

## تعیین ضریب جذب نور مرئی در آبهای جنوبی دریای خزر

جمشید کریمی<sup>۱</sup>

مسعود تراپی آزاد<sup>۲\*</sup>

[Torabi\\_us@yahoo.com](mailto:Torabi_us@yahoo.com)

### چکیده

نور مرئی ترکیبی از رنگ های مختلف است. نور در یک محیط بر اثر عواملی مانند پراکندگی و جذب تضعیف می شود. میزان جذب و پراکندگی نور در محیط های مختلف، بستگی به نوع محیط و طول موج نور تابشی دارد. یکی از محیطهایی که باعث تضعیف شدید نور مرئی می شود، آب دریا است. در این تحقیق، روشی برای محاسبه ضریب جذب نور مرئی در آبهای جنوبی دریای خزر در دو ایستگاه چالوس و کپورچال ارایه شده است. از هر ایستگاه یک نمونه آب از عمق نیم متری نمونه برداری شده و در آزمایشگاه تحت تابش پرتوهای لیزر با طول موجهای مختلف قرار گرفته و سپس ضریب تضعیف نور را به دست آورده و با استفاده از جداول مربوطه، ضریب جذب نور در آب در ایستگاههای مورد نظر محاسبه شده است. در این دو ایستگاه به دلیل پایین بودن شوری آب دریا پراکندگی هم کم تر می باشد. هم-چنین به دلیل این که نمونه برداری در لایه سطحی از آب انجام شده است، میزان نفوذ نور مرئی در طول موجهای مختلف تقریباً یکسان می باشد. طول موجهای کوتاه تر پراکنده و طول موجهای بلندتر بیش تر جذب می شوند.

**واژه های کلیدی:** ضریب تضعیف نور مرئی، ضریب پراکندگی نور مرئی، ضریب جذب نور مرئی، دریای خزر جنوبی.

۱- کارشناس ارشد فیزیک دریا، گروه صنایع مهم، صنایع شهید ستاری.

۲- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال (مسئول مکاتبات).

## مقدمه

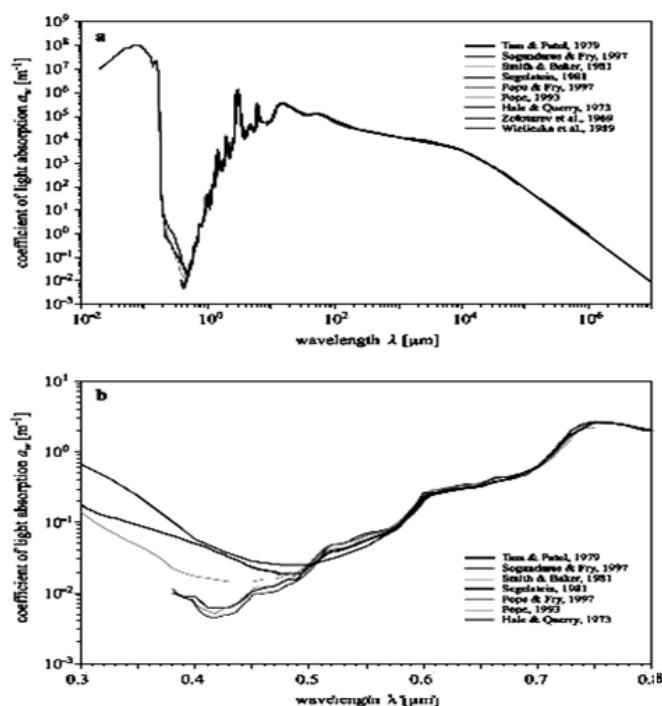
واگرایی بین آنها تقریباً ۰/۰۰۴ درجه است. در یک سیکل روزانه یا چرخش کامل زمین تقریباً ۴۳۲ وات بر متر مربع تابشی به سطح زمین و دریاها می‌رسد که تقریباً ۱/۴ ثابت خورشیدی است (ثابت خورشیدی ۱۳۶۵ وات بر مترمربع می باشد). از ۱۰۰ درصد انرژی تابشی خورشید به سطح زمین و دریاها، معمولاً ۲۶ درصد توسط ابرها، سطح دریاها و زمین منعکس و پراکنده می‌شود. همچنین ۱۹ درصد به وسیله ابرها و جو زمین جذب می‌شود. باقی مانده آن ۵۵ درصد یا معادل ۱۸۸ وات بر متر مربع بوده است که به سطح زمین و اقیانوس‌ها می‌رسد (۲). شکل (۱) ضریب جذب بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس از ناحیه فرابنفش تا امواج کوتاه رادیویی و هم-چنین طیف نور مرئی در آب (مایع) را که توسط محققین مختلفی به دست آمده است را نشان می‌دهد.

نور مرئی<sup>۱</sup> ترکیبی از رنگ‌های سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی و بنفش است. طیف نور مرئی بر حسب طول موج از حدود ۴۰۰ نانومتر (نور بنفش) تا ۷۰۰ نانومتر (نور قرمز) گسترده است. یکی از مهم‌ترین عوامل تضعیف کننده<sup>۲</sup> نور خورشید<sup>۳</sup> و هر پرتو نوری دیگری، محیط انتشار آن است. وقتی نور خورشید به سطح دریا<sup>۴</sup> می‌رسد، مقدار قابل توجهی از آن توسط جو زمین جذب، منعکس و یا پراکنده می‌شود. ظرفیت جذب انرژی خورشیدی در اتمسفر زمین، از اقیانوس‌ها کم‌تر بوده است و سطح زمین تقریباً ۰/۳۳ اقیانوس‌ها، نور خورشید را جذب می‌کند (۱).

در یک لحظه، ۰/۲۵ درصد سطح زمین توسط پرتوهای خورشید درخشان می‌شود. تا قبل از رسیدن این پرتوها به سطح زمین، تمام آنها بطور موازی به سطح زمین می‌رسند و

شکل ۱- (a) طیف جذبی بخشی از امواج الکترومغناطیس در آب بر حسب طول موج

(b) طیف جذبی نور مرئی در آب بر حسب طول موج (۱)



1-Visible light

2-Attenuation

3-Sunlight

4-Surface sea

## جذب و پراکندگی نور مرئی در آب دریا

تضعیف انرژی نور مرئی در آب دریا وابسته به دو اثر پراکندگی و جذب نور در آب است.

این دو اثر بستگی به طول موج نوری، موجودات میکروسکوپی آبی فعال در آب، ذرات جامد در آب و رسوبات<sup>۳</sup> داخل آب دارد. بنابراین، تضعیف نور مرئی در آب دریا ناشی از دو عامل جذب و پراکندگی نور است که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$C(\lambda, x) = a(\lambda, x) + b(\lambda, x) \quad (1)$$

که در رابطه بالا،  $a(\lambda, x)$  را ضریب جذب نور و  $b(\lambda, x)$  را ضریب پراکندگی نور و  $C(\lambda, x)$  را ضریب تضعیف نور در آب می‌باشد. ضریب تضعیف نور مرئی برای آبهای شفاف اقیانوسی دور از ساحل، با غلظت ذرات کمتر از ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر برابر  $(m^{-1})$  ۰,۱۵ و برای آبهای ساحلی کدر، با غلظت ذرات ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر برابر  $(m^{-1})$  ۲۱ است. با توجه به مطالعات و آزمایشات انجام شده به صورت تجربی برای آبهای تمیز اقیانوسی برای طول موجهایی که بیشترین نفوذ را در آب دارند، ضریب پراکندگی تقریباً ۱/۴ ضریب تضعیف است. ۶٪ این پراکندگی ناشی از مولکولهای آب و ۹۴٪ آن ناشی از ذرات معلق در آب است. ۳/۴ باقی مانده ناشی از جذب است که ۵۰٪ ناشی از مولکولهای آب و ۱۳٪ ناشی از ذرات و ۳۷٪ ناشی از مواد ارگانیک محلول در آب است (۴).

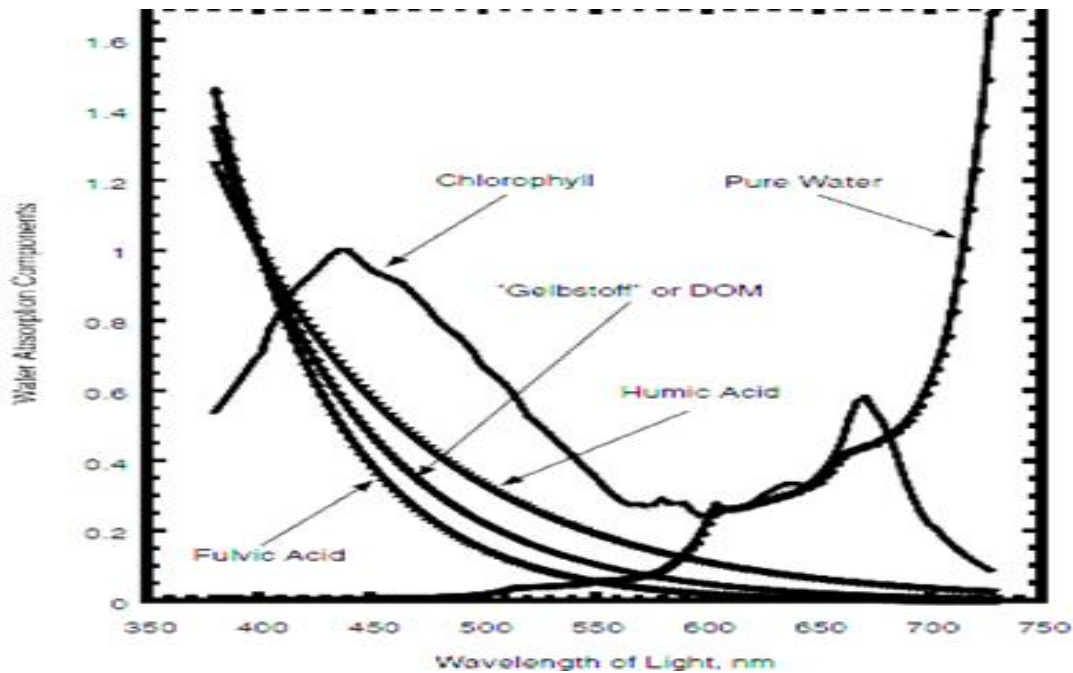
شکل (۲) جذب نور مرئی را در آبهای طبیعی در اثر عوامل مختلف را نشان می‌دهد. عوامل جذب کننده اصلی نور مرئی در آبهای اقیانوسی عبارت‌اند از مولکولهای آب خالص، پیگمنت<sup>۴</sup>های موجود در کلروفیل II فیتوپلانکتونها، مواد زرد رنگ و اسیدهای آلی (۵).

همان طوری که نمودارها نشان می‌دهند، در طیف امواج الکترومغناطیس، نور مرئی کمترین جذب و هم چنین در طیف نور مرئی طول موجهای آبی - سبز کمترین جذب را در آب دارند.

پراکندگی نور در هوا توسط گرد و غبار، ذرات و آئروسولها<sup>۱</sup> مولکولهای موجود در اتمسفر و جذب نور توسط گازهای تشکیل دهنده آن مانند اکسیژن، ازن، بخار آب و دی اکسید کربن صورت می‌گیرد. از طرف دیگر انعکاس نور توسط ابرها و سطح زمین باعث کاهش توان فرودی نور خورشید بر روی سطح دریا و زمین می‌شود. نور در اثر عوامل مختلفی در آب دریا دچار تضعیف می‌شود. پراکندگی و جذب نور دو عامل مهم در تضعیف نور مرئی در آب دریا می‌باشند. نرخ تضعیف نور خورشید در آب بر حسب عمق اندازه گیری می‌شود. بیشترین جذب نور در آب دریا توسط پیگمنتها<sup>۲</sup> و مولکولهای آب و بیشترین پراکندگی به وسیله ذرات معلق در آب صورت می‌گیرد (۳).

مطالعه نور مرئی در آب دریا از جهات مختلف حایز اهمیت است. از کاربردهای نظامی نور مرئی در آب دریا می‌توان به مانع-یابی در زیر آب توسط سنسورهای لیزری در رباتهای هوشمند زیرآبی، نشانه‌گذار لیزری در زیر آب و از کاربردهای غیرنظامی آن می‌توان به اثرات نور بر روی گیاهان و جانوران آبی در آب دریا، عمق‌یابی دریاها و اقیانوسها، مشخص کردن شکل اشیاء در زیر آب و انتخاب مسیرهای بی‌خطر برای کشتیرانی به وسیله پرتوهای لیزری اشاره کرد.

شکل ۲ - نمودارهای جذب نور مرئی در آب‌های طبیعی (۶)



شدت نور<sup>۳</sup> به‌طور نمایی<sup>۴</sup> با فاصله کاهش می‌یابد و به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$I_2 = I_1 \exp(-cx) \quad (۳)$$

در رابطه بالا  $I_1$  درخشندگی پرتو نوری اولیه و  $I_2$  درخشندگی یا تابندگی نور بعد از تضعیف می‌باشد. رابطه بالا به قانون بیر-لامبرت<sup>۵</sup> معروف است. از طرف دیگر نفوذ نور در آب‌های مختلف متفاوت است. هر چه آب تمیزتر و طول موج نور کوتاه‌تر باشد، میزان نفوذ نور در آب دریا بیشتر است. شکل‌های زیر نفوذ نور با یک طول موج خاص و نفوذ نور را در آب‌های مختلف بر حسب طول موج نشان می‌دهد.

همان‌طوری که می‌دانیم هر چه نور مرئی بیشتر در آب دریا نفوذ کند، از انرژی آن بیش‌تر کاسته شده و شدت پرتو نوری در اعماق پایین‌تر آب دریا، کم‌تر می‌شود. با فرض ثابت بودن ضریب تضعیف برای نور در آب دریا، تضعیف نور بر حسب فاصله به صورت عمقی متناسب با درخشندگی<sup>۱</sup> بوده و رابطه آن به صورت زیر است:

$$dI/dx = -cI \quad (۲)$$

در رابطه بالا  $X$  (بر حسب سانتی‌متر یا متر) مسافتی است که پرتو نوری در آب نفوذ می‌کند،  $C$  ضریب تضعیف<sup>۲</sup> (بر حسب عکس سانتی‌متر یا متر) و  $I$  تابندگی یا درخشندگی (بر حسب وات بر متر مربع) می‌باشد.

3- Light intensity

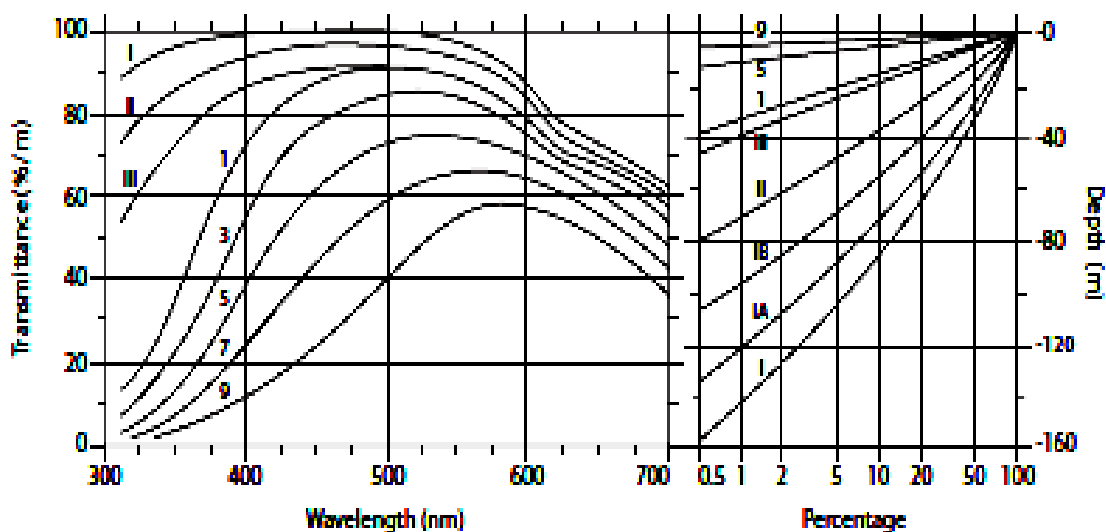
4- Exponentially

5- Beer –Lambert

1 -Radiance

2- Attenuation coefficient

شکل ۳- سمت راست: نفوذ نور با طول موج ۴۵۲ نانومتر در آب های مختلف اقیانوسی بر حسب درصد سمت چپ: نفوذ نور در آب های مختلف بر حسب طول موج (Stewart , 2008)



ساحلی<sup>۲</sup>، نفوذ نور نسبت به آبهای دور از ساحل از تمیزی و دور از ساحل کمتر است. این نوع آبها در شکل بالا از شماره ۱ الی ۹ نشان داده شدهاند. این آبها شامل پیگمنت‌های از مناطق خشکی می‌باشند. رنگ این مواد زرد رنگ بوده و از آب-های گل‌آلود<sup>۳</sup> رودخانه‌ها از طریق حرکت امواج در آبهای کم عمق<sup>۴</sup> وارد دریا می‌شوند. نور به مقدار خیلی کمی در این نوع آبها نفوذ می‌کند (۷). اقیانوس‌ها، برای امواج الکترومغناطیس به غیر از ناحیه‌ی باریکی در مرکز طیف امواج الکترومغناطیس که طول موج‌های نوری می‌باشند، غیر شفاف هستند. در همین ناحیه باریک، عبور انرژی محدود بوده و میزان نفوذ هر یک از طول موجها در داخل آب، با هم فرق می‌کند. در اعماق بیش‌تر از ۳۰۰ متر، قوی‌ترین نورها مربوط به آبیانی است که از خود نور تابش می‌کنند. با توجه به آزمایشات انجام شده نور خورشید حد اکثر تا عمق ۲۰۰ متری در آبهای شفاف اقیانوسی نفوذ می‌کند. طول موج‌های مربوط به رنگ آبی و سبز بیش‌ترین نفوذ و طول موج‌های مربوط به امواج فرو سرخ کم‌ترین نفوذ را در آب دریا دارند (۸).

در نمودار سمت چپ آب‌های مناطق مختلف رانشان می‌دهد که میزان نفوذ نور مرئی بر حسب طول موج نور را بیان می‌کند. منحنی I آب‌های تمیز، منحنی II آب‌های استوایی<sup>۱</sup> و نیمه استوایی کدر، منحنی III آب‌های عرض‌های میانی، منحنی ۱ الی ۹ آب‌های ساحلی است که کدورت آنها در حال افزایش است. با توجه به نمودار سمت چپ، نور مرئی در آب‌های نوع یک نفوذ بیش‌تری دارد. در نمودار سمت راست، نوری با طول موج ۴۶۵ نانومتر را نشان می‌دهد که در آب‌های مختلف نفوذ کرده است. با توجه به نمودار، ۰٫۵ درصد از این نور تا عمق ۱۶۰ متری در آب‌های تمیز اقیانوسی نفوذ کرده است. در مناطق گرمسیری و در عرض‌های میانی، در داخل آب دریا فیتوپلانکتون‌های زیادی وجود دارد. رنگدانه موجود در داخل کلروفیل II این فیتوپلانکتون‌ها، باعث جذب نور و این گیاهان شناور باعث پراکندگی نور در آب دریا می‌شوند. خیلی از آب-های مولد، دارای تراکم زیادی از فیتوپلانکتون‌ها هستند که به رنگ‌های آبی-سبز یا سبز در آب دیده می‌شوند. در آب‌های

2-Coastal waters  
3- Muddy  
4- Shallow waters

1-Tropical

جدول ۱- ضریب تضعیف و ضریب پراکندگی نور برای آب های شفاف اقیانوسی (۳)

طول موج (nm)	ضریب تضعیف (1/m)	ضریب پراکندگی (1/m)	طول موج (nm)	ضریب تضعیف (1/m)	ضریب پراکندگی (1/m)
۲۰۰	۳/۱۴	۰/۱۵۱	۵۵۰	۰/۰۶۴۸	۰/۰۰۱۹
۲۵۰	۰/۵۸۸	۰/۰۵۷۵	۶۰۰	۰/۲۴۵	۰/۰۰۱۴
۳۰۰	۰/۱۵۴	۰/۰۲۶۲	۶۵۰	۰/۳۵	۰/۰۰۱
۳۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۱۳۴	۷۰۰	۰/۶۵	۰/۰۰۰۷
۴۰۰	۰/۰۲۰۹	۰/۰۰۷۶	۷۵۰	۲/۴۷	۰/۰۰۰۵
۴۵۰	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۴۵	۸۰۰	۲/۰۷	۰/۰۰۰۴
۵۰۰	۰/۰۲۷۱	۰/۰۰۲۹			

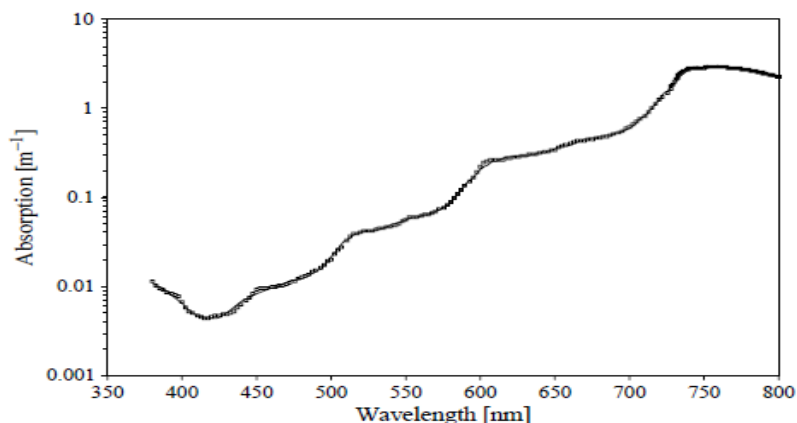
در آب دریا دارد.

هرچه دما آب بالاتر رود، مقدار انرژی نوری جذب شده کم‌تر می‌شود. ضریب جذب نور در طول موج ۷۵۰ نانومتر به ازای هر درجه سانتی‌گراد ۰,۰۰۹ و برای طول موج ۶۰۰ نانومتر برابر ۰,۰۰۱۵ است. شکل (۴) جذب نور توسط مولکول‌های آب خالص را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار اگر ما فقط آب خالص داشته باشیم با به‌دست آوردن ضریب تضعیف نور با استفاده از قانون بیر- لامبرت و قرائت ضریب جذب نور از روی نمودار، می‌توان ضریب پراکندگی نور را برای طول موج‌های نور مرئی در آب دریا به‌دست آورد (۲).

#### جذب نور در آب دریا توسط مولکول‌های آب خالص

مولکول‌های آب بیش‌ترین نقش جذب انرژی نورانی خورشید را دارند. افزایش دما باعث جنبش سریع‌تر مولکول‌های آب می‌شود. تقریباً ۹۶ درصد مولکول‌های آب دریا در این فرایند موثر هستند. این جذب ناشی از برتری مولکول‌های آب نسبت به مولکول‌های دیگر مواد در داخل آب است. برای هر ۱۰۰ مولکول آب ۳-۴ مولکول از مواد دیگر وجود دارد. مولکول‌های آب یک جذب‌کننده قوی امواج الکترومغناطیس در ناحیه نور مرئی هستند. این فرایند باعث گرم شدن سطح آب اقیانوس‌ها می‌شود. نتیجه این گرم‌شدن تبخیر، گرم‌شدن و چرخش آب دریاها است. ضریب جذب در آب خالص بستگی به دما و نمک

شکل ۴- ضریب جذب نور به‌وسیله مولکول‌های آب خالص در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد (۹)



زمین می‌باشد. این ترکیبات از هزاران ترکیب با وزن‌های مولکولی متفاوت تشکیل شده است که به آن‌ها مواد زرد رنگ<sup>۲</sup> گفته می‌شود. این ترکیبات در گروه‌های شیمیایی متعددی قرار دارند. این مواد زرد رنگ در آب‌های ساحلی از تفکیک شدن مواد ارگانیک در روی زمین و حرکت آن‌ها به داخل آب از طریق مصب رودخانه‌ها انجام می‌شود (۲).

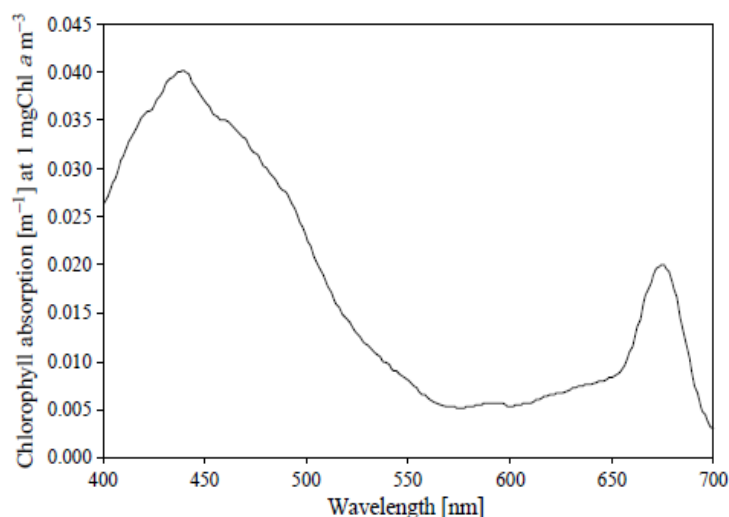
#### جذب نور توسط فیتوپلانکتون‌ها

فیتوپلانکتون‌ها جزو اولین موجوداتی هستند که نور خورشید را در آب جذب می‌کنند. پیگمنت‌های موجود در کلروفیل a<sup>۳</sup> فیتوپلانکتون‌ها باعث جذب نور در آب می‌شوند. فیتوپلانکتون‌ها موادی ارگانیک یا آلی هستند که به صورت میکروسکوپی به طور آزادانه در داخل آب شناور بوده و به گیاهان شناور معروف‌اند. این مواد به وسیله حرکات لایه‌های آب به راحتی در داخل آب جابجا می‌شوند. اندازه این مواد از ۲ میکرومتر هم کوچک‌تر می‌باشد. واحد اندازه‌گیری آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب می‌باشد. شکل (۵) ضریب جذب نور بر حسب طول موج به وسیله فیتوپلانکتون‌ها را نشان می‌دهد (۲).

#### جذب نور توسط مواد ارگانیک در آب دریا

مواد ارگانیک حل شده در آب دریا، یکی از بزرگ‌ترین مواد معدنی ارگانیک روی سطح زمین هستند. این مواد، مواد خاکی ارگانیک و گیاهان بیو مس<sup>۱</sup> که ناشی از بقایای موجودات زنده و گیاهان بوده، که در دراز مدت وارد خاک شده اند، می‌باشند. این مواد محلول، از طریق آب‌های روی زمین و سواحل دریاها که قابلیت زیست در آن‌ها وجود دارد و هم‌چنین از طریق رودخانه‌ها وارد آب دریا می‌شوند. رنگ این مواد معمولاً زرد رنگ می‌باشد. اسیدهای چرب، آمینو اسیدها، کربو هیدرات‌ها، هیدروکربن‌ها و غیره، از این گونه مواد هستند. ضریب طیف جذبی ناشی از مواد زرد رنگ یکی از خواص نوری اساسی از بدنه آب است، که تاثیر زیادی بر روی انعکاس نور دارد. یک تحقیق آزمایشگاهی در مصب رودخانه مروارید، در سال ۲۰۰۲ در منطقه‌ای از کشور چین توسط محققان دانشگاه فلوریدا در خصوص مواد زرد رنگ انجام شده است. در این تحقیق از طول موج‌های ۲۰۰ الی ۸۵۰ نانومتر استفاده شده است. بعد از انجام آزمایش مشخص شد که در طول موج ۴۰۰ نانومتر، ضریب جذب نور برابر  $(m^{-1})$  ۱۵ بوده است. مواد ارگانیک در آب‌های طبیعی یکی از بیش‌ترین مواد کربنی ارگانیک در برکه‌های روی

شکل ۵- ضریب جذب نور بر حسب طول موج برای فیتوپلانکتون‌ها (۱۰)



<sup>2</sup>-Yellow substance  
<sup>3</sup>-Pigment

<sup>1</sup>-Biomass

### جذب نور توسط مواد غیر ارگانیک در آب دریا

مواد غیر ارگانیک در آب دریا به دو دسته مواد محلول و غیر- محلول تقسیم بندی می شوند. نمک های دریایی مواد غیر ارگانیک محلول در آب دریا بوده و رسوبات معلق داخل آب دریا که ناشی از ذرات ریز خاک و سنگ و مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه ها که در اثر فرسایش زمین وارد آب دریا شده اند، مواد غیر محلول می باشند. واحد اندازه گیری مواد غیر ارگانیک در آب دریا گرم بر کیلوگرم می باشد. جذب نور و اشعه فرسوخ به وسیله ذرات معلق در آب دریا قابل مقایسه با مولکول های آب خالص نیست. ضریب جذب امواج فرابنفش به وسیله ذرات معلق در دریا معمولاً کمتر از مواد ارگانیک محلول در آب یا همان مواد زرد رنگ است (۲).

### جذب نور توسط نمک های محلول و غیر محلول در آب دریا

نمک های محلول و غیر محلول در آب دریا بخش مهمی از مواد جاذب امواج الکترومغناطیس هستند. این مواد جزو مواد غیر ارگانیک در آب دریا هستند. در دریاهای آزاد غلظت این نمک ها به طور متوسط ۳۴/۷ گرم بر دسی متر مکعب است. نمک های دریا امواج فرسوخ را بیش تر از امواج نوری جذب می کنند. از طرف دیگر این نمک ها امواج نوری را بیش تر پراکنده می کنند. نمک های دریا به طور کلی بر روی امواجی که طول موج آن ها بین ۹۰۰ الی ۱۵۰۰ نانومتر است، از طریق جذب و پراکنندگی موثرترند (۲).

### جذب نور توسط گازها و حباب ها در آب دریا

در طی فعل و انفعالات بین دریا و هوا، گازهای اتمسفر مانند اکسیژن، نیتروژن، دی اکسید کربن، آرگون و گازهای دیگر بالای سطح دریا، در آب دریا حل شده و به صورت حباب های معلق در آب دریا یافت می شوند. مقدار کمی از این گازهای حل شده در آب دریا نیاز اولیه موجودات دریایی می باشد. گازها با مقادیر مختلف در آب حل می شوند. مقدار گاز حل شده در آب به فشار گاز و نوع گاز از یک سو و از سوی دیگر به دمای آب، مواد موجود در آب و اسیدیته آب بستگی دارد. از طرف دیگر بیش تر فرایندهای شیمیایی در دریا به وسیله این گازها کنترل می شود. این گازها اثرات خیلی کمی بر روی خواص نور در آب دارند.

برای اکسیژن محلول در آب یک استثنا وجود دارد. جذب امواج در ناحیه فرابنفش در طول موج زیر ۲۶۰ نانومتر توسط اکسیژن صورت می گیرد. اثرات جذب نور توسط گازها در لایه سطحی رخ می دهد (۲).

### پراکنندگی ناشی از مولکول های آب خالص دریا

آب ماده ای است که در روی زمین می تواند به صورت سه حالت جامد (یخ)، مایع (آب) و گاز (بخار آب) وجود داشته باشد. پراکنندگی نور به وسیله هر یک از این حالت ها با هم متفاوت است. برای مثال، اگر شدت نور پراکنده شده تحت زاویه  $\phi$  درجه، ۱۰۰ واحد برای آب به صورت بخار باشد، پراکنندگی برای حالت مایع ۲ واحد است و وقتی آب به صورت یخ باشد، پراکنندگی نزدیک صفر است. کاهش شدت پراکنندگی نتیجه تداخل سازنده است. برای یخ خالص به صورت کریستالی، درخشانی ناشی از نور در یک طول موج خاص صورت می گیرد. در حالت جامد (یخ) نور پراکنندگی ندارد. زیرا ممکن است دو پراکنندگی داشته باشیم که با هم تداخل ویرانگر انجام دهند. وقتی نور به طور جهت دار منکسر می شود و طول موج پرتو ورودی برابر فاصله صفحات پراکننده نور است، نور تحت زوایای براگ به صورت تداخل سازنده، پراکنده می شود. در این حالت مطابق قانون براگ داریم:

$$n\lambda/2d = \phi_s / 2 \quad (4)$$

در رابطه بالا،  $\lambda$  طول موج،  $d$  فاصله صفحات (فضای خالی بین اتم ها) و  $n$  یک عدد صحیح یا ضریب بازتاب است. برای بخار آب یا به طور عمومی برای گازها، پراکنندگی ذرات ناشی از برهم کنش یک مولکول با دیگر مولکول ها به طور تصادفی و از فاصله دور است. پراکنندگی برای گازها در اثر برخورد مستقیم و افزایشی مولکول های گاز با ذرات نور بوده، بدون این که پرتوهای نوری با هم تداخل داشته باشند. پراکنندگی نور به وسیله آب خالص اغلب توسط مولکول های آب رخ می دهد (۱۱).

### پراکنندگی نور با ذرات معلق در آب دریا

ذرات معلق در آب دریا به طور کلی شامل دو دسته ذرات ارگانیک، مانند میکروارگانیسم و ذرات غیر ارگانیک، مانند مواد معلق در آب ناشی از خاک رس مثل کوارتزا و نمک های محلول در آب می باشند. منبع این ذرات، فرسایش و خوردگی



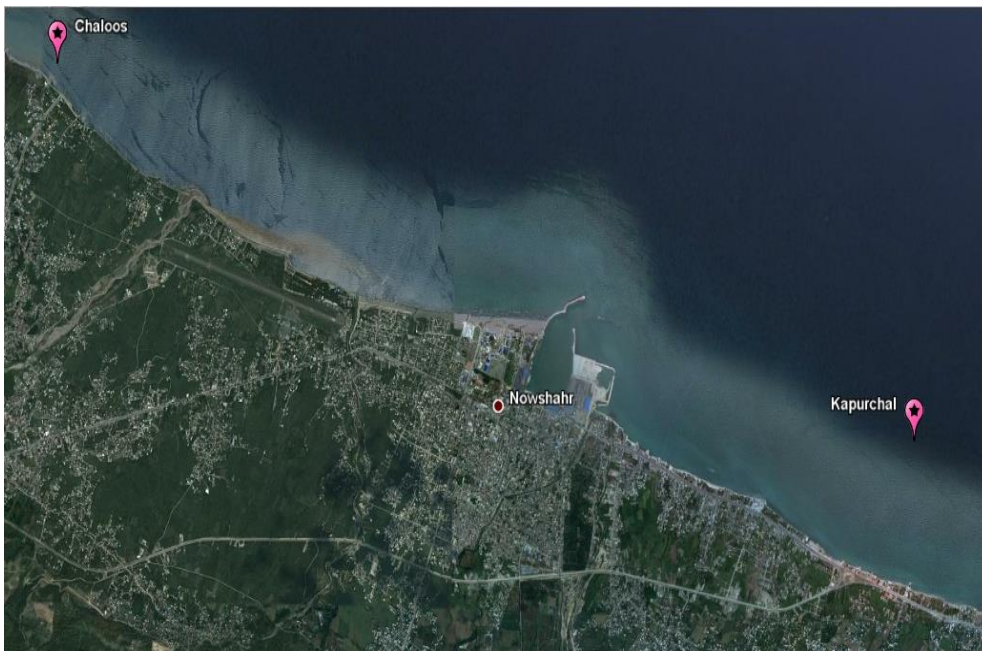
### پراکندگی نور با نمک دریا

نمک‌های دریایی ذراتی هستند که به صورت محلول در آب دریا وجود دارند. این ذرات باعث پراکندگی نور در آب می‌شوند. هر چه غلظت این ذرات در آب بیشتر باشد، پراکندگی نور هم بیشتر است. در سال ۱۹۶۸ آقای مورلی به این نتیجه دست یافت که پراکندگی در آب خالص با اضافه کردن شوری در محدوده (۳۹-۳۵) قسمت در هزار، باعث افزایش پراکندگی تقریباً ۳۰ درصدی، بیشتر از آب خالص می‌شود (۵).

### روش تحقیق

دو نمونه آب از منطقه چالوس و کیورچال واقع در بندر نوشهر در سواحل خزر جنوبی در طی روزهای ۲۱-۱۸ بهمن‌ماه در سال ۱۳۸۹ جمع‌آوری شد. در نمونه‌برداری پارامترهای فیزیکی هم- چون دمای آب دریا، شوری، دمای هوا و طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ثبت شدند. شکل ۶ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

صخره‌ها، وزش باده‌ها، فعالیت‌های زیستی موجودات در روی زمین، فعالیت‌های آتش‌فشانی در روی زمین یا در بستر دریا و فرایندهای شیمیایی در داخل آب دریا می‌باشد. ذرات معلق نزدیک سطح آب دریا نور خورشید را پراکنده می‌کنند. در آب-های ساحلی گل‌آلود و کدر، پراکندگی بیشتر از جذب نمایان می‌شود. پراکندگی فرایندی مهم در آب دریا است زیرا باعث می‌شود که نور در اعماق آب دریا نفوذ نکند. به‌طور معمول، پراکندگی با تمرکز ذرات پراکنده کننده، افزایش می‌یابد. اندازه‌گیری پراکندگی نور با اندازه‌گیری خصوصیات ذرات موجود در آب دریا وابسته است. ضریب پراکندگی نور در آب دریا بستگی به طبیعت ذرات پراکنده کننده از قبیل اندازه ذرات، شکل ذرات، رنگ ذرات و چگالی آب دارد. رنگ ذرات معلق موجود در آب تاثیر به‌سزایی در پراکندگی نور در آب دریا دارد. برای لایه‌های سطحی آب دریا، طول موج‌های کوتاه‌تر (مانند رنگ آبی که از ذرات آبی رنگ در اثر برخورد نور به آن‌ها منتشر می‌شوند) بیشتر پراکنده و طول موج‌های بلندتر (رنگ قرمز) بیشتر جذب می‌شوند (۱۲).



شکل ۶- موقعیت بندر نوشهر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۲ - مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل زمستان

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی شمالی	عرض جغرافیایی شرقی	شوری (g/kg)	دمای آب دریا (°C)
کپور چال	۵۱ ۳۳' ۳۲"	۳۶ ۳۹' ۹۶"	۹/۴	۵/۹۵
چالوس	۵۱ ۲۶' ۸۸"	۳۶ ۴۱' ۰۳"	۸/۷	۱۲/۰۷

استفاده در این تحقیق به ترتیب ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۰۵ میلی‌وات می‌باشد. توان دستگاه‌های لیزر به وسیله توان سنج مدل 11S.1.2 کالیبره شد. طول موج لیزرهای مورد استفاده به روش اسپکتروسکوپی اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این آزمایش میزان ضریب تضعیف نور برای دو نمونه آب دریا در طول موج‌های مختلف محاسبه شد.

#### بحث

نمونه آب‌های مورد مطالعه پس از نمونه برداری به آزمایشگاه منتقل شدند و تحت تابش نور لیزر قرار گرفتند. نتایج به دست آمده مطابق جدول ۳ می‌باشد. برای محاسبه مقادیر ضریب تضعیف نور از قانون بیر - لامبرت استفاده شد.

نمونه‌برداری از آب دریا توسط دستگاه نمونه‌بردار آب نسکین (Nesskin) از عمق نیم‌متری جهت مطالعه خواص نوری انجام شد. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مقادیر پارامترهای فیزیکی مرتبط در جدول ۲ آورده شده است. نمونه‌های آب دریا به آزمایشگاه منتقل شده و تحت تابش نور لیزر در یک محفظه شیشه‌ای به ابعاد ۱۰×۱۰×۲۵ سانتی‌متر قرار گرفته‌اند. در این تحقیق از نور لیزر هارمونیک دوم سبز (second harmonics Nd-YAG) با طول موج ۵۳۲ نانومتر، لیزر دیودی قرمز با طول موج ۶۵۹ نانومتر و مادون قرمز با طول موج ۹۸۰ نانومتر استفاده شد. توان خروجی لیزر Nd-Yag هارمونیک دوم، لیزر دیودی و مادون قرمز مورد

جدول ۳ - مقادیر ضریب تضعیف نور طول موج‌های متفاوت لیزر برای ایستگاه‌های خزر جنوبی

	$\lambda$ (nm)	C (1/m)		$\lambda$ (nm)	C (1/m)
	کپورچال	۵۳۲		۰/۰۵	چالوس
۶۶۰		۰/۴۸	۶۶۰	۰/۴۸	
۷۸۰		۲/۴۱	۷۸۰	۲/۵	
۹۸۰		۱۲/۴	۹۸۰	۱۲/۶	

مختلف نشان می‌دهد. با مقایسه ضرایب تضعیف به‌دست آمده از داده‌های آزمایشگاهی در خصوص نمونه آب‌های مورد مطالعه در طول موج‌های ذکر شده، مشخص گردید که این آب‌ها از نظر شفافیت با آب‌های شفاف اقیانوسی تقریباً مشابه بوده و لذا از مقادیر پراکندگی نور در جدول ۱ می‌توان برای آب‌های مورد مطالعه استفاده کرد و مقادیر ضریب جذب نور را در این آب‌ها محاسبه نمود. مقادیر به‌دست آمده با توجه به داده‌های آزمایشگاهی و استفاده از مقادیر جدول شماره ۱ در جدول ۴ ارائه شده است.

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب جذب و پراکندگی نور در آب دریا وجود دارد. به عنوان مثال با استفاده از نمودارها و فرمول‌های به‌دست آمده توسط محققان در رابطه با تضعیف نور در آب دریا، ضرایب جذب و پراکندگی قابل محاسبه می‌باشد. در این تحقیق ضریب جذب نور در دو ایستگاه از آب‌های خزر جنوبی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از آب‌های مورد نظر در طول موج‌های مختلف و با استفاده از جدول شماره (۱) به‌دست آورده شده است. این جدول ضرایب تضعیف و پراکندگی را برای آب‌های شفاف اقیانوسی در طول موج‌های

جدول ۴ - ضریب جذب نور در طول موج‌های مختلف

نام ایستگاه	طول موج (nm)	ضریب تضعیف (1/m)	ضریب پراکندگی (1/m)	ضریب جذب (1/m)
کپورچال	۵۳۲	۰/۰۵	۰/۰۰۱۸۳	۰/۰۴۸۱
	۶۶۰	۰/۴۸	۰/۰۰۱۰۱	۰/۴۷۸
	۷۸۰	۲/۴۱	۰/۰۰۰۵۲	۲/۴۱
چالوس	۵۳۲	۰/۰۵۲	۰/۰۰۱۸۳	۰/۰۵۰۱
	۶۶۰	۰/۴۸	۰/۰۰۱۰۱	۰/۴۷۸
	۷۸۰	۲/۵	۰/۰۰۰۵۲	۰/۴۹

برداری در لایه سطحی از آب انجام شده است، میزان نفوذ نور مرئی در طول موج‌های مختلف تقریباً یکسان می‌باشد. طول موج‌های کوتاه‌تر بیش‌تر پراکنده و طول موج‌های بلندتر بیش‌تر جذب می‌شوند. هم‌چنین با توجه به این‌که میزان شوری در هر دو ایستگاه تقریباً یکسان و تاثیرات دما بر نفوذ نور در آب نسبت به شوری کم‌تر است، ضریب تضعیف برای هر دو ایستگاه تقریباً برابر است.

#### نتیجه‌گیری

- عواملی که باعث تضعیف نور مرئی در آب دریا می‌شود جذب و پراکندگی نور می‌باشد. طیف نور مرئی (طول موج ۴۵۰ نانومتر) کم‌ترین تضعیف را در آب دریا دارد. برای طول موج‌های بالاتر و پایین‌تر ضریب تضعیف نور در آب دریا افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب تضعیف نور لیزری در آب‌های شمالی کشور در ایستگاه‌های موردنظر، امواج نوری با طول موج بلند نسبت به امواج نوری با طول موج کوتاه دارای ضریب تضعیف بزرگ‌تر و ضریب پراکندگی کوچک‌تری هستند. بیش‌ترین جذب نور در آب دریا توسط پیگمنت‌ها<sup>۱</sup> و مولکول‌های آب و بیش‌ترین پراکندگی به‌وسیله ذرات معلق و نمک در آب صورت می‌گیرد. برای لایه‌های سطحی آب دریا، طول موج‌های کوتاه‌تر (مانند رنگ آبی که از ذرات آبی رنگ در اثر برخورد نور به آن‌ها منتشر می‌شوند) بیش‌تر پراکنده و طول موج‌های بلندتر (رنگ قرمز) بیش‌تر جذب می‌شوند. در دو ایستگاه مورد بررسی به دلیل پایین بودن شوری آب‌دریا پراکندگی هم کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین به دلیل این‌که نمونه

6-Alexander, L. V., et al., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, J. Geophys. Res., 111.

7- Stewart.R.H, 2008, Introduction to physical oceanography, Department of oceanography Texas A & M University.

۸-ایزدی د.، ۱۳۸۵، بررسی تضعیف نور در آبهای دریای عمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی-تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

9- Tam. A. C., C. K. N. Patel, and R. J. Kerl, 1979, Measurement of small absorptions in liquids, Optics Letters, Vol. 4, Issue 3, pp. 81-83

10-Bricaud, A., M. Babin, A. Morel, and H. Claustre, 1995, Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, J. Geophys. Res., 100, 13321-13332.

11- Owen.R.W., 1973, The effect of particles on light Scattering in the sea. Springer.

12-Mirosław Jonasz and Georges R. Fournier, 2007, Light Scattering by Particles in water, Elsevier.

- امواج نوری با طول موجهای کوتاهتر (آبی - سبز) بیش تر از امواج نوری با طول موجهای بلندتر (قرمز) در آب دریا نفوذ می کنند.

-در لایه های سطحی آب دریا امواج نوری با طول موج کوتاه، بیش تر از امواج نوری با طول موج بلند، پراکنده می شوند.

- در لایه های سطحی آب دریا امواج نوری با طول موج بلند (نور قرمز) بیش تر از امواج نوری با طول موج کوتاه (نور آبی) جذب می شوند.

- نفوذ در آبهای اقیانوسی با شوری و کدورت خیلی کم و دمای بالاتر، بیش تر از سایر آبها می باشد. در آبهای مورد مطالعه با توجه به پایین بودن نمک، این نوع آبهای را می توان در رده آبهای شفاف اقیانوسی قرار داد.

#### منابع

۱- حسینی. ه.، ۱۳۹۰، مطالعه تغییرات ضریب تضعیف نور با طول موج، توسط اندازه گیری های میدانی در سواحل خزر جنوبی (بندر نوشهر)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی-تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

2-Bogdan wozniak and Jerzy dera, 2007, Light absorption in sea water , Atmospheric and oceanographic Sciences library (33) , Springer.

3- Knauss .J, 1997, Introduction to physical Oceanography, Prentice Hall, Second Edition.

4-Emery.W.J and Richard E.Thomson , 2004 , Data Analysis Methods In Physical Oceanography , Elsevier.

5-Kokhanovsky A.A, 2006, Light Scattering Reviews, Springer.