

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دوازدهم، اسفند ماه ۹۸

تعیین تغییرات مکانی، زمانی و ساختار جمعیتی زئوپلانکتون‌های دریاچه سد بوکان با استفاده از زمین‌آمار

علی محسن پور آذری^{*۱}

A_mohsenpour@ifro.ir

فریدون محبی^۲

رضا سکوتی اسکویی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: تحقیق حاضر باهدف بررسی تغییرات مکانی و زمانی جمعیت زئوپلانکتون‌های دریاچه سد بوکان و تهیه نقشه این تغییرات به‌منظور بهره‌برداری‌های کشاورزی و شیلاتی انجام گرفت.

روش بررسی: نمونه‌برداری از آب دریاچه سد در هشت ایستگاه از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا پایان آن و با تناوب ماهیانه انجام گرفت. پس از پالایه نمونه‌ها با مش ۵۵ میکرون، عصاره‌ها با فرمالین ۴ درصد تثبیت و با میکروسکوپ اینورت شمارش گردید. برای بررسی تغییرات مکانی زئوپلانکتون‌ها و برآورد آن در نقاط نمونه‌برداری نشده دریاچه سد، از روش میان‌یابی زمین‌آماری در محیط GIS و نرم‌افزار GS+ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی، مقایسه و انتخاب روش میان‌یابی مناسب از روش ارزیابی متقابل استفاده گردید.

یافته‌ها: نتیجه برازش یک مدل کروی بر نیم‌تغییرنمای تجربی تعداد زئوپلانکتون‌ها در زمستان نشان می‌دهد شعاع تأثیر این نیم تغییر نما معادل ۷۲۸۰ متر است. ضریب همبستگی برای مدل برازش داده‌شده برابر ۰/۹۹۵ محاسبه شده است. با مقایسه نتایج مقایسه این روش‌ها، روش کریجینگ با داشتن خطای $MAE = -۵۳/۴۲$ به‌عنوان مدل مناسب برآورد منطقه‌ای تراکم زئوپلانکتون‌ها انتخاب و نقشه‌های پراکنش آن‌ها در محیط GIS تهیه گردید.

نتیجه‌گیری: بیش‌ترین تراکم جمعیت زئوپلانکتون‌ها در فصل تابستان و کم‌ترین آن در فصل بهار دیده شد. مقادیر بیشینه زئوپلانکتون در ابتدای سد است که تا انتهای دریاچه سد به شکل منظم کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، زئوپلانکتون، زمین‌آمار، سد بوکان.

۱- مرکز تحقیقات آرتمیای کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

۲- مرکز تحقیقات آرتمیای کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۳- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران (مسئول مکاتبات).

Determination Zooplankton Spatial, Temporal and Population Structure Changes of the Bukan Dam Using Geo-statistics

Ali Mohsenpour Azari^{1*}

A_mohsenpour@ifro.ir

Feridoon Mohebbi²

Reza Sokouti³

Accepted: 2018.11.08

Received: 2016.08.04

Abstract

Background and Objective: This study was performed to investigate the spatial and temporal changes of the zooplankton population in the Bukan reservoir and to map these variations for agricultural and fisheries exploitation.

Method: The samples were taken monthly from eight sampling sites during 2015. The samples were filtered through a 55-micron mesh size filter, fixed by 4% formalin and enumerated by an inverted microscope. Geo-statistics interpolation method in GIS (GS+ software) was used to reveal spatial changes of zooplankton and to estimate it in non-sampled points. The cross validation method was used to evaluate and compare the geostatistical methods.

Findings: Spherical model fitness on the empirical semi-variogram of zooplankton density in the winter provided the results that indicated the radius of semi- variogram effect is 7280 m. The correlation coefficient of the fitted model was 0.995. The Kriging method with error of -53.42 was selected as a suitable model for spatial assessment of zooplankton density.

Discussion and Conclusion: Most of the zooplankton population is in the summer and the lowest was seen in the spring. The maximum number of zooplanktons at the beginning of the Bukan dam which regularly reduced towards end of the dam.

Key words: spatial changes, zooplankton, geo-statistics, Bukan dam.

1- National Artemia Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran..

2- National Artemia Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

3- Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran

مقدمه

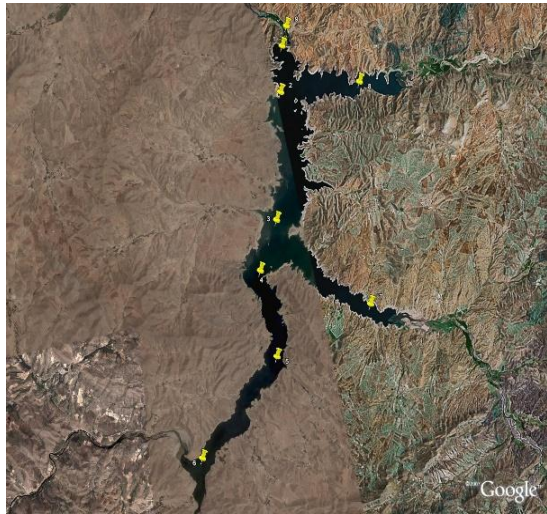
پلانکتون از ریشه واژه یونانی "planktos" به معنای جسم شناور است و موجودات میکروسکوپی هستند که آزادانه در جریان آب شناورند. این موجودات بر دو نوع فیتوپلانکتون‌ها از منشأ گیاهی و زئوپلانکتون‌ها از منشأ جانوری مشتمل می‌شوند. اگرچه زئوپلانکتون‌ها با آب‌های جاری حرکت می‌کنند ولی بعضاً دارای انرژی برای حرکات عمودی در آب هستند که برای فرار از جانوران شکارچی یا به‌دست آوردن غذا انجام می‌گیرد. اصولاً زئوپلانکتون‌ها در سطح آب یافت می‌شوند و به‌عنوان منبع غذایی فراوان برای سایر موجودات آبی به‌شمار می‌روند (۱). زئوپلانکتون‌ها اغلب به‌عنوان شاخص سلامت آبی و محیطی استفاده می‌شوند (۲) به‌طوری‌که هر تغییری در ساختار اجتماع آن‌ها، نوعی هشدار در مورد ورود آلاینده‌ها به آب است (۳). Dejen و همکاران تغییرات زمانی و مکانی زئوپلانکتون‌ها را در دریاچه تانا ایتپی بررسی و به این نتیجه رسیدند که فراوانی زئوپلانکتون‌ها تغییرات معنی‌داری دارد به‌طوری‌که دارای بیش‌ترین تراکم در فصل خشک است (۴). مطالعه Villate در بررسی تغییرات فصلی زئوپلانکتون‌ها به این نتیجه رسید که در فاصله زمانی به مدت یک سال اختلاف معنی‌داری در فراوانی و ترکیب گونه‌ای زئوپلانکتون‌ها از شرق به غرب و به‌موازات ساختار سیستم رخ داده است که گل‌آلودگی، درجه حرارت و حجم آب مهم‌ترین عوامل مؤثر در حصول این نتیجه بود. (۵). گسترش زئوپلانکتون‌ها در مناطق مساعد، به‌وسیله مقدار شوری محیط، دما، PH، غذای قابل‌دسترس کنترل می‌شود (۶). هدایتی فرد و همکاران با مطالعه ساختار جمعیت زئوپلانکتون‌ها در رابطه با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آب به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین تراکم زئوپلانکتون‌ها در فروردین‌ماه با میانگین ۲۴۵۰۶ عدد در مترمکعب و حداقل آن در دی‌ماه با میانگین ۸۴۶ عدد در مترمکعب است (۷). بختیاری و همکاران با بررسی ترکیب و فراوانی فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها نشان دادند که جامعه آن‌ها عمدتاً شامل پاروپایان، روتیفرها، لارو پرتاران، *sergestid* و لاروهای سخت‌پوستان بود. پاروپایان فراوان‌ترین

اجتماع زئوپلانکتونی بودند و دامنه فراوانی *Calanoidae*، *Cyclopoidae* و *Harpacticoidae* به ترتیب ۱۷-۳، ۵-۰/۲، ۱-۰ فرد در لیتر بود. از کالانیئیده‌ها *Acartia* و *Centropage* و از سیکلوپئیده‌ها *Oithona* غالب بودند و تنها گونه هارپکتیکوئیده از جنس *Euterpina* بود (۸). خم‌خاچی و همکاران مجموعاً ۹ جنس از گروه کوبه پودا شناسایی کردند که بیش‌ترین تراکم مربوط به جنس *Cyclops* با میانگین ۱۴۹ عدد در مترمکعب و کم‌ترین تراکم مربوط به جنس *Diaptomus* با میانگین ۰/۱ عدد در مترمکعب بود. میانگین تراکم کل این گروه در دریاچه ولشت ۲۴۹ عدد در مترمکعب محاسبه گردید. بیش‌ترین تراکم گروه کوبه پودا در اردیبهشت‌ماه با میانگین ۶۳۸ عدد در مترمکعب و حداقل آن در دی‌ماه با میانگین ۸ عدد در مترمکعب مشاهده گردید (۹). محسن‌پورآذری و محبی تراکم جمعیتی و تغییرات گونه‌ای زئوپلانکتون‌های سد بوکان را بررسی و نشان دادند که فون زئوپلانکتونی دریاچه سد بوکان شامل ۲۴ جنس و ۴۲ گونه است (۱۰). خداپرست در تحقیق خود در حوضه جنوبی دریای خزر نشان داد که بیش‌ترین تراکم سالیانه مربوط به فصل تابستان و بیش‌ترین میانگین زی‌توده آن در فصل زمستان است. جمعیت زئوپلانکتونی شامل (Copepoda)، (Cladocera)، (Rotatoria) بود (۱۱). فرهادیان با بررسی دریاچه سد شیان اسلام‌آباد به این نتیجه رسید ساختار عمده جمعیت زئوپلانکتون شامل Copepodit و Naupli Copepoda است (۱۲). نتایج حاصل از تحقیق حق‌پرست با استفاده از آنالیز افزونگی (RDA) نشان‌دهنده تفاوت میان ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری از لحاظ پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی تأثیرگذار بر فراوانی زئوپلانکتون‌ها در هر یک از فصول بهار و تابستان بود (۱۳). زئوپلانکتون‌ها از جمله Copepod دارای تغییرات زمانی و مکانی هستند (۱۴ و ۱۵) که نوع تروفی آب بر این تغییرات مؤثر است (۱۶). از طرف دیگر تغییرات مکانی عوامل محیطی همیشه خطی نیست و این تغییرات به‌عنوان تابعی از فاصله است. روش‌های زمین‌آماری

منطقه به عنوان منبع اصلی تأمین آب برای مصارف مختلف، مطالعات معدودی زئوپلانکتون‌های آن را مورد بررسی قرار داده است لذا تحقیق حاضر باهدف بررسی ساختار جمعیتی و تغییرات مکانی و زمانی جمعیت زئوپلانکتون‌های دریاچه سدبوکان و تهیه نقشه این تغییرات به منظور بهره‌برداری‌های مختلف کشاورزی و شیلاتی انجام گرفت.

روش بررسی

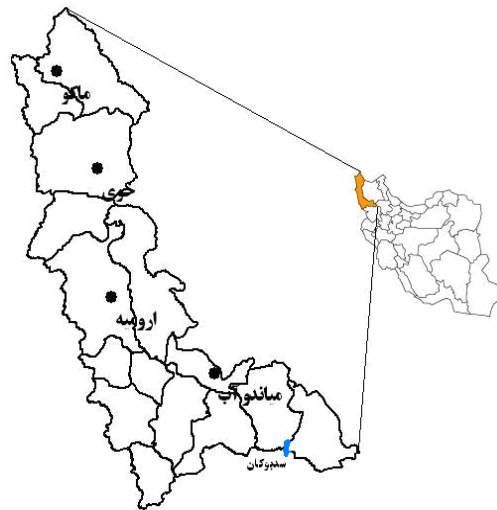
سد مخزنی بوکان بر روی رودخانه زربینه رود در استان آذربایجان غربی احداث شده است این سد با حجم مفید ۷۶۲ میلیون مترمکعب، در ۸۵ کیلومتری جنوب شهر میاندوآب قرار گرفته است. آب خروجی از سد بوکان، در پشت بند انحرافی نوروزلو در ۷۰ کیلومتری پایین دست سد بوکان و ۵ کیلومتری شهرستان میاندوآب جهت استفاده در مصارف مختلف منطقه توزیع می‌گردد.



شکل ۲- نقاط نمونه‌گیری در دریاچه سد بوکان

Figure 2- Sampling points on Bukan Dam

شامل تخمین‌گرهای آماری غیر پارامتری نظیر روش میانگین متحرک وزنی^۱ و یا روش‌های پارامتری زمین‌آماري نظیر کریجینگ^۲ و کوکریجینگ^۳ این ارتباط ریاضی را با استفاده از وزن آماری نمونه‌های واقع در همسایگی یک نقطه مفروض به دست می‌آورند. کریجینگ یک تخمین گر خطی نارایب^۴ است و به عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه‌ای که برآورد می‌گردد شناخته می‌شود به گونه‌ای که واریانس تخمین حداقل شود (۵). در کوکریجینگ این کار با استفاده از یک عامل کمکی اندازه‌گیری شده در همان نقطه، انجام می‌گیرد (۱۷). با توجه به اهمیت زئوپلانکتون‌ها به عنوان منبع غذایی ارگانسیم‌هایی مثل ماهی‌های کوچک و شاخص سلامتی مناطق غنی از ماهی هستند (۱۸) و از طرف دیگر سد بوکان واقع بر روی زربینه رود که یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های شمال غرب کشور و حوزه آبریز دریاچه ارومیه است، علی‌رغم نقش مهم این سد در



شکل ۱- موقعیت محل مورد تحقیق

Figure 1- Location of the research area

- 1- Weighted Moving Average
- 2- Kriging
- 3- Co-Kriging
- 4- Linear Unbiased Estimator

n = تعداد نقاط اندازه گرفته شده.

نیم تغییرنما یکی از پارامترهای مورد نیاز روش کریجینگ است که رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. از این عامل به منظور تعیین و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده می‌شود. بنابراین واریوگرافی اولین قدم برای مدل سازی ساختار مکانی داده‌ها است (۵). در روش میانگین متحرک وزنی مقدار λ_i در رابطه (۱) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n \{Z(x) - Z(x+h)\}^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:

N = تعداد جفت نقاط.

با برآزش این مدل ریاضی در نیم تغییرنمای محاسبه شده شعاع تأثیر، اثر قطعه‌ای، آستانه و خطای اندازه گیری به دست می‌آید. شعاع تأثیر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی وجود ندارد و واریوگرام به مقدار ثابتی می‌رسد. اثر قطعه‌ای نیز بیان گر واریانس تصادفی و بدون ساختار است. اثر قطعه‌ای به علت وجود تغییرات در فواصل کم‌تر از حداقل فاصله نمونه برداری یا به دلیل وجود خطا به هنگام نمونه برداری بروز می‌کند. نسبت واریانس ساختاردار به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام است. ساختار ۷۵ درصد و بیش تر نشان دهنده ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیان گر ساختار متوسط و کم‌تر از ۲۵ درصد نشان دهنده ساختار ضعیف متغیر مورد بررسی است (۱۷).

به منظور ارزیابی و مقایسه مقادیر مشاهداتی و اندازه گیری شده، از روش Cross Validation و دو پارامتر آماری MAE^1 و MBE^2 استفاده شد. MAE مشخص کننده خطای نتایج و MBE انحراف نتایج روش استفاده شده را نشان می‌دهد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر و یا نزدیک به صفر هستند، نشان دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را

نمونه برداری از آب دریاچه سد بوکان در هشت ایستگاه (شکل ۲) از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا انتهای همان سال و با تناوب ماهیانه انجام گرفت. ابتدا از آب سطحی مقدار ۳۰ لیتر آب توسط لوله پلیکا و دستگاه روتتر تهیه و توسط تور پلانکتون گیر با مش ۵۵ میکرون پالایه شدند. عصاره جمع شده در ظروف نمونه برداری ۲ لیتری ریخته و بلافاصله به وسیله فرمالین ۴ درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. در آزمایشگاه بعد از نگهداری در مکان سرد و تاریک و تعیین حجم و همگن کردن نمونه‌ها، شمارش زئوپلانکتون‌ها با استفاده از محفظه شمارش ۵ میلی لیتری و توسط میکروسکوپ اینورت Nikon با بزرگنمایی $\times 200$ ، با استفاده از روش Utermohl انجام گرفت. تغییرات جمعیتی زئوپلانکتون‌های هر ایستگاه در برگه‌های اطلاعاتی مربوطه ثبت و داده‌ها در مقاطع فصلی جمع بندی و با استفاده از آزمون T-Test معنی دار بودن اختلافات بین داده‌های تعداد و بیومس زئوپلانکتون‌ها در فصول و ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

برای بررسی تغییرات مکانی زئوپلانکتون‌ها و برآورد آن در نقاط نمونه برداری نشده دریاچه سد بوکان، روش‌های میان‌یابی زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی با استفاده از نرم افزار GS+ به کار گرفته شد. این روش‌ها قادر هستند بر اساس مدل برآزش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه گیری شده در جامعه، نقاط نمونه برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کنند (۱۷). رابطه عمومی آن‌ها به شرح رابطه ۱ است.

$$Z^*(xi) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(xi) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

$Z^*(xi)$ = مقدار برآورد شده،

λ_i = مقدار وزن‌های نقاط مورد مشاهده،

$Z(xi)$ = مقدار مشاهده شده در اطراف نقطه مورد نظر،

(xi) = موقعیت نقاط مشاهده شده،

1- Mean Absolute Error
2- Mean Bias Error

خوب شبیه‌سازی می‌کند و بافاصله یافتن از صفر، کمی دقت و یا زیاد بودن انحراف را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه پارامترهای MAE و MBE به شرح رابطه ۳ و ۴ است:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_s - R_o|}{n} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_s - R_o)}{n} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن‌ها:

R_s = مقدار برآورد شده،

R_o = مقدار اندازه‌گیری شده،

n = تعداد داده‌ها.

بعد از انتخاب روش مناسب میان‌یابی، با تعریف مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و مقادیر تعداد زئوپلانکتون‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه تغییرات جمعیتی زئوپلانکتون‌ها در فصول مختلف تهیه شد.

یافته‌ها

نتایج بررسی‌ها نشان داد که دریاچه سد بوکان از نظر فون زئوپلانکتونی در مجموع شامل ۳ گروه عمده *Rotatoria*، *Cladocera*، *Copepoda* می‌باشند. از نظر تراکم جمعیتی، گروه *Rotatoria* با ۴۷ درصد سالیانه، *Copepoda* با ۳۸ درصد سالیانه و *Cladocera* با ۱۵ درصد سالیانه هستند.

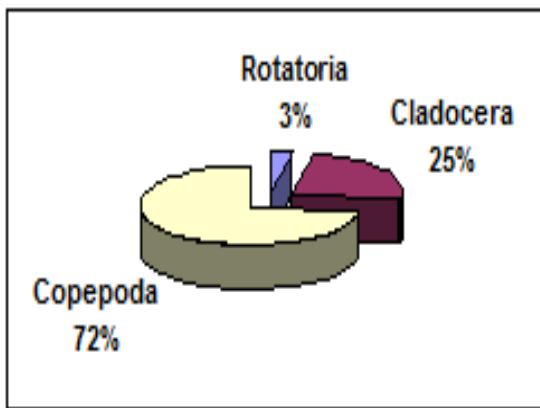
جدول ۱- فراوانی و بیومس (توده زنده) زئوپلانکتونی در ایستگاه‌های مختلف دریاچه پشت سد بوکان

Table 1- Frequency and biomass of zooplankton at different stations of Bukan dam

ایستگاه	بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
	تعداد	بیومس	تعداد	بیومس	تعداد	بیومس	تعداد	بیومس
۱	۶۹۴	۵/۲۵	۲۴۴	۶/۹۳	۱۸۰	۱/۷۵	۱۲۴	۲/۴۰
۲	۳۱۸۹	۲۶۶/۲۱	۳۳	۰/۶۵	۱۵۱	۳/۲۶	۰	۰
۳	۱۱۶	۱/۷۲	۱۴۰	۲/۱۶	۱۴۷۴	۱۵/۴۵	۸۸	۰/۳۱
۴	۷۶۱	۴۷/۸۳	۲۸۵	۴/۳۲	۶۹۲	۹/۱۷	۳۶۸	۱۰/۸۳
۵	۲۱۰۱	۱۶۹/۴۶	۳۹	۰/۸۶	۶۸۶	۸/۹۹	۵۱۴	۷/۷۸
۶	۱۹۵۰	۱۷۳/۲۳	۳۵۲	۲/۷۸	۳۰۱	۱/۸۸	۷۴۱	۶/۱۲
۷	۴۳۱	۲۲/۵۰	۱۸۴	۳/۴۰	۰	۰	۱۵	۰/۰۵
۸	۶۴	۲/۴۱	۳۱	۲/۲۸	۸	۰/۰۳	۳۷	۰/۱۳

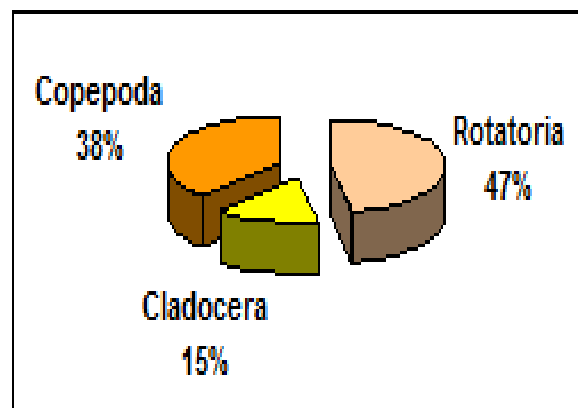
در میان مناطق بررسی‌شده از نظر بیومس (زی‌توده) ، *Copepoda* با ۷۲ درصد، *Cladocera* با ۲۵ درصد و *Rotatoria* با ۳ درصد، کل بیومس سالیانه را تشکیل می‌دهند (شکل ۴)، این در حالی است که از نظر فراوانی (شکل ۳) چنین وضعیتی حاکم نبود که علت آن تفاوت در اندازه و

وزن زئوپلانکتون‌ها می‌تواند باشد که به ترتیب از نظر اندازه و وزن *Rotatoria*، *Copepoda*، *Cladocera* می‌باشند. بررسی‌های فصلی نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراکم زئوپلانکتونی مربوط به فصل بهار با ۵۸ درصد، پاییز ۲۲ درصد، زمستان ۱۲ درصد و تابستان هشت درصد است. (شکل ۵).



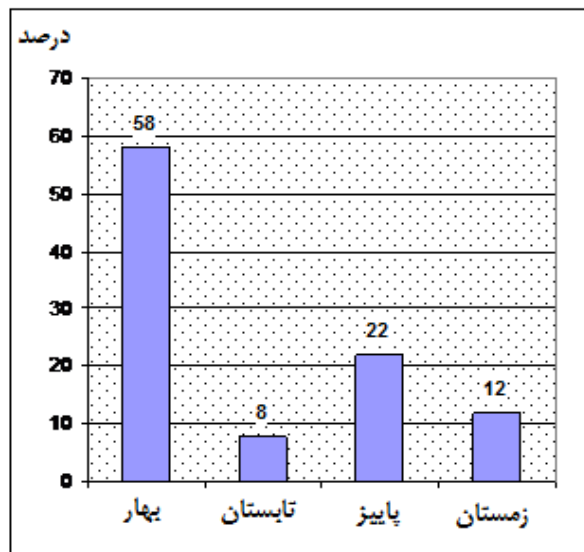
شکل ۴- درصد تراکم سالیانه بیومس (زی توده) گروه‌های جمعیتی زئوپلانکتونی در دریاچه سد بوکان

Figure 4- Percentage of annual biomass density (live mass) of zooplankton population groups in Bukan Dam



شکل ۳- فراوانی گروه‌های جمعیتی زئوپلانکتونی در دریاچه سد بوکان

Figure 3- Frequency of zooplankton populations in Bukan Dam



شکل ۵- فراوانی فصلی جمعیت زئوپلانکتون در دریاچه سد بوکان

Figure 5- Seasonal frequency of zooplankton population at Bukan Dam

نتایج بررسی و مقایسه میانگین‌های تعداد و بیومس زئوپلانکتون‌ها در فصول و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در دریاچه سد بوکان با استفاده از روش T-Student نشان داد اختلاف بین میانگین تعداد زئوپلانکتون‌ها در فصول سال معنی‌دار است ($p < 0.05$). اختلاف بین میانگین بیومس زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری دریاچه سد بوکان با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۳).

نتایج بررسی و مقایسه میانگین‌های تعداد و بیومس زئوپلانکتون‌ها در فصول و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در دریاچه سد بوکان با استفاده از روش T-Student نشان داد اختلاف بین میانگین تعداد زئوپلانکتون‌ها در فصول سال معنی‌دار است ($p < 0.05$). اختلاف بین میانگین بیومس زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری دریاچه سد بوکان با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین بیومس و تعداد زئوپلانکتون‌های دریاچه سد بوکان در فصول مختلف سال

Table 2- Comparison of average biomass and numbers of zooplankton at Bukan Dam Lake in different seasons

میانگین بیومس زئوپلانکتون‌ها در فصول سال			میانگین تعداد زئوپلانکتون‌ها در فصول سال			
Sig. (2-tailed)	t	Mean Difference	Sig. (2-tailed)	t	Mean Difference	
۰/۰۲	۲/۹۳	۲۶۳/۲۰	۰/۰۵	۲/۳۸	۸۶/۰۸	بهار
۰/۰۱	۳/۷۳	۱۶۳/۵۰	۰/۰۱	۴/۰۸	۲/۹۲	تابستان
۰/۰۴	۲/۴۷	۴۳۶/۵۰	۰/۰۴	۲/۵۸	۵/۰۷	پاییز
۰/۰۵	۲/۴۳	۲۳۵/۸۸	۰/۰۵	۲/۳۰	۳/۴۵	زمستان

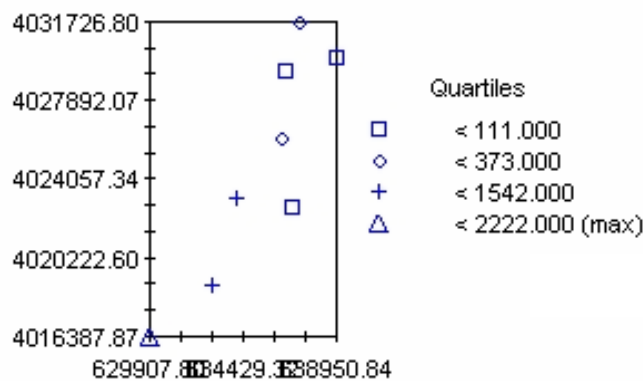
جدول ۳- مقایسه میانگین بیومس و تعداد زئوپلانکتون‌های سد بوکان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 3- Comparison of the mean biomass and numbers of zooplankton at sampling stations of Bukan dam

میانگین تعداد زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌ها			میانگین بیومس زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌ها			ایستگاه
Sig. (2-tailed)	t	Mean Difference	Sig. (2-tailed)	t	Mean Difference	
۰/۱۰	۲/۳۹	۴/۰۸	۰/۰۶	۳/۳۶	۴/۰۸	۱
۰/۳۶	۱/۰۸	۶۷/۵۳	۰/۳۸	۱/۰۲	۶۷/۵۳	۲
۰/۲۷	۱/۳۴	۴/۹۱	۰/۲۶	۱/۳۹	۴/۹۱	۳
۰/۰۲	۴/۴۸	۱۸/۰۴	۰/۱۷	۱/۸۰	۱۸/۰۴	۴
۰/۱۶	۱/۸۸	۴۶/۷۷	۰/۳۴	۱/۱۴	۴۶/۷۷	۵
۰/۱۲	۲/۱۸	۴۶/۰۰	۰/۳۶	۱/۰۸	۴۶/۰۰	۶
۰/۲۱	۱/۵۷	۶/۴۹	۰/۳۲	۱/۲۰	۶/۴۹	۷
۰/۰۷	۳/۰۴	۱/۲۱	۰/۱۶	۱/۸۵	۱/۲۱	۸

تعداد زئوپلانکتون‌ها در زمستان برای نمونه در شکل ۶ نشان داده شده است.

پراکنش نقاط نمونه‌برداری به همراه مقادیر اندازه‌گیری شده

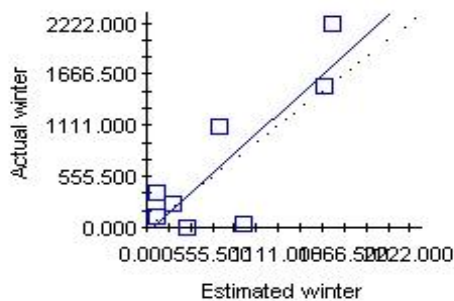


شکل ۶- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری دریاچه سد بوکان با مختصات جغرافیایی UTM

Figure 6- Sampling stations location of Bukan Dam with the UTM geographical coordinates

می‌باشند. ضریب همبستگی برای مدل برازش داده شده برابر ۰/۹۹۵ محاسبه شد. نتیجه ارزیابی متقاطع مقادیر تخمینی تعداد زئوپلانکتون‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده با ضریب تبیین ۰/۷۰ با روش کریجینگ در شکل ۸ نشان داده شده است.

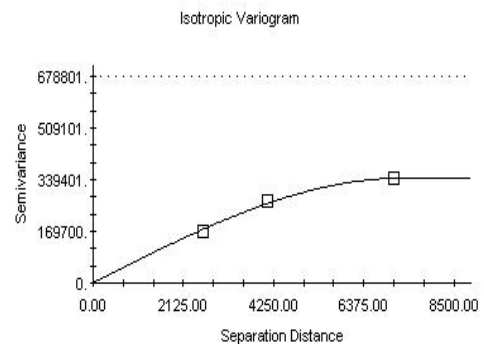
نتیجه برازش یک مدل کروی بر نیم تغییرنمای تجربی^۱ تعداد زئوپلانکتون‌ها با استفاده از روش کریجینگ در زمستان، برای نمونه در شکل ۷ نشان داده شده است. شعاع تأثیر این نیم تغییر نما معادل ۷۲۸۰ متر، اثر قطعه‌ای^۲ برابر ۱۰۰۰ و آستانه^۳ معادل ۳۴۴۴۰۰ به دست آمد. دو عامل اخیر بدون واحد



Regression coefficient = 1.157 (SE = 0.304 , r2 =0.707, y intercept = -49.375, SE Prediction = 445.933)

شکل ۸- نتیجه ارزیابی متقاطع داده‌های مشاهداتی و برآورد شده با روش کریجینگ

Figure 8- The results of cross-validation of observational and estimated data using the Kriging



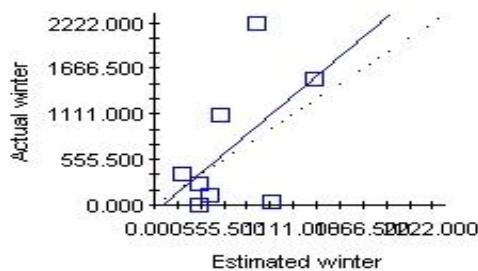
Spherical model (Co = 1000.0000; Co + C = 344400.0000; Ao = 7280.00; r2 = 0.995; RSS = 1.087E+08)

شکل ۷- نتیجه برازش نیم واریوگرام کروی در روش کریجینگ

Figure 7- The results of fitting a spherical semi-variogram in the Kriging method

- 1- Semivariogram
- 2- Nugget Effect
- 3- Sill

به دست آمد. ضریب همبستگی برای مدل برازش داده شده ۰/۴۶۸ به دست آمد. نتیجه ارزیابی مقاطع این روش برای مقایسه مقادیر تخمینی تعداد زئوپلانکتون‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده آن در فصل زمستان با ضریب تبیین ۰/۳۰ در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

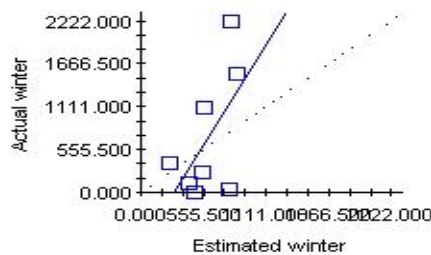


Regression coefficient = 1.278 (SE = 0.786 , $r^2 = 0.306$,
y intercept = -80.177, SE Prediction = 686.529)

شکل ۱۰- نتیجه ارزیابی مقاطع داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده با روش کوکریجینگ

Figure 10 - Results of the cross-validation of observed and estimated data using the Cokriging

اندازه‌گیری شده با این روش در فصل زمستان در شکل ۱۱ نشان داده شده است. ضریب تبیین به دست آمده با این روش ۰/۳۴ می‌باشد.

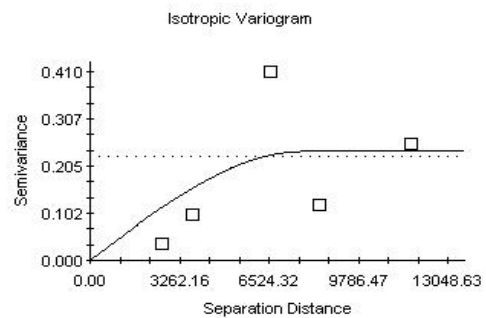


Regression coefficient = 2.309 (SE = 1.300 , $r^2 = 0.345$,
y intercept = -656.786, SE Prediction = 667.038)

شکل ۱۱- نتیجه ارزیابی مقاطع داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی حاصل از روش میانگین متحرک وزنی

Figure 11 - The results of the cross-validation of observed and estimated data from the weighted moving average method

برای کاربرد روش کوکریجینگ منحنی نیم تغییرنمای تجربی تعداد زئوپلانکتون‌ها در فصل زمستان با استفاده از عامل کمکی دمای آب دریاچه سد که بیش‌ترین رابطه را داشتند، ترسیم گردید. نمونه‌ای از برازش مدل کروی بر اساس این روش در شکل ۹ ارائه شده است. شعاع تأثیر این نیم تغییر نما معادل ۷۷۹۰ متر، اثر قطعه‌ای برابر ۰/۰۰۰۱ و آستانه معادل ۰/۲۳۶۲



Spherical model ($C_0 = 0.0001$; $C_0 + C = 0.2362$; $A_0 = 7790.00$; $r^2 = 0.468$;
RSS = 0.0562)

شکل ۹- نتیجه برازش نیم واریوگرام مدل کروی در روش کوکریجینگ

Figure 9-The results of fitting the spherical model semi-variogram in the Cokriging method

روش میانگین متحرک وزنی بدون نیاز به محاسبه نیم واریوگرام نیز برای عامل تعداد زئوپلانکتون‌ها اجرا شد که نمونه‌ای از محاسبه مقادیر واقعی آن و مقایسه آن با مقادیر

زمین آماری بکار برده شده مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۴ ارایه شده است.

برای ارزیابی و انتخاب مناسبترین روش زمین آماری به منظور برآورد تعداد زئوپلانکتونها، مقادیر دقت و انحراف روشهای

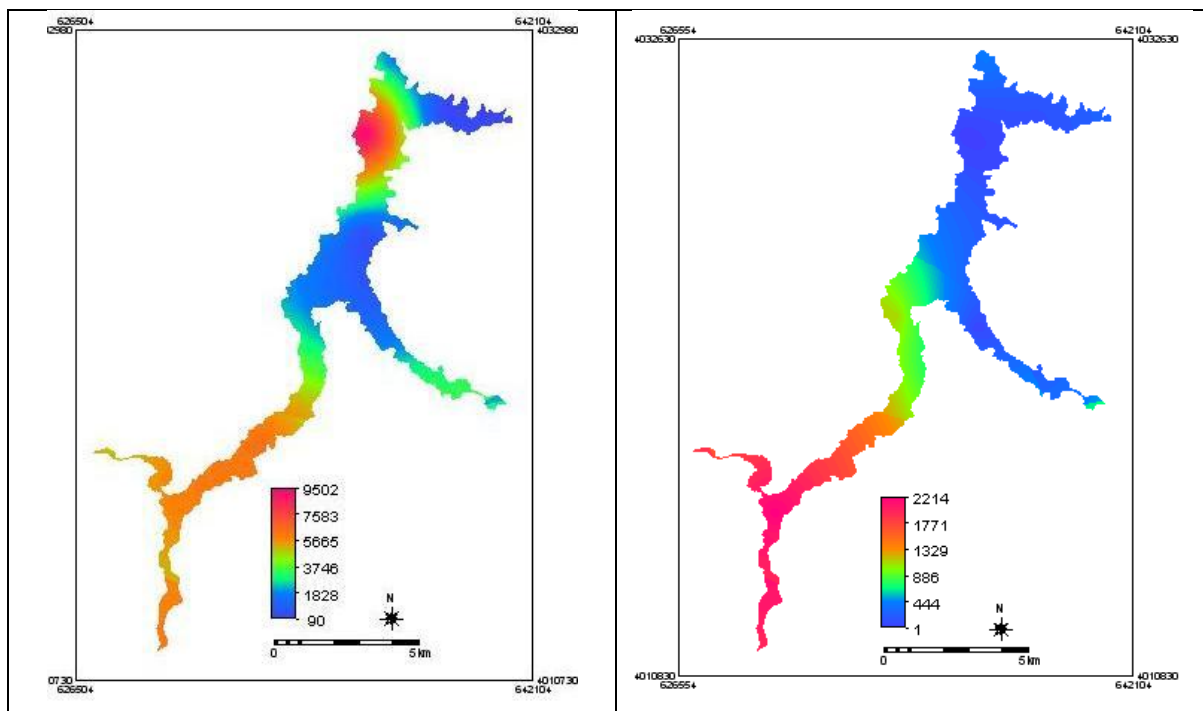
جدول ۴- مقادیر دقت و انحراف روشهای زمین آماری مورد استفاده برای برآورد تعداد زئوپلانکتونهای دریاچه سد بوکان

Table 4- Precision and deviation values of geostatistical methods used to estimate the zooplankton number of Bukan Dam Lake

MBE	MAE	عامل	روش میان یابی
۳۳۵/۰۷	-۵۳/۴۲	تعداد زئوپلانکتونها	کریجینک
۵۰۸/۲۲	-۹۱/۰۰	تعداد زئوپلانکتونها با دمای آب سد	کوکریجینگ
۵۷۱/۶۴	-۱۱۶/۷۲	تعداد زئوپلانکتونها	میانگین متحرک وزنی

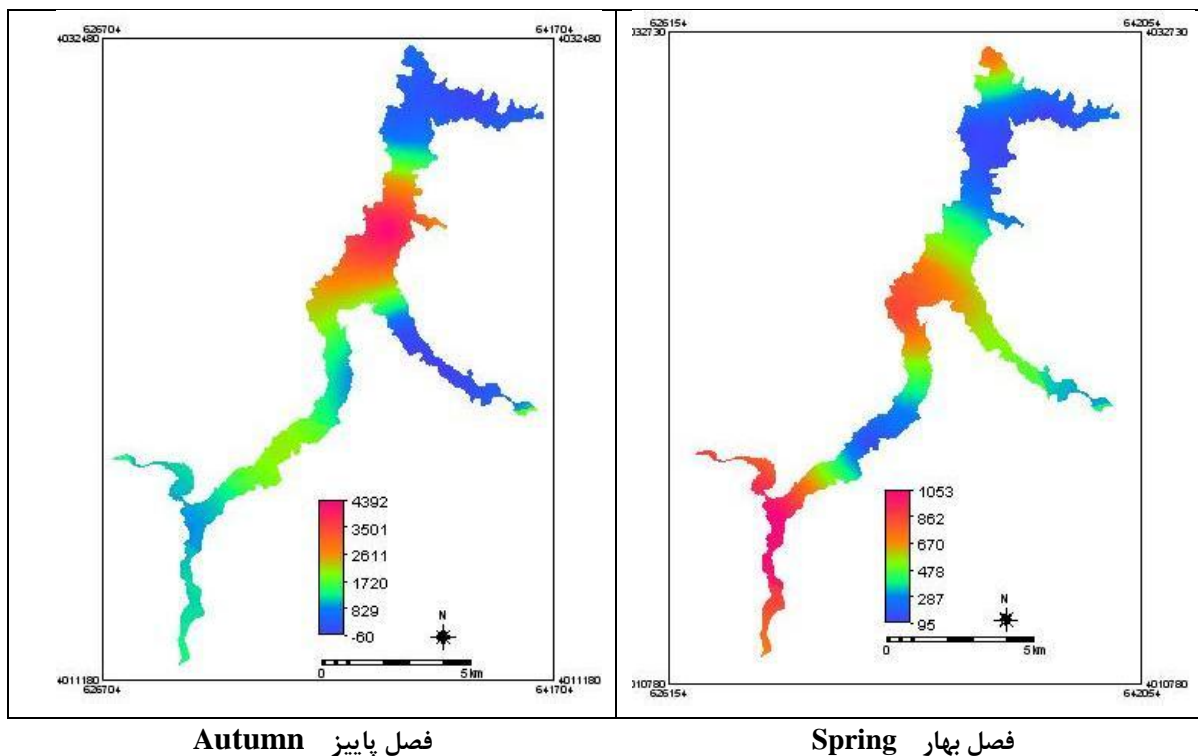
زئوپلانکتونها انتخاب گردید. اطلاعات به دست آمده در خصوص عوامل دامنه تأثیر، حد آستانه و اثر قطعه‌ای مدل انتخابی میان یابی به همراه مختصات جغرافیایی نقاط اندازه گیری شده به محیط GIS در نرم افزار ILWIS وارد و نقشه های تغییرات مکانی و فصلی زئوپلانکتونها تهیه گردید (شکل ۱۲).

بر اساس جدول ۴، روش کریجینک از خطا و انحراف کمتری (۳۳۵/۰۷ و -۵۳/۴۲) نسبت به روشهای کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی برخوردار است. منفی بودن انحراف نشان می دهد که مقادیر تخمینی کم برآورد هستند. به این ترتیب، روش کریجینک با داشتن دقت بالا و انحراف کم تر به عنوان مدل مناسب تعیین ساختار مکانی داده ها و برآورد تعداد



Summer فصل تابستان

Winter فصل زمستان



شکل ۱۲- تغییرات زمانی و مکانی تراکم زئوپلانکتون‌ها (فرد در لیتر) در دریاچه سد بوکان

Figure 12- Temporal and spatial variations of zooplankton density (population/ liter) at Bukan Dam Lake

بحث و نتیجه‌گیری

Dejen (۴) و کم‌ترین آن برخلاف نتایج‌هدایتی فرد در فصل بهار دیده‌شده است (۷). نتایج خداپرست هم نشان داد که بیش‌ترین تراکم سالیانه مربوط به فصل تابستان و بیش‌ترین زی‌توده در فصل زمستان است (۱۱). جمعیت زئوپلانکتون‌ها از ابتدای سد بوکان به انتهای آن در فصول مختلف روند متفاوتی دارد به‌طوری‌که در فصل زمستان و پاییز این روند دارای مقادیر بیشینه زئوپلانکتون در ابتدای سد است که تا انتهای دریاچه سد به شکل منظم کاهش می‌یابد. ولی در فصل بهار و تابستان روند افزایشی یا کاهشی منظمی در طول دریاچه سد مشهود نیست. هم‌چنین بیشینه تراکم جمعیتی در فصل زمستان در انتهای دریاچه دیده می‌شود. کاهش جمعیت زئوپلانکتون‌ها در انتهای دریاچه‌سدبوکان می‌تواند نشانه افزایش آلودگی‌های احتمالی باشد که با ورود فاضلاب شهر سقز و نیز ورود آب‌های گل‌آلود به دریاچه سد در ارتباط است. کاربرد روش‌های زمین‌آمار به‌خصوص با استفاده از تعداد کم ایستگاه‌های

زئوپلانکتون‌ها به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم نشان‌دهنده سلامت محیط‌های آبی و نیز به‌عنوان منبع غذایی ماهیان محسوب می‌شود (۱) به‌طوری‌که هر تغییری در جمعیت آن‌ها، هشدار در مورد آلودگی آب است (۲). تغییرات جمعیتی و پراکنش مکانی زئوپلانکتون‌ها توسط برخی محققین بررسی شده است. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد ساختار جمعیتی محیط شامل گروه *Rotatoria* با ۴۷ درصد سالیانه، *Copepoda* با ۳۸ درصد سالیانه و *Cladocera* با ۱۵ درصد سالیانه هستند. فرهادیان با بررسی دریاچه سد شیان به این نتیجه رسید جمعیت زئوپلانکتونی شامل *Copepodit*، *Naupli Copepoda* و دیگرگونه‌ها است (۱۲). در دریاچه سد بوکان، *Copepoda* با ۷۲ درصد، *Cladocera* با ۲۵ درصد و *Rotatoria* با ۳ درصد، کل بیومس سالیانه را تشکیل می‌دهند و بیش‌ترین جمعیت این موجودات در فصل تابستان است که در مطابقت با نتایج

- environmental factors in a large tropical lake L. Tana, Ethiopia. *Hydrobiologia*, 5, 13, 39-49.
4. Farhadian, A., 2014, Distribution and Frequency of Mesozooplankton Mesozooplankton in Kianshah Dam M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology - Faculty of Agriculture and Natural Resources. 106 pages. (in persian)
 5. Hagh-parast, S. Ghorbani, R, Wasaghi, M. J., 2014, Population diversity and abundance study of Gomishan wetland zooplankton and its relationship with environmental factors *J. of Animal Ecology* V. 6, No. 4, pp. 195-208. (in persian)
 6. Hedayatifard, M. Mousavi Nadoshan, R. Kham-Khaji, N. Wahidi, F. 2011. Investigation of Trend Changes in Zooplankton Density by Chlorophyll a Concentration in Lake Welcht, *Journal of Aquatic and Fisheries* V. 2, No. 6, pp. 58-65. (in persian)
 7. Jude, B.A., Kirn, T.J., Taylor R.K. 2005. "A colonization factor links *Vibrio cholerae* environmental survival and human infection". *Nature* 438.
 8. Kham-Khaji, N. Hedayatifard, M. Mousavi Nadoshan, R. Vahidi, F., 2012. Investigation of Trend Changes in Coupe Puddle Group in Lake Welcht, *J. Environmental Science and Engineering*, V. 5, No. 53, pp. 103-110. (in persian)
 9. Khodaparast, n. Roohi, A. Shapuri, M. Roshan Tabari, M. Rahmati, R. Nasrollahzadeh Saravi, H. Vahedi, F., 2012, Investigation on species composition and population structure of zooplankton in different depths of southern Caspian Sea (Amirabad, اندازه‌گیری نشان داد در صورت به دست آوردن ساختار مناسب داده‌ها و برازش مدل میان‌یابی مناسب (ضریب تبیین بیش از ۷۵ درصد) و خطای تخمین قابل قبول، استفاده از این روش‌ها می‌تواند زمان و هزینه اندازه‌گیری‌ها را به نحو قابل توجهی کاهش دهد (۱۹). در بیش‌تر تحقیقات استفاده از حداقل ۳۰ نقطه اشاره شده است ولی نتایج برخی دیگر نیز نشان می‌دهد که حتی با سه نقطه هم می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت (۱۹). موفقیت در استفاده از تعداد کم نمونه برداری به عواملی نظیر چولگی و واریانس کم و نیز تبحر کاربر زمین‌آمار بستگی دارد. در این تحقیق ساختار مکانی واریوگرام ۹۹/۵ درصد به دست آمده که بسیار بیش‌تر از مقدار پیشنهادی برای این ساختار (۷۵ درصد) است. با این وجود مقادیر پیش‌بینی شده در روش‌های زمین‌آمار همواره دارای خطا است که باید محاسبه شود. با توجه به پراکنش داده‌های پژوهش حاضر، خطای محاسبه شده می‌تواند مقبول باشد.

منابع

1. Adolf, J. E., Yeager, C. L., Miller, W. D., Mallonée, M. E., and Harding, L. W. 2006. Environmental Forcing of Phytoplankton Floral Composition, Biomass, and Primary Productivity in Chesapeake Bay, USA. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 67, 08-122.
2. Bakhtiari, N., Farhadian, A. Sufiani, N. Mohammadi, M., 2012. Investigation on the Composition and Abundance of Phytoplankton and Zooplankton in Pond Shale (*Litopenaeus vannamei*), *J. Fisheries (Iranian Natural Resources)*: V. 65, No. 3, pp. 257-269. (in persian)
3. Dejen, E.; Vijverberg, J.; Nagelkerke, Leo A. J.; Sibbing, F. A. 2004. Temporal and spatial distribution of microcrustacean zooplankton in relation to turbidity and other

- Simm, Arno Põllumäe, Evelina Grinienė, Katja Mäkinen and Henn Ojaveer. 2016. Spatial and temporal variability of zooplankton in a temperate semi-enclosed sea: implications for monitoring design and long-term studies *J. Plankton Res.* (2016) doi: 10.1093/plankt/fbw022.
16. Sokouti Skouee, R. Kolahchi, R., Jabari, A, Mehdian M. H., 2011, Geostatistical Application for Surveying Groundwater Changes in the Urmia Plain, National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment, pp. 69-73. (in persian)
 17. Steven A. Pothoven, Gary L. Fahnenstie. 2015. Spatial and temporal trends in zooplankton assemblages along a nearshore to offshore transect in southeastern Lake Michigan from 2007 to 2012 *Journal of Great Lakes Research* Volume 41, Supplement 3, 2015, Pages 95–103
 18. Villate, F. 2005. Temporal variability of the spatial distribution of the zooplankton community in a coastal embayment of the basque country in relation to physical phenomena. *V* 288, No 2 / DOI 10.1007/BF00007128, Pages 79-95
 19. Ying Ming 2010 A Study on Determining the Sample Size in Geostatistics Masters Thesis, 98 pages, Department of Mathematical and Statistical Sciences, University of Alberta.
 - Noshahr and Anzali trade zones) after invasive sea biology, *J. Sea Biology*, V. 4, No. 15; pp 1-12. (in persian)
 10. Kimmel, D. G., Roman, M. R., and Zhang X. 2006. Spatial and Temporal Variability in Factors Affecting Mesozooplankton Dynamics in Chesapeake Bay: Evidence from Biomass Size Spectra. *Limnology and Oceanography*, 51(1), 131-141.
 11. Marcos Llope, 2011. Spatial variability of the plankton trophic interaction in the North Sea: a new feature after the early 1970s. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02492.
 12. McGehee, D.E., Demer, D.A., and Warren, J.D. 2004. Zooplankton in the Ligurian Sea: Part I. Characterization of their Dispersion, Relative Abundance and Environment. *J. of Plankton Research*, 26(12):1409-1418.
 13. Mohsen Pour Azari, A. Mohebbi F, 2010, Investigation of the Diversity and Distribution of Zooplankton in Lake Boukan, National Conference on Biodiversity and its Impact on Agriculture and Environment, Urmia. pp. 187-191. (in persian)
 14. Rabindranath, Ananda 2013 Investigations into temporal and spatial variability of zooplankton at the Svalbard archipelago, PhD Thesis, 128 pages, URI <http://hdl.handle.net/10023/3814>
 15. Riina Klais, Maiju Lehtiniemi, Gunta Rubene, Anna Semenova, Piotr Margonski, Anda Ikauniece, Mart