

کاربرد روش لرزه‌نگاری مهندسی در محاسبه پارامترهای دینامیکی، مطالعه موردی: شهر امیریه

کامران مصطفائی*^۱ و حمیدرضا رمضی^۱

۱- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

نویسنده مسئول: Mostafaei@aut.ac.ir *

دریافت: ۹۳/۶/۲۳ پذیرش: ۹۴/۲/۶

چکیده

در این مقاله به بررسی کاربرد روش لرزه‌نگاری مهندسی در تعیین پارامترهای دینامیکی پرداخته شده است. منطقه مورد مطالعه شهر امیریه از توابع استان سمنان می‌باشد. تعیین پارامترهای دینامیکی از موارد اصلی و مهم در مطالعات ژئوتکنیکی می‌باشد هم‌چنین پارامترهای دینامیکی زمین‌شناسی ساختمانی، نقش مهمی در تشدید یا کاهش امواج زمین‌لرزه دارند. برای برآورد پارامترهای دینامیکی، به‌ویژه سرعت امواج برشی در شهر امیریه از ترکیب روش‌های لرزه‌نگاری مهندسی به صورت پروفیل‌های سطحی و درون چاهی استفاده شده است. در نقاطی که چاه وجود داشته، برداشت‌های درون چاهی لرزه‌نگاری انجام شده و در بقیه موارد از پروفیل‌های سطحی استفاده شده است. پس از پردازش و تفسیر نتایج به دست آمده، تعداد، ویژگی‌های هندسی و دینامیکی هر یک از لایه‌ها و وضعیت زمین‌شناسی برای ژرفاهای مختلف در محدوده شهر امیریه تعیین شده است. سرعت امواج برشی از ۱۴۰ تا ۴۰۰ متر بر ثانیه و امواج فشاری از ۲۵۰ تا ۱۲۰۰ متر بر ثانیه در لایه‌های سطحی تا عمیق‌ترین لایه متغییر است. با توجه به سرعت امواج برشی و سایر پارامترهای دینامیکی محاسبه شده، می‌توان گفت که محدوده مورد مطالعه بر روی یک آبرفت ریزدانه واقع شده است. آبرفت گفته شده دارای تراکم ضعیف در سطح بوده و در بخش‌های عمیق دارای تراکم متوسط می‌باشد. از نتایج به دست آمده از این مطالعات، می‌توان برای تعیین نوع خاک در نقاط مختلف براساس گروه‌بندی ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مطالعات ژئوتکنیکی، زلزله‌شناسی مهندسی و برآورد خطر زلزله، طراحی ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه، برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت بحران استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ژئوفیزیک مهندسی، لرزه‌نگاری سطحی، لرزه‌نگاری درون چاهی، مدول‌های دینامیکی، امیریه

۱- مقدمه

امروزه کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در مطالعات ژئوتکنیکی رو به افزایش است. این روش‌ها به منظور به‌دست آوردن اطلاعات مستقیم از کیفیت توده سنگ یا خاک و هم‌چنین سایر پارامترهای ژئوتکنیکی به‌کار می‌روند. روش‌های ژئوفیزیکی به‌طور گسترده برای کمک به حل مسائل زمین‌شناسی مهندسی به‌کار گرفته شده‌اند. اگر روش متناسب با هدف مطالعه انتخاب شود، احتمال موفقیت نتایج افزایش می‌یابد [۱۶]. روش‌های لرزه‌نگاری از تکنیک‌های قوی ژئوفیزیکی هستند که به‌طور گسترده بیش از چندین دهه در مهندسی زمین به‌کار گرفته می‌شوند و کاربردهای زیادی در زمینه ژئوتکنیک و محیط‌زیست به‌ویژه در ژرفاهای کمتر از ۴۰ متر دارند. لرزه‌نگاری، یک روش ژئوفیزیکی است که به مطالعه خواص سنگ‌ها و توده‌های خاک

می‌پردازد به‌طوری‌که از سرعت امواج لرزه‌ای خواص مکانیکی اصلی از قبیل ضریب پواسون و سایر مدول‌ها به دست می‌آید [۲۰]. واکنش خاک‌ها به سیکل بارگذاری اغلب به‌وسیله خواص مکانیکی خاک کنترل می‌شود. خواص مکانیکی همراه با بارگذاری دینامیکی شامل سرعت موج برشی (Vs)، مدول برشی (G)، نسبت میرایی (D)، و ضریب پواسون (ν) می‌باشند. نام رایج برای این نوع خواص، حتی اگر در مسائل غیر دینامیکی هم مطرح باشند "خواص دینامیکی خاک" نامیده می‌شوند [۱۴]. پارامترهای خاک مربوط به واکنش لرزه‌ای زمین شامل: چگالی، چگالی نسبی، نسبت تخلخل، نفوذپذیری، مدول‌های برشی، درجه اشباع آب و زمان بارگذاری می‌باشند [۱۷].

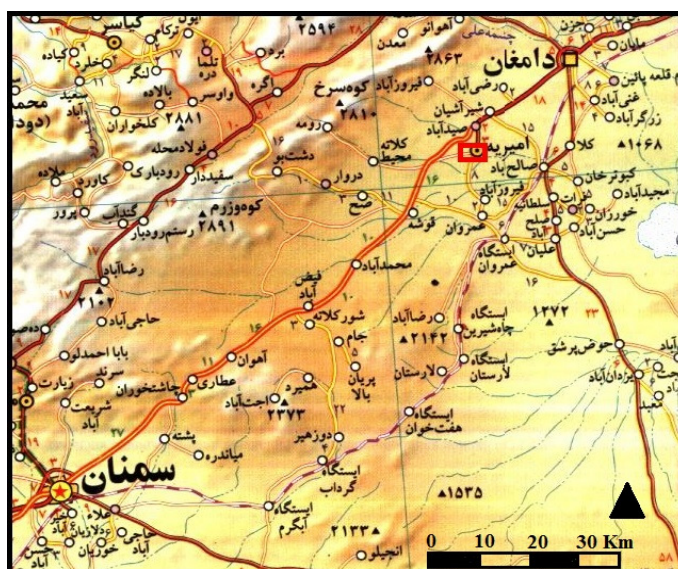
در این زمینه مطالعاتی انجام شده است که به چند نمونه از این مطالعات اشاره می‌شود. شفیع‌زاده در مطالعه‌ای با عنوان "استفاده از روش‌های غیر مخرب لرزه‌ای در برآورد ضرایب فیزیکی و مکانیکی توده سنگ‌ها با نگرشی ویژه بر منطقه ناغان" این موضوع را بررسی کرده‌است [۵]. صالحی و همکاران به برآورد نسبت پواسون با استفاده از اطلاعات لرزه‌نگاری پرداخته‌اند [۶]. رمزی و مصطفایی در مطالعه‌ای با عنوان "مطالعات لرزه‌نگاری مهندسی از دیدگاه مکانیک سنگ در مسیر راه آهن یزد-بافق" این مطلب را بررسی کرده‌اند [۴].

در سایر نقاط جهان نیز مطالعات مشابهی انجام شده، به عنوان نمونه می‌توان به مطالعات پژوهشگران زیر اشاره نمود:

لونا و جادی با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی خواص دینامیکی خاک را تعیین کرده‌اند [۱۴]. مین و کیم امکان برآورد خواص فیزیکی از جمله مدول‌های دینامیکی، ساختگاه سد را بررسی کرده‌اند [۱۵]. هانامان و رامانا با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مدول‌های دینامیکی را به دست آورده و براساس این نتایج در بخشی از دهلی (هند) ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای را انجام داده‌اند [۱۲]. هم‌چنین می‌توان به مطالعات انجام شده توسط ادو و روبرتسون [۹]، آنبازهاگان و همکاران [۱۰] و ساپیوس و همکاران [۲۰] اشاره نمود.

۲- معرفی محدوده مورد مطالعه (شهر امیریه)

شهر امیریه در ۸۵ کیلومتری شمال خاوری سمنان و ۲۰ کیلومتری جنوب باختری دامغان، در حاشیه رشته کوه البرز و در قسمت شمالی دشت کویر قرار دارد (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی می‌توان گفت که امیریه در یک دشت آبرفتی قرار گرفته و این آبرفت‌ها بسیار ریزدانه و از جنس رس هستند. براساس نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های دقیق در سطح شهر و پیرامون آن هیچ گونه رخنمونی از سنگ‌ها و یا نهشته‌های دیگر مشاهده نشد. بررسی چاه‌های دستی و داده‌های در دسترس از آن‌ها نیز نشان می‌دهد که جنس زمین از خاک رس است. از دیدگاه توپوگرافی نیز می‌توان گفت که شهر امیریه در یک دشت هموار با توپوگرافی بسیار ملایم قرار گرفته و پستی و بلندی درخور توجهی در آن دیده نمی‌شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی امیریه و راه‌های دسترسی [۹]

۳- روش‌ها

۳-۱- روش‌های لرزه‌ای

اساس روش‌های لرزه‌ای، ایجاد امواج لرزه‌ای در یک نقطه درون یا سطح زمین (چشمه لرزه‌ای) و نگاشت زمان رسیدن این امواج به دستگاه‌های گیرنده است. امواج ایجاد شده در زمین گسترش می‌یابند و ضمن گسترش از شدت آن‌ها کاسته و سرانجام میرا می‌شوند. زمان رسیدن این امواج به دستگاه‌های گیرنده تابعی از فاصله بین چشمه لرزه‌ای و گیرنده‌ها، جنس لایه‌های زمین و ضخامت آن‌ها و طرز قرار گرفتن لایه‌ها از نظر زمین‌شناسی است [۳]. روش‌های لرزه‌ای را می‌توان به سه گروه لرزه‌نگاری شکست مرزی، لرزه‌نگاری بازتابی و مطالعات ویژه لرزه‌نگاری از جمله لرزه‌نگاری درون چاهی تقسیم نمود. در بررسی‌های ساختگاهی معمولاً از روش‌های لرزه‌ای شکست مرزی و لرزه‌نگاری درون چاهی استفاده می‌شود [۴].

۳-۲- برآورد پارامترهای دینامیکی

سرعت گسترش امواج فشاری V_p و سرعت گسترش امواج برشی V_s با ضریب‌های کشسانی و چگالی دارای ارتباط می‌باشد که در روابط ۱ و ۲ نشان داده شد است [۱۸].

$$V_p = \sqrt{(K + 4/3G)\rho} \quad (۱)$$

$$V_s = \sqrt{(\mu/\rho)} \quad (۲)$$

K: مدول بالک، G: مدول برشی و ρ : جرم مخصوص

به طور کلی سرعت گسترش امواج فشاری بیش‌تر از سرعت گسترش امواج برشی است [۱۱] امواج برشی در محیط‌هایی که مدول برشی آن‌ها صفر است (مانند هوا و سیالات) انتشار نمی‌یابد و می‌توان نشان داد که نسبت V_p/V_s تنها به نسبت پواسون ارتباط دارد [۱۸]. با این اوصاف با اندازه‌گیری V_p و V_s در سنگ‌ها و خاک‌ها و با در دست داشتن جرم مخصوص آن‌ها می‌توان پارامترهای دینامیکی آن‌ها را محاسبه نمود.

با تعیین زمان رسیدن امواج فشاری و برشی به گیرنده‌ها و همچنین فاصله چشمه تا هرگیرنده، نمودارهای زمان-فاصله را رسم می‌شوند. براساس نمودارها می‌توان لایه‌ها را شناسایی و تفکیک نمود، همچنین ضخامت و سرعت گسترش امواج فشاری و برشی را برای هر لایه تعیین نمود. با داشتن چگالی لایه‌ها می‌توان پارامترهای

دینامیکی مانند نسبت پواسون، مدول یانگ، مدول بالک و مدول برشی را با استفاده از روابط ۳ و ۴ و ۵ و ۶ محاسبه کرد.

$$v = \frac{1/2 - (V_s/V_p)^2}{1 - (V_s/V_p)^2} \quad (۳)$$

$$E = 2G(1 + v) \quad (۴)$$

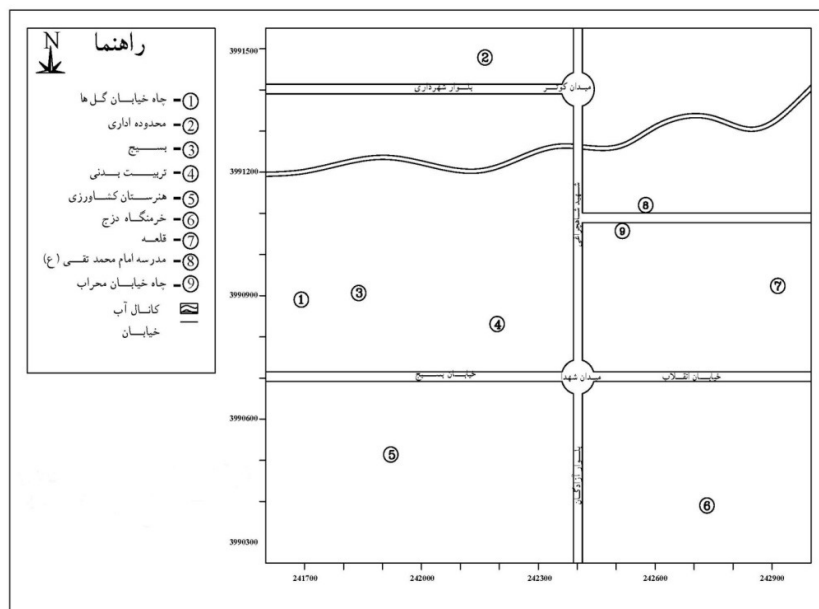
$$K = \frac{E}{3(1 - 2v)} \quad (۵)$$

$$G = \rho V_s^2 \quad (۶)$$

E: مدول یانگ، K: مدول بالک، ν : ضریب پواسون، G: مدول برشی، V_s : سرعت امواج برشی، V_p : سرعت امواج فشاری [۱].

مهم‌ترین و تنها پارامتر کمی برای طبقه‌بندی و تعیین نوع خاک براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران، سرعت امواج برشی است [۷]. برای برآورد سرعت امواج، در صورت وجود چاه‌های کافی که امکان برداشت درون چاهی وجود داشته باشد، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در غیر این صورت بهترین راه برداشت، پروفیل‌های سطحی است. چاه‌های موجود در سطح شهر مورد بازدید و بررسی قرار گرفت و چاه‌هایی که امکان برداشت در آن‌ها وجود داشت، شناسایی شده و برداشت‌ها انجام شد. در بقیه نقاط پروفیل‌های سطحی برداشت شد. در پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی سطحی، ژرفای مورد مطالعه به چند پارامتر بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها، طول پروفیل، ضخامت لایه‌ها، نسبت سرعت امواج در لایه‌ها، وجود یا عدم وجود لایه کور و غیره هستند. برداشت پروفیل‌های سطحی نیازمند وجود محوطه‌ای وسیع است که بتوان ژئوفون‌ها و چشمه لرزه‌ای را در فواصل مورد نظر قرار داد. براین اساس و باتوجه به امکان برداشت‌های ژئوفیزیکی در محدوده شهر امیریه، در مجموع ۹ محل برای این برداشت‌ها انتخاب شد (شکل ۲). در هر کدام از این محل‌ها برداشت‌های لرزه‌نگاری انجام گرفت.

در تمامی محل‌های برداشت، پروفیل‌های لرزه‌نگاری دارای مشخصات یکسان بوده‌اند، طول پروفیل‌ها ۵۰ متر بوده و از دو چشمه لرزه‌ای (یکی در ابتدا و دیگری در انتهای پروفیل) استفاده شده است. امواج طولی و عرضی در هر دو چشمه تولید و برداشت شده است. در تمام پروفیل‌ها فاصله چشمه تا اولین ژئوفون یک متر، تا ژئوفون شماره ۲، دومتر و از ژئوفون شماره ۳ به بعد، فاصله ژئوفون‌ها از یکدیگر ۲ متر بوده است.



شکل ۲. محل‌های انتخاب شده برای برداشت‌های ژئوفیزیکی

۴- بحث و بررسی

در تمامی محل‌های مشخص شده، برطبق طراحی‌های قبلی، برداشت‌های لرزه‌نگاری انجام شدند. پس از برداشت‌های صحرائی، پردازش و تفسیر داده‌ها انجام شد. در روش لرزه‌نگاری پردازش و تفسیرها شامل: ثبت زمان‌های رسیدن برای امواج فشاری و برشی، رسم نمودار زمان-فاصله (برای چاه‌ها زمان - ژرفا) برای امواج فشاری و برشی، تعیین سرعت امواج فشاری و برشی، تعیین لایه‌بندی و به‌دست آوردن مدول‌های دینامیکی هر لایه می‌باشد.

برای محاسبه مدول‌های دینامیکی جرم مخصوص آن‌ها لازم است. جرم مخصوص برخی از لایه‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده قبلی در دسترس بوده است. از این رو برای مواردی که این اطلاعات در دسترس بوده مستقیماً از آن‌ها استفاده شده و در مواردی که داده‌ای در مورد جرم مخصوص لایه‌ها در دسترس نبوده با توجه به سرعت گسترش امواج در لایه‌ها، جرم مخصوص برآورد و مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی می‌توان گفت که جرم مخصوص با سرعت انتشار امواج ارتباط مستقیم دارد. این رابطه به‌صورت تجربی و آماری برای هر محدوده قابل برآورد است. از این رو نشان دادن ارتباط بین جرم مخصوص و سرعت گسترش امواج فشاری V_p ، جرم مخصوص و سرعت گسترش امواج برشی V_s و جرم

مخصوص و جمع سرعت گسترش امواج برشی و فشاری V_s+V_p در محدوده مورد مطالعه بررسی‌هایی انجام شده است. بر اساس این بررسی‌ها، روابط (۷)، (۸)، (۹) بین جرم مخصوص و سرعت گسترش امواج به دست آمده است. شایان توجه می‌باشد که این روابط ویژه این محدوده است و تعمیم آن به محل‌های دیگر باید با نظر کارشناسی انجام شود.

$$\rho = 0.12V_p + 1.57 \quad (7)$$

$$\rho = 0.28V_s + 1.57 \quad (8)$$

$$\rho = 0.1(V_p + V_s) + 1.57 \quad (9)$$

در این روابط (V_p و V_s) سرعت گسترش امواج بر حسب کیلومتر بر ثانیه و جرم مخصوص (ρ) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. پس از به دست آمدن جرم مخصوص با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبلی پارامترهای دینامیکی برای لایه‌های مختلف زمین محاسبه شده‌اند.

در ادامه به مراحل پردازش و تفسیر چند نقطه از محل به عنوان نمونه پرداخته شده است هم‌چنین نتایج حاصل از آن‌ها نیز آورده شده است.

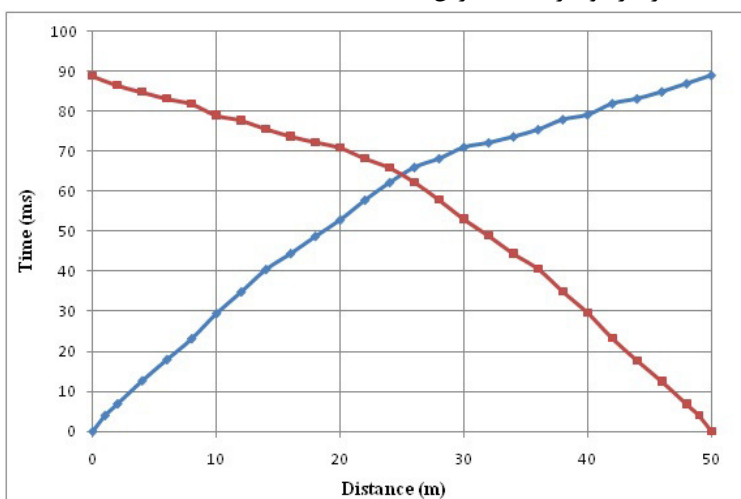
۴-۱- برداشت‌های انجام شده در هنرستان

کشاورزی

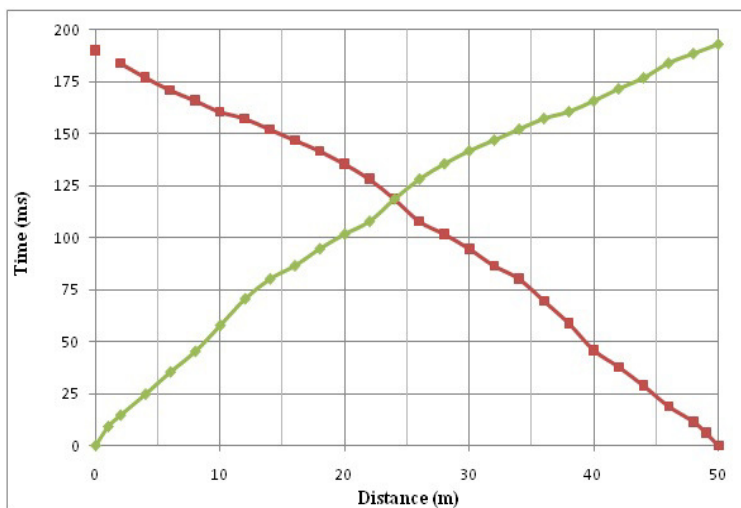
هنرستان کشاورزی در جنوب باختری شهر امیریه واقع است. برداشت‌های لرزه‌نگاری در محلی با مختصات

امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 370 m/s و 170 m/s برآورد شده است. این لایه نیز یک لایه رسی است. لایه سوم حدود 7 متر ضخامت دارد. سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 470 m/s و 250 m/s برآورد شده است. این لایه رسی-سیلتی است. سرعت گسترش امواج فشاری و برشی در لایه چهارم به ترتیب حدود 1050 m/s و 380 m/s برآورد شده است. بر اساس داده‌های گمانه الکتریکی ضخامت این لایه افزون بر 40 متر است. مشخصات لایه‌های زمین و ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی آن‌ها در این محل تعیین و در جدول ۱ نشان داده شده است.

در سیستم UTM ($X=241917 \text{ N}$, $Y=3990526 \text{ E}$) ارتفاع حدود 1177 متر انجام شده است. داده‌های حاصل از برداشت‌های لرزه‌نگاری به صورت نمودار زمان فاصله برای امواج فشاری و برشی به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. براساس نمودارهای زمان-فاصله و تفسیر آن‌ها، در این محل چهار لایه با ویژگی‌های زیر تشخیص داده شده است. لایه اول با ضخامت حدود $0/5$ متر یک لایه غیرمتراکم سطحی است که سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 285 m/s و 145 m/s برآورد شده است. جنس این لایه، خاک رس حاوی مقدار کمی سیلت است. لایه دوم ضخامتی حدود $2/5$ متر دارد و سرعت گسترش



شکل ۳. نمودار زمان-فاصله امواج فشاری، پروفیل برداشت شده در هنرستان کشاورزی



شکل ۴. نمودار زمان-فاصله امواج برشی، پروفیل برداشت شده در هنرستان کشاورزی

جدول ۱. پارامترهای دینامیکی محاسبه شده برای هر یک از لایه‌ها در محدوده هنرستان کشاورزی

K (kPa)	E (MPa)	G (MPa)	ν	ρ (gr/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ضخامت (متر)	عمق (متر)
۹۲/۷	۸۵	۳۱	۰/۳۵	۱/۶	۱۴۰	۲۹۰	۰/۵	۰-۰/۵
۱۵۰	۱۳۰	۵۰	۰/۳۵	۱/۶۲	۱۷۵	۳۶۰	۲/۵	۰/۵-۳
۲۶۱	۲۵۰	۸۴	۰/۳۶	۱/۶۵	۲۲۵	۴۷۵	۷	۳-۷
۱۵۷۰	۷۲۰	۲۵۰	۱/۷	۱/۷	۲۲۵	۱۰۶۰	-	بیش از ۱۰

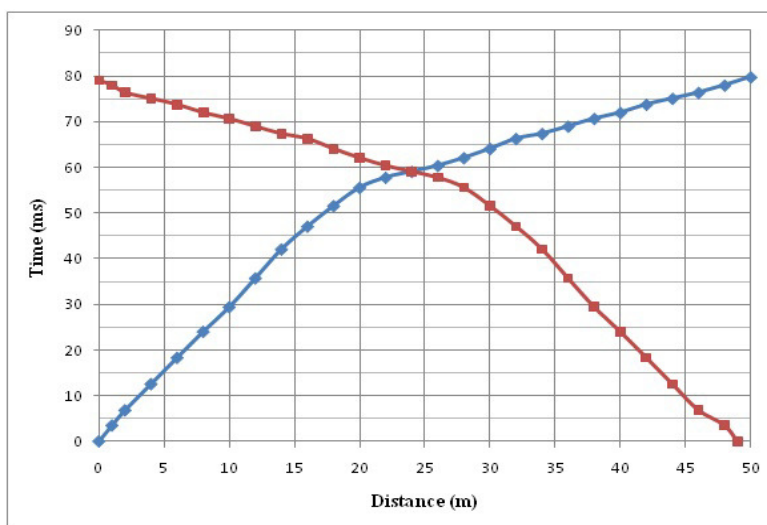
(Vp) سرعت موج فشاری، Vs سرعت موج برشی، ρ جرم مخصوص، ν ضریب پواسون، G مدول برشی، E مدول یانگ، K مدول بالک

UTM برابر (X=242193 N, Y=3990823 E) و ارتفاع آن حدود ۱۱۸۱ متر می‌باشد. طول این پروفیل ۵۰ متر بوده است. داده‌های حاصل از برداشت‌های لرزه‌نگاری به صورت نمودار زمان فاصله برای امواج فشاری و برشی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

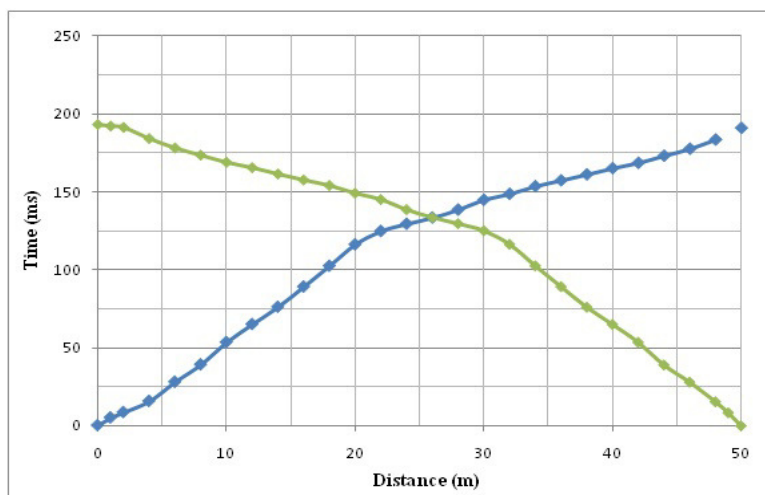
۴-۲- برداشت‌های انجام شده در زمین فوتبال

مجموعه تربیت بدنی شهر امیریه

در این محدوده از شهر امیریه، عمده ساختمان‌های اداری و مسکونی قرار گرفته‌اند. در این محل، برداشت‌ها در زمین فوتبال مجموعه تربیت بدنی انجام شده است. مختصات ابتدای محل برداشت پروفیل لرزه‌نگاری در سیستم



شکل ۵. نمودار زمان-فاصله برای برداشت‌های امواج فشاری، محل برداشت پروفیل زمین تربیت بدنی



شکل ۶. نمودار زمان-فاصله برای برداشت‌های امواج برشی، محل برداشت پروفیل زمین تربیت بدنی

لایه رسی سیلتی است. لایه سوم با ضخامت حدود ۹ متر در زیر لایه دوم گسترش دارد. سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 1275 m/s و 425 m/s برآورد شده است. این لایه نیز یک لایه رسی حاوی مقداری سیلت می‌باشد ولی میزان سیلت آن از لایه بالایی کمتر است. مشخصات لایه‌های زمین و ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی آن‌ها در این محل تعیین و در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای دینامیکی محاسبه شده برای هر یک از لایه‌ها در زمین تربیت بدنی

K (kPa)	E (MPa)	G (MPa)	ν	ρ (gr/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ضخامت (متر)	عمق (متر)
۹۶/۷	۷۴	۲۷	۰/۳۷	۱/۶	۱۳۰	۲۸۸	۱	۰-۱
۱۵۸	۱۴۰	۵۰	۰/۳۶	۱/۶۴	۱۷۵	۳۷۰	۸	۱-۹
۲۳۵۰	۸۸۰	۳۱۰	۰/۴۴	۱/۷	۴۲۵	۱۲۷۵	۹	۹-۱۸

(Vp) سرعت موج فشاری، Vs سرعت موج برشی، ρ جرم مخصوص، ν ضریب پواسون، G مدول برشی، E مدول یانگ، K مدول بالک

نسبت به ژرفا در شکل ۹ آورده شده است. ضخامت لایه اول حدود ۱ متر است و سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 270 m/s و 140 m/s و این لایه از رس به همراه مقداری کمی سیلت تشکیل شده است. لایه دوم نیز حدود یک متر ضخامت دارد و سرعت گسترش امواج فشاری و برشی در آن حدود 335 m/s و 145 m/s برآورد شده است. لایه سوم تا ژرفای بیش از ۸ متری ادامه دارد و سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 385 m/s و 215 m/s برآورد شده است. این لایه نیز یک لایه رسی سیلت‌دار است. مشخصات لایه‌های زمین و ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی آن‌ها در این محل تعیین و در جدول ۳ و نمودار تغییرات سرعت نسبت به ژرفا در شکل ۹ آورده شده است.

جدول ۳- پارامترهای دینامیکی محاسبه شده برای هر یک از لایه‌ها در چاه خیابان گل‌ها

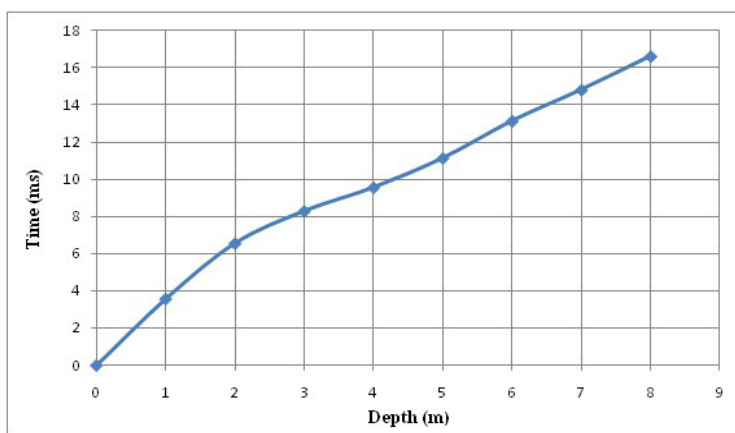
K (kPa)	E (MPa)	G (MPa)	ν	ρ (gr/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ضخامت (متر)	عمق (متر)
۸۶/۶	۹۵	۳۶	۰/۳۲	۱/۶	۱۵۰	۲۹۰	۱	۰-۱
۱۰۵	۱۵۰	۶۲	۰/۲۵	۱/۶۲	۱۹۵	۳۴۰	۱	۱-۲
۴۱۴	۳۸۰	۱۴۰	۰/۳۵	۱/۶۷	۲۹۰	۶۰۰	۶	۲-۹

(Vp) سرعت موج فشاری، Vs سرعت موج برشی، ρ جرم مخصوص، ν ضریب پواسون، G مدول برشی، E مدول یانگ، K مدول بالک

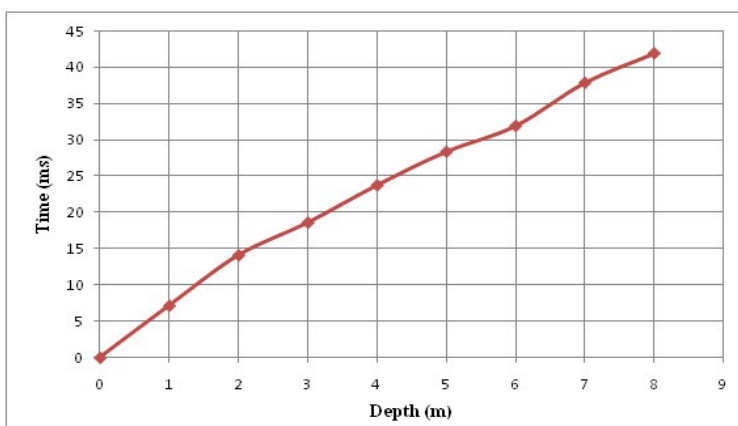
داده‌های مربوط به برداشت‌های لرزه‌نگاری مورد تفسیر قرار گرفته است. بر اساس این تفسیرها در این محل چهار لایه با ویژگی‌های زیر تشخیص داده شده است. لایه اول با ضخامت کمتر از یک متر یک لایه نامتراکم سطحی است که سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 288 m/s و 130 m/s برآورد شده است. جنس این لایه خاک رس است. لایه دوم ضخامتی حدود ۸ متر دارد و سرعت امواج فشاری و برشی در آن به ترتیب حدود 370 m/s و 175 m/s برآورد شده است. این لایه نیز یک

۳-۴- برداشت‌های انجام شده در چاه خیابان گل‌ها

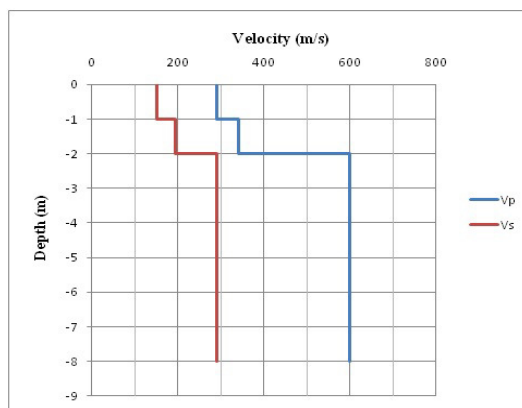
این چاه در محدوده ساختمان‌های نوساز باختر شهر، در خیابان گل‌ها، کوچه لاله ۳ قرار گرفته است. در هنگام برداشت فقط تا ژرفای حدود ۸ متر امکان برداشت وجود داشته و برداشت‌های درون چاهی تا این ژرفا با فواصل اندازه‌گیری یک متر انجام شده است. این چاه در سیستم UTM دارای مختصات (E=3990891, N=241693) می‌باشد. نمودارهای حاصل از این برداشت‌ها به صورت نمودار زمان - ژرفا برای امواج فشاری و برشی به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. بر اساس برداشت‌های انجام شده در این چاه تا عمق حدود ۸ متری سه لایه قابل تفکیک است. مشخصات لایه‌های زمین و ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی آن‌ها در این محل تعیین و در جدول ۳ و نمودار تغییرات سرعت



شکل ۷. نمودار زمان-ژرفا برای امواج فشاری در چاه خیابان گل‌ها



شکل ۸- نمودار زمان-ژرفا برای امواج برشی در چاه خیابان گل‌ها



شکل ۹. نمودار تغییرات سرعت نسبت به ژرفا در چاه خیابان گل‌ها

۵- نتیجه‌گیری

از دیدگاه زمین‌شناسی ساختگاهی می‌توان گفت که در اکثر نقاط شهر امیریه تعداد چهار لایه خاک و آبرفت شناسایی شده‌اند، سرعت امواج برشی و فشاری برای هر لایه محاسبه شده است. سپس پارامترهای دینامیکی در هر لایه به دست آمده است. استفاده از روش‌های

ژئوفیزیکی برای تعیین پارامترهای دینامیکی پیکره‌های موجود در محدوده مورد مطالعه با موفقیت همراه بوده است. براساس نتایج به دست آمده سرعت امواج برشی از ۱۴۰ متر بر ثانیه در لایه‌های سطحی تا حدود ۴۰۰ متر بر ثانیه در لایه‌های عمیق متغیر می‌باشد. هم‌چنین سرعت

- [۲] رمضی.ح. ر (۱۳۸۵) چاه‌پیمایی، چاپ دوم، انتشارات صفحه تهران
- [۳] رمضی.ح.ر (۱۳۸۷) "گزارش مطالعات لرزه نگاری راه آهن یزد-بافق، شرکت مهندسی مشاور زمین موج گستر.
- [۴] رمضی.ح.ر، مصطفائی.ک (۱۳۹۰) مطالعات لرزه‌نگاری مهندسی از دیدگاه مکانیک سنگی در مسیر راه آهن یزد-بافق چهارمین کنفرانس انجمن مکانیک سنگ ایران. تیرماه ۱۳۹۰. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- [۵] شفیع زاده.ن (۱۳۸۴) استفاده از روش های غیر مخرب لرزه ای در برآورد ضرایب فیزیکی و مکانیکی توده سنگ‌ها با نگرشی ویژه بر منطقه ناغان، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران ۱۳۸۴ دانشگاه تربیت مدرس، بخش اول: ویژگی های مهندسی سنگ ها و خاک ها، صفحه ۲۵-۳۳.
- [۶] صالحی.ا، جمالی.ج، جواهریان.ع.ا (۱۳۸۹) برآورد نسبت پواسون با استفاده از اطلاعات لرزه نگاری و پروفیل لرزه ای قائم، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت ۸۹، موسسه ژئوفیزیک، مقالات پوستری، لرزه، صفحه ۸۴۷-۸۵۲.
- [۷] مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی (۱۳۹۳) آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش ۴، انتشارات مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، شماره نشر ۲۵۳.
- [۸] مصطفائی، ک (۱۳۹۱) ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر امیریه با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و تکنیک‌های زمین آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۸۴ص.
- [9] Addo, K.O. and Robertson, P.K (1992) Shear Wave Velocity measurement of Soils using Rayleigh waves. Canadian Geotechnical Journal, 29: 558-568.
- [10] Anbazhagan P, Sitharam TG, Vipin KS (2009) Site classification and estimation of surface level seismic hazard using geophysical data and probabilistic approach. Journal of Applied Geophysics: 68, 219-230
- [11] Gadallah .M.R., Fisher. R. (2009) Exploration Geophysics, 31, DOI 10.1007/978-3-540-85160-8 4, c_ Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [12] Hanuman. t, Ramana. G. V (2008) Dynamic soil properties for microzonation of Delhi, India, J. Earth Syst. Sci. 117: 719-730.
- [13] Kayabali .K, (1996) Soil liquefaction evaluation using shear wave velocity; Eng. Geol. 44(1): 121-127.
- [14] Luna, R. and H. Jadi (2000) Determination of Dynamic Soil Properties Using

امواج فشاری از ۲۰۰ متر بر ثانیه در لایه‌های سطحی به ۱۲۰۰ متر بر ثانیه در لایه‌های عمیق‌تر می‌رسد. این امر دلالت بر تراکم بیشتر لایه‌ها در عمق‌های بیش‌تر دارد.

جرم مخصوص لایه‌ها از ۱/۶ در سطح تا ۱/۷ در عمق متغیر است. با توجه به این مقادیر، لایه‌بندی به‌دست آمده از مطالعات لرزه‌نگاری و مطالعات زمین‌شناسی محلی، می‌توان گفت که لایه‌ها از جنس آبرفت ریزدانه بوده که دارای تراکم معمولی می‌باشند تراکم خاک در سطح کم و در عمق، کم تا متوسط می‌باشد.

بازه تغییرات مدول برشی از ۲۷ تا ۳۱۰ مگا پاسکال، مدول یانگ از ۷۴ تا ۸۸۰ مگا پاسکال، مدول بالک ۸۶ تا ۲۳۵۰ کیلو پاسکال و ضریب پواسون از ۰/۳۵ تا ۰/۴۴ برای لایه‌ها محاسبه شده‌است. همه این پارامترها از سطح به عمق افزایش پیدا می‌کنند که نشان‌دهنده تراکم بیش‌تر خاک در عمق می‌باشد. این پارامترها در مطالعات ژئوتکنیکی محل مورد استفاده قرار گرفتند.

بر اساس مطالعات انجام شده و با توجه به سرعت امواج برشی می‌توان گفت که نیمه باختری امیریه در گروه سوم (نزدیک به چهار) و نیمه شمال خاوری در گروه چهار (نزدیک به سه) استاندارد ۲۸۰۰ ایران قرار می‌گیرد.

از نتایج به‌دست آمده از این مطالعه می‌توان برای تعیین نوع خاک براساس سرعت موج برشی مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مطالعات زلزله‌شناسی مهندسی و برآورد خطر زلزله، طراحی ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه‌ها برنامه‌ریزی‌های شهری، تعیین کاربری زمین، مدیریت بحران، مطالعات ژئوتکنیکی و غیره استفاده نمود.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که استفاده از روش لرزه‌نگاری مهندسی برای مطالعه لایه‌ها و برآورد ویژگی‌های لرزه‌ای خاک موفقیت‌آمیز است. هزینه‌های حفاری، آزمایش‌های ژئوتکنیکی و سایر هزینه‌ها به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. هم‌چنین زمان اجرای پروژه نیز تقلیل پیدا خواهد کرد. از آنجایی که روش‌های ژئوفیزیکی غیر مخرب می‌باشند و هیچ‌گونه اثر زیست محیطی نامطلوبی ندارند پیشنهاد می‌شود که استفاده از آن‌ها در مطالعات ژئوتکنیکی توصیه شود.

منابع

- [۱] حسینی.ف (۱۳۸۴) درآمدی بر مکانیک سنگ ترجمه کتاب وتوکوری کاتسویاما، نشر دانشگاهی

- Geophysical Methods, Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure, St. Louis, MO.
- [15] Min, D.j, Kim, H.S (2006) Feasibility of the surface-wave method for the assessment of physical properties of a dam using numerical analysis. *Journal of Applied Geophysics*, 59:236– 243.
- [16] Patella.D, Maria. S. P (2009) Geophysical Tomography in Engineering Geological applications: A Mini-Review with Examples, *The Open Geology Journal*, 3: 30-38.
- [17] Rollins. K. M., Evans .M. D, Diehl. N. B, Daily. W. D (1998) Shear modulus and damping relationships for gravels; *J. Geotech. Geoenv. Eng., ASCE* 124: 396–405
- [18] Sharma .P. V (2002) *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge university press, first published 1997, reprinted (2002)
- [19] Soupios .P.M., Papazachos .C.B., Vargemezis G. and Fikos I (2005) Application of seismic methods for geotechnical site characterization, *International Workshop in Geoenvironment and Geotechnics* , September 2005, Milos island, Greece.
- [20] Soupios, P.M, Georgakopoulos. P, Papadopoulos. N, Saltas. V, Andreadakis. A, allianatos. F, Sarris. A., Makris. J. P (2007) Use of engineering geophysics to investigate a site for a building foundation. *Journal of Geophysical Engineering*, 4: 94–103.