مطالعه تغییرات ضریب تضعیف نور توسط اندازه‌گیری‌های میدانی در سواحل خزر جنوبی (بندر نوشهر)

مسعود ترابی آزاد[۱*]، هما حسینی[۲]

۱*- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- کارشناس ارشد فیزیک دریا ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

*ایمیل نویسنده مسئول: M_Azad@Iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۵/۱۴

چکیده

به‌منظور مطالعه‌ی و اندازه گیری ضریب تضعیف نور، آزمایش با استفاده از هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG و لیزرهای دیودی انجام شد. با تاباندن نور لیزر در طول موج های متفاوت به نمونه های آب خزر جنوبی، شدت نور خروجی توسط یک توان سنج اندازه گیری شد. ضریب جذب نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری بدست آمد. برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، چالوس و کپورچال در فصل های مختلف سال این آزمایش ها تکرار شد. بر اساس نتایج مشاهده شد که در هر دو ایستگاه، نور سبز حداقل تضعیف و بیشترین نفوذ را دارد، درصورتی که در طول موج قرمز و مادون قرمز تضعیف خیلی بیشتر و نفوذ نور کمتر است. عواملی همچون ورودی رودخانه به چالوس، جریان‌های کرانه‌ای، شیب ساحل کپورچال، وجود موج شکن نوشهر، نزدیکی منطقه چالوس به ساحل باعث افزایش رسوبات و ذرات معلق، افزایش ضریب پراکندگی در منطقه چالوس شده است. مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در هر دو ایستگاه در چهار فصل سال بدست آمد و مشاهده شد که مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در فصل بهار برای هر دو ایستگاه چالوس و کپورچال از سایر فصل ها بیشتر و در فصل زمستان کمتر است. فرمول تقریبی بین ضریب تضعیف نور و طول موج ارائه شد.

کلمات کلیدی

" نورلیزر"، "ضریب تضعیف نور"، "جذب نور" ،"قانون لامبرت"، "سواحل خزرجنوبی"

Study of light attenuation coefficient variation using field measurement in south of Caspian Sea costs (Nowshahr port)

Masoud Torabi Azad[1*], Homa Hosseini[2]

1*-Associate Prof. Department of Physical Oceanography, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran Corresponding Author

2- M.Sc. Graduate of physical Oceanography, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

*Email Address : M_Azad@Iau-tnb.ac.ir

Abstract

In order to study the means of finding the attenuation coefficient in seawater we performed an experiment by the second harmonic of Nd: YAG laser and diode lasers in plasma physics research center .we measured the passing of the light by power meter in distilled water, and two samples of south Caspian Sea water. This research has been made in all seasons of a year. The absorption attenuation of water sample measure by spectrophotometer. The chalos river discharge, long shore currents, the slop of kapurchal beach, noshahr breakwaters and nearest chalos to the beach are the important factors to increase of sediment and suspended solids and increase of light attenuation coefficient in chalos region. It was found that in both stations green light have the minimum attenuation and maximum penetration while red and infrared wave length have much more attenuation and less than penetration. Also the contamination attenuation coefficient was measured in all seasons of 2010 in two stations. The value of contamination attenuation coefficient in spring for chalos and kapurchal stations higher than other seasons and in winter is lower than. Using fitting method an approximate formula for the coefficient and wavelength was derived.

Keywords

"laser light", "Light attenuation coefficient", "Light absorption", "Lambert law", "South Caspian Sea costs"

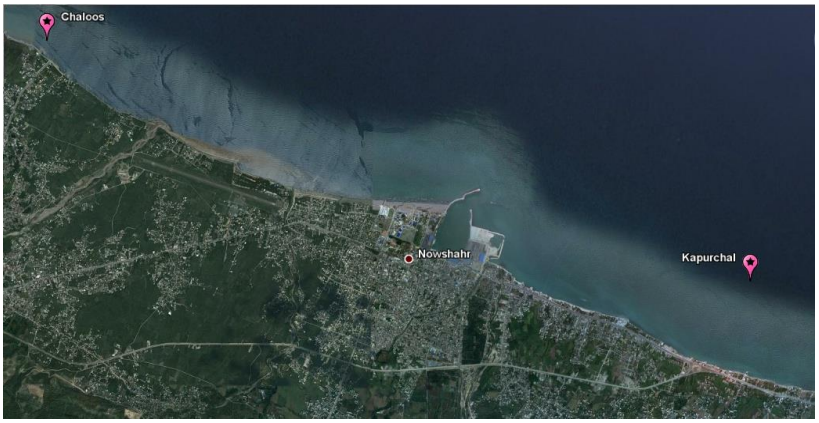
۱- مقدمه

نورنوعی انرژی است که در زندگی انسان نقش بسزایی دارد و به‌دلیل تأثیر آن در عمل فتوسنتز با اهمیت است. هنگامی که نور به سطح دریا برخورد می‌کند بخشی از آن پراکنده، بخشی منعکس و بخشی باقی مانده جذب می‌شود(Emery and Pickard, 1993). سال ها است که مشخص شده تعدادی از آبزیان مخصوصاً مرجان‌ها هنگامی که در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرند، خاصیت فلوئورسانسی پیدا می‌کنند. یکی از کاربردهای لیزر در اقیانوس‌شناسی، شناسایی فلوئورسانس‌های زیردریا است. فیتوپلانتکونها نقش مهمی در درک میزان سلامت و حاصلخیزی اقیانوس‌ها دارند. فیتوپلانکتونها برای رشد، انژری خورشید را جذب کرده و سپس مقداری از این انرژی را به‌صورت نور قرمزی که فلوئورسانس نامیده می‌شود، آزاد می‌کنند. از طریق مطالعه‌ی فلوئورسانس‌های زیردریا می‌توان به چگونگی توزیع ارگانیزم‌های بستردریا و همچنین شرایط فیزیولوژیکی آنها پی برد (غلامی و احمدی گیوی، ۱۳۸۸). در زمینه بررسی ضریب جذب نور با استفاده از لیزر در آبهای مختلف و عوامل مؤثر بر تغییرات آن درخارج از کشور و ایران مطالعاتی انجام شده است . پاولاک و همکارش در سال ۲۰۰۳ به بررسی ضریب تضعیف نور با تغییرات فصلی در نقاطی از رودخانه واقع در کشور لهستان پرداختند. آنها دریافتند که تغییرات فصلی و تغییر در مواد معلق آب برجذب و پراکندگی نور تاثیر دارد. با استفاده از اندازه‌گیری ضریب تضعیف نور و مقایسه آن با آب مقطر توانستند میزان مواد حل نشده در آب را اندازه‌گیری کنند و همچنین سایز (اندازه) ذرات معلق را بدست آورند(Pawlak and et al., 2003) پدیده برگشت از آب رودخانه‌ها، ساختار بستر رودخانه‌ها و موقعیت محل موردنظر در این فاکتورها می‌تواند تأثیر قابل توجهی در ضریب تضعیف نور داشته باشد.در همه آزمایش ها افزایش طول موج، منجر به کاهش ضریب تضعیف نور شد که این مسئله ارتباط مستقیمی با تغییرات فصل داشت .به‌طور کلی در این مقاله ضریب تضعیف نور، به سه پارامتر، تغییرات فصل، موقعیت جغرافیایی و طول موج وابسته بود. تیسین و همکارانش در سال ۲۰۰۸ به بررسی ضریب جذب آب با تغییرات دما پرداختند. آنها تحقیقات خود را با دو طول موج ۱۹۲۰ nm و ۱۹۴۰ nm انجام دادند. درون محفظه‌ای آب موردنظر را ریخته و با استفاده از قانون لامبرت ضریب جذب را با دو لیزر IR اندازه‌گیری کردند (Theisen-Kunde and et al., 2008) . طبق نتایج بدست آمده، مشخص شد که با افزایش دما، ضریب جذب برای طول موج ۱۹۲۰ nm افزایش یافت و با لیزر ۱۹۴۰ nm کاهش یافته پس درجراحی از لیزر ۱۹۴۰ nm استفاده کردند که دما بافت بالا نرود. به‌دلیل اینکه آب داخل بافت، طول موج ۱۹۲۰ را بهتر جذب می‌کند و ضریب جذب آن بالا می‌رود و این مسئله برای بیمار رضایت بخش است (Theisen-Kunde and et al., 2008 .) اسکات و همکاران در سال ۱۹۹۷ به بررسی ضریب تضعیف نور در ناحیه مرئی و IR دور در آب پرداختند و بستگی آن را به دما و شوری گزارش کردند. آنها در ۹ طول موج هم‌جذب و هم تضعیف ، و در ۳ طول موج فقط جذب را بررسی کردند.محدوده دمایی بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بازه شوری مورد مطالعه آنها صفر تا ۳۸ psu انتخاب شد. تأثیرات این پارامترها یعنی دما و شوری را برروی ضریب جذب مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در ناحیه مرئی ضریب جذب به دما و شوری به‌صورت جزئی بستگی دارد. فقط در طول موج λ = ۶۱۰ nm این تغییر مشهود ، و در ناحیه IR نزدیک ضریب جذب تابعی از دما است (Scott and etal. , 1997). کلود و همکاران در سال ۲۰۰۲ به بررسی سهم جذب و پراکندگی در پرتو فرابنفش و تابش فتوسنتزی موجود در دریاچه $Biwa$ پرداختند. آنها میرایی پرتو فرابنفش (UV) در زیر آب را با استفاده از همبستگی بین میرایی پرتو فرابنفش و غلظت کربن آلی محلول (DOC) با جذب ماده آلی محلول رنگی ($CDOM$) مدلسازی کردند. هدف آنها اثبات و بسط یک مدل زیست – جغرافیایی – اپتیکی از نفوذ UV بود که می‌توانست جذب و پراکندگی کل را با تمامی مؤلفه‌های (اجزاء) ستون آب درنظر بگیرد. جذب و پراکندگی نقش بسیار مهمی در میرایی UV دارد. بطور میانگین، سهم جذب توسط آب به‌ترتیب ۱، ۶۶، ۲۱ درصد است، در حالیکه سهم پراکندگی توسط ذرات به میزان ۱۱٪ محاسبه شد. در یک مکان گل‌آلود سهم جذب توسط آب و آب گل‌آلود ۰/۳ و ۳۶ درصد تعیین شد، در حالیکه۲۴ درصد به پراکندگی اختصاص داشت (Claude and et al., 2002) بررسی وابستگی دما به ضریب جذب نور در آب با استفاده از تابش لیزر مادون قرمز توسط فیشر و همکار درسال ۲۰۰۴ انجام شد. آنها دریافتند که پیک دینامیکی جذب آب حدود ۱/۹۴ μm است. این پیک برای لیزرهای هلیوم و تانیوم مهم است. برای امتحان اثر دما بر ضریب جذب، انتقال پالس لیزرهای $Tm:YAG$ و $HO:YSGG$ و YAG برای کل آبهای ۲۲ ℃ ، ۴۹ ℃ و ۷۰ ℃ به‌عنوان تابعی از ضخامت لایه‌های آب اندازه‌گیری شد و بوسیله این داده‌ها ضریب جذب برای سه طول موج تعیین شد. در همه این سه طول موج، ضریب جذب با افزایش دما کاهش می‌یابد (Fisher and Hahn, 2004) یک مدل برای توضیح، تغییرات دینامیک در ضریب جذب با توزیع دما توسعه داده شد. توزیع دما با یک مدل فرضی همراه با خصوصیات اپتیکی ثابت مقایسه شد. در این مطالعه نشان داده شد که خصوصیات دینامیکی ضریب جذب تاثیر زیاد در محدوده ۲۰μm دارد . (Devlin and et al., 2009).کلیبری ومحسنی آراسته در سال ۱۳۸۸، به بررسی پراکندگی نور لیزر از امولسیون نفتی آب دریا توسط روش Mie پرداخت. برای شبیه‌سازی آلودگی‌های نفتی موجود در دریا، امولسیون در مقیاس آزمایشگاهی با آب آورده شده از خلیج فارس تهیه شد. در این تحقیق از لیزر یون آرگون باطول موج حدود ۴۸۸ nm و توان خروجی ۰/۴ وات استفاده شد. لیزر موجود را به ۵ ترکیب مختلف با شرایط مشابه تابانده و پراکندگی نور لیزر از امولسیون نفتی با استفاده از روش mie تعیین شد (کلیبری و محسنی آراسته، ۱۳۸۸). ایزدی و همکاران درسال ۱۳۸۴ به بررسی داده‌های واقعی انتشار لیزر در دریای عمان پرداخت. به این ترتیب که به منظور مطالعه نحوه‌ای انتشار نور لیزر در آب دریا، آزمایشی را با لیزر هارمونیک دوم $Nd:YAG$ در آزمایشگاه حالت جامد سازمان انرژی اتمی طراحی کرد. این آزمایش در عمق‌های مختلف آب و با شدت پالس‌های ورودی و زوایای مختلف انجام گرفت. باتوجه به میزان انعکاس از بستر و فاصله منبع لیزری بعد از انحراف نور آن به سمت آب و همچنین عمق آب با شدت پالس‌های برگشتی توسط آشکارساز اندازه‌گیری شد . نتیجه گرفت که انتشار هارمونیک دوم لیزر حالت

جامد $Nd:YAG$ در آب به‌صورت غیرخطی است (ایزدی و مجموع ضرایب جذب $a(\lambda)$ و پراکندگی $b(\lambda)$ است که به‌عنوان ضرایب اولیه‌ی نوری آب نامیده می‌شوند. رابطه بین ضرایب جذب و پراکندگی و ضریب تضعیف نور بصورت $c(\lambda) = a(\lambda) +$ $b(\lambda)$ است (Ling ,2008; Apel, 1991). $c(\lambda)$ ضریب تضعیف نور،مقیاسی از نور از دست رفته می‌باشد که از ترکیب اثر پراکندگی و جذب بر واحد طول بدست می‌آید واحد $c(\lambda)$ ، m^{-1} می‌باشد. ضریب تضعیف نور به معنای کاهش نهایی (خالص) در تابندگی یا شدت حاصله از جذب و پراکنش می باشد. در پدیده جذب اساساً تمامی فوتون‌هایی که به زیر سطح دریا نفوذ می‌کنند تماماً یا جذب می‌شوند یا به سطح مشترک آب – هوا باز پراکنش می‌شوند. بنابراین جذب و پراکندگی تنها کمیت‌های لازم برای بیان تضعیف نهایی شدت نور در زیر سطح آب است. مهم است که بدانیم این سه مؤلفه، خواص اپتیکی یک ماده هستند (IOP) (Inherent Optical Properties) که مستقل از نوع ماده می‌باشد و اندازه‌گیری آنها در طول روز و شب، تفاوتی نخواهد داشت . (Kopec and Pawlak, 1998)

۲- روش تحقیق

بندر نوشهر در طول جغرافیایی″ ۳۰ و ۵۱ درجه شمالی و″ ۳۹ و ۳۶ درجه شرقی می باشد، ارتفاع آن از سطح دریا $2/9m$- می باشد. اغلب روزهای سال در سواحل این بندر هوا بارانی است.باران نقش همکاران، ۱۳۸۴). به‌طور کلی ضریب تضعیف نور در آب $c(\lambda)$ مهمی در آب و هوا و زندگی ساکنان این ناحیه دارد. عوامل موثر در ریزش باران، تبخیر، وزش باد های باران آور شمالی و شمال غربی و وجود کوههای البرز است. خصوصیات آب و هوای سواحل بندر نوشهر از نظر تقسیمات کلی آب و هوایی تقریباً مدیترانه‌ای است. میانگین دما در آن ℃ ۱۵ می باشد. پدیده جوی ابری و سمت باد آرام می باشد. میانگین سرعت باد بندر نوشهر m/s ۳/۱ است. جنس رسوبات در سواحل نوشهر همانند اکثر سواحل جنوبی دریای خزر از نوع ماسه ای است. در این تحقیق، دو نمونه آب از منطقه چالوس و کپورچال واقع در بندر نوشهر در سواحل خزر جنوبی جمع‌آوری شد، فاصله دو ایستگاه از یکدیگر تقریباً km ۱۵ و عمق هر ایستگاه نمونه‌برداری m ۳۰ است. نمونه‌ها در چهار فصل سال جمع‌آوری گردید. در نمونه‌برداری پارامترهای فیزیکی همچون دمای آب دریا، شوری، کدورت، دمای هوا و طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ثبت شدند. مشخصات دقیق ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است. ایستگاه‌های $SP1$ (بهار)، $S1$ (تابستان)، $A1$ (پائیز)، $W1$ (زمستان) مربوط به ایستگاه کپورچال و $SP2$ (بهار)، $S2$ (تابستان)، $A2$ (پائیز)، W2 (زمستان) مربوط به ایستگاه چالوس نامگذاری شده است. موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه این تحقیق در شکل ۱ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت بندر نوشهرو ایستگاه‌های نمونه‌برداری

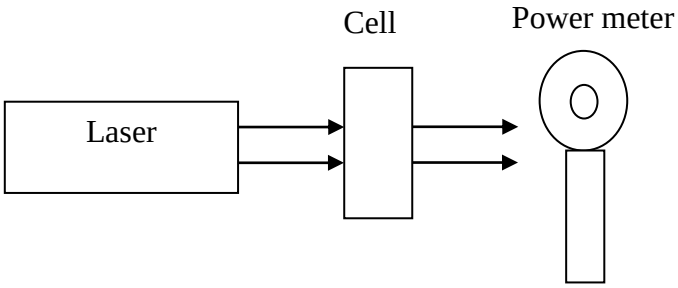
جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در چهار فصل

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی شمالی	عرض جغرافیایی شرقی	شوری (g/kg)	دمای آب دریا (°C)
Sp1	۵۱ ۳۳′ ۳۲″	۳۶ ۳۹′ ۹۶″	۹	۱۹
Sp2	۵۱ ۲۶′ ۸۸″	۳۶ ۴۱′ ۰۳″	۹/۵	۲۰/۰۴
S1	۵۱ ۳۳′ ۳۲″	۳۶ ۳۹′ ۹۶″	۹/۷	۲۸/۷۵
S2	۵۱ ۲۶′ ۸۸″	۳۶ ۴۱′ ۰۳″	۹/۵۳	۲۹/۰۲
A1	۵۱ ۳۳′ ۳۲″	۳۶ ۳۹′ ۹۶″	۹/۲	۱۴/۲
A2	۵۱ ۲۶′ ۸۸″	۳۶ ۴۱′ ۰۳″	۸/۹	۱۴/۳
W1	۵۱ ۳۳′ ۳۲″	۳۶ ۳۹′ ۹۶″	۹/۴	۵/۹۵
W2	۵۱ ۲۶′ ۸۸″	۳۶ ۴۱′ ۰۳″	۸/۷	۱۲/۰۷

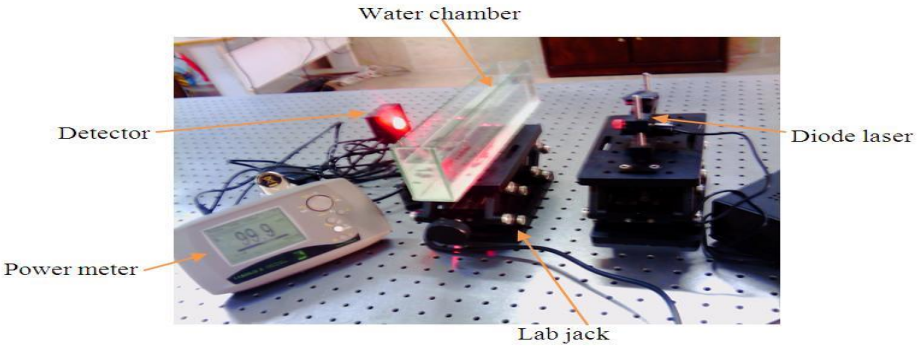
نمونه‌برداری از آب توسط دستگاه نمونه‌بردار آب Nesskin انجام شد. از تجهیزات GPS، شوری‌سنج، دماسنج و کدورت‌سنج جهت اندازه گیری سایر پارامترها استفاده به عمل آمد. طول موج لیزرهای موجود در این تحقیق به کمک دستگاه اسپکتروسکوپ کالیبره شدند. دستگاه اسپکتروسکوپ ابزاری نوری است که از آن به‌منظور ملاحظه طیف نور با تابش حاصل از منبع نوری استفاده می‌شود. اساس کار آن تجزیه رنگ‌های متفاوت براساس طول موج آنها است. توان لیزرها با توان‌سنج دیجیتال مدل 11solo2 اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

شکل۲ - توان‌سنج دیجیتال

از دستگاه اسپکتروفوتومتری جهت بررسی طیف جذبی در ناحیه nm ۱۱۰۰-۴۰۰ استفاده شد. اسکپتروفوتومتر یا طیف‌سنج میزان جذب یا عبور طول موج‌های مشخصی از انرژی تابشی (نور)، از یک نمونه را اندازه‌گیری می‌نماید. به‌این صورت که نمونه‌های آب به داخل کووت ریخته شدند و در محل مخصوص نمونه در دستگاه گذاشته شدند. کووت‌ها محفظه‌های شفافی بصورت استوانه یا مستطیل هستند. محلول مورد آزمایش در آن ریخته شد و در جایگاه خاص که در مسیر نور تکرنگ تعبیه شده است قرار گرفت. این کووت‌ها نباید تأثیری روی نور عبوری داشته باشند یعنی نه نور را جذب و نه بازتاب کنند. قبل از هر آزمایش دستگاه باید کالیبره می‌شد. برای این‌کار از یک کووت خالی استفاده گردید، یعنی در محل قرارگیری نمونه در ابتدا کووت خالی و بعد نمونه موردنظر قرار داده شد. از آزمایشگاه لیزر مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات جهت انجام آزمایش های لازم استفاده بعمل آمد. در این تحقیق از لیزر هارمونیک دوم سبز Nd:YAG ۵۳۲ nm و لیزر دیودی nm ۶۶۰، nm ۷۸۰، nm ۹۸۰ استفاده شد. به‌دلیل وجود ارتعاشات موجود در محل آزمایش و دقت آزمایش از میز اپتیکی استفاده شد. چیدمان آزمایش به کمک المان‌های اپتیکی موجود با پیچ‌هایی به قطر mm ۶ به میز اپتیکی ثابت شدند تا در هنگام کار حرکت نکند و باعث خطا نشود (شکل ۴). در ابتدا نمونه‌های موردنظر در محفظه کوچکی به ابعاد cm^2 ۸ × ۳۰ ریخته شد .در یک طرف محفظه لیزرهای موجود بر روی پایه سوار شدند و در طرف دیگر یک توان سنج که شدت را برحسب میلی‌وات دریافت می‌کرد قرار داده شد، از آنجا که لیزرهای موجود همگی پیوسته بودند از توان سنج استفاده شد. اگر لیزرها به‌صورت پالسی بودند باید از ژول متر استفاده می‌گردید، محفظه باید کاملاً تمیز می‌شد چون هرگونه آلودگی و چربی برروی آن، ممکن بود روی عدد بدست آمده تأثیرگذار باشد. به همین‌دلیل یک بار با مواد شوینده و بار دوم با آب مقطر محفظه تمیز گردید. در شکل (۳) شماتیک آزمایش و در شکل (۴) چیدمان آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۳ -شماتیک آزمایش



شکل٤ - نمایی از چیدمان کار در آزمایشگاه

ابتدا با محفظه خالی لیزر را روشن کرده و در طرف دیگر توان لیزر یادداشت شد، این‌کار برای هر چهار لیزر موجود انجام گردید. عدد بدست آمده در هر مرحله I_0 نامگذاری شد. سپس آب مقطر در محفظه ریخته و برای هرکدام از لیزرها عدد خروجی در آن طرف محفظه بدست آمد که این عدد همان I بود، ضخامت محفظه x در اینجا ۸ cm است. با استفاده از قانون لامبرت $I_z = I_0 e^{-\mu x}$ ضریب تضعیف نورمحاسبه شد. در اینجا x ضخامت محفظه و μ ضریب تضعیف نور است . ضریب تضعیف نور برای آبهای مختلف

متفاوت است و بستگی به آلودگی، شوری، کدورت و ... در آب دارد. واحد این ضریب عکس متر (m^{-1}) است. این کمیت با $c(\lambda)$ هم نمایش داده می‌شود (www.uobabylon.edu.iq/ publication_12_2965_6121,2006; Dowing, 2008) آزمایش با آب مقطر انجام شد. یعنی مقدار I_0 و I در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و ضریب تضعیف نور برای آب مقطر طبق قانون فوق بدست آمد .نتایج در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول۲- ضریب تضعیف نور برای آب مقطر در چهار طول موج متفاوت

λ(nm)	ضریب تضعیف نور (۱/ m) μ
λ = ۵۳۲	۰/۰۵۲
λ = ۶۶۰	۰/۴۵
λ = ۷۸۰	۲/۳۰
λ = ۹۸۰	۱۲/۲

جدول (۳) مقدار جذب و پراکندگی در آب مقطر را ثبت کرده است اگر این دو مقدار با هم جمع شود همان ضریب تضعیف نور بدست می‌آید که با $c(\lambda)$ نمایش داده شده است (Emery and Thomson, 2001; Stewart, 2008).

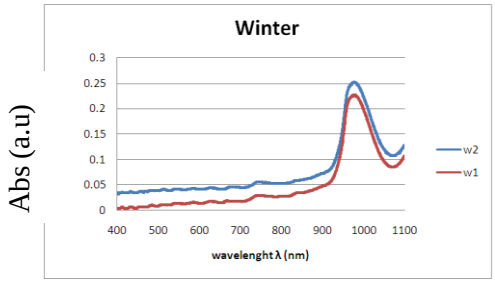
جدول۳ - مقدار جذب و پراکندگی در آب مقطر

$\lambda(nm)$	مقدارجذب $a(\lambda)(m^{-1})$	مقدارپراکندگی $b(\lambda)(m^{-1})$	$c(\lambda)(m^{-1})$
۵۳۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۵۱
۵۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۵۳
۶۶۰	۰/۴۲	۰/۰۰۰۷	۰/۴۲
۷۸۰	۲/۳	۰/۰۰۰۳	۲/۳
۹۸۰	۱۲	۰/۰۰۰۱	۱۲

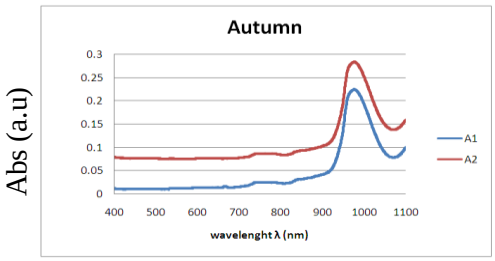
اعداد بدست آمده در جدول (۲) که به‌صورت عملی در آزمایشگاه بدست آمد با اعداد ثبت شده در جدول (۳) مقایسه و خطای نسبی بین آنها بدست آمد. برای طول موج های ۵۳۲ nm و ۹۸۰ nm انطباق کامل، خطای نسبی برای طول موج ۶۶۰ nm هفت درصد و برای طول موج ۷۸۰ nm مساوی ۱/۶ درصد محاسبه شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری تغییرات جذب[1] برحسب طول موج برای آبهای دریای خزر در دو نقطه چالوس و کپورچال در چهار فصل سال اندازه‌گیری شد. مطابق چیدمان نشان داده شده در شکل ۴ نور لیزر پس از عبور از محفظه وارد توان سنج شده و توان لیزر عبوری اندازه‌گیری گردید. آزمایش در چهار مرحله با لیزرهای ۵۳۲ nm ، ۶۶۰ nm ، ۷۸۰ nm ، ۹۸۰ nm انجام شد در مرحله اول توان خروجی لیزر P_0 پس از عبور از محفظه خالی اندازه‌گیری گردید. در مرحله بعد توان خروجی لیزر پس از عبور از آب ایستگاه‌های کپورچال و چالوس به‌ترتیب اندازه‌گیری شد. با استفاده از توان‌های بدست آمده در مرحله فوق و با تقسیم آن بر سطح تابش مورد نظر، مقدار شدت خروجی پرتو لیزر I_0 و I بدست آمد. در نهایت با استفاده از فرمول لامبرت، ضریب تضعیف نور آب دو ایستگاه چالوس و کپورچال محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری ضریب تضعیف ناخالصی می‌توان از فرمول $c_z(\lambda) = c(\lambda) - c_w(\lambda)$ استفاده کرد.که $c_z(\lambda)$ ضریب تضعیف نور برای ناخالصی ، $c(\lambda)$ ضریب تضعیف آب دریا و $c_w(\lambda)$ ضریب تضعیف آب مقطراست.

۳- بحث

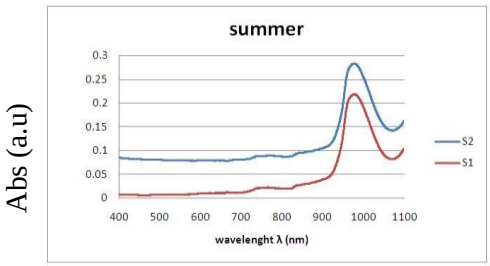
در شکل های۵ تا ۸ نمودار جذب برحسب طول موج برای فصل های سال در دو ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل۵ - نمودار جذب برحسب طول موج در فصل زمستان

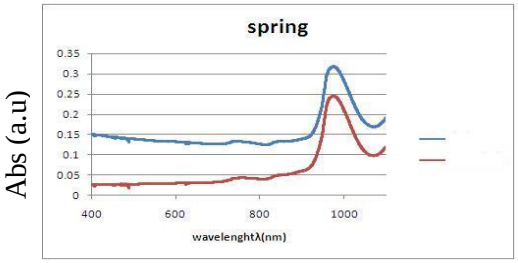


شکل٦ - نمودار جذب برحسب طول موج در فصل پائیز



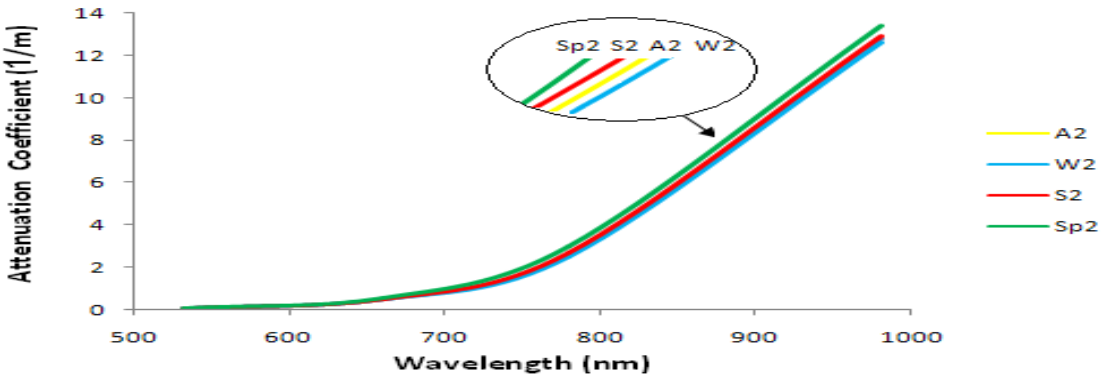
شکل۷ - نمودارجذب برحسب طول موج در فصل تابستان

1. Absorbance

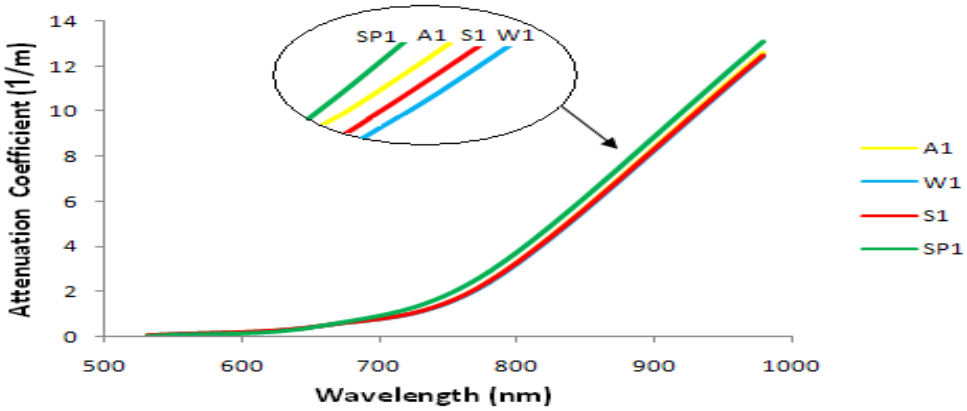


شکل ۸- نمودار جذب برحسب طول موج در فصل بهار

در مطالعه‌ای که در این چهار فصل صورت گرفت مقدار جذب در ناحیه طول موجی ۱۱۰۰-۴۰۰ در ایستگاه چالوس و ایستگاه کپورچال مقدار بسیار کمی بدست آمد. در ناحیه ۹۸۰ nm-۴۰۰ یک روند افزایشی وجود داشت ولی از طول موج ۹۸۰ تا ۱۱۰۰ کاهش یافت، نشان می‌دهد که در طول موج ۹۸۰ nm ، آب یک پیک جذبی دارد. محدود مطالعه این تحقیق در ناحیه ۹۸۰-۴۰۰ است. مقدار بدست آمده جذب بی بعد است. و فقط شدت جذب را در دو نقطه چالوس و کپورچال در چهار فصل سال برحسب طول موج ارائه شده است. از عوامل مؤثر بر، افزایش ضریب پراکندگی چالوس نسبت به کپورچال می توان ورودی رودخانه محلی به منطقه چالوس ، نزدیکی ایستگاه چالوس به ساحل در مقایسه با ایستگاه کپورچال ، تاثیر موج شکن بندر نوشهر، قرار گیری چالوس در مسیر جریان‌های کرانه‌ای ، افزایش شیب کپورچال نسبت به چالوس را نام برد. ورودی رودخانه چالوس و یک رودخانه محلی به منطقه چالوس، منجر به افزایش رسوب و ذرات معلق در این ناحیه شده است. درنتیجه کدورت آب افزایش یافته و همین عامل باعث افزایش ضریب پراکندگی و کاهش ضریب جذب چالوس نسبت به کپورچال شده است. فاصله ایستگاه نمونه‌برداری در ناحیه چالوس از ساحل حدود ۲۰۰ m و فاصله ایستگاه نمونه‌برداری در ناحیه کپورچال از ساحل ۱۵۰۰ m بود، به این معنی که ایستگاه چالوس در منطقه شکست امواج و کپورچال در منطقه دور از شکست امواج قرار دارد. لذا دراثر شکست موج ذرات معلق بیشتری سبب کاهش ضریب جذب و افزایش پراکندگی شده است. به‌دلیل نزدیک بودن منطقه چالوس به ساحل، وجود ذرات معلق در آب و رسوبات و ورودی فاضلاب شهری نقش مهمی در افزایش مقدار ضریب پراکندگی در این ناحیه را ایفا می‌کند. جریان‌ها ی کرانه ای از ساحل به سوی دریا حرکت می‌کنند. حرکت این جریان‌ها از داخل منطقه خیزاب ساحلی (surf zone) آغاز می‌شود و تا خارج از خط شکست موج ادامه می‌یابد. در این جریان‌ها آبی که موج به سوی ساحل آورده است، مجدداً به دریا باز می‌گردد . از آنجا که چالوس در منطقه خیزاب ساحلی (surf zone) قرار دارد این جریان‌ها در چالوس وجود دارند و تا فاصله شکست موج ادامه دارد. با تعقیب باریک حرکت رسوبات رودخانه‌ها به موازات ساحل دیده می‌شود که جریان موازی ساحل از سمت چالوس به سمت کپورچال است اما دیواره موج شکن بندر نوشهر از پیشروی آنها به سمت کپورچال ممانعت می‌کند. افزایش رسوب در ناحیه چالوس منجر به افزایش ضریب پراکندگی در این ناحیه شده است. شیب بستر در ناحیه کپورچال خیلی بیشتر از شیب در ناحیه چالوس می‌باشد، هرچه شیب سطح بیشتر باشد احتمال شکست موج کمتر است پس در ناحیه کپورچال احتمال شکست موج نسبت به چالوس کمتر است. و همین عامل منجر به کاهش کدورت و درنتیجه کاهش ضریب پراکندگی منطقه کپورچال نسبت به چالوس شده است. از طرفی مقدار متوسط موج غالب در منطقه کپورچال ۰/۵۴ m و سرعت آن حدود ۴ m/s است که باتوجه به شرط شکست موج بر نزدیکی ساحل $H > 0.8\,h^2$ برای چنین موجی در عمق ۴۸ تا ۳۰ متر شکستی صورت نمی‌گیرد. شکست موج با شرط شکست در آب عمیق نیز معمولاً باعث افزایش ذرات معلق نمی‌شود(ایزدی و همکاران، ۱۳۸۴). با استفاده از فرمول لامبرت، ضریب تضعیف نور آب دو ایستگاه چالوس و کپورچال برای چهار فصل سال محاسبه گردید. برطبق اعداد بدست آمده در فصل زمستان مقدار ضریب تضعیف نور در ایستگاه چالوس از ایستگاه کپورچال بیشتر است. ضریب تضعیف نور به دو عامل پراکندگی و جذب وابسته است و از آنجا که مقدار جذب در نمونه‌های مورد مطالعه بسیار اندک بود، می‌توان گفت که افزایش ضریب تضعیف نور در ایستگاه چالوس به دلیل افزایش مقدار پراکندگی در این ناحیه است. در فصل پائیز مقدار ضریب تضعیف نور در ایستگاه چالوس ازایستگاه کپورچال بیشتر بود. بنابراین افزایش مقدار پراکندگی در چالوس نسبت به کپورچال را خواهیم داشت. همچنین مشاهده شد در فصل بهار و تابستان، ضریب تضعیف نور در ایستگاه چالوس از ایستگاه کپورچال بیشتر و درنتیجه می‌توان به افزایش مقدار پراکندگی در ایستگاه چالوس نسبت به کپورچال اشاره کرد. این مسئله در چهار فصل سال به همین شکل مشاهده شد. برای آب دریا، ضریب تضعیف نور (μ) بطور قابل ملاحظه‌ای با طول موج تغییر می‌کند. این روند در آب دریای خزر هم مشاهده شده است. منحنی ضریب تضعیف نوربرحسب طول موج در دو ایستگاه خزر جنوبی (ایستگاه چالوس) و (ایستگاه کپورچال) رسم گردید که در دو شکل (۹و۱۰) نشان داده شده است. حداقل مقدار ضریب تضعیف در طول موج ۵۳۲ nm بود که این کاهش در دو ایستگاه چالوس و کپورچال مشاهده شد درنتیجه، نور سبز از میان طول موجهای انتخابی این تحقیق، حداقل تضعیف و بهترین نفوذ را دارا بود. در صورتیکه در طول موج‌های بلندتر در محدوده قرمز و مادون قرمز، تضعیف خیلی بیشتر است و نفوذ، مربوط به این طول موج‌ها کمتر است افزایش تضعیف در محدوده ماوراء بنفش، اهمیتی در تبادل حرارتی اقیانوس‌ها ندارد زیرا میزان انرژی رسیده به سطح دریا در چنین طول موجهای کوتاهی کم است. افزایش جذب در محدوده مادون قرمز در انتهای طیف جائیکه انرژی بیشتری در تابش خورشیدی وجود دارد از اهمیت بیشتری برخوردار است. در تمامی فصل های سال ضریب تضعیف نور در طول موج ۵۳۲ nm کمترین و در طول موج ۹۸۰ nm بیشترین مقدار را دارد. این روند در همه فصل های سال مشاهده شده است . این مقدار در فصل بهار بیشترین و در فصل زمستان کمترین مقدار را دارد. افزایش باران در فصل بهار و ورود ذرات معلق و رسوبات در دریا، باعث افزایش ضریب پراکندگی و درنتیجه افزایش ضریب تضعیف نور شده است(Torabi , 2011 Azad and et al.).



شکل۹ – منحنی ضریب تضعیف نور برحسب طول موج در دریای خزر جنوبی (ایستگاه چالوس)
SP_2 (بهار) – S_2 (تابستان) – A_2 (پائیز) – W_2 (زمستان)



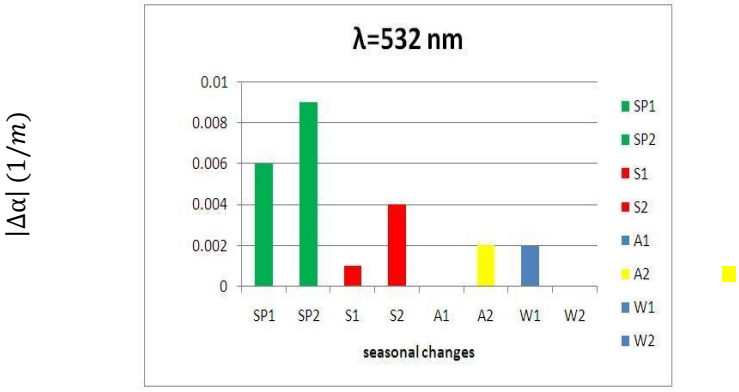
شکل ۱۰ –منحنی ضریب تضعیف نور برحسب طول موج در دریای خزر جنوبی (ایستگاه کپورچال)
SP_1 (بهار) – S_1 (تابستان) – A_1 (پائیز) – W_1 (زمستان)

مقدار ضریب تضعیف نمونه‌های موردنظر از ضریب تضعیف آب مقطر کم شد و ضریب تضعیف ناخالصی بدست آمد که با $|\Delta\alpha|$ نشان داده شد. واحد آن همان واحد ضریب تضعیف نور یعنی (۱/m) می‌باشد(Lee zhong, , Du Ke, Arnone ,2005) . مقادیر ضریب تضعیف ناخالصی در جدول ۲ ارائه شده است.

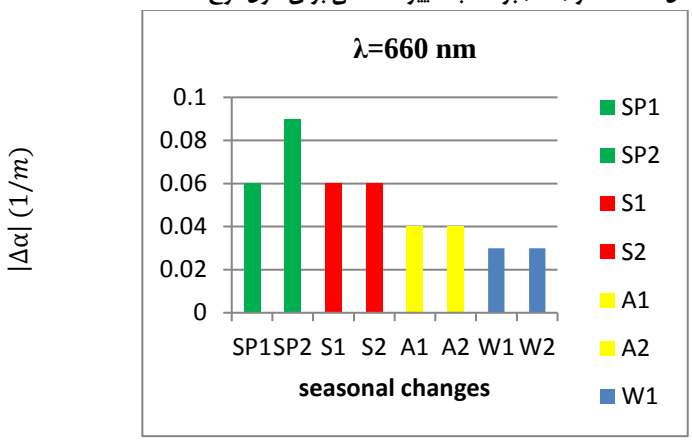
جدول ۲- ضریب تضعیف ناخالصی

	$\lvert\Delta\alpha\rvert$ λ = 532nm (1/m)	$\lvert\Delta\alpha\rvert$ λ = 660nm (1/m)	$\lvert\Delta\alpha\rvert$ λ = 780mn (1/m)	$\lvert\Delta\alpha\rvert$ λ = 980nm (1/m)
SP1	۰/۰۰۶	۰/۰۶	۰/۶	۰/۹
SP2	۰/۰۰۹	۰/۰۹	۰/۶۳	۱/۲۲
S1	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۳
S2	۰/۰۰۴	۰/۰۶	۰/۴	۰/۶
A1	۰	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۴
A2	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۳	۰/۶
W1	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۲
W2	۰	۰/۰۳	۰/۲	۰/۴

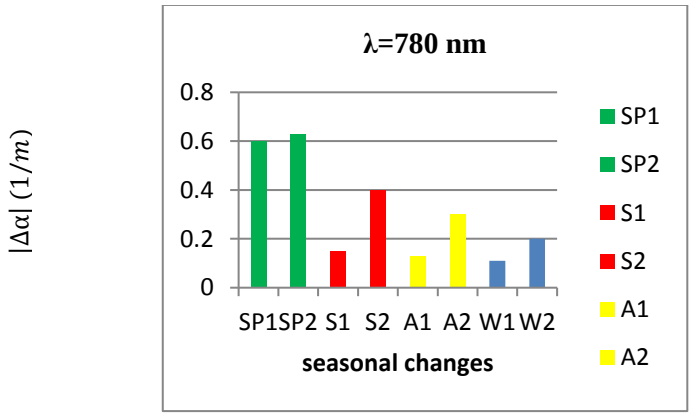
نمودار میله‌ای $|\Delta\alpha|$ برحسب فصول سال در چهار طول موج متفاوت رسم شد. در نمودار افقی تغییرات فصلی برای دو ایستگاه چالوس و کپورچال مشخص شد و در نمودار عمودی مقدار ضریب تضعیف ناخالصی نشان داده شده است. مشاهده شد که مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در فصل بهار برای هر دو ایستگاه چالوس و کپورچال از ضریب تضعیف ناخالصی در بقیه فصل ها بیشتر است. مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در فصل زمستان برای هر دو ایستگاه کمتراز ضریب تضعیف ناخالصی در بقیه فصل ها گزارش شد، می‌توان گفت بارش باران و پرآب شدن رودخانه‌ها در فصل بهار منجر به افزایش ذرات معلق در آب و درنتیجه افزایش ضریب پراکندگی و ضریب تضعیف آلودگی خواهد شد.



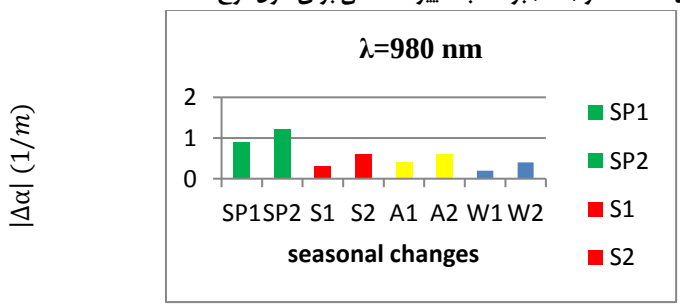
شکل ۱۱ -مقدار |Δα| برحسب تغییرات فصلی برای طول موج ۵۳۲ nm



شکل۱۲ - مقدار |Δα| برحسب تغییرات فصلی برای طول موج ٦٦۰ nm



شکل۱۳ - مقدار |Δα| برحسب تغییرات فصلی برای طول موج ۷۸۰ nm

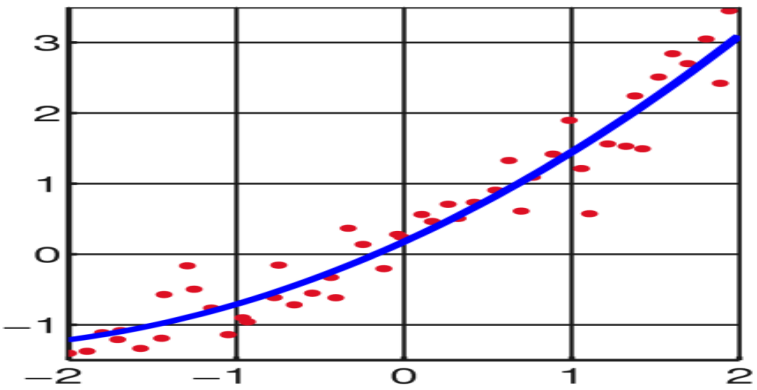


شکل۱٤- مقدار |Δα| برحسب تغییرات فصلی برای طول موج ۹۸۰ nm

همچنین در چهار شکل ۱۱ تا ۱۴ مشاهده شد که مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در ایستگاه چالوس از کپورچال بیشتر بود و این روند افزایشی در همه فصل های سال تکرار شده است. افزایش مقدار پراکندگی در ایستگاه چالوس نسبت به کپورچال را می‌توان به وجود ذرات معلق در آب و آلاینده‌ها نسبت داد. که همین مسئله باعث افزایش ضریب تضعیف ناخالصی در ایستگاه چالوس می‌شود. به‌طور مثال در ایستگاه چالوس مقدار $c-c_w$ در طول موج λ = ۵۳۲ nm (m^{-1}) ۰/۰۰۹ (در بهار)، (m^{-1}) ۰/۰۰۴ (در تابستان)، (m^{-1}) ۰/۰۰۲ (در پائیز) و (m^{-1}) ۰ (در زمستان) بدست آمده است. در همین ایستگاه در طول موج λ = ۶۶۰ nm مقدارهای (m^{-1}) ۰/۰۹ (در

بهار)، (m^{-1}) ۰/۰۶ (در تابستان)، (m^{-1}) ۰/۰۴ (در پائیز) و (m^{-1}) ۰/۰۳ (در زمستان) و در طول موج λ = ۷۸۰ nm مقدارهای ۰/۶۳ (در بهار) ۰/۴ (در تابستان) و ۰/۳ (در پاییز) و ۰/۲ (در زمستان) و در طول موج λ = ۹۸۰ nm، (m^{-1}) ۱/۲۲ (در بهار)، (m^{-1}) ۰/۶ (در تابستان)،(m^{-1}) ۰/۵ (در پائیز)و (m^{-1}) ۰/۴ در زمستان بدست آمده است. این نشان می‌دهد که مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در ایستگاه چالوس در فصل بهار از همه فصول بیشتر بوده و در فصل زمستان از همه کمتر است، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ضریب تضعیف ناخالصی به ۳ عامل طول موج و آب و هوا و موقعیت جغرافیایی وابسته است. همانطور که مشاهده شد با افزایش طول موج ضریب تضعیف ناخالصی نیز افزایش می‌یابد. و از آنجا که به موقعیت جغرافیایی اندازه‌گیری شده نیز وابسته است مقدار آن در ایستگاه چالوس از کپورچال بیشتر شده است. عواملی همچون ورودی رودخانه، نزدیکی منطقه چالوس به ساحل، وجود موج شکن، جریان‌های کرانه‌ای و افزایش شیب کپورچال نسبت به چالوس، باعث چنین افزایشی خواهد شد. همچنین در هر دو ایستگاه ضریب تضعیف ناخالصی در فصل بهار از همه بیشتر و در فصل زمستان از همه کمتر است. در نتیجه به تغییرات آب و هوا نیز وابسته است. مقدار C_{-C_W} در مطالعات قبلی، در طول موج λ = ۲۹۹/۸ nm برابر است با m^{-1} ۴۵/۸ (در پائیز) m^{-1} ۳۰/۳۲ در زمستان و m^{-1} ۵۴/۱۶ (در بهار) و در طول موج λ = ۷۴۹/۵ nm برابر است با m^{-1} ۶/۷۸ (در پائیز) m^{-1} ۱/۹۹ (در زمستان) m^{-1} ۷/۳۸ (در بهار)، که نشان می‌دهد ضریب تضعیف ناخالصی، در فصل بهار از بقیه فصول بیشتر و در فصل زمستان کمتر است. این رابطه $c(\lambda) = A\exp(-\alpha\lambda) + B|\lambda+\beta|^{-1} + D$ که فرمول تقریب نامیده می‌شود برای طبقه‌بندی ضریب تضعیف نور و برای تخمین توازن جمعیت مواد معلق استفاده شده است (Lee Zhong, Du Ke, Arnone, Liew, Penta, 2005) که در آن λ طول موج نور و α ، β ، A ، B و D ثابت‌هایی هستند که از داده‌های تجربی و به کمک روش کمترین مجذور تعیین شده‌اند (Dowing .J, 2008) به‌هنگام استفاده از این فرمول ابعاد متفاوت ثابت‌های A و B و D و مقادیر عددی ثابت‌های α و β به آسانی قابل محاسبه نیستند. بنابراین با استفاده از داده‌های تجربی و به‌کمک روش کمترین مربعات فرمولی ارائه گردید. در این روش، بهترین مدل برازش شده بر مجموعه‌ای از داده‌ها، مدلی است که در آن مجموع مربع مانده‌ها، کمینه باشد منظور از مانده، اختلاف بین داده مشاهده شده و مقداری است که از مدل به‌دست می‌آید (Bricaud et al., 1998) .

شکل ۱۵ -نتیجه برازش مجموعه ای از داده ها با یک تابع سهمی



به کمک این روش معادله‌ای ارائه شد که ارتباط بین ضریب تضعیف نور و طول موج را بیان می‌کند.

$$c(\lambda) = a_1 \times \exp(-((\lambda - b_1)/c_1)^2) \qquad (1)$$

در رابطه ۱ $c(\lambda)$ ضریب تضعیف نور است که واحد آن (m^{-1}) است و λ طول موج که واحد آن (nm) است. باتوجه به این که رابطه ۱ با قانون لامبرت مطابقت داشت و کلیه آزمایش‌های این تحقیق با استفاده از قانون لامبرت انجام شد، بنابراین صحت فرمول تقریبی ارائه شده تایید شد. a_1 و b_1 و c_1 ثابت‌هایی هستند که از داده‌های تجربی بدست آمده‌اند. این ضریب‌ها بدون بعد است که مقادیر آن در جدول ۳ نمایش داده شده است .

جدول۳ - ثابت‌های اندازه‌گیری شده در فرمول تجربی

parameter	Measurement Station							
	Sp1	Sp2	S1	S2	A1	A2	W1	W2
a_1	۱/۴۲	۱/۴۵	۱/۶۳	۱/۶۶	۲/۲۹	۱/۵۹	۲/۶	۱/۶۳
b_1	۱۱۵۳	۱۱۵۴	۱۱۷۹	۱۱۷۴	۱۲۲۸	۱۱۷۵	۱۲۶۳	۱۱۸۲
c_1	۲۰۵/۴	۲۰۷/۳	۲۰۸/۶	۲۰۷	۲۲۵/۱	۲۱۰/۴	۲۳۷/۸	۲۱۲/۵

براساس نتایج جدول ۳ ، مقادیر a_1 و b_1 و c_1 در فصل بهار کمترین مقدار و در فصل زمستان بیشترین مقدار را دارند .طبق نتایج حاصل از آزمایش های انجام شده نیز ضریب تضعیف نور در فصل بهار بیشترین مقدار و در فصل زمستان کمترین مقدار را دارد. از رابطه ۱ می‌توان نتیجه گرفت که هرچه ضرایب ثابت کمترین مقدار را داشته باشد ضریب تضعیف نور که وابسته به پراکندگی و جذب است بیشترین مقدار را دارد. می‌توان گفت که هرچه a_1 و b_1 و c_1 کمتر باشد ضریب تضعیف نور بیشتر خواهد شد و چون مقدار جذب در نمونه‌های آب بسیار کم است، بنابراین مقدار پراکندگی بیشتر شده و همین عامل باعث افزایش ناخالصی در آب دریا خواهد شد. با بدست آوردن ضرایب ثابت معادله، مقدار ناخالصی در آب دریا تخمین زده شد به این معنا که هرچه ضرایب ثابت مقدار کمتری باشد مقدار ناخالصی در آب دریا بیشتر خواهد شد.

٤- نتایج

با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مقدار جذب نمونه‌های آب در چهارفصل سال برحسب طول موج برای دو ایستگاه در سواحل بندر نوشهر بدست آمد. ضریب تضعیف نور در آزمایشگاه، با استفاده از چهار لیزر۵۳۲nm،۶۶۰nm،۷۸۰nm، ۹۸۰ nm برای دو ایستگاه چالوس و کپورچال بدست آمد. ضریب تضعیف نور به دو عامل جذب و پراکندگی وابسته است، از آنجا که در نمونه‌های موردنظر مقدار جذب کاهش یافته، بنابراین ضریب تضعیف نوربیشتر به پراکندگی وابسته است. عوامل مؤثر بر افزایش مقدار پراکندگی بررسی شد، این افزایش در ایستگاه چالوس از ایستگاه کپورچال بیشتر مشاهده شد. عواملی همچون ورودی رودخانه محلی به چالوس، نزدیکی ایستگاه چالوس به ساحل در مقایسه با ایستگاه کپورچال، نقش موج شکن، جریان‌های کرانه‌ای در چالوس و افزایش شیب کپورچال نسبت به چالوس منجر به افزایش مقدار پراکندگی در ایستگاه چالوس و درنتیجه افزایش ضریب تضعیف نور در این ایستگاه شده است. افزایش کدورت در ایستگاه چالوس منجر به کاهش ضریب جذب و افزایش ضریب پراکندگی شده است. مقدار ضریب تضعیف نور در ایستگاه چالوس از ایستگاه کپورچال بیشتر است و این روند درچهار فصل سال به همین صورت است، افزایش ضریب پراکندگی در ایستگاه چالوس منجر به افزایش ضریب تضعیف نور در این ایستگاه شده است. ضریب تضعیف آب مقطر برای چهار طول موج بدست آمد و با مقادیر ثبت شده در مقالات مقایسه شدند، درصد خطا نشان داد که مقدار خطا به‌جز برای طول موج ۶۶۰ nm جزئی بوده و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. منحنی ضریب تعضیف نور برحسب طول موج در خزر جنوبی (بندر نوشهر) ایستگاه چالوس و کپورچال رسم گردید، در تمامی فصول سال ضریب تضعیف نور در طول موج ۵۳۲ nm کمترین و در طول موج ۹۸۰ nm بیشترین مقدار را داشت. ضریب تضعیف نور در فصل بهار بیشتر و در زمستان کمتر از بقیه فصل ها است. افزایش باران در فصل بهار و دبی رودخانه‌ها و ذرات معلق سبب کاهش نفوذ نور و افزایش پراکندگی و ضریب تضعیف نور شده است. ضریب تضعیف ناخالصی برای نمونه‌های چالوس و کپورچال بدست آمد. نمودار میله‌ای ضریب تضعیف ناخالصی برحسب طول موج رسم شد و مشاهده شد که مقدار ناخالصی در فصل بهار از بقیه فصل ها بیشتر است. این افزایش در ایستگاه چالوس نسبت به کپورچال بیشتر گزارش شد. همچنین مقدار ضریب تضعیف ناخالصی در ایستگاه چالوس در فصل بهار از همه فصل ها بیشتر و در فصل زمستان از همه کمتر است. با استفاده از برازش داده‌ها، فرمول تقریبی ضریب تضعیف نور برحسب طول موج ارائه گردید.

منابع

- ایزدی،د.، حاجی اسماعیل بیگی، ف.، مروتی،ح.، ۱۳۸۴، بررسی ضریب تضعیف نور لیزر در نمونه آبهای مختلف، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۳، ۳۵-۲۴
- کلیبری.ب.، محسنی آراسته،الف. ، ۱۳۸۸، بررسی پراکندگی نور لیزر از امولسیون نفتی آب دریا، توسط روش Mie، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
- غلامی،م.، احمدی گیوی،ف.، ۱۳۸۸، نقش دمای سطحی دریای خزر برآب و هوای نواحی جنوبی آن و سامانه‌های جوی مؤثر منطقه، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
- Absorption and transmission of light and the Beer-Lambert law.2006. Lecture 21, http://www.uobabylon.edu.iq/publication_12_2965_6121.pdf
- Apel, J.R., 1991. Principles of ocean physics, International Geophysics series. Vol 38, Academic press, Chp 9.
- Bricaud.A , Morel,A.,Babin, M.,Allali, K., Claustre,H.1998 , Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models, Journal of Geophysical Research, vol 103, No.C13, P.31033-31044.
- Claude B., Vincent, W.F., Kumagai, M. 2002 .Contribution of absorption and scattering to the attenuation of UV and photosynthetically available radiation in Lake Biwa, Limnology and Oceanogrphy, Vol 47 ,No.1, P. 95-107
- Devlin, M.J., Barry, J., Mills, D.K., Gowen, R.J., Foden, J., Sivyer, D., Greenwood, N., Pearce, D., and Tett, P. 2009. Estimating the diffuse attenuation coefficient from optically active constituents in UK marine waters,Estuarine,Coastal and Shelf Science,Vol. 82, P. 73–83
- Dowing, J. 2008. Effects of light absorpthion and scattering in water samples on OBS measurement, Application Note, Campbell scientific INC, P.6

- Emery, W. J. , Pickard, G. L.1993. Descriptive Physical oceanography. Pergamon Press, New York, Chp. 3
- Emery.W.J., Thomson, R. E. 2001 . Data analysis methods in physical oceanography. Second and Revised Edition, Elsevier
- Fisher, B.T. and Hahn, D.W. 2004 .Measurment of small-signal absorption coefficient and absorption cross section of collagen for 193-nm excimer laser light and the role of collagen in thissu ablation. Applied optics. Vol 43,Issue 29,P. 5443-5451
- Kopec, J., Pawlak, B. 1998. Application of approximate formulae to analyse the spectral distribution of the light attenuation coefficient. Oceanologica Acta, Vol 21, Issue5, P.623-630
- Lee, Zhong . P., Du , Ke.P., Arnone, R. 2005. A model for the diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance, Journal of Geophysical Research, Vol 110, C02016, P.1-10
- Lee Zhong, P., Du Ke,P., Arnone ,R., Liew ,S. Penta,B. 2005, Penetration of solar radiation in the upper ocean: A numerical model for oceanic and coastal waters, Journal of Geophysical Research, vol 110, C09019, P.1-12
- Ling, w. 2008 .Measuring optical absorption coefficient of pure waer in UV using the integrating cavity absorption meter. A Dissertation of Ph.D in Physics, Texas A&M University, P.110
- Pawlak, B., Gąsowski, R. Banaszak, A., Ndrzejewska, A.2003. Seasonal Changes of Light Attenuation Coefficient in Selected Points of the Oder River in the Szczecin Region, Poland, Polish Journal of Environmental Studies.Vol. 12, P.221-226
- Scott, P. W., Gray, D., Ronald, J., Zaneveld, V. 1997. Absorption and attenuation of visible and near-infrared light in water: dependence on temperature and salinity. Applied Optics. Vol 36, P. 6035-6046.
- Stewart, R. H. 2008. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University, USA, Chp. 6
- Theisen-Kunde, D., Danicke, V., Wendt, S. M. 2008. Temperature dependence of water absorption for wavelengths at 1920 nm and 1940nm, IFMBE Proceeding 22, P. 2228-2229
- Torabi Azad, M., Hosseini, H., Afzali, M. R., Emtyazjoo, Moz. 2011. Physics of Light in the North Coasts of Persian Gulf (Bushehr province) during Winter Season, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 5, No. 3, P. 610-613