مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(5) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (5) 2022

دراسة تأثير حالات الطقس المختلفة على نظام اتصالات OFDM-FSO

د. فادي غصنة*

د. محمد نصر**

م. رنيم يونس***

(تاريخ الإيداع 3/2 /2022 . قُبِل للنشر في 2022/6/21)

□ ملخّص□

تعد تقنية (FSO: Free Space Optics) واحدة من الاتجاهات الحديثة في تكنولوجيا الاتصالات، حيث تنتقل فيها الإشارة من مكان إلى آخر عبر الغلاف الجوي. تتمثل الميزة الرئيسية لهذا النظام بكفاءة عرض النطاق الترددي عند مقارنتها مع تقنية RF. إلا أن واحدة من المهمات الصعبة لتنفيذ هذا النظام تكمن في الظروف الجوية مثل الضباب والأمطار وما إلى ذلك والتي ستسبب تدهور في الإشارة لنظام FSO.

تم في هذا البحث استخدام تقنية Coherent OFDM لتعزيز أداء النظام وللتغلب على ضعف الإشارة بسبب الظروف الجوية. تمت المحاكاة باستخدام برنامج Optisystem v.15 حيث تم قياس قيمة Bit Error Rate (BER) في حالات الطقس المختلفة (صحو _ مطر _ ضباب) بالإضافة لمخطط الكوكبة.

الكلمات المفتاحية: نظام FSO– OFDM – CO OFDM – BER – مخطط الكوكبة– Optisystem

*أستاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات– كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس– سوريا

** مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات – كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس– سوريا

*** طالبة ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات– كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات–جامعة طرطوس–سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(5) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (5) 2022

Studying effect of different weather conditions on The OFDM-FSO Communication System

Dr. Fadi Ghosna*
Dr. Mohammad Nasr**
Eng. Ranim Younes***

(Received 2/3/ 2022 . Accepted 21/6/ 2022)

□ ABSTRACT □

FSO technology is one of the recent trends in communication technology, where signals are transmitted from one place to another through the atmosphere. The main feature of this system is sufficiency of bandwidth when compared with RF technology.

However, one of the difficult tasks to implement this system in weather conditions such as fog and rain and so on, which will cause a deterioration in the FSO system signal.

In this search, Coherent OFDM technology has been used to enhance system performance and overcome the signal weakness due to weather conditions.

The simulation is done using Optisystem v.15 program, where we measured the Bit Error Rate (BER) value in various weather conditions (clear – rain - fog).

Keywords: FSO System – OFDM – CO OFDM – BER – Constellation diagram- Optisystem.

*Assiestant professor, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria .
**Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria
***Master Student- Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria

1- مقدمــة:

أدى الطلب المتزايد على الإنترنت عالي السرعة والخدمات عالية السعة إلى ضغط كبير على أنظمة وتقنيات الاتصال. دفع ذلك الباحثين إلى البحث عن حلول، بما في ذلك تكنولوجيا الاتصالات البصرية الفضائية (FSO: Free Space Optics) .

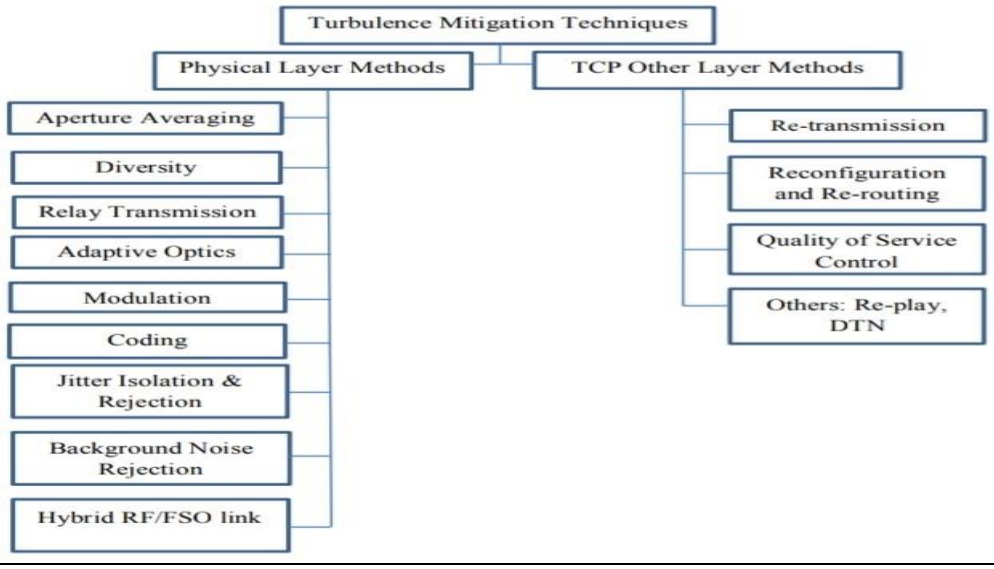
اتصالات FSO هي تقنية خط البصر التي تنقل إشارة المعلومات عن طريق ضوء الليزر من خلال قناة في الغلاف الجوي بدلاً من كابلات الألياف الضوئية [1] [2]. هذه التقنية لديها العديد من الميزات : معدل نقل بيانات عالي، نقل المعلومات إلى مسافة بعيدة، سرعة عالية في إرسال البيانات وعدم الحاجة إلى ترخيص من لجنة الاتصال الدولية لعدم الحاجة لحجز ترددي لتطبيق الاتصال بالإضافة إلى التركيب السهل واستهلاك خفيف للطاقة الكهربائية مقارنة بالاتصالات الراديوية RF وأيضاً أمن عالي وتكلفة أقل مقارنة بشبكات الألياف الضوئية [3] [4]. ومع هذه الصفات المتميزة لنظام FSO فإن أدائها ضعيف في اضطرابات الغلاف الجوي التي تحدث نتيجة آثار الطقس (مثل المطر والضباب والثلج وغيرها) والتي تؤدي إلى تخامد الإشارة والتقلب العشوائي لها في جهة الاستقبال بالإضافة إلى امتصاص وتبعثر الليزر، قد تتضمن التحديات الأخرى المرتبطة باستخدام نظام FSO الحاجة إلى خط نظر مباشر وواضح بين المرسل الليزري والمستقبل بحكم أن الليزر لا يمكن أن يخترق الأبنية والجدران وغيرها [5].

من أجل تحسين موثوقية نظام FSO في جميع الظروف الجوية يتم استخدام أنواع مختلفة من تقنيات التخفيف. حيث يمكن استخدام تقنيات التخفيف في الطبقة المادية أو في طبقات TCP الأخرى (طبقات الشبكة والنقل) يوضح الشكل (1) تقنيات التخفيف المختلفة التي تستخدم في اتصالات FSO [6].

تم في هذا المقال توظيف تقنية التعديل للتخفيف من آثار الاضطرابات الجوية وزيادة موثوقية النظام. هناك العديد من مخططات التعديل التي تم استخدامها في نظام FSO حيث على مدار العقد الماضي تم اعتماد تعديل OOK بشكل كبير نتيجة بساطته في التطبيق العملي والكلفة المنخفضة إلا أنه يتطلب عتبة تكيفية مناسبة للحصول على الأداء الأمثل. كما أنه تم استخدام تعديل PPM لأنه يوفر كفاءة طاقة جيدة، لكن أدائها محدد بكفاءة عرض النطاق الترددي السيء. من أجل التغلب على عوائق OOK و PPM تم اقتراح مخطط OFDM باستخدام مخطط QAM [7].

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تصميم نظام اتصالات ضوئية في الفضاء الحر FSO بمعدل نقل بيانات عالي مع تحسين أدائه باستخدام تقنية التعديل Coherent OFDM وذلك في حالات الطقس المختلفة (صحو- مطر-ضباب).



الشكل(1): تقنيات مختلفة لتخفيف تأثير الاضطرابات الجوية على نظام FSO

3- مواد وطرق البحث:

التعريف بنظام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر FSO مع الميزات التي قدمها و السلبيات التي يتعرض لها، وكذلك التعريف بصيغ التعديل الممكن استخدامها في هذا النظام لتحسين أدائه والتوصل إلى أن تقنية تعديل OFDM هي الأفضل.

في الدراسة العملية اعتماداً على برنامج Optisystem v.15 وهو برنامج متخصص بمحاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية و ذو موثوقية عالية ومعتمد لدى كبرى شركات الاتصالات في العالم.

3-1 تقنية OFDM:

تعرف تقنية (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) بأنها تقنية تعديل متعدد الحوامل حيث يتم إرسال البيانات على عدة حوامل فرعية بترددات مستقلة عن بعضها، هذه الحوامل تكون متعامدة مع بعضها البعض بحيث أي حامل لا يتداخل مع الحوامل الأخرى [8]. لهذا السبب تساعد تقنية OFDM في تقليل الخفوت المتعدد المسارات ويساهم في استخدام النطاق الترددي بشكل مثالي. يستخدم OFDM في التعديل تحويل فورييه السريع العكسي IFFT وفي فك التعديل يستخدم تحويل فورييه السريع FFT. وأيضاً يتم إضافة بادئة دورية في OFDM لمنع التداخل بين الرموز ISI ولمنع التداخل ببين الحوامل ICI إلى حد ما واسترداد معدل البيانات الصحيح.

تمت دراسة نظام (OFDM-FSO: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Free Space Optics) في [9] لأول مرة.

تم استخدام تقنية الكشف المتماسك حيث أن هذه التقنية تعمل على تحسين الإشارة التي تم إرسالها على مسافات طويلة والتي يكون من خلالها الخفوت عالي. إن أداء نظام OFDM-FSO يعتمد على المعدل الضوئي المستخدم ومستوى طاقة الإرسال والتعديل المستخدم وبالتأكيد يعتمد على معدل البتات المستخدم [10].

3-2 تأثير حالات الطقس (الضباب والمطر) على قناة FSO:

3-2-1 تأثير الضباب:

إن أداء وصلة FSO يخضع لعدة عوامل جوية مختلفة مثل الضباب والمطر والثلج ....الخ مما يؤدي إلى تخامد الإشارة المستقبلة وانخفاض في طاقتها. ومن بين هذه العوامل عادة ما يسيطر الضباب على التخامد في الغلاف الجوي لأن حجم جسيمات الضباب يمكن مقارنتها مع طول الموجة المستخدم في أنظمة FSO.[6].

في حالة الضباب الكثيف عندما تكون الرؤية أقل من 50 m، يمكن أن يكون التخامد أكبر من 350 dB/Km وهذا يدل بوضوح على أنه يمكن أن يحد من توافر روابط FSO. في مثل هذه الحالات يساعد الليزر ذو الطاقة العالية مع استخدام تقنيات التخفيف على تحسين فرص توافر الوصلات. بشكل عام تعد الليزرات ذات الطول الموجي 1550 nm هي الخيار الأفضل خلال التخامد القوي وذلك بسبب طاقتها العالية للإرسال [6] .

إن الضياع بسبب الضباب يتم تقديره باستخدام نماذج تجريبية شائعة على الرغم من أنه يمكن حسابه بتطبيق نظرية تبعثر Mie إلا أن هذه النظرية تتضمن حسابات معقدة ومعلومات مفصلة عن بارامترات الضباب [6] .

عادة ما يؤخذ طول الموجة 550 nm كطول موجة مرجعي لمجال الرؤية. المساواة التالية تحدد التخامد الناتج عن الضباب باستخدام النموذج التجريبي الشائع تبعثر Mie [6] .

$$\beta_{fog}(\lambda) = \frac{3.91}{V}\left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-P} \qquad (1)$$

حيث: V هي مجال الرؤية وتقاس ب Km.

Λ طول الموجة وتقاس ب nm.

P معامل توزع حجم التبعثر.

يمكن تحديد قيمة هذا المعامل باعتماد نموذج Kim أو Kurse [11].

نموذج Kim:

$$P = \begin{cases} 1.6 & V > 50 \\ 1.3 & 6 < V < 50 \\ 0.16V + 0.34 & 1 < V < 6 \\ V - 0.5 & 0.5 < V < 1 \\ 0 & V < 0.5 \end{cases} \qquad (2)$$

نموذج Kruse:

$$P = \begin{cases} 1.6 & V > 50 \\ 1.3 & 6 < V < 50 \\ 0.585\, V^{\frac{1}{3}} & V < 6 \end{cases} \qquad (3)$$

3-2-2 تأثير المطر:

إن تأثير المطر لا يكون واضح مثل تأثير الضباب حيث أن قطرات المطر أكبر بكثير في الحجم (100−10000 μm) من طول الموجة المستخدم في اتصال FSO [6].

يتم تسجيل شدة الأمطار ب inches أو mm (1 inch=25.4 mm) معدل هطول الأمطار1mm يعني ارتفاع مياه الأمطار 1mm مقاسة في مساحة $1m^2$ مع ملاحظة عدم وجود تسرب أو تبخر[10].

يعطى عامل التخامد المحدد الناتج عن المطر من أجل الاتصالات الضوئية اللاسلكية بالعبارة التالية [12]

$$\gamma(\mathrm{dB/Km}) = \alpha.\,\mathrm{R}^{\mathrm{b}} \qquad (4)$$

حيث: R هو معدل هطول الأمطار بmm/h

a,b بارامترات منخفضة الطاقة هذه البارامترات تعتمد على التردد وتوزيع قياس قطرة المطر وحرارة المطر.

يتم تقدير تخامد المطر باستخدام نماذج تجريبية التي اقترحها قطاع الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-R). من أجل اتصالات FSO يتم تحديد عامل التخامد لحالة المطر من أجل الدراسات المقدمة بالعلاقة التالية [12] :

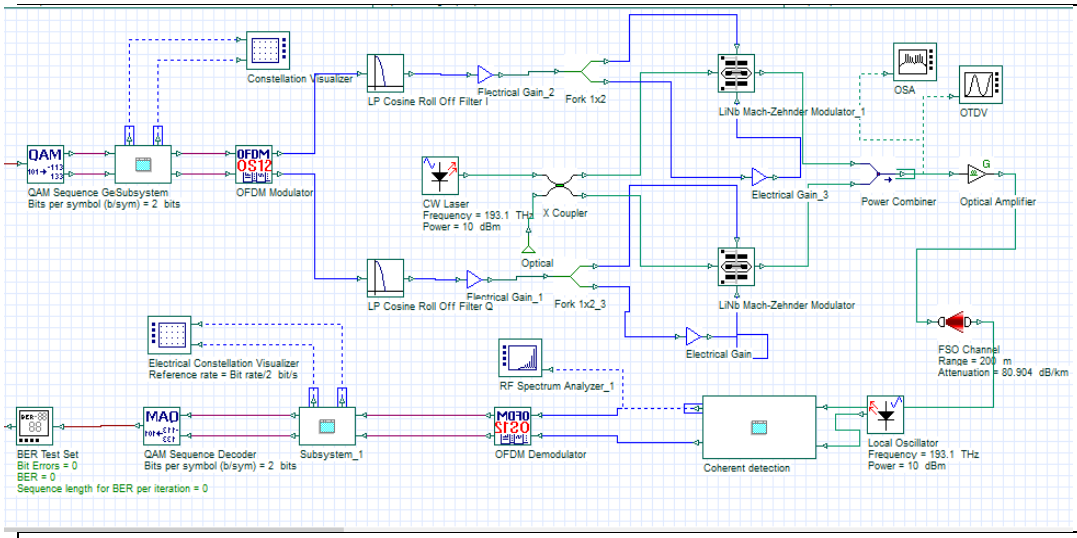
$$\gamma(\mathrm{dB/Km}) = 1.076\ \mathrm{R}^{0.67} \qquad (5)$$

3-3 النظام المقترح:

تم تنفيذ محاكاة نظام CO OFDM-FSO باستخدام برنامج Optisystem v.15 وذلك في ظروف جوية مختلفة وتم تقييم الأداء على أساس BER مع المسافة المقبولة بالإضافة إلى مخطط الكوكبة.

يوضح الشكل (2) صورة النظام بشكل كامل حيث يقوم بلوك BER test بتوليد بتات ثنائية عشوائية بمعدلGbps 10، سيتم إرسال هذه البتات إلى مولد التسلسل Sequence Generator الذي سيقوم بتحويلها إلى إشارات متوازية، في هذا المقال استخدمنا QAM Sequence Generator مع 2 بت في كل رمز أي 4-QAM ، يمكن استخدام مخططات تعديل أخرى لكن عندما يكون معدل البيانات عالي يفضل الباحثون استخدام M-array QAM أو QAM. بعدها يأتي نظام (RTO: Radio To Optical) الذي يقوم بتحويل الاشارة الكهربائية إلى ضوئية ومن ثم إرسالها لاحقاً في قناة FSO. قسم RTO يحوي على عدة مكونات: CW Laser ومعدلين Linb Mach Zehnder والتي تقوم بتعديل إشارة خرج OFDM وتوليد إشارات ضوئية باستخدام CW Laser بتردد 193.1 THz [10].

مسافة الإرسال التي تمت مناقشتها هي (1-3 Km) خلال الطقس المشمس و (0.4-0.9 Km) خلال الطقس الماطر و (0.1-0.3 Km) خلال الطقس الضبابي. خلال عملية الانتشار عبر قناة FSO تم ضبط قيمة التخامد على اختلاف الطقس المستخدم حيث كانت قيمة التخامد في الطقس الصبابي [13] 80.904 dB/Km والماطر 19.28 dB/Km والصحو 0.155 dB/Km وبعد أن تنتشر عبر القناة FSO سوف تصل إلى جهة الاستقبال حيث يتم أولاً توجيهها إلى Coherent Detection كمستقبل ضوئي مزود بمذبذب محلي للتغلب على الضعف الذي تعرضت له الإشارة أثناء انتقالها في الفضاء الحر. مستقبل OFDM يضم فك تعديل OFDM و QAM Sequence Detector لفك تعدد Demultiplex الإشارة للحصول على إشارة الخرج. يمكن رؤية مخطط الكوكبة لإشارة الخرج في كاشف الكوكبة الكهربائي الموجود قبل QAM Sequence Detector [10].

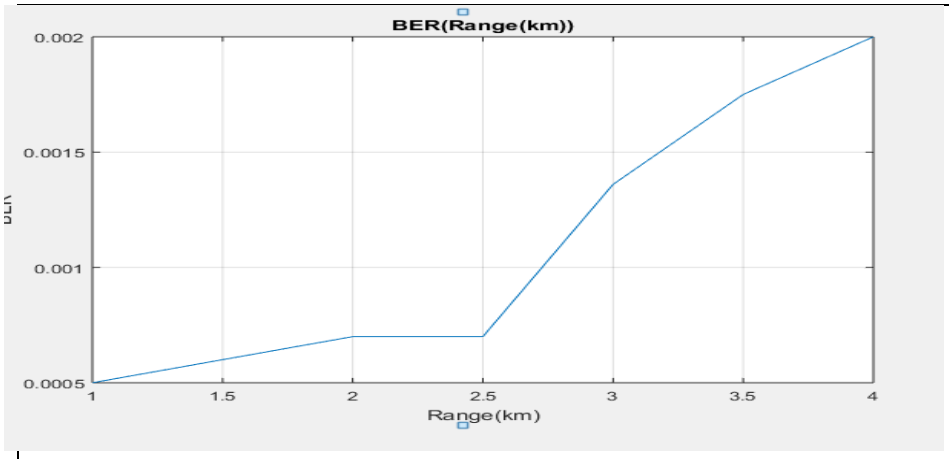


الشكل(2): مخطط نظام OFDM–FSO

4- النتائج والمناقشة:

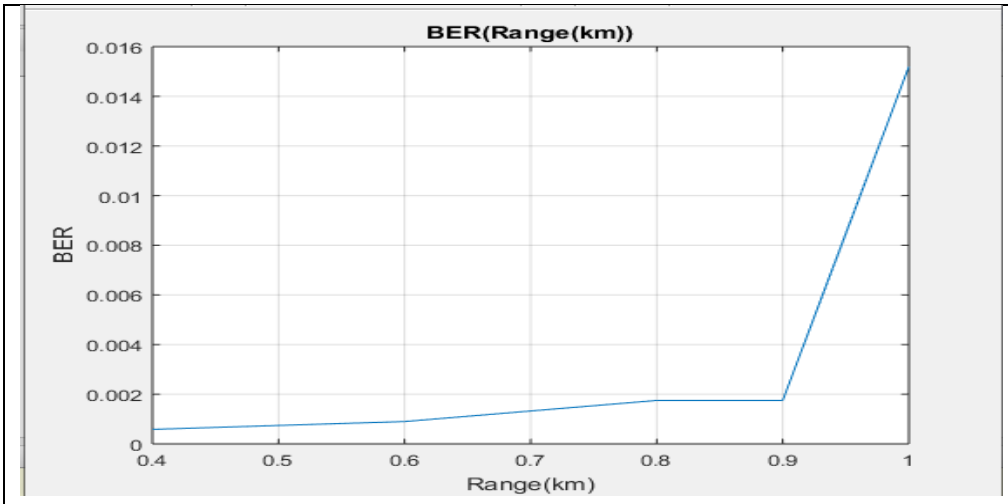
تم في هذا القسم عرض النتائج التي حصلنا عليها من برنامج Optisystem v.15 حيث أظهرت الدراسة التحليلية قيم BER مقابل المسافة مقاسة ب Km لتنفيذ نظام OFDM–FSO وذلك من أجل حالات طقس مختلفة (صحو – ضباب – مطر) . وأيضاً تم عرض مخطط الكوكبة.

قبل المحاكاة تم ضبط المعايير مثل معدل الإرسال 10Gbps، وطول التسلسل 16384 .



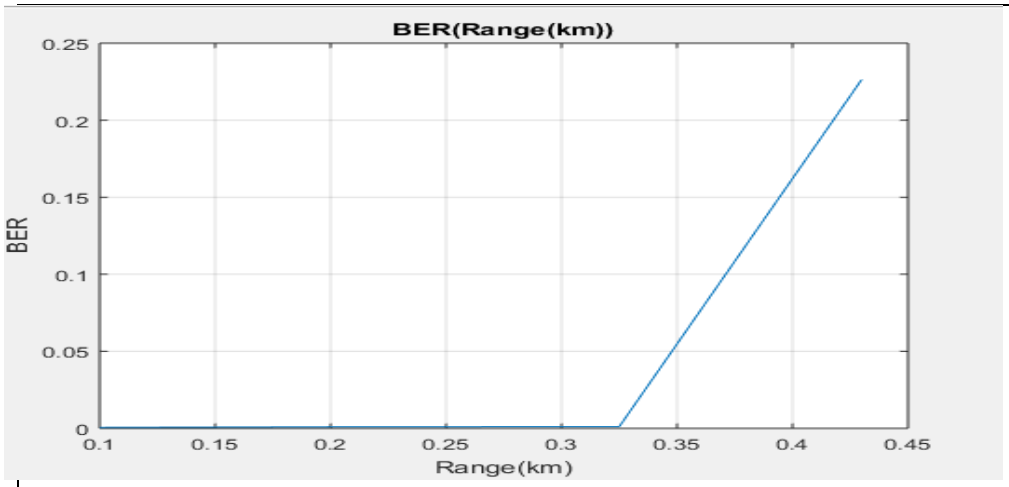
الشكل(3): نتيجة BER مقابل المسافة في حالة الطقس الصحو

يبين الشكل (3) منحني BER مقابل المسافة مقاسة ب Km في حالة الطقس الصحو حيث التخامد يكون 0.155 dB/Km من الواضح أنه خلال الطقس الصحو أن النظام يسمح بوصول الإشارة لمسافة 2.7 Km تقريباً مع قيمة BER مقبولة أما بعد هذه المسافة تزداد قيمة الخطأ بشكل كبير وذلك بسبب زيادة الضجيج الذي تتعرض له الإشارة على طول خط الإرسال وعندها لا يتم استقبال الإشارة بشكل صحيح ومع ازدياد المسافة بشكل كبير قد لا تصل الإشارة لجهة الاستقبال.



الشكل(4): نتيجة BER مقابل المسافة في حالة الطقس الماطر

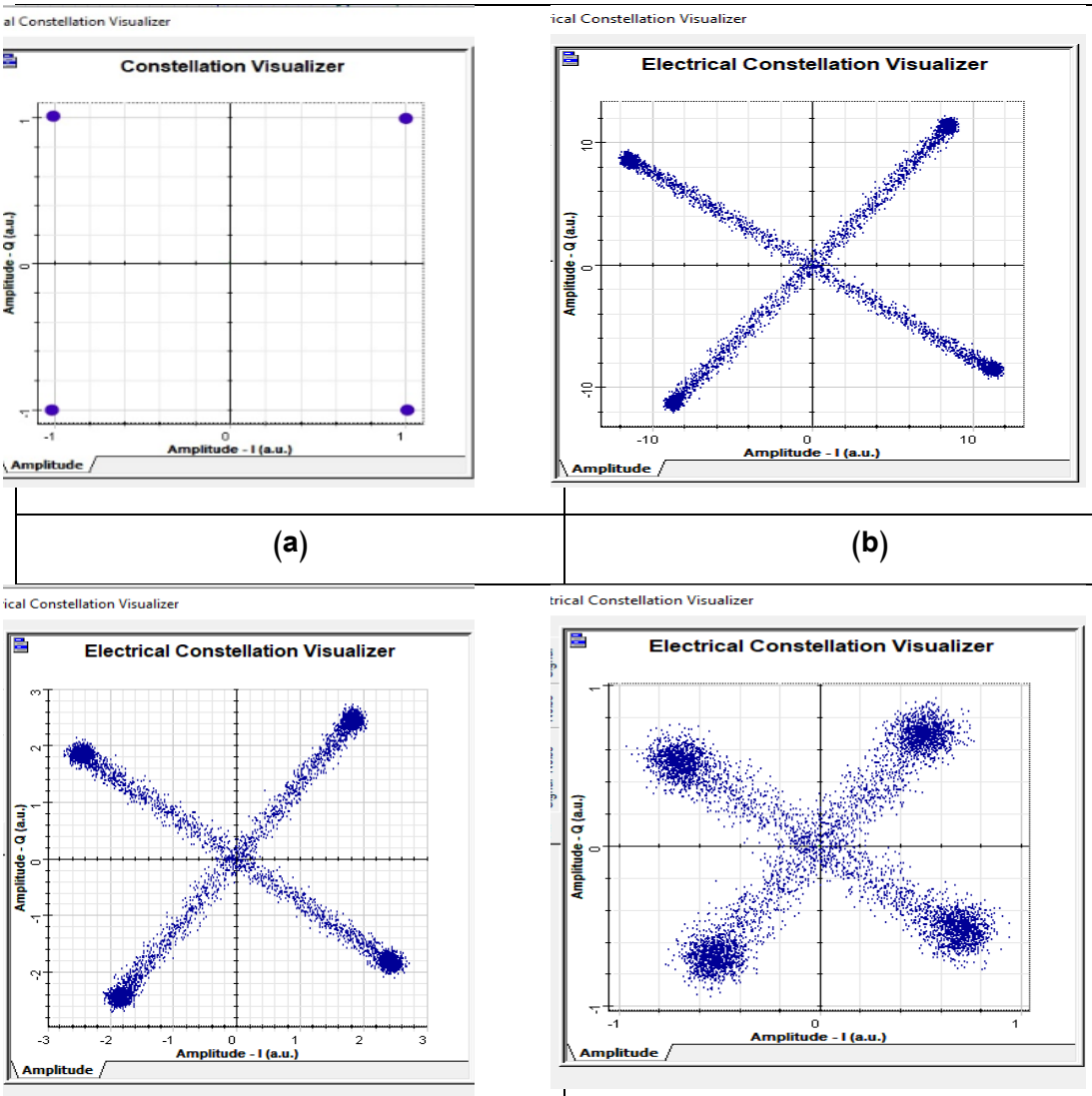
يبين الشكل (4) منحني BER مقابل المسافة مقاسة ب Km أيضاً ولكن في حالة الطقس الماطر حيث التخامد يكون 19.28 dB/Km يبين المخطط أن النظام خلال الطقس الماطر يسمح بوصول الإشارة لمسافة 700 m تقريباً فقط مع قيمة BER مقبولة وذلك بسبب ازدياد عامل التخامد لحالة الطقس الماطر ولأن حبات المطر المتساقطة تسبب تبعثر طول الموجة، ويزداد الضياع الناتج عن المطر خطياً بزيادة معدل تساقط الأمطار لذلك بعد مسافة 700 m تزداد قيمة BER بشكل كبير ويصعب عندها استقبال الإشارة بشكل صحيح.



الشكل(5): نتيجة BER مقابل المسافة في حالة الطقس الضبابي

يبين الشكل (5) منحني BER مقابل المسافة في حالة الطقس الضبابي والذي يكون فيه التخامد عالي جداً تقريباً 84.904 dB/Km يبين المخطط أنه خلال هذا الطقس فإن النظام يسمح بوصول الإشارة لمسافة 325 m تقريباً فقط وذلك لأن الضباب غالباً ما يهيمن على التوهين في الغلاف الجوي لأن حجم جسيمات الضباب يمكن

أن تتم مقارنتها مع طول الموجة المستخدم، حيث أن الضباب يمكن أن يعيق مرور الليزر تماماً بسبب الامتصاص والتبعثر.



(a) (b)

(c) (d)

الشكل(6): مخطط الكوكبة من أجل حالة الطقس الضبابي على مسافات مختلفة

يوضح الشكل (6) مخطط الكوكبة لحالة الضباب مع تغير قيم المسافة. حيث الشكل(a-6): قبل الإرسال، يبين الشكل أن مخطط الكوكبة يقترب إلى المركز، ولكن هذا الاقتراب يزداد تدريجياً من الشكل (b-6) إلى الشكل (c-6) إلى الشكل (d-6) أي كلما زادت المسافة، ويبين أيضاً قيمة المطال تنقص حيث كانت في الشكل (b-6) تساوي 10 أما في الشكل (c-6) نقصت إلى 3 ويعود ذلك إلى زيادة التخامد مع ازدياد المسافة وذلك بسبب الظروف الجوية.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

- إن اختيار تقنية تعديل OFDM يعد قرار مصيري لأنه يؤثر على عرض النطاق الترددي والبارامترات الأخرى. حيث تم في الدراسة السابقة بتوظيف تقنية تعديل OFDM لأنها تعمل على زيادة أداء نظام FSO في حالات الطقس المختلفة وكمقارنة مع التعديلات الأخرى تعد هي الأفضل كما لاحظنا من الدراسات السابقة.
- يمكن دراسة أداء النظام من خلال إضافة الترميز مع التعديل مثل ترميز Convolution أو Reed Solomon أو Turbo ومقارنة أدائها.
- يمكن دراسة أداء النظام من خلال توظيف تقنيات تخفيف أخرى غير التعديل مثل مكاملة النظام مع أنظمة الاتصال اللاسلكية الراديوية وغيرها من الحلول التي يمكن أن تحسن من أداء النظام وتخفف الضياعات.

6- المراجع:

[1] Kim, I.I and Eric, K. (2002) Availability of Free Space Optics (FSO) and Hybrid FSO/RF Systems. Optical Access, Incorporated, SanDiego

[2] Zhu, X.M. and Kahn,G.M. (2002) Free-Space Optical communication through Atmospheric Turbulence channels. IEEE Transaction on communication, 50, 1293-1300. https://doi.org/10.1109/TCOMM.2002.800829

[3] Arun K. Majumdar, Jennifer C. Ricklin, "Free-Space Laser Communications Principles and advances", (2008) Springer Science+Business Media LLC, ISBN-13: 978-0-387-28652-5,pp.1-25.

[4] Abdulsalam Ghalib Alkholidi, Khaleel Saeed Altowij, "Free Space Optical Communication-Theory and Practices", ResearshGate DOI 10.5772/58884,(2014).

[5] A. Mansor, R.Mesleh, and M. abaza "New challenges in wireless and free space optical communication," Optics and laser in Engineering, vo1.89,pp.95-108,2017.

[6] Hemani Kaushal, Georges Kaddoum, "Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques", IEEE Communication Surveys & tutorials, (2017).

[7] Bukola D. Ajewole, Pius A. Owolawi, Viranjay M.Srivastava, " Error Performance of Coded BPSK OFDM-FSO System under Atmospheric Turbulence", Journal of communications Vol.14,No. 10, October 2019.

[8] V. Sharam, Sushank, "High speed CO-OFDM-FSO transmission system," Optic 125(2014) 1761-1763.

[9] V. Sharma, S .Chaudhary, "Implementation of Hybrid OFDM-FSO Transmission System", International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 58-No.8,pp.37-40,2012.

[10] F. Hario, E. Maulana, Sholeh H. Pramono, Sapriesty N. Sari, Anas M. Al Junaedi, " Design of OFDM-FSO Communication System on High Data Rate for Tropical Climate Region", (2019) International Conference on advanced Technologies for Communications(ATC).

[11] I.I.Kim, B. McArthur, and E. Korevaar," Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications," Proc.SPIE,4214,Boston,MA,USA,2001

[12] ITU (2007) Prediction Methods Required for the design for terrestrial Free-Space Optical Links. Recommendation ITU-R P.1814.

[13] Voodi v. sudheer, Abhilash Mandloi, " Enhanced Coherent Optical OFDM FSO Link Using Diversity for Different Weather Conditions", IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information Commincation Technology, May 20-21,2016, India.