مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٣) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (3) 2024

دراسة وتحليل أداء نظام اتصالات ضوئي لاسلكي يستخدم عدة تقنيات تعديل ضمن بيئات طقسية مختلفة

د. محمد نصر *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/١٢/٣ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/٣/٤)

□ ملخّص □

أصبح استخدام المجال الضوئي لنقل المعلومات من أكثر التقنيات استخداماً في العصر الحديث، لما يمنحه من عرض مجال كبير وسرية عالية للمعلومات المنقولة، سواء باستخدام الكابلات الضوئية أو لاسلكياً عبر الهواء. يحدد اختيار نوع التعديل الملائم للإرسال أداء النظام وخاصة من أجل بيئات طقسية مختلفة.

تم في هذا العمل دراسة أداء نظام اتصالات لاسلكي يستخدم تعديلات NRZوRZ عند طول الموجة 1550 nm ومن أجل حالات طقسية مختلفة (ضباب –مطر –صحو) عند استخدام نوعي أجهزة استقبال PIN, ADP. تم التحليل من خلال حساب معدل خطأ البت للحالات المدروسة ومعامل الجودة Q من خلال مخططات العين. بينت النتائج أن قيمة معامل الجودة Q تكون أعلى عند استخدام نوع التعديل NRZ مع الثنائي الضوئي APD، وأقل قيمة عند استخدام نوع التعديل RZ مع الثنائي الضوئي PIN.

الكلمات المفتاحية: الاتصالات الضوئية، اتصالات الفضاء الحر، NRZ، RZ، PIN، APD

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

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٣) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (3) 2024

Study and analyses wireless optical communications system using several modulation techniques under different weather environments

Dr.Mohammad Nassr *

(Received 3/12/2023 . Accepted 4/3/2024)

□ ABSTRACT □

The use of the optical field to transmit information has become one of the most widely used techniques in the modern era, as it gives it a large field width and high confidentiality for the information transmitted through it, whether using optical cables or via free space. Choosing the appropriate type of modulation of the transmission determines the performance of the system, especially for different weather environments.

In this work, the performance of the communication system in free space was studied using NRZ, RZ modulation at wavelength 1550 nm, for different conditions of fog, rain, and clear, and for two types of APD and PIN receivers. Performance was analyzed by calculating the bit error rate (BER) for studied cases and quality factor (Q) across the eye diagrams.

The results shows that the value of the quality factor Q is higher when using the NRZ modification type with the APD photodiode, and the lowest value was when using the RZ modification type with the PPIN photodiode.

Key Words: Optical systems, free space optic, NRZ, RZ, PIN, APD.

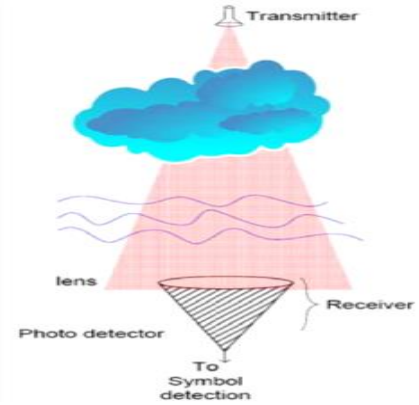
*Assistant Professor, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria .

1- مقدمــة

يعتمد نظام الاتصالات الضوئي في الفضاء الحر free space optic FSO على إرسال البيانات data على شكل إشارة ضوئية ضمن الهواء air وضمن مسار مباشر line of sight [١].

تسمح هذه التقنية بإرسال إشارات تصل معداتها إلى مستوى Gbps. من أهم مزايا عمل هذا النظام أنه لا يحتاج إلى رخصة من هيئات الاتصال العاملة لعدم تداخله مع الإشارات الراديوية والميكروية العاملة [٢]. كما إن كلفة وضع النظام بالخدمة ليس كبيراً مقارنةً مع أنظمة اتصالات الألياف البصرية. إضافة لذلك فإن حزمة الأشعة الصادرة من النظام ضيقة narrow ولا تتأثر كثيراً بالتشويش jamming والتداخل interference [٣]. يمكن من أجل إعداد النظام استخدام عدة مصادر للمرسل مثل الليزرات laser أو الثنائيات المشعة للضوء LED.

يعتمد أداء نظام الاتصالات اللاسلكي في الفضاء الحر على العديد من العوامل والتي يمكن تقسيمها إلى عوامل داخلية وعوامل خارجية، تضم العوامل الداخلية نوع الليزر المستخدم وطول الموجة المستخدم وانحراف الشعاع الصادر beam divergence، يجب موائمة هذه البارامترات للحصول على النتيجة المطلوبة. أما العوامل الخارجية فهي محددة بالوصلة اللاسلكية وعوامل الطقس المختلفة وعلى طول المسار وعلى فترات زمنية مختلفة خلال اليوم (الليل والنهار)، تسبب هذه الظروف مشاكل لأداء النظام [٤]. يبين الشكل (١) نظام اتصالات ضوئي لاسلكي ضمن الفضاء الحر.



الشكل (١) نظام اتصالات ضوئي لاسلكي

يوجد عدة نوافذ لإرسال الأطوال الموجية مستخدمة ضمن نظام FSO النافذة الأولى: تمتد من ٧٨٥ nm–850 nm النافذة الثانية: بجوار ١٣١٠ nm أما الثالثة: بجوار ١٥٥٠ nm [5].

تتعرض الإشارة أثناء عبورها القناة اللاسلكية للعديد من عوامل التضعيف مثل الضياع loss الناتج عن الامتصاص أو التبعثر scattering وتسبب هذه العوامل تراجع بالأداء من أجل حالات الرؤية المنخفضة low visibility والمسافات البعيدة [٦].

2- هدف البحـث

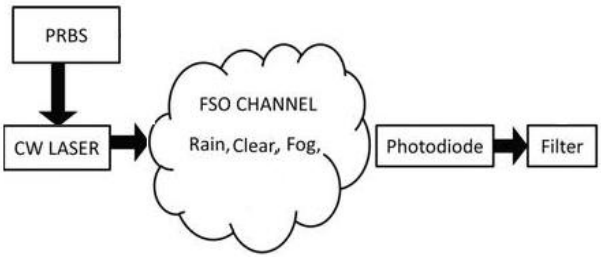
يهدف البحث إلى دراسة وتحليل أداء نظام اتصالات ضوئي لاسلكي يستخدم تقنيتي التعديل RZ, NRZ عند طول الموجة ١٥٥٠ nm ومعدل إرسال ٢,٥Gbps ودراسة تأثير بيئات طقسية مختلفة على أداء النظام.

3- طرائـق البحـث ومـواده

أُنجز هذا البحث اعتماداً على دراسات ومراجع علمية حديثة وعديدة تختص في هذا المجال وقد أخذت نتائجها و توصياتها بعين الاعتبار، كما استخدمت البيئة البرمجية OptiSystem في وضع النّماذج الرّياضية والمحاكاة الحاسوبيّة واستخلاص النّتائج [7][8][9].

3-1- نظام الاتصالات الضوئي اللاسلكي

يبين الشكل (٢) المخطط الصندوقي العام لنظام الاتصالات اللاسلكي والذي يحوي على التوابع الأساسية الثلاث لنظام الاتصالات المرسل والمستقبل، ويتغير المخطط والتوابع المستخدمة فيه حسب النظام المعتمد.



الشكل(2) المخطط الصندوقي لنظام الاتصالات اللاسلكي

يسمح الشعاع الليزري لنظام FSO بإرسال عرض مجال كبير للإشارة من المرسل عبر الهواء إلى المستقبل. ويتم تحقيق ذلك من خلال تطبيق شعاع ليزري معدّل ضيق واستقباله بأحد وسائل الكشف ضمن المستقبل ويمكن وصف النظام وفق الآتي [١٠]:

٣-١-١ مرسل :FSO

يتم ضمن المرسل تعديل معلومات الإشارة باستخدام تعديل المطال (الكثافة)intensity modulation وتحويل الإشارة الإلكترونية electrical signal إلى إشارة ضوئية باستخدام أحد المصادر LEDأو laser. يمكن ضمن هذا النظام استخدم أحد النوعين لتحويل الإشارة وفي أي من الحالتين فإن النوع المستخدم يجب أن يأخذ بالحسبان طول الموجة المناسب وعرض الخط line width والفتحة العددية numerical aperture وكمية البيانات المرسلة.

٣-١-٢ قناة نظام FSO:

تتحدد قناة FSO بالهواء air أو الخلاء vacuum وتؤثر هذه القناة على البيانات المرسلة من خلال بعض البارامترات المتعلقة بالبيئة مثل الضباب fog والمطر rain والغبار dust والدخان smoke إضافة لبغض العوائق الفيزيائية physical obstacles.

٣-١-٣ مستقبل نظام FSO:

يستخدم ضمن جزء الاستقبال كاشف ضوئي optical detector لعملية الكشف وقد يكون من نوع الكاشف الفوتوني PIN أو كاشف APD، يعتمد الكاشف الفوتوني photo detector على قانون التربيع square-low من أجل عملية التحويل الضوئي إلى الالكتروني optoelectronics حيث تتناسب الإشارة الالكترونية الناتجة مع استطاعة الإشارة الضوئية الواصلة optical power، وبما أن الإشارة الواصلة تكون ضعيفة فإن الكاشف يجب أن يتمتع بمتطلبات أداء عالية مثل الحساسية العالية high sensitivity ضمن مجال عمل طول الموجة ومستوى ضجيج منخفض low noise وعرض مجال ملائم يتناسب مع معدل إرسال البيانات[١١].

٣-٢ نماذج الاضطرابات للقناة:

ينتج عن امتصاص الإشعاع الشمسي من قبل سطح الأرض تسخين الهواء المحيط بها ويصبح أقل كثافة مسبباً تغيراً عشوائياً في درجة حرارته. يمكن النظر إلى التجانس homogeneities الناتج عن الاضطراب turbulence كخلايا منفصلة discrete cell أو دوامات eddies لها درجات حرارة مختلفة تعمل مثل موشورات prism مختلفة الأحجام. ينتج عن التفاعل بين شعاع الليزر لنظام FSO والوسط المضطرب تغيرات عشوائية ووميض scintillation للإشارة المنقولة عبر الليزر مما يؤدي إلى تناقص في أداء النظام [١٢].

يعتمد تصنيف الاضطرابات الجوية على مقدار تغير معامل الانكسار refraction index وعلى عدم التجانس inhomogeneites. تتبع هذه التصنيفات المسافة بين المرسل والمستقبل وهي تشمل ثلاثة مستويات: اضطرابات ضعيفة weak، متوسطة moderate، قوية مشبعة strong and saturation، تؤدي هذه الاضطرابات بالمجمل إلى خفوت الإشارة signal fading وتناقص في أداء النظام. يمكن نمذجة قناة الاتصال للوسط [13] وفق العلاقة الآتية:

$$y = s_x + n = \eta I\, x + n \qquad (1)$$

y: الإشارة الواصلة إلى المستقبل

s: مستوى الإشارة اللحظي instantaneous intensity

η نسبة تحويل الضوئي – الالكتروني الفعالة عند المستقبل effective photo –current conversion ration

I : الإشعاع المقيس normalized signal

n : الضجيج الأبيض الغاوصي مع متوسط صفري وتغاير $\frac{N0}{2}$ ، حيث N_0 : الكثافة الطيفية للضجيج الأبيض.

٣-٢-١ نموذج اضطراب اللوغاريتم الطبيعي log Normal turbulence model:

يعد هذا النموذج بسيط من أجل الحسابات الرياضية وهو واسع الاستخدام من أجل تابع الكثافة الاحتمالية probability density function (PDF). يصلح هذا النموذج لشروط الاضطراب الضعيف. يعطى نموذج اللوغاريتم الطبيعي من أجل الحقل الضوئي المستقبل I وفق العلاقة:

$$f(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 I}}\, exp\left[-\frac{(\ln(I) - m_i)^2}{2\sigma i^2}\right] \qquad I \geq 0 \qquad (2)$$

m_i : المتوسط .

σi : الانحراف المعياري standard deviation للتابع $\ln(I)$.

يعطى معامل الوميض كتابع للتغاير وفق العلاقة:

$$\sigma_{si} = e^{\sigma i^2} - 1 \qquad (3)$$

$$\sigma i^2 = \ln(\sigma_{SI}^2 + 1) \qquad (4)$$

يمكن حساب σ من أجل عامل وميض معطى.

من أجل الاضطرابات الضعيفة تقع σ_{SI}^2 ضمن المجال [0−0,075] وتزداد من أجل الاضطرابات القوية حيث يتم أخذ تأثيرات التبعثر المتعددة بالحسبان.

يعطى نموذج اللوغاريتم الطبيعي قيمة انحراف كبيرة مقارنةً مع القيم الفعلية، ولا تكون احتمالية الكشف والخفوت المرتبطة دقيقة occurate عند المقارنة مع القيم الفعلية والذي بدوره يؤثر على أداء النظام. يمكن حساب نسبة الإشارة إلى الضجيج ضمن هذا النظام وفق العلاقة:

$$SNR = \frac{4R^2P^2}{(\sigma_1 + \sigma_0)^2} \quad (5)$$

R: استجابة المستقبل responsively of receiver.

P: استطاعة المرسل.

σ_1, σ_0: الانحراف المعياري لضجيج الرموز ٠ و١.

تم استخدام هذه النموذج ضمن هذا العمل من أجل حالة الطقس الصحو.

٣-٢-٢ نموذج الاضطراب غاما- غاما Turbulence Model:

المعروف عن نماذج غاما غاما بأن لها شروط اضطراب ضعيفة إلى قوية لذلك فإن تابع الكثافة الاحتمالي له PDF ينتج عن متغيرين عشوائيين لغاما two gamma variables والتي تمثل الاضطرابات الصغيرة والكبيرة. يمكن تمثيل هذين المتغيرين بـ X,Y وعندها تكون الكثافة المستقبلة [13]:

$$I = XY \quad (6)$$

ويكون تابع الكثافة الاحتمالي PDF هو:

$$p(I) = 2\frac{(\alpha\beta)^{\frac{\alpha+\beta}{2}}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} I^{\left(\alpha+\frac{\beta}{2}\right)^{-1}} K_{\alpha-\beta}(\sqrt{\alpha\beta I}) \qquad I > 0 \quad (7)$$

α: عدد الدوامات الكبيرة large eddies.

β: عدد الدوامات الصغيرة small eddies.

I: شدة الإشعاع trradiance.

$\Gamma(.)$: تابع Γ.

K [α, β]: تابع بيسل من المرتبة الثانية.

يحسب α, β من العلاقة الآتية:

$$\alpha = \left[\exp\left[\frac{0{,}49{\sigma_i}^2}{\left[1 + 1.11{\sigma_i}^{\frac{12}{5}}\right]^{\frac{7}{6}}} - 1\right]\right]^{-1} \quad (8)$$

$$\beta = \left[\exp\left[+\frac{0{,}51{\sigma_i}^2}{\left[1 + 0.69{\sigma_i}^{\frac{12}{5}}\right]^{\frac{5}{6}}} - 1\right]\right]^{-1} \quad (9)$$

يوصف معامل وميض القناة scintillation اضطراب نموذج قناة غاما ويعطى بالعلاقة:

$$\sigma_N{}^2 = exp\left[\frac{0{,}49\sigma_i{}^2}{\left[1+1.11\sigma_i{}^{\frac{12}{5}}\right]^{\frac{7}{6}}} + \frac{0{,}51\sigma_i{}^2}{\left[1+0.69\sigma_i{}^{\frac{12}{5}}\right]^{\frac{5}{6}}}\right] - 1 \qquad (10)$$

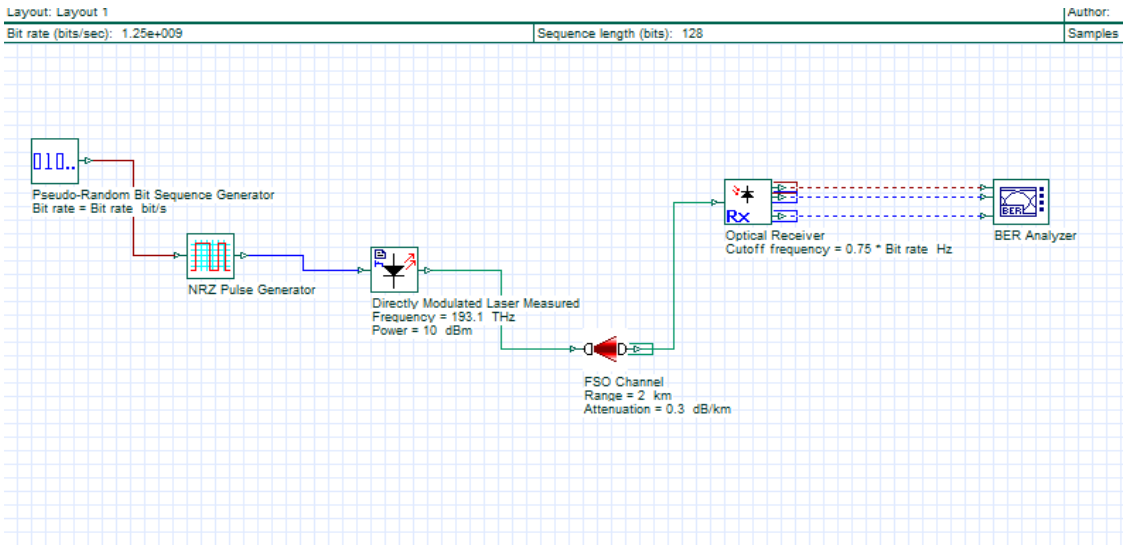
تم استخدام نموذج غاما–غاما ضمن هذا العمل من أجل حالة الطقس الضبابية والماطرة.

٣-٣ نموذج النظام المقترح:

تم تنفيذ محاكاة النظام باستخدام برنامج Optisystem 18 وذلك في حالات جوية مختلفة ومن أجل نوعي أجهزة استقبال PIN,APD، تم تقييم الأداء على أساس حساب معامل الجودة من خلال مخططات العين.

يوضح الشكل (٣) التصميم المقترح للنظام حيث يقوم مولد الاصفار والواحدات PRBS بتوليد تسلسل من الأصفار والواحدات بشكل عشوائي بمعدل 2.5 Gbps، تنتقل هذه البتات إلى مولد النبضات NRZ أو RZ، وقبل أن يتم إرسالها تعدل باستخدام ضوء الليزر المستمر. تتأثر قناة الاتصال اللاسلكية بعدة عوامل منها المسافة بين المرسل والمستقبل، التخامد، تشتت الحزمة، وغيرها. تم في هذا العمل مناقشة قيم التخامد تبعاً لحالة الطقس.

عند الاستقبال يقوم الثنائي الضوئي APD والثنائي الضوئية PIN باستقبال الإشارة ليتم بعد ذلك تمريرها على مرشح تمرير منخفض، ومولد 3R، ثم يتم إرسالها إلى محلل BER، والذي يستخدم لحساب معدل الخطأ وحساب معامل الجودة Q.



الشكل (3) نظام الاتصالات اللاسلكي الضوئي المقترح

4- النتائـــج والمناقشـــة

تم في هذا القسم عرض النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج Optisystem، حيث تم الاعتماد على تقنيات تعديل مختلفة (NRZ, RZ)، وتم إجراء مقارنة بين اثنين من الثنائيات الضوئية (APD,PIN) عند طول موجي 1550 nm.

يبين الجدول (١) بارامترات المحاكاة المستخدمة.

الجدول (١) بارامترات المحاكاة المستخدمة

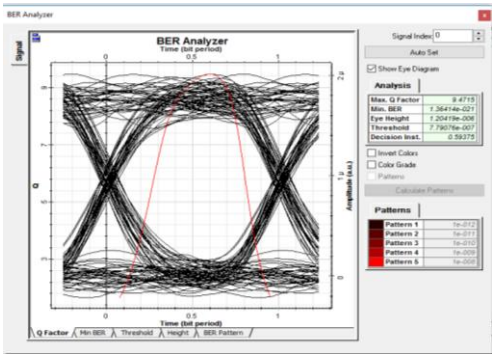
المحدد	القيمة
معدل ارسال البيانات	2.5 Gbps
طول الموجة المستخدم	1550 nm
استطاعة الإرسال	7 dB
نوع التعديل	NRZ, RZ

تم مناقشة حالات الطقس الواردة في الجدول (٢).

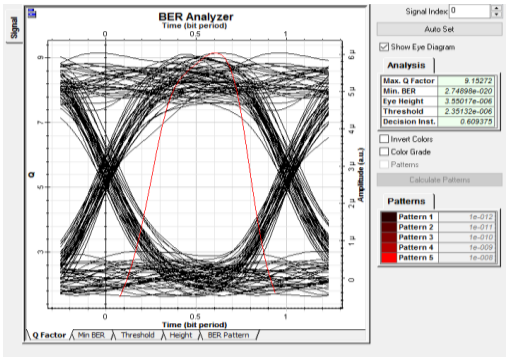
الجدول (٢): حالات الطقس التي تمت مناقشتها

الحالة	حالة الطقس	التخامد	المسافة
١	الضباب	80.904 dB/Km	0.1 Km
٢	المطر	19.28 dB/Km	1 Km
٣	الصحو	0.155 dB/Km	2.5 Km

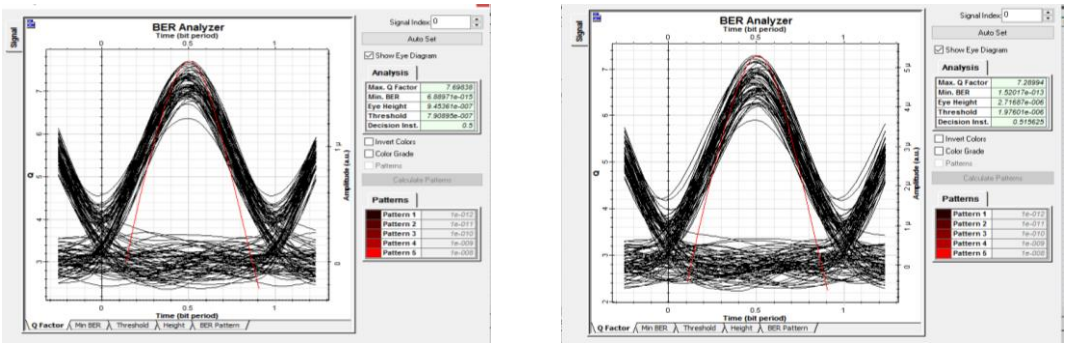
<u>في الحالة الأولى</u> عندما تكون قيمة التخامد 80.904 dB/Km وهي حالة وجود ضباب ضمن الهواء وبفرض المسافة بين المرسل والمستقبل 0.1 Km. يبين الشكل (4-a) مخطط العين للنظام عند استخدام الطول الموجي 1550 nm واستخدام تعديل NRZ والثنائي الضوئي APD، يتضح من المخطط أن عامل الجودة Q في هذه الحالة هو: 9.4715.



(a)



(b)



(c) (d)

الشكل (٤) مخطط العين للنظام لحالة الضباب a- تعديل NRZ وAPD b- NRZ وPIN c- RZ وAPD d- RZ وPIN

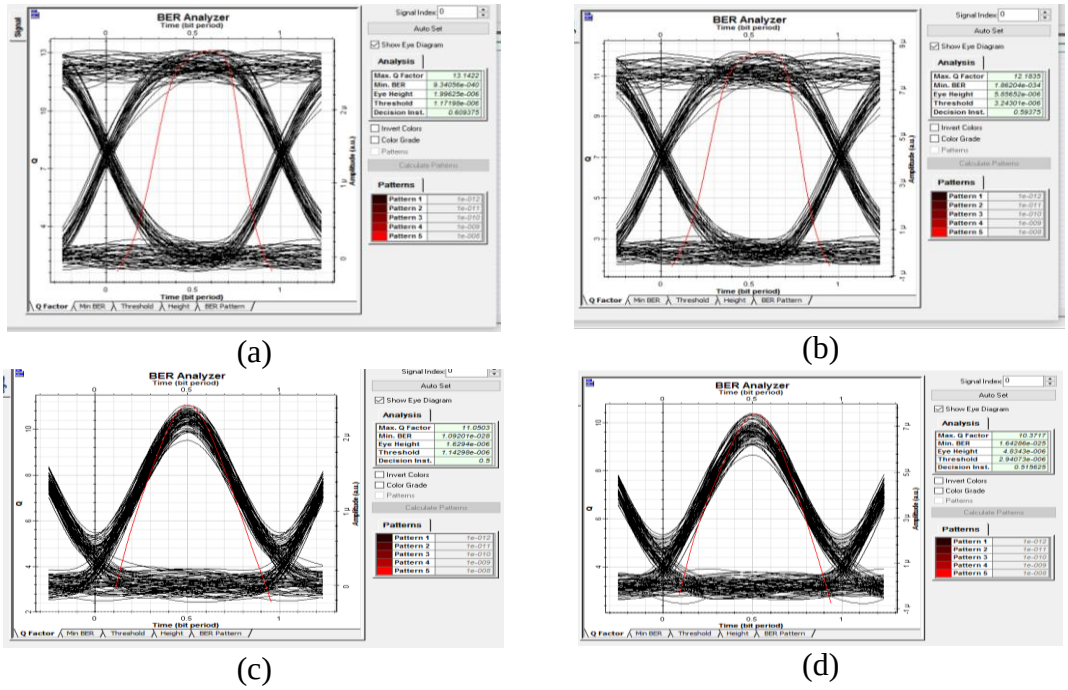
يوضح الشكل (4-b) مخطط العين للنظام باستخدام تعديل NRZ والثنائي الضوئي PIN، يتضح من المخطط أن عامل الجودة Q في هذه الحالة هو: 9.1527. أما الشكل (4-c) فيبين مخطط العين للنظام باستخدام تعديل RZ والثنائي الضوئي APD، يتضح من المخطط أن عامل الجودة Q في هذه الحالة هو: 7.6938. يوضح الشكل (4-d) مخطط العين لنظام باستخدام تعديل RZ والثنائي الضوئي PIN، يتضح من المخطط أن عامل الجودة Q في هذه الحالة هو: 7.2899، نلاحظ أنه في هذه الحالة عامل الجودة Q أقل من جميع الحالات السابقة. نستنتج مما سبق أن استخدام تعديل NRZ مع ثنائي ضوئي نوع APD أو مع الثنائي PIN هو أفضل خيار ممكن استخدامه لحالة الطقس الضبابية.

تم تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول (٣).

الجدول (٣) مقارنة استخدام أنواع التعديلات والمستقبلات المختلفة لحالة القناة الضبابية

معامل الجودة للنظام	نوع التعديل والمستقبل المستخدم
9.4715	تعديل NRZ والثنائي الضوئي APD
9.1527	تعديل NRZ والثنائي الضوئي PIN
7.6938	تعديل RZ والثنائي الضوئي APD
7.2899	تعديل NRZ مع APD

<u>في الحالة الثانية</u>: تم الأخذ بالحسبان الحالة المطرية وقيمة التخامد أصبحت 19.28 dB/Km مع مسافة مفترضة بين المرسل والمستقبل 1 Km، تم الحفاظ على بقية البارامترات بنفس القيم. تمت مناقشة مخططات العين للنظام المقترح. يمثل الشكلين (5-a,b) مخططات العين للنظام مع تعديل NRZ ومع استخدام الثنائيات الضوئية APD و PIN على التوالي. يتضح من المخطط أن العامل Q هو 13.1422 و12.1835 على التوالي، نلاحظ أن الثنائيات الضوئية APD تعطي نتائج أفضل من الثنائيات الضوئية PIN مع تعديل NRZ. وبالمثل يوضح الشكلين (5-c,d) مخططات العين مع استخدام تعديل RZ مع استخدام الثنائيات الضوئية APD و PIN على التوالي. يتضح من المخطط أن العامل Q هو11.0503 و١٠,٣٧١٧ على التوالي.



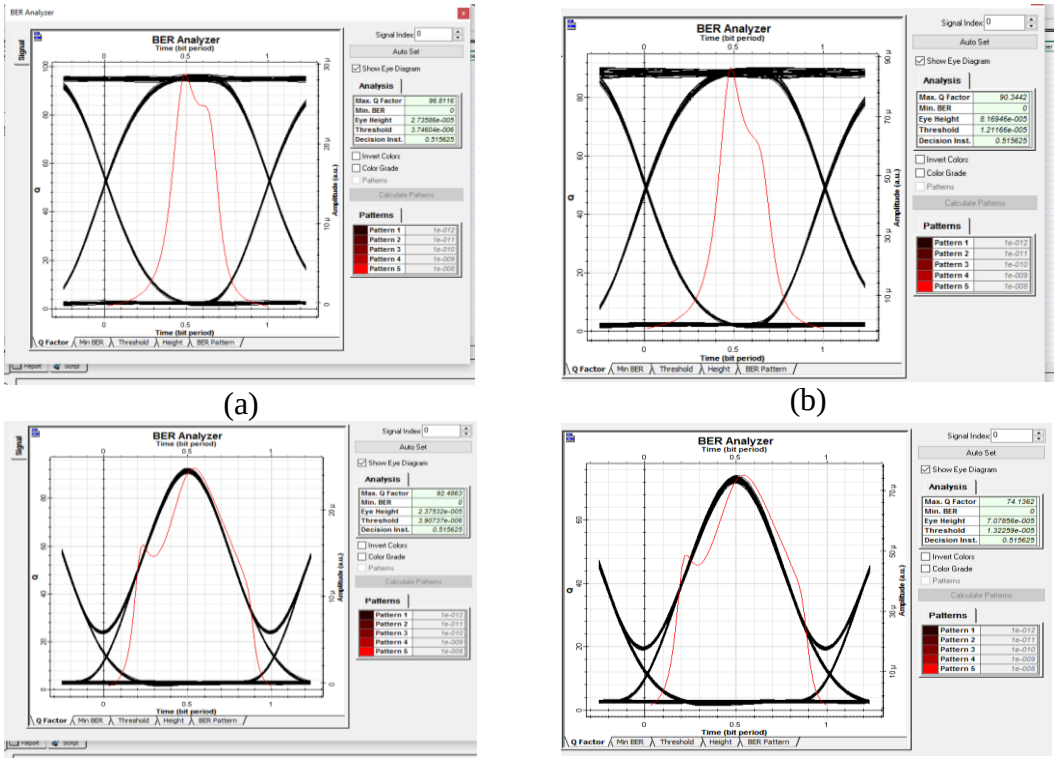
الشكل (٥) مخطط العين للنظام لحالة المطر a- تعديل NRZ و APD b- NRZ و PIN c- RZ و APD d- RZ و PIN

تم تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها بالجدول (٤).

الجدول (٤) مقارنة استخدام أنواع التعديلات والمستقبلات المختلفة لحالة القناة المطرية

معامل الجودة للنظام	نوع التعديل والمستقبل المستخدم
13.1422	تعديل NRZ والثنائي الضوئي APD
12.1835	تعديل NRZ والثنائي الضوئي PIN
11.0503	تعديل RZ والثنائي الضوئي APD
١٠,٣٧١٧	تعديل NRZ مع APD

<u>في الحالة الثالثة</u> تم دراسة حالة الطقس الصحو مع قيمة للتخامد تصبح 0.155 dB/Km ومسافة 2.5 Km، مع الحفاظ على بقية البارامترات بنفس القيم. بملاحظة مخططات العين للنظام الواردة بالشكل (٦) نبين الآتي: الشكلين(6-a,b) لحالة تعديل NRZ مع استخدام الثنائيات الضوئية APD و PIN على التوالي، يتضح من المخطط أن العامل Q هو 96.8116 و90.3442 على التوالي. وبالمثل بالنسبة للشكلين (6-c,d) مع استخدام تعديل RZ ولكن مع استخدام الثنائيات الضوئية APD و PIN على التوالي. يتضح من المخطط أن العامل Q هو 92.4863 و74.1362 على التوالي. نستنتج أن استخدام تعديل NRZ مع استخدام الثنائيات الضوئية APD أو استخدام تعديل RZ مع الثنائيات الضوئية APD هو أفضل حالة ممكنة أيضاً للقناة في حالة الطقس الصاحي.



الشكل (٦) مخطط العين للنظام لحالة الصحو a- تعديل NRZ وAPD b- NRZ وPIN c- RZ وAPD d- RZ وPIN

تم تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها بالجدول (٥).

الجدول (٥) مقارنة استخدام أنواع التعديلات والمستقبلات المختلفة لحالة القناة المطرية

معامل الجودة للنظام	نوع التعديل والمستقبل المستخدم
96.8116	تعديل NRZ والثنائي الضوئي APD
90.3442	تعديل NRZ والثنائي الضوئي PIN
92.4863	تعديل RZ والثنائي الضوئي APD
74.1362	تعديل NRZ مع APD

5- الاســـتنتاجات والتوصيـــات:

تم في هذا البحث تنفيذ نظام اتصالات لاسلكي باستخدام برنامج Optisystem وتقييم تأثير تعديلات مختلفة RZ, NRZ مع الثنائيات الضوئية APD, PIN بوجود بيئات طقسية مختلفة. يمكن عرض الاستنتاجات التي توصل إليها البحث وفق الآتي:

- إن استخدام الثنائيات الضوئية APD تعطي عامل جودة أفضل من PIN، وذلك عند استخدام نوعي التعديل RZ وNRZ، مع ملاحظة انخفاض عامل الجودة Q-factor مع زيادة قيم التخامد تبعاً لحالة الطقس.
- من أجل حالة الطقس الضبابية والماطرة يمكن استخدام تعديل NRZ بغض النظر عن نوع المستقبل الضوئي.
- من أجل حالة الطقس الصحو فإن استخدام المستقبل الضوئي APD هو الأنسب بغض النظر عن نوع التعديل المستخدم.

بعد أن تم عرض الاستنتاجات تم تقديم بعض التوصيات التي من الممكن إضافتها في الدراسات المستقبلية:

- يمكن مناقشة الحالات أعلاه من أجل أطوال موجية مختلفة، حيث تمت المناقشة هنا فقط من أجل طول موجي 1550 nm.
- يمكن أيضاً أن تتم الدراسة من أجل اضطرابات قناة مختلفة، حيث تم في هذا المقال مناقشة ثلاث من حالات الطقس.
- يمكن دراسة أنواع التعديل المقترحة مع نظم OFDM، DWDM.

6- المراجـــــع

[1] Juarez, Dwivedi, Hammons, Jones, et al. 2006, "*Free Space Optical Communications for Next-Generation Military Networks*", IEEE Communications Magazine, Nov. pp. 46-51.

[2] Prokes, Ales, and Vladislav Skorpil, 2009. "*Estimation of free space optics systems availability based on meteorological visibility*," Communications, 2009. LATINCOM'09. IEEE LatinAmerican Conference on. IEEE.

[3] N. Kaur, G. Soni, , 2014. "*Performance analysis of inter-satellite optical wireless communication (IsOWC) system at 980 nm and 1550 nm wavelengths*", International Conference on Contemporary Computing & Informatics (IC3I), pp. 1245- 1250.

[4] Ravi Prakash Shukla, Mukesh kumar, A.K. Jaiswal, Rohini Saxena, 2012 "*Performance Analysis of Dispersion in Optical Communication link Using Different*

Dispersion Compensation Fiber (DCF) Models", International Journal of Recent Technology an d Engineering (IJRTE), Vol 1, Issue 2.

[5] Abdulsalam Alkholidi, Khalil Altowij, 2012. *"Effect of clear atmospheric turbulence on quality of free space optical communications*" in western asia;.

[6] Gaurav Soni, Jagjeet Malhotra. 2011. "*Free space optics system: Performance and link availability*". IJCCR..,Vol. 1, Issue 3.

[7] نصر، م. ٢٠٢٣ *"دراسة تأثيرات كير اللاخطية ضمن نظام اتصالات بصري يستخدم تقنية DWDM*". مجلة جامعة طرطوس.

[8] نصر، م. ٢٠١٨ *"مقارنة أداء نظام اتصالات بصري متعدد الأطوال الموجية DWDM يستخدم عدة تقنيات لتعويض التشتت*". مجلة جامعة طرطوس.

[9] نصر، م. ٢٠٢١ *"تصميم نظام اتصالات ضوئي FTTH عالي السرعة* ". مجلة جامعة طرطوس

[10] Maged Abdullah Esmail, Habib Fathallah, Mohamed-Slim Alouini, 2016. " *an experimental study of FSO link performance in desert environment* ", LCOMM., IEEE

[11]Dr. Shehab A. Kadhim, Dr. Salah Aldeen A. Taha, Ali Q. Baki, 2016 " *characterization study and simulation of MIMO free space optical communication under different atmospheric channel* ",IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 3 Issue 8, 2348 – 7968

[12] Mazin Ali A. Ali, 2015 "*FSO Communication Characteristics under Fog Weather Condition*", International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 6, no. 1,

[13] Hennes Henniger and Otakar Wilfert, 2010 "*An introduction to free-space optical communications*", Radio Eng., vol. 19, no. 2, , pp. 203–212