

## بررسی اثر عوامل اندازه گیری الکترومغناطیسی بر بازیابی جسم مجهول بروش تکرار برن

محمد خلیج امیرحسینی

عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت

فرخ حجت کاشانی

استاد دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت

محمود کمره‌ای

دانشیار گروه مهندسی برق دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۷/۲/۲۹، تاریخ تصویب ۷۷/۱۲/۱۹)

### چکیده

از روشهای مهم در بازیابی و تصویربرداری از یک جسم مجهول استفاده از تابش امواج الکترومغناطیسی بر آن و اندازه گیری میدانهای پراکندگی می باشد. این روش همان حل مسئله پراکندگی معکوس در الکترومغناطیس می باشد. در این مقاله پس از آشنائی با مسئله پراکندگی معکوس در الکترومغناطیس و روش تکرار برن برای حل آن، اثر عوامل مهم در اندازه گیری مورد بررسی قرار می گیرند. این عوامل عبارتند از: فرکانس کار، تعداد فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، زاویه دید گیرنده‌ها و فرستنده‌ها نسبت به جسم و نویز در گیرنده‌ها. مثالهای شبیه سازی شده بصورت دو بعدی می باشند.

کلیدواژه ها: مسئله پراکندگی معکوس، روش تکرار برن، عوامل اندازه گیری

### مقدمه

از مسائل جالب و تقریباً نو در زمینه الکترومغناطیس، مسئله پراکندگی معکوس می باشد. هدف از حل این مسئله، یافتن مشخصه الکترومغناطیسی فضائی مجهول،  $\sigma(\rho)$  و  $\epsilon_r(\rho)$  می باشد. بدین منظور از میدانهای الکتریکی اندازه گیری شده توسط گیرنده‌های مرزی اطراف فضای فوق، که حاصل تشعشع فرستنده‌های مرزی می باشند، استفاده می شود. شکل (۱) این مسئله را نشان می دهد. در این مسئله، تشعشع فرستنده‌های مرزی یکبار بدون حضور جسم و بار دیگر با حضور جسم صورت می پذیرد. در بار اول میدان تابشی  $E^i$  و در بار دوم میدان کل  $E^t$  توسط گیرنده‌ها اندازه گیری شده، و از میدان پراکندگی مرزی که تفاضل آنها می باشد برای یافتن مشخصه جسم مجهول استفاده می شود. از کاربردهای عملی مسئله پراکندگی معکوس می توان به تصویربرداری پزشکی، تصویربرداری راداری، احساس از دور، زمین شناسی و یافتن اجسام

مدفون اشاره نمود.

معادله پراکندگی معکوس در فضائی دو بعدی و برای مود استوانه‌ای  $TM_z$  بدین صورت می باشد:

$$E_z^s(\rho) = \int [ \sigma(\rho') + j\omega \cdot (\epsilon_r(\rho') - 1) \epsilon_0 ] \cdot E_z^i(\rho') \cdot G(\rho, \rho') \cdot d\rho' \quad (1)$$

که در آن  $G(\rho, \rho')$  تابع گرین<sup>(۱)</sup> در فضای آزاد و  $\rho$  نقطه‌ای دلخواه می باشد. ملاحظه می شود که معادله فوق نسبت به مشخصه جسم، غیرخطی می باشد زیرا میدان کل  $E^t$  تابعی غیرخطی از آن است.  $E^s$  نیز میدان پراکندگی می باشد و برابر است با

$$E^s = E^t - E^i \quad (2)$$

که تنها در مرز اندازه گیری مشخص و معلوم می باشد. در واقع دقت بازیابی جسم مجهول به این میدانها بستگی دارد که آنها نیز بستگی به عوامل اندازه گیری این میدانهای



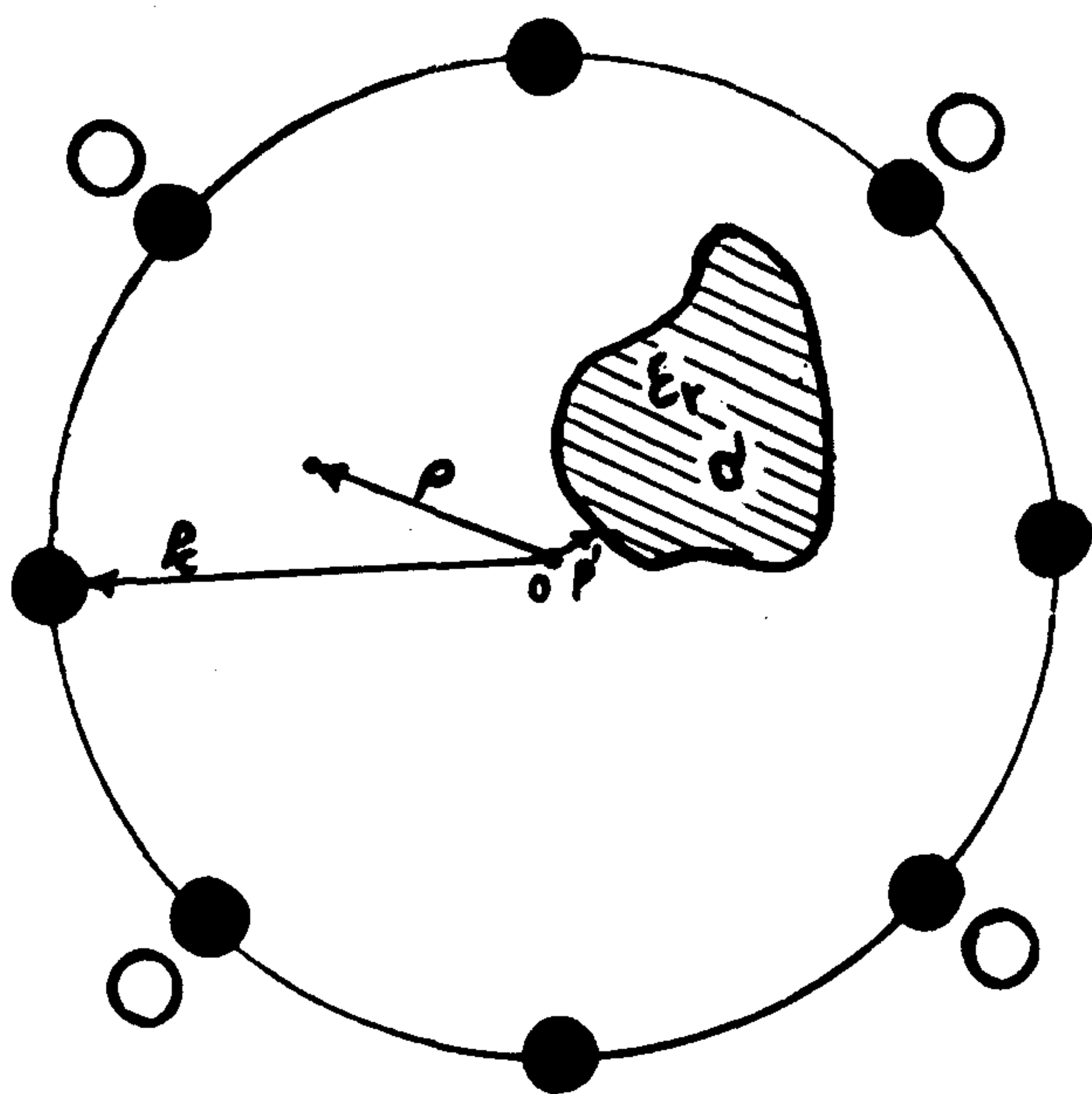
معمولاً دو پارامتر زیر یکی برای بیان اختلاف  $E^s$  محاسبه شده مرزی با  $E^s$  حاصل از اندازه‌گیری (Relative Residual Error) و دیگری برای خطای جسم بازیابی شده نسبت به جسم اصلی (Mean Square Error)، تعریف می‌شوند [۱-۴].

$$RRE = \frac{\sum_k ||E_c^{s(i)}(\rho_{c,k}) - E_c^s(\rho_{c,k})||}{\sum_k ||E_c^s(\rho_{c,k})||} \quad (4)$$

$$MSE = \left\{ \frac{\iint [E_r^{(i)}(\rho) - \varepsilon_r(\rho)]^2 dx dy}{\iint [\varepsilon_r(\rho)]^2 dx dy} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

که  $\rho_{c,k}$  مکان گیرنده  $k$  ام بوده و  $E_c^{s(i)}$  و  $\varepsilon_r^{(i)}$  بترتیب میدان پراکندگی مرزی محاسبه شده و  $\varepsilon_r$  بازیابی شده در  $i$  امین تکرار می‌باشند.

نکته بسیار مهمی که در حل مسئله پراکندگی معکوس وجود دارد، بدخیم بودن<sup>(۳)</sup> معادلات موجود در آن است. بنابراین معادلات<sup>(۳)</sup> می‌بایستی با یکی از روشهای تنظیم‌کننده<sup>(۴)</sup>، همانند تیخانوو<sup>(۵)</sup>، SVD بریده شده<sup>(۶)</sup> و گرادیان مزدوج<sup>(۷)</sup> حل شوند تا جواب معقول و هموار شده‌ای بدست آید [۶]. میزان بدخیم بودن یک دستگاه معادلات رابطه مستقیم با میزان وابستگی معادلات آن و در نتیجه با عدد شرط<sup>(۸)</sup> ماتریس موجود در آن دارد [۶].



شکل ۱: مسئله پراکندگی معکوس.

● ها بیانگر گیرنده‌ها و ○ ها بیانگر فرستنده‌ها می‌باشند.

پراکندگی مرزی دارند. این عوامل عبارتند از: فرکانس کار، تعداد فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، زاویه دید گیرنده‌ها و فرستنده‌ها نسبت به جسم و نویز در گیرنده‌ها.

در این مقاله اثر این عوامل اندازه‌گیری مورد بررسی قرار می‌گیرند. ابتدا مروری بر روش تکرار برن برای بازیابی جسم مجهول انجام می‌شود. سپس اثر فرکانس کار و تعداد فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، اثر زاویه دید محدود و اثر نویز گیرنده‌ها در سه بخش جداگانه بررسی می‌شوند.

### روش تکرار برن

در این روش از معادله انتگرالی (۱)، طبق مراحل زیر برای یافتن مشخصه جسم استفاده می‌نمائیم [۱-۴]:

۱- پس از مش‌بندی فضا و ثابت دانستن میدانها و مشخصه داخل هر مش، میدان کل  $E^t$  در داخل فضای مجهول را برابر با میدان تابشی  $E^i$  در نظر می‌گیریم،  $E^t \cong E^i$  این تقریب که تقریب برن<sup>(۱)</sup> نام دارد، برای پراکنده‌گر<sup>(۲)</sup>های ضعیفتر از دقت بیشتری برخوردار است.

۲- با استفاده از معادله (۱) و با فرض دانستن  $E^t$ ، معادله خطی و ماتریسی زیر حاصل می‌شود.

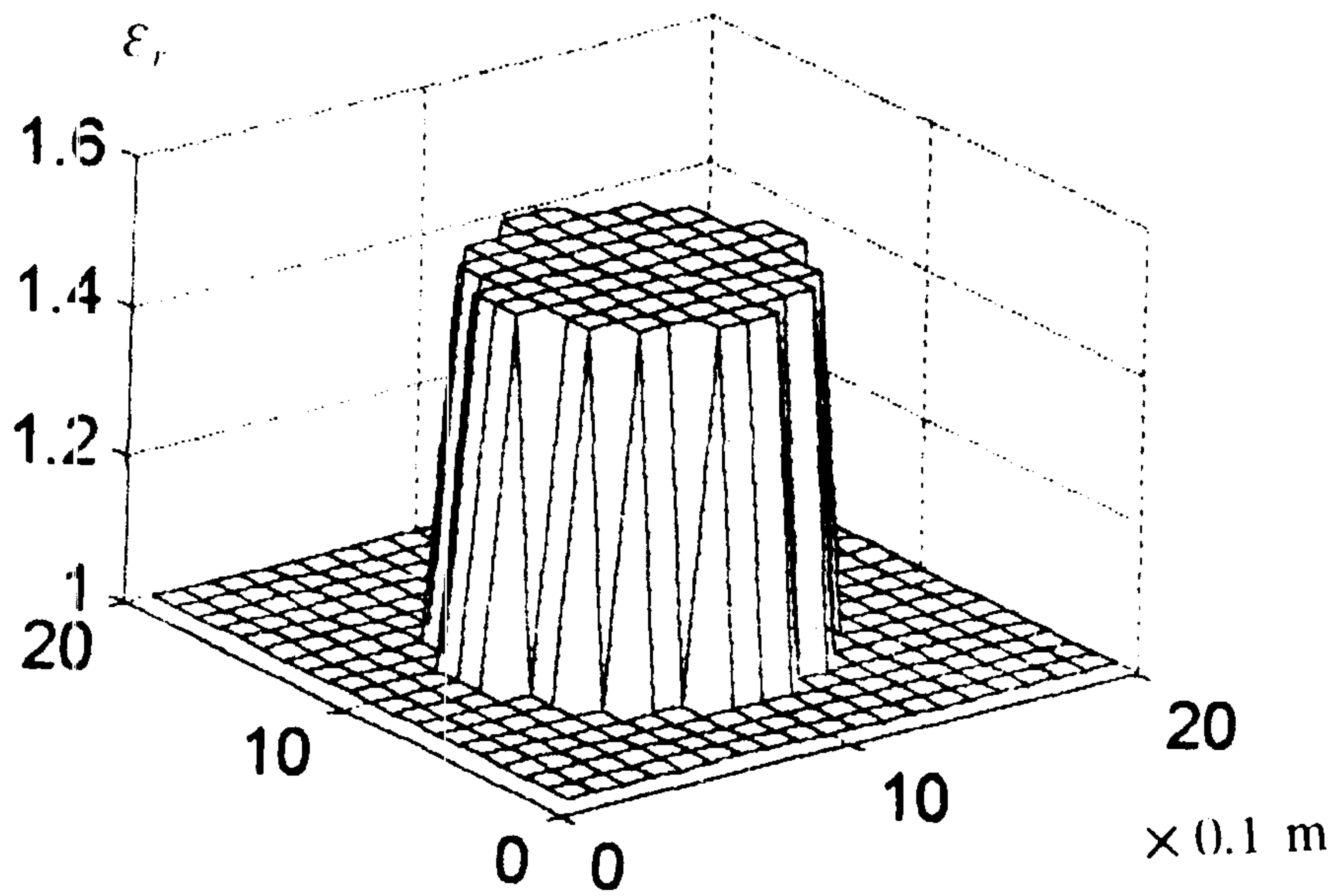
$$M_{RT \times N} \cdot S_{N \times 1} = E_c^{s RT \times 1} \quad (3)$$

که  $E_c^s$  بردار میدانهای پراکندگی مرزی بوده و ماتریس  $M$  از حاصلضرب تابع گرین در میدان کل حاصل می‌شود. بردار  $S$  بیانگر مشخصه جسم،  $(\varepsilon_r(\rho) - 1) \varepsilon_0$ ، و  $R$  و  $T$  نیز بترتیب تعداد گیرنده‌ها و فرستنده‌ها می‌باشند.

۳- با استفاده از مشخصه بدست آمده در مرحله قبل و توسط روشهای مستقیم نظیر FDTD [۵]، میدان کل  $E^t$  جدید با دقت بیشتری نسبت به مرحله قبل، در داخل فضای مجهول محاسبه می‌شود. ضمناً میدان پراکندگی در محل گیرنده‌های مرزی نیز در این مرحله محاسبه می‌شوند.

۴- اختلاف  $E^s$  محاسبه شده مرزی با  $E^s$  حاصل از اندازه‌گیری مقایسه می‌شود. در صورتی که این اختلاف از حد معینی کمتر بود و یا نسبت به تکرارهای قبلی کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشت، عملیات خاتمه می‌یابد و در غیر اینصورت تکرار جدید از مرحله ۲-۲ آغاز می‌شود.

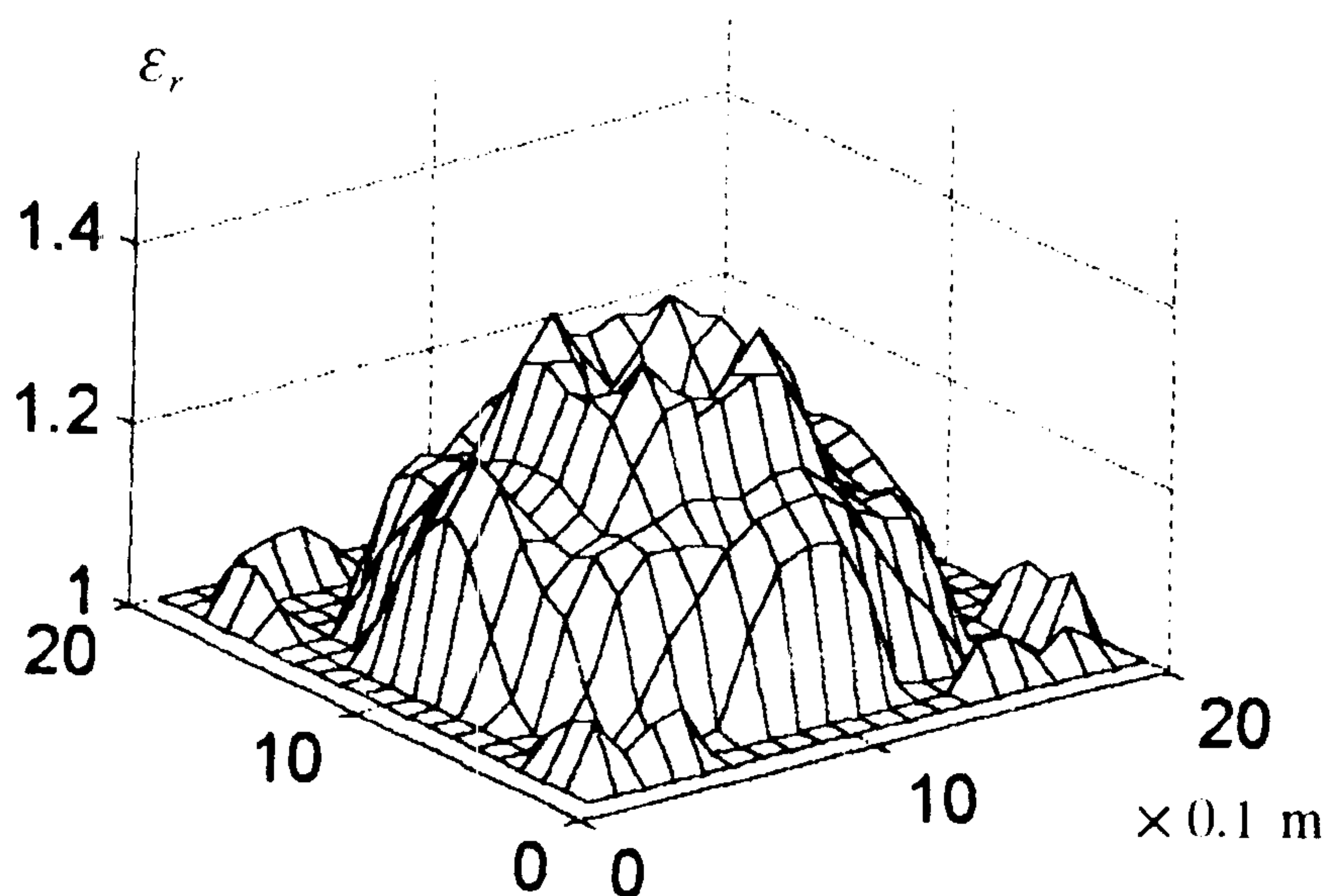




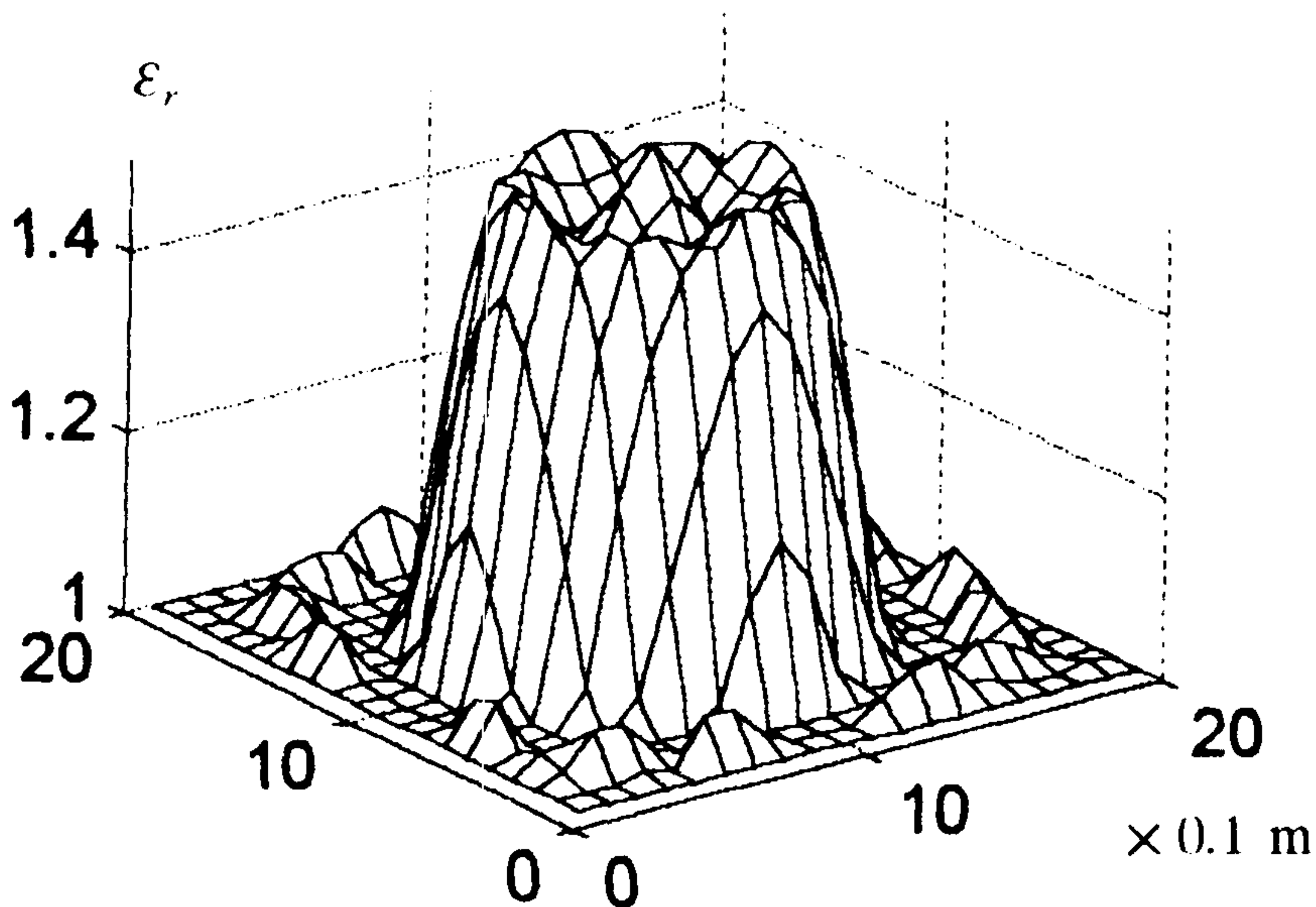
شکل ۲: توزیع مشخصه فضائی دو بعدی با اضلاع ۲ متر و حاوی جسمی عایق در درون آن.

شکل (۲)، توزیع مشخصه فضائی دو بعدی را نشان می دهد که بعنوان فضا و جسم مجهول در مثالهای شبیه سازی شده این مقاله بکار رفته است. فضای فوق بصورت مربعی به ضلع ۰/۲ متر بوده، قطر و  $\epsilon_r$  جسم عایق داخل آن نیز به ترتیب ۰/۱ متر و ۱/۵ می باشند. در شبیه سازی، ضلع هر مش ۰/۱ متر (۱۸/۰) انتخاب شده است. با استفاده از ۱۶ فرستنده با فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز که بطور جداگانه تشعشع می کنند و نیز ۱۶ گیرنده روی محیط فضا، جسم فوق را به روش مذکور بازیابی نموده ایم. شکل (۳) مراحل بازیابی جسم مذکور را بهمراه پارامترهای خطا نشان می دهد. ضمناً معادلات موجود در این روش، بطریق تیخانوو حل شده اند و روش FDTD نیز برای حل مسئله مستقیم استفاده شده است.

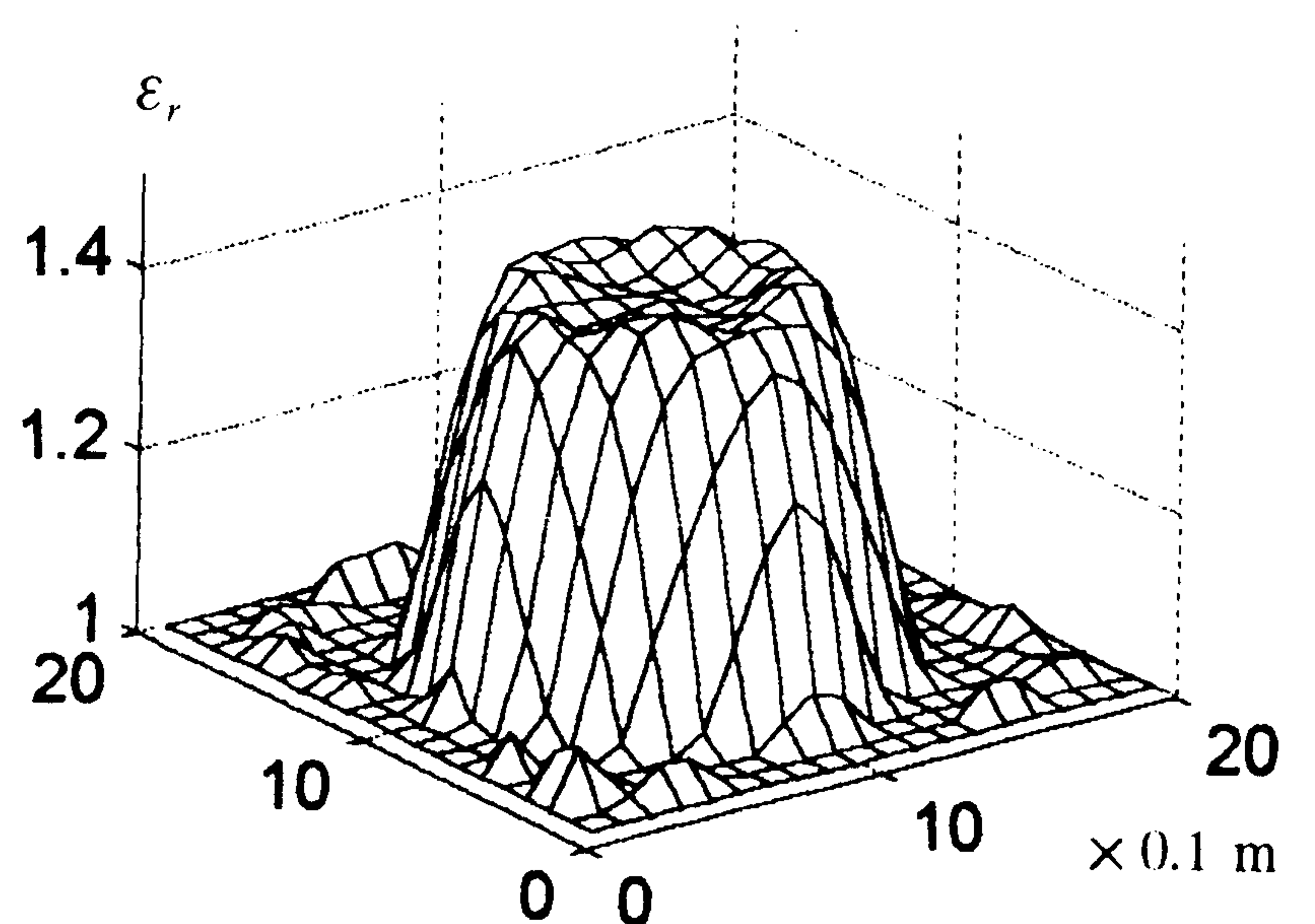
a) MSE=-17.5 dB , RRE=0 dB



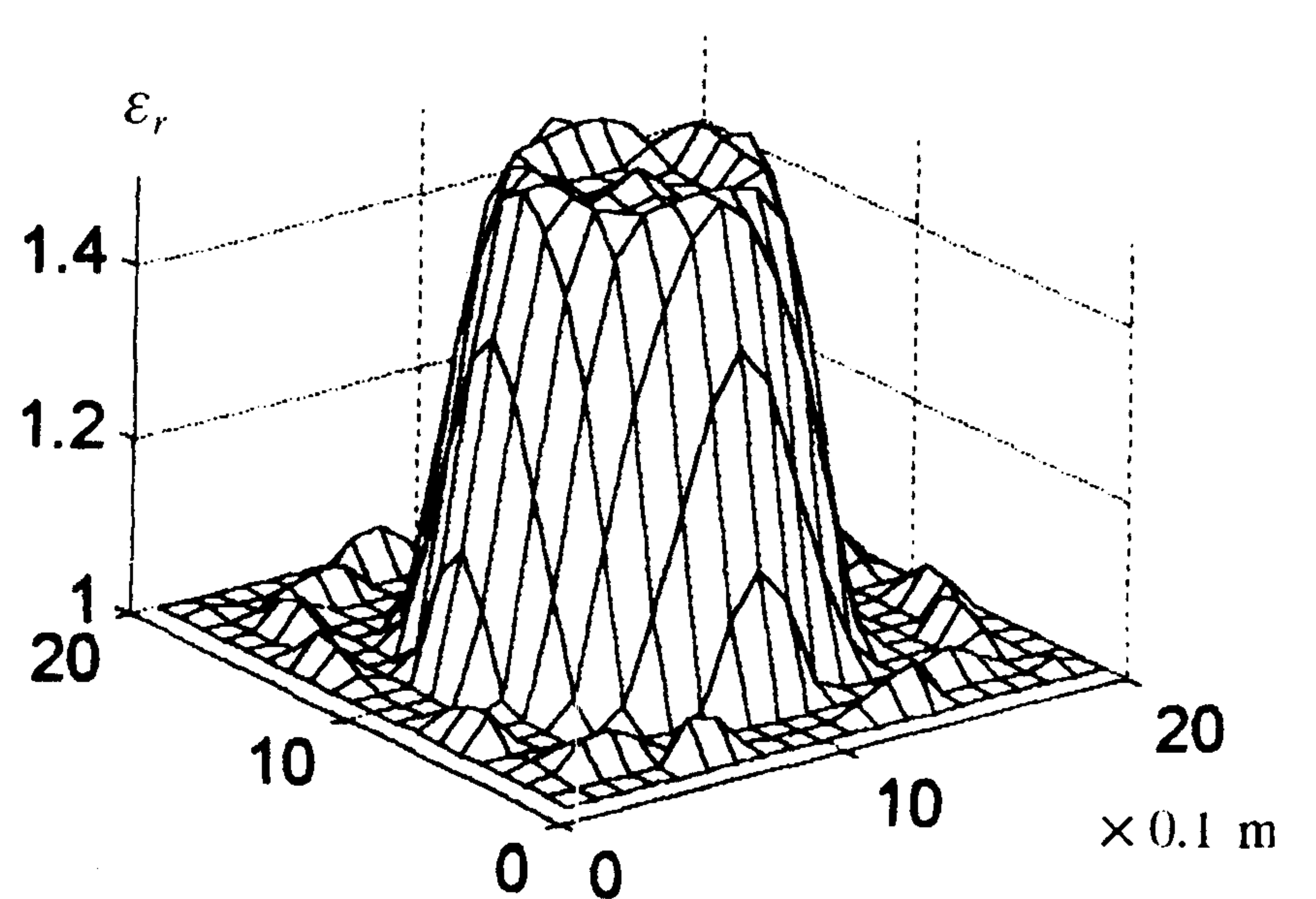
c) MSE=-24.7 dB , RRE=-13.5 dB



b) MSE=-22.2 dB , RRE=-5.6 dB



d) MSE=-25.2 dB , RRE=-17.5 dB



شکل ۳: مراحل بازیابی جسم شکل (۲) بروش تکرار برن و با ۱۶ فرستنده و گیرنده در فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز: (a) تا (e) تکرارهای اول تا سوم. (f) تکرار هفتم و نهانی.



## اثر فرکانس کار و تعداد گیرنده‌ها و فرستنده‌ها

تعداد بهینه و مؤثر گیرنده‌ها و فرستنده‌ها بستگی به فرکانس تحریک دارد و فرکانس تحریک نیز در بازیابی مشخصه اجسام مؤثر می‌باشد. چگونگی اثر عوامل فوق را می‌توان در موارد زیر بیان نمود:

۱- تعداد گیرنده‌ها و فرستنده‌ها - مسلماً هرچه تعداد گیرنده‌ها و فرستنده‌ها افزایش یابد، دقت بازیابی مشخصه مجهول بیشتر خواهد شد. ولی افزایش تعداد آنها بیش از حد مؤثری، کمک چندانی در افزایش دقت بازیابی نخواهد نمود و در عوض باعث بدخیمتر شدن مسئله خواهد شد که علت آن افزایش وابستگی اطلاعات به یکدیگر می‌باشد. تعداد مؤثر و مفید گیرنده‌ها رابطه مستقیم با فرکانس تحریک و رابطه معکوس با تعداد فرستنده‌ها دارد. هر چه فرکانس تحریک کمتر شود و یا تعداد فرستنده‌ها افزایش یابد، استقلال اطلاعات دریافتی کمتر شده و تعداد گیرنده‌های مؤثر و مفید کمتر می‌شوند و در نتیجه مسئله بدخیم‌تر می‌شود. ولی اگر فرکانس تحریک زیادتر شود، محیط مرز اندازه‌گیری نسبت به طول موج بزرگتر شده و اطلاعات مسئله با تعداد بیشتری فرستنده و گیرنده به اشباع رسیده و وابستگی بین آنها بوجود می‌آید. پس با افزایش فرکانس می‌بایستی تعداد گیرنده‌ها و فرستنده‌ها بیشتر شود تا به حداکثر دقت بازیابی دست یابیم. عدد شرط ماتریس  $M$  برای ۸ فرستنده و ۴ گیرنده در دو فرکانس ۳۰۰ و ۱۵۰ مگاهرتز بترتیب عبارتند از  $۶/۲ \times ۱۰^۲$  و  $۴/۱ \times ۱۰^۲$ . در حالیکه عدد شرط ماتریس فوق برای ۸ فرستنده و ۱۶ گیرنده در دو فرکانس ۳۰۰ و ۱۵۰ مگاهرتز بترتیب عبارتند از  $۱/۳ \times ۱۰^۳$  و  $۲/۱ \times ۱۰^۴$ . مشاهده می‌شود که با کاهش فرکانس و یا افزایش گیرنده‌ها و فرستنده‌ها، عدد شرط افزایش می‌یابد و در نتیجه مسئله بدخیم‌تر می‌شود.

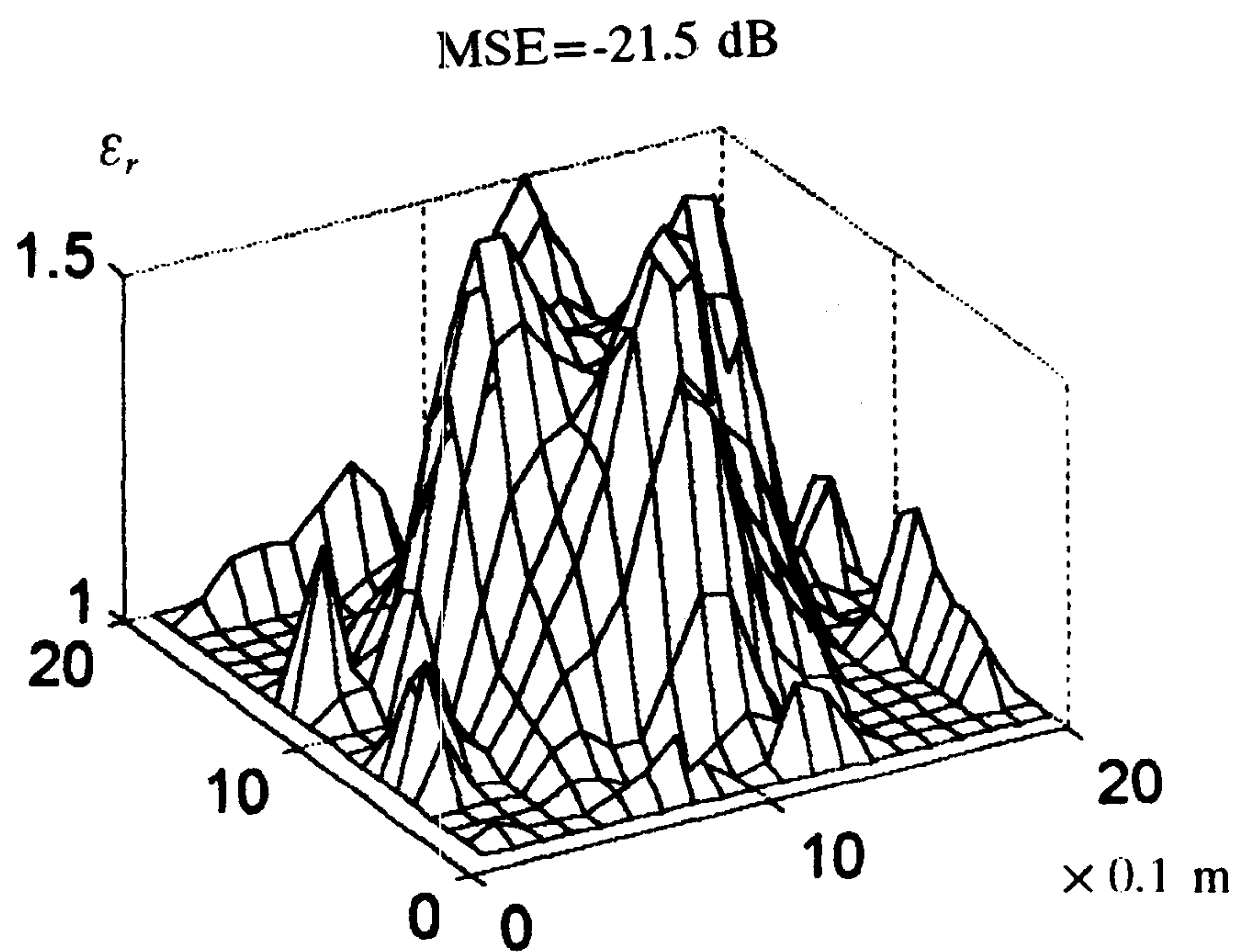
۲- فرکانس تحریک کم - اگر فرکانس تحریک خیلی کم شود، ابعاد جسم و نیز فاصله آن تا هر فرستنده نسبت به طول موج کاهش یافته و بویژه عمق نفوذ افزایش می‌یابد. در اینحالت میدانهای پراکندگی مرزی، تقریباً مستقل از تابع شکل جسم بوده و تنها تابعی از مشخصه متوسط جسم و مرکز ثقل الکترومغناطیسی آن خواهند بود. در

واقع در فرکانسهای کم، تمامی جسم روشن می‌شود و نمائی کلی از تمامی آن بازیابی می‌شود. بعلاوه اطلاعات دریافتی از جسم، با تعداد کمی فرستنده به حداکثر مربوط به فرکانس کم، خواهند رسید. شکل (۴) بازیابی مشخصه جسم را بازااء تابش ۴ فرستنده و ۱۶ گیرنده در فرکانس ۳۷/۵ مگاهرتز نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نمائی کلی و محواز تمامی جسم بدست آمده است. ضمناً کاهش فرکانس به‌مراه ثابت بودن تعداد مشها، با افزایش پیروی سیگنال تحریک در روش FDTD امکان‌پذیر می‌شود.

۳- فرکانس تحریک زیاد - اگر فرکانس تحریک خیلی زیاد شود، ابعاد جسم و نیز فاصله آن تا هر فرستنده نسبت بطول موج افزایش یافته و بویژه عمق نفوذ کاهش می‌یابد. در اینحالت میدانهای پراکندگی مرزی، تقریباً مستقل از داخل جسم شده و تنها تابعی از مشخصه و تابع شکل جسم در ناحیه روبروی فرستنده خواهند بود. هرچه فرکانس بالاتر رود ناحیه فوق کوچکتر می‌شود. پس در فرکانسهای بالا، تنها قسمت کوچکی از ناحیه مرزی جسم روشن می‌شود ولی بعلت بزرگنمائی و بکاررفتن معادلات برای بازیابی قسمت کوچکی از جسم، آن قسمت کوچک بهتر بازیابی می‌شود. البته، برای بازیابی مشخصه کامل تمامی جسم احتیاج به فرستنده‌های زیادی می‌باشد تا هر کدام قسمت کوچکی از جسم را روشن کند. بعلاوه با افزایش فرکانس می‌بایستی تعداد نقاط گره‌بندی داخل مرز اندازه‌گیری افزایش یابد که در نتیجه باعث افزایش حافظه و زمان لازم خواهد شد. شکل (۵)، مشخصه بازیابی شده جسم را بازااء تابش ۴ فرستنده و ۱۶ گیرنده در فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نواحی روبروی فرستنده‌ها بخوبی بازیابی شده‌اند.

۴- فرکانس بهینه - ملاحظه شد که حسن فرکانسهای پائین بازیابی خوب مکان و مشخصه کلی جسم و حسن فرکانسهای بالا بازیابی خوب مشخصه و محیط قسمتی از جسم می‌باشد. از طرف دیگر عیب فرکانسهای پائین روشن شدن تمامی جسم، کوچک‌نمائی آن و بکاررفتن معادلات برای بازیابی تمامی جسم و عیب فرکانسهای بالا عمق نفوذ کم و عدم بازیابی صحیح داخل جسم می‌باشد. بنابراین برای بازیابی بهینه، فرکانسی بنام فرکانس بهینه بین فرکانسهای پائین و بالا امکان وجود دارد. مسلماً این





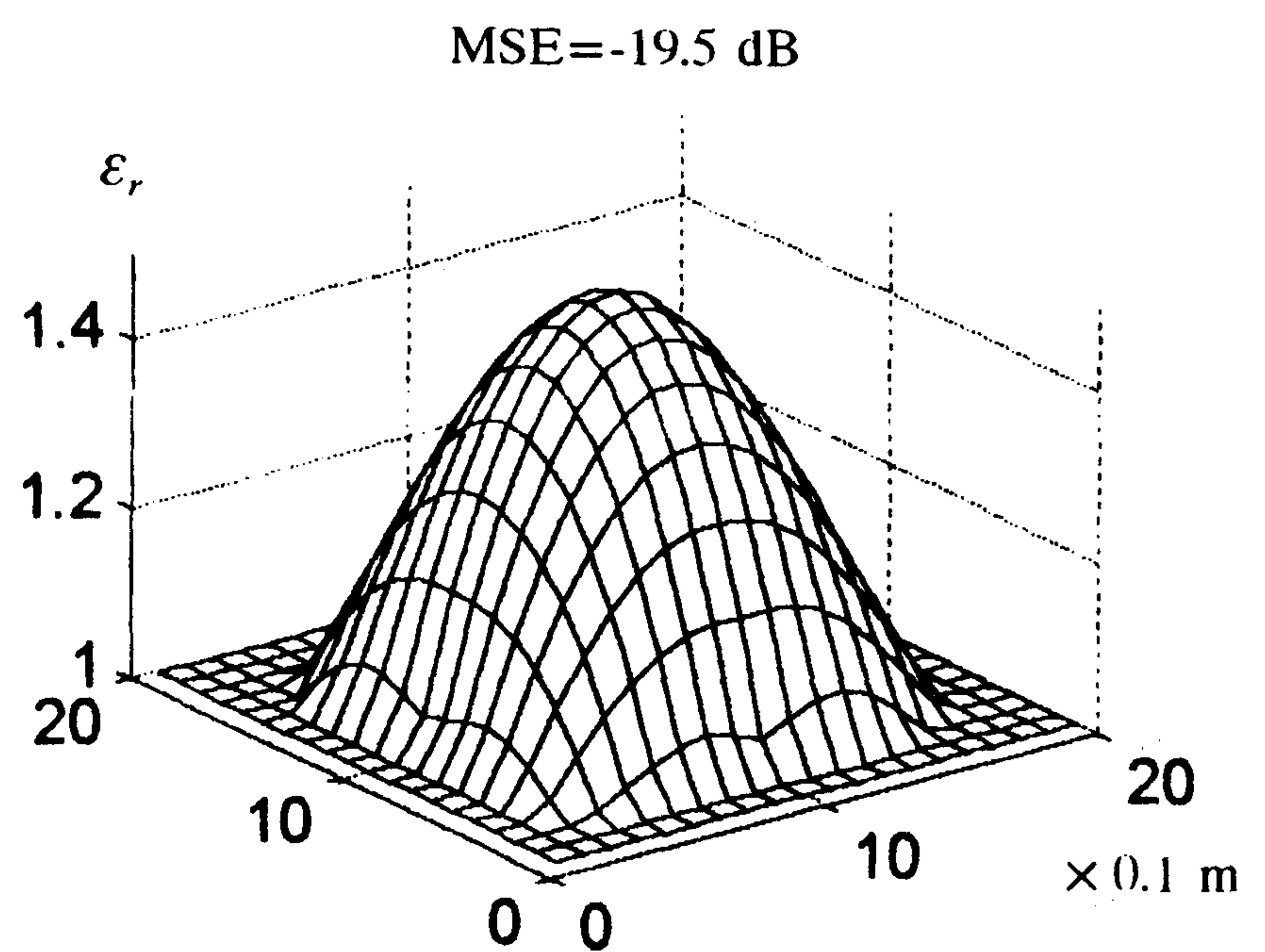
شکل ۵: بازیابی جسم شکل (۲) با ۴ فرستنده در فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز.

#### اثر محدودیت زاویه دید

سختترین مسئله پراکندگی معکوس، مسئله با دید محدود و یک طرفه می‌باشد. در این مسئله که تمام فرستنده‌ها و گیرنده‌ها تنها در یک طرف جسم و در یک ضلع مرز اندازه‌گیری واقع هستند، اطلاعات ناچیزی از فضای اندازه‌گیری بدست می‌آید. در این حالت اطلاعات فرستنده‌ها و گیرنده‌ها ارزشمندتر از حالت دید کامل بوده و فاصله مفید بین دو گیرنده کمتر می‌باشد. در حالت دید محدود فرکانس بهینه کمتر از حالت دید کامل می‌باشد زیرا در این حالت نیاز به داشتن اطلاعات از تمامی اطراف جسم اهمیت بیشتری می‌یابد، که این نیاز نیز در فرکانسهای پائینتر بیشتر برآورده می‌شود. شکل (۶)، جسم بازیابی شده را در فرکانسهای ۳۷/۵، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ مگاهرتز و با ۵ فرستنده و ۲۰ گیرنده نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بازیابی جسم در فرکانس ۱۵۰ مگاهرتز از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. البته فرکانس بهینه و دقت بازیابی، به فاصله جسم تا مرز اندازه‌گیری نیز می‌تواند بستگی داشته باشد. ضمناً در حالت دید محدود بعلت زیاد بودن نسبت فواصل فرستنده‌ها و گیرنده‌های دور از جسم و نزدیک به جسم، نسبت به یکدیگر، ماتریس  $M$  از پراکندگی<sup>(۱)</sup> زیادی برخوردار می‌باشد. این

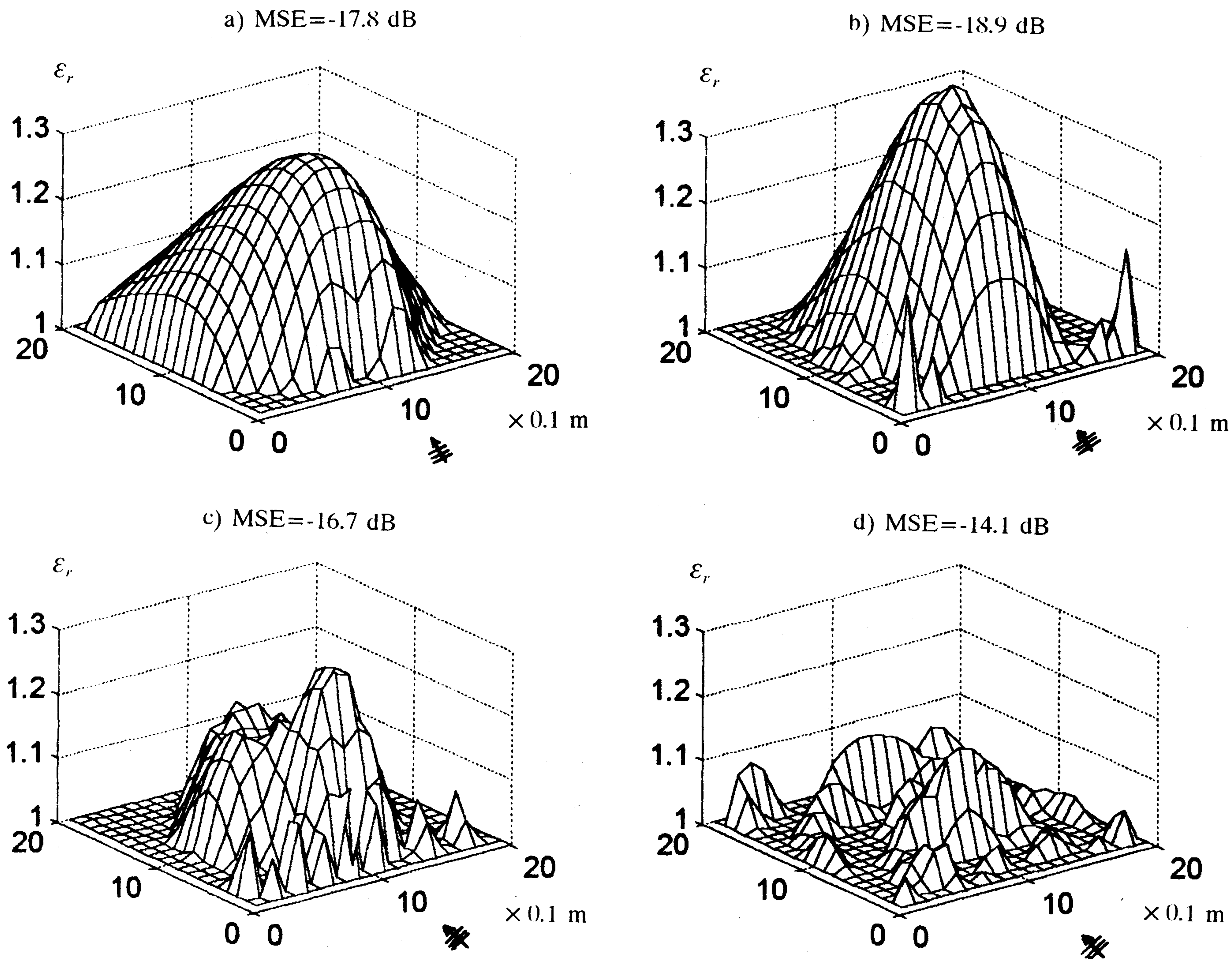
فرکانس بهینه رابطه معکوس با ابعاد و غلظت مشخصه جسم خواهد داشت. ضمناً فرکانس مذکور، با تعداد فرستنده‌ها رابطه مستقیم دارد زیرا با افزایش آنها امکان بازیابی بهتر جسم در فرکانسهای بالاتر وجود خواهد داشت.

۵- در فرکانسهای بالا، چون تقریب اول برن از دقت کمی برخوردار است، بنابراین تکرار اول از خطای بالایی برخوردار است و برای رسیدن به حداکثر دقت احتیاج به تعداد تکرار زیادی می‌باشد و حتی امکان واگرایی نیز وجود دارد. ولی در فرکانسهای پائین چون تقریب اول از دقت خوبی برخوردار است احتیاج به تعداد تکرار کمتری می‌باشد. شکل (۵) با ۸ تکرار و شکل (۴) با ۲ تکرار بدست آمده‌اند. البته لازم به ذکر است که اگر مسئله مستقیم در روش تکرار برن بصورت زمانی FDTD حل شود (همانند این مقاله)، حافظه و زمان لازم برای هر تکرار برای فرکانسهای پائین بسیار بیشتر از زمان لازم برای فرکانسهای بالا خواهد بود. بنابراین در مجموع ممکن است کل زمان لازم برای فرکانسهای پائین بیشتر از زمان لازم برای فرکانسهای بالا باشد. شکل (۴) در دو برابر مدت زمان برای شکل (۵) بدست آمده است. ولی اگر بجای FDTD از روش دیگری همچون مومنت استفاده شود، زمان هر تکرار برای تمامی فرکانسها برابر خواهد بود و در نتیجه فرکانسهای پائینتر در زمان کمتری همگرا خواهند شد.



شکل ۴: بازیابی جسم شکل (۲) با ۴ فرستنده در فرکانس ۳۷/۵ مگاهرتز.





شکل ۶: بازیابی جسم شکل (۲) در حالت دید محدود یکطرفه و با ۵ فرستنده و ۲۰ گیرنده در فرکانسهای: (a) ۳۷/۵ (b) ۷۵ (c) ۱۵۰ و (d) ۳۰۰ مگاهرتز.

بدخیم‌تر شدن مسئله معکوس بوده و حل بروشهای تنظیم، اثر فیلتری بیشتری را باعث می‌شود. شکل (۷) بازیابی جسم را با  $\frac{S}{N}$  های ۱۰ dB و ۲۰ dB، در فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز و با ۱۶ فرستنده و گیرنده نشان می‌دهد. با توجه به جسم بازیابی شده در شکل (۳-d) می‌توان دید که خطای بازیابی به ترتیب ۱.۱ dB و ۳.۱ dB افزایش یافته است. می‌توان  $\frac{S}{N}$  حدود ۲۰ dB را حداقل SNR لازم برای بازیابی جسم دانست.

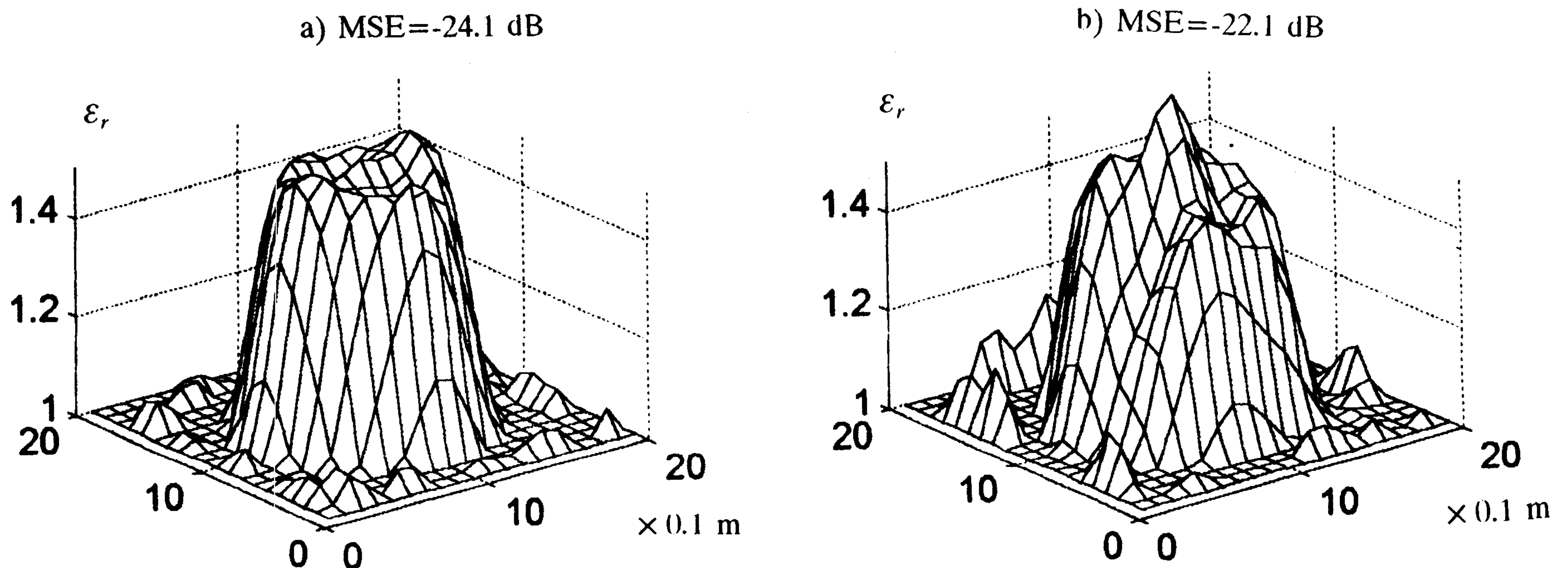
از راههای کاهش اثر نویز، تکرار اندازه‌گیریها و متوسط‌گیری از آنها می‌باشد زیرا اگر هر اندازه‌گیری  $N$  بار تکرار شود قدرت نویز مؤثر حاصل از متوسط‌گیری آنها  $\frac{1}{N}$  خواهد شد. البته در عمل بهتر است بجای  $N$  بار تکرار اندازه‌گیری میدان در هر نقطه مرزی، تعداد نقاط

امر باعث زیاد شدن عدد شرط ماتریس و کاهش اهمیت اطلاعات فرستنده و گیرنده‌های دورتر می‌شود. در نتیجه مسئله در تکرار بیشتر و با دقت کمتر به جواب می‌رسد. البته روش تقویت<sup>(۱)</sup> با فرض دانستن مرکز جسم، تا حدی این مشکل را حل می‌نماید [۴].

#### اثر نویز گیرنده‌ها

معمولاً بعلت وجود پهنای باند لازم در گیرنده‌ها، میدانهای RF اندازه‌گیری شده توسط آنها همراه نویز خواهند بود. مقدار قدرت نویز سفید (حرارتی) رابطه مستقیم با پهنای باند گیرنده‌ها دارد که معمولاً در فرکانسهای بالا بیشتر می‌باشد. افزایش توان نویز باعث





شکل ۷: بازیابی جسم شکل (۲) با ۱۶ فرستنده و گیرنده در فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز در حضور نویز گیرنده‌ها و با دو نسبت سیگنال به نویز: dB (a) ۲۰ و (b) ۱۰ dB.

و با کمترین پهنای باند ممکنه برای فیلتر گیرنده‌ها انجام شوند تا نویز و خطای در اندازه‌گیری به حداقل برسند. در انتخاب فرکانس کار، تعداد فرستنده‌ها و گیرنده‌ها نیز دقت شود چراکه حداکثر دقت بازیابی در فرکانس بهینه‌ای بدست می‌آید که این فرکانس نیز بستگی به ابعاد و مشخصه جسم، نوع دید و تعداد فرستنده‌ها (گیرنده‌ها) دارد. در حالت دید محدود و یکطرفه، در مقایسه با حالت دید کامل فاصله فرستنده‌ها و گیرنده‌ها کمتر انتخاب شود و فرکانس کار نیز کاهش یابد. البته سرعت همگرایی نیز بشدت وابسته به فرکانس تحریک و روش عددی یافتن میدانهای الکترومغناطیسی می‌باشد.

اندازه‌گیری روی مرز  $N$  برابر شوند و در واقع مسئله با تعداد گیرنده‌های بیشتر حل شود. نکته مهم دیگر نیز استفاده از فرستنده‌های پرتوان و گیرنده‌های کم‌نویز بمنظور افزایش  $\frac{S}{N}$  در گیرنده‌ها می‌باشد.

### نتیجه گیری

با بررسی عوامل مختلف در اندازه‌گیری میدانهای پراکندگی دیدیم که هم دقت بازیابی جسم مجهول و هم سرعت همگرایی در روش تکرار برن بشدت به آنها وابستگی دارند. با توجه به این وابستگی‌ها چند نکته باید در اندازه‌گیریها مورد توجه قرار گیرند. اندازه‌گیریها با دقت

### مراجع

- 1 - Wang, Y. M. and Chew, W. C. (1989). "An Iterative Solution of the Two-Dimensional Electromagnetic Inverse Scattering problem." *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 1, 100-108.
- 2 - Moghaddam, M. and Chew, W. C. (1993). "Study of some Practical Issues in Inversion With the Born Iterative Method using Time-Domain Data." *IEEE Trans. AP*, 177-184.
- 3 - Moghaddam, M. and Chew, W. C. (1993). "Simultaneous Inversion of Compressibility and Density in the Acoustic Inverse Problem." *Inverse Problems*, 715-730.
- 4 - Wang, Y. M. and Chew, W. C. (1991). "Limited-Angle Inverse Scattering Problems and Their Applications for

Geophysical Explorations." *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2, 96-111.

- 5 - Mur, G. (1981). "Absorbing Boundary Conditions for the Finite-Difference Approximation of the Time-Domain Electromagnetic-Field Equations." *IEEE Trans. EMC-23*, 377-382.
- 6 - Hansen, P. C. (1993). "Regularizaion Tools (A Matlab Package for Analysis and Solution of discrete Ill-posed problems)." *Technical university of Denmark*.

	واژه نامه
1 - Scatterer	پراکنده گر
2 - Ill-Posedness	بدخیم بودن
3 - Regularization	تنظیم کننده
4 - Truncated SVD	SVD بریده شده
5 - Conjugate Gradient	گرادیان مزدوج
6 - Condition Number	عدد شرط
7 - Sparsity	پراکندگی
8 - Boosting	روش تقویت