

## تقييم أداء استخدام المضخات الضوئية في أنظمة الاتصالات الليزرية LCS

د.م. محمد نجيب صلاحو\*

(الإيداع: 6 كانون الثاني 2021 ، القبول: 7 آذار 2021)

### الملخص:

جرى في البحث تقييم أداء استخدام المضخات الضوئية لمختلف المراحل في أنظمة الاتصالات الليزرية LCS في حالات الرطوبة الخفيفة والرطوبة العالية للوصول إلى عملية استقبال ناجحة. إن استخدام المضخات الضوئية أدى إلى تحسين أداء منظومة الاتصالات الليزرية والمتجسدة في عملية استرجاع الإشارة بشكل جيد، إداه سيكون معدل خطأ الخانة أصغرياً، وحددت المسافة المثلى بين المرسل والمستقبل. وصيف مدى الحاجة إلى استخدام المضخات الضوئية في كل من المرسل، والمستقبل، لضمان الأداء الأفضل لمنظومة الاتصالات الليزرية بأقل عدد من المضخات ما يترتب عليه تقليل الكلفة المادية والتعقيد في بنية المنظومة.

الكلمات المفتاحية: أنظمة الاتصالات الليزرية (LCS)، المضخات الضوئية (OA).

\* الأستاذ المساعد في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية ، جامعة حلب.

## Evaluating the performance of optical amplifiers in LCS system

Mohamed Najib Salaho\*

(Received: 6 January 2021 , Accepted: 7 March 2021)

### Abstract:

In this research, the performance of the use of optical amplifiers for various stages in laser communication systems (LCS) was evaluated in cases of light humidity and high humidity to achieve a successful reception process.

The use of optical amplifiers has improved the performance of the laser communication system, which is related to good signal retrieval, where the bit error rate will be minimum, In addition, the optimal distance between the transmitter and the receiver has been determined.

The need to use optical amplifiers in both the transmitter and the receiver was described to ensure the best performance of the laser communication system with the lowest number of amplifiers, thereby reducing the physical cost and complexity of the system structure.

**Keywords:** laser communication system (LCS) ,Optical amplifiers

---

\* Telecommunication engineering, Faculty of electrical and electronic engineering, University of Aleppo

**1- مقدمة:**

اكتسبت أنظمة الاتصالات الليزرية (LCS laser communication system) أهمية كبيرة نظراً لمزاياها العديدة التي تتمتع بها، حيث أن سرعة إرسال المعلومات كبير جداً كون الحامل هو الموجة الكهرومغناطيسية الضوئية، ومناحة بشكل مجاني حيث لا داعي لحجز الترددات، إلا أنها تعاني العديد من المشاكل والناجمة عن الظروف المناخية ومن أهم هذه العوامل الرطوبة والدخان والأمطار والثلوج [1,2].

برزت العديد من الأبحاث حول منظومة الاتصالات الليزرية LCS من أجل تحسين أدائها من خلال التغلب على العوامل الجوية التي تسبب تضعيف الشعاع الليزري، كما تم إجراء محاكاة لمنظومة الاتصالات الليزرية وذلك عند ظروف المطر المختلفة والغبار [3]. كما أجريت دراسة من أجل تصميم نظام اتصال ليزري بأكثر من مرسل وأكثر من مستقبل عند ظروف جوية مختلفة [4].

تم دراسة تأثير الظروف المناخية على أداء منظومة الاتصالات الليزرية من أجل قيم توهين مختلفة، حيث تم التركيز على إيجاد طول موجة الإرسال الأفضل [5].

**2- هدف البحث وأهميته:**

يهدف البحث الى دراسة تقييم أداء استخدام المضخمات الضوئية في أنظمة الاتصالات الليزرية LCS وذلك في حالات الرطوبة الخفيفة والرطوبة العالية، حيث تمكننا هذه الدراسة من توصيف الحالات التالي:

(1) حالة الاستغناء عن وجود مضخم ضوئي في قسم الإرسال.

(2) حالة التي يتوجب فيها استخدام مضخم ضوئي في قسم الإرسال.

(3) حالة التي يتوجب فيها استخدام مضخم ضوئي في قسم الإرسال والاستقبال معاً.

وذلك من أجل الحصول على قيمة BER جيدة، حيث تم تحديد الحالات وتوصيفها اعتماداً على أن تكون الإشارة المستقبلية جيدة. تكمن أهمية البحث في تحديد مدى الحاجة للمضخمات الضوئية بحيث نضمن جودة الوصلة الليزرية من جهة واستخدام أقل عدد من المضخمات من جهة أخرى بدون الحاجة لاستخدام مضخمات إضافية زائدة والتي تسبب تعقيد في النظام وزيادة الكلفة المادية. تم إجراء المحاكاة باستخدام محاكي ضوئي الـ Optisystem إضافة إلى استخدام برنامج الـ MATLAB.

**3-توصيف البحث:**

تم في هذا البحث تصميم وصلة ليزرية لاسلكية WLCS، حيث تم اختيار مرسل ليزري بطول موجه 1550 nm، ومن ثم تم تعديل الشعاع الليزري بمعدل خارجي (ماك زيندر) علماً أنه تم توليد معلومات رقمية من النوع NRZ، وبمعدل إرسال ثابت. تنتقل المعلومات إلى طرف الاستقبال عبر الفراغ الحر، حيث يتم استقبالها من خلال مستقبل ضوئي. تم إجراء محاكاة للوصلة الليزرية عند حالة الرطوبة الخفيفة والرطوبة العالية وذلك في حالة وجود مضخمات ضوئية وعدمه من أجل ضمان نجاح عملية الإرسال بأفضل قيم لمعدل خطأ الخانة BER لإشارة المعلومات الرقمية والذي يعطى بالعلاقة (1) [6].

$$BER = \frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)}{2} \quad (1)$$

Q: عامل الجودة.

## 4- أنظمة الاتصالات الليزرية اللاسلكي WLCS :

يتألف نظام الاتصالات الليزرية اللاسلكية من مرسل ومستقبل إشارة كهرومغناطيسية ضوئية، حيث يستخدم المرسل لإرسال المعلومات الرقمية وذلك من خلال تعديل الإشعاع الليزري بمعدل داخلي أو خارجي. إن أحد التحديات التي تواجه أنظمة WLCS والذي يحدث فيها ضياع في الإشارة وفشل عملية الاتصال هو التضعيف الجوي الناجم عن الامتصاص والتبعثر حيث ترتبط بالظروف المحلية المناخية والمسافة بين المرسل والمستقبل. ويعطى التضعيف الجوي بقانون Beer والتي تمثل العلاقة بين استطاعة الإشارة المرسل واستطاعة الإشارة المستقبلية في وجود التخماد الجوي [7].

$$\tau = P_L = P_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot L) \quad (2)$$

$P_L$ : استطاعة الليزر عند المسافة L

$P_0$ : استطاعة الليزر عند المنبع

$\alpha$ : معامل التخماد الجوي.

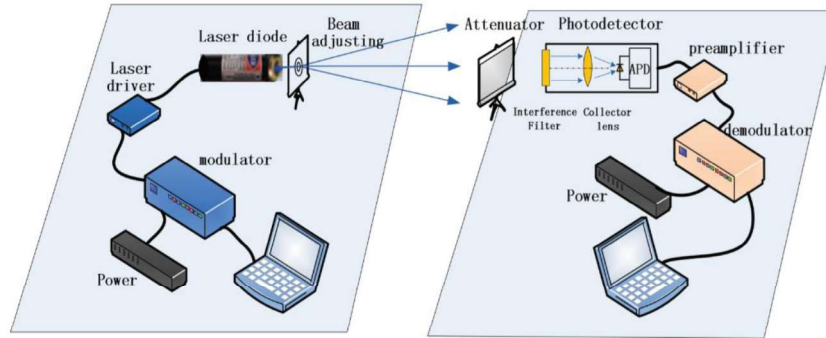
حيث يتم حساب معامل التخماد الجوي من خلال نموذج كيم وذلك وفقاً للعلاقة:

$$\alpha = \frac{3.91}{V} \cdot \left( \frac{550nm}{\lambda} \right)^{-q} \quad (3)$$

$\lambda$ : طول الموجة.

V: الوضوحية.

q: توزيع جزيئات التبعثر.

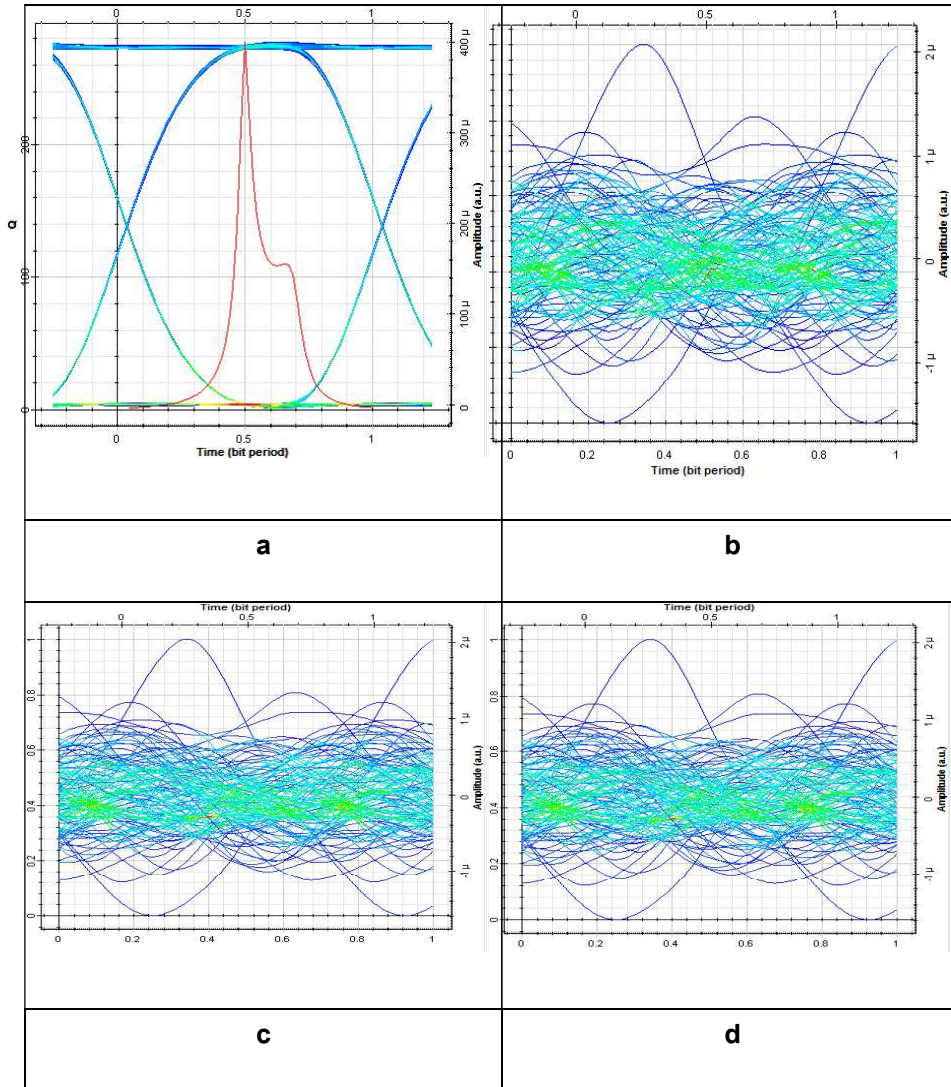


الشكل رقم (1): نظام اتصالات اللاسلكية الليزرية

تمتاز المضخمات الضوئية بأهمية كبيرة في أنظمة الاتصالات الليزرية ، لأنها تقوم بتعويض الضياع الحاصل للإشارة الضوئية، وتعد مضخمات EDFA ومضخمات رامان أهم أنواع المضخمات الضوئية وأكثرها انتشاراً. تمتاز مضخمات EDFA بأنها أكثر فاعلية من استخدام المكررات الضوئية الإلكترونية (E/O/E) التي تكون معقدة التركيب وغير دقيقة بما يكفي إضافة الى أنها ذات تكلفة عالية [8,9].

## 5-الوصلة الليزرية بدون استخدام المضخمات الضوئية :

تم دراسة أثر الـ Visibility في حالة الرطوبة الخفيفة  $Visibility = 1000\text{ m}$  و حالة الرطوبة العالي  $Visibility = 770\text{ m}$  بدون وجود مضخمات ضوئية. تم بعد ذلك رسم مخطط العين من أجل أطوال مختلفة من الوصلة الليزرية. حيث تظهر النتائج الموضحة في الشكل (2) أثر المسافة ما بين المرسل والمستقبل في حالة الرطوبة المنخفضة على أداء نظام الاتصالات الليزرية اللاسلكية WLCS.

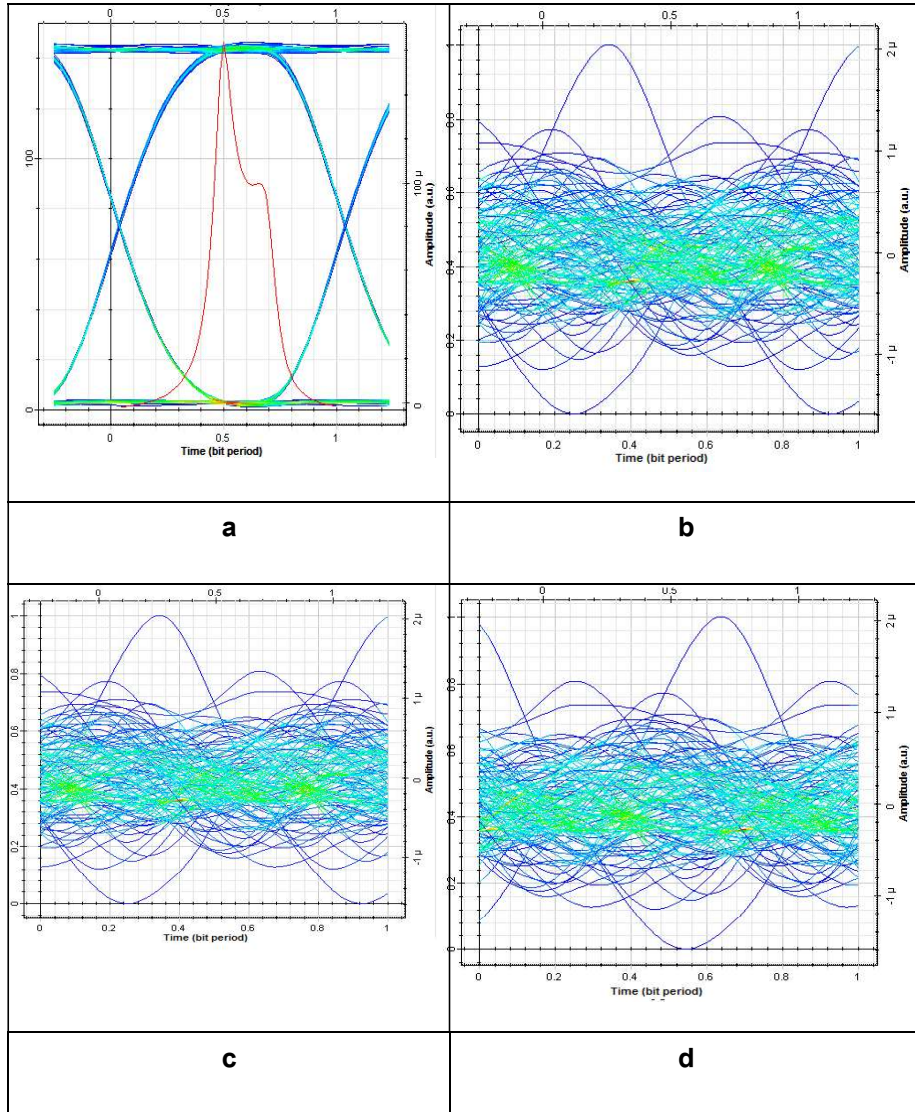


الشكل رقم (2): Eye diagram لحالة الرطوبة المنخفضة دون استخدام مضخمات ضوئية.

a.المسافة بين المرسل والمستقبل 500 متر b.المسافة بين المرسل والمستقبل 3000 متر

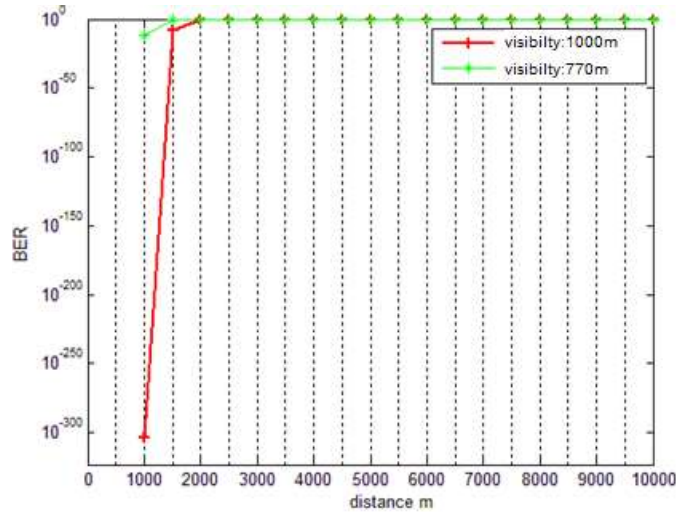
c.المسافة بين المرسل والمستقبل 6500 متر d.المسافة بين المرسل والمستقبل 10000 متر

نلاحظ من الشكل (2) أن فتحة العين تصغر بزيادة المسافة بين المرسل والمستقبل. وبشكل مماثل تم إجراء المحاكاة بدون وجود مضخمات ضوئية وذلك عند حالة الرطوبة العالية كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل رقم (3) Eye diagram لحالة رطوبة العالية دون استخدام مضخات ضوئية.

a.المسافة بين المرسل والمستقبل 500 متر b.المسافة بين المرسل والمستقبل 3000 متر  
 c.المسافة بين المرسل والمستقبل 6500 متر d.المسافة بين المرسل والمستقبل 10000 متر  
 نلاحظ من الشكل (3) أن فتحة الـ Eye diagram تصغر بزيادة المسافة وبنقصان الـ Visibility . تم بعد ذلك دراسة تأثير المسافة على BER دون استخدام مضخات ضوئية وذلك في حالة الرطوبة الخفيفة وحالة الرطوبة العالية كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل رقم (4): أثر المسافة على BER وذلك في حالة الرطوبة الخفيفة وحالة الرطوبة العالية دون استخدام مضخمات ضوئية.

نلاحظ من الشكل (4) أن قيمة BER ترتفع بزيادة المسافة وبنقصان الـ Visibility فعند حالة الرطوبة الخفيفة Visibility=1000 m تكون قيمة معدل خطأ العينة ( $BER=6.9838e-009$ ) وذلك من أجل المسافة 1500 متر في حين يكون قيمة

(  $BER=1$  ) من أجل 2000 متر .

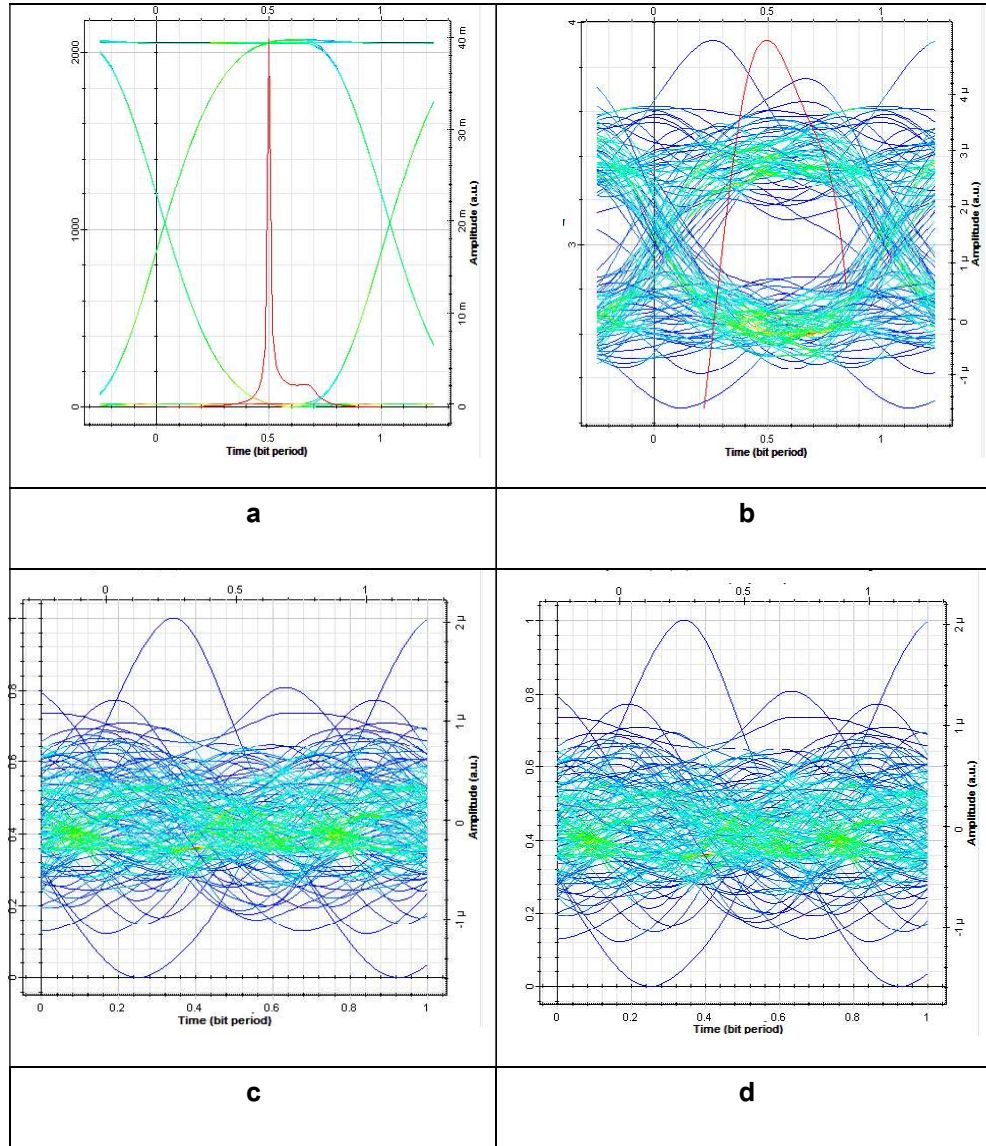
أما عند حالة الرطوبة العالية Visibility=770 m تكون قيمة معدل خطأ الخانة ( $BER=2.63413e-012$ ) وذلك من أجل المسافة 1000 متر في حين يكون قيمة ( $BER=1$ ) من أجل 1500 متر .

6-الوصلة الضوئية بوجود المضخمات الضوئية:

6-1-وجود مضخم ضوئي في الارسال:

تم دراسة تأثير قيم الـ Visibility في حالة الرطوبة الخفيفة وحالة الرطوبة العالية كما هو موضح في الشكل (5).





الشكل رقم (5): Eye diagram في حالة الرطوبة المنخفضة باستخدام مضخمات ضوئية.

a.المسافة بين المرسل والمستقبل 500 متر b.المسافة بين المرسل والمستقبل 3000 متر

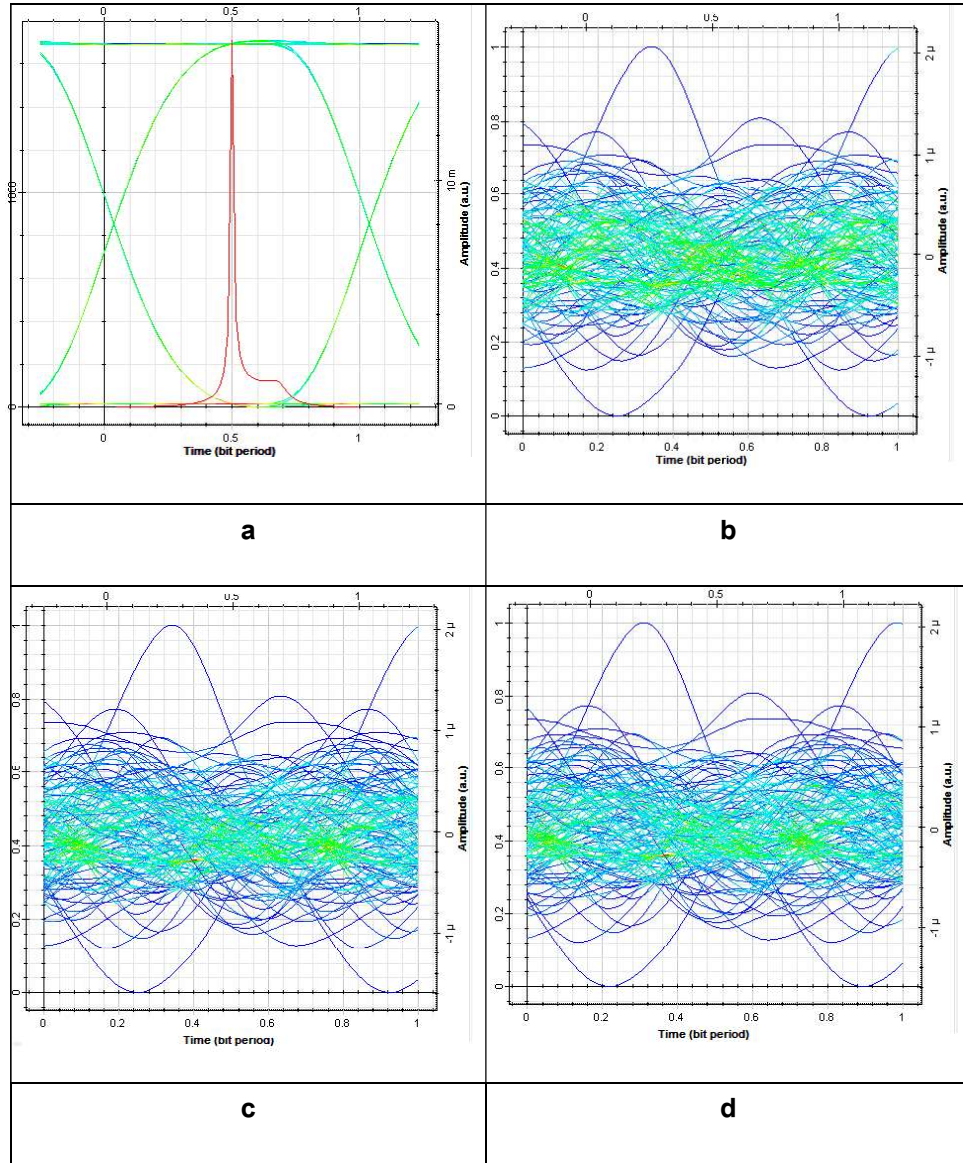
c.المسافة بين المرسل والمستقبل 6500 متر d.المسافة بين المرسل والمستقبل 10000 متر

نلاحظ من الشكل (5) أنه وبعد استخدام مضخم ضوئي في قسم الإرسال أصبح الـ Eye diagram أفضل من أجل حالة الرطوبة المنخفضة وذلك عند المسافات

(500 و 3000) متر، أما عند المسافات (6500 و 10000) متر لم يشهد الـ

Eye diagram أي تحسن ملحوظ.



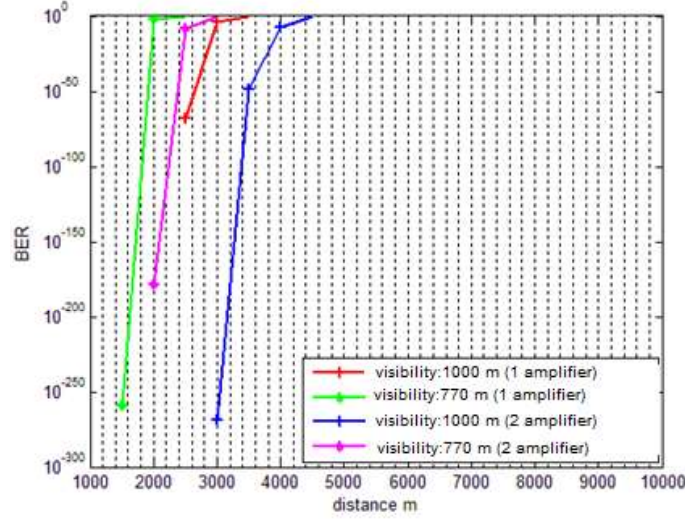


الشكل رقم (6): Eye diagram في حالة رطوبة العالية باستخدام مضخمات ضوئية

a.المسافة بين المرسل والمستقبل 500 متر .b.المسافة بين المرسل والمستقبل 3000 متر  
 c.المسافة بين المرسل والمستقبل 6500 متر .d.المسافة بين المرسل والمستقبل 10000 متر  
 نلاحظ من الشكل (6) أنه و بعد استخدام مضخم ضوئي في قسم الارسال أصبح ال Eye diagram أفضل من أجل حالة الرطوبة العالية وذلك عند المسافة (500) متر، أما عند المسافات (6500 و 3000 و 10000) متر لم يشهد ال Eye diagram أي تحسن ملحوظ.

## 6-1-2- حالة وجود مضخم ضوئي في طرف الارسال و الاستقبال معاً :

تم دراسة العلاقة بين المسافة ومعدل خطأ الخانة في حالات الرطوبة الخفيفة والعالية وذلك عند استخدام مضخم ضوئي في قسم الارسال فقط واستخدام مضخم ضوئي في الارسال والاستقبال كما هو موضح في الشكل (7).



الشكل رقم (7): أثر المسافة على BER بوجود مضخم واحد في الارسال

## وحالة وجود مضخمين (مضخم في الارسال ومضخم في الاستقبال)

يوضح الشكل (7) أن قيمة BER انخفضت بوجود مضخمات ضوئية، حيث نلاحظ أنه في حالة وجود مضخم في قسم الارسال فقط وعند حالة الرطوبة الخفيفة أصبحت قيمة (BER=0) وذلك من أجل المسافة 1500 متر و 2000 متر في حين أصبحت قيمة (BER=9.60044e-69) وذلك من أجل المسافة 2500 متر.

اما عند وجود مضخم في الارسال ومضخم في الاستقبال فنلاحظ أنه وعند حالة الرطوبة الخفيفة أصبحت قيمة (BER=0) وذلك من أجل المسافة 1500 متر و 2000 متر و 2500 متر في حين أصبحت قيمة (BER=2.06723e-49) وذلك من أجل المسافة 3500 متر.

أما في حالة الرطوبة العالية وفي حالة وجود مضخم في قسم الارسال فقط أصبحت قيمة (BER=0) وذلك من أجل المسافة 1000 متر في حين أصبحت قيمة (BER=1.06854e-259) من أجل 1500 متر.

اما عند وجود مضخم في الارسال ومضخم في الاستقبال فنلاحظ أن قيمة معدل خطأ الخامة أصبحت (BER=0) وذلك من أجل المسافة 1000 متر و 1500 متر في حين أصبحت قيمة (BER=5.00798e-009) وذلك من أجل المسافة 2500 متر.

## 7-النتائج والاستنتاجات:

من النتائج السابقة نجد أن قيمة BER ترتفع بزيادة المسافة وبنقصان الـ visibility في حين أنه وعند استخدام المضخمات الضوئية انخفضت قيم BER، وبناء عليه نستطيع تحديد الحاجة الى وجود مضخمات ضوئية أو عدمه كما يلي:

- بدون استخدام المضخات الضوئية:
- في حالة الرطوبة الخفيفة فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 1500 متر.
- في حالة الرطوبة العالية فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 1000 متر.
- باستخدام مضخم ضوئي في قسم الإرسال فقط:
- في حالة الرطوبة الخفيفة فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 2500 متر.
- في حالة الرطوبة العالية فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 1500 متر.
- باستخدام مضخم ضوئي في قسم الإرسال ومضخم في قسم الاستقبال:
- في حالة الرطوبة الخفيفة فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 3500 متر.
- في حالة الرطوبة العالية فإنه يمكن استقبال الإشارة الضوئية بشكل جيد عند المسافات التي هي أصغر من 2500 متر.

## REFERNCE

- [1] M. Khalighi and M. Uysal.,2014– **Survey on free space optical communication:A communication theory perspective**, IEEE Commun. Surveys Tuts.
- [2] I. I Kim, B. McArthur, and E. J. Korevaar., 2001–**Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications** .
- [3] H. A. Fadhil, A. Amphawan, H. A. B. Shamsuddin, T. H. Abd, H. M. R. Al-Khafaji, S. Aljunid, et al., 2013– **Optimization of free space optics parameters: an optimum solution for bad weather conditions**, Optik – International Journal for Light and Electron Optics
- [4] Govardhani.Immadi, M. Venkata Narayana, A.Sree Madhuri,V.L. Tejaswani Sabbasani.,2017– **Simulation of Free Space optical Communication Under Different Weather Conditions**, International Journal of Pure and Applied Mathematics
- [5] Shaina, Amit Gupta., 2016–**Comparative Analysis of Free Space Optical Communication System for Various Optical Transmission Windows under Adverse Weather Conditions**, Procedia Computer Science.

- [6] Joshua L.Y. Chieng, Irda Hassan.,2016 – **Optical Wirless Communication System.** Journal of Engineering Science and Technology.
- [7]N. A. Mohammed, A. S. El-Wakeel, and M. H. Aly., 2014–**Performance evaluation of FSO link under NRZ–RZ line codes, different weather conditions and receiver types in the presence of pointing errors,** Open Electrical & Electronic Engineering Journal.
- [8] T. Okoshi ., 1990–**Exact Noise–Figure Formulas for Optical Amplifiers and Amplifier–Fiber Cascaded Chains,** IEEE/OSA Topical Meeting on Optical Ampfiers and their Applications, Monterrey, PDP11.
- [9] M. Karimi and M. Nasiri–Kenari.,2011– **Free space optical communications via optical amplify–and–forward relaying,** Journal Lightwave Technology.