

## تقييم إمكانية زيادة سعة القناة التريوسفيرية باستخدام تقنية MIMO

م. نواعم مسلم<sup>(1)</sup>

أ. د. م. عادل خضور علي<sup>(2)</sup>

### الملخص

توفر الاتصالات التريوسفيرية حلاً مناسباً للاتصالات التي لا يتوفر بها خط نظر، لأنها تؤمن اتصالات موثوقة وعالية المعدل البتي. إن الهدف الرئيس من هذا البحث هو تحقيق معدل نقل معطيات عالٍ في قناة تريوسفيرية تعاني من التبعثر وخسارة عالية بسبب ضياع المسار الطويل، وقد اقترحنا استخدام تقنية MIMO مع خفض عرض حزمة الإشعاع للهوائيات العاكسة المستخدمة التي توفر ربحاً عالياً وزمن تأخير انتشار وضياع مسار أقل، مع الأخذ بالحسبان شروط الغلاف الجوي وعدم التجانس والاختلافات الزمنية للقناة. يقدم هذا البحث دراسة تحليلية للقناة التريوسفيرية باستخدام تقنية MIMO بهدف زيادة سعتها، وإيجاد معدل نقل البيانات في القناة التريوسفيرية تبعاً لتغير نسبة الإشارة إلى الضجيج وعدد الهوائيات المستخدمة، أظهرت نتائج المحاكاة التي أجريناها بواسطة الماتلاب أن سعة القناة تزداد بمقدار الضعف تقريباً مع زيادة SNR وزيادة عدد عناصر الهوائيات مقارنة مع أنظمة الاتصالات التريوسفيرية بهوائي واحد.

**الكلمات المفتاحية:** القناة التريوسفيرية، التبعثر التريوسفيري troposcattering، سعة القناة، محاكاة قناة MIMO، معدل نقل البيانات الأعظمي.

(1) أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة نواعم مسلم بإشراف الأستاذ الدكتور عادل خضور علي.

(2) أستاذ في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

## **Evaluated possibility of increasing the capacity channel using MIMO technology**

**Eng. Nawaem mssalem<sup>(1)</sup>**

**Dr. Adel Khadour Ali<sup>(2)</sup>**

### **Abstract**

Tropospheric communications provide a good solution alternative for beyond- Line-of –Sight (b-LoS) communication because it can provide reliable high data rate applications, therefore, the main target of this research is to achieve a high transfer data rate in tropospheric channel.

She is suffer from high path losses, they are all due the high path length and scattering and, we have proposed to use MIMO technology with lowering the radiation beamwidth of the used reflecting antennas that provide high gain and spread delay time and less path loss, taking into account the conditions of the non-homogeneities and the time differences of the channel.

This research provides an analytical study of the tropospheric channel using the MIMO technology to increase its capacity, and finding the transmission data rate of in the tropospheric channel according to signal to noise ratio changes and the number of the antennas is used.

the simulation results we had with the Matlab showed that for maximum data rate is almost twice with the increasing the signal to noise ratio, and the increasing in the number of the antenna elements of the compared with a tropospheric communications systems using one antenna.

**Keywords:** Channel Tropospheric, Troposcattering, Channel Capacity, Channel Simulation MIMO, Maximum data rate.

---

<sup>(1)</sup> Master, Communication Technology Engineering Department, Information and Communication Technology Engineering , Damascus University, Syria.

<sup>(2)</sup> Dr. Adel Khadour Ali, professor in the Department of Electronics and Communications Engineering-faculty of Mechanical and electrical Engineering – Damascus University, Syria.

## المقدمة:

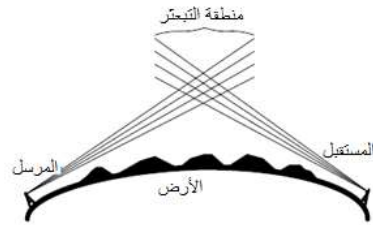
أجهزة الاتصالات (مرسل- مستقبل)، بالإضافة إلى استخدام تقنيات MIMO [3] [4].

## دراسات مرجعية:

استخدم G. Roda, [5],[6] الأساليب الاحصائية للتنبؤ السنوي بالوصلات التريوسفيرية، ولكن هذه الأساليب غير كافية لنمذجة التغيرات السريعة في القناة، لذلك توجد دراسات تحليلية لطيف الاستطاعة الترددي المؤخر للوصلات التريوسفيرية التي تخضع لتوزيع رايلي [7]، ولكن بقيت هذه النماذج غير كافية بسبب الطبيعة المعقدة للاضطرابات الجوية، لأن مقطع التبعثر في هذه النماذج يعتمد فقط على زاوية التبعثر، لذا استخدمت تقنية الشعاع الأساسي للتنبؤ باستطاعة الإشارة المستقبلية والاختلافات في الاضطرابات الجوية على نمط غالموغروف kolmogorov باستخدام تقريب مبعثر رايلي [8]، [9]. إن التغيرات في حجم التبعثر العام تؤخذ بعين الاعتبار باستخدام عامل الانكسار للهواء، الذي يشتق من كثافة بخار الماء (الرطوبة) والحرارة.

استخدمت أيضاً هندسة القناة التريوسفيرية لتحليل تقنيات التنوع (الفراغي- الترددي- الزاوي) ومزيج من تقنيات التنوع وقد طور نموذج RSM (Ring Scatter Model) لتحقيق الريح المرجو من استخدام تقنية MIMO بتشكيلة (2×2)، من أجل زيادة معدل نقل المعطيات الأعظمي و تحقيق موثوقية عالية وزيادة للكفاءة الطيفية، وقد تم تحديد علاقات ارتباط الخفوت عن طريق تجارب قناة السبر المرتفعة الكلفة نظراً لمتطلبات مضخمات الاستطاعة والهوائيات الكبيرة، ووجد بأن التنوع الفراغي يعطي أداء أفضل من التنوع الترددي والزاوي، وباستخدام التنوع (الفراغي- الترددي) يمكن أن يزداد معدل نقل المعطيات بمقدار 10% مقارنة مع التنوع الفراغي أو التنوع الترددي، كما أنه يعد طريقة أكثر اقتصادية مقارنة مع التنوع الزاوي [9].

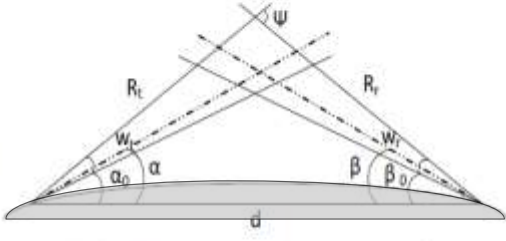
القناة التريوسفيرية عبارة عن مرسل ومستقبل بهوائيات موجهة إلى منطقة تسمى منطقة التبعثر تقع في طبقة التريوسفير لتقوم بنثر الإشارات في جميع الاتجاهات وذلك بسبب عدم تجانس هذه الطبقة ضمن المجال الترددي (20 ÷ 1) GHz على وجه الخصوص، وبغية الاستفادة من هذه الظاهرة وتأمين إيصال الإشارات المبعثرة إلى المستقبل يجب أن توجه هوائيات الإرسال والاستقبال إلى منطقة التبعثر في الأفق الراديوي [1]. كما هو مبين في الشكل (1)..



الشكل (1) مسارات الأشعة في الاتصال التريوسفيري.

كانت الاتصالات التريوسفيرية في الماضي ليس بالبعيد أكثر انتشاراً حيث كانت تؤمن الاتصال لمسافات تصل إلى 500 Km، وقد استخدمت على نطاق واسع في التطبيقات المدنية والعسكرية.

وبسبب ضياع المسار العالي الناتج عن طول المسار والتشتت، استبدلت الاتصالات التريوسفيرية بالاتصالات عبر التوابع الصناعية SATCOM [2]، والتي تعاني أيضاً من مشاكل في السعة في المناطق التي لا يتواجد فيها تغطية مستمرة من التوابع الصناعية وبالتالي هناك تأخير كبير وخاصة بالتطبيقات العسكرية. ومن جديد استعادت الاتصالات التريوسفيرية أهميتها لأنها تؤمن مستوى عالي لمعدل نقل البيانات في الوصلات التريوسفيرية، والتي وصلت في بعض التطبيقات إلى 22 Mbps الذي يتوافق مع التقدم في معدات الاتصالات التريوسفيرية وتطور تقنية



الشكل (2) البنية الهندسية للمسار التربوسفيري.

حيث أن:  $d$  المسافة الأفقية بين المرسل والمستقبل.

$R$ : المسافة بين المرسل ونقطة التبعثر.

$S$ : المسافة بين المستقبل ونقطة التبعثر.

$\alpha_0$ : زاوية ارتفاع هوائي الإرسال.

$\beta_0$ : زاوية ارتفاع هوائي الاستقبال.

$\alpha$ : زاوية الارتفاع اللحظية لهوائي الإرسال.

$\beta$ : زاوية الارتفاع اللحظية لهوائي الاستقبال.

$\psi$ : زاوية التبعثر.

$Wt$ : عرض حزمة الإشعاع للمرسل.

$Wr$ : عرض حزمة الإشعاع للمستقبل.

تستخدم في وصلات التربوسفير زاوية ارتفاع منخفضة للحفاظ على طول مسار منخفض قدر الإمكان، لأن زيادة درجة واحدة في زاوية الارتفاع تؤدي لانخفاض الاستطاعة المرسل بمقدار 9dB، كما أن زيادة بسيطة جداً في زاوية الارتفاع يمكن أن تسبب اختلافاً في ارتفاع حجم منطقة التبعثر يصل إلى 1Km، وهذا يؤدي إلى زيادة في ضياع المسار نتيجة لانخفاض كثافة التبعثر عند الارتفاعات العالية. وبالنتيجة تعمل الهوائيات على تقليل الارتفاع بغية تقليل ضياع المسار، وهذا يتطلب اختيار زاوية ارتفاع مناسبة تحقق العلاقة التالية [3]:

$$\alpha_0 = \beta_0 = \frac{d}{2R_0} \quad \text{rad} \quad (1)$$

$R_0$ : تمثل نصف قطر الأرض الفعال.

بما أن الهوائيات تستخدم زاوية ارتفاع منخفضة فإن انحناء الأرض يصبح مهماً في حساب طول المسار،

قام Ergin Dinc, Ozgur B. Akan [11] بدراسة نموذج تخفيف تخميد المطر للاتصالات التربوسفيرية باستخدام نموذج الشعاع الأساسي وبالاعتماد على التوزيع المكاني لخلايا الأمطار ووجد الباحث أن خسارة المطر تزداد مع زيادة الترددات الحاملة وأن الترددات الأقل بحدود 5GHz مناسبة للوصلات التربوسفيرية.

قام E. Rychkov, V. Patyukov [12] بدراسة تأثير الضجيج في أنظمة اتصالات التربوسفير وتقييم معدل خطأ البت لتحسين أداء الاتصالات التربوسفيرية، وتحقيق كفاءة طيفية عالية باستخدام نموذج خفوت رايلي واستخدام التعديل (QPSK-OFDM) وبين الباحث أن باستخدام OFDM يمكن الحصول على نظم تربوسفيرية ذات دقة عالية وبمعدل بيانات عالٍ ومناعة الضجيج مع إمكانية استخدام خوارزميات ضد الخفوت في النظم التربوسفيرية.

قام Ergin Dinc and Ozgur B. Akan [13]

باستعراض شامل لنمذجة قناة تربوسفيرية وفقاً للبيئة الفيزيائية وبارامترات الغلاف الجوي لمستقبل متحرك والحد من ظاهرة دوبلر لتحقيق اتصالات تربوسفيرية بوثوقية عالية وبمعدلات نقل بيانات عالية حتى 22Mbps، وباستخدام الأساليب الإحصائية TU-617 وتأمين قناة تربوسفيرية حتى 350Km لـ 90% من الوقت، و 250Km لـ 50% من الوقت وبأمان وسرية عالية وتأخير منخفض من مرتبة msec.

## مواد البحث وطرائقه:

### 1- هندسة المسار:

يتطلب حساب ضياع المسار للقناة مناقشة البنية الهندسية لمسار الإشارة التي تعتمد على طول المسار وتأخيرات الانتشار، وتحقيقاً لهذه الغاية يمكن وصف هذه البنية الهندسية للقناة كما هو مبين في الشكل (2)[14].

وتوزيع جزيئات التبعثر وعلى الاضطرابات الجوية التي تلعب دوراً هاماً في انتشار الموجة، لذلك تُستخدم تقنية الشعاع الأساسي الذي يقسم حزمة الإرسال إلى حزم إرسال صغيرة وحساب التأخير والاستطاعة، حيث أن كل شعاع يخضع لظروف جوية مختلفة حسب مساره وبالتالي لتخميد استطاعة مختلف، أي أن القناة تعتبر غير متجانسة، ويتم حساب الاستطاعة من خلال المعادلة التالية [15]:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma_v \lambda^2 \rho}{(4\pi)^3 R^2 S^2} \quad W \quad (6)$$

$\lambda$ : طول الموجة.

$P_t, P_r$ : استطاعة المرسل والمستقبل.

$\sigma_v$ : مقطع التبعثر العرضي.

$G_t, G_r$ : ربح هوائي الأرسال والاستقبال.

$\rho$ : عامل الاستقطاب.

$R$ : المسافة بين المرسل والمستقبل.

$S$ : مساحة المقطع العرضي.

يحتوي حجم التبعثر على جزيئات التبعثر بأحجام مختلفة، وأحجام المبعثرات تكون من رتبة  $(1 \div 10) \mu m$ . وبما أن الأطوال الموجية للترددات في المجال  $(1 \div 20) GHz$  أكبر بكثير من حجم جزيئات التبعثر لذلك فإن تقريب رايلي للتبعثر مناسب للتطبيق. كما يمكن استخدام تقنية طيف غالموغروف Kolmogrov والتي تعتمد على عدم التجانس والتقلبات في الاضطرابات الجوية وتغيرات عامل الانكسار ( $N$ ) ويمكن تمثيل مقطع التبعثر كما يلي [9]:

$$\sigma_v = 2\pi k^4 \cos^2(\Psi) dV_c \Phi(k_s) \quad m^2 \quad (7)$$

حيث أن:  $dV_c$ : تفاضل حجم التبعثر.

$k$ : ثابت الطور (ثابت الانتشار) ويساوي  $\frac{2\pi}{\lambda}$  إن العلاقة مع القوة الرابعة لطول الموجة تأتي من نموذج رايلي للتبعثر.

$\cos^2(\Psi)$ : تمثل تأثير زاوية التبعثر على استطاعة

ولذلك يتم حساب نصف قطر الأرض الفعال بالعلاقة التالية [6]:

$$R_0 = k \cdot R \quad km \quad (2)$$

حيث إن:  $R = 6370 km$ : نصف قطر الأرض.

$k$ : عامل نصف قطر الأرض الفعال ويساوي  $4/3$

عند ظروف الانكسار المتوسطة.

إن طول المسار الكلي في وصلة التريوسفير يمثل مجموع المسافة بين نقطة التبعثر والمرسل  $R$ ، والمسافة بين نقطة التبعثر والمستقبل  $S$ ، وتعطى العلاقة بين هذه المسافات والمسافة الأفقية كما يلي [5].

$$\frac{d}{\sin \psi} = \frac{R}{\sin \beta} = \frac{S}{\sin \alpha} \quad (3)$$

حيث أن  $\psi$  هي زاوية التبعثر وتساوي:  $\psi = \alpha + \beta$ . من أجل حساب تأخير الانتشار للإشارات، يجب إيجاد الفرق بين مسار الإشارة الحقيقي والمسار المرجعي، الذي يفترض بأنه المسار الأقصر، كونه لا يوجد خط نظر مباشر بين المرسل والمستقبل، ويعطى الفرق بين المسار المرجعي وأي مسار آخر بالعلاقة التالية [5]:

$$\Delta d = R + S - d = \frac{1}{2} \alpha \beta d \quad Km \quad (4)$$

من العلاقة (4) يتم حساب الفرق بين أي مسارين كما يلي [5]:

$$\Delta d_{12} = \frac{d}{2} (\alpha_1 \beta_1 - \alpha_2 \beta_2) \quad Km \quad (5)$$

وبما أن طول المسار المرجعي في وصلات التريوسفير هو الأقصر  $\frac{d}{2R_0}$  لذا فإن المسار الثاني في العلاقة (5) يرتبط بالزوايا  $\alpha_0, \beta_0$ . إن المسار المرجعي يملك تأخير إنتشار صفري، ويتم حساب الإزاحات الأخرى لمسارات الأشعة الأخرى بالاعتماد على المسار المرجعي.

## 2- ضياع المسار التريوسفيري:

توجه طاقة الإشارة المبعثرة في الاتجاه الأمامي، ولكن بعض من طاقة الإشارة المبعثرة تصل باتجاه المحطة المستقبلية، بما أن تبعثر الإشارة المنتشرة يعتمد على حجم

الإشارة.  $\Phi(k_s)$ : وهي تمثل طيف غالموغروف Kolmogorov.

$\Phi(k_s) = 0.33\pi^3 C_n^2 (2k \sin(\Psi/2))^{-11/3} m^3(8)$   
 حيث  $C_n$ : التقلبات في عامل الانكسار التي تستنتج من ضغط بخار الماء والتي تزودها وكالة NASA نتيجةً للقياسات العملية، وتستخدم لمراقبة الاختلافات في القناة، يتم حساب عامل الانكسار تبعاً للضغط ودرجة الحرارة والرطوبة من العلاقة التالية [16]:

$$N = \frac{77.6}{T} (P + 4810 \times e/T) \quad (9)$$

$T$ : درجة الحرارة بالكلفن.

$P$ : الضغط الجوي الكلي في الغلاف الجوي.

$e$ : تمثل ضغط بخار الماء (الرطوبة) وتعطى كما يلي:

$$e = \frac{P}{\varepsilon} w \quad \text{mb} \quad (10)$$

$w$ : هي بخار الماء، وهذا يعني أن كمية الماء في الهواء  $g/kg$ ,  $\varepsilon$ : ونسبة الكتلة الجزئية لبخار الماء إلى الهواء، وتؤخذ بقيمة 0.622.

3- زيادة سعة القناة التربوسفيرية باستخدام مصفوفة هوائيات MIMO:

تعاني الاتصالات التربوسفيرية من ضياع المسار العالي نتيجةً لطول المسار إضافة للتبعثر، ولذلك تستخدم الهوائيات العاكسة التي تسمح عرض حزمة إشعاع منخفضة بحوالي 3 إلى 10 ميلي راديان، والتي تسمح بزيادة مدى إنتشار الإشارة وتقليل حزمة الانتثار لها. كما تستخدم الهوائيات المتعددة بالتوزيع الفراغي المناسب عند كل من المرسل والمستقبل MIMO [5]، وبالتالي تكون علاقة السعة التي تعطي الحد الأقصى لمعدل نقل البيانات في وصلات التربوسفير بالعلاقة التالية [17]:

$$C = \log \left[ \det \left( I_{N_R} + \frac{Y}{N_T} HH^H \right) \right] \text{ bps/}$$

Hz (11)

حيث  $N_R$ : عدد هوائيات المستقبل.

$N_T$ : عدد هوائيات المرسل.

$I_{N_R}$ : هي المصفوفة القطرية الواحدية بعدد عناصر

$N_R \times N_R \cdot \gamma$ : هو نسبة الإشارة إلى التداخل والضجيج SINR.

$H$ : هي مصفوفة من تابع نقل القناة بين هوائيات

الإرسال  $T$  وهوائيات الاستقبال  $N_R$ .

$\{ \cdot \}^H$ : هي منقول المصفوفة.

من أجل قيمة معينة لـ  $\gamma$  SINR عند المستقبل، وعدد

معين من هوائيات الإرسال والاستقبال، فإن خصائص

الارتباط المكاني لقناة MIMO ( $H$ ) هي التي تحدد الحد النظري للسعة [17],[18].

من أجل حساب سعة الاتصالات التربوسفيرية، يمكن

تمثيل الضجيج كضجيج حراري ناتج عن عمل الأنظمة

التربوسفيرية الحديثة عند الترددات العالية. ولتحقيق هذه الغاية تعطى كثافة استطاعة الضجيج بالعلاقة التالية:

$$N_0 = kT \quad W/Hz \quad (12)$$

$T$ : درجة الحرارة بالكلفن.

$B$ : عرض المجال الترددي للإشارة.

$k$ : ثابت بولتزمان.

وبأخذ عرض المجال الترددي بعين الاعتبار تكون

استطاعة الضجيج هي  $N = BN_0$ .

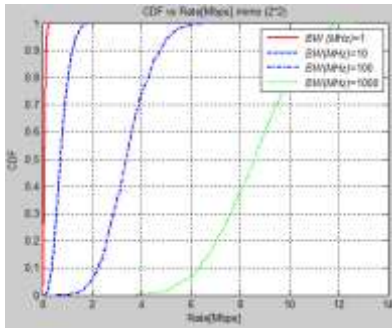
4- محاكاة زيادة سعة القناة التربوسفيرية:

تم دراسة تأثير بارامترات القناة التربوسفيرية على معدل

النقل البتي وسلوك الاستطاعة بواسطة طرق المحاكاة

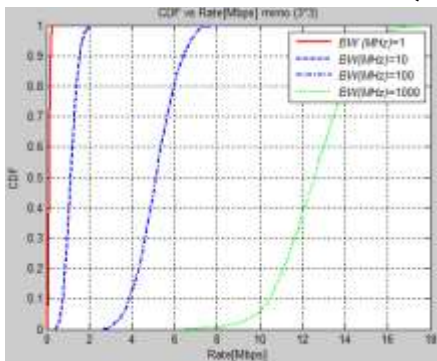
المقترحة في Matlab، حيث يبين الجدول (1) بارامترات

لقناة تربوسفيرية نموذجية MIMO التي سيتم دراستها وإجراء المحاكاة لها [14].



الشكل (3) تابع التوزيع التراكمي لمعدل البتي الأعظمي من أجل عرض مجال ترددي مختلف لقناة MIMO(2×2). يصف الشكلين (4) و (5) على الترتيب، زيادة معدل نقل البيانات مع زيادة عدد الهوائيات وزيادة عرض المجال الترددي.

ففي الشكل (4) نجد وباستخدام تقنية MIMO(3×3) في قناة الاتصال التروسفيرية زيادة المعدل البتي إلى حدود تصل إلى 1Mbps من أجل 90% من الوقت وعرض مجال ترددي 10 MHz وأكثر من 6Mbps من أجل 80% من الوقت من أجل عرض مجال ترددي 100 MHz. ونجد أيضاً في الشكل (5) MIMO(4×4) أن المعدل البتي يزيد إلى حدود تصل إلى 1Mbps من أجل 90% من الوقت وعرض مجال ترددي 10 MHz وأكثر من 8Mbps من أجل 80% من الوقت من أجل عرض مجال ترددي 100 MHz.



الشكل (4) تابع التوزيع التراكمي لمعدل البتي الأعظمي من أجل عرض مجال ترددي مختلف لقناة MIMO(3×3).

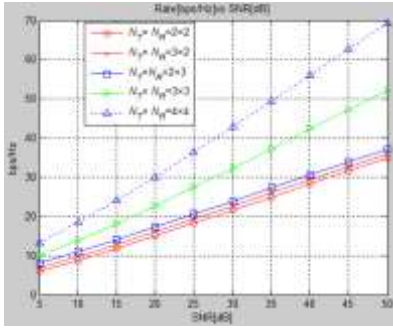
الجدول (1) بارامترات الوصلة التروسفيرية.

الواحدة	القيمة	البارامتر
GHz	4.7	التردد f
Km	170÷700	المسافة الأفقية
Kw	1	استطاعة الإرسال
dBi	41	ريش هوائي الإرسال
mrad	10	زوايا الارتفاع اللحظية لهوائي الإرسال والاستقبال
mrad	10.5	عرض لوب الإشعاع

وقد تم الحصول على النتائج التالية:

حيث يبين الشكل (3) تابع التوزيع التراكمي لمعدل النقل البتي الأعظمي لوصلة تروسفيرية مكونة من MIMO (2×2) عند قيم مختلفة لـ SNR، حيث نلاحظ أنه كلما زادت قيم SNR تتغير قيم المعدل البتي ويتحول التوزيع من التوزيع الغاوسي إلى توزيع رايلي، وذلك نتيجة تأثير استطاعة الضجيج التي تعتمد بشكل مباشر على عرض المجال الترددي، كما ظهر في العلاقة (12). كما أن منحنى المعدل البتي يتناقص ميله مع زيادة عرض المجال كما أن زيادة المعدل البتي الأعظمي تصبح أقل عند عرض المجال الترددي الأكبر، حيث تأثير الضجيج يصبح أكثر سيطرة. ويمكن التوصل إلى أن التأثير التراكمي للضجيج يفرض حدوداً على عرض المجال الترددي للقناة التروسفيرية. ونلاحظ أيضاً في الشكل وباستخدام تقنية MIMO في قناة الاتصال التروسفيرية أنه يزيد المعدل البتي إلى حدود تصل إلى 1Mbps من أجل 90% من الوقت وعرض مجال ترددي 10 MHz وأكثر من 4Mbps من أجل 80% من الوقت من أجل عرض مجال ترددي 100 MHz.

تم أخيراً إيجاد المعدل البتي الأعظمي تبعاً لتغيرات SNR وعدد هوائيات الإرسال والاستقبال حيث تم أخذ تشكيلات هوائيات (2×3) (3×2) (4×4) (3×3) في الشكل (8) لنلاحظ هذا المعدل يزداد تقريباً بمقدار الضعف مع زيادة النسبة SNR ويزداد أيضاً بزيادة عدد الهوائيات المستخدمة بطريقة MIMO، كما يبينه الشكل (8).

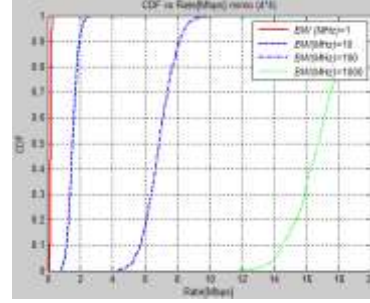


الشكل (8) المعدل البتي تبعاً للنسبة SNR وعدد هوائيات

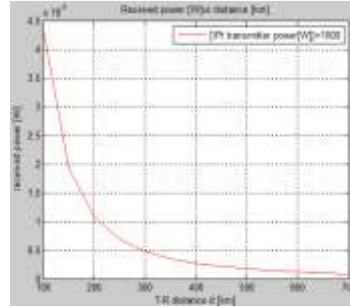
.MIMO

### 5- تحليل النتائج:

قدمنا في هذا البحث دراسة تحليلية لإمكانية زيادة المعدل البتي الأعظمي لقناة الاتصال التروسفيرية باستخدام الهوائيات المتعددة MIMO والتي قدمت تحسينات نسبة الإشارة للضجيج بدون زيادة لعرض المجال الترددي أو زيادة استطاعة الإرسال، وقمنا بإجراء المحاكاة للقناة التروسفيرية بتشكيلية (3×2) (2×2) MIMO (4×4) (3×3) (2×3) لنستنتج أن معدل نقل البيانات يزداد بمقدار الضعف تقريباً مع زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج، وهذا يزيد من مجال التغطية ويحسن الأداء طالما أن الإشارة المرسله من هوائيات الإرسال يتم استقبالها على كل هوائي استقبال وهذا يقلل من احتمال حدوث الخفوت الناتج عن تعدد المسارات، ويحسن جودة الخدمة، كما وجدنا من خلال محاكاة تابع التوزيع التراكمي لمعدل النقل البتي الأعظمي لوصلة تروسفيرية مكونة من MIMO (2×2) (3×3) (4×4) عند قيم مختلفة لـ SNR

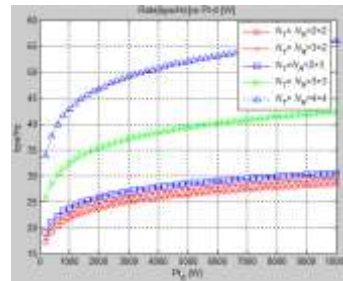


الشكل (5) تابع التوزيع التراكمي لمعدل البتي الأعظمي من أجل عرض مجال ترددي مختلف لقناة MIMO (4×4). يوصف الشكل (6) منحنى استطاعة الاستقبال للوصلة التروسفيرية كتابع للمسافة بين المرسل والمستقبل كنتيجة للمحاكاة عند فرض استطاعة إرسال ثابتة.



الشكل (6) استطاعة الاستقبال كتابع للمسافة.

وعند فرض استطاعة استقبال مطلوبة ثابتة، فإن منحنى المعدل البتي الأعظمي كتابع لاستطاعة الإرسال من أجل قيم مختلفة لعدد الهوائيات، ونتيجة المحاكاة يظهره الشكل (7) حيث نجد أن المعدل البتي ازداد بمقدار الضعف تقريباً بالمقارنة مع أنظمة الاتصالات اللاسلكية وحيدة الهوائي في الإرسال والاستقبال.



الشكل (7) المعدل البتي كتابع لاستطاعة الإرسال وعدد الهوائيات.



## References

- [1].J.Niranjan Kumar & B.Siva Nageswararao M.Tech (P.Hd)2, Fading Correlation Analysis in MIMO-OFDM of Troposcatter Communications with Different Diversity Technique, January 2018 Available online:<https://edupediapublications.org/journal/index.php/LJR/>
- [2]. Biradar, R. (2015, July). Study and Analysis of 2x2 MIMO Systems for Different Modulation Techniques Using MATLAB. Retrieved September 10, 2017, from <http://www.techrepublic.com/resource-library/whitepapers/study-and-an-alysis-of-2x2-mimo-systems-for-different-modulation-techniques-using-matlab>.
- [3].L. Bastos, H. Wietgreffe, "Tactical troposcatter applications in challenging climate zones," MILCOM 2012, pp. 1-6, 2012.
- [4].TROPOSCATTER STATIONS, Serhii O. Kravchuk, Mikolay M. Kaydenko, MODEM EQUIPMENT FOR THE NEW GENERATION COMPACT 2016.
- [5]. G. Roda, Troposcatter Radio Links. Artech House Publishers, 1988.
- [6]. "Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems", ITU-R Recommendations P.617-2.
- [7].P. Bello, "A Troposcatter Channel Model," IEEE Transactions on Communication Technology, vol. 17, no. 2, pp. 130-137, April 1969
- [8].A. Ishimaru, Wave Propagation and Scattering in Random Media. IEEE Press Series on Electromagnetic Wave Theory, Wiley, 1999.
- [9].L. Tsang, J. A. Kong, K. Ding, Scattering of Electromagnetic Waves: Theories and Applications, John Wiley & Sons, 2000.
- [10]. Ergin Dinc, Student Member, IEEE, and Ozgur B. Akan, Senior Member, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 63, NO. 2, FEBRUARY 2015.
- [11]. Ergin Dinc, Ozgur B. Akan, A Nonuniform Spatial Rain Attenuation Model for Troposcatter Communication Links, IEEE 2015.

أنه كلما زادت قيم SNR تتغير قيم المعدل البيتي ويتحول التوزيع من التوزيع الغاوسي إلى توزيع رايلي، وذلك نتيجة تأثير استطاعة الضجيج التي تعتمد بشكل مباشر على عرض المجال الترددي، كما أن الزيادة في معدل نقل البيانات تصبح أقل في عرض مجال ترددي أعلى. بينما زيادة عرض المجال الترددي تجعل القناة التروسفيرية أقل استقراراً، ليفرض الضجيج حدوداً أعلى على عرض المجال الترددي للقناة التروسفيرية MIMO.

### 6- التوصيات وآفاق مستقبلية:

- يمكن استخدام نموذج إحصائي للقناة التروسفيرية للحصول على نتائج قريب من الواقع.
- إجراء المحاكاة على قناة تروسفيرية مع استخدام MIMO وإيجاد منحنيات الأداء.
- استخدام تقنية (MIMO-OFDM) في قناة الاتصال التروسفيرية لتحقيق فعالية طيفية وإيجاد منحنيات الأداء.
- استخدام أنواع مختلفة من الترميز وتطبيقها على مصفوفة الهوائيات في الدخل والخرج.

### 7- الخاتمة:

تقدم هذه الورقة نتائج لمناقشة خصائص القناة التروسفيرية وإمكانية زيادة معدل نقل البيانات الأعظمي باستخدام تقنية MIMO حيث يمكن استخدام هذه النتائج كدليل لتصميم نظم اتصال تروسفيرية بتقنية MIMO وتوظيف تقنيات التنوع لتأمين اتصالات تروسفيرية إلى ما وراء خط النظر (b-LOS (beyond-line-of-sight) ويمكن العمل على زيادة سعة قناة الاتصال التروسفيرية وتحقيق معدل نقل بيانات عالٍ باستخدام تقنية (MIMO-OFDM) وتحقيق فعالية طيفية عالية، وإمكانية استخدام التروسفير كوسط واعد للاتصالات للحصول على أداء عالٍ لمعدل نقل البيانات مع تأخير انتقال منخفض وسعة عالية.

- [12]. E. Rychkov, V. Patyukov, Estimation of the Immunity of troposphere communication system with OFDM signals and Available ways to Increase ones Bit Error Ratio,2015.
- [13]. Ergin Dinc and Ozgur B. Akan, (More than the Eye Can See Coherence Time and Coherence Bandwidth of Troposcatter Links for Mobile Receivers), 16 April 2015.
- [14]. E. Dinc and O. B. Akan, “A Ray-based channel model for MIMO troposcatter communications,” in Proc. IEEE PIMRC, London, U.K.Sep. 2013, pp. 243–247.
- [15].A. Ishimaru, Wave Propagation and Scattering in Random Media. New York, NY, USA: Wiley, 1999, ser. IEEE Press Series on Electromagnetic Wave Theory.
- [16].NAMMA LASE, NASA EOSDIS GHRC DAAC,  
<http://ghrc.msfc.nasa.gov/index.html>. Accessed on Jan 30, 2013.
- [17].John Wiley & Sons Ltd, LTE – The UMTS Long Term Evolution LTE © 2009.
- [18].Mohammed A. T.,Capacity analysis & performance comparison of SISO, SIMO, MISO & MIMO systems, 2020.