

دراسة أثر إشابة السيليكا النقية على منحنى معامل التبدد المادي في ليف بصري

الدكتور نظير ديوب *

(تاريخ الإيداع 19 / 4 / 2018. قُبل للنشر في 15 / 7 / 2018)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى دراسة إمكانيات الحصول على مواد ذات تبدد مادي مزاح نحو الأطوال الموجية الأعلى والتي تقع ضمن النافذة C-Band المستخدمة حالياً في أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية. يتم ذلك عن طريق إشابة مادة السيليكا النقية SiO_2 بمواد مختلفة وبنسب مختلفة، حيث تقوم بإيجاد قرائن انكسار مادة اللب في ليف بصري ودراسة تغير هذه القرائن بتابعية الطول الموجي للضوء انطلاقاً من ثوابت سيلمر التي تم الحصول عليها من برنامج OptiFiber. بعد ذلك قمنا بحساب معامل التبدد المادي D_M لكل من المواد المدروسة، بكتابة برنامج ماتلاب خاص بهذه الدراسة وبالتالي دراسة تغير التبدد المادي لهذه المواد بتابعية طول الموجة.

الكلمات المفتاحية: ليف بصري- التبدد المادي D_M - معادلة سيلمر - سيليكا مشابة.

*أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study the effect of pure silica alloy on the curve of the physical dispersion coefficient in optical fiber

Dr.Nazir Dayoub*

(Received 19 / 4 / 2018. Accepted 15 / 7 /2018)

□ ABSTRACT □

The aim of this study is to study the possibilities of obtaining materials with a material shift to the higher wavelengths that fall within the C-Band window currently used in fiber optic communication systems. This is done by mixing pure SiO₂ with different materials and different percentages. We find the evidence of refraction of the core material in an optical fiber and study the change of these clues by sequential wavelength of light from the solimer constants obtained from the OptiFiber program. We then calculated the physical dispersion factor D_M for each of the studied materials by writing a special matlab program for this study and thus studying the change in the physical dispersion of these materials by the sequential wave length.

Key words: optical fiber - physical dispersion DM - Selimer equation - silica is similar.

* Associate Professor- Department of Physics- Faculty of Sciences- Tishreen University -Lattakia - Syria.

مقدمة:

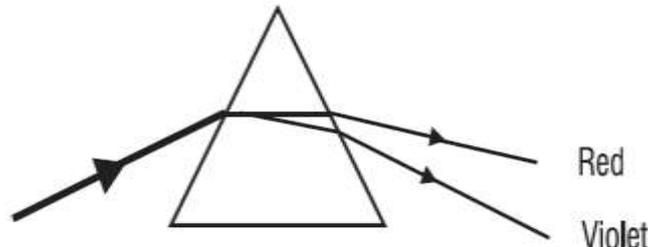
تستخدم السيليكا النقية في الصناعات الضوئية والمختبرات البحثية في جوانب مختلفة بسبب ما تتمتع به من خصائص متنوعة ملائمة فيزيائية وكيميائية. حالياً ويسبب التطور في تنقية السيليكا النقية أصبح بالإمكان الحصول على SiO_2 بمستويات عالية النقاوة. تعتبر السيليكا أساس تصنيع الألياف البصرية والتي بدورها تشكل عصب نقل المعلومات في العصر الحديث [1]، لذلك ومن أجل الحصول على بنية ليف بصري جيد الإرسال: عند الحديث عن مادة السيليكا يجب دراسة آلية التبدد المادي كمؤثر يحد من جودة نقل الإشارة [2,3,4].

التبدد المادي:

تفترض معظم الدراسات النظرية أن المصادر الضوئية تصدر ضوء بطول موجي وحيد (أي تردد وحيد). إن هذا ليس بصحيح أبداً، فالمصادر الحقيقية تنتج إشعاعاً ضمن مجال من أطوال الموجة وهذا المدى هو عرض خط المنبع أو العرض الطيفي. وكلما كان عرض الخط أصغر كان المنبع أكثر تماسكاً. يبث المنبع المتماسك بشكل كامل ضوءاً بطول موجة وحيد وهكذا يكون له عرض خط صفري أحادي اللون تماماً.

ترتبط سرعة الموجة مع قرينة الانكسار بالمعادلة $\theta = c/n$ ، لكن قرينة الانكسار تتغير بتغير طول الموجة. كما في الزجاج المستعمل في الألياف البصرية. لذلك تتغير سرعة الموجة أيضاً مع تغير طولها. تطلق كلمة - تبيد - على خاصية تغير السرعة مع تغير طول الموجة. فعندما يكون تغير السرعة ناتجاً عن خواص المادة تدعى النتيجة تبيد المادة.

كما يمكن ملاحظة التبدد في الزجاج بسهولة عندما يحلل مؤشر زجاجي الضوء الأبيض إلى ألوانه الأساسية كما في الشكل (1) توضح هذه التجربة اعتماداً على تابعة قرينة انكسار الزجاج لطول الموجة. وبموجب قانون سنل ديكارث تتحرف الأشعة الضوئية الواردة فتتحرف الألوان المختلفة بزوايا مختلفة، لأن قرينة الانكسار مختلفة لكل لون [5].



الشكل (1) تبدد الضوء الأبيض عند سقوطه على مؤشر

تؤدي إشابة (SiO_2) بكمية صغيرة من مواد أخرى مثل أكسيد الجرمانيوم (GeO_2) إلى إزاحة طفيفة لمنحنيات قرينة الانكسار [6,7]. لذلك نعرف معادلة سيلمر التي تعطينا قرينة الانكسار الموافقة لكل طول موجي ينتقل عبر المادة وفق العلاقة [8-10] التالية:

$$n(\lambda) = \sqrt{1 + \sum_{i=1}^3 A_i \cdot \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2}} \quad (1)$$

وبما أن لب الليف يصنع من الزجاج. وبالاعتماد على معادلة سيلمر نعبر عن معامل التبدد المادي بدلالة المشتق الثاني لقرينة الانكسار وفق العلاقة التالية [11,12]:

$$D_M = \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda^2} \quad (2)$$

أهمية البحث وأهدافه:**أهمية البحث:**

تكمن أهمية البحث في كونه يعمل على الحصول على مواد ذات تبدد مادي مزاح عن طريق الإشابة.

هدف البحث:

دراسة إمكانية إزاحة منحنى التبدد المادي باتجاه الأطوال الموجية ضمن النافذة C-Band المستخدمة حاليا في أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية.

طرائق البحث ومواده:

1- دراسة نظرية لألية التبدد المادي.

2- مادة الزجاج (السيليكا): Pure Silica، 1% Fluorine-doped silica، 3% B₂O₃-doped silica، 3.1% GeO₂-doped silica، 9.1% P₂O₅-doped silica.

3- إيجاد ثوابت معادلة سيلمر للسيليكا باستخدام المحاكى OptiFiber.

4- استخدام برنامج ماتلاب لإيجاد معامل التبدد المادي.

النتائج والمناقشة:**1- إيجاد ثوابت معادلة سيلمر (Selimer equation):**

بسبب تابعة قرينة انكسار المادة للطول الموجي المنتشر ضمنها، قمنا بإيجاد قرينة انكسار مادة اللب من معادلة سيلمر من أجل مجموعة من المواد باستخدام برنامج OptiFiber الذي يعطينا ثوابت سيلمر لمادة السيليكا المكونة لللب اللب و قمنا بتنظيمها وفق الجدول التالي:

الجدول (1): معادلة سيلمر وثوابتها من أجل السيليكا ومجموعة المواد المستخدمة في عملية الإشابة.

$n^2(\lambda) - 1 = \frac{A_1 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{A_2 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} + \frac{A_3 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_3^2}$						
الإشابة (mol%)	A ₁	A ₂	A ₃	λ ₁	λ ₂	λ ₃
Pure SiO ₂	0.6961663	0.4079426	0.897479	0.0684043	0.1162414	9.896161
Fluorine (1%)	0.6935408	0.4052977	0.9111432	0.0717021	0.1256396	9.896154
B ₂ O ₃ (3%)	0.69325	0.3972	0.86008	0.06723987	0.11714009	9.7760984
GeO ₂ (3.1%)	0.7028554	0.4146307	0.897454	0.0727723	0.11430853	9.8961609
P ₂ O ₅ (9.1%)	0.69579	0.452497	0.712513	0.061568	0.119921	8.656641

تم كتابة برامج ماتلاب لمعادلة سيلمر من أجل مجموعة المواد المستخدمة وبيبين النص التالي نص البرنامج المكتوب
لحساب $n(\lambda)$

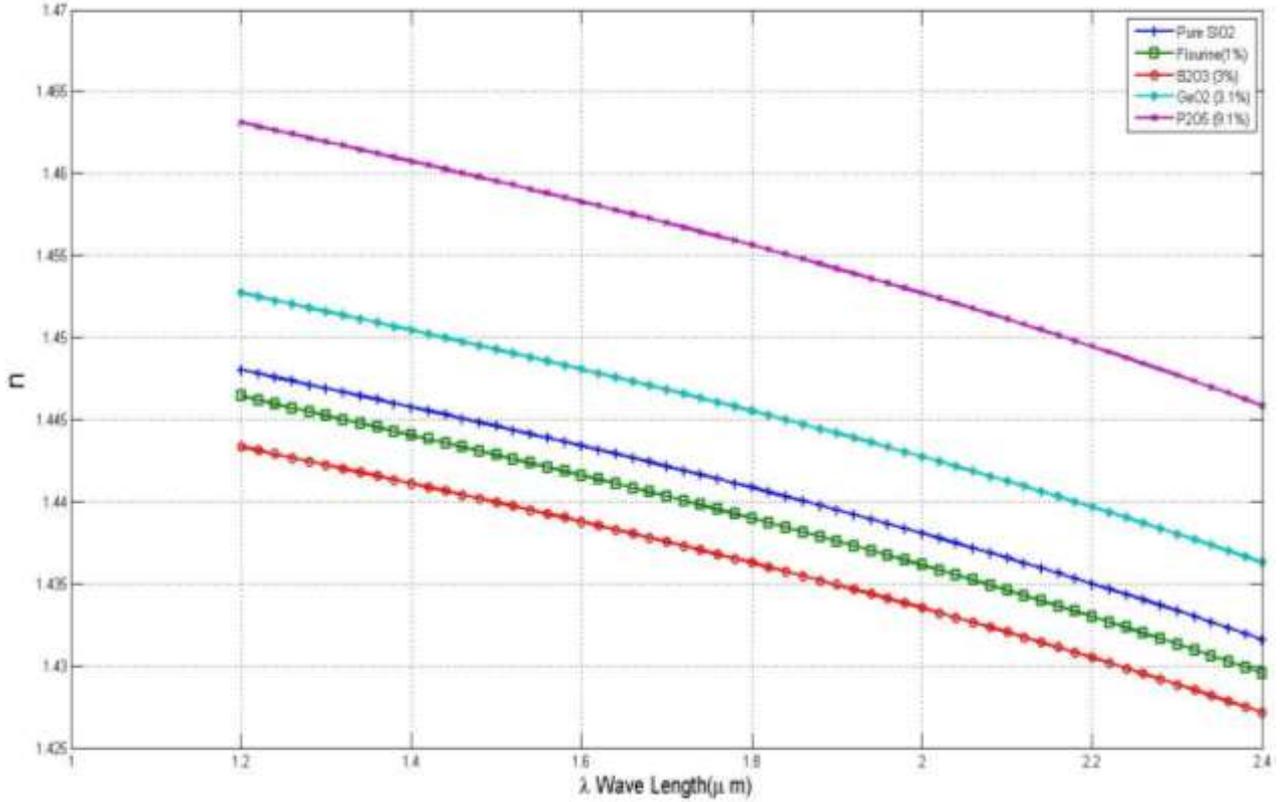
```
clear
%calculate materials n_vector and material dispersion
%wave length vector
y_vector=1.2:0.02:2.4;
%Pure SIO2          A1          A2          A3          Y1          Y2          Y3
constants_array=[0.6961663,0.4079426,0.897479,0.0684043,0.1162414,9.8
96161;
%Flourine(1%)      A1          A2          A3          Y1          Y2          Y3
0.6935408,0.4052977,0.9111432,0.0717021,0.1256396,9.896154;
%B2O3 3%           A1          A2          A3          Y1          Y2          Y3
0.69325,0.3972,0.86008,0.06723987,0.11714009,9.7760984;
%GeO2 3.1%         A1          A2          A3          Y1          Y2          Y3
0.7028554,0.4146307,0.897454,0.0727723,0.11430853,9.8961609;
%P2O5 9.1%         A1          A2          A3          Y1          Y2          Y3
0.69579,0.452497,0.712513,0.061568,0.119921,8.656641];

%matrix to plot all lines for n and dispersion
[n_matrix,md_matrix]=mncalculate(constants_array,y_vector);

%plotting
figure
h=plot(y_vector,n_matrix,'LineWidth',2);
set(h,{'Marker'},{'+','s','o','*','x'})
title(' ');
xlabel('\lambda Wave Length(\mu m)','fontsize',15);
ylabel('n','fontsize',20);
%ylabel('D=$-\frac{\mathrm{\lambda}}{\mathrm{d}^2n}\{c\},
\mathrm{d}\lambda^2\}(\frac{ps}{km.nm})$', 'Interpreter','LaTeX','fontsize',15);
legend('Pure SIO2','Flourine(1%)','B2O3 (3%)','GeO2 (3.1%)','P2O5
(9.1%)','fontsize',15);
grid on;
datacursormode on;

figure
m=plot(y_vector,md_matrix/power(10,-12),'LineWidth',2);
set(m,{'Marker'},{'+','s','o','*','x'})
title(' ');
xlabel('\lambda Wave Length(\mu m)','fontsize',15);
ylabel('Dispersion
($\frac{ps}{km.nm})$', 'Interpreter','LaTeX','fontsize',20);
%ylabel('D=$-\frac{\mathrm{\lambda}}{\mathrm{d}^2n}\{c\},
\mathrm{d}\lambda^2\}(\frac{ps}{km.nm})$', 'Interpreter','LaTeX','fontsize',15);
legend('Pure SIO2','Flourine(1%)','B2O3 (3%)','GeO2 (3.1%)','P2O5
(9.1%)','fontsize',15);
grid on;
datacursormode on;
```

وبين الشكل (1) نتائج البرنامج:



الشكل(1): تغير قرينة الانكسار بتابعة الطول الموجي من أجل مجموعة مواد السيليكا.

وبين الجدول (2) قيم قرائن الانكسار التي تم الحصول عليها من برنامج ماتلاب:

الجدول(2): يبين قيم قرائن الانكسار الموافقة لكل طول موجي من أجل مجموعة المواد المستخدمة في عملية الاشابة.

$\lambda(\mu m)$	$n(\lambda)$				
	Pure SiO2	Flourine(1%)	B2O3 3%	GeO2 3.1%	P2O5 9.1%
1.2	1.448050164	1.446450285	1.443363297	1.452750625	1.463122718
1.26	1.447369991	1.445734463	1.442693407	1.452064413	1.462418145
1.3	1.446917532	1.44526013	1.442247715	1.451608546	1.461949134
1.36	1.446236638	1.444548761	1.441576901	1.450923338	1.461242791
1.4	1.445779443	1.444072563	1.441126406	1.450463734	1.460768116
1.46	1.44508615	1.443352394	1.440443173	1.449767441	1.460047674
1.5	1.444617663	1.442866907	1.439981419	1.449297318	1.459560382
1.56	1.443903587	1.442128465	1.439277511	1.448581273	1.4588169
1.6	1.443419006	1.441628276	1.438799766	1.44809567	1.458311836

1.66	1.442677883	1.440864522	1.438069003	1.447353407	1.457538538
1.7	1.442173547	1.440345531	1.437571655	1.446848551	1.457011708
1.76	1.441400507	1.439551027	1.436809228	1.446075056	1.456203229
1.8	1.440873513	1.439010004	1.436289404	1.44554796	1.455651401
1.86	1.440064618	1.438180387	1.435491416	1.444739189	1.454803306
1.9	1.439512572	1.437614691	1.434946745	1.444187398	1.454223749
1.96	1.43866451	1.436746324	1.434109909	1.443339961	1.453332212
2	1.438085359	1.43615371	1.433538353	1.442761377	1.452722522
2.06	1.43719524	1.435243447	1.432659797	1.441872324	1.451784113
2.1	1.436587161	1.434621941	1.432059541	1.441265091	1.451142095
2.16	1.435652374	1.433666967	1.43113666	1.440331766	1.450153622
2.2	1.435013692	1.433014771	1.430506032	1.439694183	1.449477202
2.26	1.434031802	1.432012482	1.429536393	1.438714119	1.448435608
2.3	1.433360934	1.43132791	1.428873808	1.438044584	1.447722769
2.36	1.432329608	1.430275834	1.427855075	1.437015424	1.446625045
2.4	1.431625019	1.429557265	1.427158993	1.436312387	1.445873781

2- حساب معامل التبدد المادي:

بعد الحصول على ثوابت معادلة سيلمر من أجل مواد الزجاج المستخدمة والتوصل إلى قرائن الانكسار الخاصة بكل مادة، قمنا بكتابة برنامج ماتلاب لحساب معامل التبدد المادي وبيين النص التالي نص البرنامج المكتوب:

```
function [n_vec,m_dispersion]=mncalculate(constants,y_vector)
[r c]=size(constants);
for i=1:r
    a1=constants(i,1);
    a2=constants(i,2);
    a3=constants(i,3);
    y1=constants(i,4);
    y2=constants(i,5);
    y3=constants(i,6);
    [n,m]=mn_calculate(a1,a2,a3,y1,y2,y3,y_vector);
    n_vec(:,i)=n';
    m_dispersion(:,i)=m';
end

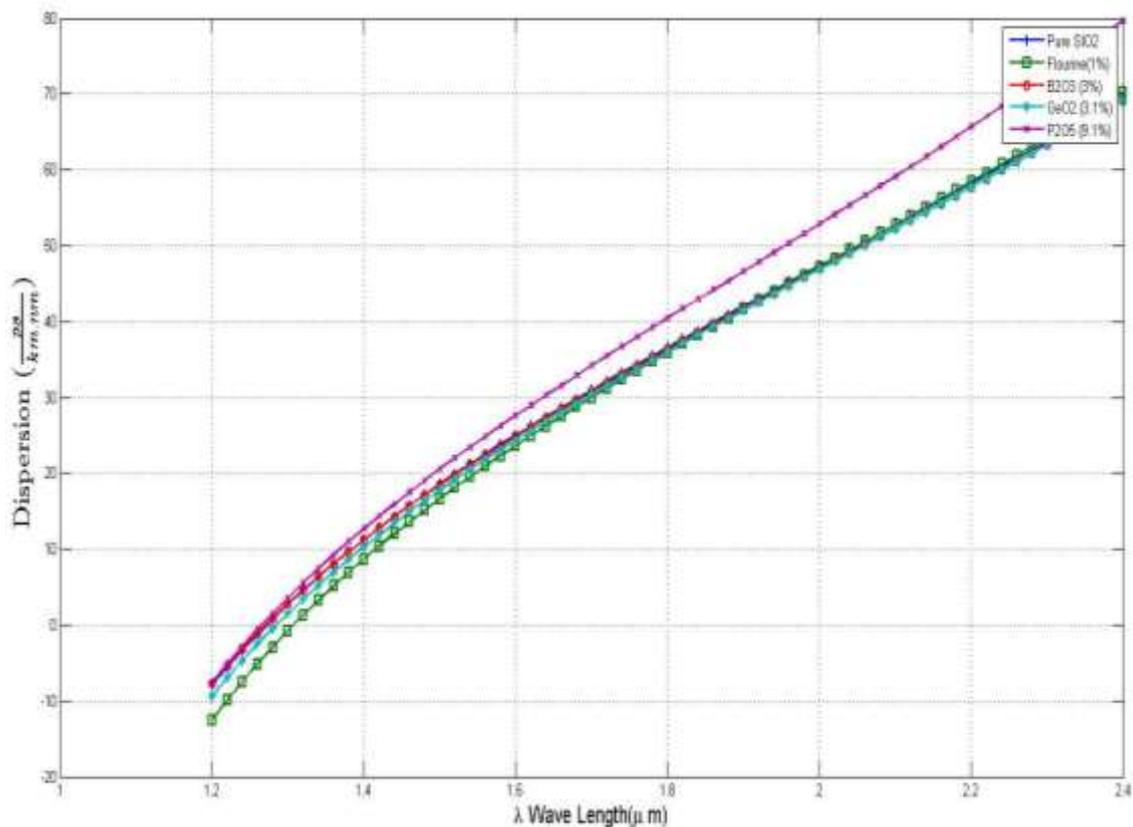
function
[n_vec,m_dispersion]=mn_calculate(a1,a2,a3,y1,y2,y3,y_vector)
%-----
%y_vector=y_vector*power(10,-6);
[r c]=size(y_vector);
```

```

syms lambda;
% n relation by Lambda
p1=(a1*lambda^2)/((lambda^2)-y1^2);
p2=(a2*lambda^2)/((lambda^2)-y2^2);
p3=(a3*lambda^2)/((lambda^2)-y3^2);
t=p1+p2+p3;
n=(t+1)^(1/2);
%-----
%Evulate n relation with Lambda Values
n_vector=subs(n,lambda,y_vector);
%-----
%Derivating N by lambda twice
n_der_function=diff(n,lambda,2);
%Calcualte derivation values
n_derivatives=vpa(subs(n_der_function,lambda,y_vector));
%-----
%calcualte Material Dispersion Values
for i=1:c
material_dispersion(i)=vpa((y_vector(i)*(-
1)*n_derivatives(i))/(3*power(10,8)));
end
m_dispersion=double(material_dispersion);
n_vec=double(n_vector);
%-----

```

يبين الشكل (2) نتائج البرنامج:



الشكل (2): منحنيات معامل التبدد المادي من أجل السيليكا النقية ومجموعة المواد المستخدمة في عملية الإشابة.

وبين الجدول (3) نتائج التبدد المادي من أجل مواد الزجاج التي تم الحصول عليها من برنامج ماتلاب:

الجدول (3): قيم معاملات منحني التبدد المادي الموافقة لكل طول موجي.

$\lambda(\mu m)$	Material Dispersion(ps/nm.km)				
	Pure SiO ₂	Flourine(1%)	B ₂ O ₃ (3%)	GeO ₂ (3.1%)	P ₂ O ₅ (9.1%)
1.2	-7.90	-12.5	-7.63	-9.35	-7.62
1.26	-1.29	-5.16	-1.12	-2.56	-0.653
1.3	2.65	-0.8	2.76	1.48	3.51
1.36	7.99	5.09	8.03	6.95	9.19
1.4	11.2	8.66	11.2	10.3	12.7
1.46	15.8	13.6	15.7	14.9	17.5
1.5	18.6	16.6	18.5	17.8	20.5
1.56	22.5	20.9	22.4	21.8	24.9
1.6	25.1	23.6	24.9	24.3	27.6
1.66	28.7	27.5	28.4	28	31.6
1.7	31	30	30.7	30.4	34.2
1.76	34.4	33.6	34.1	33.8	38
1.8	36.6	35.9	36.3	36	40.5
1.86	39.9	39.4	39.5	39.3	44.2
1.9	42	41.6	41.7	41.5	46.6
1.96	45.2	45	44.8	44.7	50.3
2	47.3	47.2	47	46.9	52.8
2.06	50.6	50.6	50.2	50.1	56.6
2.1	52.7	52.8	52.3	52.3	59.1
2.16	56	56.2	55.5	55.5	63
2.2	58.2	58.5	57.7	57.7	65.7
2.26	61.5	61.9	61.1	61.1	69.7
2.3	63.8	64.2	63.3	63.3	72.5
2.36	67.2	67.8	66.8	66.8	76.8
2.4	69.6	70.2	69.1	69.1	79.7

الاستنتاجات والتوصيات:***الاستنتاجات:**

- درس البحث تأثير عملية الإشابة على معامل التبدد المادي.
- لكل مادة طول موجي صفري يكون عنده معامل التبدد المادي مساوٍ للصفر .
- عند الإشابة بمواد (P₂O₅،B₂O₃) ينزاح منحنى معامل التبدد المادي نحو الأطوال الموجية القصيرة.
- عند الإشابة بمواد (Flourine،GeO₂) ينزاح منحنى معامل التبدد المادي نحو الأطوال الموجية الطويلة.

*** التوصيات:**

- دراسة أثر تغيير نسبة الإشابة للمواد المستخدمة على معامل التبدد المادي.
- البحث عن مواد تمكننا من الحصول على معامل تبدد مادي باتجاه أطوال موجية أكبر قيمة.

المراجع:

- [1] Malitson, I. *Interspecimen Comparison of the Refractive Index of Fused Silica*, OSA.55 (10),1965, 1205-1209.
- [2] Saurabh; and Kumar,V. *Power Communication using Optical-Fiber*. IPASJ International Journal of Electrical Engineering (IIJEE). 3 (12),2015, 11-15.
- [3] Dubey, P. K; and Shukla,V. *Dispersion in Optical Fiber Communication*. International Journal of Science & Research (IJSR). 3 (10),2014, 236-239.
- [4] Essiambre, R. J; Kramer, G; Winzer, P. J; Foschini, G. J; and Goebel, B. *Capacity Limits of Optical Fiber Networks* (Invited Paper). Journal of Lightwave Technology . 28 (4), 2010, 662-710.
- [5] Ghatak, Ajoy; and Thyagarajan, k. *Optical waveguides and Fibers. Fundamentals of Photonics*. India:University of Connecticut, 2000, 249-292.
- [6] Ghatak, Ajoy; and Thyagarajan, k. *Introduction to Fiber Optics*. New Delhi, 1997,530.
- [7] جوزيف، باليز. (1992). *الاتصالات بالألياف البصرية* (ترجمة جورج صنيح). سوريا: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، 609
- [8] Binh, L; Chin, k; and Sharma, D. *Design of Dispersion Flattened and Compensating Fibers for Dispersion-managed Optical Communication Systems* (Technical Paper). IEEE Journal of Lightwave Technology, 2003, 63-82
- [9] Kitamura, Rei; Pilon, Laurent; and Jonasz, Mirosław. *Optical constants of silica glass from extreme ultraviolet to far infrared at near room temperature*, APPLIED OPTICS. 46 (33), 2007, 8118-8133.
- [10] Brückner, Volkmar. *To the use of Sellmeier formula*. Germany: Springer, 2011 <http://www.springer.com/978-3-8348-1302-2>.
- [11] Senior, John. *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. 3rd ed. England: Pearson Education Limited, 2009, 1076.
- [12] Agrawal, Govind. *Fiber-Optic Communication Systems*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc, New York: 2002. 546.