محاسبه اندازه خانک و دهانه کوچ در طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی با استفاده از مدل سرعت خطی: بررسی موردی میدان نفتی اهواز

احسان پگاه[۱*]، عبدالرحیم جواهریان[۲] و داود نوروزی[۳]

[۱] شرکت ژئوفیزیک دانا، تهران، ایران
[۲] دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
[۳] مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۸)

چکیده

در اکتشافات نفت سرعت سیر امواج در زمین به علت ناهمسانگرد بودن آن در جهت‌های افقی و قائم یکسان نیست. اما این فرض را که با حرکت در جهت افقی برای بیشتر مناطق، تغییرات سرعت لرزه‌ای کوچک است، می‌توان با دقت خوبی در صنعت اکتشاف ذخایر هیدروکربوری به کار برد که این نیز در نتیجه تغییرات کم در چگالی و خواص کشسانی لایه‌ها در این جهت است. تغییرات افقی سرعت عموماً خیلی کُندتر از تغییرات در راستای قائم است بنابراین اغلب منطقه برداشت را به ناحیه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌کنند، به‌طوری‌که بتوان از تغییرات افقی در داخل هرکدام صرف‌نظر کرد و توزیع سرعت قائم یکسانی را به کار برد. اکثر روابط محاسبه اندازه خانک و دهانه کوچ که به سرعت وابسته هستند بر اصل فرض ثابت بودن آن استوارند. در این مقاله محاسبه این دو کمیت در طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز با استفاده از مدل سرعت خطی صورت می‌گیرد. از طرفی چون اندازه خانک و دهانه کوچ از مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت داده‌های برداشت شده و همچنین هزینه اجرای عملیات و پردازش داده‌ها هستند، لذا روش طراحی بیان شده در این مقاله که از محاسبات مربوط به مدل سرعت متغیر پیشنهاد شد باعث می‌شود که علاوه بر حفظ مناسب کیفیت داده‌های برداشت شده و دست‌یابی به مقادیر مطلوب کمیت‌های موثر در کیفیت اطلاعات، رابطه میان هزینه برداشت و اطلاعات به‌دست آمده نیز به شرایطی بهینه برسد.

واژه‌های کلیدی: اندازه خانک، دهانه کوچ، مدل سرعت متغیر (خطی)، مدل سرعت ثابت، سازند آسماری، سازند فهلیان

Calculation of the bin size and migration aperture in a 3-D seismic survey design using a linear velocity model: A case study of Ahwaz Oil Field

Ehsan Pegah[1*], Abdolrahim Javaherian[2] and Davood Nowroozi[3]

[1] *DANA Geophysics Company, Tehran, Iran*
[2] *Department of Petroleum Engineering, Amir Kabir University of Technology*
[3] *Exploration Directorate, National Iranian Oil Company*

(Received: 25 September 2011, accepted: 18 September 2012)

Summary

In oil exploration, because of the anisotropy of the earth, the velocity of the waves in horizontal and vertical directions are not uniform; however, with a good accuracy in exploration procedures, we can assume that in a layer, velocity changes are limited as a results of slow variations in density as well as the elastic properties of the layers in these horizontal directions. In general, variations of the above mentioned parameters in

[*] Corresponding author: ehsan.pegah@yahoo.com [*] نگارنده رابط:

horizontal directions are much slower than in vertical ones. For this reason, the acquisition area is often divided into smaller areas; horizontal variations are neglected while the same vertical velocity distributions are applied in any sub-area.

There are basically two methods in calculation of the bin size and migration aperture in a 3-D seismic survey design. The first method is based on using a constant velocity model which is not compatible with real conditions. In this model, we assume that the medium between the surface of the earth and the target layer is replaced with supposed layer and ascribe a constant amount velocity to this layer that is equal to the average velocity in medium between the surface and the target layer. The second method uses the model wherein the velocity changes with depth and therefore a linear velocity model is assumed which is more compatible with reality in comparison with the previous method. Whereas the linear velocity method can include all important wave propagation effects, it involves a certain circular logic. This method, involves building a detailed subsurface velocity model and uses ray tracing or other simulation techniques to customize the survey for the local subsurface.

In Ahwaz Oil Field, the main target was Asmari Formation and the deep target was Fahlian Formation. The 3-D seismic survey design of Ahwaz Oil Field was performed on the main target located in the depth of 2900 m and the deep target located in the depth of 5000 m from the mean sea level. Ground level was about 15 to 40 m higher than the sea level in this area. By considering the check shot, VSP and sonic log data from 14 well logs, the image area was divided into 14 parts, so that the variations of the horizontal velocity could be neglected in each part and the constant contribution for the vertical velocity could be used. Finally, using the velocity values at the desired vertical depth to the reflection point (target depth), the dip angles of the target horizon (dip of reflector at the reflection Point) and the maximum frequency reflected from the main target, we were able to calculate the bin size and migration aperture in each part. At last, we could select a value for the bin size in this project.

In this study, we examined the parameters of the velocity-dependent 3-D seismic survey design. These parameters included the bin size and migration aperture. Conventional formula for the bin size and migration aperture for Ahwaz Oil Field was carried out based on the linear model between the velocity and depth. As an intermediate between constant velocity and interval velocity model, we have given expressions valid for a linear velocity function. By using the linear velocity model, the design parameters incorporated first-order ray bending. Hence, this method was adjusted to the reality and led to better results compared to a constant velocity model.

Linear V(z) is an attractive approximation for three reasons. First, this kind of velocity variation captures the first-order effect of the pressure and the temperature increases with depth. It does not require detailed knowledge of the subsurface velocities. Second, analytical expressions are available for the ray path geometry and travel times in such a medium. Third, the linear V(z) propagation allows turning waves which have potential for imaging dips beyond 90 degrees.

Migration aperture is overestimated by constant velocity calculations, whereas the bin size is underestimated and this results in an increase in costs. On the other hand, calculations based on a linear velocity model require a less migration aperture and a larger bin size. The bin size and migration aperture are two sensitive economy parameters. Hence, using a larger bin size and a smaller migration aperture obtained from a linear velocity model, the cost of a 3-D seismic survey design will be decreased.

Key words: Bin size, migration aperture, linear velocity model, constant velocity model, Asmari Formation, Fahlian Formation

۱ مقدمه

فرایند طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی از دو مرحله تشکیل شده است. مرحله نخست را پیش‌طراحی می‌نامند، این مرحله شامل مجموعه‌ای از محاسبات فیزیکی و مالی است که نتایج به‌دست آمده از آن طراحان را برای اجرای مرحله دوم، یعنی طراحی جزئیات راهنمایی می‌کند. مرحله پیش‌طراحی شامل محاسبات میزان نمونه‌برداری، دوراُفت نزدیک و دور، طول زمان ثبت، اندازه خانک (Bin)، دهانه کوچ، پوشش عمقی نقطه میانی مشترک، ناحیه تصویر، هزینه عملیات و برآوردهای مالی دیگر است. در واقع این مرحله به‌منزلهٔ یک بررسی سریع به منظور فراهم کردن پارامترها برای مرحله دوم طراحی در نظر گرفته می‌شود. عملیاتی که در مرحله پیش‌طراحی عملی و ممکن به‌نظر می‌رسند، برای اجرا و بررسی بیشتر، به مرحله بعدی فرستاده می‌شوند. مرحله دوم دربرگیرنده محاسباتی چون الگوی انفجار، پوشش عمقی قائم، نوع چشمه و گیرنده، آرایه‌های چشمه و گیرنده، فاصله نقاط چشمه از هم، خطوط چشمه، گیرنده‌ها و خطوط گیرنده است. محاسبه کلیه این پارامترها از پارامترهای موجود در مرحله پیش‌طراحی امکان‌پذیر است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای موردنیاز در تعیین اندازه خانک و دهانه کوچ سرعت است و آن نیز عموماً با عمق افزایش می‌یابد. اکثر رابطه‌هایی که برای محاسبه اندازه خانک و دهانه کوچ به‌دست آمده‌اند فقط برای محیط‌های با سرعت ثابت صادق هستند یعنی رابطه معمول در تعیین اندازه خانک و دهانه کوچ درنهایت براساس فرض ثابت بودن سرعت پایه‌گذاری شده است اما ممکن است سرعت در جهت‌های متفاوت تغییر کند.

در اکتشافات نفت، سرعت سیر امواج در زمین به علت ناهمسانگرد بودن آن در جهت‌های افقی و قائم یکسان نیست. اما این فرض را که با حرکت در جهت افقی برای بیشتر مناطق، تغییرات سرعت لرزه‌ای کوچک است، می‌توان با دقت خوبی در صنعت اکتشاف به‌کار برد که این نیز در نتیجه تغییرات کم در چگالی و خواص کشسانی لایه‌ها در این جهت است. تغییرات افقی عموماً خیلی کندتر از تغییرات در راستای قائم است، یعنی در حین گذر از لایه‌ای به لایه دیگر، تغییرات سنگ‌شناسی و افزایش فشار با افزایش عمق مشهود است، به‌همین علت اغلب منطقه برداشت را به ناحیه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌کنند به‌طوری‌که بتوان از تغییرات افقی در داخل هرکدام صرف‌نظر کرد و توزیع سرعت قائم یکسانی را به‌کار برد. این نواحی اغلب به اندازه کافی بزرگ هستند، به گونه‌ای که تغییرات از یک تابع سرعت به دیگری زحمت زیادی را به مفسر تحمیل نکند.

تغییرات قائم سرعت را می‌توان به راه‌های متفاوتی در نظر گرفت. ساده‌ترین راه که با واقعیت سازگاری چندانی ندارد استفاده از شکل مدل سرعت ثابت است. در چنین مدلی فرض می‌شود که بخش موجود بین سطح زمین و افق بازتابنده معینی را بتوان با یک لایه هم‌ارز با سرعت ثابت که برابر میانگین سرعت در آن بخش است، جایگزین کرد. در چنین حالتی که سرعت در هر لایه ثابت است، انتشار موج را می‌توان با پارامتر پرتو دنبال کرد. انتشار موج در چنین محیط‌هایی را می‌توان با پرتوهایی به‌صورت خط مستقیم که پس از عبور از هر لایه، این خطوط مستقیم شکسته می‌شوند، نشان داد. شکسته شدن این خطوط از رابطه معروف اسنل تبعیت می‌کند. اما در محیطی که در آن سرعت به‌صورت خطی تغییر می‌کند وضعیت با حالت سرعت ثابت که سرعت در هر لایه ثابت است قدری تفاوت دارد. بنابراین در چنین محیطی نمی‌توان انتشار موج را به‌صورت خطوط مستقیمی که لایه‌ها را قطع می‌کنند نشان داد زیرا در حقیقت در چنین حالتی اصولاً لایه‌بندی به مفهوم حالت قبلی وجود ندارد. در چنین محیطی موج به تدریج انحنا پیدا می‌کند اما در این حالت نیز انتشار موج از معادله اسنل تبعیت

می‌کند زیرا چنین محیطی را می‌توان با تعداد زیادی لایه‌بندی کوچک (نازک) در نظر گرفت که در هرکدام از این لایه‌های کوچک سرعت ثابت است. با میل دادن تعداد لایه‌ها به سمت بی‌نهایت، ضخامت هر لایه بی‌نهایت کوچک و توزیع سرعت تابعی پیوسته از عمق خواهد شد. در چنین محیطی سرعت در زمین به‌صورت یک روند پیوسته تغییر می‌کند و بنابراین می‌توان برای سرعت تابعی به‌دست داد که بتوان سرعت را در هر نقطه‌ای درون زمین با آن پیدا کرد. معمول‌ترین تابعی که برای سرعت تقریب زده می‌شود، تابعی است که در آن سرعت به‌صورت خطی با عمق تغییر می‌کند.

بی و همکاران (۱۹۹۴) استفاده از مدل سرعت متغیر را برای محاسبه کمیت‌های موثر در طراحی عملیات‌های لرزه‌نگاری پیشنهاد کردند و از آن برای بیان تاثیر آن در کاهش فاصله دهانه کوچ استفاده کردند. لاینر و گوبلی (۱۹۹۶) به عرضهٔ ارتباط موجود میان اندازه خانک و مدل سرعت خطی و در ۱۹۹۷ به بیان این ارتباط با طراحی عملیات‌های لرزه‌نگاری سه‌بُعدی و وضعیت‌های ایجاد شده در این حالت پرداختند. از طرف دیگر مارگریو (۱۹۹۷) ملاحظات بی و همکاران (۱۹۹۴) را گسترش دادند و به عرضهٔ تغییرات ایجاد شده در پارامترهای عملیاتی لرزه‌نگاری برای حالت مدل سرعت متغیر پرداختند. سپس لاینر و آندرود (۱۹۹۹) به طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی برای محیط‌های با سرعت خطی پرداختند و این مدل ازسوی کوردسن و همکاران (۲۰۰۰) و همچنین ورمیر (۲۰۰۵) پیشنهاد شد و در برخی قسمت‌ها نیز مواردی به آن اضافه شد.

به سه علت عرضهٔ مدل سرعت متغیر، V(z)، مهم است. نخست اینکه این مدل اثرات افزایش فشار و دما با عمق را در نظر می‌گیرد. دوم اینکه بیان تحلیلی هندسه مسیر انتشار و زمان سیر در چنین محیطی در دسترس است و سوم اینکه انتشار امواج در محیطی با سرعت خطی امکان به تصویر در آمدن شیب‌های بیشتر از ۹۰ درجه را نیز فراهم می‌کند (لاینر و آندرود، ۱۹۹۹).

۲ اندازه خانک

در مدل سرعت ثابت اندازه خانک برای یک بازتابنده با عمق عمودی z، از رابطه زیر به‌دست می‌آید (کوردسن و همکاران، ۲۰۰۰).

$$B = \frac{V_{ave}}{4 \times f_{\max} \times \sin\theta}, \qquad (۱)$$

که V_{ave} سرعت متوسط تا کم‌عمق‌ترین افق موردنظر، θ شیب بازتابنده و f_{max} بسامد بیشینه در هدف اصلی است (ایونس، ۱۹۹۷). البته در روش معمول برای طراحی، از بسامد غالب در هدف اصلی استفاده می‌شود. این عمل باعث می‌شود که کلیه بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد غالب در معرض خطر دگرنامی قرار گیرند. ازآنجاکه نصف بسامدهای سیگنال بازگشتی بزرگ‌تر از بسامد غالب هستند، این انتخاب بسیار مهم است. ازاین‌رو برای اطمینان یافتن از ایجاد نشدن دگرنامی از f_{max}به‌جای بسامد غالب استفاده می‌شود. در سه عامل ذکر شده (f_{max} ,θ ,V_{ave})، پارامتر سرعت به علت نبود شناخت از خطای تحمیل شده در استفاده از سرعت متوسط در محیط V(z)، بسیار مهم است. نمی‌توان به‌درستی تشخیص داد که اندازه آن خانک که با استفاده از سرعت متوسط به‌دست می‌آید، خیلی بزرگ، خیلی کوچک و یا صحیح است. در مدل سرعت متغیر اندازه خانک برای محیطی با سرعت خطی، برای یک بازتابنده با عمق قائم z، از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$B = \frac{V(z)}{4 \times f_{\max} \times \sin\theta}. \qquad (۲)$$

که $V(z)$ سرعت در عمق z به‌صورت زیر است:

$$V(z) = k z + V_0,$$

که k گرادیان سرعت و V_0 سرعت در اولین لایه نزدیک سطح زمین بدون تاثیر هوازدگی است.

رابطه بین اندازه خانک و چگالی نقاط چشمه در واحد سطح به‌صورت زیر است (کوردسن و همکاران، ۲۰۰۰).

$$SD = (\frac{Fold}{NC})\frac{1}{B^2}. \quad (۳)$$

که SD تعداد نقاط چشمه در واحد سطح، NC تعداد کانال‌های گیرنده، B ابعاد خانک و Fold نیز بیانگر پوشش عمقی است. لذا با کاهش اندازه خانک چگالی نقاط چشمه با توان ۲ افزایش می‌یابد و این امر سبب افزایش چشمگیری در هزینه برداشت خواهد شد. هزینه برداشت و پردازش اطلاعات متناسب با تعداد ردلرزه‌ها است به عبارتی $Cost \propto \frac{1}{(BinSize)^2}$.

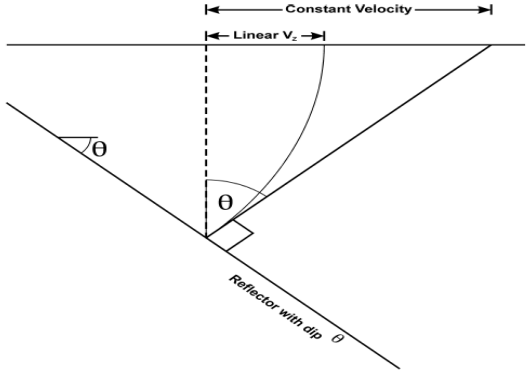
بنابراین خانک با اندازه خیلی بزرگ سبب کاهش در هزینه می‌شود اما خطر ایجاد پدیده دگرنامی مکانی را نیز افزایش می‌دهد. درحالی‌که خانک با اندازه کوچک سبب افزایش در هزینه می‌شود و کیفیت تصویر را نیز افزایش نمی‌دهد. بحث برسر ملاحظات فیزیکی و اقتصادی از جنبه‌های مهم در طراحی هر عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی است.

۳ دهانه کوچ

عرض منطقه حاشیه‌ای که نیاز است به عملیات سه‌بُعدی اضافه شود تا اجازه کوچ مناسب هر بازتابنده شیب‌دار را بدهد، دهانه کوچ می‌نامند. نیاز نیست این پهنا در همه کناره‌های عملیات یکسان باشد. عمل کوچ برای قراردادن گسل‌ها و افق‌های شیب‌دار در موقعیت زیرزمینی مناسبشان، لازم است. در زمان طراحی مرزهای یک عملیات باید منطقه با پوشش عمقی کامل افزایش داده شود تا دهانه کوچ را نیز دربرگیرد. منطقه اضافه شده الزاماً در جهت شیب و امتداد یکی نیست. در یک محیط با سرعت ثابت، افق‌های شیب‌دار نیاز به یک دهانه کوچ دارند که از رابطه زیر تعیین می‌شود (کوردسن و همکاران، ۲۰۰۰).

$$MA_c = Z \tan\theta, \quad (۴)$$

که MA_c دهانه کوچ، z عمق و θ زاویه شیب (شیب واقعی) بازتابنده است. در عمل اغلب ملاحظات مالی سبب می‌شود تا حد متعادلی در مورد دهانه کوچ موردنظر لحاظ شود. درحالتی‌که سیر پرتوها به‌صورت غیرمستقیم باشند، دهانه کوچ موردنیاز کاهش می‌یابد (شکل ۱)، به‌ویژه اگر شیب‌های تند موجود باشند.

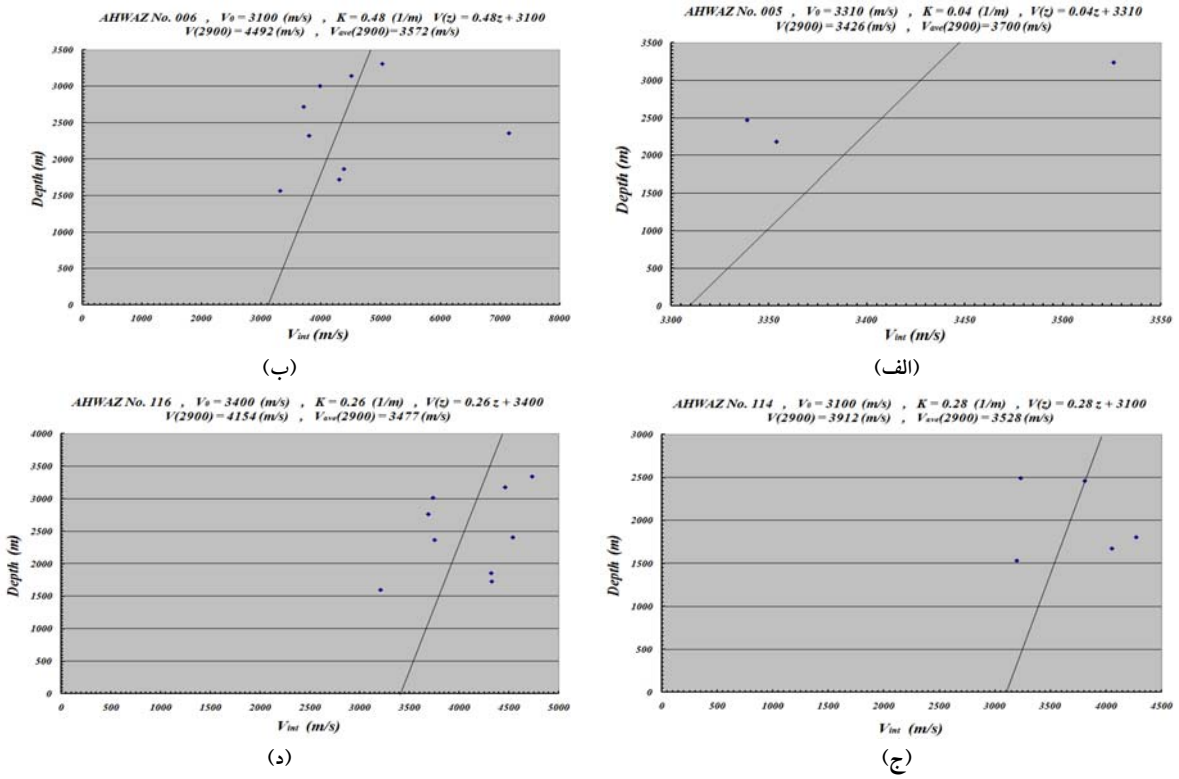


شکل ۱. مقایسه پهنای دهانه کوچ محاسبه شده در دو حالت مدل سرعت ثابت و مدل سرعت متغیر برای یک محیط مفروض (بی و همکاران، ۱۹۹۴).

به‌عبارتی در محاسبه دهانه کوچ باید موضوع سرعت که خود تابعی از عمق است مدنظر قرار بگیرد. در این حالت ردیابی پرتوهایی که از یک عمق بازتاب شده‌اند می‌تواند به تعیین دهانه کوچ موردنیاز در یک منطقه که دارای لایه‌های با سرعت متفاوت باشد، کمک کند. برای چنین محیطی با سرعت خطی $V(z)$، رابطه محاسبه دهانه کوچ به‌صورت رابطه زیر است.

$$MA_v = \frac{\cos\theta - \cos\theta_0}{PK}, \quad (۵)$$

که θ زاویه شیب بازتابنده، θ_0 زاویه برگشت موج برای حالت دورافت صفر، P پارامتر پرتو و K گرادیان سرعت (برای مدل سرعت ثابت $K = 0$) است (لاینر و آندرود، ۱۹۹۹). با استفاده از رابطه (۵) که با واقعیت همخوانی بیشتری دارد به‌جای رابطه (۴) ملاحظه می‌شود که مقدار دهانه کوچ کاهش می‌یابد و هزینه عملیات نیز کاهش چشمگیری خواهد داشت. در محاسبه دهانه کوچ با



شکل ۲. تابع سرعت خطی به‌دست آمده از (الف) چاه شماره ۵، (ب) چاه شماره ۶، (ج) چاه شماره ۱۱۴ و (د) چاه شماره ۱۱۶ اهواز.

استفاده از مدل سرعت متغیر، تابع سرعت، پارامتر پرتو و زاویه برگشت موج از رابطه (۶) تعیین می‌شوند.

$$V(z) = K Z + V_0 ,$$
$$P = \frac{\sin\theta}{V(z)}, \qquad (۶)$$
$$\theta_0 = \sin^{-1}\left[\frac{V_0}{V(z)}\sin\theta\right].$$

۴ محاسبه اندازه خانک در میدان نفتی اهواز

میدان اهواز ساختاری تاقدیسی است که با روند شمال غربی- جنوب شرقی، در ناحیه بلافصل شمالی گسل پیشانی زاگرس در دزفول شمالی واقع شده است. این میدان از شرق به میدان نفتی مارون، از شمال به میدان رامین، از غرب به ساختمان بند کرخه، از جنوب غرب به آب تیمور و از جنوب به میدان منصوری محدود می‌شود. این میدان جزو میادین دارای تولید زیاد است که در آن هدف اصلی سازند آسماری و هدف عمیق سازند فهلیان است. عمق هدف اصلی در این منطقه مرز بین نفت و آب در نظر گرفته می‌شود که برابر با ۲۹۰۰ متر و عمق هدف عمیق برابر با ۵۰۰۰ متر است. با توجه به اطلاعات Check Shot، VSP و Sonic Log موجود از ۱۴ چاه و قرار داشتن موضع کلیه این چاه‌ها در درون پربند بسته ۲۹۰۰ متر سازند آسماری، ناحیه تصویر در هدف اصلی به ۱۴ قسمت و در هدف عمیق به ۹ قسمت (به علت کوچک‌تر بودن محدوده پربند بسته ۵۰۰۰ متر سازند فهلیان در مقایسه با آخرین پربند بسته ۲۹۰۰ متر سازند آسماری، فقط ۹ چاه از ۱۴ چاه در این محدوده قرار داشته و از داده‌های این ۹ چاه برای طراحی خانک روی این هدف استفاده شده است) تقسیم شده است. به‌طوری‌که می‌توان از تغییرات افقی سرعت در داخل هرکدام صرف‌نظر کرد و توزیع سرعت قائم یکسانی را به‌منظور دستیابی به تابع سرعت خطی در قائم یکسانی را به‌منظور دستیابی به تابع سرعت

جدول ۱. اندازه خانک به‌دست آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت خطی در هدف اصلی (سازند آسماری) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Main Target (Asmari Formation)				
Log No.	**V(2900m) (m/s)**	**f_{max} (Hz)**	**Max Dip (deg)**	**Bin Size (m)**
AHWAZ-005	**3426**	**55**	**28.5**	**33.0**
AHWAZ-006	**4492**	**55**	**12.5**	**94.5**
AHWAZ-008	**4695**	**55**	**11.0**	**109.0**
AHWAZ-010	**4472**	**55**	**12.5**	**94**
AHWAZ-011	**4186**	**55**	**14**	**79.0**
AHWAZ-020	**4212**	**55**	**9.0**	**117.0**
AHWAZ-046	**3990**	**55**	**10.0**	**101.0**
AHWAZ-114	**3912**	**55**	**18.5**	**56**
AHWAZ-116	**4154**	**55**	**12.5**	**87.0**
AHWAZ-117	**4202**	**55**	**26.5**	**43.0**
AHWAZ-119	**4140**	**55**	**10.0**	**106.0**
AHWAZ-120	**4260**	**55**	**9.0**	**121.0**
AHWAZ-124	**4078**	**55**	**18.5**	**58.5**
AHWAZ-151	**4438**	**55**	**18.5**	**64.0**

خطی در هر ناحیه و مقدار سرعت به‌دست آمده از این تابع‌ها درعمق‌های ۲۹۰۰ متر و ۵۰۰۰ متر به کار برد. به‌عبارتی با در دست داشتن مقادیر سرعت متوسط، سرعت بازه‌ای و زمان سیر دو طرفه، در هر عمق می‌توان مدل تغییرات سرعت در هر چاه را به‌دست آورد و با استفاده از اطلاعات موجود از شیب زمین‌شناسی منطقه و محاسبه بیشینه بسامد بازتاب شده از لایه هدف، به تعیین پارامترهای اندازه خانک و دهانه کوچ پرداخت.

با استفاده از نتایج پردازش صورت گرفته روی داده‌های خطوط دوبُعدی برداشت شده میدان نفتی اهواز و درنهایت استخراج مقاطع برانبارش به‌دست آمده با نرم‌افزار پردازشی Vista و گرفتن طیف بسامدی و تحلیل f-k از اهداف اصلی و عمیق، مقدار f_{dom} و f_{max} در هدف اصلی به‌ترتیب برابر با ۴۴ هرتز و ۵۵ هرتز و در هدف عمیق نیز به‌ترتیب برابر با ۳۸ هرتز و ۵۰ هرتز به‌دست آمد.

برای نمونه تابع‌های سرعت خطی مربوط به ۴ ناحیه از نواحی ۱۴گانه میدان نفتی اهواز و مقدار سرعت به‌دست آمده از این تابع‌های در عمق‌های ۲۹۰۰ متر و ۵۰۰۰ متر و همچنین مقادیر سرعت متوسط در این عمق‌ها در شکل‌های ۲-الف، ۲-ب، ۲-ج و ۲-د نشان داده شده است. حال پس از محاسبه مقادیر سرعت و بیشینه بسامد بازتاب شده از هدف اصلی و عمیق و در اختیار داشتن

جدول ۲. اندازه خانک به‌دست آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت خطی در هدف عمیق (سازند فهلیان) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

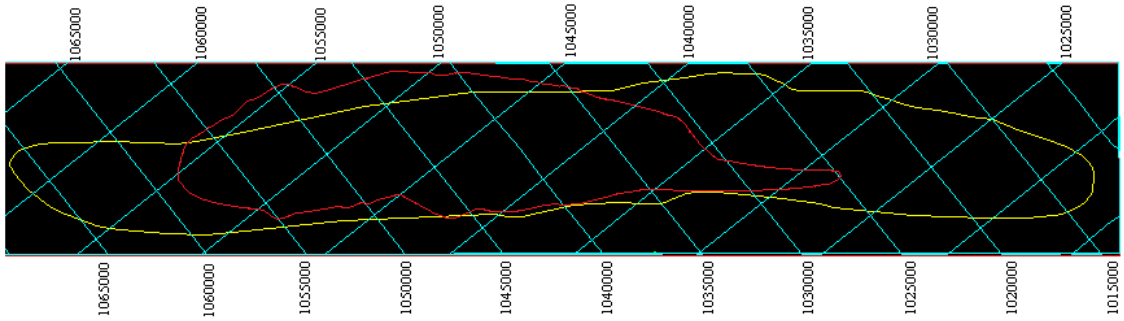
Deep Target (Fahlian Formation)				
Log No.	**V(5000m) (m/s)**	**f_{max} (Hz)**	**Max Dip (deg)**	**Bin Size (m)**
AHWAZ-006	**5500**	**50**	**22.0**	**74.5**
AHWAZ-008	**5850**	**50**	**7.0**	**238.0**
AHWAZ-010	**5375**	**50**	**0.1**	**2125**
AHWAZ-011	**4900**	**50**	**26.0**	**56.0**
AHWAZ-114	**4500**	**50**	**18.0**	**72.0**
AHWAZ-116	**4700**	**50**	**10.0**	**132**
AHWAZ-117	**5000**	**50**	**22.0**	**68.0**
AHWAZ-124	**4750**	**50**	**27.0**	**53.0**
AHWAZ-151	**5320**	**50**	**16.0**	**97.0**

جدول ۳. اندازه خانک به‌دست آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت ثابت در هدف اصلی (سازند آسماری) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Main Target (Asmari Formation)				
Log No.	**V_{ave}(2900m) (m/s)**	**fmax (Hz)**	**Max Dip (deg)**	**Bin Size (m)**
AHWAZ-005	**3700**	**55**	**28.5**	**35.0**
AHWAZ-006	**3572**	**55**	**12.5**	**75**
AHWAZ-008	**3551**	**55**	**11.0**	**82.0**
AHWAZ-010	**3571**	**55**	**12.5**	**75.0**
AHWAZ-011	**3556**	**55**	**14**	**67.0**
AHWAZ-020	**3434**	**55**	**9.0**	**96.0**
AHWAZ-046	**3210**	**55**	**10.0**	**82.0**
AHWAZ-114	**3528**	**55**	**18.5**	**50.5**
AHWAZ-116	**3477**	**55**	**12.5**	**73.0**
AHWAZ-117	**3511**	**55**	**26.5**	**36.0**
AHWAZ-119	**3328**	**55**	**10.0**	**85.0**
AHWAZ-120	**3406**	**55**	**9.0**	**103.0**
AHWAZ-124	**4077**	**55**	**18.5**	**58.5**
AHWAZ-151	**3536**	**55**	**18.5**	**51.0**

حداکثر شیب لایه‌ها θ در ناحیه مربوط به هر چاه، به محاسبه اندازه خانک پرداخته می‌شود. در ابتدا این کمیت براساس مدل سرعت خطی که با واقعیت سازگاری زیادی دارد در محدوده مربوط به هر چاه، برای اهداف اصلی و عمیق تعیین می‌شود و در انتها به مقایسه اندازه خانک به‌دست آمده از این مدل و اندازه خانک حاصل از مدل سرعت ثابت پرداخته خواهد شد. نتایج محاسبات روی هدف اصلی (سازند آسماری) و هدف عمیق (سازند فهلیان) به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

در جدول‌های فوق ملاحظه می‌شود که مقادیر اندازه خانک در حالت مدل سرعت متغیر برای سازند آسماری در ناحیه تصویر از ۳۳ متر در محدوده چاه ۵ تا ۱۲۱ متر در محدوده چاه ۱۲۰، و برای سازند فهلیان از ۵۳ متر در محدوده چاه ۱۲۴ تا ۲۱۵۲ متر در محدوده چاه ۱۰ تغییر می‌کند، لذا با توجه به ارقام به‌دست آمده و بنابر احتیاط علمی، لازم و مطلوب بودن به‌تصویر کشیدن واضح دو سازند آسماری و فهلیان، اندازه خانک در کل ۱۲۱ متر در محدوده چاه ۱۲۰، و برای سازند فهلیان از ۵۳ متر در

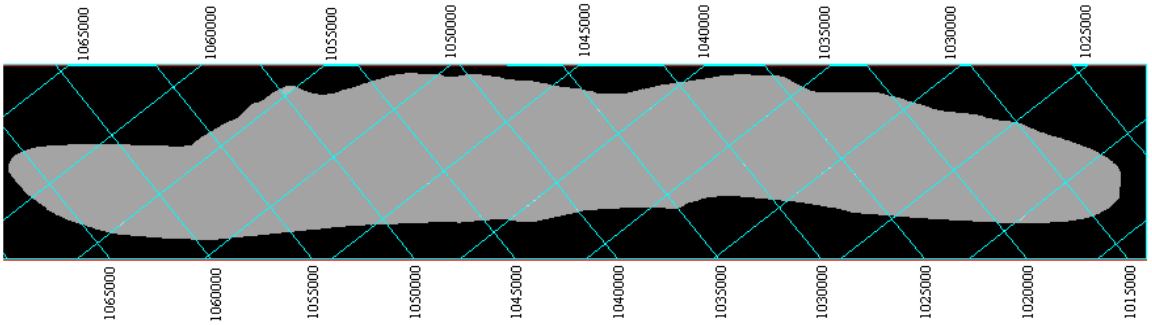


شکل ۳. مرز ناحیه دهانه کوچ محاسبه شده برای سازندهای آسماری (پربند زردرنگ) و فهلیان (پربند سرخ‌رنگ) به‌صورت جداگانه با استفاده از مدل سرعت متغیر، عددها عمودی نشان داده شده در بالا و پایین شکل به‌ترتیب بیانگر مختصات شرقی–غربی و شمالی–جنوبی خطوط آبی‌رنگ مورب جنوب غرب–شمال شرق و شمال غرب–جنوب شرق موجود در شکل هستند.

جدول ۴. اندازه دهانه کوچ (MA_c) *به‌دست* آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت ثابت در هدف اصلی (سازند آسماری) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Main Target (Asmari Formation)			
Log No.	**Z(m)**	**Max Dip (deg)**	**MAc**
AHWAZ-005	**2900**	**28.5**	**1556**
AHWAZ-008	**2900**	**11.0**	**580**
AHWAZ-010	**2900**	**12.5**	**638**
AHWAZ-011	**2900**	**14**	**725**
AHWAZ-020	**2900**	**9.0**	**478.5**
AHWAZ-046	**2900**	**10.0**	**552**
AHWAZ-114	**2900**	**18.5**	**957**
AHWAZ-116	**2900**	**12.5**	**638**
AHWAZ-117	**2900**	**26.5**	**1444**
AHWAZ-119	**2900**	**10.0**	**522**
AHWAZ-120	**2900**	**9.0**	**435**
AHWAZ-124	**2900**	**18.5**	**957**
AHWAZ-151	**2900**	**18.5**	**957**

محدوده چاه ۱۲۴ تا ۲۱۵۲ متر در محدوده چاه ۱۰ تغییر می‌کند، لذا با توجه به ارقام به‌دست آمده و بنابر احتیاط علمی، لازم و مطلوب بودن به‌تصویر کشیدن واضح دو سازند آسماری و فهلیان، اندازه خانک در کل منطقه عملیاتی لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز ۳۰ × ۳۰ متر انتخاب شد. به‌عبارتی با انتخاب اندازه خانک به این ابعاد می‌توان جزئیات هر دو سازند آسماری و فهلیان را با وضوح مناسب در تصویر رویت کرد.حال به مقایسه اندازه خانک براساس دو مدل سرعت خطی و ثابت در این میدان نفتی پرداخته می‌شود. در اینجا برای مثال این مقایسه فقط روی سازند آسماری صورت می‌گیرد. اگر اندازه خانک براساس روش معمول (مدل سرعت ثابت) محاسبه شود، در محدوده مربوط به هر چاه با توجه به مقادیر سرعت متوسط تا عمق ۲۹۰۰ متر، شیب زمین‌شناسی تحت‌الارضی و بیشینه بسامد بازتاب شده از هدف اصلی (سازند آسماری)، مقادیری به‌دست خواهد آمد که در جدول ۳ نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که مقادیر اندازه خانک در حالت مدل سرعت خطی به‌جز در چاه ۵، در بقیه چاه‌ها همواره بزرگ‌تر از مقادیر به‌دست آمده از مدل سرعت ثابت هستند و این بدین معنا است که آن Bin که براساس مدل سرعت ثابت به‌دست می‌آید کوچک‌تر از خانک دیگری است که براساس مدل



شکل ۴. ناحیه خاکستری‌رنگ نشان‌دهنده محدوده نهایی طراحی شده برای دهانه کوچ میدان نفتی اهواز با استفاده از مدل سرعت متغیر است که حاصل اجتماع نواحی درونی دو پربند بسته زرد و سرخ موجود در شکل ۳ است. عددهای عمودی نشان داده شده در بالا و پایین شکل به‌ترتیب بیانگر مختصات شرقی–غربی و شمالی–جنوبی خطوط آبی‌رنگ مورب جنوب غرب–شمال شرق و شمال غرب–جنوب شرق موجود در شکل هستند.

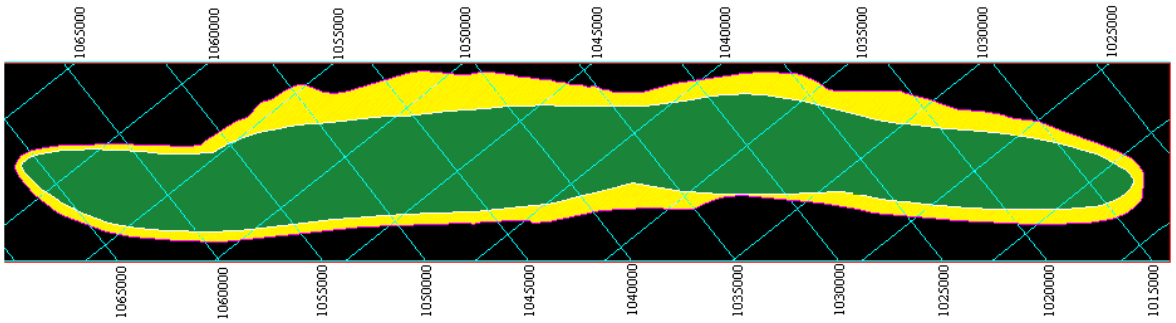
جدول ۵. اندازه دهانه کوچ (MA_c) به‌دست آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت ثابت در هدف عمیق (سازند فهلیان) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Deep Target (Fahlian Formation)			
Log No.	**Z(m)**	**Max Dip (deg)**	**MAc**
AHWAZ-006	**5000**	**22.0**	**1950**
AHWAZ-008	**5000**	**7.0**	**600**
AHWAZ-010	**5000**	**1.0**	**50**
AHWAZ-011	**5000**	**26.0**	**2450**
AHWAZ-114	**5000**	**18.0**	**1650**
AHWAZ-116	**5000**	**10.0**	**900**
AHWAZ-117	**5000**	**22.0**	**2000**
AHWAZ-124	**5000**	**27.0**	**2500**
AHWAZ-151	**5000**	**16.0**	**1400**

سرعت متغیر محاسبه می‌شود. درحالت‌کلی محاسبه براساس مدل سرعت ثابت ممکن است اندازه خانک را بیشتر یا کمتر از اندازه موردنیاز برآورد کند. چون V_{ave} $V(z)>$ است بنابراین $Bin_v>Bin_c$ است. برای موارد واقعی، وارد کردن تغییرات سرعت قائم در محاسبات اجازه استفاده از خانک بزرگ‌تری را برای هدف می‌دهد و این می‌تواند موجب کاهش چشمگیری در هزینه برداشت و پردازش داده‌ها شود و بدین‌ترتیب هزینه عملیات به مقدار زیادی کاهش یابد.

۵ محاسبه دهانه کوچ در میدان نفتی اهواز

مقدار دهانه کوچ به‌دست آمده از سرعت ثابت و سرعت خطی بسیار متفاوت است. اگر دهانه کوچ در این میدان با استفاده از مدل سرعت ثابت حساب شود، (رابطه ۴)، در همه کناره‌های عملیات برای سازندهای آسماری و فهلیان مقادیری به‌دست خواهد آمد که در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. حال اگر سرعت متغیر با عمق در نظر گرفته شود و از مدل سرعت خطی (رابطه ۵) استفاده شود، در هر سازند برای ناحیه مربوط به هر چاه که در مجاورت حاشیه ناحیه تصویر قرار داشته باشد، مقادیری به‌دست



شکل ۵. دهانه کوچ (قسمت زرد رنگ) و ناحیه تصویر (قسمت سبزرنگ) محاسبه شده با استفاده از مدل سرعت متغیر برای میدان نفتی اهواز، عددهای عمودی نشان داده شده در بالا و پایین شکل به‌ترتیب بیانگر مختصات شرقی–غربی و شمالی–جنوبی خطوط آبی‌رنگ مورب جنوب غرب–شمال شرق و شمال غرب–جنوب شرق موجود در شکل هستند.

جدول ۶. اندازه دهانه کوچ (MA_v) *به‌دست* آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت خطی در هدف اصلی (سازند آسماری) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Main Target (Asmari Formation)				
Log No.	**V(2900m) (m/s)**	**k(1/m)**	**Max Dip (deg)**	**MA_V (m)**
AHWAZ-005	**3426**	**0.04**	**28.5**	**1480**
AHWAZ-008	**4695**	**0.55**	**12.5**	**545**
AHWAZ-010	**4472**	**0.43**	**12.5**	**563**
AHWAZ-011	**4186**	**0.34**	**14**	**666**
AHWAZ-020	**4212**	**0.28**	**9.0**	**369**
AHWAZ-046	**3990**	**0.35**	**10.0**	**512**
AHWAZ-114	**3912**	**0.28**	**18.5**	**881**
AHWAZ-116	**4154**	**0.26**	**12.5**	**591**
AHWAZ-117	**4202**	**0.38**	**26.5**	**1214**
AHWAZ-119	**4140**	**0.35**	**10.0**	**465**
AHWAZ-120	**4260**	**0.4**	**9.0**	**353**
AHWAZ-124	**4078**	**0.32**	**18.5**	**842**
AHWAZ-151	**4438**	**0.42**	**18.5**	**838**

خواهد آمد که در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود که در مقادیر یکسان از شیب مقدار MA_v (دهانه کوچ برای مدل سرعت خطی) به مقدار زیادی کوچک‌تر از MA_c (دهانه کوچ برای مدل سرعت ثابت) است که این اختلاف با افزایش شیب افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر MA_v به‌دست آمده در ناحیه مربوط به هر چاه در سازندهای آسماری و فهلیان، مرز ناحیه دهانه کوچ برای هر سازند به‌صورت جداگانه مشخص شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل پربند سرخ‌رنگ بیانگر مرز ناحیه دهانه کوچ برای سازند فهلیان و پربند زردرنگ بیانگر این مرز برای سازند آسماری است. درانتها اجتماع این دو ناحیه درحکم محدوده نهایی طراحی شده برای دهانه کوچ در کل عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی در این میدان نفتی در نظر گرفته می‌شود که در شکل ۴ ناحیه خاکستری‌رنگ، نشان‌دهنده محدوده این اجتماع است. مقدار مساحت محاسبه شده برای ناحیه دهانه کوچ برابر با ۱۵۶/۶ کیلومتر مربع به‌دست آمد که در شکل ۵ قسمت زردرنگ این ناحیه را مشخص می‌کند و منطقه درونی به رنگ سبز نیز ناحیه تصویر به مساحت ۳۶۵/۴ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد.

جدول ۷. اندازه دهانه کوچ (MA_v) *به‌دست* آمده در محدوده چاه‌های مورد بررسی براساس مدل سرعت خطی در هدف عمیق (سازند فهلیان) (توضیح: عددها از جدول Check Shot مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران گرفته شده است).

Deep Target (Fahlian Formation)				
Log No.	**V(5000m) (m/s)**	**k(1/m)**	**Max Dip (deg)**	**MA_V (m)**
AHWAZ-006	**3510**	**0.04**	**22.0**	**1517**
AHWAZ-008	**5850**	**0.55**	**7.0**	**471**
AHWAZ-010	**5375**	**0.43**	**1.0**	**52**
AHWAZ-011	**4900**	**0.34**	**26.0**	**1934**
AHWAZ-114	**4500**	**0.28**	**18.0**	**1393**
AHWAZ-116	**4700**	**0.26**	**10.0**	**707**
AHWAZ-117	**5000**	**0.38**	**22.0**	**1658**
AHWAZ-124	**4750**	**0.32**	**27.0**	**2024**
AHWAZ-151	**5320**	**0.42**	**16.0**	**1172**

۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله دو کمیت اندازه خانک و دهانه کوچ در طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز که به سرعت وابسته هستند مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. عبارت‌های معتبری به‌منزلهٔ تعامل میان مدل سرعت ثابت و مدل سرعت متغیر برای محیطی با یک تابع سرعت خطی به‌دست آمد. مدل سرعت متغیر به مدل سرعتی واقعی لایه‌ها نزدیکتر است و تقریباً در کلیه موارد، میزان دهانه کوچ را کوچک‌تر و اندازه خانک را بزرگ‌تر می‌دهد و در نتیجه علاوه بر حفظ مناسب کیفیت داده‌های برداشت شده، هزینه برداشت کمتری را در اجرای عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز نسبت به مدل سرعت ثابت به‌دست می‌دهد.

منابع

پگاه، ا.، ۱۳۸۸، طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز با استفاده از داده‌های موجود و مطالعه نوفه‌های footprint حاصل از تغییرات پارامترها در طراحی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

پگاه، ا.، جواهریان، ع. ر.، و نوروزی، د.، ۱۳۹۱، بررسی نوفه اثر انگشتی حاصل از طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بُعدی میدان نفتی اهواز: مجله فیزیک زمین و فضا، جلد **۳۸** (۱) ، ۱۴۵-۱۶۰.

سپه‌وند، س.، ۱۳۸۶، گزارش تکمیلی زمین‌شناسی چاه اهواز-۳۰۷ (خامی)، اداره زمین‌شناسی تحت‌الارضی، اداره کل زمین‌شناسی، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.

Bee, M. F., Bearden, J. M., Herkenhoff, E. F., Suplyanto, H., and Koestoer, B., 1994, Efficient 3D seismic surveys in a jungle environment: First Break, **12**, 253-259.

Cordsen, A., Galbraith, M., and Peirce, J., 2000, Planning land 3-D seismic surveys, Soc. Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.

Ebrom, D., Li, X., McDonald, J., and Lu, L., 1995, Bin spacing in land 3-D seismic survey an horizontal resolution in time slices: The Leading Edge, **14**, 37-40.

Evans, B. J., 1997, A handbook for seismic data acquisition: Soc. Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.

Liner, C. L., and Gobeli, R., 1996, Bin size and linear v(z): 67th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys, Expanded Abstracts, 43-46.

Liner, C. L., and Gobeli, R., 1997, 3-D seismic survey design and linear V(z): 67th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys, Expanded Abstracts, 43-46.

Liner, C. L., Gobeli, R., and Underwood, W. D., 1997, Aspects of 3-D seismic survey design for linear v(z) media: 59th Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys., Abstracts, Paper B002.

Liner, C. L., Underwood, W. D., 1999, 3-D seismic survey design for linear V(z) media: Geophysics, **64**, 486-493.

Margrave, G. F., 1997, Seismic acquisition parameter considerations for a linear velocity medium: 67th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 47-50.

Pegah, E., Feiz Aghaei, B., Javaherian, A. R., and Nowroozi, D., Determination of Bin size and Migration aperture in 3-D seismic survey design for AHWAZ oil field with using linear velocity model (LVZ): EAGE, Expanded Abstract, First International Petroleum Conference & Exhibition, Shiraz, Iran, 4-6 May 2009.

Slotnick, M. M., 1959, Lessons in seismic computing: Soc. Expl. Geophys.

Stone, D. G., 1994, Designing seismic surveys in two and three dimensions, Soc. Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.

Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E., 1990, Applied geophysics, 2nd ed: Cambridge Univ. Press.

Vermeer, G. J. O., 2005, 3-D seismic survey design, Soc. Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.

"VISTA 2D/3D Seismic Data Processing" software, Version 5.1., GEDCO, Calgary, Canada.