

مشکل وارونگی سرعت و لایه نازک در برداشت‌های لرزه‌ای شکست مرزی و روش‌های حل آنها

میربهر روز موسی پور^{*}، حمیدرضا سیاهکوهی^{**} و علی مرادزاده^{*}

^{*} دانشگاه شاهرود، صندوق پستی ۳۱۶

^{**} موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۴۶۶

پذیرش مقاله: ۸۲/۶/۲۵

دریافت مقاله: ۸۱/۹/۵

چکیده

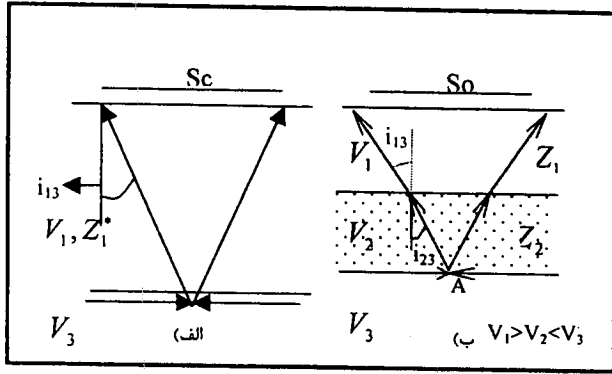
در یک مدل زمین چندلایه‌ای وقتی که ضخامت لایه‌ای از حد نظری کوچک‌تر باشد، سیگنال‌های شکست مرزی از آن لایه به عنوان اولین رسید ثبت نخواهند شد و لایه پنهان خواهد ماند. این پدیده به نام زون کور شناخته می‌شود. اگر در مدل زمین چندلایه، سرعت در لایه‌ای کمتر از سرعت لایه‌های بالایی و پایینی باشد، هیچ نوع رسید شکست مرزی از آن لایه به سطح زمین نخواهد آمد، چنین حالتی را پدیده وارونگی سرعت می‌نامند و لایه‌ای که این پدیده در آن رخ دهد، لایه مخفی نامیده می‌شود. در شرایط فوق خطاهایی در تفسیر داده‌ها و محاسبه عمق و سرعت لایه‌های پایینی در لرزه‌نگاری انکساری رخ خواهد داد. در این بررسی نشان داده می‌شود که از رسیدهای تأخیری مانند بازتاب‌های فوق بحرانی برای تشخیص و تعیین پارامترهای زون کور می‌توان استفاده کرد. همچنین نشان داده می‌شود که در صورت وجود ناهمواری‌هایی در سطح شکنا، و با تعیین فاصله افقی بین اثرات این ناهمواری‌ها روی منحنی زمان - مسافت، می‌توان وجود یا نبود لایه مخفی را تشخیص داده و پارامترهای آن را محاسبه کرد.

کلیدواژه‌ها: برداشت‌های شکست مرزی، زون کور، لایه مخفی، وارونگی سرعت، بازتاب فوق بحرانی، دورافت آنومالی

۱ مقدمه

است. محققین بسیاری حل سریع مشکل لایه نازک را با بهره‌گیری از نوموگرام‌ها مطرح کرده‌اند (هاو کینز و مگنر، ۱۹۶۱؛ گرین هال، ۱۹۷۷؛ راغاوا و کومار، ۱۹۷۹؛ اشمولر، ۱۹۸۲؛ بنت و ویجا یاراگاو، ۱۹۸۷؛ ون و بويس، ۱۹۸۴). ولی تمام این روش‌ها نیازمند آگاهی داشتن از سرعت لایه پنهان‌اند که معمولاً در دست نیست. مورگان (۱۹۶۷) در برداشت لرزه‌ای دریایی از هیدروسوندها برای ثبت داده‌های تکمیلی استفاده کرد. بانرجی و گوپتا (۱۹۷۵) از امواج تبدیلی نوع SPS برای حل مشکل لایه نازک استفاده کردند. ولی در عمل تمیز دادن این امواج در لرزه‌نگاشت صحرائی بسیار مشکل است. مریک و گرین هال (۱۹۹۰) از دورافت آنومالی برای حل مشکل لایه نازک استفاده کردند. در این روش در صورت تخت بودن مرز لایه‌ها، آنومالی لازم برای به‌کارگیری روش فوق وجود نخواهد داشت. پالمیر (۱۹۸۰) استفاده از تفاوت مشاهده شده در XY بهینه

روش لرزه‌ای شکست مرزی (یا لرزه‌نگاری انکساری) به طور گسترده‌ای در مطالعات زیرسطحی به کار می‌رود. اساس روش مبتنی بر ثبت اولین رسیدهای موج شکست مرزی است. تمام روش‌های تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی، مبتنی بر دو فرض است: اول اینکه سرعت انتشار موج با عمق افزایش یابد و دوم اینکه امواج لرزه‌ای تحت زاویه بحرانی به مرز دو لایه برسند. در صورت صادق نبودن فرض اول (وارونگی سرعت) و یا وجود لایه نازک پدیده‌هایی رخ خواهند داد که به ترتیب در اصطلاح لایه مخفی و زون کور نامیده می‌شوند. در صورت وجود چنین پدیده‌هایی، در محاسبه ضخامت لایه‌های رویی و تعیین عمق و سرعت لایه‌های زیرین خطاهایی بروز خواهد کرد که این پدیده‌ها در شمار محدودیت‌های بزرگ روش لرزه‌نگاری انکساری در حل مسائل مهندسی به‌شمار می‌روند. تلاش‌های زیادی برای حل این مشکلات صورت گرفته



شکل ۱. تعریف شماتیک دورافت (S). الف) دورافت محاسبه شده (Sc). ب) دورافت مشاهده شده (So). فرض شده است که در محل A روی سطح شکنا نوعی ناهمواری زمین‌شناسی وجود دارد (مریک و گرین‌هال، ۱۹۹۰).

$$S_c = 2 \sum_{j=1}^{n-1} Z_j^* \tan i_{j,n+1}$$

در صورت وجود لایه مخفی (رخداد پدیده وارونگی سرعت)، عمق لایه زیر لایه مخفی بزرگ‌تر از مقدار حقیقی تخمین زده می‌شود (مریک و گرین‌هال، ۱۹۹۰). بنابراین با توجه به شکل ۱-ب

$$S_0 = 2Z_1 \tan i_{1,3} + 2Z_2 \tan i_{2,3} \quad \text{و} \quad Z_1^* > Z_1 + Z_2 \quad (i)$$

از آنجا که:

$$V_1 > V_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_3} > \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow \sin i_{1,3} > \sin i_{2,3} \Rightarrow \tan i_{1,3} > \tan i_{2,3}$$

پس بیشترین مقدار دورافت مشاهده شده (SoMAX) به صورت زیر خواهد بود:

$$S_{0MAX} = (2Z_1 + 2Z_2) \tan i_{1,3}$$

با مقایسه روابط (۱) و (i) می‌توان نتیجه گرفت که $S_c > S_0$.

با توجه به رابطه دورافت محاسبه شده در حالت مدل زمین n+1 لایه‌ای که لایه n ام آن به عنوان لایه مخفی است و فاکتورگیری از عبارت Z_n در آن:

$$\frac{S_0}{2} = \sum_{j=1}^{n-1} Z_j \tan i_{j,n+1} + Z_n \tan i_{n,n+1} = \quad (ii)$$

$$\sum_{j=1}^{n-1} Z_j \tan i_{j,n+1} + \left(\frac{T_{n+1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{Z_j}{V_{j,n+1}} \right) V_{n,n+1} \tan i_{n,n+1}$$

محاسبه شده و واقعی را در روش GRM (دوسویه تعمیم یافته) برای حل این مشکل پیشنهاد کرد. سارکار و همکاران (۱۹۹۱) کارآیی بازتاب‌های فوق بحرانی برای حل مشکل لایه نازک ارائه کرد.

در این تحقیق سعی شده تا کارآیی روش دورافت آنومالی برای حل مشکل وارونگی سرعت و روش بازتاب فوق بحرانی برای حل مشکل لایه نازک بررسی و نتایج آن ارائه شود. این روش‌ها پس از تدوین الگوریتم‌های لازم، روی داده‌های مصنوعی مورد سنجش قرار گرفته‌اند. همچنین در این بررسی برای تهیه داده‌های لرزه‌ای انکساری مصنوعی مورد نیاز، نرم‌افزاری تدوین شد که از آن برای مدل‌سازی پیشرو هم استفاده شده است. اساس کار این نرم‌افزار بر ردیابی پرتو موج استوار است.

۲ حل مشکل وارونگی سرعت با استفاده از دورافت آنومالی

۱-۲ مبانی نظری روش

منظور از دورافت، فاصله افقی بین دو پرتو انکساری در سطح زمین است که از یک نقطه روی سطح شکنا به ژئوفون‌ها می‌رسند. این پرتوها از انفجارهای رو به جلو و معکوس (متقابل) حاصل می‌شوند. این تعریف از لحاظ نظری هم‌ارز مقدار بهینه (یا XY بهینه) در اروش GRM (پالمر، ۱۹۸۰) است. در صورت وجود ساختارهای زمین‌شناسی مانند تغییر در شیب سطح شکنا، کانال‌های مدفون، گسل و برجستگی سنگ بستر، آنومالی‌هایی روی نمودار زمان - مسافت چشمه‌های متقابل حاصل می‌شوند.

شکل ۱ به‌طور شماتیک تعریفی از دورافت را نشان می‌دهد.

با توجه به قسمت الف) از شکل ۱ می‌توان نوشت:

$$S_c = 2Z_1^* \tan i_{1,3} \quad (1)$$

که در آن $\sin i_{1,3} = \frac{V_1}{V_3}$ و Z_1^* ضخامت لایه در تفسیر مقدماتی است. در حالت مدل زمین n+1 لایه‌ای رابطه (۱) به صورت زیر خواهد بود:

که

عبارت سمت چپ تساوی به صورت زیر است:

$$V_{n,n+1} \tan \alpha_{n,n+1} = \frac{V_n V_{n+1}}{(V_{n+1}^2 - V_n^2)^{1/2}} \frac{V_n}{(V_{n+1}^2 - V_n^2)^{1/2}}$$

$$= \frac{V_n^2 V_{n+1}}{V_{n+1}^2 - V_n^2} = \frac{V_{n+1}}{\left(\frac{V_{n+1}}{V_n}\right)^2 - 1}$$

که از آن نتیجه می شود:

$$\left(\frac{V_{n+1}}{V_n}\right)^2 - 1 = AV_{n+1} \quad \frac{V_{n+1}}{V_n} = (1 + AV_{n+1})^{1/2}$$

در نهایت با جایگزینی $V_n = V_1$ با فرض $Z_{n-1} = 0$:

$$V_L = V_{n+1}(1 + AV_{n+1})^{-1/2} \quad (3)$$

که در آن A دارای مقدار زیر است:

$$A = \left(\frac{T_{n+1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} \frac{Z_j \cos i_{j,n+1}}{V_j} \right) \left(\frac{S_0}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} Z_j \tan i_{j,n+1} \right)^{-1}$$

۲-۲ نرم افزار تهیه داده های مصنوعی

به منظور تهیه داده های مصنوعی برای اثبات کارایی روش دورافت آنومالی و استفاده از آن برای انجام محاسبات، نرم افزاری تدوین شده که فلوچارت آن در شکل ۲ نشان داده شده است. فایل ورودی داده ها بر این اساس طراحی شده است که محل چشمه به عنوان مبدأ دستگاه مختصات باشد و برای هر ژئوفون فاصله از چشمه، عمق و سرعت لایه ها تعریف شود.

۳-۲ آزمون روی داده های مصنوعی

با کمک نرم افزار یاد شده زمان اولین رسید موج برای مدل نشان داده شده در قسمت پایین شکل ۳ محاسبه و نمودار زمان - مسافت مربوطه در بالای همان شکل رسم شده است. برای تعیین مقدار دورافت ناهمواری مشاهده شده روی نمودار زمان - مسافت، از روش GRM به عنوان تفسیر مقدماتی داده های مصنوعی استفاده شده است. شکل های ۴ و ۵ به ترتیب تابع تحلیل سرعت و تابع زمان - عمق محاسبه شده برای نمودار یاد شده را نشان می دهند.

$$V_{j,n} = \frac{V_j V_n}{\sqrt{V_n^2 - V_j^2}}$$

با فاکتور گرفتن از عبارت Z_{n-1} در رابطه (ii):

$$\frac{S_0}{2} = Z_{n-1} \left[\tan i_{n-1,n+1} - \left(\frac{V_{n,n+1}}{V_{n-1,n+1}} \right) \tan i_{n,n+1} \right] \quad (iii)$$

$$+ \sum_{j=1}^{n-2} Z_j \tan i_{j,n+1} + \left(\frac{T_{n+1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} \frac{Z_j}{V_{j,n+1}} \right) V_{n,n+1} \tan i_{n,n+1}$$

که از آن می توان رابطه محاسبه ضخامت لایه بالای لایه مخفی را به صورت زیر استخراج کرد:

$$Z_{n-1} = \left\{ \left[\sum_{j=1}^{n-2} Z_j \left(\tan i_{j,n+1} - \frac{V_{n,n+1}}{V_{j,n+1}} \tan i_{n,n+1} \right) \right] + \frac{T_{n+1}}{2} V_{n,n+1} \tan i_{n,n+1} - \frac{S_0}{2} \right\} \times \left(\frac{V_{n,n+1}}{V_{n-1,n+1}} \tan i_{n,n+1} - \tan i_{n-1,n+1} \right)^{-1}$$

حال با معلوم بودن ضخامت لایه های روی لایه مخفی،

می توان ضخامت لایه مخفی را با رجوع به معادلات استاندارد به صورت زیر محاسبه نمود:

$$Z_n = \left(\frac{T_{n-1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{Z_j \cos i_{j,n+1}}{V_j} \right) \frac{V_n}{\cos i_{n,n+1}} \quad (2)$$

بیشترین سرعت لایه مخفی می تواند سرعت بالایی آن باشد.

به عبارتی اگر $Z_{n-1} = 0$ با توجه به رابطه (iii):

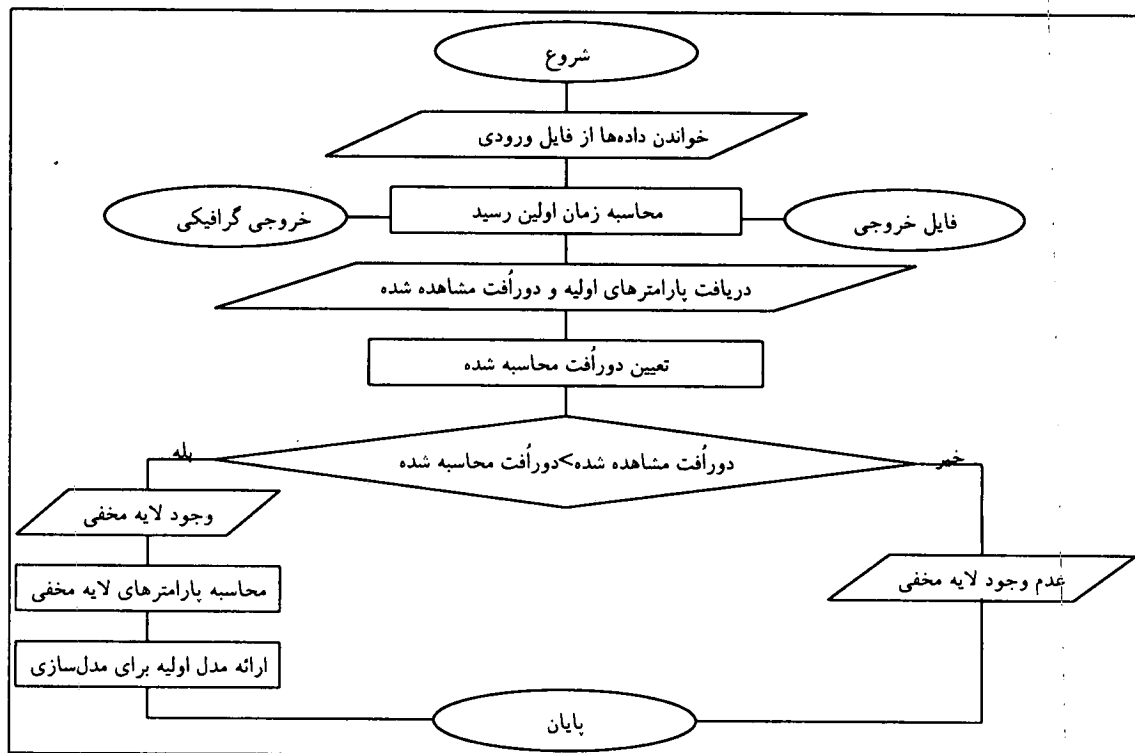
$$\frac{S_0}{2} = \sum_{j=1}^{n-2} Z_j \tan \alpha_{j,n+1} + \left(\frac{T_{n+1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} \frac{Z_j}{V_{j,n+1}} \right)$$

$$V_{n,n+1} \tan \alpha_{n,n+1}$$

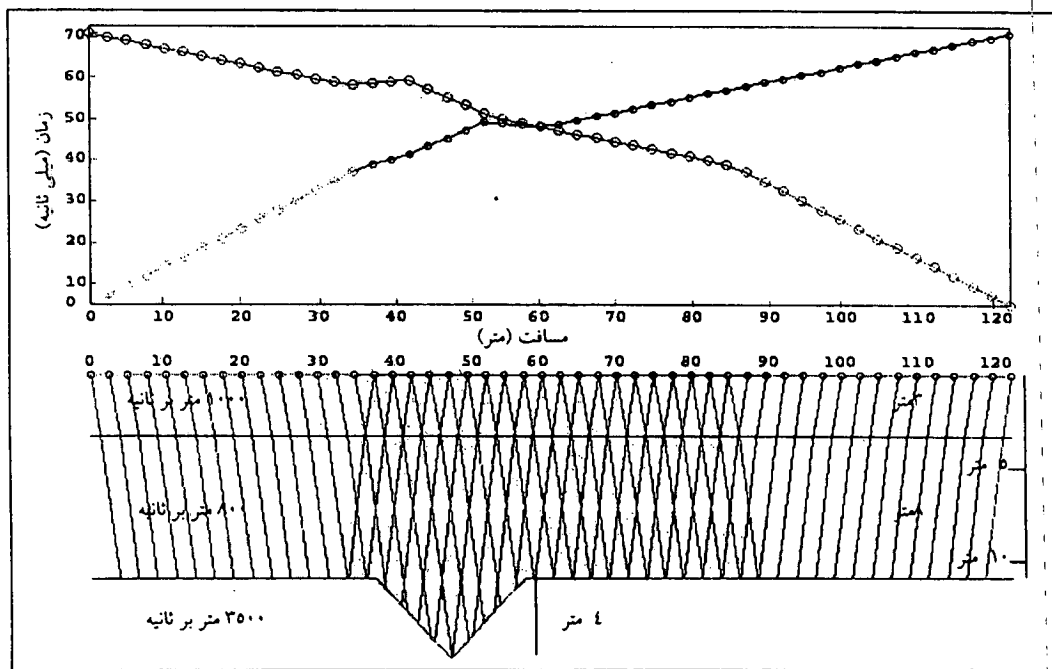
با بیرون کشیدن عبارت $V_n = V_L$ از داخل سیگما (تنها در دو جمله آخر دیده می شود):

$$V_{n,n+1} \tan \alpha_{n,n+1} = \left(\frac{S_0}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} Z_j \tan \alpha_{j,n+1} \right)$$

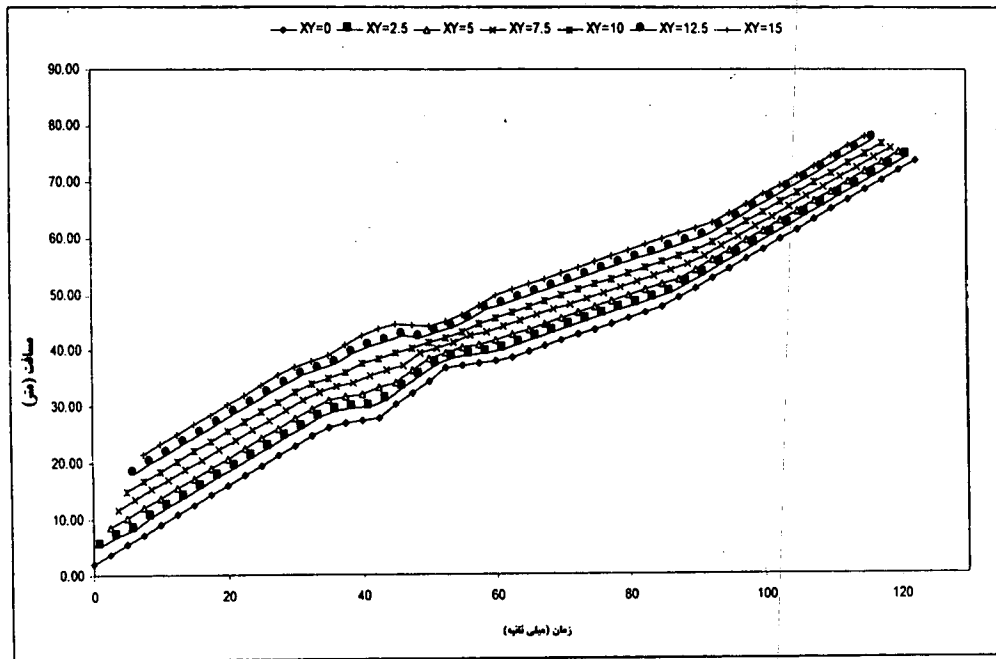
$$\left(\frac{T_{n+1}}{2} - \sum_{j=1}^{n-2} \frac{Z_j}{V_{j,n+1}} \right)^{-1} = \frac{1}{A}$$



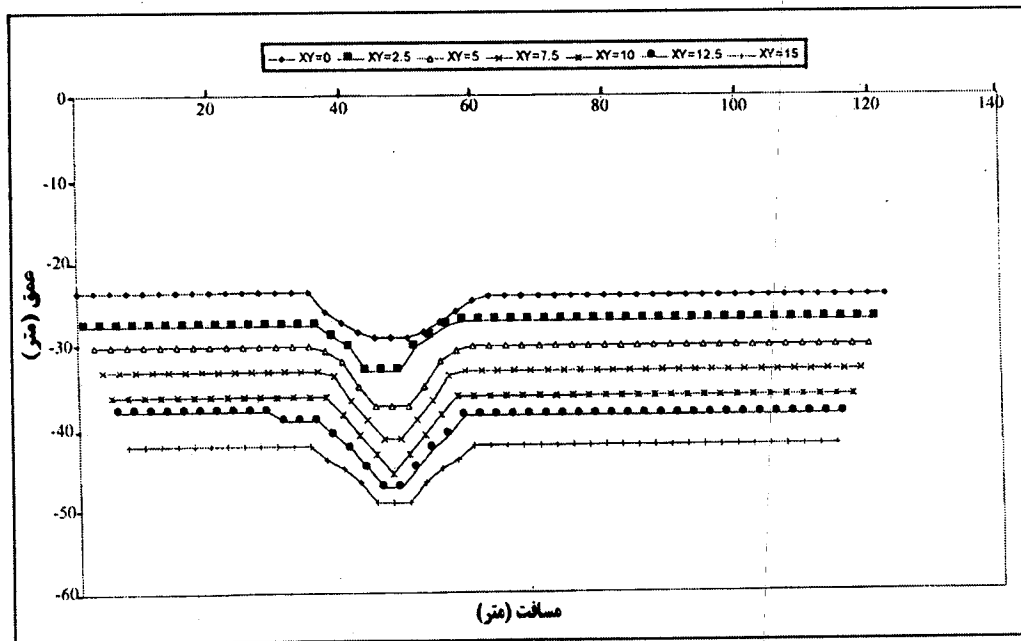
شکل ۲. فلوجارت نرم‌افزار تهیه داده‌های مصنوعی برای اثبات کارایی روش دورافت آنومالی.



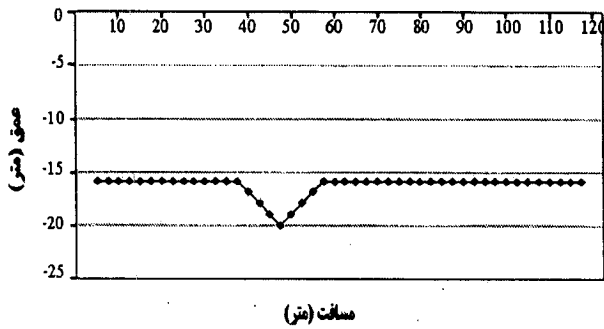
شکل ۳. مدل زمین با حضور لایه مخفی و سطح شکنای دارای افتادگی و نمودار زمان - مسافت مربوطه.



شکل ۴. تابع تحلیل سرعت محاسبه شده برای مدل زمین نشان داده شده در شکل ۳ (شیفت زمانی ۱۰ میلی ثانیه).



شکل ۵. تابع زمان - عمق محاسبه شده برای مدل زمین نشان داده شده در شکل ۳.



شکل ۶. مقطع نهایی حاصل از به‌کارگیری روش GRM برای مدل زمین نشان داده شده در شکل ۳.

۳ حل مشکل لایه نازک با استفاده از داده‌های بازتاب فوق بحرانی

۱-۳ مبانی نظری روش

معمولاً امواج بازتاب فوق بحرانی (بازتابیده تحت زاویه بزرگ‌تر از زاویه بحرانی) دارای دامنه بزرگ‌تری نسبت به امواج شکست مرزی و امواج منعکس بازتاب شده با زاویه‌ای کمتر از زاویه بحرانی هستند (شریف و گلدارت، ۱۹۹۵). می‌توان این ویژگی از بازتاب فوق بحرانی را به طور مؤثر در تشخیص زون کور در داده‌های لرزه‌ای انکساری و تعیین پارامترهای آن به کار برد.

در نمودار زمان - مسافت حاصل از لرزه‌نگاری انکساری روی یک مدل زمین n لایه افقی، n پاره خط دیده می‌شود که هر کدام نشانگر یک لایه (یا مرز جدایی) است و عکس شیب مربوط به پاره خط‌ها برابر سرعت انتشار موج در لایه مورد نظر خواهد بود (در اینجا فرض بر افزایش سرعت با عمق بوده و ضخامت لایه‌ها در حدی است که مسئله زون کور روی ندهد). در همین مدل زمین n لایه، چنانچه لرزه‌نگاشت مربوط به رسیدهای تأخیری (فازهای غیر از اولین رسید) نیز در دسترس باشد، $n-1$ هذلولی مربوط به بازتاب‌های فوق بحرانی مشاهده خواهد شد که در مسافت‌های زیاد هر هذلولی به پاره خط انکساری مربوط به خود مماس می‌شود. شکل ۷، نمودار زمان - مسافت محاسبه شده با

توجه به مقدار محاسبه شده مجذور اختلاف داده‌ها برای منحنی‌ها، در شکل ۴ مقدار بهینه XY برابر ۱۰ متر انتخاب و از آن برای سرعت شکنا ۲۹۵۰ متر بر ثانیه محاسبه شده است. با محاسبه فاکتور تبدیل عمق، مقطع نهایی محاسبه (شکل ۶) و ضخامت لایه (میانگین ضخامت لایه زیر ژئوفون‌ها) ۱۵/۹ متر با استفاده از روش GRM تعیین گردید. بر اساس پالم (۱۹۸۰)، فاکتور تبدیل عمق

از رابطه $(V_{jn}) = \frac{V_j V_n}{[(V_n)^2 - (V_j)^2]^{1/2}}$ به دست می‌آید که

در آن V_j سرعت لایه‌ها و V_n سرعت لایه آخر است. جدول ۱ نتایج تفسیر مقدماتی نمودار زمان - مسافت را برای مدل زمین نشان داده شده در شکل ۳ را ارائه می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۱ و با کمک رابطه (۱)، مقدار دورافت محاسبه شده $13/4(S_c)$ متر به دست آمد که از دورافت مشاهده شده (متر $S_0=10$) بزرگ‌تر است و این نشانگر وجود لایه مخفی است. با استفاده از رابطه (۳) ضخامت لایه مخفی ۴/۶ متر و به کمک رابطه (۴) حداکثر سرعت انتشار موج در آن ۸۰۰ متر تعیین شد. حال با اصلاح مدل اولیه و منظور کردن لایه مخفی با مشخصات فوق، و مدل‌سازی پیشرو و تکرار آن، نتایج ارائه شده در جدول ۲ حاصل شده است که انطباق بسیار خوبی با مدل واقعی زمین (شکل ۳) دارد.

جدول ۱. نتایج تفسیر مقدماتی منحنی زمان - مسافت مدل زمین ۲ لایه (بدون در نظر گرفتن لایه مخفی) با روش GRM.

ضخامت (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۱۵/۹	۱۰۰۰
	۲۹۵۰

جدول ۲. نتایج تفسیر مدل ۳ لایه پس از منظور کردن لایه مخفی (لایه وسطی) پس از ۷ بار تکرار مدل‌سازی.

ضخامت (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۳/۴	۱۰۰۰
۱۰/۶۱	۷۱۰
	۳۴۰۰

معادلات خطی مرکب از آنها تعیین نمود. رابطه‌ی نهایی به صورت زیر خواهد بود (موسی پور، ۱۳۸۱؛ کالچند و ردی، ۱۹۹۷).

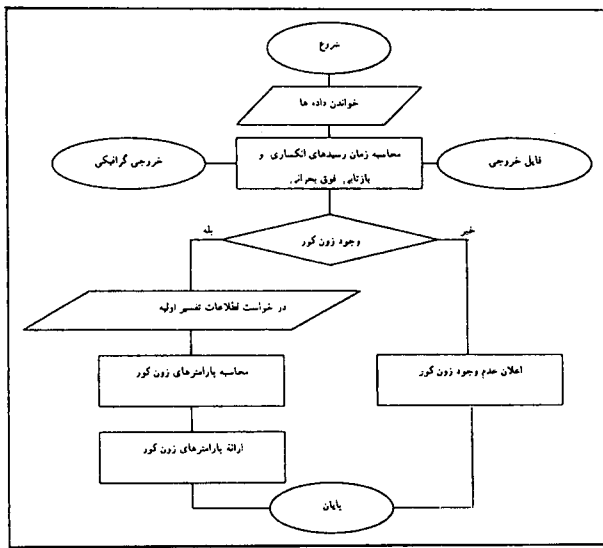
$$T_{0bz} = 2 \frac{Z_1(V_3^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_3 V_1} \quad (6)$$

و ضخامت زون کور (Z_{bz}) در همین مدل از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Z_{bz} = \frac{V_2 V_3}{2(V_3^2 - V_2^2)^{1/2}} \left[T_{0bz} - 2 \frac{Z_1(V_3^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_3 V_1} \right] \quad (7)$$

۲-۳ نرم‌افزار تهیه داده‌های مصنوعی

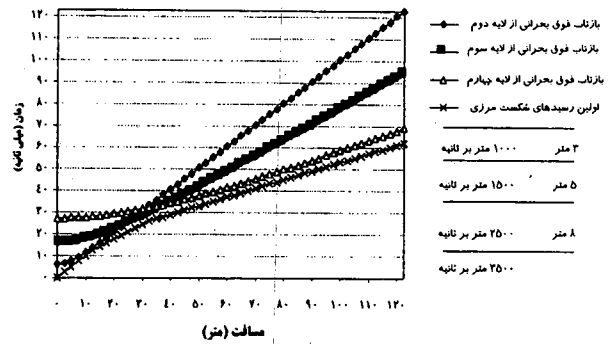
برای تهیه داده‌های مصنوعی به منظور اثبات کارایی بازتاب‌های فوق بحرانی و استفاده از آن برای انجام محاسبات، نرم‌افزاری تدوین شده که فلوجارت آن در شکل ۹ ارائه شده است. ساختار فایل ورودی این نرم‌افزار مشابه نرم‌افزار قبلی است.



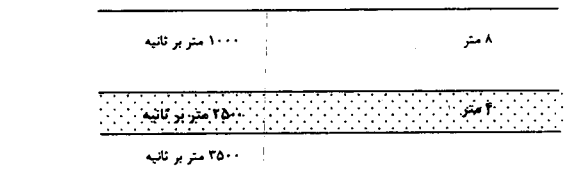
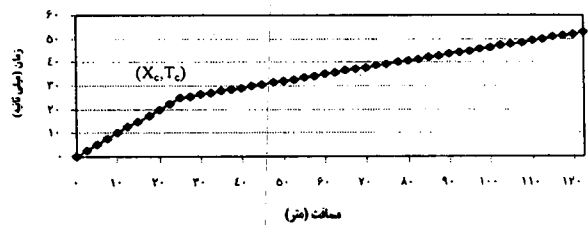
شکل ۹. فلوجارت نرم‌افزار تولید داده‌های مصنوعی برای اثبات کارایی روش بازتاب فوق بحرانی.

۳-۳ آزمون روش روی داده‌های مصنوعی

شکل ۱۰ لرزه‌نگاشت مصنوعی تهیه شده با نرم‌افزار یاد شده، برای مدل سه لایه‌ای نمایش داده شده در شکل ۸ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، بازتاب فوق بحرانی از سطح



شکل ۷. نمودار زمان - مسافت مدل ۴ لایه‌ای که بازتاب‌های فوق بحرانی در آن مشخص شده‌اند (موسی پور، ۱۳۸۱).



شکل ۸. نمودار زمان - مسافت اولین رسیده‌های مدل زمین ۴ لایه‌ای با زون کور (موسی پور، ۱۳۸۱).

نرم‌افزار برای یک مدل زمین ۴ لایه‌ای را نشان می‌دهد که در آن پاره خط‌های مربوط به امواج انکساری و هذلولی‌های مربوط به امواج بازتاب فوق بحرانی مشخص شده‌اند.

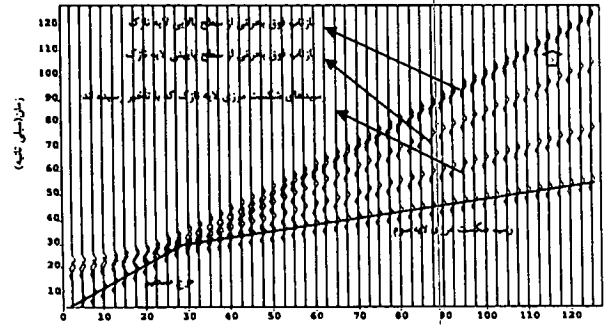
با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که پاره خط‌های امواج انکساری مربوط به لایه‌های اول و سوم در نقطه (X_c, T_c) متقارب شده و پاره خط موج انکساری مربوط به لایه دوم پنهان مانده است (یعنی جزء اولین رسیده‌ها نمی‌باشد). لازم به ذکر است که پاره خط مربوط به امواج انکساری زون کور نیز در این نقطه با دو پاره خط فوق برخورد خواهد کرد که برای پرهیز از شلوغی در شکل نشان داده نشده است. زمان برخوردگاه زون کور (T_{0bz}) را می‌توان با تعیین معادله سه خط ذکر شده و حل دستگاه

۴ نتیجه‌گیری

نتایج بررسی حاضر نشان داد که دورافت آنومالی، شناسه خوبی برای تشخیص لایه مخفی و محاسبه ضخامت و سرعت آن است. با به‌کارگیری روش‌های آماری (تعیین همبستگی بین بخش‌های مهاجرت داده شده انفجار معکوس و رو به جلو) یا از روی مقدار XY بهینه (در روش پالمر) می‌توان مقدار دقیق‌تری برای دورافت تعیین کرد. ولی بهترین نتیجه وقتی حاصل می‌شود که ساختارهای مشخصی مانند کانال شیب‌دار، هورست، گرابن و غیره روی سطح شکنا موجود باشند تا بتوان اثر آنها را روی نمودارهای زمان - مسافت به خوبی تشخیص داد. در ضمن باید به این نکته نیز اشاره کرد که موفقیت روش دورافت آنومالی تابع عمق است. یعنی اگر ناهمواری روی شکنا در عمق زیادی قرار گرفته باشد، شاید اثر آن را نتوان روی نمودارهای زمان - مسافت تشخیص داد. همچنین در مقاله حاضر نشان داده شد که به‌کارگیری داده‌های تکمیلی یعنی داده‌های بازتاب‌های فوق بحرانی راه حل قابل اعتمادی برای مشکل زون کور است. این بازتاب‌ها را به سبب بزرگی دامنه، می‌توان بر روی رکوردهای لرزه‌ای تشخیص داد. همچنین نشان داده شد در صورت نبود تغییرات جانبی سرعت، در لایه‌های افقی، با سرعت و دقت کافی، پارامترهای زون کور را می‌توان با استفاده از داده‌های موج بازتابی فوق بحرانی تخمین زد. کار با این روش ساده است و می‌توان به راحتی سرعت لایه مخفی را نیز محاسبه کرد. روش فوق را، با این شرط که بازتاب‌های فوق بحرانی آنها در لرزه نگاشت قابل تمیز باشد، می‌توان برای حالتی که در آن چندین زون کور وجود داشته باشد نیز تعمیم داد. در چنین حالتی مطالعه روی لرزه‌نگاشت، دقت دو چندانی را طلب می‌کند.

منابع

موسی‌پور، م. ب.، ۱۳۸۱، حل مشکل وارونگی سرعت و لایه نازک در برداشت‌های لرزه‌ای شکست مرزی، پایان‌نامه



شکل ۱۰. لرزه‌نگاشت مصنوعی محاسبه شده برای مدل زمین نشان داده شده در شکل ۸

پایینی لایه نازک با پیکان مشخص شده است. در عمل رسیده‌های انکساری مربوطه را نخواهیم داشت (در این شکل بیشتر رسیده‌های مربوطه رسم شده است).

در جدول ۳، نتایج تفسیر مقدماتی نمودار زمان - مسافت اولین رسیده‌های نشان داده شده در شکل ۸ آورده شده است. برای توجیه وجود بازتاب فوق بحرانی مشخص شده (با پیکان) در شکل ۱۰، زون کوری با سرعت ۲۰۰۰ متر بر ثانیه (عکس شیب مجانب هذلولی فوق الذکر) و ضخامت ۶ متر (محاسبه شده از رابطه ۷) به مدل به دست آمده در جدول ۳ اضافه شد و پس از مدل‌سازی پیشرو و تکرار آن، نتایج نهایی در جدول ۴ آورده شده است که در این حالت انطباق خوبی بین مدل اولیه (شکل ۸) و نتایج حاصل از مدل‌سازی (جدول ۴) به چشم می‌خورد.

جدول ۳. نتایج تفسیر مقدماتی نمودار زمان - مسافت مدل شکل ۸

ضخامت (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۹/۳	۱۰۰۰
	۳۱۰۰

جدول ۴. نتایج مدل‌سازی پس از ۹ بار تکرار با در نظر گرفتن زون کور.

ضخامت (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۸/۲	۱۰۰۰
۴/۱	۲۱۰۰
	۳۴۰۰

کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.

- Palmer, D., 1980, The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation: Soc. Expl. Geophys., SEG, U. S. A..
- Pant, P. R. and Vijayaraghava, M. S., 1987, A simple approach to the masked-layer problem in seismic refraction work: *Geoexpl.*, **24**, 549-556.
- Raghava, M. S. V. and Kumar, G. N., 1979, The blind-zone problem in multiple refraction-layer overburden situations: *Geophys. Prosp.*, Eur. Assn. Geosci. Eng., **27**, 474-479.
- Sarkar, D., Tewari, H. C., Dixit, M. M. and Kaila, K. L., 1991, A solution to the blind-zone problem by modelling of post-critical reflections: *Geophysics*, **56**, 302-307.
- Schmoller, R., 1982, Some aspects of handling velocity inversion and hidden-layer problems in seismic refraction work: *Geophys. Prosp.*, **30**, 735-751.
- Sheriff, R. E., Geldart, P. L., • 1995, *Exploration seismology*, 2nd ed., Cambridge University Press.
- Won, I. J. and Bevis, M., 1984, The hidden-layer problem revisited: *Geophysics*, **49**, 2053-2056.
- Banerjee, B. and Gupta, S. K., 1975, The hidden layer problem in seismic refraction work: *Geophys. Prosp.*, **23**, 642-652.
- Greenhalgh, S. A., 1977, Comments on 'the hidden-layer problem in seismic refraction work': *Geophys. Prosp.*, **25**, 179-181.
- Hawkins, L. V. and Maggs, D., 1961, Nomograms for determining maximum errors and limiting conditions in seismic refraction survey with a blind zone problem: *Geophys. Prosp.*, **9**, 526-532.
- Kalchand, S. and Reddy, P. R., 1997, Use of postcritical reflections in solving the hidden-layer problem of seismic refraction work: *Geophysics*, **62**, 1285-1291.
- Merrick, N. P. and Greenhalgh, S. A., 1990, The use of anomaly offset in solving hidden-layer problems: *Geoexpl.*, **26**, 181-190.
- Morgan, N. A., 1967, The use of continuous seismic profiler to solve hidden layer problems: *Geophys. Prosp.*, **15**, 34-43.