قياس طيف النفاذية ومعامل التوهين لأنواع من المياه باستخدام الليزر

كمال حسين لطيف[1] ، أمين جبار عباس[2] ، سمير رحيم علي[2] ، ياسين حميد محمود[3]

[1]وزارة البيئة ، بغداد ، العراق

[2] وزارة العلوم والتكنولوجيا، بغداد ، العراق

[3]قسم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

(تاريخ الاستلام: 1 / 12 / 2011 ---- تاريخ القبول: 2 / 4 / 2012)

الملخص

يهدف هذا البحث إلى قياس طيف النفاذية ومعامل التوهين لعينات مياه مستحصلة من مياه العراق باستخدام الليزر Nd:YAG مضاعف التردد، حيث تم توجيه حزمة الليزر خلال خلايا تجريبية بأطوال مختلفة والتي صُنِّعت في المختبر ومنها تم قياس النفاذية ومعاملات التوهين لأنواع المياه المستحصلة من منتصف نهر دجلة ومنتصف نهر الفرات. كما تبين لدينا أنَّ نسبة توهين الاستطارة إلى توهين الامتصاص تصل إلى ثلاثة أضعاف.

1-1: المقدمة:-

منذ السنوات الأولى لثلاثينيات القرن العشرين عندما ترك العمل بحبل السبر (lead line) – خيط معلق فيه رصاص يستعمل لسبر الأعماق – سيطرت طريقة السبر بواسطة الصدى الصوتي (acoustic echo sounder) على مجال استكشاف المساحة البحرية (hydrography) ، لكن اكتشاف الليزر أدى إلى تطوير مدى واسع من أنظمة التحسس البيئية القائمة على أساس استخدام الليزر، وأحدها هو نظام الليزر المحمول جواً (airborne laser system)، حيث توجه الاهتمام لاستخدام هذا النظام في مسح وقياس الأعماق للمناطق الضحلة (shallow-water) عوضاً عن قياسها بتقنية الصوت لأن النظام الليزري يكون أكفأ وأسرع في رسم معلمات المياه الساحلية ،ولكن التقنية الصوتية تبقى هي المسيطرة في المياه العميقة [1].

إن قياسات التحسس النائي تعتمد على مبدأ التفاعل بين الأشعة الكهرومغناطيسية وجزيئات الوسط المراد قياسه. إنَّ هذا التفاعل يعتمد غالباً على التردد. يجب أن يراعي العاملون في أجهزة التحسس البيئي بالليزر أن يكون الطول الموجي المستخدم ضمن إحدى النوافذ البصرية والتي يقل فيها التوهين إلى اقل المستويات موفراً بذلك نفاذية للإشعاع تمكن من استخدامه لمختلف التطبيقات. إن نفاذية حزمة الليزر في المحيط المائي هي ممكنة فقط ضمن النافذة البصرية (أزرق – أخضر). إن العمليات التي تقود إلى أساس قياسات العمق بمثل هكذا أنظمة مساحة بحرية ALB والتي تمثل الخواص البصرية لماء البحر هي استطارة وامتصاص طاقة الليزر في الماء، لذلك فإنَّ معرفة المعلمات الفيزيائية البصرية للاستطارة والامتصاص والتي تؤدي إلى التغير في طول مسار الفوتون في البحر هي من الأُمور الضرورية التي يجب معرفتها [2]. إنَّ هذه الخواص البصرية لها إسهام كبير في توهين الضوء، وهذه الحقيقة توضح من خلال المعادلة التالية [3]:

$$\alpha(\lambda) = a(\lambda) + s(\lambda) \quad \text{..... (1)}$$

حيث يمثل α معامل التوهين الكلي (total attenuation coefficient)

و a معامل الامتصاص (absorption coefficient)

و s معامل الاستطارة الكلية (total scattering coefficient)

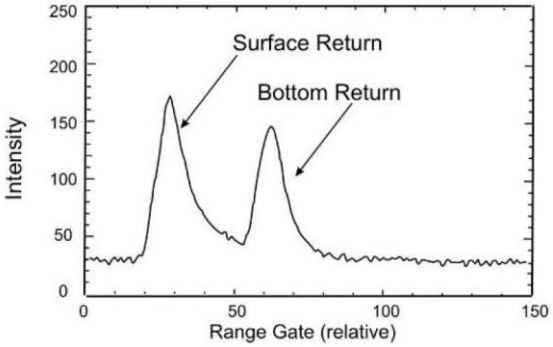
من المعادلة 1-1 يتبين بأن التوهين هو مجموع خسارتي الاستطارة والامتصاص. إنَّ هذه المعاملات تكون متغيرة في الماء تبعاً للعمق، والوقت، والموسم، والموقع الجغرافي [3]. إنَّ حزمة الليزر المرسلة لتطبيقات المحيط المائي تعاني عدة مراتب من التوهين أثناء انتقالها في المجال هواء – ماء. إنَّ هذا التوهين الشديد بطاقة الليزر يتطلب استخدام أعلى ذروة قدرة ليزرية والتي عموماً تكون متيسرة في الليزرات النبضية. ويمكن حساب قيمة α من خلال المعادلة التالية [4]:

$$I = I_{\circ} \exp(-\alpha D) \quad \text{...(2)}$$

حيث يمثل $I_{\circ}$ الشدة الكلية الخارجة من المصدر

و I الشدة المستلمة

إنَّ مقياس الأعماق الليزري المحمول جواً (ALB) يعتمد على مبدأ إرسال نبضة من الضوء عالية الشدة بأجزاء قليلة من المليون جزء من الثانية خلال المجال هواء – ماء. يوضع أمام النبضة الخارجة مجزئ حزمة (beam splitter) حيث ينعكس جزء منها باتجاه الكاشف البصري لتسجيل النبضة الأولية، والجزء الآخر ينفذ إلى الأسفل باتجاه الماء. إنَّ جزءاً من النبضة المتجهة إلى الماء سوف ينعكس من على سطح الماء، والجزء الآخر سوف ينفذ إلى داخل الماء وينعكس من القعر راجعاً إلى الكاشف البصري. إن فرق الوقت بين نبضة الليزر المنعكسة من سطح الماء والتي تنعكس من قاع البحر يحول إلى قياس عمق الماء وكما في الشكل 1 [5]، من الممكن أيضاً قياس العمق للأنهار وهذا بدوره يعتمد على مميزات النظام المستخدم ومميزات سطح الماء [6] .

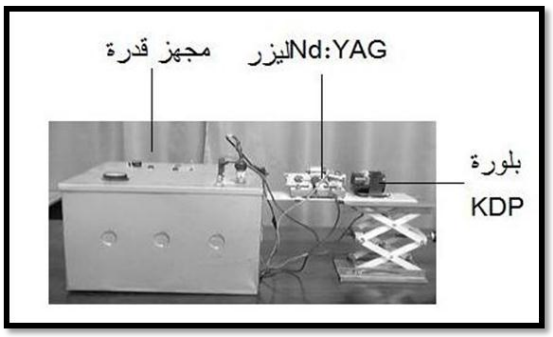


الشكل 1 طريقة تقييس عمق الماء من احتساب الفرق الزمني بين النبضتين.

2- الجزء العملي:-

2-1 طريقة إجراء التجربة

تم إجراء التجربة وأخذ القياسات، باستخدام حوضين زجاجيين وأُنبوب زجاجي وآخر بلاستيكي، وذلك بأُسلوبَي قياس هما: ذهاباً، وذهاباً وإياباً باستخدام مرآة تمتلك انعكاسية عالية جداً تصل إلى (98 %) للطول الموجي المستخدم، وباستخدام ليزر Nd:YAG مضاعَف التردد ذو قدرة 30mJ المصنع من قبل شركة ASKRA، تم احتساب مقدار التوهين بقياس فرق الجهد المستلم بواسطة الكاشف قبل وضع عينة الماء واعتبارها القراءة الصفرية، ومن ثم قياسهما بعد وضع عينة الماء واعتبارها القراءة الثانية. تم الحصول على العينات المستخدمة في البحث، عن طريق أخذ عينات من مياه نهري دجلة والفرات باستخدام قارب للوصول إلى منتصف النهر، وأخذ العينات من سطح النهر.



الشكل 2 يوضح صورة لمنظومة ليزر الـNd:YAG مضاعف التردد

2-2 تحضير ماء البحر الصناعي

تم تحضير ماء البحر الاصطناعي داخل المختبر، وبنسب تركيز أملاح مشابه لما هو موجود في ماء البحر الطبيعي، وذلك حسب النسب الموضحة أقيامها في أدناه.

g	26.40	NaCl
g	0.75	KCl
g	3.15	$MgCl_2$
g	2.07	$MgSO_4$
g	1.33	$CaSO_4$
g	33.7	
g	966.3	H_2O
1000g		

2-3 أجهزة القياس

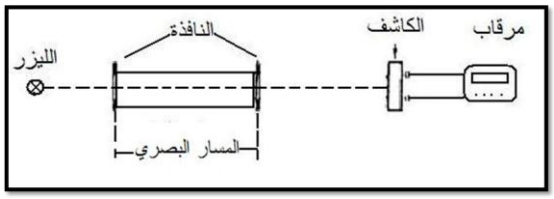
تم استخدام عدة أجهزة لاستحصال البيانات العملية، وأخذ القياسات المطلوبة. وفيما يلي استعراض لنوعيات ومواصفات بعض الأجهزة المستخدَمة.

2-3-1 خلية التوهين

تم تصنيع خلية التوهين، وهي عبارة عن أُنبوب زجاجي نوع بايركس أُسطواني الشكل، يحتوي على فتحتين لإدخال الماء وإخراجه. يبلغ طول الأُنبوب (60cm)، وقطره (2.5 cm). وتم إغلاق نهايتي الأنبوب بنافذتين زجاجيتين من مادة الكوارتز، وذلك كونها تمتلك نفاذية عالية للطول الموجي المستخدم.

2-3-2 الحوضين الزجاجيين

تم تصنيع حوضين زجاجيين، الأول بأبعاد (100 × 20 × 20 cm)، والثاني بأبعاد (30 × 10 × 10 cm)، وذلك لاستخدامهما في إجراء القياسات. كما تم استخدام أُنبوب بلاستيكي بطول (1.5 m) وقطر (20 cm).



الشكل 3 يمثل رسم تخطيطي لطريقة القياس

2-3-3 الكاشف

تم استخدام كاشف سليكوني نوع PIN موديل BPW 21، بمساحة فعالة ($9\ mm^2$) وباستجابة طيفية للمنطقة (460-750nm)، باستخدام مرشح بصري يحقق المنطقة الطيفية المذكورة، وباستجابة عظمى عند الطول الموجي (560nm)، وبقيمة استجابية (0.4 $A\cdot W^{-1}$)، وكشفية ($D^* = 1\times10^{13}\ W\cdot cm^{-1}\cdot Hz^{-0.5}$). علماً أنَّ الاستجابة الزمنية للكاشف تتراوح بحدود (20 nsec).

2-3-4 المرقاب

تم استخدام جهاز المرقاب المصنع من قبل شركة Tektronix، ذو النوع 100 MHz Two Channel Digital Real-Time TD220. حيث استُخدِم في قراءة فرق الجهد المستحصل من الكاشف أثناء إجراء التجارب.

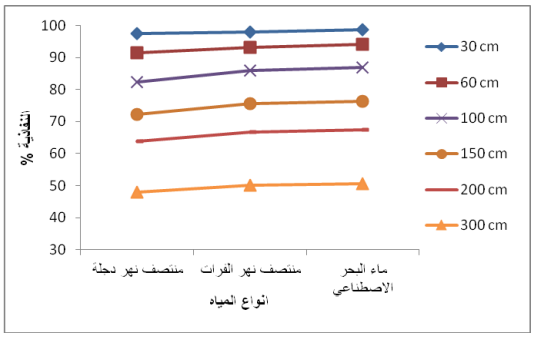
3- النتائج والمناقشة :-

3-1 نتائج قياس النفاذية

تم قياس النفاذية لليزر بالطول الموجي (532 nm) لكل العينات، ولمسافات اختراق مقدارها (30, 60, 100, 150, 200, 300 cm)، ومنها تم احتساب معاملات التوهين الكلية. و يمثل الشكل 4 طيف النفاذية لنفس الطول الموجي لعينات الماء المستخدَمة في البحث وللمسافات التي أُخِذت على أنَّها المسارات البصرية لليزر المستخدَم خلال كل نوع منها.

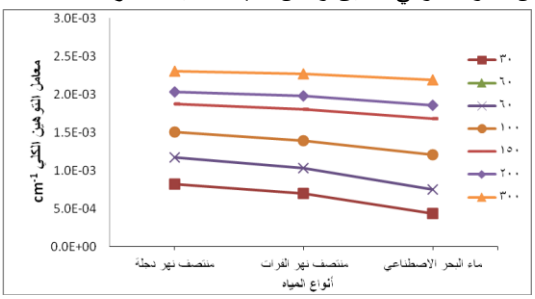
الجدول 1 النفاذية لأنواع المياه المستخدَمة ومعاملات توهينها.

		Area	30cm	60cm	100cm	150cm	200cm	300cm
1	منتصف نهر دجلة	T%	97.57	93.22	86.05	75.51	66.64	50.05
		$\alpha\times10^{-3}$ cm^{-1}	0.82	1.17	1.50	1.87	2.03	2.31
2	منتصف نهر الفرات	T%	97.92	94.00	86.98	75.32	76.36	50.59
		$\alpha\times10^{-3}$ cm^{-1}	0.70	1.03	1.40	1.80	1.98	2.27
3	ماء البحر الصناعي	T%	98.70	95.61	88.61	77.75	69.02	51.84
		$\alpha\times10^{-3}$ cm^{-1}	0.44	0.47	1.21	1.68	1.85	2.19



الشكل 4 طيف النفاذية للطول الموجي 532 nm لأنواع المياه المستخدمة في البحث

يلاحظ من الجدول 1 والشكل 4 أنَّ نفاذية ماء البحر الاصطناعي كانت هي الأعلى من باقي الأنواع. وبصورة عامة يُلاَحظ ازدياد التوهين مع زيادة المسار البصري ولكل العينات بلا استثناء، وتكون هذه الزيادة بنسب أكبر للمسافات الأطول، وذلك بسبب ظهور تأثير العوالق والمواد المنحلة عند ازدياد المسافة المختَرَقة. أمَّا الشكل 5 فيبين معاملات التوهين لليزر بنفس الطول الموجي السابق ولنفس العينات سابقة الذكر.



الشكل 5 معاملات التوهين للطول الموجي 532 nm لأنواع المياه المستخدَمة.

يلاحظ من هذا الشكل أنَّ معاملات التوهين تزداد بازدياد المسار البصري الذي يتم اختراقه، كما يُلاحَظ أنَّ الزيادة في معاملات توهين المياه الأكثر نفاذية تكون أكبر بكثير مقارنة مع زيادة معاملات توهين المياه الأكثر توهيناً، والسبب يرجع إلى زيادة تأثير الاستطارة بالعوالق بزيادة هذه المسافة، بنوعيها الاستطارة الأمامية والخلفية. ويُعزى إلى هذه الظاهرة النقصان في نفاذية عينات المياه يكون بنسبٍ متساوية تقريباً كلما ازداد فرق المسار البصري.

الاستنتاجات

من خلال مجمل التجارب العملية لقياسات عينات المياه، وبالمقارنة مع النشريات العلمية في المجال نفسه، تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. ازدياد معامل التوهين بزيادة المسار البصري الذي تم اختباره.
2. تكون الفروقات بين نفاذية العينات المختَبَرة قليلةً عند المسار البصري القصير، بينما تصبح الفروقات كبيرة عند المسار البصري الأطول.
3. تبين أنَّ نسبة توهين الاستطارة إلى الامتصاص في المياه موضع البحث، تتراوح بحدود ثلاثة أضعاف، بينما تصل النشريات العالمية إلى حدود خمسة أضعاف؛ وهذا يدلُّ على أنَّ للاستطارة في المياه العراقية دورٌ أكبر من تلك في المياه المنشورة نتائجها عالمياً. وهذا يعني قلّة المواد المسببة للامتصاص في المياه العراقية.

المصادر

1- Penny, M. F.; Abbot, R. H.; Phillips, D. M.; Billard; B., Faulkner, D. W.; Cartwright, D. G.; Woodcock, B.; Perry, G. J.;Wilsen, P. J.; Adams, T. R. and Richards, J.; *"Airborne laser hydrography in australia"*, Applied Optics, Vol. 25, No.13, pp. 2046-2058, (July 1st 1986).

2- Blizard, Marvin, A.; *"Ocean optics: introduction and over view"*, SPIE ocean optics viii, Vol. 637, (1986).

3- Morrison, Robert E., *"Experimental studies on the optical properties of sea water"*, J. of Geophysical Research, Vol. 25, No. 3, pp. 612-628, (1970).

4-Duntley, Seibert Q.; *"Light in the Sea"*, Opt. Soc. Am. J., Vol. 53, pp.214-233, (1963).

5- Mobley, C. D., Sundman, L. K., Davis, C. O., Bowles, J. H., Downes, T. V., Leathers, R. A., Montes, M. J., Bissett,W. P., Kohler, D. D. R., Reid, R. P., Louchard, E. M., & Gleason, A. (2005). Interpretation of hyperspectral remote-sensing imagery by spectrum matching and look-up tables. *Applied Optics, 44*, 3576–3592.

6- Denis Feurer, Jean-Stéphane Bailly, Christian Puech, Yann Le Coarer and Alain A. Viau "Very high-resolution mapping of river-immersed topography by remote sensing" Progress in physical geography, vol 32, No. 4, (2008). p.403-419.

Abstract :-
This work represents an experimental study to measure the spectrum of transmission and attenuation coefficient of water samples taken from different places in Iraq. Nd:YAG laser source doubled frequency was used as transmitter, the laser pulse was directed through the cells experimental of different length, which developed in laboratory, were measured the transmission and attenuation coefficients in many kind of Iraqi's waters, that was middle of Tigris, and middle of Euphrates. We have found that the ratio between absorption and scattering was three times in Iraqi's waters.