مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(5) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (5) 2021

تصميم نظام اتصالات ضوئي FTTH عالي السرعة

د.محمد نصر*

(تاريخ الإيداع 18 /4 /2021 . قُبِل للنشر في 13 /6 /2021)

□ ملخّص □

شهد العالم خلال العقود القليلة الماضية ثورة كبيرة في جميع جوانب الحياة المعمارية منها والتقنية، وأصبحت متطلبات الحزمة العريضة من ضرورات الحياة اليومية للمستخدمين للحاق بالتكنولوجيا وتطبيقاتها ومواكبة العصر الجديد للاتصالات.

انطلاقاً من أهمية تخديم المستخدمين بأكبر عرض حزمة ممكن، وذلك لتلبية الطلب المتزايد على الانترنت والتطبيقات الذكية، والتي أصبحت حاجة ماسة ومرتبطة بجميع جوانب الحياة، كان لا بد من التفكير بآلية جديدة لإيصال هذه الخدمة إلى المستخدم. من هنا كان البحث عن تصميم نظام ضوئي يساهم بحل مشكلة الميل الأخير للاتصالات التقليدية لما للاتصالات عبر الألياف الضوئية من ميزات مهمة وخاصة فيما يتعلق بتخفيض الضجيج والتأثر بالضوضاء المحيطة إضافة للسرية العالية في نقل المعلومات والموثوقية في الأداء.

يقترح هذا البحث تصميم نظام ضوئي يسمح بإيصال الخدمة الموثوقة وعرض الحزمة الكبير للمستخدم مع أقل نسبة خطأ ممكنة وأعلى نسبة إشارة إلى الضجيج. وقد تم استخدام البيئة البرمجية لـ optisystem للحصول على

الكلمات المفتاحية: الألياف الضوئية، الشبكات الضوئية غير الفعالة، توصيل الألياف إلى المنازل، معدل خطأ البت، SNR.

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

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(5) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (5) 2021

Designing High Speed FTTH Optical System

Dr.Mohammad Nassr *

(Received 18 / 4/ 2021 . Accepted 13 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

The world, through the last decades, witnessed a tremendous revolution in all technical and architectural aspects of the life and wide band data become one of the basic to meet all the application and modern technology.

There is an importance of serving users with the largest possible bandwidth. In order to meet the increasing demands on the Internet and smart applications, which have become an urgent need and linked to all aspects of life, it was necessary to think of a new mechanism to deliver this service to users. Hence, the research presented here, is a bout designing an optical system. This system helps in solving the problem of the last mile of traditional communications .in addition of that fiber optic has advantages upon other wires because of low noise ,not affected by external signals, high security and high reliability

This research proposes a new model for an optical system. The proposed system allows reliable service delivery and large bandwidth for users with the lowest possible error rate and the highest signal to noise ratio.

Optisystem had been used to simulate the results.

KEYWORD: Optical fiber, Passive Optical Network, FTTx,, Bit Error Rate BER, SNR

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

1-مقدمة

تزداد تكنولوجيا الاتصالات بالتطور يوماً بعد يوم مع تزايد الطلب على عرض النطاق الترددي لتلبية حاجة المستخدمين وتلعب الشبكات الضوئية دوراً أساسياً في تأمين هذه المطالب كونها تحقق نقل البيانات بمعدلات عالية.

يعد هذا المجال من العلم واعداً ويتم تطويره باستمرار بغرض تلبية احتياجات المستخدمين المتزايدة والتطبيقات الحديثة التي تتطلب عرض حزمة كبير. وأصبح البحث عن زيادة سعة هذه الشبكات من أولويات شركات الاتصالات حيث سيكون هناك حاجة لأن تصل السعة في المستقبل إلى Tbit/s [1-2].

تستخدم شبكات PON (Passive Optic Network) الكابلات الضوئية لتأمين عرض الحزمة العريض. وتعد هذه الشبكات ثنائية الاتجاه من نقطة إلى عدة نقاط (PTMP) (Point To Multi Point) وذات معدل عالي بدون وجود مكونات فعالة في طريق الإشارة التي تنتقل من المرسل إلى المستقبِل. يتم نقل بيانات الوصلة الهابطة من طرف محطة طرفية ضوئية (OLT Optical Line Termination) إلى وحدات الشبكة الضوئية Optical Networks Unit (ONUs). أما انتقال البيانات على الوصلة الصاعدة فيتم من ONU إلى OLT عن طريق الألياف الضوئية التي يفصل فيما بينها مُقسّم ضوئي. يوضع مكون OLT في المكتب المركزي CO Central Office ويتم توصيل شبكة الوصول الضوئية بشبكة المنطقة الواسعة (WAN) طويلة المدى بينما يوضع مكون ONU في منزل المستخدم النهائي (FTTH) [3].

2- هدف البحث

يهدف البحث إلى تصميم نظام FTTH ودراسة أداءه على مسافات مختلفة ومن أجل معدلات ارسال مختلفة اعتماداً على قياس معدل خطأ البت ومخطط العين. اعتمدنا في المحاكاة على برنامج optisystem وهو برنامج متخصص بمحاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية وذو موثوقية عالية ومعتمد لدى كبرى شركات الاتصالات في العالم.

3- طرائق البحث

اعتمد هذا البحث على العديد من المراجع الحديثة والمهمة في مجال الألياف والاتصالات الضوئية[4][5] [6][7] [8]وتم عرض النتائج من خلال جداول ومنحنيات تبين بوضوح النتائج التي تم الوصول إليها.

3-1 شبكة الألياف إلى المنازل Fiber To The Home

هي شبكة إرسال ضوئية من مركز مزود الخدمة إلى المستخدم النهائي باستخدام الألياف البصرية كقنوات اتصال، وتعتمد شبكات FTTH في تصميمها على بعض العناصر غير الفعالة.

توفر الشبكات الضوئية غير الفعالة بطبيعتها مجموعة متنوعة من خدمات النطاق العريض للمستخدمين من خلال الألياف الضوئية. يتم في هذه الشبكات إدخال مكونات غير فعالة لتوجيه حركة البيانات عبر الشبكة مثل المقسم الضوئي splitter. وبما أن شبكة PON تحوي عناصر غير فعالة فإن كلفة تنفيد وصيانة وتشغيل هذه الشبكات تعد أقل مقارنة مع الشبكات التي تعتمد على عناصر فعالة. وكذلك، تزيد من سعة الشبكة كونها تعمل عند معدل بيانات عال [9] .

3-2 ميزانية الوصلة Link Budget

تم تصميم ميزانية وصلة الشبكة لتعمل فوق حد معين. ويمكن كتابة معادلات حساب الميزانية وفق الآتي[10]:

$$a_t = La_s + N_c a_c + S \qquad (1)$$

$$P_R = P_T - (a_t + S) \qquad (2)$$

حيث: a_t الضياع الكلي ضمن الليف وهو يساوي مجموع ضياعات الليف والتوصيلات Splices والوصلات Connectors a_c: ضياع الوصلات ،N_c : عدد الوصلات، S: هامش الضياع.

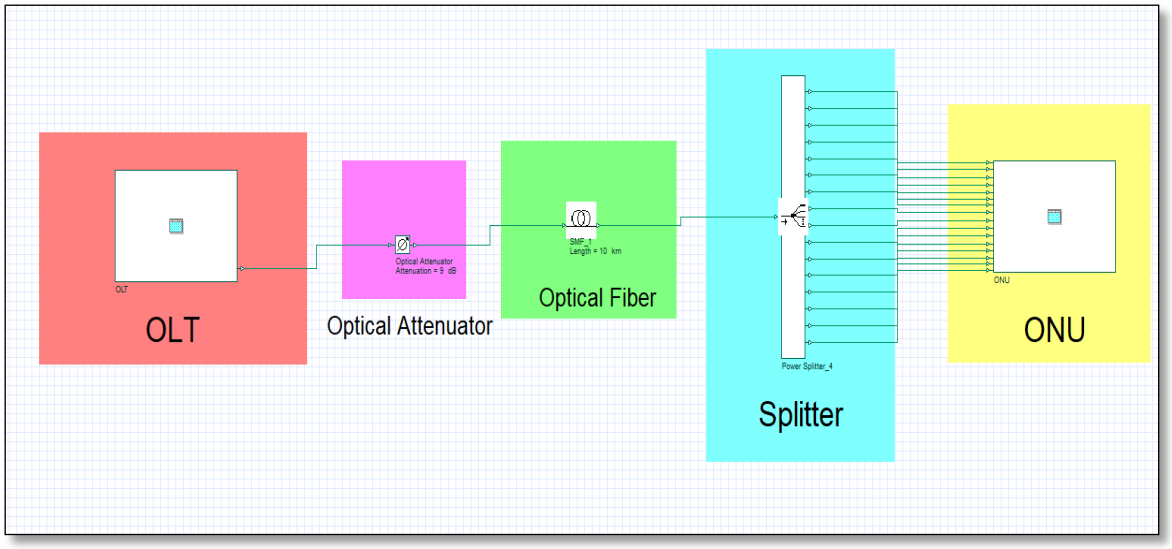
افترضنا ضمن النموذج المقترح أن ضياع التوصيلات مهمل وأن عدد الوصلات 4 وضياع كل منها هو 0.5 dB وأيضاً تم افتراض هامش الضياع هو 7 dB.

P_R: الاستطاعة المستقبلة، P_T: الاستطاعة المرسلة

3-3 النموذج المقترح

تم اعتماد النموذج المقترح بعد الاطلاع على العديد من الدراسات المرجعية الحديثة في هذا المجال[11][12][13][14] وأيضاً من نموذج شبكة توصيل الليف إلى الأبنية FTTB الذي تم تنفيذه في الشركة السورية للاتصالات.

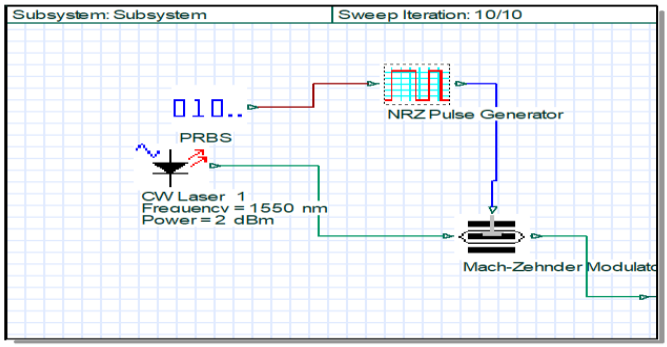
تتألف شبكة FTTH التي تم دراستها من محطة طرفية ضوئية (OLT) في المكتب المركزي لمزود الخدمة وعدداً من وحدات الشبكة الضوئية (ONUs) تتوضع عند المستخدمين النهائيين إضافة إلى المقسم الضوئي كما هو مبين بالشكل(1). تحتوي المحطة الطرفية الضوئية (OLT) على مرسل ضوئي ثم تمر الإشارة على جهاز تخامد ضوئي بقيمة 9 dB لنمذجة ضياعات الوصلات والهامش المفروض للنظام ليتم بعدها نقل الإشارات الضوئية عبر ليف ضوئي وحيد النمط Standard Single Mode Fiber SSMF ، بعد ذلك تعبر الإشارات على مقسم الاستطاعة الضوئي splitter والذي يحقق وصول كل الإشارات إلى عدد كبير من المستخدمين وبالتالي تزويدهم بالخدمة المطلوبة. تم افتراض أن نظام الاتصالات يعطي أداء جيد من أجل معدل خطأ بت أقل من 10^{-9} وذلك من أجل جميع السيناريوهات المقترحة. يتألف النموذج المقترح كما هو موضح في الشكل(1) من الوحدات الآتية:



الشكل(1) المخطط العام للنظام المقترح

3-3-1 المرسل الضوئي

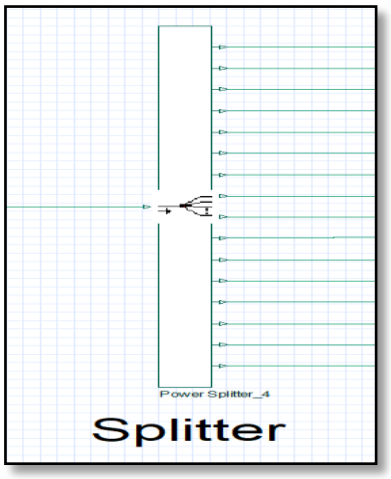
يتكون المرسل الضوئي ضمن OLT في النموذج المقترح من مولد نبضات شبة عشوائي يولد بيانات بمعدل بت Gbps (2.5 و 10) ومن مرمز NRZ ومعدل MZM (Mach Zehnder Modulation) يقوم بتعديل الإشارة الضوئية الصادرة عن الليزر الذي يشع ضوء بعرض خط (Line Width) 0.1 MHz واستطاعة 2dBm، يبين الشكل (2) المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT



الشكل(2) المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT

3-3-2 المقسم الضوئي

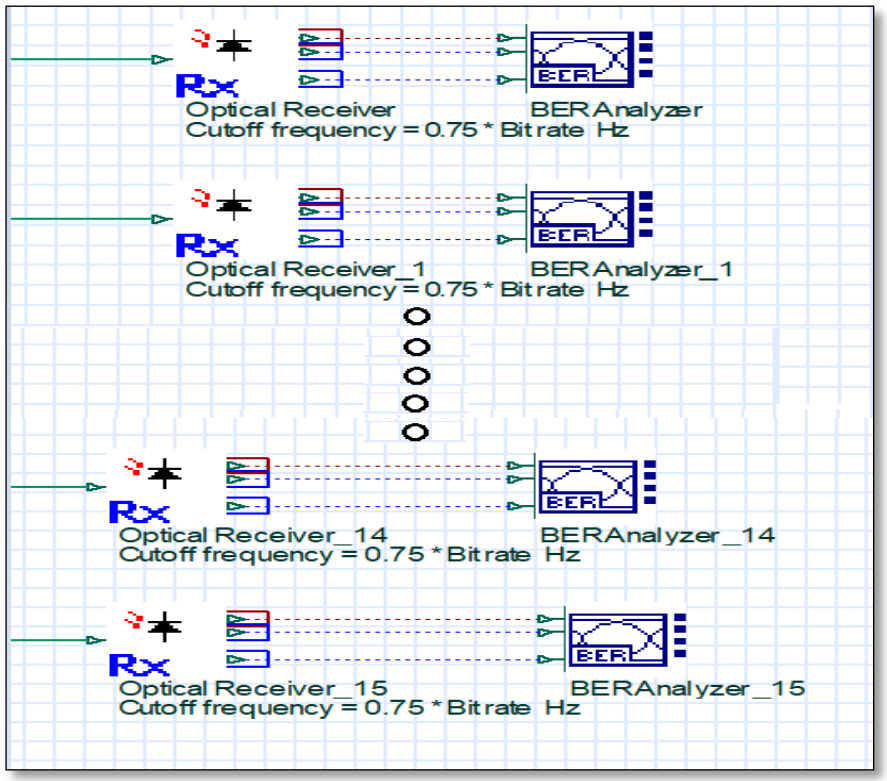
تم استخدام مقسم 1X16 يقوم بتقسيم الإشارة الضوئية وتشارك عرض الحزمة المرسل على طول الموجة المحدد بين 16 مشترك، ويبين الشكل(3) المقسم الضوئي.



الشكل(3) المقسم الضوئي

3-3-3 وحدة ONU

تتكون كل وحدة ONU في النموذج المقترح من مستقبل ضوئي يعمل على تردد الموجة المرسلة نفسة ويحتوي كاشف حساسيته 1 A/W كما هو مبين بالشكل (4).



الشكل (4) وحدات ONUs

4- النتائـــج والمناقشـــة

4-1- دراسة أداء النظام على مسافات مختلفة من أجل معدل بيانات ثابت 2.5Gbps

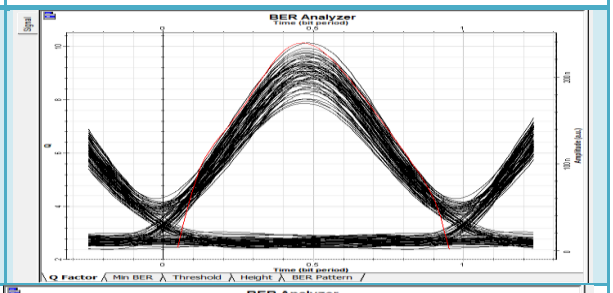
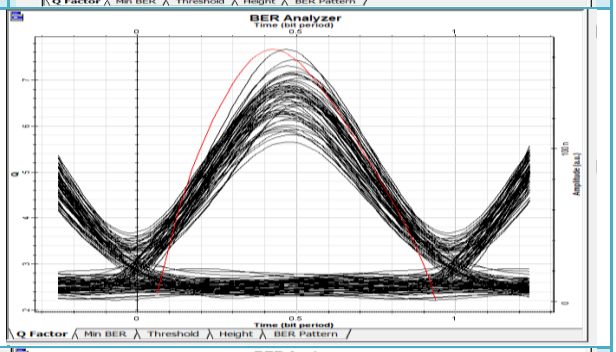
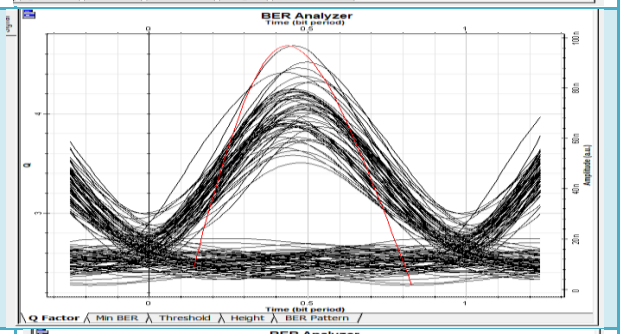
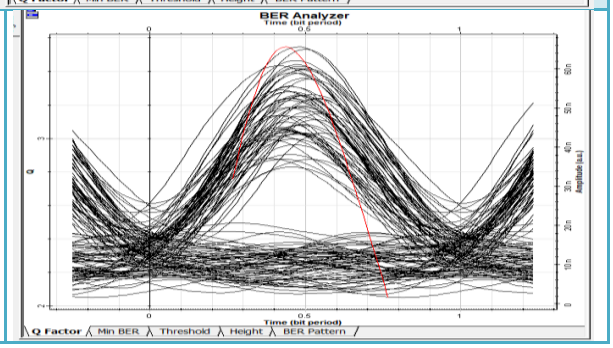
تم ضمن هذا السيناريو تخديم عدد ثابت من المستخدمين ممثل بـ 16 مشترك باستخدام مقسم ضوئي له نسبة ضياع 14.3 dB على مسافات مختلفة بين OLT والمستخدم النهائي من أجل معدل بت 2.5Gbps.

يوضح الجدول (1) معدل خطأ البت على مسافات مختلفة وذلك من أجل معدل بت 2.5Gbps نلاحظ من الجدول أن النظام يحقق أداء جيد حتى مسافة 30 كم.

الجدول(1) معدل خطأ البت عند مسافات مختلفة من أجل معدل بت 2.5Gbps

Distance (km)	BER
5	3.78213e-041
10	5.06109e-033
15	1.53694e-023
20	1.47686e-016
25	2.2822e-015
30	1.44066e-011
35	2.53741e-008
40	1.2227e-006
45	3.20897e-005
50	0.000178049

أما الشكل (5) فيوضح مخطط العين للمستخدم الأول على مسافات مختلفة من المرسل.

المسافة[km]	مخطط العين
5	
35	
45	
50	

الشكل(5) مخطط العين على مسافات مختلفة بين OLT و ONU

نلاحظ من الشكل (5) أنه من خلال زيادة المسافة لنفس معدل البيانات (2.5 Gbps) يقل ارتفاع فتحة العين ويزداد معدل الخطأ في البتات (BER) ونتيجة لذلك يتعذر على المستقبل أن يكتشف البتات المستقبلة بشكل صحيح.

يصف مخطط العين جودة الإشارة المستقبلة، في حال عدم وجود ضجيج أو إرسال خال من الأخطاء، تكون فتحة العين رأسية كبيرة، بينما تقل فتحة العين كلما ازداد التداخل.

4-2- عدد المشتركين الذين يمكن تخديمهم على مسافة 15 كم من أجل معدلات بت 2.5 Gbps

تم ضمن هذا السيناريو افتراض أن المستخدمين موزعين على مسافة محددة من OLT وتم افتراضها15 كم، مع الاخذ بالحسبان تزايد قيمة الضياع في المقسم الضوئي بمقدار 0.3 dB عند زيادة كل مشترك. يبين الجدول (2) عدد المشتركين الذين يمكن تخديمهم على هذه المسافة.

الجدول(2) عدد المشتركين الممكن تخديمهم على مسافة 15 كم من أجل معدلات بت 2.5 Gbp

معدل خطأ البت BER	عدد المشتركين الممكن تخديمهم
1.53694e-023	16
2.08524e-019	17
1.01339e-017	18
1.26349e-015	19
4.55663e-012	20
1.03172e-011	21
4.55663e-011	22
5.58605e-010	23
1.13189e-008	24
7.65023e-007	25

نلاحظ من الجدول أن العدد الأقصى الممكن تخديمه من المشتركين من أجل معدل بت 2.5Gbps على مسافة 15 كم يصل إلى 23 مستخدم.

4-3- دراسة أداء النظام على مسافات مختلفة من أجل معدل بيانات ثابت 10 Gbps

تم ضمن هذا السيناريو تخديم عدد ثابت من المستخدمين ممثل بـ 16 مشترك أيضاً باستخدام مقسم ضوئي له نسبة ضياع 14.3 dB على مسافات مختلفة بين OLT والمستخدم النهائي من أجل معدل بت 10 Gbps.

يوضح الجدول (3) معدل خطأ البت على مسافات مختلفة وذلك من أجل معدل بت 10 Gbps.

نلاحظ إن النظام يحقق أداء جيد حتى مسافة 8 كم .

الجدول (3) معدل خطأ البت عند مسافات مختلفة من أجل معدل بت 10 Gbps

Distance (km)	BER
2	1.12449e-012
4	1.58642e-011
6	2.44863e-011
8	3.40693e-010
10	1.11602e-007
12	1.16383e-007
14	5.76763e-006
16	7.36609e-006
18	3.14078e-005
20	0.000141887

.

4-4- عدد المشتركين اللذين يمكن تخديمهم على مسافة 4 كم من أجل معدل بت 10 Gbps

تم ضمن هذا السيناريو افتراض أن المستخدمين موزعين على مسافة محددة من OLT 4 كم، مع الاخذ بالحسبان تزايد قيمة الضياع في المقسم الضوئي بمقدار 0.3 dB عند زيادة كل مشترك. يبين الجدول (4) عدد المشتركين الممكن تخديمهم على هذه المسافة.

الجدول(4) عدد المشتركين الممكن تخديمهم على مسافة 4 كم من أجل معدلات بت 10 Gbps

عدد المشتركين الممكن تخديمهم	BER
16	1.58642e-011
17	3.3581e-010
18	8.82177e-009
19	1.39212e-007
20	1.13912e-007
21	1.26672e-006

يبين الجدول أن أقصى عدد ممكن تخدمه هو 17 مشترك من أجل معدل بيانات 10Gbps

5- استنتاجات والتوصيات

- تبين الدراسة أن أداء الشبكة المقترحة من أجل معدل بيانات 2.5 Gbps يقدم أداء جيد على مسافة تصل حتى 30 كم وعند اختبار عدد المشتركين الممكن تخديمهم على مسافة 15 كم من أجل نفس معدل البيانات تبين إن أقصى عدد مشتركين يمكن تخديمه هو 23 مستخدم.
- عند دراسة أداء الشبكة عند مسافات مختلفة من أجل معدل بت 10 Gbps تبين أن الشبكة تقدم أداءً جيداً حتى مسافة 8 كم ، وعند إجراء اختبار لمعرفة عدد المستخدمين الممكن تخديمهم عند منتصف المسافة تبين أن العدد هو 17 مشترك.
- تم العمل ضمن هذا البحث على العديد من السيناريوهات الممكن تنفيذها، لكن يمكن أيضاً وضع سيناريوهات عمل أخرى على النموذج المقترح تلبي حاجة المزودين بالخدمة
- يمكن اقتراح خوارزميات متعددة لتحسين جودة الخدمة على النظام المقترح

6- المراجع

[1] VZHOU X. and YU J. and QIAN D. 2008 , *8x114 Gb/s, 25-GHz-spaced, PolMux-RZ-8PSK transmission over 640 km of SSMF employing digital coherent detection and EDFA-only amplification*.Optical Fiber Communication Conference, Optical Society of America,

[2] Gnauck A. H. and Tkach R.W. and Chraplyvy A. R. and Li T. 2008 *High-capacity optical transmission systems.* Journal of Lightwave Technology, 26(9), 1032-1045,.

[3] CHANG, G. K. and CHOWDHURY A. AND JIA, Z. and CHIEN H. C. and HUANG M. F. and YU J. and ELLINAS G. 2009. *Key technologies of WDM-PON for future converged optical broadband access networks.* Journal of Optical Communications and Networking, 1(4),.

[4] غصنة، ف؛ نصر، م.2018 *"زيادة الفعالية الطيفية لأنظمة الاتصالات البصرية DWDM باستخدام المرشحات ضيقة المجال"*. مجلة جامعة طرطوس.

[5] غصنة، ف.2019 *" تقنية مبتكرة في تصميم مستقبل ضوئي- ذو تضخيم مسبق في الاتصالات الضوئية عبر الأقمار الصناعية"*. مجلة جامعة طرطوس.

[6] نصر، م.2018 *"مقارنة أداء نظام اتصالات بصري متعدد الأطوال الموجية DWDM يستخدم عدة تقنيات لتعويض التشتت"*. مجلة جامعة طرطوس.

[7] نصر، م؛ اسعد، ر. 2018" *استخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية لتحسين أداء نظم الاتصالات الضوئية المتماسكة عالية السرعة* ". مجلة جامعة طرطوس.

[8] نصر، م؛ اسعد، ر.*2020* *"*تصميم ومحاكاة نظام اتصالات ضوئية عالي السرعة باستخدام تقنية OFDM". مجلة جامعة طرطوس

[9] KRAMER G. and MUKHERJEE B.and PESAVENTO G. 2001**.** *Ethernet PON (ePON): Design and analysis of an optical access network*. Photonic Network Communications, 3(3), 307-319,

[10] KEISER G. 2006. *FTTX concepts and application*,

[11] Awalia, W. and Pantjawati. A. B. 2018. *Performance Simulation of Fiber to the Home(FTTH) Devices Based on Optisystem* . IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,

[12] Mubarakah, N. and Nouvan, G. 2019 Fiber Optic Trainer for Link Budget Measurement Tool in Optical Communication System**.** International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM). IEEE,.

[13] Spruytte, J and Vannieuwenborg, F . and Marlein, K. and Janssens, G. and Meersman, R. . and Verbrugge, S. and Colle, D. 2019. *Joint-Rollout of FTTH and Smart City Fiber Networks as a Way to Reduce Rollout Cost*. CTTE-FITCE: Smart Cities & Information and Communication Technology (CTTE-FITCE) .IEEE,

[14] Thuneibat, S. 2019. *Design and Simulation of Fiber to the Home (FTTH) Network*. Journal of Computer Science and Information Technology,