التوصيف الضوئي للمستحلب الدهني Intralipid 20% عند الطول الموجي 405 نانومتر

علي شاهين*، مصطفى صائم الدهر**، وسام بشير***

(الإيداع:30 آيلول 2019، القبول: 25 حزيران 2019)

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى تحديد المعاملات الضوئية للمستحلب الدهني Intralipid 20% عند الطول الموجي 405 نانومتر. ولهذا الغرض فقد تم استخدام طريقتين الأولى نموذج كوبيلكا–منك المعدل والثانية هي نظرية ماي. وبالاعتماد على منظومة الكرة التكاملية تم تحديد أطياف النفاذية والانعكاسية الانتشارية ومطيافية نفاذ الحزمة المتوازية لتسجيل طيف النفاذية المتوازية. لدى مقارنة نتائج النموذجين السابقين لاحظنا تقارباً كبيراً في قيم معامل التبعثر هذا من ناحية يؤكد إمكانية استخدام نموذج كوبيلكا–منك المعدل مع منظومة الكرة التكاملية ومن ناحية أخرى يبين إمكانية استخدام معادلة كوشي لتحديد الجزء الحقيقي لقرينة انكسار المستحلبات الدهنية. إضافة لذلك تم تحديد معامل الامتصاص، عامل اللاتماثل و قرينة الانكسار العقدية التي حسبت بالاعتماد على قيمة معامل الامتصاص.

الكلمات المفتاحية : الكرة التكاملية–معامل التبعثر–عامل اللاتماثل–معامل الامتصاص–قرينة الانكسار.

* طالب دكتوراه – المعهد العالي لبحوث الليزر و تطبيقاته–جامعة دمشق

** عميد المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته– المعهد العالي لبحوث الليزر و تطبيقاته–جامعة دمشق

*** رئيس قسم فيزياء وتقانة الليزر – المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته–جامعة دمشق

Optical Characterization of Intralipid 20% at Wavelength 405nm

Ali Shahin*[1], Moustafa Sayem El-Daher[2], Wesam Bachir[3]

(Received: 30 September 2018,Accepted:25 June 2019)

Abstract:

The aim of this study is the determination of Intralipid 20% optical parameters at wavelength 405nm. Therefore, two methods were used, the first one was a modified Kubelka-Munk model and the second one was Mie theory. For this purpose, a single integrating sphere system was set up to determine the diffuse reflection and transmission spectrum and collimated transmission spectroscopy to determine the collimated transmission spectrum. Comparison of scattering coefficients which are calculated by these two methods were matched, and proved the applicability of a modified Kubelka-Munk model with a single integrating sphere system and Cauchy equation for estimation the real part of fat emulsion's refractive index. Besides to calculate absorption coefficient, anisotropy factor and imaginary refractive index depend on the coefficient absorption.

Keywords: single integrating sphere-scattering coefficient-anisotropy factor-absorption coefficient- refractive index

[1] PhD candidate, Higher Institute for Laser Research and Applications-Damascus university-0988165338.

[2] The Dean of Higher Institute for Laser Research and Applications- Higher Institute for Laser Research and Applications-Damascus University

[3] Head of Laser Physics and Technology- Higher Institute for Laser Research and Applications-Damascus University

1_ مقدمة:

إن التعاظم الكبير لأهمية الطرائق الطيفية ودخولها في شتى المجالات العلمية والبحثية وخاصة الطبية منها كان له دور كبير في ظهور النماذج الضوئية الفيزيائية. النماذج الضوئية الفيزيائية هي عبارة عن أداة مخبرية تستخدم لمحاكاة النسيج الحي ضوئياً، فهي تعتبر وسيلة هامة لعمليات تطوير واختبار المنظومات الضوئية عامة وأنظمة التشخيص الطبي خاصة (Pouge وPatterson ، 2006). نظراً لكون النسيج الحيوي يعتبر وسطاً مضطرباً أي يحصل فيه فعلي الامتصاص و التبعثر فلذلك كان لابد لهذه النماذج الضوئية من أن تحاكي كمياً ونوعياً الخصائص الضوئية للنسيج المعتبر و لتحقيق هذا كان لابد من مزج مواد ماصة وأخرى مبعثرة بحيث تتطابق المعاملات الضوئية لهذا الوسط مع النسيج المعتبر (Hwang و زملاؤه ،2012). من جانب آخر فقد تنوعت المواد المستخدمة في بناء النماذج الضوئية الفيزيائية والتي تستخدم لمحاكاة الامتصاص ونذكر منها على سبيل المثال الحبر الهندي والدم و الأصبغة الغذائية (Haj–Hossenii و زملاؤه، 2010؛ Spinelli و زملاؤه، 2007؛ Ninni و زملاؤه، 2010). أما لمحاكاة التبعثر فأكثر المواد استخداماً هي المستحلبات الدهنية التي تتنوع في أسمائها والتي تتكون بشكل أساسي من زيت الصويا، الشحوم الفوسفورية، الغليسيرول والماء، لقد كثر استخدام هذه المواد عالمياً نظراً لخصائصها الكثيرة فهي رخيصة، آمنة ومتجانسة (Flock و زملاؤه، 1992؛ Michels و زملاؤه، 2008؛ Ninni و زملاؤه، 2011). لكن نظراً لكثرة إنتاجها وتنوع طرائق تصنيعها وطرائق توصيفها ودراستها فقد تنوعت معها خصائصها الضوئية لدرجة أنها لم تعد تعتبر بمثابة معيار. فمعظم الدراسات السابقة لم تتفق على معاملات ضوئية محددة بدقة لكل نوع منها و يعزى السبب في ذلك لطرائق التصنيع والتوصيف المتبعة (Michels و زملاؤه، 2008؛ Spinelli و زملاؤه، 2007؛ Spinelli و زملاؤه، 2014).

من ناحية أخرى فإن هنالك العديد من طرائق التوصيف الضوئية ولكن تعتبر الطرائق غير المباشرة والقائمة على تسجيل طيفي الانعكاسية الانتشارية R_d والنفاذية الانتشارية T_d باستخدام الكرة التكاملية بالإضافة إلى طيف النفاذية المتوازية T_c باستخدام مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية من ثم تحليل هذه الأطياف بالاعتماد على إحدى النماذج الرياضية من أفضل الطرق ودقتها تتبع للنماذج الرياضية التحليلية والعددية المستخدمة (Wilson و زملاؤه، 1987؛ Holmer و زملاؤه، 2007؛ Soleimanzad و زملاؤه، 2017). من هذه النماذج الرياضية التحليلية نذكر نموذج كوبيلكا–منك Kubelka–Munk حيث يعتبر من أبسط النماذج الرياضية التحليلية وأكثرها دقة (Yang و Kruse، 2004؛ Thennadil، 2008).

في هذا البحث سوف نقوم بتوصيف الخصائص الضوئية للمستحلب الدهني Intralipid 20% (Sigma Aldrich,Germany) عند الطول الموجي 405nm متمثلة بمعاملي الامتصاص والتبعثر وعامل اللاتماثل. لهذا الغرض قمنا ببناء منظومة الكرة التكاملية ومطيافية نفاذ الحزمة المتوازية لتسجيل الأطياف المطلوبة متمثلة بطيف النفاذية والانعكاسية الانتشاريين وطيف النفاذية المتوازية، حيث سيتم تحليل هذه الأطياف بالاعتماد على نموذج كوبيلكا–منك المعدل بغية التوصل للمعاملات الضوئية. بعدها ستتم مقارنة النتائج التي تم التوصل اليها مع نتائج نظرية ماي.

2_هدف البحث

يهدف هذا العمل إلى التالي :

1. بناء منظومة الكرة التكاملية للقيام بتسجيل أطياف الانعكاسية الانتشارية R_d والنفاذية الانتشارية T_d بالإضافة إلى مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية لتسجيل طيف النفاذية المتوازية T_c.
2. تحضير عينات Intralipid20% متفاوتة التركيز وذلك عبر تمديد العينة النقية من المستحلب بالماء المقطر وذلك لتسجيل أطياف الانعكاسية والنفاذية الانتشارية بالإضافة لطيف النفاذية المتوازية لهذه العينات.

3. استخدام نموذج كوبيلكا–منك Kubelka–Munk المعدل الذي يعتمد على الأطياف المسجلة للعينات المدروسة لتحديد معاملي الامتصاص والتبعثر.
4. استخدام نظرية ماي Mie theory لتحديد معامل التبعثر وعامل اللاتماثل للمستحلب المدروس.
5. مقارنة قيم معامل التبعثر المحسوبة بكلتا الطريقتين وذلك لتبيان فعالية نموذج Kubelka–Munk المعدل.
6. حساب معامل الامتصاص وقرينة الانكسار العقدية لهذه المادة عند الطول الموجي 405nm.

3_ طرائق وأدوات البحث

3_1 نموذج Kubelka–Munk

يعتبر نموذج كوبيلكا–منك من أبسط النماذج الرياضية التحليلية التي تستخدم لعملية التقدير الكمي للمعاملات الضوئية باستخدام منظومة الكرة التكاملية. حيث يعتمد هذا النموذج على طيفي الانعكاسية الانتشارية والنفاذية الكلية فقط لتحديد معامل التبعثر المختزل μ'_s ومعامل الامتصاص μ_a. لكن هذا النموذج وعلى الرغم من سهولته إلا أنه يمتلك نقطة ضعف متمثلة بأنه لا يأخذ بعين الاعتبار الفرق الحاصل بين قرينتي انكسار الوسط المدروس والوسط المحيط به (Vargas و Niklasson، 1997؛ Yang و Kruse، 2004). مؤخراً قام Karinov وزملاؤه (2013) بتعديل هذا النموذج بحيث أصبح هذا النموذج يعتمد على طيف الانعكاسية الانتشارية R_d والنفاذية الانتشارية T_d وطيف النفاذية المتوازية T_c، بالإضافة إلى إدخال حد جديد لتلافي الضعف لدى النموذج التقليدي. يعرف هذا الحد بمعامل نفاذ فرينل Frensel Power Transmission T_f ويعطى بالعلاقة التالية:

$$(1) T_f = \frac{4.n}{(n+1)^2}$$

حيث أن n تمثل قرينة انكسار الوسط المدروس. وأما بالنسبة لمعاملي الامتصاص والتبعثر فإن المعادلات المعبرة عنهما (Karinov وزملاؤه، 2013):

$$(2)\ \mu_a = \frac{1}{d}\,\mathrm{Log}\left(T_f^2/T_d\right) - \frac{2.R_d.T_f^2.\log(T_f^2/T_d)}{d.(T_f^4 - T_d^2)}$$

$$(3)\ \mu_s = \frac{1}{d}\,\mathrm{Log}(T_d/T_c) + \frac{2.R_d.T_f^2.\log(T_f^2/T_d)}{d.(T_f^4 - T_d^2)}$$

3_2 نظرية ماي Mie Theory

تعتبر نظرية ماي Mie Theory بمثابة الحل التحليلي لمعادلات ماكسويل التي تصف تبعثر الأمواج الكهرطيسية الحاصل بسبب جسيمات كروية الشكل بشكل إفرادي. تستخدم هذه النظرية لحساب معاملي التبعثر واللاتماثل من أجل جسيمات كروية مثالية (van de Hulst، 1981). تعتمد هذه النظرية على أبعاد ونسبة الجسيمات المدروسة بالإضافة إلى طول موجة الضوء الساقط على الجسيمات وقرينة انكسار كل من الوسط المحل والجسيمات المطلوب توصيفها ضوئياً. لتحديد قرينة انكسار كل من المحل (الماء المقطر) والمستحلب المدروس فإنه عادة ما يتم استخدام علاقة كوشي Cauchy Equation التي تعطى بالتالي(Michels و زملاؤه، 2008):

$$(4) n(\lambda) = I + J/\lambda^2 + K/\lambda^4$$

حيث أن المعامل الخاص بالمستحلب الدهني $I_{soybean} = 1.451$ وللماء المقطر كمحل $I_{water} = 1.311$, أما بقية المعاملات $K = -1.132\,X10^9$ و $J = 1.154\,X\,10^4$ بشرط أن يقدر الطول الموجي للضوء المستخدم بالنانومتر.

تقوم نظرية ماي Mie بحساب كفاءة التبعثر $Q(r_i, \lambda)$ كتابع للطول الموجي ولأبعاد الجسيمات المعتبرة والتي تستخدم بدورها لحساب المقطع العرضي للتبعثر $\sigma_{scatt}(r_i, \lambda)$ وفقاً للعلاقة التالية (van Staveren و زملاؤه، 1991؛ Matzler، 2002):

$$(5)\ \sigma_{scatt}(r_i, \lambda) = \pi . r^2 . Q(r_i, \lambda)$$

بعد ذلك وبالاعتماد على قيم المقطع العرضي للتبعثر ومعامل اللاتماثل لكل جسيمة $g(r_i, \lambda)$ يتم حساب عامل لاتماثل الوسط $g(\lambda)$ ومعامل تبعثر الوسط $\mu_s(\lambda)$ وفقاً للتالي:

$$g(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^{n} g(r_i,\lambda).\sigma_{scatt}(r_i,\lambda).f(r_i,\lambda)}{\sum_{i=1}^{n} \sigma_{scatt}(r_i,\lambda).f(r_i,\lambda)} \quad (6)$$

$$\mu_s(\lambda) = N_0 . \sum_{i=1}^{n} \sigma_{scatt}(r_i, \lambda) . f(r_i, \lambda) \quad (7)$$

حيث أن $f(r_i, \lambda)$ يمثل النسبة المئوية للجسيمة ذات نصف القطر r_i ضمن المستحلب المدروس أما المقدار N_0 يعبر عن كثافة المواد ضمن الوسط المدروس ويعطى بالعلاقة التالية:

$$(8) N_0 = \frac{\vartheta}{\sum_{i=1}^{n} \frac{4}{3}.\pi r_i^2 . f(r_i)}$$

أما ϑ يمثل حجم كل من الليستين Lecithin (إن وجد) وزيت الصويا Soya Oil ووفقاً للمادة المدروسة ومعلومات الشركة المصنعة فتبلغ قيمة هذا المعامل 0.239. أما بالنسبة لأبعاد الجسيمات فإنه قد تم الاعتماد على دراسات سابقة تخص هذا المركب(van Staveren، 1991).

3_3 تحضير العينات

في هذا العمل تمت دراسة المستحلب الدهني Intralipid 20% (Sigma Aldrich, Germany). حيث تم بداية تمديد هذا المركب باستخدام الماء المقطر للحصول على التراكيز التالية: **(3.75 % , 2.5 , 2 , 1.5 , 1 , 0.5 , 0.25 , 0.125)**، حيث تم قياس طيفي الانعكاسية الانتشارية R_d والنفاذية الانتشارية T_d لهذه التراكيز باستخدام منظومة الكرة التكاملية، نظراً لكون هذه التراكيز عالية فهذا منع من استخدامها لتحديد طيف نفاذ الحزمة المتوازية. لذلك قمنا بتمديد المادة بالماء المقطر مرة أخرى للحصول على تراكيز منخفضة**(0.1765, 0.1176 , 0.0588 , 0.0294 , 0.0214 , 0.0147 , 0.0107 %)** هذه التراكيز التي سنقوم بتسجيل طيف النفاذية المتوازي لها باستخدام مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية ومنه سيتم تحديد معامل التخامد كتابع للتركيز وبشكل معاكس نقوم بتحديد قيم طيف النفاذ المتوازي للتراكيز الأولية التي استخدمت في منظومة الكرة التكاملية لنتمكن من تطبيق المعادلات (2) و (3) وبالتالي حساب معاملي الامتصاص والتبعثر.

4_3 مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية

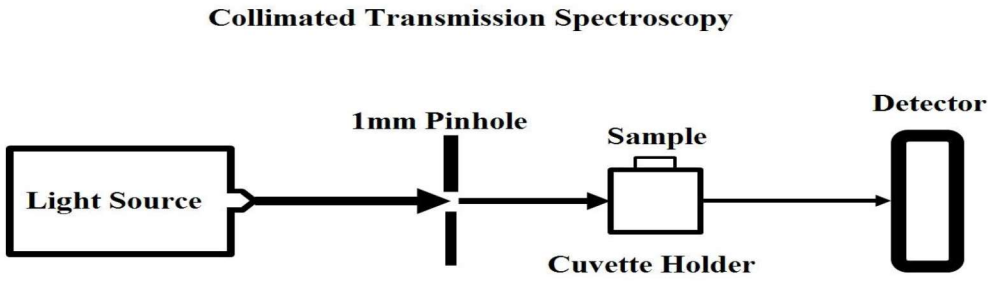
يبين الشكل(1) مخططاً تمثيلياً لمطيافية نفاذ الحزمة المتوازية المبنية. لبناء مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية قمنا باستخدام ليزر بنفسجي مستمر (Matchbox, Integrated Optics, Lethuania) يعمل عند الطول الموجي 405 نانومتر والذي يمكننا التحكم باستطاعة خرجه باستخدام برنامج خاص Matchbox software متوافق مع كافة أنظمة ويندوز، تبلغ الاستطاعة العظمى لهذا الليزر 80 ميلي واط مصنع مع ليف بصري. تم وضع العينة السائلة ضمن وعاء من الكوارتز مقطعه 1سم وسماكة جدرانه 1مم وضع بدوره ضمن حامل عينة (CVH100, Thorlabs, USA). تم أخذ القياس باستخدام كاشف (S302C, Thorlabs, USA)، استطاعته العظمى 2 واط يتم اظهار القياسات باستخدام شاشة رقمية (PM200, Thorlabs, USA) حيث يوصل الكاشف بها عبر مأخذ خاص. إن هذه المطيافية تستخدم لقياس معامل التخامد الكلي للعينة $\mu_t(\lambda)$ والذي يحسب بواسطة قانون بيير–لامبيرت Beer–Lambert Law الذي يعطى بالتالي (شاهين و بشير، 2017):

$$(9)I_z(\lambda) = I_0(\lambda).e^{-\mu_t(\lambda).z.c}$$

$$(10)T = \frac{I_z(\lambda)}{I_0(\lambda)} = e^{-\mu_t(\lambda).z.c}$$

حيث أن:

- $I_z(\lambda)$ تمثل شدة الضوء التي تعبر العينة المدروسة.
- $I_0(\lambda)$ تمثل الشدة الكلية المقاسة من خلال العينة التي تحوي على الماء المقطر (المحل).
- z يعبر عن طول المسار الضوئي وهنا يمثل سماكة العينة والذي يساوي 1سم،
- c يعبر عن التركيز الحجمي المئوي للمادة المدروسة ضمن العينة.
- T تعبر عن النفاذية (%).

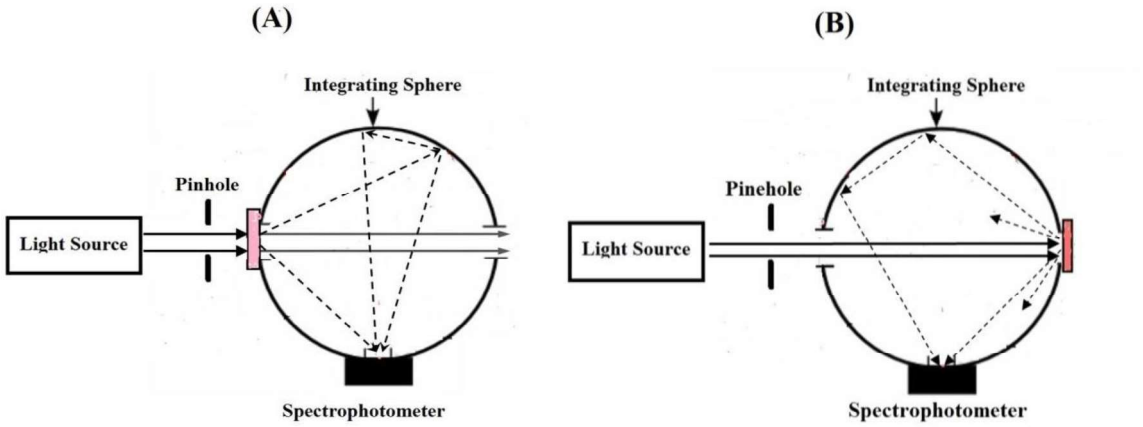


الشكل(1): المخطط الصندوقي لمطيافية نفاذ الحزمة المتوازية

ومن خلال قياس أطياف النفاذية المتوازية يمكننا تحديد معامل التخامد من قانون بيير–لامبيرت.

5_3 منظومة الكرة التكاملية

تتألف هذه المنظومة من كرة تكاملية (819C–IS–5.3, Newport, USA) بأربع مداخل، طليت السطوح الداخلية لهذه الكرة بمادة عالية الانعكاسية تصل إلى ما يقارب 99.9% وفقاً للمصنع. تستخدم منظومة الكرة التكاملية لقياس أطياف الانعكاسية والنفاذية الانتشارية كما هو موضح في الشكل (2). يمرر الضوء الصادر عن المنبع الليزري (Matchbox,Integrated Optics, Lethuania) عبر ثقب ضوئي بقطر 1مم ليسقط على العينة السائلة الموضوعة في حامل كوارتز مقطعه 1سم بسماكة جدران قدرها 1مم الذي بدوره محمول على حامل خاص بالكرة التكاملية. تم تسجيل أطياف الانعكاسية و النفاذية الانتشارية باستخدام مطياف(Maya Pro2000, Ocean Optics, USA) هذا المطياف الذي يتصل بالحاسب عبر منفذ USB بحيث تظهر النتائج باستخدام برنامج خاص بهذا المطياف (Oceanview, Ocean Optics, USA) متوافق مع أنظمة ويندوز.



الشكل (2): مخطط تمثيلي لمنظومة الكرة التكاملية لقياس طيف النفاذية الانتشارية (A)، وطيف الانعكاسية الانتشارية (B).

4_ النتائج و المناقشة

بداية فقد تم باستخدام مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية Collimated Transmission Spectroscopy تحديد كل من الشدة الكلية $I_0(\lambda)$ والنافذة $I_z(\lambda)$ لكل عينة من عينات المستحلب الدهني المحضرة ذات التراكيز التالية: (0.0107, 0.0147, 0.0214, 0.0294, 0.0588, 0.1176, 0.1765 %) وبالاعتماد على قانون بيير–لامبيرت تم تحديد معامل التخامد لكل تركيز كما هو موضح بالجدول التالي.

الجدول(1): يبين قياسات مطيافية النفاذ ومعامل التخامد لكل تركيز.

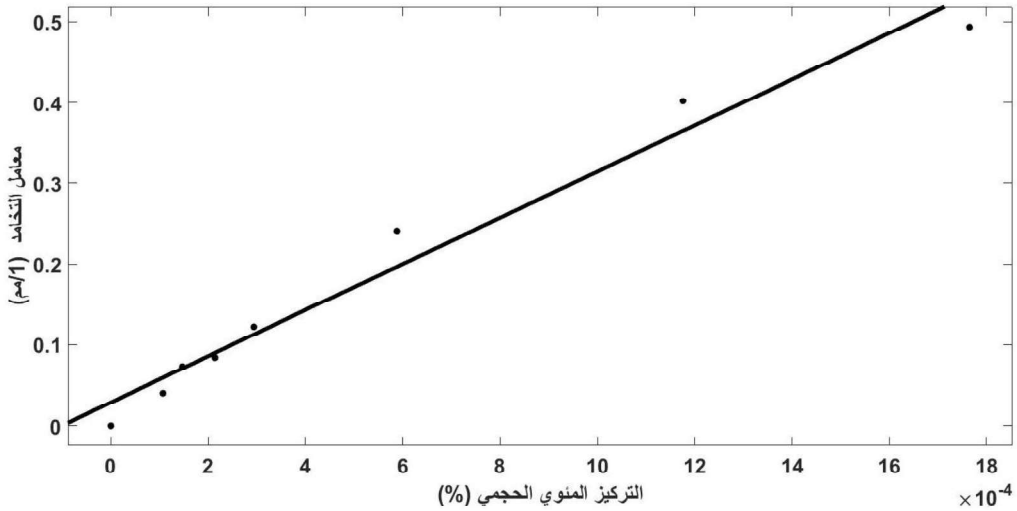
تركيز المستحلب $C_{IL}(v/v)$ $x10^{-4}$	0	1.07	1.47	2.14	2.94	5.88	11.76	17.65
الشدة I (mW)	2.78	1.86	1.34	1.2	0.82	0.25	0.05	0.02
النفاذية المتوازية $\%T_c$	100	66.91	48.20	43.17	29.50	8.99	1.8	0.72
μ_t (mm^{-1})	0	0.040187	0.072978	0.084013	0.12209	0.240875	0.401818	0.493447

بعدها تم تمثيل التركيز مع معامل التخامد بيانياً، الشكل (3)، ومنها وباستخدام وظيفة المواءمة في برنامج ماتلاب تم الحصول على علاقة خطية تجمع التركيز وعامل التخامد كما في التالي:

$$(11)\mu_t(mm^{-1}) = 285.6 * C_{IL}(v/v) + 0.02873$$

حيث أن: μ_t معامل تخامد عينة Intralipid 20% ذات التركيز المئوي الحجمي C_{IL}.

$C_{IL}(v/v)$ التركيز المئوي الحجمي لعينة Intralipid 20%



الشكل (3): تغيرات معامل تخامد المستحلب الدهني Intralipid 20% بدلالة التركيز المئوي الحجمي

تعزى هذه النتيجة إلى أن ارتفاع تركيز المادة المبعثرة ضمن العينة سيؤدي بشكل طبيعي إلى زيادة أثرها وبالتالي زيادة معامل تخامدها، ندعو أمثال التركيز في المعادلة (11) أي المقدار 285.6 مم$^{-1}$ بمعامل تخامد المستحلب الدهني Intralipid 20% عند الطول الموجي 405 نانومتر. بالنظر إلى الجدول السابق نلاحظ أن الاستطاعة النافذة لأعلى تركيز صغيرة جداً وإن هذا التركيز عندما قمنا بقياس الانعكاسية الانتشارية والنفاذية الانتشارية له لاحظنا أنها منخفضة جداً وبالتالي فهذه التراكيز لو قمنا بقياس أطيافها بواسطة منظومة الكرة التكاملية لما تمكنا من التقاط أطياف الانعكاسية والنفاذية الانتشارية. لذلك كان لا بد لنا

من تحضير عينات بتراكيز أعلى من السابقة المستخدمة في مطيافية نفاذ الحزمة المتوازية لنتمكن من تسجيل الأطياف بوضوح. لذلك قمنا بتحضير عينات جديدة للمستحلب الدهني Intralipid 20% وذلك عبر تمديد عينة نقية منه بالماء المقطر ليأخذ التراكيز التالية (0.125, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3.75 %) ثم وباستخدام منظومة الكرة التكاملية قمنا بتحديد أطياف الانعكاسية الانتشارية والنفاذية الانتشارية كما في التالي.

الجدول 2: يبين اطياف الانعكاسية والنفاذية الانتشارية لكل تركيز.

تركيز المستحلب C_{IL} (v/v) $x10^{-4}$	12.5	25	50	100	150	200	250	375
الانعكاسية الانتشارية R_d (%)	9.54	11.47	12.47	13.13	14.11	15.09	15.39	16.05
النفاذية الانتشارية T_d (%)	15.62	8.19	5.78	3.87	3.71	2.93	2.79	2.13

ثم وبعملية عكسية سنقوم بتقدير معامل التخامد لكل تركيز من التراكيز السابقة باستخدام العلاقة (11)، ثم نقوم بتحديد النفاذية المتوازية لكل تركيز من العلاقتين (9) و (10). بعد ذلك نظراً لأننا تمكنا من تحديد قيم الانعكاسية الانتشارية والنفاذية الانتشارية والنفاذية المتوازية فإن عملية تحديد معاملات التبعثر والامتصاص والتخامد باستخدام العلاقتين (2) و (3) أصبحت ممكنة، كما في الجدول (3). ومن ثم قمنا بتمثيل التركيز ومعامل الامتصاص كما في الشكل (4) وتوصلنا باستخدام وظيفة المواءمة في برنامج ماتلاب لعلاقة تجمع التركيز مع معامل الامتصاص كما في التالي:

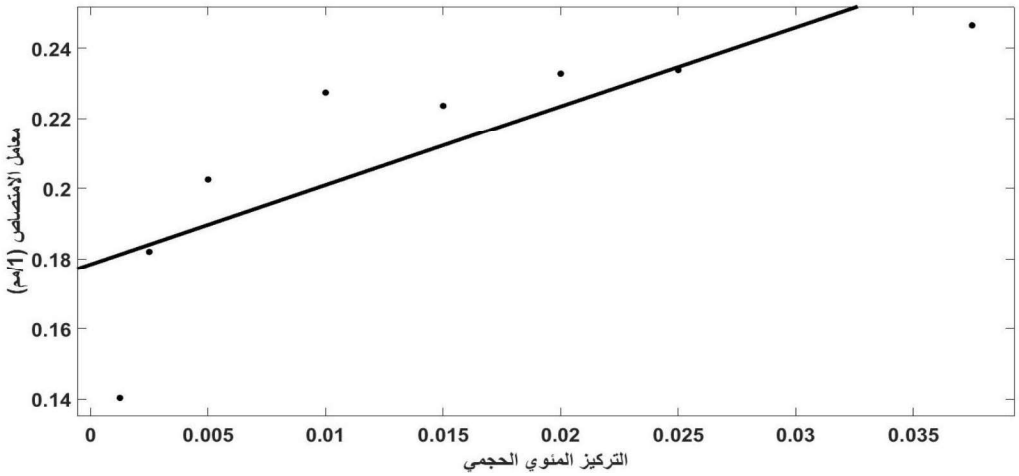
$$\mu_a(mm^{-1}) = 2.249 * C_{IL}(v/v) + 0.1784 \quad (12)$$

حيث أن: μ_a معامل امتصاص عينة Intralipid 20% كتابع للتركيز.

C_{IL} التركيز المئوي الحجمي لعينة Intralipid 20%.

الجدول 3: يبين قيم النفاذية المتوازية والمعاملات الضوئية للمستحلب الدهني Intralipid 20%.

تركيز المستحلب C_{IL} (v/v) $x10^{-4}$	12.5	25	50	100	150	200	250	375
النفاذية المتوازية T_c (%)	$2.11x10^{-2}$	$5.94x10^{-4}$	$4.71x10^{-7}$	$2.96x10^{-13}$	$1.86x10^{-19}$	$1.17x10^{-25}$	$7.35x10^{-32}$	$2.30x10^{-47}$
معامل التبعثر μ_s (mm^{-1})	0.2378	0.5530	1.2466	2.6497	4.0815	5.5003	6.9273	10.4846
معامل الامتصاص μ_a (mm^{-1})	0.1403	0.1821	0.2025	0.2274	0.2236	0.2328	0.2338	0.2465
معامل التخامد μ_t (mm^{-1})	0.3857	0.7427	1.4567	2.8847	4.3127	5.7407	7.1687	10.7387

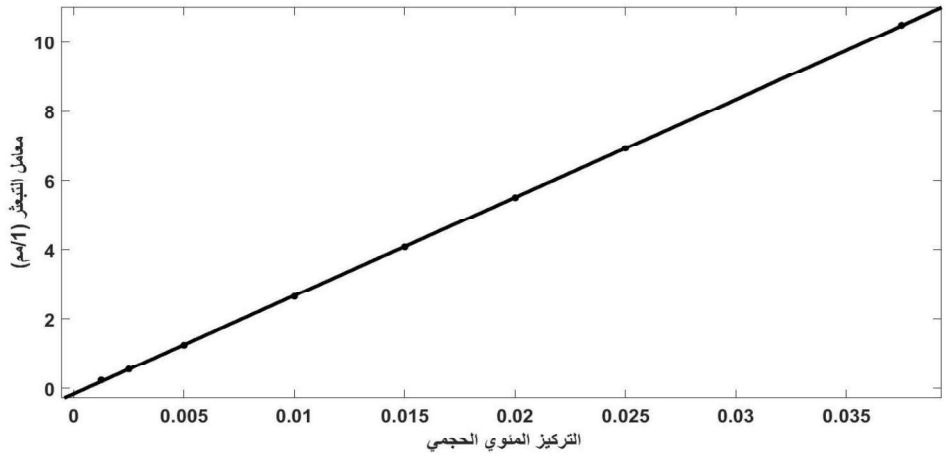


الشكل (4): تغيرات معامل امتصاص المستحلب الدهني20% Intralipid مع التركيز المئوي الحجمي

لقد تم اختيار العلاقة الخطية لأن ذلك يتفق مع المبدأ النظري القائم على علاقة التناسب الطردي بين المعامل الضوئي للمادة وتركيزها.

بالمثل قمنا بتمثيل تغيرات معامل التبعثر مع التركيز، الشكل (5). وباستخدام وظيفة المواءمة في برنامج الماتلاب قمنا بالتوصل لعلاقة خطية تجمع التركيز مع معامل التبعثر كما في التالي:

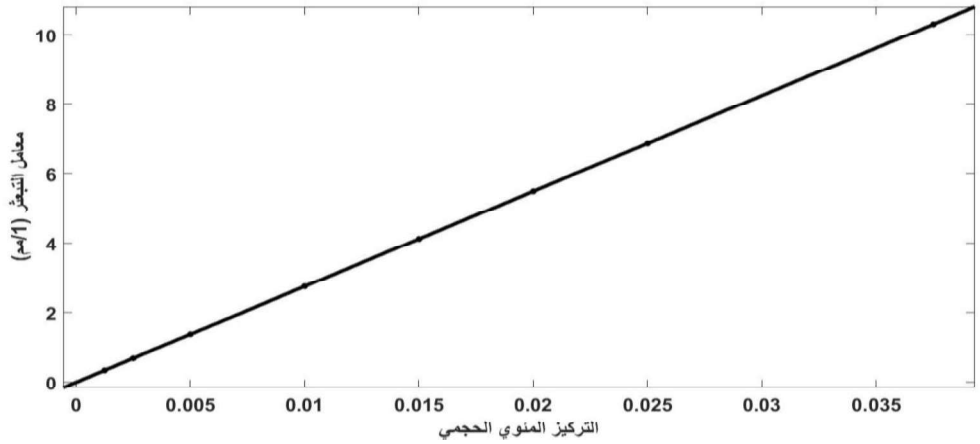
$$\mu_s(mm^{-1}) = 283.4 * C_{IL}(v/v) - 0.1573 \quad (13)$$



الشكل (5): تغيرات معامل التبعثر للمستحلب الدهني 20% Intralipid مع التركيز المئوي الحجمي

أما فيما يخص حسابات نظرية ماي فقد قمنا بحساب معامل التبعثر لكل عينة من العينات، ثم قمنا بتمثيلها بيانياً بدلالة التركيز المئوي الحجمي، الشكل (6)، أخيراً وباستخدام وظيفة المواءمة في برنامج ماتلاب توصلنا إلى العلاقة التالية:

$$\mu_s(mm^{-1}) = 274.8 * C_{IL}(v/v) \quad (14)$$



الشكل (6): تغيرات معامل التبعثر المحسوب بواسطة Mie Theory بدلالة التركيز المئوي الحجمي

أما بالنسبة لقيمة معامل اللاتماثل g فقد تم التوصل للقيمة 0.8544 لعينة نقية من المستحلب الدهني دون تمديد. واستكمالاً لعملية التوصيف قمنا فيما يلي بحساب الجزء التخيلي لقرينة الانكسار باستخدام العلاقة التالية (Van de Hulst، 1981):

$$k = \mu_a . \lambda/4\pi \quad (15)$$

حيث أن μ_a يمثل معامل امتصاص المادة، أما λ فيمثل طول موجة الضوء المستخدم. ومنها توصلنا إلى قيمة الجزء التخيلي لقرينة الانكسار العقدية والتي تساوي $7.8232x10^{-5}$. نظراً للتوافق الحاصل بقيم معامل التبعثر المحسوب بنظرية ماي Mie Theory ونموذج كوبيلكا–منك Kubelka–Munk فإنه يمكن اعتبار أن الجزء الحقيقي لقرينة الانكسار المحسوب بالاعتماد على معادلة كوشي(4) صحيح وعليه يمكننا تلخيص النتائج التي تم التوصل إليها في الجدول التالي:

الجدول (4): الخصائص الضوئية للمستحلب الدهني 20% Intralipid عند الطول الموجي 405 نانومتر

الجزء التخيلي من قرينة الانكسار k	الجزء الحقيقي من قرينة الانكسار n	عامل اللاتماثل g	معامل الامتصاص μ_a (mm^{-1})	معامل التبعثر Mie Theory μ_s (mm^{-1})	معامل التبعثر Kubelka–munk μ_s (mm^{-1})	معامل التخامد μ_t (mm^{-1})
$7.8232x10^{-5}$	1.4793	0.8544	2.4274	274.8	283.2427	285.62873

إن توافق النتائج الحاصل بين نظرية ماي Mie Theory ونموذج كوبيلكا–منك Kubelka–Munk من جهة يؤكد على إمكانية تطبيق الأخير لعملية القياس باستخدام منظومة الكرة التكاملية ويؤكد على صحة النتائج التي تم التوصل إليها أيضاً وهذه النتائج التي بدورها توافقت مع اعمال أخرى. أما فيما يخص معامل الامتصاص الذي لطالما أهمل في معظم الدراسات ولم يحسب، فقد تم تحديده ولوحظ أن قيمته ليست بصغيرة لدرجة الإهمال. هذا المعامل يؤكد بدوره على أن قرينة انكسار هذه المادة هي مقدار عقدي، جزؤها الحقيقي يحدد بالاعتماد على معادلة كوشي (4)، و أما التخيلي فقد تم تحديده. وهذا ما لم يحدد مسبقاً.

5_ الاستنتاجات

1. عند دراسة العلاقة بين التركيز والمعاملات الضوئية لاحظنا أن العلاقة طردية خطية وهذا ما يساعدنا في التحكم بالمعامل الضوئي للنموذج المبني من خلال تغيير التركيز.
2. إن كبر معامل تبعثر هذا المستحلب يسمح باستخدامه في بناء نماذج ضوئية فيزيائية تحاكي أغلب أنسجة الجسم.
3. فعالية استخدام نموذج كوبيلكا-منك المعدل modified Kubelka-Munk model مع منظومة الكرة التكاملية الأنفة الذكر للقيام بعملية التوصيف الضوئي.

6_ المقترحات والتوصيات

1. إنه لمن الممكن الاعتماد على نموذج كوبيلكا-منك المعدل في عملية توصيف المواد ضوئيا.
2. ضرورة التوصيف المسبق للمواد المستخدمة في بناء النماذج الضوئية الفيزيائية وذلك نظرا لتمايز خصائصها الضوئية تبعا لنوع الشركة المصنعة وحتى لطرازها وللأداة المستخدمة في عملية التوصيف.
3. السعي لاختبار هذا النموذج على أنسجة حية باعتباره من أبسط النماذج التحليلية.

المراجع الاجنبية:

1- Flock, S., Jacques, S., Wilson, B., Star, W., and van Gemert, J.C, (1992). Optical properties of Intralipid: a phantom medium for light propagation studies. Lasers in Surgery and Medicine. 12(5):510-519.

2- Haj-Hossenii, N., Richter, J., and Andersson-Engles, S., (2010). Optical touch pointer for fluorescence guided glioblastoma resection using 5-aminolevulinic acid. Lasers in Surgery and Medicine. 42(1):,9-14.

3- Hwang, J., Ramella-Roman, C.J., and Nordstrom, R., (2012). Introduction: feature issue on phantoms for the performance evaluation and validation of optical medical imaging devices. Biomedical Optic Express. 3(6):1399-1403.

4- Holmer, C., Lehmann, K., Wanken, J., Reissfelder, C., Roggan, A., Mueller, G., Buhr, H.J., and Ritz, J.P., (2007). Optical properties of adenocarcinoma and squamous cell carcinoma of the gastroesophageal junction. J. Biomedical Optics. 12(1): 014025-1 -8.

5- Karinov, A., Mokeeva, A., Sergeeva, E., Agrba, P., and Kirillin, M., (2013). Optical properties of mouse biotissues and their optical phantom. Optics and Spectroscopy. 14;115(2). 193-200.

6- Michels, R., Foschum, F., and Kienle, A., (2008). Optical properties of fat emulsions. Optic Express. 16(8):5907-5925.

7- Matzler, C., (2002). MATLAB Functions for Mie Scattering and Absorption. Bern university, Institute of Applied Physics, Microwave Department; 2002 Jun. Research report No: 2002-08.

8- Ninni, P.D., Martelli, F., and Zaccanti, G., (2011). Intralipid: towards a diffusive reference standard for optical tissue phantoms. Physics in Medicine and Biology. 56(2): 21-28.

9- Ninni, P.D., Martelli, F., and Zaccanti, G., (2010). The use of India ink in tissue-simulating phantoms. Optic Express. 18(26): 26854-26865.

10- Pogue, B.W., and Patterson, M.S., (2006). Review of tissue simulating phantoms for optical spectroscopy, imaging and dosimetry. J. Biomedical Optic. 11(4):041102-16.

11- Soleimanzad, H., Gurden, H., and Pain, F., (2017). Optical properties of mice skull bone in the 455- to 705-nm range. J. Biomedical Optic. 22(1): 010503-1-4.

12- Spinelli, L., Botwicz, M., Zolek, N., Kacprzak, M., Milej, D., Sawosz, P., Liebert, A., Weigel, U., Durduran, T., Foschum, F., Kienle, A., Baribeau, F., Leclair, S., Bouchard, J. P., Gallant, P., Mermut, O., Farina< A., Pifferi, A., Torricelli, A., Cubeddu, R., Ho, H. C., Mazurenka, M., Wabnitz, H., Klauenberg, K., Bodnar, O., Elster, C., Benazech-Lavoue< M., Berube-LLauziere, Y., Lesage, F., Khoptyar, D., Subash, A. A., Andersson-Engles, S., Di Ninni, P., Martelli, F., and Zaccanti, G., (2014). Determination of reference values for optical properties of liquid phantoms based on Intralipid and India ink. Biomedical Optic Express. 5(7): 2037-2053.

13- Spinelli, L., Martelli, F., Farina, A., Pifferi, A., Torricelli, A., Cubeddu R and Zaccanti, G., (2007). Calibration of scattering and absorption properties of a liquid diffusive medium at NIR wavelengths. Time-resolved method. Optics Express15(11). 6589-6604.

14- Shahin, A., and Bachir, W., (2017). Broadband spectroscopy for characterization of tissue-like phantom optical properties. Polish Journal of Medical Physics and Engineering. 21; 23(4):121-126.

15- Thennadil, S., (2008). Relationship between the Kubelka-Munk scattering and radiative transfer coefficients. Optical Society of America. 25(7): 1480-1485.

16- van Staveren, H., Moes, C., van Marle, J., Prahl, S., and van Gemert, J., (1991). Light scattering in Intralipid-10% in the wavelength range of 400-1100 nm. Applied Optics. 30(31): 4507-4514.

17- Vargas, W., and Niklasson, G., (1997). Applicability conditions of the Kubelka-Munk theory. Applied Optics. 36 (22): 5580-5586.

18- van de Hulst, H.C., (1981). Light Scattering by Small Particles. 2nd ed. New York, Dover Publication, PP: 114-119.

19- Wilson, B., Patterson, M., and Flock, S., (1987). Indirect versus direct techniques for the measurement of the optical properties of tissues. Photochemistry and. Photobiology. 46(5): 601-608.

20- Yang, L., and Kruse, B., (2004). Revised Kubelka-Munk theory. I. Theory and application. . Optical Society of America. 21(10):1933-