مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

دراسة نظرية لتحديد الطول المثالي لمضخم ليفي مُطَعَّم بالإيربيوم وفق نظام المرحلة الواحدة والمرور الواحد

الدكتور نزار شعبان*
الدكتور صلاح الدين نور الدين**

(تاريخ الإيداع 4 / 8 / 2016. قُبِل للنشر في 20/ 11 / 2016)

□ ملخّص □

يعنى هذا البحث بعرض منهجية لتحدد الطول المثالي لليف المشوب المستخدم في بناء مضخم ليفي نظرياً باستخدام برنامج الماتلاب. حيث تبين أن الطول المثالي لليف يتعلق بكل من كثافة الإشابة ونصف قطر لب الليف واستطاعة الضخ وشدة إشارتي الدخل والخرج .

الكلمات المفتاحية: المضخم الليفي،كثافة الإشابة ، شدة إشارة الدخل، و ربح المضخم.

* مدرس – المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته–جامعة دمشق–سورية
**أستاذ مساعد – كلية هندسة وتكنولوجيا المعلومات – جامعة طرطوس – سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Theoretical study of erbium doped fiber amplifierone-stagesingle-pass configuration

Dr. Nizar Shaaaban *
Dr. Salahaldin. Nuoraldin **

(Received 4 / 8 / 2016. Accepted 20 / 11 / 2016)

□ ABSTRACT □

We determined the optimal length of the fiber amplifier theoretically by solving numerically set of differential equations of a single stage and one pass amplifier, using MATLAB. Input values, as doped density, core radius, pumping power and input signal were changed, and the optimal fiber length was calculated.

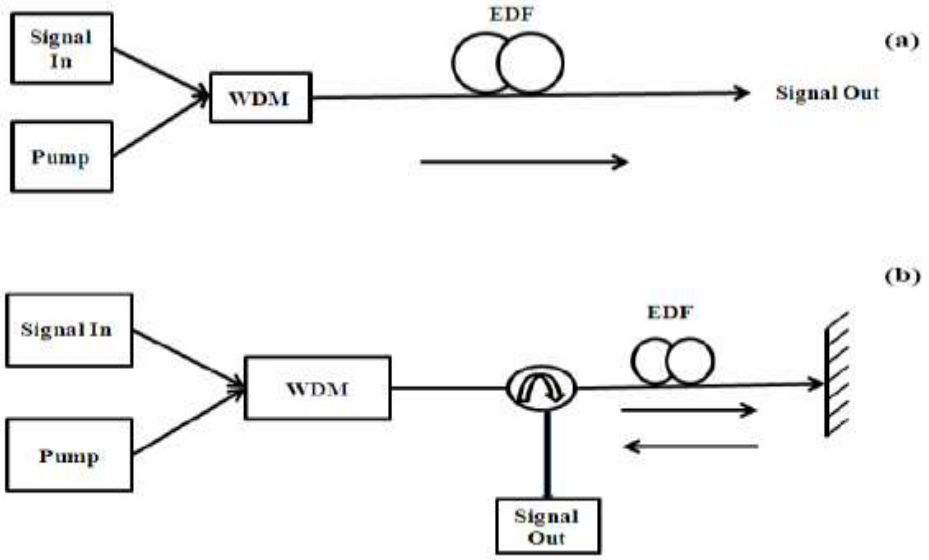
Keywords: fiber amplifier ,doped density, input signal and amplifier gain.

* **Assistant Professor, Higher Institute for Laser research and Application- Damascus University-Syria**
** **Faculty of Technology Engineering of Information and Communication, Tartous University, Syria**

مقدمة:

يحظى المضخم الليفي المطعم بالإيربيوم بميزات مكنته من الدخول في معظم التطبيقات الصناعية والعلمية،ولا سيما في مجال الاتصالات [1] ، إلا أنه لاتزال هناك صعوبة في نقل الإشارة الضوئية ضمن الليف لمسافات تزيد عن 100km بسبب ما تعانيه الاشارة من امتصاص وتشتت ضمن الليف ، الأمر الذي يسبب في انخفاض شدة الإشارة [1,2]. بالرغم من وجود دراسات كثيرة في هذا المجال إلا أنه لا تزال قيمة الربح في عملية التضخيم الليفي لا تتجاوز 25dB.لتحقيق ربح عالٍ في عملية التضخيم،لا بد من اختيار أمثل القيم للبارامترات (طول الليف، قطره، نسبة الاشابة، استطاعة الضخ وشدة إشارة الدخل) التي تؤثر في الربح [3]، لهذا قمنا بدراسة نظرية لزيادة كفاءة المضخم الليفي عن طريق التحكم بطول الليف وقطره ونسبة الاشابة وكل من استطاعة الضخ وشدة إشارة الدخل .

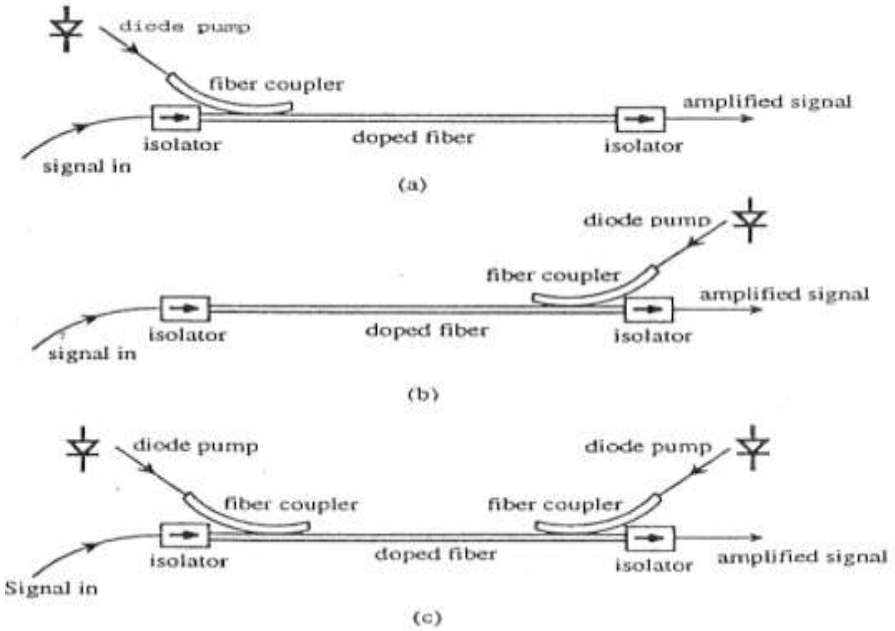
يوجد عدة تصاميم للمضخم الليفي، بمرحلة واحدة أو مراحل متعاقبة، بمرور واحد أو بمرورين، كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل(1). تصميم المضخم الليفي ذي المرحلة الواحدة :(a) مرور واحد، (b) مرورين

في المرور الواحد، تمر الإشارة المراد تضخيمها مرة واحدة عبر الوسط الفعال، أما في حالة المرورين فيحتاج الأمر لعاكس إشارة، يجعلها تمر مرة ثانية عبر الوسط الفعال.

تقسم تصاميم المضخمات من حيث طريقة الضخ إلى ثلاثة أقسام موضحة بالشكل (2). في الحالة (a)يكون الضخ أمامياً، حيث ينتشر الضخ والإشارة المراد تضخيمها في نفس الاتجاه، ويتميز هذا التصميم بأنه يولد ضجيجاً أقل. في الحالة(b) ،ينتشر الضخ والإشارة في اتجاهين متعاكسين ويتميز بتوليد ربح أعلى. في الحالة (c) ،يتم الضخ بالاتجاهين ويجمع بين ميزات التصميمين السابقين[5,6].



الشكل(2).أشكال الضخ

يتم استخدام التشكيل المناسب وذلك حسب الهدف من المضخم المراد بناؤه وهناك العديد من الدراسات حول الربح والضجيج في كل شكل من أشكال هذه التصاميم[8].

يتراوح ربح المضخم الليفي بين 10dB و 61dB وذلك تبعاً للعوامل المؤثرة في ربح المضخ [9] . أما بالنسبة للمضخم الليفي المشاب بالإيربيوم ذو مرحلة واحدة وعبور واحد فإن أعلى ربح يمكن الوصول إليه نظرياً عند الاختيار الأمثل لجميع البارامترات هو 33dB أما تجريبياً فهو بحدود [9][10][11]dB 25.

قمنا في هذا العمل بدراسة ربح المضخم نظريا وفق نظام المرحلة الواحدة والمرور الواحد، بواسطة برنامج حاسوبي .

أهمية البحث وأهدافه:

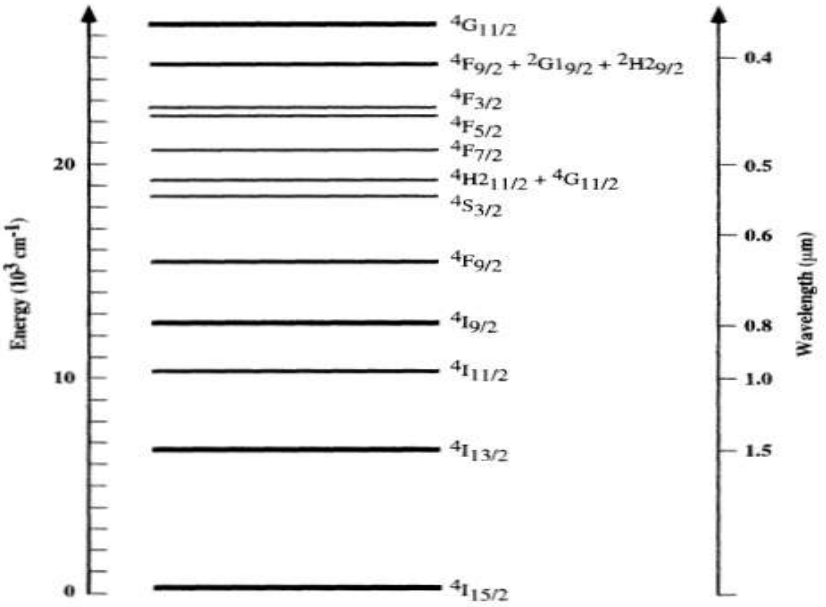
نظراً لأهمية المضخم الليفي الطعم بالأيربيوم ودخوله في العديد من التطبيقات الصناعية والعلمية ولا سيما في مجال الاتصالات ، تصبح هذه الدراسة في غاية من الأهمية والحيوية . لذلك كان هدفنا من البحث تطوير منهجية لتحديد الطول المثالي لليف المشوب المستخدم في بناء مضخم ليفي باستخدام برنامج الماتلاب.

طرائق البحث ومواده:

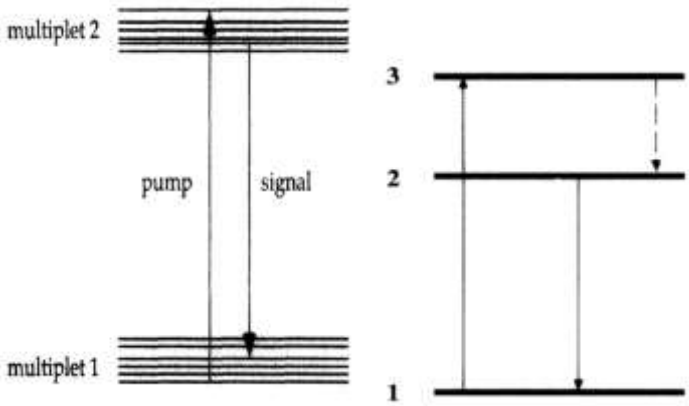
العلاقات الأساسية:

يبين الشكل(4-a)مخطط سويات الطاقة للإيربيوم، ومن الواضح أنه مؤلف من ثلاث سويات طاقية، وبفرض حدوث انتقال سريع من السوية الثالثة الى السوية الثانية، وبفرض أن السوية الثالثة هي جزء من السوية الثانية المتعددة السويات يمكن اعتبار مخطط الطاقة للإيربيوم كثنائي سويات طاقية كما هو مبين في الشكل( )4-b مع إبقاء السوية

الثالثة مضمنة ضمن المعادلات من خلال تعويض قيمة سطح مقطع السوية الثالثة ضمن معامل سطح مقطع امتصاص الضخ.



(a)



(b)

الشكل(4) . (a)سويات الطاقة لأيون الإيربيوم Er^{+3}،(b)التحول من نظام ثلاث سويات إلى نظام سويتين

وبحسب الدراسة النظرية وفق المرجع[1]، يمكنكتابة مقدار إسكان السوية العليا بدلالة كثافة الإشابة وشدة الضخ وبإهمال معامل الإصدار التلقائي المُضخَمASE على النحو الآتي:

$$N_2 = \frac{\frac{\tau\sigma^a{}_s\,\Gamma_s P_s}{Ah\upsilon_s} + \frac{\tau\sigma^a{}_p\,\Gamma_p P_p}{Ah\upsilon_p}}{\frac{\tau(\sigma^a{}_s + \sigma^e{}_s)\Gamma_s P_s}{Ah\upsilon_s} + \frac{\tau(\sigma^a{}_p + \sigma^e{}_p)\Gamma_p P_p}{Ah\upsilon_p} + 1} N$$

حيث N_2–كثافة الذرات في السوية العليا، N–الكثافة الكلية للذرات، τ–زمن حياة السوية الليزرية، $\sigma^a{}_s$ و $\sigma^a{}_p$ سطح مقطع الامتصاص لكل من الإشارة والضخ على الترتيب ، $\sigma^e{}_s$ و $\sigma^e{}_p$–سطح مقطع الإصدار لكل إشارة الدخل وإشارة الضخ على الترتيب ، A–سطح المقطع الفعال لليف، h–ثابت بلانك، υ_s و υ_p تواتر كل من إشارة الدخل وإشارة الضخ على الترتيب، P_s و P_p–استطاعة كل من إشارة الدخل وإشارة الضخ على الترتيب، Γ_s و Γ_p عاملا التراكب بين لب الليف المطعم وكل من إشارة الدخل وإشارة الضخ على الترتيب[1].

وتكتب معادلات انتشار كل من إشارة الدخل وإشارة الضخ بإهمال الضياعات الداخلية بالشكل التالي[1]:

$$\frac{dP_p}{dz} = (N_2\sigma^e{}_p - N_1\sigma^a{}_p)\Gamma_p P_p$$

$$\frac{dP_s}{dz} = (N_2\sigma^e{}_s - N_1\sigma^a{}_s)\Gamma_s P_s$$

بحل هذه المعادلات باستخدام الماتلاب وطريقة رونج–كوتا من المرتبة الخامسة واستخدام قيم الثوابت الواردة في الجدول(1)، تم التوصل إلى تحديد الطول المحقق لأعلى ربح (الطول المثالي)،عند تغيير إحدى البارامترات التالية (الإشابة، نصف قطر اللب ، استطاعة الضخ ، استطاعة إشارة الدخل).

الجدول (1).الثوابت المستخدمة في البرنامج الحاسوبي

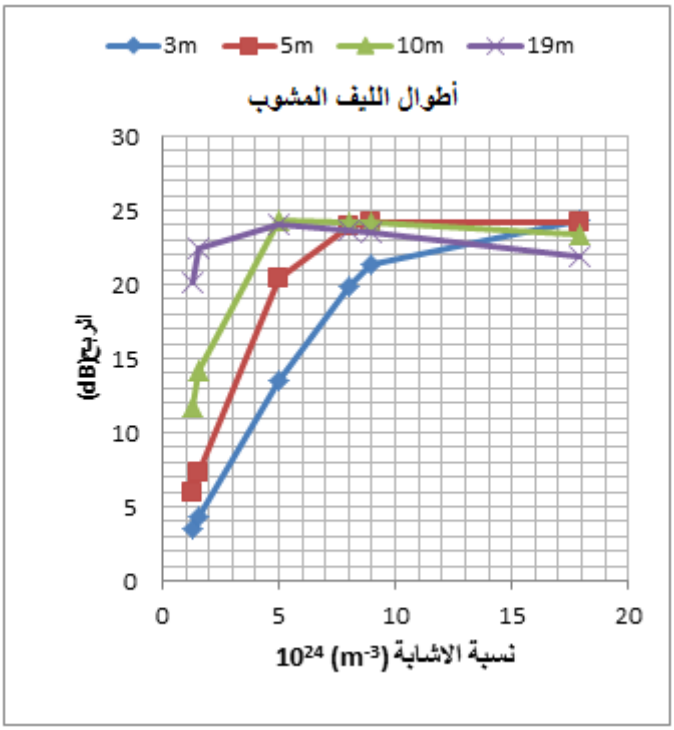
زمن حياة السوية الليزرية (s)	τ	$10*10^{-3}$
سطح مقطع الامتصاص للإشارة(m^2)	$\sigma^a{}_s$	$2.09*10^{-25}$
سطح مقطع الامتصاص للضخ(m^2)	$\sigma^a{}_p$	3.10510^{-25}
سطح مقطع الإصدارللإشارة(m^2)	$\sigma^e{}_s$	$2.83*10^{-25}$
سطح مقطع الإصدارلطول موجة الضخ(m^2)	$\sigma^e{}_p$	0
نصف قطر توزع الإشابة داخل الليف (m)	r	$3.793-10^{-6}$
ثابت بلانك(J.s)	h	$6.63*10^{-34}$
تواتر موجة الإشارة(Hz)	υ_s	$1.9*10^{14}$
تواتر موجة الضخ (Hz)	υ_p	$3.06*10^{14}$
معامل التراكب للإشارة مع الإشابة	Γ_s	0.773
معامل التراكب للضخ مع الإشابة	Γ_p	0.887

النتائج والمناقشة

❖ دراسة علاقة الطول المثالي لليف بنسبة الإشابة

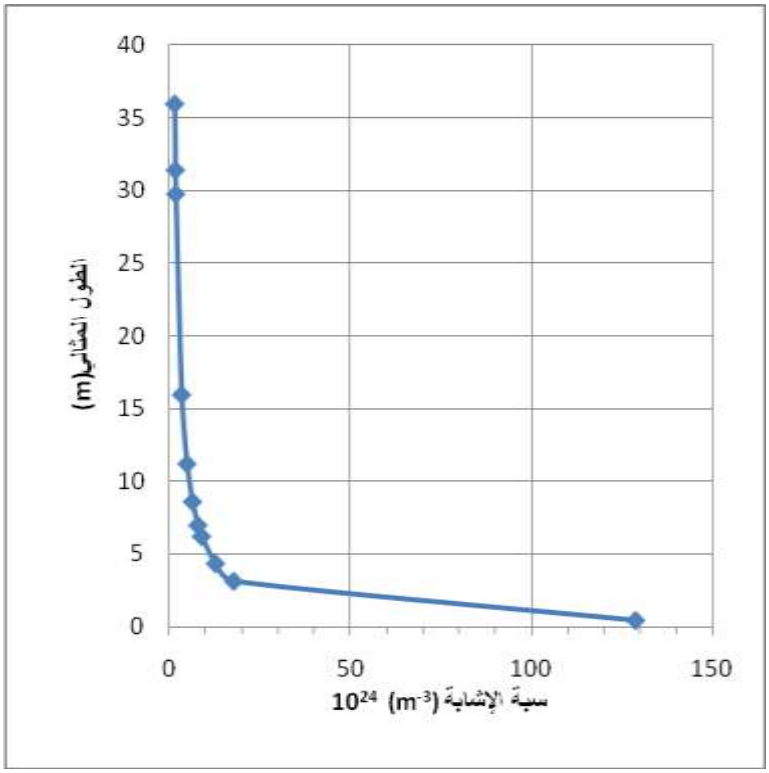
درسنا نظرياً وباستخدام البرنامج الحاسوبي علاقة طول المضخم المثالي بدلالة كثافة إشابة الليف. تم استخدام القيم التالية:قطر اللب 3.795 m، وقيمة الضخ 0.283W، وشدة إشارة الدخل 0.575mW، إضافة الى االقيم الواردة بالجدول(1) .

تبين من خلال الدراسة وكما هو مبين في الشكل (5)أن ربح المضخم يتعلق بطول الليف المشوب ونسبة الإشابة، وأنه من أجل طول ليف 3m بنسبة إشابة منخفضة (10^{24})نحصل على أقل قيمة للربح $(3.5dB)$.وبزيادة نسبة الإشابة إلى $(18\ X10^{24})$ يزداد الربح ليصل إلى قيمة $(25dB)$ وهذا يعني أنه عند قيم منخفضة للإشابة يتوجب استخدام ليف طويل لتحقيق الربح المطلوب وهذا واضح من الشكل (5)، حيث أنه من أجل ليف بطول 19m ونسبة إشابة (10^{24})نحصل على قيمة ربح مقدارها $(20dB)$،بينما من أجل إشابة نفس الطول (أي 19m) بنسبة $(18\ X10^{24})$تصبح قيمة الربح $(23.5dB)$. نستنتج من ذلك أنه يمكن تحقيق قيمة ربح في المضخم الليفي بزيادة نسبة الإشابة وتقليل طول الليف.



الشكل(5). تغير ربح المضخم بتغيير نسبة الإشابة عند أطوال مختلفة لليف .

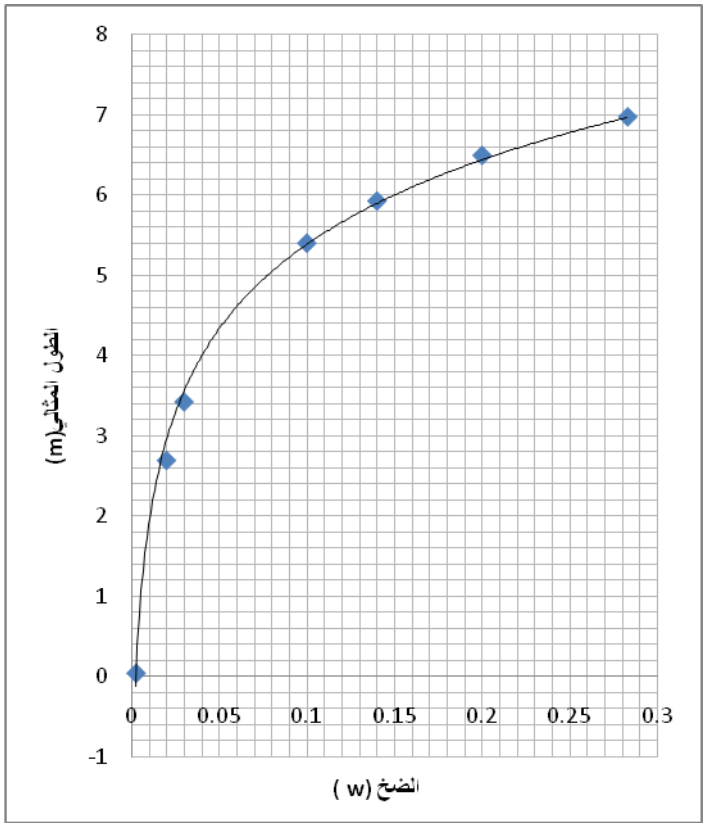
يبين الشكل(6)تغير الطول المثالي لليف المشوب بدلالة نسبة الإشابة.، حيث يلاحظ أنه كلما زادة نسبة الإشابة كلما قل الطول المثالي لليف .



الشكل(6).تغير الطول المثالي لليف المشوب بدلالة الإشابة

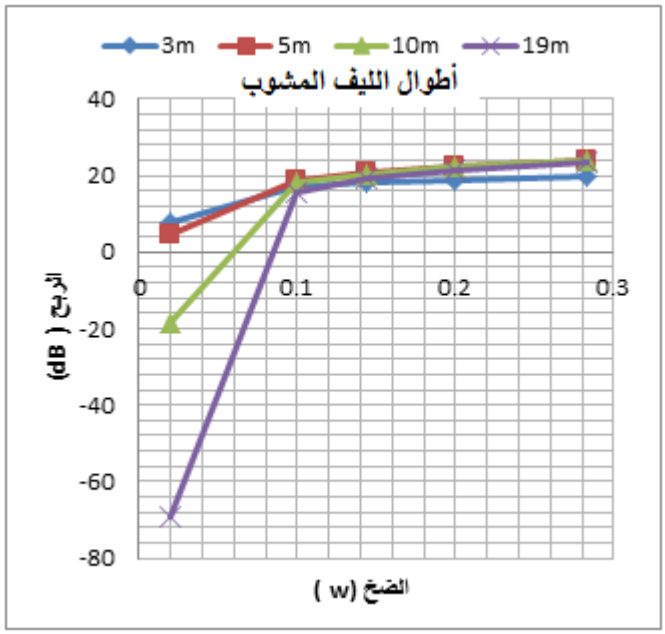
❖ **دراسة علاقة الطول المثالي لليف باستطاعة الضخ**

تمت دراسة علاقة الطول المثالي لليف بدلالة استطاعة الضخ عند نسبة إشابة $8\times10^{24}\ m^{-3}$،وقطر اللب 3.795 m،وشدة إشارة الدخل 0.575mW،كما هو مبين في الشكل (7)، حيث نلاحظ أنه في البداية يزداد المثالي بشدة معزيادة الضخ ليصبح أقل تابعية من أجل استطاعات ضخ مرتفعة .



الشكل(7). تغير الطول المثالي لليف المشوب بدلالة استطاعة الضخ

يبين الشكل (8) العلاقة بين ربح المضخم واستطاعة الضخ عند أطوال مختلفة من الليف (3m,5m,10,19m) ويلاحظ من الشكل أن ربح المضخم ذي الليف القصير(3m) أكبر من ربح المضخمات الأخرى في حالة الضخ المنخفض ، وأنه يتطلب استخدام أطوال كبيرة من المضخمات عند استخدام استطاعات ضخ مرتفعة ، كما يلاحظ من الشكل أن الفرق بين ربح المضخمات المختلفة الطول عند استطاعات الضخ المرتفعة يصبح قليل وذلك نتيجة الوصول لحالة الإشباع ، أي أنه عند هذه الحالة لا يعود الربح يتأثر بزيادة الضخ بشكل كبير .



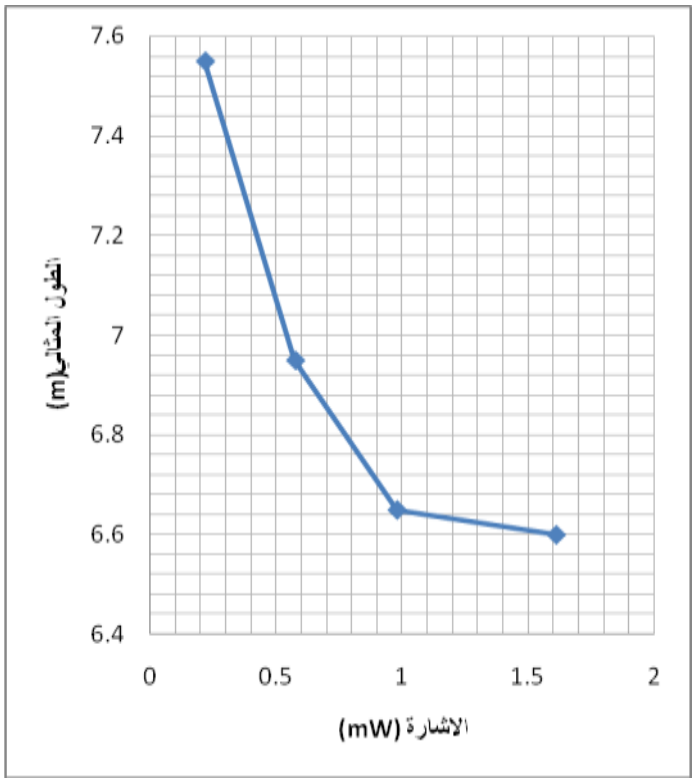
الشكل(8).تغير ربح المضخم بتغيير الضخ عند عدة أطوال للمضخم (3m,5m,10m,19m).

❖ **دراسة علاقة الطول المثالي باستطاعة إشارة الدخل**

تمت دراسة علاقة الطول المثالي لليف باستطاعة إشارة الدخل عند : نسبة الإشابة 8×10^{24} m^{-3}وقيمة الضخ0.283W،قطر اللب(3.795 m). فتبين أن الطول المثالي لليف يقل بزيادة إشارة الدخل،كما هو واضح في الشكل (9)، مما يستوجب استخدام مضخم طويل عند إشارة دخل منخفضة للإستفادة من كامل الضخ وتضخيم الإشارة .

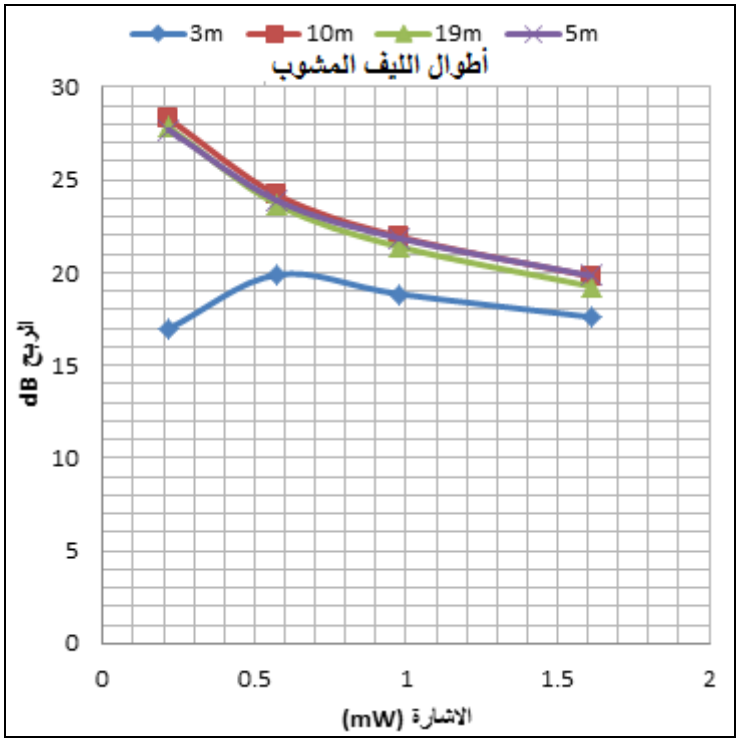
كما تبين بالدراسة أن ربح المضخمات بأطوال مختلفة (3m,10m,19m) ينقص بزيادة إشارة الدخل في حين يلاحظ بالنسبة للطول (3m) زيادة الربح بزيادة شدة إشارة الدخل ليبلغ قيمة عظمى عند إشارة دخل 0.2 mw، ثم ينخفض بعد ذلك كما هو مبين في الشكل (10). يمكن تفسير ذلك ببلوغ حد الإشباع ونمو الإصدار التلقائي للمضخم (ASE)عند إشارة دخل ضعيفة وضخ عالي على حساب الإشارة (1550nm).

يمكن تفسير نقصان ربح المضخمات بـأطوال مختلفة (3m,10m,19m)بزيادة إشارة الدخل، بسبب بلوغ حد الإشباع لوجود عدد محدود من أيونات الإيربيوم المثارة عند ضخ ثابت،مما يحد من عدد الفوتونات المنبعثة نتيجة عملية الإصدار المحثوث.



الشكل(9).تغيرالطول المثالي لليف المشوب بدلالة الإشارة

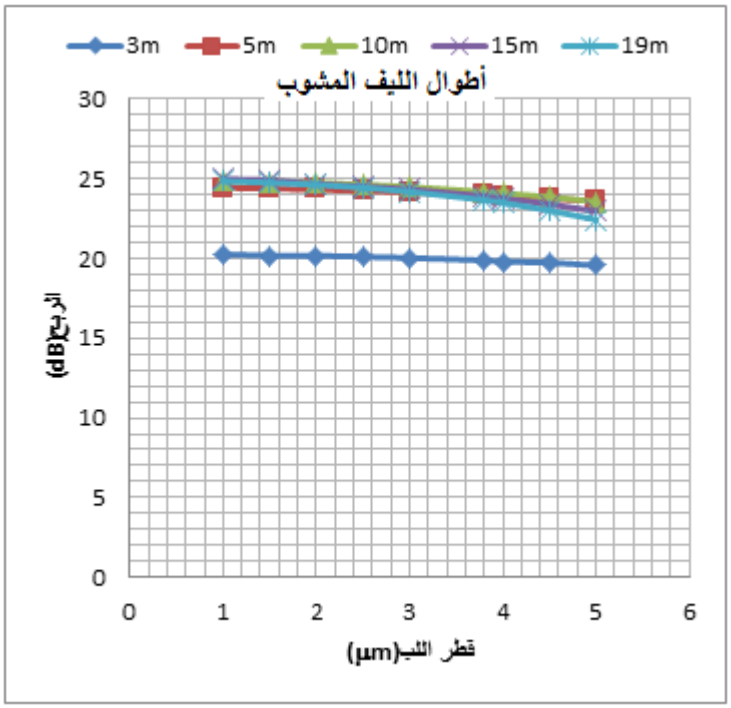
نستنتج من ذلك أن زيادة شدة إشارة الدخل عند الوصول لحد الإشباع لن يزيد من قيمة الربح بل سينقصه.



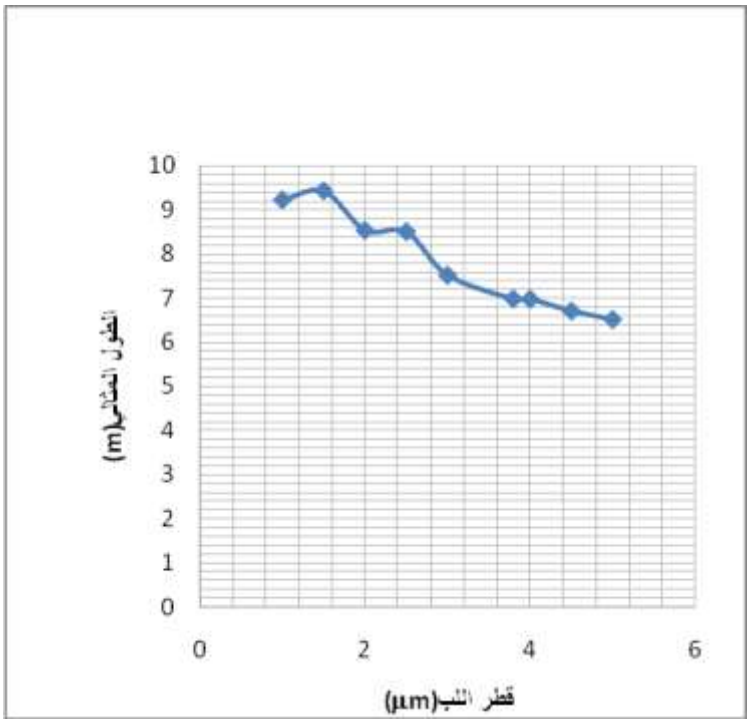
الشكل(10). تغير ربح المضخم بتغيير الإشارة عند عدة أطوال

❖ دراسة تغير الطول المثالي بدلالة نصف قطر اللب

قمنا بدراسة تغيير ربح المضخم بتغير نصف قطر اللب مع تثبيت بقية البارامترات (نسبة الإشابة $8\times10^{24}\ m^{-3}$وقيمة الضخ 0.283W ، شدة إشارة الدخل 0.575mW)،ثم تم حساب الربح المقابل لقيم نصف القطر بالنسبة لأطوال المضخم 3m،5m،10m،19m،كما هو موضح في الشكل (11).ثم تم تحديد قيمة طول الليف المشوب المثالي الذي يعطى أعلى قيمة ربح تابعة لنصف القطر فتبين كما هو موضح في الشكل (12)أن الطول المثالي للمضخم ينقص عند زيادة نصف قطر اللب. يمكن تفسير ذلك بزيادة عدد الذرات المطعمة في المقطع العمودي لليف المضخم مع زيادة نصف القطر(بفرض أن الإشابةمتجانسة على كامل القطر)،أي وكأنه تمت زيادة نسبة الإشابة وقد بينا أثر ذلك أعلاه .



الشكل (11).:تغير ربح المضخم بتغيير نصف قطر اللب



الشكل (12). تغير الطول المثالي لليف المشوب بدلالة نصف قطر اللب

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن في نهاية هذا العمل استخلاص عدة الاستنتاجات أهمها:

1 - إن الطول المثالي لليف المشوب بالأيريديوم يتناسب عكساً مع نسبة الإشابة. يزداد الطول المثالي بزيادة الضخ في البداية ثم يصبح أقل تابعية عند استطاعات ضخ مرتفعة.

2 - يقل الطول المثالي لليف بزيادة شدة إشارة الدخل. وكذلك نصف قطر اللب.

3 - يمكن الاستفادة من هذه النتائج في صناعة الألياف البصرية المستخدمة في الاتصالات.

4 - يجب التأكد تجريبياً من صحة هذه النتائج النظرية آملين أن يتم ذلك قريباً.

5 - نأمل من الشركات المصنعة للمضخمات الليفية المشابهبالأيريديوم أخذ هذه النتائج بعين الاعتبار.

المراجع

[1]JOHN M. Weissinge,*Doped Fiber Amplifiers*, 2011

[2] BECKER P. C. ; OLSSON N. A. ; SIMPSON J. R. *Erbium Doped Fiber Amplifier*,
Lucent Technologies ,1999

[3] YAHYA M. ;Z.; Moustafa H.A. ; OSAMA M. ; AHMED E. *Erbium Doped FiberAmplifier Performance Using Different Host Materials*1450-1650 Nm:A
Comparative Study,IIUM Engineering Journal, Vol. 5, No. 2, 2004

[4] QIAN W. , *Design and Experimental Characteristics of an Erbium Doped GaN Waveguide*, Thesis for the degree of Master of Science,2012

[5] QIAN L., *Experiment on Erbium-Doped Fiber Amplifiers*, Advanced Labs for SpecialTopics in Photonics (ECE 1640H)University of Toronto, 1998

[6] SUNITA S. ,*Erbium Fiber Laser Development for Applications in Sensing*, A Thesis for the degree of MASTER OF SCIENCE, 2012

[7] PAREKHAN M. A. ; BANAZ O. R. ; *Design Optimization for Efficient Erbium-Doped Fiber Amplifiers*, World Academy of Science, Engineering and Technology 22

[8] HARUN S. W.; TAMCHEKN., POOPALAN P.; AHMAD H.;*High gain L-band Erbium-doped fiber amplifier with two-stage double-pass configuration*, Pramanajournal of physics, Vol. 61, No. 1, 2003

[9] PERALTA E.; MARNDI A.; RUDY CH. (2010). *Erbium-Doped Fiber Amplifer and Laser*.Optical Society of America.

[10] JOHNSTONE W. ; CUISHAW B. ;WALSHB D. , MOODIEB D.; MAUCHLINE I. (2000).*Student Laboratory Experiments on Erbium Doped Fiber Amplifiers and Lasers* .Introduction in Sixth International Conference on Education and Training in Optics and Photonics. UK.

[11] DESURVIRE E. ,SIMPSON J.; BECKER P. (November 1987). *High-gain erbium-doped traveling-wave fiber amplifier*. OPTICS LETTERS .Vol. 12، No. 11