مطالعه جغرافیای زیستی *Daphnia* O. F. Müller, 1785 (آبشش‌پایان: آنوموپودا) در شمال ایران

علی محمدیاری[1]، فرشته قاسم زاده*[1]، امید میرشمسی[1،2]، منصور علی آبادیان[1،2]

[1]گروه زیست شناسی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

[2]گروه پژوهشی نوآوری‌های جانوری (RDZI)، پژوهشکده جانورشناسی کاربردی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: ghasemzd@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۲

چکیده

اگر چه دافنی قدیمی‌ترین جانور مطالعه شده از شاخه‌سران در جهان می‌باشد، ولی توزیع آن در ایران به مقدار اندکی مطالعه شده است و اطلاعات در مورد آن‌ها بسیار پراکنده است. از این‌رو مطالعه حاضر اولین ارزیابی جغرافیای زیستی جنس دافنی در ایران می‌باشد. نمونه‌ها به‌صورت تصادفی از ایستگاه‌های مختلف حوضه خزری و دریاچه ارومیه جمع‌آوری گردید. تعداد چهار گونه از هر یک از زیرجنس‌های (*Ctenodaphnia*) *Daphnia* و (*Daphnia*) *Daphnia* در ۲۹ محل مختلف یافت شدند. برخی متغیرهای بوم‌شناختی مثل دما، شوری، pH، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، به همراه ۱۹ متغیر اقلیمی، برای تجزیه و تحلیل آماری عوامل محیطی موثر بر توزیع گونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. متغیرهای میانگین دمای سالانه، متوسط دمای سردترین سه ماهه سال و ارتفاع، در بین گونه‌ها متفاوت بودند و در نتیجه از نیازهای محیطی موثر بر آن‌ها محسوب می‌شوند. رابطه‌ی توزیع دافنی با متغیرهای میانگین دمای سالانه و ارتفاع، مثبت و با متغیر متوسط دمای سردترین سه ماهه سال منفی بود. در کل می‌توان گفت تغییرات دمایی، به‌عنوان تنها عوامل موثر بر توزیع دافنی به حساب می‌آیند و متغیرهای مرتبط با بارندگی تاثیر گذار نمی‌باشند.

واژگان کلیدی: تحلیل چندمتغیره، حوضه خزری، دافنی، دریاچه ارومیه، عوامل بوم‌شناختی.

مقدمه

شاخه‌سران (Cladocera) یک گروه کهن از موجودات زنده به‌شمار می‌روند که از اواسط دوران مزوزوئیک وجود دارند (Smirnov *et al*., 2007). بیشتر شاخه‌سران امروزی در دوره ژوراسیک (حدود ۱۵۰ میلیون سال پیش) همزمان با ابرقاره پانگه‌آ وجود داشته‌اند (Korhola and Rautio, 2001). احتمالاً شاخه‌سران تا اواخر دوره سنوزوئیک، دارای گونه‌های متنوع‌تری نسبت به زمان حال بوده‌اند (Kerfoot and Lynch, 1987; Korovchinsky, 2006). بیشترین غنای گونه‌ای شاخه‌سران، در حال حاضر در منطقه مدیترانه-نیمه‌گرمسیری هر دو نیم-کره، و نیز در ارتفاعات بالاتر مناطق گرمسیری متمرکز شده است؛ علت این شکل از توزیع را می‌توان به تغییرات اقلیمی در دوران سوم مرتبط دانست (Korovchinsky, 2006). تخمین‌ها حاکی از آن است که پیدایش دافنی‌ها به بیش از ۲۰۰ میلیون سال پیش برمی‌گردد (Taylor *et al*., 1996; Kotov and Taylor, 2010). آن‌ها در مناطق معتدل بسیار متنوع و فراوان هستند، اما در همه قاره‌ها با مناطق آب و هوایی متفاوت وجود دارند و اغلب گروه غالب زئوپلانکتونی در بوم سازگان‌های آب شیرین به‌حساب می‌آیند (Benzie, 2005) که به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Lampert, 2011). در حال حاضر جنس دافنی‌ها به سه زیرجنس با ۳۶۱ گونه (Adamowicz *et al*., 2009) تقسیم می‌شوند که تقریبا ۲۴ درصد آن‌ها به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته و معتبر هستند (Kotov, 2015). در میان آن‌ها، تنها تعداد اندکی در مناطق پست استوایی ساکن هستند (Fernando, 1980; Fernando and Kanduru, 1984; Benzie, 2005) که این گونه‌ها هم فقط در ارتفاعات بالا وجود دارند (Dumont, 1980; Green, 1995).

الگوهای جغرافیای زیستی مشاهده شده در بسیاری از گونه‌های دافنی موجود در مناطق نئوتروپیک (Neotropical)، نئارکتیک (Nearctic)، پالئارکتیک (Palearctic) و آفروتروپیکال

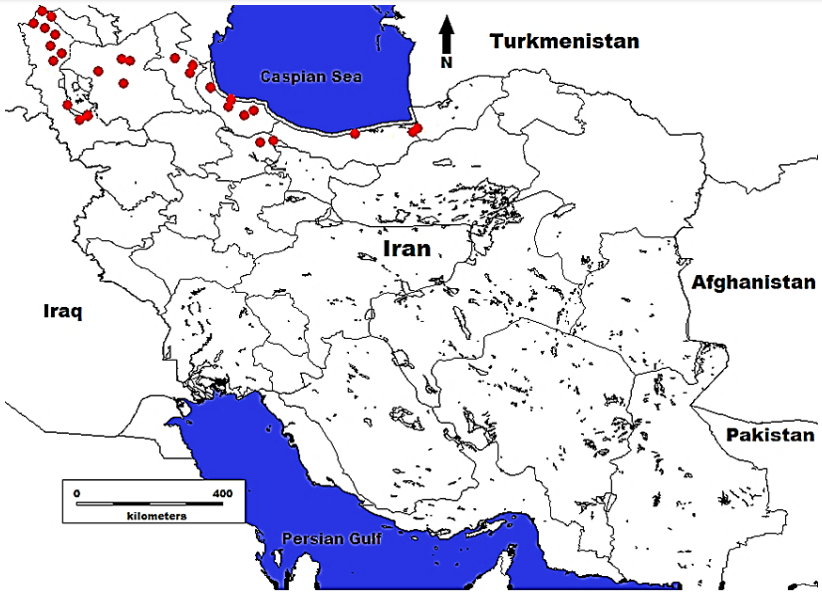
جدول ۱- اسامی و تعاریف متغیرهای زیست اقلیمی مورد استفاده در مطالعه.

متغیر	تعریف	متغیر	تعریف
Bio1	میانگین دمای سالانه	Bio11	متوسط دمای سردترین سه ماهه سال
Bio2	(حداقل دما - حداکثر دما) (میانگین ماهانه) متوسط تغییر	Bio12	میزان بارش سالانه
Bio3	(۱۰۰ *)(Bio2 / Bio7) - ایزوترمالیتی	Bio13	میزان بارش مرطوبترین ماه
Bio4	نوسانات فصلی دما (انحراف معیار * ۱۰۰)	Bio14	میزان بارش خشکترین ماه
Bio5	حداکثر دمای گرمترین ماه	Bio15	نوسانات فصلی بارش(ضریب تغییر)
Bio6	حداقل دمای سردترین ماه	Bio16	میزان بارش مرطوبترین سه ماه سال
Bio7	تغییر دمای سالانه(Bio5-Bio6)	Bio17	میزان بارش خشکترین سه ماه سال
Bio8	متوسط دمای مرطوب ترین سه ماهه سال	Bio18	میزان بارش گرمترین سه ماه سال
Bio9	متوسط دمای خشکترین سه ماهه سال	Bio19	میزان بارش سردترین سه ماه سال
Bio10	متوسط دمای گرمترین سه ماهه سال		

(Afrotropical)، تقریباً به اندازه کافی ارزیابی شده‌اند (Ishida and Taylor, 2007; Mergeay *et al*., 2008; Adamowicz *et al*., 2009)، اما در خاورمیانه و به‌طور ویژه ایران اطلاعات کمی در دسترس می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده جغرافیای زیستی ایران دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشد که عبارتند از (۱) تاریخچه پیچیده زمین‌شناسی، (۲) طیف گسترده‌ای از ارتفاعات و (۳) نوسانات فصلی زیاد (Fazel, 2010). بنابراین این امر موجب شکل‌گیری زیست بوم‌های مختلفی شده است که شامل جنگل‌های مرطوب شمالی، مناطق کوهستانی سرد در البرز و زاگرس و مناطق بیابانی مرکزی در دشت کویر و لوت است (Fazel, 2010). جغرافیای طبیعی ایران ترکیب پیچیده‌ای از کوه‌های مرتفع، ناهمواری‌ها و دشت‌های وسیع و باز می‌باشد. تنوع اقلیمی و ژئوگرافیکی، به‌ویژه وجود مناطق گسترده کوهستانی و مرتفع در شمال ایران سبب گردیده است که نواحی فیزیوگرافیک متنوع و با ویژگی‌های منحصر به‌فرد در این بخش از کشور شکل گیرد و این گوناگونی سبب گردیده است که تنوع زیستی جانوری قابل توجه باشد (احمدزاده و خیراندیش، ۱۳۸۵). متخصصان جغرافیای زیستی و بوم‌شناسان مدت‌های زیادی در مورد اهمیت برهم‌کنش‌های زیستی و غیرزیستی بر روی توزیع گونه‌ها و محدوده گسترش آن‌ها را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند (MacArthur, 1972; Wiens, 2011; Pigot *et al*., 2013; Grassein *et al*., 2014; Louthan *et al*., 2015). توزیع گونه‌ها تحت تاثیر برهم کنش متغیرهای زیستی و غیرزیستی است (Godsoe *et al*., 2017). در مطالعه حاضر سعی شده است تاثیر برخی از مهمترین متغیرهای غیرزیستی بر پراکنش و توزیع گونه‌های دافنی موجود در بخش شمالی ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. همچنین ارتباط بین گونه‌ها و متغیرهای محیطی و اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در توضیح الگوهای توزیع مشاهده شده، مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها: ابتدا لیستی از گونه‌های مختلف جنس *Daphnia* که طی بهار سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ به‌صورت تصادفی از ایستگاه‌های مختلف حوضه خزری و دریاچه ارومیه جمع‌آوری شده بودند، تهیه گردید. این فهرست شامل تمام مکان‌های حضور گونه در مناطق مورد بررسی بودند که مختصات جغرافیایی مکان‌های حضور گونه با پیمایش زمینی و با دستگاه GPS ثبت شده بود. نقشه مربوط به محل‌های نمونه‌برداری با استفاده از نرم افزار DIVA-GIS 7.5 (Hijmans *et al*., 2012) تهیه گردید که در شکل ۱ نشان داده شده است. در مجموع تعداد چهار گونه از هر یک از زیرجنس‌های (*Ctenodaphnia*) *Daphnia* و (*Daphnia*) *Daphnia* در ۲۹ محل مختلف یافت شدند. همزمان با ثبت این نقاط در منطقه، برخی متغیرهای بوم‌شناختی مانند دما، شوری، pH، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱ - نقشه توزیع نقاط حضور دافنی در منطقه مطالعه شده.

آماده‌سازی داده‌های اقلیمی و نقاط حضور: برای انجام تحلیل‌های جغرافیای زیستی، ۱۹ لایه اقلیمی مرتبط به میزان دما و بارش با کیفیت ۳۰ ثانیه‌ای از وب‌سایت www.worldclim.org دانلود شد. پس از آماده نمودن لایه‌های اقلیمی توسط نرم‌افزار Arcmap 10.3، از نرم افزار Openmodeller برای استخراج داده‌های عددی هر نقطه نمونه‌برداری استفاده گردید. اسامی و تعاریف متغیرهای زیست اقلیمی مورد استفاده در مطالعه حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

تحلیل داده‌ها: به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود نیازهای محیطی متفاوت در گونه‌ها، متغیرهای معنی‌دار، توسط آزمون Kruskal-Wallis مشخص شدند و بقیه متغیرها با استفاده از تجزیه و تحلیل چند متغیره غیرپارامتریک واریانس یعنی تجزیه و تحلیل PERMANOVA مورد آزمون قرار گرفتند. از روش تجزیه و تحلیل تطبیقی متعارفی (CCA) نیز برای درک چگونگی تأثیر متغیرهای محیطی بر توزیع استفاده شد.

الف) تحلیل تک متغیره: برای مقایسه اثر هر یک از عوامل مختلف محیطی بر پراکنش گونه‌های دافنی در محدوده مورد مطالعه از نرم افزار های SPSS 22 (Armonk, 2013) و Past 3.18 (Hammer *et al.*, 2001) استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk و برابری واریانس در داده‌های نرمال با استفاده از آزمون Levene statistic بررسی شد ($P>۰/۰۵$). با توجه به نابرابری واریانس‌ها از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) برای مقایسه میانگین‌های داده‌های نرمال استفاده شد ($P<۰/۰۵$). داده‌های غیرنرمال با کمک آزمون غیرپارامتری Kruskal-Wallis مورد آزمون واقع شدند ($P<۰/۰۵$). از آن‌جائی‌که آزمون‌های متعددی انجام گرفت، میزان خطای خانوادگی (familywise error) با استفاده از شاخص بن فرونی (Bonferroni) تصحیح شد. در بین متغیرهای تحت بررسی، آنهایی که دارای تفاوت معنی‌داری بین گونه‌ها بودند برای تحلیل توزیع دافنی مورد استفاده قرار گرفتند.

ب) تحلیل چند متغیره: در ادامه برای تعیین معنی‌دار بودن رابطه گونه‌های مورد مطالعه با متغیرهای محیطی از تجزیه و تحلیل چند متغیره غیرپارامتری PERMANOVA استفاده شد. تجزیه و تحلیل تطبیقی متعارفی (CCA) با استفاده از CANOCO 4.5 ($P<۰/۰۵$) برای ارزیابی تأثیر عوامل محیطی و فضایی بر وجود گونه‌های مختلف دافنی (داده‌های حضور / عدم حضور) استفاده گردید. معنی‌دار بودن تجزیه و تحلیل با استفاده از جایگشت‌های مونت کارلو (n=۹۹۹) مورد آزمایش قرار گرفت.

نتایج

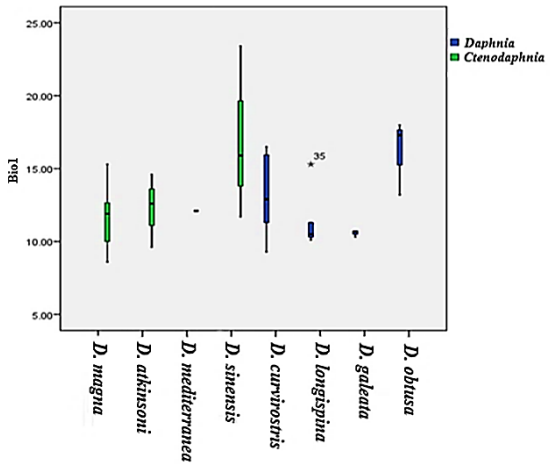
با توجه به نتایج مشخص گردید که گونه‌های دافنی از

جدول ۲ - گستره میانگین دمای سالانه و ارتفاع برای گونه‌های مطالعه شده.

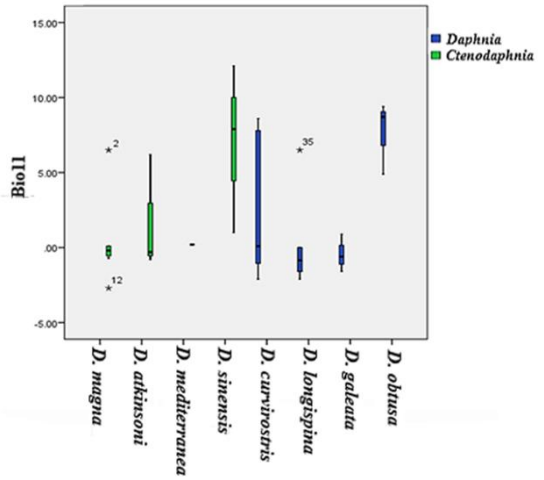
گونه	میانگین دمای سالانه	ارتفاع (m)
D.(Ctenodaphnia) magna Straus, 1820	۸/۶۰ - ۱۵/۳۰	۹۶/۴ - ۱۹۳۵
D. (Ctenodaphnia) atkinsoni Baird, 1859	۹/۶۰ - ۱۴/۶۰	۴ - ۱۶۵۴
D. (Ctenodaphnia) mediterranea Alonso, 1985	۱۲/۱۰	۱۲۷۷
D .(Ctenodaphnia) sinensis Gu, Xu, Li, Dumont et Han, 2013	۱۱/۷۰ - ۲۳/۴۰	۰ - ۲۲۶
D. (Daphnia) curvirostris Eylmann, 1887	۹/۳۰ - ۱۶/۵۰	۰/۱۰ - ۱۶/۷۷
D. (Daphnia) longispina O.F. Müller, 1776	۱۰/۱۰ - ۱۵/۳۰	۹۶/۴ - ۲۰۴۶
D. (Daphnia) galeata Sars, 1864	۱۰/۳۰ - ۱۰/۷۰	۱۱۴۸ - ۱۴۵۲
D. (Daphnia) obtusa Kurz, 1874 emend. Scourfield, 1942	۱۳/۲۰ - ۱۸/۰۰	۰/۵ - ۱۶۸

جدول ۳ - آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای متغیرهای نرمال (- = تفاوت معنی‌دار بین گونه‌ها وجود ندارد).

نام متغیر	آماره F	مقدار P	نتیجه آزمون
عرض جغرافیایی	۰/۱۴۹۶	۰/۹۸۷۲	-
دما	۰/۸۱۵۰	۰/۳۹۳۵	-
Bio8	۲/۱۷۱۰	۰/۰۷۰۳	-
Bio9	۰/۴۰۲۷	۰/۸۷۲۰	-
Bio10	۲/۱۲۳۰	۰/۰۷۶۰	-
Bio15	۰/۶۹۴۲	۰/۶۵۵۹	-



شکل ۲ - گستره میانگین دمای سالانه (Bio1) گونه‌های مطالعه شده به تفکیک زیرجنس‌ها.



شکل ۳ - گستره متوسط دمای سردترین سه ماهه سال (Bio11) برای گونه‌های مطالعه شده به تفکیک زیرجنس‌ها.

هر دو زیرجنس که به‌طور گسترده‌تری توزیع شده بودند دارای مقادیر تقریباً مشابه دمای متوسط سالانه و فصلی بودند (جدول ۲). زیرجنس‌ها *D.(C.) atkinsoni*، *Daphnia (C.) sinensis* و *D. (D.) curvirostris* بیشتر در مناطقی با دامنه وسیعی از درجه حرارت و نوسانات فصلی بالا مشاهده شدند، در حالی‌که زیرجنس‌های *D. (D.) obtusa*، *D. (D.) galeata* و *Daphnia (D.) longispina* بیشتر در محدوده‌هایی با نوسانات فصلی کمتر وجود داشتند. زیرجنس *D. (C.) mediterranea* محدود به جنوب دریاچه ارومیه بود. همچنین در هر دو زیرجنس تغییرات دمای متوسط سالانه که به‌طور گسترده‌ای با الگوی توزیع ارتفاعی مطابقت داشت، مشاهده شد. (جدول ۲، شکل‌های ۲ و ۴).

براساس نتایج آزمون نرمالیتی تک متغیره شش متغیر عرض جغرافیایی (P=۰/۱۶۸)، درجه‌حرارت (P=۰/۱۵۱) و متغیرهای زیست اقلیمی شماره‌ی هشت (P=۰/۱۴۸)، نه (P=۰/۳۳۷)، ده (P=۰/۴۳۶) و پانزده (P=۰/۲۰۸) دارای توزیع نرمال و بقیه متغیرها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. نتایج آنالیز واریانس

جدول ۴ - آزمون کروسکال والیس برای متغیرهای غیرنرمال (*= وجود تفاوت معنی‌دار بین گونه‌ها و - = نبود تفاوت معنی‌دار).

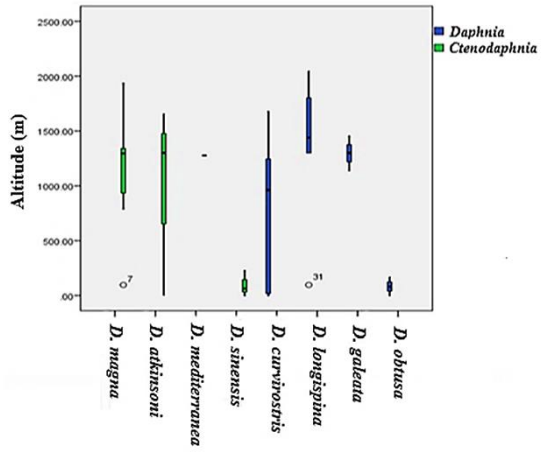
نام متغیر	آماره آزمون	آماره اصلاح شده	p-مقدار	نتیجه آزمون
ارتفاع	۱۴/۳۴	۱۴/۳۶	۰/۰۲۵	*
طول جغرافیایی	۱/۷۵۳	۱/۸۰۹	۰ /۹۳۶	-
شوری	۶/۶۹۶	۶/۷۴۰	۰/۳۴۵	-
pH	۶/۶۲۹	۶/۶۳۱	۰/۳۵۷	-
Bio1	۱۲/۱۶	۱۲/۲۰	۰/۰۵۰	*
Bio2	۴/۲۰۱	۴/۲۱۰	۰/۶۴۸	-
Bio3	۵/۹۸۰	۶/۵۶۷	۰/۳۶۲	-
Bio4	۶/۶۱۶	۶/۶۲۳	۰/۳۵۷	-
Bio5	۰/۹۸۱	۰/۹۸۴	۰/۹۸۶	-
Bio6	۱۱/۵۸	۱۱/۶۱	۰/۰۷۱	-
Bio7	۴/۸۵۰	۴/۸۶۱	۰/۵۶۱	-
Bio11	۱۲/۷۳	۱۲/۷۷	۰/۰۴۶	*
Bio12	۵/۹۰۰	۵/۹۰۶	۰/۴۳۲	-
Bio13	۵/۸۶۰	۵/۸۸۰	۰/۴۳۶	-
Bio14	۶/۱۵۳	۶/۲۰۱	۰/۴۰۱	-
Bio16	۴/۸۹۷	۴/۹۰۸	۰/۵۵۵	-
Bio17	۵/۴۸۷	۵/۴۹۹	۰/۴۸۲	-
Bio18	۶/۰۱۲	۶/۰۲۸	۰/۴۲۰	-
Bio19	۸/۳۴۵	۸/۳۵۷	۰/۲۱۳	-

یک‌طرفه در جدول ۳ تنظیم شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تمامی شش متغیری که دارای توزیع نرمال بودند، تفاوت معنی-داری را بین گونه‌ها نشان ندادند. نتایج آزمون کروسکال والیس برای متغیرهای غیرنرمال در جدول ۴ تنظیم شده است.

همچنین مشخص گردید در بین متغیرهای تحت بررسی، سه متغیر ارتفاع، Bio1 (میانگین دمای سالانه) و Bio11 (متوسط دمای سردترین سه ماهه سال) دارای تفاوت معنی‌داری بین گونه‌ها می‌باشند و این سه متغیر در تحلیل توزیع دافنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ گستره متغیرهای انتخاب شده را برای گونه‌های مورد مطالعه به تفکیک زیرجنس‌ها نشان می‌دهند.

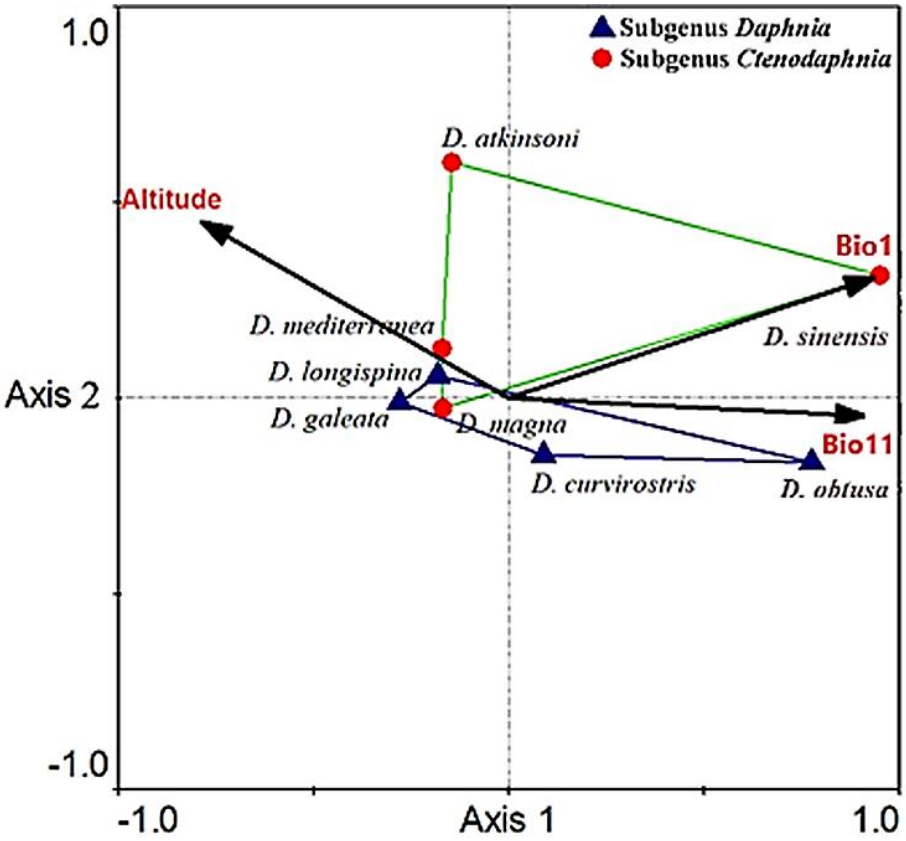
اثرات زیست محیطی بر توزیع گونه‌ها: نتایج حاکی از آن است که توزیع داده‌ها در هر دو حالت کلی (P=۰/۰۰۰۲۲ و Ep=۲۶) و درون گونه‌ای (P=۰/۰۴۹۳۶ و Ep=۱۲/۶۳) از نرمال چندمتغیره تبعیت نمی‌کند. با توجه به رد شدن فرض صفر در آزمون‌های چندمتغیره می‌توان گفت گونه‌های مختلف



شکل ۴ - گستره ارتفاع گونه‌های مطالعه شده به تفکیک زیرجنس‌ها.

دافنی دارای نیازهای متفاوتی از متغیرهای محیطی هستند (P=۰/۰۳۴۹ و F=۲/۲۱۲). ارتفاع، میانگین دمای سالانه و متوسط دمای سردترین سه ماهه سال دارای تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مورد مطالعه می‌باشند و این سه متغیر در تحلیل توزیع دافنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالی که هیچ یک از متغیرهای بارندگی معنی‌دار نبودند که نتیجه‌ای دور از انتظار بود (جدول ۴).

نتایج تحلیل چندمتغیره تطبیقی متعارفی



شکل ۵ - نمودار CCA نشان دهنده ارتباط بین عوامل محیطی و حضور گونه‌های مختلف در مناطق مطالعه شده.

(Canonical correspondence analysis) نشان داد که توزیع هریک از گونه‌ها، در ارتباط با عوامل محیطی بررسی شده می‌باشند. دو محور اول نمودار، ۹۴/۵ درصد از درصد تجمعی واریانس ارتباط گونه‌ها و عوامل زیست محیطی را نشان دادند. در محور اول ارتفاع دارای همبستگی منفی (r=۰/۶۰۰)، میانگین دمای سالانه همبستگی مثبت (r=۰/۷۱۵) و متوسط دمای سردترین سه ماهه سال همبستگی مثبت (r=۰/۶۹۶) بودند. متوسط دمای سردترین سه ماهه سال با محور دوم همبستگی منفی (r=۰/۰۲۲)، میانگین دمای سالانه همبستگی مثبت (r=۰/۱۴۵) و ارتفاع همبستگی مثبت (r=۰/۲۱۲) داشتند. در بین متغیرهای مطالعه شده متغیرهای دمایی همبستگی بیشتری با یکدیگر نسبت به متغیر ارتفاع نشان دادند (شکل ۵).

بحث

آرایه‌شناسی مبهم و ناقص، می‌تواند به نتیجه‌گیری‌های جغرافیای زیستی نادرست منجر گردد (Padhye *et al.*, 2016). در مورد شاخه‌سران، به‌دلیل اطلاعات به‌دست آمده از آرایه‌شناسی و داده‌های فون ناقص، مطالعات جغرافیای جانوری به کندی پیش رفته و مدت‌ها به طول انجامیده است (Frey, 1987; Dumont and Negrea, 2002). مطالعات جامع ریخت‌شناختی و مولکولی دقیق در مناطق مختلف جهان سبب شده‌اند تا محدوده‌های پراکنش آرایه‌ها بهتر و بیشتر روشن شوند (Adamowicz *et al.*, 2009). گروه‌های دافنی با توزیع وسیع در دنیا مانند *D. (C.) carinata* s.l.، *D. (D.) longispina* s.l. و *D. (D.) pulex* s.l. اکنون به‌عنوان همتافت گونه‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که در مناطق مختلف شامل اعضاء محدود شده منطقه ای می‌باشند (Hebert and Wilson, 1994; Taylor *et al.*, 1996; Crease *et al.*, 2012). بدون شک گونه‌های ناشناخته زیادی از دافنی‌ها هنوز در مناطق کمتر مطالعه شده مانند آفریقا و آسیا وجود دارند که باید

شناسایی شوند (Adamowicz *et al.*, 2009). سیستماتیک بسیاری از گروه‌های شاخه‌سران در آغاز قرن ۲۱ به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است (Kotov, 2016). ایران تنها زیستگاه ۳/۳ درصد از انواع گونه‌های شناخته شده‌ی دافنی می‌باشد (Popova and Kotov, 2013) و هیچ دافنی بومی برای ایران وجود ندارد. با این وجود، داده‌های جدیدی در مورد گونه‌های برخی از مناطق دنیا مانند ایران از دهه ۱۹۷۰ به بعد به‌دست نیامده است و اغلب مشخص نیست که آیا این گونه‌ها در منطقه مربوطه یافت می‌شوند و یا به اشتباه شناسایی شده‌اند. تا کنون ۱۲ گونه یا گروه گونه‌ای دافنی از ایران گزارش شده است؛ ۶ گونه از زیرجنس *Ctenodaphnia* (*D. magna*، *D. mediterranea*، *D. similis*، *D. sinensis*، *D. similoides* و *D. atkinsoni*)، دو گونه از گروه *D. pulex* (*D. pulex* و *D. obtusa*) و چهار گونه از گروه *D. longispina* (*D. galeata*، *D. cucullata*، *D. longispina* و *D. curvirostris*) و همچنین یک گونه مشکوک از *D. Laevis* (*D. dubia*) می‌باشند. در میان آن‌ها، *Daphnia (C.) magna*، *D. (C.) curvirostris* و *D. (C.) longispina* رایج‌ترین دافنی‌های گزارش شده هستند و این در حالی است که فقط یک گزارش برای برخی گونه‌ها مانند *D. (C.) mediterranea* و *D. (C.) similoides*، *D. (D.) cucullata* و *D. (D.) dubia* وجود دارد.

از بین عوامل محیطی مختلف عرض جغرافیایی و ارتفاع بیشترین تاثیر را بر توزیع منطقه‌ای گونه-های دافنی دارند (Benzie, 2005). این نکته بر نیاز-های محیطی خاص این جانوران از نظر دمایی و محدودیت به ارتفاع و عرض جغرافیایی دلالت دارد. توزیع و پراکنش بیشتر گونه‌ها و گروه‌های گونه‌ای زیرجنس *Daphnia* دارای همبستگی مثبت با متغیرهای دمایی و همبستگی منفی با ارتفاع بودند. هر دو زیرجنس را می‌توان بر اساس توزیع مشخص شده توسط ارتفاع و میانگین دمای سالانه تفکیک کرد. *D. (D.) galeata* و *D. (C.) mediterranea* محدود به مناطق با ارتفاع بالا و دمای پائین‌تر بودند. *D. (C.) sinensis* و *D. (D.) obtusa* محدود به ارتفاعات پائین‌تر با دمای گرم‌تر بودند. همچنین این دو گونه به همراه گونه *D.(C.) atkinsoni* از نظر فراوانی نمونه‌های جمع‌آوری شده الگوی توزیع متفاوتی را با سایر گونه‌ها داشتند. گونه‌های *D. (C.) sinensis*، *D.(D.) obtusa* و *D. (D.) curvirostris* بیشترین مقدار متوسط دمای سردترین سه ماهه سال را در مقایسه با سایر گونه‌ها نشان دادند. به‌طور خلاصه براساس شواهد به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل CCA به‌نظر می‌رسد که گونه‌های با پراکنش وسیع مانند *D. (C.) atkinsoni*، *Daphnia (C.) sinensis* و *D. (D.) curvirostris* اغلب در مناطقی با دامنه بیشتری از درجه حرارت و نوسانات فصلی بالا وجود دارند به‌طوری‌که به تغییرات وسیعی از الزامات محیطی (درجه حرارت) مقاوم هستند. همچنین مشخص شده است که درجه حرارت ممکن است تأثیر مهمی بر توزیع و فراوانی این موجودات به‌وسیله تعیین محدودیت‌های تحمل داشته باشد (Wetzel, 2001). درون این فواصل، دما به‌طور مستقیم بر روی بقا، تولیدمثل، سرعت رشد و توزیع این موجودات تاثیر می‌گذارد (Brazner *et al.*, 2005; Heino *et al.*, 2009). بنابراین این متغیر محیطی ممکن است به‌عنوان یک سازوکار تسهیل کننده یا مهاری برای استقرار گونه در یک محیط آبی خاص عمل کند (Lennon *et al.*, 2001).

عرض جغرافیایی به همراه دما و ارتفاع، به خوبی گونه‌های زیرجنس *Daphnia* را از گونه‌های زیرجنس (*Ctenodaphnia*) *D.* و دافنی‌های بومی ارتفاعات بالا را از همتافت گونه‌هایی که در پهنه گسترده‌تری توزیع شده‌اند، تفکیک می‌کند (Padhye *et al.*, 2016). مطالعات اخیر در مورد الگوی غنای گونه‌ای در زیرجنس *Daphnia*، توزیع دو قطبی در این شاخه‌سران را در مناطق مورد بررسی، بیشتر

تایید نمود (Dumont, 1980; Popova and Kotov, 2013). نتایج حاصل از تحلیل چندمتغیره تطبیقی متعارفی برای این مطالعه نیز توزیع دو قطبی را در مورد گونه‌های دافنی موجود در ایران مورد تایید قرار داد. در مطالعه ای که توسط Mantovano و همکاران (۲۰۱۸) انجام گرفت رابطه معنی‌داری بین فراوانی *D. lumholtzi* و دو عامل محلی دما و فاصله جغرافیایی مشاهده نشد؛ با این حال، بررسی وجود گونه‌ها با درجه حرارت نشان داد که فراوانی گونه‌ها بین ۲۱°C و ۲۷°C بیشتر است. صرف نظر از این تفاوت، *Daphnia* و *Ctenodaphnia* که به‌طور گسترده‌ای توزیع یافته‌اند نسبت به بسیاری از متغیرهای دمایی و اقلیمی همپوشانی دارند و شاید همین نکته پاسخ این سوال باشد که چرا بسیاری از گونه‌ها به برخی متغیرهای دمایی تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهند.

پیشتر نشان داده شده که گونه‌های دافنی ارتفاعات بالا را ترجیح می‌دهند (Manca *et al*., 1994, 1998, 2006; Möst *et al*., 2013; Ma *et al*., 2015). در مطالعه حاضر ارتفاعات متوسط (۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر) حداکثر تعداد گونه‌های دافنی (n = ۶) را دربردارند در حالی‌که غنای گونه با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. رایج‌ترین الگوی ارتفاعات مشاهده شده در غنای گونه‌ای، توزیع زنگوله‌ای شکل با بیشترین تعداد گونه در ارتفاعات متوسط می‌باشد (Lomolino, 2001) که در تحقیق حاضر نیز بیشترین تنوع گونه‌ای در این محدوده ارتفاع مشاهده گردید. ارتفاعات بسیار بالا (بیش از ۳۵۰۰ متر) تنها شامل گونه‌هایی خاص مانند *D. (D.) dentifera* و *D. (C.) tibetana* می‌باشد (Padhye *et al*., 2016) که در گونه‌های مورد بررسی ایران نمونه ای در محدوده ارتفاعات بسیار بالا مشاهده نگردید. در مجموع برخی از دلایل کاهش غنای گونه‌ها در ارتفاعات بالا را می‌توان به کاهش تولید و تنوع منابع، شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی و تابش اشعه ماوراء بنفش بیشتر نسبت داد (Cabrera *et al*., 1997; Dvorkin and Steinberger, 1999). شواهد به‌دست آمده از مطالعات مختلف نشان می‌دهند که مناطق کوهستانی در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر دربردارنده‌ی تعدادی از آرایه‌های بومی شاخه‌سران هستند که بیشتر به‌نظر می‌رسد منسوب به دافنی‌های موجود در مناطق شمالی (Kotov *et al*., 2010) و همچنین گونه‌هایی که اغلب در ارتفاعات عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر در آفریقا و آمریکای جنوبی وجود دارند باشند (Green, 1995; Kotov *et al*., 2010; Kotov and Taylor, 2010). مناطق با ارتفاع بالا که شامل زیستگاه‌های آب سرد با فون مناطق فوق گرمسیری آب شیرین هستند (Van Damme and Eggermont, 2011) دارای گونه‌های دافنی بومی پالئارکتیک در آفریقا می‌باشند (Green, 1995; Van Damme and Eggermont, 2011). حتی همتافت گونه‌هایی با توزیع گسترده در جهان مانند *D. (D.) obtusa* s.l. ،*D. (D.) pulex* s.l. و *D. (D.) longispina* s.l. معمولاً در ارتفاعات بسیار بالای عرض جغرافیایی پایین یافت نمی‌شوند. این نشان می‌دهد که سایر عوامل غیر از ارتفاع نیز توزیع شاخه‌سران پلانکتونی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و بنابراین نباید در تفسیر چگونگی توزیع در ارتفاعات بالا، تنها با یک عامل سخت‌گیر باشیم (Green, 1995).

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر توزیع دافنی‌های ایران را در سه گروه نشان می‌دهد. گروه اول، گونه‌هایی که در محدوده‌ای از مناطق پست تا ارتفاعات بالا یافت شده و متعلق به همتافت گونه‌هایی از زیرجنس‌های *Daphnia* و *Ctenodaphnia*: *D. (C.) magna*، *D. (C.) atkinsoni* و *D. (D.) curvirostris* و *D.(D.) longispina* می‌باشند. گروه دوم، موارد محدود به مناطق با ارتفاع متوسط تا بالا که شامل *D. (D.) galeata* و *D. (C.) mediterranea*

می‌باشند و در نهایت گروه سوم، گونه‌هایی که محدود به ارتفاعات پائین با دمای گرم‌تر هستند که دربرگیرنده *D. (C.) sinensis* و *D. (D.) obtusa* می‌باشند. همچنین با تفسیر برخی از گروه‌های مشاهده شده از گونه‌های دافنی مشخص گردید که تغییرات دمایی (منتج از تغییرات ارتفاع و عرض‌های جغرافیایی)، به‌عنوان تنها عوامل موثر بر توزیع دافنی به حساب می‌آیند و متغیرهای مرتبط با بارندگی تاثیرگذار نمی‌باشند.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر علیرضا احمدآبادی، دکتر بهروز آتشبار و خانم‌ها زهره آتشگاهی و بهروزیان که در انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری ما را از مشاوره‌های ارزشمند خود بهره‌مند نمودند، کمال تشکر را داریم.

منابع

احمدزاده ف.، خیراندیش آ. ۱۳۸۵. تنوع زیستی سوسمارهای شمال غرب ایران. علوم محیطی، ۱۱: ۵۳–۴۳.

Adamowicz S.J., Petrusek A., Colbourne J.K., Hebert P.D., Witt J.D. 2009. The scale of divergence: a phylogenetic appraisal of intercontinental allopatric speciation in a passively dispersed freshwater zooplankton genus. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50(3), 423-436.

Alonso M. 1985. *Daphnia (Ctenodaphnia) mediterranea*: A new species of hypersaline waters, long confused with *D. (C.) dolichocephala* Sars, 1895. *Hydrobiologia* 128, 217-228.

Baird W. 1859. Description of several species of Entomostracous Crustacea from Jerusalem. *Annals and Magazine of Natural History* 3(4), 280-283.

Benzie J.A. 2005. The genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*) (Anomopoda: Daphniidae). In: H.J. Dumont (ed.) Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. SPB Academic Publishing. 383 p.

Brazner J.C., Tanner D.K., Detenbeck N.E., Batterman S.L., Stark S.L., Jagger L.A., Snarski V.M. 2005. Regional, watershed, and site-specific environmental influences on fish assemblage structure and function in western Lake Superior tributaries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62(6), 1254-1270.

Cabrera S., López M., Tartarotti B. 1997. Phytoplankton and zooplankton response to ultraviolet radiation in a high-altitude Andean lake: short-versus long-term effects. *Journal of Plankton Research* 19(11), 1565-1582.

Crease T.J., Omilian A.R., Costanzo K.S., Taylor D.J. 2012. Transcontinental phylogeography of the *Daphnia pulex* species complex. *PloS One 7*(10), e46620.

Dumont H.J., Negrea S.V. 2002. Introduction to the Class Branchiopoda, In: H.J. Dumont (ed.), Guides to the identification of the micro invertebrates of the continental waters of the world, 19. Backhuys Publication. pp: 1-398.

Dumont H. 1980. Zooplankton and the science of biogeography: the example of Africa. In: W.C. Kerfoot (ed.), *Evolution and Ecology of Zooplankton Communities*. The University Press of New England, Hanover (N.H.). pp: 685-696.

Dvorkin A.Y., Steinberger E.H. 1999. Modeling the altitude effect on solar UV radiation. *Solar Energy* 65(3), 181-187.

Eylmann E. 1887. Beitrag zur Systematik der europäischen Daphniden. *Berichte der Berichte der Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau Veröffentlichungen* 2, 61-148.

Fazel A.M. 2010. Iran's 4th National Report to the Convention on Biological Diversity (CBD). Prepared by: Department of Environment. 145 p.

Fernando C.H., Kanduru A. 1984. Some remarks on the latitudinal distribution of Cladocera on the Indian subcontinent. *Tropical Zooplankton* 69-76.

Fernando C.H. 1980. The freshwater zooplankton of Sri Lanka, with a discussion of tropical freshwater zooplankton composition. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 65(1), 85-125.

Frey D.G. 1987. The taxonomy and biogeography of the Cladocera. *Hydrobiologia* 145, 5-17.

Godsoe W., Jankowski J., Holt R.D., Gravel D. 2017. Integrating biogeography with contemporary niche theory. *Trends in Ecology and Evolution* 32(7), 488-499.

Grassein F., Lavorel S., Till- Bottraud I. 2014. The importance of biotic interactions and local adaptation for plant response to environmental changes: field evidence along an elevational gradient. *Global Change Biology* 20(5), 1452-1460.

Green J. 1995. Altitudinal distribution of tropical planktonic Cladocera.

Eastern Siberia and the Far East of Russia. *Biology Bulletin* 43(9), 970-987.
Kurz W. 1874. Dodekas neuer Cladoceren mebst einer kurzen Übersicht der Cladoceren fauna Böhmens. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, Abt. I. *Mineralogie, Biologie, Erdkunde und verwandte Wissenschaft* 70, 7-88.
Lampert W. 2011. *Daphnia*: Development of a model organism in ecology and evolution. Excellence in Ecology. International Ecology Institute, Oldendorf/Luhe. 250 p.
Lennon J.T., Smith V.H., Williams K. 2001. Influence of temperature on exotic *Daphnia lumholtzi* and implications for invasion success. *Journal of Plankton Research* 23(4), 425-433.
Lomolino M. 2001. Elevation gradients of species density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10, 3-13.
Louthan A.M., Doak D.F., Angert A.L. 2015. Where and when do species interactions set range limits? *Trends in Ecology and Evolution* 30(12), 780-792.
Ma X., Petrusek A., Wolinska J., Giessler S., Zhong Y., Yang Z., Hu W., Yin M. 2015. Diversity of the *Daphnia longispina* species complex in Chinese lakes: a DNA taxonomy approach. *Journal of Plankton Research* 37, 55-65.
MacArthur R.H. 1972. Geografical ecology: patterns in the distribution of species. Harper & Row.
Manca M., Cammarano P., Spagnuolo T. 1994. Notes on Cladocera and Copepoda from high altitude lakes in the Mount Everest Region (Nepal). *Hydrobiologia* 287, 225-231.
Manca M., Martin P., Carolina D.P., Benzie J.A.H. 2006. Re-description of *Daphnia (Ctenodaphnia)* from lakes in the Khumbu Region, Nepalese Himalayas, with the erection of a new species, *Daphnia himalaya*, and a note on an intersex individual. *Journal of Limnology* 65, 132-140.
Manca M., Ruggiu D., Panzani P., Asioli A., Mura G., Nocentini A.M. 1998. Report on a collection of aquatic organisms from high mountain lakes in the Khumbu Valley (Nepalese Himalayas). *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 57, 77-98.
Mantovano T., Schwind L.T., Louizi de Souza M., Rodrigo L., Arrieira V.G., Nascimento K.C., Bonecker C.C., Fábio A. 2018. An analysis of publications on *Daphnia lumholtzi* in freshwater ecosystems. *Limnetica* 37(2), 199-208.
Hydrobiologia 307, 75-84.
Gu Y.L., Xu L., Li Q.Q., Dumont H.J., Han B.P. 2013. A new subspecies of *Daphnia*: *Daphnia similoides sinensis*. *Ecological Science* 32, 308-312.
Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol*ogy 4, 1-9.
Hebert P.D.N., Wilson C.C. 1994. Provincialism in plankton: endemism and allopatric speciation in Australian *Daphnia*. *Evolution* 48, 1333-1349.
Heino J., Virkkala R., Toivonen H. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews* 84(1), 39-54.
Hijmans R.J., Guarino L., Bussink C., Mathur P., Cruz M., Barrentes I., Rojas E. 2012. DIVA-GIS 7.5. A geographic information system for the analysis of species distribution data. Manual available at: *http://www.diva-gis.org*.
IBM Corp. 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
Ishida S., Taylor D.J. 2007. Quaternary diversification in a sexual Holarctic zooplankter, *Daphnia galeata*. *Molecular Ecology* 16, 569-582.
Kerfoot W.C., Lynch M. 1987. Branchiopod communities: association with planktivorous fish in space and time, 367-378. In: W.C. Kerfoot, A. Sih (eds.), Predation: direct and indirect impacts on aquatic communities. Hanover University Press of New England.
Korhola A., Rautio M. 2001. Zoological indicators 4 (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers). pp: 125-165.
Korovchinsky N.M. 2006. The Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) as a relict group. *Zoological Journal of the Linnean Society* 147, 109-124.
Kotov A.A. 2015. A critical review of the current taxonomy of the genus *Daphnia* OF Müller, 1785 (Anomopoda, Cladocera). *Zootaxa* 3911, 184-200.
Kotov A.A., Sinev A., Berrios V.L. 2010. The Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) of six high altitude water bodies in the North Chilean Andes, with discussion of Andean endemism. *Zootaxa* 2430, 1-66.
Kotov A.A., Taylor D.J. 2010. A new African lineage of the *Daphnia obtusa* group (Cladocera: Daphniidae) disrupts continental vicariance patterns. *Journal of Plankton Research* 32, 937-949.
Kotov A.A. 2016. Faunistic Complexes of the Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) of

Afromontane Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) of the Rwenzori (Uganda-D. R. Congo): ecology, biogeography and taxonomy including the description of *Alona sphagnophila* n. sp. *Hydrobiologia* 676, 57-100.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and river ecosystems, 3rd edn. Academic press, London, UK. 106 p.

Wiens J.J. 2011. The niche, biogeography and species interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 366(1576), 2336-2350

Mergeay J., Aguilera X., Declerck S., Petrusek A., Huyse T., De Meester L. 2008. The genetic legacy of polyploid Bolivian *Daphnia*: the tropical Andes as a source for the North and South American *D. pulicaria* complex. *Molecular Ecology* 17, 1789-1800.

Möst M., Petrusek A., Sommaruga R., Juračka P.J., Slusarczyk M., Manca M., Spaak P. 2013. At the edge and on the top: molecular identification and ecology of *Daphnia dentifera* and *D. longispina* in high-altitude Asian lakes. *Hydrobiologia* 715, 51-62.

Müller O.F. 1776. Zoologicae Danicae prodromus seu animalium Daniae et Norvegiae indigenarum characteres, nomina et synonyma imprimis popularum. Havniae. 264 p.

Padhye S.M., Kotov A.A., Dahanukar N., Dumont H. 2016. Biogeography of the 'water flea' *Daphnia* OF Müller (Crustacea: Branchiopoda: Anomopoda) on the Indian subcontinent. *Journal of Limnology* 75(3).

Pigot A.L., Tobias J.A. 2013. Species interactions constrain geographic range expansion over evolutionary time. *Ecology Letters* 16(3), 330-338.

Popova E., Kotov A. 2013. Latitudinal patterns in the diversity of two subgenera of the genus *Daphnia* of Müller (Crustacea: Cladocera: Daphniidae). *Zootaxa* 3736, 159-174.

Sars G.O. 1864. Inberetningomen I Sommeren 1862-1863 foretagen zoologisk Reise I Christianasog Trondhjems Stifter. *Nytt Magazines for Naturvidenskapene* 12, 193-252.

Scourfield D.J. 1942. The "Pulex" forms of *Daphnia* and their separation into two distinct series represented by *D. pulex* (De Geer) and *D. obtusa* Kurz. *Annals and Magazine of Natural History* 2(9), 202-219.

Smirnov N.N., Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Sinev A.Y. 2007 *Proc. Rus. Conf. on Cladocera: systematics and biology* (Nizhny Novgorod: Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Vector publisher) 5-73.

Straus E.H. 1820. Mémoire sur les *Daphnia* de la classe des Crustacés. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris* 6, 149-162.

Taylor D.J., Hebert P.D.N., Colbourne J.K. 1996. Phylogenetics and evolution of the *Daphnia longispina* group (Crustacea) based on 12S rDNA sequence and allozyme variation. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 5, 495-510.

Van Damme K., Eggermont H. 2011. The

Biogeography of the *Daphnia* O. F. Müller, 1785 (Branchiopoda: Anomopoda) in the North of Iran

Ali Mohammadyari[1], Fereshteh Ghassemzadeh[*1], Omid Mirshamsi[1,2], Mansour Abadian[1,2]

[1]Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[2]Research Department of Zoological Innovations (RDZI), Institute of Applied Zoology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
*Corresponding author: ghasemzd@um.ac.ir

Received: 2018/7/30 Accepted: 2019/1/2

Abstract

The *Daphnia* distribution in Iran has been slightly studied and the information are very vague, although *Daphnia* is the oldest studied Cladoceran in the world. Here this is the first biogeographical assessment of the *Daphnia* in Iran. We collected the samples randomly from various stations of the Caspian and Urmia Lake Basins. Four *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) and four *Daphnia* (*Daphnia*) were found in 29 different localities. We examined some ecological variables such as temperature, salinity, pH, altitude, latitude and longitude along with 19 bioclimatic variables for statistical analysis of factors affecting distribution. The average annual temperature, average temperature of the coldest quarter of the year and altitudes varied between the species, and thus were determined their bio-climatic requirements. The relationship between *Daphnia* distribution and the mean annual temperature and altitude were positive and with the average temperature of the coldest quarter of the year was negative. In general, temperature variations are considered as the only factors influencing the distribution of *Daphnia* and the variables associated with Precipitation are not affected.

Keywords: Multivariate Analyses, Caspian Basin, Daphnia, Lake Urmia, Ecological Factors.