مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۲، ۱۳۸۶، صفحهٔ ۴۱- ۴۵

# طراحی آرایه با استفاده از روش همامیخت مکانی

محمد مرشدی[۱] و محمدعلی ریاحی[۲*]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[۲] دانشیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۴/۱۰/۲۸ ، پذیرش نهایی: ۸۶/۶/۱۷)

**چکیده**

آرایه چشمه (منبع) و گیرنده در برداشت داده‌های لرزه‌ای برای تضعیف امواج سطحی تولید شده با چشمه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تضعیف بیشتر این امواج، نیاز به بهینه‌سازی آرایه‌ها داریم. یکی از روش‌های بهینه‌سازی آرایه‌های چشمه و گیرنده روش همامیخت مکانی است. در این روش هر آرایه پیچیده از چند آرایه ساده تشکیل می‌شود که با قرار گرفتن کنار هم آرایه‌ای بزرگ به‌وجود می‌آورند. با استفاده از آرایه‌های ساده ۲ و ۳ عضوی و قرار دادن نقاط صفر این آرایه‌ها در پهنای کناری پاسخ نهایی آرایه می‌توان این پهناهای کناری را تضعیف کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آرایه چشمه و گیرنده، تضعیف امواج سطحی، بهینه‌سازی آرایه، همامیخت مکانی، پاسخ نهائی آرایه

## ۱ مقدمه

برای بهینه‌سازی، پاسخ آرایه یک آرایه لرزه‌ای می‌توان از روش همامیخت مکانی (spatial convolution) استفاده کرد (کرکس، ۲۰۰۱). با استفاده از این روش می‌توان آرایه را برای یکی از موارد زیر بهینه کرد:

الف- حفظ دامنه سیگنال در محدوده باند گذر (pass-band)

ب- تضعیف دامنه نوفه در محدوده باند نگذر (reject-band)

معمولاً برای بهینه‌سازی، فاصله بین گیرنده‌ها و تعداد آنها را تغییر می‌دهیم تا پاسخ مطلوب به‌دست آید، بنابراین عوامل محدود کننده بهینه‌سازی آرایه عبارت‌اند از:

الف- تعداد گیرنده‌ها

ب- فاصله بین گیرنده ها (طول آرایه)

ج- هزینه عملیات

بنابراین با توجه به عوامل اشاره شده فوق، آرایه لرزه‌ای را باید بهینه کرد.

## ۲ همامیخت مکانی

همامیخت مکانی دو آرایه را می‌توان در دو حیطه فوریه و مکان توضیح داد.

**حیطه مکان:** همامیخت مکانی، شامل همامیخت دو آرایه مشابه یا غیر مشابه با یکدیگر است. نتیجه آرایه‌ای است که تعداد گیرنده‌های آن برابر با تعداد اجزای همامیخت این دو آرایه باشد.

**حیطه فوریه:** ابتدا همامیخت مکانی دو آرایه در حیطه فوریه مطرح شد. در پاسخ آرایه بعد از پهنای اصلی (main lobe) آرایه پهناهای کناری قرار دارند که بیشترین انرژی این پهناهای کناری مربوط به پهنای کناری (side lobe) اول است. چرا که این محدوده دربردارنده امواج با بسامد مکانی بیشتر از بسامد نایکوئست، مربوط به برخی از نوفه‌های اتفاقی و همچنین امواج سطحی است. بنابراین در بهترین حالت، باید اولین پهنای فرعی نزدیک به پهنای اصلی آرایه صفر باشد. حال اگر آرایه دیگری طراحی کنیم، به‌طوری‌که اولین نقطه صفر (notch) آن در

*نویسنده رابط: تلفن: ۶۱۱۱۸۲۱۹-۰۲۱ دورنگار: ۸۸۶۳۰۵۴۸-۰۲۱ E-mail: mariahi@ut.ac.ir

اولین پهنای کناری پاسخ آرایه قرار گیرد، و دو پاسخ را درصورتی‌که برحسب دسی بل باشند با هم جمع، و اگر برحسب دسی بل نباشند در هم ضرب کنیم، نتیجه کار، پاسخ آرایه‌ای است که اولین پهنای فرعی آن کوچک شده است. جمع کردن دو پاسخ برحسب دسی بل در حیطه فوریه، معادل همامیخت مکانی دو آرایه در حیطه مکان است. به این عمل همامیخت مکانی گفته می‌شود.

## ۳ طراحی آرایه با استفاده از همامیخت مکانی

همامیخت مکانی در آرایه‌های خطی را با ذکر مثالی بررسی می‌کنیم. فرض می‌کنیم که هدف طراحی آرایه‌ای باشد که تعداد گیرنده‌های آن ۲۴ و پهنای اصلی آن نیز تا بسامد مکانی ۰/۰۲ دور بر متر باشد. برای طراحی چنین آرایه ای دو راه وجود دارد:

**راه اول (روش مرسوم):**

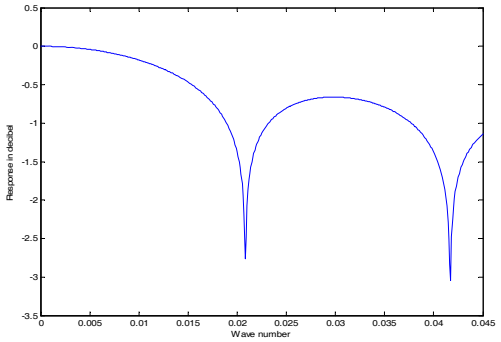
با توجه به این‌که صفرهای آرایه در نقاط به‌دست آمده از رابطه ۱ قرار می‌گیرند، بنابراین برای این‌که در یک آرایه ۲۴ گیرنده‌ای پهنای اصلی پاسخ تا بسامد مکانی ۰/۰۲ دور بر متر ادامه داشته باشد، باید فاصله بین گیرنده‌های آن ۲ متر باشد.

$$k = \frac{1}{Nd} \ , \ \frac{2}{Nd} \ , \ \cdots \ , \ \frac{N}{Nd} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق $N$ تعداد گیرنده‌ها، $d$ فاصله بین آنها در یک آرایه و $k$ عدد موج مربوط به پهنای اصلی یا فرعی آرایه است. با توجه به شکل ۱ مشخص است که در پاسخ یادشده، تفاوت اندکی بین ارتفاع پهنای اصلی و اولین پهنای فرعی وجود دارد.

**راه دوم (همامیخت مکانی):**

آرایه بهینه در این شرایط آرایه‌ای است که پهنای اصلی آن تا بسامد مکانی ۰/۰۲ دور بر متر باشد و پهنای فرعی اول آن نیز تا حد امکان تضعیف شده و در حالت ایدئال صفر شده باشد. بنابراین با توجه به رابطه ۱ می‌توان آرایه‌ها را به گونه‌ای طراحی کرد که اولین صفر آنها در محل محاسبه شده قرار گیرند.




**شکل ۱.** پاسخ آرایه ۲٤ گیرنده‌ای که فاصله بین گیرنده‌های آن برابر با ۲ متر است. با توجه به شکل مشخص است که تفاوت بین پهنای اصلی و اولین پهنای فرعی کم است.

برای طراحی آرایه با استفاده از روش همامیخت مکانی، باید از آرایه‌های کوچک استفاده کنیم و با توجه به اینکه کوچک‌ترین آرایه، شامل ۲ گیرنده است، در طراحی آرایه با استفاده از همامیخت مکانی، از آرایه‌های کوچک استفاده می‌کنیم.

برای طراحی آرایه خطی مثال قبل دو شرط کلی داشتیم:

الف- تعداد گیرنده‌ها برابر با ۲۴ است.

ب- پهنای اصلی پاسخ آرایه تا بسامد مکانی ۰/۰۲ دور بر متر ادامه دارد.

با توجه به دو شرط ذکر شده در بالا آرایه را طراحی می‌کنیم. با استفاده از رابطه ۱ برای اینکه اولین صفر یک آرایه با ۳ گیرنده در بسامد مکانی ۰/۰۲ دور بر متر قرار گیرد، باید فاصله بین گیرنده‌های آرایه برابر با ۱۷ متر باشد. نمودار آبی رنگ در شکل ۲ پاسخ این آرایه را نشان می‌دهد، با توجه به این شکل مشخص است که تفاوت پهنای اصلی و کناری این آرایه کم است،

برای بیشتر کردن این تفاوت و تضعیف بیشتر پهنای فرعی اول می‌توان آرایه دو گیرنده‌ای طراحی کرد که اولین صفر آن در بسامد مکانی ۰/۰۳ که وسط پهنای کناری است قرار گیرد، به این ترتیب باید فاصله بین دو گیرنده را در این آرایه برابر با ۱۷ متر قرار داد. با این کار صفر این آرایه در مرکز پهنای کناری قرار می‌گیرد. نمودار قرمز رنگ شکل ۲ پاسخ این آرایه را نشان می‌دهد، با جمع کردن پاسخ‌های این دو آرایه در بعد بسامد (همامیخت در بعد مکان) پاسخ آرایه حاصل از همامیخت به شکل نمودار با رنگ مشکی شکل ۲ در می‌آید. سری مربوط به گیرنده‌های این آرایه به این صورت:

$$a = [۱\ ۲\ ۲\ ۱]$$

و سری مربوط به فاصله این گیرنده به صورت زیر است:

$$d = [-۲۵/۵\ \ -۸/۵\ \ ۸/۵\ \ ۲۵/۵]$$

می‌توان اولین پهنای فرعی این آرایه را نیز تضعیف کرد. برای این کار از یک آرایه ۲ گیرنده‌ای به فاصله ۲۰ متر استفاده می‌کنیم، و نتیجه کار در شکل ۳ نشان داده شده است. سری مربوط به گیرنده‌های آرایه نهایی به صورت زیر است:

$$a = [۱\ ۲\ ۱\ ۲\ ۲\ ۱\ ۲\ ۱]$$

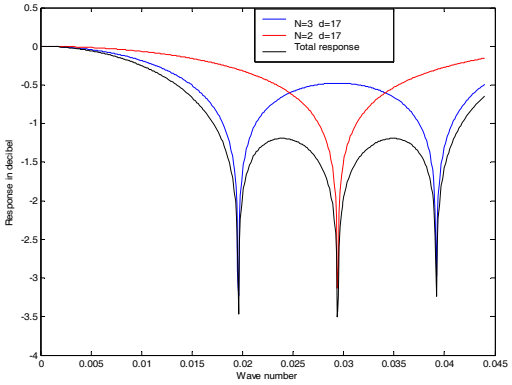
سری مربوط به فاصله این گیرنده‌ها نیز به‌صورت زیر است:

$$d = -۳۵/۵\ \ -۱۸/۵\ \ -۱۵/۵\ \ -۱/۵\ \ ۱/۵\ \ ۱۵/۵\ \ ۱۸/۵\ \ ۳۵/۵$$

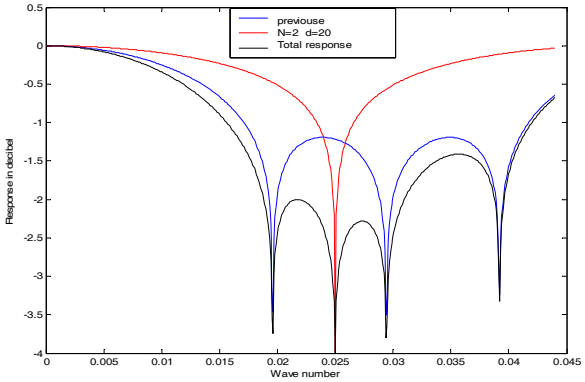
با توجه به شکل ۳ پاسخ این آرایه با تعداد کمتر گیرنده از پاسخ آرایه ۲۴ گیرنده‌ای (شکل ۱) بسیار بهتر است. می‌توان اولین پهنای فرعی پاسخ آرایه نهایی یادشده را دوباره تضعیف کرد، (شکل ۴) برای این کار از یک آرایه دو گیرنده‌ای که فاصله گیرنده‌های آن ۲۳ متر است استفاده می‌کنیم، شکل نهایی آرایه به‌صورت شکل ۵ در می‌آید و سری‌های گیرنده‌ها (a) و فاصله بین آنها (d) به‌صورت زیر است.

$$a = [۱\ ۲\ ۱\ ۱\ ۲\ ۲\ ۲\ ۱\ ۱\ ۲\ ۲\ ۲\ ۱\ ۱\ ۲\ ۱]$$

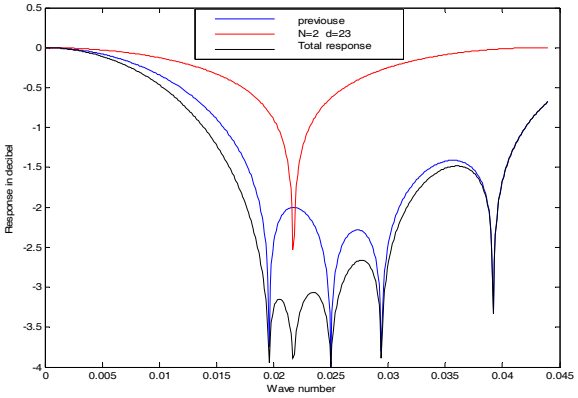
$$a = [-۴۷\ \ -۳۰\ \ -۲۷\ \ -۲۴\ \ -۱۳\ \ -۱۰\ \ -۷\ \ -۴\ \ ۴\ \ ۷\ \ ۱۰\ \ ۱۳\ \ ۲۴\ \ ۲۷\ \ ۳۰\ \ ۴۷]$$



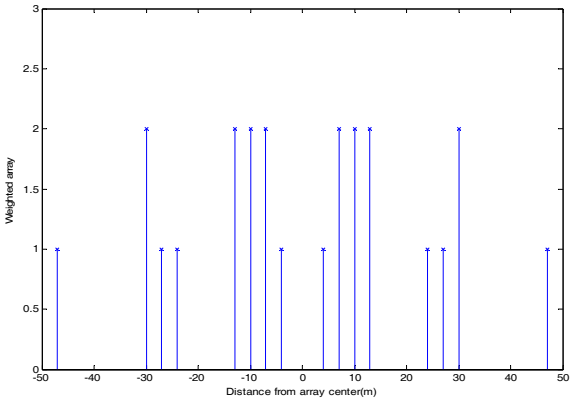

**شکل ۲.** نمودار آبی رنگ پاسخ آرایه ۳ گیرنده‌ای به فاصله ۱۷ متر، نمودار سرخ رنگ پاسخ آرایه ۲ گیرنده‌ای به فاصله ۱۷ متر و نمودار مشکی رنگ پاسخ آرایه معادل با همامیخت مکانی این دو آرایه است.




**شکل ۳.** نمودار آبی رنگ پاسخ آرایه قسمت قبل، نمودار سرخ رنگ پاسخ آرایه ۲ گیرنده‌ای به فاصله۲۰ متر و نمودار مشکی رنگ پاسخ آرایه معادل با همامیخت مکانی این دو آرایه است.در پاسخ نهایی پهنای کناری اول تضعیف شده است.




**شکل ٤.** نمودار آبی رنگ پاسخ آرایه قسمت قبل، نمودار سرخ رنگ پاسخ آرایه ۲ گیرنده‌ای به فاصله۲۳ متر و نمودار، مشکی رنگ پاسخ آرایه معادل با همامیخت مکانی این دو آرایه است در پاسخ نهایی پهنای کناری اول تضعیف شده است.




**شکل ۵.** شکل آرایه بهینه شده در قسمت قبل، محور افقی بیانگر مسافت و ارتفاع میله‌ها در نمودار بیانگر تعداد گیرنده‌های آرایه است.

## ۴ نتیجه‌گیری

با استفاده از روش همامیخت مکانی می‌توان آرایه‌ها را برای دادن پاسخ مطلوب بهینه کرد. با استفاده از این روش می توان با تعداد کمتر گیرنده، پاسخ‌هایی بهتر از پاسخ‌های آرایه‌هایی که به روش معمول قرار داده می‌شوند را به‌دست آورد. و با این کار می‌توان علاوه بر کاهش هزینه عملیات، پاسخ بهتری نیز به‌دست آورد.

## منابع

Kerekes, A. K., 1997a, 3-D Seismic Array Design by Spatial Convolution, Oral presentation at the 67th SEG Meeting, at the GEOTRIAD'98 in Calgary, Canada, 1998.

Kerekes, A. K., 1997b, The stack array and the spatial alias, the leading edge, **4**, 345-349.

Kerekes, A. K., 2001, Seismic array design by spatial convolution, Geophysics, **66**, 1195-1207.

Proakis, J. G., and Manolakis, D. G., 1989, introduction to digital signal processing, McMillan publication co.

Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1982, exploration seismology, Cambridge University Press, England.

Yilmaz, O., 1987, Seismic data processing, SEG, Tulsa, Oklahoma, USA.