

## تأثير الضغط الاستاتي على فقدان الانتقال خلال ليف بصري ذو معامل انكسار ثابت متعدد الأنماط

خليل إبراهيم محمد مصطفى      مازن رجب خليل      عبد الغفور إبراهيم عبد الله  
قسم الفيزياء — كلية التربية      الكلية التقنية      قسم الفيزياء — كلية التربية  
جامعة الموصل      الموصل      جامعة الموصل

تاريخ الاستلام      تاريخ القبول  
2003/11/10      2006/1/2

### ABSTRACT

This work presents the study of the effect of the static pressure on the propagation of laser beam in the fibers. Three types of fiber have been used in this studies; multimode & step index fiber, Plastic Clad Plastic (PCP) with and with-out jacket and Glass core fiber (bare core). Normal pressure of rang (0 ~ 1300 ) bar were applied on a section (20 cm) length of fiber.

The variation of power attenuation as a function of time during the applied pressure were also investigated .The sensitivity of each fiber was determined when used as a fiber optical pressure sensor.

The results show PCP with jacket gives poor response to the pressure up to 500 bar, while glass core fiber fail as a sensor when the pressure is 1300 bar. PCP with-out jacket show two times sensitivity more when compared with other fiber under the same pressure used in this study.

### Abstract

### المخلص

يبين هذا العمل دراسة تأثير الضغط الثابت على انتشار حزمة الليزر في الألياف البصرية. في هذه الدراسة تم استخدام ثلاثة أنواع من الألياف البصرية، جميعها متعددة الأنماط multi mode ثابتة معامل الانكسار step index؛ هذه الأنواع هي القلب والقشرة مصنوعتان من البلاستيك (PCP) Plastic Clad Plastic مع غلاف واقى مره وبدون غلاف واقى مره أخرى، وليف زجاجي يتكون من لب (قلب) فقط. وقد تم تسليط ضغط عمودي ضمن مدى (0 ~ 1300) bar تقريباً على قطع من هذه الألياف وبطول (20 cm) تقريباً.

مقدار التوهين في القدرة الضوئية كدالة للزمن خلال فترة تسليط الضغط قد تمت دراستها، وقد تم تحديد حساسية كل نوع من الألياف عندما يستخدم كمجس للضغط. بينت النتائج أن (PCP) مع الغلاف الواقي يعطي استجابة قليلة لتغيرات الضغط التي اقل من 500 bar في حين إن الليف الزجاجي المتكون من لب فقط فشل في استخدامه كمجس للضغط ضمن مدى (0 ~ 1300) bar، وتبين من خلال هذه الدراسة ان النوع (PCP) بدون الغلاف الواقي كانت حساسيته تساوي الضعف تقريباً مقارنة مع الليف الآخر الذي تم استخدامه كمجس وتحت نفس الضغط المستخدم في هذه الدراسة.

## Introduction

## المقدمة

أصبحت تكنولوجيا مجسات الألياف البصرية (FOS) Fiber Optical Sensor في السنوات القليلة الماضية من أهم التقنيات المستخدمة في العديد من التطبيقات، وذلك لكونها خفيفة الوزن وصغيرة الحجم فضلاً عن قابليتها لنقل الإشارة بأقل توهين يمكن، خاصة وان مجسات الألياف البصرية تمتاز أيضاً باستجابتها لأي تشوه يحصل في جسم الليف والذي من شأنه أن يعمل على تغير في القدرة الضوئية المنقولة خلال الليف {1}. فقد تم التحسس بالعديد من المتغيرات الفيزيائية والكيميائية وذلك بالاعتماد أساساً على كون الجزء الحساس Sensing Element في منظومة المجس هو الليف البصري.

استخدمت مجسات الألياف البصرية FOS في مجال الطب لحساب سرعة جريان الدم {2}. وفي بعض التطبيقات الكيميائية في حساب تركيز المواد الكيميائية {3}. فضلاً عن استخدامها في قياس درجات الحرارة {4} والتيار الكهربائي وكذلك الضغط {5-7}.

في كل من التطبيقات سالفة الذكر هناك مبدأ عمل لمجس الليف البصري من اجل التحسس للمتغير المطلوب قياسه، فهناك المجسات التي تعتمد في عملها على تضمين الطور كما في تقنية مقياس التداخل لـ (ماخ - زيندر) في الجايروسكوب أو تضمين الاستقطاب كما في تأثير فردي في قياس التيار الكهربائي، وهناك مجسات أخرى تعمل على تضمين التردد (إزاحة دوبلر الترددية) لغرض قياس سرعة الأجسام {2}. أو قياس معامل الانكسار بالاعتماد على مبدأ امتصاص الموجة سريعة الزوال Evanescent Wave {3}.

تقسم مجسات الألياف البصرية (FOS) إلى قسمين إذا اخذ بنظر الاعتبار نوع المتغير المراد قياسه (ضغط، درجة حرارة، سرعة.....) فهناك المجسات التي يعتبر الليف البصري فيها الوسط الناقل للإشارة الضوئية من المنطقة المراد قياس المتغير فيها إلى المجس، أما النوع الثاني فأن الليف البصري هو نفسه الجزء الذي يتحسس بالمتغير المراد قياسه {8}. كما في مجسات الضغط والتي تم دراستنا هذه.

أشارت الأدبيات الخاصة بهذا الموضوع إلى وجود دراسات حول استخدام الألياف البصرية في قياس الضغوط حيث تم قياس الضغط داخل أجهزة التعقيم الحرارية، والتي يتراوح الضغط فيها حوالي 0.5 bar {9}. كذلك قام Clowes, et al. بقياس الخسائر في الليف البصري داخل غرفة الضغط وتحت ضغط تقريبا 275.8 bar {10}.

الدراسات التي قام بها (Walinski TR. et al) لقياس ضغط السوائل الشفافة باستخدام مجس الألياف البصرية حيث توصل فيها إلى قياس ضغوط عالية تصل إلى أكثر من 1000 bar {5}. هذا وقد استخدمت الألياف البصرية كمجسات لقياس الضغوط المتولدة في صناديق التروس (Gear Box) نتيجة حركة المائع (الزيوت) داخلها والتي تصل إلى 6.9 bar {11}.

هناك تقنيات عديدة لاستخدام الألياف البصرية كمجسات لقياس الضغط، منها تقنية تعتمد على انحراف أو اهتزاز غشاء رقيق وحساس لتغيرات الضغط بحيث يربط مع محول طاقة الضغط (Pressure Transducers) ومن خلال تحويل الضغط المسلط على الغشاء إلى نبضة تنتقل داخل الليف البصري يمكن معرفة مقدار الضغط، {12}.

سنركز اهتمامنا من خلال هذه الدراسة إلى إمكانية تصميم منظومة لقياس الضغط الأستاتي وباستخدام ضوء الليزر والألياف البصرية، حيث سيتم الآتي:  
أولاً: حساب الفتحة العددية للألياف البصرية المستخدمة وبطريقة مبسطة.  
ثانياً: بناء مجس الليف البصري لقياس الضغوط وبمديات مختلفة.  
ثالثاً: دراسة تأثير نوع الليف / الغلاف على أداء المجس.  
رابعاً: دراسة مقدار زيادة التوهين مع الزمن عند ضغط ثابتاً لأنواع الألياف المستخدمة في هذه الدراسة.

## Experimental Part

## الجزء العملي

تتكون المنظومة البصرية لقياس الضغط الأستاتي من العناصر الرئيسية التالية :-

### Light Source

### 1- المصدر الضوئي

ان الضوء المستخدم هو ضوء الليزر، والجهاز المستخدم هو ليزر الهليوم - نيون (He - Ne) مجهز من شركة Leybold Heraeus ذو قدرة ضوئية مقدارها 1 mW ويعطي حزمة مستمرة (CW) أحادية الطول الموجي عند المنطقة الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي وبطول موجي  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$  ويعمل هذا الليزر بالنمط الأساس TEM<sub>00</sub> ذات الشكل الكاوسي وقد تم حساب استقرارية هذا الجهاز عملياً وتبين بأنه لا يتجاوز 0.09dB/15minute

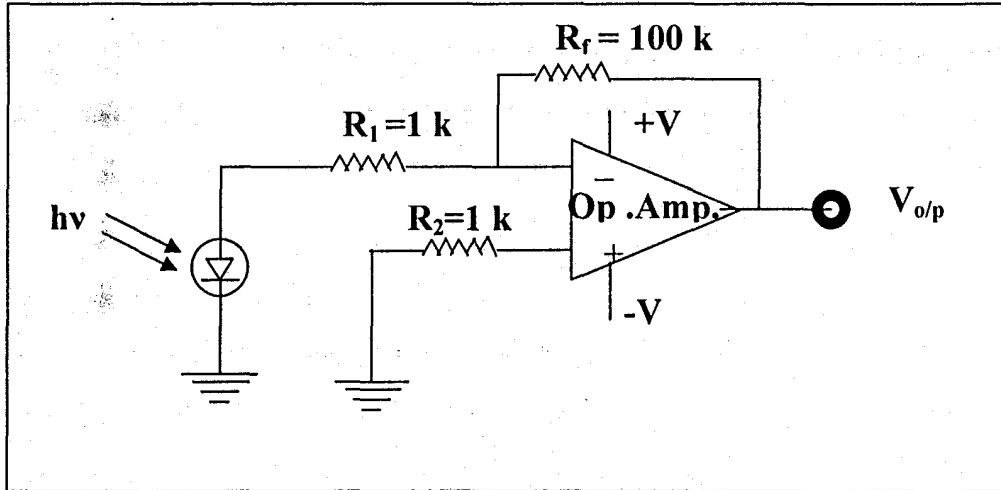
## Light Detector

### 2- الكاشف الضوئي

الكاشف الضوئي المستخدم في هذه الدراسة هو الكاشف السليكوني PIN وهو من نوع ( RS - UK BPX 65 ) ويتمتع هذا النوع من الكواشف بحساسية مقبولة للتغيرات الحاصلة في الشدة الضوئية لشعاع الليزر ذي الطول الموجي 632.8nm .

### 3- دائرة مكبر

دائرة المكبر المستخدمة هي الدائرة المبينة في الشكل (1)، والمكونة من دائرة متكاملة Integrate circuit (IC) رقم 324، في دائرة تضم عدد من المقاومات. الهدف من استخدام دائرة المكبر هي لزيادة حساسية دائرة الكشف للتغيرات البسيطة في الشدة الضوئية المارة خلال الليف عند الضغوط الاستاتيكية المنخفضة.



الشكل (1): يوضح دائرة المكبر المستخدمة

## Optical Fiber

### 4- الليف البصري

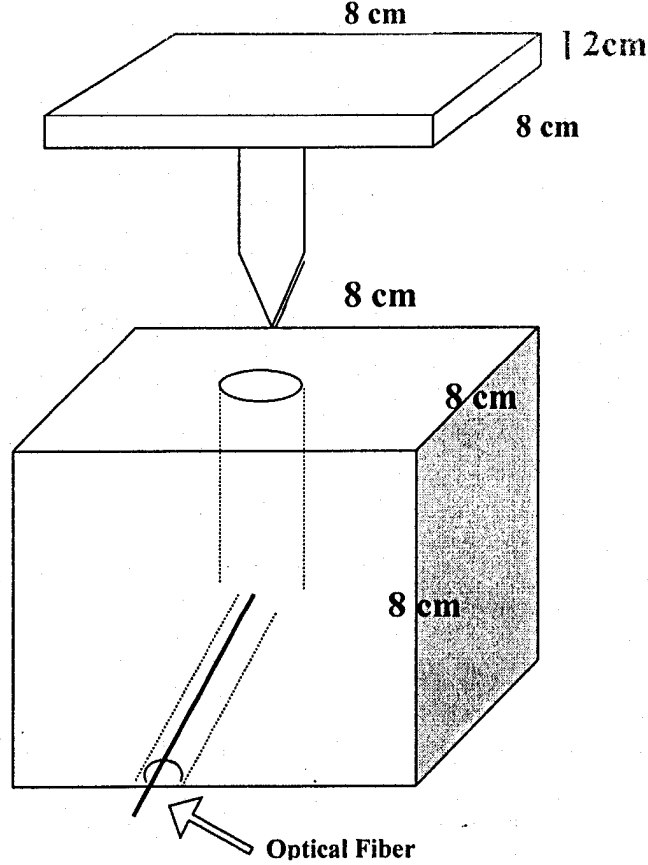
تم استخدام نوعين من الألياف البصرية متعددة الأنماط ثابتة معامل الانكسار multi mode & step index fiber، النوع الأول هو الليف المحلي الزجاجي Glass والذي يتكون من قلب فقط بدون غلاف (bare core). والنوع الثاني هو الليف PCP حيث أن مادتي القلب والغلاف مصنوعتان من البوليمر وتم استخدام هذا الليف في حالتين، الحالة الأولى بدون غلاف واقى Jacket والحالة الثانية مع الغلاف الواقى، ويمتاز هذا النوع من الألياف بمرونة عالية أثناء إجراءات الدراسة عليه.

## Mechanical System

## 5 - المنظومة الميكانيكية

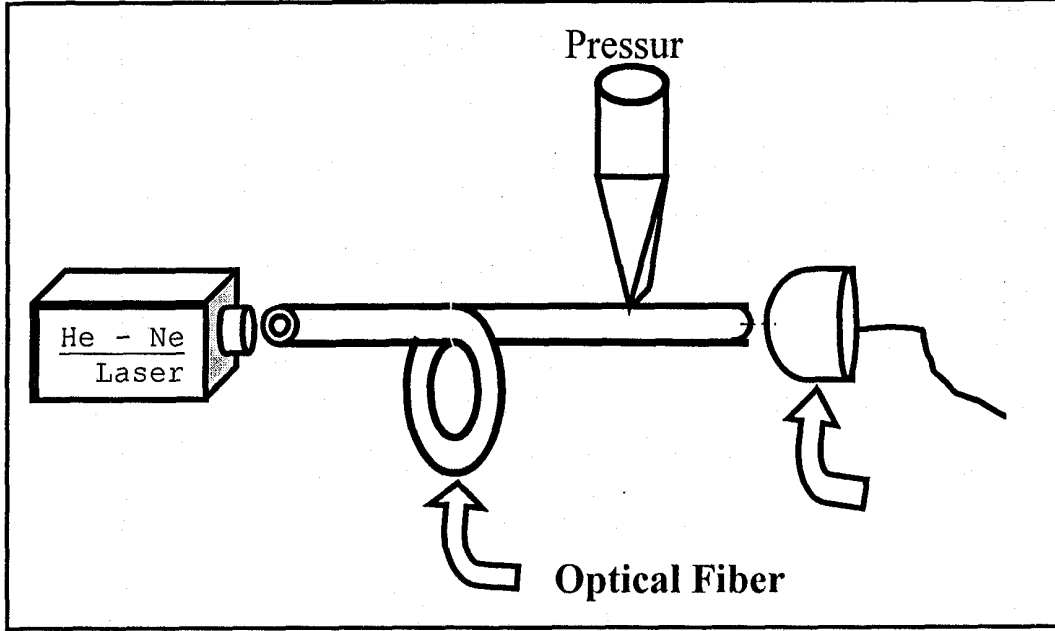
تم استخدام منظومة ميكانيكية تتكون من مكعب مصنوع من الخشب طول ضلعه **8cm**، ويحتوي هذا المكعب في قاعدته السفلى على أخدود يمر خلاله الليف البصري تحت الدراسة بحيث أن هذا الأخدود يغطي الليف بالكامل، وكذلك يوجد في هذا المكعب ثقب مركزي يمتد من الوجه العلوي للمكعب إلى الوجه السفلي.

كذلك تشمل المنظومة الميكانيكية على جزء متحرك وهو على شكل متوازي السطوح إبعاده  $(8\text{cm}, 8\text{cm}, 2\text{cm})$  مصنوع من الخشب أيضاً وقد تم تثبيت قضيب من الخشب وبطول  $10\text{cm}$  في مركز متوازي السطوح ثم قطعت نهاية القضيب الخشبي لكي تكون حادة وبسمك معلوم، تم طلاء هذا الرأس بمادة صمغية (Epoxy) سريعة الجفاف وذلك لغرض جعل الرأس يتحمل الضغوط العالية المستخدمة في الدراسة، وكما هو موضح في الشكل (2) بعد إجراء المراحل الأولى من الدراسة وبزيادة الضغط المسلط لوحظ حدوث تشوه في الحافة الحادة للقضيب الخشبي المستخدم الأمر الذي أدى إلى تغير المساحة المعرضة للضغط الاستاتي وبالنتيجة تغير قيمة الضغوط المستخدمة، لذلك تم استبدال القضيب الخشبي بأخر مصنوع من الحديد وذلك لغرض تحمل الضغوط العالية المستخدمة في الدراسة.



الشكل (2): يمثل المنظومة المستخدمة في الدراسة

وقد تم تسليط الضغط الاستاتي على ثلاثة أنواع مختلفة من الألياف البصرية عن طريق وضع كتل معينة بحيث تولد ضغطاً استاتيكياً يمكن حسابه، وكما موضح في الشكل (3).



الشكل (3): يبين كيفية تسليط الضغط الخارجي على الليف البصري

### تهيئة نهاية الليف البصري

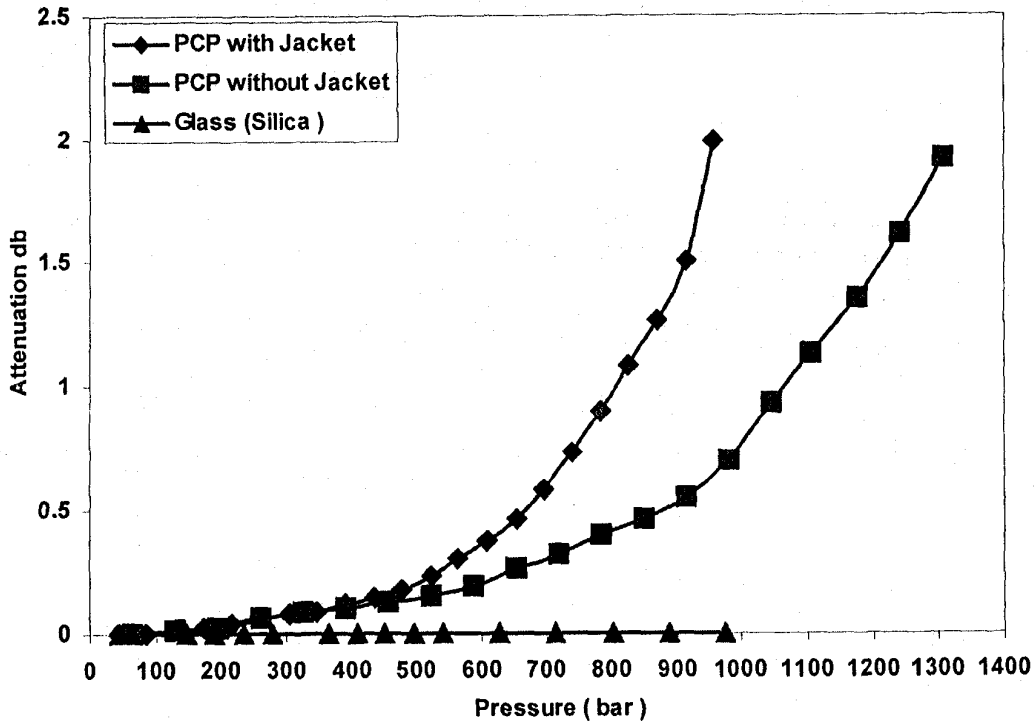
إن عملية تحضير نهاية الليف البصري هي من أهم العمليات سواء في دراسة خصائص الليف البصري أو عند استخدامه كمجس، إذ يؤثر شكل نهاية الليف بشكل مباشر على النتائج التي يمكن الحصول عليها في إجراء عمليات التقارن سواء كان التقارن هو من نوع مصدر - ليف (Source - Fiber Coupling) أو تقارن نوع ليف - كاشف (Fiber - Detector Coupling) أو تقارن نوع ليف - ليف (Fiber - Fiber Coupling) {13}.

يتم قطع الليف البصري بشكل عمودي على محور الليف البصري بواسطة آلة حادة ومن ثم تبدأ عملية صقل نهاية الليف، من المعروف أن عمليتي الخدش والصقل ينتج عنهما سطح صقيل وعمودي على محور الليف ولكن ذلك يتطلب مهارة عالية.

فمنا بعملية تهيئة الليف البصري وذلك عن طريق حز الغلاف بشكل عمودي وبواسطة آلة حادة جداً ومن ثم الضغط بنفس آلة القطع على الليف وبشكل متوازي وعمودي على محور الليف حتى تم قطعه ثم بدأت عملية صقله وذلك باستخدام المساحيق التالية وهي مرتبة حسب خشونتها تنازلياً:

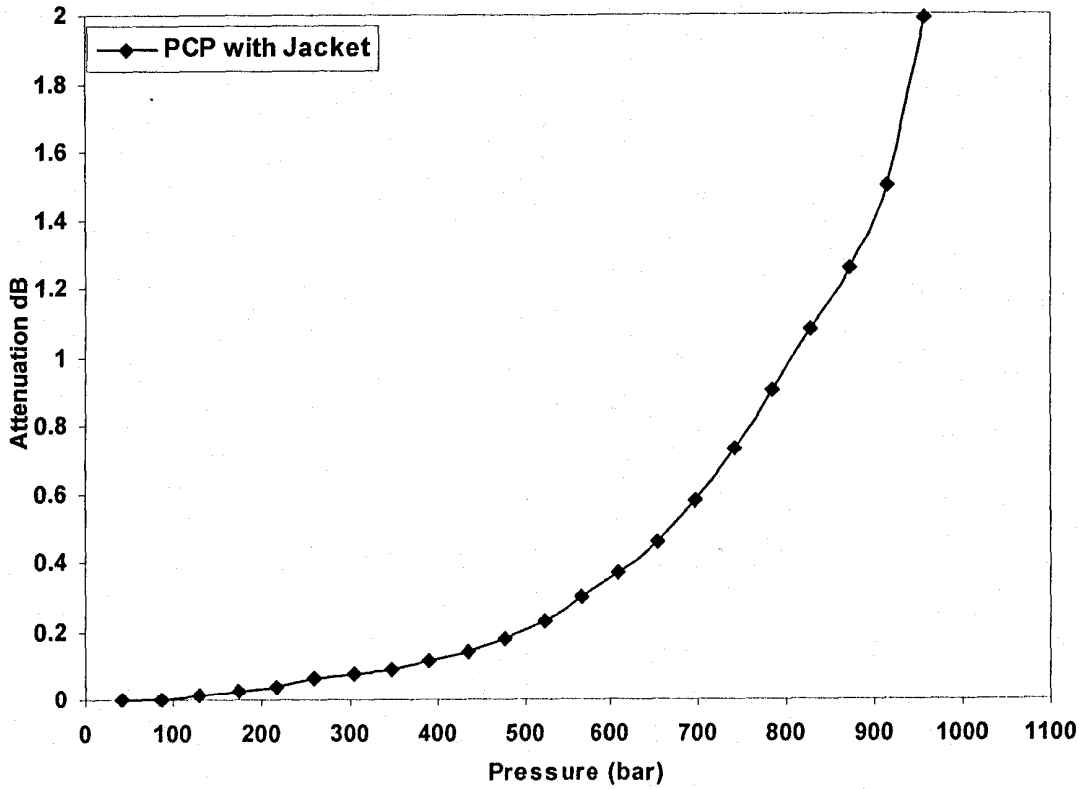
أجريت القياسات على ثلاثة مراحل :

المرحلة الأولى:- تم حساب مقدار التوهين بوحدات (dB) الحاصل في القدرة الضوئية المنقلة في الليف البصري الزجاجي Glass حيث تم تسليط ضغط يتراوح بين (0 ~1300) bar على هذا النوع من الألياف وقد لوحظ بأن هذا النوع لا يتأثر بالضغط ضمن المدى المستخدم من الضغط وان مقدار الشدة الضوئية المارة خلال الليف البصري لا تتغير حيث بقيت ثابتة خلال فترة التجربة والتي استمرت بحدود 30 دقيقة، ويمكن ملاحظة عدم تأثر هذا النوع بالضغط المسلط من خلال الشكل (6) .



الشكل (6): يبين مقدار تغير التوهين كدالة للضغط المسلط

المرحلة الثانية:- تم حساب مقدار التوهين الحاصل في الليف البلاستيكي نوع PCP مع الغلاف الواقي Jacket حيث لوحظ في هذا النوع من الألياف نقصان في الشدة الضوئية المنقلة خلال الليف بزيادة الضغط المسلط عليه، حيث إن أعلى ضغط تم تسليطه على هذا النوع كان مقداره 871.11 bar والذي سبب توهين مقداره 1.89 dB، ويمكن ملاحظة مقدار الزيادة في التوهين نتيجة لزيادة الضغط، الشكل (7).



الشكل (7): يبين علاقة الضغط بالتوهين للليف نوع pcپ مع الغلاف الواقي

المرحلة الثالثة :- تم حساب مقدار التوهين الحاصل في الليف البلاستيكي PCP نفسه ولكن بعد أزاله الغلاف الواقي Jacket ، حيث تم رفع جزء صغير من الغلاف وبطول 0.5 cm من النصف العلوي للغلاف الواقي الذي يغلف هذا النوع من الألياف، وكما هو موضح في الشكل (8). وذلك تجنباً لحدوث إجهاد على الليف مما يؤدي إلى حصول انحناء في الليف الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الخسائر أي أن الانحناء الحاصل في الليف يعمل على قطع في استمرارية انتقال الضوء خلال الليف أي إرجاع جزء من القدرة الضوئية بدلاً من انتقالها وعليه يعد ذلك خسائر إضافية ناتجة من تأثير الانحناء وليس من تأثير الضغط {16} . في هذه المرحلة من الدراسة تم تسليط ضغط ضمن مدى يتراوح بين ( 0 ~ 1306.6 ) bar أدى إلى حدوث توهين يتراوح بين (0 ~ 1.92) dB وكما يظهر في الشكل (9).



وعند ملاحظة جميع الأشكال أنفة الذكر والخاصة باستجابة الليف البصري للضغوط المسلطة عليه يمكن حساب حساسية الليف للضغط المسلط عليه من خلال المعادلة رقم (5):

$$Q = \Delta dB / \Delta P \quad \text{-----} \quad 5$$

اذ ان:

$\Delta dB$  هو التغير في مقدار التوهين في الإشارة المنتقلة خلال الليف البصري .

$\Delta P$  مقدار التغير في الضغط المسلط .

وقد تم حساب حساسية هذه الأنواع الثلاثة المستخدمة في الدراسة وكما هو موضح في

الجدول رقم (1) وذلك من خلال الشكل ( 10 ) .

الجدول رقم (1): يبين حساسية الألياف المستخدمة

Sensitivity ( dB / kg )		
Bare Core ( Glass )	PCP with jacket	PCP without Jacket
0	0.6	0.9

وعليه فأن النتائج تشير إلى إمكانية استخدام الليف البصري نوع ( PCP ) وبدون غلاف واقى كمجس للضغط وللمديات ( 500 ~ 1300 ) bar في حين أن الليف البصري الزجاجي لا يمكن استخدامه كمجس للضغط وذلك لعدم تأثره بالضغط الخارجي المسلط ضمن المديات المستخدمة في البحث.

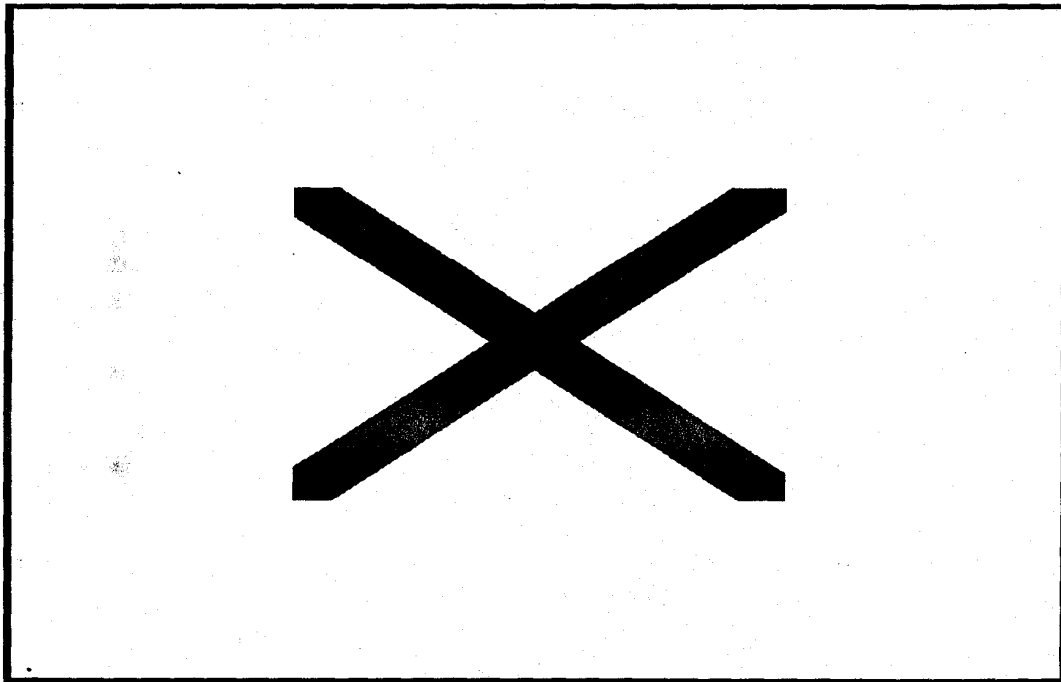
### دراسة زيادة مقدار التوهين مع الزمن

وفي مرحلة أخرى من هذه الدراسة تم البحث في كيفية تغير التوهين مع الزمن عند تسليط ضغط ثابت، حيث تم اختيار نوعين من الألياف هما الليف الزجاجي Glass والليف البلاستيكي PCP بدون غلاف واقى.

تم تسليط ضغط مقداره 784 bar تقريباً على الليف البلاستيكي PCP وقياس مقدار زيادة التوهين مع الزمن أظهرت النتائج أن هناك تغيرات كبيرة في الدقائق الأولى ثم يصل مقدار التوهين إلى حالة من الاستقرار النسبي، أعيدت نفس العملية عدة مرات على نفس الليف وفي نفس المكان المعرض للضغط أظهرت النتائج انه عند نفس الضغط وفي نفس الزمن فان التوهين يزداد عند كل مره تم استعمال الليف فيها استعمالاً جديداً، كذلك من خلال النتائج وجد

تأثير الضغط الاستاتي على فقدان الانتقال خلال ليف بصري ذو معامل انكسار ثابت .....  
.....

أن الضغط الذي يتعرض له الليف يؤدي إلى حدوث هسترة في الإشارة ويزداد مقدار الهسترة بزيادة عدد مرات الاستعمال، وكما هو موضح في الشكل (11). حيث انه الحالة A تمثل سلوك الليف في نقل الإشارة في حالة وجود التأثير (الضغط)، أما الحالة B فتتمثل سلوك الليف عند رفع التأثير والحالة D تمثل مقدار الهسترة عند كل استعمال جديد ومقاسه بالدقائق اللازمة لكي يستعيد الليف وضعة الطبيعي ويسمح بمرور الشدة الضوئية الأصلية. كذلك تم تسليط ضغط مقداره 1050 bar على الليف الزجاجي وقد أظهرت النتائج عدم تأثر هذا النوع بالضغط المسلط عليه مع مرور الزمن، وكما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (11): يبين مقدار زيادة التوهين كدالة للزمن عند استعمال نفس الليف لأكثر من مرة

ومن خلال هذه المرحلة الأخيرة من الدراسة تم إثبات عدم صلاحية الليف الزجاجي كمجس للضغط وان الليف البلاستيكي يكون ذا استخدام امثل في مجسات الضغط التي تعتمد على تقنية قياس التوهين الحاصل في القدرة الضوئية المنتقلة خلال الليف البصري بسبب الضغط المسلط.

## Conclusions

## الاستنتاجات

- 1- إن زيادة حساسية المجس تكمن في اختيار مادة الغلاف Clad ذات مرونة مناسبة.
- 2- فشل الليف الزجاجي في استخدامه كمجس وذلك كونه مصنوع من مادة صلبة لا تتأثر بالضغط الخارجي وعند تحسسه للضغط فان تشوها يحصل في جسم الليف الأمر الذي يمنع استخدامه كمجس مرة أخرى.
- 3- أن الليف البصري نوع PCP مع الغلاف الواقى لا يصلح في استخدامه كمجس كونه لا يتأثر بالضغوط المسلطة عليه عمودياً فضلاً عن أن مادة الغلاف أعطت قوه إضافية لليف البصري.
- 4- أما الليف نوع PCP بدون غلاف واقى فانه بالإمكان استخدامه كمجس لأنه يستجيب إلى الضغط المسلط عليه سواء كان هذا الضغط لحظي أم مستمر مع الزمن مع ملاحظة أن استخدام الليف أكثر من مرة يؤدي إلى حدوث هسرة في قابلية الليف على نقل الإشارة أي انه يجب استبدال الليف بين فترة وأخرى.

## References

## المصادر

- 1- David A. Krohn, Eotec Corp, "Fiber Optics new Sensor for Old Problems" Intech, pp (57~60), May 1983.
- 2- A. Tebo "Fiber Optic Sensing in Medicine, An Exploding Field" Focus: Biomedical Applications, Feb 1991.
- 3- J. Shelly, Etal "A Fiber Optic Sensor to Measure Glucose Concentration" Communication in Instrumentation, Vol.6, No.4 (1998), pp:(107 ~ 112).
- 4- M. Gttlied & G. B. Brandt "Temperature Sensing in Optical Fibers Using Cladding and Jacket Loss Effect" Applied Optics, Vol.20, No.22, Nov.1981, pp:(3867 ~ 3873).
- 5- Walinski TR. Bock WJ. Dabrowski R. "Ryes Fiber Optic Pressure Measurement with Cholesterol Liquid Crystals" Molecular Crystals & Liquid Crystals Science & Technology Section, Vol.249, ( 1994 ), pp:(155 ~ 161).

- 6- C. O. Egalon & R. S. Rogowski "Axial Strain Insensitivity of Weakly Guiding Optical Fiber" Optical Engineering, Vol.33, No.2 , 1999, pp:(498 ~ 501).
- 7- R. H. Yousif, K. I. Hajim, K. S. Naimme " Investigation of the Opto Mechanical Properties of PMMA and their Application in Pressure Sensor" part II plastic elastic, SPIE,13 July 1990.
- 8- A. E. Frederiek "Fiber Optic Handbook for Engineers 2 Suentists" McGraw – Hill Publishing Company New York, (1989).
- 9- Zengfarg, Ge. Brown C. W., & Brown M. "Monitoring of Lamination Process in Autoclave with Fiber Optic Infrared Spectroscopy" Journal of Applied Polymer Science, Vol.56, (1995), pp:(667 ~ 675).
- 10- J. Clowes, J. Edwards, I. Grudin, E. L. EKluth, M. P. Varnham, M. N. Zervas, C. M. Crawley and R. L. Kutlik "Low drift fiber optic pressure sensor for oil field down hole monitoring", Electronics Letters, Vol.35, No.11, (1999), pp:926.
- 11- Mccollum T. Spector GB. "Fiber Optic Micro Bend Sensor for Detection of Dynamic Fluid Pressure at Gear Interfaces" Review of Scientific Instruments, Vol.65, No.3, (1994), pp:(724 ~ 729).
- 12- Lin H. Ho CM "Optic Pressure Transducer" Review of Scientific Instruments Vol.64, No.7,1999-2002.
- 13- Amean A. S. Abdullah, A. I., "Core Fiber Refractive Index Measurement Based on Fiber- Fiber Coupling Technique" (2001).
- 14- Abdulrhman M. A. "A Study of the Influence of Launching Condition of the Laser Beam on the Performance of the Fiber Optic Sensor" Thesis of Master, College of Science, University of Mosul, (2000).
- 15- Tagaya T., Kobayashi T., Nakatsuka S. and Koike Y. "A High Gain and Power Organic Dye-Doped Polymer Optical Fiber Amplifiers Absorption and Emission and Gain Characteristics" Applied Physics, Vol.36, No.5A, pp:(2705 ~ 2708), (1997).
- 16- Al-Hadydy, M. S., "Minimization of Microbanding Losses in Circular –Single Coated Optical Fibers" Thesis of Master, College of Science, University of Mosul, (1998 ).