

# محاسبه افت پراش چندگانه برای ساختمانهای دارای ابعاد محدود در یک میکروسلول

عمادترابی<sup>i</sup>؛ علی تجویدی<sup>ii</sup>؛ ایاز قربانی<sup>iii</sup>

## چکیده

در این مقاله، یک ضریب پراش اصلاح شده برای محاسبه افت پراش ناشی از یک تک ساختمان با ابعاد محدود ارائه شده سپس ضریب پراش اصلاح شده برای یک ردیف ساختمان با ابعاد محدود بکار رفته است. در این مدل امواج برخورد کننده به ساختمان ها بصورت کروی در نظر گرفته شده اند. برای این گونه موارد که فرستنده، گیرنده و موانع خیلی از هم دور نباشند (میکروسلولها یا پیکوسلولها) فرض موج کروی موجب می شود که نتایج دارای دقت بیشتر و واقعی تری نسبت به موج صفحه ای باشند. هم چنین نشان داده شده است که در نظر گرفتن مؤلفه های مرتبه بالاتر پراش، باعث بالا رفتن دقت در نتایج می شود. در نهایت، نتایج نظری با اندازه گیری های انجام شده در این کار تحقیقاتی، مقایسه و نشان داده شده که تطابق خوبی میان آنها به چشم می خورد. مدل پیشنهادی، زمانی که لازم است پراش چندین ساختمان به صورت واقعی در نظر گرفته شود، می تواند در بهبود مدل های نظری به منظور پیش بینی مناسب تر افت مسیر در محیط های شهری کاربرد وسیعی پیدا کند.

## کلمات کلیدی

پراش چندگانه، انتشار امواج کروی، پراش مرتبه بالاتر، تئوری یکنواخت پراش، پراش از ساختمانهای محدود، افت پراش در میکروسلول.

## *The Calculation of Multiple Diffraction Loss for Building with Finite Dimensions in Microcell*

E. Torabi; A. Tajvidy and A. Ghorbani

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a modified diffraction coefficient to calculate the diffraction loss caused by a single building with finite dimensions. The modified diffraction coefficient has been applied to a row of buildings with finite dimensions and spherical wave incidence. Furthermore, it is shown that for the cases that the transmitter and diffracting obstacles are not far away (i.e. microcell or picocells) spherical wave assumption leads to better and more accurate results than plane wave approximation. Also in this paper, it is shown that taking into account the higher order terms for diffraction coefficient can improve the theoretical results. Finally, theoretical results are compared with measurements data and good agreement between them is found. In addition, the proposed model can find applications in the development of theoretical models to predict more realistic path loss in urban environments where multiple-building diffraction has to be considered.

### KEYWORDS

<sup>i</sup>عماد ترابی دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیر کبیر، e\_torabi@aut.ac.ir  
<sup>ii</sup>علی تجویدی دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، tajvidy@yahoo.com  
<sup>iii</sup>ایاز قربانی استاد یار دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ghorbani@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

محاسبه افت مسیر در نظر می‌گیرد. برای محاسبه افت پراش چندگانه از یک تکنیک مشابه فرمول بندی ارائه شده در مرجع [۱۲] برای تابع تضعیف لبه‌های چندگانه استفاده شده است.

در این مدل امواج کروی بجای امواج صفحه‌ای در پراش چندگانه در نظر گرفته می‌شود. زیرا در میکروسولول ها و پیکوسولول ها فاصله فرستنده و گیرنده کم است و در نتیجه استفاده از تقریب موج صفحه‌ای به خطای بسیار زیاد در محاسبه افت پراش چند گانه منجر می‌شود. هم چنین ابعاد ساختمان‌ها در این مدل محدود فرض می‌شود چرا که نامحدود گرفتن ابعاد ساختمان‌ها موجب خطا در محاسبات پراش می‌شود. لذا ابتدا یک ضریب اصلاح شده پراش برای یک تک ساختمان با ابعاد محدود با استفاده از روش UTD بدست می‌آوریم، سپس این را مدل برای حالت سه بعدی که چند ردیف از ساختمان ها با ابعاد محدود کنار هم چیده شده‌اند اعمال کرده و نتایج تئوری با اندازه‌گیری ها مقایسه می‌شوند. با مقایسه نتایج اندازه‌گیری و تئوری خواهیم دید که تطابق خوبی میان آنها وجود دارد.

در بخش ۲ مقاله افت پراش با استفاده از UTD اصلاح شده و برای یک تک ساختمان با ابعاد محدود محاسبه شده است، در بخش ۳ این مدل اصلاح شده برای یک ردیف از  $n$  ساختمان با پراش چندگانه بکار برده می‌شود، در بخش ۴ چگونگی انجام اندازه‌گیری معرفی شده است، در بخش ۵ مقایسه‌ای میان این مدل و اندازه‌گیری انجام شده و سرانجام در بخش ۶ نتیجه گیری بحث آورده شده است.

## ۲- میدان پراش یافته از یک تک ساختمان با ابعاد

### محدود

به منظور محاسبه میدان پراش یافته از یک تک ساختمان با ابعاد محدود، ابتدا پراش از لبه یک تیغه جاذب با ابعاد محدود در راستای محورهای  $x$  و  $y$  را طبق شکل ۱ در نظر می‌گیریم. میدان پراش یافته طبق رابطه زیر بدست می‌آید [۱۳]:

$$\bar{E}^d(s) = \bar{E}^i(Q_d) \bar{D} \sqrt{\frac{\rho_e^i}{s(\rho_e^i + s)}} e^{-jks} \quad (1)$$

که  $\bar{E}^i(Q_d)$  میدان برخوردی در نقطه پراش  $Q_d$ ،  $\bar{D}$  ماتریس پراش  $\rho_e^i$  شعاع انحناى موج برخورد کننده و  $s$  فاصله میان نقطه پراش و نقطه مشاهده است. در روش ردیابی پرتو، برای محاسبه پراش فوق فرض می‌کنیم که تعداد نامحدودی پرتو به هر یک از لبه‌های تیغه برخورد می‌کند. برای محاسبه میدان

امروزه پیدا کردن یک مدل مناسب برای پیش بینی امواج رادیویی در محیط های شهری، به یک موضوع مهم برای محققان تبدیل شده است. برای این کار محاسبه پراش امواج رادیویی از ساختمانها، بعنوان گامی مهم برای توسعه مدل‌های انتشار در محیط‌های شهری شناخته می‌شود [۱] [۲].

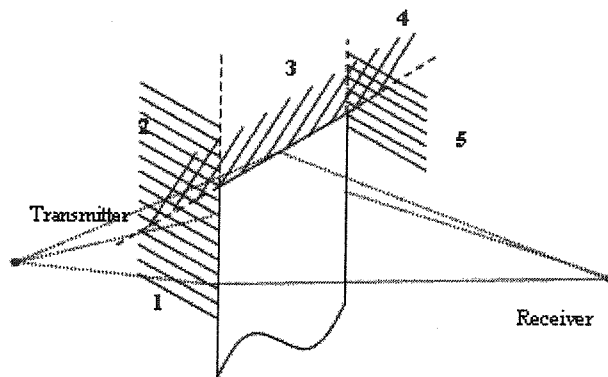
کارهایی که تاکنون در این مورد انجام شده است بدین صورت است که از تقریب امواج صفحه‌ای برای توصیف تضعیف سیگنال‌های رادیویی ناشی از پراش چندین ساختمان استفاده می‌شود. والفیش و برتونی یک آرایه از ساختمان ها را به عنوان یک سری از لبه‌های چاقویی با فاصله ثابت در نظر گرفتند و با استفاده از روش ارزیابی عددی مستقیم انتگرال هویگنس - کیرشلف افت پراش از آن‌ها را مدل کرده و محاسبه نمودند [۳]. ساندرز و بونار یک راه حل بسط داده شده از مسأله والفیش و برتونی ارائه کرده [۴] سپس راه حل خود را برای ساختمان‌هایی با ارتفاع و فاصله نامنظم بسط دادند [۵]. نیو و روو در معرفی یک مدل پایه UTD برای پراش چندگانه لبه چاقویی از امواج صفحه‌ای، پیش قدم شدند [۶]. ژانگ با مطرح کردن یک فرمول مناسب‌تر برای تحلیل تئوری پراش چندگانه از ساختمان‌ها، مدل نیو و روو را اصلاح کرد [۷].

ژان، لیسر و کاردونا یک راه حل واضح برای پراش لبه چندگانه برای انتشار امواج رادیویی سیار بر حسب مدل UTD ارائه کردند [۸]. تزارز و سیمون ساندرز، با استفاده از مؤلفه پراش مرتبه اول، یک راه حل بهبود یافته، برای پراش در ناحیه انتقال ارائه کردند [۹]. ژان و لیسر یک راه حل بر اساس UTD-PO برای پراش امواج صفحه‌ای ناشی از یک آرایه از گوه‌های هادی کامل ارائه کردند [۱۰].

عربلویی و قربانی یک مدل جدید برای پراش چندگانه ناشی از ساختمان‌ها برای موج صفحه‌ای معرفی کردند. آن‌ها ساختمان‌ها را مستطیلی شکل و بصورت بلوک‌های دی الکتریک فرض کردند [۱۱]. و سرانجام رودریگز، پارادو، مولینا و لیسر یک فرمول جدید بر حسب ضرایب UTD و برای پیش بینی پراش چندگانه ناشی از ساختمان های هادی محدود مستطیلی شکل معرفی کردند [۱۲].

در این مقاله، یک مدل کامل تر برای پیش بینی پراش چندگانه تولید شده توسط ساختمان‌های دی الکتریک معرفی می‌شود. مدل پیشنهادی، ضرایب مرتبه بالاتر پراش را برای

پراش یافته در نقطه گیرنده، هر پرتو پراش یافته متناظر با هر پرتوی فرستاده شده، می‌بایست بصورت برداری به حاصل میدان پراش کل اضافه شود.



شکل (۱): هندسه پراش، از یک تیغه با ابعاد محدود

بایستی توجه داشت که روش فوق دارای اشکالات ذیل

است:

۱- بی‌نهایت پرتوی برخوردی می‌بایست در نظر گرفته

شوند.

۲- انتگرال فرنل که برای محاسبه میدان پراش یافته در

گیرنده می‌بایست روی نواحی ۱-۵ اعمال شود، نواحی ۲ و ۴ را همان طور که روی شکل نشان داده شده، دوبار مورد محاسبه قرار می‌دهد.

برای غلبه بر این محدودیت‌ها می‌توان از روش توضیح داده

شده در ادامه، استفاده کرد.

از فیزیک نور می‌دانیم که میدان پراش یافته پشت یک دهانه

مستطیلی شکل، بصورت زیر قابل بیان می‌باشد [۱۴]:

$$E(\vec{r}) = 1/2 j E_{na}(\vec{r}) I_x I_y \quad (2)$$

که  $E_{na}(\vec{r})$  میدان در نقطه مشاهده، در حالتی که هیچ دهانه‌ای وجود نداشته باشد، و  $I_x$  و  $I_y$  نیز بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$I_x = I(\eta_{x2}) - I(\eta_{x1}) \quad (3)$$

$$I_y = I(\eta_{y2}) - I(\eta_{y1}) \quad (4)$$

که  $I(\eta)$  انتگرال فرنل مختلط است.

همان طور که در شکل ۱ مشخص شده است، می‌توان ناحیه

دهانه را به ۵ قسمت مستقل تقسیم نمود؛ نواحی ۱ تا ۵.

انتگرال گیری تابع فرنل می‌بایست روی این نواحی انجام گیرد.

در صورتی که بخواهیم این نواحی را به نواحی شبیه یک لبه بی

نهایت ارتباط دهیم می‌توانیم این نواحی را به صورت زیر دسته

بندی کنیم:

$$0 \leq x' \leq \infty$$

$$y_1 \leq y' \leq \infty \quad (5)$$

$$-\infty \leq y' \leq -y_1$$

بنابراین دهانه مسئله فوق را می‌توان به سه ناحیه مشابه به

صورت‌های زیر تبدیل کرد:

۱- دهانه، شامل ناحیه های ۱ و ۲

۲- دهانه، شامل ناحیه های ۲، ۳ و ۴

۳- دهانه، شامل ناحیه های ۴ و ۵

برای محاسبه میدانهای پراش یافته، همان طور که ذکر شد

مسئله را به ۳ مسئله ساده‌تر مشابه تقسیم می‌کنیم. این سه

مسئله مشابه، عبارتند از محاسبه میدانهای پراش یافته از یک

لبه چاقویی. اشکالی که در این جا به وجود می‌آید این است که

نواحی ۲ و ۴ دو بار در انتگرال گیری لحاظ می‌شوند بنابراین

برای محاسبه درست این دو مقدار می‌بایست از مقدار نهایی

میدانهای پراش یافته کسر شوند.

برای نمونه میدان پراش یافته از لبه تشکیل شده توسط

نواحی ۲ و ۳ و ۴ را در نظر می‌گیریم. برای محاسبه میدان

پراش یافته دهانه در ناحیه های ۲، ۳ و ۴، می‌توان لبه مستقیم

را از  $x' = -\infty$  تا  $x' = x_1$  در نظر گرفت، همان طور که در

شکل ۱ نشان داده شده است این ناحیه تا بی نهایت امتداد یافته

است. مختصات پریم دار مربوط به لبه چاقویی است.

ناحیه روشن شده هندسی در صفحه مشاهده از  $x = X_1$

تا  $x = +\infty$  در نظر گرفته می‌شود. با مراجعه به شکل ۱

$Y_1 = Y_2 = +\infty$  در نظر می‌گیریم، هم چنین برای  $I_x$  حد بالا

را  $+\infty$  و حد پایین را بصورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\eta_{x1} = \frac{(X_1 - x)}{S_F} \quad (6)$$

چنانکه ملاحظه می‌شود، میدان پراش یافته به مقدار  $I_x$  بستگی

دارد که این ضریب در کتاب ها و مقالات به صورت ضریب

پراش  $D$  معرفی می‌شود.

برای محاسبه میدان پراش یافته در دهانه‌های باقی مانده

(نواحی ۱، ۲ و ۴، ۵) باز هم می‌توان از رابطه فوق با جابجا

کردن متغیر  $x$  با  $y$  استفاده نمود.

با این توصیفات میدان پراش یافته در نقطه مشاهده را

می‌توان به صورت رابطه ذیل نوشت:

$$E(\vec{r}) = 1/2 j E_{na}(\vec{r}) D \quad (7)$$

که ضریب پراش  $D$  به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$D = I_{x3} + I_{y1} + I_{y5} - D_{12} - D_{14} \quad (8)$$

در رابطه فوق  $I_{y1}$  و  $I_{x3}$  و  $I_{y5}$  انتگرال های فرنل به ترتیب برای

لبه‌های گوشه سمت راست، بالا و سمت چپ هستند.

همان طور که ذکر شد انتگرال فرنل برای نواحی ۲ و ۴ دو

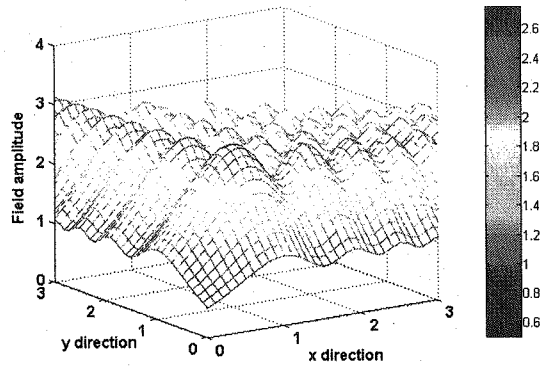
بار محاسبه شده که منجر به بروز خطا در محاسبه میدان

پراش شود. برای حذف این خطاها و استفاده از روابط معمول

در ضریب پراش دو جمله به نام‌های  $D_{12}$  و  $D_{14}$  که نمایان گر

پراش از لبه‌های تیغه چاقویی هستند، می‌بایست به معادله ۸

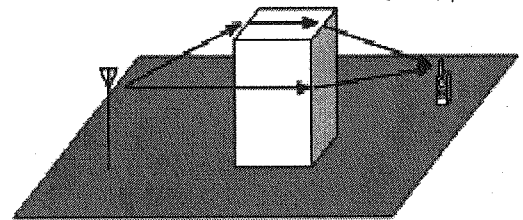
اضافه شوند. با استفاده از این روش، الگوریتم پیچیده ریاضی



شکل (۲): میدانهای پراش یافته از نوک یک تیغه‌ای جاذب

پرتو برای محاسبه پراش، به بیانی ساده‌تر توسط معادله ۷ برای حالتی که در شکل ۱ نشان داده شده تبدیل می‌شود. همان طور که ذکر شد در معادله فوق  $D_{l2}$  و  $D_{l4}$  نمایان گر ضرایب پراش از گوشه‌ها بوده و می‌توانند توسط انتگرال فرنل بدست آیند. نمونه‌ای از محاسبه ضرایب پراش گوشه در شکل ۲ آورده شده است.

با این مقدمات، برای محاسبه افت پراش از یک تک ساختمان مانند شکل ۳ می‌توان روش پیشنهادی را به صورت زیر تعمیم داده و بکار برد. برای این کار از میدان‌های دو بار انعکاس یافته-پراش یافته صرف نظر می‌کنیم. بنابراین اثر زمین در این کار چشم پوشی شده است.



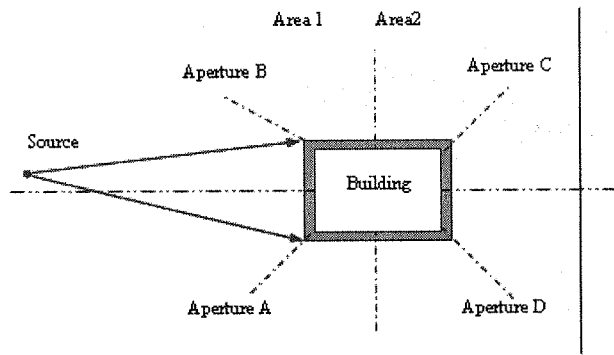
شکل (۳): میدان پراش یافته از یک تک ساختمان

چگونگی پراش برای یک تک ساختمان در شکل ۴ توصیف شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده، ساختمان از شش گره محدود با زاویه داخلی  $90^\circ$  تشکیل شده است، هم چنین سطوح گوه‌ها به صورت لایه‌های دی الکتریک هستند. در این مدل میدان پراش یافته در روی پرده در پشت ساختمان دو بار تحت پراش قرار می‌گیرد، یک بار از گوه‌های جلوی ساختمان (ناحیه ۱) و بار دیگر از گوه‌های پشت ساختمان (ناحیه ۲).

برای ناحیه ۱ که دارای سه گوه در سمت چپ و راست و بالا هست، ضریب پراش را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$D_{s,h}(\phi, \phi', L, n, \beta_0) = D_{l1} + \Gamma_{s,h,0} \Gamma_{s,h,n} D_{l2} + \Gamma_{s,h,0} D_{l3} + \Gamma_{s,h,n} D_{l4} + D_{r1} + \Gamma_{s,h,0} \Gamma_{s,h,n} D_{r2} + \Gamma_{s,h,0} D_{r3} + \Gamma_{s,h,n} D_{r4} + D_{u1} + \Gamma_{s,h,0} \Gamma_{s,h,n} D_{u2} + \Gamma_{s,h,0} D_{u3} + \Gamma_{s,h,n} D_{u4}$$

(۹)



شکل (۴): نحوه در نظر گرفتن دهانه‌های اولیه و ثانویه برای محاسبه پراش ۳ بعدی

زیر مجموعه‌های  $r$ ,  $l$  و  $u$  به ترتیب نمایانگر گوه‌های سمت راست، چپ و بالا هستند.

معادله فوق بصورت زیر قابل باز نویسی می‌باشد:

$$D_{s,h}(\phi, \phi', L, n, \beta_0) = (D_{l1} + D_{r1} + D_{u1}) + \Gamma_{s,h,0} \Gamma_{s,h,n} (D_{l2} + D_{r2} + D_{u2}) + \Gamma_{s,h,0} (D_{l3} + D_{r3} + D_{u3}) + \Gamma_{s,h,n} (D_{l4} + D_{r4} + D_{u4}) \quad (10)$$

با توجه به تصحیح انجام شده در بخش قبل مقاله برای ضریب پراش معادله (۱۰) را می‌توان به صورت زیر اصلاح کرد:

$$D_{s,h}(\phi, \phi', L, n, \beta_0) = (D_{l1} + D_{r1} + D_{u1} - D_{l1} - D_{r1} - D_{u1}) + \Gamma_{s,h,0} \Gamma_{s,h,n} \cdot (D_{l2} + D_{r2} + D_{u2} - D_{l1} - D_{r1} - D_{u1}) + \Gamma_{s,h,0} (D_{l3} + D_{r3} + D_{u3} - D_{l1} - D_{r1} - D_{u1}) + \Gamma_{s,h,n} (D_{l4} + D_{r4} + D_{u4} - D_{l1} - D_{r1} - D_{u1}) \quad (11)$$

برای محاسبه میدان پراش یافته کل، ضریب پراش داده شده توسط معادله (۱۱) می‌بایست برای ناحیه ۱ و ۲ (گوه‌های جلو و عقب ساختمان) به طور جداگانه محاسبه شده و در هم ضرب گردد.

### ۳- میدان پراش یافته از یک ردیف ساختمان با ابعاد محدود

شکل ۵ یک ساختار حقیقی از انتشار امواج رادیویی در یک محیط پر از ساختمان را نمایش می‌دهد. این ساختار متشکل از  $n$  ساختمان مستطیلی شکل از جنس دی الکتریک دارای ضخامت یکسان  $n$ ، ارتفاع متوسط ثابت با فاصله میانی یکسان  $w$  است. این ساختار را می‌توان به صورت یک آرایه از گوه‌های دی الکتریک با زاویه داخلی  $\pi/2$  که دو به دو به هم چسبیده‌اند، در نظر گرفت. در این ساختار فرستنده می‌تواند بالاتر، پایین‌تر

$$E(n) = \frac{1}{2n-1} \left\{ \sum_{m=0}^{n-2} E_m \left[ \frac{r'_m e^{-jk(r_n - r'_m)}}{r_n} + \left( \frac{1}{2} \right)^{n-m} \frac{D_a e^{-jk r_n}}{\sqrt{s_T r'_m v^{n-m} W^{n-(m+1)}}} + E_{n-1} \left[ \frac{r'_m e^{-jk(r_n - r'_m)}}{r_n} + \sqrt{\frac{s'_y}{s_y(s_y + s'_y)}} D_y e^{-jk v} \right] + \sum_{p=1}^{n-1} E(p) \left[ \frac{r'_p e^{-jk(r_n - r'_p)}}{r_n} + \left( \frac{1}{2} \right)^{n-p} \frac{D_b e^{-jk r_n}}{\sqrt{s_T r'_p (vW)^{n-p}}} \right] \right\} \quad (16)$$

$$r_n = \sqrt{(n(v+w) - w + l)^2 + h^2} \quad (17)$$

$$r'_m = \sqrt{(m(v+w) + l)^2 + h^2} \quad (18)$$

$$r'_p = \sqrt{(p(v+w) - w + l)^2 + h^2} \quad (19)$$

$$s_y = v \quad (20)$$

$$s'_y = ((n-1)(v+w) + l) / \cos \alpha \quad (21)$$

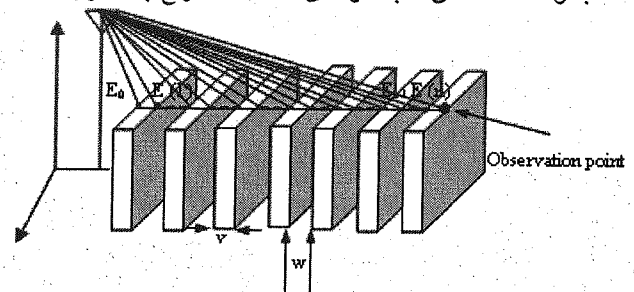
$$\alpha = \text{Arc tan}(h / ((n-1)(v+w) + l)) \quad (22)$$

که،  $s_T = s_1 + s_2 + \dots$ ،  $D_a$  و  $D_b$  ضرایب پراش مرتبه بالاتر هستند که با افزایش تعداد ساختمان ها مقدارشان تغییر می کند. ضریب  $1/2$  در معادله ۱۶ به منظور حل مورد خاص در ناحیه گریزینگ استفاده می شود [۱۵]. برای مثال زمانی که پرتوهای  $E_0$  و  $E_l$  در نظر گرفته می شوند،  $D_a$  و  $D_b$  برای هفت ساختمان بصورت زیر بدست می آیند:

$$D_a = \sum_{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t+u+v=N_0} d_1(0,i) d_2(i,l) \cdot d_3(l,m) d_4(m,n) d_5(n,o) d_6(o,p) d_7(p,q) d_8(q,r) \cdot d_9(r,s) d_{10}(s,t) d_{11}(t,u) d_{12}(u,v) d_{13}(v,0) \quad (23)$$

$$D_b = \sum_{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t+u=0} d_1(0,i) d_2(i,l) d_3(l,m) \cdot d_4(m,n) d_5(n,o) d_6(o,p) d_7(p,q) d_8(q,0) d_9(r,s) \cdot d_{10}(s,t) d_{11}(t,u) d_{12}(u,0) \quad (24)$$

و یا هم سطح ساختمانها در نظر گرفته شود. فاصله فرستنده تا مجموعه ساختمانها به گونه ای است که امواج به صورت



شکل (۵): مدل ارائه شده برای پراش چندگانه در یک میکروسولول کروی به آنها برخورد می کنند. نقطه مشاهده در لبه دوم سقف آخرین ساختمان قرار دارد.

برای محاسبه پراش چندگانه، از ضرایب مراتب بالاتر که نمونه ای آن در ناحیه انتقال در مراجع [۱۵]، [۱۶] آمده است و هم چنین تعمیم یافته روش ارائه شده در مرجع [۱۲] با اعمال اصلاحات گفته شده در بخش قبل، به صورت زیر استفاده شده است.

میدان کل دریافتی در نقطه مشاهده نشان داده شده در شکل ۵ با استفاده از جمع میدانهای تولید شده بوسیله پرتوهای تک پراش و چندگانه محاسبه می شود. همه پرتوها بجز  $E_{n-1}$  (پرتو تک پراش است و در محاسبات پراشهای چندگانه قرار نمی گیرد) جزء پرتوهای پراش چندگانه هستند. اگر تنها یک ساختمان میان فرستنده و گیرنده وجود داشته باشد، میدان دریافتی در نقطه مشاهده برابر است با:

$$E(l) = E_0 \left[ \frac{r'_0 e^{-jk(r_1 - r'_0)}}{r_1} + \sqrt{\frac{r'_0}{v(r'_0 + v)}} D_x e^{-jk v} \right] \quad (12)$$

که  $k$  عدد موج و  $r_1, r'_0$  طبق روابط ذیل مشخص می شوند:

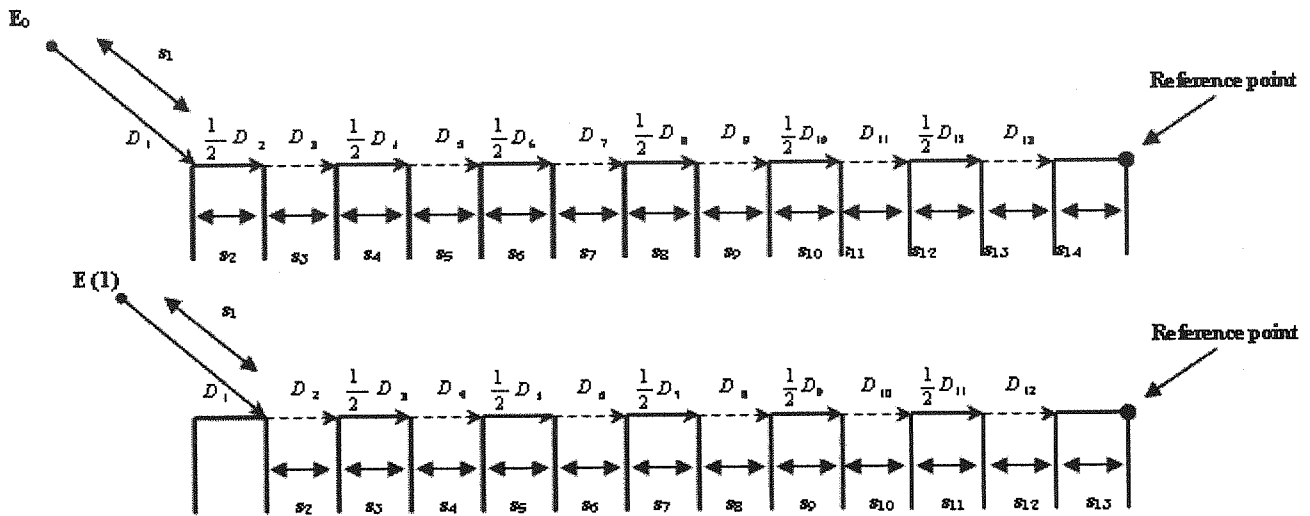
$$r_1 = \sqrt{(v+l)^2 + h^2} \quad (13)$$

$$r'_0 = \sqrt{l^2 + h^2} \quad (14)$$

$l$  فاصله میان فرستنده و اولین ساختمان است و  $h$  اختلاف ارتفاع میان فرستنده و متوسط ارتفاع ساختمانهاست و  $D_x$  به صورت زیر تعریف می شود:

$$D_x = D \left( \phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2}, L = \frac{r'_0 \cdot v}{r'_0 + v} \right) \quad (15)$$

$D(\phi, \phi', L)$  ضریب پراش برای یک گوه دی الکتریک محدود است که در بخش قبل طبق معادله (۱۱) مشخص شده است. برای تعداد ساختمانها  $n \geq 2$ ،  $E(n)$  طبق ذیل مشخص می شود:



شکل (۶): چگونگی پراش در حضور ۷ ساختمان برای پرتوهای مختلف دریافت شده توسط گیرنده

تک پراش در نظر گرفته می‌شود.  
در رابطه فوق:

$$r_m = \sqrt{(m(v+w)+l)^2 + h^2} \quad (28)$$

$$r'_q = \sqrt{(q(v+w)+l)^2 + h^2} \quad (29)$$

$$r''_r = \sqrt{(r(v+w)-w+l)^2 + h^2} \quad (30)$$

$$s_v = w \quad (31)$$

$$s'_v = (m(v+w)-w+l)/\cos\alpha \quad (32)$$

$$\alpha = \text{Arc tan}(h/(m(v+w)-w+l)) \quad (33)$$

و  $D_v$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D_v = D \left( \phi = \pi, \phi' = \alpha, L = \frac{s_v s'_v}{s_v + s'_v} \right) \quad (34)$$

زمانی که  $E_0$  و  $E(l)$  در نظر گرفته شوند،  $D_c$  و  $D_d$  برای هفت ساختمان بصورت زیر بدست می‌آیند:

$$D_c = \sum_{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t+u=N_0}^{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t+u=0} d_1(0,i)d_2(i,l) \cdot d_3(l,m)d_4(m,n)d_5(n,o)d_6(o,p)d_7(p,q)d_8(q,r) \quad (35)$$

$$D_d = \sum_{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t=N_0}^{i+l+m+n+o+p+q+r+s+t=0} d_1(0,i)d_2(i,l) \cdot d_3(l,m)d_4(m,n)d_5(n,o)d_6(o,p)d_7(p,q)d_8(q,r) \quad (36)$$

$$\cdot d_9(r,s)d_{10}(s,t)d_{11}(t,0)$$

### ۴- روش اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری از همان فرستنده و گیرنده معرفی شده در

در اینجا  $N_0$  تعداد مرتبه را مشخص می‌کند. در این مقاله  $N_0$  برابر ۴ در نظر گرفته شده است) و  $d_i(m,n)$  طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۶]:

$$d_i(m,n) = \frac{1}{m!} \left( \frac{j}{ks_i} \right)^m \frac{\partial^{m+n} D_i}{\partial \phi_i^m \partial \phi_i^n} \quad (25)$$

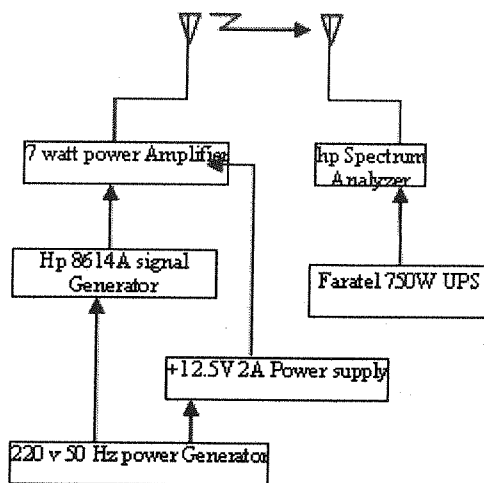
در معادله فوق  $s_i$  طول مسیر است و  $D_y$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D_y = D \left( \phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2} + \alpha, L = \frac{s_y s'_y}{s_y + s'_y} \right) \quad (26)$$

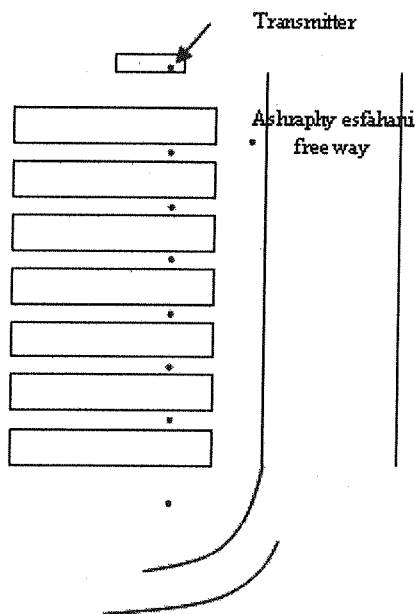
و  $E_m$  میدان مشخص شده در شکل ۵ است که در اولین گوشه سقف‌ها (سمت چپ گوه در ساختمان‌های مستطیلی شکل) در یافت می‌شود. از این رو برای  $m \geq 1$   $E_m$  را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$E_m = \frac{1}{m} \left\{ \sum_{q=0}^{m-1} E_m \left[ \frac{r'_q e^{-jk(r_m-r'_q)}}{r_m} + \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{m-q}}{\sqrt{s_r r'_q} (vw)^{m-q}} D_e e^{-jks_r} \right] + \sum_{r=1}^{m-1} E(r) \left[ \frac{r_r e^{-jk(r_m-r_r)}}{r_m} + \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{m-r}}{\sqrt{s_r r_r} v^{m-r} w^{m-(r+1)}} D_e e^{-jks_r} \right] + E(m) \left[ \frac{r_r e^{-jk(r_m-r_r)}}{r_m} + \frac{s'_v}{s_v(s_v+s'_v)} D_e e^{-jks_v} \right] \right\} \quad (27)$$

$E(m)$  پرتو پراش یافته از آخرین لبه است، از این رو به صورت



شکل (۷): بلوک دیاگرام فرستنده و گیرنده



شکل (۸): محیط اندازه‌گیری



شکل (۹): تصویر واقعی از محیط اندازه‌گیری، تعداد ۷ ساختمان به صورت ردیف کنار هم قرار دارند و پراش از آنها مورد مطالعه قرار گرفته است

این بخش استفاده شده است. برای قسمت فرستنده از یک سیگنال ژنراتور به عنوان منبع سیگنال با خروجی سینوسی در حدود ۹۰۰ MHz استفاده شده و چون توان خروجی سیگنال ژنراتور برای کار اندازه‌گیری مورد نیاز برای این تحقیق کافی نبود، یک تقویت کننده توان (با استفاده از آی‌سی تقویت کننده میتسویشی به شماره M67717) طراحی و ساخته شد تا توان خروجی را از ۱۰ dBm به ۷ وات افزایش دهد.

آنتن‌های فرستنده و گیرنده از نوع آنتن دایپل است و از میله‌ای مسی با قطر ۸ میلی متر که طول هر پل برابر ۸ سانتی متر است، ساخته شده‌اند. مجموعه گیرنده، شامل یک طیف نگار کاتدی به عنوان توان سنج، یک UPS مارک فاراتل به عنوان تأمین کننده توان و یک عدد آنتن میله‌ای دایپل می‌باشد. به علت کوتاه بودن ارتفاع فرستنده مجبور بودیم از پشت بام یک ساختمان قبل از مجموعه ساختمان‌های چندگانه برای فراهم کردن ارتفاع لازم برای کار، استفاده کنیم.

بلوک دیاگرام مجموعه فرستنده و گیرنده در شکل ۷ نشان داده شده است.

## ۵- مقایسه نتایج تئوری و اندازه گیری

مجموعه دستگاه‌های اندازه‌گیری معرفی شده در بخش قبل برای ساختار هفت ساختمان پشت سر هم، در شهر تهران بکار گرفته شد. روش اندازه‌گیری انجام شده و نتایج آن در شکل های ۸ تا ۱۱ نشان داده شده است. فاصله فرستنده از اولین ساختمان برابر ۳۰ متر، ارتفاع فرستنده برابر ۱۸ متر، پهنای ساختمان‌ها برابر ۱۲ متر، ارتفاع ساختمان‌ها ۱۶ متر و فاصله میان ساختمان‌ها برابر ۱۴ متر بوده است. نتایج تئوری و اندازه‌گیری در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود استفاده از تقریب صفحه‌ای خطای بسیار فاحشی در محاسبات ایجاد می‌کند، هم چنین نتایج شکل ۱۱ نشان می‌دهد استفاده از ضرایب مرتبه بالاتر پراش دقت محاسبات را بالا برده است. همان طور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود تطابق خوبی میان نتایج اندازه‌گیری و مدل معرفی شده وجود دارد که صحت کار تئوری را تأیید قرار می‌کند.

[۱] H. L. Bertoni, "Radio Propagation for Modern Wireless Systems. Englewood Cliffs", NJ: Prentice-Hall, 2000

[۲] W. Zhang, "Fast two-dimensional diffraction modeling for site-specific propagation prediction in urban microcellular environments," IEEE Trans. Antennas Propagation., vol. 49, no 2, pp 428-436, Mar. 2000.

[۲] J. Walfisch and H. L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," IEEE Trans. Antennas Propagation., vol. 36, no.12 pp 1788-1796, Dec. 1988.

[۴] S. R. Saunders and F. R. Bonar, "Explicit multiple building diffraction attenuation function for mobile radio wave propagation," Electron. Lett., vol. 27 no. 14 pp 1276-1277 Jul. 1991.

[۵] S. R. Saunders and F. R. Bonar, "Prediction of mobile radio wave propagation over buildings of irregular heights and spacings," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 42 no. 2, pp 137-144, Feb. 1994.

[۶] M. J. Neve and G. B. Rowe, "Contributions toward the development of a UTD-based model for cellular radio propagation prediction," Proc. IEE Microw. Antennas Propag., vol. 141, no. 5, pp 407-414, Oct. 1994.

[۷] W. Zhang, "A more rigorous UTD-based expression for multiple diffractions by buildings," Proc. IEE-Microw. Antennas Propag., vol. 142, no 6, pp 481-484, Dec. 1995.

[۸] L. Juan-Llácer and N. Cardona, "UTD solution for the multiple building diffraction attenuation function for mobile radio wave propagation," Electron. Lett., vol. 33, no. 1, pp 92-93 Jan 1997

[۹] C. Tzaras and S. R. Saunders, "An improved heuristic UTD solution for multiple-edge transition zone diffraction," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 49 pp. 1678-1682 Dec. 2001

[۱۰] L. Juan-Llácer and J. L. Rodríguez, "A UTD-PO solution for diffraction of plane waves by an array of perfectly conducting wedges," IEEE Trans. Antennas Propagation., vol. 50 no. 9, pp 1-5, Sep. 2002

[۱۱] R. Arablouei and A. Ghorbani, "A new UTD-based model for multiple diffractions by buildings," in Proc. 3rd Int. Conf. Microwave and Millimeter Wave Technology, St. Petersburg, Russia, Jun. 2002 pp.484-488.

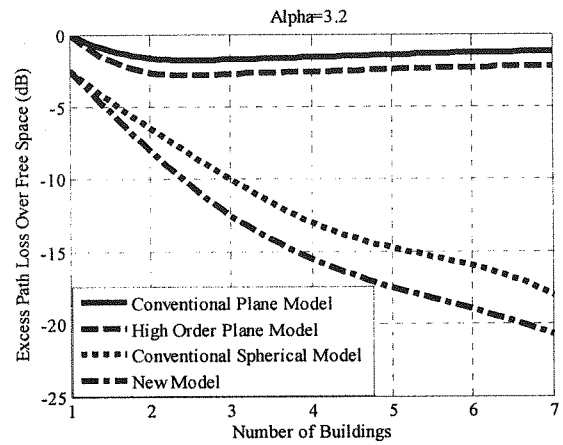
[۱۲] J-V. Rodríguez, J-M. Molina-García-Pardo and L-Juan.Llácer, "An Improved Solution Expressed in Terms of UTD Coefficients for the Multiple-Building Diffraction of Plane Waves," IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters, VOL. 4, 2005.

[۱۳] Manuel F. Catedra And Jesus Perez-Arriaga "Cell Planning For Wireless Communication", Artech House, Inc., 1999

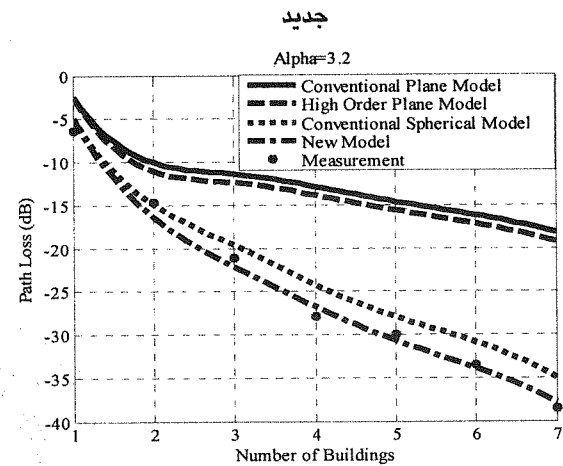
[۱۴] Miles V. Klein, "Optics", John Wiley & Sons, Inc., 1970.

[۱۵] Holm P. D., "A New Heuristic UTD Diffraction Coefficient for Non perfectly Conducting Wedge", IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 48 No.8, August 2000, pp 1214-1219

[۱۶] Holm P. D., "Calculation of Higher Order Diffracted Fields for Multiple-Edge Transition Zone Diffraction", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, VOL. 52, NO. 5, MAY 2004.



شکل (۱۰): محاسبه افت اضافه بر فضای آزاد با استفاده از مدل جدید



شکل (۱۱): مقایسه نتایج تئوری و اندازه گیری برای افت کل ناشی از پراش چندگانه

## ۶- نتیجه

در این مقاله برای اولین بار پراش ناشی از یک تک ساختمان با ابعاد محدود به صورت یک معادله، محاسبه و برای یک ردیف ساختمان با ابعاد محدود بسط داده و محاسبه شد. از نکاتی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت، استفاده از مؤلفه‌های مراتب بالاتر ضریب پراش و امواج کروی به علت نزدیکی فرستنده، گیرنده و ساختمان‌ها با یکدیگر در یک میکروسلول، است. در مجموع با استفاده از ضریب پراش پیشنهادی افت مسیر برای یک ردیف ساختمان محاسبه گردیده و با داده‌های اندازه‌گیری مقایسه شد. نتیجه مقایسه حاکی از دقت خوب روش پیشنهادی است بنابراین استفاده از ضریب پراش و مدل پیشنهادی برای ساختمان‌های دارای ابعاد محدود، می‌تواند برای محاسبات میکروسلولی در یک محیط شهری به طور وسیع در دستور کار مهندسین این رشته قرار گیرد.