

# تعریف پراکنده‌گر در محیط انتشار امواج الکترومغناطیسی با استفاده از پردازش تصویر بر پایه روش FDTD

محمود فلاح<sup>(۱)</sup> - علیرضا ملاح زاده<sup>(۲)</sup>

(۱) دانشجوی دکتری - گروه برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

(۲) استادیار - گروه برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۸

**خلاصه:** در این مقاله ما به پیاده‌سازی یک پراکنده‌گر به صورت مدل واقعی ناهمواری‌های زمین در برنامه رایانه‌ای با استفاده از پردازش تصویر مبادرت ورزیده‌ایم. نشان می‌دهیم که این رویکرد می‌تواند برای شبیه‌سازی انتشار امواج الکترومغناطیسی بر روی سطوح واقعی ناهموار مورد استفاده قرار گیرد. شبیه‌سازی‌هایی برای پیاده‌سازی پراکنده‌گرها به عنوان هادی کامل انجام شده است. ما همچنین چگونگی استفاده از این رویکرد را برای مواد و یا شروط مرزی مختلف درون فضای محاسباتی شرح می‌دهیم. نتایج تصاویر لحظه‌ای میدان‌ها که در زمان‌های مختلف شبیه‌سازی گرفته شده است، قابلیت این روش را تصدیق می‌کند.

**کلمات کلیدی:** انتشار موج الکترومغناطیسی، تفاضل محدود در حوزه زمان، پردازش تصویر، مدل‌سازی ناهمواری، FDTD.

## Definition of Scatterer in Electromagnetic Wave Propagation Environment Using Image Processing Based on FDTD Method

Mahmoud Fallah<sup>(1)</sup> – Alireza Mallahzadeh<sup>(2)</sup>

(1) Phd. Candidate - Department of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

m\_fallah@elec.iust.ac.ir

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

mallahzadeh@shahed.ac.ir

In this paper, we implement real irregular terrain model in computer program by using image processing. We show how this approach can be used in simulation of E.M. wave propagation on irregular earth's surface in a realistic manner. Some simulations are performed for implementation of longitudinal height differences over the propagation path as PEC surface. We also describe that how this approach can be used for any boundary condition in computational space. The results observed in Snapshots of the field profiles taken at different simulation times, validates capability of this method.

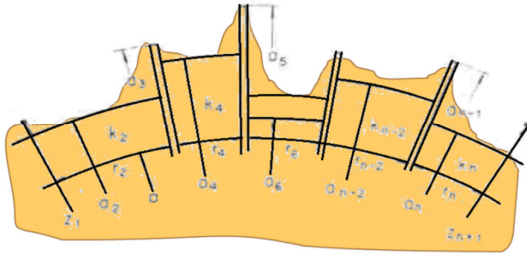
**Index Terms:** E.M. propagation, finite difference time domain, image processing, terrain modeling, consecutive windows, FDTD.

## ۱- مقدمه

تا به حال تعداد زیادی از روش‌های عددی برای تحلیل مسائل الکترومغناطیسی ابداع شده‌اند. اغلب این روش‌ها بر پایه‌ی تحلیل تمام-موج<sup>۱</sup> در حوزه‌ی زمان و یا فرکانس می‌باشند. هر کدام از این روش‌ها برای تحلیل دسته‌ای از مسائل مناسب می‌باشند. یکی از رایج‌ترین روش‌های عددی، تفاضل محدود در حوزه زمان یا در اختصار FDTD<sup>۲</sup> می‌باشد [۱]. یکی از مشکلاتی که همواره در شبیه‌سازی مسائل انتشاری واقعی با آن درگیر هستیم تعریف پراکنده‌گر امواج الکترومغناطیسی در محیط انتشار در رایانه می‌باشد. شکل پراکنده‌گر ممکن است هندسه منظمی نداشته باشد و بنابراین تعریف آن برای رایانه مشکل می‌باشد. این مشکل بخصوص وقتی پراکنده‌گر یک محیط شهری شامل ساختمان‌های مختلف، درخت‌ها و چمن‌زار و یا یک محیط طبیعی شامل جنگل با تراکم‌های متنوع، دشت با انواع خاک و پوشش گیاهی بیشتر خود را نشان می‌دهد.

بسته به فرکانس موج و جنس ناهمواری‌ها، عمق پوستی سطح ناهمواری‌ها می‌تواند قابل صرف‌نظر باشد. بنابراین می‌توانیم فرض کنیم که موج داخل ناهمواری‌های سطح انتشاری نفوذ نمی‌کند. بنابراین در هنگام به کار بردن روش‌های عددی مختلف باید ناهمواری‌های موجود در محیط را به صورت شرایط مرزی درون رایانه تعریف کنیم. بنابراین با دو چالش روبرو هستیم. اولین چالش تعریف مکان هندسی نقاط مختلف ناهمواری و چالش بعدی تعریف نوع شرط مرزی با توجه به جنس سطح در محیط می‌باشد. برای پیاده‌سازی مکان هندسی لازم است تا پروفایل ناهمواری‌های محیط انتشار را به صورت داده‌های عددی داشته باشیم. برای به دست آوردن این پروفایل عددی ممکن است به نقشه‌برداری‌های دقیق از سطح محیط نیاز داشته باشیم.

می‌دانیم که برای تعریف سطوح ناهمواری پیوسته در الگوریتم با توجه به گام‌های گسسته سازی فضای مکان در دو بعد، احتیاج داریم که به اندازه‌ی تعداد کل گام‌های زمانی در راستای افقی، از ناهمواری نمونه برداری کنیم. یکی از رویکردهایی که در کارهای محققان پیشین، به کار گرفته می‌شده است، استفاده از اطلاعات ماهواره‌های نقشه برداری بوده است که قاعدتاً در اختیار بسیاری از مهندسان کاربر این گونه شبیه‌سازی‌ها با قدرت تفکیک مناسب بین دو نقطه نمی‌باشد. راه دیگر تقریب زدن ناهمواری با روش پله‌ای مانند شکل (۱) می‌باشد [۲]، که هر چقدر تقسیم بندی‌ها ریزتر باشد حجم محاسبات آن بالاتر می‌باشد و در نتیجه کاربر باید زمان بیشتری را برای آماده‌سازی اطلاعات عددی لازم برای شروع شبیه‌سازی صرف کند.



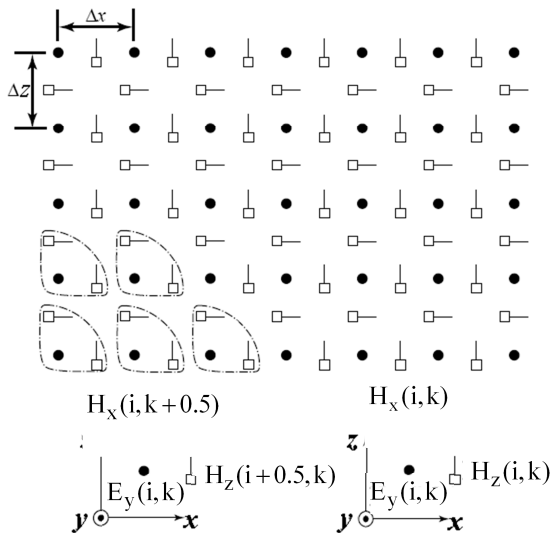
شکل (۱): تقریب زدن سطح ناهمواری به صورت پله‌ای برای محاسبات مربوط به انتشار موج [۲]

Fig. (1): Approximation of the terrain to step for the calculation of path loss

روش دیگر که برای تعریف شکل ناهمواری می‌توان به کار برد تعیین یک تعداد نقاط دلخواه (اما کمتر از تعداد کل گام‌های زمانی در راستای افقی) در صفحه‌ی دو بعدی و استفاده از برازش یک منحنی با درجه‌ی دلخواه به این نقاط می‌باشد. در واقع می‌توان تنها در مکان‌هایی که تغییرات ناهمواری مهم باشد، نقطه انتخاب کرد و یک منحنی را با این نقاط برازش کرد [۳]. همچنین روش انتخاب نقاط نمونه نیز می‌تواند به کمک موشواره (موس) رایانه صورت گیرد. آشکار است که انتخاب نقاط به وسیله موشواره - به طور چشمی - ممکن است باعث ایجاد خطا در هندسه نهایی گردد. همچنین در صورت عدم انتخاب حساب شده نقاط در روی ناهمواری ممکن است منحنی برازش شده با ساختار اصلی تطابق خوبی نداشته باشد. در شکل (۲) پوسته بیرونی یک تولباکس که برای شبیه‌سازی پدیده انتشار موج روی ناهمواری طراحی شده، نشان داده شده است [۴].

در این مقاله به تعریف پراکنده‌گر و همچنین نوع ناهمواری آن به صورت یک محیط واقعی در رایانه، تنها با استفاده از عکس‌های دو بعدی گرفته شده از محل انتشار (به صورت دید از کنار) می‌پردازیم. مورد استفاده روش پردازش تصویر تنها مختص به انتشار موج بر روی ناهمواری نمی‌باشد. برای مثال در انواع و اقسام روش‌های عددی اگر بخواهیم یک ساختار پیچیده را در کدهای خود تعریف کنیم، مثلاً شکل یک آنتن پچ فراکتال در یکی از روش‌های FDTD, FEM, MOM قطعاً روش ارائه شده در این مقاله زمان تعریف شکل را بسیار کاهش خواهد داد. راه جایگزین این است که شکل توسط کاربر به اشکال هندسی کوچکتر تقسیم بندی گردد و نقاط مرزی آن شکل‌ها یکی یکی درون یک ماتریس قرار داده شود و داخل الگوریتم کد نوشته شده تزریق شود.

در ادامه مقاله فرمول‌های نهایی مورد استفاده برای میدان‌ها که از گسسته سازی معادلات ماکسول به دست آمده است به صورتی ساده و قابل فهم بیان شده است. در قسمت بعدی چگونگی تعریف هادی الکتریکی درون فضای محاسباتی بیان شده است. در ادامه روش‌های مختلف نمایش میدان‌ها شرح داده شده است.



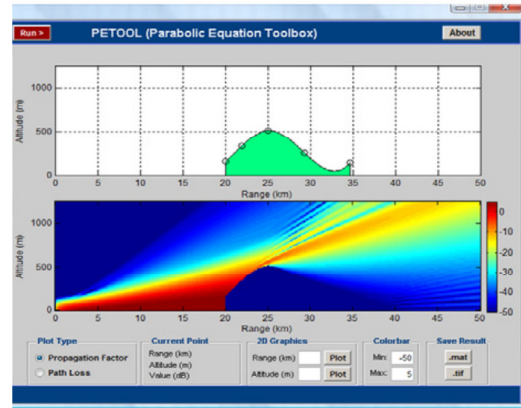
شکل (۳): آرایش فضایی گره‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی برای پلاریزاسیون TE بکار رفته در شبیه‌سازی

Fig. (3): Configuration of magnetic and electric field nodes for TE polarization used in the simulation

خط چین‌های مثلث شکل، نشان‌دهنده‌ی گروهی از گره‌ها می‌باشند که در الگوریتم رایانه‌ای، دارای اندیس‌های آرایه‌ی یکسان هستند. برای مثال در گوشه‌ی سمت چپ و پایین شبکه هر سه گره‌ی داخل خط چین مثلثی دارای اندیس  $(i=1, k=1)$  می‌باشند. در قسمت پایین شکل (۳)، سمت چپ، گره‌های مربوط به هر میدان و اندیس‌هایش را برای یک گروه نوعی نشان می‌دهد. در نمودار سمت راست، همان گره‌ها و اندیس‌های آرایه‌ی آن‌ها در هنگام استفاده در برنامه‌ی رایانه‌ای نشان داده شده است. در این پلاریزاسیون هیچ کدام از گره‌های میادین در محل‌هایی با مقادیر صحیح فضای گسسته واقع نشده‌اند. جابجایی فضایی میدان‌های داخل هر خط چین مثلثی به طور تلویحی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تمام شبکه به صورت مجموعه‌ای از این گروه‌های سه‌تایی از گره‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌باشد. با این توضیحات معادلات ۱ تا ۳ در هنگام پیاده‌سازی در الگوریتم کامپیوتری به صورت زیر اندیس‌گذاری خواهند شد:

$$H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, k) = H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k) + \frac{\Delta t}{\mu \Delta z} (E_y^n(i, k+1) - E_y^n(i, k)) \quad (1)$$

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, k) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i, k) - \frac{\Delta t}{\mu \Delta x} (E_y^n(i+1, k) - E_y^n(i, k)) \quad (2)$$



شکل (۲): سطح ناهمواری رسم شده به روش برازش کردن منحنی برای پنج نقطه در مسافت ۱۵ کیلومتر و ارتفاع بیشینه ۵۰۰ متر در تولباکس

[۴] PETOOL

Fig. (2): Surface roughness is plotted by fitting the curve to five points at a distance of 15 km and a maximum height of 500 meters in Toolbox PETOOL.

سپس چگونگی پیاده‌سازی ایده تعریف هادی الکتریکی درون فضای محاسباتی با استفاده از روش پردازش تصویر بیان شده است. همچنین در مورد بسط این ایده برای تعریف دیگر شرایط مرزی درون فضای محاسباتی مطالبی ذکر شده است. مثال‌های متنوعی برای به کارگیری این روش آورده شده است.

## ۲- گسسته‌سازی معادلات ماکسول در فضای دو بعدی برای پلاریزاسیون TE

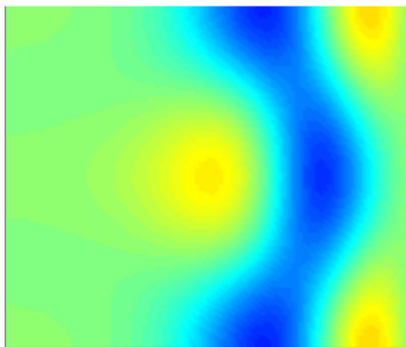
ما در این مقاله این تکنیک را برای پلاریزاسیون TE استفاده کرده‌ایم. آشکار است که برای پلاریزاسیون دوم نیز روند کار مشابه می‌باشد. با توجه به اینکه ما می‌خواهیم تحلیل خود را در فضای دو بعدی برای پلاریزاسیون  $TE_x$  با مؤلفه‌های نشان داده شده در شکل (۳) انجام دهیم، معادلات سه بعدی به معادلات دو بعدی ساده می‌شوند. در شکل (۳) آرایش فضایی گره‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی برای پلاریزاسیون TE نشان داده شده است. در این شکل مؤلفه‌هایی از میدان‌هایی که در داخل خط چین بسته هستند، در هنگام پیاده‌سازی الگوریتم در رایانه دارای اندیس همسان می‌باشند. گره‌های میدان الکتریکی با دایره‌های توپر که دارای خط‌هایی برای نشان دادن جهت مؤلفه‌ی میدان‌ها هستند و گره‌های میدان مغناطیسی با مربع‌های توخالی نشان داده شده‌اند.

همان طور که در شکل نیز مشخص است، با توجه به طبیعت گسسته‌ی فضای محاسباتی، مرز منحنی بین هادی و فضای آزاد به صورت مسیری پلکانی تخمین زده شده است. بازتولید مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در داخل هادی به صورت عادی انجام می‌گیرد. در الگوریتم برنامه، مؤلفه‌های میدان الکتریکی در لحظه‌های  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$  محاسبه و مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در لحظه‌های  $\frac{1}{2}\Delta t, \frac{3}{2}\Delta t, \frac{5}{2}\Delta t, \dots, \left(n+\frac{1}{2}\right)\Delta t$  محاسبه می‌شوند. متغیر  $n$  در معادلات نهایی نشان‌دهنده‌ی گذشت تعداد گام‌های زمانی از زمان شروع الگوریتم می‌باشد. متغیرهای  $i, k$  به ترتیب برای نشان دادن فاصله‌ی نقطه‌ی  $x_i, z_k$  بر حسب تعداد سلول‌ها در راستای محورهای طولی و ارتفاعی از مبدأ مختصات می‌باشند. اندازه مؤلفه میدان را باید به عنوان بعد سوم در نظر بگیریم. این یک روش نمایش می‌باشد. روش دیگر این است که اندازه میدان را به صورت رنگ در همان سطح دو بعدی نشان دهیم. برای نمایش رنگی، برنامه متلب دارای جعبه رنگ‌های مختلفی می‌باشد. یکی از این جعبه رنگ‌ها که ما در اینجا از آن استفاده کرده‌ایم، در شکل (۵) نشان داده شده است. این جعبه رنگ با نسبت دادن رنگ‌های مختلف به اندازه‌های مختلف میدان (نرمالیزه شده) یک تصویر دو بعدی از میدان‌ها در نقاط مختلف نشان می‌دهد. در شکل (۶) و (۷) مؤلفه‌ی عمودی میدان الکتریکی ( $E_y$ ) درون یک تشدیدگر دو بعدی (و یا یک سطح مقطع از موجبر سه بعدی)، در یک لحظه‌ی یکسان نشان داده شده است.



شکل (۵): جعبه رنگ مورد استفاده برای رسم مؤلفه‌ی عمودی میدان الکتریکی ( $E_y$ ) شکل (۶)

Fig. (5): Box color used to draw the vertical component of the electric field ( $E_y$ ) Fig. (6)



شکل (۶): نمایش رنگی مؤلفه‌های میدان درون تشدیدگر دو بعدی برای پلاریزاسیون TE

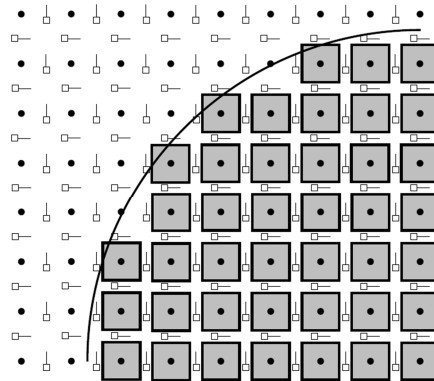
Fig. (6): Color plot field of the two-dimensional resonator TE polarization

$$E_y^n(i, k) = E_y^{n-1}(i, k) + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta z} \left( H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k-1) \right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta x} \left( H_z^{n-\frac{1}{2}}(i, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i, k) \right) \quad (3)$$

در الگوریتم برنامه مؤلفه‌های میدان الکتریکی در لحظه‌های  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$  محاسبه و مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در لحظه‌های  $\frac{1}{2}\Delta t, \frac{3}{2}\Delta t, \frac{5}{2}\Delta t, \dots, \left(n+\frac{1}{2}\right)\Delta t$  محاسبه می‌شوند. پارامترهای فیزیکی ماده یعنی  $\mu$  و  $\varepsilon$  مربوط به نقاطی هستند که میدان‌ها در آن نقاط ارزیابی می‌شوند و با توجه به اینکه گروه‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فضای مکان نسبت به هم فاصله دارند. از این رو در معادلات ۱ تا ۳ لزومی بر یکی بودن این پارامترها، حتی در  $i$  و  $k$  یکسان وجود ندارد [۲].

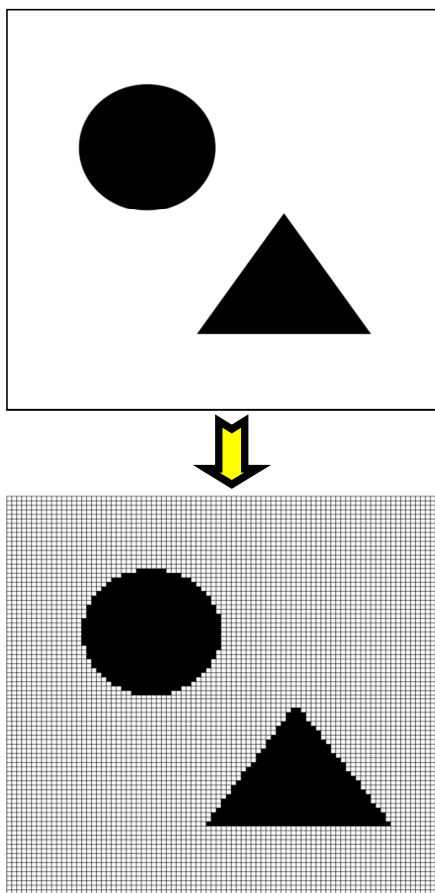
### ۳- وجود هادی درون فضای محاسباتی در پلاریزاسیون TE

فرض کنید یک قطعه هادی فلزی ایده‌آل درون فضای محاسباتی قرار داشته باشد. اگر مرکز یک سلول درون محیط هادی قرار گیرد، فرض می‌شود که کل آن سلول، درون هادی قرار دارد. بنابراین تمامی مؤلفه‌های میدان الکتریکی آن سلول برابر با صفر قرار داده می‌شود. در شکل (۴) قطعه‌ای هادی درون فضای محاسباتی قرار دارد و مرز میان هادی و فضای آزاد به صورت یک منحنی نشان داده شده است. گروه‌های میدان الکتریکی که باید صفر قرار داده شوند داخل مستطیل‌های خاکستری نشان داده شده‌اند.



شکل (۴): وجود هادی درون فضای محاسباتی برای پلاریزاسیون TE، صفر قرار دادن مؤلفه‌های میدان الکتریکی در سلول‌هایی که درون محیط هادی (مربع‌های خاکستری) قرار گرفته‌اند.

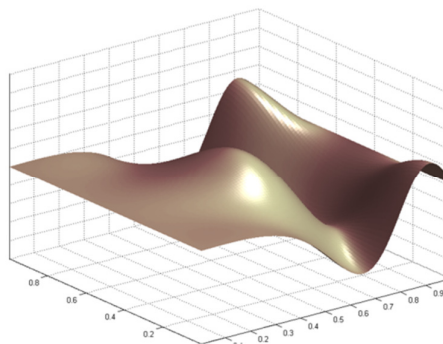
Fig. (4): The conductors in the calculation space, for TE polarization, zero components of the electric field the cells inside the conductor space (gray squares).



شکل (۸): گسسته‌سازی پیکسل‌های تصویر و تطبیق آن در فضای مش‌بندی شبکه FDTD

Fig. (8): The discrete process of image to the pixels and its implementation in the FDTD mesh network

در این شکل دو منبع نقطه‌ای به عنوان منبع تحریک در نظر گرفته شده است و قسمت‌های مشکی تصویر در مقابل موج به عنوان هادی عمل می‌کنند. جعبه رنگ مورد استفاده در شکل (۱۰) در کنار آن آورده شده است. با دیدن این تصاویر می‌توان کاربردهای دیگری برای این ایده متصور شد. از جمله این کاربردها به دست آوردن پراکندگی الکترومغناطیسی از اشکال پیچیده و یا بررسی مسائل آنتن‌های بشقابی و آنتن‌های آرایه بازتابی<sup>۵</sup> پیچیده می‌باشد.



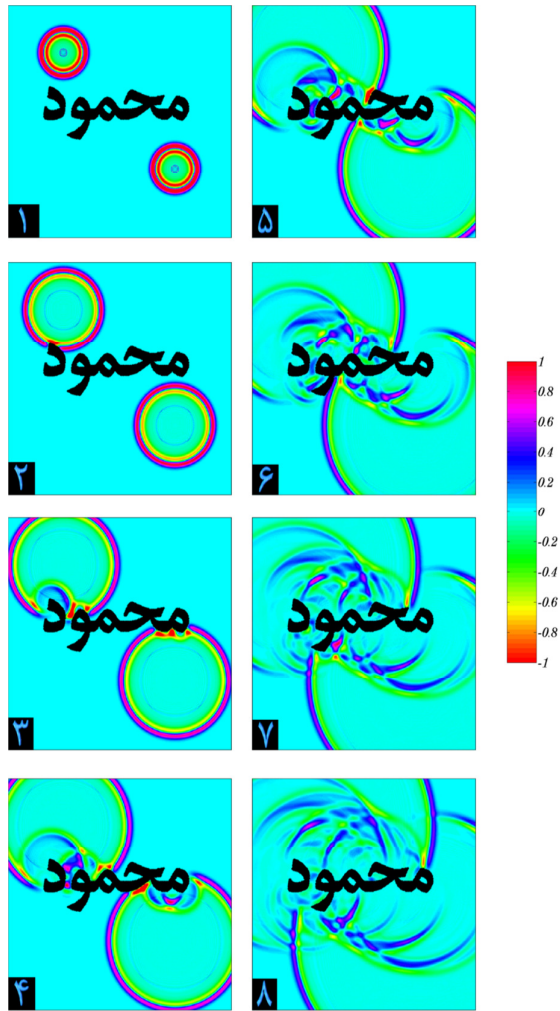
شکل (۷): نمایش سه بعدی مولفه میدان‌های درون تشدیدگر دو بعدی برای پلاریزاسیون TE

Fig. (7): 3D plot field of the two-dimensional resonator TE polarization

در شکل (۷) اندازه‌ی مولفه‌ی میدان الکتریکی میدان به صورت بعد سوم یک رویه سه بعدی بر حسب  $X$  و  $Z$  با نور پردازی خاص کشیده شده است. برنامه متلب قابلیت‌های بسیار زیاد دیگری نیز برای چگونگی نمایش این نمودارها دارد.

#### ۴- تعریف هادی با استفاده از پردازش تصویر

فرض کنید تصویری داریم که محیط درون آن از دو رنگ مشکی و سفید تشکیل شده است. می‌خواهیم قسمت‌هایی که به رنگ مشکی هستند، درون کد FDTD نوشته شده ما به صورت هادی الکتریکی و قسمت‌های سفید به صورت فضای آزاد تعریف شوند. برای رسیدن به این منظور باید تمامی پیکسل‌های تصویر درون برنامه به صورت یک ماتریس وارد شوند. برنامه با جستجو درون ماتریس پیکسل‌هایی را که دارای رنگ مشکی هستند پیدا کرده و مکان آن‌ها را ثبت می‌کند. سپس با تطبیق ابعاد مش‌بندی شبکه FDTD با ابعاد تصویر، در هر بازتولید دوباره<sup>۳</sup> میدان‌های الکتریکی سلول‌های منطبق با بخش‌های مشکی صفر قرار داده می‌شود. گسسته‌سازی و تطبیق پیکسل‌های یک تصویر به طور نمونه در شکل (۸) نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود در شبکه مش‌بندی شده FDTD لبه‌های شکل‌ها به صورت پله‌ای دیده می‌شوند. در این شکل به عمده ابعاد سلول‌های مش، بزرگ در نظر گرفته شده تا عملیات گسسته‌سازی قابل فهم باشد. هر چقدر که ابعاد سلول‌ها کوچکتر گرفته شود عمل تطبیق تصویر به شبکه مش‌بندی<sup>۴</sup> دقیق‌تر انجام خواهد شد. در شکل (۱۰) این کار برای نام نویسنده انجام شده است.



شکل (۱۰) تصاویر لحظه‌ای گرفته شده از انتشار دو منبع نقطه‌ای در مکان‌های دلخواه در حالی که نام محمود به عنوان هادی برای برنامه رایانه‌ای تعریف شده است.

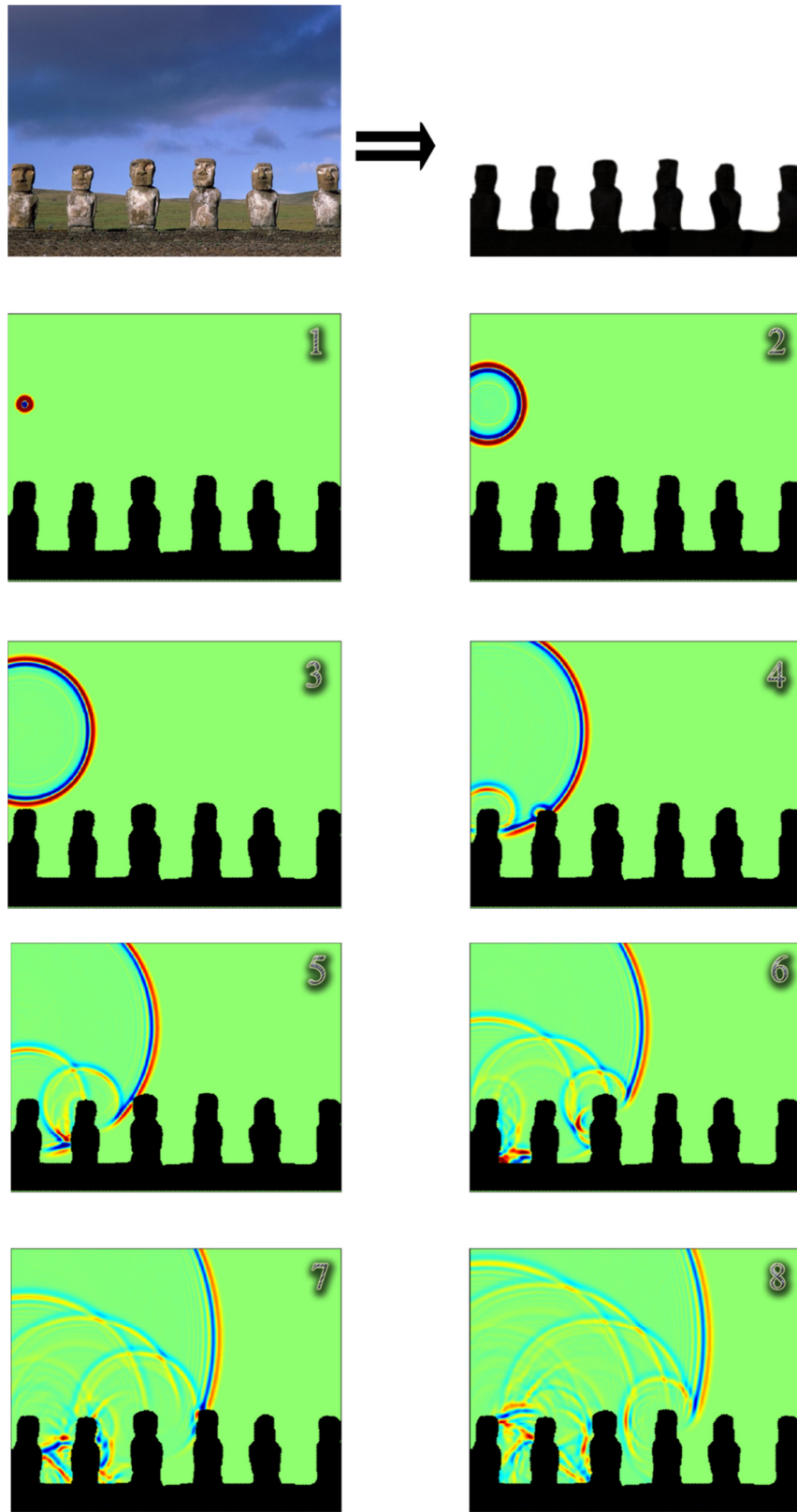
Fig. (10): Picture taken from the radiation of the two point source at the desired location while "Mahmoud" name for the computer program is defined as conductor

آشکار است که در مورد تعریف شرط‌های مرزی دیگر مثل هادی کامل مغناطیسی<sup>۶</sup> اصول کار تغییری نمی‌کند و تنها به جای مؤلفه‌های الکتریکی باید مؤلفه‌های مغناطیسی در نقاط مشخص شده صفر قرار داده شود. همچنین می‌توان از رنگ‌های مختلفی درون تصویر استفاده کرد و مواد الکترومغناطیسی مختلفی مانند مواد دی‌الکتریک با ضرایب گذردهی متفاوت درون ناحیه محاسباتی تعریف کرد. بدین ترتیب که برای رنگ‌های مختلف ضرایب گذردهی الکتریکی مختلفی تعریف می‌کنیم. در هنگام تحلیل تصویر درون برنامه هر قسمت از تصویر که رنگ از پیش تعریف شده را به خود اختصاص داده باشد، در بازتولید دوباره میدان‌ها (روابط ۱-۳) ضریب گذردهی الکتریکی مربوط به خود را خواهد گرفت.



شکل (۹): فلوجارت الگوریتم مورد استفاده در پردازش تصاویر  
Fig. (9): The flowchart of the algorithm used in image processing



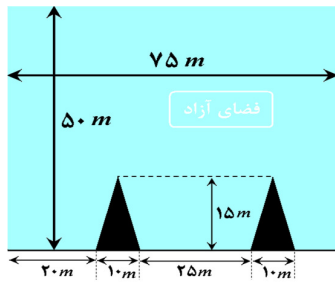


شکل (۱۱): تصاویر لحظه‌ای گرفته شده از انتشار یک منبع نقطه‌ای بر فراز مجسمه‌های معروف جزیره ایستِر  
Fig. (11): Snap shot taken from a point source radiation over the famous statues of Easter Island

قبلاً انجام داده است) به نواحی مختلف مش‌بندی FDTD، کار تعریف فضای محاسباتی را به اتمام می‌رسانیم.

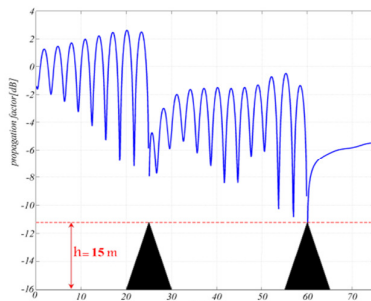
#### ۵- محاسبه افت انتشار در راستای طول

شبیه‌سازی دیگری مطابق شکل (۱۲) ترتیب می‌دهیم که دو مثلث از جنس هادی روی سطحی افقی قرار دارند که آن نیز هادی می‌باشد. ابعاد مثلث‌ها در شکل مشخص شده است. برای این شبیه‌سازی از منبعی مشتق گوسی با فرکانس مرکزی ۵۰ مگا هرتز و پهنای باند ۱۰۰ مگا هرتز با توزیع مکانی گوسی نسبت به ارتفاع و با مرکزیت ۱۵ متر از سطح زمین بهره می‌جوییم. ضریب انتشار هر نقطه را به صورت نسبت  $|E/E_0|$  (به ازای فرکانس معین) تعریف می‌کنیم که E میدان اندازه‌گیری شده در هر نقطه از محیط انتشار و  $E_0$  میدان مرجع در آن نقطه می‌باشد [۵]. میدان مرجع، میدان ناشی از همان منبع اولیه، ولی بدون در نظر گرفتن ناهمواری‌های محیط می‌باشد. هنگامی که موج به مرزهای ناحیه انتشار یعنی فضای آزاد می‌رسد باید از محیط مورد مطالعه خارج شود و دیگر به داخل آن برنگردد. به منظور شبیه‌سازی فضای آزاد اطراف ناحیه انتشاری باید از لایه‌های جاذب الکترومغناطیسی استفاده کرد.



شکل (۱۲): یک سناریوی (آزمایشی) با دو گوه از جنس هادی با قاعده ۱۰ متر و ارتفاع ۱۵ متر. فرستنده در ارتفاع ۱۵ متری بالای سطح زمین هادی قرار دارد.

Fig. (12): A scenario with two wedge shaped PEC obstacles (base=10m, height=15m). Transmitter is located 15 above the PEC ground



شکل (۱۳): ضریب افت انتشار به دست آمده از روش FDTD (تک پنجره‌ای) در راستای طول برای ارتفاع ۱۵ متر از سطح زمین

Fig. (13): Path loss versus range at 15 m altitude computed using FDTD over the PEC obstacles

در شکل (۹) فلوجارت الگوریتم مورد استفاده در پردازش تصاویر نشان داده شده است.

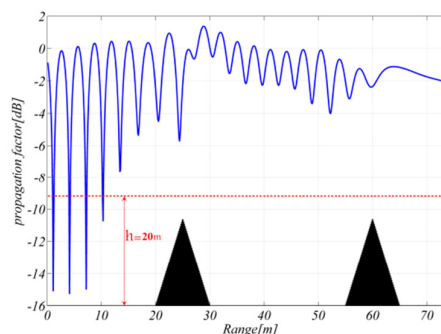
ایده چند رنگی را می‌توان برای شرایط مرزی متفاوت نیز به کار برد. به این معنی که اگر چند نوع شرط مرزی در مسئله داشته باشیم، در تصویری که می‌خواهیم به عنوان ورودی به برنامه بدهیم، به ازای هر شرط مرزی یک رنگ خاص به کار بریم تصویری که می‌خواهیم درون برنامه متلب وارد کنیم، می‌توانند تمامی فرمت‌های قابل قبول این برنامه را (مانند jpg, bmp, tif, ...) داشته باشند. آشکار است که این روش را می‌توان برای یک ناهمواری طبیعی و یا ساختمان‌ها و عوارض مصنوعی یک خیابان که از آن عکس گرفته شده باشد (با کمی تصحیحات در فتوشاپ) و تعریف آن به صورت شرایط مرزی مقتضی مورد استفاده قرار داد. در حالی که تعریف چنین سطوح بی‌قاعده‌ای در برنامه به صورت عددی کار بسیار طاقت فرسا و نادقیقی خواهد شد. در شکل (۱۱) این ایده برای محیط واقعی که شامل مجسمه‌های گول‌آسای جزیره ایستر می‌باشد، انجام شده است. برای تحریک میدان‌های فضای محاسباتی، احتیاج به مدل‌سازی یک منبع فیزیکی درون برنامه‌ی رایانه‌ای داریم. منبع تحریک در نظر گرفته شده در این مثال یک منبع نقطه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه توزیع‌های زمان محدود، که دارای پهنای باند فرکانسی محدود نیز هستند، پاسخ بهتری را در شبیه‌سازی‌های FDTD در اختیار ما می‌گذارند، شکل پالس (از نظر زمانی) معمولاً گوسی انتخاب می‌شود [۶].

اما در اینجا ما ترجیح می‌دهیم از مشتق تابع گوسی به منظور جلوگیری از اثر DC که می‌تواند در بعضی از کاربردها باعث جابجایی دامنه‌ی موج انتشاری شود، استفاده کنیم [۶]. در مثال‌های این مقاله فرکانس مرکزی منبع ۳۰۰ مگاهرتز در نظر گرفته شده است. اما باید توجه داشت که پالس زمانی طوری باید باشد که در حوزه‌ی فرکانس پهنای باندی که ما می‌خواهیم منبع‌مان داشته باشد را پوشش دهد. در مرحله اول باید به هر یک از پیکسل‌های تصویر، یک ماتریس سه عنصری نسبت دهیم که اعداد داخل عناصر این ماتریس در سیستم RGB تعریف می‌شوند. در مرحله بعد باید با بررسی اعداد عناصر هر ماتریس رنگ آن پیکسل را در بازه‌هایی که کاربر تعریف کرده است، طبقه‌بندی کنیم. برای مثال وقتی که اعداد عناصر ماتریس یک پیکسل بین مقادیر معینی باشد می‌گوییم که رنگ آن پیکسل، سبز (از کم رنگ تا پر رنگ آن) می‌باشد. در مرحله بعد باید با نگاشت شبکه پیکسل‌های تصویر بر روی شبکه مش‌بندی FDTD تعداد پیکسل‌های تصویر را با فضای محاسباتی شبیه‌سازی تطبیق دهیم. این کار از آن جهت ضروری است که ممکن است تعداد پیکسل‌های تصویر در یک یا دو راستا با تعداد گره‌های مش‌بندی روش عددی مورد استفاده یکسان نباشد. سپس در ادامه با نسبت دادن مقادیر ضرایب گذردهی الکتریکی و مغناطیسی و یا شرط مرزی‌های مختلف (بر اساس تعاریفی که کاربر



### ۶- نتیجه گیری

در این مقاله روش تعریف شرایط مرزی و مواد الکترومغناطیسی مختلف درون فضای محاسباتی FDTD با داشتن یک عکس دو بعدی با استفاده از پردازش تصویر شرح داده شد. استفاده از این ایده زمان فرآیند تعریف مرزها درون رایانه را کاهش می‌دهد. این ایده را می‌توان برای روش‌های عددی دیگر مانند، ماتریس خطوط انتقال TLM<sup>v</sup> و روش عناصر محدود FEM<sup>h</sup> نیز به کار برد.



شکل (۱۴): افت انتشار به دست آمده از روش FDTD (تک پنجره‌ای) در راستای طول برای ارتفاع ۲۰ متر از سطح زمین

Fig. (14): Path loss versus range at 20 m altitude computed using FDTD over the PEC obstacles

### پی‌نوشت:

1. Full-wave
2. Finite Difference Time Domain
3. Update
4. Mapping
5. ReflectArray Antenna
6. Perfect Magnetic Conductor; PMC
7. Transmission Line Matrix
8. Finite Element Method

ضریب افت انتشار در راستای طول برای دو ارتفاع ۱۵ و ۲۰ متر مختلف در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) رسم شده است. افزایش یا کاهش بودن مقدار متوسط افت انتشار نه تنها به هندسه سطح بستگی دارد بلکه به ارتفاع مورد بررسی نیز وابسته است.

### References

- [1] K. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving maxwell's equations in isotropic media", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 14, No. 3, pp. 302 – 307, 1966.
- [2] M.S. Assis, J.L. Cerqueira, "Wave propagation over irregular and inhomogeneous terrain", Presentation, CLIMDIFF – Boulder, Colorado, 2008.
- [3] F. Akleman, "Time and frequency domain numerical modeling for ground-wave propagation", Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Institute Of Science and Technology, 2002.
- [4] O. Ozgun, G. Apaydin, M. Kuzuoglu, L. Sevgi, "PETOOL: MATLAB-based one-way and two-way split-step parabolic equation tool for radiowave propagation over variable terrain", Computer Physics Communications, Vol. 182, pp. 2638–2654, 2011.
- [5] F. Akleman, M.O. Ozyalcin, L. Sevgi, "Novel time domain radiowave propagators for wireless communication systems", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer, Vol. 10, No. 2, 2002.
- [6] A. Taflove, S.C. Hagness, "Computational electromagnetics the finite-difference time-domain method (FDTD)", Second Edition, Artech House, 2000.

