------مجلة علوم الرافدين، المجلد 24، العدد 3، ص86-101، 2013------

دراسة عوامل النفوذية الجوية لأشعة الليزر تحت الحمراء القريبة (0.980 μm) العاملة كناقل للمعلومات في الفراغ الحر عند ظروف الجو الممطر

محمد أيمن شنشول **محمد أمين البيك** **صفاء سالم قياش**

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة حلب

Email: safaakelesh@hotmail.com

(تاريخ الاستلام 28 / 6 /2012 ؛ تاريخ القبول 7 /11 / 2012)

الملخص

تم في هذا البحث حساب طول المسار البصري لمنظومة اتصال باستخدام الليزر في موقع البحث وفق تصحيح باسمان ولارمور، ومن ثُم درست تغيرات معامل التمرير الطيفي (النفوذية الجوية) عند الامتصاص بدلالة سماكة الماء المكثف. ودرست تغيرات معامل التمرير الطيفي عند التبعثر بدلالة مدى الرؤية. وتمت دراسة تغيرات معامل التبعثر عند المطر بدلالة معدل المطر، كذلك درست تغيرات النفوذية الجوية عند المطر بدلالة معدل المطر، وأخيرا درست تغيرات النفوذية الجوية الكلية بدلالة معدل المطر.

بينت النتائج أهمية كُلٍ من الماء المكثف بوصفه عاملاً ذا تأثير أساسي في التخامد الجوي الناتج عن الامتصاص، والهباء والمطر بوصفها عوامل ذات أثر في عملية تخامد أشعة الليزر وفق مفهوم التبعثر.

الكلمات الدالة: أشعة الليزر، النفوذية الجوية، الامتصاص، التبعثر.

Study of Atmosphereic Penetration Factors for Near Infrared Laser Beam (0.980 μm) Performing as a Carrier Data in Free Space Rainy Atmospheric Conditions

Mohammad A. Shanshoul **Mohammad A. Albek** **Safaa S. Kelesh**
Department of Physics
Faculty of Science
University of Aleppo
Email: safaakelesh@hotmail.com

ABSTRACT

In this research, a calculation of optical pass length of connecting system using laser in the location of the research is done depending on the correction of Passman and Larmore. Then, the changing of spectrum passing coefficients (atmosphere penetration) for absorption as a function of the thickness of condensed water, the changing of spectrum passing coefficients for scattering as a function of sight extent, the changing of scattering factor for the rainy weather as a function of the rainfall rate, and the changing of penetration at rainy weather as a function of the rainfall rate were studied. Finally, the changing of the whole atmospheric penetration as a function of the rainfall rate was studied.

The outcomes have shown the importance of both condensed water as a factor with a main effect on the atmosphere attenuation which is resulted from absorption and the aerosol and rain as factors with an effect on the laser beam attenuation according to the scattering concept.

Keywords: Laser beam, atmospheric penetration, absorption, scattering.

المقدمة

تعمل أنظمة الاتصالات في الفراغ الحر على نقل المعلومات من المرسل إلى المستقبل عبر الفراغ الحر (الجو الطبيعي) على خط نَظَر مباشر باستخدام الليزرات في مجال الأشعة تحت الحمراء وبوثوقية عالية وبنسبة خطأ منخفضة. إن تخامد الإشعاع البصري عبر الجو يتعلّق أساساً بظاهرتين: الامتصاص من قِبل الغازات الموجودة في الجو وبخار الماء، والتبعثر بفعل الهباء الجوي Aerosol (المكون من نقاط الماء والغبار والجراثيم والأملاح التي تتراوح أقطارها بين ($4\times10^{-3}\mu m$) و($2\times10^{2}\ \mu m$))، وتسبب تناقصاً في مدى انتشار هذه الأشعة ضمن منظومة الاتصالات في الفراغ الحر، حيث يتم إرسال المعلومات وفق نوافذ التمرير الجوي المحققة لتخامد في الإشارات البصرية إلى أدنى مستوياتها (Majumdar and Ricklin, 2005).

إن وجود المطر على طول خط النظر (خط الاتصال البصري) سوف يقلل من أداء منظومة الاتصال أيضاً، ولكن في حالات عديدة يبقى أداؤها مقبولاً، طالما أن أقطار قطرات المطر أكبر بكثير من الطول الموجي للاشعة $(d >> \lambda)$ (Harry and Dutton,1998).

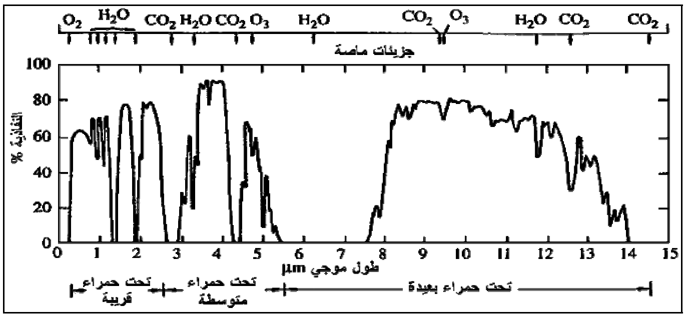
تنخفض شفافية الجو بسبب وجود الغازات وجزيئات الهباء والمطر. لكن من الصعوبة بمكان أخذ كل التأثيرات بعين الإعتبار في الحسابات التحليلية وذلك لاختلاف تركيزها تحت تأثير كلٍ من العوامل المناخية والجغرافية، فضلاً عن عدم وجود قوانين رياضية تَصف كل المتغيرات بحيث تَصلح لكل المناطق الجغرافية وفي مختلف الأوقات من السنة، ويمكن تَطبيقها مباشرة. لذلك نجد أن كل دراسة ترتبط بمنطقة جغرافية وضمن مبادئ وقوانين عامة أجمع عليها الفيزيائيون العاملون في هذا المجال (Hudson, 1968).

يهدف هذا البحث الى التركيز، عند بناء منظومة الاتصالات، على دراسة تأثير العوامل الجوية على أشعة الليزر ذات الطول الموجي (0.980 μm) المستخدم في منظومة الاتصال، وذلك لمعرفة حدود عمل المنظومة في المنطقة تحت الدراسة (موقع جامعة حلب في الجمهورية العربية السورية)، وذلك من خلال دراسة الامتصاص من قِبل الغازات وبخار الماء والتبعثر الناجم عن الهباء الجوي، بالإضافة لمعدلات هطول الأمطار وأثرها على أداء عمل المنظومة.

الدراسات النظرية وحساباتها

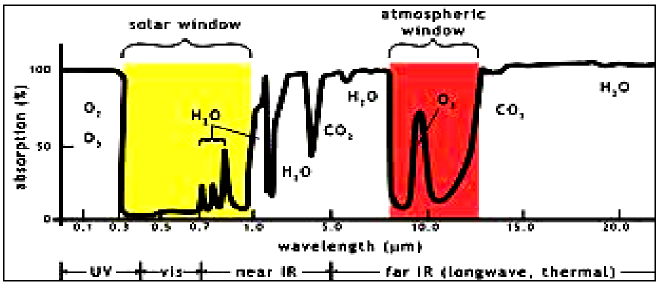
الجو

تحتوي طبقة التربوسفير على أغلب العناصر التي تحدد مدى نفوذية الغلاف الجوي للإشعاع مثل الجزيئات الغازية الماصة للإشعاع وجزيئات الغبار والضباب والمطر والثلج والغيوم المبعثره له. يعد غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 أحد أهم الغازات المكونة للغلاف الجوي والتي لها تأثير امتصاصي شديد للأشعة تحت الحمراء حيث يمتص الأشعة تحت الحمراء بشكل فعال عند الإهتزاز غير المتناظر لذرات الأوكسجين حول ذرة الكربون بسبب تَغير العزم ثنائي القطب عند هذه الحالة (Ricklin and Davidson, 2002). يبين الشكل (1) تابعية النفوذية الجوية لمكونات الجو مع تَغير الأطوال الموجية لعدد من المركبات (Thomas and Duncan, 1993). أما قطاعات الطيف الكهرومغناطيسي التي تحدث عندها عملية الامتصاص فتدعى بقطاعات الامتصاص. والشكل (2) يوضح قطاعات الامتصاص لعدد من المركبات حيث يبرز الأطوال الموجية التي هي أقل من (1μm)، (Andrews and Phillips, 1998).



الشكل 1: النفوذية الجوية لمكونات الجو

والملاحظ أن قطاعات الامتصاص تُشكل فيما بينها نوافذ التمرير الجوي التي يتم عبرها الإرسال وتبدو شفافة تقريباً، (تخامدها بحدود $(0.2dB/Km)$).

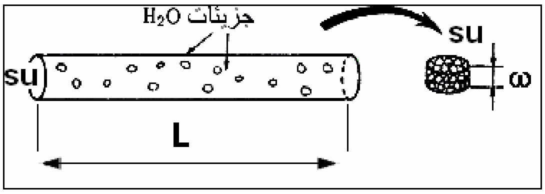


الشكل 2: مناطق الامتصاص للأطوال الموجية التي أقل من $(1\mu m)$.

تَتَمتع جزيئات بخار الماء Water Vapor بخاصية الامتصاص الشديد للأشعة تحت الحمراء وذلك لاختلاف وزن الذرات بستة عشر مرة بين ذرتي (Hg O)، لذلك من الضروري قياس عمق طبقة الماء التي تتشكّل إذا تم تكثيف جميع بخار الماء الموجود على طول مسار خط النظر في وعاء له مساحة مقطع تساوي مساحة مقطع خط النظر. وهذه الكمية تدعى بالماء المكثف (ω) Condensed Water وتُقاس بوحدة (mm) (Bohren and Huffman,1983).

حساب سماكة الماء المكثف

إذا كان لدينا اسطوانة وهمية مساحتها su تساوي مساحة عدسة المنظومة البصرية المستخدمة وطولها L يمتد من المرسل وحتى المستقبل كما في الشكل (3)، وتم تكثيف بخار الماء الموجود ضمن هذه الاسطوانة في وعاء له مساحة الاسطوانة نفسها، فإن الارتفاع ω يمثّل قياس محتوى مسار خط النظر من الماء. (Bohren and Huffman, 1983).



الشكل 3: حساب عمق الماء المكثّف في الاسطوانة

تُميز سماكة الماء المكثف خصائص امتصاص الإشعاع على المسار L وتحسب من العلاقة التالية: (Bohren and Huffman, 1983)

$$\omega = \omega_0 . L \qquad (1)$$

حيث: ω_0 سماكة طبقة الماء المكثف في طبقة من الغلاف الجوي تساوي km 1، وتحسب ω_0 باستخدام العلاقة التالية :

$$\omega_0 = \frac{2.167 \times 10^4}{T_a} f_a . e \qquad (2)$$

حيث T_a درجة حرارة الجو مقدرة بالكلفن و f_a الرطوبة النسبية و e مرونة الهواء المشبع وتُحدد من الجداول الخاصة بمرونة الهواء.

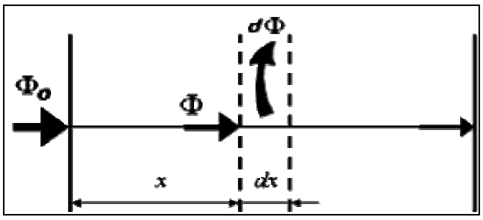
حساب معامل التمرير الطيفي الناتج عن الامتصاص

تم وضع العديد من النماذج الرياضية لحساب معاملات الامتصاص الناتجة عن تأثيرات الغازات والجزيئات الموجودة في الجو. تستخدم هذه النماذج في حساباتها عدد من المعلمات الفيزيائية المختلفة للغلاف الجوي وفوق مناطق جغرافية مختلفة. يحسب معامل الامتصاص (A) من العلاقة (Gagliardei and Kaprs, 1995):

$$A = A_m + A_a \qquad (3)$$

حيث يشير الدليل (a) للجسيمات العالقة والدليل (m) للجزيئات الغازية. يرتبط معامل الامتصاص الجزيئي(A_m) بالمعلمات الجوية كالضغط الجوي ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية ومدى الرؤية والارتفاع. أما معامل الامتصاص (A_a) فيرتبط بحجم جزيئات العوالق. يخضع امتصاص الإشعاع الأحادي اللون من قبل جزيئات الغاز، لقانون (بوغو ـ لامبرت). فإذا كان لدينا وسط ماص وتدفق إشعاعي يسقط عليه Φ_0 كما في الشكل (4)، وأخذنا شريحة سماكتها dx من الوسط تمتص كمية من التدفق الإشعاعي قدرها $d\Phi$ ،

فيمكن حساب معامل التمرير الطيفي (النفوذية الجوية) عند الامتصاص كما يلي (Gagliardei and Kaprs, 1995):



الشكل 4: امتصاص الجو

$$t_{abs} = \frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-AX} \qquad (4)$$

ولإيجاد قيمة النفوذية الجوية الناتجة عن امتصاص بخار الماء نحسب الـ t_{H_2O} والذي يرتبط بكُلٍ من عدد الجزيئات الماصة وبارتفاع الماء المكثف على طول المسار. لقد تم تقديم الكثير من القياسات التجريبية والحسابات لتحديد نفوذية بخار الماء بوصفه تابعاً للطول الموجي ولارتفاع الماء المكثف وأهمها تلك التي حصل عليها كلٍ من باسمان Passman ولارمور Larmore من أجل النفوذية عند سطح البحر ونَظّماها في جداول سميت باسمهما. وقد أوضحا أنه بعد تصحيح بسيط فإن هذه الجداول يمكن استخدامها من أجل ارتفاعات أعلى من مستوى سطح البحر. وبالتالي فإن النفوذية الطيفية لمسار طوله L_H على ارتفاع H تساوي تلك التي لمسار مكافئ عند مستوى سطح البحر طوله L ويعطى بالعلاقة التالية (Hudson,1968):

$$L = L_H \left(\frac{P}{P_0}\right)^k \qquad (5)$$

حيث P/P_0 نسبة الضغط الجوي عند الارتفاع H إلى الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر. أما قيمة k فتساوي 0.5 لبخار الماء.

حساب معامل التمرير الطيفي الناتج عن التبعثر

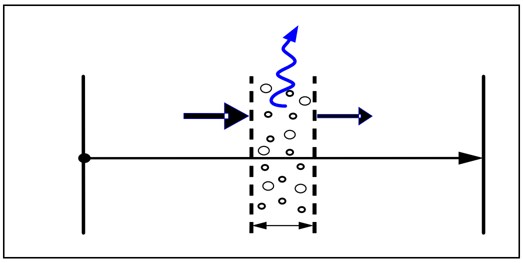
وضعت العديد من النماذج الرياضية لحساب معاملات التبعثر الناتجة عن تأثيرات الجزيئات والجسيمات الموجودة في طبقة التربوسفير. تستخدم هذه النماذج في حساباتها عدد من المعلمات الفيزيائية المختلفة للغلاف الجوي وفوق مناطق جغرافية مختلفة. يحسب معامل التبعثر Scattering Coefficient (S) لكل km بالعلاقة (Gagliardei and Kaprs,1995):

$$S = S_m + S_a \qquad (6)$$

وهو يمثّل التبعثر الناتج عن الجزيئات الغازية والهباء والضباب...الخ. إن معامل التبعثر (S_a) يرتبط بحجم الجسيمات العالقة في الجو الطبيعي على طول المسار البصري وبالموقع الجغرافي. أما معامل التبعثر الجزيئي (S_m) فيرتبط بكثافة تلك الجسيمات.

إن الجسيمات التي تكون كبيرة مقارنةً بالطول الموجي تُعطي زيادةً في التبعثر، أما الجسيمات التي أبعادها بمقدار الطول الموجي فتُعامل وفق نظرية الحيود Diffraction theory. ومن العوامل المسببة للتبعثر نَذكر السديم Haze والضباب Fog والغيوم Cloud والدخان Smoke، (Thomas and Duncan,1993). لحساب معامل التمرير الطيفي نفرض أن لدينا طبقة dD من الجو كما في الشكل (5)، فإذا كانت I الشدة الإشعاعية الواردة وS معامل التبعثر فيمكن أن نُعرف معامل التمرير الطيفي عند وجود المواد المبعثرة فقط بالعلاقة (Bohren and Huffman,1983).

$$t_{Sca} = \frac{I}{I_0} = e^{-S \cdot D} \qquad (7)$$



الشكل 5: تبعثر الشدة الإشعاعية

العلاقة بين معامل التبعثر ومدى الرؤية

ومن المهم استعمال العلاقة التالية بين معامل التبعثُر S والطول الموجي (λ) للاقتراب من مشكلة التبعثُر من وجهة نظر أكثر عملية. (Goody and Yung, 1989):

$$S \approx \lambda^{-\psi} \qquad (8)$$

ونُميز هنا بين ثلاثة أنواع للتبعثر، النوع الأول: عندما تكون الجسيمات أصغر من الطـول المـوجي فـإن $\psi = 4$ والتبعثر حينها يسـمى تبعثر رايلي (Rayleigh scattering)، وهو مهمل تقريباً من أجل الأطـوال الموجية الأكبر من $1\mu m$. النوع الثاني يبرز في حالة وجود الضباب وعندها فإن الجسيمات تكون أكبر مـن الطول الموجي و$(\psi \rightarrow 0)$ والتبعثر يسمى حينها تبعثر ماي (Mie scattering). أي أن التبعثر لا يتعلّـق بالطول الموجي. إن نوع التبعثر يتحدد من قبل جزيئات الجو مع الأخذ بعين الاعتبار طول موجـة ضـوء الليزر وذلك من خلال معامل الحجم α والذي لا وحدة له ويعطى بالعلاقة [Goody and Yung,1989]:

d

I

I_0

0

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda} \qquad (9)$$

حيث: r نصف قطر الجزيئة المسببة للتبعثر. وفي حالة تبعثر ماي فإن $(0.1 < \alpha < 50)$ وحسب الطول الموجي. يبين الجدول (1) أنصاف أقطار الجزيئات المسببة للتبعثر في الجو ومعامل الحجم عند طول الموجة $(0.980\,\mu m)$.

الجدول 1: أنصاف أقطار الجزيئات المسببة للتبعثر

نوع الجزيئات	نصف القطر (μm)	معلم الحجم α
جزيئات الهواء	0.0001	0.00064
جزيئة الضباب الرقيق	0.01 – 1	0.064 - 6.408
حبيبة الضباب	1 -30	6.408 - 192.24
المطر	50 - 3000	320 – 19224
الثلج	1000 -5000	32040 -6408
البرد	5000 -50000	32040 – 320408

فعند الطول الموجي $(0.980\,\mu m)$، وبالاستفادة من الجدول (1)، نجد أن تبعثر رايلي يحدث بشكل أساسي من قِبل جزيئات الهواء. إن معامل التخامد في هذا التبعثر يتغير مع λ^{-4}. اذاً ما يهمنا بالنسبة للاتصالات الضوئية (باستخدام ضوء الليزر) أن مساهمة تبعثر رايلي في معامل التبعثر الكلي هي مساهمة صغيرة جداً. أما في حالة الضباب فان تبعثر ماي ذو أهمية حيث ψ تأخذ القيم $\psi=(-1.6 \to 0)$، وهنا تخامد أشعة الليزر يعتمد على مدى الرؤية (وهي المسافة التي يصبح عندها التباين بين الجسم المشع والخلفية أقل من عتبة حساسية عين الإنسان) (Goody and Yung, 1989). أما النوع الثالث للتبعثر فهو التبعثر اللاإنتقائي أو التبعثر الهندسي Non-Selective Scattering. وفي هذا النوع من التبعثر لايعتمد التخامد على طول موجة الليزر وبالتالي $\psi = 0$. يحدث هذا النوع من التبعثر عندما يصبح طول الموجة أصغر بكثير من نصف قطر الجزيئات الموجودة في الجو، أي $(r >> \lambda)$. ويمكن القول أن هذا التبعثر يحدث من أجل قيمة لمعلم الحجم $(\alpha \geq 50)$، وبالتالي فإن جزيئات المطر والثلج والضباب الكثيف يمكنها أن تسبب تبعثراً هندسياً لحزمة ليزر الاتصالات.

يتم عادة حساب معامل التبعثر بالعلاقة (McCartney, 1976):

$$S(\lambda) = \frac{3.91}{V}\left(\frac{\lambda}{0.55}\right)^{-q} \qquad (10)$$

حيث λ طول موجة ضوء الليزر بالـ μm و q ثابت يتعلق بمدى الرؤية، V(km) مدى الرؤية ويتم تحديده تجريبيا من قبل محطات الرصد الجوي. وتعطى قيم q التجريبية بالعلاقة (McCartney, 1976):

فلدينا في البحث q=1.3 عند ظروف الرؤية المتوسطة والتي توافق $60km>V>6km$ $q=0.585\cdot V^{\frac{1}{3}}$.

النفوذية خلال المطر

تُظهر التجربة أنه بوجود المطر على طول خط النظر سوف ينخفض أداء أنظمة اتصالات الفراغ الحر المعتمدة على الأشعة تحت الحمراء. وقد ناقش ميدلتون Middleton تأثير المطر على طول خط الاتصال وأظهر أن معامل التبعثر عند المطر يمكن أن يحسب من العلاقة (Killingers, 2002):

$$S_{rain}=1.25\times10^{-6}\frac{Z}{r^3} \qquad (11)$$

حيث Z هي معدل المطر بـ cm/sec، r هي نصف قطر قطرات المطر بـ cm. وفي الحقيقة لا نستطيع أن نفترض قيمة متوسطة لنصف قطر قطرة المطر ولذلك نستخدم التوزع الإحصائي.

أُخِذت معطيات المطر من Lows and Parson وهي موضحة في الجدول (2)، (Killingers, 2002). يظهر السطر الأول معظم أنصاف أقطار قطرات المطر، بينما يبين السطر الثاني عدد القطرات عند كل قياس والتي تسقط على بقعة بمساحة أفقية $(1cm^2)$ في (100 sec). ونلاحظ أن حوالي 80% من قطرات المطر تقع في مجال أنصاف الأقطار الثلاثة الأولى من قياس قطرات المطر. وهي من القطرات الصغيرة والتي تُسهم بشكل كبير بقيمة معامل التشتت. أظهر ميدلتون أن معامل التشتت عند المطر يعتمد على عدد القطرات التي تسقط على وحدة السطح الأفقي بالثانية فقط.

الجدول 2: معطيات معدل سقوط المطر

نصف قطر القطرة cm	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.150	0.175
عدد القطرات في كل 100 sec cm²	43	21.4	14.3	9.3	5.8	3.6	1.8
نصف قطر القطرة cm	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325
عدد القطرات في كل 100 sec cm²	1.8	0.75	0.35	0.13	0.064	0.024	1.019

أما معامل التمرير الطيفي الكلي (النفوذية الكلية للجو)، في حال أخذنا معاملات التمرير الطيفية الثلاثة السابقة للامتصاص والتبعثر والمطر، فهو عبارة عن حاصل ضرب تلك المعاملات، وحسب المعادلة التالية (Killingers, 2002):

$$t_{atm}=t_{abs}.t_{sca}.t_{rain} \qquad (12)$$

الدراسات العملية:

تمت الدراسة العملية في مختبر أبحاث الليزر في كلية العلوم بجامعة حلب وفي الهواء الطلق، حيث الارتفاع $H = 502\ m$ عن سطح البحر، وقد أُخِذت القياسات في أيام مختلفة وأحوال جوية متباينة. وتمت الاستعانة بمديرية البيئة في محافظة حلب للحصول على بعض المعلمات الجوية، حيث تُسجل محطات الرصد الجوي أحوال الطقس آليا وعلى مدار نصف الساعة.

حساب طول المسار البصري L

تم حساب طول المسار البصري، لضوء ليزر شبه موصل نوع: ليزر الانبعاث ذي التجويف السطحي العمودي(VCSEL) (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) طول موجته $\lambda=(0.980\mu m)$، وذلك وفق المعادلة (5) حيث $L_H = 40.25\ m$ و $P_H = 74\, cm\, Hg$ و $P_0 = 76\, cm\, Hg$ وبالتالي:

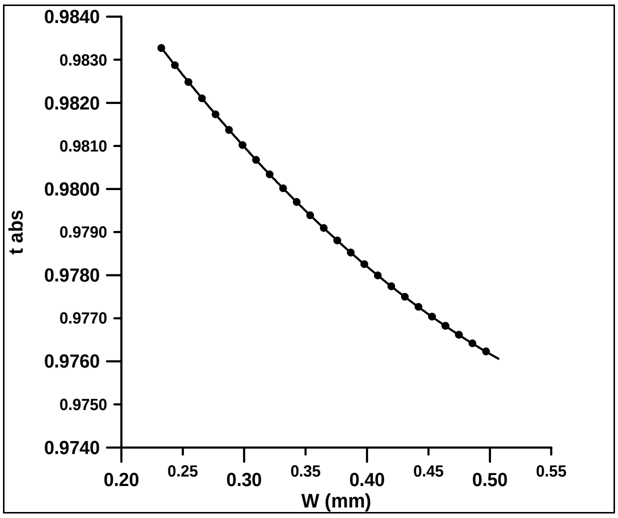
$$L = 0.04025\ km \left(\frac{74}{76}\right)^{0.5} \Rightarrow L = 0.0397\ km$$

دراسة تغيرات معامل التمرير الطيفي عند الامتصاص t_{abs} بدلالة سماكة الماء المكثف $\omega(mm)$ من اجل المسار البصري.

تَم حساب $\omega_0(mm)$ من المعادلة (2) ومن ثُم تَم حساب قيمة $\omega(mm)$ من المعادلة (1). تَم إيجاد قيم معاملات التمرير الطيفي عند الامتصاص وقد أُدرجت في الجدول (3). تم رسم تغيراتها بدلالة (ω) كما هو مبين في الشكل (6). ويلاحظ انخفاض النفوذية الجوية بازدياد محتوى الجو من الماء المكثف والذي يزداد بازدياد درجة الرطوبة النسبية.

الجدول 3: قيم معامل التمرير الطيفي عند الامتصاص

التاريخ	12/4/2011	8/3/2011	11/12/2010	11/4/2011	8/10/2010
$\omega(mm)$	0.233	0.315	0.381	0.402	0.507
t_{abs}	0.983	0.981	0.979	0.978	0.976



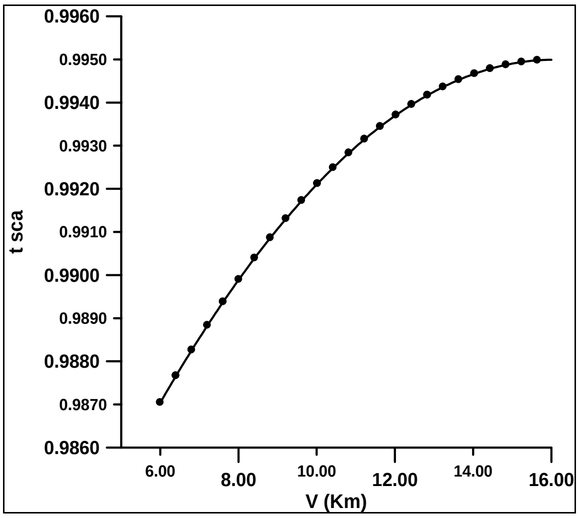
الشكل 6: تغيرات t_{abs} **بدلالة** ω(mm)

دراسة تغيرات معامل التمرير الطيفي عند التبعثر t_{Sca} **بدلالة مدى الرؤية V(km)**

من المعادلة (7) حيث D = 0.04025 km، تَم حساب قيم معاملات التمرير الطيفي عند التبعثر وأُدرجت في الجدول (4)، وتَم رسم تغيراتها بدلالة مدى الرؤية كما هو وارد في الشكل (7). نلاحظ من الخط البياني ازدياد معامل التمرير الطيفي بشكل سريع عند الانتقال من ظروف الرؤية المنخفضة (أقل من 6km) إلى ظروف الرؤية المتوسطة، ثم ازدياد معامل التمرير الطيفي بشكل بطيء عند ازدياد مدى الرؤية لأكثر من (12*km*)، أي ازدياد شفافية الجو.

الجدول 4: قيم معامل التمرير الطيفي عند التبعثر

التاريخ	**30/1/2011**	**22/4/2011**	**11/4/2011**	**27/1/2011**	**8/3/2011**
V(Km)	6	8	10	11	16
t_{Sca}	0.987	0.990	0.992	0.993	0.995



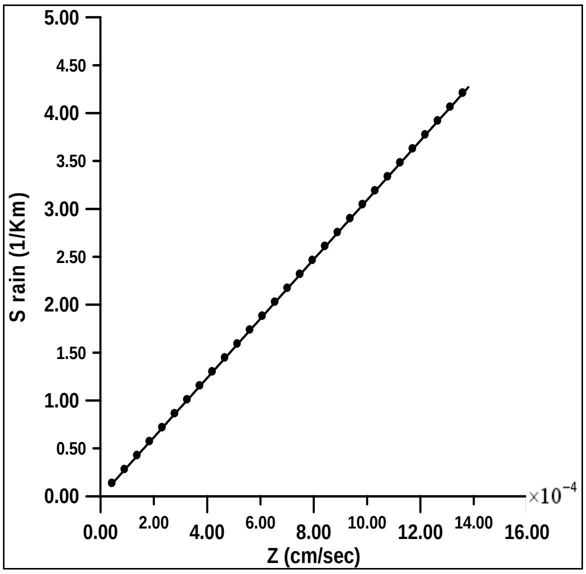
الشكل 7: تغيرات t_{Sca} بدلالة V(km)

دراسة تغيرات معامل التبعثر S rain (1/km) عند المطر بدلالة معدل المطر Z (cm/sec)

تم حساب قيم معاملات التبعثر في حالة المطر من علاقة ميدلتون رقم (11) مع الأخذ بنظر الاعتبار التوزع الإحصائي لقطرات المطر وأنصاف أقطارها، ومن ثُم رسِمت تغيرات معاملات التبعثر بدلالة تغير معدل المطر، وأُدرجت النتائج في الجدول رقم (5). ويبين الشكل (8) بشكل واضح ازدياد معامل التبعثر بازدياد معدل المطر.

الجدول 5: معامل التبعثر في حالة المطر

التاريخ	**30/4/2011**	**30/1/2011**	**22/4/2011**	**8/3/2011**	**8/10/2010**	**11/12/2010**
$z \times 10^{-4}$	13.8	7.5	4.3	3.44	3.05	2.77
S rain (1/km)	4.276	2.32	1.33	1.06	0.94	0.852
التاريخ	11/4/2011	15/5/2011	27/1/2011	12/4/2011	10/3/2011	9/10/2010
$z \times 10^{-4}$	2.63	2.08	1.94	1.66	0.55	0.44
S rain (1/km)	0.81	0.64	0.599	0.511	0.170	0.13



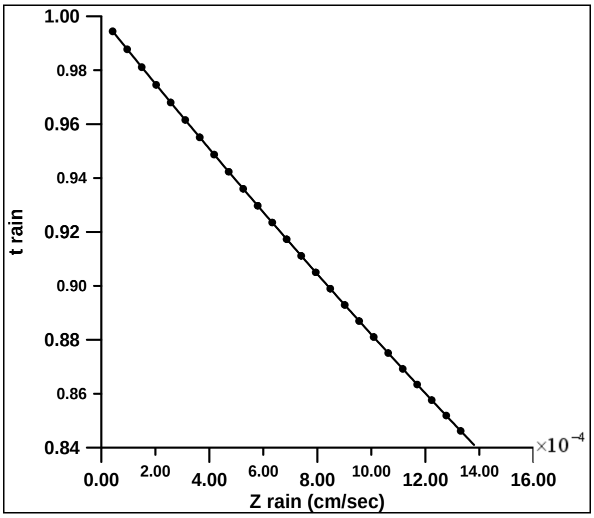
الشكل 8: تغيرات S rain بدلالة Z (cm/sec)

دراسة تغيرات النفوذية الجوية t_{rain} في حالة المطر بدلالة معدل المطر Z (cm/sec)

تم تحديد مقدار النفوذية الجوية في حالة المطر فقط من العلاقة (7) وذلك استنادا لنتائج حساب معامل التبعثر من اجل المطر. يعرض الجدول (6) نتائج الحسابات ويوضح الشكل (9) تغيرات النفوذية الجوية بدلالة معدل المطر. يشير الخط البياني إلى إنخفاض مستوى النفوذية مع ازدياد معدل المطر. وهذا يبين أهمية المطر في أداء خط الاتصال لكون قطرات المطر جسيمات مبعثرة لأشعة الليزر.

الجدول 6: مقدار النفوذية الجوية في حالة المطر

التاريخ	**30/4/2011**	**30/1/2011**	**22/4/2011**	**8/3/2011**	**8/10/2010**	**11/12/2010**
$z \times 10^{-4}$	13.8	7.5	4.3	3.44	2.05	2.77
t_{rain}	0.841	0.910	0.947	0.958	0.962	0.966
التاريخ	**11/4/2011**	**15/5/2011**	**27/1/2011**	**12/4/2011**	**10/3/2011**	**9/10/2010**
$z \times 10^{-4}$	2.63	2.08	1.94	1.66	0.55	0.44
t_{rain}	0.967	0.974	0.976	0.979	0.993	0.994



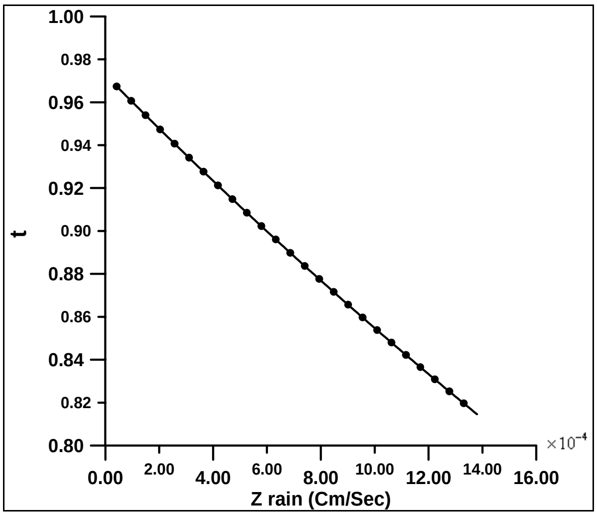
الشكل 9: تغيرات t_{rain} **بدلالة** Zrain(cm/sec)

دراسة تغيرات النفوذية الجوية الكلية بدلالة معدل المطر

تم حساب النفوذية الجوية الكلية من العلاقة (12)، وعرضت الحسابات في الجدول (7). ثم رسمت تغيراتها بدلالة معدل المطر وتبدو النتيجة واضحة في الشكل (10). الذي يوضح تأثير الامتصاص والتبعثر والمطر في اضمحلال النفوذية الجوية وبالتالي الانخفاض في مستوى أداء منظومة الاتصال باستخدام ضوء الليزر.

الجدول 7: النفوذية الجوية الكلية في حالة المطر

التاريخ	**30/4/2011**	**30/1/2011**	**22/4/2011**	**8/3/2011**	**8/10/2010**	**11/12/2010**
$z\times10^{-4}$	13.8	7.5	4.3	3.44	3.05	2.77
t	0.815	0.881	0.917	0.935	0.934	0.940
التاريخ	**11/4/2011**	**15/5/2011**	**27/1/2011**	**12/4/2011**	**10/3/2011**	**9/10/2010**
$z\times10^{-4}$	2.08	2.08	1.94	1.66	0.55	0.44
t	0.938	0.946	0.950	0.954	0.965	0.966



الشكل 10: تغيرات t **بدلالة** Zrain(cm/sec)

الاستنتاجات

من خلال النتائج العملية لهذه الدراسة، نستنتج ما يأتي:

الامتصاص والتبعثر والمطر ذات تأثير سلبي على مستوى أداء منظومة الاتصال باستخدام ضوء الليزر. لذا فمن الأفضل وقبل بناء منظومة اتصالات ضوئية في الفراغ الحر، الأخذ بعين الاعتبار المنطقة الجغرافية التي يتم فيها بناء المنظومة من حيث الارتفاع وتلوث الجو بالغازات والهباء وكذلك معدلات الأمطار في تلك المنطقة، بوصفها عوامل تَحد من نفوذية أشعة الليزر. وكذلك لابد من تحديد البعد بين المرسل والمستقبل بعد دراسة المسار البصري لضوء الليزر. ومن ثم يتم اتخاذ القرار بفاعلية منظومة الاتصال في ذلك المكان، وتحديد المواصفات التي لابد من توفرها في المنظومة لبناء نِظام فَعال فضلاً عن اختيار الطول الموجي المناسب ضمن نوافذ الاتصالات.

المصادر

Andrews, L.C.; Phillips, R.L. (1998). "Laser Beam Propagation Through Random Media". SPIE Press, Bellingham, pp. 40-50.

Bohren, C.F.; Huffman, D.R. (1983). "Absorption and Scattering of Light by Small Particles". John Wiley and Sons, New York, pp. 65-68.

Gagliardei, R.M.; Kaprs, S. (1995). "Optical Communication". 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, pp. 201-225.

Goody, R.G.; Yung, Y.L. (1989). "Atmospheric Radiation: Theoretical Basis". 2nd ed., Oxford University Press, London. pp. 85-105.

Harry, J.; Dutton, R. (1998). "Understanding Optical Communications", Copyright IBM Corp, pp. 320-345.

Hudson, R.D. (1968). "Infrared System Engineering", Wiley Series in Pure and Applied Optics, pp. 63-77.

Killingers, D. (2002). "Free Space Optics for Laser Communication Through the Air", in Optics and Photonics News, pp. 23-36.

Majumdar, A.K.; Ricklin, J.C. (2005). Atmospheric channel effects of the free space laser communication. *Proc. SPIE, free - space laser communication*, **2**(1), 9-56.

McCartney, E.J. (1976). "Optics of Atmosphere: Scattering by Molecules and Particles", John Wiley and Sons, New York, pp. 125-155.

Ricklin, J.C.; Davidson, F.M.; (2002). Atmospheric turbulence effects on a partially coherent gaussian beam: implication for free-space laser communication. *J. Opt. Soc.* **1** (19), 25-67.

Thomas, M.E.; Duncan, D.D.; (1993). "Atmospheric Transmission: The Infrared and Electro-Optical Systems". Hand book, SPIE Press, pp. 72-81.