

دراسة أثر درجة الحرارة وطول المسار الضوئي على طيف النفاذية الضوئية بأوساط مائية مختلفة

سارة المصري¹ د. محمد سعيد معروف²

¹ طالب ماجستير في المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته، جامعة دمشق.

² رئيس مخبر تقانات الليزر، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته، جامعة دمشق.

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير درجة الحرارة وطول المسار الضوئي على النفاذية الضوئية في الوسط المائي بتركيز مختلفة - يتم تحقيقها بإضافة الملح ومادة المالوكس $[Mg(OH)_2 \text{ and } Al(OH)_3]$. يتكون إعداد المختبر من أشعة الليزر المرئية ذات الأطوال الموجية المختلفة، تتضمن: ليزر He-Ne بطول موجي 632.8 nm واستطاعة 5 mW، وليزر أحمر بطول موجي 635 nm واستطاعة 100 mW، وليزر أخضر بطول موجي 532 nm واستطاعة 200 mW، وليزر أزرق بطول موجي 445 nm واستطاعة 100 mW. يمر شعاع الليزر عبر حوض ماء زجاجي بمسافة 50 cm للوصول إلى جهاز كاشف ضوئي يقيس الاستطاعة الضوئية بالـ mW لحساب النفاذية الضوئية. أوضحت النتائج التجريبية لهذا العمل: أن النفاذية الضوئية لجميع الأطوال الموجية المعتمدة تتناقص في الوسط المائي مع ارتفاع درجة حرارة الماء وازدياد طول المسار الضوئي، وأن عملية تناقص النفاذية الضوئية تعتمد على الطول الموجي لليزر المستخدم.

الكلمات المفتاحية: شعاع الليزر، المالوكس، النفاذية الضوئية، طول المسار الضوئي، درجة الحرارة.

تاريخ الإيداع: 2022/06/05

تاريخ الموافقة: 2022/08/30



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص

CC BY-NC-SA 04

The Study Effect of Temperature and Path Length on the Optical Transmittance Spectrum in Different Water Medias

Saria Almassre¹ Dr. Mohammed Saeed Marouf²

¹ Master's Student at Higher Institute for Laser Researches and Applications, Damascus University.

² Leader of the Laser Technology Lab, Higher Institute for Laser Researches and Applications, Damascus University.

Abstract

This research aims to study the effect of temperature and optical path length on optical transmittance in water media with different concentrations - achieved by adding salt and maalox [$[\text{Mg}(\text{OH})]_2$ and $[\text{Al}(\text{OH})]_3$]. the laboratory setup consists of visible lasers with different wavelengths, including: laser He-Ne with a wavelength of 632.8 nm and a power of 5 mW, red laser with a wavelength of 635 nm and power of 100 mW, green laser with a wavelength of 532 nm and a power of 200 mW and a blue laser with a wavelength of 445 nm and a power of 100 mW. The laser beam passes through a glass water basin a distance of 50 cm to reach a photodetector that measures the optical power in mW to calculate the optical transmittance.

The experimental results of this work indicated that: The optical transmittance of all the wavelengths considered decreases in the aqueous medium with the increase in the water temperature and the increase in the length of the optical path, and that the process of the decrease in the optical transmittance depends on the wavelength of the laser used.

Received :2022/06/ 05

Accepted:2022/08/30



Keywords: Laser Beam, Maalox, Optical Transmittance, Path Length, Temperature.

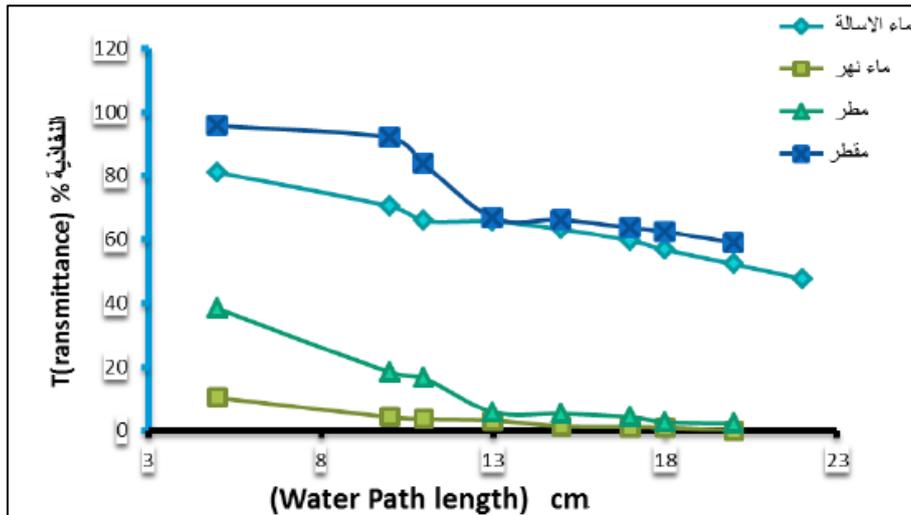
Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- المقدمة

إن ثلثي كوكب الأرض الذي نعيش عليه مُغطى بالمياه مما يجعل الاتصال تحت الماء حاجة مهمة للتواصل العصري، وبالتالي نجد مجموعة واسعة من التطبيقات، حيث يُعد التواصل بين الجسم تحت الماء والمِنصة الجوية من أكثر التقنيات الضرورية، وهي تتضمن التواصل من السفينة إلى الغواصة، ومن غواصة إلى غواصة، ومن غواصة إلى الأقمار الصناعية وما إلى ذلك [1]. تدعم الاتصالات اللاسلكية تحت الماء (UWC) مراقبة المناطق الساحلية، خاصة للأغراض العسكرية وتجارياً للتحقيق في الموارد الطبيعية تحت الماء. علاوةً على ذلك، فهو يساعد أيضاً في رسم الخرائط واكتشاف المناطق غير المعروفة تحت الماء. في الوقت الحاضر، يستخدم نظام (UWC) في المراقبة التجريبية، وجمع البيانات وتحليلها، والملاحة تحت الماء، والوقاية من الكوارث، والإنذار المبكر بتسونامي [2].

تُعد تقنية الليزر من أهم التقنيات الحديثة في العصر الحالي لما لها من تطبيقات واسعة وخاصة في أنظمة الاتصالات اللاسلكية البصرية تحت الماء (UWOC) Underwater Wireless Optical Communication يُشير المصطلح (UWOC) إلى عملية نقل البيانات في بيئات مائية غير مُوجهة من خلال استخدام نواقل لاسلكية كالأموال الضوئية، حيث أن جودة وموثوقية نقل البيانات في المياه الضحلة والعميقة تعتمد على الخصائص الفيزيائية لقناة المياه ومن أهمها درجة الحرارة [2]. تُعد درجة الحرارة أحد الخواص الفيزيائية المهمة لماء البحر، فهي مقياس الطاقة الحركية الوسطية لاهتزاز جزيئات الماء. لذلك تُؤثر درجة الحرارة على الهيكل البنائي الداخلي لجزيء الماء، ويؤدي تغيير درجة حرارة ماء البحر إلى تغيير خواص الماء، فدرجة الحرارة لها تأثير مباشر على الكثافة، وعلى تركيز الأكسجين المنحل، وعلى قدرة ماء البحر على التوصيل الكهربائي، هذا فضلاً عن أن تغيرات درجة حرارة ماء البحر تؤثر على الأحياء البحرية التي تعيش فيه [3].

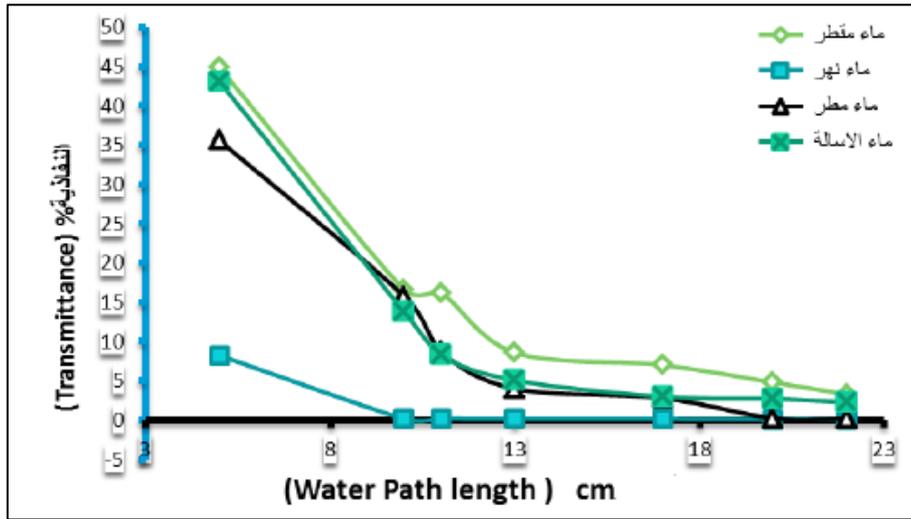
قام الباحثون في جامعة تكريت عام 2017 بدراسة طول المسار الضوئي على النفاذية الضوئية وذلك باستخدام أوساط مائية مختلفة (ماء مقطر، ماء نهر دجلة، ماء الإسالة، ماء المطر) لانتقال ليزر He-Ne بطول موجي 632 nm واستطاعة 2.04 mW. دلت النتائج على تناقص النفاذية الضوئية لجميع أنواع الماء بزيادة طول المسار الضوئي مع وجود تقارب في قيم النفاذية الضوئية لكل من الماء المقطر وماء الإسالة، وكذلك تقارب بين ماء النهر وماء المطر، ولكن النفاذية الضوئية في الماء المقطر وماء الإسالة تكون أكبر بالنسبة إلى النفاذية الضوئية في ماء المطر وماء النهر كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل 1 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي باستخدام ليزر He-Ne بطول موجي 632 nm من أجل أنواع مياه مختلفة [4].

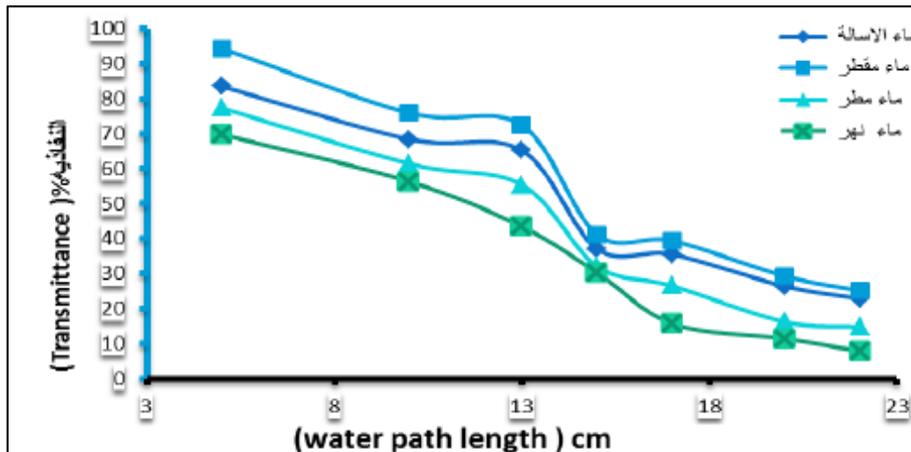
وقاموا بإجراء نفس الدراسة السابقة لانتقال ليزر Nd:YAG بطولين موجيين مختلفين في الماء: 1064 nm واستطاعة 88.3 mW و 532 nm واستطاعة 40 mW. عند الطول الموجي 1064 nm كانت النفاذية الضوئية خلال طول المسار الضوئي 5 cm تقل

عن القيمة الأصلية إلى أقل من النصف (أقل من 45%) في كل من الماء المقطر وماء الإسالة وماء النهر، وأقل من 10% في ماء النهر، ثم تبدأ النفاذية الضوئية بالتناقص تدريجياً بزيادة طول المسار الضوئي. حيث أن قيم النفاذية الضوئية لليزر He-Ne خلال أنواع الماء أكبر من قيم النفاذية الضوئية لليزر Nd-YAG لأن الطول الموجي لليزر Nd-YAG يقع ضمن منطقة الطيف تحت الأحمر والتي تمتص بشدة من قبل الماء وهذا ما يفسر تقارب النفاذية الضوئية لجميع أنواع المياه كما هو موضح في الشكل 2.



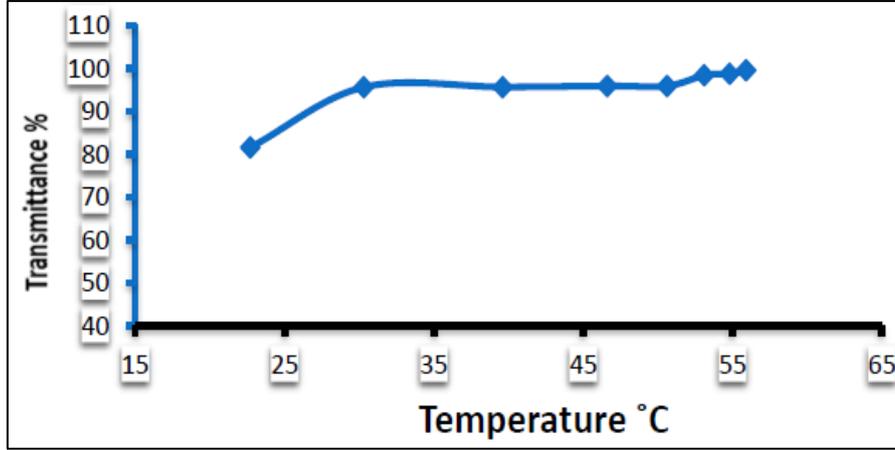
الشكل 2 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي باستخدام ليزر Nd-YAG بطول موجي 1064 nm من أجل أنواع مياه مختلفة [4].

عند الطول الموجي 532 nm كان تأثير النفاذية الضوئية مع طول المسار الضوئي بشكل متقارب لجميع أنواع المياه المستعملة حيث تكون قيم النفاذية الضوئية شبه متقاربة فيما بينها، أما بمقارنة قيم النفاذية الضوئية للطول الموجي 532 nm لجميع أنواع المياه مع النفاذية الضوئية لكل من ليزر Nd:YAG بطول موجي 1064 nm وليزر He-Ne بطول موجي 632 nm تكون نفاذية الطول الموجي 532 nm أعلى من الجميع في أنواع المياه كما هو موضح في الشكل 3.



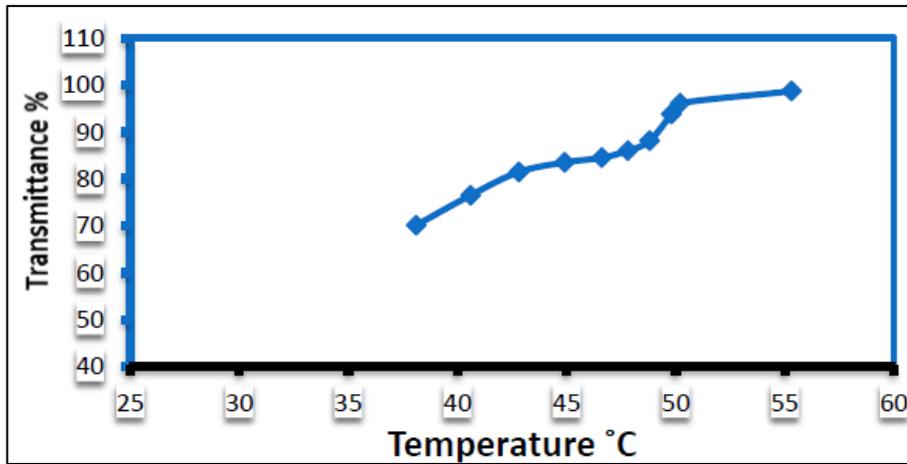
الشكل 3 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي باستخدام ليزر Nd-YAG بطول موجي 532 nm من أجل أنواع مياه مختلفة [4].

قاموا أيضاً عام 2018 بدراسة تأثير درجة الحرارة على النفاذية الضوئية لانتقال ليزر Nd:YAG بطولين موجيين مختلفين: 1064 nm واستطاعة 88.3 mW و 532 nm واستطاعة 40 mW في الغلاف الجوي [5]، دلت النتائج على زيادة النفاذية الضوئية مع ارتفاع درجة الحرارة عند الطول الموجي 1064 nm كما هو موضح في الشكل 4.



الشكل 4 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة الحرارة باستخدام ليزر Nd:YAG بطول موجي 1064 nm [5].

بينما عند الطول الموجي 532 nm زادت النفاذية الضوئية مع ارتفاع درجة الحرارة من أجل درجات حرارة أعلى من 35 °C كما هو موضح في الشكل 5.



الشكل 5 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة الحرارة باستخدام ليزر Nd:YAG بطول موجي 532 nm [5].

2- الجانب النظري

يُعد الماء من السوائل الشفافة بصرياً التي تسمح بمرور الأشعة الضوئية المرئية على اختلاف أطوالها الموجية، في الانتشار البصري لأنظمة (UWOC)، عند انتقال الشعاع الكهرومغناطيسي من خلال الماء فإنه يفقد جزءاً من طاقته من خلال عمليات تبعثر الفوتونات وتغير اتجاه حركتها، وإمكانية تناثر الفوتونات الناتجة عن أيونات الملح في الماء النقي. وتعتمد عملية التوهين في الماء على تركيز المادة الممتصة وطول موجة الليزر المستخدم وطول المسار الضوئي الذي يقطعه الليزر داخل الوسط، فعند دخول حزمة من ضوء أحادي الطول الموجي إلى داخل الماء فإن الشدة النافذة إلى المسافة z حسب قانون بير-لامبيرت Beer-Lambert تعطى بالعلاقة التالية [6]:

$$I = I_0 e^{-c(\lambda)z} \quad (1)$$

حيث:

$I_0 (mW)$: الشدة الضوئية المُرسلة

$z (cm)$: مسافة انتقال الضوء بين المُرسِل والمُستقبل

$I(mW)$: الشدة الضوئية المُستقبلة على طول المسافة z

$c(\lambda)(cm^{-1})$: مُعامل التوهين (Attenuation Coefficient)، وتتغير قيمته الدقيقة حسب نوع المياه وعمقها

يمكن وصف مفعول التوهين الكلي لعمليات الامتصاص والتبعثر بواسطة مُعامل التوهين $c(\lambda)$ الذي يُعبر عنه وفقاً للعلاقة التالية [7]:

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \quad (2)$$

حيث:

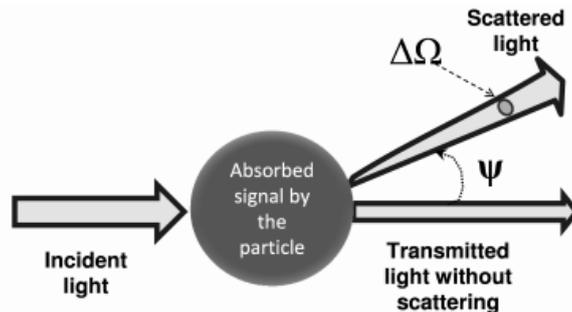
$a(\lambda)(cm^{-1})$: مُعامل الامتصاص (Absorption Coefficient)

$b(\lambda)(cm^{-1})$: مُعامل التبعثر (Scattering Coefficient)

تُشير المعادلة (2) بأن مُعامل التوهين هو مجموع مُعاملَي الامتصاص والتبعثر، هذه المُعاملات تتغير في الوسط المائي تبعاً للعمق، والوقت، والطقس، والموقع الجغرافي.

إن مُعامل الامتصاص يتناسب طردياً مع الطول الموجي للشعاع الكهرومغناطيسي، كما أن عملية الامتصاص تعتمد على المواد الذائبة والعوالق النباتية التي توجد في الماء، فمثلاً يؤدي وجود اليخضور في الطحالب المائية إلى امتصاص أكبر للشعاع الأزرق فتظهر المياه باللون الأخضر، أما الزيادة الملحوظة في قيم الامتصاصية عند الأطوال الموجية القصيرة فتربط بظهور عدة قمم لامتصاص توافق المستويات الاهتزازية الرئيسية لجزيئات الماء. تحدث عملية التبعثر في الماء عندما يتفاعل الضوء مع جزيئات الماء أو العوالق النباتية، حيث يتبعثر الفوتون بزوايا مُعينة تعتمد على اتجاه الضوء الوارد كما هو مُوضح في الشكل 6.

بالاختلاف عن عملية الامتصاص، فإن عملية التبعثر تتناسب عكساً مع الطول الموجي وترتبط بشكل وثيق مع كثافة الجزيئات. حيث تؤدي تغيرات التدفق والملوحة والحرارة في مياه البحر النقية إلى تغير قرينة الانكسار، ومنه تغير مُعامل التبعثر. وبما أن طول موجة الشعاع الضوئي كبير نسبياً بالمقارنة مع حجم جزيئات الماء، فإن النسبة بين شدة الضوء المُتبعثر في اتجاه معين وشدة الضوء الوارد تتناسب عكساً مع الطول الموجي، ويسمى هذا تبعثر رايلي Rayleigh Scattering ووفقاً لذلك فإن الضوء الأزرق يتبعثر أكثر من تبعثر الأطوال الموجية في مجال تحت الأحمر القريب من الطيف الضوئي [8]. أما إذا كان حجم جزيئات الماء أكبر من طول موجة الشعاع الضوئي الوارد يسمى هذا تبعثر ماي Mie.



الشكل 6 عملية تبعثر الضوء على جزيئ الماء [9].

يُشكل الامتصاص العملية الرئيسية التي تحدث في ماء البحر النقي، حينما يكون مفعول التبعثر أقل تأثيراً. ويُلاحظ في مياه المحيط الصافية، حيث تركيز الجزيئات المُذابة مُرتفعاً أن عملية التبعثر تزداد. وفي مياه المحيط الساحلية يكون تركيز العوالق النباتية والجزيئات العضوية مُرتفعاً مما يؤثر على عملية الامتصاص والتبعثر، بينما في مياه الموانئ العكرة يكون تركيز الجزيئات المُذابة والمواد العالقة مُرتفعاً، وهذا ما يُقيد عملية الانتشار الضوئي تحت الماء [6]. عندما يرد الضوء على سطح طبقة من الماء فإن جزءاً منه ينعكس عند السطح، والجزء الآخر يسير داخل الماء، وينفذ جزءاً منه من خلال الطبقة. يُعرّف مُعامل النفاذية (Transmittance Coefficient) T على أنه النسبة بين الشدة الضوئية التي يتم استقبالها على طول المسافة z إلى الشدة الضوئية المُرسلة:

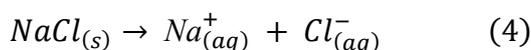
$$T(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (3)$$

بالرغم من أن سرعة الضوء في الماء أقل مما هي في الهواء، إلا أن عملية امتصاص الضوء تتم تدريجياً في الماء، بدءاً من امتصاص الضوء الأحمر أولاً ثم البرتقالي ويليه الأصفر فالأخضر وأخيراً الأزرق. ينتج الانعكاس إما من تفاعل الشعاع الضوئي مع سطح الماء وعندها يبدو براقاً بسبب ظاهرة الانعكاس الانتثاري أو من تفاعل الشعاع الضوئي مع عمق المياه إذا كانت المياه صافية، أما في مياه الموانئ العكرة فإن خاصية النفاذية تتغير. ونظراً لوجود الجزيئات العضوية يتغير أيضاً مُعامل الانعكاس. حيث يعكس الماء النقي قسم من الشعاع الوارد عليه في حزم طيفية تتحصر بين [10] 400-700 nm. وتكون النفاذية إما مباشرة في حال خروج الشعاع الضوئي الوارد من السطح دون أن يتغير أو يمكن أن تتبعثر إذا انتشر الشعاع الضوئي عند خروجه من العينة [7].

3- الجانب العملي:

حُضِرَ ثلاثة أوساط مائية مختلفة التراكيز، وتم سكبها ضمن حوض زجاجي ذو أبعاد (طول 50 cm، وعرض 34.5 cm، وارتفاع 22 cm) بحجم مائي 37 L كالتالي:

1. ماء صافي.
2. ماء مالح بنسبة ملوحة تساوي ملوحة ماء البحر بتركيز 35 g/L أو بشكل مكافئ 3.5%. ويمكن تمثيل تفكك الملح المُحل بالمعادلة (4):



تتجذب أيونات الصوديوم الموجبة نحو جانب ذرات الأكسجين السالبة في الماء وتنتج أيونات الكلوريد السالبة نحو جانب ذرات الهيدروجين الموجبة من جزيئات الماء.

3. ماء مالح شديد العكارة: بإضافة 30 g من مادة المالكس*، أي بتركيز 35.8 g/L. أُختيرَ أربعة منابع ليزرية لاستعمالها في العمل التجريبي، يعطي الجدول 1 خصائص هذه الليزرزات.

الجدول 1 مواصفات الليزرزات المستعملة في هذا البحث

السمة	الطول الموجي	استطاعة الخرج	قطر الحزمة
ليزر He-Ne غازي	632.8 nm	5 mW	1 mm, ±0.2

* مادة المالكس عبارة عن مزيج من مادتي هيدروكسيد الألمنيوم وهيدروكسيد المغنيزيوم.

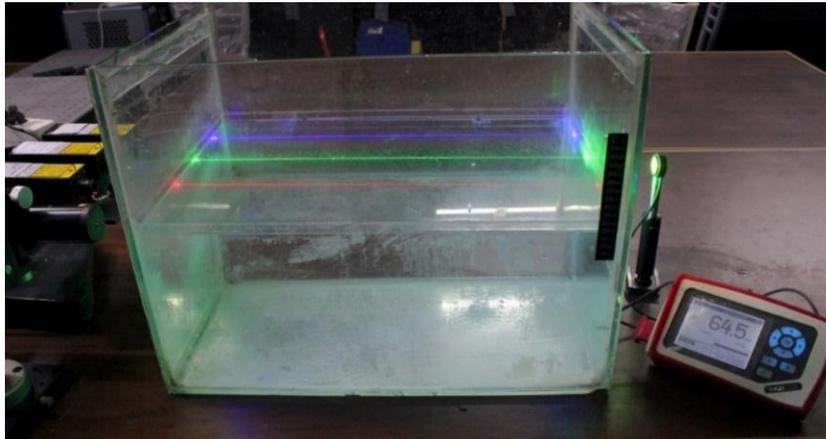
1.8 mm, ± 0.2	100 mW	635 nm	ليزر أحمر نصف ناقل
2.3 mm, ± 0.2	200 mW	532 nm	ليزر أخضر نصف ناقل
2.5 mm, ± 0.2	100 mW	445 nm	ليزر أزرق نصف ناقل

استُعمل مقياس الاستطاعة الضوئية من نوع PM100D كاشفاً ضوئياً، والذي يتكون من عنصرين هما الوحدة الالكترونية للقياس والحساس المتصل بها، علماً أن حساس الاستشعار المتصل بالمقياس هو من نوع S121C الموفر من شركة ThorLabs وهو ثنائي ضوئي يتسم بزمن استجابة صغير ودقة عالية في تمييز القراءات. يعطي الجدول 2 خصائص الحساس S121C.

الجدول 2 خصائص الحساس S121C

القيمة	السمة
$\varnothing 9.5$ mm	قطر الفتحة
من 400 nm حتى 1100 nm	مجال الطول الموجي للتشغيل
من 500 nW حتى 500 mW	مجال الاستطاعة
ثنائي ضوئي من السيليكون	نوع الحساس
10 nW	الدقة
$(440 - 980 \text{ nm}) \pm 3\%$ $(400 - 439 \text{ nm}) \pm 5\%$ $(981 - 1100 \text{ nm}) \pm 7\%$	الخطأ النسبي للقياسات
$\varnothing 30.5 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$	أبعاد القطعة الحافظة
$9.7 \text{ mm} \times 9.7 \text{ mm}$	أبعاد السطح الفعال للحساس

تُرْفَع درجة حرارة الماء من خلال سخان حراري يُغْمَر داخل حوض الماء لمدة عشر دقائق لرفع درجة حرارة الماء إلى القيمة المطلوبة، وتم قياس درجة حرارة الماء بواسطة مقياس حرارة رقمي (DIGITAL THERMOMETER) يحتوي على شاشة رقمية متعددة الاستخدامات.



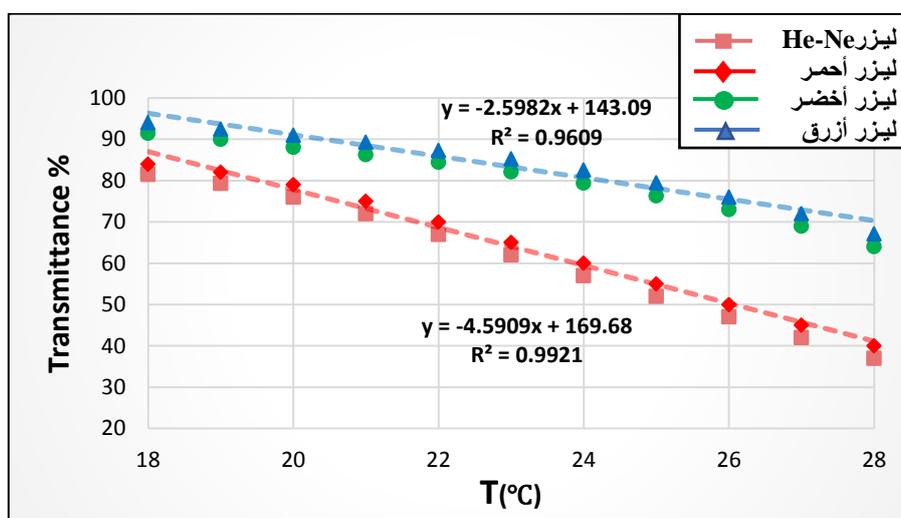
الشكل 7 الترتيب التجريبي للتجهيزات المخبرية لدراسة تأثير درجة الحرارة وطول المسار الضوئي على النفاذية الضوئية في الوسط المائي بتركيز مختلفة

4- النتائج والمناقشة

أولاً: دراسة تأثير تركيب الماء على النفاذية الضوئية لشعاع الليزر مع ارتفاع درجة حرارة الماء.

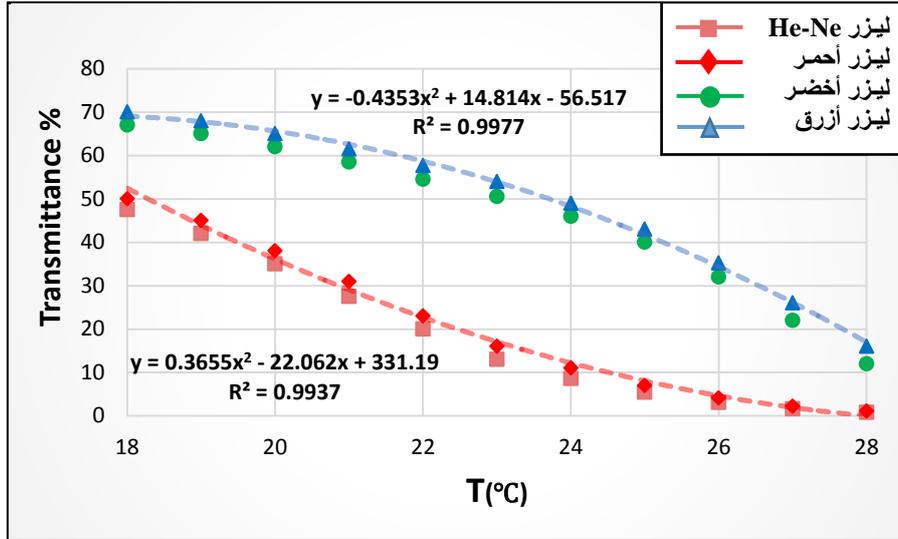
توضح الأشكال 8 و 9 و 10 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة حرارة الماء الصافي والمالح والعكر من أجل بعض الأطوال الموجية.

يُلاحظ من الشكل 8 أن النفاذية الضوئية لليزر من خلال الماء الصافي تتناقص خطياً مع ارتفاع درجة حرارة الماء بالنسبة إلى الليزر الأربعة المعتبرة في هذا البحث، وأن قيم النفاذية الضوئية في حالة الليزرين الأزرق والأخضر تكون متقاربة فيما بينها، وكذلك أيضاً قيم النفاذية الضوئية في حالة الليزر الأحمر وليزر He-Ne تكون متقاربة فيما بينها، ومن جهة أخرى يُلاحظ أن قيم النفاذية الضوئية تكون أكبر في حالة الليزرين الأخضر والأزرق مقارنة مع حالة الليزر الأحمر وليزر He-Ne، وأن ازدياد درجة حرارة الماء بنسبة (43.5%) يؤدي إلى انخفاض النفاذية الضوئية بنسبة (71%) في حالة الليزرين الأحمر وليزر He-Ne، وبنسبة (33.5%) في حالة الليزرين الأزرق والأخضر.



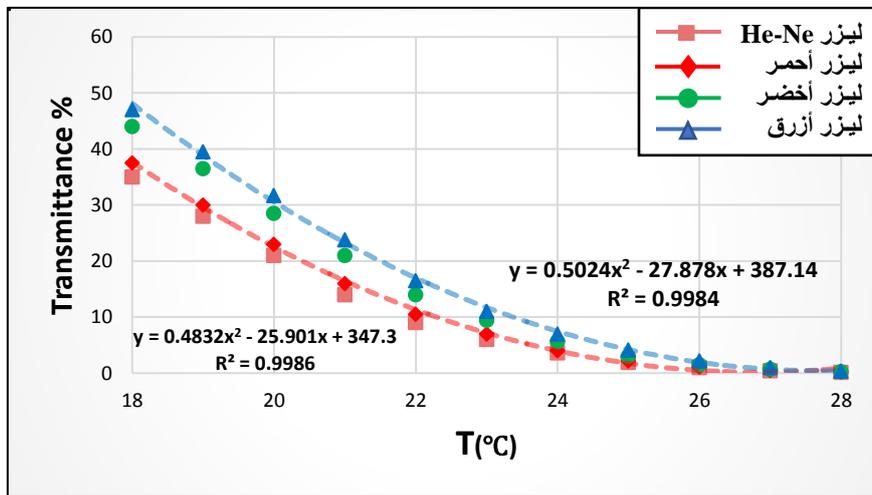
الشكل 8 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة حرارة الماء الصافي

يُلاحظ من الشكل 9 أن منحنيات النفاذية الضوئية لحالة الماء المالح لها نفس الشكل كما في حالة الماء الصافي فهي تتناقص على شكل كثير حدود مع ارتفاع درجة الحرارة، ولكن قيم النفاذية الضوئية لحالة الماء المالح أقل من مثيلاتها للماء الصافي، ويُفسر ذلك بوجود الملح المنحل في الماء بتركيز (35g/L) والذي يؤدي إلى عملية امتصاص وتبعثر الأشعة الليزرية، كما ويُلاحظ أن ازدياد درجة حرارة الماء بنسبة (43.5%) يؤدي إلى انخفاض النفاذية الضوئية بنسبة (91.4%) في حالة الليزرين الأحمر والليزر He-Ne، وبنسبة (25.6%) في حالة الليزرين الأزرق والأخضر.



الشكل 9 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة حرارة الماء المالح

يُلاحظ من الشكل 10 أن منحنيات النفاذية الضوئية لحالة الماء العكر تتناقص على شكل كثير حدود مع ارتفاع درجة الحرارة، وفي نفس الوقت تبقى أقل من مثيلاتها في حالة الماء الصافي والماء المالح، ويُفسر ذلك باحتواء الماء العكر على مواد ذائبة (مادة المالكس) بتركيز 35.81 g/L والتي تؤدي إلى عملية امتصاص وتبعثر الأشعة الليزرية، كما ويُلاحظ أن انخفاض درجة الحرارة الماء بنسبة (43.5%) يؤدي إلى انخفاض النفاذية الضوئية بنسبة (96.7%) في حالة الليزر الأزرق وبنسبة (97.6%) في حالة الليزر الأخضر وبنسبة (98%) في حالة الليزر الأحمر وبنسبة (98.2%) في حالة الليزر He-Ne.



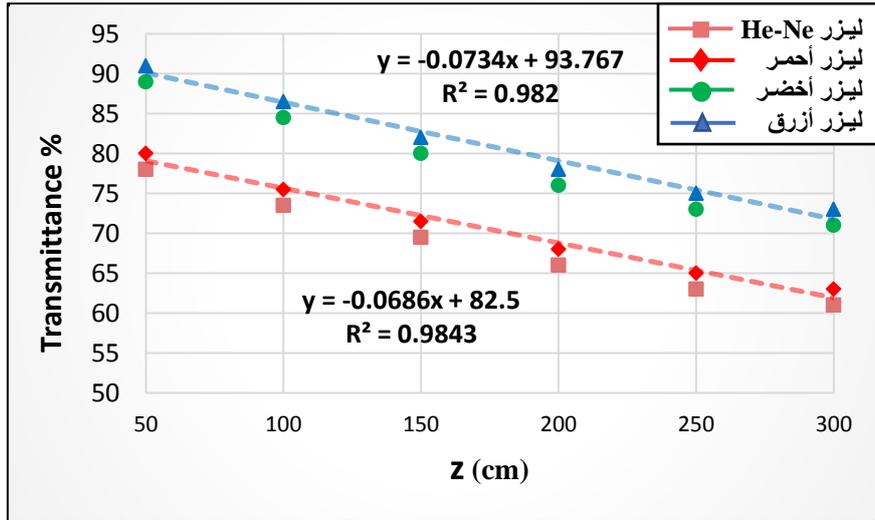
الشكل 10 تابعة النفاذية الضوئية لدرجة حرارة الماء العكر

ثانياً: دراسة تأثير طول المسار الضوئي داخل الماء على النفاذية الضوئية لشعاع الليزر.

لقياس الشدة الضوئية لشعاع الليزر الذي يعبر من خلال الحوض الزجاجي الذي يحتوي على الماء وعند درجة الحرارة (T=20°C)، وُضِعَتْ مرأتان مستويتان على جانبي الحوض الزجاجي ذواتا انعكاسية عالية تبلغ 98% بالنسبة إلى الأطوال الموجية المُعتبرة لقياس الشدة الضوئية ذهاباً وإياباً.

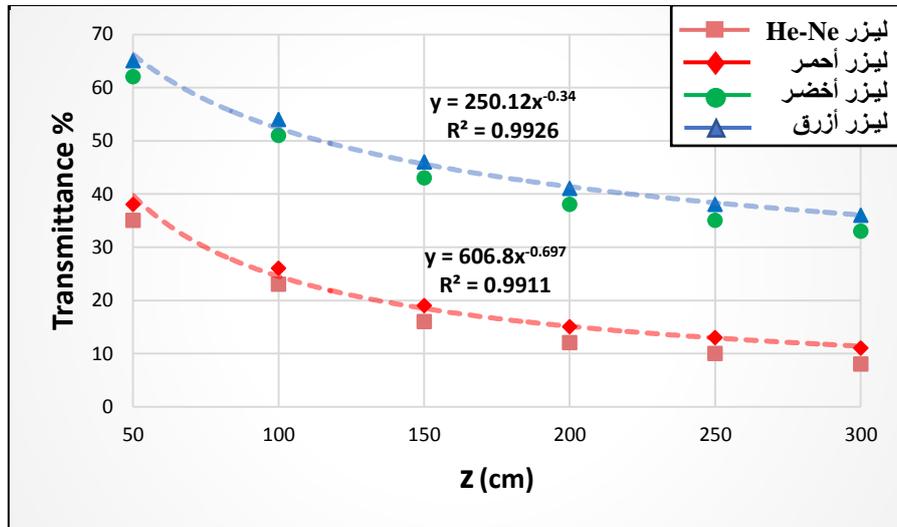
توضح الأشكال 11 و 12 و 13 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي داخل الماء الصافي والماء المالح والماء العكر من أجل الأطوال الموجية المعتبرة.

يُلاحظ من الشكل 11 أن النفاذية الضوئية لحالة الماء الصافي تتناقص خطياً مع ازدياد طول المسار الضوئي داخل الماء بالنسبة إلى جميع الليزرز المعتبرة، وأن ازدياد هذا الطول بنسبة (42.85%) يؤدي إلى انخفاض نسب النفاذية الضوئية بنحو (21.95%) في حالة الليزر الأزرق و (23.77%) في حالة الليزر الأخضر و (23.77%) في حالة الليزر الأحمر و (24.46%) في حالة الليزر He-Ne.



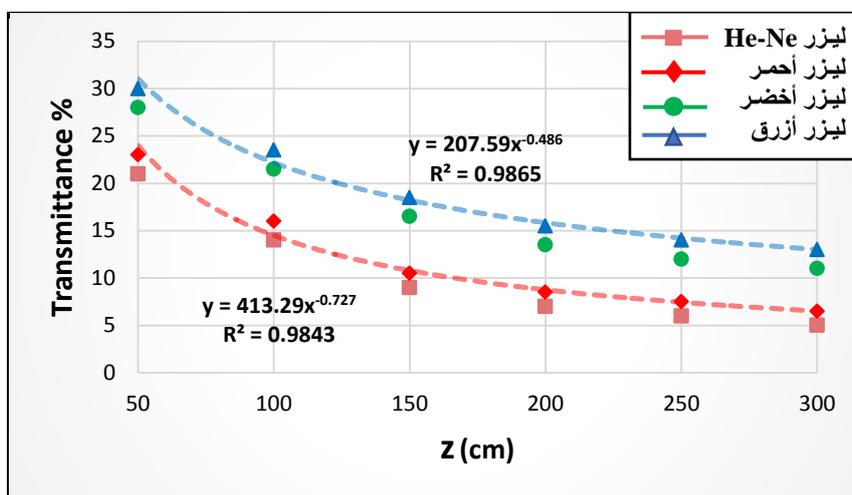
الشكل 11 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي داخل الماء الصافي

يُلاحظ من الشكل 12 أن النفاذية الضوئية لحالة الماء المالح تتناقص أسياً مع ازدياد طول المسار الضوئي داخل الماء بالنسبة إلى جميع الليزرز المعتبرة، وأن ازدياد هذا الطول بنسبة (42.85%) يؤدي إلى انخفاض نسب النفاذية الضوئية بنحو (57.42%) في حالة الليزر الأزرق و (61.05%) في حالة الليزر الأخضر و (10.20%) في حالة الليزر الأحمر و (25.85%) في حالة الليزر He-Ne.



الشكل 12 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي داخل الماء المالح

يُلاحظ من الشكل 13 أن النفاذية الضوئية لحالة الماء العكر تتناقص أسياً مع ازدياد طول المسار الضوئي داخل الماء بالنسبة إلى جميع الليزرزات المعتبرة، وأن ازدياد هذا الطول بنسبة (42.85%) يؤدي إلى انخفاض نسب النفاذية الضوئية بنحو (79.07%) في حالة الليزر الأزرق و (87.18%) في حالة الليزر الأخضر و (11.86%) في حالة الليزر الأحمر و (5.45%) في حالة الليزر He-Ne.



الشكل 13 تابعة النفاذية الضوئية لطول المسار الضوئي داخل الماء العكر

5- الاستنتاجات

1. تتناقص النفاذية الضوئية لليزرزات المستخدمة في الماء العكر أكثر من الماء المالح، بسبب ازدياد تركيز الجزيئات المنحلة.
2. تتناقص النفاذية الضوئية لليزرزات المعتبرة عند انتقالها في الماء بازدياد درجة الحرارة ويُعزى هذا إلى انخفاض كثافة الماء مع ارتفاع درجة الحرارة، ومنه انخفاض عمليات امتصاص الفوتونات وتبعثرها، ويُلاحظ أن هذا الانخفاض يكون أقل ما يمكن في حالة الليزر الأزرق، وأنه بدءاً من درجة الحرارة ($T=26^{\circ}\text{C}$) تتقارب قيم النفاذية الضوئية في حالة الماء العكر بالنسبة إلى الليزرزات المعتبرة، حينما لا يلاحظ ذلك في حالة الماء المالح والماء الصافي.
3. تتناقص النفاذية الضوئية لليزرزات المعتبرة عند انتقالها في الماء مع ازدياد طول المسار الضوئي، ويلاحظ أن نسب تناقص النفاذية الضوئية مع ازدياد طول المسار الضوئي تمتلك قيم متقاربة بالنسبة إلى الليزرزات المعتبرة في حالة الماء الصافي حيث يبلغ متوسطها (23.50%)، أما في حالة الماء المالح فإن نسب تناقص النفاذية الضوئية مع ازدياد طول المسار الضوئي تكون أكبر ما يمكن في حالة الليزر الأزرق (57.42%) وأقل ما يمكن في حالة الليزر He-Ne (25.85%)، حينما في حالة الماء العكر يُلاحظ أن نسب تناقص النفاذية الضوئية تكون في حالة الليزر الأزرق والأخضر أكبر من مثيلاتها في حالة الماء المالح، وأقل في حالة الليزر الأحمر وليزر He-Ne.
4. تختلف نسبة نفاذية الليزر في الأوساط المائية باختلاف طول موجة الليزر المستخدم.
5. تتقارب منحنيات نفاذية الليزر الأحمر مع ليزر He-Ne ومنحنيات نفاذية الليزر الأخضر مع الليزر الأزرق بسبب التقارب في الأطوال الموجية بينهما.
6. تتأثر النفاذية الضوئية بارتفاع درجة الحرارة في الماء العكر أكبر من تأثرها في الماء الصافي.
7. تتفق النتائج مع نتائج الباحثين عند دراسة تأثير طول المسار الضوئي داخل الماء على النفاذية الضوئية لشعاع الليزر، حيث تتناقص النفاذية الضوئية مع ازدياد طول المسار الضوئي.

8. تختلف النتائج مع نتائج الباحثين عند دراسة تأثير تركيب الماء على النفاذية الضوئية لشعاع الليزر مع ارتفاع درجة حرارة الماء، حيث دلت النتائج على تناقص النفاذية الضوئية مع ارتفاع درجة حرارة الماء بين $18 - 28$ °C، بينما دلت نتائج الباحثين عند إجراء الدراسة في الغلاف الجوي من أجل درجات حرارة بين $25 - 60$ °C على زيادة النفاذية الضوئية مع ارتفاع درجة الحرارة.
9. تظهر أمواج الليزر الأخضر - الأزرق نفاذية عالية عند مقارنتها بالإشارات الأخرى وهي الأنسب للاتصال تحت الماء، ولكن هذه الخاصة تنطبق فقط على مسافات قصيرة تتراوح بين 50 - 200 cm.

معلومات التمويل :

هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

المراجع:

- [1] D. Pavithra and P. H. Varsha, "A Review on Underwater Communication with an Aerial Platform," vol. 1, no. 5, pp. 25–29, 2017.
- [2] M. Furqan Ali, D. K. Nalin Jayakody, T. D. Ponnimbaduge Perera, K. Srinivasan, A. Sharma, and I. Krikidis, "Underwater Communications: Recent Advances," 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/332144321%0AUnderwater>.
- [3] R. H. Stewart, "Coastal Processes and Tides," *Introd. to Phys. Oceanogr.*, p. 353, 2008.
- [4] عواطف صابر جاسم، رشا شاهر بدوي، "دراسة انتقال الليزر في عدد من أنواع الماء"، مجلة جامعة كركوك، المجلد 12، العدد 3، 2017.
- [5] عواطف صابر جاسم، رشا شاهر بدوي، ياسين حميد محمود، "دراسة تأثير بعض العوامل الجوية على انتقال الليزر Nd:YAG في الغلاف الجوي"، مجلة ديالى للعلوم الصرفة، المجلد 14، العدد 1، 2018.
- [6] Z. Zeng, "A Survey of Underwater Wireless Optical Communication," 2015.
- [7] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater Optical Wireless Communication," in *IEEE Access*, vol. 4, 2016, pp. 1519–1538.
- [8] R. K. Pradhan, "Does Rayleigh scattering explain the Blueness of Sky?," *Sci. Horiz.*, no. August, pp. 28–31, 2015.
- [9] C. Gabriel, M.-A. Khalighi, S. Bourennane, P. Leon, and V. Rigaud, "Channel modeling for underwater optical communication," in *2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps)*, Dec. 2011, pp. 833–837.
- [10] G. E. Thomas and K. Stamnes, "Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean," in *Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean*, 1999, p. 28.