

## Enhancing Coherent Optical Communication Performance Using FBG as Dispersion Compensator

Eng. Raghad Mohammad Fayez Alalfi\*<sup>1</sup>, Dr. Abdulkareem Alsalem<sup>1</sup><sup>1</sup> Al-Baath University | Syria

Received:

12/03/2023

Revised:

23/03/2023

Accepted:

19/04/2023

Published:

30/06/2023

**Abstract:** This study focuses on improving the performance of a coherent optical communication system using 16-QAM modulation with a data rate of 10 Gb/s, when increasing the transmission distance by compensating chromatic dispersion affecting the propagated signal in single-mode optical fibres, using dispersion compensators. A dispersion compensation model consists of a linear chirped apodized fibre Bragg grating CFBG followed by an identical four stages cascaded of a Uniform fibre Bragg Gratings UFBGs. This comparative study includes cases based on Grating length for CFBG at a fixed value of the effective refractive index to determine the appropriate grating length. Results using Optisystem.19 showed an improvement in system performance, in addition to the possibility of increasing the optical fibre length up to 180 km, with the BER under  $10^{-3}$ .

**Keywords:** coherent optical communication system, chromatic dispersion, fiber Bragg grating, Optisystem.

## تحسين أداء نظم الاتصالات الضوئية المترابطة باستخدام FBG كمعوض للتشتت

المهندسة / رغد محمد فايز الألفي\*<sup>1</sup>، الدكتور / عبد الكريم السالم<sup>1</sup><sup>1</sup> جامعة البعث | سوريا

**المستخلص:** تركز هذه الدراسة على تحسين أداء نظام اتصال ضوئي مترابط يستخدم التعديل 16-QAM وبمعدل نقل بيانات 10 Gb/s عند زيادة مسافة الإرسال، من خلال تعويض التشتت اللوني الذي يؤثر على الإشارة المنتشرة في الألياف الضوئية أحادية النمط باستخدام معوضات التشتت. حيث تم دراسة نموذجًا لتعويض التشتت يتكون من شبكة انعراج براغ ذات الزقزقة الخطية SMF Chirped Fiber Bragg Grating CFBG وتبعها أربع مراحل متطابقة متتالية من شبكة انعراج براغ الموحدة Uniform Fiber Bragg Grating UFBG. تم تقييم أداء النظام من خلال حساب معدل خطأ البت وذلك في حال اختلاف طول شبكة الانعراج عند قيمة ثابتة لقرينة الانكسار الفعال لتحديد طول الشبكة المناسب وعند زيادة طول الليف الضوئي. وقد بينت المحاكاة من خلال برنامج Optisystem.19 تحسن في أداء النظام عند استخدام معوضات FBG إضافة إلى إمكانية زيادة طول الليف الضوئي حتى 180 km مع بقاء BER ضمن حدود مرتبة  $10^{-3}$ .

**الكلمات المفتاحية:** نظام اتصال ضوئي مترابط، التشتت اللوني، شبكة انعراج براغ، Optisystem.

\* Corresponding author:

[raghad.alalfi@gmail.com](mailto:raghad.alalfi@gmail.com)

Citation: Alalfi, R. M.,

&amp; Alsalem., A. (2023).

Enhancing Coherent Optical Communication Performance Using FBG as Dispersion Compensator.

*Journal of engineering sciences and information technology*, 7(2), 1–11.<https://doi.org/10.26389/AJSRP.L240323>[AJSRP.L240323](https://doi.org/10.26389/AJSRP.L240323)

2023 © AISRP • Arab

Institute of Sciences &amp;

Research Publishing

(AISRP), Palestine, all

rights reserved.

• Open Access



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) [license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1- مقدمة:

لاتزال معدلات الإرسال وطول الليف أهم التحديات المرافقة لاستخدام أنظمة الاتصال الضوئية المترابطة. وتعد أشكال التعديل M-QAM في أنظمة الاتصالات الضوئية من الأنظمة الملائمة للإرسال الضوئي عال السرعة بسبب الكفاءة الطيفية العالية. ولكن مع زيادة رتبة التعديل وزيادة مسافة الإرسال تصبح هذه الأنظمة أكثر حساسية لتأثيرات الضجيج والأثار الخطية وغير الخطية التي تترافق مع توليد الإشارة أو إرسالها أو اكتشافها. حيث تعاني الإشارة المنتشرة عبر الألياف الضوئية من قيود الانتشار التي تؤثر على أداء النظام الضوئي. ويعد تخامد الإشارة والتشتت اللوني من أهم قيود الانتشار التي يجب تعويضها في نظام الاتصال الضوئي للوصول إلى أداء أفضل. مع تطور المضخم البصري، مثل مضخم الألياف المشوبة بالإربيوم EDFA تم حل مشكلة تخامد الإشارة وأصبح بالإمكان الوصول لتخامد أقل للإشارة بزيادة مسافة الإرسال. بالتالي يعتبر التشتت اللوني العقبة الرئيسية لتحسين أداء نظام اتصالات الألياف الضوئية [7]. يحدث التشتت اللوني بسبب توسع النبضة أثناء انتشارها ضمن الليف مما يزيد من معدل خطأ البت في الإشارة المستقبلية. ويعتبر التشتت عاملاً حاسماً في تحديد معدلات النقل المسموحة وطول الألياف المستخدمة (المدى) في أنظمة اتصالات الألياف الضوئية. مما يستدعي استخدام معوضات التشتت الملائمة والمناسبة لأنظمة الاتصال الضوئي خاصة عالية السرعة بعيدة المدى.

## 2- مشكلة البحث:

على الرغم من أن تقنيات التعديل ذات المراتب العالية في الاتصالات الضوئية المترابطة مثل 16-QAM توفر زيادة السعة، ولكن أثناء انتشار الإشارة ضمن الليف الضوئي تتأثر بشكل كبير بالتشتت اللوني CD مما يحد من إمكانية زيادة مسافة الإرسال. وعلى الرغم من وجود تقنيات في المجال الكهربائي لتعويض التشتت في مستقبل الأنظمة الضوئية المترابطة إلا أنها قد تسبب ضجيجاً إضافياً يؤثر على الإشارة واستعادة البيانات بشكل صحيح، لذلك لا بد من تعويض التشتت اللوني في الليف الضوئي قبل استقبال الإشارة في المستقبل الضوئي المترابط.

## 3- فرضيات البحث:

تتم الدراسة على نموذج اتصال ضوئي مترابط حيث يتم تعديل الإشارة فيه وفق صيغة التعديل 16-QAM. وفيه يتم افتراض انتشار الإشارة في الألياف الضوئية أحادية النمط القياسية SSMFs. ولتعويض التشتت اللوني يتم استخدام نموذج من شبكة انعراج براغ يتكون من شبكة انعراج براغ Chrip FBG يتبعها أربع مراحل متطابقة متتالية من UFBG والمضخم الضوئي. يتم تطبيق هذا التصميم لتعويض التشتت اللوني بعد قناة الاتصال الضوئي وقبل وصول الإشارة على المستقبل الضوئي المترابط.

## 4- هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحسين أداء نظام الاتصال الضوئي المترابط 16-QAM عند زيادة مسافة الإرسال من خلال تعويض التشتت اللوني في ليف أحادي النمط من خلال استخدام معوضات شبكات انعراج براغ.

## 5- أهمية البحث:

يعتبر موضوع تعويض التشتت اللوني من المواضيع الهامة التي لا بد من التركيز عليها عند العمل على زيادة مسافة الإرسال في أنظمة الاتصالات الضوئية المترابطة. ومن ناحية أخرى يعتبر استخدام شبكة انعراج براغ كمعوضات للتشتت اللوني من النقاط الهامة التي يتم التركيز عليها في الأبحاث التي تدرس تعويض التشتت في الأنظمة

الضوئية. اقترحت الدراسة تصميم يجمع بين الاتصال الضوئي المترابط وتعويض التشتت باستخدام شبكة انعراج براغ، بحيث يتكامل عمل كل من النظام المترابط وتعويض التشتت اللوني ضمن الليف.

#### 6- الدراسات المرجعية:

تضمنت الدراسات السابقة على العديد من الحلول المناسبة من أجل التعامل مع المشكلات الناتجة عن التشتت في الألياف، وتعويض هذا التشتت مثل استخدام شبكات انعراج براغ Fibre Bragg gratings FBG إضافة لاستخدام معالجة الإشارة الرقمية. حيث تعتبر ألياف تعويض التشتت Dispersion compensation Fiber DCF و FBG أكثر العناصر استخداماً لتعويض تأثيرات غير خطية منخفضة جداً إضافة إلى تكلفتها المناسبة [9].

قدم Subash Rokka وزميله في الدراسة [11] نظام اتصال ضوئي باستخدام ليف ضوئي أحادي النمط بسرعة 10 Gb/s، وتم اختيار FBG كعنصر مهم لتعويض التشتت اللوني في النظام. وقدم A.F. Sayed وزملاءه في الدراسة [2] تصميم FBG متتاليًا لتحسين الإرسال الضوئي في نظام إرسال WDM من أجل أطوال مختلفة لليف الضوئي واستطاعة الدخل وطول FBG، وبينت الدراسة أن أربع وحدات FBG متتالية تعطي نتائج أفضل من مجرد استخدام واحد أو اثنين أو ثلاثة من FBG. كما ركز Fathy M. Mustafa وزملاؤه في دراستهم [5] على تعويض التشتت اللوني الذي يؤثر على الإشارة المنتشرة في الألياف الضوئية أحادية النمط القياسية SSMFs وقدموا نموذجًا يتكون من أربع مراحل متطابقة متتالية من FBG ذات زقزقة خطية متتالية CFBGs ضمن تقنية مضاعفة تقسيم الزمن القصوى MTDM. وقدم Isidore Nsengiyumva وزملاؤه في الدراسة [8] تحليلًا لتعويض التشتت اللوني في ألياف أحادية النمط باستخدام Gaussian apodized fibre Bragg grating. هذه الدراسات أظهرت فعالية استخدام شبكة انعراج براغ كمعوض للتشتت ولكن في أنظمة الاتصال التي تستخدم في المرسل مولد النبضات Non Return To Zero دون ذكر إمكانية استخدام التعديل 16-QAM. بينما تم في الدراسة [10] استخدام FBG كمعوض للتشتت لنظام اتصال ضوئي ذو تعديل 4-QAM ونظام اتصال 16-QAM، ولكن مسافة الإرسال في هذه الدراسة لم تتجاوز 80km.

#### 7- مواد البحث وطرائقه:

تبحث هذه الدراسة استخدام معوضات التشتت اللوني (شبكة انعراج براغ FBG) في نظام 16-QAM الضوئي المترابط. وتم فيها تحليل أداء النظام باستخدام النموذج المقترح لشبكات انعراج براغ المكون من CFBG تليه أربع مراحل متتالية من UFBG، باستخدام برنامج المحاكاة Optisystem.19.

#### 7-1 شبكة انعراج براغ Fibre Bragg grating:

يحد التشتت اللوني من مسافات الإرسال عموماً بسبب تدهور الأداء في وصلات الألياف طويلة المدى. ينشأ التشتت اللوني من الاختلاف في سرعة الانتشار مع طول الموجة. وهكذا يتم تشتيت النبضة وتبدأ في التداخل مع النبضات المجاورة مما يؤدي إلى تدهور جودة الإشارة. لذلك فإن إحدى التقنيات الرئيسية لوصلات الألياف طويلة المدى هي "تعويض التشتت". كان الحل الأكثر شيوعاً هو الألياف المعوضة للتشتت DCF، وهي عبارة عن ألياف تم تصميم التشتت اللوني فيها لتكون قيمته معاكسة تماماً للتشتت في الليف الضوئي. ولكن تشمل DCF على بعض القيود اللاخطية، بينما قدمت شبكة انعراج براغ FBG نهجاً بديلاً للتغلب على هذه المشاكل.

يوجد نوعان من شبكات انعراج براغ FBG وفقاً لتوزيع الحواجز الشبكية (الشقوق)، وهي Uniform FBG و Chirped FBG. في Uniform FBG، تكون الحواجز الشبكية متساوية البعد فيما بينها، بينما في Chirped FBG تكون هذه

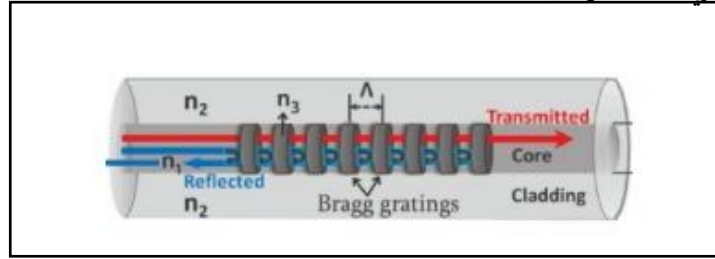
الحواجز غير متساوية. يمكن أن يستخدم للتعويض عن التشتت اللوني ضمن الليف كل نوع على حدة كما يمكن استخدام سلسلة من المراحل المتتالية ل FBG ، ويعد استخدام أربع FBG متتالية قادرة على تحسين أداء نظام الاتصال بشكل عام.[5]

### 7-1-1 شبكات انعراج براغ المنتظمة Uniform FBG:

تعتبر FBG مرشحاً بسيطاً ومنخفض التكلفة يمكن استخدامه للتعويض عن التشتت اللوني. وتعمل FBG على عكس بعض الأطوال الموجية الموافقة لدورها ويتم تصنيعها على مقطع صغير من الليف الضوئي لتنقل الأطوال الموجية المرغوبة. لذلك يمكن استخدام FBG كمرشح ضوئي لحجب أطوال موجية معينة [4]. تعتبر شبكات انعراج براغ المنتظمة Uniform FBG هي النوع الأساسي من شبكة انعراج براغ، حيث تكون الحواجز الشبكية متساوية على طول المحور الأساسي، كما هو موضح في الشكل (1). وتعطى العلاقة بين طول موجة براغ  $\lambda_g$  ودور الشبكة  $\Lambda$  من خلال المعادلة (1): [5]

$$\lambda_g = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

حيث تمثل  $n_{eff}$  قرينة انكسار الليف الفعالة.



الشكل (1): البنية الأساسية لشبكات انعراج براغ المنتظمة [1].

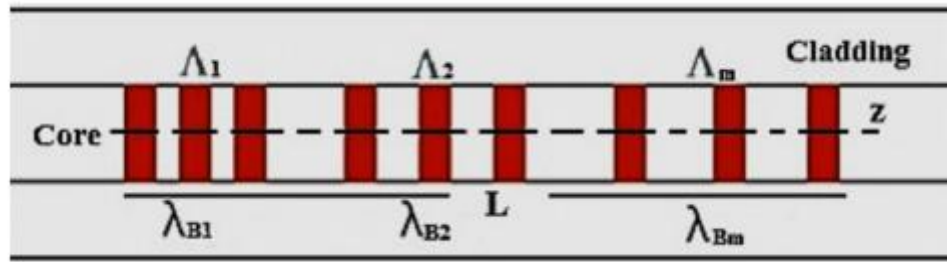
في Uniform FBG، يتم تعديل قرينة الانكسار على طول شبكة براغ المنتظمة من خلال المعادلة (2): [5]

$$n(z) = n_{eff} + \Delta n_0 \cdot n_d(z) \quad (2)$$

حيث  $\Delta n_0$  هو الحد الأقصى لتغير قرينة الانكسار و  $n_d(z)$  هو تابع تغير القرينة. يحتوي الطيف المنعكس ل FBG ذو التعديل المنتظم على فصوص جانبية غير مرغوب فيها ولحل هذه المشكلة، يتم استخدام apodized index modulation الذي يمثل شكل تغير قرينة الانكسار على طول محور الليف.

### 7-1-2 شبكة انعراج براغ ذات Chirped FBG and apodization:

تتوضع الشقوق (الحواجز) في Chirped FBG بصورة غير منتظمة على طول المحور الأساسي z. لذلك، يختلف تعديل قرينة الانكسار على طول الشبكة، ويوضح الشكل (2) البنية الأساسية ل CFBG، ويمكن أن يلاحظ أن الشبكة تعكس أطوال موجية مختلفة [5].



الشكل (2): البنية الأساسية ل CFBG. [5]

في CFBG يتغير طول موجة براغ على طول النواة، ويمكن أن تُعطى طول موجة براغ  $\Lambda_B(z)$  من خلال المعادلة (3): [8]

$$\Lambda_B(z) = 2n(z)\Lambda(z) \quad (3)$$

حيث  $\Lambda(z)$  هو دور الشبكة على طول محور الانتشار. وتُعطى قرينة الانكسار المعدلة  $n(z)$  من خلال المعادلة (4): [8]

$$n(z) = n_{eff} + \Delta n g(z) \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda_0} (1 + xz)\right) \quad (4)$$

حيث  $g(z)$  هو تابع apodization المحدد،  $\Lambda_0$  طول موجة شبكة انعراج براغ في مركز المجال الترددي للزقزقة، و  $x$  تمثل متغير الزقزقة.

في CFBG apodized، يتم إعادة تشكيل تعديل قرينة الانكسار، وهناك العديد من توابع apodization التي يتم استخدامها لتحسين أداء عمليات الإرسال لتعويض التشتت اللوني. يقلل Apodization من تأثيرات التداخل الداخلي بسبب تأخير المجموعة وتوفر خصائص مثالية لتعويض الخطي عن التشتت في الألياف، وبين الجدول (1) أكثر توابع apodization شيوعاً. ويتم في هذه الدراسة استخدام تابع Apodization غاوسي، حيث يمكن التابع الغاوسي من تقليل التغيير المفاجئ الملحوظ في قرينة الانكسار للشبكات المنتظمة وبالتالي الحفاظ على ثبات متوسط قرينة الانكسار. [5]

الجدول (1): توابع apodization. [5]

Type	Apodization function
Gaussian	$d(z) = \exp\left(-\log_2\left(\frac{2(z-\frac{l_g}{2})}{0.5l_g}\right)^2\right)$
Hamming	$d(z) = 0.54 - 0.4\cos(2\pi z/l)$
Tanh	$d(z) = \tanh(4z/l) \tanh(4(z-1)/l)$
Raised Sine	$d(z) = (\sin(z/l_g))^2$
Sinc	$d(z) = \text{sinc}(2\pi(z-1/2)/l)$
Raised Cosine	$d(z) = (\cos(2z/l_g - 1))^8$

يعتمد استخدام CFBG كمعوض تشتت لوني على إدخال تأخير زمني وهو تابع لطول الموجة. حيث يتم إعطاء معامل التشتت اللوني CFBG من خلال المعادلة (5): [8]

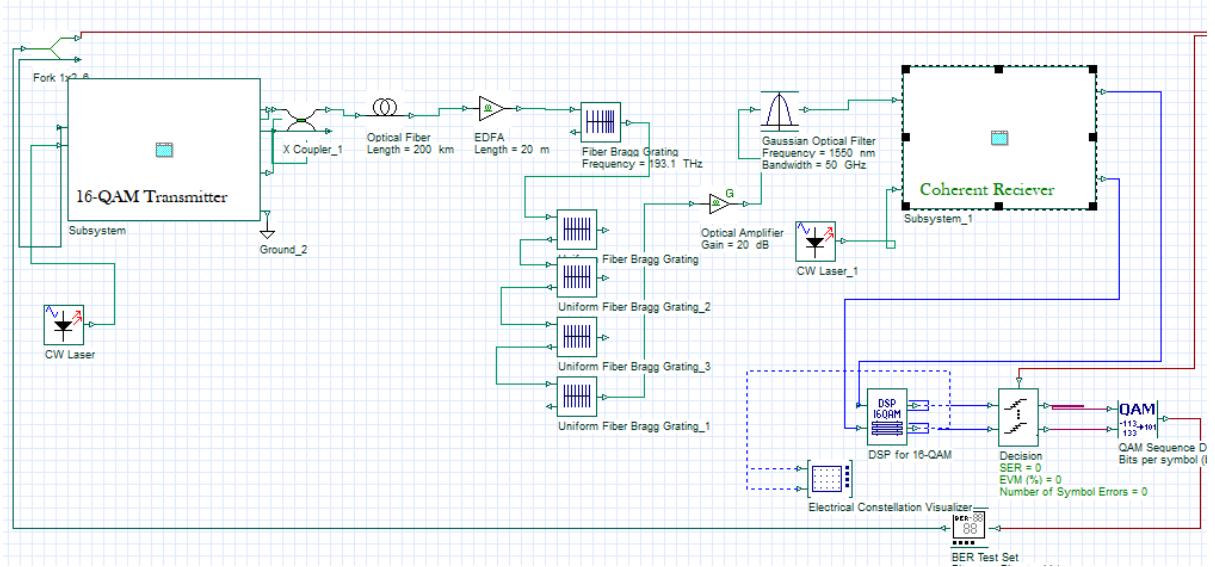
$$D_g = \frac{2n_{eff}}{\Delta\lambda_{chirp}c} l \quad (5)$$

حيث  $c$  تمثل سرعة انتشار الضوء، و  $\Delta\lambda_{chirp}$  مجال الزقزقة ويعطى من خلال الفرق بين الأطوال الموجية القصيرة والطويلة من خلال المعادلة (6): [8]

$$\Delta\lambda_{chirp} = 2n_{eff}(\Lambda_{long} - \Lambda_{short}) = 2n_{eff}\Delta\Lambda \quad (6)$$

## 7-2 نموذج المحاكاة:

تم محاكاة نظام اتصالات ضوئي مترابط وتحليل أدائه باستخدام برنامج Optisystem.19، وبين الشكل (3) المخطط العام للنظام المدروس والذي يمثل نظام اتصالات ضوئي مترابط يستخدم لإرسال معدلات سرعتها 10 Gb/s، باستخدام تعديل 16-QAM.



الشكل (3): المخطط العام لنظام الاتصال الضوئي المدروس.

في نموذج المحاكاة، يتم إرسال الإشارة عبر ليف ضوئي أحادي النمط وتضخيمها بواسطة المضخم الضوئي EDFA قبل أن تصل إلى chirped fibre gratings. ليتم بعد ذلك ترشيحها بواسطة سلسلة من أربعة uniform fibre Bragg gratings لتحسين تعويض التشتت قبل كشف الإشارة في طرف الاستقبال. يتم توصيل خرج FBG الرابع بمضخم ضوئي ذو ربح قدره 20 dB وعامل ضجيج 4 dB. لتضخيم الإشارة المستقبلية قبل الكشف. يتم بعد ذلك كشف الإشارة من خلال المستقبل المترابط ووحدة معالجة الإشارة الرقمية، ويُستخدم BER Test set لحساب معدل الخطأ في الإشارة المستقبلية الموافقة لكل حالة من حالات الدراسة.

ونستعرض في الجداول التالية أهم البارامترات التي تم استخدامها في نموذج المحاكاة، حيث تم تعيين في الجدول (2) أهم بارامترات المرسل.

الجدول (2): بارامترات المرسل.

القيمة	المحدد
10 Gb/s	سرعة النقل
16-QAM	نوع التعديل
1550 nm	طول موجة الحامل
10 dBm	طاقة الدخل للمنبع الليزري
0.1 MHz	عرض الخط للمنبع الليزري

ويحتوي الجدول (3) بارامترات شبكة انعراج براغ متغيرة التردد.

الجدول (3): بارامترات Chirped FBG.

القيمة	المحدد
Gaussian	تابع Apodization
Linear	تابع الزرققة
1.46	قرينة الانكسار الفعالة

ويعين في الجدول (4) أهم مواصفات الأداء الخاصة المستخدمة في الليف الضوئي.  
الجدول (4): بارامترات قناة الاتصال.

المحدد	القيمة
طول الليف	متغير
EDFA length	20 mm
معامل التشتت اللوني	16.75 ps/nm/Km
معامل الانحدار	0.075 ps/nm <sup>2</sup> /Km
ثابت التخامد	0.2 dB/Km

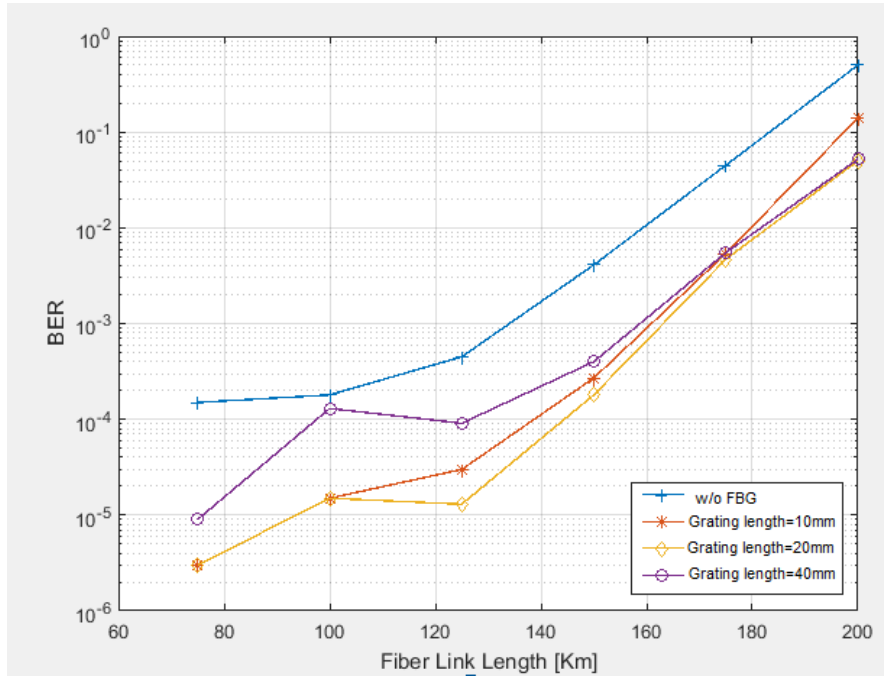
## 8- النتائج والمناقشة:

تم في هذا البحث محاكاة نظام اتصال ضوئي مترابط يستخدم التعديل 16-QAM مع استخدام شبكة انعراج براغ متغيرة التردد Chirped FBG ودراسة أداء النظام من خلال معدل خطأ البت BER ومخطط التوضع الفراغي للإشارة المستقبلية. حيث تم إعداد المحاكاة لنموذج النظام المبين في الشكل (3) من أجل القيم المفروضة في نموذج التصميم. تم دراسة أداء النظام بدون استخدام شبكات انعراج براغ وذلك من أجل طول متغير لليف الضوئي يتراوح بين (75-200 Km). في المرحلة التالية تم إضافة شبكة انعراج براغ متغيرة التردد Chirped FBG بعد الليف الضوئي ودراسة أداء النظام من أجل أطوال مختلفة لشبكة براغ Grating length مع الأخذ بعين الاعتبار طول الليف الضوئي.

حيث تم بداية اختبار أداء النظام من أجل طول شبكة مساوٍ لـ 10mm وأخذ قيم BER المقابلة لها من أجل طول متغير لليف الضوئي. وفي الحالة الثانية تم اختيار Grating length = 20 mm، وتسجيل قيم BER المقابلة للطول المتغير لليف الضوئي، وأخيراً تم اختيار Grating length = 40 mm وتسجيل قيم BER من أجل هذه الحالة. ويبين الجدول (5) والشكل (4) قيمة BER من أجل هذه الحالات المدروسة.

الجدول (5): قيم BER الناتجة عن المحاكاة.

BER				طول الليف الضوئي
Grating length=40 mm	Grating length=20 mm	Grating length=10 mm	بدون Chirped FBG	Km
$9 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$15 \times 10^{-5}$	75
$1.3 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-4}$	100
$91 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$4.5 \times 10^{-4}$	125
$4 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$	$4.1 \times 10^{-3}$	150
$5.5 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$	$5.4 \times 10^{-3}$	$4.5 \times 10^{-2}$	175
$5.2 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	0.14	0.5	200

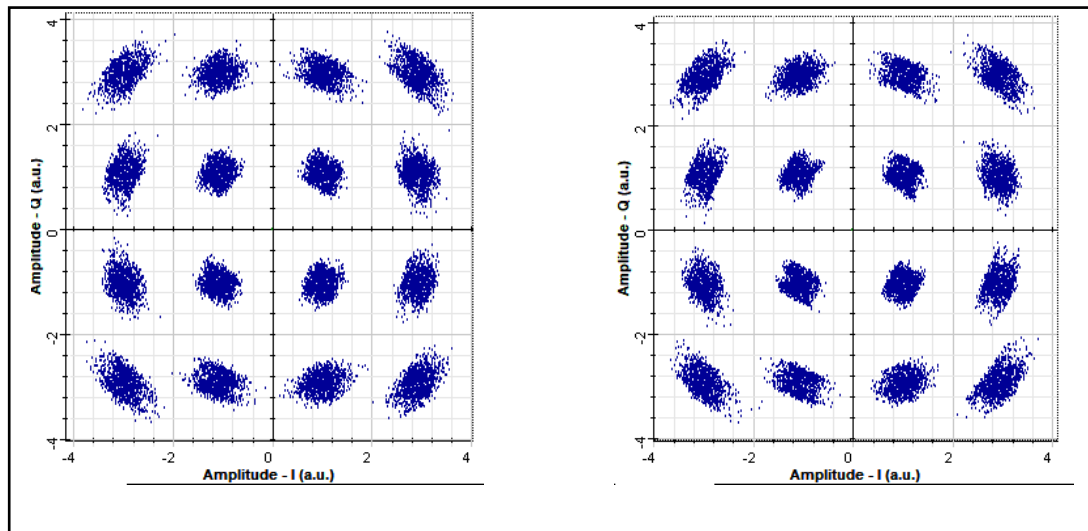


الشكل (4): قيم BER المقابلة لتغير طول الليف عند حالات مختلفة لطول شبكة براغ.

يلاحظ من الشكل (4) أنه من خلال استخدام FBG تم الحصول على تحسن في أداء النظام وزيادة في مسافة الوصلة الضوئية (مسافة الإرسال) مقارنة مع حالة الإرسال بدون استخدام FBG. حيث أنه من أجل مسافة 180 km كان معدل خطأ البت BER ضمن حدود مرتبة  $10^{-3}$ ، في حين أنه بدون استخدام FBG كانت المسافة من أجل نفس مرتبة BER لا تتجاوز 130 km. بالتالي تم التمكن من خلال استخدام نموذج الشبكة FBG المقترح تعويض التشتت الناتج عن زيادة مسافة الإرسال في نظام الاتصال الضوئي المترابط 16-QAM. أيضاً يمكن أن يُلاحظ من الشكل (4) أن طول الشبكة Grating length المساو لـ 20mm و 10 mm لهما أداءً متقارباً مقارنة مع طول الشبكة المساو لـ 40mm. أي أن اختيار طول شبكة انعراج براغ بقيمة مساوية لـ 20mm سيقدم أداءً فعالاً في تعويض التشتت دون الحاجة إلى زيادة طول الشبكة FBG المراد استخدامها حيث أن طول الشبكة له تأثير على عرض النطاق الترددي وانعكاسية FBG. وكلما ازداد طول الشبكة فإن هذا الأمر يزيد من قوة الفصوص الجانبية لطيف الإشارة وهو أمر غير مرغوب فيه.

وبين الشكل (5) مخطط التوضع الفراغي للإشارة بدون استخدام Chirped FBG، وفي حال استخدامها

وذلك من أجل Grating length مساو لـ 20 mm، وطول الليف الضوئي  $l=75$  km.



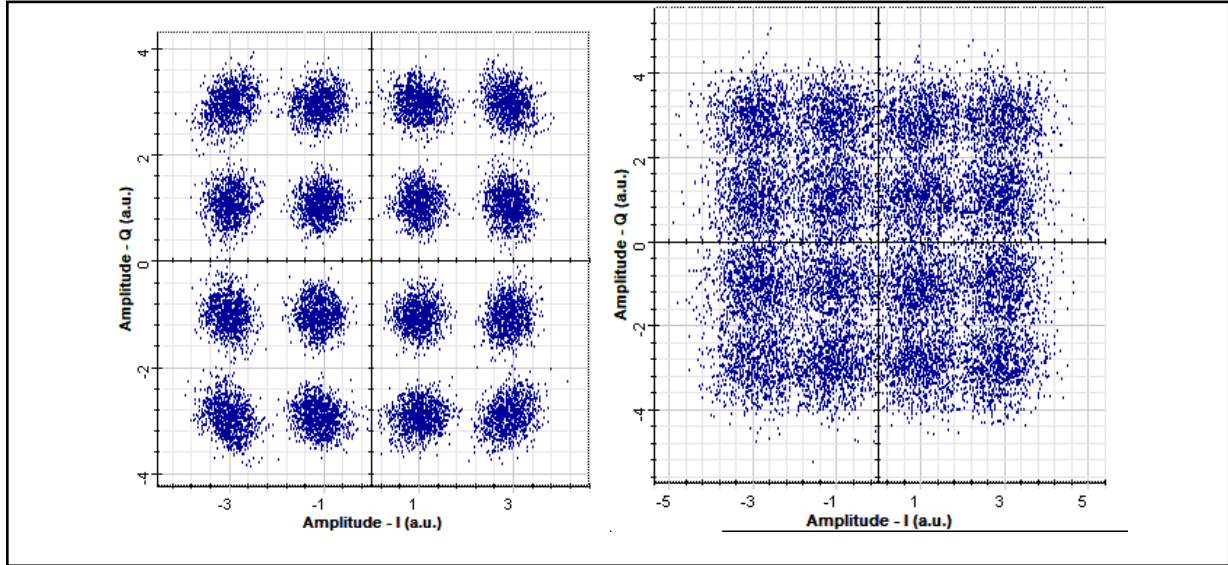


(b) بدون استخدام معوض التشتت

(a) باستخدام Chirped FBG

الشكل (5): مخطط التوضع  $l=75$  Km.

وبين الشكل (6) مخطط التوضع الفراغي للإشارة بدون استخدام Chirped FBG، وفي حال استخدامها وذلك من أجل Grating length مساو  $l=20$  mm، وطول الليف الضوئي  $l=150$  km.

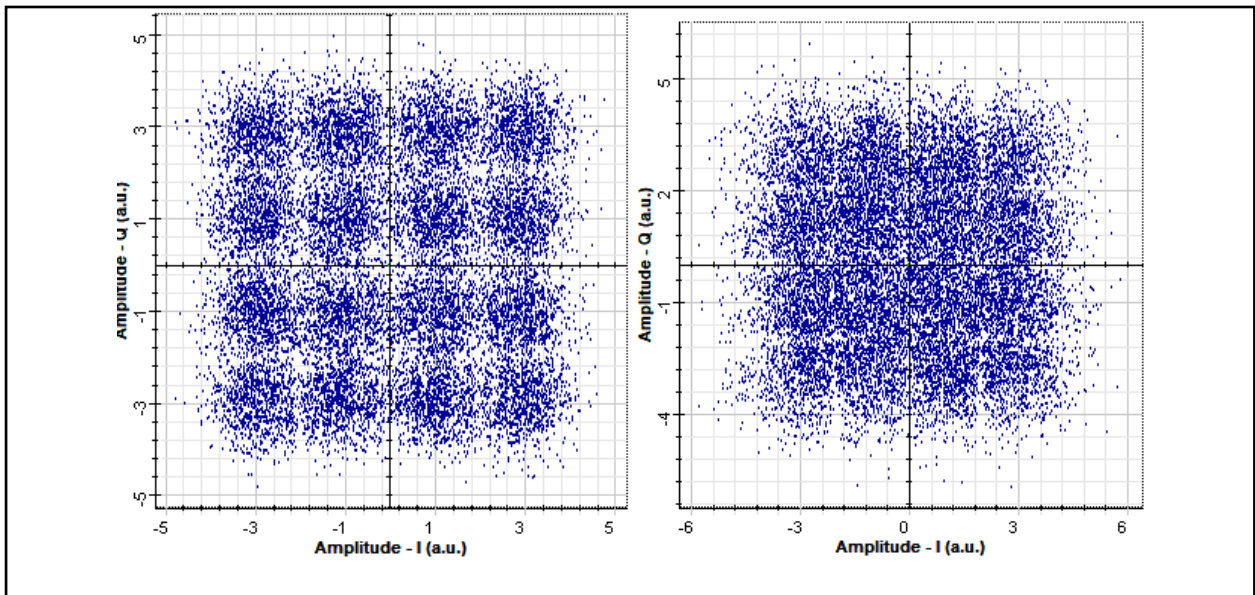


(b) بدون استخدام معوض التشتت

(a) باستخدام Chirped FBG

الشكل (6): مخطط التوضع  $l=150$  Km.

وبين الشكل (7) مخطط التوضع الفراغي للإشارة بدون استخدام Chirped FBG، وفي حال استخدامها وذلك من أجل Grating length مساو  $l=20$  mm، وطول الليف الضوئي  $l=200$  km.



(b) بدون استخدام معوض التشتت

(a) باستخدام Chirped FBG

الشكل (7): مخطط التوضع  $l=200$  Km.

نلاحظ من الشكلين (6) و (7) تأثير التشتت على الإشارة في حالة عدم استخدام FBG حيث يكون توزيع النقاط في مخطط التوضع الفراغي متبعثراً وغير متمركز حول القيم المرجعية لإشارة 16-QAM مما يؤدي إلى زيادة معدل الخطأ وعدم الدقة في الاستعادة الصحيحة للبيانات مقارنة بمخطط التوضع للإشارة بحالة استخدام FBG حيث أن توزيع النقاط أكثر تركيزاً ومطابقاً للتوزيع المرجعي لنظام 16-QAM الضوئي المترابط على الرغم من زيادة مسافة الإرسال، مما يمكن من استعادة البيانات بشكل صحيح وأكثر دقة.

وبمقارنة البحث المدروس مع الدراسة [10] نلاحظ أنه تم الحصول على تحسن في أداء النظام من ناحية زيادة مسافة الإرسال عند استخدام نموذج شبكة انعراج براغ المدروس ضمن هذا البحث. الجدول (6): مقارنة نتائج الدراسة مع نتائج الدراسات السابقة.

البحث	سرعة النقل	نوع التعديل	معوّض التشتت	مسافة الإرسال
[10]	10 Gb/s	16QAM	Fiber Bragg Grating	تصل إلى 80km
البحث المقترح	10 Gb/s	16QAM	CFBG+UFBG	تصل إلى 175km

## 9- الاستنتاجات:

تم في هذا البحث دراسة تحسين الأداء في نظام اتصال ضوئي مترابط، من خلال استخدام شبكة انعراج براغ Chirped FBG وسلسلة من Uniform FBG لتعويض التشتت اللوني في نظام اتصال ضوئي مترابط 16-QAM بمعدل نقل بيانات مقداره 10 Gb/s. وتم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج OptiSystem 19. حيث تم إجراء مقارنة لأداء التصميم لـ Chirped FBG وسلسلة Uniform FBG باستخدام أطوال مختلفة لشبكة براغ وذلك من أجل قريئة انكسار فعالة مساوية 1.46.

تم تحديد معدل خطأ البت BER للنظام من أجل طول وصلة ضوئية متغير وذلك لقيم مختلفة لطول شبكة براغ ومقارنته مع النظام في حال عدم استخدام معوضات التشتت FBG. حيث يلاحظ أنه من خلال تطبيق التصميم لشبكة FBG لوصلة بسرعة 10 Gb/s، تحسن أداء النظام بشكل واضح عندما تكون طول الوصلة الضوئية أكبر من 125 km وحتى طول 180 km. حيث بقي معدل خطأ البت ضمن حدود مرتبة  $10^{-3}$  من أجل طول الليف الضوئي مساو لـ 180km، وذلك عندما يكون طول شبكة براغ يبلغ 20mm، وتم الحصول على أدنى نتائج BER عندما يكون طول شبكة براغ 40mm. كما يلاحظ تحسن أداء النظام من خلال مخطط التوضع الفراغي للإشارة الموضح في الشكل (6). حيث أن الإشارة تصبح أكثر تأثراً بالتشتت في حين أنه باستخدام FBG كان توزيع النقاط في مخطط التوضع أكثر تركيزاً وبالتالي يكون معدل خطأ البت منخفضاً.

## 10- خلاصة البحث:

تعد الأنظمة الضوئية المترابطة حلاً مناسباً للوصول لاستغلال عرض المجال الترددي بصورة أفضل، وزيادة مسافة الإرسال وتحسين حساسية المستقبل، وذلك لأن الاتصال الضوئي ذو الكشف المترابط يحقق حساسية ومعدلات نقل مع كفاءة طيفية عالية. ولكن مع زيادة مسافة الإرسال تتأثر الإشارة بشكل كبير بالتشتت اللوني CD مما يؤدي إلى تدهور الأداء الكلي للنظام والذي يجب معالجته. تم استعراض ومحاكاة نموذج لشبكة انعراج براغ لتعويض التشتت اللوني عند زيادة مسافة الإرسال في نظام 16-QAM ضوئي مترابط. وبينت النتائج أن استخدام معوضات التشتت FBG في النظام المدروس أدى إلى تقليل أثر التشتت اللوني عند زيادة مسافة الإرسال وبالتالي تقليل قيمة BER أي تحسين أداء النظام واستعادة البيانات بصورة صحيحة.

## 11- التوصيات:

ركزت الدراسة على استخدام معوضات التشتت شبكات انعراج براغ في نظام اتصال ضوئي مترابط 16-QAM وذلك من أجل تخفيف أثر التشتت اللوني في الليف الضوئي عند زيادة مسافة الإرسال، مع تجاهل أثر ضجيج الطور المعزز EEPN وهذا يستلزم الحاجة إلى المزيد من البحث في هذا المجال، إضافة يمكن أن نذكر إمكانية استخدام توابع Apodization أخرى ضمن CFBG لدراسة تحسين أداء عمليات الإرسال لتعويض التشتت اللوني.

## 12-المراجع:

- [1] A.A.Shabaneh, 2020," Investigative Modeling of Symmetric Fiber Bragg Grating as Dispersion Compensation for Optical Transmission System", Researchgate, Citation information: DOI: 10.7149/OPA.53.4.51052.
- [2] A.F. Sayed, F.M. Mustafa, A.A.M. Khalaf, M.H. Aly, 2020," An Enhanced WDM Optical Communication System Using a Cascaded Fiber Bragg Grating", Optical and Quantum Electronics volume 52, Article number: 181.
- [3] A.F. Sayed, F.M. Mustafa, A.A.M. Khalaf, M.H. Aly, 2021," Spectral Width Reduction Using Apodized Cascaded Fiber Bragg Grating For Post-Dispersion Compensation In WDM Optical Networks", Photonic Network Communications volume 41, pages231–241.
- [4] Abdikarim A. Dahir, Zhihua Yu, 2020," Dispersion Compensation by Using FBG and Low Pass Gaussian Filter", Researchgate, Citation information: DOI: 10.1109/ICCCS49078.2020.9118555.
- [5] Fathy M. Mustafa, Asmaa Mohamed, Ashraf A. M. Khalaf, Ahmed F. Sayed, Moustafa H. Aly,2022," Dispersion Compensation Using Cascaded Apodized CFBGS Under MTDM Transmission Technique: Enhanced System Performance", Optical and Quantum Electronics, citation information: doi.org/10.1007/s11082-022-04132-6.
- [6] H.M. Ghenni, M. Abdullah, R. Talib, K.A. Omar, A.A. Qasim, A. Malik, A. Dawood, 2019," Simulation Of Undersea Optical Communication System Using DCF And SSF", International Conference on Information Science and Communication Technology (ICISCT). citation information: DOI: 10.1109/CISCT.2019.8777416,.
- [7] Ibarra-Villalon, H.E., Pottiez, O, Gómez-Vieyra, A, Lauterio-Cruz, J.P., Bracamontes-Rodriguez, Y.E.,2021 , " Numerical Study Of The Fiber Dispersion Contribution In The Pulse Propagation Problem", European Journal of Physics, vol. 42, no. 2, Article 025303, citation information: DOI 10.1088/1361-6404/abcc81.
- [8] Isidore Nsengiyumva, Elijah Mwangi, George Kamucha, 2022,"A Comparative Study Of Chromatic Dispersion Compensation In 10 Gbps SMF And 40 Gbps OTDM Systems Using A Cascaded Gaussian Linear Apodized Chirped Fibre Bragg Grating Design",Elsevier Ltd, citation information: doi.org/10.1016/j.heliyon. 2022.e09308.
- [9] R. Gupta, M.L. Meena, 2020," Long-Distance Optical Communication Network With Linear Chirped Fiber Bragg Grating", Springer, pp 185–192, citation information: DOI: 10.1007/978-981-33-4893-6\_17.
- [10] Shaik Abdul Hai Basha, D Ghosh and P K Sahu,2017, " 4-QAM and 16-QAM Modulation Employing Single Dual Drive Mach-Zehnder Modulator and FBG for OFDM-Radio-Over-Fiber System", International Conference on Communication and Signal Processing, p.p:1010-1012.
- [11] Subash Rokka, Utsav Phuyal,2020," Simulation Based Performance Analysis of Fiber Bragg Grating as Dispersion Compensator in Optical Transmission System", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 07 Issue: 08.