

شبیه‌سازی تأثیر ریزش باران بر انتشار امواج رادیویی در باندهای Ku و Ka

محمد بهرامی، عباسعلی لطفی نیستانک و بابک میرزاپور

تابع عوامل گوناگونی همچون نرخ بارش، دما، نوع باران، فرکانس و ... می‌باشد [۱].

بر اساس مطالعات صورت‌گرفته اندازه قطرات باران از اندازه‌های بسیار کوچک که در ابرها یافت می‌شود تا اندازه‌های بزرگ که عموماً در مناطق حاره‌ای پیدا می‌شود تغییر می‌نماید. اما شعاع بزرگ‌ترین قطرات باران از ۴ میلی‌متر بیشتر نمی‌شود [۲].

بدون شک مدل‌سازی هر کانال انتقال داده بدون آگاهی کامل به پدیده‌های تأثیرگذار بر رفتار کانال امکان‌پذیر نمی‌باشد. اما پدیده‌های مؤثر بر یک کانال لینک ماهواره پدیده‌هایی کاملاً تصادفی و دارای رفتار متغیر با زمان هستند که مدل‌سازی دقیق آنها را پیچیده می‌کند. در نتیجه عموماً مدل‌های ارائه‌شده در این زمینه بر پایه نتایج آماری داده‌های هواشناسی و نتایج اندازه‌گیری بنا نهاده شده‌اند، که از این نوع مدل‌ها می‌توان به توصیه‌نامه‌های ارائه‌شده توسط ارگان بین‌المللی مخابرات (ITU) اشاره نمود.

تلاش‌های گسترده‌ای برای اندازه‌گیری پارامترهایی همچون ثابت دی‌الکتریک، شکل ذرات، ترکیبات تشکیل‌دهنده نزولات جوی، سرعت بارش ذرات و سایر پارامترهای مورد نیاز صورت پذیرفته است. در این میان مدل‌های بسیار معروف و کاربردی وجود دارند که در اکثر مطالعات و مقالات علمی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه به اختصار به معرفی مهم‌ترین این مدل‌ها خواهیم پرداخت.

۲- مدل‌سازی قطرات باران

در مورد شکل قطرات باران اندازه‌گیری‌های متعددی صورت پذیرفته است. تصویربرداری از قطرات باران با شعاع‌های مختلف نشان می‌دهد که قطرات باران برای شعاع‌های بالاتر از ۱ میلی‌متر به شکل بیضی‌گون تخت^۱ می‌باشد. اما در عین حال نسبت محوری^۲ برای قطرات با حجم برابر در اندازه‌گیری‌های مختلف متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال برای حجم معادل شعاع ۱/۵ میلی‌متر این نسبت از ۰/۷۵ تا ۱ تغییر می‌کند. بر اساس محاسبات انجام‌شده برای نسبت محوری، دو رابطه خطی ارائه گشته است که به خطوط A و B معروف هستند [۳] و [۴]

$$axial\ ratio = 1 - 0.05D \quad (1)$$

$$axial\ ratio = 1 - \frac{0.205}{0.45}D \quad (2)$$

که (۱) رابطه A و (۲) رابطه B را نمایش می‌دهد. در روابط بالا D قطر کره با حجم معادل بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

اخیراً طبق اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته رابطه دیگری برای این نسبت ارائه شده است که در این شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است [۴]

چکیده: شبیه‌سازی تأثیر باران بر روی انتشار امواج در یک محیط نیازمند دانستن اطلاعات در مورد مشخصاتی همچون ضریب شکست، شکل و اندازه قطرات است. این پارامترها بر اساس اندازه‌گیری به‌دست می‌آیند، سپس بر این اساس می‌توان پارامترهای پراکندگی ناشی از یک ذره را حساب نمود و در نهایت نتایج را برای مجموعه ذرات تعمیم داد. در این مقاله با استفاده از نحوه توزیع قطرات باران و با استفاده از روش ممان پارامترهایی همچون تضعیف، تغییر پلاریزاسیون و شیفیت فاز محاسبه شده است. نتایج شبیه‌سازی با توصیه‌های ITU در این رابطه مقایسه شده و نشان داده شده که توصیه‌های ITU که حالت عام دارند به‌طور تقریبی متوسطی از تضعیف را ارائه می‌دهند.

کلیدواژه: انتشار امواج، روش ممان، ریزش باران، پراکندگی امواج.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تقاضا برای ارتباطات ماهواره‌ای رشد روزافزونی داشته است. به‌همراه این رشد فزاینده این سؤال مطرح شده است که با وجود شرایط موجود چگونه می‌توان به نرخ بیت بالاتر دست یافت. یکی از راه‌حل‌ها استفاده از فرکانس‌های بالاتر می‌باشد. اما در فرکانس‌های بالاتر از ۵ GHz به‌خصوص در فرکانس‌های مایکروویو، نزولات جوی و گازهای موجود در جو باعث کاهش کیفیت لینک مخابراتی می‌گردد. این مسئله نیاز به شناسایی و مدل‌سازی کانال را آشکار می‌نماید. در ابتدای امر، مسئله مهم از دید محققان، تضعیف صورت‌گرفته ناشی از برف و باران و گازهای موجود در اتمسفر زمین و رفتار متغیر با زمان لایه‌های اتمسفر بر روی امواج رادیویی بود.

اولین کارها بر روی تضعیف باران در دهه ۵۰ میلادی صورت پذیرفت. در ابتدا این محققان به مسئله از دیدگاه کاملاً فیزیکی می‌نگریستند اما با ظهور ماهواره‌ها نیاز عملی به بررسی‌های دقیق‌تر احساس شد. با توجه به این که استفاده از پلاریزاسیون‌های متعام راهی برای افزایش ظرفیت کانال می‌باشد و از آنجایی که قطرات باران و سایر نزولات جوی دارای شکل کاملاً متقارنی نمی‌باشند، امکان ظهور هم‌شناوبی میان این کانال‌ها وجود دارد. بنابراین در بررسی‌های بعدی، مسئله پلاریزاسیون و شکل غیرمتقارن قطرات باران مورد توجه قرار گرفت. این مسأله برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ میلادی توسط یک گروه تحقیقاتی در آزمایشگاه‌های بل اندازه‌گیری شد.

مسأله تضعیف ناشی از باران در فرکانس‌های مایکروویو، برای چندین دهه موضوع تحقیق و بررسی بوده است. انتشار امواج در یک محیط بارانی

این مقاله در تاریخ ۱۶ فروردین ماه ۱۳۸۶ دریافت و در تاریخ ۲۸ مرداد ماه ۱۳۸۶ بازنگری شد.

عباسعلی لطفی نیستانک، محمد بهرامی و بابک میرزاپور، پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی، پلاک ۱۸۸، خیابان شهید ملک‌لو، خیابان شهید حیدرخانی، خیابان فرجام، نارمک، تهران (email: alotfi@iust.ac.ir).

1. Oblate Spheroidal
2. Axial Ratio

$$axial \ ratio = \begin{cases} 1 & D \leq 0.8 \text{ cm} \\ \frac{1}{1.0048 + 0.0057D - 2.628D^2 + 3.682D^3 - 1.677D^4} & 0.8 \text{ cm} \leq D \leq 0.9 \text{ cm} \end{cases} \quad (3)$$

که در روابط فوق داریم $\vec{R} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$ و $R = |\vec{R}|$. وجود ترم \vec{E}_i^{self} در (۷) به خاطر وجود تکینی در کرنل انتگرال (۴) می باشد. در صورتی که داشته باشیم $\delta_x = \delta_y = \delta_z$ پس از رفع تکینی خواهیم داشت [۷]

$$\vec{E}_i^{self} = (1 - \epsilon_r(\vec{r}_i)) \frac{\vec{E}_i}{3} \quad (7)$$

سرانجام معادلات خطی به دست آمده را می توان به فرم زیر تشکیل داد

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xz} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{yz} \\ A_{zx} & A_{zy} & A_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} E_x^{inc} \\ E_y^{inc} \\ E_z^{inc} \end{bmatrix} \quad (8)$$

و پس از محاسبه میدان داخل پراکنده گر، می توان میدان پراکنده شده را محاسبه نمود. همچنین می توان تلف شده ناشی از بخش موهومی ثابت دی الکتریک را به دست آورد

$$P_a = \int_V \frac{\sigma}{\nu} |\vec{E}|^2 dV \quad (9)$$

$$P_s = \frac{1}{\nu} \text{Re} \left[\int_S (\vec{E}^s(r) \times \vec{H}^s(r)) \cdot d\vec{s} \right] \quad (10)$$

که در آن P_a توان جذب شده و P_s توان پراکنده شده توسط قطره باران می باشد. برای سطح مقطع جذبی و پراکندگی داریم

$$Q_a = \frac{P_a}{P_i} \quad m^2 \quad (11-f)$$

$$Q_s = \frac{P_s}{P_i} \quad m^2 \quad (11-b)$$

$$Q_t = Q_a + Q_s \quad (11-c)$$

که در آن Q_a سطح مقطع جذبی، Q_s سطح مقطع پراکندگی^۴ و Q_t نشان دهنده سطح مقطع کل^۵ است. برای محاسبه تضعیف ویژه از رابطه زیر استفاده شده است [۸]

$$A = 4.343 \times 10^{-3} \int Q_t(a) N(a) da \quad (12)$$

برای محاسبه شاخص تغییر پلاریزاسیون^۶ (XPD) بر اساس میدان های داخل پراکنده گر می توان ثابت انتشار را به دست آورد و سپس بر اساس روابط زیر XPD را محاسبه نمود [۹] که مقدار توان دریافت شده در پلاریزاسیون ناخواسته به سبب غیرکروی بودن قطرات باران نسبت به توان دریافت شده در پلاریزاسیون ارسالی می باشد

$$XPD_{HV} = 2 \cdot \log \left| \frac{(1-g) \tan \theta}{1+g \tan^2 \theta} \right| \quad (13-f)$$

$$XPD_{VH} = 2 \cdot \log \left| \frac{(1-g) \tan \theta}{g + \tan^2 \theta} \right| \quad (13-b)$$

که در (۳)، D قطر کره معادل بر حسب سانتی متر می باشد. مهم ترین پارامتر در محاسبه تضعیف ویژه، سطح مقطع کل^۱ قطرات باران می باشد. پس از محاسبه سطح مقطع کل ناشی از هر قطره می بایست میانگین سطح مقطع کل را محاسبه نمود.

پارامتر DSD، تعیین کننده تعداد قطرات موجود در یک حجم واحد در یک نرخ بارش معین می باشد. برای DSD، روابط نمایی متعددی برای باران های مختلف ارائه شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است [۵].

۳- روش ممان برای تحلیل مسئله

برای محاسبه پراکندگی ناشی از پراکنده گرهای دی الکتریک، معادله انتگرالی حجمی به دست آمده از هم ارزی حجمی را می بایست حل نمود. میدان الکتریکی داخل پراکنده گر $\vec{E}(\vec{r})$ با گذردهی نسبی $\epsilon_r(\vec{r})$ را می توان به فرم زیر نمایش داد [۶]

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}^{inc}(\vec{r}) + \kappa^r \iiint_V dV' \vec{G}(\vec{r}, \vec{r}') \cdot (\epsilon_r(\vec{r}') - 1) \vec{E}(\vec{r}') \quad (4)$$

$$\vec{G}(\vec{r}, \vec{r}') = \left(\vec{I} + \frac{\nabla \nabla}{\kappa^r} \right) g(\vec{r}, \vec{r}')$$

$$g(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{e^{j\kappa|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}$$

برای حل مجموعه معادلات انتگرالی (۴) می توان از روش ممان استفاده نمود. برای توابع پایه می توان از تابع پله استفاده نمود. برای تابع وزن نیز می توان از تابع ضربه استفاده کرد

$$f_n(x, y, z) = \left(u\left(x + x_n + \frac{\delta_x}{\nu}\right) - u\left(x - x_n - \frac{\delta_x}{\nu}\right) \right) \times \left(u\left(y + y_n + \frac{\delta_y}{\nu}\right) - u\left(y - y_n - \frac{\delta_y}{\nu}\right) \right) \times \left(u\left(z + z_n + \frac{\delta_z}{\nu}\right) - u\left(z - z_n - \frac{\delta_z}{\nu}\right) \right) \quad (5)$$

$$w_n = \delta(x - x_n) \delta(y - y_n) \delta(z - z_n)$$

با اعمال توابع پایه و وزن و همچنین فرض اینکه δ_x و δ_y و δ_z به اندازه کافی کوچک باشند می توان میدان در هر المان را ثابت فرض کرد و انتگرال حجمی را محاسبه نمود، در نهایت (۴) به یک مجموعه معادلات خطی هم زمان تبدیل می شود

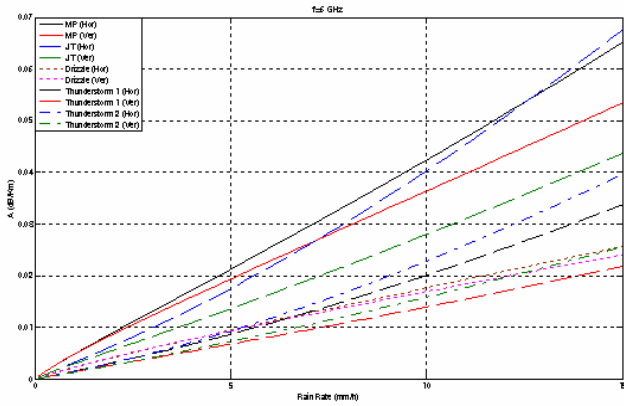
$$\vec{E}_i = \vec{E}_i^{inc} + \kappa^r \Delta V \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \vec{A}(\vec{r}_i, \vec{r}_j) \cdot (\epsilon_r(\vec{r}_j) - 1) \vec{E}_j + \vec{E}_i^{self} \quad (6)$$

$$\vec{A}(\vec{r}_i, \vec{r}_j)$$

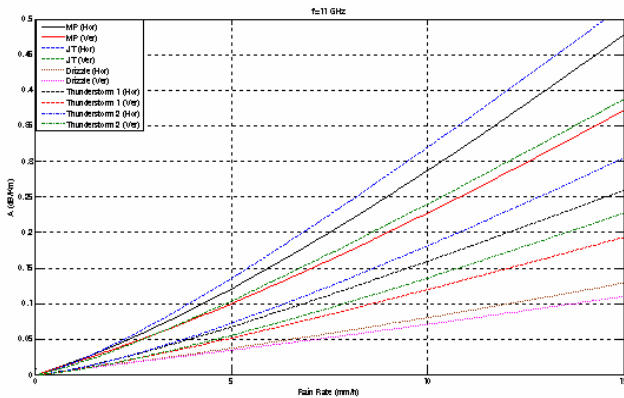
$$= \frac{e^{j\kappa R}}{4\pi R^2} \left[\kappa^r (R^2 \vec{I} - \vec{R}\vec{R}) + \frac{1-j\kappa R}{R^2} (\nu \vec{R}\vec{R} - R^2 \vec{I}) \right]$$

3. Absorbtion Cross Section
4. Scattering Cross Section
5. Total Cross Section (Extinction Cross Section)
6. Cross Depolarization Discrimination (XPD)

1. Total Cross Section
2. Drop Size Distribution



شکل ۴: تضعیف ویژه برای فرکانس ۶ گیگاهرتز.



شکل ۵: تضعیف ویژه برای فرکانس ۱۱ گیگاهرتز.

جدول ۱: مدل‌های مختلف موجود برای DSD باران.

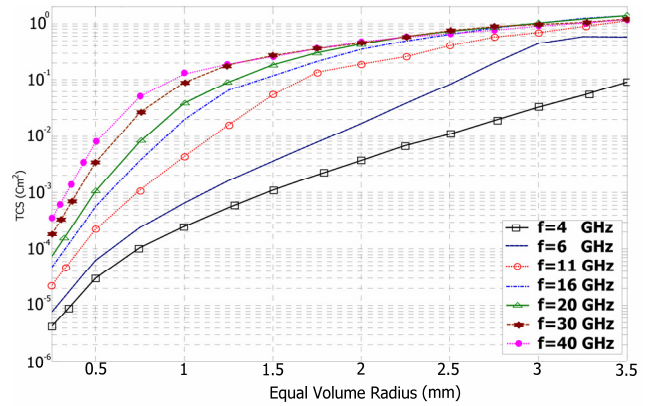
MP model	$N(D) = 1.6 \times 10^4 \exp(-4.1R^{-0.21}D)$
J-T model	$N(D) = 2.8 \times 10^7 \exp(-3R^{-0.71}D)$
Singapore DSD	$N(D) = 6356.64 \exp(-2.72R^{-0.6052}D)$
Drizzle rain	$N(D) = 3 \times 10^5 \exp(-5.7R^{-0.71}D)$
Thunderstorm ۱	$N(D) = 1.4 \times 10^7 \exp(-3R^{-0.71}D)$
Thunderstorm ۲	$N(D) = 1.31 \times 10^7 R^{0.28} \exp(-3R^{-0.71}D)$

دی‌الکتریک آب از رابطه دبای^۲ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است که در فرکانس‌های مورد نظر نتایج این رابطه با نتایج اندازه‌گیری به‌طور کامل مطابقت دارد.

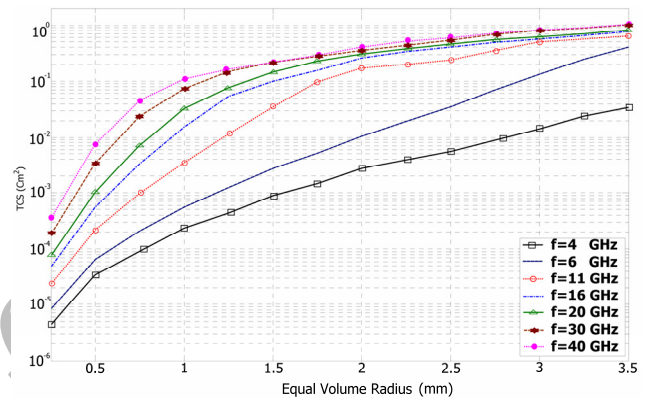
بر اساس نتایج به‌دست آمده در بالا، تضعیف ویژه برای فرکانس‌های مختلف و برای پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی، با لحاظ کردن اثر DSDهای مختلف مربوط به نرخ بارش کمتر از ۱۵ میلی‌متر بر ساعت به‌عنوان نمونه به‌دست آمد که در شکل‌های ۳ تا ۹ نتایج محاسبات برای فرکانس‌های مختلف آورده شده است.

ITU برای محاسبه تضعیف ویژه با استفاده از نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام‌شده توصیه‌نامه ITU-R P.۸۳۸ را ارائه نموده

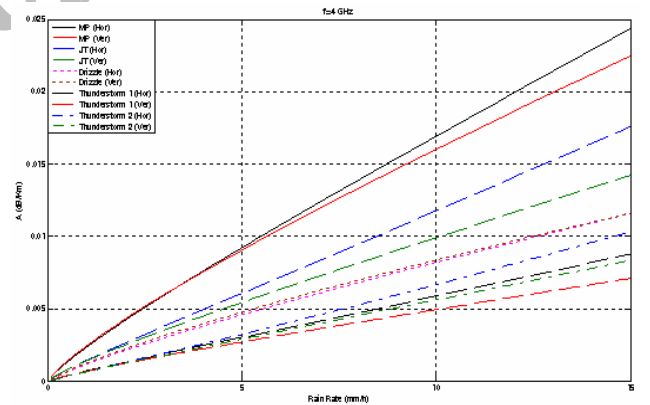
2. Debay



شکل ۱: سطح مقطع کل برای پلاریزاسیون افقی.



شکل ۲: سطح مقطع کل برای پلاریزاسیون عمودی.



شکل ۳: تضعیف ویژه برای فرکانس ۴ گیگاهرتز.

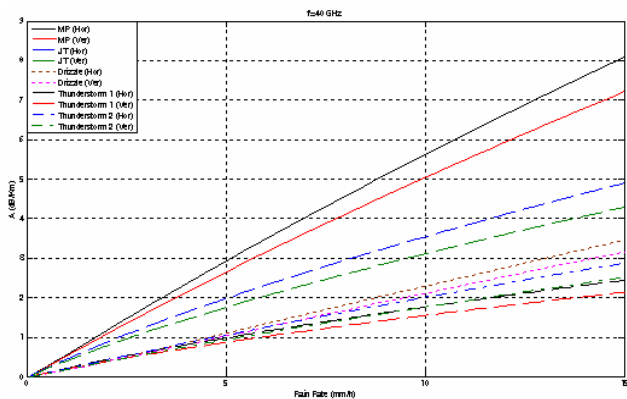
$$g = \exp(j(k_h - k_v)L) \tag{۱۳-ج}$$

که در آن L طول مسیر، θ زاویه مایل‌شدگی^۱ باران، k_h ثابت انتشار موج در پلاریزاسیون افقی و k_v ثابت انتشار موج در پلاریزاسیون عمودی در محیط بارانی می‌باشد.

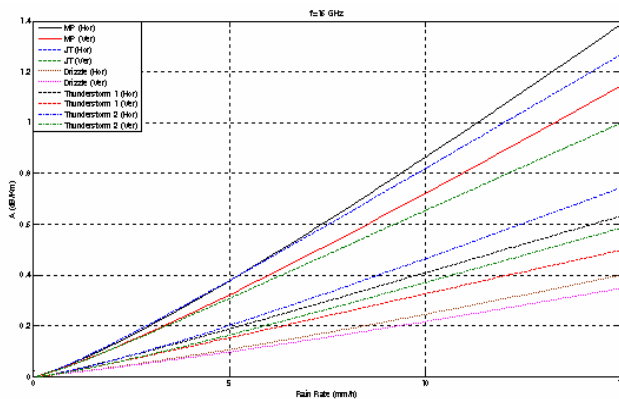
۴- نتایج شبیه‌سازی

با پیاده‌سازی مجموعه معادلات به‌دست آمده از (۸) و با کمک (۱۱) برای فرکانس‌های بین ۴ تا ۴۰ گیگاهرتز سطح مقطع کل برای پلاریزاسیون افقی و عمودی موج تابشی به‌دست آمد که نتایج در شکل ۱ و ۲ رسم شده است. در محاسبه سطح مقطع کل برای ضریب

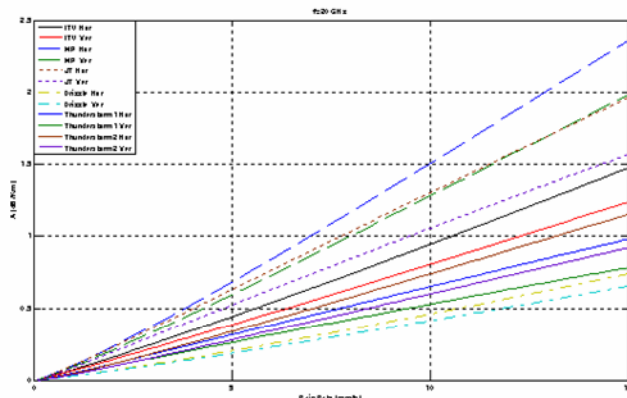
1. Canting Angle



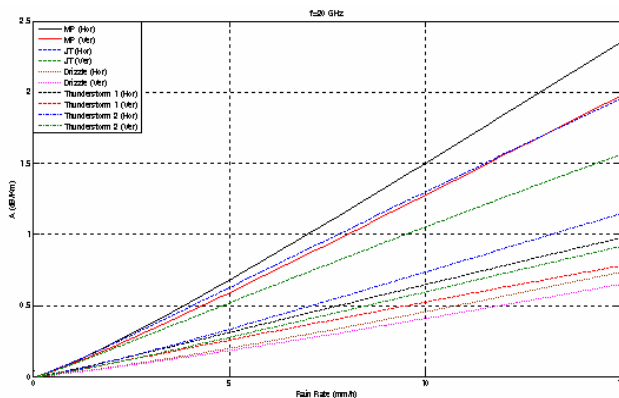
شکل ۹: تضعیف ویژه برای فرکانس ۴۰ گیگاهرتز.



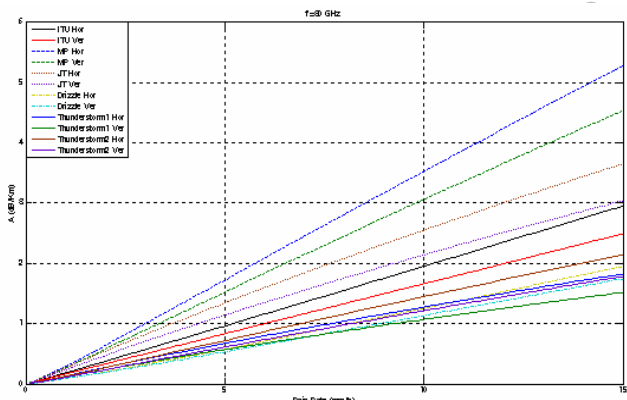
شکل ۶: تضعیف ویژه برای فرکانس ۱۶ گیگاهرتز.



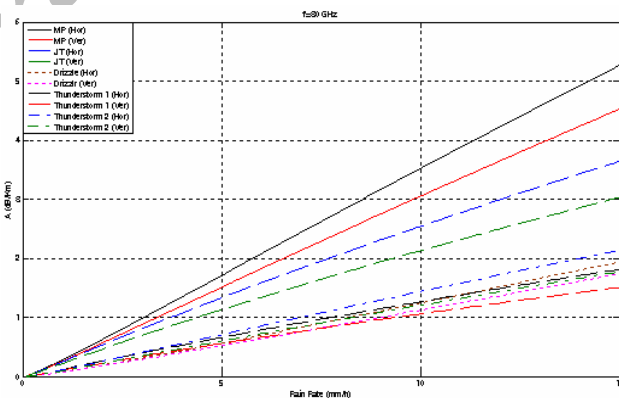
شکل ۱۰: تضعیف ویژه محاسبه شده با استفاده از توصیه نامه ITU برای فرکانس ۲۰ گیگاهرتز.



شکل ۷: تضعیف ویژه برای فرکانس ۲۰ گیگاهرتز.



شکل ۱۱: تضعیف ویژه محاسبه شده با استفاده از توصیه نامه ITU برای فرکانس ۳۰ گیگاهرتز.



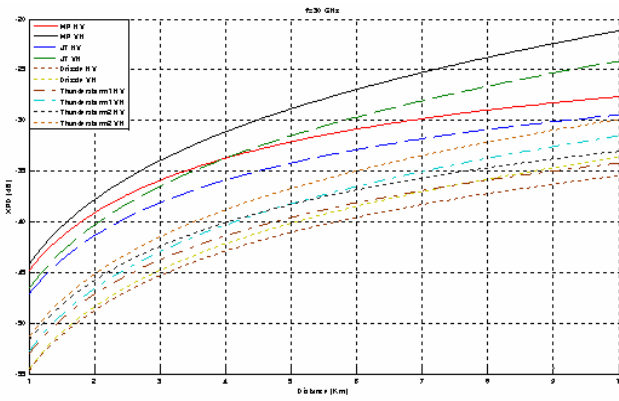
شکل ۸: تضعیف ویژه برای فرکانس ۳۰ گیگاهرتز.

به طور معمول زاویه مایل شدگی باران مقدار ثابتی در نظر گرفته می شود [۹]، که در شبیه سازی ها مقدار آن برابر با ۱۵ درجه فرض شده است. نتایج به دست آمده از مراحل قبل برای فرکانس های ۱۱ و ۱۶ و ۲۰ و ۳۰ گیگاهرتز محاسبه شده است. برای فرکانس های ۱۱ و ۱۶ گیگاهرتز نرخ بارش ۱۰ میلی متر بر ساعت در نظر گرفته شده است و برای فرکانس های ۲۰ و ۳۰ گیگاهرتز نرخ بارش ۱۵ میلی متر بر ساعت در نظر گرفته شده است.

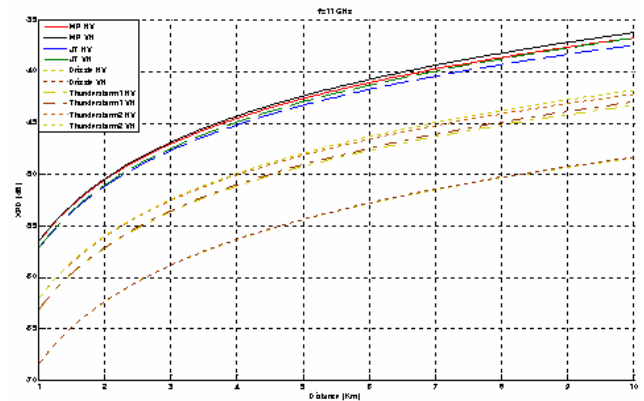
شکل های ۱۲ و ۱۳ نشان دهنده XPD محاسبه شده برای فرکانس های ۱۱ و ۱۶ گیگاهرتز و برای DSD مختلف می باشد. شکل های ۱۴ و ۱۵ نشان دهنده XPD محاسبه شده برای فرکانس های ۲۰ و ۳۰ گیگاهرتز و برای DSD مختلف می باشد. به عنوان مقایسه در شکل ۱۶ میانگینی از نتایج DSD های مختلف با

است [۱۰]. از آنجا که این توصیه نامه بر اساس اندازه گیری های متعدد در باران های مختلف ارائه شده است، امکان تعیین تأثیر نوع باران و DSD متناظر با آن بر روی تضعیف ویژه وجود ندارد. در شکل ۱۰ و ۱۱ نمودار تضعیف ویژه در دو فرکانس محاسبه شده بر اساس نتایج بالا و نتایج به دست آمده از توصیه نامه ITU رسم شده است.

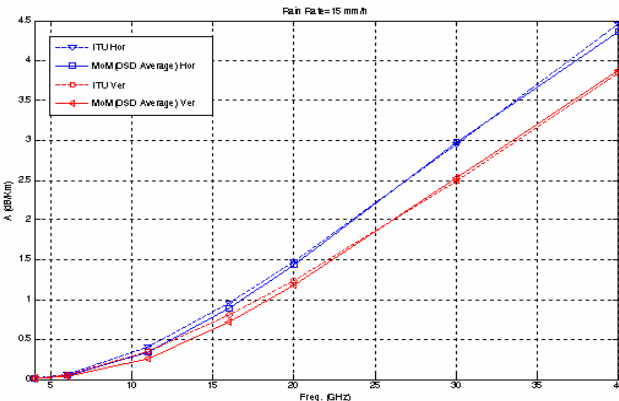
همان طور که قبلاً اشاره شد در تضعیف ویژه محاسبه شده توسط توصیه نامه ITU امکان تعیین تأثیر DSD وجود ندارد. همان طور که از شکل های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شود تضعیف ویژه محاسبه شده با استفاده از روش ITU برای برخی DSD ها کمتر و برای برخی دیگر بیشتر می باشد. در واقع از آنجایی که تضعیف ویژه محاسبه شده از روش ITU بر اساس اندازه گیری ها می باشد بنابراین منطقی است که تضعیف ویژه محاسبه شده ناشی از این روش تقریباً میانگینی از تضعیف ویژه برای باران های مختلف باشد، که این امر در شکل های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شود.



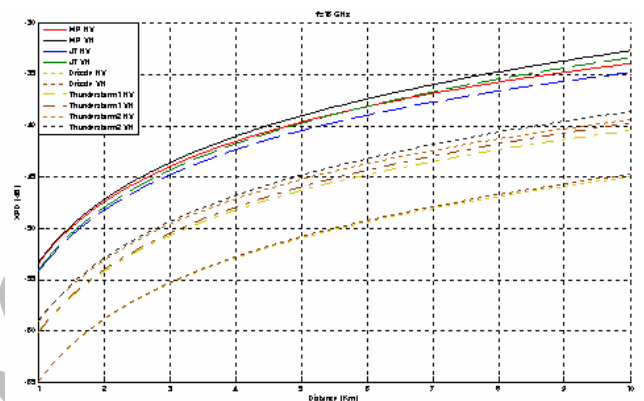
شکل ۱۵: محاسبه‌شده برای فرکانس ۳۰ گیگاهرتز برای نرخ بارش ۱۵ میلی‌متر بر ساعت.



شکل ۱۲: محاسبه‌شده برای فرکانس ۱۱ گیگاهرتز برای نرخ بارش ۱۰ میلی‌متر بر ساعت.



شکل ۱۶: مقایسه نتایج DSDهای مختلف با نتایج ITU در نرخ بارش ۱۵ میلی‌متر بر ساعت.



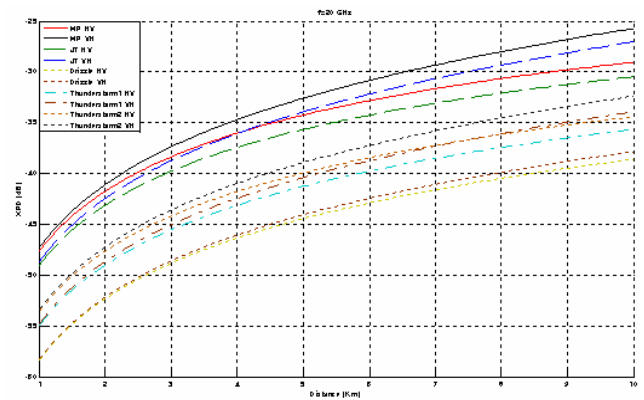
شکل ۱۳: محاسبه‌شده برای فرکانس ۱۶ گیگاهرتز برای نرخ بارش ۱۰ میلی‌متر بر ساعت.

۶- سپاس‌گزاری

مؤلفین این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های بی‌دریغ گروه ارتباطات ماهواره‌ای مرکز تحقیقات مخابرات ایران و سازمان فضایی ایران تشکر به عمل آورند.

مراجع

- [1] L. W. Li, P. S. Kooi, M. S. Leong, T. S. Yeo, and M. Z. Gao, "Microwave attenuation by realistically distorted raindrops: part I-theory," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 43, no. 8, pp. 811-822, Aug. 1995.
- [2] T. Oguchi, "Electromagnetic wave propagation and scattering in rain and other hydrometeors," *Proceedings of the IEEE*, vol. 71, no. 9, pp. 1029-1079, Sep. 1983.
- [3] L. D. Emiliani'z, J. Agudelo, E. Gutierrez, J. Restrepo, and C. Fradique-Mendez, "Development of rain-attenuation and rain-rate maps for satellite system design in the Ku and Ka bands in colombia," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 46, no. 6, pp. 54-68, Dec. 2004.
- [4] L. W. Li, T. S. Yeo, P. S. Kooi, and M. S. Leong, "An efficient calculation approach to evaluation of microwave specific attenuation," *IEEE AP*, vol. 48, no. 8, pp. 1220-1229, Aug. 2000.
- [5] A. Battaglia, F. Prodi, and O. Sturmiolo, "Radar and scattering parameters through falling hydrometeors with asymmetric shapes," *Applied Optics*, vol. 40, no. 18, pp. 1026-1031, Jun. 2001.
- [6] I. P. Shkarofsky, "Dependence of rain attenuation and cross-polarization on drop size distribution," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 27, no. 4, pp. 538-542, Jul. 1979.
- [7] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetic*, John Wiley & Sons, Inc. 1989.
- [8] A. D. Yaghjian, "Electric dyadic green's functions in the source region," in *Proc. IEEE*, vol. 68, no. 2, pp. 248-263, Feb. 1980.
- [9] J. Tan and M. Thurai, "Rain-induced cross polarization on line-of-sight systems at 38 GHz," *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, vol. 144, no. 1, pp. 20-26, Feb. 1997.



شکل ۱۴: محاسبه‌شده برای فرکانس ۲۰ گیگاهرتز برای نرخ بارش ۱۵ میلی‌متر بر ساعت.

نتایج ITU در نرخ بارش ۱۵ میلی‌متر بر ساعت مقایسه شده که نتایج هم‌خوانی خوبی با هم دارند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش ممان و با در نظر گرفتن توزیع قطرات باران، اثر ریزش باران بر روی انتشار امواج در باندهای فرکانسی Ku و Ka مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی برای توزیع‌های مختلف قطرات و پلاریزاسیون افقی و عمودی ارائه شد. همچنین نتایج با توصیه‌های ITU نیز مقایسه شدند.

دانشگاه‌های آزاد اسلامی، علم و صنعت ایران، شاهد و پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی به تدریس و تحقیق اشتغال داشته است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مدارهای فعال و غیر فعال میکروویو، آنتن‌های میکرواستریپ، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، طراحی شبکه‌های رادیویی، طراحی مدارهای الکترونیکی، سازگاری الکترومغناطیسی، اندازه‌گیری میکروویو و انتشار امواج. دکتر لطفی نیستانک تاکنون بیش از ۶۵ مقاله در مجلات و همایش‌های معتبر داخلی و خارجی منتشر کرده است.

بابک میرزاپور بین‌کلابه متولد ۱۳۵۹ در تبریز بوده و تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مخابرات به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ در دانشگاه شاهد به پایان رسانده است. ایشان هم‌اکنون به‌عنوان دانشجوی دکتری مهندسی برق مخابرات در دانشگاه تهران مشغول به تحصیل می‌باشند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: آنتن‌های میکرواستریپ، انتشار و پراکندگی امواج و پردازش سیگنال. مهندس میرزاپور تاکنون چندین مقاله در مجلات و همایش‌های معتبر داخلی و خارجی منتشر کرده است.

[10] ITU-R P.838-2, *Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods*, 2003.
<http://www.itu.int/md/R03-SG03-C-0032/en>

محمد بهرامی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مخابرات با کسب رتبه اول در دانشگاه شاهد و کارشناسی ارشد مخابرات میدان در دانشگاه تهران به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: روش‌های عددی در تحلیل مسایل الکترومغناطیس، انتشار و پراکندگی امواج، روش‌های جهت‌یابی سیگنال دریافتی و پردازش سیگنال. مهندس بهرامی تاکنون چندین مقاله در مجلات و همایش‌های معتبر داخلی و خارجی منتشر کرده است.

عباسعلی لطفی نیستانک متولد ۱۳۵۰ در تهران بوده و تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مخابرات و کارشناسی ارشد الکترونیک به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۶ و دکتری مخابرات را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران به پایان رسانده است. نامبرده در سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۷۷ به‌عنوان مهندس فنی در طراحی شبکه در صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران مشغول به کار بوده است. ایشان در چند سال اخیر در

Archive of SID