

ارزیابی ویژگی‌های مکانی کیفیت آب سواحل مازندران در فصل تابستان و شناسایی عوامل کنترل کننده آن (رویکرد چند متغیره)

نعمت‌الله محمودی^۱، محمدرضا احمدی^{۲*}، منوچهر بابائزاد^۳، جعفر سیف آبادی^۴ و ابوالقاسم روحی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ۲- استاد، گروه بهداشت و بیماری‌های آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
- ۴- دانشیار، گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ۵- استادیار، بخش اکولوژی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، ساری، ایران

پذیرش: ۱۳۹۲/۰۶/۱۲

دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲

* نویسنده مسئول مقاله: تلفن: ۰۹۱۱۳۲۰۹۵۹۸، E-mail: mahmadi@ut.ac.ir

چکیده:

عوامل مؤثر بر تغییرات مکانی کیفیت آب اکوسیستم ساحلی مازندران در تابستان ۱۳۹۱ انجام شد. بدین منظور شاخصه‌های کیفی آب (مواد مغذی، دما، هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول، pH، کلروفیل α و کدورت)، در امتداد ۴ ترانسکت (امیرآباد، بابلسر، نوشهر و رامسر) در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر با روش‌های آماری چندمتغیره ارزیابی شدند. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد که مکان‌های نمونه‌برداری در ۵ گروه مجزا شامل: لایه ۵۰-۳۵ متر از ایستگاه ۵۰ متر همه ترانسکت‌ها، ایستگاه ۵ متر همه ترانسکت‌ها، ترانسکت رامسر و اکثریت لایه‌های سطحی و عمقی ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد قرار گرفتند. بر مبنای تحلیل ممیزی، ۸۶/۴۰٪ از مکان‌ها به‌درستی طبقه‌بندی شدند. تحلیل عاملی، ۸۷/۵۳٪ از کل تغییرات مکانی را نشان داد که بر اساس آن ۵ مؤلفه اصلی استخراج شده شامل دما، کدورت، نیترات، سیلیس و آمونیوم، مهم‌ترین شاخصه‌های تأثیرگذار بر تغییرات مکانی کیفیت آب بودند. مطالعه حاضر بیانگر امکان کاهش تعداد مکانهای نمونه برداری به ۲ ترانسکت می باشد. لایه ترموکلاین، انتقال مواد مغذی از رودخانه به‌ویژه ترکیبات فسفری و آمونیوم، بستر دریا، پرورش ماهی در قفس و شانه‌دار *Mnemiopsis leidyi* به‌عنوان از مؤثرترین عوامل بر تغییرات مکانی کیفیت آب شناخته شدند. نتایج نشان داد که روش‌های آماری چندمتغیره ابزار مناسبی برای شناسایی الگوی تغییرات مکانی کیفیت آب سواحل مازندران در فصل تابستان است.

کلید واژگان: دریای خزر، اکوسیستم ساحلی، مازندران، خصوصیات کیفی آب، تحلیل چندمتغیره، تغییرات مکانی

مقدمه

مناطق ساحلی به عنوان یکی از اجزای حیاتی اکوسیستم‌های آبی، منبع مهمی برای برخی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی نظیر آبی‌پروری، صیادی و صنعت گردشگری هستند (Kishino et al., 2005). با رشد جمعیت انسان و صنایع تجاری، حجم زیادی از مواد مغذی و آلودگی‌ها از منابع مختلف نظیر فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی وارد منابع دریایی می‌شوند (Wu et al., 2010). این وضعیت منجر به کاهش کیفیت آب، تنوع زیستی، تخریب زیستگاه‌های حیاتی اکوسیستم‌های ساحلی و به طور کلی کاهش در کیفیت زندگی ساکنان محلی می‌شود (Herrera-Silveira and Morales-Ojeda, 2009; Shirodkar et al., 2009). بنابراین برای حفاظت زیستگاه‌ها و ارزیابی اثرهای احتمالی ناشی از عوامل طبیعی و انسانی، شناخت الگوی‌های پیچیده فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و بررسی تغییرات آن‌ها بسیار ضروری بوده و می‌تواند نقش به سزایی در درک عملکرد و کارایی اکوسیستم‌های آبی داشته باشد (Wu et al., 2010; Dueri et al., 2009; MacLeod et al., 2008).

برنامه‌های پایش اکوسیستم‌های آبی منجر به ایجاد مجموعه بزرگ و پیچیده‌ای از داده‌ها شامل شاخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌شود که تفسیر و تحلیل آن‌ها به دلیل وجود روابط متقابل پنهان بین شاخصه‌ها و مکان‌ها مشکل است (Huang et al., 2011). به طور متداول برای تعیین کیفیت آب و الگوی جامعه پلانکتون در اکوسیستم‌های آبی، از رویکردهایی نظیر شاخص‌های زیستی، طبقه‌بندی کیفی، روش‌های آماری یک و چندمتغیره استفاده می‌شود (Chouhury and Pal, 2010; Wu et al., 2010).

بیش‌تر برای آسان‌تر کردن تجزیه مقایسه‌ای جوامع زیستی به کار می‌روند. در روش‌های طبقه‌بندی کیفی، از مجموعه‌های طبقه‌بندی شده استاندارد استفاده می‌شود و اغلب اکوسیستم‌های آبی بین طبقات مختلف تروفي و آلودگی قرار می‌گیرند. هر دوی این روش‌ها از دقت کافی در تعیین کیفیت آب برخوردار نیستند و ممکن است سبب ابهاماتی در تفسیر وضعیت اکوسیستم‌ها شوند (Icaga, 2007). روش‌های آماری یک متغیره توانایی در نظر گرفتن اثر چندمتغیر محیطی به طور هم‌زمان بر یک متغیر وابسته را ندارند، از این رو برای ارزیابی پدیده‌های اکولوژیکی مناسب نیستند. روش‌های آماری چند متغیره به واسطه توانایی آن‌ها در بررسی چندین متغیر اثرگذار به طور هم‌زمان و تعیین اهمیت نسبی هر متغیر، عملکرد به نسبت مطلوبی برای ارزیابی رویدادهای اکولوژیکی دارند (Bierman et al., 2011). این روش‌ها نه تنها در زمینه تحلیل اکوسیستم‌های آبی (ساحلی و رودخانه‌ای)، بلکه در دیگر حوزه‌های علم برای کشف روابط در ساختارهای پیچیده و در برخی موارد به منظور پیش‌بینی وضعیت آینده به کار می‌روند (Bierman et al., 2011; Chouhury and Pal, 2010). از مهم‌ترین روش‌های چند متغیره می‌توان به تحلیل خوشه‌بندی^۱، تحلیل ممیزی^۲ و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و عاملی^۳ اشاره کرد (Bierman et al., 2011).

دریای بسته خزر بزرگ‌ترین دریاچه لب شور جهان است (Grigorovich et al., 2003). این دریاچه به واسطه موقعیت جغرافیایی، جدا شدن از اقیانوس‌ها، ترکیب و میزان شوری، نوع گونه‌های زیستی و تعداد گونه‌های بومی (۴۲ درصد)، به عنوان یک اکوسیستم منحصر به فرد در جهان

1. Cluster analysis
2. Discriminant analysis
3. Factor analysis

مطرح است (Volovik and Korpakova, 2004). این اکوسیستم بر اساس جغرافیای فیزیکی و زمین‌شناسی کف به ۳ قسمت خزر شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می‌شود (Cretéux and Birkett, 2006; Shiganova et al., 2004). بر اساس مطالعات گذشته، وضعیت کیفیت آب در مناطق ساحلی خزر جنوبی از الیگوتروفی به مزوتروفی و یوتروفی تغییر کرده است (Nasrollahzadeh et al., 2008a). به دلیل تراکم جمعیتی زیاد، توسعه شهری و برخی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی نظیر گردشگری، کشاورزی، صید ماهیان، آبی‌پروری گسترده در رودخانه‌های منتهی به دریای خزر و آغاز پرورش ماهیان در قفس در سواحل آن، استخراج نفت و نبود سیستم‌های تصفیه فاضلاب در امتداد سواحل جنوبی دریای خزر، مدیریت کیفیت آب در این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است (Shahrban and Etemad-Shahidi, 2010; Korshenko and Gul, 2005). در این تحقیق، از روش‌های آماری تحلیل خوشه‌بندی و ممیزی برای شناسایی الگوهای مکانی مشابه و متفاوت سواحل مازندران و همچنین از روش آماری تحلیل عاملی برای شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات مکانی کیفی آب استفاده شد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی عملکرد روش‌های آماری چند متغیره در شناسایی الگوی تغییرات کیفیت آب سواحل مازندران، استخراج اطلاعات پنهان درباره تشابه و عدم تشابه مکان‌های نمونه‌برداری و شناسایی منابعی که منجر به تغییرات مکانی در کیفیت آب سواحل مازندران می‌شود، انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده سواحل استان مازندران در دریای خزر بین عرض شمالی ۵۹° تا ۶۱° و ۹۳° تا ۶۶° و ۲۴° طول شرقی قرار گرفته است. این مطالعه به مدت ۳ ماه در

فصل تابستان در ۴ خط مطالعاتی عمود بر ساحل (ترانسکت) شامل امیرآباد (A)، بابلسر (B)، نوشهر (N) و رامسر (R) هر کدام در ۴ ایستگاه در سال ۱۳۹۱ انجام شد (شکل ۱).

شاخصه‌های کیفی آب

نمونه‌برداری به صورت ماهیانه از لایه‌های متفاوت در ۴ ایستگاه مستقر در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر انجام شد. شماره‌گذاری ایستگاه‌ها و لایه به ترتیب زیر است: ایستگاه ۱: عمق ۵ متر، لایه ۰-۵ (۱۱). ایستگاه ۲: عمق ۱۰ متر، لایه ۰-۵ (۲۱) و ۵-۱۰ (۲۲). ایستگاه ۳: عمق ۲۰ متر، لایه ۰-۵ (۳۱)، ۵-۱۰ (۳۲)، ۱۰-۲۰ (۳۳). ایستگاه ۴: عمق ۵۰ متر، لایه‌های ۰-۵ (۴۱)، ۵-۱۰ (۴۲)، ۱۰-۲۰ (۴۳)، ۲۰-۳۵ (۴۴)، ۳۵-۵۰ (۴۵). برای سنجش مواد مغذی، آب از لایه‌های مختلف با نمونه‌بردار نپسکین (Niskin, Hydro-Bios Coporation) ۵ لیتری برداشته شد. نمونه آب در بطری‌های ۰/۵ لیتری پلاستیکی تیره ریخته و سپس بطری‌ها با پوششی از یخ، بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شد. مواد مغذی آب شامل آمونیوم، نیتريت، نترات، نیتروژن آلی، نیتروژن کل، فسفات، فسفر آلی، فسفر کل و سیلیس براساس روش‌های استاندارد APHA (۲۰۰۵)^۴، ترکیب شوری و محدوده شاخصه‌های موردنظر در دریای خزر با اسپکتروفتومتر (PerkinElmer Co, Lambda 25 system) سنجش شدند. سطوح عمودی شاخصه‌های کدورت، درجه حرارت، اکسیژن محلول، شوری، هدایت الکتریکی، کلروفیل α و pH با استفاده از دستگاه میدانی CTD (مدل Idronaut Ocean Seven 316) مجهز به سنسورهای چندگانه سنجش شد. برای سنجش شاخصه‌ها در هر از مرحله نمونه‌برداری، ابتدا

۴. American Public Health Association Publication

سنسورهای دستگاه کالیبره و سپس به داخل آب رها می‌شد. داخل ستون آب، شاخصه‌های موردنظر با فاصله زمانی یک ثانیه ثبت و ذخیره می‌گردید. پس از اتمام عملیات نمونه‌برداری، داده‌های خام ثبت شده در دستگاه CTD با استفاده از نرم‌افزار Hyperterminal به رایانه انتقال داده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از چند روش آماری چند متغیری شامل تحلیل عاملی (روش استخراج: تحلیل مؤلفه اصلی^۵)، تحلیل خوشه‌ای (روش Ward و معیار فاصله Block به عنوان معیار سنجش تشابه و تفاوت) و تحلیل ممیزی (روش گام به گام^۶) برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. با توجه به ساختار تو در تو داده‌ها در تحقیق حاضر، برای سنجش میزان اثر مقیاس‌های مکانی (ترانسکت، ایستگاه و لایه) بر شاخصه‌های کیفی آب از تجزیه واریانس آشیانه‌ای^۷ استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها در گروه‌های تفکیک شده حاصل از تحلیل خوشه‌ای، از آزمون آماری دانکن در سطح اعتماد ۵ درصد استفاده شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات فوق با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) و MINITAB (نسخه ۱۴) انجام شد.

نتایج

نتایج تحلیل خوشه‌ای (نمودار درختی) نشان داد که ترانسکت‌ها (۴)، ایستگاه‌ها (۱۶) و لایه‌های بررسی‌شده (۴۴) در ۵ گروه مشخص قرار گرفتند.

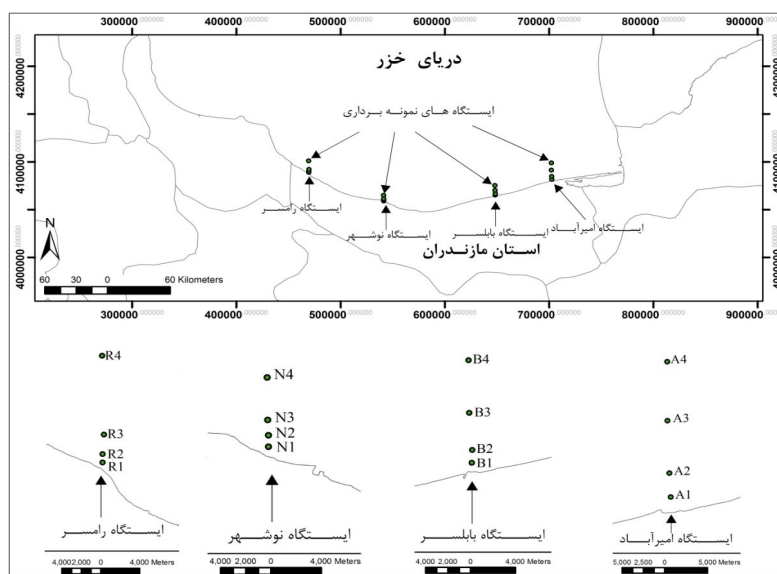
گروه اول مربوط به لایه ۵۰-۳۵ متری از ایستگاه ۵۰ متر همه ترانسکت‌ها (A۴۵، R۴۵، B۴۵ و N۴۵)، گروه دوم مربوط به ایستگاه ۵ متر همه ترانسکت‌ها (B۱۱، N۱۱، A۱۱ و R۱۱)، گروه سوم مربوط به اکثریت لایه‌های سطحی ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد به غیر از ایستگاه ۵ متر (A۳۱، A۳۲، A۴۱، A۴۲، N۴۲، N۴۳، N۴۱، B۲۲، B۳۲، B۳۳، B۲۱، B۳۱، B۴۱ و N۳۱)، گروه چهارم شامل اکثریت لایه‌های عمقی ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد به غیر از لایه ۵۰-۳۵ متر (N۴۴، B۴۴، A۴۳، A۴۴، A۲۲، A۳۳، N۳۲، A۲۱، N۲۲، N۳۳، B۴۳ و N۲۱) و گروه پنجم شامل همه ایستگاه‌ها و لایه‌های ترانسکت رامسر به غیر از ایستگاه ۵ متر و لایه ۵۰-۳۵ متر (R۲۱، R۴۳، R۴۱، R۳۳، R۴۴، R۳۱، R۳۲، R۲۱ و R۲۲) است (شکل ۲). میانگین شاخصه‌های کیفی آب در گروه‌های تفکیک شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی صحت طبقه‌بندی بر اساس تحلیل ممیزی، حاکی از تطابق ۱۰۰ درصدی گروه‌های اول، دوم و پنجم با نتایج تحلیل ممیزی است، درحالی‌که ۶/۷ درصد مکان‌های گروه چهارم باید در گروه سوم و حدود ۴۱/۷ درصد مکان‌های گروه سوم باید در گروه چهارم قرار می‌گرفتند. به‌طور کلی ۸۶/۴ درصد از مکان‌ها بر مبنای تحلیل ممیزی، به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۲).

5. Principal component analysis

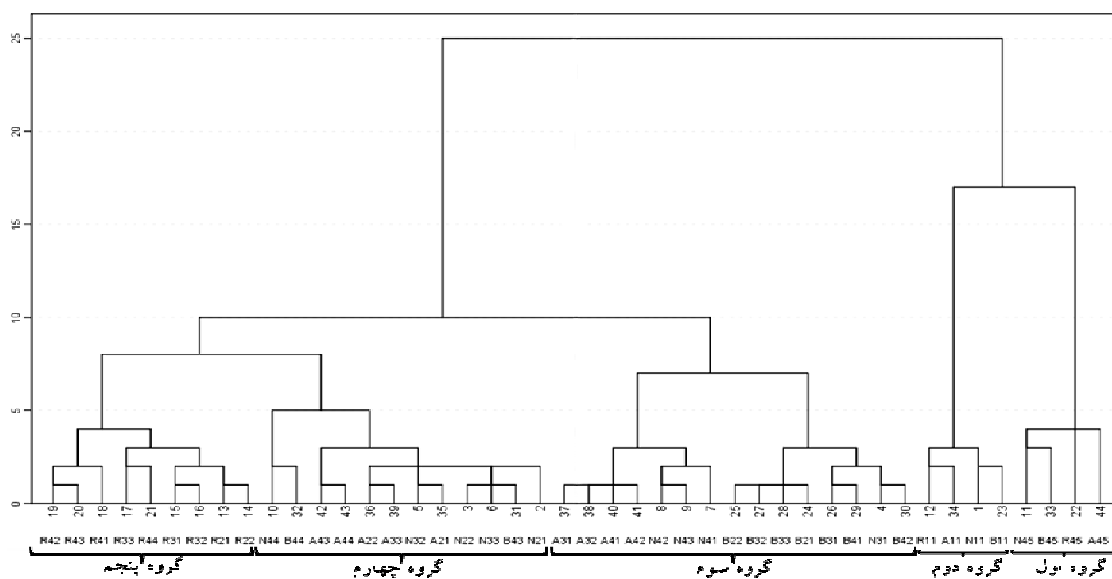
6. Stepwise

7. Fully nested ANOVA



شکل ۱ موقعیت ترانسکت‌ها و ایستگاه‌های نمونه برداری در سواحل مازندران از حوزه جنوبی دریای خزر

^۱ امیرآباد (A)، بابلسر (B)، نوشهر (N) و رامسر (R)، ایستگاه ۱: عمق ۵ متر، لایه ۵-۰ (۱۱). ایستگاه ۲: عمق ۱۰ متر، لایه ۵-۰ (۲۱) و ۱۰-۵ (۲۲). ایستگاه ۳: عمق ۲۰ متر، لایه ۵-۰ (۳۱)، ۱۰-۵ (۳۲)، ۲۰-۱۰ (۳۳). ایستگاه ۴: عمق ۵۰ متر، لایه‌های ۵-۰ (۴۱)، ۱۰-۵ (۴۲)، ۲۰-۱۰ (۴۳)، ۳۵-۲۰ (۴۴)، ۵۰-۳۵ (۴۵).



شکل ۲ نمودار درختی تفکیک مکان‌های مختلف (ترانسکت، ایستگاه و لایه) بر اساس روش Ward's در سواحل مازندران^۱

جدول ۱ میانگین شاخصه‌های کیفی آب در گروه‌های تفکیک شده

شاخصه/گروه‌ها	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم	گروه پنجم
آمونیم ($\mu\text{g/l}$)	۲۳/۳۱±۳/۶۴ ^a	۲۲/۸۷±۲/۰۵ ^a	۱۹/۸۲±۱/۰۰ ^a	۱۹/۵۴±۰/۹۷ ^a	۲۳/۶۷±۱/۳۳ ^a
نیتريت (کل) ($\mu\text{g/l}$)	۱/۲۹±۰/۱۱ ^a	۰/۹۹±۰/۰۳ ^b	۰/۱۶±۰/۰۲ ^d	۰/۵۳±۰/۰۹ ^c	۰/۳۷±۰/۰۹ ^{cd}
نیترات ($\mu\text{g/l}$)	۲۵/۹۰±۲/۸۹ ^a	۱۸/۲۶±۰/۵۵ ^b	۱۰/۶۴±۱/۲۱ ^{cd}	۱۵/۴۶±۱/۸۴ ^{bc}	۸/۷۰±۰/۸۵ ^d
نیتروژن آلی ($\mu\text{g/l}$)	۳۰۰/۰۴±۴۷/۰۹ ^{ab}	۳۱۳/۶۸±۱۸/۰۰ ^a	۱۷۹/۵۷±۶/۸۴ ^d	۲۴۴/۸۸±۸/۵۲ ^c	۲۵۸/۵۳±۱۷/۲۰ ^{bc}
نیتروژن کل ($\mu\text{g/l}$)	۳۵۰/۵۵±۴۴/۴۲ ^a	۳۵۵/۸۱±۱۸/۹۷ ^a	۲۱۰/۲۱±۶/۸۴ ^c	۲۸۰/۴۳±۸/۳۴ ^b	۲۹۱/۰۴±۱۷/۶۳ ^b
فسفات ($\mu\text{g/l}$)	۱۷/۱۶±۱/۲۸ ^b	۲۱/۳۵±۰/۶۷ ^a	۱۳/۶۵±۰/۳۵ ^c	۱۵/۵۰±۰/۴۹ ^{bc}	۱۴/۲۸±۰/۴۱ ^c
فسفر آلی ($\mu\text{g/l}$)	۵۶/۶۱±۴/۰۰ ^b	۶۹/۱۳±۷/۲۰ ^a	۵۴/۱۲±۲/۲۴ ^b	۵۶/۱۰±۱/۵۷ ^b	۷۲/۱۴±۱/۱۷ ^a
فسفر کل ($\mu\text{g/l}$)	۷۳/۷۷±۴/۱۷ ^b	۹۰/۴۸±۷/۷۳ ^a	۶۷/۷۷±۱/۹۷ ^b	۷۱/۶۰±۱/۵۶ ^b	۸۶/۴۱±۱/۳۴ ^a
سیلیس ($\mu\text{g/l}$)	۲۸۰/۱۱±۳۰/۱۵ ^{ab}	۳۱۰/۱۶±۱۸/۷۹ ^a	۲۰۱/۶۸±۱۰/۷۸ ^c	۲۱۲/۱۲±۵/۸۷ ^c	۲۴۴/۴۴±۱۳/۹۷ ^{bc}
درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)	۱۱/۷۹±۰/۲۰ ^c	۲۸/۹۶±۰/۰۸ ^a	۲۸/۵۹±۰/۱۱ ^{ab}	۲۷/۲۹±۰/۴۹ ^b	۲۸/۲۶±۰/۴۶ ^{ab}
هدایت الکتریکی ($\mu\text{mos/cm}$)	۱۴/۰۵±۰/۰۴ ^c	۲۰/۱۶±۰/۰۸ ^{ab}	۲۰/۲۲±۰/۰۴ ^a	۱۹/۶۸±۰/۱۹ ^b	۲۰/۰۹±۰/۱۶ ^{ab}
شوری (g/l)	۱۲/۱۹±۰/۱۰ ^a	۱۲/۰۱±۰/۰۷ ^b	۱۲/۲۶±۰/۰۱ ^a	۱۲/۲۷±۰/۰۳ ^a	۱۲/۲۴±۰/۰۰ ^a
اکسیژن محلول (mg/l)	۱۱/۵۶±۰/۲۴ ^a	۸/۴۷±۰/۰۹ ^b	۸/۳۷±۰/۰۷ ^b	۸/۵۵±۰/۱۲ ^b	۸/۶۸±۰/۰۸ ^b
pH	۸/۶۳±۰/۰۴ ^a	۸/۳۳±۰/۰۵ ^d	۸/۳۹±۰/۰۱ ^c	۸/۴۳±۰/۰۱ ^{bc}	۸/۴۶±۰/۰۰ ^b
کلروفیل α ($\mu\text{g/l}$)	۰/۸۵±۰/۱۱ ^b	۱/۰۳±۰/۰۸ ^{ab}	۰/۹۸±۰/۰۵ ^{ab}	۱/۱۶±۰/۰۵ ^a	۱/۰۷±۰/۰۵ ^{ab}
کدورت (FTU)	۱/۶۷±۰/۱۶ ^b	۹/۶۴±۱/۰۸ ^a	۲/۳۹±۰/۱۱ ^b	۲/۷۳±۰/۳۸ ^b	۲/۸۱±۰/۳۵ ^b

میانگین $\text{SE} \pm$ حروف غیرهمسان در هر ردیف نشانه اختلاف معنادار است ($p > 0.05$)

تحلیل عاملی از شاخصه‌های کیفی آب در ترانسکت‌ها، ایستگاه‌ها و لایه‌های بررسی‌شده در سواحل مازندران (جدول ۳) نشان داد که در مجموع ۵ مؤلفه اصلی، ۸۷/۵۳ درصد از کل تغییرات را شرح می‌دهند. مؤلفه اول ۳۶/۷۲ درصد از کل تغییرات را محاسبه کرد که درباره بارگذاری عاملی^۸ مثبت قوی نیتريت، نیتروژن آلی، نیتروژن کل و اکسیژن محلول، بارگذاری مثبت متوسط نیترات، سیلیس، فسفات، pH و بارگذاری منفی قوی درجه حرارت و هدایت الکتریکی است. مؤلفه دوم ۲۳/۶۹ درصد از تغییرات کل شاخصه‌های کیفی آب را توضیح داد که

درخصوص بارگذاری مثبت قوی کدورت و فسفر کل، بارگذاری متوسط فسفر آلی، درجه حرارت و هدایت الکتریکی، بارگذاری مثبت ضعیف فسفر معدنی و سیلیس، بارگذاری منفی متوسط pH و بارگذاری منفی ضعیف اکسیژن محلول است. مؤلفه سوم ۱۱/۴۸ درصد از تغییرات را تشریح می‌کند که شامل بارگذاری مثبت متوسط کلروفیل α و بارگذاری مثبت ضعیف آمونیم، شوری و pH و بارگذاری منفی ضعیف نیترات است. مؤلفه چهارم ۹/۲۹ درصد از تغییرات کل را توضیح می‌دهد که مربوط به بارگذاری مثبت متوسط کلروفیل α ، بارگذاری مثبت ضعیف آمونیم و فسفات و بارگذاری منفی ضعیف سیلیس و فسفر آلی است. مؤلفه پنجم ۶/۳۳ درصد از

8. Factor loading

تغییرات کل را شرح می‌دهد که درباره بارگذاری مثبت ضعیف شوری و بارگذاری منفی متوسط آمونیوم است.

جدول ۲ درصد تطابق طبقه‌بندی مکان‌ها بر اساس گروه‌های شناسایی شده با تحلیل ممیزی

داده‌های اصلی		عضویت گروه‌های پیش‌بینی شده						
گروه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع		
درصد	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱	درصد
۲	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۲	
۳	۰	۰	۹۳/۳	۶/۷	۰	۱۰۰	۳	
۴	۰	۰	۴۱/۷	۵۸/۳	۰	۱۰۰	۴	
۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۵	
تعداد	۴	۰	۰	۰	۰	۴	۱	تعداد
۲	۰	۴	۰	۰	۰	۴	۲	
۳	۰	۰	۱۴	۱	۰	۱۵	۳	
۴	۰	۰	۵	۷	۰	۱۲	۴	
۵	۰	۰	۰	۰	۹	۹	۵	
صحت طبقه‌بندی کل: ۸۶/۴ درصد								

تحلیل واریانس آشیانه‌ای (جدول ۴) نشان داد که در بین مقیاس‌های مکانی (ترانسکت، ایستگاه و لایه)، لایه‌های ستون آب بیش‌ترین تأثیر (۶۱/۹۰ درصد) را در اختلاف‌های مکانی شاخصه‌های کیفی آب دارند. عامل ایستگاه (۲۳/۵۶ درصد) و ترانسکت به‌ترتیب در رده‌های بعدی اثرگذاری هستند. نتایج این تجزیه نشان داد که تغییرات مکانی شاخصه‌های آمونیوم، نیتريت، نیترات، نیتروژن آلی، نیتروژن کل، سیلیس، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و pH، بیش‌تر تحت تأثیر لایه‌های ستون آب است. عامل ایستگاه بیش‌ترین تغییرات

را در شاخصه‌های فسفات، فسفر کل، شوری و کدورت ایجاد کرد. تغییرات مکانی فسفر آلی بیش‌تر تحت تأثیر عامل ترانسکت بود. تغییرات کلروفیل α تقریباً به‌طور مساوی تحت تأثیر لایه و ترانسکت و همچنین تغییرات شوری متأثر از اثر تقریباً مساوی ایستگاه و لایه بود.

جدول ۳ تحلیل عاملی شاخصه‌های کیفی آب سواحل مازندران (تعداد=۴۴)

شاخص	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه پنجم
آمونیم	۰/۸۹۵	۰/۴۵۹	۰/۴۳۱	۰/۶۲۶	-۰/۶۲۶
نیتريت	۰/۸۹۵				
نیترات	۰/۶۶۹	۰/۴۶۹			
نیتروژن آلی	۰/۷۹۰				
نیتروژن کل	۰/۸۳۶				
فسفات	۰/۵۸۳	۰/۴۴۲	۰/۴۵۹		
فسفر آلی	۰/۶۸۷	۰/۴۸۶			
فسفر کل	۰/۷۵۷				
سیلیس	۰/۶۲۶	۰/۴۴۱	۰/۴۲۴		
درجه حرارت	-۰/۷۸۰	۰/۵۸۷			
هدایت الکتریکی	-۰/۷۹۳	۰/۵۶۷			
شوری		۰/۴۸۷	۰/۴۲۱		
اکسیژن محلول	۰/۷۸۸	-۰/۴۸۶			
pH	۰/۵۵۲	-۰/۵۳۴	۰/۴۱۸		
کلروفیل α		۰/۶۱۰	۰/۵۶۰		
کدورت	۰/۸۰۳				
مقادیر ویژه	۵/۸۷۷	۳/۷۹۱	۱/۸۳۸	۱/۴۸۷	۱/۰۱۴
درصد واریانس	۳۶/۷۲	۲۳/۶۹	۱۱/۴۸	۹/۲۹	۶/۳۳
درصد واریانس تجمعی	۳۶/۷۲	۶۰/۴۲	۷۱/۹۱	۸۱/۲۰	۸۷/۵۳

جدول ۴ تأثیر مکان‌ها بر تغییرات شاخصه‌های کیفی آب

سواحل مازندران بر اساس تجزیه واریانس آشیانه‌ای
(Fully nested ANOVA).

شاخصه/عامل تأثیرگذار	ترانسکت	ایستگاه	لایه
آمونیم	۱۳/۰۵*	۴/۵۰*	۶/۶۳*
	۲۰/۰۵	۱۱/۳۸	۶۸/۵۷
نیتريت	۱/۴۷	۲/۹۰*	۱۰/۵۸*
	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
نیترات	۱۲/۲۲*	۴/۷۷*	۶/۴۷*
	۱۸/۸۷	۱۴/۰۴	۶۷/۰۹
نیتروژن آلی	۱۳/۹۸*	۳/۲۷*	۷/۸۱*
	۲۰/۸۳	۰/۰۰	۷۹/۱۷
نیتروژن کل	۱۲/۰۸*	۳/۵۰*	۷/۷۹*
	۱۸/۰۰	۰/۳۲	۸۱/۶۷
فسفات	۳/۴۵	۱۴/۲۸*	۳/۹۲*
	۰/۰۰	۶۳/۶۳	۳۶/۳۶
فسفر آلی	۲۴/۳۷*	۱۵/۷۷*	۱/۹۳*
	۴۴/۵۸	۳۶/۹۰	۱۸/۵۲
فسفر کل	۱۹/۵۸*	۱۹/۴۱*	۱/۸۴*
	۳۵/۷۶	۴۶/۳۱	۱۷/۹۳
سیلیس	۱۲/۹۲*	۶/۷۱*	۵/۱۲*
	۲۰/۰۴	۲۷/۴۶	۵۲/۵۱
درجه حرارت	۱/۳۳	۲/۶۱*	۱۱/۱۷*
	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
هدایت الکتریکی	۱/۳۵	۲/۴۰*	۱۱/۲۹*
	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
شوری	۲/۵۱	۹/۶۶*	۶/۰۰*
	۰/۰۰	۵۲/۳۵	۴۶/۹۷
اکسیژن محلول	۳/۹۰*	۲/۳۴*	۱۰/۸۵*
	۱/۹۵	۰/۰۰	۹۸/۰۴
pH	۷/۷۵*	۵/۹۲*	۶/۵۳*
	۶/۳۰	۲۶/۴۵	۶۶/۱۱
کلروفیل α	۶۷/۱۰*	۱/۵۶	۶/۶۶*
	۴۶/۲۹	۰/۰۰	۵۳/۵۴
کلورت	۱/۸۹	۳۴۹/۵۳*	۰/۲۲
	۰/۰۰	۹۸/۲۵	۱/۷۵

۱- صورت کسر میزان فیشر (F) و مخرج کسر درصد اثرگذاری بر تغییرات شاخصه کیفی آب.

۲- علامت* نشان‌دهنده معنادار بودن اثر مکان‌ها بر تغییرات شاخصه‌هاست ($p < 0.05$).

بحث

بر اساس شاخصه‌های سنجش‌شده در این تحقیق، نتایج تحلیل خوشه‌ای ۵ ویژگی مکانی متمایز از هم را مشخص کرد. قرار گرفتن لایه ۵۰-۳۵ از ایستگاه ۵۰ متر همه ترانسکت‌ها در یک گروه جداگانه، احتمالاً ناشی از اثر تشکیل لایه ترموکلاین در فصل تابستان است. در این گروه شاخصه‌هایی نظیر اکسیژن محلول، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، pH، نیتريت و نیترات اختلاف قابل ملاحظه‌ای با دیگر گروه‌ها دارند. غلظت اکسیژن محلول به دلیل افزایش تولیدات بیولوژیکی تا عمق ۵۰ متر (لایه یوفوتیک) بالاست، پایین‌تر از عمق ۵۰ متر با افزایش عمق میزان اکسیژن به دلیل بالا بودن مصرف آن، کاهش می‌یابد (Nasrollahzadeh et al., 2008b; Peeters et al., 2000). با کاهش دما در زیر لایه ترموکلاین (۴۰-۳۰)، علاوه بر تولیدات بیولوژیکی، ظرفیت حلالیت اکسیژن در لایه ۵۰-۳۵ افزایش یافته و در نتیجه میزان اکسیژن افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. پروفیل عمودی و مقدار غلظت اکسیژن در این تحقیق با نتایج جمشیدی و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. افزایش میزان ترکیبات مغذی نیز در این لایه بیش‌تر به دلیل حضور همزمان دو عامل اکسیداسیون بالا ناشی از کاهش درجه حرارت و ارتباط با بستر دریاست (Liu et al., 2003b). قرار گرفتن ایستگاه ۵ متر همه ترانسکت‌ها در یک گروه جداگانه، می‌تواند ناشی از ورود مواد معلق، آلی و معدنی از طریق رودخانه‌ها و بنادر باشد. این خوشه بیش‌تر به واسطه افزایش قابل ملاحظه کدورت آب، مواد مغذی به‌ویژه ترکیبات فسفری، سیلیس، کاهش pH و شوری ازبقيه مکان‌ها جدا شده است. به‌طور کلی مقادیر مواد مغذی در گروه ۱ و ۲ اختلاف‌های کمی نسبت به همدیگر دارند اما با دیگر گروه‌ها اختلاف زیاد است. مشابه نتایج این تحقیق،

طبقه‌ای جداگانه احتمالاً به دلیل میزان مواد آلی زیاد به‌ویژه فسفر آلی است. استقرار سیستم پرورش در قفس ماهیان از طرف سازمان شیلات ایران (۹۰۰ متر فاصله با ترانسکت رامسر)، خروجی رودخانه‌ها و وقوع رخداد شکوفایی جلبکی و ته‌نشین شدن لاشه جلبک‌ها در منطقه رامسر می‌تواند از عوامل اصلی وجود مقادیر زیاد مواد آلی باشد. با توجه به اطلاعات موجود، تحقیق دربارهٔ اثرهای سیستم پرورش ماهی در قفس در دریای خزر انجام نشده است. اما مطالعات در اکوسیستم‌های مختلف از جمله جهانی و همکاران (۲۰۱۲) در خلیج فارس، Huang و همکاران (۲۰۱۱) در خلیج ماگنوک وان^۹ (تایوان) و Demétrio و همکاران (۲۰۱۲) در سد مخزنی روسانا^{۱۰} (برزیل) نشان داده است که سیستم پرورش ماهیان در قفس سبب افزایش بار آلی به‌ویژه فسفر آلی در آب و بستر می‌شود. در طی سال‌های اخیر شکوفایی جلبکی مضر نظیر *Nodularia harveyana* و *Nodularia spumigena* از سیانوباکترها در تابستان سال ۱۳۸۴، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ بیش‌تر در قسمت غربی سواحل جنوبی خزر در منطقه نوشهر، تنکابن و انزلی مشاهده شد (گنجیان، ۲۰۱۱؛ مؤسسه تحقیقات شیلات ایران، ۱۳۸۹). از آنجایی‌که این جلبک‌ها توانایی ذخیره‌سازی فسفر را دارند (Smith et al., 2008)، بدون شک لاشه این جلبک‌ها پس از مرگ می‌تواند سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای از فسفر آلی در آب شود. همچنین می‌توان نوع زمین‌شناسی کف و جریان‌های دریایی در این منطقه را هم در انباشت مواد آلی دخیل دانست. نتایج تحلیل واریانس آشیانه‌ای نیز نشان داد که تغییرات مکانی فسفر آلی بیش‌تر تحت تأثیر عامل ترانسکت بود. از این لحاظ نتایج این دو آزمون منطبق بر هم هستند و مطالعات بیش‌تر

جمشیدی و Abu Bakar (۲۰۱۲) و زاگر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مقادیر شاخصه‌ها در فصل تابستان در سواحل غربی و شرقی دریای خزر بیش‌تر تحت تأثیر خروجی رودخانه‌ها و لایه‌بندی ستون آب (ترموکلاین در عمق ۳۰-۴۰ متر) است. گروه سوم مربوط به اکثریت لایه‌های سطحی ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد به غیر از ایستگاه ۵ متر است. با توجه به طبقه‌بندی ستون آب در فصل تابستان ارتباط لایه‌های سطحی و کف کاهش می‌یابد. در نتیجه در لایه‌های بالایی غلظت مواد مغذی کم است. قرار گرفتن لایه‌های عمقی ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد به غیر از لایه ۳۵-۵۰ متر در یک خوشه مشخص به طبقه‌بندی ستون آب در ایستگاه ۵۰ متر و ارتباط با بستر دریا در ایستگاه‌های ۵-۱۰-۲۰ متر در فصل تابستان برمی‌گردد. در این مطالعه، کم‌ترین میزان تطابق (۵۸/۳ درصد) با نتایج صحت سنجی تحلیل ممیزی مربوط به این خوشه است. این تطابق متوسط احتمالاً مربوط به نفوذ بیش‌تر خروجی‌های خشکی به دریا در دو منطقه نوشهر (Mohammadizadeh et al., 2010) و امیرآباد (Mohammadizadeh et al., 2010; Heydari, 1999) است که لایه‌های سطحی ایستگاه‌های ۱۰ و ۲۰ متر (A۲۱، N۲۱ و N۳۲) این مناطق شبیه لایه‌های عمقی آن‌هاست. از طرف دیگر قرارگیری لایه عمقی رامسر در خوشه پنجم هم سبب کاهش میزان تطابق این گروه شده است. در این مطالعه با وجود این‌که ترانسکت‌ها از هم فاصله داشتند (۱۰۰ کیلومتر)، اما بر اساس شاخصه‌های این تحقیق تفاوت قابل ملاحظه‌ای در بین نوشهر، بابلسر و امیرآباد مشاهده نشد. تنها ایستگاه‌ها و لایه‌های ترانسکت رامسر (به غیر از ایستگاه ۵ متر و لایه ۳۵-۵۰ متر)، به‌عنوان خوشهٔ جداگانه تفکیک شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۱)، جدا شدن منطقه رامسر به‌عنوان

9. Magongwan
10. Rosana

در زمینه شناسایی مبدأ و بالا بودن میزان مواد آلی در این منطقه نیاز است.

آزمون همبستگی پیرسون (جدول ۵) نشان می‌دهد که در مؤلفه اول تحلیل عاملی، ترکیبات نیتروژنی (نیتريت، نترات، نیتروژن آلی و نیتروژن کل)، pH و اکسیژن محلول با همدیگر همبستگی مثبت معنادار و با درجه حرارت همبستگی منفی معناداری دارند. وجود چنین الگوی تغییراتی نشان‌دهنده این واقعیت است که تغییرات شاخصه‌های کیفی فوق به شیب دمایی ایجاد شده (لایه ترموکلاين) در فصل تابستان وابسته است که به واسطه آن از ورود مواد مغذی از لایه‌های پایینی به لایه‌های بالاتر ممانعت می‌شود. از این رو این مؤلفه را می‌توان به عنوان مؤلفه لایه ترموکلاين نام‌گذاری کرد. به طور مشابهی تجزیه واریانس آشیانه‌ای و تحلیل عاملی نیز اثر لایه ترموکلاين بر تغییرات مکانی شاخصه‌های کیفی آب را تأیید کردند. در مؤلفه دوم نوترینت‌ها (فسفرکل، فسفر آلی، فسفات و سیلیس) به طور معناداری با همدیگر و با کدورت همبستگی مثبت دارند. وجود چنین همبستگی بالای بین کدورت و نوترینت‌ها نشان‌دهنده وجود یک منبع مشترک است. با توجه به این که بالاترین میزان کدورت آب در ایستگاه‌های نزدیک ساحل (به‌ویژه ۵ متر)، مشاهده شده است می‌توان نتیجه گرفت که بالا بودن کدورت این ایستگاه‌ها ناشی از ورود مواد معلق از رودخانه‌هاست. از این رو می‌توان رودخانه‌ها را به عنوان منبع نوترینت‌ها (Samadi-mybodi et al., 2013; Pourkazemi, 2006) به‌ویژه ترکیبات فسفر نامید. Wu و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ورود فاضلاب‌های خانگی به‌ویژه شوینده‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و رواناب کودهای شیمیایی به دریا سبب افزایش میزان فسفات در ستون

آب می‌شود. به علاوه غلظت زیاد فسفات می‌تواند نشان‌دهنده حضور دائمی آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان رودخانه‌ای نامید. در مطابقت با نتایج مطالعه حاضر، نصراله‌زاده و همکاران (۲۰۰۸a) گزارش کرده‌اند که بالا بودن مقادیر تروفي (بالا بودن نوترینت‌ها) در ایستگاه‌های نزدیک ساحل در مقایسه با ایستگاه‌های دور از ساحل می‌تواند درخصوص رودخانه‌های حوزه جنوبی خزر باشد. در مؤلفه سوم همبستگی منفی بین کلروفیل α و نترات نشان‌دهنده این واقعیت است که با حضور بیش‌تر فیتوپلانکتون‌ها میزان نترات بیش‌تری مصرف می‌شود که این وضعیت بیش‌تر مربوط به لایه‌های سطحی و میانی ایستگاه‌ها (بالای ترموکلاين) است. بنابراین این مؤلفه را می‌توان تولید وابسته به نترات نامید. در مؤلفه چهارم بین کلروفیل α و سیلیس همبستگی منفی معناداری وجود دارد که نشان‌دهنده مصرف سیلیس به وسیله فیتوپلانکتون است که این وضعیت هم شبیه نترات بیش‌تر مربوط به لایه‌های سطحی و میانی ایستگاه‌هاست. بنابراین این مؤلفه را می‌توان تولید وابسته به سیلیس نامید. درخصوص میزان تولید و رشد فیتوپلانکتون‌ها، نصراله‌زاده و همکاران (۲۰۰۸b) طی مقایسه اکوسیستم خزر جنوبی پیش و پس از ورود شانه‌دار *Mnemiopsis leidyi* به‌طور مشابهی گزارش کردند که رشد فیتوپلانکتون در خزر جنوبی با ترکیبات نیتروژنی محدود می‌شود. در بین این مؤلفه‌ها ارتباط معناداری بین کلروفیل α و ترکیبات فسفر وجود ندارد. این مسئله نشان‌دهنده این است که احتمالاً فسفات و ترکیبات آلی فسفر به‌عنوان عامل محدودکننده تولید در اکوسیستم ساحلی مازندران نیست که از این حیث هم با نتایج نصراله‌زاده و همکاران (۲۰۰۸b)

مطابقت دارد. در مؤلفه پنجم همبستگی معناداری بین آمونیوم و شوری و همچنین دیگر شاخصه‌ها وجود ندارد. بنابراین این مؤلفه اثرگذاری و غالب بودن آمونیوم را پیشنهاد می‌کند. جدول ۱ نشان می‌دهد که غلظت آمونیوم بین گروه‌ها تفکیک شده با تحلیل خوشه‌ای اختلاف معناداری ندارد و این نشان می‌دهد که آمونیوم در همه مکان‌ها تقریباً مشابه است. با توجه به لایه‌بندی ستون آب در تابستان عدم تفاوت غلظت آمونیوم نشان‌دهنده وابستگی آن به چند منبع است. در ایستگاه‌های نزدیک ساحل تجزیه فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی وارد شده از رودخانه‌ها و آلودگی

نفتی ناشی از آب توازن کشتی‌ها در خروجی بنادر سواحل استان (امیرآباد، نوشهر و فریدونکنار) (Mohammadizadeh et al., 2010; Nouri et al., 2008)، در لایه‌های پایینی ایستگاه‌های دور از ساحل وجود مواد آلی و تجزیه آن‌ها و در لایه‌های بالایی ایستگاه‌های دور از ساحل، آمونیوم دفعی از شانه‌دار *M. leidy* (Shiganova et al., 2003) که بیش‌ترین تراکم آن در فصل تابستان است (Roohi et al., 2010)، به‌عنوان منابع اصلی تولیدکننده آمونیوم مطرح هستند.

جدول ۵ همبستگی بین پارامترهای کیفی آب سواحل مازندران (تعداد=۴۴)

شاخصه	کدورت	کلروفیل α	pH	اکسیژن محلول	شوری	هدایت الکتریکی	درجه حرارت	سیلیس	فسفر کل	فسفر آلی	فسفات	نیترژن کل	نیترژن آلی	نیترژن	نیترژن	آمنیوم
آمنیوم	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۱
نیتريت	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۳۸*	۰/۶۳*	۰/۳۳*	۰/۷۰*	۰/۶۸*	۰/۵۹*	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۴۹*	۰/۶۸*	۰/۶۳*	۰/۷۷*	۱	
نیتريت	۰/۰۱	۰/۳۰*	۰/۳۱*	۰/۵۰*	۰/۲۲	۰/۶۶*	۰/۶۵*	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۴*	۰/۴۰*	۰/۳۲*	۱		
نیترژن آلی	۰/۳۶*	۰/۱۹	۰/۳۲*	۰/۴۳*	۰/۱۸	۰/۳۶*	۰/۳۵*	۰/۵۷*	۰/۵۳*	۰/۴۱*	۰/۵۹*	۰/۹۹*	۱			
نیترژن کل	۰/۳۵*	۰/۱۶	۰/۳۶*	۰/۴۸*	۰/۲۰	۰/۴۳*	۰/۴۱*	۰/۵۷*	۰/۴۹*	۰/۳۷*	۰/۶۰*	۱				
فسفات	۰/۷۰*	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۵۰*	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۳۷*	۰/۳۳*	۰/۱۰	۱					
فسفر آلی	۰/۳۶*	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۵۲*	۰/۹۷*	۱						
فسفر کل	۰/۵۱*	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۵۹*	۱							
سیلیس	۰/۴۲*	۰/۳۳*	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۳۰*	۰/۲۷	۰/۲۵	۱								
درجه حرارت	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۷۲*	۰/۹۴*	۰/۰۳	۰/۹۹	۱									
هدایت الکتریکی	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۷۱*	۰/۹۴*	۰/۰۵	۱										
شوری	۰/۶۳	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۱											
اکسیژن محلول	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۷۳*	۱												
pH	۰/۳۳*	۰/۰۷	۱													
کلروفیل α	۰/۱۲	۱														
کدورت	۱															

علامت * نشان‌دهنده معنادار بودن همبستگی بین شاخصه‌هاست ($p < 0.05$).

تشکر و قدردانی

از مدیریت و کارکنان محترم دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، حراست منابع آبزیان استان مازندران، سازمان زمین‌شناسی، مرکز ملی اقیانوس‌شناسی و پژوهشکده اکولوژی دریای خزر که در فراهم کردن امکانات این تحقیق نهایت همکاری را مبذول داشتند، تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از آقایان دکتر حامد یوسف‌زاده، مهدی غلامعلی فرد و اسماعیل قجر به دلیل همکاری علمی مفیدشان قدردانی می‌گردد.

منابع

- APHA (American Public Health Association), 2005. Standard method for examination of water and wastewater. 18th edition. American public health association publisher, Washington, USA.
- Bierman, P., Lewis, M., Ostendorf, B. and Tanner, J. 2011. A review of methods for analysing spatial and temporal patterns in coastal water quality, *Ecological Indicators*, 11: 103-114.
- Choudhury, A. K. and Pal, R. 2010. Phytoplankton and nutrient dynamics of shallow coastal stations at Bay of Bengal, Eastern Indian coast, *Aquatic Ecology*, 44: 55-71.
- Crétau, J. and Birkett, C. 2006. Lake studies from satellite radar altimetry, *Comptes Rendus Geoscience*, 338: 1098-1112.
- Demétrio, J. A., Gomes, L. C., Latini, J. D. and Agostinho, A. A. 2012. Influence of net cage farming on the diet of associated wild fish in a Neotropical reservoir, *Aquaculture*, 330: 172-178.
- Dueri, S., Dahllöf, I., Hjorth, M., Marinov, D. and Zaldívar, J. M. 2009. Modeling the combined effect of nutrients and pyrene on the plankton population: Validation using mesocosm experiment data and scenario analysis, *Ecological Modelling*, 220: 2060-2067.
- Ganjian-khenari, A. 2011. Temporal distribution and composition of phytoplankton in the southern part of Caspian Sea in Iranian water from 1994 to 2007. PhD thesis. University Sciences Malaysia. pp 248.
- Grigorovich, I. A., Therriault, T. W. and MacIsaac, H. J. 2003. History of aquatic

نتایج این تحقیق نشان داد که تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای و تجزیه واریانس آشیانه‌ای نتایج تقریباً مشابهی به‌دست آوردند و نتایج همدیگر را تأیید کردند. تحلیل خوشه‌ای و ممیزی طبقه‌بندی سودمندی از آب‌های ساحلی در سواحل مازندران تهیه کردند به‌طوری‌که از آن‌ها می‌توان برای طراحی یک شبکه پایش مکانی مطلوب با هزینه کم‌تر استفاده کرد. به‌طور مشابهی Huang و همکاران (۲۰۱۱) در شبه جزیره ماکائو، Zhou و همکاران (۲۰۰۷) در آب‌های ساحلی هنگ‌کنگ و Simeonov و همکاران (۲۰۰۳) در رودخانه‌های شمال یونان نیز گزارش کردند که تحلیل خوشه‌ای برای طراحی مطلوب شبکه پایش مناسب است. بر طبق نتایج تحقیق حاضر، بر اساس تحلیل خوشه‌بندی، تعداد مکان‌های نمونه‌برداری می‌تواند به ۲ ترانسکت رامسر و یکی از ۳ ترانسکت نوشهر، بابلسر و امیرآباد کاهش یابد. تحلیل عاملی نیز به‌طور موفقیت‌آمیزی منابع بالقوه اثرگذار کیفیت آب‌های ساحلی مازندران در مناطق مختلف را شناسایی و تشریح کرد. لایه ترموکلاین، انتقال مواد از رودخانه به‌ویژه ترکیبات فسفری و آمونیوم ناشی از فعالیت‌های انسانی، بستر دریا، استقرار سیستم پرورش ماهی در قفس و وجود شانه‌دار *M. leidy* از جمله عوامل محرک تخریب کیفیت آب سواحل مازندران در فصل تابستان هستند. عوامل درجه حرارت، کدورت، نیترات، سیلیس و آمونیوم بعنوان مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر تغییرات مکانی کیفیت آب بودند. نیترات و سیلیس هم به‌عنوان عامل محدودکننده تولید در دریای خزر هستند. تحقیق حاضر می‌تواند برای ایجاد یک راهبرد مناسب برای نمونه‌برداری (کاهش هزینه نمونه‌برداری) و اعمال فعالیت‌های مدیریتی از جمله پرورش ماهیان، کنترل تروفي و آلودگی در بخش‌های مختلف سواحل مازندران به‌کار برده شود.

- MacLeod, C. D., Mandleberg, L., Schweder, C., Bannon S. M. and Pierce, G. J. 2008.** A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals, *Hydrobiologia*, 612: 21-32.
- Mohammadizadeh, C., Saify, A. and Shalika, H. 2010.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS) along the Eastern Caspian Sea Coast, *Global Journal of Environmental Research*, 4: 59-63.
- Nasrollahzadeh, H. S., Din, Z. B., Foong, S. Y. and Makhloogh, A. 2008a.** Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity, *Continental Shelf Research*, 28: 1153-1165.
- Nasrollahzadeh, H. S., Din, Z. B. and Makhloogh, A. 2008b.** Variations in nutrient concentration and phytoplankton composition at the euphotic and aphotic layers in the Iranian coastal waters of the southern Caspian Sea, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11: 1176-1193.
- Nouri, J., Karbassi, A. R. and Mirkia, S. 2008.** Environmental management of coastal regions in the Caspian Sea, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5: 43-52.
- Peeters, F., Kipfer, R., Achermann, D., Hofer, M., Aeschbach-Hertig, W., Beyerle, U., Imboden, D. M., Rozanski, K., K. Fröhlich, K. 2000.** Analysis of deep-water exchange in the Caspian Sea based on environmental tracers, *Deep-Sea Research Part I*, 47: 621-654.
- Pourkazemi, M. 2006.** Caspian Sea sturgeon Conservation and Fisheries: Past present and Future, *Journal of Applied Ichthyology*, 22:12-16.
- Roohi, A., Kideys, A. E., Sajjadi, A., Hashemian, A., Pourgholam, R., Fazli, H., Ganjian-Khanari, A. and Eker-Develi, E. 2010.** Changes in biodiversity of phytoplankton, zooplankton, fishes and macrobenthos in the Southern Caspian Sea after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Biological Invasions*, 12: 2343-2361.
- Samadi-Maybodi, A., Taheri Saffar, H., Khodadoust, S., Nasrollahzadeh S. H. and Najafpour, S. 2013.** Study on different forms and phosphorus distribution in the coastal surface sediments of SouthernCaspian Sea by using UV-Vis spectrophotometry, *Spectrochimica Acta Part a: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 113: 67-71.
- Shahrban, M. and Etemad-Shahidi, A. 2010.** Classification of the Caspian Sea coastal waters based on trophic index and numerical analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 164: 349-356.
- invertebrate invasions in the Caspian Sea, *Biological Invasions*, 5: 103-115.
- Herrera-Silveira, J. A. and Morales-Ojeda, S. M. 2009.** Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation, *Marine Pollution Bulletin*, 59: 72-86.
- Heydari, A. 1999.** Evaluation of environmental impacts of thermal pollution resulting from Neka power plant on Caspian Sea aquatics, *The second National Conference on Energy*, Tehran.
- Huang, J., Ho, M. and Du., P. 2011.** Assessment of temporal and spatial variation of coastal water quality and sourceidentification along Macau peninsula, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25: 353-361.
- Icaga, Y. 2007.** Fuzzy evaluation of water quality classification, *Ecological Indicators*, 7: 710-718.
- Iranian Fisheries research institute, 2011.** Newsletter, <http://fa.ifro.ir>.
- Jahani, N., Nabavi, S. N. B., Dehghan Madiseh, S., Mortezaie, S. R. S. and Fazeli, N. 2012.** The effect of marine fish cage culture on benthic communities using BOPA index in Ghazale Creek (Persian Gulf), *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11: 78-88.16.
- Jamshidi, S. and Abu Bakar N. B. 2012.** Seasonal Variations in Temperature, Salinity and Density in the Southern Coastal Waters of the Caspian Sea, *Oceanology*, 52: 380-396.
- Jamshidi, S., Abu Bakar, N. B. and Yousefi, M. 2009.** A study on concentrations of dissolved oxygen and chlorophyll-a in the coastal waters of Babolsar, *American Journal of Applied Sciences*, 6 (10): 1860-1867.
- Kishino, M., Tanaka, A., Ishizaka, J. 2005. Retrieval of chlorophyll a, suspended solids, and colored dissolved organic matter in Tokyo Bay using ASTER data, *Remote Sensing of Environment*, 99: 66-74.
- Korshenko, A. N. and Gul, A. G. 2005.** Pollution of the Caspian Sea. Edited by Kostianoy, A. G. and Kosarev, A. N. The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 109-142.
- Liu, C. W., Lin, K. H. and Kuo, Y. M. 2003a.** Application of factor analysis in the assessment of ground water quality in a black foot disease area in Taiwan, *Science of the Total Environment*, 313: 77-89.
- Liu, S. M., Zhang, J., Chen, S. Z., Chen, H. T., Hong, G. H., Wei, H. and Wu, Q. M. 2003b.** Inventory of nutrient compounds in the Yellow Sea, *Continental Shelf Research*, 23: 1161-1174.

Assessment of the surface water quality in Northern Greece, *Water Research*, 37: 4119-4124.

Smith, J. L., Boyer, G. L. and Zimba, P. V. 2008. A review of cyanobacterial odorous and bioactive metabolites: Impacts and management alternatives in aquaculture, *Aquaculture*, 280: 5-20.

Volovik, S. and Korpakova, I. 2004. Introduction of *Beroe* cf *ovata* to the Caspian Sea needed to control *Mnemiopsis leidyi*. Edited by Dumont, H. J., Shiganova, T. A. and Niermann, U. Aquatic Invasions in the Black, Caspian and Mediterranean Seas. Kluwer Academic publishers, 177-192.

Wu, M. L., Wang, Y. S., Sun, C. C., Wang, H., Dong, J. D., Yin, J. P. and Han, S. H. 2010. Identification of coastal water quality by statistical analysis methods in Daya Bay, South China Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 60: 852-860.

Zaker, N. H., Ghaffari, P. and Jamshidi, S. 2007. Physical Study of the Southern Coastal Waters of the Caspian Sea, off Babolsar, Mazandaran in Iran, *Journal of Coastal Research*, SI 50: 564-569.

Zhou, F., Huang, G. H., Guo, H., Zhang, W. and Hao, Z. 2007. Spatio-temporal patterns and source apportionment of coastal water pollution in eastern Hong Kong, *Water Research*, 41: 3429-3439.

Shiganova, T. A., Sapozhnikov, V. V., Musaeva, E. I., Domanov, M. M., Bulgakova, Y. V., Belov, A. A., Zazulya, N. I., Zernova, V. V., Kuleshov, A. F., Sokol skii, A. F., Imirbaeva, R. I. and Mikuiza, A. S. 2003. Factors Determining the Conditions of Distribution and Quantitative Characteristics of the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the North Caspian, *Oceanology*, 43: 676-693.

Shiganova, T.A., Dumont, H. J., Sokolsky, A. F., Kamakin, A. M., Tinenkova, D. and Kurasheva, E. K. 2004. Population dynamics of *Mnemiopsis leidyi* in the Caspian Sea, and effects on the Caspian ecosystem. Edited by Dumont, H. J., Shiganova, T. A. and Niermann, U. Aquatic Invasions in the Black, Caspian and Mediterranean Seas. Kluwer Academic publishers, 71-111.

Shirodkar, P. V., Mesquita, A., Pradhan, U. K., Verlekar, X. N., Babu, M. T. and Vethamony, P. 2009. Factors controlling physico-chemical characteristics in the coastal waters off Mangalore-A multivariate approach, *Environmental Research*, 109: 245-257.

Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M. and Kouimtzis, Th. 2003.

Spatial characteristics assessment of water quality and identify its controlling factors along Mazandaran coasts during summer (multivariate approach)

Nemat Mahmoudi¹, Mohammadreza ahmadi^{*2}, Manochehr babanezhad³, Jafar seyfabadi⁴ and Aboulghasem Roohi⁵

1- Ph.D. student, Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2- Professor, Department of Fish Health and Disease, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Iran

3- Assistant professor, Department of Statistics, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

4- Associate professor, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

5- Assistant professor, The Caspian Sea Ecological Research Institute, Sari, Iran

Received: 16.03.2013

Accepted: 03.09.2013

*Corresponding author: 09113209667, E-mail: mahmadi@ut.ac.ir

Abstract: Factors affecting the spatial variations of water quality of the Mazandaran coastal ecosystem was determined in summer 2012. For this purpose, water quality parameters (nutrients, temperature, conductivity, salinity, dissolved oxygen, pH, chlorophyll α and turbidity) were evaluated along 4 transects (Amirabad, Babolsar, Noshahr and Ramsar) in the depths of 5, 10, 20 and 50m, using multivariate analysis methods. Based on the cluster analysis of data, the sampling sites could be classified into 5 distinct groups, including 35-50m water layer of station 50m in all transects, 0-5m layer in station 5m in all transects, Ramsar transect and the majority of surface and bottom layers of 3 transects including Noshahr, Babolsar and Amirabad. Based on discriminant analysis, 86.40% of the sampling sites were correctly classified. Factor analysis explained 87.53% of the total variance, the five principal components of which (viz. temperature, turbidity, nitrate, silica and ammonium) were considered as the most effective parameters on the spatial variation of water quality. This study suggests that the number of sampling locations can be reduced to two transects. Thermocline, transport of nutrients (specially phosphorus and ammonium) from rivers, sea floor, cage culture and the ctenophore, *M. leidy*, were the most effective sources on spatial variations of water quality. Moreover, the multivariate statistical methods were found to be useful tools to recognize the spatial variations pattern along the Mazandaran coasts in summer.

Keywords: Caspian Sea, Coastal ecosystem, Mazandaran, Water quality characteristics, Multivariate analysis, Spatial variation