

تعیین سرعت موج برشی ساختگاه به روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی (مطالعه موردی در محوطه دانشگاه صنعتی شاهرود)

هاشم شاهسونی^{۱*}، ایرج پیروز^۲، ناصر حافظی مقدس^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی شاهرود،

دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک

۲- دکتری ژئوفیزیک لرزه‌ای استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

۳- دکتری زمین شناسی مهندسی استادیار دانشگاه صنعتی، شاهرود دانشکده علوم زمین

E-Mail: h_shahsavany@yahoo.com

چکیده

سرعت امواج برشی از جمله پارامترهای بسیار مهم و مورد نیاز در مطالعات ژئوتکنیکی می‌باشد که در ارزیابی مقاومت لایه‌های زیر سطحی، اثرات ساختگاهی و تعیین پروفیل لایه‌های زیر سطحی بکار گرفته می‌شود. یکی از روش‌های تعیین مستقیم سرعت موج برشی، روش لرزه نگاری درون چاهی است که روشی مخرب، زمان بر و پرهزینه می‌باشد. در مقابل این روش، روش جدیدی تحت عنوان روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی معرفی شده است که روشی غیر مخرب، سریع و کم هزینه می‌باشد.

در حقیقت این روش بر اساس تولید و ثبت امواج لرزه‌ای در سطح زمین، تغییر حوزه داده‌ها از حوزه زمان-فاصله به حوزه فرکانس-عدد موج با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی و در نهایت بدست آوردن سرعت امواج ریلی در فرکانس‌های خاص (منحنی پراکندگی) بنا شده است.

در این مطالعه ابتدا روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی به طور مختصر شرح داده شده است و سپس در یک مطالعه موردی نتایج حاصل از این روش با نتایج حاصل از روش لرزه نگاری درون چاهی مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد، انطباق قابل قبولی بین نتایج حاصل از روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی و نتایج حاصل از روش لرزه نگاری درون چاهی وجود دارد.

مقدمه

امروزه روش‌های لرزه‌ای بسیاری برای بدست آوردن پروفیل سرعت موج برشی لایه‌های زیر سطحی وجود دارد. یکی از دقیق ترین آن‌ها، روش لرزه نگاری درون چاهی می‌باشد. بر اساس این روش امواج حجمی در سطح زمین تولید و در درون یک گمانه توسط یک گیرنده در یافت می‌شوند. نیاز به حفر گمانه در این روش باعث وقت گیر، پرهزینه و گاه غیر قابل انجام بودن این روش گردیده است. بنابراین روش‌هایی که پروفیل سرعت موج برشی را بدون نیاز به حفر گمانه تعیین می‌کنند، مورد توجه می‌باشند. این روش‌ها بر اساس پراکندگی امواج سطحی بنا شده‌اند. یکی از این روش‌ها ارتعاشات ایستای امواج ریلی^۱ می‌باشد که در سال‌های ۱۹۵۰ معرفی شده است. اما این روش در دو دهه اخیر توسعه یافته و روش‌های جدیدتری نظیر روش تحلیل طیفی امواج سطحی^۲ در سال ۱۹۹۴ به وسیله استوکوا^۱ و سپس روش کامل تری تحت عنوان

1-Steady state rayleigh Method(SSRM)

2-Spectral Analysis of Surface Waves



تحلیل چند کاناله امواج سطحی (MASW) در سال ۲۰۰۰ به وسیله فوتی^۲ معرفی گردید (Foti, 2000). این روش بر اساس تولید و ثبت امواج لرزه‌ای در سطح زمین و تغییر حوزه داده‌ها از حوزه زمان-فاصله به حوزه فرکانس-عدد موج با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی و در نهایت بدست آوردن سرعت امواج ریلی در فرکانس های خاص (منحنی پراکندگی) بنا شده است.

در کشور ما نیز مطالعات محدودی در خصوص استفاده از روش غیر مخرب تحلیل چند کاناله امواج سطحی انجام شده است (سیاهکوهی، غزاله رسانه ۱۳۸۴، لطیف صمدی، ۱۳۸۲). در این تحقیق طی یک مطالعه موردی، نتایج حاصل از روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی با نتایج حاصل از لرزه نگاری درون چاهی با هم مقایسه شده است.

روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی

روش لرزه نگاری تحلیل چند کاناله امواج سطحی در سه گام تا رسیدن به مرحله نهایی که همان پروفیل سرعت موج برشی می باشد، انجام می گیرد (Park, 2000).

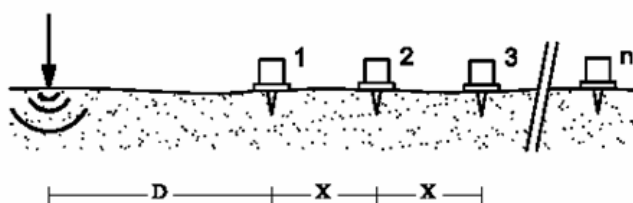
(۱) عملیات صحرائی و برداشت داده‌ها

(۲) پردازش داده‌ها و بدست آوردن منحنی پراکندگی

(۳) معکوس سازی منحنی پراکندگی و بدست آوردن پروفیل سرعت موج برشی

عملیات صحرائی و برداشت داده

در این مرحله از دستگاه لرزه نگاری که حداقل دارای ۱۲ کانال است، استفاده می شود. فاصله بین ژئوفون‌ها باید یکسان در نظر گرفته شوند. این فاصله معمولاً برابر ۱ تا ۳ متر، با توجه به عمق مورد بررسی و منبع مولد موج انتخاب می شود (Foti, 2000). همچنین منبع مولد موج و ژئوفون‌ها باید بر روی یک خط راست قرار گیرند. نحوه انجام عملیات صحرائی در روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) نحوه انجام عملیات صحرائی به روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی (Foti, 2000)

پردازش داده‌ها

در این مرحله با استفاده از تبدیل فوریه دو بعدی گسسته^۳ توسط رابطه (۱)، داده‌های ثبت شده در مرحله قبل از حوزه زمان-فاصله به حوزه فرکانس-عدد موج برده می شوند (Foti, 2000).

1-Stokoe

2-Foti

3-2D Discrete Fourier Transform

$$P_{u,v} = \sum_{l=1}^{M-1} \left[\sum_{m=1}^{N-1} p_{l,m} \cdot e^{-i \left(f \frac{\gamma \pi}{N} m \right)} \right] \cdot e^{-i \left(k \frac{\gamma \pi}{N} l \right)} \quad (1)$$

در این رابطه N تعداد نمونه‌های برداشت شده در طول یک لرزه نگاشت و M تعداد ژئوفون‌های بکار گرفته شده در برداشت صحرائی، f فرکانس k عدد موج m اندیس نمونه برداری ها l اندیس ژئوفون‌ها است. در این حوزه نقاطی نشان داده شده‌اند که در ازای مختصات آن نقاط (f_{\max}, k_{\max}) ، مقدار دامنه موج ریلی مربوطه، حداکثر می‌گردد. سپس با استفاده از رابطه (۲) مقدار سرعت موج ریلی و در نهایت منحنی پراکندگی محاسبه می‌شود.

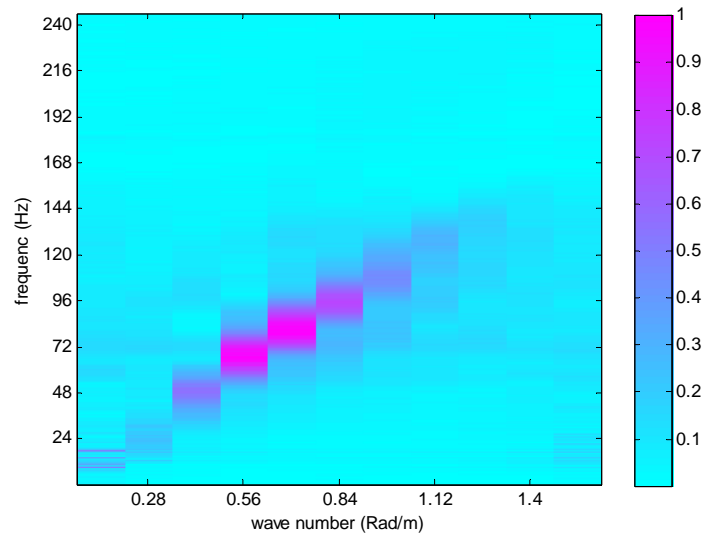
$$V_R = \frac{2\pi f_{\max}}{K_{\max}} \quad (2)$$

معکوس سازی منحنی پراکندگی

یکی از روش‌های معمول در معکوس سازی منحنی پراکندگی مدل سازی پیشرو^۱ می‌باشد، که به وسیله نظریان در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد شد، در این روش ابتدا منحنی پراکندگی تئوریک^۲ مدل مورد نظر محاسبه می‌گردد. سپس منحنی تئوریک با منحنی پراکندگی تجربی^۳ مقایسه می‌شود. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا یک انطباق قابل قبول بین منحنی تئوریک و منحنی تجربی ایجاد شود (Kim, Park, 2002)

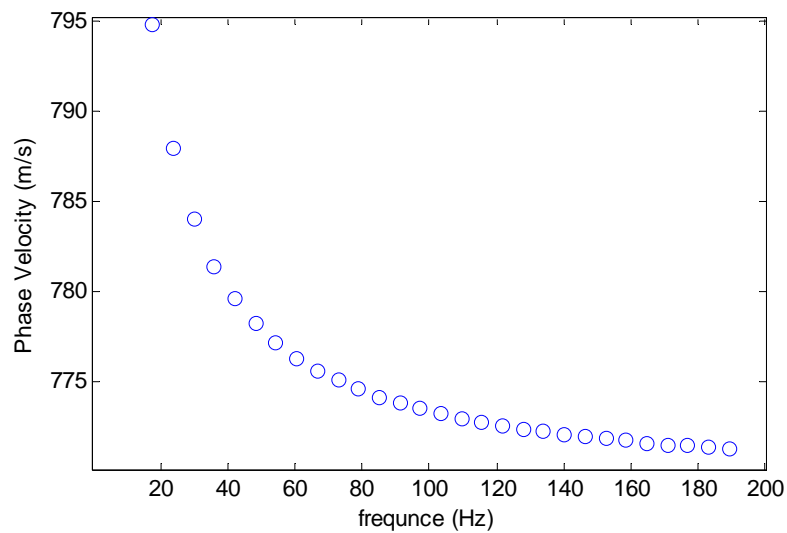
مطالعه موردی

برداشت لرزه نگاری درون چاهی و روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی در مجاورت مسجد دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است. دلیل انتخاب این محل برای انجام برداشت‌ها، وجود گمانه حفر شده در این محل، به عمق حدود ۱۲ متر می‌باشد که انجام برداشت‌های لرزه نگاری درون چاهی را در این محل میسر ساخت. برداشت‌های روش تحلیلی چند کاناله امواج سطحی در زمین چمن دانشگاه و در فاصله ۵۰ متری از چاه مذکور انجام شده است. فاصله بین ژئوفون‌ها ۳ متر در نظر گرفته شده است. دستگاه مورد استفاده در این آزمایش دستگاه لرزه نگار TERRALCO-MK6 ساخت شرکت ABEM می‌باشد. بعد از برداشت صحرائی، داده‌ها با استفاده از رابطه (۱) از حوزه زمان-فاصله به حوزه فرکانس-عدد موج انتقال داده شده‌اند و مقادیر بیشینه در این حوزه محاسبه شده است شکل (۲).



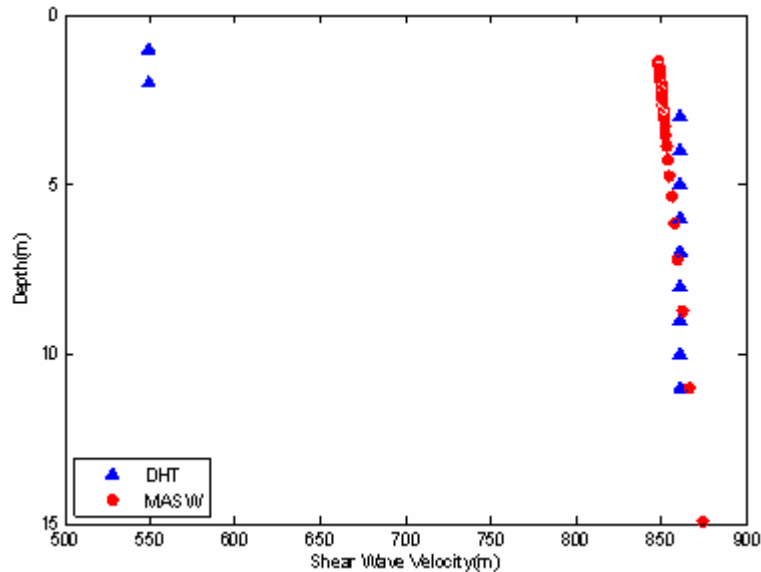
شکل ۲) طیف حاصل از تبدیل داده‌ها از حوزه زمان-فاصله به حوزه فرکانس-عدد موج

سپس با استفاده از رابطه (۲) سرعت به ازای فرکانس‌های مختلف (منحنی پراکندگی) بدست آمده است شکل (۳).



شکل ۳) منحنی پراکندگی بدست آمده از روش آنالیز چند کاناله امواج سطحی

در نهایت منحنی پراکندگی مذکور معکوس سازی شده و پروفیل سرعت موج برشی نقطه مورد نظر بدست آمده است. پروفیل سرعت موج برشی حاصل از روش MASW و DHT در شکل (۴) با یکدیگر مقایسه شده اند.



شکل ۴) پروفیل سرعت موج برشی حاصل از دو روش MASW و DHT با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

بحث و پیشنهاد

مقایسه پروفیل سرعت موج برشی حاصل از روش تحلیل چند کاناله امواج سطحی به عنوان روشی جدید و غیر مخرب که در این مقاله به وسیله نگارندگان ارائه شد، با روش لرزه نگاری درون چاهی به عنوان یک روش مخرب، انطباق قابل قبولی را با یکدیگر تا عمق مورد مطالعه نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان از روش تحلیلی چند کاناله امواج سطحی بجای روش لرزه نگاری درون چاهی در تعیین پروفیل سرعت موج برشی در موارد مختلف استفاده کرد. یکی از موارد کار برد روش تحلیلی چند کاناله امواج سطحی تعیین میزان مقاومت زمین می‌باشد که بدین وسیله پیشنهاد می‌گردد جهت اجرای آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ (بخش ۲-۳-۵ طبقه‌بندی نوع زمین) بکار گرفته شود (کمیته دائمی بازنگری آیین نامه ساختمان‌ها، ۱۳۷۸).

منابع

- Foti S. (2000). Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves. PhD dissertation, Politecnico di Torino, Italy
- Park, C.B., (2000). *User Manual of SurfSise Software*. Kansas Geological Survey
- Kim, D.S., Park, H.C., (2002). Determination of Dispersion Phase velocities for SASW method using harmonic wavelet transform *Soil Dynamics Vol 22*, 675- 684
- حمید رضا سیاهکوهی، غزاله رسانه، " کاربرد روش های لرزه ای MASW و SRF در محاسبه مدل سرعت امواج S و ضرایب کشسانی لایه های سطحی " دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اسفند ماه ۱۳۸۴
- لطیف صمدی، " تعیین سرعت امواج برشی با روش SASW چند کاناله و لرزه نگاری P و SH " خلاصه مقالات یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، آذر ماه ۸۲ تهران.
- کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله؛ ۱۳۷۸، "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله".