

محاسبه افت سینتیلیشن و تابع چگالی احتمال آن

با توجه به آب و هوای ایران در باند Ka

رکسانا رادپرور
کارشناس ارشد

ایاز قربانی
استادیار

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله ضمن بدست آوردن یک مدل جامع برای محاسبه افت مسیر انتشار بر اثر سینتیلیشن با استفاده از دیتاهای هواشناسی که در نقاط مختلف ایران توسط اداره هواشناسی اندازه گیری شده است، واریانس سینتیلیشن در شهرهای مختلف ایران محاسبه گردیده است. سپس با کمک واریانس بدست آمده افت سینتیلیشن در مسیر انتشار، تابع چگالی احتمال و انحراف از استاندارد سینتیلیشن در ایران محاسبه شده است. نتایج بدست آمده از این مقاله بیانگر این است، که اولاً تابع چگالی احتمال واریانس سینتیلیشن در ایران به صورت لوگ نرمال بوده و ثانیاً افت مسیر انتشار ناشی از سینتیلیشن در لینکهای زمینی - ماهواره‌ای خصوصاً در باندهای مایکروویو و بالاتر قابل اغماض نمی باشد و می بایست در طراحی اینگونه لینکهای اثر افت سینتیلیشن در نظر گرفته شود.

کلمات کلیدی

انتشار امواج، سینتیلیشن، تابع احتمال سینتیلیشن

Predicting Scintillation PDF and Attenuation with Reference to Iranian Climate in Ka Band

A. Ghorbani
Assistant Professor

R. Radparvar
MSc. Student

Department of Electrical Engineering,
Amirkabir University of Technology

Abstract

This paper introduces a new model for predicting the tropospheric scintillation path loss with respect to Iranian climate. The variance, probability density function (PDF), and attenuation of scintillation are predicted based on the new model and using measurement data obtained from Iranian metrological department for different parts of Iran. Applying this model and corresponding data, the variance of scintillation, scintillation path loss and scintillation standard deviation are predicted for different Iranian cities. The results reveal that scintillation variance PDF shows a log-normal behaviour in Iran. Moreover, the path loss due to scintillation phenomenon in satellite-to-ground communication links cannot be ignored particularly in microwave and higher frequency ranges. Therefore, it is necessary to take into account these effects when designing satellite-to-ground and microwaves communicational links.

Keywords

Radio wave propagation, Scintillation

تغییرات سریع دامنه و فاز سیگنال در محدوده زمانی چند ثانیه تا چند ده ثانیه را سینتیلیشن گویند. این پدیده در اثر تغییرات ضریب شکست که خود تابعی از رطوبت، دما و فشار می‌باشد وجود می‌آید. تغییرات رطوبت، دما و فشار باعث متغیر شدن ضریب انکسار و در نتیجه ضریب شکست موج در طول مسیر انتشار می‌شود. بنابراین بر اثر پدیده سینتیلیشن امواج انتشاری از سطح زمین به طرف ماهواره و یا حتی لینکهای زمینی دچار نوسانات شدید تصادفی می‌شوند. این نوسانات باعث ایجاد تضعیف گاهاً تا حدود ۳۰dB بر روی سطح سیگنال دریافتی می‌گردد. پس در طراحی لینکهای زمینی - ماهواره ای لازم است پدیده سینتیلیشن مدل گردد تا به وسیله آن بتوان مقدار افت ناشی از این پدیده را محاسبه نمود. همچنین با توجه به اینکه پدیده سینتیلیشن یک پدیده آماری است. پس برای بدست آوردن افت کلی لازم است تابع توزیع و انحراف از معیار این پدیده مشخص گردد.

با توجه به آنچه گفته شد در این پروژه می‌خواهیم یک مدل جامع برای محاسبه افت مسیر انتشار بر اثر سینتیلیشن بدست آوریم. سپس به کمک این مدل و دیتاهایکه توسط اداره هواشناسی اندازه گیری شده است میانگین، انحراف از معیار و واریانس سینتیلیشن را در ایران محاسبه کنیم. نهایتاً با بکارگیری میانگین، انحراف از معیار و واریانس سینتیلیشن، تابع چگالی احتمال سینتیلیشن را در ایران بدست آوردیم. از طرفی چون میانگین، انحراف از معیار، واریانس و افت سینتیلیشن وابسته به ضریب انکسار می‌باشند، ابتدا ضریب انکسار را در ایران محاسبه می‌کنیم.

۱- محاسبه ضریب انکسار در ایران

چنانچه می‌دانیم واریانس سینتیلیشن تابعی از ضریب شکست و یا ضریب انکسار محیط می‌باشد از طرفی ضریب انکسار خود تابعی از درجه حرارت، فشار هوا و رطوبت است و یا:

$$N = f(P, T, e) \quad (1)$$

در این فرمول e فشار نسبی بخار آب برحسب میلی بار، T درجه حرارت مطلق برحسب کلونین و P فشار هوا برحسب میلی بار است. اداره هواشناسی ایران T و P را بطور مستقیم اندازه‌گیری می‌نماید، ولی بجای e رطوبت نسبی یعنی U را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین ما در این مقاله با بکارگیری رابطه‌های Golf-Gratch [1]، اول با داشتن T مقدار فشار بخار آب اشباع یعنی e_{sat} را بصورت زیر محاسبه نمودیم:

$$\begin{aligned} \text{Log } e_{sat} = & -7.90298 \left(\frac{373.16}{T} - 1 \right) + 5.02808 \times \text{Log} \frac{373.16}{T} \\ & - 1.3816 \times 10^{-7} \times [10^{11.344[1-(T/373.16)]}] \\ & + 8.1328 \times 10^{-3} [10^{-3.49149[(373.16/T)-1]}] \\ & + \text{Log}(1013.246) \end{aligned} \quad (2)$$

سپس با کمک رابطه (۲) مقدار e بدست می‌آید و یا:

$$U = \frac{e}{e_{sat}} \quad (3)$$

در رابطه (۳) مقدار رطوبت نسبی U از طریق داده‌های هواشناسی و e_{sat} از طریق رابطه (۲) محاسبه گردیده و نهایتاً با جایگزینی در رابطه (۳) مقدار e بدست می‌آید. سپس با استفاده از معادله (۴) مقدار n (ضریب انکسار) قابل محاسبه می‌باشد:

$$n = 1 + \frac{77.6}{T} (P + 4810 \frac{e}{T} - 0.072e) * 10^{-6} \quad (4)$$

می‌توان فرمول (۴) را بصورت زیر ساده نمود و یا:

$$N = (n-1) * 10^6 = \frac{77.6}{T} (P + 4810 \frac{e}{T} - 0.072e) \quad (5)$$

از طرفی $N = (n-1) * 10^6$ را ضریب انکسار اصلاح شده گویند. بنابراین پس از جایگزینی در رابطه (۵) داریم که:

$$N = \frac{77.6}{T} (P + 4810 \frac{e}{T} - 0.072e) \quad (6)$$

N خود دارای دو ترم بنامهای ضریب انکسار خشک و رطوبتی بصورت زیر می‌باشد و یا:

$$N = Nd + Nw$$

$$Nd = \frac{77.6}{T} P$$

$$Nw = 375000 (\frac{e}{T^2}) - 5.6 (\frac{e}{T}) \quad (7)$$

پس با داشتن T, P, e (دیتای هوا شناسی) در نقاط مختلف ایران مقدار N_d, N_w و N به کمک رابطه های ۲ الی ۷ بدست آمد. سپس با میانگین‌گیری از N در طول سی روز و ۱۲ ماه مقدار متوسط سالیانه N محاسبه گردید. از طرفی برای بدست آوردن ضریب انکسار قابل قبول در انتشار امواج لازم است که حداقل میانگین ۲۵ سال را داشته باشیم. بنابراین با جمع‌آوری دیتای هوا شناسی برای مدت ۲۵ سال در ایران، مقدار متوسط ۲۵ ساله N به کمک رابطه (۸) محاسبه گردید:

$$N = \sum_{i=1}^{L=30} \sum_{j=1}^{N=12} \sum_{k=1}^{M=25} \frac{N_{i,j,k}}{L.M.N} \quad (8)$$

مقدار N با استفاده از رابطه‌های فوق و دیتای اداره هواشناسی ایران، برای درجه حرارت، فشار هوا و مقدار نسبی درجه رطوبت برای شهرهای مختلف ایران محاسبه شده است. بطوریکه در شکل (۱) مشاهده می‌گردد.

۲- محاسبه افت انتشار حاصل از سینتیلیشن

مدلی که توسط مرجع [۲] برای واریانس سینتیلیشن ارائه گردیده است، نشانگر وابستگی واریانس سینتیلیشن به پارامترهای سطحی و بخار آب اشباع می‌باشد. همچنین نشان داده شده است که بخار آب اشباع و درجه حرارت روشنایی که از داده‌های رادیومتر استخراج میشوند نیز به یکدیگر مرتبط می‌باشند بنابراین از یک طرف وابستگی بین سینتیلیشن و درجه حرارت روشنایی از داده‌های رادیومتر بدست می‌آید [۴-۲]. از طرف دیگر از آنجائیکه افت مسیر انتشار نیز از همین داده‌ها قابل استخراج هستند، پس واریانس سینتیلیشن و افت مسیر بهم وابسته می‌باشند یعنی با محاسبه واریانس سینتیلیشن می‌توان افت مسیر را بدست آورد. در ادامه به چگونگی محاسبه واریانس سینتیلیشن می‌پردازیم.

مراجع [۵] و [۶] پس از بررسی‌های انجام داده بر روی داده‌های رادیومتر و سطح سیگنال دریافتی رابطه زیر را برای افت مسیر ارائه داده‌اند:

$$\langle A(f, \theta) \rangle = 4.343 \left\langle \ln \left(\frac{T_M(f, \theta) - T_C}{T_M(f, \theta) - T_B(f, \theta)} \right) \right\rangle \quad (9)$$

که رابطه داخل براکت بیانگر میانگین دراز مدت، f فرکانس کار، θ زاویه ارتفاع لینک، $T_B(f, \theta)$ درجه حرارت روشنایی، $T_M(f, \theta)$ میانگین درجه حرارت تشعشی و $T_C = 273^\circ\text{C}$ می‌باشند. همچنین با مطالعات انجام شده بر روی داده‌های رادیو سوند در میلان ایتالیا توسط مرجع [۲] رابطه (۱۰) بین درجه حرارت تشعشی T_M ، درجه حرارت سطحی T_S ، رطوبت نسبی RHS و بخار آب اشباع v_C در فرکانسهای ۱۳، ۲۳/۸، ۳۱/۶، ۵۰/۲ گیگاهرتز با زاویه ارتفاع لینک ۳۷/۸ درجه بدست آمده است:

$$T_M(f, \theta) = a_0 + a_1 \times T_S + a_2 \times RH_S + a_3 \times v_C \quad (10)$$

ضرایب a_0 تا a_3 در فرکانسهای مورد نظر در جدول (۱) آورده شده‌اند. اگر چه این ضرایب به فرکانس وابسته هستند ولی وابستگی چندانی به زاویه ارتفاع ندارند.

از طرفی وابستگی افت مسیر انتشار به درجه حرارت روشنایی و وارینانس سینتیلیشن در فرکانسهای یاد شده به ازای همان زاویه ارتفاع توسط مرجع [۵] به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$\langle A(f, \theta) \rangle = b_0 + b_1 \langle T_B(f, \theta) \rangle \quad (11)$$

$$\langle A(f, \theta) \rangle = c_0 + c_1 \langle \ln(\sigma_x^2(f_i, \theta)) \rangle \quad (12)$$

ضرایب b_0 ، b_1 ، c_0 و c_1 برای فرکانسهای ($f_j =$ فرکانس داده‌های رادیومتر) ۱۳، ۲۳/۸، ۳۱/۶، ۵۰/۲ گیگاهرتز و فرکانسهای ۱۸/۷، ۳۹/۶، ۴۹/۵ گیگاهرتز ($f_i =$ فرکانس اندازه‌گیری سینتیلیشن) در جداول ۲ و ۳ آورده شده‌اند.

با توجه به این جداول، مشاهده می‌گردد وارینانس سینتیلیشن و افت مسیر با درجه حرارت روشنایی و درجه حرارت تشعشی مرتبط می‌باشند. از نظر تئوری پدیده سینتیلیشن و افت مسیر، ناشی از حرارت خورشید می‌باشند. زیرا خورشید منبع درجه حرارت روشنایی و درجه حرارت تشعشی است به این ترتیب که حرارت خورشید در سطح زمین موجب افزایش درجه حرارت هوا می‌شود و همین امر در اتمسفر ناپایداری ایجاد کرده و موجب سینتیلیشن می‌شود. درجه حرارت روشنایی نیز که بیانگر حرارت تشعشی اتمسفر است با افزایش حرارت خورشید در سطح زمین افزایش می‌یابد که این خود با افزایش تضعیف مسیر همراه می‌باشد [۷] و [۸].

همانطور که اشاره گردید هدف این مقاله محاسبه $A(f_j, \theta)$ یعنی افت مسیر در باند فرکانسی Ka است. از طرفی $A(f_j, \theta)$ به وارینانس سینتیلیشن ($\sigma_x^2(f_i, \theta)$) وابسته می‌باشد. همچنین معادلاتی که تا کنون برای $A(f_j, \theta)$ و $\sigma_x^2(f_i, \theta)$ ارائه شده‌اند معادلات گسسته می‌باشند و فقط در یک محدوده خاص از فرکانسی کاربرد دارند. پس اولین قدم در این مقاله رسیدن به یک معادله کلی برای $A(f_j, \theta)$ است. برای اینکار سعی کردیم با استفاده از دیتاهای موجود برای مقادیر c_0 ، c_1 که در فرکانسهای خاص و برای یک زاویه ارتفاع خاص اندازه‌گیری شده بودند یک فرمول کلی که بیانگر وابستگی c_0 ، c_1 به فرکانس و زاویه ارتفاع باشد را بدست آوریم. بطوریکه در ادامه توضیح داده خواهد شد.

۱-۲- محاسبه وابستگی ضریب c_1 به فرکانسهای f_j, f_i

با ملاحظه رابطه (۱۲) نتیجه می‌شود که ضریب c_1 با تغییر f_j, f_i تغییر می‌کند برای بررسی شدت تغییرات آن جدول (۴) را تشکیل می‌دهیم. در این جدول ضرایب c_1 به ازای f_j, f_i های مختلف در نظر گرفته شده‌اند. در سطر و ستون انتهایی این جدول

ماکزیمم اختلاف مقادیر c_1 به ترتیب به ازای f_i و f_j های ثابت محاسبه شده‌اند. با بررسی این دو ستون مشخص می‌شود که ضریب c_1 به f_i, f_j وابسته است اما وابستگی آن به f_j خیلی بیشتر از f_i می‌باشد بطوریکه تقریباً می‌توان از وابستگی این ضریب به f_i صرف‌نظر کرد. پس با برآزش منحنی رابطه زیر با خطای کمتر از $4/0.2 \times 10^{-5}$ برای ضریب c_1 بدست می‌آید.

$$c_1(f_j) = (15.0983 * f_j^3 - 8.1143 * f_j^2 + 0.6676 * f_j + 0.0129)^{-1} \quad (13)$$

۲-۲- محاسبه وابستگی ضریب c_0 به فرکانسهای f_i, f_j

مجدداً جدول (۵) را مشابه جدول قبل برای ضرایب c_0 تشکیل می‌دهیم. با آنالیز این جدول مشخص می‌شود c_0 به دو فرکانس f_i و f_j وابسته می‌باشد. برای بدست آوردن این وابستگی با بررسی دیتاهای اندازه‌گیری شده می‌توان فرم کلی c_0 را بصورت زیر در نظر گرفت:

$$c_0(f_i, f_j) = a(f_j) - b(f_j) \times f_i^{c(f_j)} \quad (14)$$

برای بدست آوردن ضرایب مجهول a, b, c مراحل زیر طی شده است. ابتدا ضرایب c_0 را به ازای f_j های ثابت در نظر گرفته و با استفاده از تطبیق منحنی با رابطه $(a - b \times f^c)$ مقادیر زیر را به ازای f_j های مختلف برای ثابت‌ها بدست می‌آوریم.

$f_j = 13$ GHZ	:	$a_0 = 1.6791$,	$b_0 = 1.4147$,	$c_0 = 0.0159$
$f_j = 23.8$ GHZ	:	$a_1 = 4.3938$,	$b_1 = 1.0192$,	$c_1 = 0.2174$
$f_j = 31.6$ GHZ	:	$a_2 = 2.6517$,	$b_2 = 1.3057$,	$c_2 = 0.0863$
$f_j = 50.2$ GHZ	:	$a_3 = 4.0257$,	$b_3 = 0.763$,	$c_3 = 0.1036$

سپس به ازای f_i های مختلف مقادیر a_0 تا a_3 ، b_0 تا b_3 و c_0 تا c_3 را در نظر گرفته و با استفاده از برآزش منحنی روابط زیر را برای آنها بدست می‌آوریم:

$$a(f_j) = \frac{f_j^2 - 170.1021}{0.2822f_j^2 + 7.2623f_j - 147.2347}$$

$$b(f_j) = \frac{f_j^2 - 22.6493}{1.4358f_j^2 - 19.0590f_j + 108.9778} \quad (15)$$

$$c(f_j) = \frac{1}{0.61570f_j^2 - 14.6890f_j + 1.00250f_j + 1.0036}$$

به این ترتیب وابستگی c_0 به f_i و f_j به فرم نهایی زیر خواهد بود:

$$c_0(f_i, f_j) = a(f_j) - b(f_j) \times f_i^{c(f_j)} \quad (16)$$

برای تایید صحت رابطه فوق سعی کردیم آنرا با دیتاهای اندازه‌گیری مقایسه کنیم. برای اینکار با جایگذاری مقادیر f_i, f_j موجود از مرجع [۴] در رابطه (۱۵) مقادیر $a(f_j)$ ، $b(f_j)$ و $c(f_j)$ را محاسبه کرده و در فرمول (۱۶) قرار داده و $c_0(f_i, f_j)$ را بدست

می‌آوریم. همچنین از رابطه (۱۳) مقدار $c_1(f_j)$ قابل محاسبه می‌باشد. سپس نمودار محاسبه و اندازه‌گیری شده برای c_0 و c_1 را رسم می‌کنیم. بطوریکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود این نمودارها تطابق کامل دارند. این موضوع بیانگر این است که روابط بدست آمده در این مقاله از دقت خوبی در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری برای تخمین ضرایب $c_1(f_j)$ و $c_0(f_j)$ برخوردار است.

۳- بدست آوردن وابستگی زاویه ارتفاع آنتن

نتایج بدست آمده تا کنون حاکی از وابسته بودن افت مسیر انتشار به زاویه ارتفاع آنتن می‌باشد. برای بدست آوردن این وابستگی سعی کردیم نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری در زوایای ارتفاع مختلف را جمع‌آوری نموده و با کمک برازش منحنی، چگونگی وابستگی افت مسیر به زاویه ارتفاع را محاسبه کنیم. از طرفی با توجه به مرجع [۲] میتوان فرم کلی افت مسیر انتشار را بفرم زیر نوشت.

$$\langle A(f, \theta) \rangle = \langle A(f, \theta = 90^\circ) \rangle \text{Co sec}(\theta) \quad (17)$$

$$\langle \text{Ln}(\sigma_x^2(f, \theta)) \rangle = \text{Ln}(G^2 \cdot f^\alpha \cdot (\text{Sin}\theta)^{-\beta}) + \langle \text{Ln}(\sigma_{xn}^2(T_s, RH_s, v_c)) \rangle$$

در روابط بالا β, α به ترتیب بیانگر تابعیت فرکانسی و زاویه ارتفاع واریانس سینتیلیشن می‌باشند که در این شبیه‌سازی برابر مقادیر بدست آمده توسط تارسکی $\beta = 1/83, \alpha = 1.16$ انتخاب شده‌اند. مجدداً سعی گردید با انجام برازش منحنی بهترین معادله با کمترین خطا بین افت مسیر، زاویه ارتفاع و فرکانس بدست آید. فرم کلی افت مسیر تابعی از فرکانس و زاویه ارتفاع بصورت زیر خواهد بود.

$$\langle A(f_j, \theta) \rangle \times \frac{\text{Sin}(\theta_i)}{\text{Sin}(37.8)} = C_0(f_i, f_j) + C_1(f_j) \times \left\{ \langle \text{Ln}\sigma_x^2(f_i, \theta) \rangle - \text{Ln}\left(\frac{\text{Sin}(\theta^0)}{\text{Sin}(37.8^0)}\right)^{-1.83} \right\} \quad (18)$$

چون دیتاهای اندازه‌گیری که برای برازش منحنی از آنها در این مقاله استفاده گردیده در زاویه ارتفاع $37/8$ درجه بوده است. به این دلیل در فرمولهای بالا عدد $37/8$ ظاهر شده است. این معادله فرم کلی افت مسیر را بصورت تابعی از فرکانس و زاویه ارتفاع معرفی می‌کند. پس با استفاده از آن می‌توان افت مسیر را در لینکهای مختلف ماهواره‌ای - زمینی تا باند Ka محاسبه نمود مشروط بر اینکه σ_{xn}^2 معلوم باشد. در ادامه این مقاله به چگونگی محاسبه σ_{xn}^2 برای شهرهای مختلف ایران اشاره خواهد شد.

۴- محاسبه افت انتشار بر اثر سینتیلیشن در ایران

با توجه به رابطه (۱۸) مشاهده شد که برای بدست آوردن افت مسیر انتشار لازم است $\sigma_x^2(f, \theta)$ مشخص گردد. از طرفی مرجع [۹] مدل زیر را برای میانگین نرمالیزه شده واریانس سینتیلیشن بر حسب پارامترهای جوی معرفی نموده است:

$$\langle \sigma_x^2 \rangle_n = \exp(a_{01} + a_{11} \cdot T_s + a_{21} \cdot RH_s + a_{31} \cdot T_s^2 + a_{41} \cdot RH_s^2) \quad (19)$$

$$\langle \sigma_x^2 \rangle_n = \exp(a_{02} + a_{12} \cdot T_s + a_{22} \cdot N_{wet} + a_{32} \cdot T_s^2 + a_{42} \cdot N_{wet}^2) \quad (20)$$

$$m_{\sigma_n} = b_{01} + b_{11} \cdot T_s + b_{21} \cdot RH_s + b_{31} \cdot T_s^2 + b_{41} \cdot RH_s^2 \quad (21)$$

$$m_{\sigma_n} = b_{02} + b_{12} \cdot T_s + b_{22} \cdot N_{wet} + b_{32} \cdot T_s^2 + b_{42} \cdot N_{wet}^2 \quad (22)$$

که در این روابط T درجه حرارت، RH_s رطوبت نسبی و N_{wet} قسمت مرطوب ضریب شکست هستند. همچنین در جدول (۶) ضرائب a , b آورده شده‌اند (این روابط برای هر لینی که پارامترهای آن نرمالیزه شده باشد قابل استفاده می‌باشند). حال اگر بجای T درجه حرارت، RH_s رطوبت نسبی و N_{wet} قسمت مرطوب ضریب شکست دیتاهای هواشناسی ایران را قرار دهیم مقدار m_{σ_n} و $\langle \sigma_x^2 \rangle_n$ برای شهرهای ایران بدست می‌آیند. فرمولهای فوق مقدار m_{σ_n} و σ_x^2 نرمالیزه را محاسبه می‌کنند. برای دی نرمالیزه نمودن واریانس و میانگین از روابط زیر کمک گرفته شده است:

$$\langle \sigma_x^2 \rangle_n = \frac{\langle \sigma_x^2 \rangle}{G^2 \cdot f^\alpha \cdot \text{Sin}\theta^{-\beta}} \quad (23)$$

$$m_{\sigma_n} = \overline{\text{Log} \langle \sigma_x^2 \rangle_n} = m_\sigma + \text{Log} \left(\frac{1}{G^2 \cdot f^\alpha \cdot \text{Sin}\theta^{-\beta}} \right) \quad (24)$$

$$S_{\sigma_n} = 0.0397 - 0.2948 m_\sigma \quad (25)$$

همانطور که اشاره شد α , β به ترتیب بیانگر تابعیت فرکانسی و زاویه ارتفاع واریانس سینتیلیشن می‌باشند که در این شبیه سازی برابر مقادیر بدست آمده توسط تاتارسکی [10] $\beta = 1/83$, $\alpha = 1.16$ انتخاب شده‌اند. همچنین میانگین واریانس نرمالیزه شده، m_σ میانگین واریانس سینتیلیشن و S_{σ_n} انحراف استاندارد نرمالیزه می‌باشد که با S_σ انحراف استاندارد واریانس سینتیلیشن برابر است.

حال با جایگزینی مقادیر T , RH_s و N_w برای شهرهای مختلف ایران در روابط فوق مقدار واریانس و میانگین نرمالیزه محاسبه می‌گردد. سپس با کمک رابطه‌های (۲۳) و (۲۵) مقدار دی نرمالیزه واریانس و میانگین بدست می‌آید و نهایتاً با قرار دادن واریانس در رابطه (۱۸) افت مسیر انتشار در ایران محاسبه خواهد شد بطوریکه در شکل (۳) نمایش داده شده است. با توجه به این نمودارها می‌توان گفت که افت ناشی از سینتیلیشن در لینه‌های ماهواره ای - زمینی در ایران کاملاً محسوس است و می‌بایست در طراحی لینه‌ها این افت لحاظ شود.

در ادامه با داشتن σ_x , m_σ و S_σ سعی کردیم با کمک برازش منحنی بهترین تابع چگالی که بتواند رفتار واریانس سینتیلیشن را پیش‌گویی نماید بدست آوریم. پس از برازش مشاهده شد که نزدیک‌ترین تابع چگالی تابع توزیع لوگ - نرمال می‌باشد. جالب است بدانیم بهترین تابع توزیعی که تا کنون در دنیا برای همین منظور معرفی شده است لوگ - نرمال می‌باشد. این موضوع بیانگر صحت محاسبات انجام شده در این مقاله می‌باشد. نهایتاً تابع چگالی احتمال بصورت معادله (۲۶) نمایش و در شکل (۴) ترسیم شده است.

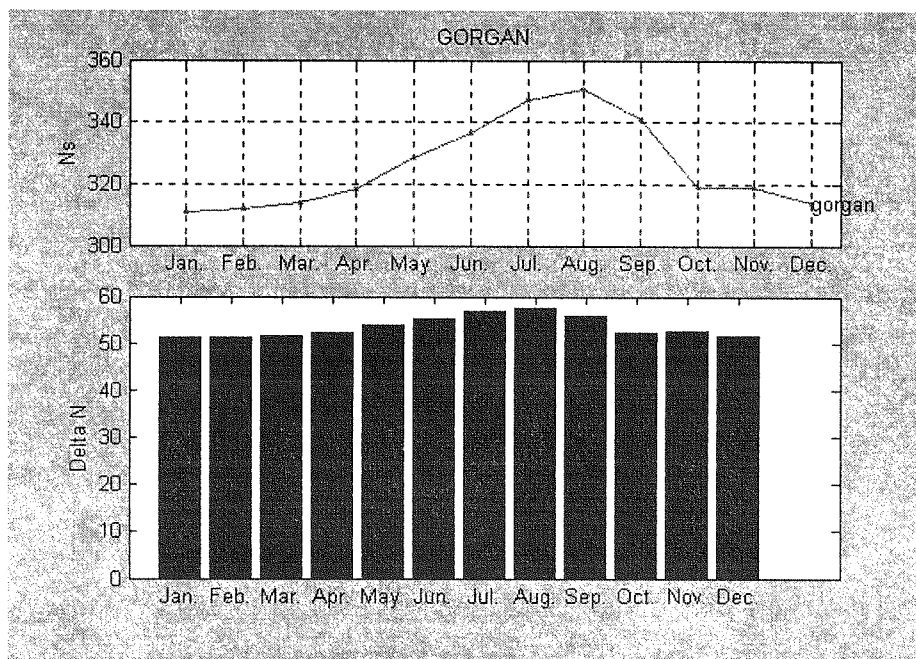
$$P(\langle \sigma_x^2 \rangle) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_\sigma \langle \sigma_x^2 \rangle} \exp\left(-\frac{(\text{Ln} \langle \sigma_x^2 \rangle - m_\sigma)^2}{2S_\sigma^2}\right) \quad (26)$$

رسیدن به تابع چگالی احتمال لوگ - نرمال برای ایران دور از انتظار نمی‌باشد زیرا تابع چگالی وابسته به واریانس سینتیلیشن و در نتیجه وابسته به ضریب انکسار است. از طرفی چنانچه می‌دانیم ضریب انکسار در سطح جهان به صورت نمایی مدل گردیده. همچنین با تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه ضریب انکسار در ایران توسط مراجع [۱۱]، [۱۲] و [۱۳] انجام پذیرفته است، مشاهده گردید که مدل ضریب انکسار در ایران هم‌نمائی است. بنابراین اگر تابع چگالی سینتیلیشن در دیگر نقاط دنیا به صورت لوگ - نرمال معرفی شده طبیعی است که در ایران هم لوگ - نرمال باشد [۱۴].

۵ - نتیجه گیری

بطوریکه مشاهده گردید در این مقاله به کمک دیتاهای اندازه‌گیری و برازش منحنی یک رابطه جامع برای محاسبه افت

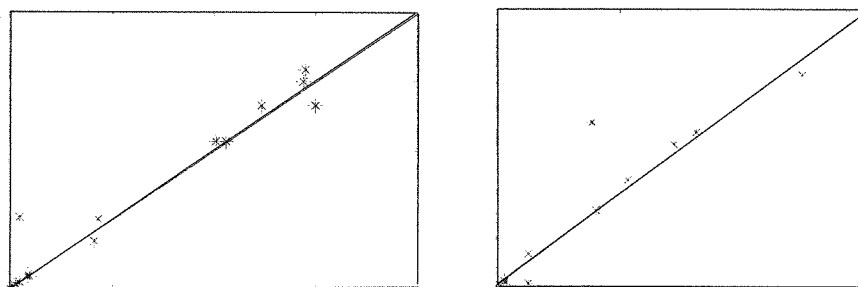
انتشار و واریانس سینتیلیشن بدست آوردیم. با توجه به این روابط می‌توان اظهار نمود که افت مسیر با لگاریتم واریانس سینتیلیشن و زاویه ارتفاع نسبت مستقیم دارد. در ادامه مقاله با کمک دیتاهای هواشناسی ضریب انکسار در ایران محاسبه و به کمک آن واریانس سینتیلیشن، انحراف از معیار و میانگین سینتیلیشن در ایران تخمین زده شد و از آنجا افت مسیر انتشار همراه با تابع چگالی احتمال، در شهرهای مختلف ایران حساب شد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که اولاً افت انتشار در باند فرکانسی Ka قابل اغماض نبوده، ثانیاً بهترین تابع چگالی احتمال برای بیان رفتار سینتیلیشن در ایران لوگ - نرمال می‌باشد.



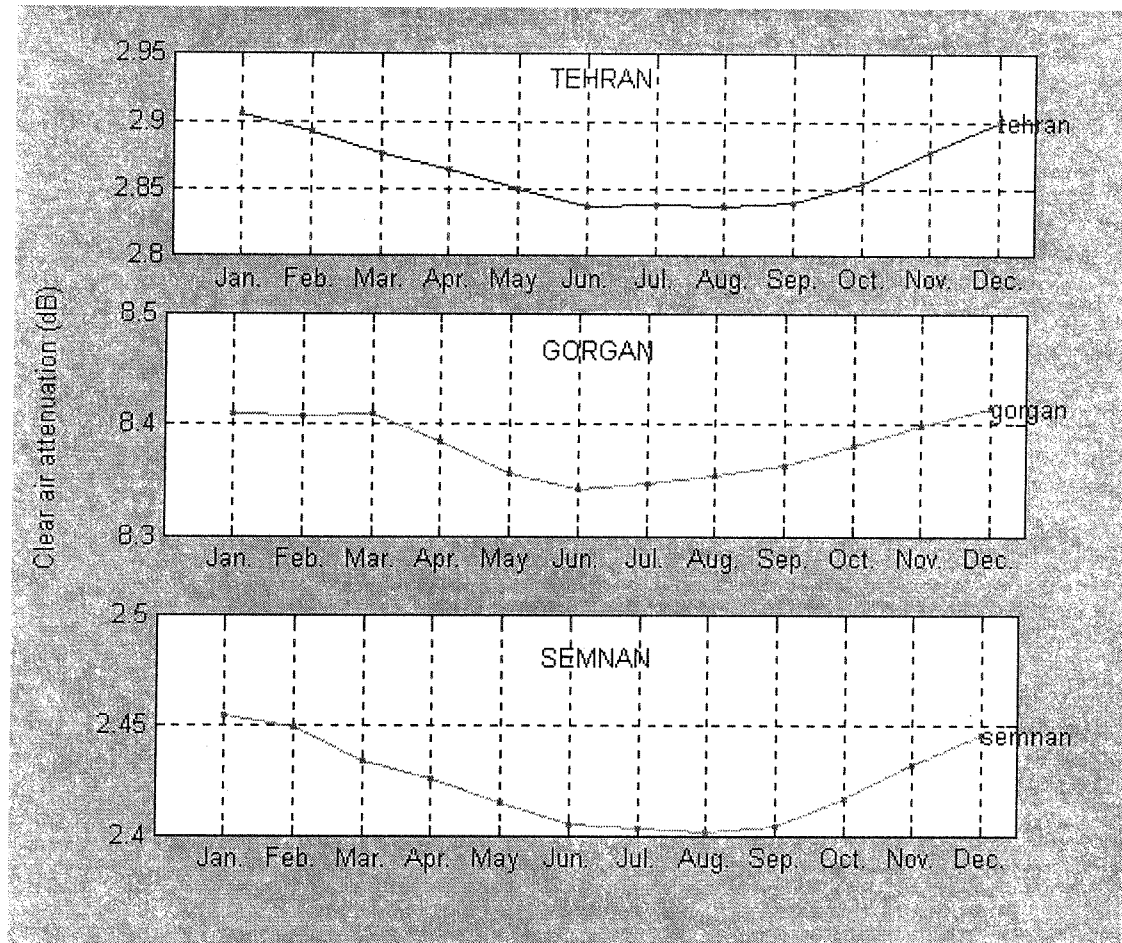
شکل (۱) ضریب شکست N .

جدول (۱) ضرایب a_0 و a_1 در فرکانسهای مورد نظر.

Freq.[GHz]	a_0	a_1	a_2	a_3	rmse[k]
13.0	90.4692	0.5776	0.1147	0.1562	1.938
23.8	48.2414	0.7549	0.1421	0.0441	2.135
31.6	67.4157	0.6662	0.1289	0.1487	1.961
50.2	116.6953	0.4933	0.0975	0.1273	1.924
13.0-50.2	56.0999	0.7075	0.1412	0.0796	3.613



شکل (۲) مقایسه بین مقادیر c_0 , c_1 محاسبه شده و اندازه‌گیری شده.



شکل (۳) افت مسیر انتشار برای تعدادی از شهرهای ایران.

جدول (۲) ضرایب b_0 و b_1 در فرکانسهای مورد نظر.

Freq.[GHz]	b_0	b_1	rmse[dB]	correlation
13.0	-0.0214	0.0122	0.001	0.997
23.8	-0.0895	0.0160	0.011	0.993
31.6	-0.0290	0.0140	0.004	0.999
50.2	0.3756	0.0158	0.041	0.909

جدول (۳) ضرایب c_0 و c_1 در فرکانسهای مورد نظر.

$\langle \ln(\sigma_x^2) \rangle$ at 18.7 GHz

Freq.[GHz]	c_0	c_1	rmse[dB]	correlation
13.0	0.1972	0.0132	0.008	0.852
18.7	0.8107	0.0816	0.043	0.879
23.8	2.4720	0.2581	0.138	0.879
31.6	0.9716	0.0841	0.047	0.868
50.2	2.9928	0.0626	0.078	0.619

$\langle \ln(\sigma_x^2) \rangle$ at 39.6 GHz

Freq.[GHz]	c_0	c_1	rmse[dB]	correlation
13.0	0.1787	0.0136	0.008	0.850
23.8	2.1094	0.2650	0.140	0.876
31.6	0.8537	0.0863	0.048	0.863
39.6	1.0681	0.0898	0.050	0.865
50.2	2.9056	0.0644	0.078	0.618

< $\ln(\sigma_x^2)$ > at 49.5 GHz

Freq.[GHz]	c_0	c_1	rmse[dB]	Correlation
13.0	0.1744	0.0136	0.008	0.848
23.8	2.0261	0.2651	0.141	0.874
31.6	0.8265	0.0864	0.048	0.863
49.6	2.4735	0.0680	0.083	0.616
50.2	2.8846	0.0643	0.079	0.616

جدول (۴) بررسی وابستگی ضریب c_1 به فرکانسهای f_i و f_j .

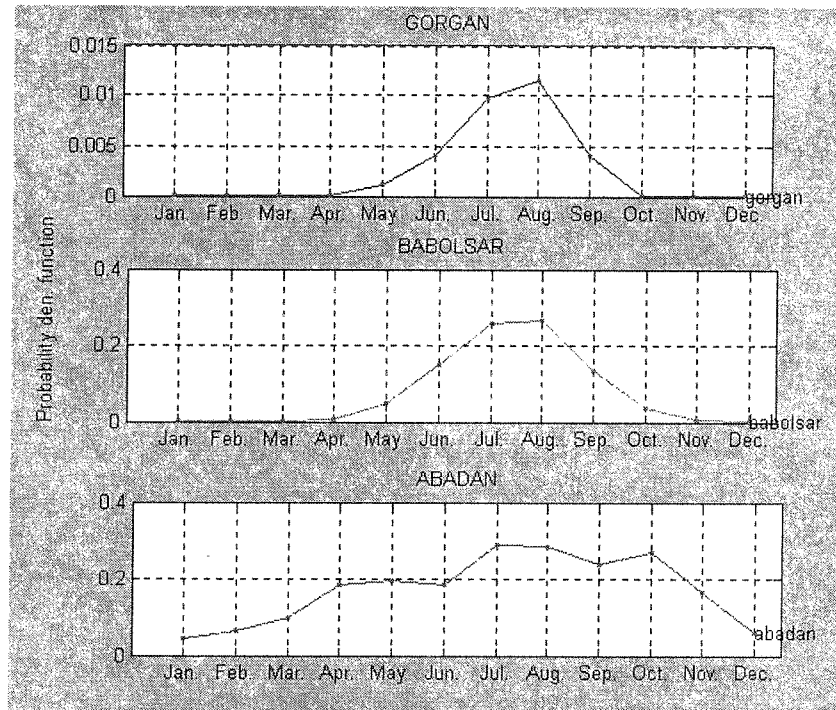
f_i GHz	GHz			ماکزیمم اختلاف c_1 برای f_j ثابت	
	f_j GHz	۱۸/۷	۳۹/۶		۴۹/۵
۱۳		۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۴
۲۳/۸		۰/۲۵۸۱	۰/۲۶۵۰	۰/۲۶۵۱	۰/۰۰۷
۳۱/۶		۰/۰۸۴۱	۰/۰۸۶۳	۰/۰۸۶۴	۰/۰۰۲۳
۵۰/۲		۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۴۳	۰/۰۰۱۷
ماکزیمم اختلاف c_1 برای f_i ثابت		۰/۲۴۴۹	۰/۲۵۱۴	۰/۲۵۱۵	

جدول (۵) بررسی وابستگی ضریب c_0 به فرکانسهای f_i و f_j .

f_i GHz	GHz			ماکزیمم اختلاف c_0 برای f_j ثابت	
	f_j GHz	۱۸/۷	۳۹/۶		۴۹/۵
۱۳		۰/۱۹۷۲	۰/۱۷۸۷	۰/۱۷۴۴	۰/۰۲۲۸
۲۳/۸		۲/۴۷۲۰	۲/۱۰۹۴	۲/۰۲۶۱	۰/۴۴۵۹
۳۱/۶		۰/۹۷۱۶	۰/۸۵۳۷	۰/۸۲۶۵	۰/۱۴۵۱
۵۰/۲		۲/۹۹۲۸	۲/۹۰۵۶	۲/۸۸۴۶	۰/۱۰۸۲
ماکزیمم اختلاف c_0 برای f_i ثابت		۲/۷۹۵۶	۲/۷۲۶۹	۲/۷۱۰۲	

جدول (۶) ضرایب روابط ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ خطای rms آنها.

پایه ساعتی						
equation	coef-0	coef-1	coef-2	coef-3	coef-4	rmse
19	-16.6602	0.1796	0.1192	-0.0018	-0.0007	1.6435N _p
20	-13.8732	0.0771	0.0875	-0.0014	-0.0005	1.6607N _p
پایه ماهیانه						
equation	coef-0	coef-1	coef-2	coef-3	coef-4	rmse
21	1022.5	42.0000	0.7	-0.2	0.0	753.6m
22	871.3157	52.8218	-1.4805	0.0766	-0.0468	751.5672m



شکل (۴) تابع چگالی احتمال برای تعدادی از شهرهای ایران.

مراجع

- [1] A.H. Mohammadian and T.Akayama, "Analysis of radio refractivity near the ground in Iran", Electrical engineering conf., Shiraz University, PP. 589-601, 1975.
- [2] F.S. Marzano and G.d'Auria, "Model-Based Prediction of amplitude Scintillation variance due to clear air tropospheric turbulence on earth - satellite Links.", IEEE Trans. on Antennas and propagation . Vol. 46 , No. 10 , October 1998.
- [3] A. Vandervorst , D. vanhoenacker and L. Mercier, "Fluctuations on OTS - earth co-polar Link against diurnal and seasonal variation ", Electron. Lett. , Vol.- 18, 1982.
- [4] E. Matricciani, M. Mauri and C. Riva , " Relationship between Scintillation and Rain attenuation at 19.77 GHz," Radio sci., Vol.- 31 , 1996.
- [5] F.S. Marzano and C.Riva , " Evidence of Long Term correlation between clear air attenuation and Scintillation in microwave and Millimeter-wave Satellite Links " IEEE Trans. on Antenna and propagation . , Vol. - 47 , No. 12 , Dec. 1999.
- [6] Y. Karasawa el at , "A new prediction method for tropospheric Scintillation on air space path ", IEEE Trans. on Antenna and propagation, Vol.- 36 , PP. 1608-1614 , Nov. 1988.
- [7] J. Haddon and E.Vilar, " Scattering induced microwave Scintillation from clear air and rain on earth space paths and influence of antenna aperture ", IEEE Trans. On Antenna and propagation . , Vol.- 34 , PP 646-657 , May. 1986.
- [8] B. Belloul el at, "Prediction of Scintillation intensity from sky noise temperature in earth satellite links ", electr Letter., Vol.- 34 , PP 1023-1024, 1998.
- [9] F.S. Marzano and G.d' Auria , " Estimation of intermittent Scintillation on microwave Links from meteorological data ", Alta Frequenza , Vol.-6 , No.6 1994.
- [10] V.I. Tatarskii , "wave propagation in a Turbulent medium", New York . Mc Graw - Hill , 1961.
- [۱۱] ر. صراف شیرازی " محاسبه ضریب انکسار در ایران "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده برق، سال ۱۳۷۲.
- [۱۲] ا. قربانی " بررسی انتشار امواج با توجه به آب و هوای ایران "، وزارت پست و تلگراف و تلفن، سال ۱۳۷۳.
- [۱۳] ا. قربانی " مدل نمودن انتشار امواج در باند فرکانسی Ka "، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، سال ۱۳۸۰.
- [۱۴] ر.رادپور " مدل نمودن واریانس سینتیلیشن در لینکهای ماهواره‌های در باند Ka. "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده برق، سال ۱۳۸۰.