانگ، مدول برشی و مدول بالک در ارتباط است، بنابراین تهیه پروفیل صحرایی دقیق سرعت موج P و S در کارهای ژئوتکنیکی ضروری می‌باشد [ISRM, (1988), ASTM D7400, (2008)].

از این پارامترها در جایی که ثابت‌های الاستیکی متغیرهای ورودی مدل‌های تعیین کننده برای حالات مختلف تغییر شکل پذیری مثل الاستیک، الاستو – پلاستیک و شکننده هستند، برای آنالیز رفتار خاک در زیر بارهای استاتیکی و دینامیکی استفاده می‌شوند [موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۴)] دیگر Boore and کاربرد مهم تعیین سرعت موج برشی در کارهای ژئوتکنیکی ارزیابی روانگرایی خاک می‌باشد [Thompson, (2007), Williams, (2003), ASTM D7400, (2008)]. در جاهایی که خصوصیات خاک به خوبی شناخته نشده، می‌توان بر اساس سرعت موج برشی تعیین شده خاک را برای طراحی‌های لرزه‌ای طبقه‌بندی نمود [Building Seismic Safety Council (2003), Boore and Thompson, (2007)]. همچنین تهیه پروفیل خاک برای تعیین مقاومت فشاری خاک نیز کاربرد دارد. از این روش در محلهایی که نویه (Noise) وجود دارد،

استفاده می‌شود، زیرا با رفتن گیرنده به عمق از دامنه نوفه دریافتی توسط آن کاسته شده و بر کیفیت نگاشتها افزوده می‌شود [Williams, (۲۰۰۳)]. در شکل (۳) شمایی از انجام عملیات لرزه‌ای سطح به عمق نشان داده شده است.



شکل ۳- شمایی از انجام عملیات لرزه‌ای سطح به عمق

## ۵ نتایج مطالعات لرزه‌ای

آزمایشات لرزه‌ای به روش سطح به عمق یا DownHole در دو گمانه BH3 و BH6 و با استفاده از وسایل و تجهیزات ذیل انجام شده است:

- الف - دستگاه لرزه‌نگار 24 ABEM RAS
- ب - ژئوفونهای سه مولفه‌ای درون گمانه‌ای
- ج- پتک، الوار و ورق برای تولید امواج تراکمی و برشی
- د- رایانه همراه

برای تعیین سرعت امواج تراکمی، چشمیه لرزه‌ای موج P (ضربه قائم پتک بر روی ورق مخصوص) در فاصله ۲/۵ متری از دهانه گمانه قرار داده شده و گیرنده امواج (ژئوفون درون گمانه ای) تمام عمق مفید گمانه را از سطح تا عمق مورد نظر جاروب می‌کند. مختصات محلی گمانه‌هایی که در آن آزمایش‌های لرزه نگاری درون گمانه‌ای انجام شده است در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): مختصات محلی گمانه‌ها لرزه نگاری درون گمانه‌ای

Z (m)	X (m)	Y (m)	عمق (m)	شماره گمانه	ردیف
۹۶۳	۷۳۷۹۱۴	۴۰۱۷۵۴۴	۳۰	BH3	۱
۹۶۴	۷۳۷۷۴۰۱	۴۰۱۷۷۸۲	۳۰	BH6	۲

برای تعیین سرعت امواج برشی، چشمی لرزه‌ای موج S (ضربه افقی پتک بر ورق فلزی) در فاصله ۳ متری از دهانه گمانه قرار داده شده و گیرنده امواج (ژئوفون درون گمانه‌ای) تمام عمق مفید گمانه از سطح تا عمق مورد نظر را جاروب کرده است. در ادامه نتایج آزمایشات لرزه‌ای انجام شده در گمانه‌های مختلف ارائه گردیده است.

#### ۵-۱ نتایج آزمایشات لرزه‌ای در گمانه BH3

در شکلهای (۴) و (۵) نمونه‌هایی از نگاشتهای امواج تراکمی و برشی ثبت شده در این گمانه ارائه شده است. در جدول (۴) مشخصات سرعت امواج تراکمی و برشی بدست آمده از آزمایش لرزه‌ای در گمانه BH3 ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده چند لایه فیزیکی بر اساس تغییرات سرعت امواج لرزه‌ای قابل تفکیک است. به طور کلی می‌توان گفت که در مصالح تشکیل دهنده با افزایش عمق، دانسیته افزایش یافته و در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای نیز افزایش می‌یابد. مدول یانگ (E) و مدول برشی (G) خاک و نسبت پواسون لایه‌های مختلف محاسبه و در جدول (۳) نشان داده شده است.

#### ۵-۲ نتایج آزمایشات لرزه‌ای در گمانه BH6

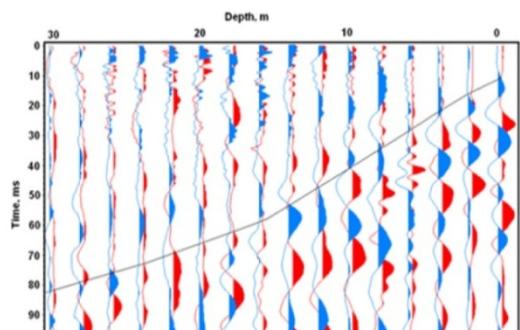
نمونه‌هایی از نگاشتهای امواج تراکمی و برشی ثبت شده در این گمانه، در شکلهای (۷) و (۶) ارائه شده است. در جدول (۴) مشخصات سرعت امواج تراکمی و برشی بدست آمده از آزمایش لرزه‌ای در گمانه BH6 ارائه شده است. نتایج بدست آمده بر اساس تغییرات میزان سرعت در امواج لرزه‌ای نمایانگر وجود چند لایه فیزیکی متمایز می‌باشد. همچنین دانسیته‌ی مصالح تشکیل دهنده با افزایش عمق افزایش نشان می‌دهد که در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای را به دنبال خواهد داشت.

جدول (۳): سرعت امواج تراکمی و برشی و پارامترهای دینامیکی آزمایشات لرزه‌ای در گمانه BH3

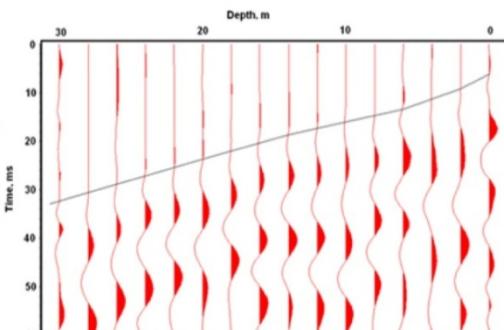
ضریب پواسون	مدول بالک	مدول برشی	مدول یانگ	مدول	S	سرعت موج	P	چگالی	عمق
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	m/sec	m/sec	gr/cm3	M	
0.47	2250	133	392	280	280	1195	1.7	0-1	
0.45	794	85	245	220	220	720	1.75	1-2	
0.48	2611	93	274	230	230	1250	1.75	2-4	
0.49	3588	108	321	245	245	1440	1.8	4-6	
0.49	4912	126	376	265	265	1680	1.8	6-8	
0.49	5472	145	431	280	280	1750	1.85	8-10	
0.49	5727	150	447	285	285	1790	1.85	10-12	
0.48	5364	178	528	310	310	1740	1.85	12-14	
0.48	5232	195	577	320	320	1700	1.9	14-16	
0.47	4726	335	982	420	420	1650	1.9	16-18	
0.43	3477	514	1469	520	520	1480	1.9	18-20	
0.43	3651	554	1582	540	540	1520	1.9	20-22	
0.45	5052	575	1661	550	550	1750	1.9	22-24	
0.44	5916	707	2040	610	610	1900	1.9	24-26	
0.44	6267	719	2077	615	615	1950	1.9	26-30	

جدول (۴): سرعت امواج تراکمی و برشی و پارامترهای دینامیکی آزمایشات لرزه‌ای در گمانه BH6

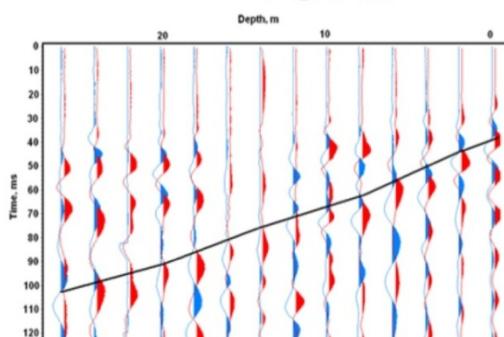
ضریب پواسون	مدول بالک	مدول برشی	مدول یانگ	سرعت S موج	سرعت P موج	چگالی	عمق
	Mpa	Mpa	Mpa	m/sec	m/sec	gr/cm3	M
0.45	193	21	60	110	360	1.7	0-1
0.43	227	34	98	140	395	1.75	1-2
0.45	403	39	114	150	510	1.75	2-4
0.45	802	79	231	210	710	1.8	4-6
0.47	1835	113	331	250	1050	1.8	6-8
0.47	2905	167	490	300	1300	1.85	8-10
0.47	3261	178	524	310	1375	1.85	10-12
0.47	3281	220	646	345	1390	1.85	12-14
0.46	3339	289	843	390	1400	1.9	14-16
0.46	4159	304	890	400	1550	1.9	16-18
0.47	4612	327	959	415	1630	1.9	18-20
0.46	4684	343	1005	425	1645	1.9	20-22
0.46	4739	420	1223	470	1670	1.9	22-24
0.45	4627	504	1459	515	1670	1.9	24-28



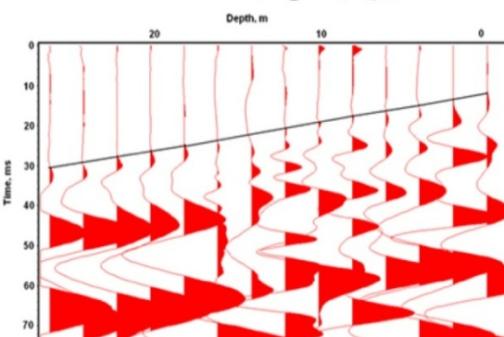
شکل (۵): نمونه‌ای از نگاشت حاصل از ثبت امواج برشی در گمانه BH3



شکل (۴): نمونه‌ای از نگاشت حاصل از ثبت امواج تراکمی در گمانه BH3



شکل (۷): نمونه‌ای از نگاشت حاصل از ثبت امواج برشی در گمانه BH3



شکل (۶): نمونه‌ای از نگاشت حاصل از ثبت امواج تراکمی در گمانه BH6

## ۶ تعیین نوع ساختگاه

در تقسیم بندی لایه های زمین با توجه به سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری، از آینین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله ایران موسوم به آئین ۲۸۰۰ است، استفاده می شود. طبقه بندی زمین بر اساس این آینین نامه در جدول (۵) ارائه شده است [موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۴)].

براساس پیشنهاد NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) Vs ساختار لایه لایه (تا حداقل ضخامت ۳۰ متر) و در جاهای که خصوصیات مواد سنگی یا خاکی بدرستی شناخته نشده است، با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود [موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۴)، Williams, Building Seismic Safety Council (2003)، Building Seismic Safety Council (2003)، (2003)].

$$V_s(M) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{v_{si}}} \quad \text{Building Seismic Safety Council (2003), Williams, Building Seismic Safety Council (2003), (2003).}$$

که در آن  $T_i$  ضخامت لایه،  $v_{si}$  سرعت امواج برشی لایه  $i$  م و  $n$  تعداد لایه می باشد [موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۴)، Building Seismic Safety Council, (2003)].

سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری در گمانه BH3 حدود ۳۵۲ متر بر ثانیه می باشد. در گمانه BH6 سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۲۸ متری حدود ۲۷۷ متر بر ثانیه محاسبه شده است. چنانچه فرض کنیم سرعت موج برشی از ۲۸ تا ۳۰ متری مانند لایه عمیق تر ۵۱۵ متر بر ثانیه باشد آنگاه سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری را می توان حدود ۳۰۷ متر بر ثانیه برآورد کرد. بنابراین ساختگاههای مورد مطالعه بر اساس آزمایش لرزه نگاری انجام شده در ردیف III قرار می گیرد.

**جدول (۵): تقسیم بندی انواع ساختگاه ها از نظر نوع خاک و سنگ بر اساس آینین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (آئین نامه ۲۸۰۰)**

ردیف ساختگاه	$V_s(30)$ m/sec	مواد تشکیل دهنده ساختگاه
I	بیشتر از ۷۵۰	الف- سنگهای آذرین (دارای بافت درشت و ریز دانه)، سنگهای رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگهای دگرگونی توده ای (گنایس - سنگهای متبلور سیلیکاته)، طبقات کنگلومراپی
	۳۷۵-۷۵۰	ب- خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی
II	۳۷۵-۷۵۰	الف- سنگهای آذرین سست (مانند توف)، سنگهای سست رسوبی و سنگهای دگرگونی متورق و به طور کلی سنگهایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده اند.
	۳۷۵-۷۵۰	ب- خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی
III	۱۷۵-۳۷۵	الف- سنگهای متلاشی شده بر اثر هوازدگی
	۱۷۵-۳۷۵	ب- خاکهای با تراکم متوسط، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه ای و رس با سختی متوسط
IV	کمتر از ۱۷۵	الف- نهشته های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیر زمینی
		ب- هر گونه پروفیل خاک که شامل حداقل ۶ متر خاک رس با اندیس خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد.

## ۷ نتیجه گیری

از آنجا که تونل های انرژی مسیری زیرزمینی جهت استقرار شریانهای اصلی شهر می باشند، بنابراین تحلیل دقیق پارامترهای ژئوتکنیکی و پاسخ لرزه ای لایه های خاک برای جلوگیری از آسیب رسیدن به این تاسیسات امری ضروری خواهد بود. در این تحقیق، پارامترهای ژئوتکنیکی و پاسخ لرزه ای لایه های خاک در مسیر تونل انرژی رضایی - عباسپور مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این رو پس از حفر گمانه های و تعیین دانه بندی خاک، با آماده سازی دو حلقه گمانه آزمایش لرزه ای Downhole در محل پروژه، سرعت موج بر بشی و تراکمی تعیین گردید. نتایج بدست آمده نشان می دهد که سرعت موج با افزایش عمق افزایش می یابد. این امر نمایانگر افزایش دانسیته خاک بالافزایش عمق است. همچنین بر اساس سرعت موج تعیین شده پارامترهای مدول یانگ، مدول بر بشی، مدول بالک و نسبت پواسان محاسبه گردید که در پروژه های مهندسی از اهمیت بالای برخوردار می باشد. سپس بر اساس سرعت موج بر بشی تعیین شده برای لایه های خاک و با استفاده از رابطه ارائه شده توسط NEHRP و آیین نامه ۲۸۰۰ سرعت موج ( $V_{s30}$ ) برای ۳۰ متر فوقانی خاک منطقه تعیین گردید. در نهایت بر اساس  $V_{s30}$  تعیین شده و جدول ارائه شده بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ لایه های خاکی ساختگاه طبقه بندی شد. براساس طبقه بندی انجام شده لایه های خاک در رده III قرار می گیرند که معرف خاکی با تراکم متوسط می باشد. در این حالت در صورتی که پی سازه پایین تراز طبیعی قرار گیرد بایستی سرعت متوسط موج بر بشی تا ۳۰ متر زیر پی محاسبه گردد.

## ۸ منابع

غفوری، محمد، لشکری پور ، غلامرضا و یوسفی، عفت، (۱۳۸۴). "بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی مسیر پروژه خط یک قطار شهری مشهد"، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۱، ۷۸۸-۸۰.

شرکت مهندسین مشاور پی کاوان شرق، (۱۳۸۸). "گزارش مطالعات ژئوتکنیک تکمیلی پروژه مسیر تونل شبکه کابلی رضایی- عباسپور "، گزارش شماره ۳.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۴). آیین نامه ۲۸۰۰، ویرایش سوم.

ASTM D7400. (2008) "Standard Test Method for Downhole Seismic Testing".

Williams, R. A. Stephenson, W. J. and Odum, J. K. (2003) "Comparison of P and S-wave velocity profiles obtained from surface seismic refraction/reflection and downhole data", Tectonophysics, 368: 71– 88.

Building Seismic Safety Council, (2003). "NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new building And other Structures (FEMA 450)": 309.

Boore, D. M. and Thompson, E. M. (2007) "On using surface-source downhole-receiver logging to determine seismic slownesses", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27: 971–985.

ISRM. (1988) "Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 25: 449-472.

Parker, H W.(2004) "Underground Space: Good for Sustainable Development, & Vice Versa", Proceedings, WTC, ITA, Singapore.

Anttikoski, U. Niini T. Ylinen, d. and Ruoppa, A. (1994) "Bedrock Resources and Their Use in Helsinki", Tunnelling and Underground Space Technology, 9 (3): 365-372.