

## دراسة وتحليل الخفوت التربوسفيري متعدد المسارات لخط اتصال ميكروي في سوريا

الدكتور علي ديب\*

الدكتور عدي علي\*\*

عبد الكريم علي المخرفي\*\*\*

(تاريخ الإيداع 23 / 3 / 2009. قُبل للنشر في 21/6/2009)

### □ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة وتحليل الخفوت التربوسفيري متعدد المسارات لخط اتصال ميكروي في سوريا، حيث يعتبر الخفوت التربوسفيري متعدد المسارات السبب الرئيسي في انخفاض مستوى عمل نظام النقل لخط الاتصال الميكروي (Line of sight)، لذلك فإن الهدف الأساسي من دراسة الانتشار التربوسفيري في هذا البحث هو الحصول على التوقع التحليلي المبني على معطيات إحصائية لآلية الانتشار عبر طبقة التربوسفير، والتنبؤ بأداء خط الاتصال الميكروي خلال تلك المنطقة.

سجلات عدة بارامترات مثل درجة الحرارة والرطوبة والضغط في منطقة شبه مدنية (في محافظة حمص - سوريا) من خلال معهد الأرصاد الجوية بمعدل من ثلاث إلى ثماني مرات يومياً، وتم اختيار المعطيات الخاصة بالسنوات الثلاث (2005, 2006, 2007).

يمكن بمعرفة الحالات الجوية السابقة تحديد عامل الانكسار لطبقة التربوسفير في تلك المنطقة، ومن ثم إنشاء نموذج رياضي برمجي لحساب البارامترات الخاصة بتعدد المسارات لعدة خطوط اتصال ميكروية مقترحة، ودراسة خصائص كل من هذه الخطوط للحصول على الخط الأفضل أداءً والأقل تأثيراً بظاهرة الخفوت الناتجة عن تعدد المسارات التربوسفيرية.

**الكلمات المفتاحية:** المسارات المتعددة، خط الاتصال المباشر، طبقة التربوسفير المضطربة (الشاذة).

\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الالكترونية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.

\*\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الالكترونية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة الالكترونية - فرع الاتصالات - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.

## A Study of Refractive Multipath Fading on Microwave LOS in Syria

Dr. A. Deeb \*  
Dr. O. Ali \*\*  
A. Al-Makhrafi \*\*\*

(Received 23 / 3 / 2009. Accepted 21 / 6 / 2009)

### □ ABSTRACT □

This paper presented the study of refractive multipath fading on microwave link in Syria, where refractive multipath fading is recognized as the dominant mechanism of system degradation on MLOS (Microwave Line Of Sight) links. Therefore the objectives of the proposed propagation study in this paper are to obtain quantitative estimates describing the possible propagation mechanisms through a tropospheric region, and to predict the performance of proposed MLOS links in that region.

Various measurements on temperature, relative humidity, and pressure are recorded for a humid region (Homs), and supplied by meteorological department in Syria. The data is based on daily measurements ranging from 3 to 8 readings with a collection period of 3 years (2005, 06, 07).

Knowing the meteorological conditions, the profile of refractivity is first determined in that region. The mathematical model of the propagation channel is then generated to calculate the multipath parameters. Different link parameters and configurations are also proposed, and the performance of each is analyzed. Consequently, the optimum link parameters and configuration are recommended.

**Keywords:** Multipath fading, Line-of-Sight, Refractivity layer.

---

\* Associate Professor, Faculty of Electronic Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering.

\*\* Associate Professor, Faculty of Electronic Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering.

\*\*\*postgraduate Student, Faculty of Electronic Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering.

**مقدمة:**

ترحل الأمواج نتيجةً للتغيرات غير المنتظمة لخصائص وسط الانتشار (التربوسفير) سوف بمسارات مختلفة ويؤدي هذا إلى حصول تداخل بين تلك الأمواج عند المستقبل، وهذا بدوره يعني أن قيم شدة الحقل ستعاني من الخفوت.

يمكن أن يكون الخفوت نتيجة لتعدد المسارات أو نتيجة لامتناس الإشارات في وسط الانتشار، أو من الضياعات الناتجة عن التبعثر والانكسار، ولكن الخفوت الناتج عن تعدد المسارات يعتبر من أكثر أنواع الخفوت خطورة على أداء خط الاتصال الميكروي، وهو (تعدد المسارات) وينتج بشكل أساسي من تغير شكل انحناء الأمواج في طبقة التروبوسفير.

يوجد عدة نماذج تحليلية وتجريبية لدراسة آلية تعدد المسارات والخفوت الناتج عنه [1,2,3]، يعالج النموذج الرياضي المقدم في المرجع [1] حالة خاصة يكون فيها كلا الهوائيين متساويي الارتفاع، أما في المرجع [2] فيأخذ النموذج بعين الاعتبار انحناء سطح الأرض، ولكن عند بارامترات محددة لخط الاتصال. سوف نعمم في هذا البحث النموذج [4] ليشمل أي شكل من أشكال خطوط الاتصال الميكروية وذات البارامترات المختلفة، حيث تعتمد هذه الدراسة على المعطيات التي تم الحصول عليها من معهد الأرصاد الجوية في الجمهورية العربية السورية لكل من درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط الجوي لمنطقة حمص. حسبت تغيرات عامل (قرينة) الانكسار لطبقة التروبوسفير تبعاً للارتفاع، وعدد المسارات التي يمكن أن تعبرها الأمواج للوصول إلى المستقبل، ومن ثم اختيار خط الاتصال الأقل خفوتاً.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تكمن أهمية البحث في دراسة النموذج الرياضي لتعدد المسارات، وبناء بيئة برمجية قادرة على إعطاء تصور عن المشاكل وبالتالي إيجاد الحلول المناسبة لخط الاتصال الميكروي الذي يعاني من الخفوت متعدد المسارات، وتطبيق هذا النموذج البرمجي على قياسات عملية في منطقة حمص.

**طرائق البحث ومواده:**

تقوم طريقة البحث على دراسة وتحليل الخفوت التروبوسفيري متعدد المسارات لخط اتصال ميكروي في سوريا، حيث تعتمد هذه الدراسة على المعطيات التي تم الحصول عليها من معهد الأرصاد الجوية في الجمهورية العربية السورية لكل من درجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي لمنطقة حمص، تتلخص طريقة البحث بالنقاط التالية:

- 1- دراسة النموذج الرياضي الذي يصف تأثير تعدد المسارات على خط الاتصال الميكروي بحالاته العامة علماً أن خوارزميات هذا النموذج موضحة بشكل تفصيلي في المرجعين [1,4].
- 2- اخذ قياسات لكل من درجة الحرارة والضغط والرطوبة لطبقة التروبوسفير في منطقة حمص . سوريا.
- 3- تطبيق النموذج الرياضي البرمجي بلغة الماتلاب (Matlab) على القياسات العملية وحساب مسارات الانتشار وخفوت الإشارة وعلاقته بالتردد.

**النتائج والمناقشة:**

## حساب عامل (قرينة) الانكسار:

بالاعتماد على القراءات المسجلة بمعدل من 3 إلى 8 قراءات يومياً على مدار ثلاث سنوات (2005,2006,2007) تم الحصول على درجة الحرارة  $t(c^0)$ ، والرطوبة النسبية %  $H_r$ ، والضغط  $p(mb)$  كما هو مبين في الجداول (1)،(2)،(3) على التوالي:

الجدول (1) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة  $T(c^0)$ .

كانون 1	تشرين 2	تشرين 1	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون 2	
5.7	12.2	22.3	26.2	26.2	24.9	23.8	21.4	17.7	11.3	8.3	9.5	2005
6.4	10.4	18.8	23.8	26.2	25.4	24.7	20.8	14.5	11.5	9.4	8.0	2006
10.5	12.7	18.2	23.8	26.3	26.5	24.4	21.6	13.7	10.8	8.7	6.5	2007
7.53	11.7	19.76	24.6	26.23	25.6	24.3	21.66	15.3	11.2	8.8	8	المتوسط

الجدول (2) المتوسط الشهري للرطوبة  $H_r$  %.

كانون 1	تشرين 2	تشرين 1	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون 2	
89	82	60	57	61	63	54	55	60	78	79	83	2005
86	73	62	62	61	61	56	59	67	74	78	86	2006
87	73	68	61	62	60	53	58	72	80	81	89	2007
87.3	76	63.3	60	61.3	61.33	54.33	57.33	66.3	77.3	79.3	86	المتوسط

الجدول (3) المتوسط الشهري للضغط  $P(mb)$ .

كانون 1	تشرين 2	تشرين 1	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون 2	
962.5	957.0	958.2	954.4	950.2	948.8	951.9	954.5	955.7	957.1	958.7	958.9	2005
963.2	960.2	958.3	954.7	950.9	948.8	952.7	955.3	955.1	957.9	959.2	962.3	2006
960.5	962.4	958.2	954.6	951.5	950.3	952.8	954.0	955.8	954.1	957.1	958.3	2007
962.0	959.8	958.2	954.5	950.8	949.3	952.4	954.6	955.5	956.3	958.3	959.8	المتوسط

يمكن حساب عامل الانكسار  $N$  من خلال العلاقة التالية [5]:

$$N = (n-1) \times 10^6 = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1)$$

$$e = \frac{H_r}{100} \left[ 6.1121 \exp \left( \frac{17.502t}{t+240.97} \right) \right] \quad (2)$$

يدل الحد الأول من الطرف اليميني للعلاقة (1) على عامل الجفاف (Dry Term (DT))، الحد الثاني من نفس الطرف يدل على عامل الرطوبة (Wet Term (WT)).

ففي المناطق الحارة والمأهولة تكون تغيرات WT كبيرة كما هو الحال في المنطقة المدروسة في هذا البحث، يبين الشكل (1) التغيرات الشهرية لعامل الانكسار  $N$  حيث أن القيم العظمى لهذا العامل ( $N_{\max} = 335$ ) كانت خلال أشهر الصيف (تموز، آب، أيلول)، والقيم الصغرى ( $N_{\min} = 305$ ) كانت خلال أشهر الشتاء (كانون أول، كانون ثاني، شباط).

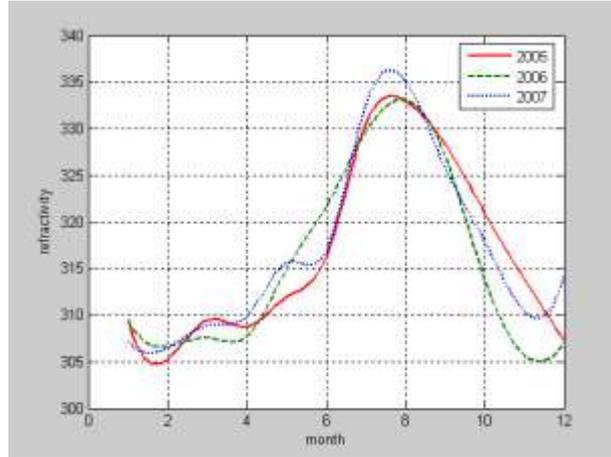
وقد حسب عامل الانكسار المعدل من العلاقة التالية:

$$M(z) = N(z) + \left(\frac{Z}{a}\right) \times 10^6 \quad (3)$$

حيث إن:

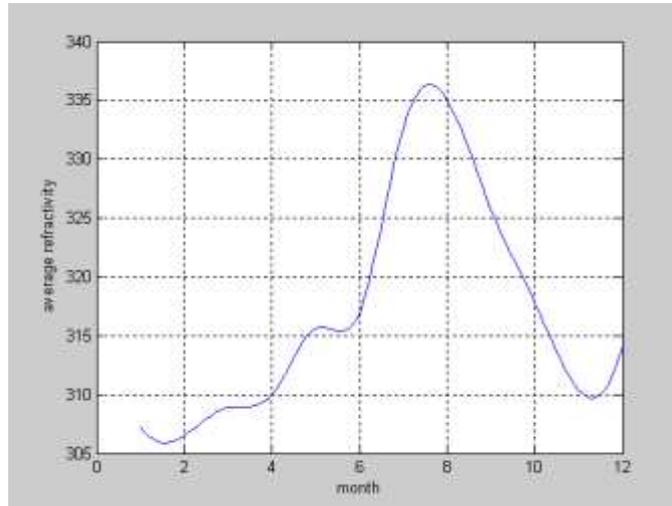
$a$ : نصف قطر الأرض ويساوي  $a = 6372.75 \text{ km}$ .

$Z$ : الارتفاع عن سطح الأرض.



الشكل (1) التغيرات الشهرية لعامل الانكسار  $N$ .

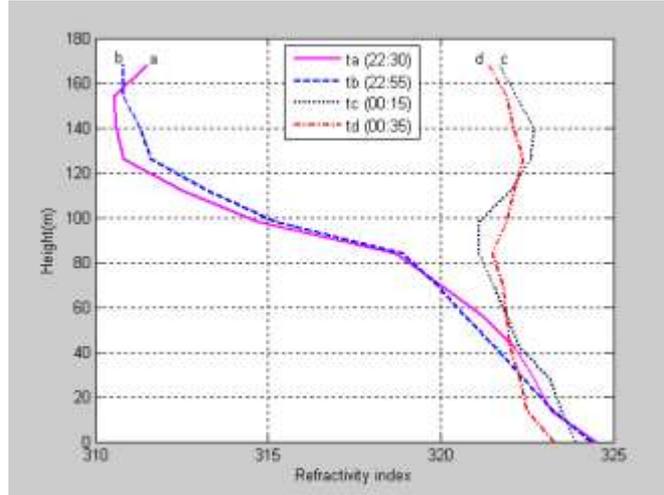
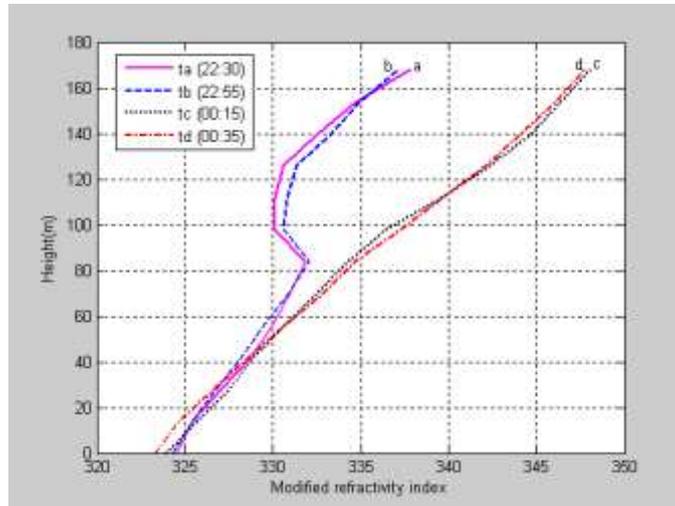
ويبين الشكل (2) المتوسط الشهري لعامل الانكسار للأعوام الثلاثة المذكورة سابقاً.



الشكل (2) عامل الانكسار المتوسط.

لوحظ خلال عمليات قياس درجات الحرارة باستخدام البالون أن هناك حالات غير طبيعية تحدث بشكل متكرر عند ساعات الليل من أشهر الربيع، حيث تبدأ درجات الحرارة بالازدياد تبعاً للارتفاع، وتم رسم كل من عامل الانكسار  $N$ ، عامل الانكسار المعدل  $M$  كما هو مبين في الشكلين (3)، (4) وذلك عند أربع عينات أخذت في الأوقات التالية: الساعة:  $t_a = 22.30$  والساعة:  $t_b = 22.55$  من يوم 25 أيار.

الساعة:  $t_c = 00.15$  والساعة:  $t_d = 00.35$  من يوم 26 أيار.

الشكل (3) عامل الانكسار N عند التوقيتات  $(t_a, t_b, t_c, t_d)$ .الشكل (4) عامل الانكسار المعدل M عند التوقيتات  $(t_a, t_b, t_c, t_d)$ .

تبين أن المنطقة الشاذة تحدث عند ارتفاع  $Z = 84m$  ويكون تغير عامل الانكسار مع الارتفاع الارتفاع لوجود بحيرة ومعمل للأسمدة في تلك المنطقة.

بالحصول على منحنيات M (تغيرات عامل الانكسار مع الارتفاع) لتلك المنطقة أصبح بالإمكان دراسة خصائص أشعة الانتشار متعددة المسارات لخط اتصال ميكروي (LOS) في تلك المنطقة بالاعتماد على النموذج التحليلي الذي سيتم استعراضه في الفقرة التالية.

**النموذج التحليلي لتعدد المسارات التريوسفيرية:**

يمكن تقريب منحنى شعاع الانتشار الموجي إلى قوس من دائرة نصف قطرها R مع المحافظة على ارتباط هذا الانحناء بمنحنى الأرض، ولذلك عندما يكون منحنى الأرض مسطحاً يصبح نصف قطر منحنى الشعاع كما يلي

: [6]

$$R|_{km} = \frac{10^6}{\left[ -\frac{dM}{dZ} \right]_{N/km}} \quad (4)$$

عند العمل على التريوسفير النظامي؛ أي أن تغيرات عامل الانكسار المعدل  $M$  مع الارتفاع يكون موجباً فإن منحنى شعاع الانتشار يكون مقعراً باتجاه الأعلى، وينصف قطر  $R = R_f = 8500km$ ، وعندما يصبح التريوسفير غير نظامي؛ أي أن تغيرات عامل الانكسار المعدل  $M$  مع الارتفاع يكون سالباً، فإن منحنى شعاع الانتشار يكون مقعراً باتجاه الأسفل وينصف قطر  $R$ .

يمكن حساب زمن التأخير للإشارة تبعاً للمسار الذي تسلكه، وذلك من خلال العلاقة التالية:

$$\tau = \frac{1}{c} \int_{s_1}^{s_2} m ds \quad (5)$$

حيث إن:

$ds = R d\theta$  : طول القوس الجزئي.

$m$ : عامل الانكسار المعدل.

$c$ : سرعة الضوء.

كما يمكن حساب عامل الاستطاعة PF الذي يمثل نسبة الإشارة المستقبلية إلى الإشارة المرسلية بالعلاقة

التالية:

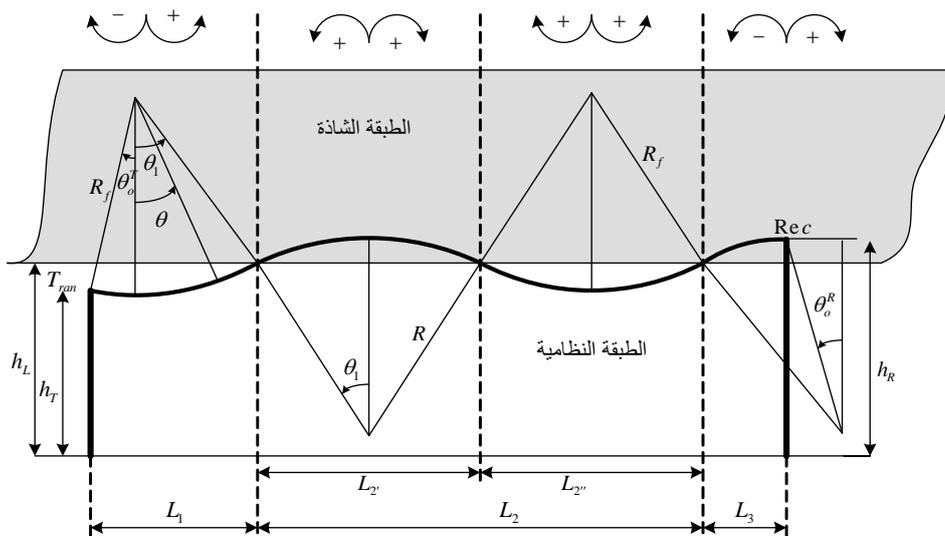
$$PF = \frac{\cos \theta_t}{L \sin \theta_r} \frac{d\theta_t}{dL} \quad (6)$$

حيث إن:

$L$  : المسافة بين المرسل والمستقبل.

$\theta_t$  : زاوية الإرسال.

$\theta_r$  : زاوية الاستقبال.



الشكل (5) المخطط الهندسي لخط اتصال ميكروي فيه أحد الهوائيات ضمن المنطقة الشاذة والآخر تحتها.

يبين الشكل (5) خط اتصال ميكروي بحيث يقع هوائي الإرسال تحت المنطقة الشاذة من التريوسفير ويقع هوائي الاستقبال ضمن هذه المنطقة، لحساب زمن التأخير للإشارة يمكن تطبيق التكامل في العلاقة (5) على كل جزء من أجزاء مسار الانتشار (خارج المنطقة الشاذة ودخلها):

$$\tau = \frac{R}{c} [\theta_r (1 + \cos \theta_r) - \sin \theta_r] - \frac{R_f}{c} [\theta_t (1 + \cos \theta_t) - \sin \theta_t] + (2n+1) \frac{R+R_f}{c} [\theta_1 (1 + \cos \theta_1) - \sin \theta_1] \quad (7)$$

ويتطبيق المحل الهندسي لهذا الخط في العلاقة (6) نحصل على عامل الاستطاعة كما يلي:

$$PF = - \left( \frac{R}{LR_f K_r} \right) \left( \frac{\partial K_t}{\partial L} + \frac{K_t}{L} \right) \quad (8)$$

حيث إن:

$$\frac{\partial K_t}{\partial L} = \frac{4\rho^2 K_r C_n (A+S) - 2A \left( \frac{K_t}{2} - 1 \right)}{L(8\rho^2 C_n K_c K_t - \varphi_0)}$$

$$K_r = \frac{2R \sin \theta_r}{L}, K_t = -\frac{2R_f \sin \theta_t}{L}$$

$$A, S = \frac{8R_f}{L^2} [h_t - h_r \pm \rho(h_r - h_t)]$$

$$C_n = \frac{(2n+1)^2 (R+R_f)^2}{8R_f^2}$$

$$\varphi_n = -\frac{A}{2} + 2C_n (A-s)$$

$$\rho = \frac{R_f}{R}$$

ويمكن إيجاد كل من زاوية الإرسال والاستقبال بحل جملة المعادلتين التاليتين:

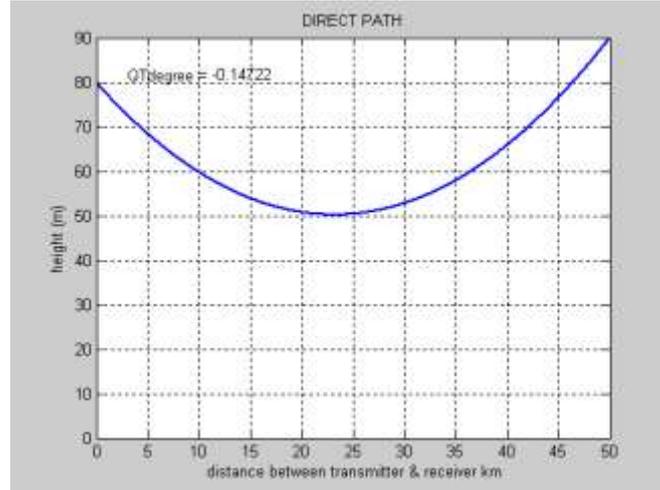
$$K_r^2 \rho^2 - K_t^2 = A \quad (9)$$

$$K_r^2 \rho^2 - \frac{1}{C_n} \left( \frac{K_r + K_t}{2} - 1 \right)^2 + K_t^2 = -S \quad (10)$$

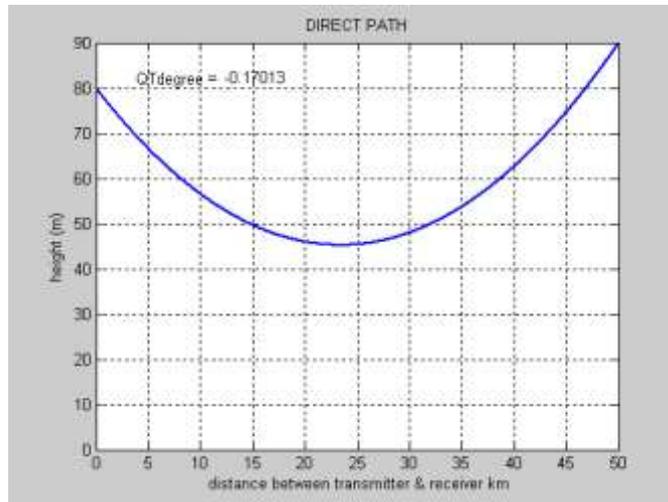
**حساب خط الاتصال الميكروي في سوريا (حمص):**

طبق النموذج التحليلي السابق لبناء خط اتصال ميكروي في منطقة شبه مدنية في حمص (سوريا)، بحيث يقترح أن يؤمن هذا الخط الاتصال على مسافة 50km، وارتفاع هوائي الإرسال  $h_t = 80m$ ، وارتفاع هوائي الاستقبال  $h_r = 90m$ ، وريخ الهوائيات  $G = 36dB$ ، وعرض حزمة الإشعاع  $\theta = 2.64^\circ$ ، وتردد العمل  $f = 4.6GHz$ .

ويلاحظ بدراسة الخفوت متعدد المسارات في التوقيتات  $(t_a, t_b, t_c, t_d)$  أنه عند التوقيتين  $(t_c, t_d)$  تكون تغيرات عامل الانكسار المعدل نظامية (حوالي -46 عند التوقيت  $t_c$  و حوالي -30 عند التوقيت  $t_d$ )، وبالتالي يتوقع أن يكون هناك مسار واحد للموجة، وهذا هو بالفعل ما تم الحصول عليه، حيث يبين الشكلان (6)، (7) مسار انتشار الموجة عند هذه التوقيتات، ويظهر الاختلاف في تقعر منحنى المسار نتيجة لتأثره بتغير عامل الانكسار (من -46 إلى -30).

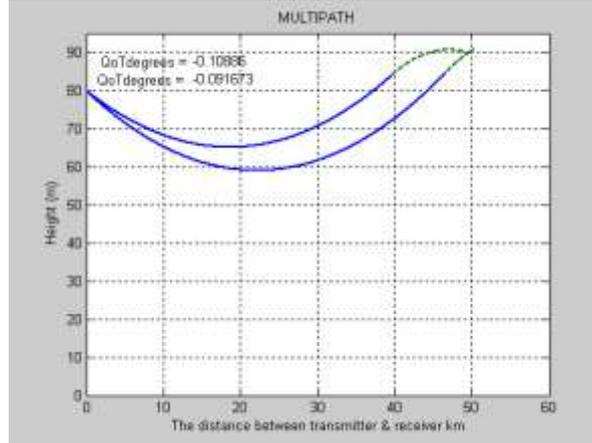


الشكل (6) المسار المباشر للإشعاع عند التوقيت  $t_c$ .

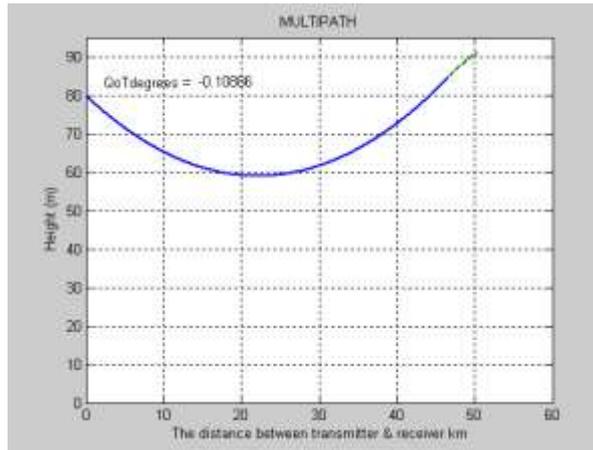


الشكل (7) المسار المباشر للإشعاع عند التوقيت  $t_d$ .

أما في الأوقات  $(t_a, t_b)$  فتكون تغيرات عامل الانكسار المعدل غير نظامية، وبالتالي يوجد منطقة شاذة (غير نظامية) في طبقة التروبوسفير على ارتفاع 84m ولذلك يتوقع حصول تعدد للمسارات، ويرسم مسارات الأشعة وجد أنه في التوقيت  $t_a$  (الذي يكون فيه عامل الانكسار للطبقة النظامية 71- وللطبقة غير النظامية 400-) يوجد مساران للإشارة أحدهما عند زاوية إرسال  $\theta_i = -0.1088^0$  وأقل ارتفاع له هو 59m ، والثاني عند زاوية إرسال  $\theta_i = -0.09167^0$  وأقل ارتفاع له هو 65m، كما هو مبين في الشكل (8). تدل إشارة السالب للزاوية على أن تقع المسار باتجاه الأعلى عند المرسل الذي يقع في المنطقة النظامية، ويلاحظ من الشكل أن تقع المسار ضمن المنطقة الشاذة يكون باتجاه الأسفل.

الشكل (8) تعدد المسارات للإشعاع عند التوقيت  $t_a$ .

أما عند التوقيت  $t_b$  (الذي يكون فيه عامل الانكسار للطبقة النظامية 71- وللطبقة غير النظامية -370) فإن عدد المسارات التي تصل إلى المستقبل هي مسار واحد حيث يسلك (يمر) ضمن المنطقتين النظامية والشاذة، كما هو مبين في الشكل (9).

الشكل (9) مسار الإشعاع عند التوقيت  $t_b$ .

يرتبط الخفوت متعدد المسارات بالتردد حيث يتعلق مطال الإشارة المستقبلية بالتردد بالعلاقة التالية:

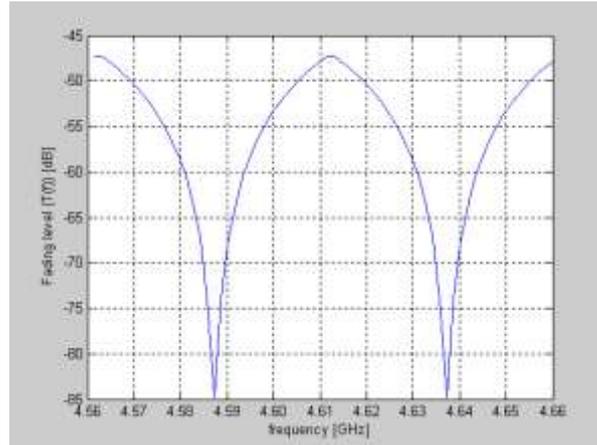
$$T(f) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \exp(-j2\pi f \tau_i) \quad (11)$$

حيث أن:

$\alpha = \sqrt{PF}$  : هو التخامد الناتج عن المسار  $i$ .

$\tau_i$  : هو التأخير الزمني للمسار  $i$ .

وبحساب مستوى الخفوت  $|T(f)|$  للشعاعين المبينين في الشكل (8) نجد أن عرض المجال الترددي للخفوت عند مستوى -3dB هو 0.8MHz وإن أقل مستوى للخفوت يحدث عند التردد  $f=4.588\text{GHz}$  والتردد  $f=4.638\text{GHz}$  كما هو مبين في الشكل (10).



الشكل (10) علاقة الخفوت مع التردد.

### الاستنتاجات والتوصيات:

من النتائج والقياسات التي تم الحصول عليها لطبيعة الطقس في منطقة حمص تبين إمكانية حصول منطقة شاذة في طبقة التريوسفير وهذا يؤدي إلى حصول خفوت متعدد المسارات لخط الاتصال في تلك المنطقة في بعض الأوقات.

الدراسة والبرامج التي استخدمت تمكن المصممين من اختيار البارامترات الأفضل لتلافي تأثير المناطق الشاذة المختلفة الخصائص والارتفاعات على خط الاتصال.

تم تطبيق الدراسة على القياسات العملية وأعطت تصوراً عن المشاكل التي يعاني منها خط الاتصال نتيجة تعدد المسارات وارتباط ذلك بالتردد.

تمت الدراسة على فرضية أنه لا يوجد تأثير للانعكاس عن سطح الأرض؛ أي أن العمل يتم بعيداً عن منطقة فرينل الأولى، يقترح إدخال عامل الانعكاس عن الأرض واعتباره عاملاً متغيراً.

### المراجع:

- 1- PIEKERING, L.W. ; DEROSA, J. "Refractive multipath model for line-of-sight microwave relay links". Vol.com-27, No.8, August 1979.
- 2- PETER, J. "Wave propagation through vegetation at 3.1GHz and 5.8GHz". Lund Sweden, February 2001.
- 3- SIZUN, H. "Radio wave propagation for telecommunication applications". Hard back, 2005.
- 4- MAHMOUD, S. F. ; BOGHDADI, H. N. ; El-SAYED, O. L. " A theoretical model for multipath fading on line of sight propagation". 3<sup>rd</sup> NRSC, Cairo- Egypt, 1985, 320-334.

5. ديب علي، "انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية". أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية، حلب، 2008.

6. علي عدي، "انتشار الأمواج اللاسلكية". أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية ، حلب، 2008.

