

برآورد کاهندگی امواج سطحی در لایه های نزدیک سطح زمین با استفاده از داده‌های لرزه ای چند کاناله

ملیحه معقولی^۱، دکتر حمیدرضا سیاهکوهی^۲، دکتر احمد سدیدخوی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران موسسه ژئوفیزیک maghooly@gmail.com

^۲استاد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، hamid@ut.ac.ir

^۳استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، asadid@ut.ac.ir

چکیده

در این مطالعه به رفع مشکلاتی از قبیل کمبود داده شتابنگاری و خطای مکانیابی و موازنه اثر ساختگاه با گسترش هندسی برای تعیین ضریب میرایی منطقه‌ای با استفاده از داده‌های کنشی یا همان داده‌های لرزه‌ای چندکاناله و حذف اثر گسترش هندسی در روشی نسبتاً نوین پرداخته می‌شود. این روش، در مناطقی که با مشکل کمبود یا نبود شتاب نگاشت‌های زلزله‌های بزرگ مواجه هستند، می‌تواند یک روش جایگزین برای منطقه‌ای کردن معادله‌های کاهندگی باشد. در اینجا، برای تخمین تغییرات جانبی ضریب کاهندگی امواج سطحی از داده لرزه‌ای چندکاناله استفاده شده است. این روش مشابه روش همبستگی متقابل نقطه‌میان مشترک (CMPCC)^۱ است که بر روی اطلاعات فاز بین جفت‌های محتمل گیرنده‌ها در نقطه میانی مشترک CMP تمرکز دارد، اما روش استفاده شده در این مطالعه براساس نسبت طیفی جفت گیرنده‌های دو طرف نقطه میانی بنا شده است. در این اینجا بعد از حذف تاثیر گسترش هندسی بر روی طیف دامنه در حوزه‌ی فرکانس، نسبت دامنه در هر CMP برآورد شده و از برازش خطی لگاریتم طبیعی آن برحسب فاصله، ضریب کاهندگی هر پروفیل را بدست آورده و براساس آن شناسایی محل تغییرات زمین‌شناسی در ساختار کم‌عمق منطقه رصدخانه سیسیل و ایدا گرین پینون^۲، کالیفرنیا با استفاده از داده لرزه‌ای چندکاناله و تغییرات سنگ‌شناسی منطقه صورت پذیرفته است.

واژه‌های کلیدی: ضریب میرایی، امواج سطحی، گسترش هندسی، نقطه میانی مشترک CMP، داده لرزه‌ای چندکاناله، نسبت طیفی

Determination of Surface wave attenuation in the shallow subsurface from multichannel seismic data

Malihe maqouli¹, Hamid Reza Siahkoochi², Ahmad Sadidkhouy³

¹Master student, Institute of Geophysics

²Professor, Institute of Geophysics

³Assistant Professor, Institute of Geophysics

Abstract

In multichannel analysis of surface wave it is common to use phase information to delineate nearsurface S-wave velocity structures, surface wave analysis generally neglects amplitude information. To effectively characterize subsurface heterogeneities from amplitude information, we have used Ikeda's and Tsuji's (2016) method of estimating lateral variation of attenuation coefficients of surface waves from multichannel-multishot (multifold) seismic data. The method extends the concept of the common midpoint cross-correlation method, used for phase velocity estimation, to the analysis of attenuation coefficients. Simultaneous employing of used together, attenuation coefficients and phase velocities could characterize a lithological boundary as well as fracture zone. We applied the method on multifold seismic reflection data acquired in Cecil and

Ida Green Pinon Flat Observatory, Riverside County, California. We clearly observed abrupt changes in lateral variation of estimated attenuation coefficients around lithological boundary, whereas it has the potential to distinguish localized fractures from lithological boundaries.

Keywords: Attenuation coefficients, Surface waves, Discontinuity, Fracture, Geological heterogeneity, lithological boundary

مقدمه

ساختار سرعت موج S به دست آمده از آنالیز امواج سطحی برای توصیف سنگ‌شناسی کم عمق استفاده می‌شود. با این حال، تشخیص شکستگی موضعی نزدیک به سطح از سرعت فاز امواج سطحی مشتق شده از داده‌های لرزه‌ای سطحی معمول دشوار است. تشخیص چنین شکستگی‌ها در کاربردهای مختلف مهندسی (به عنوان مثال، ذخیره سازی CO₂) مهم است. اگرچه اطلاعات دامنه معمولاً در تحلیل موج سطحی مورد غفلت قرار می‌گیرد، دامنه امواج سطحی حاوی اطلاعات مهمی برای توصیف سنگ‌شناسی است. مسبا و استریبا (۲۰۱۴) روشی را برای اشتراک‌گذاری همزمان کیفی تضعیف و سرعتی از داده چندکاناله چندچشمه ای (چندتایی) پیشنهاد کرده‌اند. برای داده‌های بازتاب چندتایی^۱ از جزیره شیکوکو^۲، ژاپن که در آن ناهمگونی جانبی از حضور خط وسط تکتونیکی MTL^۳ انتظار می‌رفت استفاده شده است (ایکدا و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج نشان داده که استفاده همزمان از سرعت فاز و ضرایب میرایی پتانسیل را دارد که شکستگی‌های موضعی را از مرزهای سنگ‌شناسی تشخیص دهد که از سرعت فاز تنها امکان پذیر نیست. در این مطالعه، روشی برای برآورد موثر تغییرات جانبی ضریب میرایی امواج سطحی از داده‌های لرزه‌ای چندتایی پیشنهاد شده بوسیله (ایکدا و سوچی، ۲۰۱۶) استفاده شده است. این روش شبیه به روش همبستگی متقابل نقطه میانی مشترک (CMPCC) است که بر روی اطلاعات فاز بین زوج گیرنده‌ها در نقاط میانی مشترک (CMPs) تمرکز دارد (هایاشی و سوزوکی، ۲۰۰۴؛ سوچی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ایکدا و همکاران، ۲۰۱۳)، اما روش استفاده شده در اینجا براساس نسبت طیفی دامنه جفت گیرنده‌های دو طرف نقطه میانی بنا شده است. به‌طور خاص، روش مورد استفاده برای توصیف ناهمگونی‌های زیرسطحی استفاده می‌شود. همچنین این روش برای داده‌های بازتاب چندتایی از رپورساید، کالیفرنیا که میان دو خط‌گسلی با تغییرات سنگ‌شناسی قرار دارد استفاده شده است.

روش تحقیق

تضعیف امواج لرزه‌ای یکی از خواص مهم ساختار زمین بشمار می‌رود. دامنه امواج لرزه‌ای به دو علت غیرکشسان بودن زمین و گسترش هندسی با افزایش فاصله کاهش می‌یابد، ولیکن در این پژوهش گسترش هندسی بی‌اثر شده است و داده‌ها در این پژوهش مربوط به رصدخانه مسطح سیسیل و ایدا گرین پیتون، شهرستان رپورساید، کالیفرنیا با موقعیت جغرافیایی طول جغرافیایی ۱۱۶/۴۵۹۴۳- و عرض جغرافیایی ۳۳/۶۱۱۶۷ تهیه شده از USGS و از نوع لرزه‌ای با فرمت seg-2 است. داده pfo-1 array، توسط ژئوفون‌های مولفه قائم ۴/۵ هرتزی ثبت شده است. ژئوفون‌ها با فواصل ۱/۵ متری بین هر گیرنده از هم در طول ۷۰/۵ متر و به صورت آرایه MASW ۴۸ کاناله با دور افت ۳۰ متر برای پروفیل شماره ۱۰۰۱، ۲۰ متر برای پروفیل شماره ۱۰۰۲، ۱۰ متر برای پروفیل شماره ۱۰۰۳، ۵ متر برای پروفیل شماره ۱۰۰۴ و ۱/۵ متر برای پروفیل شماره ۱۰۰۵ از چشمه داده‌برداری شده است. به‌منظور مطالعه کاهندگی امواج لرزه‌ای براساس دامنه آن‌ها انتخاب می‌شود. ساختگاه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی مربوط به دوران مزوزوئیک (دوره کرتاسه) است و به گزارش USGS جنس غالب سنگ‌شناسی در منطقه سنگ گرانیت (شامل دیوریت کوارتز، گرانودیوریت) است. با فرض اینکه، مد امواج سطحی غالب باشد، دامنه موج سطحی در حوزه فرکانس u در محیط همگن جانبی را می‌توان مانند زیر نوشت (استروپیا و فوتی، ۲۰۰۶):

^۱ multifold reflection
^۲ Shikoku
^۳ The Median Tectonic Line (MTL)

$$u(\omega, r) = I(\omega)R(\omega) \frac{e^{-\alpha(\omega)r}}{\sqrt{r}} e^{i(\omega t - k(\omega)r + \phi_0(\omega))} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، ω فرکانس زاویه‌ای، $I(\omega)$ طیف دامنه چشمه، $R(\omega)$ پاسخ ساختگاه برای مد غالب، $\alpha(\omega)$ ضریب کاهندگی برای مد غالب، $k(\omega)$ عدد موج، $\phi_0(\omega)$ طیف فاز چشمه و r فاصله چشمه تا گیرنده است. روش برآورد ضریب کاهندگی (ضریب جذب) بر پایه‌ی ۶ مرحله بنا شده است.

۱. داده لرزه‌ای دریافت شده بوسیله‌ی n امین گیرنده از S امین چشمه با تبدیل فوریه به حوزه فرکانس-افست (U_{sj}) برده خواهد شد. در اینجا قدر مطلق داده در حوزه فرکانس محاسبه شده، همزمان با جداسازی فرکانس مثبت دامنه را دو برابر کرده، تا محاسبات درست صورت گیرد. با استفاده از رابطه (۲)، گسترش هندسی دامنه U_{sj} تصحیح می‌شود. با این روش نشان داده شد که با حذف آن نیز می‌توان به ضریب کاهندگی در نزدیک به سطح زمین دست یافت.

$$u_{sj}(\omega) = \sqrt{r_{sj}} |u_{sj}(\omega)| \quad (2)$$

برای هر (S) امین چشمه و یا ضربه، نسبت دامنه تجمیع شده A_c بین U_{sj} برای n امین گیرنده و U_{sn} برای n امین گیرنده محاسبه خواهد شد.

۲. در رابطه (۳) dr فاصله بین n امین و n امین گیرنده است و C ، تعداد CMP تعریف شده در نقطه میانی بین n امین و n امین گیرنده است. اگر N گیرنده به کار گرفته شود در داده‌ها به دست آمده از $N(N-1)/2$ زوج، از هر مجموع چشمه تولید خواهد شد.

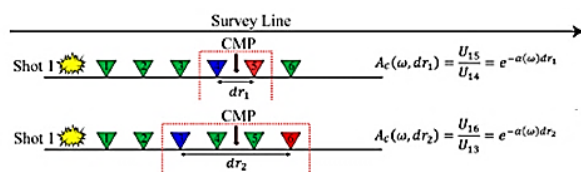
$$A_c(\omega, dr) = \frac{u_{sj}(\omega)}{u_{sn}(\omega)} = e^{-\alpha(\omega)dr} \quad (3)$$

۳. نسبت دامنه‌ها در معادله (۳) با CMP مشابه با هم در یک گروه قرار خواهند گرفت. در حوزه فرکانس، تحلیل امواج سطحی معمولاً نیاز به داده‌ها با تعداد نمونه کمتری نسبت به حوزه زمان دارد که باعث توانایی در کاهش محاسبات مورد نیاز برای نسبت دامنه‌ها خواهد شد.

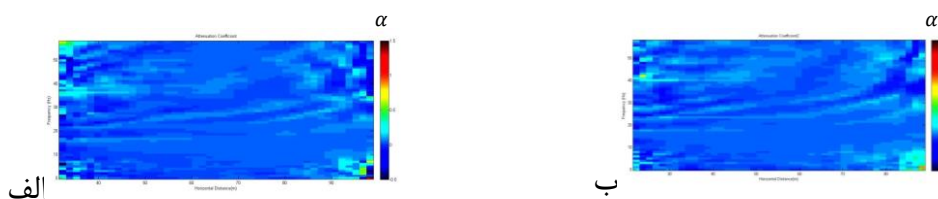
۴. مقدار α می‌تواند به وسیله‌ی برازش خطی dr در مقابل $\ln(A_c)$ (فوتی و همکاران، ۲۰۱۴) از مبداء^۱ تخمین زده شود.

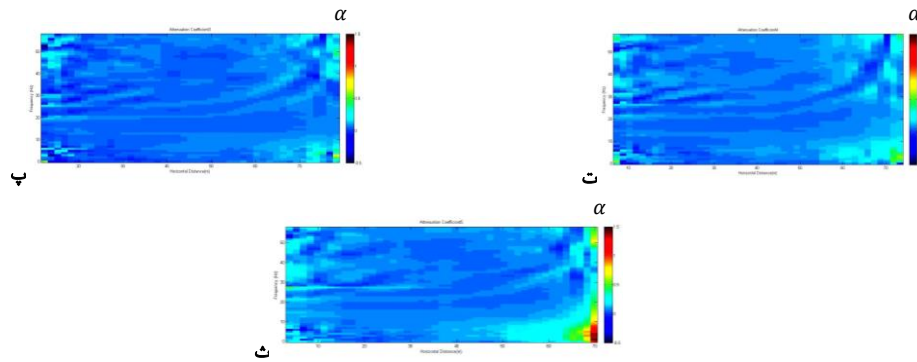
۵. با اجرای مرحله ۴ و ۵ برای دیگر CMPها ضریب کاهندگی a به عنوان تابعی از CMP بدست می‌آید.

۶. نسبت دامنه به مرکزیت نقطه میانی مشترک برای تمام تریس‌ها فراهم شد. از این رو پس از بدست آوردن نسبت دامنه‌ها، خطی از لگاریتم طبیعی نسبت طیف دامنه‌های محاسبه شده در هر CMP، نسبت به مقدار فاصله نقطه میانی آن‌ها برازش کرده و شیب خط بدست آمده ضریب کاهندگی برای تمام نقاط پروفیل‌های شماره ۱۰۰۱، ۱۰۰۲، ۱۰۰۳، ۱۰۰۴ و ۱۰۰۵ در سایت AZ.PFO-1 به ترتیب در (شکل ۲) الف تا ث محاسبه شده است.



شکل ۱. تصویرنمادین نحوه چیدمان گیرنده نسبت به چشمه در موقعیت افست مثبت و موقعیت CMP برای تخمین نسبت دامنه (ایکدا و همکاران، ۲۰۱۶).





شکل ۲. Array PFO-1 ضریب کاهندگی سایت AZ.PFP برای الف) پروفیل شماره ۱۰۰۱ با دور افت ۳۰ متر ب) پروفیل شماره ۱۰۰۲ با دورافت ۲۰ متر پ) پروفیل شماره ۱۰۰۳ با دور افت ۱۰ متر ت) پروفیل شماره ۱۰۰۴ با دورافت ۵ متر ث) پروفیل شماره ۱۰۰۵ با دورافت ۱.۵ متر (محور قائم نشان دهنده فرکانس بر حسب هرتز، محور افقی نشان دهنده فاصله افقی بر روی زمین و طیف رنگی نشان دهنده تغییرات ضریب کاهندگی است.)

نتیجه گیری

امواج لرزه‌ای در اثر عبور از لایه‌های زمین تضعیف می‌شوند. تعیین مکانیزم تضعیف در زمین مسئله‌ای بسیار مهم و از نظر تحلیل داده‌های لرزه‌ای بسیار با اهمیت است. یکی از پارامترهای مهم در تضعیف امواج لرزه‌ای، ضریب تضعیف است که خروجی ضریب تضعیف پروفیل‌های مورد بررسی به وضوح تاثیر تغییرات زمین‌شناسی زیر ساختگاه پروفیل‌ها را بر سرعت امواج و تضعیف دامنه آنها مشاهده کرد و در نتیجه به تغییرات مرز سنگ‌شناسی و شکستگی‌های احتمالی بر سر راه امواج پی‌برد. روش استفاده شده در این مطالعه براساس نسبت طیفی جفت گیرنده‌های دو طرف نقطه میانی بنا شده است که به تغییرات ضریب کاهندگی و پتانسیل بالای این روش در شناسایی محل تغییرات زمین‌شناسی در ساختار کم عمق با استفاده از داده لرزه‌ای چندکاناله دست یافته است و از مقایسه تصاویر در اعماق نزدیک به سطح می‌توان نتیجه گرفت که ضریب کاهندگی به موقعیت چشمه حساس است و خروجی حاصل دارای صحت است.

قدردانی

از سایت USGS برای به اشتراک گذاری و تهیه و بهبود بانک داده متشکریم.

منابع

- Bergamo P, Socco LV (2014) Detection of sharp lateral discontinuities through the analysis of surface-wave propagation. *Geophysics* 79(4):EN77–EN90
- Foti S, Lai CG, Rix GJ, Strobbia C (2014) *Surface wave methods for near-surface site characterization*. CRC Press, Boca Raton
- Hayashi, K., and Suzuki, H., 2004., CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data, *Exp. Geophys.*
- Ikeda, T., Tsuji, T., and Matsuoka, T., 2013., Window-controlled CMP crosscorrelation analysis for surface wave in laterally heterogeneous media, *Geophysics*.
- Ikeda, T., Tsuji, T., 2015., Characterisation of near-surface heterogeneity by integrating surface-wave phase velocity and attenuation.
- Ikeda, T., Tsuji, T., (2016) Surface wave attenuation in the shallow subsurface from multichannel–multishot seismic data: a new approach for detecting fractures and lithological discontinuities, *Earth, Planets and Space*.
- Strobbia C, Zarkhidze A, May R, Ibrahim F (2014) Model-based attenuation for scattered dispersive waves. *Geophys Prospect* 62(5):1143–1161
- Wyatt, F., IGPP 0225; University of California, San Diego; La Jolla, CA 92093-0225
- Xia J, Nyquist JE, Xu Y, Roth MJ, Miller RD (2007) Feasibility of detecting near-surface feature with Rayleigh-wave diffraction. *J Appl Geophys* 62(3):244–253