**Original Article**
Journal of Natural Environment 75(1): 38-48 (2022)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

**مقاله کامل**
**نشریه محیط زیست طبیعی**
دوره ۷۵، شماره ۱: ۳۸-۴۸ (۱۴۰۱)

# بررسی ترکیب فصلی، فراوانی و تنوع‌زیستی جوامع درشت بی‌مهرگان کفزی در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان

**محمد قلی‌زاده *، ابوالفضل پیکار پرسا، راحله معتمدی**

**گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱**

## چکیده

با توجه به اینکه بی‌مهرگان کفزی به‌عنوان شاخص‌زیستی در بوم‌سازگان‌های آبی مطرح می‌باشند؛ این مطالعه با هدف بررسی فراوانی و تنوع زیستی جوامع درشت بی‌مهرگان در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان صورت گرفت. نمونه‌های کفزی به‌صورت فصلی از ۵ ایستگاه با سه تکرار با استفاده از نمونه‌بردارگرب با سطح پوشش (۲۲۵ سانتی‌متر مربع) در سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری گردید. در مجموع تعداد ۸۱۹ نمونه از موجودات بی‌مهره که متعلق به ۶ راسته و ۱۰ خانواده شناسایی شدند، که بیش‌ترین تنوع مربوط به راستهٔ حشرات با ۷ خانواده و بیش‌ترین فراوانی متعلق به Chironomidae (۳۱/۵ درصد) و سپس Tubificidae (۲۲/۴۷ درصد) می‌باشد. فصل بهار با ۴۵ درصد بیشترین و فصل زمستان با ۲۲ درصد کمترین میزان فراوانی را نشان شدند. بیش‌ترین فراوانی درشت بی‌مهرگان در ایستگاه ۱ در بخش بالادست رودخانه (جنگلی-کشاورزی) (۴۰/۶۶ درصد) و کمترین مقدار آن در ایستگاه ۵ پایین‌دست (قبل از اتصال به رودخانهٔ چهل‌چای) (۵/۸۶ درصد) به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون در ایستگاه بالادست رودخانه، در فصل پاییز به ترتیب (۰/۳۲ ± ۱/۹۶) و (۰/۱۱ ± ۰/۸۵) به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در ایستگاه ۳ در بخش میان‌دست رودخانه (نزدیکی به روستا و کشاورزی) فصل زمستان (۰/۴ ± ۲/۰۶) و شاخص یکنواختی پیلو در ایستگاه میان دست (۰/۱۹ ± ۰/۹۴) بهار بود. طبق آنالیز مقیاس‌گذاری چند بعدی (MDS) پراکنش کف‌زیان در بین ایستگاه‌ها، سه گروه مجزا را نشان داد. نتایج PCA نشان داد که مواد آلی و رس مهمترین عوامل محیطی در تغییرات جوامع بی‌مهره در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان است. بر اساس یافته‌های این مطالعه به نظر می‌رسد افزایش مواد آلی از مناطق کشاورزی، پساب‌های شهری و روستایی هم‌جوار باعث افزایش آلودگی و افزایش گونه‌های مقاوم به آلودگی از جمله Tubificidae و Chironomidae شده است، که استفاده از شاخص‌های زیستی می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسبی جهت ارزیابی کیفیت منابع آبی بکار برده شود.

**کلید واژگان:** درشت بی‌مهرگان کفزی، شاخص زیستی، رودخانهٔ خرمارود

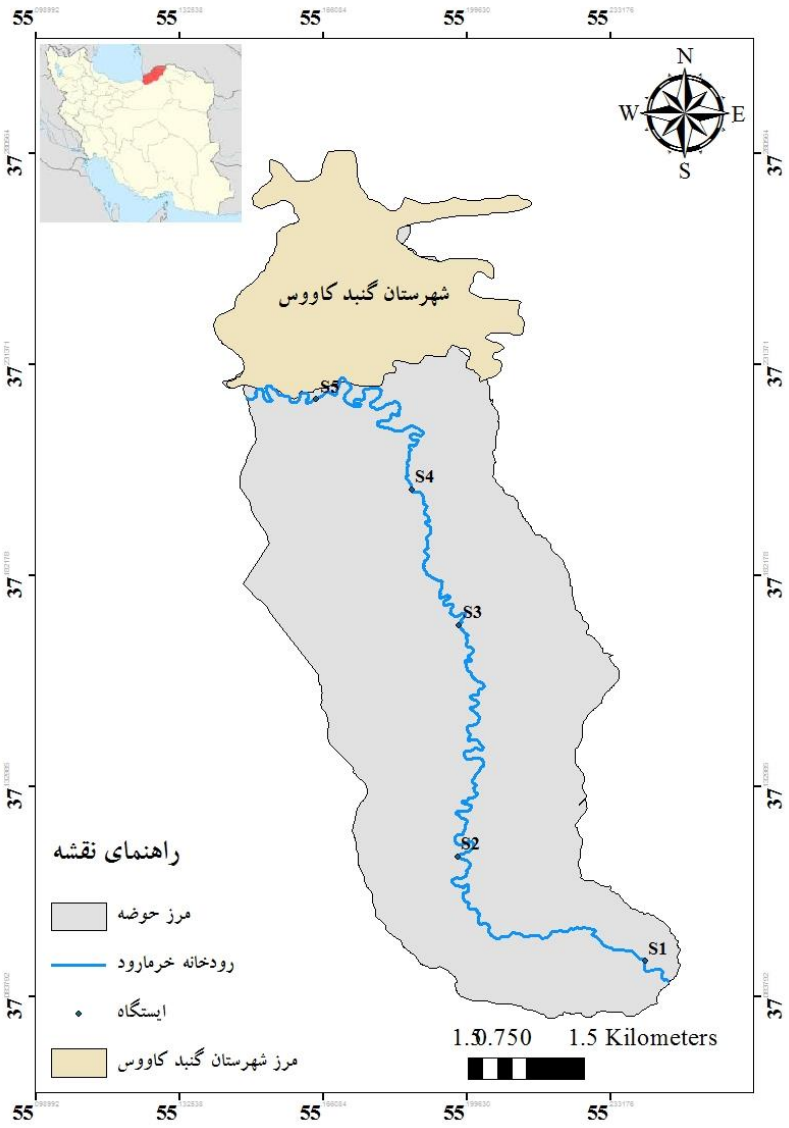
*نویسنده مسئول gholizade_mohammad@yahoo.com

**مقدمه**

توسعهٔ کشاورزی برای پاسخگویی به نیاز روز افزون غـذا، امـری اجتناب‌ناپذیر است. اما در کنار آن، پیامدهایی ناخواسـته و نـامطلوب برای زندگی انسان‌ها و محیط‌زیست رخ می‌دهند که نیازمند چـاره‌جویی و اصلاح می‌باشند. از جمله مهمترین پیامدهای نامطلوب توسعه کشاورزی، آلودگی آب‌های سـطحی و زیرزمینـی اسـت (Ongley, 2003). افزایش جمعیت شهری و گسترش فعالیت‌های کشاورزی، باعث تغییر حوضه‌های زهکشی و رودخانه‌هایی می‌شود که در این حوضه‌های آبریز واقع شده‌اند. منابع نقطه‌ای آلودگی در بیشتر کشورهای پیشرفته از زمان تصویب قانون آب پاک، به شدت مورد مطالعه و تنظیم دقیق‌تر قرار گرفته‌اند (Celi and Villamarín, 2020). درک آلودگی منبع نقطه‌ای و اثرات آن نشان داده است که عوامل دیگر در تخریب کیفیت آب شهری و روستایی نقش دارند، زیرا جریان‌های آبی هنوز اختلال نشان می‌دهند. بسیاری از مطالعات قبلی اثرات آلودگی غیر نقطه‌ای بر کیفیت آب، به ویژه در مناطق شهری توصیف می‌کنند (Wear *et al*., 1998; Winter and Duthie, 1998). عوامل آلودگی غیر نقطه‌ای که به‌طور معمول به‌عنوان عامل مضر کیفیت منابع آبی ذکر می‌شوند، که از جمله این موارد می‌توان نزدیکی به جاده‌ها، آلودگی‌های آلی ناشی از فعالیت‌های دامی با حجم بالا، غنی‌سازی مواد مغذی از کودها را عنوان کرد.

افزایش فعالیت‌های کشاورزی از جمله برداشت آب موجب کاهش دبی و عرض خیسی رودخانه، در دسترس بودن زیستگاه برای موجودات ساکن در رودخانه را کاهش می‌دهد. افزایش آلاینده‌ها، که به افزایش فعالیت‌های انسانی مانند مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات و بیماری‌های گیاهی نسبت داده می‌شود، مشکلات مربوط به کاهش دبی را گشترش می‌دهند، از آنجا که آب کمتری برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها در دسترس است، ارگانیسم‌های ساکن، در شرایط تنشی بیشتری قرار می‌گیرند. ساختار جوامع بی‌مهرگان کفزی از تعداد بیشتری از گونه‌های تخصص‌یافته در مناطق آشفته از جمله کرم‌های کم‌تار نسبت به محیط‌های کمتر آشفته تغییر یافته است (Whiting and Garie and McIntosh, 1983; Clifford, 1986). درشت بی‌مهرگان کفزی شاخصی مناسب برای تعیین کیفیت آب محسوب می‌شوند (Thompson and Lowe, 2004)، از این‌رو برای درک وضعیت منابع آبی و طبقه‌بندی کیفی آن، مطالعهٔ ارزیابی زیستی صورت می‌گیرد (Walen, 2002). شناسایی و بررسی شاخص‌های تنوع و غنای گونه‌ای که پایهٔ شاخص‌های کاربردی در ارزیابی زیستی به‌شمار می‌آیند، که به کمک آن‌ها می‌توان به بررسی وضعیت سلامت یک رودخانه پی برد. نظر به اهمیت موضوع، تحقیقات زیستی و بوم‌شناختی منابع آبی در مدیریت سلامت رودخانه‌ها در برابر آلودگی‌های مختلف صورت گرفته است. که می توان به ارزیابی زیستی رودخانه زرین‌گل علی‌آباد با استفاده از ساختار جوامع درشت بی‌مهرگان کفزی در زمان‌های قبل و بعد از سیل (Gholizadeh, 2021)، مطالعهٔ وضعیت کیفی اکوسیستم رودخانه خیرودکنار نوشهر با استفاده از شاخص‌های تنوع زیستی BMWP و ASPT در ۵ ایستگاه در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۱ (Shahbazi Naserabad *et al*., 2016) اشاره کرد که نتایج آن‌ها نشان داد که ایستگاه‌های مجاورت روستا دارای وضعیت کیفی نامطلوب می‌باشند.

مطالعهٔ رودخانه خرمارود فرصتی منحصر به فرد برای مطالعه تأثیرات فعالیت‌های کشاورزی و روستایی روی ساختارهای جوامع بی‌مهرگان کفزی را فراهم می‌کند. جریان خرمارود از منابع اختلال‌کننده (مانند زه‌آب‌های کشاورزی) منشأ می‌گیرند که پس از گذر از مناطق مسکونی به رودخانه چهل‌چای می‌ریزد. با توجه به اهمیت درشت بی‌مهرگان کفزی در ارزیابی زیستی و کیفی منابع آبی، مطالعه حاضر با هدف شناسایی ایستگاه‌ها در پاسخ بی‌مهرگان کفزی به تغییرات کیفیت آب در امتداد یک شیب با کاربری کشاورزی و روستایی در طول رودخانه خرمارود به اجرا درآمد.




**شکل ۱- منطقهٔ مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان.**

## مواد و روش ها

**منطقه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری:** رودخانهٔ خرمارود در حاشیهٔ محور جاده آزادشهر–شاهرود و منطقهٔ جنوب‌شرقی شهرستان آزادشهر با اختلاف ارتفاع ۹۸۸ متر از سطح دریا و گذر از روستاهای تیل‌آباد، غزنوی، فارسیان، رحیم‌آباد، حاجی‌آباد و زمستان یورد واقع شده که با حرکت به سمت گرگان رود به حوزهٔ آبریز جنوب‌شرقی دریای خزر منتهی می‌گردد. این رودخانه در محدودهٔ شهر گنبدکاووس به رودخانهٔ چهل‌چای می‌پیوندد. به‌طور کلی محدوده‌ای که این رودخانه از آن عبور می‌کند دارای ویژگی‌هایی از جمله شرایط آب و هوایی نزدیک به اقلیم مدیترانه‌ای که در فصل تابستان نسبتاً خشک و گرم است و فعالیت‌های کشاورزی از جمله کشت گندم، برنج و کلزا درآنجا صورت می‌گیرد (Gholizadeh and Porhamidi, 2020).

این مطالعه در سال ۱۳۹۹ در ۳ فصل بهار، پاییز و زمستان (عدم انجام نمونه‌برداری در فصل تابستان به علت فعالیت کشاورزی که موجب کاهش دبی و در برخی نقاط آب راکد بود) از رودخانهٔ خرمارود صورت گرفت. پس از بازدید میدانی، با توجه به موقعیت کاربری متفاوت (از جمله کشاورزی، روستا و نزدیکی به جاده) و امکان نمونه‌برداری از آب و رسوب رودخانه (Gholizadeh *et al.*, 2017)، تعداد ۵ ایستگاه نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک (از

**جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و برخی از خصوصیات محیطی آن در رودخانهٔ خرمارود.**

| ایستگاه | طول جغرافیایی N | عرض جغرافیایی E | عرض (متر) | عمق (متر) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ (جنگلی- کشاورزی) | ″۳۱ ′۰۵ °۳۷ | ″۲۸ ′۱۴ °۵۵ | ۱۴/۱ | ۰/۳۵ |
| ۲ (نزدیک به جاده، کشاورزی و بعد از شهرک صنعتی آزادشهر) | ″۵۳ ′۰۶ °۳۷ | ″۰۰ ′۱۲ °۵۵ | ۱۲/۸ | ۱/۵ |
| ۳ (نزدیکی به روستا و کشاورزی) | ″۴۸ ′۰۹ °۳۷ | ″۰۱ ′۱۲ °۵۵ | ۱۶/۴ | ۰/۶ |
| ۴ (کشاورزی) | ″۰۶ ′۱۲ °۳۷ | ″۱۲ ′۱۱ °۵۵ | ۱۲/۲ | ۱/۲ |
| ۵ (قبل از اتصال به رودخانه چهل چای) | ″۴۳ ′۱۲ °۳۷ | ″۰۹ ′۱۱ °۵۵ | ۶/۲ | ۰/۴ |

عرض‌های کناری) در طول رودخانه تعیین شدند ( جدول ۱). ایستگاه اول بعد از پل پادگان نوده و نزدیک به جادهٔ با فعالیت کشاورزی در محدودهٔ آن، ایستگاه دوم بعد از شهرک صنعتی آزادشهر و نزدیک به جادهٔ با فعالیت کشاورزی در اطراف آن، ایستگاه ۳ و ۴ با کاربری غالب کشاورزی و نزدیک به روستا و ایستگاه ۵ قبل از اتصال رودخانه خرمارود با رودخانه چهل‌چای انتخاب شدند.

**نمونه‌برداری از کفزیان:** نمونه‌برداری از بی‌مهرگان کفزی با استفاده از نمونه‌بردار رسوب مدل VanVeen با سطح مقطع ۲۲۵ سانتی‌متر مربع انجام شد. در هر ایستگاه نمونه‌برداری از سه نقطهٔ کناره‌های رودخانه (به‌عنوان تکرار) انتخاب گردید. از هر نمونه، زیر نمونه‌ای ۵۰ گرمی برداشت و در فویل آلومینیوم پیچیده شد، برای مطالعه تعیین دانه‌بندی و بار مواد آلی رسوب به آزمایشگاه بوم‌شناختی دانشگاه گنبدکاووس منتقل شدند. برای اندازه‌گیری مواد آلی کل (TOM) مقداری از رسوب پس از توزین با ترازو، یک هزارم نمونه در آون ۷۵ درجه خشک شده به مدت ۲۴ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، و پس از آن چهار ساعت در کوره ۵۵۰ درجه قرارگرفته و در نهایت با استفاده از روابط زیر مواد آلی کل محاسبه گردید (Tyson, 1995).

$$TOM = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100$$

X1 = وزن مادهٔ اولیه بعد از خروج از آون

X2 = وزن نهایی بعد از خروج از کوره

برای اندازه‌گیری دانه‌بندی رسوبات، ابتدا مقداری از رسوبات را جدا و شاخ و برگ و مواد اضافی را از آن برداشته شد. سپس ۲۵ گرم از رسوبات را وزن کرده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس رسوبات را در ۲۰۰ سی‌سی آب مقطر و ۱۰ سی‌سی هگزامتا فسفات سدیم با غلظت یک گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از مخلوط کردن رسوبات با محلول، از الک‌های با چشمه ۱۰۰۰، ۴۲۵، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۳ میکرون عبور داده شدند. به‌منظور خشک کردن رسوبات باقیمانده هر الک در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ قرار داده شدند (Eleftheriou and McIntyre, 2005). سپس بقیهٔ نمونه‌ها با الک ۵۰۰ میکرون شستشو و در فرمالین ۴٪ فیکس و به آزمایشگاه انتقال داده شدند (Stark, 1998). جداسازی و شناسایی آرایه‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی بی‌مهرگان کفزی (Thorp and Covich, 2009; Needham, 1976) تا سطح خانواده و جنس در زیر لوپ چشمی صورت گرفت.

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** از شاخص‌های تنوع زیستی از جمله شاخص آرایه (تعداد گونه‌ها)، شاخص فراوانی گونه‌ها، شاخص شانون–وینر و شاخص مارگالف برای نشان دادن تنوع گونه‌های درشت بی‌مهرگان دربستر نرم‌افزار PRIMER Ver.6 استفاده شده است. در ابتدا توزیع داده‌ها (نرمال و همگن بودن) با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و آزمون همگنی واریانس لون مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های غیر نرمال با استفاده از تابع انتقال Cox-Box در نرم‌افزار Minitab.16 جهت نرمال شدن مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تعیین سطح اختلاف بین میانگین فراوانی بی‌مهرگان کفزی در بین مناطق، ایستگاه‌ها و فصول مختلف از تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون Tukey استفاده شد.

**جدول ۲- بی‌مهرگان کفزی مشاهده شده در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان.**

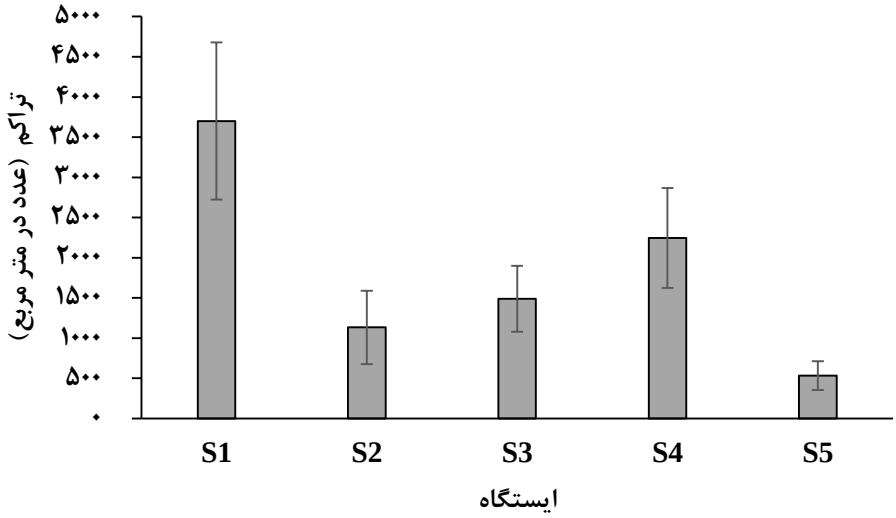
| رده | خانواده | جنس | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amphipoda | Gammaridae | *Gammarus* sp. | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Diptera | Chironomidae | *Chironomus* sp. | ۱۱۷ | ۴۱ | ۴۲ | ۴۸ | ۱۰ |
| | Chironomidae.pupae | | ۱۶ | ۳ | ۱۵ | ۱ | ۰ |
| | Simulidae | *Simullium* sp. | ۳۷ | ۶ | ۱۱ | ۱۹ | ۰ |
| | Ceratopogonidae | *Culicoides* sp. | ۳۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Coleoptera | Elmidae | *Elmis* sp. | ۰ | ۰ | ۲ | ۱ | ۰ |
| Ephemeroptera | Baetidae | *Baetis* sp. | ۴۳ | ۴ | ۱۴ | ۴ | ۰ |
| Trichoptera | Hydropsychidae | *Hydropsyche* sp. | ۴۲ | ۰ | ۱۵ | ۷ | ۰ |
| Oligocheta | Tubificidae | | ۱۶ | ۲۵ | ۱۸ | ۹۲ | ۳۳ |
| | Naididae | | ۱۷ | ۲۳ | ۱۸ | ۳۰ | ۵ |

تحلیل داده‌های آماری در بستر نرم‌افزار SPSS-26 در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای بررسی تفاوت درشت بی‌مهرگان در ایستگاه‌های مطالعاتی از آزمون مقیاس‌بندی چندبعدی غیرمتریک (n.MDS) با استفاده از شاخص شباهت نسبتی Bary-curtis، با تبدیل ریشه دوم داده‌ها برای همه نمونه‌ها در ماتریس گونه‌های اصلی درشت بی‌مهرگان در ایستگاه‌های مختلف با استفاده نرم‌افزار PRIMERVer.6 انجام شد (Clarke and Ainsworth, 1993). همچنین برای تعیین مهمترین عامل محیطی تأثیرگذار در تفکیک درشت بی‌مهرگان در ایستگاه و زمان‌های نمونه‌برداری از آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. همچنین از نیز رسم نمودارها در نرم‌افزارExcel.Ver 2013 انجام شد.

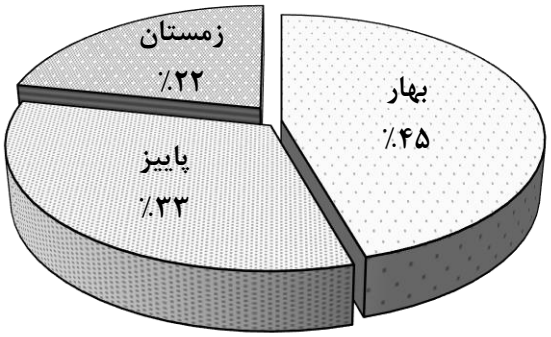
## نتایج

تعداد ۸۱۹ نمونه درشت بی‌مهرگان کفزی متعلق به ۶ راسته و ۱۰ خانواده از ۵ ایستگاه مورد مطالعه در محدودهٔ رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان جمع‌آوری شد (جدول ۲). در مجموع راستهٔ Diptera با ۳ خانواده متنوع‌ترین گروه کفزیان را به خود اختصاص دادند. بیشترین فراوانی مربوط به خانوادهٔ Chironomidae (۳۱/۵ درصد) و سپس خانوادهٔ Tubificidae (۲۲/۴۷ درصد) بود. بر همین اساس خانوادهٔ Chironomidae از راسته دوبالان و خانوادهٔ Naididae و خانوادهٔ Tubificidae از کم‌تاران بیشترین فراوانی و فون غالب درشت بی‌مهرگان کفزی رودخانهٔ خرمارود را شامل شدند. خانوادهٔ Elmidae (۰/۳۷ درصد) و خانوادهٔ Gammaridae(۰/۷۳ درصد) کمترین فراوانی را در طول دوره نمونه‌بردرای به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

در بررسی‌های انجام شده، ایستگاه اول در بخش بالادست رودخانه که در منطقه جنگلی-کشاورزی واقع شده است است با ۴۰/۶۶ درصد بیشترین میزان فراوانی را را نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشت. سپس ایستگاه ۴ واقع در منطقهٔ کشاورزی با ۲۴/۶۶ درصد و ایستگاه ۳ درمنطقه روستایی- کشاورزی با ۱۶/۳۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان فراوانی نیز در ایستگاه ۵ قبل از اتصال رودخانه خرمارود با رودخانهٔ چهل چای با ۵/۸۶ درصد مشاهده شد (شکل ۲). به‌طور کلی بیشترین فراوانی در فصول مورد مطالعه مربوط به رده‌های Diptera و Oligochaeta در منطقهٔ مورد مطالعه بود. بیشترین درصد (۴۹/۳۳ درصد) متعلق به Diptera و کمترین درصد (۰/۷۳ درصد) متعلق به Amphipoda ثبت شد. در فصل بهار Elmidae مشاهده نشد و غالبیت با Chironomidae (۳۸/۶۱ درصد) بود. بیشترین فراوانی Baetidae و Hydropsychidae در فصل پاییز مشاهده شد. در بررسی




**شکل ۲- تراکم (عدد در متر مربع) (میانگین و انحراف معیار) بی‌مهرگان کفزی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان.**



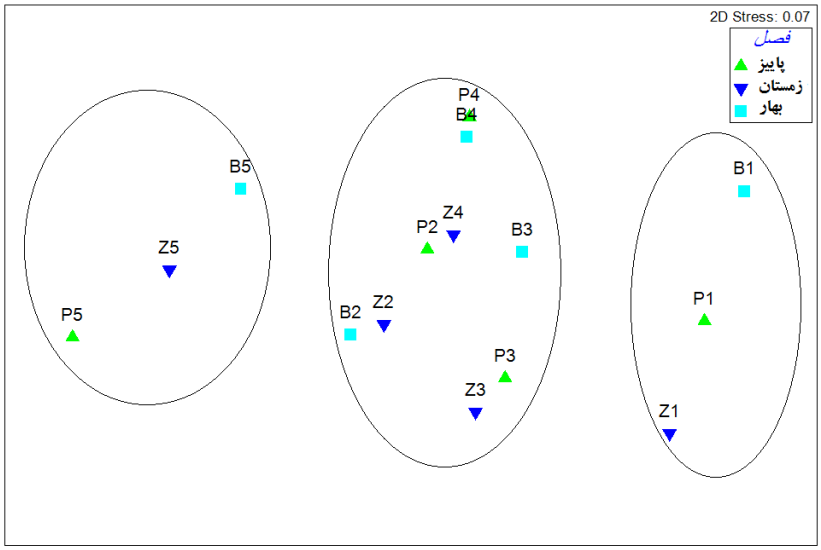

**شکل ۳- درصد فراوانی بی‌مهرگان کفزی رودخانهٔ خرمارود در فصل‌های نمونه‌برداری.**

**جدول ۳- مقادیرشاخص‌های زیستی بی‌مهرگان کفزی درفصول نمونه‌برداری از رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان.**

| فصل | بهار | | | | | پاییز | | | | | زمستان | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ایستگاه | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| فراوانی | ۱۸۲ | ۲۴ | ۶۵ | ۷۴ | ۲۸ | ۹۹ | ۴۷ | ۳۹ | ۷۶ | ۷ | ۵۲ | ۳۱ | ۳۰ | ۵۲ | ۱۳ |
| شانون | ۱/۵۶ | ۱/۵۶ | ۱/۸۲ | ۱/۳۷ | ۰/۸ | ۱/۹۶ | ۱/۳۹ | ۱/۶۳ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۱/۹۱ | ۱/۲۷ | ۱/۷۳ | ۱/۵ | ۰/۸۳ |
| سیمپسون | ۰/۶۷ | ۰/۸ | ۰/۸۴ | ۰/۷۱ | ۰/۴۹ | ۰/۸۵ | ۰/۷۱ | ۰/۷۵ | ۰/۶ | ۰/۵۲ | ۰/۸۳ | ۰/۷۱ | ۰/۸۱ | ۰/۷۷ | ۰/۵۱ |
| یکنواختی | ۰/۷۱ | ۰/۸۷ | ۰/۹۴ | ۰/۸۵ | ۰/۷۳ | ۰/۸۹ | ۰/۷۸ | ۰/۷۹ | ۰/۶۷ | ۰/۷۲ | ۰/۸۷ | ۰/۷۹ | ۰/۸۳ | ۰/۸۴ | ۰/۷۶ |
| مارگالف | ۱/۵۴ | ۱/۵۷ | ۱/۴۴ | ۰/۹۳ | ۰/۶ | ۱/۷۴ | ۱/۳ | ۱/۹۱ | ۱/۱۶ | ۱/۰۳ | ۲/۰۳ | ۱/۱۷ | ۲/۰۶ | ۱/۲۷ | ۰/۷۸ |

فصل‌های مختلف نمونه‌برداری شده، فصل بهار با ۴۵ درصد و سپس فصل پاییز با ۳۳ درصد بیشترین میزان فراوانی را نسبت به سایر فصل‌ها داشت. کمترین میزان فراوانی نیز مربوط به فصل زمستان با ۲۲ درصد بود (شکل ۳).

در ارتباط با مقایسه شاخص‌های زیستی بین ایستگاهی، نتایج تغییرات معنی‌داری را در هیچ یک از شاخص‌ها نشان نداد ($P>0/05$). اگرچه برخی از شاخص‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (از جمله ایستگاه ۱ با دیگر

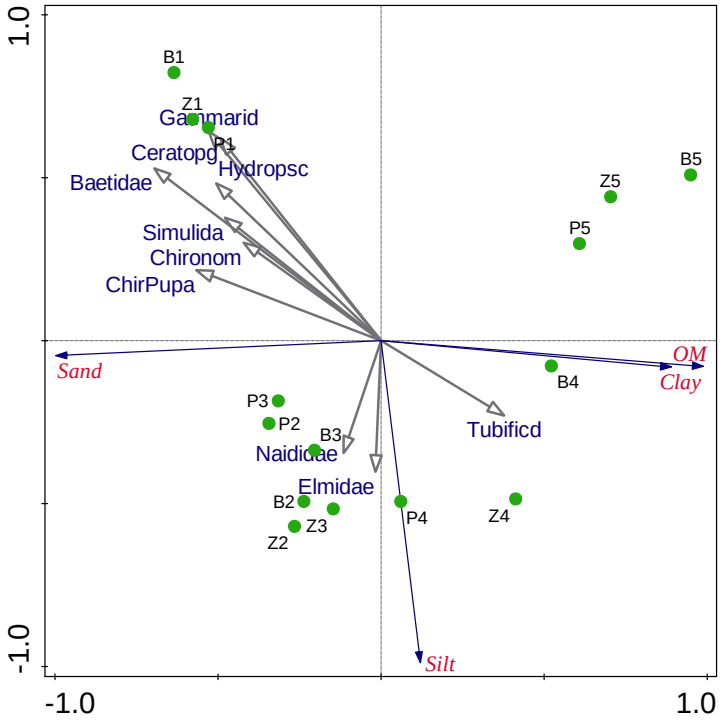



**شکل ٤- تصویر دو بعدی از مقیاس گذاری (MDS) در رودخانهٔ خرمارود، استان گلستان.**

**جدول٤ - مقادیر ویژه و درصد واریانس مربوط به هر یک از مؤلفه‌ها در تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.**

| مؤلفه | مقادیر ویژه | واریانس (درصد) | واریانس تجمعی (درصد) |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۹۴ | ۹۳/۸۲ | ۹۳/۸۲ |
| ۲ | ۰/۵۳ | ۵/۲۵ | ۹۹/۰۷ |
| ۳ | ۰/۰۰۷ | ۰/۷۳ | ۹۹/۸ |

ایستگاه‌ها در فصول مختلف) اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<$۰/۰۵). در نتایج به‌دست آمده از نمونه‌برداری در تمام فصول، بیشترین میزان شاخص تنوع شانون در ایستگاه ۱ (۱/۹۶) و کمترین میزان مربوط به ایستگاه ۵ (۰/۸) در فصل پاییز بود. همچنین بیشترین میزان شاخص یکنواختی پیلو در ایستگاه ۳ (۰/۹۴) بهار و کمترین میزان در ایستگاه ۴ پاییز (۰/۶۷) دیده شد. در بررسی شاخص‌های تنوع بیشترین میزان تنوع سیمپسون در ایستگاه اول پاییز (۰/۸۵) و کمترین میزان آن در ایستگاه ۵ بهار (۰/۴۹) مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در ایستگاه ۳ فصل زمستان (۲/۰۶) و کمترین میزان در ایستگاه ۵ بهار (۰/۶) دیده شد. بیشترین فراوانی (تعداد کل موجودات بی‌مهره شناسایی شده در هر ایستگاه) در ایستگاه ۱ فصل بهار (۱۸۲ عدد بی‌مهره در ۲۲۵ سانتی‌متر مربع) و کمترین آن در ایستگاه ۵ فصل پاییز (۷ عدد در ۳ تکرار) بود (جدول ۳). در مقیاس‌گذاری چند بعدی (MDS)، گروه‌های بی‌مهرگان کفزی به‌طور مشخص به ۳ گروه (با درصد تشابه ۲۰٪) تقسیم شدند (شکل ۴). ایستگاه ۵ از فصول بهار، پاییز و زمستان که از نظر فراوانی درشت بی‌مهرگان به هم نزدیک بودند، در یک گروه قرار گرفتند. در گروه دوم ایستگاه‌هایی که از نظر فراوانی تقریباً نزدیک به هم بودند پیرامون یک نقطه کنار هم قرار گرفتند. ایستگاه ۱ از فصول نمونه‌برداری مختلف نیز در فاصله کمی از هم واقع شده‌اند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بررسی اثرات مشترک عوامل بوم‌شناختی در فصول و ایستگاه‌های مختلف نشان داد که مقادیر ویژه مربوط به دو مؤلفهٔ اول برای توجیه تغییرات انتخاب شدند (جدول ۴). این مؤلفه‌ها ۹۹/۰۷ درصد واریانس را شامل می‌شود که مؤلفه اول ۹۳/۸۲ درصد و مؤلفه دوم ۵/۲۵ درصد واریانس موجود در متغیرها را در بر می‌گیرد. محور اول همبستگی معنی‌داری با کل مواد آلی (TOM) و رس نشان داد (شکل ۵). نتایج نشان داد که ایستگاه ۱ با خانواده‌های Gammaridae، Baetidae و




**شکل ۵- تغییرات جوامع بی‌مهره کفزی در ارتباط با عوامل بوم‌شناختی مورد بررسی در رودخانهٔ خرمارود بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم حاصل از تحلیل تجزیه به مولفه اصلی (PCA) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری**

Hydropsychidae به‌طور معنی‌داری در ارتباط است. همچنین حضور Tubificidae در ایستگاه ۴ با عوامل مواد آلی و رس در ارتباط است.

## بحث و نتیجه گیری

شناسایی، بررسی فراوانی و تنوع بی‌مهرگان کفزی در رودخانه‌ها، به‌عنوان شاخص‌زیستی در تعیین میزان آلودگی آب با اهمیت است، زیرا این شاخص تحت تأثیر عوامل زیست‌محیطی قرار دارد (Pinto *et al*., 2009). در مطالعه حاضر در مجموع، شاخهٔ حشرات با ۴ راسته و ۷ خانواده متنوع‌ترین گروه کفزیان را به خود اختصاص دادند. متنوع‌ترین گروه از ردهٔ حشرات را راسته دوبالان (Diptera) تشکیل داد. بیشترین فراوانی از این راسته متعلق به خانواده Chironomidae بود. تغییر در تنوع و فراوانی موجودات کفزی در فصول مختلف ناشی از تغییرات پارامترهای کمی و کیفی آب، تغذیه و رقابت است که در چرخهٔ زندگی این موجودات تأثیر می‌گذارد (Quinn and Hickey, 1990).

در رودخانهٔ خرمارود طی دوره مطالعاتی بیشترین تنوع و فراوانی بی‌مهرگان کفزی به ترتیب در فصول بهار و پاییز مشاهده شد. خانوادهٔ Chironomidae و سپس Tubificidae در فصول نمونه‌برداری دارای حداکثر تراکم بودند، که با توجه به ارزش مقاومتی آن‌ها، نشان‌دهندهٔ تغییر در اکوسیستم و تا حدی بهبود شرایط محیطی فصل بهار نسبت به زمستان است، با این وجود همچنان محیط دارای شرایط مساعدی نمی‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که وجود فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی و پساب روستایی و شهری در منطقهٔ مورد بررسی باعث افزایش بار آلودگی آلی شده است، که این امر موجب فراوانی گونه‌های مقاوم مانند Chironomidae و Tubificidae بود (Gholizadeh and Heydarzadeh, 2019، Rezvani *et al*., 2020). چنین نتایجی با مطالعات حاضر هم‌خوانی دارد. Alizadeh و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی جوامع بی‌مهرگان کفزی رودخانه آجی‌سو، استان گلستان بیان داشتند که در ایستگاه‌هایی با فعالیت کشاورزی، فراوانی شیرونومیده زیاد

شده است و با فاصله گرفتن از آن فراوانی Ephemeroptera بیشتر شده است. Gholizadeh و Pakravan (۲۰۱۹)، مطالعه‌ای روی جوامع بزرگ بی‌مهرگان کفزی بر اساس شاخص‌های‌زیستی در رودخانه زرین‌گل، استان گلستان در ۴ ایستگاه در سال ۹۵-۱۳۹۴ انجام دادند. نتایج نشان داد که وجود فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی و مزارع پرورش ماهی در این رودخانه می‌تواند موجب آلودگی آب‌های سطحی شود. همچنین بیشترین فراوانی مربوط به راسته Diptera با ۴۶/۹ درصد بود.

استفاده از شاخص‌های تنوع‌زیستی بر اساس ساختار جوامع کفزی برای مطالعه کیفیت آب و آگاهی از سلامت زیستی اکوسیستم حائز اهمیت است (Taylor, 2000). بر اساس شاخص شانون، هر چقدر مقدار آن کم‌تر و نزدیک به صفر باشد محیط آلوده‌تر است. کم‌ترین مقدار شاخص شانون در فصل پاییز، ایستگاه ۵ (۰/۸) و بیشترین میزان شاخص تنوع شانون در ایستگاه ۱ (۱/۹۶) از فصل پاییز به‌دست آمد. بر اساس زمان‌های نمونه‌برداری، این شاخص نشان داد که در این مطالعه رودخانهٔ خرمارود در محدودهٔ منطقه با آلودگی متوسط (۲-۱=$H'$) قرار دارد. شاخص غالبیت سیمپسون نشان از درجه غالبیت است و بین ۰ و ۱ متغیر است. همچنین شاخص مارگالف نیز نشان‌دهندهٔ میزان غنی و فقیر بودن اکوسیستم آبی است و هر چقدر مقدار عددی آن بیشتر باشد سلامت بدنه آبی را نشان می‌دهد (Jorgensen *et al.*, 2005). کاهش تنوع گونه‌ای و افزایش آلودگی کیفی آب به‌دلیل استفاده از آب رودخانه برای زمین‌های کشاورزی و ورود پساب روستایی می‌باشد که با نتایج Gholizadeh و Alinejad (۲۰۱۸)، Foomani همکاران (۲۰۱۹) و Molaei همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت. همچنین بیشترین میزان شاخص یکنواختی پیلو در ایستگاه ۳ (۰/۹۴) بهار و کمترین میزان در ایستگاه ۴ پاییز (۰/۶۷) مشاهده شد. روند تغییرات این شاخص در بین فصول مختلف جزئی می‌باشد.

تجزیه و تحلیل چند بعدی (MDS) در رودخانهٔ خرمارود، توزیع ایستگاه‌های نمونه‌برداری را در یک فضای دو بعدی در شکل ۴ نمایان می‌کند. ایستگاه‌های نمونه‌برداری به طور واضح به ۳ بخش تقسیم‌شده‌اند. ایستگاه ۵ از فصول بهار، پاییز و زمستان که از نظر فراوانی درشت بی‌مهرگان به هم نزدیک بودند، در یک گروه قرار گرفتند. کاهش تنوع و افزایش فراوانی راسته کم‌تاران و خانوادهٔ Tubificidae در این ایستگاه نمایان است، که می‌توان به‌دلیل افزایش عرض رودخانه، کاهش دبی، وجود پساب روستاهای اطراف آن و فعالیت کشاورزی دانست. در گروه دوم، ایستگاه هایی که از نظر فراوانی تقریباً نزدیک به هم بودند حوالی یک نقطه کنار هم قرار گرفتند. در گروه سوم نیز ایستگاه ۱ از فصول نمونه‌برداری در فاصله کمی از هم واقع شده اند. به این دلیل که ایستگاه ۱ دارای جنس بستر ماسه‌ای-سنگلاخی با کاربری جنگلی- کشاورزی بود. نتایج PCA نشان داد که مواد آلی و رس مهمترین عوامل در تغییرات جوامع بی‌مهره در رودخانه خرمارود، استان گلستان هستند.

به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که آشفتگی‌های زیست‌محیطی دلیل تغییر در ساختار جوامع درشت بی‌مهرگان کفزی، بر اساس شاخص تنوع شانون، سیمپسون و غنای گونه‌ای مارگالف، در فصول مختلف و ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانهٔ خرمارود است. بیشترین تعداد درشت بی‌مهرگان کفزی متعلق به گونه‌های مقاوم Chironomidae و Tubificidae بود. وجود فعالیت‌های انسانی (از جمله پساب روستایی، شهری و کشاورزی) در منطقهٔ مورد مطالعه می‌تواند دلیلی بر فراوانی کم گونه‌ها دانست، بنابراین توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و مدیریت کارآمد در سازمان‌های مربوطه در این منطقه احساس می‌شود.

## References


Alizadeh, M., Hosseini, S.A., Jafaryan, H., Ghorbani, R., Gholizadeh, M., 2019. Evaluation seasonal distribution patterns and biodiversity of macroinvertebrates communities in Aji-Su River (Golestan province). Journal of Animal Environment 2(11), 361-370. (In Persian)

Celi, J.E., Villamarín, F., 2020. Freshwater ecosystems of mainland Ecuador: Diversity, issues and perspectives. Acta Limnologica Brasiliensia 32, 1-8.

Clarke, K.R., Ainsworth, M., 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Marine Ecology Progress Series 92, 205-219.

Eleftheriou, A., McIntyre, A.D., 2005. Methods for study of Marine Benthos. 3rd eds. Blackwell, Oxford. 440 p.

Foomani, A., Gholizadeh, M., Harsij, M., Salavatian, M., 2020. River health assessment using macroinvertebrates and water quality parameters: A case of the Shanbeh-Bazar River, Anzali Wetland, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences 19(5), 2274-2294.

Garie, H.L., McIntosh, A., 1986. Distribution of benthic macroinvertebrates in a stream exposed to urban runoff: Water Resources Bulletin 22(3), 447-451.

Gholizadeh, M., Toomaj, A., Hossiendost, S., 2017. Modeling habitat requirements of riverine stone loach, Paracobitis hircanica) Teleostei: Nemacheilidae) in the Zarin Gol River, Caspian Sea basin, Iran. Iranian Journal of Ichthyology 4(4), 340-351.

Gholizadeh, M., Alinejad, M., 2018. Assessment of spatial variability of some affecting parameters on water quality of Zarin Gol River in Golestan province. Journal Environmental Science 16(1): 111-126. (In Persian).

Gholizadeh, M., Heydarzadeh, M., 2019. Functional feeding groups of macroinvertebrates and their relationship with environmental parameters (case study: in Zarin-Gol River). Iranian Journal Fish Science 19(5): 2532-2543.

Gholizadeh, M., Pakravan, M., 2019. Investigation of benthic macroinvertebrate based on bio-indicator in Zarin-Gol River, Golestan Province. Journal of Environmental Science and Technology 21(8): 221-232. (In Persian).

Gholizadeh, M., Porhamidi, F., 2020. Health assessment of water quality of Madarsoo River (Golestan province) using multimetric biological index. Journal of Environmental Studies 46(2): 307-319. (In Persian).

Gholizadeh., M., 2021. Effects of floods on macroinvertebrate communities in the Zarin Gol River of northern Iran: implications for water quality monitoring and biological assessment. Ecological Processes 10(1):1-11.

Jorgensen, S.E., Costanse, R., Xu, F., 2005. Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health.Taylor and Francis Group Eddition, London.

Molaei, M., Patimar, R., Gholizadeh, M., Pourali, S.H., Jafarian, H. 2021. The effects of aquaculture effluents on macroinvertebrate community and their feeding responses performance in Zarringol Stream, Golestan Province. Journal of Aquaculture Development 15 (1) :87-106. (In Persian).

Needham, J.G., Paul, R., Needham, P.R., 1962. A guide to the study of freshwater biology, fifth edition. Holden- Day. San Francisco, USA.

Ongley, E., 2003. Control of water pollution from agriculture. FAO Irrigation and Drainage 55: 101.

Pinto, R., Patrico, J., Baeta, A., Fath, B.D., Neto, J.M., 2009. Review and evaluation of estuarine biotic indices to assess benthic condition. Ecology Indicators 9(1), 1-25.

Quinn, M. and Hickey, W., 1990. Magnitude of effects of substrate particle size, recent flooding, and catchment development on benthic invertebrates in 88 New Zealand rivers, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 24(3): 411-427.

Shahbazi Naserabad, S., Poorbagher, H., Eagderi, S., Danehkar, A., Rajaei, M. 2016. Comparison of BMWP, ASPT and biodiversity indexes in order to assessment of temporal rivers quality (case study: Kheiroud-kenar River). Journal of Natural Environment 69(2): 439-467. (In Persian).

Stark, J. D. 1998. SQMCI: a biotic index for freshwater macroinvertebrate codedabundance data. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 32: 55-66.

Taylor, B.R., 2000. Technical evaluation on

methods for bentic invertebrate's data analysis and Interpretation. AETE Project 2. 1. 3. prepared for Canada Canter for Mineral and Energy Technology. Ottawa, Ontario. 93 P.

Thompson, B., Lowe, S., 2004. Assessment of macrobenthos response to sediment contamination in the San Francisco estuary, California, USA. Environmental Toxicology and Chemistry 23: 2178- 2187.

Thorp, J.H., Covich, A.P. (eds.)., 1991. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, San Diego, USA.

Tyson, R.V., 1995. Sedimentary organic matter: Organic facies and palynofacies, (Chapman & Hall, London), pp. 615.

Walen, J.K., 2002. Assessment of stream habitat, fish, macroinvertebrates, sediment and water chemistry for eleven streams in Kentucky and Tennessee, Virginia Polytechnic Institute, CATT. 71 p.

Wear, D.N., Turner, M.G., Naiman, R.J., 1998. Land cover along an urban–rural gradient-Implications for water quality: Ecological Applications 8(3): 619-630.

Whiting, E.R., Clifford, H.F., 1983. Invertebrates and urban runoff in a small northern stream, Edmonton, Alberta, Canada: Hydrobiologia 102: 73-80.

Winter, J.G., Duthie, H.C., 1998. Effects of urbanization on water quality, periphyton and invertebrate communities in a southern Ontario stream: Canadian Water Resources Journal 23(3): 245-257.