علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره سه، پاییز ۸۸

بررسی کیفیت آب های سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از شاخص های OECD و TRIX

مهشید شهربان [۱*]

mahshid_887@yahoo.com

امیراعتمادشهیدی [۲]

تاریخ دریافت:۸۶/۸/۲ **تاریخ پذیرش:۸۶/۱۱/۱۰**

چکیده

کنترل آلودگی یکی از اهداف اصلی مدیریت آب های ساحلی است. پایش و ارزیابی کیفی آب های ساحلی بر اساس پارامترهای فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی انجام می گیرد. به منظور مدیریت کیفی آب های ساحلی، شاخص های کیفی برای طبقه بندی وضعیت کیفی آب ها به کار برده می شود. هدف از این تحقیق بررسی کیفیت آب های سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از شاخص های تغذیه ای (Organization for Economic Corporation and Development) OECD و (Trophic Index) TRIX می باشد. پارامتر های شیمیایی و بیولوژیکی استفاده شده در این مطالعه شامل نیتروژن معدنی محلول، فسفر کل، اشباعیت اکسیژن و کلروفیل آ می باشد. بر اساس شاخص OECD این منطقه در فصول پاییز و بهار یوتروفیک و در فصول تابستان و زمستان هایپرتروفیک است. میانگین فصلی شاخص TRIX بین ۵/۰۴ تا ۵/۴۷ می باشد که نشان می دهد حالت تغذیه ای منطقه متوسط می باشد. پس از مقایسه نتایج اعمال این شاخص ها در سواحل دریای خزر و بررسی دلایل عدم همخوانی این شاخص ها، شاخص TRIX به عنوان شاخص برتر در این سواحل انتخاب گردیده است.

واژه های کلیدی: آب های ساحلی ، شاخص های کیفی ، سواحل دریای خزر،OECD، TRIX.

۱- دانش آموخته محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران*(مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مقدمه

آب های ساحلی یکی از عمده‌ترین منابع آبی با ارزش است که به لحاظ اقتصادی، اجتماعی و تفریحی دارای اهمیت فراوانی می باشد. امروزه در اثر توسعه جوامع، این منبع با ارزش تحت تاثیر اثرات منفی ناشی از فعالیت های اقتصادی و صنعتی قرار گرفته و سطح کیفیت این آب ها در اثر ورود آلاینده های مختلف کاهش یافته است. کنترل این آلودگی ها یکی از اهداف بشر می باشد و لذا مدیریت سواحل به عنوان دانشی که به انطباق توسعه با محیط زیست کمک می نماید، به وجود آمده است (۱). استفاده از شاخص های کیفی یکی از روش های ساده و معمول در سطح دنیا، برای سنجش کیفی آب های ساحلی می باشد. در این روش تعداد زیادی از اطلاعات کیفی آب، به صورت یک عدد منفرد در می آید که با مقیاس و درجه بندی آن می توان مشخص کرد کیفیت آب در کدام طبقه بندی قرار دارد.

تغذیه گرایی فرایندی طبیعی است که در پیکره آب های سطحی رخ می دهد و معمولا به توسعه بیش از حد ارگانیزم هایی مانند فیتوپلانکتون ها و گیاهان مربوط می شود. فعالیت های بشری از قبیل دفع فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی به طور قابل ملاحظه ای به این فرایند شتاب می دهد. پیکره های آبی بر اساس مقدار ماده مغذی در گروه های (مواد مغذی کم Oligotrophic)، مواد مغذی متوسط (Mesotrophic) ، مواد مغذی زیاد(Eutrophic) و مواد مغذی بسیا زیاد(Hypertrophic) طبقه بندی می شوند. یکی از کاربرد های شاخص ها تعیین احتمال وقوع یا شدت پدیده تغذیه گرایی است (۲).

شاخص های کیفی متعددی تا کنون در آب های ساحلی مختلف استفاده شده است. به عنوان مثال از شاخص OECD در سواحل دریای آدریاتیک(۳)، روش Nutrient Concentration Scales در دریای اژه (۴)، شاخص Trophic index در شمال غربی دریای آدریاتیک (۵) و HORMOZTRIX در سواحل خلیج فارس (۶) می توان نام برد.

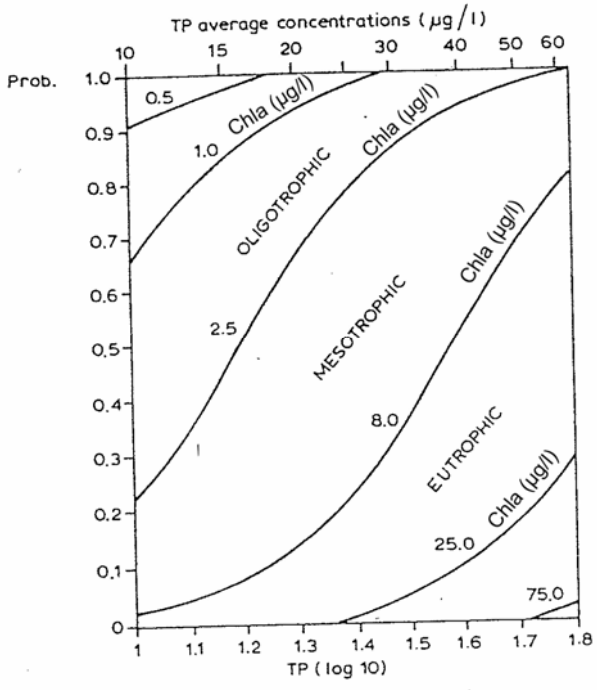
دریای خزر بزرگ ترین توده آبی محصور در خشکی می باشد که به طور وسیع توسط کشورهای حاشیه دریا مورد بهره برداری قرار می گیرد. تراکم بالای جمعیت و فعالیت های گسترده کشاورزی در حاشیه دریای خزر، منجر به تخلیه حجم زیادی از آلاینده ها به این دریا می شود. لذا تلاش برای حفظ این منبع با ارزش و برنامه ریزی به منظور بهره برداری بهینه از آن، بسیار ضروری می باشد. در این مطالعه دو شاخص OECD و TRIX به عنوان شاخص های کیفی آب های ساحلی معرفی شده و پس از مطالعه موردی این شاخص ها برای سواحل جنوبی دریای خزر، نتایج اعمال آن ها مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۱-معرفی ساختار شاخص های کیفی آب های ساحلی

در این مطالعه از میان شاخص های کیفی آب های ساحلی، شاخص های OECD و Trophic Index جهت تعیین وضعیت کیفی آب های ساحلی دریای خزر، انتخاب شده اند که در این بخش به شرح مختصری از آن ها پرداخته می شود.

۱-۱- شاخص OECD

این شاخص اولین بار توسط Giovanardi و Tromellini (۳) برای داده های جمع آوری شده از سواحل دریای آدریاتیک استفاده شده است. در این روش پس از اعمال یک روش آماری چند متغیره در دریای آدریاتیک، کلروفیل آ و فسفر کل به عنوان پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در وضعیت تغذیه ای سیستم دارند، انتخاب شدند. با استفاده از درون یابی بین داده های فسفر کل و کلروفیل آ یک مدل تجربی برای تعیین میزان احتمال سطوح مختلف تغذیه گرایی به دست آمده که در شکل۱ ارایه شده است (۳).



شکل۱- احتمال تجاوز غلظت میانگین کلروفیل آ (میکروگرم در لیتر) برای حالات تغذیه‌ای مختلف، برحسب میانگین غلظت فسفر کل (میکروگرم در لیتر)

با استفاده از این مدل، در صورت موجود بودن میانگین کلروفیل آ، حالت تغذیه ای برای مقادیر کلروفیل ۲/۵ >Chla1< اولیگوتروفیک، ۸ >Chla1> ۲/۵ مزوتروفیک و ۲۵ >Chla1> ۸ یوتروفیک می باشد و در صورت موجود نبودن مقدار کلروفیل آ، با داشتن مقدار فسفرکل می توان احتمال تجاوز مقدار میانگین کلروفیل آ را از حدود ۱ ، ۲/۵ ، ۸ و ۲۵ میکروگرم در لیتر که مرز حالات اولیگو تروفیک، مزوتروفیک ، یوترو فیک و هایپر تروفیک می باشد، به دست آورد (۳).

۲-۱- شاخص Trophic Index (TRIX)

شاخص TRIX اولین بار برروی پارامترهای کیفی که از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۳ در سواحل دریای آدریاتیک جمع آوری شده ، اعمال گردیده است. پارامترهای این شاخص کلروفیل آ($Chl\ a: mg/m^3$) ، درصد کمبود اکسیژن از اکسیژن اشباع (aD%O=abs)100-O%() و پارامترهای کلی تغذیه ای شامل نیتروژن و فسفر کل ($NT,PT: mg/m^3$) یا پارامترهای معدنی تغذیه ای شامل نیتروژن معدنی محلول و فسفر معدنی محلول ($N_m= N-(NO_3+NO_2+NH_4)$) ،($P-PO4: mg/m^3$) می باشد(۵). در این شاخص جهت نرمال سازی توزیع داده ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شده است. ساختار اصلی شاخص TRIX به صورت زیر می باشد:

$$TRIX = \frac{K}{n}\sum_{I=1}^{N}\left[(Logm_i - LogL_i)/(LogU_i - LogL_i)\right] \quad (۱)$$

که m_i مقدار اندازه گیری شده از پارامتر، U_i مقدار بیشینه، L_i مقدار کمینه پارامتر و n تعداد پارامترها می باشد. حد بالای TRIX و مقدار شاخص بین ۰ و K می باشد. برای دریای آدریاتیک مقدار تقریبی دامنه همه پارامتر ها ($Log\ U_i$-$Log\ L_i$) ۳ ، مقدار K ۱۰ و تعداد پارامترها نیز ۴ می باشد. با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$TRIX = \frac{10}{4}\times\left[\frac{Log(Chla\times aD\%O\times N\times P) - Log(Chla_{min}\times aD\%O_{min}\times N_{min}\times P_{min})}{3}\right] \quad (۲)$$

$$\mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla}_{\min}\times \mathrm{aD\%O}_{\min}\times \mathrm{N}_{\min}\times \mathrm{P}_{\min}\right)=-1.5 \qquad (۳)$$

در نهایت، شاخص به صورت زیر به دست آمده است:

$$\mathrm{TRIX}=\frac{\mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla}\times \mathrm{aD\%O}\times \mathrm{N}\times \mathrm{P}\right)-(-1.5)}{1.2} \qquad (۴)$$

وضعیت تغذیه ای آب برای مقادیر ۲<TRIX<۴ بسیار خوب (مواد مغذی بسیارکم)، برای۶ >TRIX≤ ۴ خوب تا متوسط (مواد مغذی کم تا متوسط) و برای ۸>TRIX≤۶ ضعیف (مواد مغذی بسیار زیاد) در نظر گرفته می شود (۷).

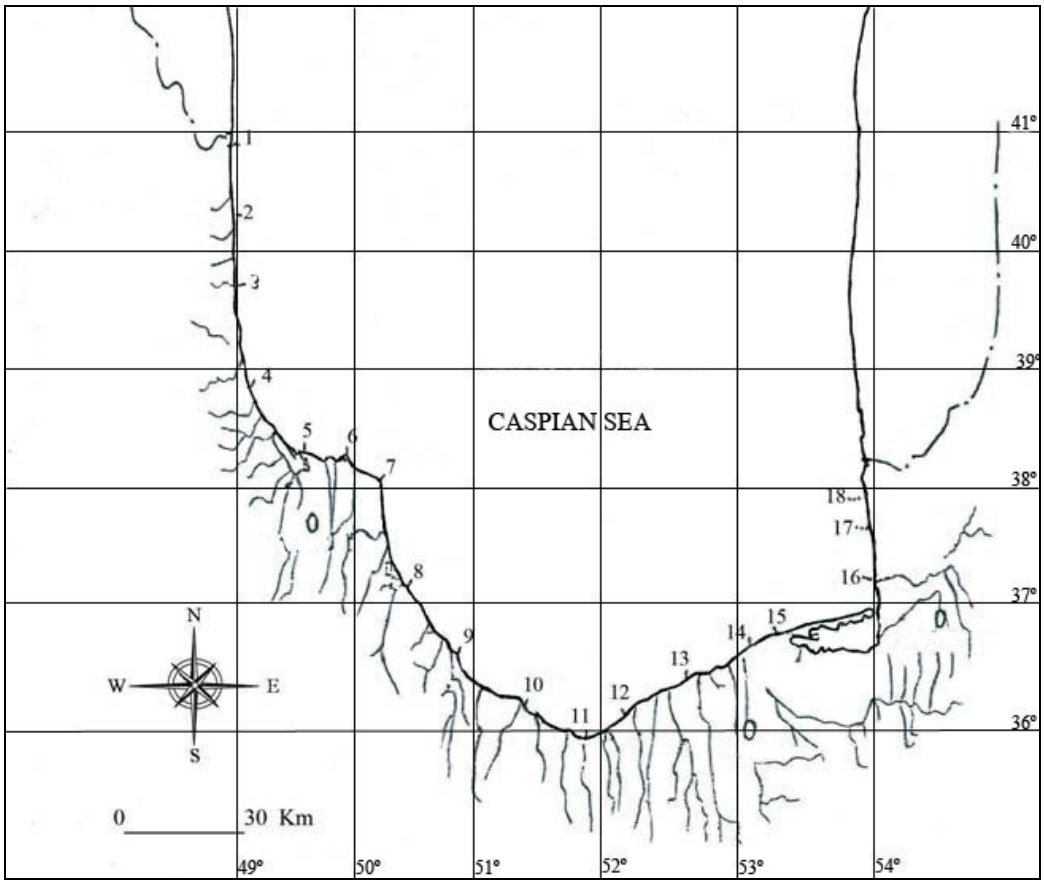
۳-مطالعه موردی دریای خزر

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

دریای خزر میان دو قاره آسیا و اروپا قرار گرفته است و از جنوب به ایران، از مغرب به جمهوری آذربایجان، از شمال غربی به روسیه و از شمال شرقی به قزاقستان و از مشرق به ترکمنستان محصور می شود. بیشترین ژرفای دریای خزر ۱۰۲۵ متر (واقع در خزر جنوبی) و میانگین ژرفای آن ۲۰۸ متر است (۸). این منبع با وسعت ۴۳۰۰۰۰ کیلومتر مربعی، بزرگ ترین دریاچه جهان است و از جنبه های مختلف دارای اهمیت می باشد. این دریا به عنوان یک منبع عظیم رطـوبت، توام با کوه های البرز، یک منطقه پرباران و پوشیده از جنگل های با ارزش در شمال ایران به وجود آورده است. دریای خزر دارای ذخائر عظیم انواع ماهی است که بعضی از با ارزش ترین ماهی ها فقط در این دریا پیدا می شود (۹).

دریای خزر به عنوان یک حوضه بسته، بسیار متاثر از فرایندهایی است که در حوضه آبریز آن روی می دهد. رشد جمعیت در شهر های حاشیه دریای خزر، توسعه صنایع و استفاده از کود ها و سموم کشاورزی در مزارع، سبب شده است که حجم زیادی از فاضلاب ها به این دریا ریخته شود. لذا اطلاع از وضعیت کیفی این منبع با ارزش و برنامه ریزی به منظور مدیریت کیفی سواحل آن، ضروری می باشد.

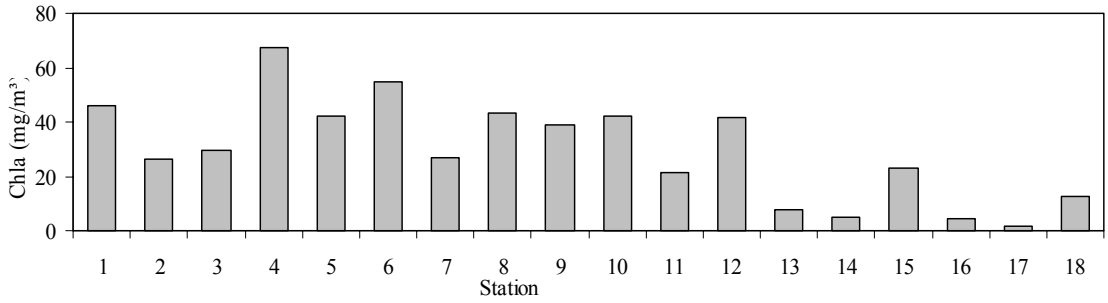
داده های استفاده شده در این مطالعه، شامل پارامترهای کیفی در سواحل جنوبی دریای خزر می باشد که از تابستان ۱۳۷۸ تا بهار ۱۳۷۹ در ۱۸ ایستگاه از منطقه آستارا با طول و عرض جغرافیایی ´ ۴۸ °۵۶ و ´ ۳۸ °۲۵ تا منطقه حسنقلی با طول و عرض جغرافیایی ´ ۵۳ °۳۷ و ´ ۳۷ °۲۴ در عمق ۲ متری از سطح آب اندازه گیری شده است. شکل۲ موقعیت این ایستگاه ها را نشان می دهد (۱۰).

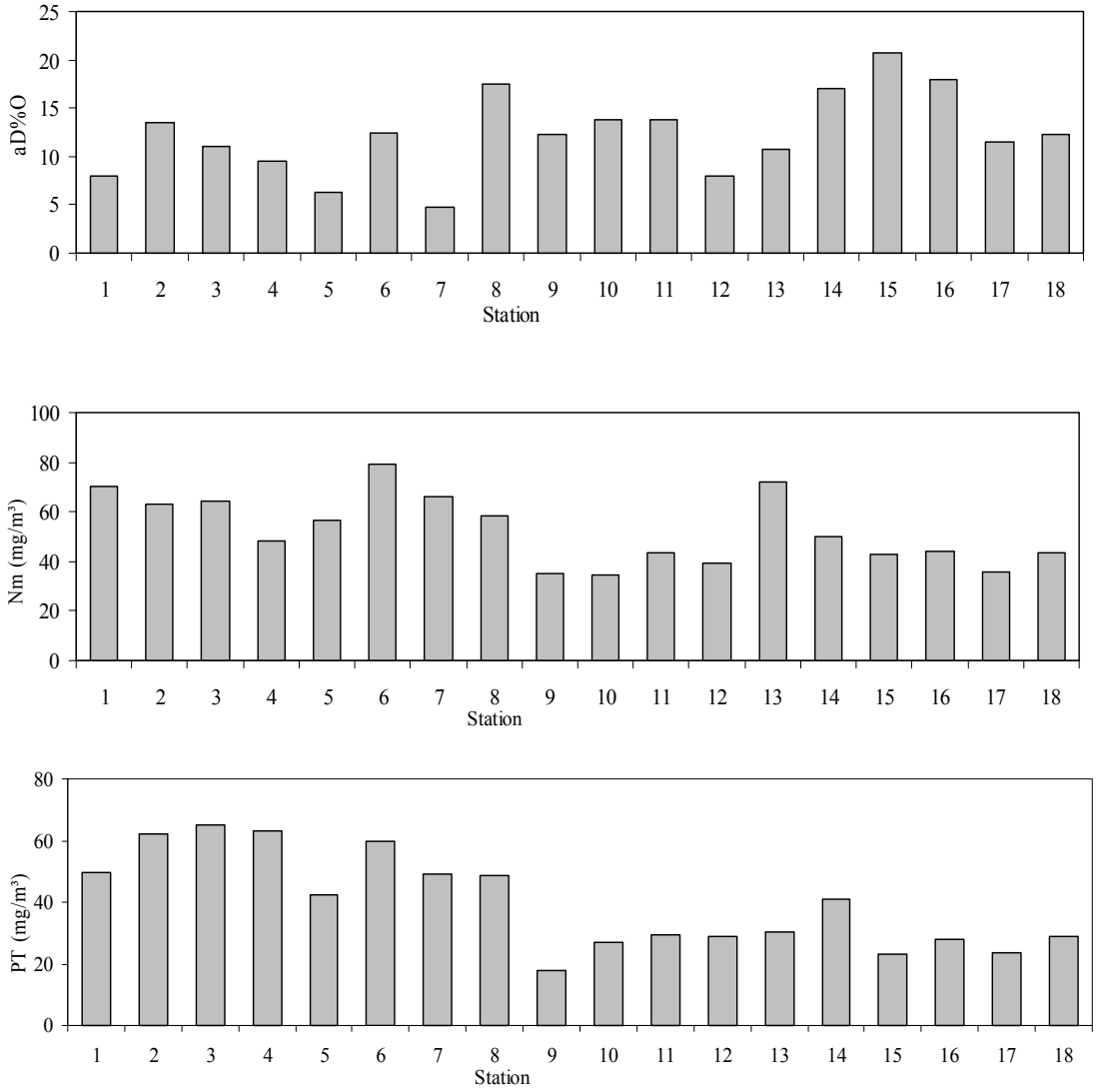


شکل ۲- موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در سواحل جنوبی دریای خزر

به منظور اندازه گیری پارامتر های کیفی مورد مطالعه، نمونه برداری آب در هر ایستگاه از عمق ۲ متری به وسیله نمونه بردار رونتر انجام گرفته است. فسفر به وسیله روش هضم و آمونیوم مولیبدات و نیتروژن توسط روش هضم و ستون کاهنده مطابق با استاندارد «والدراما» اندازه گیری شده است(۱۰).

مقادیر میانگین سالانه پارامترهای کیفی دریای خزر در این ۱۸ ایستگاه، محاسبه و در شکل۳ ارایه شده است. با توجه به شکل۳ مقادیر میانگین کلروفیل آ و مواد مغذی در ایستگاه های سواحل غربی بیشتر از سواحل شرقی می باشد که مهم ترین علت آن تراکم جمعیت و تخلیه فاضلاب های بیشتر در این مناطق به دریا می باشد.





شکل ۳- مقادیر میانگین سالانه پارامتر های کیفی سواحل دریای خزر

مطالعات مختلفی در سایر مناطق ساحلی انجام یافته که به منظور بررسی و مقایسه اجمالی، در جدول۱ مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین سالانه پارامتر های دریای خزر از تابستان ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹(۱۰)، خلیج فارس از مهر ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۵ (۶) و دریای آدریاتیک در سال۱۹۸۷ تا ۱۹۸۶ (۵) ارایه شده است. طبق این جدول، میانگین کلروفیل آ در دریای خزر حدود ۲۰ برابر خلیج فارس و ۲/۶ برابر دریای آدریاتیک می باشد. میانگین فسفر کل حدود ۲ برابر دریای آدریاتیک می باشد. مقدار نیتروژن در دریای خزر در مقایسه با دو منطقه دیگر بسیارکمتر می باشد. تفاوت در مقادیر پارامتر های کیفی این آب ها، به ویژگی های زیست محیطی هر منطقه و فعالیت هایی که منجر به تولید آلودگی در سواحل می گردند، مربوط می شود. اکثریت روستاها و شهر های استان های گیلان و مازندران به رودخانه های این منطقه بسیار نزدیک می باشند. تراکم بالای جمعیت، فعالیت های وسیع کشاورزی و عدم تصفیه اصولی فاضلاب در این استان ها سبب شده که مقدار زیادی فاضلاب و پساب حاوی کود و مواد شیمیایی به رودخانه ها وارد و به دریا تخلیه گردد. از طرفی میزان خود پالایی دریای خزر به علت راه نداشتن به آب های آزاد، است و این مسئله منجر به تراکم مواد مغذی در سواحل و درنتیجه افزایش فعالیت بیولوژیکی و بالارفتن مقدار کلروفیل آ می شود.

جدول۱- مقدار کمینه ، بیشینه و میانگین سالانه پارامترهای کیفی در دریای خزر، خلیج فارس و دریای آدریاتیک

		Chla (mg/m^3)	PT (mg/m^3)	N_m (mg/m^3)	aD%O
دریای خزر	میانگین	۲۹/۵۴	۳۹/۳۵	۵۲/۶۴	۱۲/۴۹
	کمینه	۱/۰۵	۹/۸۰	۱۰/۱۰	۱/۰۰
	بیشینه	۱۵۷/۵۰	۱۲۵/۰۰	۱۵۶/۷۰	۴۰/۰۰
خلیج فارس	میانگین	۱/۴۲	_	۱۵۴/۸۹	۸/۵۷
	کمینه	۰/۱۸	_	۱۸,۰۵	۰/۷۰
	بیشینه	۷/۰۰	_	۵۱۶,۱۵	۲۸/۵۳
دریای آدریاتیک	میانگین	۱۱/۳۰	۲۰/۸۰	۳۰۰/۵۰	۱۳/۱۰
	کمینه	۰/۴۰	۲/۰۰	۶/۱۰	۰/۰۰
	بیشینه	**۱۹۴/۱۰**	**۶۰/۰۰**	**۴۷۷۶/۰۰**	**۷۹/۶۰**

۲- اعمال شاخص OECD

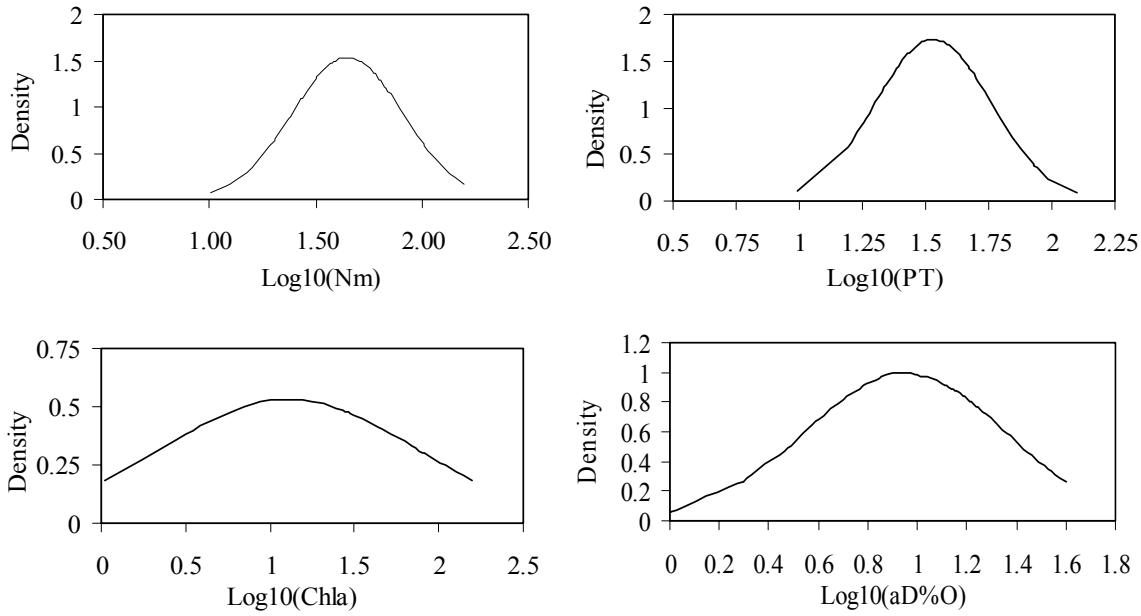
به منظور اعمال این شاخص در سواحل دریای خزر، ابتدا داده های کلروفیل آ با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شده و سپس داده های خارج از محدوده $\mu \pm 2\sigma$ به عنوان داده های پرت حذف شده است(۳). در جدول۲ مقدار میانگین فصلی کلروفیل آ و حالت تغذیه ای هر فصل در دریای خزر بر اساس روش OECD ارایه شده است. بیشترین مقدار کلروفیل آ در فصل تابستان در حالت تغذیه ای هایپرتروفیک و کمترین مقدار در فصل بهار در حالت یوتروفیک دیده شده است.

جدول۲- مقدار میانگین کلروفیل آ در فصول مختلف بر حسب میکروگرم در لیتر و سطوح تغذیه ای بر اساس روشOECD

فصل	حالت تغذیه ای	Chl a (µg/l)			
		غرب	مرکز	شرق	میانگین
تابستان	هایپرتروفیک	۷۸/۵۰	۲۳/۱۵	۱۲/۹۵	۴۲/۴۱
پاییز	یوتروفیک	۲۷/۴۱	۲۸/۹۹	۱/۷۵	۲۲/۳۲
زمستان	هایپرتروفیک	۴۱/۶۱	۴۱/۸۳	۱۹/۹۳	۳۶/۶۰
بهار	یوتروفیک	۱۹/۵۵	۲۰/۵۵	۷/۳۵	۱۷/۲۳

۳- اعمال شاخص TRIX

در این شاخص، پس از تبدیل لگاریتمی، داده های خارج از محدوده $\mu \pm 2.5\sigma$ حذف می گردند(۵). سپس توزیع داده ها مورد بررسی قرار می گیرد. در شکل۴ توزیع داده ها در منطقه مطالعاتی پس از تبدیل لگاریتمی نشان داده شده است.



شکل۴- توزیع پارامترهای کیفی در دریای خزر

به منظور ارزیابی نکویی برازش داده ها با توزیع نرمال، از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف استفاده شده است. نتایج این ارزیابی در جدول۳ ارایه شده است. در این آزمون مقدار تفاوت میان توزیع تجربی ویبول و توزیع نرمال برای همه داده ها محاسبه می شود. از آن جا که حداکثرتفاوت بین این دو مقدار(D_{max}) برای همه پارامترها، از مقدار بحرانی اختلافات (D_{cr}) برای سطح اعتماد α =۰/۰۵ کمتر است، بنابراین فرض نرمال بودن داده های دریای خزر در شاخص TRIX صحیح می باشد.

جدول۳- مقدار D_{max} و D_{cr} برای نکویی برازش داده ها با توزیع نرمال با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف (α =۰/۰۵)

پارامتر	D_{max}	D_{cr}
Nm	۶۰۵/۰	۲۱۰/۰
PT	۵۸۰/۰	۱۰۴/۰
Chla	۸۰۰/۰	۳۱۰/۰
aD%O	۰۶۱/۰	۱۰۴/۰

رابطه نهایی شاخص TRIX بر اساس مقادیر کمینه و بیشینه و دامنه پارامترهای دریای آدریاتیک طراحی شده است. لذا این رابطه برای استفاده در سواحل دریای خزر می بایست اصلاح گردد. بدین منظور در جدول۴ مقادیر بیشینه، کمینه و دامنه مقادیر هر پارامتر برای دریای خزر، ارایه شده است.

جدول۴- مقادیر کمینه و بیشینه و دامنه پارامترهای کیفی دریای خزر

	aD%O	PT mg/m³	N_m mg/m³	Chl a mg/m³
کمینه (L)	۱/۰۰	۹/۸۰	۱۰/۱۰	۱/۰۵
بیشینه (U)	۴۰/۰۰	۱۲۵/۰۰	۱۵۶/۷۰	۱۵۷/۵۰
لگاریتم کمینه	۰/۰۰۰	۰/۹۹۱	۱/۰۰۴	۰/۰۲
لگاریتم بیشینه	۱/۶۰۲	۲/۰۹۷	۲/۱۹۵	۲/۲۰
لگاریتم کمینه (تقریبی)	-۰/۵۰	۰/۵	۰/۵۰	۰/۰۰
لگاریتم بیشینه (تقریبی)	۲/۰۰	۲/۵۰	۲/۵۰	۲/۵۰
دامنه تقریبی (LogU-LogL)	۲/۵۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۵۰

با توجه به جدول۴، لگاریتم حاصل ضرب کمینه پارامتر ها به طور تقریبی ۰/۵ و مقدار تقریبی دامنه پارامتر ها به طور متوسط ۲/۲۵ در نظر گرفته شده است. با اعمال این

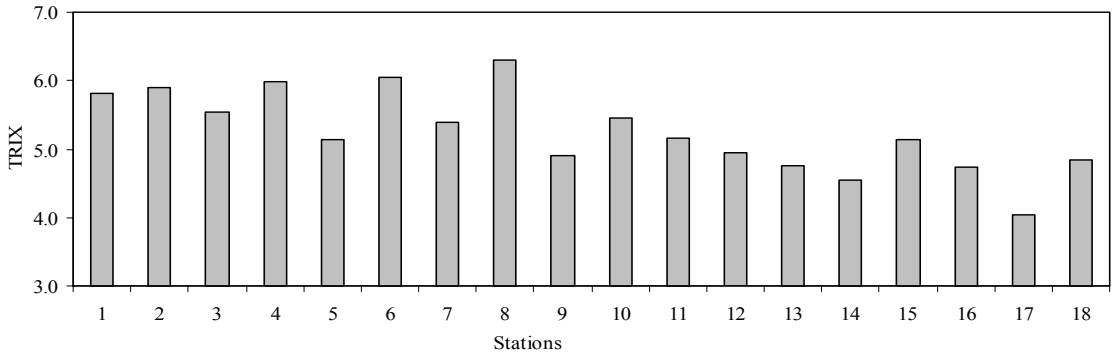
مقادیر، شاخص TRIX برای دریای خزر به شکل زیر به دست می آید:

$$\mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla}_{\min} \times \mathrm{aD\%O}_{\min} \times \mathrm{N}_{\mathrm{m}\min} \times \mathrm{PT}_{\min}\right) = 0.5 \qquad (۵)$$

$$\mathrm{TRIX} = \frac{10}{4} \times \left[\frac{\mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla} \times \mathrm{aD\%O} \times \mathrm{N}_{\mathrm{m}} \times \mathrm{PT}\right) - \mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla}_{\min} \times \mathrm{aD\%O}_{\min} \times \mathrm{N}_{\mathrm{m}\min} \times \mathrm{PT}_{\min}\right)}{2.25}\right] \qquad (۶)$$

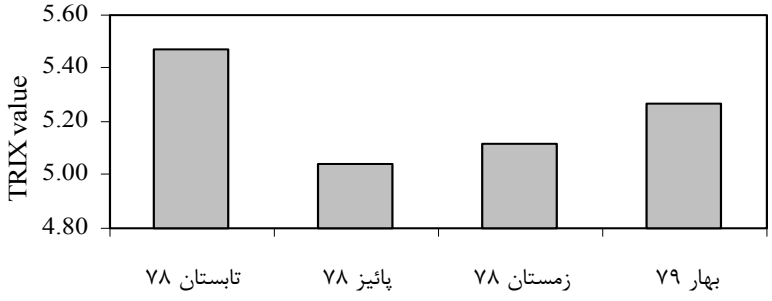
$$\mathrm{TRIX} = \frac{\mathrm{Log}\left(\mathrm{Chla} \times \mathrm{aD\%O} \times \mathrm{N}_{\mathrm{m}} \times \mathrm{PT}\right) - 0.5}{0.9} \qquad (۷)$$

پس از اعمال رابطه فوق بر روی داده های کیفی دریای خزر، مقدار میانگین سالانه شاخص TRIX در ایستگاه های نمونه برداری، مطابق شکل۵ به دست می آید. مقدار میانگین سالانه این شاخص در ایستگاه ها، از ۴/۰۴ تا ۶/۳۱ تغییر می کند که بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه ۸ و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه ۱۷ می باشد. میانگین سالانه شاخص، در بخش غربی سواحل مورد مطالعه (ایستگاه ۱ تا ۷) ۵/۶۹ ، در بخش مرکزی این سواحل (ایستگاه ۸ تا ۱۴) ۵/۱۵ و در بخش شرقی (ایستگاه ۱۵ تا ۱۸) ۴/۶۹ می باشد. همان طور در شکل۳ مشاهده شد، میزان کلروفیل آ و مواد مغذی در بخش های غربی بیشتراز دو بخش دیگر می باشد و این مسئله با مقادیر به دست آمده شاخص TRIX همخوانی دارد.



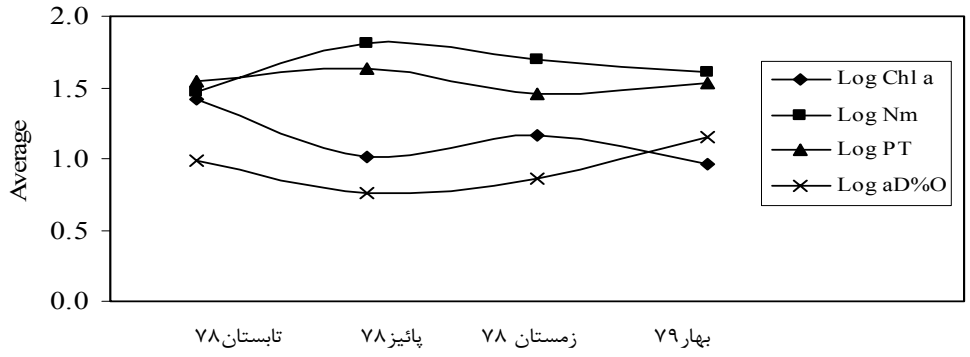
شکل۵- مقادیر میانگین سالانه شاخص TRIX در ایستگاه های نمونه برداری شده

در شکل۶ مقدار میانگین فصلی TRIX نشان داده شده است. شاخص TRIX در فصل تابستان بیشترین مقدار(۵/۴۷) و در فصل پاییز کمترین مقدار و (۵/۰۴) می باشد.



شکل۶- مقادیر میانگین فصلی شاخص TRIX در دریای خزر

به منظور مقایسه روند تغییرات شاخص TRIX با پارامتر های استفاده شده، تغییرات میانگین فصلی این پارامتر ها در شکل۷ ارایه شده است. روند تغییرات شاخص TRIX به تغییرات کلروفیل آ و درصدکمبود اکسیژن نزدیک است و بنابراین مقدار میانگین فصلی شاخص تحت تاثیر این دو پارامترکنترل می شود.



شکل۷- مقادیر میانگین فصلی پارامترهای کیفی در دریای خزر

۴- مقایسه شاخص ها و نتیجه گیری

دریاها دارای خصوصیات منحصر به فردی هستند و از نظر ماده مغذی و تعداد و گونه های فیتوپلانکتون بومی منطقه با یکدیگر تفاوت دارند و به همین دلیل ارایه یک شاخص کیفی که قابل استفاده در تمام مناطق ساحلی باشد بعیـد به نظـر می رسد. از مزایای روشOECD، سادگی استفاده و قابلیت بررسی کاهش بار فسفر ورودی است. از آن جا که در این روش به پارامتر هایی مانند نیتروژن و اکسیژن توجه نشده است، بنابر این دقت کافی در تعیین کیفیت سایر سواحل را ندارد. در شاخص TRIX یک تابع ساده برای مشخص کردن وضعیت کیفی سواحل ارایه گردیده است که می تواند با درجه بندی وضعیت آب از ۰ تا۱۰ مبنای مقایسه منطقه های مختلف قرار گیرد. این شاخص به علت استفاده از پارامتر های کیفی بیشتر، دقت بالاتری دارد.

نتایج حاصل از اعمال روشOECD در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می دهد که وضعیت تغذیه ای این منطقه در فصل تابستان و زمستان هایپر تروفیک و در فصل پاییز و بهار یوتروفیک می باشد. مطابق نتایج حاصل از اعمال شاخص TRIX در این سواحل، وضعیت کیفی این منطقه در حالت تغذیه ای مزوتروفیک تا یوتروفیک قرار دارد. در ضمن مقدار شاخص در فصل های تابستان و بهار بیشتر از فصل های پاییز و زمستان می باشد. شاخص OECD با توجه به سواحل دریای آدریاتیک به دست آمده است، در حالی که شاخص TRIX وابسته به پارامترهای منطقه مورد مطالعه بوده و در سایر مناطق قابل استفاده می باشد. بنابراین یکی از دلایل عدم همخوانی میان این دو شاخص، منطقه ای بودن شاخص OECD و منحصر به فرد بودن ویژگی هـای هر اکوسیستم می باشد. همچنین شاخص TRIX علاوه بر پارامترهای بیولوژیکی، پارامتر های شیمیایی را نیز در نظر می گیرد، در صورتی که شاخص OECD بر اساس غلظت کلروفیل آ طراحی شده و با توجه به بالا بودن میزان کلروفیل آ در سواحل دریای خزر به خصوص در فصل هـای تابستان و زمستـان، این شاخص وضعیت کیفی پایین تـری را بـرای این منطقه پیش بینی می کند.

با توجه به نتایج اعمال شاخص TRIX در شمال غربی سواحل آدریاتیک، میانگین این شاخص در این منطقه در سال های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸ بین ۴/۲ تا ۶/۳ می باشد (۵). مقدار میانگین سالانه این شاخص در سواحل خلیج فارس از مهر ماه ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۵ بین ۵/۴ تا ۶/۴ به دست آمده است(۱۱) و میانگین سالانه این شاخص در سواحل جنوبی دریای خزر از تابستان ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ در ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه، بین ۴/۰ تا ۶/۳ می باشد. تفاوت در مقادیر شاخص در این مناطق به

خصوصیات زیست محیطی هر منطقه و نوع و میزان آلودگی تولیدی در آن ها مربوط می شود. استان های گیلان و مازندران به عنوان قطب های کشاورزی در ایران بشمار می آیند و مصرف انواع کودهای شیمیایی موجب آلودگی بسیار شدید در منابع آب های سطحی و زیر زمینی شده است. علاوه بر پساب های کشاورزی، همجواری اکثر روستاها و شهر های شمالی ایران با رودخانه ها و فقدان سیستم های اصولی برای تصفیه فاضلاب ها سبب گردیده که کلیه رودخانه های این استان ها نظیر سیاهرود، زرچوب، سفید رود، هراز، تجن، بابل رود، چالوس و گرگان رود به مرکز اصلی دفع فاضلاب های شهری مبدل شوند. از طرفی دریای خزر یک حوضه بسته است که به دلیل راه نداشتن به اقیانوس ها قدرت خود پالایی کمی داشته و به همین دلیل بسیار مستعد اثر پذیری از فعالیت های انسانی در منطقه می باشد. نتایج به دست آمده از اعمال شاخص های TRIX و OECD نیز نشان دهنده وضعیت کیفی پایین در این منطقه می باشد.

با توجـــه به نتایج حاصل از اعمال شاخص TRIX، به عنوان شاخص برتر در دریای خزر، این سواحل به لحاظ تغذیه ای وضعیت کیفی پایینی داشته و لذا به منظور کنترل آلودگی سواحل دریای خزر و بهبود وضعیت زیست محیطی این منطقه باید شیوه های مدیریتی اتخاذ گردد تا سبب افزایش آگاهی ساکنان و بهره برداران و کاهش تخلیه آلودگی به رودخانه ها شود.

منابع

1- Aguilera, P.A., Castro, H., Rescia, H., Schmitz M.F., 2001. Methodological Development of an Index of Coastal Water Quality: Application in a Tourist Area. Environmental Management, Vol.27, No.2, pp.295-301.

2- Chapra, S.C., 1997. Surface Water-Quality Modeling, McGraw Hill, New York.

3- Giovanardi, F., Tromellini, E., 1992. Statistical assessment of trophic conditions , Application of OECD methodology to the marine environment, in Vollenweider, R.A., Marchetti, R., Viviani, R Marine coastal Eutrophication , Elsevier, B.V., pp.211-233.

4- Ignatiadas, L., Karydis, M., Vounatosou, P., 1992. A Possible Method for Evaluating Oligotrophy and Eutrophication based on Nutrient Concentration scales. Marine Pollution Bulletin, Vol.24, No.5, pp.238-243.

5- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, R., 1998. Characterization of the Trophic Condition of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Aderiatic Sea: Proposal for a Trophic scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. Environmetrics, Vol.9, NO.3, pp.329-357.

6- Teabi, S., Etemad-shahidi, A., Fardi, G., 2005. Examination of three eutrophication indices to characterize water quality in the north east of the Persian golf. Coastal Reaserch, Vol.42, pp.405-411.

7- Pettine, M., Casentini, B., Fazi, S., Giovanardi, F., 2007. A revisitation of TRIX for trophic status assessment in the light of the European Water Framework Directive: Application to Italian coastal waters. Marine pollution Bulletin, Vol.24, pp.1413-1426.

۸- لاهیجانی ، ح.، ۱۳۸۰، مجموعه دروس ارایه شده در کارگاه آموزشی خزر، جلد اول، نشر مرکز ملی اقیانوس شناسی.

۹- کردوانی ،پ.، ۱۳۷۴، اکوسیستم های آبی ایران _ دریای مازندران، چاپ اول، نشر قومس.

۱۰- لالوئی ، ف.، ۱۳۸۳، هیدرولوژی و هیدروبیولوژی و آلودگی های زیست محیطی اعماق کمتر از ۱۰ متر حوضه جنوبی دریای خزر، نشر موسسه تحقیقات شیلات ایران.

۱۱- تائبی ، س.، ۱۳۸۱، بررسی و مقایسه شاخص های کیفی آب های ساحلی و مطالعه موردی در آب های ساحلی استان هرمزگان، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه علم و صنعت.