



جامعة قاصدي مرباح ورقلة



كلية العلوم و التكنولوجيا و علوم المادة

\*\*\*\*\*

قسم علوم المادة

مذكرة

لنيل شهادة الماجستير

تخصص: فيزياء

فرع: فيزياء الإشعاع و المطيافية و الإلكترونيات الضوئية

من إعداد الطالبة: زقو سمية

العنوان

دراسة أثر التحزيم على كابل الألياف البصرية الناقلة للإشعاع  
الشمسي المركز في المجال المرئي

نوقشت يوم:

أمام لجنة المناقشة المكونة من السادة:

- |        |  |                       |
|--------|--|-----------------------|
| رئيسا  | أستاذ تعليم عالي (جامعة قاصدي مرباح ورقلة) | أ.د. مفتاح محمد الطيب |
| ممتحنا | أستاذ محاضر (جامعة قاصدي مرباح ورقلة)      | د. بوكراع عمر         |
| مقررا  | أستاذ محاضر (جامعة قاصدي مرباح ورقلة)      | د. عيادي كمال الدين   |

السنة الدراسية: 2013/2012

## تشكرات

الحمد و الشكر لله سبحانه و تعالى الذي وفقني في إنجاز هذا العمل

أتقدم بجزيل الشكر لكل من ساهم في إعداد هذه المذكرة خاصة:

الأستاذ المشرف **مهايدي جمال الدين** أستاذ محاضر بجامعة قاصدي مرباح على كل الجهود التي بذلها و النصائح السامية التي قدمها لي خلال مسيرتي في إنجاز هذه المذكرة.

الأستاذ **مفتاح محمد الطيب** أستاذ تعليم عالي بجامعة قاصدي مرباح و رقلة رئيس لجنة المناقشة .  
كما أشكر كلا من الأستاذ **بوكرام محمد** أستاذ محاضر بجامعة قاصدي مرباح و رقلة و الأستاذ **رحومة فراحات** أستاذ تعليم عالي بجامعة الوادي، اللذين شرفاني بقبولهما مناقشة هذه المذكرة.

و تحية تقدير و احترام لكل الأساتذة و الزملاء الباحثين ضمن مختلف فرق البحث التابعة لمخبر

تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية (LENREZA).

و أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ بن قحزة محمد لخضر و خالص الشكر للسيد محجوبي محمد

العيد مدير متوسطة عطوات قدور و لكل الزملاء و الزميلات: موسى شربي، خديجة شربي، خضرة،

أسماء، زهية، سعيدة، يمينة.

أهدي ثمرة هذا الجهد للوالدين الكريمين و إخوتي و أخواتي و لكل الأقارب و الأصدقاء.

## الفهرس

.....	قائمة الأشكال
1.....	مقدمة عامة
<u>الفصلاالأول: دراسة عامة للألياف البصرية</u>	
3.....	مقدمة
3.....	1-I قرينة الانكسار
3.....	1-1-I قانون سنل ديكرت للانكسار
4.....	1-1-I 2-معادلات فريسنل
5.....	1-1-I 3-الزاوية الحرجة
5.....	1-1-I 4-الانعكاس الكلي الداخلي
6.....	1-2-I 2-الألياف البصرية
6.....	1-2-I 1-بنية الليف البصري
7.....	1-2-I 2-مبدأالألياف البصرية
7.....	1-2-I 3-الدلائل المميزة للليفالبصري
7.....	1-3-2-I 1-زاوية القبول
9.....	1-3-2-I 2-فتحة النفوذ العددية
9.....	1-3-2-I 3-أنماط الانتشار في الليف البصري
10.....	1-3-I 3-أنواعالألياف البصرية
11.....	1-3-I 1-ألياف متعددة النمط
11.....	1-3-I 1-1-الليف العتي

13.....	2-1-3-I الليف التدريجي.....
15 .....	2-3-I ألياف أحادية النمط.....
16.....	3-3-I الألياف البصرية البلاستيكية.....
17.....	4-I كابلات الألياف البصرية.....
17.....	1-4-I أنواع الكابلات.....
17.....	1-1-4-I الكابلات الخارجية.....
17.....	2-1-4-I الكابلات الداخلية.....
17.....	2-4-I أنواع التحزيم.....
17.....	1-2-4-I تحزيم عادي.....
18.....	2-2-4-I تحزيم سداسي.....
18.....	3-4-I معامل التعبئة.....
19.....	4-4-I معامل المسامية.....
19.....	1-4-4-I معامل المسامية للتحزيم العادي.....
21.....	2-4-4-I معامل المسامية للتحزيم السداسي.....
22.....	5-I الضياعات.....
22.....	1-5-I أعلى مستوى الليف البصري.....
22.....	1-1-5-I التوهين.....
23.....	2-1-5-I امتصاص الضوء.....
23.....	3-1-5-I الانحناءات في الليف البصري.....
24 .....	4-1-5-I التشتت في الليف البصري.....
25.....	5-1-5-I انعكاس فرينل.....

26	2-5-I على مستوى الكابل.....
26	1-2-5-I الخسارة في التعبئة.....
27	6-I محاسن و مساوئ الألياف البصرية.....
27	1-6-I المحاسن.....
27	2-6-I المساوئ.....
28	7-I تطبيقات الألياف البصرية.....
30	الخاتمة.....

### الفصل الثاني: دراسة نظرية للألياف البصرية

32	مقدمة.....
32	1-II الإشعاع الشمسي المركز.....
32	1-1-II الإشعاع الشمسي الواصل لفتحة المركز.....
33	2-1-II الإشعاع الشمسي الواصل للبؤرة.....
35	3-1-II الإشعاع الشمسي الوارد إلى الكابل.....
35	2-II وصف نموذج الدراسة.....
36	1-2-II الفرضيات.....
36	2-2-II نموذج الكابل.....
37	3-II أهم الظواهر الحادثة في النموذج.....
37	1-3-II ظاهرة انتقال الإشعاع الشمسي المركز.....
37	2-3-II الضياع و ظاهرة التسخين.....
37	1-2-3-II بفعل الامتصاص على مستوى غلاف الألياف البصرية.....
37	2-2-3-II بفعل المسامات بين الألياف البصرية.....

37	4-II ظواهر النقل الحراري.....
37	1-4-II انتقال الحرارة بالحمل.....
39	2-4-II انتقال الحرارة بالإشعاع.....
40	3-4-II انتقال الحرارة بالتوصيل.....
41	5-II النموذج الرياضي.....
41	1-5-II المعادلة التفاضلية لدرجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية.....
42	2-5-II حل المعادلة التفاضلية.....
44	6-II العوامل المؤثرة على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية.....
44	1-6-II الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل.....
44	2-6-II قرينة الانكسار.....
45	3-6-II الطول الموجي للإشعاع الشمسي.....
46	7-II تأثير الطول الموجي على الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل.....
46	8-II تأثير الطول الموجي على التوهين.....
47	9-II مخطط البرنامج العددي.....
48	خاتمة.....

### الفصل الثالث: عرض و مناقشة النتائج

50	مقدمة.....
50	1-III مقدرات نموذج الدراسة.....
50	2-III درجة الحرارة على طول الكابل.....
50	1-2-III حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك.....
53	2-2-III حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....

III-2-3	حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج.....	54
III-3	العوامل المؤثرة على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية.....	55
III-3-1	تأثير الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.....	55
III-3-1-1	حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك.....	55
III-3-1-2	حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....	57
III-3-1-3	حالة التحزيم السداسيلكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج.....	58
III-3-2	تأثير الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل.....	59
III-3-2-1	حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك.....	59
III-3-2-2	حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....	61
III-3-2-3	حالة التحزيم السداسيلكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج.....	62
III-3-3	تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي.....	63
III-3-3-1	حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك.....	63
III-3-3-2	حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....	64
III-4	تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي.....	65
III-4-1	الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل.....	65
III-4-1-1	حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك.....	65
III-4-1-2	حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....	66
III-4-2	التوهين.....	68
III-4-2-1	حالة التحزيم السداسيو التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك.....	68

### III-4-2-2 حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك التحزيم العادي لكابل ألياف

70.....	الزجاج
72.....	خاتمة
74.....	خاتمة عامة
77.....	المراجع
80.....	الملاحق
.....	الملخص



## قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	الرقم
4	الشعاع الساقط، المنعكس و المنكسر.	(1-I)
5	حالة الزاوية الحرجة للسقوط.	(2-I)
6	انتشار الشعاع الضوئي عبر الليف البصري.	(3-I)
7	بنية الليف البصري.	(4-I)
8	زاوية القبول عند إدخال الضوء إلى الليف البصري.	(5-I)
10	أنماط الانتشار بالاعتماد على العدد $V$ للليف البصري التدريجي.	(6-I)
12	تغير معامل الانكسار في الليف العتي.	(7-I)
13	مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتي	(8-I)
14	تغير معامل الانكسار في الليف التدريجي	(9-I)
15	انتشار الحزم الضوئية عبر الليف البصري التدريجي ذي الشكلقطع المكافئ.	(10-I)
17	التحزيم العادي للألياف البصرية في كابل.	(11-I)
18	التحزيم السداسي للألياف البصرية في كابل.	(12-I)
21	مسار الإشعاع الساقط على وجه حزمة الألياف البصرية.	(13-I)
22	توهين الليف بدلالة الطول الموجي	(14-I)
24	توضيح لميكانيكية خسارة الإشعاع في ليف بصري عند الانحناء.	(15-I)

25	خصائص التوهين لليف مثالي: مخطط يوضح عرض الآليات المهمة لتوهين الليف.	(16-I)
26	تشكيلات هندسية مختلفة لتعبئة الألياف البصرية (أ) التشكيل المثلث؛ (ب) التشكيل المثلث؛ (ج) التشكيل المربع.	(17-I)
33	الإشعاع الشمسي الواصل للسطح العاكس.	(1-II)
34	الإشعاع الشمسي الواصل لبؤرة المركز.	(2-II)
35	الإشعاع الضائع بالانعكاس و الإشعاع الوارد إلى الكابل.	(3-II)
35	التزاحج بين مركز قطع المكافئ الشمسي و كابل حزمة الألياف البصرية.	(4-II)
36	توضيح لأهم الظواهر الحاصلة في النموذج.	(5-II)
38	الانتقالات الحرارية بفضل الحمل الطبيعي.	(6-II)
39	توضيح لانتقال الحرارة بالإشعاع.	(7-II)
40	توضيح لانتقال الحرارة بالتوصيل.	(8-II)
45	قرينة الانكسار بدلالة الطول الموجي	(9-II)
51	تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و الزجاج.	(1-III)
52	توزيعات درجة الحرارة على طول الكابل في أوقات زمنية مختلفة.	(2-III)
53	تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية.	(3-III)
54	درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي.	(4-III)

56	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.	(5-III)
56	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.	(6-III)
57	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.	(7-III)
59	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.	(8-III)
60	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و ألياف الزجاج بدلالة طاقة الدخول.	(9-III)
61	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة طاقة الدخول.	(10-III)
62	درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة طاقة الدخول.	(11-III)
63	تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و الزجاج بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.	(12-III)
64	تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.	(13-III)
66	تغيرات طاقة الدخول لكابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.	(14-III)
67	الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى كابلا لألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.	(15-III)
69	الإشعاع الشمسي الكلي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي لكابل ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي و كابل ألياف البلاستيك ذات	(16-III)

	التحزيم العادي.	
70	الإشعاع الشمسي الكلي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي لكابيل ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي و كابيل ألياف الزجاج ذات التحزيم العادي.	(17-III)

مقدمة عامة

مقدمة عامة

## مقدمة

تشكل الطاقة مشكلة اقتصادية و إستراتيجية لجميع دول العالم المستوردة للنفط، إلا أن هذه المشكلة تشكل بعداً أكثر جدية في حالة الدول النامية و ذلك بسبب اعتمادها الكلي على الطاقة المستوردة.

و نظراً لأن الطاقة المستمدة من مصادر أخرى كالوقود الاحفوري و المفاعلات النووية يصحبها تلوث للبيئة، تعود انعكاساته السلبية على كل الكائنات الحية، مما يتسبب في تدهور الظروف الصحية و البيئية، و انتشار الأمراض و الأوبئة و زيادة الزحف الصحراوي.

و لقد انتبه العالم إلى خطر التلوث الذي يهدد البشرية كلها وبدأ منذ أكثر من ربع قرن بإجراء البحوث و التجارب لإيجاد مصادر بديلة للطاقة تتميز بالتجدد و الاستمرارية مع عدم تلويثها للبيئة، و لقد ركز العلماء تجاربهم و أبحاثهم على الطاقة الشمسية و ما يتطلبه ذلك من تقنيات لاستثمارها.

و لتسهيل استخدام الطاقة الشمسية المركزة، ظهرت فكرة نقلها عبر الألياف البصرية عن طريق فريق بحث فرنسي (Cariou و آخرون 1982) [1].

و لقد كانت دراسات نقل الطاقة الشمسية المركزة عن طريق الألياف البصرية بطرق مختلفة حددها (Kandilli و آخرون) [2] كالآتي:

- Liang و آخرون أكد أن الألياف البصرية المرنة يمكن أن تستعمل لنقل الطاقة الشمسية إلى مكان مرغوب فيه، أين تستخدم لضخ الليزر البلوري [3].
- Feuermann و آخرون (1998) تطلب تركيز عالي للطاقة الشمسية للعديد من طرق الجراحة بالألياف البصرية عوض الليزر [4].
- Jaramillo و آخرون تطور الدراسة النظرية الحرارية للألياف البصرية الناقلة للطاقة الشمسية المركزة [5].

يقوم البحث الحالي بدراسة أثر التحزيم على كابل الألياف البصرية الناقلة للإشعاع الشمسي المركز، و تتناول هذه المذكرة ثلاثة فصول رئيسية:

يهتم الفصل الأول بدراسة عامة للألياف البصرية من حيث خصائصها و ميزاتها و الأنواع المختلفة لها و كذا مختلف المجالات التي يطبق فيها.

يتناول الفصل الثاني دراسة نظرية لأهم الظواهر الحاصلة في النموذج، إضافة إلى النموذج الرياضي للدراسة الحرارية لكابل الألياف البصرية.

يتناول الفصل الثالث عرض النتائج و ذلك باستخدام برنامج الماتلاب ، و مقارنة النتائج المتحصل عليها بنتائج دراسات سابقة، إضافة إلى مقارنة نوعين من الألياف البصرية، الزجاجية و البلاستيكية و مقارنة نوعين من التحزيم، السداسي و العادي.

و في نهاية الموضوع خاتمة عامة نذكر فيها كل ما تناولناه بإيجاز، إضافة إلى ذكر النتائج التي تحصلنا عليها، و اقتراح مجموعة حلول من اجل التحسين في النموذج و ذلك بالتقليل من درجة حرارة كابل الألياف البصرية و الزيادة في شدة الإضاءة عند مخرج الكابل.

# الفصل الأول

دراسة عامة للألياف البصرية



مقدمة:

فكرة انتقال الضوء داخل الكابل مرتبطة بظاهرة الانعكاس الكلي، هذه الفكرة ليست جديدة فمند 1870 برهن الفيزيائي الإيرلندي John Tyndall (1820-1893) أنه يمكن توجيه و احتواء الضوء داخل أنبوب رقيق من الماء، و بعدها تم تجريب نفس الفعل على أنابيب من الزجاج، و من ثم على أنابيب من الكوارتز الخالص.

و في 1970 نجح باحثو شركة Glass Works في انجاز ليف السيليس أين عامل التحويل فيه أكبر من 1% في كلم (الموافق لتوهين 20dB/km)، مقارنة بالإبجازات المقامة بسلك النحاس من أجل التحويلات الكهربائية. و بعد عشرين متتالين تحسنت هذه التحويلات إلى أن وصلت إلى 96% في كلم (الموافق لتوهين 0.16dB/km)[6].

بفضل الإيجابيات المذكورة لسعة نقل كمية كبيرة من المعلومات و الضياع القليل في النقل داخل الألياف البصرية، جعلنا نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة هذه الألياف دراسة عامة، من حيث خصائصها و أنواعها و كذا مختلف المجالات التي تستخدم فيها.

### I-1 قرينة الانكسار : The Refractive Index

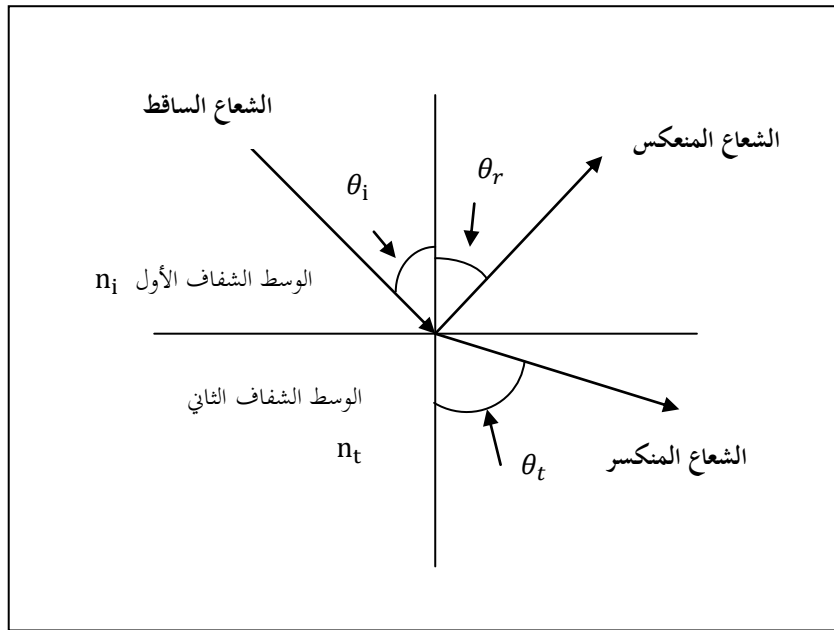
قرينة الانكسار لأي وسط بصري تعرف كنسبة بين سرعة الضوء في الفراغ و سرعة الضوء في الوسط. و تعطى علاقتها:

$$n = \frac{c}{v} \quad (I-1)$$

إن قرينة الانكسار لأي وسط شفاف هي مقياس للكثافة البصرية، و ذلك لأن أي وسط له قرينة انكسار عالية نسبيا تكون كثافته البصرية عالية، أما الوسط الذي له قرينة انكسار ضعيفة تكون كثافته البصرية صغيرة[7].

### I-1-1 قانون سنل ديكارت للانكسار : Snell's decartes Law Of Refraction

يعتبر قانون سنل ديكارت من القوانين الأساسية في علم البصريات و الذي يعطي العلاقة ما بين الشعاع المنعكس و الشعاع المنكسر و الزوايا المصاحبة لذلك. يوضح الشكل (I-1) المدرج أدناه، الرسم التوضيحي لفكرة قانون سنل ديكارت.



الشكل (1-1): الشعاع الساقط، المنعكس و المنكسر

يمكننا كتابة قانون سنل ديكرت على الشكل التالي:

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (I-2)$$

حيث  $n_i$  ترمز إلى معامل انكسار الوسط الشفاف الأول و  $n_t$  ترمز إلى معامل انكسار الوسط الشفاف الثاني.

### 2-1-I معادلات فريسنل: Fresnell Equations

نسبة شدة الإشعاع المنعكس على الإشعاع الساقط، تعطي لنا معامل الانعكاس  $R$  لمختلف المركبات الموازية و العمودية للاستقطاب.

للإشعاع المار من وسط ذي قرينة انكسار  $n_i$  إلى وسط ذي قرينة انكسار  $n_t$  معاملات الانعكاس تعطى [9,8]:

$$R_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_t - \theta_i)}{\tan^2(\theta_t + \theta_i)} \quad (I-3)$$

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_t - \theta_i)}{\sin^2(\theta_t + \theta_i)} \quad (I-4)$$

$$R = \frac{1}{2} (R_{\parallel} + R_{\perp}) \quad (I-5)$$

حيث:

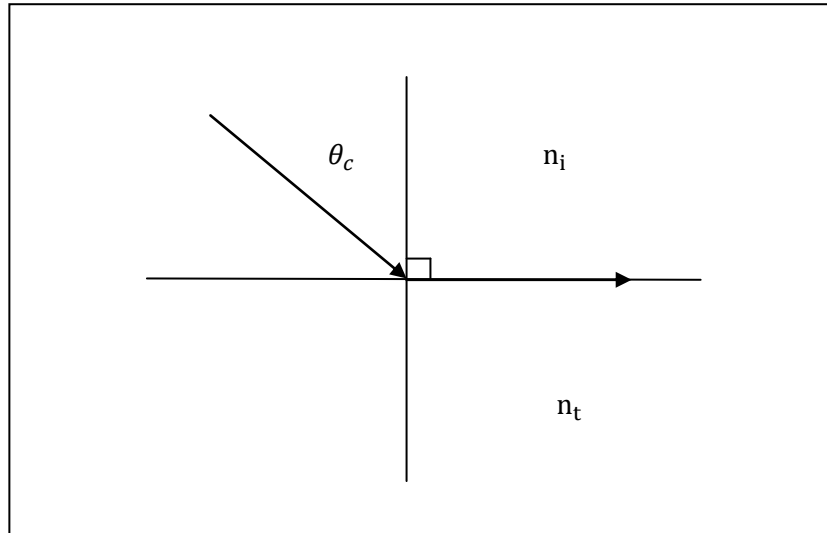
$R_{\parallel}$  معامل انعكاس الإشعاع المستقطب في مستوى السقوط.

$R_{\perp}$  معامل انعكاس الإشعاع المستقطب عموديا على مستوى السقوط.

$R$  معامل انعكاس الإشعاع.

### 3-1-I Critical Angle: الزاوية الحرجة:

الزاوية الحرجة هي عبارة عن الحالة الخاصة لقيمة زاوية سقوط الشعاع عندما تكون زاوية الانكسار له تساوي  $90^\circ$ . في هذه الحالة ينتشر الشعاع المنكسر بشكل أفقي موازيا للحد الفاصل بين الوسطين الأول و الثاني، كما في الشكل (2-I).



الشكل (2-I): حالة الزاوية الحرجة للسقوط.

بالرجوع إلى قانون سنل ديكرت، يمكننا الحصول على علاقة الزاوية الحرجة ( $\theta_c$ ):

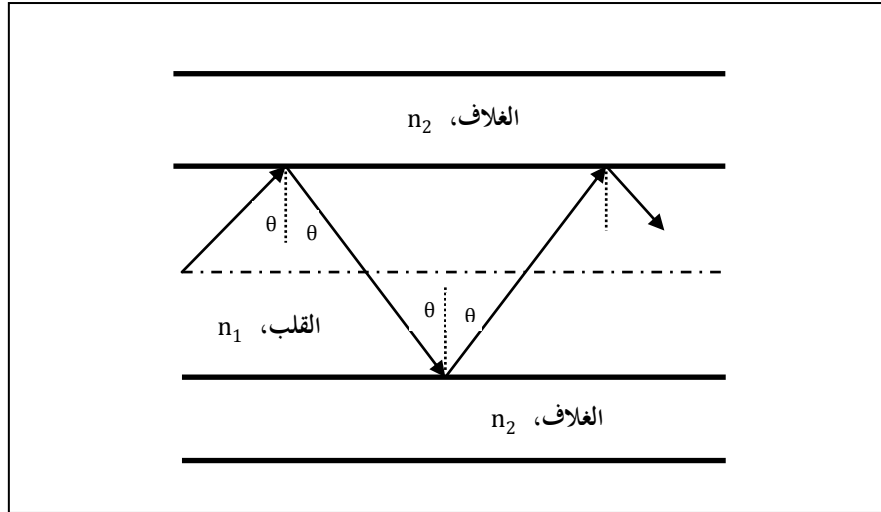
$$\theta_c = \arcsin(n_t/n_i) \quad (I-6)$$

### 4-1-I Total Internal Reflection: الانعكاس الكلي الداخلي:

كما يتضح لنا من قانون سنل ديكرت، أنه كلما تغيرت زاوية السقوط كلما رافقها تغير في زاوية الانكسار. في حالة كون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة ( $\theta_i > \theta_c$ ) فإن الضوء ينعكس بالكامل (لا يحدث انكسار)، و تسمى هذه الظاهرة "بالانعكاس الكلي الداخلي".

و حتى نحصل على هذه الظاهرة يجب أن ينتقل الضوء من الوسط ذي معامل الانكسار الأعلى ( $n_i$ ) إلى الوسط ذي معامل الانكسار الأقل ( $n_t$ ).

يمثل الشكل (3-I) انتقال الشعاع الضوئي بزاوية سقوط  $\theta$  حيث يكون الانتشار خلال قلب الليف بالكامل و ذلك طبقاً لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي.



الشكل (3-I): انتشار الشعاع الضوئي عبر الليف البصري.

## 2-I الألياف البصرية: Optical Fibers

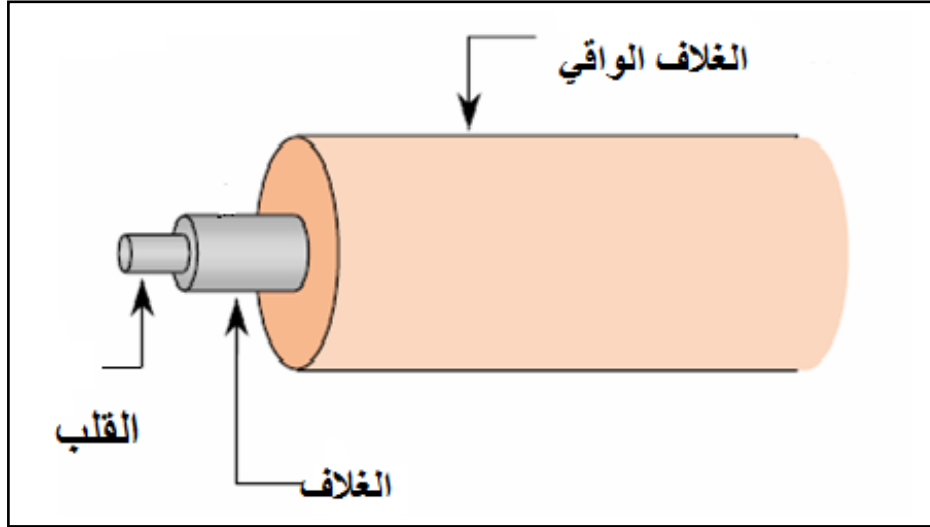
### 1-2-I بنية الليف البصري: Optical fiber structure

الألياف البصرية أجهزة إعلام مشهورة لتوجيه الموجات الضوئية، لها العديد من التطبيقات في الاتصال، الجراحة الطبية..... الخ، كل ليف من هذه الألياف يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية كما يوضح الشكل (4-I) و هي كالتالي:

➤ القلب و هو عبارة عن قضيب من الزجاج، رفيع ينتقل فيه الضوء و يكون قطره كبير في الألياف البصرية التي تستخدم لنقل الطاقة الشمسية و ذلك لتوجيه كل الأشعة الواردة على مدخلها [9].

➤ الغلاف مادة تحيط بالقلب و تعمل على عكس الضوء مرة أخرى إلى مركز الليف البصري.

➤ الغطاء الواقي غلاف بلاستيكي يحمي الليف البصري من الرطوبة أو يحميه من الضرر و الكسر.



الشكل (4-I): بنية الليف البصري.

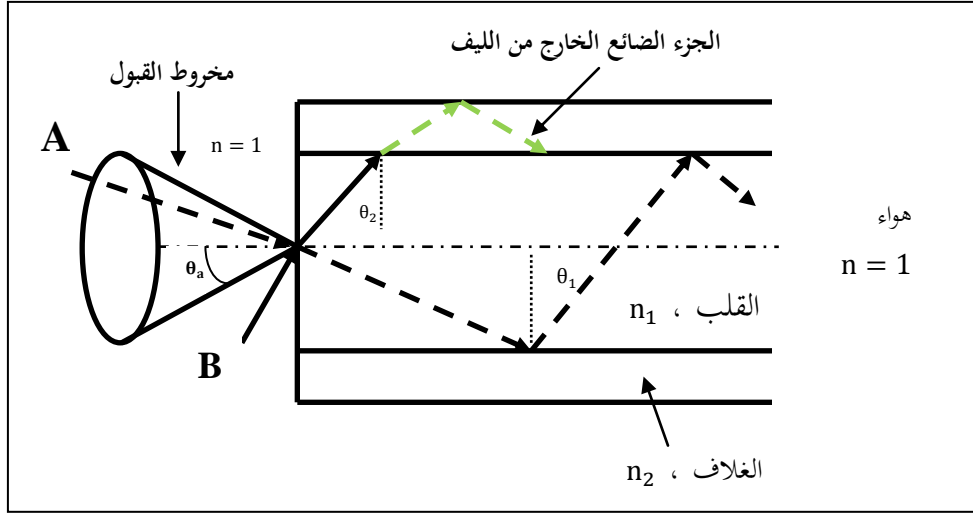
## 2-2-I مبدأ الألياف البصرية: principle Of Optical Fibers

يعتمد مبدأ عمل الألياف البصرية على نظرية الشعاع الضوئي التي تعتبر الضوء كشعاع يتحرك باتجاه معين و زوايا معينة و هذا ينطبق عليه القوانين الأساسية في علم البصريات الضوئية (قوانين سنل ديكرارت، الانعكاس، الانكسار،... الخ). و كما هو معلوم، فان الضوء ينتشر كشعاع باتجاه معين و سرعة معينة تعتمد قيمتها على نوع الوسط الذي يتم فيه الانتشار، أي أن كل وسط يعيق انتشار الضوء خلاله بنسب متفاوتة، مما يعني أن سرعة انتشار الضوء عبر أي وسط أقل منها في الفراغ.

## 3-2-I الدلائل المميزة للليف بصري: The distinctive signs of an Optical fiber

### 1-3-2-I زاوية القبول: Acceptance Angle

تعتبر زاوية القبول ( $\theta_a$ ) من القيم العددية التي يتوجب معرفتها عن الليف البصري، و حتى يتضح المعنى المقصود بها نستعين بالرسم المبين أدناه في الشكل (5-I).



الشكل (5-I): زاوية القبول عند إدخال الضوء إلى الليف البصري [10].

كما يتضح من الشكل فإن الشعاع A يدخل إلى الليف بزاوية أقل من الزاوية  $\theta_a$  و يصل إلى الحد الفاصل بين القلب و المحيط بزاوية  $\theta_1$  تكون أكبر من الزاوية الحرجة  $\theta_c$  و بذلك يتابع مساره عبر الليف بشكل صحيح (يحقق الانعكاس الكلي الداخلي) و يكون الفقد في هذه الحالة أقل ما يمكن. و يدخل الشعاع B إلى الليف البصري بزاوية أكبر من زاوية القبول  $\theta_a$  حيث يصل إلى الحد الفاصل بين القلب و المحيط بزاوية أقل من  $\theta_c$  و بذلك فإن جزءاً منه ينكسر باتجاه المحيط و يخرج خارج الليف مما يتسبب في فقد جزء من الضوء المنتشر و بذلك لا يمكن له أن يحقق الانعكاس الكلي الداخلي. من هنا يتضح معنى و مفهوم زاوية القبول بأنها الزاوية التي يجب على الشعاع الداخل أن يدخل بزاوية تساويها أو أقل منها حتى يحقق الانعكاس الكلي الداخلي و بالتالي ينتشر عبر الليف بشكل صحيح و بأقل ضياع للطاقة. و في نفس الوقت، فإن الشعاع الداخل للليف بزاوية أكبر من زاوية القبول فإن جزءاً منه ينكسر عبر محيط الليف و بالتالي سوف يضيع و ما تبقى منه ينعكس داخل الليف و هنا نحصل على انعكاس جزئي و ليس كلي. لذلك حتى يتم إرسال الضوء لأطول مسافة ممكنة يجب مراعاة إدخال الضوء للليف بزاوية لا تتجاوز قيمة  $\theta_a$ ، و حسب قيمة  $\theta_a$  فإنه يتشكل ما يشبه المخروط عند مقدمة الليف و الذي يسمى مخروط القبول.

### I-2-3-2 فتحة النفوذ العددية: Numerical Aperture

هنالك قيمة عددية أكثر شمولاً من زاوية القبول  $\theta_a$ ، و التي تعبر عن العلاقة ما بين إمكانية إدخال الضوء للليف بشكل صحيح و معامل الانكسار لكل من قلب الليف  $n_1$  و غلافه  $n_2$ .

تسمى هذه القيمة بفتحة النفوذ العددية (NA) و التي يمكن إيجادها من خلال العلاقة البسيطة التالية [11]:

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (I-7)$$

حيث  $n_0$  ترمز إلى معامل الانكسار للوسط الفاصل بين المصدر الضوئي و مقدمة الليف (عادة ما يكون هواء  $n_0 = 1$ ) و منه:

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA) \quad (I-8)$$

علما أن:

$\theta_a$  تأخذ قيم بين الصفر و  $90^\circ$ .

NA بين الصفر و الواحد.

### I-2-3 أنماط الانتشار في الليف البصري: Fiber Modes

ينتشر الضوء عبر الليف البصري على شكل عدد محدود من الحزم الضوئية أو إشعاعات و بزوايا معينة ذات قيم محددة، تسمى هذه الإشعاعات أو الحزم الضوئية المختلفة بأنماط الانتشار. حيث يرتبط كل شعاع بنمط انتشار معين، لذلك يستخدم الرمز الدليلي بجانب اسم النمط لتمييز عن بعضها البعض. و حتى نتمكن من الحصول على هذه الأنماط المنتشرة في الألياف البصرية يجب استخدام النظرية الكهرومغناطيسية و تطبيق معادلات ماكسويل على حالة الليف البصري و إيجاد الحلول لها، حيث يتطلب ذلك مستوى عال من الرياضيات و نظرية الكهرومغناطيسية.

سنوضح بشكل مبسط الأنواع الأساسية للأنماط المنتشرة عبر الليف البصري و هي:

➤ أنماط كهربائية عرضية و يرمز لها ب TE و تعني أن ( $E_z = 0$  و  $H_z \neq 0$ )

➤ أنماط مغناطيسية عرضية و يرمز لها ب TM و تعني أن ( $E_z \neq 0$  و  $H_z = 0$ )

➤ أنماط هجينة و تحتوي المجالين الكهربائي و المغناطيسي من نوع HE.

➤ أنماط هجينة و تحتوي المجالين الكهربائي و المغناطيسي من نوع EH.

و كمثال على طريقة تسمية أنماط الانتشار [12,13]:  $TE_{01}$ ,  $EH_{12}$ ,  $HE_{11}$ ,  $TM_{02}$ .

يعتمد تصنيف أنماط الانتشار على قيمة عددية لليف بصري تسمى بالعدد  $V$  (V-number) والتي تحسب بالعلاقة:

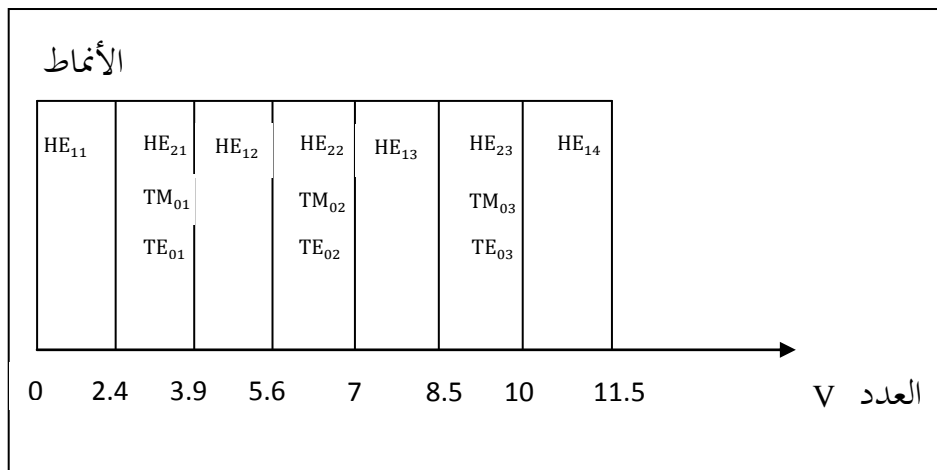
$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \cdot NA \quad (I-9)$$

حيث:

$\lambda$  عبارة عن الطول الموجي.

$a$  نصف قطر قلب الليف البصري.

بالاعتماد على العدد  $V$  يمكننا تحديد عدد و أنواع أنماط الانتشار التي تتواجد و تنتشر عبر الليف البصري كما في الشكل (6-I).



الشكل (6-I): أنماط الانتشار بالاعتماد على العدد  $V$  لليف بصري التدرجي.

### I-3 أنواع الألياف البصرية: Types of Optical Fibers

تنقسم الألياف البصرية إلى أكثر من نوع و ذلك بالاعتماد على المعيار المستخدم لعملية التقسيم، فحسب تغير معامل الانكسار خلال قلب الليف تنقسم الألياف إلى:

- ألياف عتبية و ألياف تدرجية.

كذلك و حسب عدد الأنماط المنتشرة خلال الليف البصري تنقسم إلى:

- ألياف متعددة الأنماط حيث ينتشر أكثر من نمط (قد يصل إلى المئات).

- ألياف أحادية النمط.



و أخيرا يمكننا تقسيم الألياف البصرية حسب المادة المصنع منها الليف إلى:

- ألياف زجاجية و ألياف بلاستيكية.

أيضا يمكننا إيجاد ألياف بصرية يكون القلب فيها مصنوعا من الزجاج بينما الغلاف من البلاستيك.

### I-3-1 ألياف متعددة النمط: Multimode Fibers

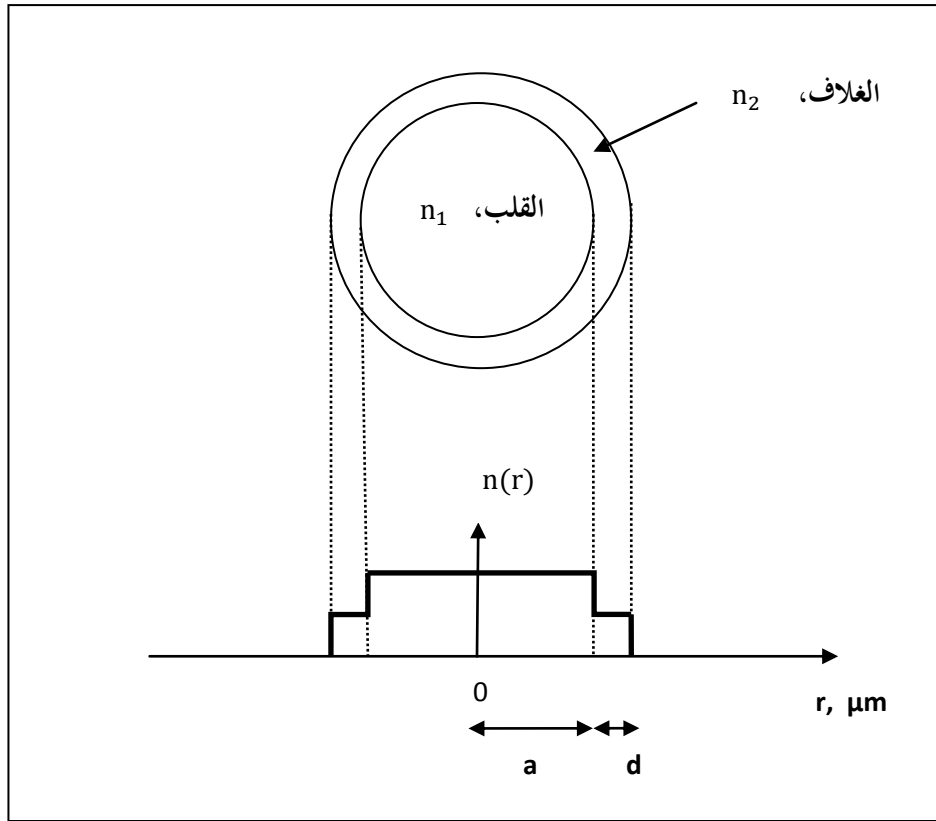
#### I-3-1-1 الليف العتبي: Step-Index Fiber

لقد بدأ ظهور الألياف البصرية بهذا النوع و ذلك لسهولة التصميم و التصنيع، حيث يتم تصنيع قلب الليف من زجاج نقي له معامل انكسار ثابت  $n_1$  بينما يصنع الغلاف من الزجاج أيضا بمعامل انكسار ثابت  $n_2$  و لكن قيمة  $n_2$  أقل من  $n_1$  كما هو مبين على الرسم ادناه الشكل (I-7). و الذي يمثل كيفية تغير معامل الانكسار للليف البصري  $n(r)$  بالاعتماد على المسافة القطرية  $r$  من مركز الليف.

إن تغير معامل الانكسار من القيمة  $n_2$  إلى  $n_1$  أو العكس له شكل الدرجة أو العتبة و من هنا جاءت تسمية "الليف العتبي" [13].

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة ( $M_s$ ) خلال الليف العتبي بالعلاقة التالية:

$$M_s = \frac{V^2}{2} \quad (I-10)$$



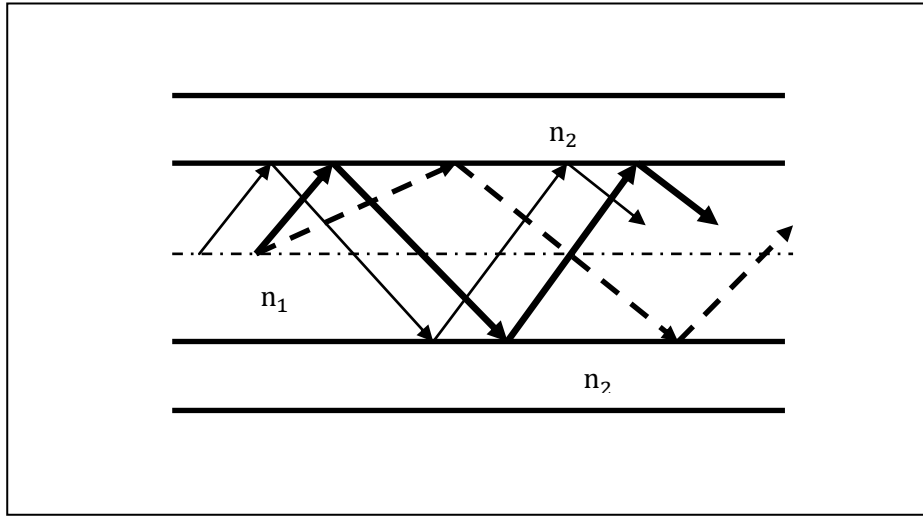
الشكل (7-I): تغير معامل الانكسار في الليف العتبي.

حيث:

$n$  معامل الانكسار للوسط الذي يتم فيه الانتشار (قلب الليف  $n = n_1$ ).

يمثل  $d$  سمك الغلاف.

إن سبب ثبات السرعة يعود إلى أن معامل الانكسار لقلب الليف ذو قيمة ثابتة، حيث تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة ضمن منطقة قلب الليف البصري و تكون مساراتها على شكل خطوط مستقيمة كما هو موضح في الشكل (8-I). و يعود ذلك إلى أن الضوء يسير بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس (ذو معامل انكسار ثابت) و هذه الحالة في الألياف العتبية.



الشكل (8-I): مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتبي.

### 2-1-3-I الليف التدريجي: Graded Index Fiber

إن ما يميز الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي هو أن معامل الانكسار لقلب الليف البصري لا يكون ذا قيمة ثابتة وإنما يتغير و بشكل تدريجي بدءاً من القلب ولغاية الحد الفاصل بين القلب و الغلاف (أقصى قيمة  $n = n_1$  و أدنى قيمة  $n = n_2$ )، حيث يأخذ هذا التغير التدريجي أشكالاً مختلفة المثلي و القطع المكافئ أو أية أشكال أخرى تقع فيما بينهما. بينما يبقى معامل الانكسار ثابتاً في غلاف الليف (13).

إن معامل الانكسار لمنطقة قلب الليف ذو قيمة متغيرة و يأخذ شكل دالة رياضية معينة

$n(r)$  و هي التي تحدد الأشكال سالفة الذكر، يمكننا التعبير رياضياً عن  $n(r)$  على الشكل التالي [14]:

$$n(r) = n_1(1 - 2\Delta)\sqrt{\left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} \quad r < a \quad (I-11)$$

$$n(r) = n_1\sqrt{1 - 2\Delta} = n_2 \quad r \geq a \quad (I-12)$$

حيث:

$\Delta$  الفرق النسبي لمعامل الانكسار و تكون أقل بكثير من الواحد. و عبارتها كالتالي:

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2.n_1^2} \quad (I-13)$$

$\alpha$  تمثل معامل الدالة و الذي يحدد الشكل العام ( المثلثي، أو القطع المكافئ، أو ..... ) فعند:

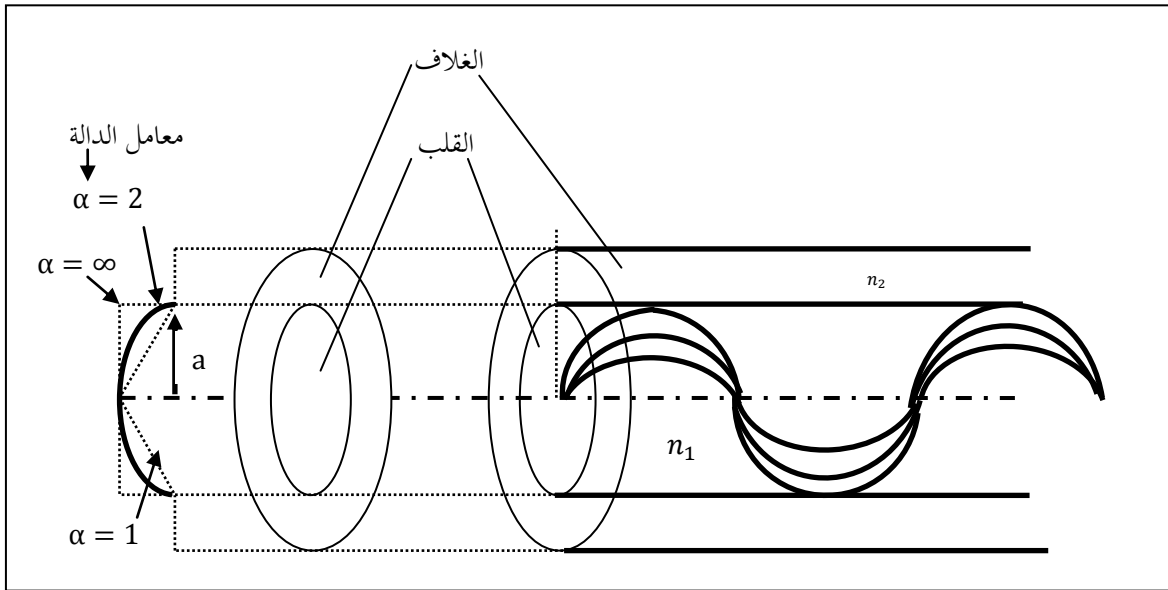
- $\alpha = 1$  نحصل على الشكل المثلي.
- $\alpha = 2$  نحصل على شكل القطع المكافئ.
- $\alpha = \infty$  نحصل على شكل العتيبي، كما في الشكل (9-I).

يمكن أن تأخذ  $\alpha$  أي قيمة حقيقية أكبر من الواحد، لكن و من ناحية عملية و بعد إجراء العديد من التجارب، فقد وجد أن أفضل القيم هي  $\alpha = 1.98$  و يسمى الشكل الناتج في هذه الحالة شبه القطع المكافئ [13].

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة ( $M_g$ ) خلال الليف التدريجي بالعلاقة التالية:

$$M_g = \left( \frac{\alpha}{\alpha+2} \right) \left( \frac{V^2}{2} \right) \quad (I-14)$$

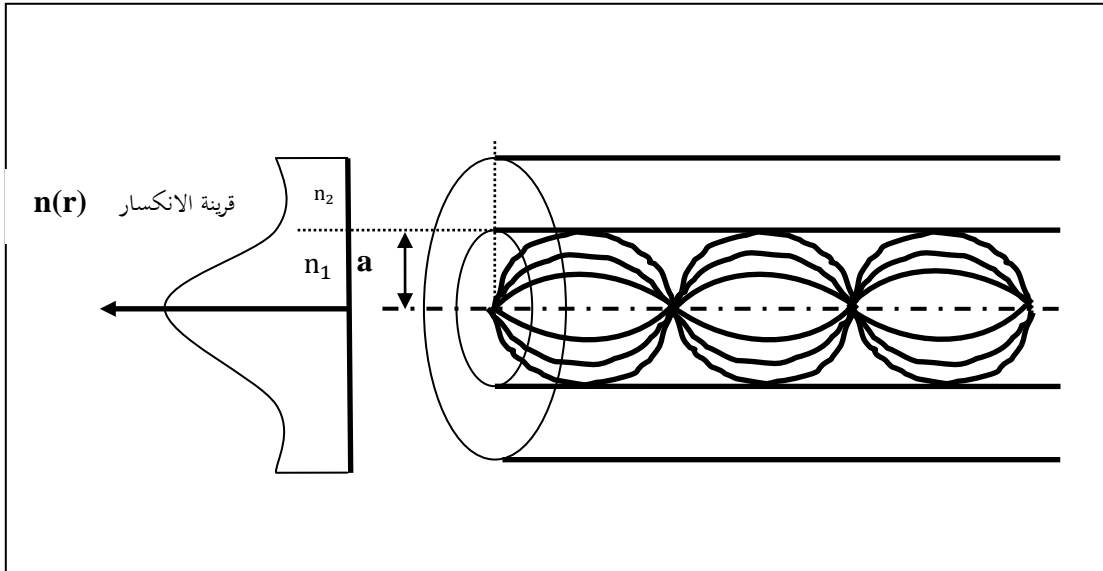
و عليه فإن عدد الأنماط المنتشرة يعتمد على معامل الدالة  $\alpha$ .



الشكل (9-I): تغير معامل الانكسار في الليف التدريجي [15].

هندسيا تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة ضمن منطقة قلب الليف البصري و تكون مساراتها على شكل خطوط منحنية و ليست مستقيمة، و يعود ذلك إلى أن معامل الانكسار لمنطقة الانتشار (قلب الليف) ذو قيمة متغيرة. إن السرعة تكون أعلى ما يمكن في (منطقة أطراف القلب) و تكون أقل ما يمكن في (منطقة مركز القلب)، إن هذا الاختلاف في السرعة هو السبب الرئيسي الذي يعطي

الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي الميزة الإيجابية الهامة مقارنة مع الألياف العتبية، و الشكل (10-I) يوضح ذلك.



الشكل (10-I): انتشار الحزم الضوئية عبر الليف البصري التدريجي ذي الشكل قطع المكافئ.

كما ذكرنا سابقا، فإن الحزم القريبة من مركز القلب بطيئة السرعة و لكنها تقطع مسافة قصيرة، بينما الحزم الأبعد عن مركز القلب و الأقرب للحد مع غلاف الليف ذات سرعة عالية و لكنها تقطع مسافة أطول كما في الشكل (10-I)، و بالتالي فإن جميع الحزم تصل في أوقات زمنية متقاربة جدا مما يقلل التأخير فيما بينها و هذا هو السبب في أن التشتيت في هذه الألياف قليل جدا (حوالي 100 مرة أقل منه في حالة الألياف العتبية).

### 2-3-I ألياف أحادية النمط: Single Mode Fiber

في حالة الليف أحادي النمط هنالك نمط واحد من الانتشار و هو  $HE_{11}$ ، و هو أول نمط يبدأ بالظهور و الانتشار عبر الليف البصري و بالتالي يسمى النمط الأساسي أو الأول. في نفس الوقت، فإن هذا النمط الأحادي ينتشر عبر الليف بحالتين من الاستقطاب: الحالة الأفقية و يرمز لها X و أخرى يرمز لها Y [10]. لكن لا يمكن الحصول على هذه الحالة (انتشار نمط واحد فقط) إلا إذا كانت قيمة  $V$  صغيرة للغاية أقل من 2.405، عادة ما تسمى القيمة الحدية ( $V = 2.405$ ) و التي تضمن ظهور نمط واحد فقط بقيمة القطع و سوف نرمز لها  $V_c$ .

للحصول على الليف أحادي النمط من نوع العتيبي يجب أن يتحقق الشرط التالي:

$$0 \leq V \leq 2.405 \quad (I-15)$$

يمكننا تحقيق هذا الشرط بطريقتين:

➤ الأولى: عن طريق تصغير نصف قطر قلب الليف (a).

➤ الثانية: عن طريق تصغير الفرق النسبي لمعامل الانكسار ( $\Delta$ ).

و في حالة الليف أحادي النمط من النوع التدريجي تحسب  $V_c$  بالعلاقة التالية:

$$V_c = 2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha}} \quad (I-16)$$

### I-3-3 الألياف البصرية البلاستيكية: Plastic Optical Fiber

تتميز الألياف البصرية البلاستيكية بأنها مصنوعة بالكامل من البلاستيك مما يجعلها رخيصة جدا، حيث تصنع الآن على شكل ألياف عتبية متعددة الأنماط و تعمل على الطول الموجي 650nm.

إن أهم الميزات الايجابية لليف البلاستيكي هي:

✓ تدني السعر.

✓ القطر كبير نسبيا (حوالي 1000µm) مما يجعلها سهلة في الاستخدام.

✓ فتحة النفوذ العددية (NA) عالية (حوالي 0.5).

✓ البساطة و المرونة العالية في التطبيق.

في نفس الوقت يجب الإشارة إلى السلبيات التالية:

✓ التوهين العالي جدا (أكثر من 200 dB/km).

✓ عرض النطاق الترددي قليل (حوالي 5 MHz. Km).

يقتصر استعمال الألياف البلاستيكية على المسافات القصيرة جدا (داخل المكاتب).

## 4-I كابلات الألياف البصرية: Fiber Optic Cables

### 1-4-I أنواع الكابلات: Types Of Cable

#### 1-1-4-I الكابلات الخارجية: Outdoor Cables

- وهي الكابلات التي تستخدم خارج المباني و لاستخدامها يجب توفر الشروط التالية:
- عدم دخول الماء إليها و ذلك لضمان عدم وصول الماء للألياف الذي يتسبب في زيادة الضياع.
  - مقاومة تأثير أشعة الشمس فوق البنفسجية.
  - يجب أن تكون متينة و ذات غلاف خارجي سميك و قوي.
  - العمل في مجال واسع لدرجات الحرارة.

#### 2-1-4-I الكابلات الداخلية: Indoor Cables

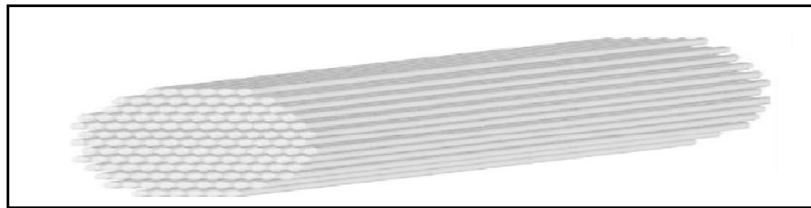
- و هي التي تستخدم داخل المباني و تكون صلبة و ذات صيانة عالية و محمية من التأثيرات الخارجية على اختلاف أشكالها، لكن و في نفس الوقت يجب أن تتوفر فيها الشروط التالية:
- توفر الحماية للألياف التي بداخلها من أي تأثيرات خارجية خلال و بعد التركيب.
  - تكون ذات مرونة عالية و ذلك لتسهيل تمديدها و توصيلها داخل المباني و المنشآت.
  - أن تتوافق المواصفات و المقاييس للمباني و المنشآت المعتمدة في البلد المعني[14].

### 2-4-I أنواع التغليف: Types Of THE Packing

يتم تغليف الألياف البصرية في كابل من اجل حمايتها من التلف لتستعمل في مجالات عديدة، هذا التغليف يكون بنوعين:

#### 1-2-4-I تغليف عادي: Packing normal

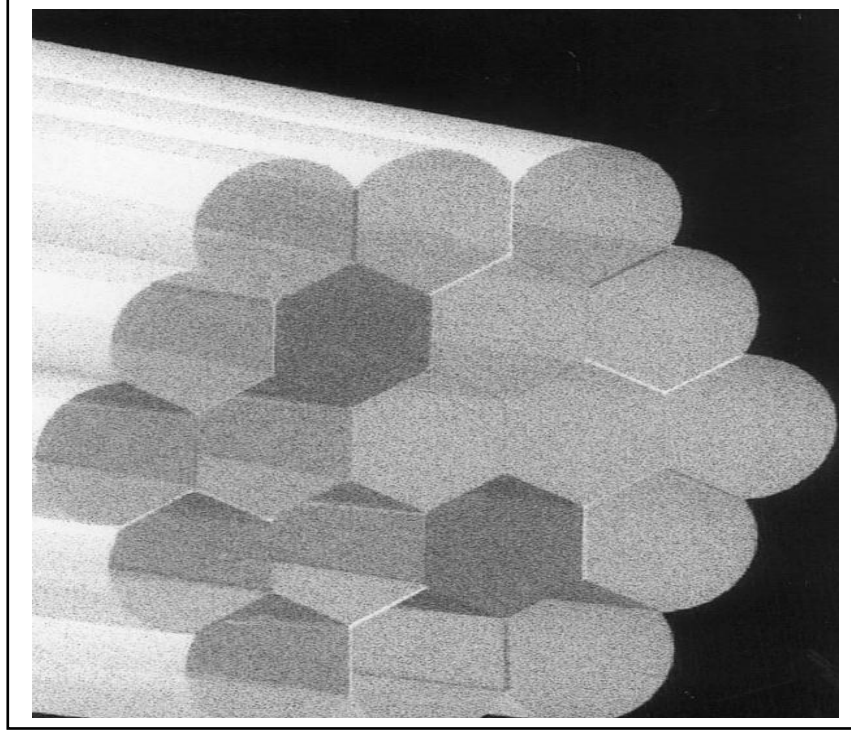
يتم تغليف الألياف البصرية داخل أنبوب اسطواني لتشكيل كابل كما في الشكل التالي.



الشكل (11-I): التغليف العادي للألياف البصرية في كابل.

### 2-2-4-I Packing Hexagon : تحزيم سداسي

في هذا التحزيم يكون الوجه الأمامي و الخلفي لكل ليف بصري على شكل مضلع سداسي، إذ يتم توضع هذه الألياف في كابل كما هو موضح في الشكل (I-12).



الشكل (I-12): التحزيم السداسي للألياف البصرية في كابل [16].

### 3-4-I معامل التعبئة: Packing coefficient

ترتيب الألياف البصرية يتحدد بمعامل يسمى معامل التعبئة ( $\phi_{pf}$ ) و هو نسبة مساحة الألياف المشغولة في الحزمة ( $A_{fibres}$ ) إلى المساحة الكلية لحزمة الألياف البصرية ( $A_{bundle}$ ).

$$\phi_{pf} = \frac{A_{fibres}}{A_{bundle}} \quad (I-17)$$

و يعطى معامل التعبئة ببساطة على أنه نسبة مساحة القلب و الغلاف المشغولين في وجه حزمة الألياف البصرية.

$$\phi_{pf} = \phi_{core} + \phi_{clad} \quad (I-18)$$



حيث:

( $\varphi_{core}$ ) نسبة مساحة القلب  $A_{core}$  في وجه حزمة الألياف البصرية و تعطى كالتالي:

$$\varphi_{core} = \frac{A_{core}}{A_{bundle}} \quad (I-19)$$

( $\varphi_{clad}$ ) نسبة مساحة الغلاف  $A_{clad}$  في وجه حزمة الألياف البصرية و تعطى كالتالي:

$$\varphi_{clad} = \frac{A_{clad}}{A_{bundle}} \quad (I-20)$$

$A_{core}$  مساحة القلب المشغول في وجه حزمة الألياف البصرية، و علاقتها كالتالي:

$$A_{core} = N \cdot (\pi a^2) \quad (I-21)$$

$N$  عدد الألياف البصرية داخل الكابل.

$A_{clad}$  مساحة الغلاف المشغول في وجه حزمة الألياف البصرية و علاقتها كالتالي:

$$A_{clad} = N \cdot \pi \cdot d^2 \quad (I-22)$$

$A_{bundle}$  مساحة حزمة الألياف البصرية، و تعطى:

$$A_{bundle} = \pi r_{bundle}^2 \quad (I-23)$$

$r_{bundle}$  نصف قطر حزمة الألياف البصرية.

عموما يأخذ معامل التعبئة للتحزيم العادي قيم معتبرة في مركز حزمة الألياف البصرية و يتناقص كلما توجهنا نحو محيط الكابل، وعندما يزيد قطر الحزمة يتناقص معامل التعبئة.

يسمى التحزيم السداسي للألياف البصرية بالتحزيم المثالي، حيث معامل التعبئة في هذا

التحزيم يقارب الواحد.

#### I-4-4-4 معامل المسامية: Porosity coefficient

#### I-4-4-1 معامل المسامية للتحزيم العادي: Porosity coefficient for Packing normal

تعرف مسامية حزمة الألياف البصرية على أنها نسبة مساحة كل من الغلاف و الحشو في

وجه حزمة الألياف البصرية، هذه النسبة معرفة في المعادلة التالية [17]:

$$\varphi_{pore} = \frac{A_{pore}}{A_{bundle}} \quad (I-24)$$

و تعرف كذلك على أنها نسبة مساحة وجه حزمة الألياف البصرية غير المشغولة بقلب الليف.

$$\varphi_{\text{pore}} = 1 - \varphi_{\text{core}} \quad (\text{I-25})$$

علما أن مجموع النسب لكل مكونات حزمة الألياف البصرية يساوي الواحد.

$$\varphi_{\text{core}} + \varphi_{\text{fill}} + \varphi_{\text{clad}} = 1 \quad (\text{I-26})$$

حيث:

( $\varphi_{\text{fill}}$ ) نسبة مساحة المسامات في وجه حزمة الألياف البصرية و تعطى كالأتي [17]:

$$\varphi_{\text{fill}} = \frac{A_{\text{fill}}}{A_{\text{bundle}}} \quad (\text{I-27})$$

$A_{\text{fill}}$  مساحة المسامات المشغولة في وجه حزمة الألياف البصرية، و علاقتها كالتالي:

$$A_{\text{fill}} = A_{\text{bundle}} - (A_{\text{core}} + A_{\text{clad}}) \quad (\text{I-28})$$

و لحساب مسامية حزمة الألياف البصرية، يجب معرفة عدد الألياف البصرية ضمن حزمة الألياف البصرية و نصف قطر حزمة الألياف البصرية و نصف قطر قلب الليف البصري.

و يمكن إعادة كتابة المعادلة (I-25) كالتالي:

$$\varphi_{\text{pore}} = 1 - N \frac{\pi a^2}{\pi r_{\text{bundle}}^2} \quad (\text{I-29})$$

إن الإشعاع الساقط على وجه حزمة الألياف البصرية، يمر من خلال قلب الألياف عن طريق

الانعكاس الكلي الداخلي كما في الشكل (I-13)، و يتحرك بعد ذلك نسبيا بسهولة عبر حزمة الألياف البصرية عن طريق المسامات (الغلاف و المسامات) و ذلك بسبب قابلية المص العالية للغلاف و هذا ما يجعل مسامية وجه حزمة الألياف البصرية هامة لأنها تتعلق مباشرة بالانتقال الحراري على حزمة الألياف البصرية.



الشكل (I-13): مسار الإشعاع الساقط على وجه حزمة الألياف البصرية.

#### I-4-4-2 معامل المسامية للتجزيم السداسي: Porosity coefficient for Packing Hexagon

تعرف المسامية في هذا التجزيم على أنها نسبة مساحة الغلاف إلى المساحة الكلية لليف و علاقتها كالتالي:

$$\varphi_{\text{pore}} = \frac{A_{\text{clad}}}{A_{\text{clad}} + A_{\text{core}}} \quad (\text{I-30})$$

حيث:

$A_{\text{core}}$  مساحة قلب ليف وحيد سداسي له نصف القطر  $a$ ، و تعطى بالعلاقة [17]:

$$A_{\text{core}} = (2(a)^2 \sin(\pi/3))(1 + \cos(\pi/3)) \quad (\text{I-31})$$

$A_{\text{clad}}$  مساحة الغلاف المرتبط بليف واحد الذي له السمك  $(\frac{d}{2})$  بسبب ارتباط الغلاف بالألياف المجاورة، و علاقتها كالتالي [17]:

$$A_{\text{clad}} = 3. a. d \quad (\text{I-32})$$

5-I الضياعات : Losses

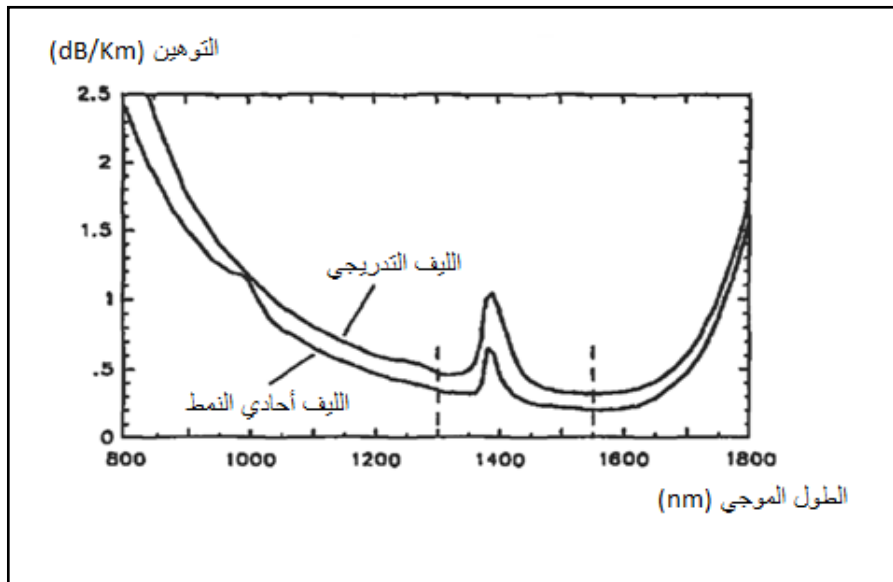
1-5-I على مستوى الليف البصري : At the level of optical fiber

1-1-5-I التوهين : Attenuation

التوهين عامل مهم جدا في التصميم الفعال البعيد المسافة لشبكات الألياف البصرية. و يعتبر في وسط ما، مثلا لسلك موصل أو ليف بصري واحداً من أهم العوامل التي تحد من فائدة الوسط في نقل الإشارة الكهربائية أو البصرية و أيضا المسافة القصوى للإرسال. و يعطى عادة خلال وسط ما بدلالة دالة لوغاريتمية وحدتها الديسيبل (dB)، يستخدم الديسيبل لمقارنة مستوى القدرة لموجة بصرية في موضعين، مثلا قدرة الإشارة الداخلة  $Q_{in}$  و قدرة الإشارة الخارجة  $Q_{out}$  بعد انتقالها طولاً معيناً  $L$  من الليف البصري. و يعرف في المعادلة التالية [18]:

$$\tau = (10/L) \cdot \log \frac{Q_{in}}{Q_{out}} \quad (I-33)$$

الضياع الكلي المثالي لليف بصري يكون في الأطوال الموجية الثلاث 800nm، 1300nm، 1550nm، كما هو موضح في الشكل (14-I).



الشكل (14-I): توهين الليف بدلالة الطول الموجي [18].

**I-5-1-2 امتصاص الضوء: Light absorption**

من المعروف أن جزءاً من شدة الضوء المنتقل في وسط ما يمتص من الوسط ذاته، و أن مقدار الامتصاص للوسط يعتمد على خصائص مادة الوسط و على طول الموجة المنتقلة عبره، كما تتحول القدرة الممتصة إلى حرارة في الوسط.

تصنف عادة خسارة الامتصاص في الوسط إلى نوعين: الأول خاص بمادة الليف البصري الزجاج مثلاً و يكون معامل امتصاص عنصر الزجاج النقي، صغيراً جداً في المدى الواقع بين الأشعة فوق البنفسجية و تلك الواقعة في مدى الأشعة تحت الحمراء. و النوع الثاني يعود إلى وجود الشوائب و الملوثات في مادة الليف البصري، منها أيونات الحديد و النحاس و الكروم الثلاثي التآين  $(Cu^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+})$ .

تعطى الخسارة بدلالة معامل الامتصاص لمادة قلب الليف البصري و الذي يعتمد على طول الموجة الساقطة عليه و النافذة خلاله و أيضاً على درجة حرارة الوسط.

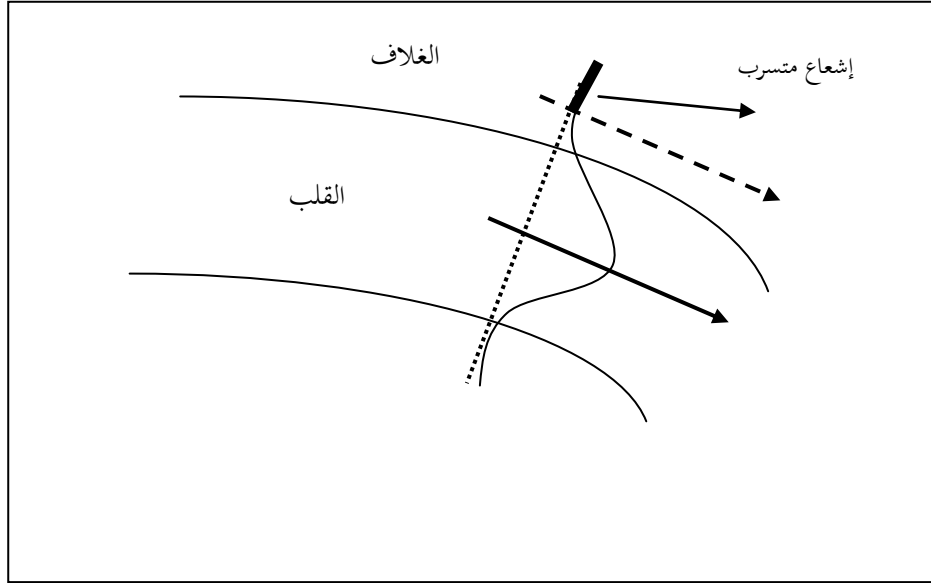
و كذا، يكون لوجود أيون الهيدروكسيل  $(OH^-)$  في عجينة مادة الليف البصري تأثير كبير على توهين الإشارة الضوئية في المدى المذكور، فمثلاً يسبب وجود جزء واحد فقط من مليون من هذا الأيون في الزجاج توهيناً للإشارة المنقولة بمقدار ثلاثين ديسيبل لكل كيلومتر عند طول الموجة  $1.39\mu m$ ، من جهة أخرى تسبب الانتقالات أو الانبعاث الطيفي بين مستويات الطاقة التذبذبية لشبكية المادة البلورية المصنع منها قلب الليف البصري أهم خسارة في مدى الأشعة تحت الحمراء (الأشعة ذات طول موجة أكبر من  $1.6\mu m$ ) [19].

**I-5-1-3 الانحناءات في الليف البصري: The Bends In Optical Fiber**

تتضمن الخسارة الناجمة عن الانحناء الذي قد يصيب جزءاً من طول الليف البصري، خسارة في إشعاع جزء من الطاقة خارجاً عند موضع الانحناء أو التكور في قطعة الليف البصري أو قلبه. تزداد هذه الخسارة كلما ازداد الانحناء أو التكور، لذا يجب أن لا ينثني الليف البصري أو ينحني بتكور شديد نصف قطره يقارن بنصف قطر الليف البصري ذاته، عند موضع الانحناء يلزم جزء من نمط التذبذب عند الجهة الخارجية من الانحناء لأن يتحرك بسرعة أكبر من تلك الواقعة في الجهة الداخلية من الانحناء و في الوسط ذاته لكي تبقى جبهة الموجة العمودية على اتجاه الانتقال

محافظة على شكلها، هذا يعني أن جزءاً من نمط التذبذب في الغلاف يجب أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء في الوسط نفسه و هذا غير ممكن، لذا فإنّ الطاقة المرافقة لهذا الجزء من نمط التذبذب ستفقد على شكل إشعاع [19].

يوضح الشكل (15-I) اعتماد مقدار التوهين الخاص بالانحناء في ليف بصري معين على نصف قطر التكور للانحناء.

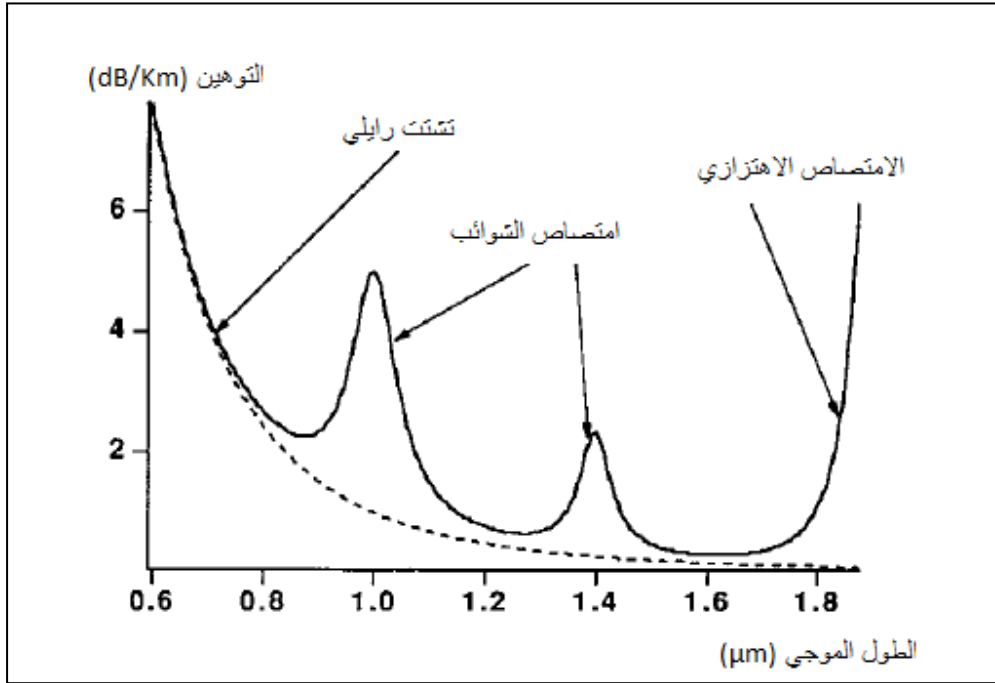


الشكل (15-I): توضيح لميكانيكية خسارة الإشعاع في ليف بصري عند الانحناء [19].

#### 4-1-5-I التشتت في الليف البصري: The Dispersion In Optical Fiber

إن هذه الخسارة ناجمة عن تشتت القدرة البصرية في قلب الليف البصري، فمثلاً قد تكون عجينة الزجاج المصنع منها قلب الليف البصري غير متجانسة في الكثافة أو في تركيز مكوناتها كذلك قد لا يكون مقطع قلب الليف البصري منتظماً أو أن تصنيعه تضمن احتواءه على فقاعات هوائية صغيرة أو متناهية في الصغر (مجهرية) تغلغت إلى داخل قلب الليف أو عند الحد البيني الفاصل بين قلبه و غلافه، كل هذه العوامل يمكن أن تؤدي إلى أن يكون لمعامل انكسار الوسط قيماً عشوائية غير متجانسة، إن مراكز عدم الانتظام هذه تمثل مراكز تشويه للإشارة و سبباً في هروبها خارج الليف البصري.

أهم نوع لهذا التشتت هو تشتت رايلي وهو التشتت الذي يهيمن على ميكانيكية الخسارة لوسط ما في مدى الأطوال الموجية الواقعة بين نهاية مدى الأشعة فوق البنفسجية و حتى بداية مدى الأشعة تحت الحمراء حيث تكون خسارة الامتصاص صغيرة. و الشكل (I-16) يوضح ذلك.



الشكل (I-16): خصائص التوهين لليف مثالي: مخطط يوضح عرض

الآليات المهمة لتوهين الليف [20]

### I-5-1-5 انعكاس فرينيل: Fresnel reflection

عند سقوط الضوء على لوح زجاجي فان جزء من الطاقة سينعكس عنه، يدعى هذا الانعكاس "بانعكاس فرينيل" ومقدار الانعكاسية ( $R_f$ ) يعطى وفق المعادلة الآتية [21]:

$$R_f = \left( \frac{n_i - n_0}{n_i + n_0} \right)^2 \quad (I-34)$$

فإذا فرضنا بأن الضوء يسقط من الهواء  $n_0 = 1$  إلى الزجاج الذي معامل انكساره ( $n_i$ ) يساوي 1.65، فإن مقدار الطاقة الضوئية التي تنعكس عند الحد البيني الفاصل بين الهواء والزجاج وترتد إلى الهواء، تساوي 5.6% من الطاقة الساقطة.

At the level of the cable : **2-5-I** على مستوى الكابل:

**1-2-5-I** الخسارة في التعبئة: Loss in the packing

المقصود بعملية التعبئة هي جمع الألياف البصرية في حزمة و تغطيتها بطبقة أو أكثر من الكسوة الأخيرة، يوضح الشكل (17-I) تصاميم نموذجية لاحتمالية الترتيب الذي يمكن أن تتخذه عملية تعبئة ألياف بصرية متماثلة. إن طاقة الضوء الساقطة عند مدخل ليف بصري و التي تعبر خلاله هي فقط تلك التي تسقط على مساحة المقطع لقلب الليف و تحدد هذه عادة بنسبة معينة تدعى نسبة التعبئة ( $\phi_{pf}$ )، تعتمد أيضا هذه النسبة على التشكيلة الهندسية لتعبئة الألياف البصرية. لتشكيلات هندسية مختلفة تكون هذه النسبة كالآتي [19]:

لتشكيلة مضلعة: الجزء (أ) من الشكل (17-I)

$$\phi_{pf} = \left(\frac{2.a}{a_2}\right)^2 \quad (I-35)$$

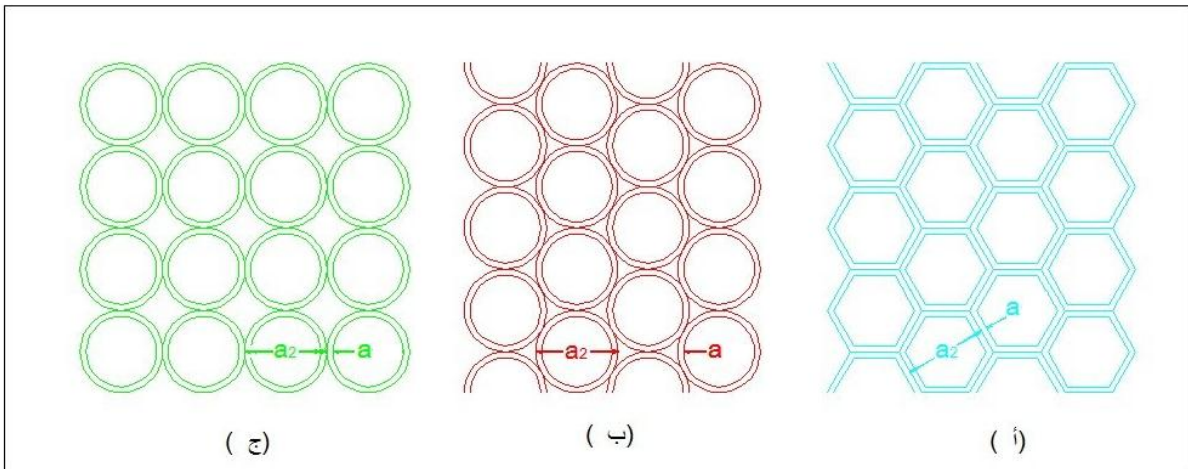
لتشكيلة مثلثة: الجزء (ب) من الشكل (17-I)

$$\phi_{pf} = \frac{\pi}{2/\sqrt{3}} \left(\frac{2.a}{a_2}\right)^2 \quad (I-36)$$

لتشكيلة مربعة: الجزء (ج) من الشكل (17-I)

$$\phi_{pf} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2.a}{a_2}\right)^2 \quad (I-37)$$

حيث:  $a_2$  قطر ليف بصري.



الشكل (17-I): تشكيلات هندسية مختلفة لتعبئة الألياف البصرية

(أ) التشكيلة المضلعة؛ (ب) التشكيلة المثلثة؛ (ج) التشكيلة المربعة [19].



تستخدم مثل هذه التعبئة في حزم الألياف البصرية المستخدمة لنقل الصورة. من جهة أخرى قد تضيف عملية تعبئة الألياف البصرية الانحناءات عشوائية على محور الليف البصري مسببة بذلك خسارة إضافية أخرى. تنتج هذه الانحناءات عن قوى سحب أو ضغط صغيرة جدا تعمل باتجاه عرضي على محور الليف البصري محدثة فيه الانحناءات عشوائية، و على مقياس صغير جدا (مجهرى) تدعى بالانحناءات المجهرية تؤثر على الترتيب الهندسي لليف البصري و تسبب تشتتا و خسارة تدعى بخسارة الانحناءات المجهرية.

## I-6 محاسن و مساوى الألياف البصرية: Advantages and Disadvantages of fiber optic

### I-6-1 Advantages : المحاسن

- صغر حجمها، و قطرها و وزنها و توفرها بأطوال كافية للتطبيقات المختلفة.
- كونها تتألف من مواد عازلة ، فيفضل استخدامها في الأوساط الموصلة و المفعممة بالمجالات المختلفة، كذلك يجتنب استخدامها في المخاطر التي قد تنشئ عن الرجحات أو الصعقات الكهربائية.
- قابلية الانثناء عالية لذا يمكن أن تنحني بسهولة فمثلا يمكن ثني إحدى النهايتين و بجميع الاتجاهات.
- يمكن أن تنقل مدى جيد من طول الموجة الكهرومغناطيسية و بخسارة نقل ضئيلة.
- يمكن أن تنقل الصورة بنوعية جيدة أي بتحليل جيد و بالألوان.
- تؤمن قابلية و سعة نقل كبيرة جدا للمعلومات مقارنة بطرق الاتصالات التقليدية.
- غلاف الحماية للكابل يكمل مهامه بطريقة جيدة و هذا الأخير يجعل وسيلة الاتصال أكثر سرعة و صلابة.

### I-6-2 Disadvantages : المساوى

هناك مشكلين كبيرين في الألياف البصرية لا يمكن حلها و إنما يمكن تخفيضهما [22].  
**أولا:** التوهين الذي يسبب انخفاض للإشارة الضوئية بسبب سلوك الموجة المرسله عدة مسارات ينتج عنها عدد من الموجات ذات الأطوار المختلفة و بتداخل هذه الموجات يحدث إضعاف لمستوى الموجة.

ثانيا: تشتت الأمواج، إذ تمر الموجة بتعرجات داخل قلب الليف و تواصل طريقها إذ تبتعد عن الموجة المارة في الخط المستقيم و بالتالي تتأخر عنها و هذا ما يجعل الأمواج تتشتت.

### **I-7 تطبيقات الألياف البصرية: The Optical Fibers Applications**

فضلا عن الاستخدام الواسع و الاهتمام المثير لأجهزة الألياف البصرية في مجال الاتصالات، فقد أثبتت أهميتها أيضا في مجالات أخرى منها التطبيقات الصناعية، كذلك وجدت حزم الألياف البصرية الخاصة بالتصوير مكانتها في كثير من التقنيات الحديثة لنقل الصورة.

فيما يأتي أمثلة موجزة عن استخدامات الألياف البصرية في بعض المجالات:

#### **I-7-1 الألياف البصرية في التصوير The Fiber optic in imaging**

بإمكان حزمة من الألياف البصرية الخاصة بنقل الصورة أن تعطي صورة ذات نوعية جيدة و بالألوان، لذا أصبح استخدامها مهما في مجالات مختلفة و منها النواظير البصرية، الهاتف الحامل للصور، الإرسال الصوري التلفزيوني،... الخ [19].

#### **I-7-2 أجهزة الألياف البصرية للاتصالات: Optical fiber communications**

يعد استخدام أجهزة الألياف البصرية من أنسب الحلول لمتطلبات التطبيقات الصناعية، حيث تمنح هذه الأجهزة للاتصالات سيطرة و تحكم يمكن الاعتماد عليها في مجال الصناعة.

من المعروف أن البيئة الصناعية مفعمة بالمجالات و النبضات الكهرومغناطيسية و تداخلاتها و هي ناتجة عن تشغيل المكائن المختلفة، تشكل هذه الأجواء عقبات لأجهزة الاتصالات عبر شبكة الكابلات السلكية المعدنية في حين توفر كابلات الألياف البصرية حلا مناسباً، كذلك توفر هذه الأجهزة للاتصالات حلا أفضل، من حيث السلامة الصناعية من أجهزة الاتصالات التقليدية في البيئة الصناعية المعرضة للإنفجارات أو ذات الأجواء المفعمة بالغازات و الأبخرة المؤكسدة، مثلا مصانع المواد الكيماوية أو تصفية البترول [19].

#### **I-7-3 الطب: Medicine**

تستعمل الألياف البصرية خاصة في الجراحة بحزمة الليزر الذي يسمح ب: تكسير الأحجار الموجودة في الكلى، تقسيم ورم، تصلح شبكية العين.

و يستعمل في التصوير المنظاري، للإضاءة داخل الجسم و إرسال الصور إلى الطبيب.

#### **I-7-4 نقل الضوء و الإشعاع الشمسي: Light transport and solar radiation**

يستعمل الضوء في التطبيقات التقليدية (الإنارة،.....) و التطبيقات المتجددة (نقل حزمة ليزر)

خصوصا الليزر الصناعي (YAG) لنتائجه الحسنة و قيمته العالية [9].

نقل الإشعاع الشمسي عبر كابلات الألياف البصرية إلى الأماكن الداخلية غير المظلة على الشمس

بشكل مباشر، و من أهم ما يميز الإنارة النهارية الطبيعية هي زيادة الإنتاجية لرواد المبنى.

## الخاتمة:

بعد التطرق للمبادئ الأساسية لانتشار الضوء، و التعرف على مكونات الليف البصري و أنواعه و مختلف أنواع تخزيم الألياف البصرية في كابلات و كذا أنواع الكابلات و الضياع الحاصل على مستوى الليف و كذا على مستوى كابل الألياف البصرية الذي يؤثر من ناحية الفعالية و تسخين الكابل الذي قد يؤدي إلى تلفه.

وعلى هذا الأساس سنتطرق في الفصل القادم إلى دراسة كابل الألياف البصرية دراسة نظرية.

# الفصل الثاني

دراسة نظرية للألياف البصرية

مقدمة:

إن فكرة نقل الإشعاع الشمسي المركز بواسطة الألياف البصرية طرحت خيارات واعدة في العديد من المجالات مثل: الإضاءة الشمسية، توليد الطاقة الشمسية، الجراحة الشمسية، توليد الهيدروجين و ليزر الضخ الشمسي، هذا الإشعاع الشمسي يتطلب تركيزه أولاً قبل نقله باستعمال المركز الشمسي. في هذه الدراسة نستعمل مركز القطع المكافئ الشمسي الذي ينتج كثافة إشعاع عالية على بؤرته، هذا المركز يجب أن يدمج مع حزمة الألياف البصرية بشكل صحيح لنقل الإشعاع الشمسي بالكامل و بشكل فعال [2].

سوف نقوم في هذا الفصل بالتطرق إلى أهم الظواهر الحاصلة في النموذج المدروس و كذا النموذج الرياضي المستند عليه في هذه الدراسة.

**II-1 الإشعاع الشمسي المركز:**

**II-1-1 الإشعاع الشمسي الواصل لفتحة المركز:**

إن التدفق الشمسي الكلي  $G_b$  الذي يصل إلى سطح مركز القطع المكافئ الشمسي و الموضح في الشكل (II-1) هو:

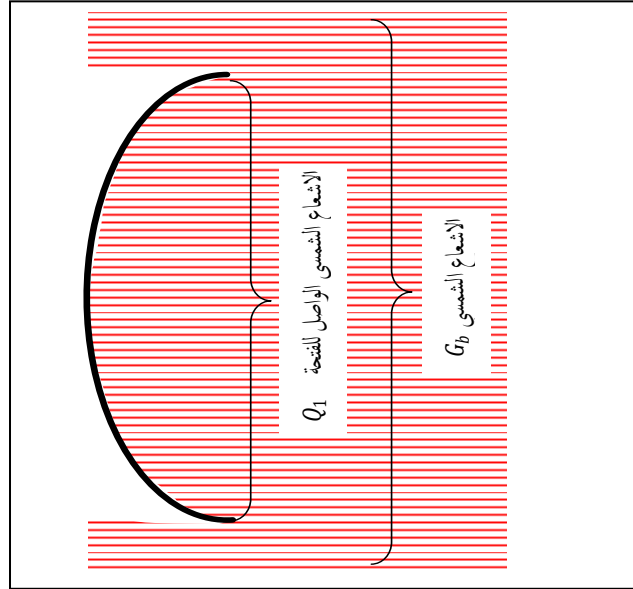
$$Q_1 = G_b \cdot A_a \quad (II-1)$$

حيث:

$A_a$  مساحة فتحة مركز القطع المكافئ الشمسي و يعطى بـ:

$$A_a = \pi \cdot (D_a^2/4) \quad (II-2)$$

$D_a$  يمثل قطر المركز الشمسي.



الشكل (1-II): الإشعاع الشمسي الواصل للسطح العاكس.

## 2-1-II الإشعاع الشمسي الواصل للبوّرة:

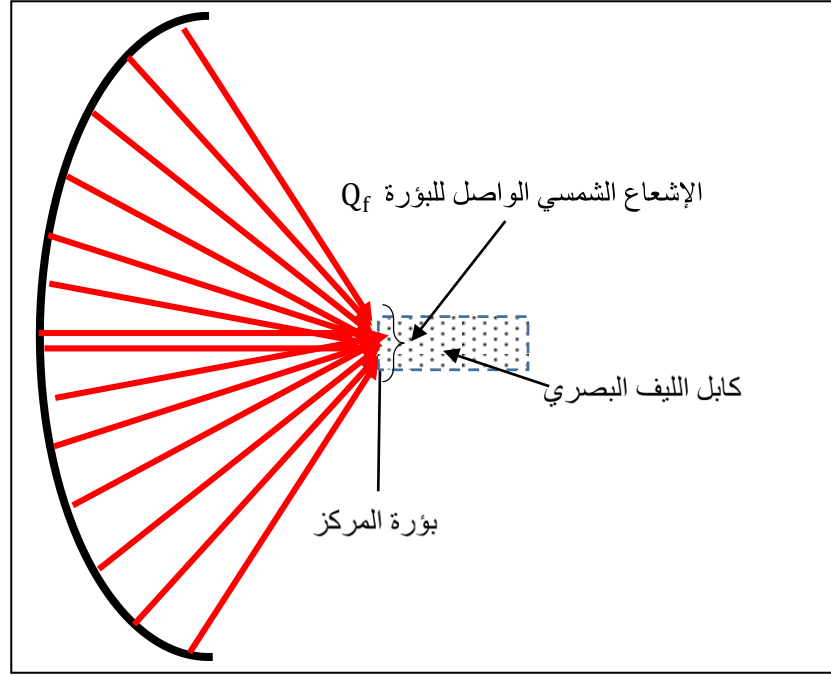
ينعكس جزء من التدفق الشمسي  $Q_1$  الواصل للمرآة بفعل انعكاسية المرآة فيكون مقدار التدفق الشمسي  $Q_2 = \rho \cdot G_b \cdot A_a$  ثم يخفض هذا التدفق بمعامل الملاحظة  $F$  (ملاحظة المستقبل للمرآة القطعية وهو يتعلق ب  $\theta_{max}$ . و يعبر عن نسبة الإشعاع الشمسي المنعكس على المرآة إلى الإشعاع الشمسي الساقط على الحزمة). فيصبح  $Q_3 = F \cdot \rho \cdot G_b \cdot A_a$  و عليه فان شدة الإشعاع الشمسي الواصل للبوّرة يكون:  $I = \frac{Q_3}{A_{bundle}} = F \cdot \rho \cdot G_b \frac{A_a}{A_{bundle}}$  و منه تدفق الإشعاع الشمسي الواصل للبوّرة يصبح  $Q_f$  كما هو موضح في الشكل (2-II).

$$Q_f = F \cdot \rho \cdot G_b \cdot A_{bundle} \cdot C_{max} \quad (II-3)$$

حيث:

$$C_{max} = \frac{A_a}{A_{bundle}}$$

$\theta_{max}$  زاوية قبول الإشعاع الوارد إلى فتحة كابل الألياف البصرية.



الشكل (2-II): الإشعاع الشمسي الواصل لبؤرة المركز.

حيث:

$\rho$  انعكاسية السطح العاكس.

$F$  معامل المشاهدة (مشاهدة المستقبل للمرآة القطعية) و تعطى عبارته كالتالي [23]:

$$F = \frac{\sin^2 \theta_{\max} - \sin^2 \phi_s}{4 \tan^2 \left( \frac{\theta_{\max}}{2} \right)} \quad (\text{II-4})$$

$c_{\max}$  التركيز الهندسي و عبارته [24]:

$$C_{\max} = \frac{A_a}{A_{\text{bundle}}} = \frac{\sin^2 \theta_{\max} \cos^2 \left( \theta_{\max} + 0.267^\circ + \frac{\delta}{2} \right)}{\sin^2 \left( 0.267^\circ + \frac{\delta}{2} \right)} \quad (\text{II-5})$$

حيث:

$\phi_s$  زاوية التظليل (بسبب حجم المستقبل).

$\frac{\delta}{2}$  الخطأ في قياس زاوية الانحراف للسطح العاكس.

$0.267^\circ$  نصف زاوية مخروط ورود شعاع الإشعاع الشمسي.

في هذه الدراسة نعتبر أن المركز القطعي (المرآة) مثالية  $\frac{\delta}{2} = 0$  و أيضا نعتبر زاوية التظليل  $\phi_s = 0$ .

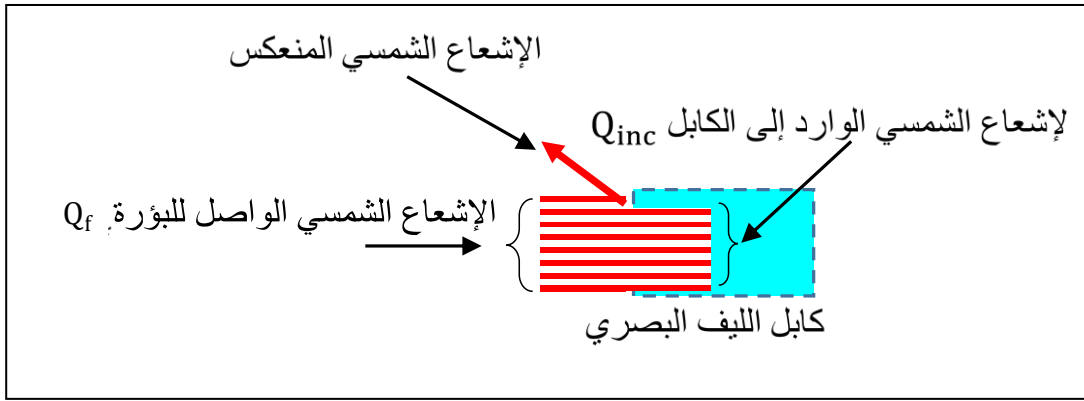


### 3-1-II الإشعاع الشمسي الوارد إلى الكابل:

إن الإشعاع الشمسي القادم من البؤرة يحدث له انعكاس جزئي يسمى بانعكاس فرينل  $R_f$

المعرف في المعادلة (I-34). و عليه فان الإشعاع الشمسي الوارد إلى الكابل  $Q_{inc}$  و الموضح في الشكل (3-II):

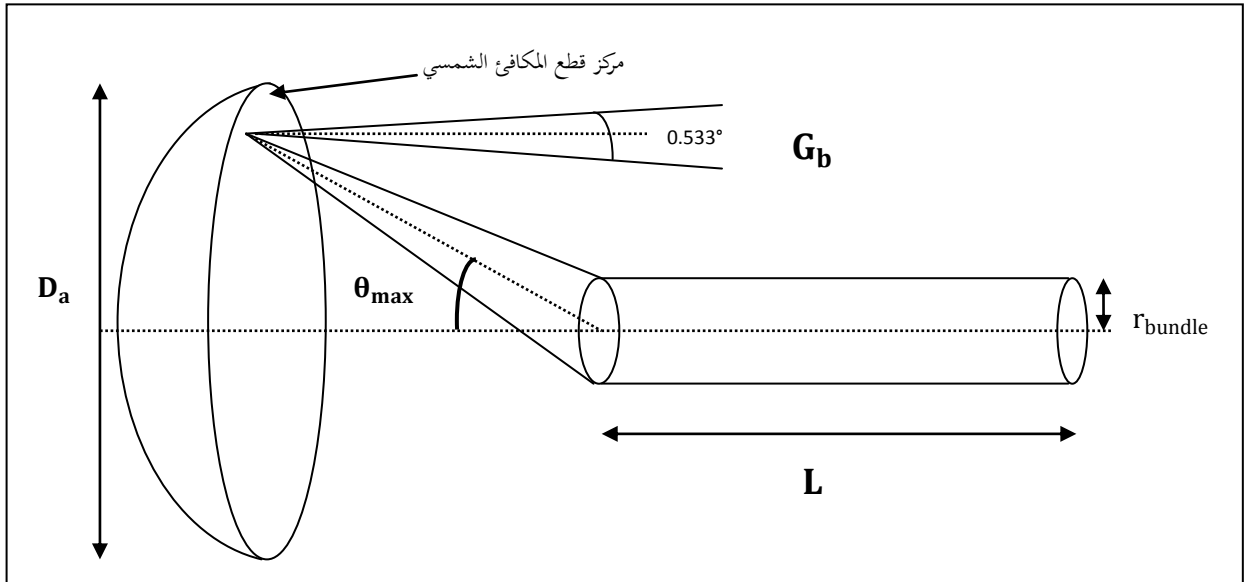
$$Q_{inc} = F \cdot \rho \cdot G_b \cdot A_{bundle} \cdot c_{max} \cdot (1 - R_f) \quad (II-6)$$



الشكل (3-II): الإشعاع الضائع بالانعكاس و الإشعاع الوارد إلى الكابل.

### 2-II وصف نموذج الدراسة:

يوضح الشكل (4-II) النموذج المقترح في الدراسة.

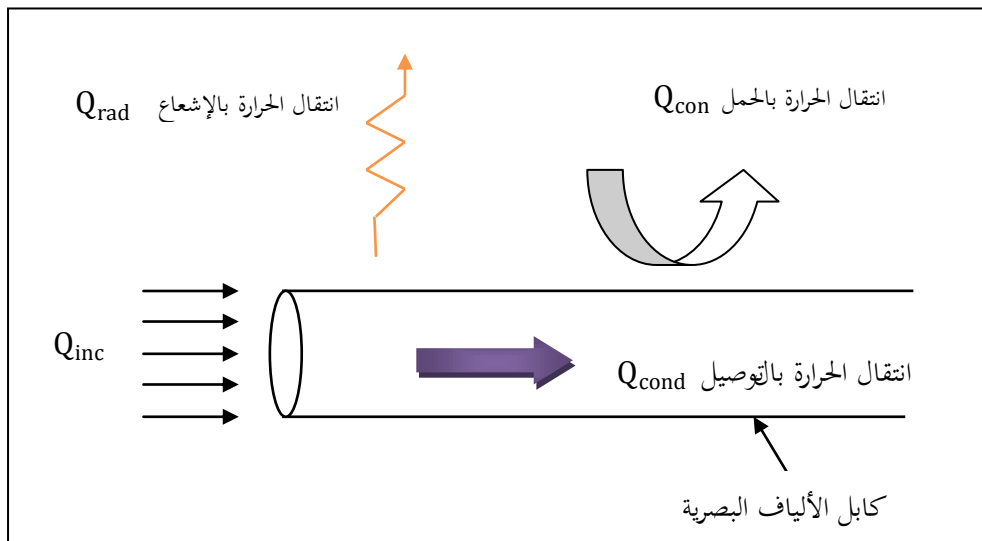


الشكل (4-II): التزاوج بين مركز قطع المكافئ الشمسي و كابل الألياف البصرية.

## 1-2-II الفرضيات:

- ✓ نأخذ بعين الاعتبار في دراستنا الفرضيات التالية:
- ✓ تغير درجة الحرارة على طول الليف فقط.
- ✓ الضياع بالحمل الحراري على سطح المقطع الأمامي و الخلفي للكابل.
- ✓ الدراسة مقتصرة على الأطوال الموجية في المجال المرئي.
- ✓ تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن مهمل.
- ✓ نعتبر أن الكابل متكون من مجموعة ألياف بصرية متجانسة.
- ✓ أنظمة نقل الطاقة عن طريق الألياف البصرية لا تخزن طاقة.
- ✓ ضياع الطاقة من مجمع القطع المكافئ الشمسي مهمل.
- ✓ الإشعاع الشمسي يكون موضوع في الاتجاه العمودي على فتحة مجمع القطع المكافئ الشمسي.
- ✓ انعكاسية مادة مجمع القطع المكافئ الشمسي عالية.
- ✓ خطأ تعقب الشمس معدوم.

## 2-2-II نموذج الكابل:



الشكل (II-5): توضيح لأهم الظواهر الحاصلة في النموذج.

**II-3 أهم الظواهر الحادثة في النموذج:****II-3-1 ظاهرة انتقال الإشعاع الشمسي المركز:**

عند دخول الإشعاع الشمسي المركز إلى الكابل ينتقل هذا الإشعاع عبر قلب الألياف البصرية عن طريق ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليواصل طريقه ليعطي إشعاع في نهاية الكابل.

**II-3-2 الضياع و ظاهرة التسخين:****II-3-2-1 بفعل الامتصاص على مستوى غلاف الألياف البصرية:**

عند مرور الإشعاع الشمسي المركز في كابل الألياف البصرية، ينكسر جزء منه داخل الغلاف و هذا بسبب حدوث ظاهرة الانعكاس الداخلي الجزئي، و عليه يكون هناك ضياع جزء من الإشعاع الشمسي المركز داخل الغلاف.

**II-3-2-2 بفعل المسامات بين الألياف البصرية:**

جزء كبير من الإشعاع الشمسي المركز الداخل للكابل يمر عبر الألياف البصرية ليعطي في نهاية الكابل إشعاع، و جزء يضيع في المسامات الموجودة بين الألياف البصرية و هذا الضياع يعمل على تسخين كابل الألياف البصرية.

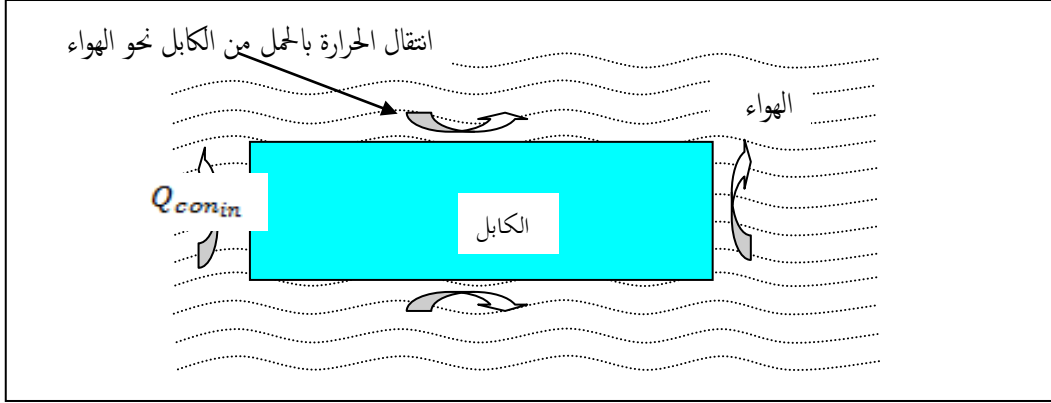
**II-4 ظواهر النقل الحراري:**

تنتقل الطاقة من المناطق ذات درجات الحرارة العالية إلى المناطق ذات الدرجات المنخفضة و ذلك عند وجود فارق في درجات الحرارة. و يطلق على الطاقة المنتقلة نتيجة فرق درجات الحرارة من وجهة نظر الديناميكا الحرارية اسم الحرارة [25].

و تنتقل الحرارة في كابل الألياف البصرية بالطرق الثلاث، التوصيل و الحمل و الإشعاع.

**II-4-1 انتقال الحرارة بالحمل:**

انتقال الحرارة بالحمل يتم بين سطح جامد و مائع متحرك ملاصق له و مختلفين في درجة الحرارة. هذه الشروط متوفرة في نموذجنا و لذلك يحدث انتقال الحرارة بين الهواء و السطح الجانبي و سطح المقطع الأمامي و الخلفي للكابل بفضل انتقال الحرارة بالحمل كما يوضح الشكل (II-6).



الشكل (II-6): الانتقالات الحرارية بفضل الحمل الطبيعي.

تعطى عبارة شدة التدفق الحراري في وحدة السطح [26]:

$$\varphi_{con} = h_{con} \cdot \Delta T \quad (II-7)$$

حيث:

$\Delta T$  الفرق بين درجة حرارة الكابل و الهواء المحيط.

$h_{con}$  معامل نقل الحرارة بالحمل الحراري و تتعلق قيمته بالشكل الهندسي للسطح و نوع الحمل، حر أو قسري، و شكل السريان، رقائقي أو مضطرب، و يعبر عن كل هذه العوامل من خلال الأرقام اللابعدية.

انتقال الحرارة بالحمل بين سطح المقطع الأمامي للكابل و الهواء تعطى:

$$Q_{con-in} = h_{con-in} \cdot A_{in} \cdot (T_{in} - T_a) \quad (II-8)$$

انتقال الحرارة بالحمل بين سطح المقطع الخلفي للكابل و الهواء تعطى:

$$Q_{con-out} = h_{con-out} \cdot A_{out} \cdot (T_{out} - T_a) \quad (II-9)$$

بما أن درجة حرارة سطح المقطع الخلفي للكابل  $T_{out}$  مساوية لدرجة حرارة الهواء المحيط بالكابل  $T_a$  و عليه فإن انتقال الحرارة بالحمل بين سطح المقطع الخلفي للكابل و الهواء، معدوم.

$$A_{in} = A_{out} = A_{bundle} = \pi \cdot r_{bundle}^2 \quad (II-10)$$

انتقال الحرارة بالحمل بين السطح الجانبي للكابل و الهواء تعطى:

$$Q_{con-sid} = h_{con-sid} \cdot A_{sid} \cdot (T_{sid} - T_a) \quad (II-11)$$

$$A_{sid} = 2\pi \cdot r_{bundle} \cdot L \quad (II-12)$$

حيث:

$h_{con-in}$ ،  $h_{con-out}$ ،  $h_{con-sid}$  معاملات انتقال الحرارة بالحمل الحراري لسطح المقطع الأمامي و المقطع الخلفي و السطح الجانبي على التوالي.

$A_{in}$ ،  $A_{out}$ ،  $A_{sid}$  مساحة سطح المقطع الأمامي و المقطع الخلفي و السطح الجانبي على التوالي.  
 $T_{in}$ ،  $T_{out}$ ،  $T_{sid}$  درجة حرارة سطح المقطع الأمامي و المقطع الخلفي و السطح الجانبي على التوالي.

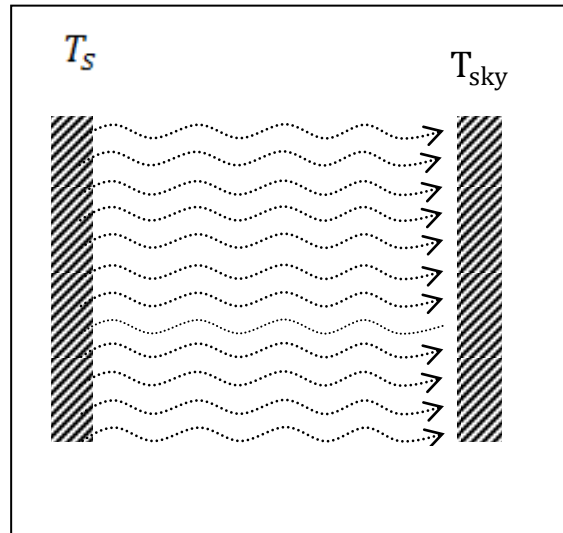
## II-4-2 انتقال الحرارة بالإشعاع:

تنتقل الحرارة بالإشعاع بين كل سطحين مختلفين في درجة الحرارة بصرف وجود وسط مادي بينهما أو عدم وجوده. في نموذجنا هذا سيكون انتقال الحرارة بالإشعاع بين سطح الكابل و السماء، حيث تكون شدة تدفق الإشعاع الحراري من السطح الجانبي إلى السطح الثاني (السماء) كما هو موضح في الشكل (7-II).

$$\varphi_{rad} = h_{rad} \cdot (T_{sid} - T_{sky}) \quad (II-13)$$

علما أن  $h_{rad}$  يعبر عن معامل انتقال الحرارة بالإشعاع و تعطى علاقته كالتالي [26]:

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma (T_{sid} + T_{sky}) (T_{sid}^2 + T_{sky}^2) \quad (II-14)$$



الشكل (7-II): توضيح لانتقال الحرارة بالإشعاع.

حيث:

$\epsilon$  إنبعائية السطح.

$\sigma$  ثابت ستيفان بولتزمان.

$T_{sky}$  درجة حرارة السماء.

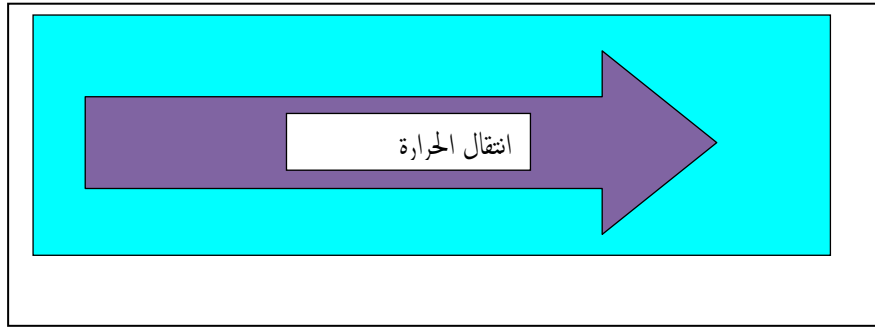
### II-4-3 انتقال الحرارة بالتوصيل:

تنتقل الحرارة بالتوصيل داخل المواد الصلبة التي تختلف درجة حرارة قشرتها الخارجية عن الداخلية  $(\Delta T)$ ، حيث يتجه التيار الحراري نحو تناقص درجة الحرارة كما هو موضح في الشكل (II-8) و تكون شدة التدفق الحراري في وحدة السطح [26].

$$\varphi_{cond} = h_{cond} \cdot \Delta T \quad (II-15)$$

حيث:

$h_{cond}$  معامل انتقال الحرارة بالتوصيل، و تتعلق عبارته بالتوصيل الحراري للمادة  $K_{eff}$  و كذا بالشكل الهندسي للقشرة، مستوية أو اسطوانية أو كروية.  $\Delta T$  الفرق بين درجة الحرارة العليا و الدنيا للكابل.



الشكل (II-8): توضيح لانتقال الحرارة بالتوصيل.

و تعطى عبارة  $h_{cond}$  كالتالي:

$$h_{cond} = \frac{K_{eff}}{L} \quad (II-16)$$

و عبارة  $K_{eff}$  كالتالي [17]:

$$K_{eff} = \varphi_{core} K_{core} + \varphi_{fill} K_{fill} + \varphi_{clad} K_{clad} \quad (II-17)$$

حيث:

$K_{core}$ : معامل التوصيل الحراري لقلب الليف.

$K_{fill}$ : معامل التوصيل الحراري لمادة المسامات.

$K_{clad}$ : معامل التوصيل الحراري لغلاف الليف.

## II-5 النموذج الرياضي:

### II-5-1 المعادلة التفاضلية لدرجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية:

لدينا المعادلة الحاكمة لميزان الطاقة في حزمة الألياف البصرية كالتالي:

$$Q_x = Q_{x+dx} + Q_{con} \quad (II-18)$$

باستعمال نشر تايلور:

$$Q_x = Q_x + \frac{dQ_x}{dx} dx + Q_{con} \quad (II-19)$$

أو

$$\frac{dQ_x}{dx} dx + Q_{con} = 0 \quad (II-20)$$

حيث:

$Q_x$  انتقال الحرارة بالتوصيل ( $Q_{cond}$ ) تعطى:

$$Q_x = -K_{eff} \pi r_{bundle}^2 \frac{dT}{dX} \quad (II-21)$$

بتعويض  $Q_x$  و  $Q_{con}$  في المعادلة (II-20) نجد:

$$\frac{d(-K_{eff} \pi r_{bundle}^2 \frac{dT}{dX})}{dX} dX + 2\pi r_{bundle} h_{con} dX(T - T_a) = 0 \quad (II-22)$$

بتبسيط العلاقة الأخيرة نجد:

$$\frac{d^2T}{dX^2} - m^2 T = -m^2 T_a \quad (II-23)$$

حيث:

$$m^2 = \frac{2h_{con}}{r_{bundle} \cdot K_{eff}}$$

## II-5-2 حل المعادلة التفاضلية:

المعادلة (II-23) لها الحل بالشكل التالي:

$$T(X) = C_1 \exp(mX) + C_2 \exp(-mX) + T_a \quad (II-24)$$

الشروط الحدية:

الشرط الأول عند  $X = 0$ ، التدفق الوارد على مادة المسامات يؤدي إلى حمل حراري، لذا تدفق الحرارة الساقط مضروب بالمسامية ( $\phi_{\text{pore}}$ ).

التدفق الممتص يكون منقولاً بالتوصيل في الحزمة أو بالحمل إلى الهواء في سطح المقطع الأمامي [17].

$$Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} = -K_{\text{eff}} \left. \frac{dT}{dX} \right|_{X=0} + h_{\text{con-in}} (T_{X=0} - T_a) \quad (II-25)$$

حيث:

$T$  تدرج درجة الحرارة على طول الكابل.

بتعويض المعادلة (II-24) في المعادلة الأخيرة نجد:

$$Q_{\text{inc}} \phi_{\text{pore}} = -K_{\text{eff}} \left. \frac{d(C_1 \exp(mX) + C_2 \exp(-mX) + T_a)}{dX} \right|_{X=0} +$$

$$h_{\text{con-in}} ((C_1 \exp(mX) + C_2 \exp(-mX) + T_a)_{X=0} - T_a) \quad (II-26)$$

و بتبسيط العبارة الأخيرة نحصل على:

$$Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} = -K_{\text{eff}} (C_1 m - C_2 m) + h_{\text{con-in}} (C_1 + C_2) \quad (II-27)$$

و منه:

$$Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} = C_1 (-K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) + C_2 (K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) \quad (II-28)$$

الشرط الثاني:  $X = L$

$$T_{X=L} = T_L = T_a \quad (II-29)$$

$$T_L = C_1 \exp(mL) + C_2 \exp(-mL) + T_a \quad (II-30)$$



و منه:

$$C_1 \exp(mL) + C_2 \exp(-mL) = 0 \quad (\text{II-31})$$

و عليه فان:

$$C_1 = -C_2 \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} \quad (\text{II-32})$$

نعوض  $C_1$  في المعادلة (II-28) نجد:

$$Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} = -C_2 \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} (-K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) + C_2 (K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) \quad (\text{II-33})$$

$$Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} = C_2 \left( \frac{-\exp(-mL)}{\exp(mL)} (-K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) + (K_{\text{eff}} m + h_{\text{con-in}}) \right) \quad (\text{II-34})$$

$$C_2 = \frac{Q_{\text{inc}} \phi_{\text{pore}}}{\left( K_{\text{eff}} m \left( \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} + 1 \right) + h_{\text{con-in}} \left( 1 - \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} \right) \right)} \quad (\text{II-35})$$

نعوض قيمة  $C_1$  في المعادلة (II-24) نجد:

$$T(X) = -C_2 \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} \exp(mX) + C_2 \exp(-mX) + T_a \quad (\text{II-36})$$

نعوض قيمة  $C_2$  من المعادلة (II-35) في المعادلة الأخيرة، نحصل على علاقة درجة الحرارة على طول

كابل الألياف البصرية كالتالي:

$$T(X) = \frac{Q_{\text{inc}} \cdot \phi_{\text{pore}} \left( \frac{-\exp(-mL)}{\exp(mL)} \exp(mX) + \exp(-mX) \right)}{\left( K_{\text{eff}} m \left( \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} + 1 \right) + h_{\text{con-in}} \left( 1 - \frac{\exp(-mL)}{\exp(mL)} \right) \right)} + T_a \quad (\text{II-37})$$

## II-6 العوامل المؤثرة على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية:

تتأثر درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بعدة عوامل نذكر منها:

### II-6-1 الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل:

الإشعاع الشمسي الوارد إلى كابل الألياف البصرية و المعرف في المعادلة (II-6) يتعرض لفقد آخر و المتمثل في الضياع عبر المسامات. و عليه فإن الإشعاع الشمسي الداخل إلى الكابل تصبح علاقته كالتالي:

$$Q_{in} = \rho \cdot A_a \cdot G_b \cdot F \cdot C_{max} \cdot (1 - R_f) \cdot \phi_{pf} \quad (II-38)$$

بتعويض عبارة  $R_f$  المعرفة في العلاقة (I-34) في المعادلة الأخيرة نحصل على:

$$Q_{in} = \rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot F \cdot C_{max} \cdot (1 - ((n_1 - 1)/(n_1 + 1))^2) \cdot \phi_{pf} \quad (II-39)$$

درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تتعلق بالإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل ( $Q_{in}$ ) بالعلاقة التالية [27]:

$$Q_{in} = Q_f - h_{con-in} \cdot A_{bundle} \cdot (T_{in} - T_a) \quad (II-40)$$

بتبسيط العلاقة (II-40) نجد علاقة درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية كدالة للإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى كابل الألياف البصرية كالتالي:

$$T_{in} = T_a + \frac{(Q_f - Q_{in})}{h_{con-in} \cdot A_{bundle}} \quad (II-41)$$

### II-6-2 قرينة الانكسار:

تتعلق درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بقرينة انكسار القلب من خلال العلاقة التي تربط بينهما.

بتعويض العلاقة (II-39) في العلاقة (II-41)، نجد العلاقة التي تربط درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بقرينة انكسار القلب كالتالي:

$$T_{in} = T_a + \frac{(Q_f - \rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot C_{max} \cdot F \cdot \phi_{pf} \cdot (1 - ((n_1 - 1)/(n_1 + 1))^2))}{h_{con-in} \cdot A_{bundle}} \quad (II-42)$$

### II-6-3 الطول الموجي للإشعاع الشمسي:

الأطوال الموجية للإشعاع الشمسي التي تصل إلى الليف البصري تتعلق بقرينة انكسار القلب بعلاقة كوشي التقريبية [28].

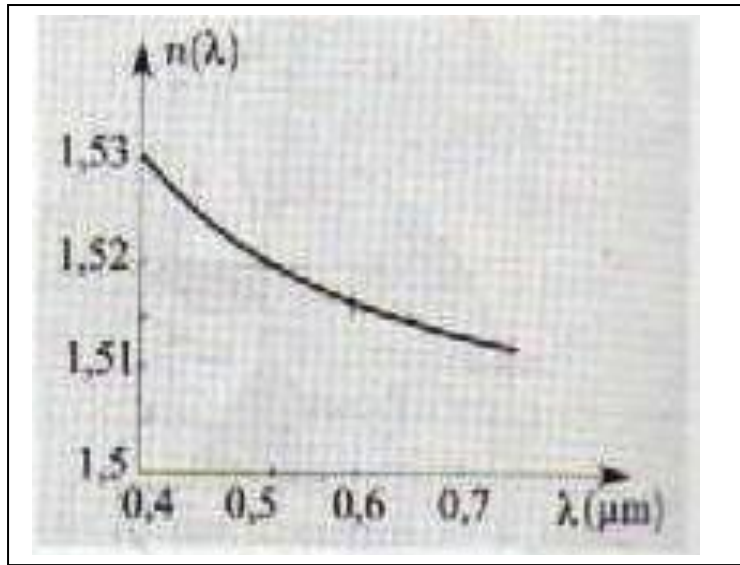
$$n_1 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (\text{II-43})$$

$\lambda$  الطول الموجي، و A و B و C ثوابت.

بتعويض العلاقة الأخيرة في العلاقة (II-42) نحصل:

$$T_{in} = T_a + \frac{(Q_f - \rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot C_{max} \cdot F \cdot \phi_{pf} \cdot (1 - ((A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} - 1)/(A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + 1))^2))}{h_{con-in} \cdot A_{bundle}} \quad (\text{II-44})$$

نعين قيم A و B و C و ذلك بأخذ قيم لأطوال موجية في المجال المرئي و قرينة الانكسار الموافقة لكل طول موجة و ذلك من خلال المنحنى الممثل في الشكل (II-9).



الشكل (II-9): قرينة الانكسار بدلالة الطول الموجي [29].

و بهذه العلاقة الأخيرة يمكن معرفة تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي.

## II-7 تأثير الطول الموجي على الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل:

كما رأينا سابقاً أن الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل و الطول الموجي للإشعاع الشمسي يؤثران على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية، و بدوره الطول الموجي للإشعاع الشمسي يؤثر على الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل من خلال العلاقة التي تربط بينهما. و لإيجاد هذه العلاقة، نعوض العلاقة (II-43) في العلاقة (II-39) نتحصل على العلاقة ما بين الطول الموجي للإشعاع الشمسي و الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل كالتالي:

$$Q_{in} = \rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot F \cdot C_{max} \cdot \varphi_{pf} \cdot (1 - ((A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} - 1) / (A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + 1))^2) \quad (II-45)$$

## II-8 تأثير الطول الموجي على التوهين:

الأطوال الموجية للإشعاع الشمسي تؤثر على الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل، و هذا الأخير يتعلق بالتوهين الحاصل داخل الكابل من خلال العلاقة (I-33). كما تؤثر الأطوال الموجية للإشعاع الشمسي على الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل. بتعويض العلاقة (II-45) في العلاقة (I-33) نحصل على العلاقة:

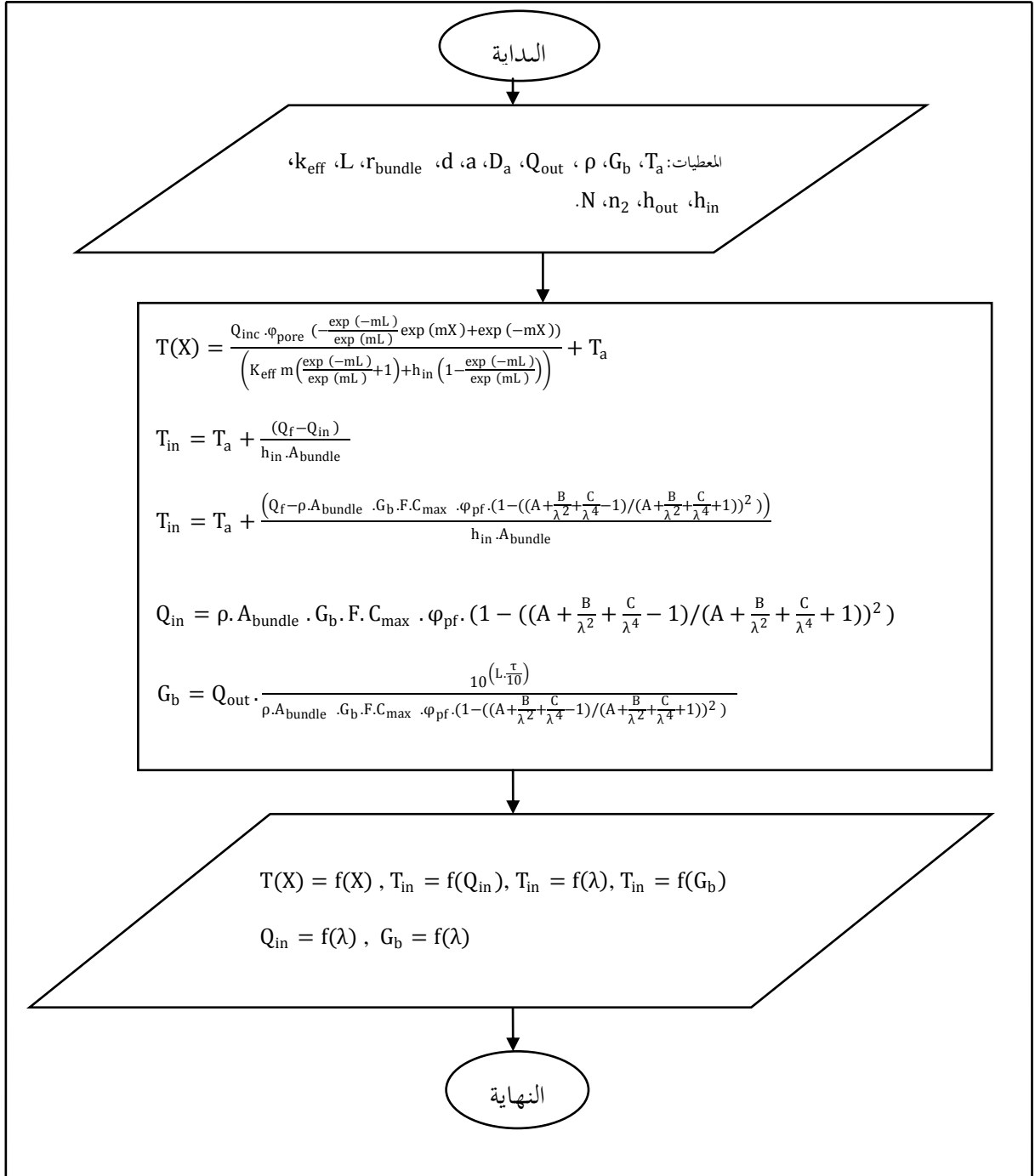
$$\tau = \frac{10}{L} \log_{10} \left( \frac{\rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot F \cdot C_{max} \cdot \varphi_{pf} \cdot (1 - ((A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} - 1) / (A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + 1))^2)}{Q_{out}} \right) \quad (II-46)$$

بتبسيط العلاقة الأخيرة، نجد العلاقة التي تربط الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل بالطول الموجي للإشعاع الشمسي كالتالي:

$$G_b = Q_{out} \cdot \left( \frac{10^{(L \cdot \frac{\tau}{10})}}{\rho \cdot A_{bundle} \cdot G_b \cdot F \cdot C_{max} \cdot \varphi_{pf} \cdot (1 - ((A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} - 1) / (A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + 1))^2)} \right) \quad (II-47)$$

9-II مخطط البرنامج العددي:

فيما يلي مخطط البرنامج العددي الذي يقوم بحساب:



مخطط لبرنامج سير الحساب العددي.

## الخاتمة:

اعتباراً من الفرضيات المعتمدة في بناء النموذج الرياضي، و بعد تقدير شدة الإشعاع الشمسي المركز الواصل إلى سطح الكابل و وضع الشروط الحدية عند مدخل و مخرج الكابل، تحصلنا على المعادلة التفاضلية لدرجة الحرارة على طول الكابل، إضافة إلى معادلة درجة حرارة سطح مقطع الكابل بدلالة كل من الطول الموجي للإشعاع الشمسي و الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل و الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل و كذا تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي على الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل و على التوهين.

سوف نستغل هذه النتائج في الفصل القادم من اجل تحليل مختلف المنحنيات المتعلقة بهذه المعادلات.

# الفصل الثالث

مناقشة و تحليل النتائج

## مقدمة:

عندما نريد نقل الإشعاع الشمسي بواسطة كابل الألياف البصرية لاستخدامه في مجالات أخرى، يؤدي ذلك إلى تسخين الكابل و يصاحب ذلك ارتفاع درجة حرارته مما ينجم عن ذلك تغير خصائصه الفيزيائية التي قد تتسبب في التأثير على كفاءة نقله للإشعاع الشمسي المركز و تلفه. و هذا ما أدى بنا إلى التطرق لدراسة الأثر الحراري على كابل الألياف البصرية.

يتناول هذا الفصل دراسة نظرية حرارية لكابل الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية ذات التحزيم العادي و السداسي، و كذا دراسة تأثير التوهين على التحزيم العادي و السداسي لكابل الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية. و ذلك من اجل الحصول على كفاءة نقل عالية للإشعاع الشمسي المركز عبر الكابل مع الحفاظ على خصائص الكابل.

**III-1 مقدرات نموذج الدراسة:**

بالاعتماد على النتائج التجريبية لتدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة في يوم 2010-5-12 و الموضحة في الجدول (III-2) في الملحق (أ)، سنقوم بمقارنة لنوعين من كابلات الألياف، الزجاجية و البلاستيكية ذات التحزيم العادي، و كذا مقارنة لنوعين من التحزيم، العادي و السداسي لكابل الألياف البلاستيكية و كذا مقارنة كابل الألياف الزجاجية ذات التحزيم العادي و كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي. خواص الألياف الزجاجية و الألياف البلاستيكية موضحة في الملحق (ب).

**III-2 درجة الحرارة على طول الكابل:****III-2-1 حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك:**

في الفصل السابق تطرقنا إلى إيجاد علاقة درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية، و بلستعمال هذه العلاقة (II-33) و استخدام خواص الألياف الزجاجية و الألياف البلاستيكية للتحزيم العادي الموضحة في الملحق (ب). قمنا ببرمجة كل هذا باستخدام برنامج الماتلاب و برسم المنحنى الذي يعطي تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية ذات التحزيم



العادي للألياف الزجاجية و الألياف البلاستيكية، و ذلك من الساعة 10:00 صباحا إلى 14:00 زوالا و عند طول موجي محدد في المجال المرئي.

يمثل الشكل (1-III) تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية الزجاجية و

البلاستيكية ذات التحزيم العادي من الساعة 10:00 صباحا إلى الساعة 14:00 زوالا.

نلاحظ من الشكل (1-III) أن درجة الحرارة في مدخل الكابل لكل من حزمة الألياف

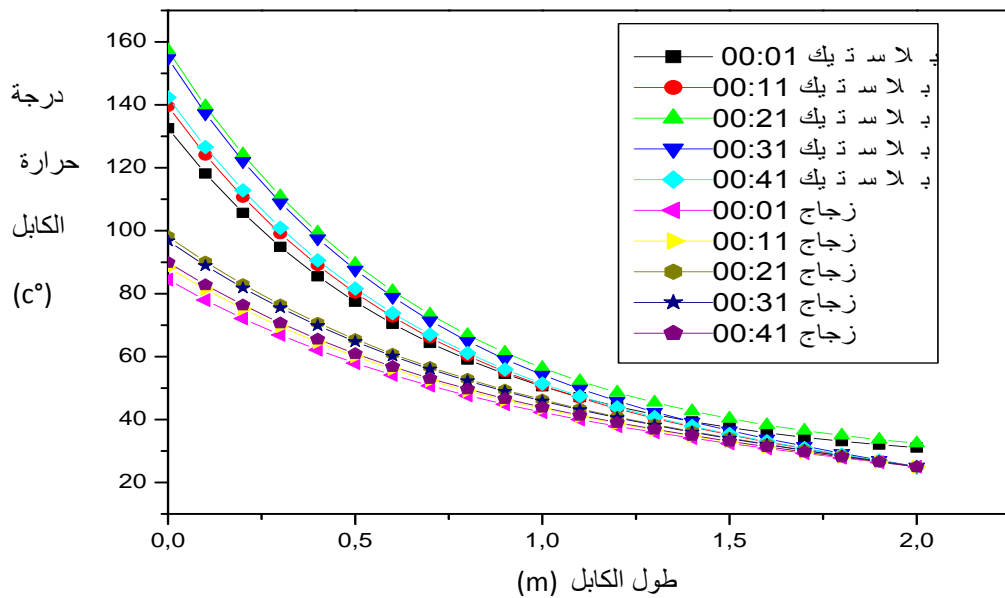
البصرية الزجاجية و البلاستيكية تكون مرتفعة و تتناقص تدريجيا إلى أن تثبت عند درجة حرارة

الهواء المحيط بالكابل. و نفس الارتفاع العالي لدرجة الحرارة في فتحة الكابل إلى أن بعض

ترددات الإشعاع تمتص في الجزء الأول من الكابل و تسخنه، هذا الجزء الأول للكابل يشتغل

كمرشح للتردد [30]. و يعود تناقص درجة الحرارة على طول الكابل إلى التوهين الذي يزداد

بزيادة طول الكابل.



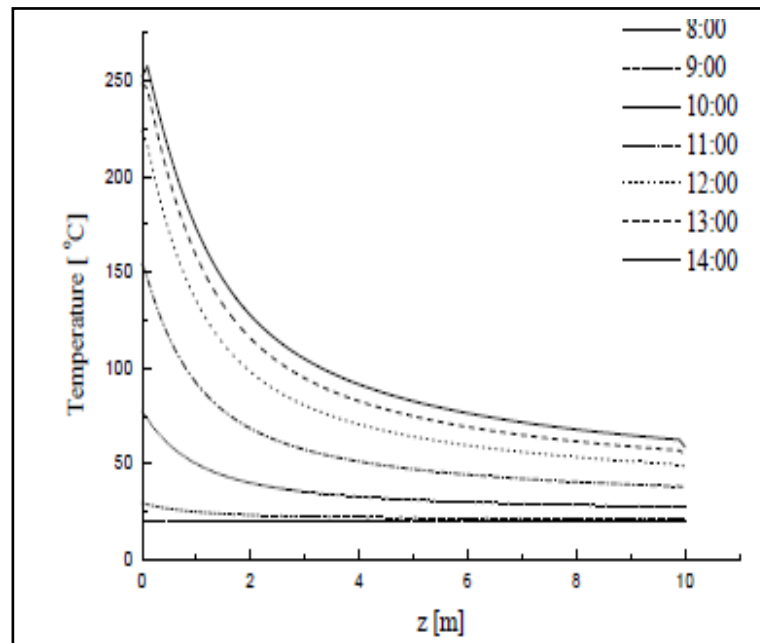
الشكل (1-III): تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية

ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و الزجاج.

نلاحظ كذلك من الشكل (1-III) أن درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية، و يرجع السبب في ذلك هو أن الألياف البصرية الزجاجية لها معامل امتصاص أقل من معامل امتصاص الألياف البصرية البلاستيكية.

و نلاحظ من الشكل (1-III) أن درجة حرارة كابل الألياف البصرية تتغير حسب التوقيت الزمني. فمثلا درجة حرارة كابل الألياف البصرية على الساعة 12:00 زوالا أعلى من درجة حرارة كابل الألياف البصرية على الساعة 10:00 صباحا و ذلك لنفس الكابل، و يعود ذلك إلى أن الإشعاع الشمسي الكلي على الساعة 12:00 زوالا أعلى من الإشعاع الشمسي الكلي على الساعة 10:00 صباحا.

النتائج التي تحصلنا عليها منسجمة مع نتائج الدراسات السابقة [5] الموضحة في الشكل (2-III)، هذا الشكل يوضح أن درجة حرارة الكابل تكون مرتفعة في مدخل الكابل وتتناقص تدريجيا إلى أن تثبت عند درجة حرارة الهواء المحيط بالكابل.



الشكل (2-III): توزيعات درجة الحرارة على طول الكابل في أوقات زمنية مختلفة.

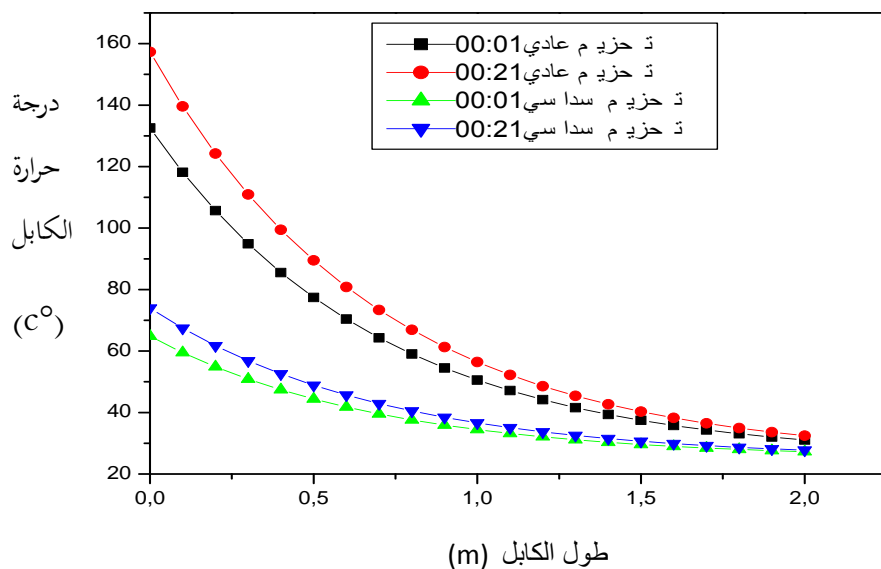
[5]

كما أن درجة حرارة الكابل تتغير على حسب التوقيت الزمني، فدرجة حرارة الكابل على الساعة 12:00 زوالاً أعلى من درجة حرارة الكابل على الساعة 10:00 صباحاً، وهذا ما يوافق النتائج التي تحصلنا عليها.

### III-2-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:

من أجل إيجاد المنحنى الممثل لتغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية لكلا التحزيم (العادي و السداسي)، نستعمل نفس علاقة درجة الحرارة على طول الكابل (II-33) و لكن باستخدام القيم الخاصة لكابل ألياف البلاستيك (للتحزيم العادي و التحزيم السداسي) الموضحة في الملحق (ب). و بتطبيق برنامج الماتلاب نحصل على المنحنى الممثل في الشكل (III-3)، و ذلك على الساعة 10:00 و 12:00 زوالاً و عند طول موجي محدد في المجال المرئي.

نلاحظ من الشكل (III-3) أن درجة الحرارة في مدخل الكابل تكون مرتفعة و تتناقص إلى أن تثبت عند درجة حرارة الهواء المحيط بالكابل. و يعود سبب ارتفاع درجة الحرارة في المدخل إلى أن الجزء الأول من الكابل يعتبر كمرشح للترددات، أما التناقص فيعود إلى التوهين الموجود على طول الكابل.



الشكل (III-3): تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية

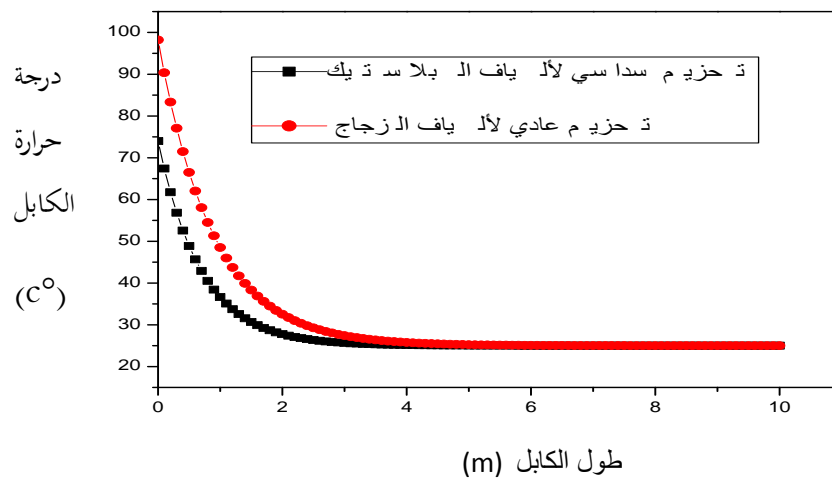
البلاستيكية.

بمقارنة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل الألياف البلاستيكية، نلاحظ أن درجة حرارة الكابل في التحزيم السداسي تكون أقل من درجة حرارة الكابل في التحزيم العادي. و يرجع ذلك إلى معامل التبعئة الذي يقارب الواحد في التحزيم السداسي أما في التحزيم العادي فهو صغير، أي أن المسامات في التحزيم السداسي تكاد تكون منعدمة أما في التحزيم العادي فهي كبيرة، و عليه كلما كانت المسامات أكبر كلما كانت درجة حرارة الكابل أكبر.

### III-2-3 حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج:

يمثل الشكل (III-4) تغيرات درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً و عند طول موجي محدد في المجال المرئي.

نلاحظ من الشكل (III-4) أن درجة الحرارة في مدخل الكابل تكون مرتفعة و تتناقص إلى أن تثبت عند درجة حرارة الهواء المحيط بالكابل. و يعود سبب ارتفاع درجة الحرارة في المدخل إلى أن الجزء الأول من الكابل يعتبر كمرشح للترددات، أما التناقص فيعود إلى التوهين الموجود على طول الكابل.



الشكل (III-4): درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم

السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي.

بمقارنة التحزيم السداسي لكابل الألياف البصرية البلاستيكية و التحزيم العادي لكابل الألياف البصرية الزجاجية، نلاحظ أن درجة حرارة الكابل في التحزيم السداسي تكون أقل من درجة حرارة الكابل في التحزيم العادي و يرجع ذلك إلى معامل التبعئة الذي يقارب الواحد في التحزيم السداسي أما في التحزيم العادي فهو صغير، أي أن المسامات في التحزيم السداسي تكاد تكون منعدمة أما في التحزيم العادي فهي كبيرة. و عليه كلما كانت المسامات أكبر كلما كانت درجة حرارة الكابل أكبر.

### III-3 العوامل المؤثرة على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية:

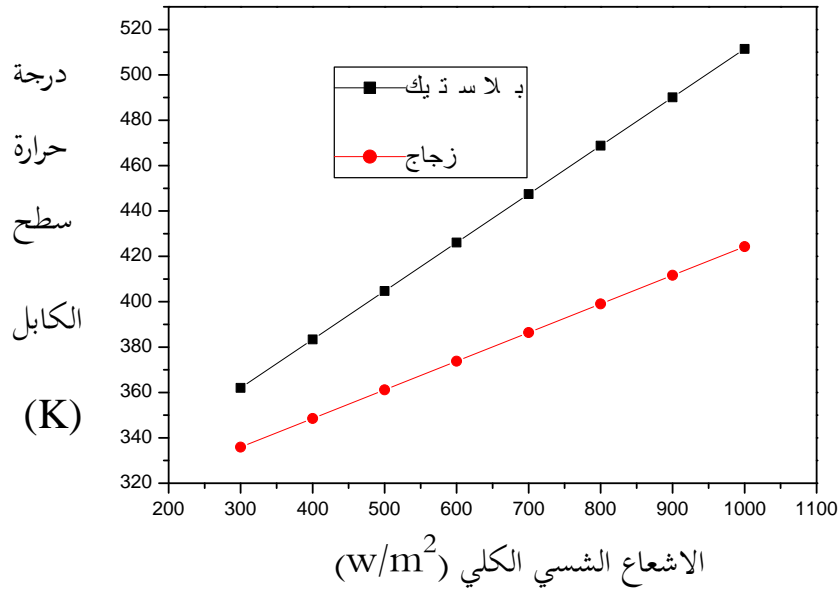
#### III-3-1 تأثير الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل:

#### III-3-1-1 حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-5) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و ألياف الزجاج بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل، و ذلك عند طول موجي محدد في المجال المرئي.

كما رأينا في المنحنى السابق أن درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية تتغير بتغير التوقيت الزمني و هذا راجع إلى الإشعاع الشمسي الكلي، و عليه فان درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تتأثر بالإشعاع الشمسي الكلي.

من خلال الشكل (III-5) نلاحظ أن العلاقة بين درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية و الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل علاقة تناسب و هذا بالنسبة لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك. يعني انه كلما زاد الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل زادت درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية.

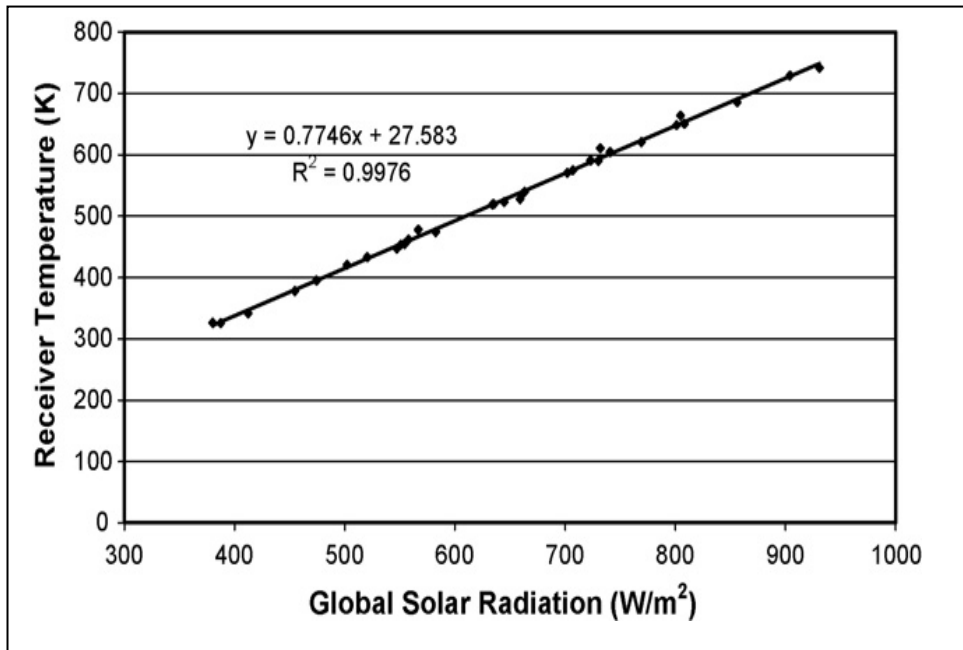


الشكل (III-5): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف

الزجاج و ألياف البلاستيك بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل.

هذه النتائج منسجمة مع نتائج الدراسات التجريبية السابقة [27] الموضحة في الشكل

(III-6).



الشكل (III-6): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية بدلالة

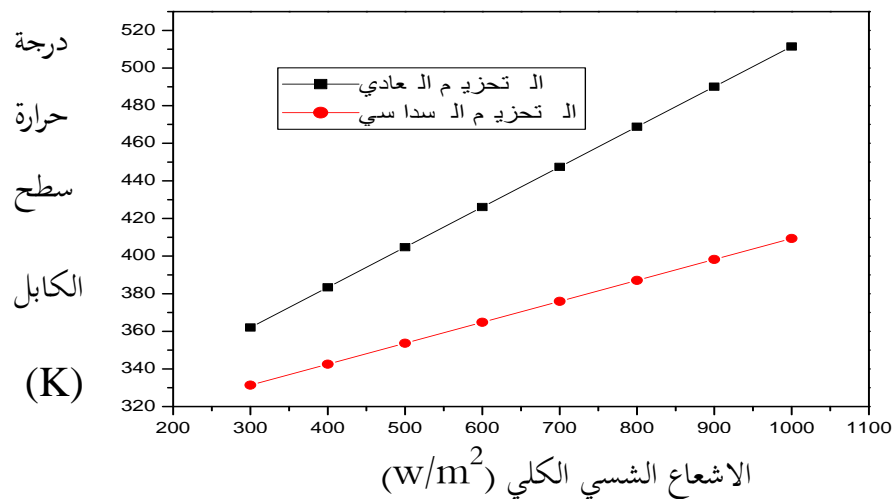
الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل [27].

بمقارنة ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك (للتحزيم العادي)، نلاحظ أنه عند إشعاع شمسي كلي معين تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية، و يظهر ذلك من خلال ميل المنحنى (ميل المنحنى الممثل لكابل الألياف البصرية الزجاجية اقل من ميل المنحنى الممثل لكابل الألياف البصرية البلاستيكية).

### III-3-1-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:

يمثل منحنى الشكل (III-7) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل، و ذلك عند طول موجي محدد في المجال المرئي.

نلاحظ من هذا المنحنى أن العلاقة بين درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي مع الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل علاقة تناسب، يعني انه كلما زاد الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل زادت درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي.



الشكل (III-7): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة

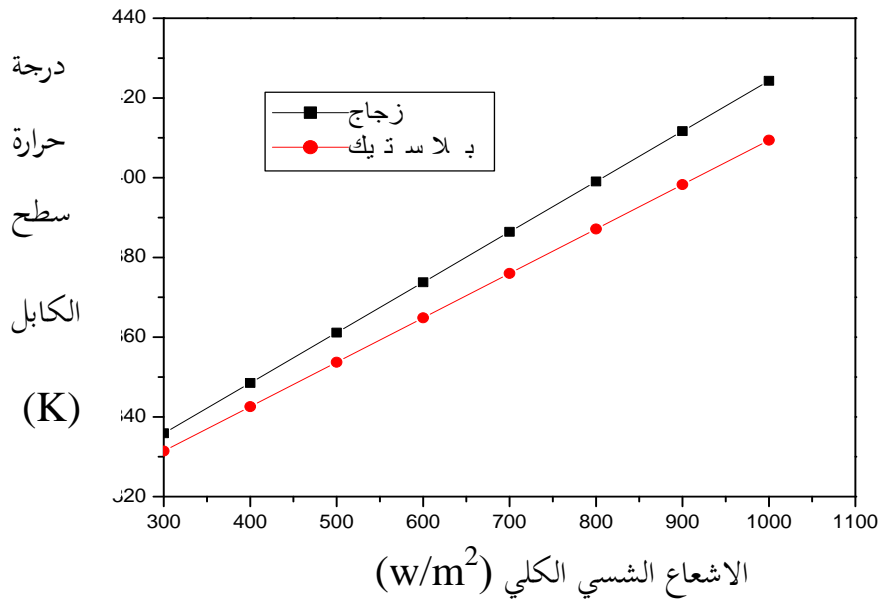
الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى الكابل.

و بمقارنة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك في الشكل (III-7)، نلاحظ أنه عند إشعاع شمسي كلي معين تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم السداسي أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية في التحزيم العادي، و يفسر ذلك إلى وجود المسامات في التحزيم السداسي أقل من المسامات الموجودة في التحزيم العادي.

### III-3-1-3 حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج:

يمثل الشكل (III-8) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل، و ذلك عند طول موجي محدد في المجال المرئي. نلاحظ من هذا المنحنى أن هناك علاقة تناسب بين درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية مع الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل، يعني انه كلما زاد الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل زادت درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كذا درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي.





الشكل (8-III): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم

السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة الإشعاع الشمسي

الكلبي الداخل إلى الكابل.

و بمقارنة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج في الشكل (8-III)، نلاحظ أنه عند إشعاع شمسي كلي معين تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي، و يفسر ذلك إلى وجود المسامات في التحزيم السداسي أقل من المسامات الموجودة في التحزيم العادي.

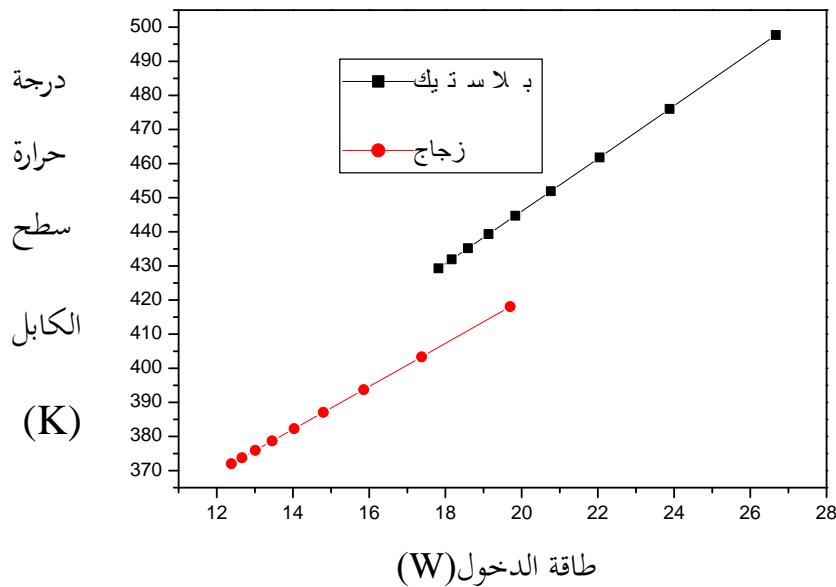
### III-3-2 تأثير الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل:

### III-3-2-1 حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك:

يمثل منحنى الشكل (9-III) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات

التحزيم العادي لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.

يؤثر الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل على درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية و ذلك من خلال المنحنى الممثل في الشكل (III-9). نلاحظ من المنحنى انه عندما تزداد طاقة الدخول فان درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تزداد، أي هناك علاقة تناسب بين درجة حرارة سطح مقطع الكابل و طاقة الدخول. و يرجع السبب في ذلك أن درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تزداد بزيادة الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى الكابل، هذا الأخير يركز باستخدام القطع المكافئ الشمسي و يدخل إلى الكابل و يسمى بطاقة الدخول، و عليه فان درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تتناسب و طاقة الدخول.



الشكل (III-9): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي

لألياف البلاستيك و ألياف الزجاج بدلالة طاقة الدخول.

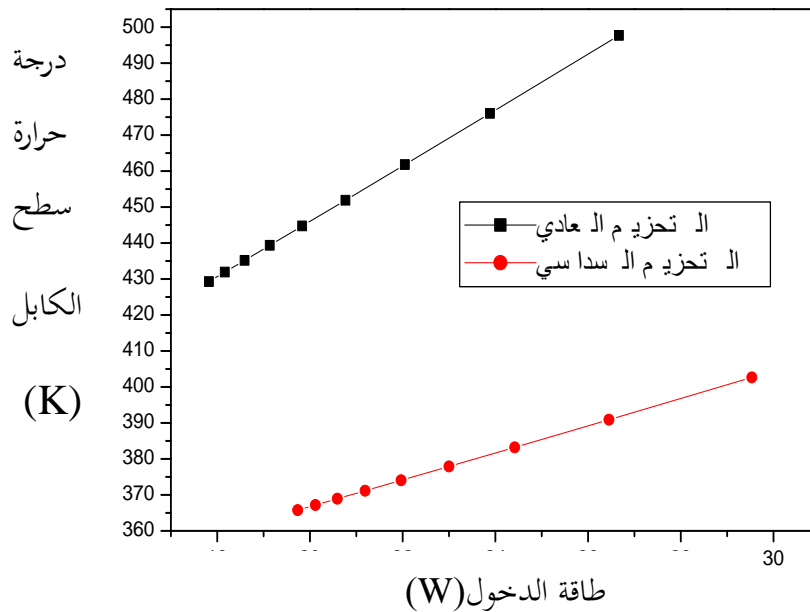
بمقارنة كابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك للتحزيم العادي، نلاحظ أن الميل الممثل

لتغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية بدلالة الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل أقل من الميل الممثل لتغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل.

عند نفس القيمة للإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل، درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية، و يعود ذلك إلى أن معامل الامتصاص للألياف الزجاجية أقل من معامل الامتصاص للألياف البلاستيكية.

### III-3-2-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-10) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي بدلالة طاقة الدخول، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.



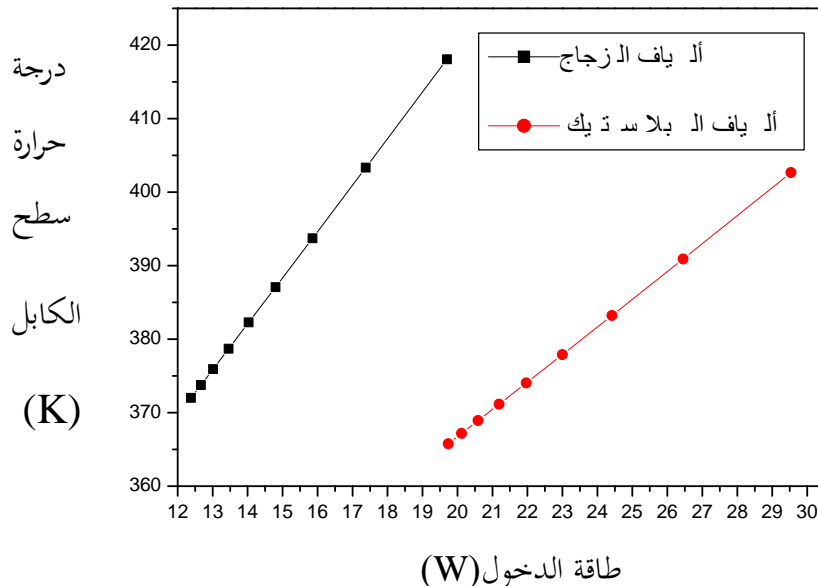
الشكل (III-10): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة طاقة الدخول.

بمقارنة التحزيم السداسي و التحزيم العادي (لكابل ألياف البلاستيك) الموضح في الشكل (III-10)، نلاحظ انه عند طاقة دخول معينة لكلا التحزيم، درجة حرارة سطح مقطع الكابل

للتحزيم السداسي تكون اقل من درجة حرارة سطح مقطع الكابل للتحزيم العادي، و يرجع ذلك لوجود المسامات في التحزيم السداسي أقل من وجودها في التحزيم العادي.

### III-2-3 حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج:

يمثل الشكل (III-11) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة طاقة الدخول، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.



الشكل (III-11): درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم

السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي بدلالة طاقة الدخول. بمقارنة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج

الموضح في الشكل (III-11)، نلاحظ انه عند طاقة دخول معينة لكلا التحزيم، تكون

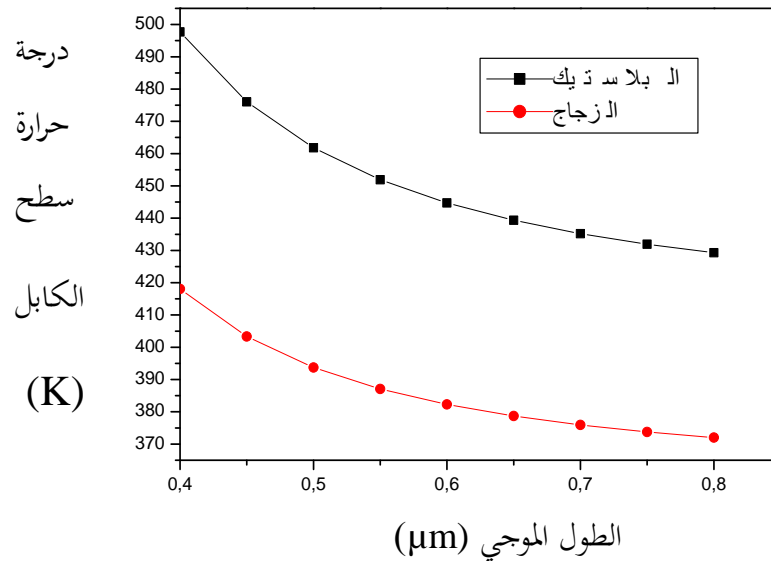
درجة حرارة سطح مقطع الكابل للتحزيم السداسي اقل من درجة حرارة سطح مقطع الكابل للتحزيم العادي، و يرجع ذلك لوجود المسامات في التحزيم السداسي أقل من وجودها في التحزيم العادي.

### III-3-3 تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي:

#### III-3-3-1 حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-12) درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي ، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.

نلاحظ من خلال المنحنى أن درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية (الزجاجية و البلاستيكية) تكون مرتفعة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية أي عند الطول الموجي  $0.4\mu\text{m}$  و تتناقص في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء، و تكون اقل ما يمكن عند الطول الموجي  $0.8\mu\text{m}$ . و نفس ارتفاع درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية لارتفاع معامل الامتصاص بسبب وجود ايونات  $\text{OH}^-$  و هذا ما يجعل درجة حرارة سطح مقطع الكابل مرتفعة، أما المجال المرئي القريب من مجال الأشعة تحت الحمراء فيكون معامل الامتصاص اقل ما يمكن و خاصة عند الطول موجي  $0.8\mu\text{m}$  بسبب قلة ايونات  $\text{OH}^-$  [1].



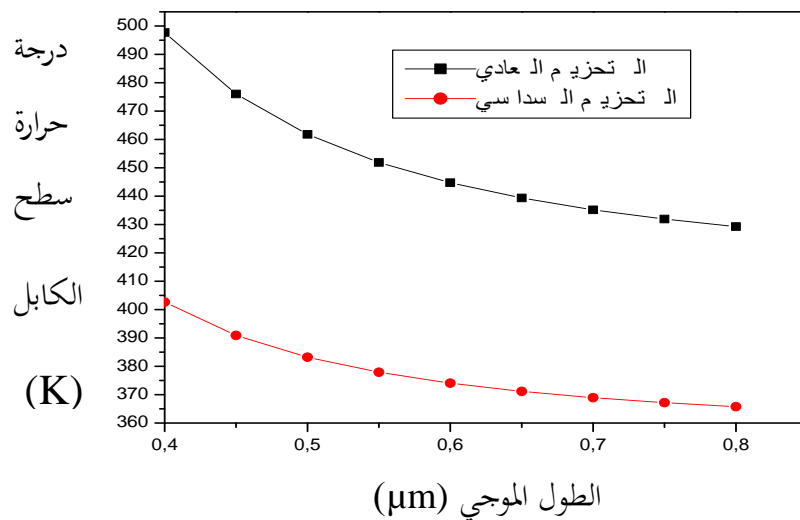
الشكل (III-12): تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف البلاستيك و الزجاج بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

بمقارنة كابل ألياف الزجاج و كابل ألياف البلاستيك للتحزيم العادي، نلاحظ أنه عند نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية، و يعود ذلك إلى أن معامل الامتصاص في الألياف الزجاجية أقل معامل الامتصاص في الألياف البلاستيكية.

### III-3-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-13) تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي ، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.

نلاحظ من المنحنى أن درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و التحزيم السداسي تكون مرتفعة في المجال المرئي القريب من الأشعة فوق البنفسجية أي عند الطول موجي  $0.4\mu\text{m}$  و تتناقص في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء، وتكون أقل قيمة لها عند الطول الموجي  $0.8\mu\text{m}$ .



الشكل (III-13): تغيرات درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

عند نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي لكلا الكابلين، تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية للتحزيم السداسي أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية للتحزيم العادي، و يرجع ذلك لوجود المسامات في التحزيم السداسي أقل من المسامات الموجودة في التحزيم العادي.

### III-4 تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي:

#### III-4-1 الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى الكابل:

#### III-4-1-1 حالة التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج و ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-14) تغيرات طاقة الدخول لكابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي (لألياف الزجاج و ألياف البلاستيك ) بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي ، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.

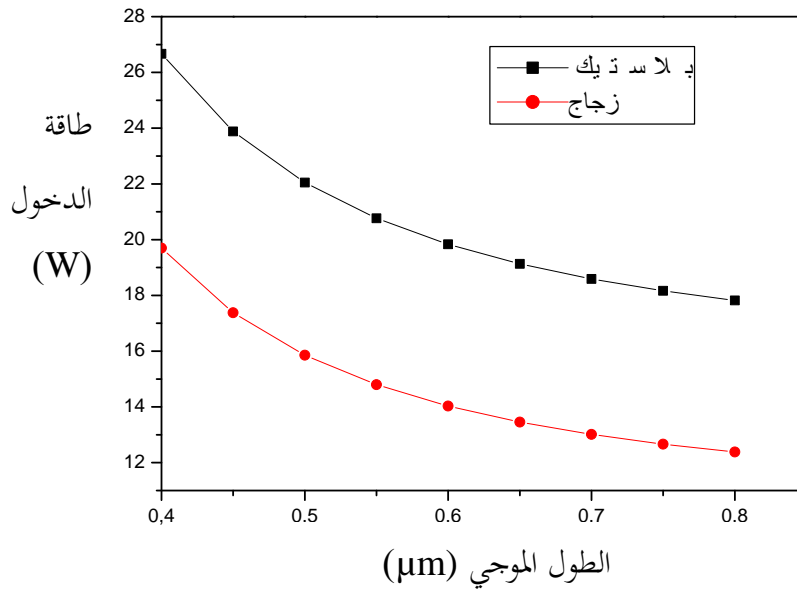
نلاحظ من الشكل (III-14) أن طاقة الدخول مرتفعة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية و تتناقص في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء ، وتكون اقل قيمة لها عند الطول الموجي  $0.8\mu\text{m}$  ويفسر ذلك من خلال العلاقة  $E = h_b \cdot c/\lambda$ .

حيث:

$E$  تمثل الطاقة ووحدها الجول(J)،  $h_b$  ثابت بلانك ووحده J.S،  $c$  سرعة الضوء

و وحدها m/s.

هذه العلاقة الأخيرة تعني انه كلما زاد الطول الموجي تقل الطاقة أي العلاقة عكسية، و هذا ما يجعل الطاقة عالية في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية، و متناقصة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة تحت الحمراء.



الشكل (III-14): تغيرات طاقة الدخول لكابل الألياف البصرية ذات التحزيم العادي لألياف الزجاج

و ألياف البلاستيك بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

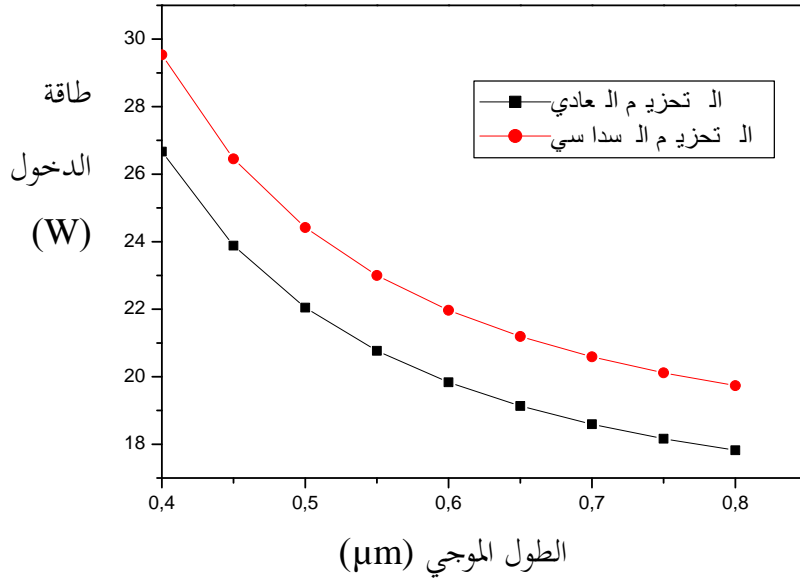
بمقارنة كابل ألياف الزجاج و كابل ألياف البلاستيك نجد أنه عند نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي، طاقة الدخول لكابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من طاقة الدخول لكابل الألياف البصرية البلاستيكية. و يرجع السبب في ذلك أن طاقة الدخول تزداد بزيادة درجة حرارة سطح مقطع الكابل، و عند نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف الزجاجية أقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية كما رأينا سابقا. و بالتالي فان طاقة الدخول بالنسبة لكابل الألياف الزجاجية تكون أقل من طاقة الدخول بالنسبة لكابل الألياف البصرية البلاستيكية.

### III-4-1-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:

يمثل الشكل (III-15) تغيرات طاقة الدخول لكابل الألياف البلاستيكية (للتحزيم العادي و التحزيم السداسي) بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي، و ذلك على الساعة 12:00 زوالاً.



نلاحظ أن طاقة الدخول مرتفعة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية و تتناقص في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء، وتكون اقل قيمة لها عند الطول الموجي  $0.8 \mu\text{m}$ .



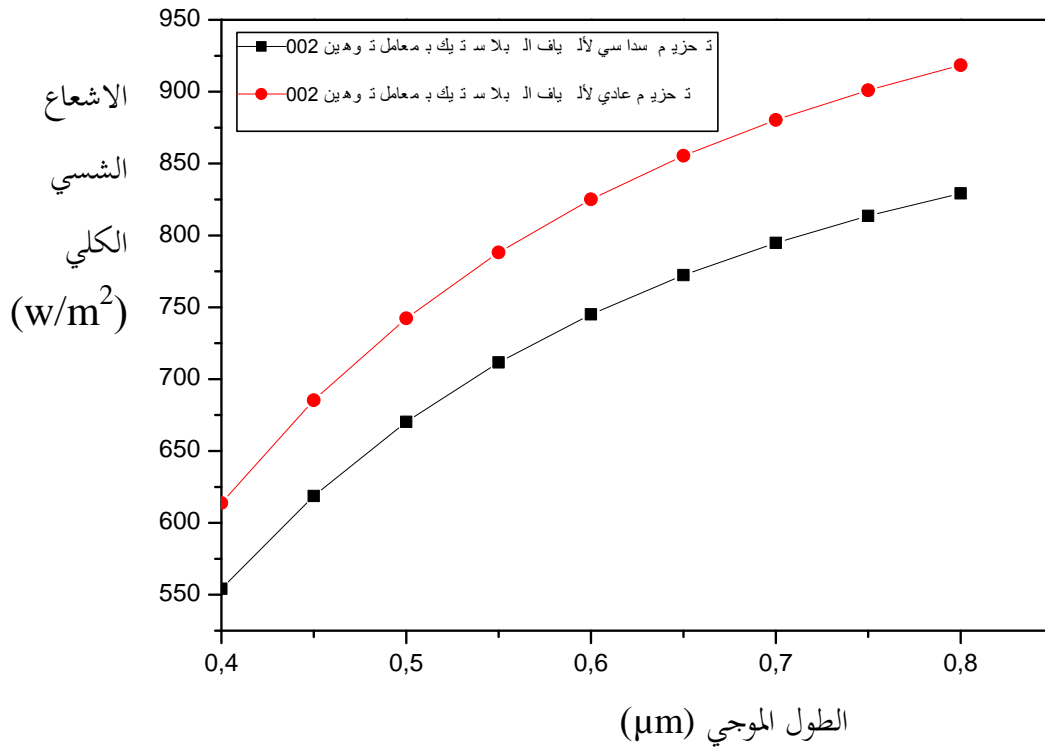
الشكل (III-15): الإشعاع الشمسي المركز الداخل إلى كابل الألياف البصرية البلاستيكية بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

بمقارنة التحزيم العادي و التحزيم السداسي (لكابل ألياف البلاستيك)، نلاحظ أنه عند نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، تكون طاقة الدخول للتحزيم السداسي أعلى من طاقة الدخول للتحزيم العادي، و يرجع السبب في ذلك إلى أن المسامات الموجودة في التحزيم السداسي صغيرة جدا مقارنة بالمسامات الموجودة في التحزيم العادي. و هذا ما يجعل الطاقة التي تدخل إلى كابل ألياف البلاستيك للتحزيم السداسي أعلى من الطاقة التي تدخل إلى كابل ألياف البلاستيك للتحزيم العادي.

**III-4-2 التوهين:****III-4-2-2 حالة التحزيم السداسي و التحزيم العادي لكابل ألياف البلاستيك:**

يمثل الشكل (III-16) تغيرات الإشعاع الشمسي الكلي الداخلة إلى كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و التحزيم السداسي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي و ذلك بأخذ القيمة 200 لمعامل توهين كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و التحزيم العادي و تثبيت طاقة الخروج لكلا الكابلات عند القيمة  $Q_{out} = 12\text{watt}$  و السبب في اختيار هذه القيمة لطاقة الخروج هو أنها أقل قيمة يمكن أن تأخذها طاقة الدخول للكابل البصري الزجاجي.

نلاحظ من الشكل (III-16) أن الإشعاع الشمسي الكلي الداخلة إلى كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و التحزيم السداسي يكون منخفض في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية و يتزايد في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء، و تكون أعلى قيمة له عند الطول الموجي  $0.8\mu\text{m}$ .



الشكل (III-16): الإشعاع الشمسي الكلي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في

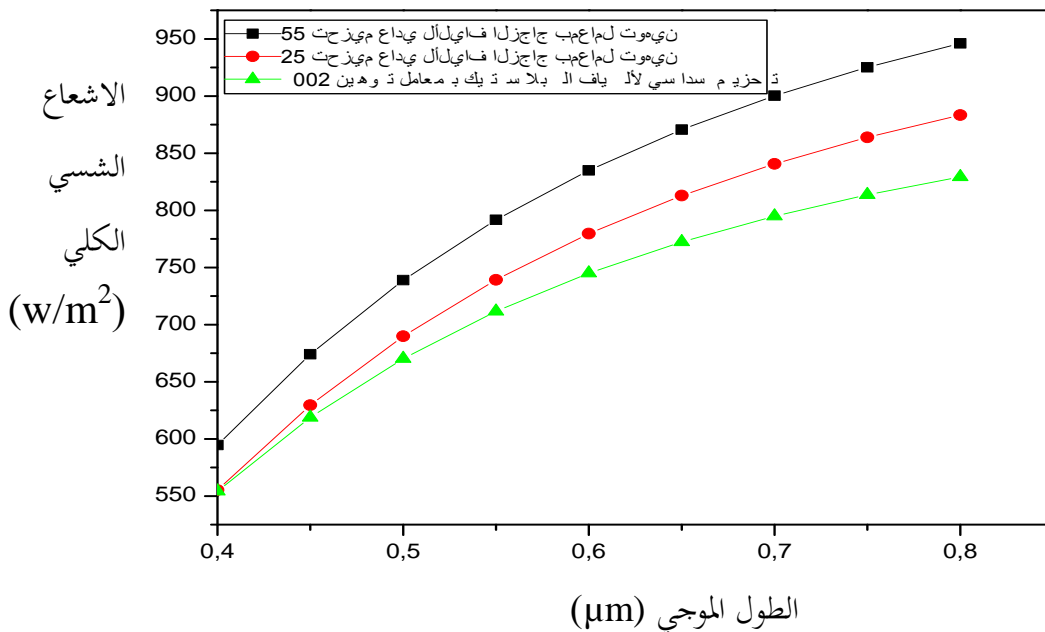
المجال المرئي لكابلات ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي و كابل ألياف البلاستيك ذات التحزيم العادي.

بمقارنة كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي مع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي، نجد أن الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أقل من الإشعاع الشمسي الكلي الداخل إلى كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و ذلك من اجل نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، و يرجع السبب في ذلك إلى معامل التبعئة الذي يكون في التحزيم السداسي أكبر منه في التحزيم العادي، أي المسامات الموجودة في التحزيم السداسي صغيرة جدا مقارنة بالمسامات الموجودة في التحزيم العادي.

### III-4-2-3 حالة التحزيم السداسي لكابل ألياف البلاستيك و التحزيم العادي لكابل ألياف الزجاج:

يمثل الشكل (III-17) تغيرات الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى إلى كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي و كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي و ذلك بأخذ القيمة 25 و 55 لمعامل توهين كابل ألياف الزجاج و القيمة 200 لمعامل توهين كابل ألياف البلاستيك و تثبيت طاقة الخروج لكلا الكابليين عند القيمة  $Q_{out} = 12watt$ .

نلاحظ من الشكل (III-17) أن الإشعاع الشمسي الكلي الداخلى لكابل الألياف البصرية الزجاجية و البلاستيكية يكون منخفض في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية و يتزايد في المجال المرئي كلما اقتربنا من مجال الأشعة تحت الحمراء، و تكون أعلى قيمة له عند الطول الموجي  $0.8\mu m$ .



الشكل (III-17): الإشعاع الشمسي الكلي بدلالة الطول الموجي للإشعاع الشمسي

في المجال المرئي لكابل ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي و كابل ألياف الزجاج

ذات التحزيم العادي.

بمقارنة كابل ألياف الزجاج ذات التحزيم العادي مع كابل ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي، نجد أن الإشعاع الشمسي الكلي الداخلكابلكابل ألياف البلاستيك ذات التحزيم السداسي أقل من الإشعاع الشمسي الكلي الداخلكابلكابل ألياف الزجاج ذات التحزيم العادي و ذلك من اجل نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، و يرجع السبب في ذلك إلى معامل التعبئة الذي يكون في التحزيم السداسي أكبر منه في التحزيم العادي، أي المسامات الموجودة في التحزيم السداسي صغيرة جدا مقارنة بالمسامات الموجودة في التحزيم العادي.

## الخاتمة:

تطرقنا في هذا الفصل إلى مقارنة و تحليل النتائج التي تحصلنا عليها بنتائج الدراسات السابقة كما تناولنا مقارنة لنوعين من كابلات الألياف البصرية، البلاستيكية و الزجاجية لنفس التحزيم العادي و كذا مقارنة لنوعين من التحزيم، العادي و السداسي لألياف البلاستيك، إضافة إلى مقارنة كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي و كابل الألياف البصرية الزجاجية ذات التحزيم العادي. و ذلك من خلال دراسة درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية و كذا دراسة درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية و العوامل المؤثرة عليها إضافة إلى دراسة تأثير الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي على الإشعاع الشمسي المركز الداخلى إلى الكابل و على التوهين، فتحصلنا على النتائج التالية:

كابل الألياف البصرية الزجاجية أفضل من كابل الألياف البصرية البلاستيكية لنفس التحزيم العادي.

كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أفضل من كابل الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية ذات التحزيم العادي.

خاتمة عامة

### خاتمة عامة:

عند دراستنا لدخول الإشعاع الشمسي المركز لكابلات الألياف البصرية تأكدنا من النتائج

التالية:

✓ درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية الزجاجية أقل من درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية و ذلك لنفس التحزيم. و درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أقل من درجة الحرارة على طول كابل الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية ذات التحزيم العادي.

✓ درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تتغير بتغير طاقة الدخول (الإشعاع الشمسي الكلي عند طول موجي محدد في المجال المرئي). فدرجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية اقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية و ذلك لنفس التحزيم.

✓ درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية تتغير بتغير طاقة الدخول (الإشعاع الشمسي الكلي عند طول موجي محدد في المجال المرئي). فدرجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي اقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية ذات التحزيم العادي.

✓ لنفس الإشعاع الشمسي، تتغير درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية حسب تغير الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي. فدرجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية الزجاجية اقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية و ذلك لنفس التحزيم، و درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي اقل من درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و ذلك من اجل نفس القيمة للطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

✓ لنفس الإشعاع الشمسي، تتغير طاقة الدخول لكابلات الألياف البصرية بتغير الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي، فطاقة الدخول بالنسبة لكابلات الألياف البصرية الزجاجية اقل من طاقة الدخول بالنسبة لكابلات الألياف البصرية البلاستيكية لنفس التحزيم، و طاقة



## خاتمة عامة

الدخول لكابلات الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أعلى من طاقة الدخول لكابلات الألياف البصرية البلاستيكية ذات التحزيم العادي و ذلك من أجل نفس القيمة للطول الموجي في المجال المرئي.

✓ من أجل طاقة خروج معينة و قيمة محددة لمعامل التوهين، يتغير الإشعاع الشمسي الداخل للكابلات بتغير الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي. فالإشعاع الشمسي الداخل لكابلات الألياف البلاستيكية ذات التحزيم السداسي أقل من الإشعاع الشمسي الداخل لكابلات الألياف البصرية البلاستيكية و الزجاجية ذات التحزيم العادي، و ذلك لنفس قيمة الطول الموجي للإشعاع الشمسي في المجال المرئي.

✓ في المجال المرئي، تكون درجة حرارة سطح مقطع كابل الألياف البصرية و طاقة الدخول لهما أقل قيمة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة تحت الحمراء، و أعلى قيمة في المجال المرئي القريب من مجال الأشعة فوق البنفسجية.

يمكننا من خلال هذه الدراسة تحديد أبعاد الليف البصري اللازم لأي عملية نقل للإشعاع الشمسي.

و بناءً على هذه النتائج فإننا نوصي بالتالي:

- ✓ تقليص خسارة فرينل إلى مقدار يمكن إهماله و عادة ما يستخدم في هذه الحالة طلاء ضد الانعكاس و طبقات متعددة تطلّى بنهايتي الليف البصري.
- ✓ التصغير من طول الكابلات و ذلك لتقليل الخسائر و نقص الكلفة و زيادة الفعالية.
- ✓ استعمال كابل ذو قطر صغير و ذلك لتقليل الضياع الحراري.
- ✓ العمل على توفير مادة بصرية أكثر نقاوة و خالية من الشوائب كوسط لقلب الليف البصري.

المراجع

### المراجع

- [1] J. M. Cariou, J. Dugas And L. Martin, 'Transport Of Solar Energy With Optical Fibres', Solar Energy, vol. 29, NO. 5, pp. 397-406, 1982.
- [2] C. Kandilli, k. Ulgen, 'Review And Modelling The Systems Of Transmission Concentrated Solar Via Optical Fibres', Renewable And Sustainable Energy Reviews, 13 (67–84), 2009.
- [3] Dawei Lianga, Yuri Nunes, L. Fraser Monteiro, M. L. Fraser Monteiro, M. Co11ares Pereira, '200 W Solar Energy Delivery With Optical Fiber Bundles', SPIE Vol. 3139. 0277-786X, 1997.
- [4] Daniel Feuermann, Jeffrey M. Gordon, 'Solar Surgery: Remote Fiber Optic Irradiation With Highly Concentrated Sunlight In Lieu Of Lasers', Society Of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 37(10) 2760–2767 (October 1998).
- [5] O A Jaramillo, J A del R'io and G Huelsz, 'A Thermal Study Of Optical Fibres Transmitting Concentrated Solar Energy', Printed in the UK, 32 (1000–1005) 1999.
- [6] Eugene Hecht, 'Optique', Traduction Francaise; Institues d'Optique/Ecole Supérieure d'Optique, 2002.
- [7] Francis A. Jenkins, Harvey E. White, 'Fundamentals Of Optics', The McGraw-Hill Companies, 2001.
- [8] Ari Rabl, 'Active Solar Collectors And Their Application', Oxford, 1985.
- [9] Pierre Lecoy, 'Télécommunications Optiques', Hermès, Paris 1992.
- [10] Dr. William Grisé, Dr. Charles Patrick, 'Passive Solar Lighting Using Fiber Optics', Co Journal Of Industrial Technology, V 19, N 1, 2003.
- [11] Murat Tekelioglu, Byard D. Wood, 'Solar Light Transmission Of Polymer Optical Fibers', Solar Energy, 83(2039–2049) 2009.
- [12] د. محمد كامل عبد العزيز، د. مجيد عبد الرحمن الكنهل، 'المجالات الكهرومغناطيسية المتغيرة مع الزمن'، مركز البحوث في كلية الهندسة بجامعة الملك سعود، 2005.
- [13] M ARUMUGAM, 'Optical Fiber Communication An Overview', Indian Academy of Sciences, Vol. 57, Nos 5 & 6, pp. 849–869, 2001.
- [14] Pierre Lecoy, 'Télécoms Sur Fibres Optiques', Lavoisier, 2008.
- [15] Zeno Toffano, 'Optoélectronique: Composants Photoniques Et Fibres Optiques', Ellipses, 2001.
- [16] Dawei Liang, 'Fiber-Optic Solar Energy Transmission And Concentration', Solar Energy Materials And Solar Cells, 54 (323-331)1998.

- [17] Gregory Nellis, Sanford Klein, 'Heat Transfer', Cambridge, 2009.
- [18] Casimer Decusatis, 'Hand Book Of Fibre Optic Data Communication', Academic Press, 2002.
- [19] 2000 والتوزيع-عمان، دار المسيرة للنشر'فيزياء الألياف البصرية'سهام عفيف قندلا،
- [20] Michael Bass, Eric W. Van Stryland, David R. Williams, William L. Wolfe, 'Handbook Of Optique', V.II, McGraw-Hill, 1995
- [21] John Crisp, Barry Elliott, 'Introduction To Fiber Optics', Elsevier, 2005.
- [22] ريم مصطفى الدبس، 'نظم الاتصالات'، مكتبة المجتمع العربي للنشر، 2004.
- [23] O A Jaramillo, J A del R'io, 'Optical Fibres For A Mini-Dish/Stirling System: Thermodynamic Optimization', I.O.P, 35 (1241–1250) 2002.
- [24] Soteris a. Kalogirou, 'Solar Thermal Collectors And Applications', Progress In Energy And Combustion Science, 30(231–295)2004.
- [25] الحرارة، مرآز النشر العالمي، انتقال خليفة، أسس محمد عادل علي، السيد سمير طه، شفيق إبراهيم فتحي، أحمد قديري
- 1994 الأولى، الطبعة العزيز، عبد الملك جامعة
- [26] 1989 الأولى بحالشاندر، روبرت، 'انتقال الحرارة'، الدار العربية للنشر و التوزيع، الطبعة
- [27] Canan Kandilli, Koray Ulgen, Arif Hepbasli, 'Exergetic Assessment Of Transmission Concentrated Solar Energy Systems Via Optical Fibres For Building Applications', Energy And Buildings, 40 (1505–1512) 2008.
- [28] 1992، القاهرة، I.O.P. د.نايل بركات، د.احمد أمين حمزة، 'التداخل الضوئي و الأمواج'، دار النشر للجامعات
- [29] Jose-Philippe Perez, 'Optique Fondements Et Applications', Dunod, 2004.
- [30] O A Jaramillo, G Huelsz and J A del R'io, 'A Theoretical And Experimental Thermal Study Of Sio2 Optical Fibres Transmitting Concentrated Radiative Energy', I.O.P, 35 (95–102) 2002.

الملاحق

## الملاحق

### الملحق (أ): تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة

المقدرات الشمسية لولاية ورقلة:

يبين الجدول (1-III) تغيرات تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة من الساعة صباحا إلى الخامسة مساء.

$t (h)$	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$G_p (\frac{W}{m^2})$	99.31424	292.9374	505.7504	698.5712	850.2535	947.2233	981.49	950.3158	856.1898	706.85	515.5834

الجدول (1-III): تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة ليوم 15-6-2008. مذكرة

الماجستير بن فحزة محمد لخضر.

$t (h)$	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
$G_p (\frac{W}{m^2})$	678	722	834	818	740	627	430

الجدول (2-III): تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة ليوم 12-5-2010. مذكرة

الماجستير بوزيان خديجة.

$t (h)$	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
$G_p (\frac{W}{m^2})$	212	344	350	439	336	285

الجدول (3-III): تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة ليوم 17-5-2010. مذكرة

الماجستير بوزيان خديجة.

## الملاحق

$t (h)$	07:36	08:36	09:33	10:34	11:38	12:48	14:43	15:35	16:35	17:38
$G_p (\frac{W}{m^2})$	127	271	405	518	645	691	624	523	408	205

الجدول (4-III): تدفق الإشعاع الشمسي الكلي لولاية ورقلة ليوم 6-7-2010. مذكرة

الماجستير بوزيان خديجة.

## الملاحق

الملحق(ب): خواص مادتي البلاستيك و الزجاج لكلا التحزيمين العادي و السداسي

القيمة العددية			التسمية	الرمز
التحزيم السداسي	التحزيم العادي			
البلاستيك	البلاستيك	الزجاج		
10 m	10 m	10 m	طول الكابل	L
834 w/m <sup>2</sup>	834 w/m <sup>2</sup>	834w/m <sup>2</sup>	الإشعاع الشمسي الكلي	G <sub>p</sub>
0.031 m	0.031 m	0.031 m	نصف قطر الكابل	r <sub>bundle</sub>
0.001m	0.00146m	0.0005 m	نصف قطر القلب	a
0.00005m	0.00005m	0.0005m	سمك الغلاف	d
0.15 w/m .k	0.15 w/m .k	0.24 w/m .k	معامل التوصيل الحراري	k <sub>eff</sub>
10 w/m <sup>2</sup> .k	10 w/m <sup>2</sup> .k	10 w/m <sup>2</sup> .k	معامل الحمل الحراري لسطح المقطع الأمامي	h <sub>con-in</sub>
5 w/m <sup>2</sup> .k	5 w/m <sup>2</sup> .k	5w/m <sup>2</sup> .k	معامل الحمل الحراري للسطح الجانبي	h <sub>con-sid</sub>
2 m	2 m	2 m	قطر المجمع الشمسي	D <sub>a</sub>
1.4	1.4	1.42	قربنة انكسار الغلاف	n <sub>2</sub>
0.94	0.94	0.94	انعكاسية المرآة بالنسبة للألمنيوم عند طول الموجة: λ =0.45μm	ρ
456	360	850	عدد الألياف	N
12 watt	12 watt	12 watt	طاقة الخروج	Q <sub>out</sub>