

ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک با استفاده از شاخص‌های ماکروبتیک در خلیج گرگان

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی و شناسایی وضعیت اکولوژیکی خلیج گرگان و همچنین تأکید بر بررسی میزان توافق بین نتایج شاخص‌های مختلف کف زیان، معرفی شاخص مناسب و بهره‌برداری از نتایج پایه‌ای حاصله در برنامه‌های مدیریت زیست‌محیطی منطقه برای نخستین بار انجام شد. بر این مبنای ۲۲ ایستگاه در خلیج گرگان در نظر گرفته شد و طی چهار فصل (در طول یک سال؛ ۱۳۹۲)، نمونه‌برداری از ماکروبتوزها انجام شد. در مجموع تعداد ۱۴ گونه مورد شناسایی قرار گرفت و سپس با استفاده از شاخص‌های زیستی BENTIX، BO²A، AMBI و M-AMBI وضعیت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله به ترتیب از قرار ۲/۲، ۰/۴، ۳/۲ و ۰/۶۵ با دامنه تغییرات (۲/۰-۳/۵)، (۰/۰۹-۰/۰۷۱)، (۰/۱-۳/۵) و (۰/۵-۰/۹۳) محاسبه گردید. کلیه شاخص‌ها، وضعیت اکولوژیک بخش شرقی را نسبت به بخش غربی بدتر نشان دادند. وجود ارتباط مثبت و متوسط بین برخی از شاخص‌های مورد نظر بیانگر این است که شاخص M-AMBI با شانون و BENTIX و همچنین شاخص BENTIX با BO²A روند مشابهی در ارزیابی کیفیت ایستگاه‌های خلیج گرگان نشان می‌دهند. در مجموع ۳۲ درصد از ایستگاه‌ها از لحاظ نتایج این شاخص‌ها، دارای توافق نسبی در خصوص رتبه وضعیت اکولوژیک و ۶۸ درصد باقیمانده دارای عدم توافق می‌باشند. با این حال، در این مطالعه شاخص AMBI و M-AMBI قضاوت بهتر و واقعی‌تری از وضعیت اکولوژیک خلیج نشان می‌دهند که منطبق با توزیع آلاینده‌ها به عنوان یکی از استرس‌های محیطی منطقه می‌باشد. از طرفی چون شاخص M-AMBI به صورت چند متغیره از نتایج AMBI، شاخص تنوع و غنای زیستی استفاده می‌کند و مهم‌تر از آن، در محاسبه آن از بیشترین مقدار شانون به عنوان مقدار شاهد یا رفرنس استفاده می‌شود، بنابراین نتایج این شاخص می‌تواند قضاوت قوی‌تری را از وضعیت اکولوژیک خلیج نشان دهد.

واژگان کلیدی: BO²A، M-AMBI، AMBI، BENTIX، خلیج گرگان.

سید قاسم قربان زاده زعفرانی^{۱*}

علی ماشینیان مرادی^۲

کاظم درویش بسطامی^۳

سید محمدرضا فاطمی^۴

۱. گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار- سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران.

۲، ۴. گروه علوم دریایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. موسسه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

*مسئول مکاتبات:

ghorbanzadeh110@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۴۰۸۵۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله

دکتری است.

مقدمه

امروزه پایین آمدن کیفیت منابع آبی صدمات اقتصادی، اجتماعی و بیولوژیک زیادی به اکوسیستم‌های آبی وارد نموده و روند توسعه پایدار را کند و ناکارآمد جلوه می‌دهد. کنترل آلودگی و ارزیابی کیفیت یکی از اهداف اصلی مدیریت منابع آبی است (نوروزی و رضایی منش، ۱۳۹۹). پایش و ارزیابی کیفی آب‌ها، بر اساس پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک انجام می‌گیرد. از طرفی به منظور مدیریت کیفی آب‌های ساحلی، شاخص‌های کیفی برای طبقه‌بندی وضعیت کیفی آب‌ها به کار برده می‌شود (Sun et al., ۲۰۱۸).

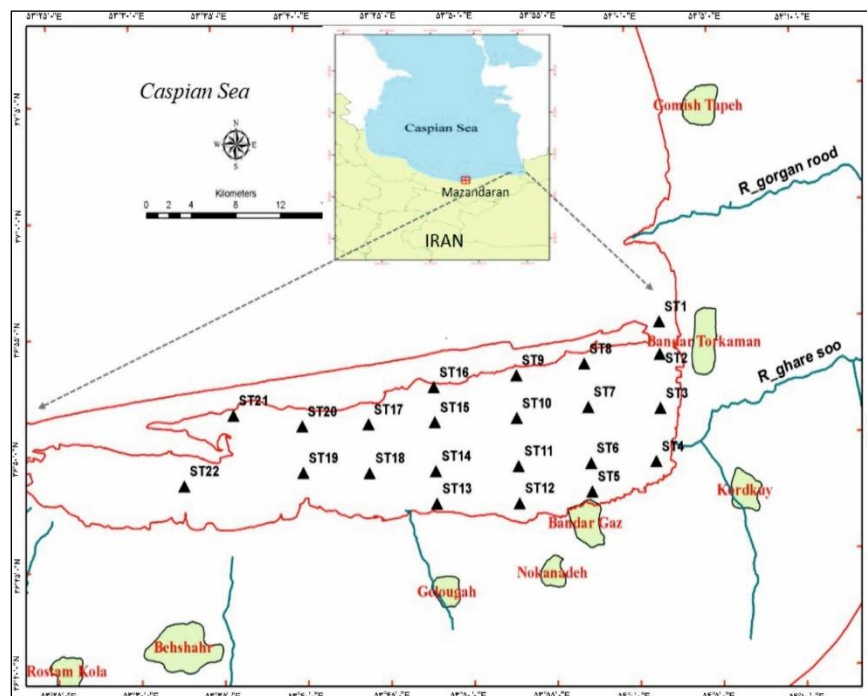
استفاده از شاخص‌های کیفی یکی از روش‌های ساده و معمول در سطح دنیا، برای سنجش کیفی آب‌های سطحی و ساحلی می‌باشد (Pazira et al., ۲۰۲۰). در این روش تعداد زیادی از اطلاعات کیفی آب، به صورت یک عدد منفرد درمی‌آید که با مقیاس و درجه‌بندی آن می‌توان

مشخص کرد، کیفیت آب در کدام طبقه‌بندی قرار دارد. برای ارزیابی کیفیت اکولوژیک منابع آب می‌توان از شاخص‌های مرتبط با گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری به‌صورت انفرادی یا توأم استفاده نمود (برای ارزیابی کیفیت اکولوژیکی آب‌های ساحلی و پاسخ جوامع ماکروبتوزها به تغییرات طبیعی و انسانی می‌توان از شاخص تنوع (غنا) گونه و شانون-وینر) و شاخص‌های زیستی نظیر BQI, BENTIX, AMBI, BOPA, BO²A که به‌نوعی تاب‌آوری و حساسیت گونه‌ها را نشان می‌دهند، استفاده نمود (Sun et al., ۲۰۱۸; Mosbahi et al., ۲۰۱۷). ارزیابی کیفیت آب‌های ساحلی دریای خزر در منطقه سی‌سنگان بر اساس شاخص AMBI انجام‌شده است (درویش بسطامی و همکاران، ۱۳۹۳). در این مطالعه ۸ گونه شناسایی‌شده و به‌طورکلی ۲۵ درصد، کیفیت اکولوژیک ضعیف و بد، ۵۰ درصد ایستگاه‌ها، کیفیت اکولوژیک متوسط و ۲۵ درصد، کیفیت اکولوژیک خوب و عالی و را نشان دادند. همچنین Ghorbanzadeh Zaferani و همکاران (۲۰۱۶) به تحلیل الگوی مکانی-زمانی ماکروبتوزها به‌عنوان شاخص سلامت اکولوژیک در خلیج گرگان پرداختند و ۱۴ گونه یا تاکسون را برای ایستگاه‌های هدف شناسایی نمودند. از طرفی بین ارزیابی شاخص‌های مختلف ممکن است سازگاری وجود نداشته باشد. بر اساس مطالعه Blanchet و همکاران (۲۰۰۸)، بررسی استفاده از ۵ شاخص زیستی رایج (AMBI, BQI, BOPA, BENTIX, H') برای ارزیابی وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌های ساحلی نیمه بسته و در پناه و پیکره آبی انتقالی نشان می‌دهد که نتایج این شاخص‌ها به‌ندرت با یکدیگر موافق بوده و تصویر خیلی متفاوتی از وضعیت اکولوژیک کل مناطق نشان می‌دهد و محدودیت‌های این شاخص‌ها را آشکارا مورد تأکید قرار می‌دهد، به‌ویژه وابستگی اغلب این شاخص‌ها و طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک حاصل از آن‌ها به ویژگی‌های زیستگاه مخصوصاً میزان طبیعی ذرات سیلت-رس و محل قرارگیری ایستگاه‌ها در زیر جزر و مدی یا بین جزر و مدی. خلیج گرگان با شوری حدود ۱۳ قسمت در هزار و عمق بسیار کم یکی از اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد برای آبیانی چون ماهیان خاویاری، فک خزری، پرندگان آبی و سایر ماهیان در سواحل جنوبی دریای خزر بوده و تنوع آن در مقایسه با سایر دریاها، کم می‌باشد (Sigovini et al., ۲۰۱۳; Taheri and Yazdani Foshtomi, ۲۰۱۱; Roohi et al., ۲۰۱۰). بیشترین طول خلیج گرگان ۶۰ کیلومتر و بیشترین عرض آن تقریباً ۱۲ کیلومتر می‌باشد. بخش شرقی دارای بیشترین عمق (تقریباً ۵ متر) و بخش غربی کمترین عمق را دارد. با توجه به سیمای اکولوژیک، ارزش‌های ویژه زیستگاهی، وجود گونه‌های گیاهی و جانوری حمایت‌شده و منحصربه‌فرد، ارزش علمی-تحقیقاتی و ... به‌عنوان ذخیره‌گاه ژنتیک و پناهگاه حیات‌وحش از آن حافظت می‌شود. در حال حاضر و در مطالعات ارزیابی در اکوسیستم‌های دریایی یکی از ابزارهای کارآمد، مطالعه بر روی جمعیت کف زیان است که به‌خوبی میزان فشار و نوع استرس‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (انواع آلاینده‌ها) را منعکس می‌سازند، اما با توجه به ویژگی خاص منطقه موردنظر یعنی دارا بودن محیط اکوتونی و "شرایط اکولوژیک انتقالی" انتخاب شاخص‌های مناسب، ترکیب آن‌ها، بررسی روایی آن‌ها و به‌ویژه استفاده از شاخص‌های چند متغیره، فرآیند ارزیابی وضعیت اکولوژیک را متمایز می‌سازد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی و شناسایی وضعیت اکولوژیکی خلیج گرگان و همچنین تأکید بر بررسی میزان سازگاری و توافقی یا عدم توافق بین نتایج شاخص‌های مختلف موجودات بسترزی خلیج، معرفی شاخص مناسب و بهره‌برداری از نتایج پایه‌ای حاصله در برنامه‌های مدیریت زیست‌محیطی منطقه انجام شد؛ بنابراین علاوه بر ارزیابی کیفیت منطقه، میزان سازگاری بین شاخص‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بر اساس هر یک از آن‌ها را به چالش می‌کشد.

موارد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ماکروبتوزهای بستر، توسط گرب ون وین (۰/۰۲۵ مترمربع) طی ۴ فصل در طول یک سال (۱۳۹۲) در خلیج گرگان به‌صورت سیستماتیک انجام شد (EPA, ۲۰۰۱; Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۱۷). ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در

شکل ۱ نمایش داده شده است. ماکروبن‌توزها پس از رنگ‌آمیزی با رزین‌گال (۱ گرم در لیتر)، با فرمالین ۵ درصد فیکس شده (Jayachandran *et al.*, ۲۰۱۹) و سپس جداسازی و با استفاده از استریو میکروسکوپ (Nicon, SMZ ۸۰۰) و کلید شناسایی معتبر شناسایی شدند.



شکل ۱: نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری خلیج گرگان (۱۳۹۲).

در AMBI و M-AMBI ماکروبن‌توزها با استفاده از اطلاعات منابع موجود و همچنین لیست گونه‌های نرم‌افزار AZTI در گروه‌های مختلف اکولوژیک دسته‌بندی شدند. سپس برای گونه‌هایی که در لیست نرم‌افزار یا منابع مذکور وجود نداشتند، با استفاده از مشاوره پروفیسور Borja گروه‌بندی آن‌ها مشخص گردید (Azti, ۲۰۱۹; Sun *et al.*, ۲۰۱۸). این شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$AMBI = \frac{(0 \times GI\%) + (1.5 \times GII\%) + (3 \times GIII\%) + (4.5 \times GIV\%) + (6 \times GV\%)}{100} \quad \text{رابطه ۱}$$

GI تا GV گروه‌های مختلف اکولوژیک هستند که ماکروبن‌توزها در بر اساس میزان حساسیت یا مقاومت به انواع استرس‌های محیطی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در ۵ گروه جای می‌گیرند. سپس با به‌کارگیری هم‌زمان نتایج حاصل از محاسبه شاخص AMBI، شاخص تنوع (شانون) و شاخص غنای زیستی در نرم‌افزار AZTI، شاخص چند متغیره M-AMBI محاسبه شد.

شاخص BENTIX مبتنی بر AMBI می‌باشد، اما گروه‌های اکولوژیک در فرمول کمتر شده تا بدین‌وسیله از خطا در گروه‌بندی گونه‌ها اجتناب و محاسبات شاخص نیز ساده‌تر گردد. در این شاخص گونه‌های ماکروبن‌تیک به دو گروه گونه‌ای شامل گونه‌های حساس (شامل گروه‌های اکولوژیک ۱ و ۲) و گونه‌های مقاوم و فرصت‌طلب (شامل گروه‌های اکولوژیک ۳، ۴ و ۵) دسته‌بندی می‌شوند (Blanchet *et al.*, ۲۰۰۸).

ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک با استفاده از شاخص‌های ماکروبتیک در خلیج گرگان / قربان زاده زعفرانی و همکاران

$$\text{Bentix} = \frac{(6 \times \%GI) + 2(\%GII + \%GIII)}{100} \quad \text{رابطه ۲:}$$

برای محاسبه شاخص BOYA از نسبت آنالیدهای فرصت‌طلب به آمفی‌پود استفاده گردید (Bakalem et al., ۲۰۲۰). این شاخص در زمانی که شناسایی گونه‌ها مشکوک باشد، برای ارزیابی وضعیت اکولوژیک نواحی ساحلی و مصبی جایگزین خوبی برای شاخص‌هایی که بر اساس گروه‌های اکولوژیک استوارند (از جمله AMBI) به شمار می‌آیند (Dauvin et al., ۲۰۱۲). در این مطالعه، گونه‌های فرصت‌طلب (الیگوکیت‌ها که تماماً در گروه اکولوژیک ۵ قرار گرفتند) بر اساس لیست تهیه‌شده Borja در سال ۲۰۱۹ (نرم‌افزار Azti)، مشخص شدند.

$$\text{BOYA} = \log [(fA_{op}/f_a + 1) + 1] \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این شاخص fA_{op} فراوانی آنالیدهای فرصت‌طلب و f_a فراوانی آمفی‌پودا است. مقادیر این شاخص در پنج وضعیت اکولوژیک که توسط WFD پیشنهادشده، توصیف می‌گردند.

محاسبه و مقادیر شاخص تنوع زیستی (شانون، H') از فرمول زیر استفاده گردید. مقدار این شاخص وقتی صفر است که تنها یک گونه در نمونه موجود باشد و مقدار آن زمانی حداکثر است که تعداد گونه‌ها بیشتر باشد و افراد تشکیل‌دهنده هریک از گونه‌ها نیز در نمونه تقریباً یکسان باشند (Jorgensen et al., ۲۰۰۵).

رابطه آن به شرح زیر است:

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i ; p_i = N_i/N \quad \text{رابطه ۴:}$$

p_i : نسبت افراد یافت شده در گونه i ام

N_i : تعداد افراد گونه i ام

N : تعداد کل افراد نمونه

برای طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌های خلیج گرگان بر اساس شاخص‌های زیستی موردنظر، وضعیت اکولوژیک هریک از ایستگاه‌ها طبق جدول ۱ مشخص گردید. در ادامه همانند روشی که Blanchet و همکاران (۲۰۰۸) استفاده نمودند، از دیدگاه مدیریت محیط‌زیست منطقه وضعیت اکولوژیک عالی (H; High) و خوب (G; Good) در گروه قابل قبول و وضعیت اکولوژیک بد (B; Bad)، ضعیف (P; Poor) و متوسط (M; Medium) در گروه غیرقابل قبول دسته‌بندی شد. سپس درصد ایستگاه‌هایی که وضعیت اکولوژیک آن‌ها بر اساس هریک از شاخص‌ها، در گروه قابل قبول و یا غیرقابل قبول قرار گرفت، تعیین گردید. همچنین برای مقایسه میزان سازگاری (توافق) بین شاخص‌ها، ابتدا در هر ایستگاه عدد صفر به وضعیت بد تا متوسط و عدد یک به وضعیت خوب و عالی ($H, G=1, B, P, M=0$) اختصاص یافت. مجموع آن‌ها، نمره سازگاری یا عدم سازگاری را مشخص می‌نماید و نهایتاً بر اساس جدول ۲ وضعیت سازگاری شاخص‌ها در منطقه مشخص می‌شود (Blanchet et al., ۲۰۰۸).

جدول ۱: آستانه تعیین وضعیت اکولوژیک (ECoQ) بر اساس شاخص‌های زیستی (BI).

آستانه شاخص زیستی (BI)						ECoQ
H' (log ^۲); bit/ind	AMBI	M-AMBI	BENTIX (for Muds)	BENTIX (for sands)	BO ^۲ A	
>۴	۱-۰/۲	≥ M-AMBI ۰/۸۱ ۱>	۴ ≤ BENTIX < ۶	≤ BENTIX < ۶ ۴/۵	۰/۰-۰۰۰۰۰۰/۰۱۹۵	عالی (H)
۴-۳	۱/۳-۲/۳	≥ M-AMBI ۰/۶۱ ۰/۸۱>	۳ ≤ BENTIX < ۴	≤ BENTIX ۴/۵ ۳/۵<	۰/۰-۰۱۹۵۱/۱۳۱۰۰	خوب (G)
۳-۲	۳/۴-۳/۳	≥ M-AMBI ۰/۴۱ ۰/۶۱>	≤ BENTIX < ۳ ۲/۵	≤ BENTIX ۳/۵ ۲/۵<	۰/۰-۱۳۱۰۱/۱۹۸۰۴	متوسط (M)
۲-۱	۴/۵-۳/۵	≥ M-AMBI ۰/۲۰ ۰/۴۱>	≤ BENTIX ۲/۵ ۲<	≤ BENTIX ۲/۵ ۲<	۰/۰-۱۹۸۰۴/۲۶۱۵۵	ضعیف (P)
۱-۰	>۵/۵	≥ M-AMBI ۰/۲ ۰≤	.	.	۰/۰-۲۶۱۵۵/۳۰۱۰۳	بد (B)
Jorgensen et al., ۲۰۰۵	Blanchet et al., ۲۰۰۸	Blanchet et al., ۲۰۰۸	Blanchet et al., ۲۰۰۸	Blanchet et al., ۲۰۰۸	Dauvin et al., ۲۰۱۲	منبع

جدول ۲: مقایسه میزان توافق بین پنج شاخص زیستی (Blanchet et al., ۲۰۰۸).

حالت توافق	تفسیر	امتیاز کل
[a]	داشتن توافق کامل بین ۵ شاخص زیستی در زمینه‌ی وضعیت اکولوژیک متوسط و پایین‌تر (وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول)	۰
[b]	وجود توافق نسبی بین ۴ شاخص زیستی (از ۵ شاخص زیستی) در رابطه با وضعیت اکولوژیک متوسط به پایین‌تر (وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول)	۱
[c]	عدم توافق بین ۵ شاخص زیستی در رابطه با وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌ها	۲
[d]	عدم توافق بین ۵ شاخص زیستی در رابطه با وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌ها	۳
[e]	داشتن توافق نسبی بین ۵ شاخص زیستی در زمینه‌ی وضعیت اکولوژیک خوب و عالی (وضعیت اکولوژیک قابل قبول)	۴
[f]	داشتن توافق کامل بین ۵ شاخص زیستی در زمینه‌ی وضعیت اکولوژیک خوب و عالی (وضعیت اکولوژیک قابل قبول)	۵
امتیاز	EcoQ	
	B,P,M	۰
	G,H	۱

عالی (H; High)، خوب (G; Good)، متوسط (M; Medium)، ضعیف (P; Poor)، بد (B; Bad)

همبستگی بین طبقه‌بندی کیفیت اکولوژیک حاصل از شاخص‌های زیستی، برای ارزیابی گرایش مشابه یا متفاوت شاخص‌های مختلف در طبقه‌بندی ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمون همبستگی غیر پارامتریک، اعداد ۱ تا ۵ برای ۵ وضعیت اکولوژیک (به ترتیب عدد ۱ برای وضعیت عالی و عدد ۵ برای وضعیت بد) منظور شده است. همچنین برای تعیین معنی‌دار بودن عدم توافق بین شاخص‌های مختلف، عدد صفر برای وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول (بد، ضعیف و متوسط) و عدد یک برای وضعیت اکولوژیک قابل قبول (خوب و عالی) منظور شده و از آزمون غیر پارامتریک استفاده شده است.

به منظور تجزیه و تحلیل آماری و تعیین انواع شاخص‌های تنوع و زیستی از نرم‌افزارهای Primer^۶، EXCEL، AZTI، SPSS و ویرایش هجدهم استفاده شد. به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مورد نظر از آنالیز واریانس یک طرفه (تست توکی و Games-Howell post-hoc برای داده‌های نرمال) و از آزمون کروسکال والیس (من ویتنی با احتساب ضریب تصحیح بونفرنی و Games-Howell برای داده‌های

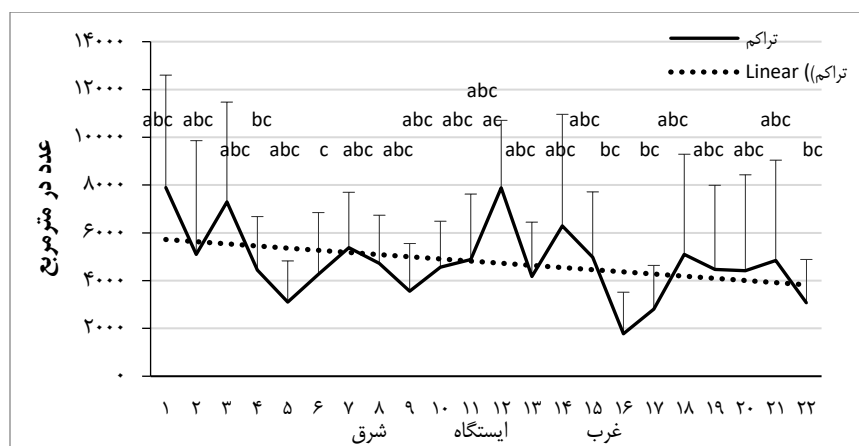
ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک با استفاده از شاخص‌های ماکروبتیک در خلیج گرگان / قربان زاده زعفرانی و همکاران

غیر نرمال) در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ استفاده شد. برای بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط بین متغیرها از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد.

نتایج

در مجموع ۳۱۶۵۸ نمونه از ۲۲ ایستگاه جمع‌آوری شده و ۱۴ گونه (*Hediste diversicolor*, *Streblospio gynobranchiata*, *Hypaniola kowalewskii*, *Tubificidae*, *Tubificoides fraseri*, *Abra segmentum*, *Didacna*. Sp, *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma lamarcki*, *Dressina polymorpha*, *Pontogammarus robustoides*, *Rhithropanopeus harrisii*, *Stenocuma gracilis*, *Chironomus albidus*) شناسایی شدند. بیشینه مقدار تراکم (۷۸۹۳ عدد/مترمربع) از ایستگاه ۱ به دست آمد درحالی‌که کمینه مقدار آن (۱۷۷۷ عدد/مترمربع) در ایستگاه ۱۶ مشاهده گردید.

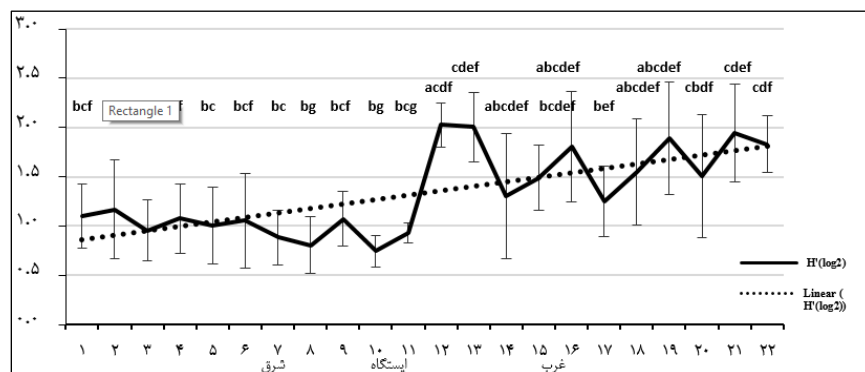
بیشترین فراوانی در دهانه خلیج و ایستگاه‌های شرق؛ ایستگاه ۱، ۳ و ۱۲ (بیش از ۷۲۰۰ عدد/مترمربع) در صورتی‌که کمترین آن در نواحی غربی به ثبت رسید (شکل ۲).



شکل ۲: میانگین سالانه (±SD) تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه‌های خلیج گرگان (۱۳۹۲).

(خط نقطه‌چین معرف شیب تغییرات و حروف متفاوت، نشانه وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ با آزمون توکی می‌باشد).

داده‌های زیستی نشان می‌دهد که فراوانی و تنوع زیستی ماکروبتوزها از دهانه به سمت غرب و بخش جنوبی خلیج متفاوت بوده و دارای روند مخالفی می‌باشند (اشکال ۳ و ۴). بیشترین تعداد گونه (S) در ایستگاه ۲۱ و ۱۶ با ۳ گونه از پر تاران (*S. gynobranchiata*, *H.* *diversicolor*, *H. kowalewskii*) و ۴ گونه دوکفه‌ای (*A. segmentum*, *C. lamarcki*, *M. lineatus*, *D. polymorpha*) مشاهده شد، درحالی‌که ایستگاه‌های ۱۲ و ۱۳ با بیشترین مقدار شاخص تنوع (شانون به ترتیب ۱/۹۴ و ۱/۸۷، شکل ۳) توصیف شدند.



شکل ۳: میانگین سالانه ($\pm SD$) شاخص شانون-وینر (H') در ایستگاه‌های مختلف خلیج گرگان.

(نقطه‌چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت، نشانه وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ با آزمون Games-Howell می‌باشد).

مطابق با جدول ۳، میانگین کل شاخص BENTIX در خلیج گرگان ۲/۲ می‌باشد. دامنه شاخص BENTIX بر اساس ایستگاه (۲/۵-۳/۵) می‌باشد. بیشینه مقدار آن (۳/۵) در ایستگاه ۱۲ و کمینه مقدار آن (۲) در کلیه ایستگاه‌ها به‌ویژه بخش شرقی خلیج مشاهده شد. روند تغییرات شاخص BENTIX بر اساس ایستگاه از سمت غرب به شرق خلیج گرگان کاهشی می‌باشد (شکل ۴). آزمون کروسکال والیس، اختلاف معنی‌داری بین میانگین این شاخص در ایستگاه‌های مختلف نشان داد ($P < 0.001$). آزمون Posthoc (Games-Howell) اختلاف معنی‌داری را بین ایستگاه ۱۲ با کلیه ایستگاه‌ها (به‌جز ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۶) و ایستگاه ۱۳ با کلیه ایستگاه‌ها (به‌جز ایستگاه‌های ۱۲ و ۲۲) نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

مطابق با جدول ۳، میانگین کل شاخص BO^2A در خلیج گرگان ۰/۰۴ می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص BO^2A بر اساس ایستگاه (۰/۰۷۱-۰/۰۰۹) می‌باشد. بیشینه مقدار شاخص BO^2A (۰/۰۷) در ایستگاه ۳ و کمینه مقدار آن (۰/۰۰۹) در ایستگاه ۲۲ مشاهده شد (شکل ۵). روند تغییرات این شاخص از غرب به شرق خلیج، افزایشی می‌باشد (شکل ۳). آزمون کروسکال والیس، اختلاف معنی‌داری بین میانگین این شاخص در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($P = 0.001$). آزمون Post hoc (Games-Howell) اختلاف معنی‌داری را بین میانگین این شاخص در ایستگاه‌های ۱۳ و ۲۲ با ایستگاه‌های ۱ و ۳ نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

مطابق با جدول ۳ میانگین کل شاخص‌های AMBI و M-AMBI در خلیج گرگان، به ترتیب ۳/۲ و ۰/۶۵ می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص AMBI و M-AMBI بر اساس ایستگاه به ترتیب (۲/۱-۳/۵) و (۰/۵-۰/۹۳) می‌باشد. بیشینه مقدار شاخص AMBI (۳/۵) در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۸ و کمینه مقدار آن (۲/۱) در ایستگاه ۱۲ مشاهده شد. همچنین بیشینه مقدار شاخص M-AMBI (۰/۹۳) در ایستگاه ۱۲ و کمینه مقدار آن (۰/۵) در ایستگاه ۳ مشاهده شد. روند تغییرات شاخص M-AMBI از غرب به شرق خلیج، کاهشی می‌باشد ولی روند شاخص AMBI از غرب به شرق خلیج افزایشی است (شکل ۶). آزمون کروسکال والیس، اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص AMBI و شاخص M-AMBI در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($P = 0.001$).

ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک با استفاده از شاخص‌های ماکروبتیک در خلیج گرگان / قربان زاده زعفرانی و همکاران

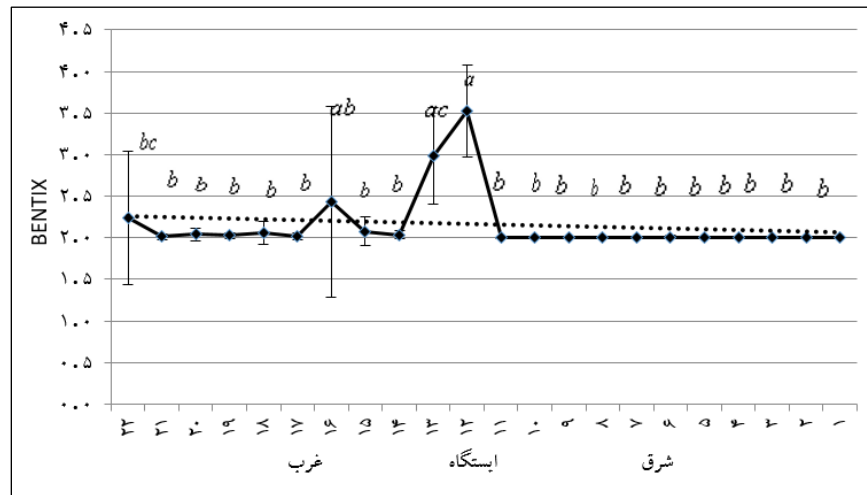
جدول ۳: میانگین سالانه ($\pm SD$) مقادیر شاخص‌های محاسبه‌شده در خلیج گرگان بر اساس ایستگاه (۱۳۹۲).

	BI	۱ST	۲ST	۳ST	۴ST	۵ST	۶ST	۷ST	۸ST	۹ST	۱۰ST	۱۱ST
BENTIX	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2
BOYA	$\pm 0.68/0.32$	$\pm 0.49/0.39$	$\pm 0.71/0.42$	$\pm 0.45/0.43$	$\pm 0.36/0.4$	$\pm 0.68/0.56$	$\pm 0.49/0.44$	$\pm 0.43/0.42$	$\pm 0.63/0.75$	$\pm 0.31/0.26$	$\pm 0.45/0.31$	$\pm 0.45/0.31$
AMBI	$\pm 0.3/0.5$	$\pm 0.4/0.3$	$\pm 0.5/0.3$	$\pm 0.3/0.3$	$\pm 0.3/0.3$	$\pm 0.5/0.5$	$\pm 0.4/0.4$	$\pm 0.3/0.3$	$\pm 0.5/0.6$	$\pm 0.2/0.2$	$\pm 0.3/0.2$	$\pm 0.3/0.2$
M-AMBI	$\pm 0.7/0.6$	$\pm 0.9/0.62$	$\pm 0.5/0.5$	$\pm 0.7/0.7$	$\pm 0.55/0.7$	$\pm 0.51/0.3$	$\pm 0.52/0.3$	$\pm 0.51/0.5$	$\pm 0.4/0.3$	$\pm 0.1/0.3$	$\pm 0.54/0.3$	$\pm 0.54/0.3$
ادامه	۱۲ST	۱۳ST	۱۴ST	۱۵ST	۱۶ST	۱۷ST	۱۸ST	۱۹ST	۲۰ST	۲۱ST	۲۲ST	
BENTIX	$\pm 0.3/0.6$	$\pm 0.3/0.6$	± 2	$\pm 0.1/0.2$	$\pm 0.4/0.1$	± 2	$\pm 0.1/0.1$	± 2	$\pm 0.1/0.1$	± 2	$\pm 0.2/0.8$	$\pm 0.2/0.4$ ($0.5/-0.3/2$)
BOYA	$\pm 0.25/0.25$	$\pm 0.1/0.18$	$\pm 0.47/0.31$	$\pm 0.51/0.33$	$\pm 0.43/0.53$	$\pm 0.31/0.48$	$\pm 0.67/0.52$	$\pm 0.22/0.34$	$\pm 0.54/0.53$	$\pm 0.43/0.38$	$\pm 0.9/0.11$	$\pm 0.4/0.18$ ($0.71/-0.09/-0.1$)
AMBI	$\pm 0.1/0.6$	$\pm 0.5/0.6$	$\pm 0.3/0.2$	$\pm 0.3/0.3$	$\pm 0.1/0.1$	$\pm 0.2/0.4$	$\pm 0.5/0.5$	$\pm 0.2/0.3$	$\pm 0.4/0.4$	$\pm 0.4/0.3$	$\pm 0.9/0.6$	$\pm 0.4/0.4$ ($0.5/-0.3/2$)
M-AMBI	$\pm 0.4/0.93$	$\pm 0.7/0.88$	$\pm 0.5/0.65$	$\pm 0.8/0.6$	$\pm 0.73/0.11$	$\pm 0.6/0.5$	$\pm 0.66/0.7$	$\pm 0.79/0.13$	$\pm 0.68/0.15$	$\pm 0.79/0.5$	$\pm 0.81/0.6$	$\pm 0.65/0.13$ ($0.93/-0.05/-0.1$)

جدول ۴: طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌های خلیج گرگان.

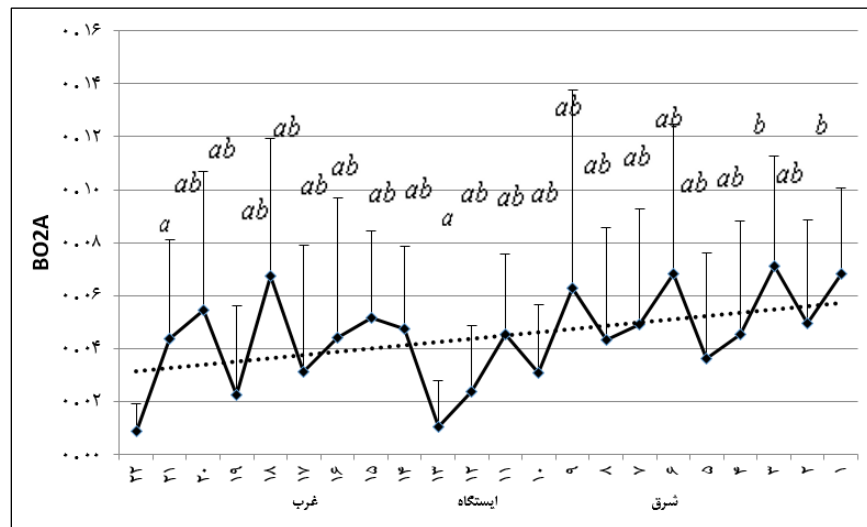
وضعیت اکولوژیک منطقه (درصد)		ایستگاه (غرب)														ایستگاه (شرق)														B.I
غیرقابل قبول (B,P,M)	قابل قبول (G,H)	۲۲ST	۲۱ST	۲۰ST	۱۹ST	۱۸ST	۱۷ST	۱۶ST	۱۵ST	۱۴ST	۱۴	۱۳ST	۱۲ST	۱۱ST	۱۰ST	۹ST	۸ST	۷ST	۶ST	۵ST	۴ST	۳ST	۲ST	۱ST						
۱۰۰	۰	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(P)	(B)	(P)	(B)	(P)	(P)	),H'(log					
۹۱	۹	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(G)	(G)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	BENTIX					
۰	۱۰۰	(H)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(H)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	BOYA					
۴۱	۵۹	(G)	(M)	(M)	(G)	(M)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(M)	(G)	(M)	(M)	(G)	(G)	(M)	(M)	(M)	AMBI					
۵۰	۵۰	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(M)	(G)	(G)	(G)	(G)	(H)	(H)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(G)	(M)	M-AMBI				
جمع امتیازات		۳	۲	۲	۳	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۱	جمع امتیازات					
توافق یا عدم توافق																									توافق یا عدم توافق					
حالت		d	c	c	d	c	c	d	d	d	e	e	c	c	b	c	b	b	c	c	b	c	b	b	حالت					

(H: عالی، G: خوب، M: متوسط، P: ضعیف، B: بد، رنگ خاکستری؛ وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول، رنگ سفید؛ وضعیت اکولوژیک قابل قبول).



شکل ۴: میانگین سالانه ($\pm SD$) شاخص BENTIX در ایستگاه‌های مختلف خلیج گرگان.

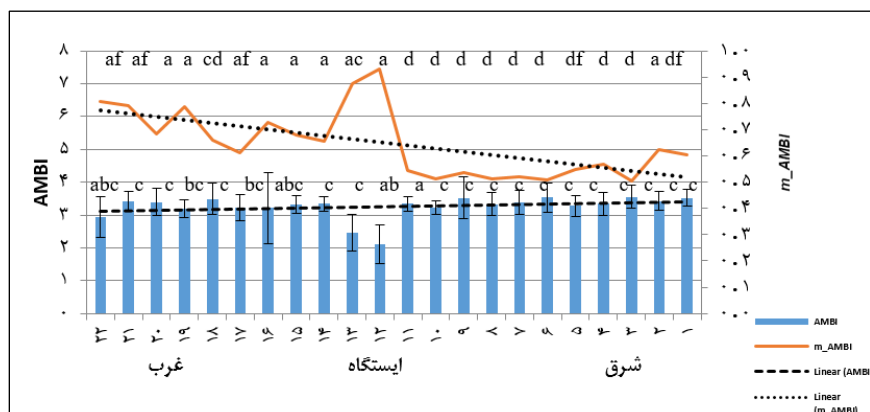
(نقطه چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی‌دار می‌باشد، $p \leq 0.05$ Post hoc Games-Howell; کروسکال والیس)



شکل ۵: میانگین سالانه ($\pm SD$) شاخص BO₂A در ایستگاه‌های مختلف خلیج گرگان.

(نقطه چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی‌دار می‌باشد، $p \leq 0.05$ Games-Howell; کروسکال والیس)

ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک با استفاده از شاخص‌های ماکروبتیک در خلیج گرگان / قربان زاده زعفرانی و همکاران



شکل ۶: روند تغییرات AMBI و M-AMBI در خلیج گرگان بر اساس ایستگاه.

(نقطه‌چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی‌دار می‌باشد. $p < 0.05$; Games-Howell; آزمون کروسکال والیس)

جدول ۵: معنی‌داری عدم توافق بین شاخص‌های زیستی خلیج گرگان (۱۳۹۲).

BENTIX	BO ⁺ A	AMBI	H'	
*	***	ns	***	M-AMBI
	***	**	Ns	BENTIX
		**	***	BO ⁺ A
			***	AMBI

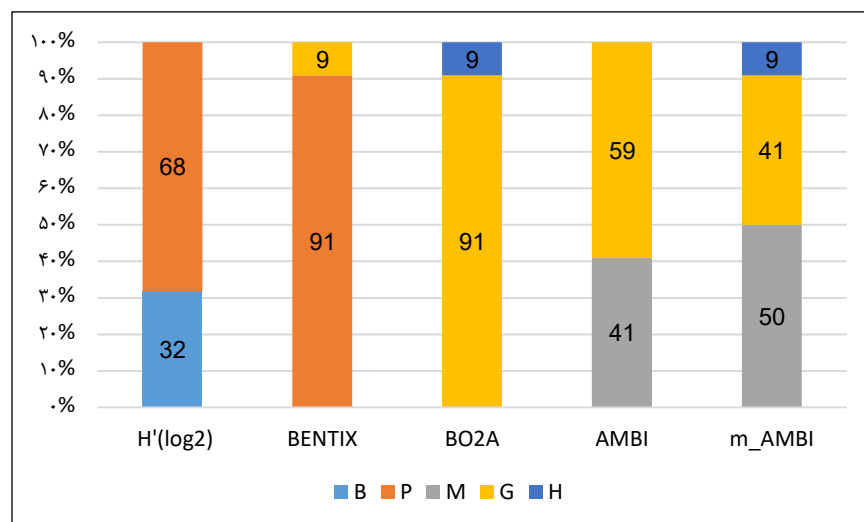
جدول ۶: نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های زیستی خلیج گرگان (۱۳۹۲).

AMBI	BO ⁺ A	BENTIX	H'	N=۲۲
			ns	BENTIX
		*.۰/۴۵۰	ns	BO ⁺ A
	ns	ns	ns	AMBI
ns	ns	**۰/۵۵۵	**۰/۶۵۹	M-AMBI

***۰/۰۱ معنی‌داری در سطح، * ۰/۰۵ معنی‌داری در سطح، ns: عدم معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۷: مقایسه میزان توافق و عدم توافق بین نتایج پنج شاخص زیستی ایستگاه‌ها.

درصد کل	تفسیر	درصد	حالت توافق
۳۲	توافق نسبی (کیفیت غیرقابل قبول)	۲۳	b
	توافق نسبی (کیفیت قابل قبول)	۹	e
۶۸	عدم توافق	۴۵	c
	عدم توافق	۲۳	d



شکل ۷: درصد ایستگاه‌های خلیج گرگان که توسط شاخص‌های شانون، BENTIX، BO₂A، AMBI و M-AMBI به ۵ وضعیت اکولوژیک بد (B)، ضعیف (P)، متوسط (M)، خوب (G) و عالی (H) طبقه‌بندی شده‌اند.

مطابق با جدول ۵، شاخص زیستی AMBI با M-AMBI و شانون با BENTIX، عدم توافق معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. بر اساس شکل ۷، شانون و BENTIX بالغ بر ۹۰ درصد وضعیت خلیج را غیرقابل قبول ولی AMBI و M-AMBI بالغ بر ۵۰ درصد وضعیت خلیج را قابل قبول نشان می‌دهد. در صورتی که BO₂A، کیفیت کل خلیج را قابل قبول برآورد کرده است. نتایج همبستگی (جدول ۶)، وجود ارتباط مثبت و متوسط بین شاخص BENTIX با شاخص‌های BO₂A و M-AMBI و همچنین M-AMBI با شانون را نشان داده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در اغلب خلیج‌ها، الگوی پراکنش ماکروفونا با تغییرات محیطی متفاوت خواهد بود (EPA, ۲۰۰۱). این الگو در اجتماعات ماکروبتنوزی (اپی‌فون و این فونا) خلیج گرگان هم به لحاظ مکانی در طول تغییرات بستر مشاهده شده است. بنا بر گزارش‌های موجود، آنالیدها با دانه‌بندی ریزدانه و مواد آلی بیشتر و دوکفه‌ای‌ها و سخت‌پوستان با دانه‌بندی درشت‌تر ارتباط مثبت داشتند. همچنین بر اساس تغییرات مکانی پارامترهای محیطی و الگوی توزیع غلظت فلزات سنگین و همچنین نتیجه الگوی پراکنش ماکروبتنوزها، می‌توان دو بخش مجزای شرقی و غربی برای بستر خلیج گرگان در نظر گرفت (Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۱۵, ۲۰۱۷). به واسطه تغییرات مکانی در تعداد و فراوانی جمعیت ماکروبتنوز در خلیج گرگان، شاخص تنوع شانون در بخش شرقی و غربی متفاوت می‌باشد (Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۱۷)؛ به‌طوری‌که بر اساس این شاخص بخش شرقی از کیفیت اکولوژیک پایین‌تری (وضعیت اکولوژیک بد؛ B نسبت به بخش غربی که دارای وضعیت ضعیف (P) می‌باشد، برخوردار است (جدول ۴). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده این باشد تحت تأثیر ورودی رودخانه‌های اطراف خلیج به‌ویژه در حاشیه شرقی و جنوبی و همچنین عمق بیشتر بخش شرقی، استرس در این بخش بیشتر بوده و می‌تواند باعث پراکنش خاص جمعیت بتنوزی در خلیج شده که می‌تواند ارزیابی کیفیت آن را تحت تأثیر قرار دهد (Bahrebar et al., ۲۰۱۶, ۲۰۱۵, Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۲۰: Bakalem et al., ۲۰۲۰). مطابق با جدول ۳، میانگین کل شاخص BENTIX، AMBI، BO₂A و M-AMBI در خلیج گرگان به ترتیب ۲/۲، ۰/۴، ۳/۲ و ۰/۶۵ محاسبه گردید. به‌طور کلی با توجه به میانگین کل شاخص‌های محاسبه‌شده، شانون و BENTIX وضعیت اکولوژیک کل خلیج را

ضعیف، شاخص M-AMBI، متوسط و شاخص‌های BO²A و AMBI وضعیت خلیج گرگان را خوب طبقه‌بندی نمود. مطابق با شکل ۴، با توجه به تغییرات معنی‌دار مقادیر شاخص BENTIX در ایستگاه‌های مختلف، روند شاخص از شرق به غرب خلیج افزایشی بوده که نشان‌دهنده وضعیت اکولوژیک بهتر بخش غربی نسبت به بخش شرقی بر اساس این شاخص می‌باشد. بیشترین میزان شاخص (۳/۵ و ۳) نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه ۱۲ و ۱۳ بوده است. در صورتی که بر اساس جدول ۴، فقط نواحی مربوط به ایستگاه‌های ۱۲ و ۱۳ دارای کیفیت خوب بوده و سایر نواحی شرقی و غربی دارای کیفیت اکولوژیک ضعیف (P) می‌باشند. بنابراین بر طبق این شاخص نمی‌توان بخش شرقی و غربی را از هم جدا نمود. به عبارتی وضعیت اکولوژیک به جز دو ایستگاه مذکور (که در این مطالعه، نقطه شروع جدایی دو بخش شرقی و غربی خلیج خوانده شده است) در سایر نقاط به صورت یکسان می‌باشد.

دامنه تغییرات شاخص BO²A بر اساس ایستگاه، از قرار ۰/۰۷۱-۰/۰۰۹ می‌باشد. بیشینه مقدار شاخص BO²A (۰/۰۷) در ایستگاه ۳ و کمینه مقدار آن (۰/۰۰۹) در ایستگاه ۲۲ محاسبه شد. روند افزایشی تغییرات این شاخص از غرب به شرق خلیج (شکل ۵) می‌تواند بیانگر اختلاف کیفیت بستر خلیج در برخی از ایستگاه باشد. ولی بر اساس طبقه‌بندی این شاخص، سراسر بستر خلیج گرگان دارای وضعیت قابل قبول (خوب و عالی) می‌باشد که با نتایج شاخص‌های دیگر از جمله شانون و BENTIX مغایرت دارد (جدول ۴). باین حال این شاخص همانند شاخص BENTIX، نمی‌تواند دو بخش شرقی و غربی خلیج را مطابق با دو زون مجزا در ارتباط با پراکنش معنی‌دار فلزات سنگین منطقه (Ghorbanzadeh et al., ۲۰۱۶) به خوبی تفکیک نماید.

روند شاخص AMBI برخلاف شاخص M-AMBI از شرق به غرب خلیج کاهش می‌باشد (شکل ۶)، ولی هردوی این شاخص‌ها، بخش غربی خلیج را با کیفیت بهتری مشخص کرده‌اند؛ به طوری که بر اساس شاخص AMBI و M-AMBI، حالت‌های وضعیت متوسط (M) عمدتاً در بخش شرقی خلیج واقع شده است و بالغ بر ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها وضعیت قابل قبول داشته‌اند (جدول ۴). نتایج حاضر با استفاده از AMBI، ۴۱ درصد ایستگاه‌های خلیج را متوسط و ۵۹ درصد را خوب و با استفاده از M-AMBI، ۵۰ درصد ایستگاه‌های خلیج را متوسط و ۴۱ درصد را خوب و ۹ درصد را عالی نشان داد. همان گونه که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، با وجود اینکه نتایج شاخص‌های مختلف درجات مختلفی از وضعیت اکولوژیک (عالی، خوب، متوسط، ضعیف و بد) را نشان می‌دهند، ولی تقریباً اکثر ایستگاه‌های با کیفیت پایین‌تر در شرق خلیج واقع شده‌اند که می‌تواند به علت مجاورت با رودخانه قره‌سو و سایر ورودی‌های اطراف خلیج و در نتیجه متأثر از الگوی پراکنش استرس‌های محیطی از جمله انباشت مواد آلی و آلاینده‌های فلزات سنگین در خلیج گرگان می‌باشد که خود تحت تأثیر فاکتورهای هیدرولوژیکی به ویژه الگوی رسوب‌گذاری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر و بافت رسوب بوده است (Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۱۶). از آنجائی که برآورد شاخص‌های مختلف در یک منطقه می‌تواند متغیر باشد (Blanchet et al., ۲۰۰۸)، مطابق با جدول ۵، بین وضعیت اکولوژیک حاصل از AMBI و M-AMBI و همچنین بین وضعیت اکولوژیک حاصل از شانون و BENTIX توافق معنی‌داری وجود دارد که نشانگر قضاوت مشابه در رابطه با محدوده طبقه‌بندی کیفیت اکولوژیک محیط توسط آن‌ها می‌باشد. این موضوع در شکل ۵ نشان داده شده است. مطالعات Taheri و همکاران (۲۰۱۲) نیز باین اینکه وضعیت اکولوژیک خلیج گرگان بد نیست، چنین توافقی را بین شاخص AMBI و M-AMBI نشان داده است. در صورتی که شاخص شانون قضاوت برعکسی را نشان داد. به طور کلی میزان این شاخص‌ها از غرب به شرق خلیج کاهش یافته بود، در حالی که در مطالعه حاضر مطابق با جدول ۶، وجود ارتباط مثبت بین برخی از شاخص‌های مورد نظر بیانگر این است که شاخص M-AMBI با شانون و BENTIX و همچنین شاخص BENTIX با BO²A روند مشابهی در ارزیابی کیفیت ایستگاه‌های خلیج گرگان نشان می‌دهند. به طوری که در مجموع ۳۲ درصد از ایستگاه از لحاظ نتایج پنج شاخص مورد مطالعه، دارای توافق نسبی و ۶۸ درصد باقیمانده دارای عدم توافق می‌باشند (جدول ۷). بنابراین علی‌رغم اینکه هریک از این شاخص‌ها می‌توانند وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌ها و در نهایت خلیج گرگان را طبقه‌بندی نمایند، ولی با توجه به عدم توافق بین طبقه‌بندی آن‌ها نمی‌توان با استفاده از نتایج یک شاخص تصمیم مدیریتی درستی گرفت. تفاوت نتایج بین شاخص شانون و AMBI در مطالعه

Benkhedda Belhaouari و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه ماکروفونا و کاربرد شاخص AMBI در آب‌های ساحلی الجزایر منجر به معرفی شاخص AMBI برای آب‌های منطقه گردید. با توجه به اینکه خلیج گرگان (به جز بخش شرقی خلیج) از نظر برخی آلاینده‌ها (فلزات سنگین) آلوده به نظر نمی‌رسد (Bastami et al., ۲۰۱۴; Ghorbanzadeh Zaferani et al., ۲۰۱۷)، لذا شاخص AMBI و M-AMBI قضاوت بهتر و واقعی‌تری از وضعیت اکولوژیک خلیج نشان می‌دهند که منطبق با پراکنش فلزات سنگین به‌عنوان یکی از استرس‌های محیطی منطقه می‌باشد. از طرفی چون شاخص M-AMBI به‌صورت چند متغیره از نتایج AMBI، شاخص تنوع (Diversity) و غنای زیستی (Richness) استفاده می‌کند و در محاسبه آن از بیشترین مقدار شانون به‌عنوان مقدار شاهد یا مبنا استفاده می‌شود، بنابراین نتایج این شاخص می‌تواند قضاوت قوی‌تری را از وضعیت اکولوژیک خلیج نشان دهد. از طرفی همانند نتایج بررسی Blanchet و همکاران (۲۰۰۸) در این مطالعه نیز بررسی استفاده از ۵ شاخص زیستی رایج (AMBI, M-AMBI, BOYA, BENTIX, H') برای ارزیابی وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌های ساحلی نیمه بسته، در پناه و پیکره آبی انتقالی نشان می‌دهد که نتایج این شاخص‌ها به‌ندرت با یکدیگر موافق بوده و تصویر خیلی متفاوتی از وضعیت اکولوژیک کل مناطق ارائه می‌دهند و محدودیت‌های این شاخص‌ها را آشکارا مورد تأکید قرار می‌دهد، به‌ویژه وابستگی اغلب این شاخص‌ها و طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک حاصل از آن‌ها به ویژگی‌های زیستگاه از جمله تنوع گونه‌ای ماکروبنتوزها. این موضوع در برخی مطالعات اخیر در ایران نیز مورد تأکید قرار گرفته است (نوروزی و رضایی‌منش، ۱۳۹۹؛ قربان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Pazira et al., ۲۰۲۰).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت با توجه به اینکه تغییرات ساختاری و جمعیتی ماکروبنتوزها در نواحی مصبی، اکوسیستم‌های دریایی و تالابی (Jayachandran et al., ۲۰۱۹) می‌تواند دلایل طبیعی از جمله شرایط زیستی و سیکل زندگی داشته باشد و از سوی دیگر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گیرد. بنابراین منظور به‌کارگیری از شاخص‌های زیستی در هر منطقه جهت اعمال مدیریت زیست‌محیطی و تصمیم‌گیری مناسب و به‌موقع آن، نیاز به استفاده هم‌زمان از شاخص‌های مختلف (مربوط به چند گروه از موجودات منطقه) و بررسی سازگاری بین آن‌ها و درنهایت بومی‌سازی و انتخاب شاخص‌ها مناسب می‌باشد و استفاده از شاخص‌ها به‌تنهایی و بدون ملاحظات مطرح‌شده می‌تواند نتایج اشتباهی را نشان دهد. با این توضیح با توجه به اینکه شاخص M-AMBI یک شاخص چند متغیره می‌باشد و در مطالعه حاضر از مقادیر شانون که به‌نوعی برای منطقه بومی‌شده است، استفاده‌شده، می‌توان به‌عنوان شاخص مناسب منطقه در نظر گرفت.

منابع

- درویش بسطامی، ک.، باقری، ح.، سلطانی، ف. و حمزه پور، ع.، ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت زیست‌محیطی سواحل دریای خزر (سیسنگان) بر اساس شاخص AMBI، علوم و مهندسی محیط‌زیست، سال اول - شماره ۳، صفحات ۷۸-۶۹.
- قربان‌زاده زعفرانی، س. ق.، نفیسه‌حسینی، ن.، ایزدیان، م. و حسینی‌طایفه، ف.، ۱۳۹۹. طبقه‌بندی وضعیت کیفی رودخانه کرج بر اساس شاخص EPT. اولین همایش تنوع زیستی، تهران. ایران. صفحات ۵-۱.
- نوروزی، ح. و رضایی‌منش، م.، ۱۳۹۹. استفاده از شاخص‌های زیستی BMWP و ASPT به‌منظور ارزیابی کیفیت آب تالاب هشیلان (کرمانشاه، ایران). نشریه علمی اکو بیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوازدهم، شماره ۴۳، صفحات ۶۴-۴۷.

AZTI' Marine Biotic Index, ۲۰۱۹. AMBI species list, <https://ambi.azti.es>.

Bahrebar, S., Negarestan, H., Maghsoudlo, A. and Danehkar, A., ۲۰۲۰. Macrobenthic assemblage structure and distribution at the Boojagh Marine National Park, Southern Caspian Sea, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences, ۱۹(۲): ۷۴۸-۷۶۷.

Bakalem, A., Hassam, N., Oulmi, Y., Martinez, M. and Dauvin, J. C., ۲۰۲۰. Diversity and geographical distribution of soft bottom macrobenthos in the bay of Bou Ismail (Algeria, Mediterranean Sea). Regional Studies in Marine Science, ۳۳ (۱۰۰۹۳۸): ۲۳۵۲-۴۸۵۵.

- Bastami, K. D., Taheri, M., Bagheri, H., Foshtomi, M. Y., Ganji, S. and Haghpars, S., ۲۰۱۴.** Response of sediment-dwelling annelida community in relation to geochemical parameters in the Gorgan Bay, Caspian Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, ۱۱, ۲۰۲۵-۲۰۳۶.
- Benkhedda Belhaouari, B., Si-hamdi, F. and Belguermi, A., ۲۰۱۹.** Study of the benthic macrofauna and application of AMBI index in the coastal waters of Algeria. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, ۲۳(۳): ۳۲۱-۳۲۸.
- Blanchet, H., Lavesque, N., Ruellet, T., Dauvin, J. C., Sauriau, P.G., Desro, N., Desclaux, C., Leconte, M., Bachelet, G., Janson, A. L., Bessineton, C., Duhamel, S., Jourde, J., Mayot, S., Simon, S. and de Montaudouin, X., ۲۰۰۸.** Use of biotic indices in semienclosed coastal ecosystems and transitional water habitats. Implications for the Implementation of the European Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, ۸ (۴): ۳۶۰-۳۷۲.
- Dauvin, J. C., Alizier, S., Rolet, C., Bakalem, A., Bellan, G., Gomez Gesteira, J. L., Grimes, S., de-la-Ossa-Carretero, J. A. and Del-Pilar-Rusog, Y., ۲۰۱۲.** Response of different benthic indices to diverse human pressures. *Ecological Indicators*, ۱۲: ۱۴۳-۱۵۳.
- EPA, ۲۰۰۱.** Methods for Collection, Storage, and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses. EPA ۸۲۳-B-۰۱-۰۰۲. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., ۲۰۱۵.** The zonation of soft-bottom sediments in Gorgan Bay (Caspian Sea) using macrobenthos as indicator of ecological health, Ph.D Thesis Marine Biology (Marine Ecology) Islamic Azad University, Science and Research Branch, ۱۶۷p
- Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari, A. R. and Fatemi, S. M. R., ۲۰۱۶.** Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, ۱۵(۳): ۱۱۴۴-۱۱۶۶.
- Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari, A. R. and Fatemi, S. M. R., ۲۰۱۷.** Spatial and temporal patterns of benthic macrofauna in Gorgan Bay, south Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, ۱۶(۱): ۲۵۲-۲۷۴.
- Jayachandran, P. R., Bijoy Nandan, S., Jima, M., Philomina J., Don Xavier, N. D., Sreedevi, O. K., Prabhakaran, M. P. and Joseph K. J., ۲۰۱۹.** Macrobenthic functional feeding groups in a microtidal monsoonal estuary (Kodungallur-Azhikode estuary, India). *Regional Studies in Marine Science*, ۲۵: ۱۰۰۴۴۴.
- Jorgensen, S. E., Costanza, R. and Xu, F., ۲۰۰۵.** Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. CRC Press, ۴۳۹ pp.
- Mosbahi, N., Blanchet, H., Lavesque, N., Montaudouin, X. D., Dauvin, J. C. and Neifar, L., ۲۰۱۷.** Main Ecological Features of Benthic Macrofauna in Mediterranean and Atlantic Intertidal Eelgrass Beds: A Comparative Study. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, ۶:۲, DOI: ۱۰.۴۱۷۲/۲۳۲۴-۸۶۶۱, ۱۰۰۰۱۷۴.
- Pazira, A. R., Salehi, H. and Obeidi, R., ۲۰۲۰.** Identification and investigation of species diversity and richness of the Gastropoda in intertidal zone of Bushehr Port coastal area (the Persian Gulf waters). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, ۱۸(۲): ۳۵۵-۳۷۰.
- Roohi, A., Kideys, A.E., Sajjadi, A., Hashemian, A., Pourgholam, R., Fazli, H., Ganjian Khanari, A. and Eker-Develi, E., ۲۰۱۰.** Changes in biodiversity of phytoplankton, zooplankton, fishes and macrobenthos in the Southern Caspian Sea after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Biological Invasions*, ۱۲: ۲۳۴۳-۲۳۶۱.
- Sigovini, M., Keppel, E. and Tagliapietra, D., ۲۰۱۳.** M-AMBI revisited: looking inside a widely-used benthic index. *Hydrobiologia*, DOI ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۷۵۰-۰۱۳-۱۵۶۵-y.
- Sun, Y., Chen, B., Wu, H., Huang, H., Ma, Z. and Tang, K., ۲۰۱۸.** Assessing benthic ecological status in subtropical islands, China using AMBI and Bentix indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, ۲۰۷: ۳۴۵-۳۵۰.
- Taheri, M. and Yazdani Foshtomi, M., ۲۰۱۱.** Community structure and biodiversity of shallow water macrobenthic fauna at Noor coast, South Caspian Sea, Iran. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, ۹۱(۳): ۶۰۷-۶۱۳.
- Taheri, M., Yazdani Foshtomi, M., Noranian, M. and Mira, S. S., ۲۰۱۲.** Spatial Distribution and Biodiversity of Macrofauna in the Southeast of the Caspian Sea, Gorgan Bay in Relation to Environmental Conditions. *Ocean Science Journal*, ۴۷(۲): ۱۱۳-۱۲۲.