یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۳۰۴ الی ۳۱۴ (۱۳۹۹)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Nova Biologica Reperta 7(3): 304-314 (2020)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.7.3.304

مقایسه تغییرات درون گونه ایِ جمعیت‌های *Clinopodes flavidus* (Geophlilomorpha, Geophilidae) در منطقه البرز با استفاده از شیوه ریخت‌سنجی هندسی

رقیه زارعی و مهوش سیفعلی

گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

مسئول مکاتبات: رقیه زارعی، r.zarei@alzahra.ac.ir؛ مهوش سیفعلی،maseifali@alzahra.ac.ir

چکیده. هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات شکلی ناحیه سر در جمعیت‌های دامنه شمالی و دامنه جنوبی گونه *Clinopodes flavidus* در ارتفاعات البرز با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک بوده است. به این منظور تعداد ۱۷ لندمارک و شبه لندمارک روی ککسواسترنیت چنگال‌های سمی و هفت لندمارک و شبه لندمارک روی تارسانگولوم چنگال‌های سمی با استفاده از نرم افزار TpsDig2 قرار داده شد. داده‌های حاصل از لندمارک پس از تحلیل پروکراست با شیوه‌های آماری چندمتغیره شامل تحلیل تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل متغیرهای کانونی (CVA) با استفاده از نرم افزارهای PAST و MorphoJ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین شکل ککسواسترنیت چنگال‌های سمی میان جمعیت‌های این گونه در منطقه البرز وجود دارد ($p<0.001$). این مطالعه قابلیت استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک را برای تمایز جمعیت‌های مختلف *Clinopodes flavidus* در منطقه البرز نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تارسانگولم، صدپایان، فون ایران، ککسواسترنیت، لندمارک

The comparative study of intra-specific variations in the various populations of *Clinopodes flavidus* (Geophlilomorpha, Geophilidae) in Alborz Mountain, using geometric morphometrics

Roghaieh Zarei & Mahvash Seifali

Department of Plant sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

Corresponding authors: Roghaieh Zarei, r.zarei@alzahra.ac.ir; Mahvash Seifali, maseifali@alzahra.ac.ir

Abstract. The aim of this study was to determine the variations among cephalic plates of individuals in two populations of *Clinopodes flavidus* in Alborz Mountains, by means of landmark-based techniques of geometric morphometrics. Therefore, 17 landmarks and semi-landmarks on the coxosternite of poison claw and seven landmarks and semi-landmarks on the tarsangulum of poison claw were selected using TpsDig2 software. Data of landmarks, after procrust analysis, were subjected to various multivariate analyses, such as Principle Component Analysis (PCA) and Canonical Variate Analysis (CVA) by means of PAST and MorphoJ softwares. The results obtained demonstrated that shape variations in coxosternite were significantly different among various populations ($p<0.001$). This study revealed the usefulness of landmark-based geometric morphometrics in the differentiation of various populations of *Clinopodes flavidus* in Alborz Mountains.

Key words: Chilpoda, coxosternite, Iran's fauna, landmark, tarsangulum

Received 17.03.2020/ Revised 14.04.2020/ Accepted 27.04.2020/ Published 21.11.2020

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷/ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶/ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸/ انتشار: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

مقدمه

مقایسه ویژگی‌های کالبدشناختی، برای شناسایی موجودات زنده از اهمیت به سزایی برخوردار بوده است. رده بندی موجودات زنده و شناسایی اشکال حیات بر اساس توصیف ریختی انجام می‌شده و اکنون نیز تا اندازه زیادی وابسته به ویژگی‌های ریختی است. در اوایل قرن بیستم زیست شناسی از حالت توصیفی به حالت کمی تغییر پیدا کرد. در زمینه تحلیل‌های ریختی نیز این تغییرات باعث استفاده از شیوه‌های مختلف آماری برای نشان دادن تغییرات میان گروه‌ها شد (Adams et al., 2004). بررسی الگوی تغییرات شکل میان گروه‌ها نیز در زمینه‌های مورفومتریک رشد کرد. پیشرفت در شیوه‌های به‌دست آوردن تصویر و رقومی کردن آن‌ها و نرم افزارهایی برای تحلیل منجر به ظهور زمینه ای جدید از ریخت‌شناسی به نام ریخت‌شناسی هندسی شد (Valentin et al., 2008). امروزه ریخت‌شناسی هندسی بستری را برای مطالعات تغییرات فنوتیپی فراهم آورده است و در دسترس بودن نرم افزارهای این شیوه بدون پرداخت هزینه، مطالعات در این زمینه را آسان و ارزشمند ساخته است (Cardini & Loy, 2013).

ریخت‌شناسی هندسی بر پایه لندمارک، شیوه ای قدرتمند برای مطالعه شکل و اندازه است؛ با استفاده از این شیوه می‌توان شکل ساختارهای مختلف را با استفاده از متغیرها، از نظر آماری بررسی کرد و نتیجه تحلیل‌های آماری به صورت گرافیکی نیز تفاوت و تغییر اشکال را نشان می‌دهند (Adams, 1999). شیوه لندمارک بر اساس انتخاب مختصاتی از لندمارک‌های معنادار زیستی است. البته تحلیل مستقیم مختصات صحیح نیست زیرا جهت و مقیاس نمونه‌ها هنوز در داده‌ها تاثیر دارند. بنابراین لازم است از نظر ریاضیاتی، این متغیرها قبل از انجام تحلیل‌ها حذف شوند. روش سوپرایمپوزیشن اثر اندازه را حذف می‌کند. تحلیل Generalized Procrustes از تخمین حداقل مربع برای سوپرایمپوزیشن استفاده می‌کند (Adams et al., 2004).

صدپایان گروهی از بندپایان خشکی‌زی هستند که دارای ماندیبل، شاخک و سیستم تنفسی نایی هستند. این بندپایان از شکارگران شب‌فعال در اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شوند و از جانوران دیگر از جمله بندپایان دیگر تغذیه می‌کنند. زواید بخش قدامی بدن برای گرفتن شکار تخصص پیدا کرده است. دهان در موقعیت شکمی قرار دارد و اولین زوج بندهای بدن تبدیل به چنگال‌های سمی شده است که ویژگی مشخص و سین آپومورفی این گروه جانوری محسوب می‌شود (Lewis, 2006; Edgecombe & Giribet, 2007). بدن در صدپایان کشیده است و اغلب دارای تعدادی بند است که اکثر بندها دارای یک زوج زواید حرکتی هستند. چنگال‌های سمی اولین زوج زوائد بدن هستند که در تغذیه نقش دارند و جایگاه غدد سمی هستند. در میان راسته‌های شناسایی شده از صدپایان، راسته Geophilomorpha متنوع‌ترین گروه صدپایان است. ساختار چنگال‌های سمی در آرایه‌شناسی Geophilomorpha نقش مهمی را ایفا می‌کند و چگونگی ساختمان آن به عنوان صفت تشخیصی مهم تاکسونومیک به‌شمار می‌رود (Lewis, 2006). هر چند که این ویژگی‌ها بیشتر کیفی هستند و معمولاً در سطح گونه این ویژگی‌ها تغییر نمی‌کنند. مطالعات آماری کمّی در این مورد نیز بسیار اندک است و وجود دندانه‌ها روی بندهای مختلف چنگال‌های سمی در بسیاری موارد دیده می‌شوند (Manton, 1965). اخیراً از شیوه‌های ریخت‌شناسی هندسی برای حل مشکلات مربوط به شکل و مسائل تاکسونومیک در برخی گروه‌های صدپایان استفاده شده است؛ به عنوان مثال نتایج تحلیل‌های ریخت‌شناسی هندسی شکل پاهای تناسلی و ککسا چنگال‌های سمی در راسته Scutigeromorpha تغییرات شکل معناداری را نشان داده است (Bolton et al., 2009; Gutierrez et al., 2011).

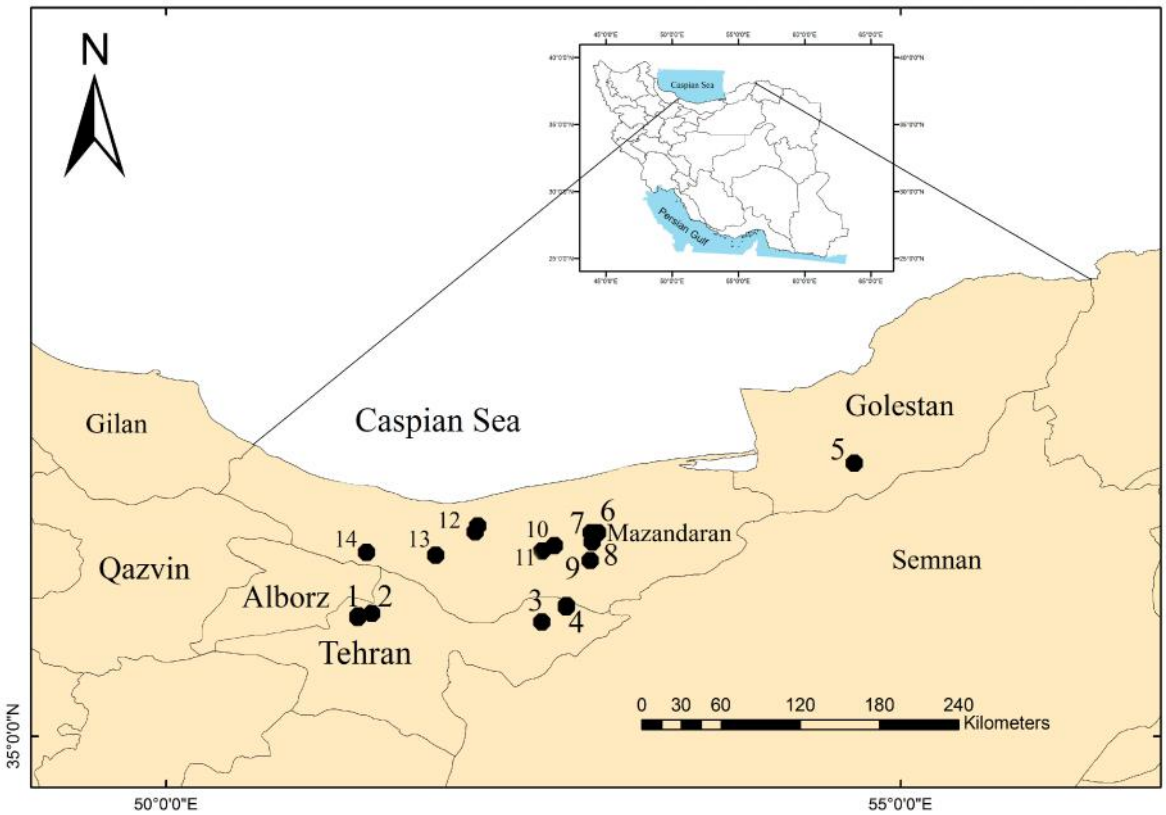
جنس *Clinopodes* C.L. Koch, 1847 یکی از معمول‌ترین جنس‌های خانواده Geophilidae از راسته Geophilomorpha بوده که پراکنش آن‌ها از اروپا مرکزی و جنوب شرقی اروپا، به سمت شرق تا اطراف دریای سیاه، قبرس و لونت گزارش شده است، گزارش‌هایی از قفقاز و آناتولی نیز وجود دارند (Bonato et al., 2010). هفت گونه از این جنس تاکنون در دنیا گزارش شده است و تنها گونه *Clinopodes flavidus* C.L. Koch, 1847 از این جنس برای اولین بار از ایران گزارش شد که در منطقه البرز مرکزی نیز پراکنش قابل توجهی دارد (Zarei et al., 2020).

در این مطالعه جمعیت‌های مختلف گونه *Clinopodes flavidus* از ۱۳ ایستگاه از دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز جهت مطالعه تغییرات شکل ککسواسترنیت صفحه سری و چنگال‌های سمی با استفاده از ریخت‌شناسی هندسی بر پایه شیوه لندمارک مورد بررسی قرار گرفتند. این مطالعه با هدف بکارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی انجام شد تا امکان جداسازی جمعیت‌ها با استفاده از شکل اندام‌ها بررسی شود. مطالعات جمعیتی از مهم‌ترین گام‌ها در تحلیل‌های زیست‌پذیری گونه‌ها هستند و در برنامه‌های حفاظت از گونه‌ها دارای اهمیت هستند (Murphy et al., 1990).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

مواد و روش‌ها

جمع آوری نمونه‌ها از دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز در ۱۳ ایستگاه انجام گرفت (شکل ۱). سپس نمونه‌ها در الکل ۷۰ درصد قرار گرفتند. شناسایی نمونه‌ها با توجه به جدیدترین کلیدها و مقالات موجود انجام شد (Bonato et al., 2011, Bonato & Minelli 2014). تمام نمونه‌ها در موزه جانورشناسی دانشکده علوم زیستی دانشگاه الزهرا (س) نگهداری می‌شوند. از آنجا که تغییرات ریختی حین آنتوژنی نیز اتفاق می‌افتد، در این تحلیل تنها از نمونه‌های بالغ استفاده شد. شناسایی نمونه‌های بالغ با استفاده از میزان رشد پاهای تناسلی امکان‌پذیر است و در نهایت تعداد ۵۱ نمونه برای آنالیز انتخاب شدند که از این تعداد ۳۸ نمونه به دامنه جنوبی البرز و ۱۳ نمونه به دامنه شمالی البرز تعلق داشتند (جدول ۱). واژه‌شناسی صفات تاکسونومیک در مطالعه حاضر از مطالعه انجام شده پیشین (Bonato et al., 2010) پیروی می‌کند. جهت عکسبرداری از چنگال‌های سمی که در زیر سر قرار دارند، نمونه‌ها در گلیسیرین شفاف شدند و از سطح شکمی روی اسلاید قرار گرفتند. سپس توسط دوربین متصل به میکروسکوپ Olympus در آزمایشگاه دانشگاه الزهرا (س) عکس‌برداری از نمونه‌ها صورت گرفت. تمام نمونه‌ها با بزرگ‌نمایی و جهت یکسان توسط میکروسکوپ متصل به دوربین عکس‌برداری شدند و از هر نمونه دو بار عکس‌برداری شد تا خطای حاصل از عکس‌برداری به حداقل برسد. چنگال‌های سمی ساختارهایی متشکل از بندهای متصل به هم هستند و تغییر موقعیت هر کدام به دلیل تغییرات پس از مرگ جانور می‌تواند ثابت نباشد. برای حل این مشکل از ساختارهایی که کمترین تغییرات را دارند استفاده شد که شامل ککسواسترنیت چنگال‌های سمی و بند راسی چنگال‌های سمی (تارسانگولوم) شدند.



شکل ۱– نقشه منطقه نمونه برداری، نام ایستگاه‌ها در جدول ۱ قید شده است.

Fig. 1. The map of sampling sites, the name of each station is indicated in the Table 1.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]



شکل ۲- ساختمان *Clinopodes flavidus* از نمای شکمی.
Fig. 2. *Clinopodes flavidus* from ventral view.

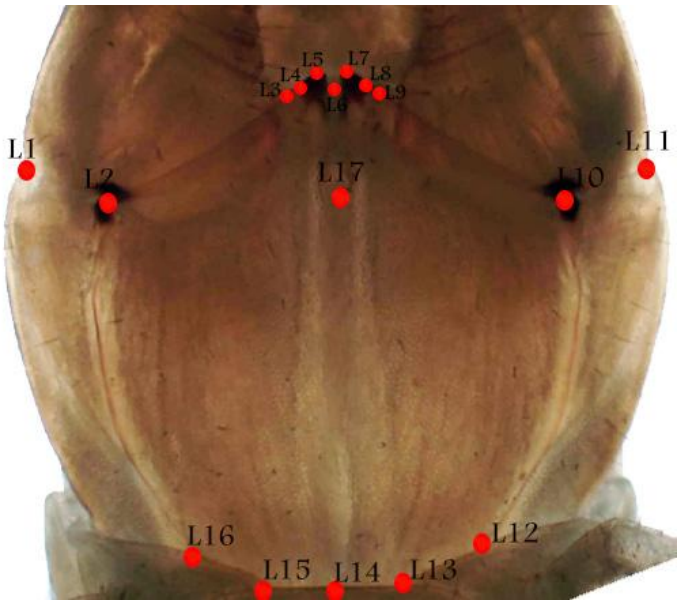
جدول ۱- مناطق نمونه‌های مورد مطالعه.
Table 1. Locations of studied samples.

کد	نام منطقه	تعداد نمونه	دامنه شمالی /جنوبی البرز	کد	نام منطقه	تعداد نمونه	دامنه شمالی /جنوبی البرز
۱	جنت آباد	۲	جنوبی	۸	شیرگاه	۱	شمالی
۲	توچال	۱۵	جنوبی	۹	خواجه کلا	۱	شمالی
۳	دشت لار	۱۱	جنوبی	۱۰و ۱۱	گلوگاه	۲	شمالی
۴	تنگ واشی	۱۰	جنوبی	۱۲	چمستان	۲	شمالی
۵	گرگان	۲	شمالی	۱۳	رویان	۱	شمالی
۶	امره	۱	شمالی	۱۴	پل زنگله	۲	شمالی
۷	برنجستانک	۱	شمالی				

شکل ۲ کل ساختمان بدن را از نمای شکمی نشان می‌دهد. ۱۷ لندمارک و شبه لندمارک برای ککسواسترنیت چنگال‌های سمی و هفت لندمارک و شبه لندمارک برای بند راسی چنگال‌های سمی انتخاب شدند (جدول ۲). برای موقعیت لندمارک‌ها از همولوژی‌ها استفاده شد که در تمام نمونه‌ها موقعیت یکسانی داشته باشند و انتخاب شبه لندمارک‌ها نسبت به موقعیت لندمارک‌ها انجام شد (Bookstein, 1997). شکل ۳ محل قرارگیری لندمارک‌ها و شبه لندمارکهای ککسواسترنیت چنگال‌های سمی را نشان می‌دهد و شکل ۴ محل قرارگیری لندمارک‌ها و شبه لندمارک‌های بند رأسی چنگال‌های سمی (تارسانگولوم) را نشان می‌دهد.

هر کدام از دو ساختار به‌صورت مستقل توسط شیوه ریخت‌سنجی هندسی برپایهٔ لندمارک تحت بررسی قرار گرفتند. با استفاده از نرم افزار TpsDig2 لندمارک‌ها به عنوان نقاط ثابت و مشابه روی تصاویر دو بعدی تعریف شدند. ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک‌ها برای بررسی تغییرات شکل نمونه‌های مطالعه شده استفاده می‌شود. به منظور حذف ویژگی‌های غیر شکلی و استخراج داده‌های شکل، لندمارک‌های تمام نمونه‌ها با استفاده از شیوه سوپر ایمپوزیشن (Generalized Procrustes Analysis) روی‌هم‌گذاری شدند. جهت بررسی اختلاف‌های ریختی، ماتریس کواریانس برای هر ویژگی به صورت دوبعدی تولید شد و تحلیل‌های چندمتغیره شامل تحلیل همبستگی کانونی (CVA, Canonical Variates Analysis) و تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis, PCA) بر داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای MorphoJ وPAST انجام شد (Klingenberg, 2011). گروه‌بندی نمونه‌ها بر اساس اطلاعات مربوط به جمعیت و مکان جمع‌آوری آن‌ها انجام شده است. در تحلیل همبستگی کانونی وضعیت نسبی گروه‌های مشخص شده براساس مقادیر فواصل ماهالونوبیس و پروکراست محاسبه شده است. آزمون permutation جهت محاسبه فواصل دو به دو روی ۱۰۰۰۰ تنظیم شد. به منظور مشاهده تغییرات اشکال و مصورسازی آن‌ها در نتایج آزمون CVA، لندمارک‌های پشت سرهم به یکدیگر متصل شدند و این اشکال برای مقادیر متفاوت ترسیم شدند تا تغییرات شکل را نشان دهند. نمودارها پس از استخراج توسط نرم افزار فتوشاپ ویرایش شدند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

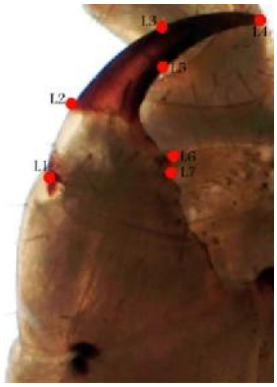


شکل۳- محل قرارگیری لندمارک‌ها و شبه لندمارک‌ها روی صفحه ککسواسترنیت چنگال‌های سمی (L1 تا L17).
Fig. 3. Landmarks and semi-landmarks on forcipule coxosternite (L1-L17).

جدول۲- موقعیت لندمارک‌ها و شبه لندمارک‌های استفاده شده در مطالعه حاضر.
Table 2. Landmarks and semi-landmarks used in the present study.

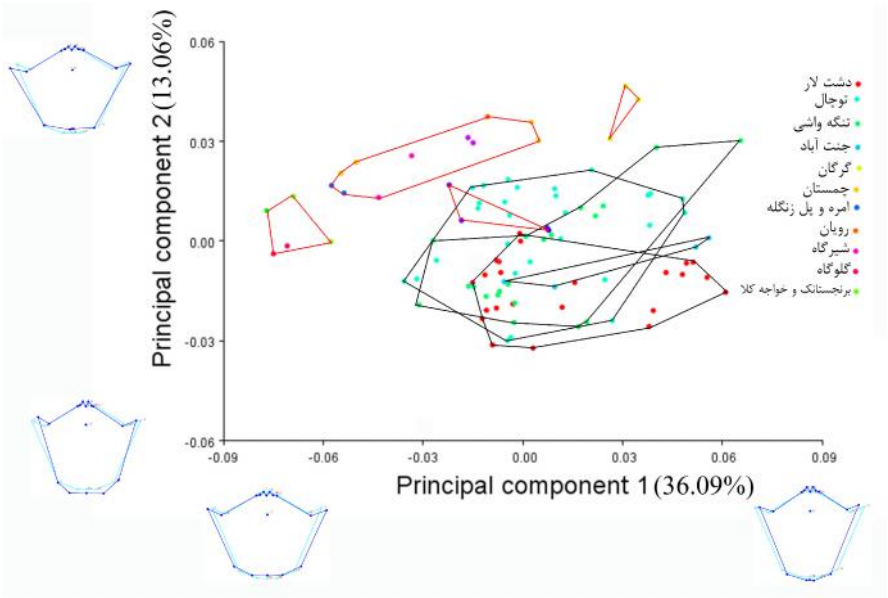
ساختار	شماره لندمارک/شبه لندمارک	موقعیت
ککسواسترنیت چنگال‌های سمی	L1, L11	حاشیه‌های قدامی-کناری ککسواسترنیت
	L2, L10	محل تلاقی کندیل‌های ککسواسترنیت
	L3, L9	حاشیه‌های قدامی کناری ککسواسترنیت
	L4, L8	بخش قاعده‌ای دندانه ککسواسترنیت
	L5, L7	بخش رأسی دندانه ککسواسترنیت
	L6	حد فاصل دو دندانه قدامی ککسواسترنیت
	L12, L16	محل تلاقی خط کیتینی با حاشیه پایینی ککسواسترنیت
	L13, L15	محل تلاقی پلوریت‌ها با ککسواسترنیت
	L14	حدفاصل L15 و L13
	L17	حدفاصل L2 و L10
تارسانگولوم چنگال‌های سمی	L1	حدفاصل تروکانتورپرفمور و تارسانگولوم
	L4	رأس تارسانگولوم
	L2	قاعده داخلی تارسانگولوم
	L3	یک دوم طول حاشیه خارجی آنگولوم
	L6	دندانه قاعده تارسانگولوم
	L5	یک دوم طول حاشیه داخلی آنگولوم
	L7	قاعده دندانه تارسانگولوم

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]



شکل ۴- محل قرارگیری لندمارک‌ها و شبه لندمارک‌ها روی تارسانگولوم چنگال سمی سمت راست (L1-L7).

Fig. 4. Landmarks and semi-landmarks on right forcipule tarsangulum (L1-L17).



شکل ۵- نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی ریخت‌سنجی ککسواسترنیت چنگال‌های سمی، نمونه‌های دامنه شمالی با رنگ قرمز دسته بندی شده اند.

Fig. 5. Diagram of principle component analysis of forcipule coxosternite, samples of north slope indicated with red color.

جدول۳- درصد واریانس و مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) ککسواسترنیت‌های چنگال‌های سمی در نمونه‌های مورد مطالعه.

Table 3. Percentage of variance and Eigenvalues of principal component analysis of forcipule coxosternite in studied samples.

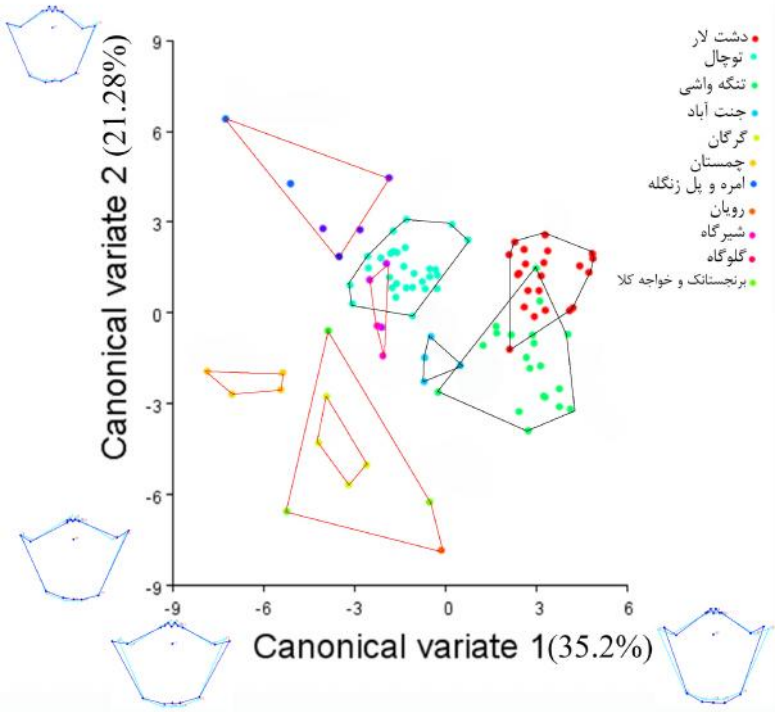
	مقادیر ویژه (Eigenvalues)	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
PC1	۰،۰۰۰۹۷۳۲۳	۳۶/۰۹	۳۶/۰۹
PC2	۰،۰۰۰۳۵۲۰۷	۱۳/۰۶	۴۹/۱۵

جدول۴- درصد واریانس و مقادیر ویژه تحلیل متغیرهای کانونی CVA ککسواسترنیت‌های چنگال‌های سمی در نمونه‌های مورد مطالعه.

Table 4. Percentage of variance and Eigenvalues of canonical variate analysis (CVA) of forcipule coxosternite in studied samples.

	مقادیر ویژه (Eigenvalues)	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
CV1	۹/۴۹	۳۵/۰۲	۳۵/۰۲
CV2	۵/۷۷	۲۱/۲۹	۵۶/۳۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]



شکل۶- نمودار تحلیل متغیرهای کانونی (CVA) ریخت‌سنجی هندسی ککسواسترنیت چنگال‌های سمی.

Fig. 6. Diagram of canonical variate analysis of forcipule coxosternite based on geometric morphometric.

نتایج

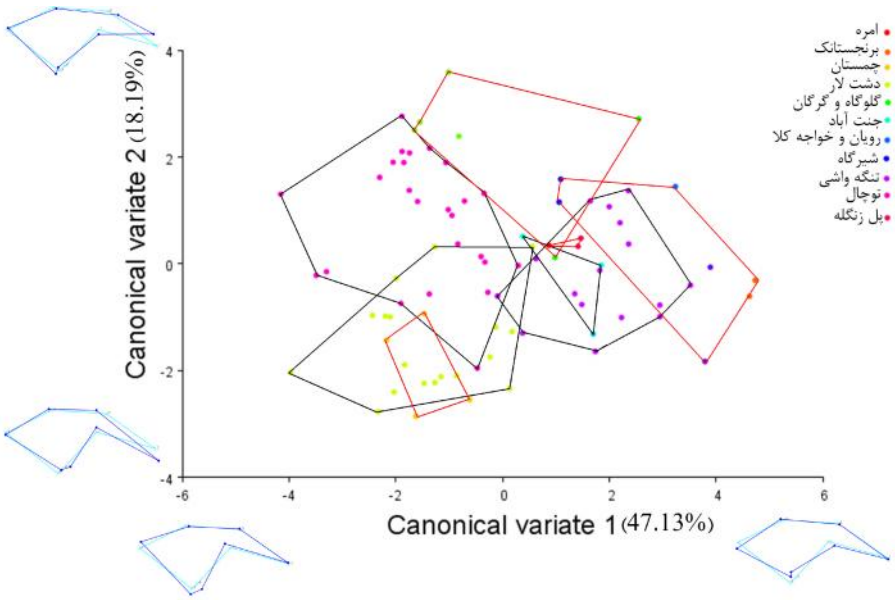
در نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تغییرات شکل در ککسواسترنیت چنگال‌های سمی را در چند مؤلفه اصلی مشخص کرد که دو مؤلفه اول (pc) به ترتیب با ۳۶/۰۹ و ۱۳/۰۶ درصد تغییرات و در مجموع ۴۹/۱۵ درصد تغییرات را شامل شدند (جدول ۳). تغییرات مربوط به جایگاه‌های لندمارک‌ها در مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۵ مشاهده می‌شود. تحلیل همبستگی کانونی (CVA) نشان داد که تفاوت معناداری بین جمعیت‌های گونه *Clinopodes flavidus* وجود دارد ($p<0.001$). دو مؤلفه اول تحلیل همبستگی کانونی در مجموع ۵۶/۳۱ درصد واریانس را نشان دادند (جدول ۴). بر اساس الگوهای جابه‌جایی لندمارک‌ها به نظر می‌رسد که جمعیت‌های این گونه در دامنه جنوبی البرز دارای ککسواسترنیت‌های طویل‌تری هستند و نمونه‌های مربوط به دامنه شمالی البرز دارای ککسواسترنیت پهن‌تری هستند.

نتیجه تحلیل همبستگی کانونی (CVA) روی داده‌های تارسانگولم چنگال‌های سمی (شکل ۸) نیز نشان داد که این ساختمان بین جمعیت‌های دامنه شمالی و جنوبی این تاکسون تفاوت‌هایی از نظر شکل دارند اما به اندازه‌ای که برای جدایی کامل آن‌ها کافی باشد، نیست و همپوشانی دارند. دو مؤلفه به دست آمده از این تحلیل نیز در مجموع ۶۵/۳۰ درصد واریانس را نشان می‌دهند (جدول ۶). نتیجه تحلیل مؤلفه‌های اصلی تارسانگولم چنگال‌های سمی نیز نشان داد که دو مؤلفه اول با هم ۶۲/۰۷ درصد واریانس کل را نشان می‌دهند (جدول۵) و جدایی جمعیت‌ها در این تحلیل مشاهده نشد (شکل ۷).

بحث

متغیرهای شکل به‌ویژه برای شناسایی نمونه‌های فسیل کاربردهای فراوانی دارند زیرا این نمونه‌ها معمولاً فاقد تمام صفات تاکسونومیکِ لازم برای رده‌بندی هستند (MacLeod, 2002). همچنین نسبت به شیوه‌های مطالعات ژنتیکی که هزینه و زمان زیادی نیاز دارند، مقرون به صرفه‌تراند. در مورد تاکسون‌هایی که استخراج صفات افتراقی در آن‌ها به راحتی امکان پذیر نیست، به این شیوه می‌توان از صفات شکل و تغییرات آن استفاده کرد. به عنوان مثال برخی صفات که در شناسایی گونه‌های مختلف جنس *Clinopodes* استفاده می‌شوند مانند پراکنش ساختمان‌های ککسا در برخی گونه‌ها می‌تواند منجر به شناسایی اشتباه نمونه‌ها شود (Popovici & Stratan, 2019) در این موارد مطالعات ریخت‌شناسی هندسی می‌تواند راه‌گشا باشد. در مطالعه‌ای در مورد جنس *Scolopendra* از شیوه لندمارک برای سه بخش صفحه سری، ککسواسترنیت چنگال سمی و ترژیت آخرین بند بدن استفاده شد و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]



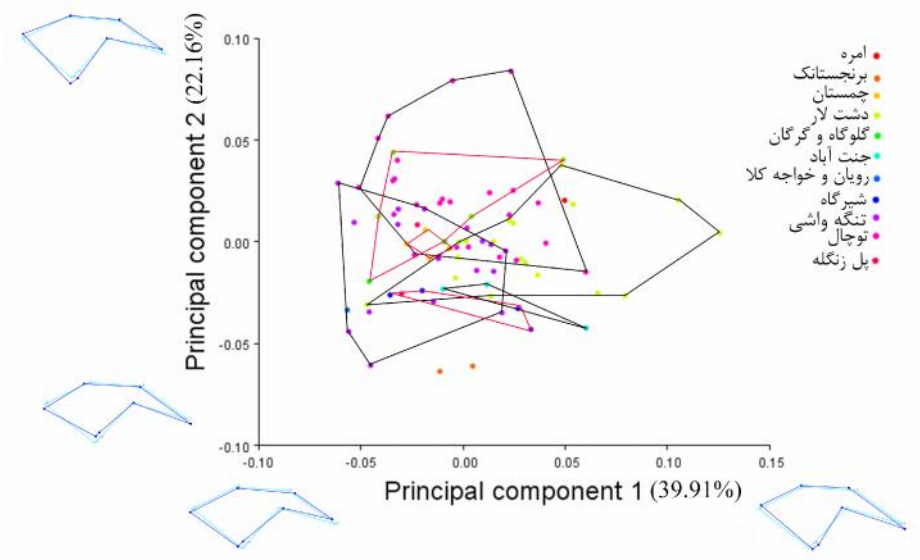
شکل ۷- نمودار تحلیل متغیرهای کانونی (CVA) ریخت‌سنجی هندسی تارسانگولوم چنگال‌های سمی.

Fig. 7. Diagram of canonical variate analysis of forcipule tarsangulum based on geometric morphometric.

جدول ۵- درصد واریانس و مقادیر ویژه تحلیل متغیرهای کانونی (CVA) تارسانگولوم چنگال‌های سمی در نمونه‌های مورد مطالعه.

Table 4. Percentage of variance and Eigenvalues of canonical variate analysis (CVA) of forcipule tarsangulum in studied samples.

	مقادیر ویژه (Eigenvalues)	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
CV1	۴/۶۳	۴۷/۱۱	۴۷/۱۱
CV2	۱/۷۹	۱۸/۱۹	۶۵/۳۰



شکل۸- نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی ریخت‌سنجی هندسی تارسانگولوم چنگال‌های سمی.

Fig. 8. Diagram of principle component analysis of forcipule tarsangulum based on geometric morphometric.

جدول ۶- درصد واریانس و مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) تارسانگولوم چنگال‌های سمی در نمونه‌های مورد مطالعه.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

Table 6. Percentage of variance and Eigenvalues of principle component analysis (PCA) of forcipule tarsangulum in studied samples.

	مقادیر ویژه (Eigenvalues)	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
PC1	۰/۰۰۰۱۵	۳۹/۹۱	۳۹/۹۱
PC2	۰/۰۰۰۸	۲۲/۱۶	۶۲/۰۷

نتایج نشان داد که می‌توان از این روش به خصوص درمورد شکل ترژیت ۲۱ علاوه بر شیوه‌های مطالعات مولکولی برای جدایی چند گونه مورد مطالعه این جنس استفاده کرد (Siriwut et al., 2015). در مطالعه دیگری نشان دادند که از شیوه ریخت‌سنجی هندسی می‌توان به عنوان ابزاری برای بررسی تغییرشکل بندهای بدن حین تکوین استفاده کرد (Savriama et al., 2017). همچنین در مطالعه دیگری استفاده از شیوه ریخت‌سنجی هندسی را شیوه مناسبی برای افتراق میان گونه‌های Geophilomorpha معرفی کردند که در این مطالعه از صفات ناحیه شکمی سر استفاده شد (Baiocco et al., 2017).

این احتمال وجود دارد که تاریخ شکل‌گیری کوه‌های البرز و دوره‌های پس از آن باعث جدایی جغرافیایی طولانی مدت این جمعیت‌ها شده و تفاوت‌هایی را در آن‌ها به‌وجود آورده است. الگوهای تغییرات جغرافیایی در برخی گروه‌های صدپایان گزارش شده است. به عنوان مثال تعداد بندهای بدن در برخی گونه‌های صدپایان مانند *Pachymerium ferrugineum* تغییرات جغرافیایی نشان می‌دهد ولی یافتن دلیل سازشی این تغییرات در جمعیت‌های مختلف هنوز در دست بررسی است (Simaiakis & Mylonas 2006). در مورد علت تنوع مشاهده‌شده در بندهای بدن Geophilomorpha سه مسئله ذکر شده است که شامل تفاوت‌های جنسیتی، پلاستیسیتی مرتبط با دما (دماهای بالاتر منجر به تولید بند بیشتر طی تکوین می‌شود) و توارث می‌شود(Mitić et al., 2010). در راسته Geophilomorpha آرواره بالا کوچک است و برای جویدن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و جویدن شکار توسط چنگال‌های سمی اتفاق می‌افتد (Manton, 1965)، بنابراین احتمالاً این مسئله ممکن است شکل چنگال‌های سمی و بندهای متصل به آن مانند ککسواسترنیت را با توجه به فراوانی نوع شکارِ مورد تغذیه، تحت تاثیر قرار دهد. تفاوت جغرافیایی مشاهده شده در مطالعه حاضر میان جمعیت‌های گونه *Clinopodes flavidus* در منطقه البرز ممکن است ریشه در نوع تغذیه متفاوت یا سایر ویژگی‌های وابسته به زیستگاه داشته باشد اما برای اثبات آن نیاز به مطالعات و بررسی‌های بیشتر است.

نتایج مطالعه حاضر استفاده از تغییرات شکلی ناحیه سر را در شناسایی جمعیت‌ها همان‌طورکه توسط نمودارهای تحلیل همبستگی کانونی (CVA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مشاهده می‌شود، تایید می‌کند. در این میان تغییرات شکل ککسواسترنیت چنگال‌های سمی بیشترین میزان تغییرات را نشان دادند. بیشترین انرژی خمش در مطالعه حاضر در لندمارک‌های ناحیه قاعده‌ای ککسواسترنیت چنگال‌های سمی (L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16}) مشاهده شد و به نظر می‌رسد برای بررسی متغیرهای شکل میان جمعیت‌های این گونه، این بخش از ککسواسترنیت بیشترین نقش را دارد.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف تعیین ارزش تشخیصی شکل برخی ساختمان‌های ناحیه شکمی سر (ککسواسترنیت چنگال‌های سمی و تارسانگولوم چنگال‌های سمی) در شناسایی جمعیت‌های گونه *Clinopodes flavidus* اجرا شد و نتایج نشان دادند که تفاوت معناداری میان اشکال ککسواسترنیت چنگال‌های سمی در میان جمعیت‌ها وجود دارد. می‌توان از این ویژگی تغییرشکل برای جدایی جمعیت‌ها استفاده کرد. جدایی این جمعیت‌ها بر اساس شیوه ریخت‌شناسی هندسی نشان دهنده سیر تکاملی مجزا احتمالی آن‌ها است و به احتمال زیاد از نظر ژنتیکی نیز این جمعیت‌ها تا حدودی از یکدیگر متمایز شده اند. مطالعات تکمیلی لندمارک و بسط این مطالعه به جمعیت‌های بیشتر این گونه نیز می‌تواند به عنوان مطالعات تکمیلی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مطالعه ژنتیکی این جمعیت‌ها و مقایسه آن‌ها با داده‌های ریخت‌شناسی هندسی می‌تواند موضوعی برای مطالعات آینده باشد. مدل‌های محاسبه شده توسط این تحلیل تشخیص جمعیت‌های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

مختلف گونه *Clinopodes flavidus* را در منطقه البرز سهولت می-بخشد.

سپاسگزاری

از دانشگاه الزهرا (س) به خاطر فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی جهت انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Adams, D.C. 1999. Methods for shape analysis of landmark data from articulated structures. Evolutionary Ecology Research 1: 959-970.

Adams, D.C., Rohlf, F.J. & Slice, D.E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology 71: 5-16.

Baiocco, M., Bonato, L., Cardini, A. & Fusco, G. 2017. Shape variation of prey-catching structures in geophilomorph centipedes: A preliminary investigation using geometric morphometrics. Zoologischer Anzeiger 268: 11-18.

Bookstein, F. L. 1997. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge University Press, Cambridge, 435 pp.

Bolton, S.J., MacLeod, N. & Edgecombe, G.D. 2009. Geometric approaches to the taxonomic analysis of centipede gonopods (Chilopoda: Scutigeromorpha). Zoological Journal of the Linnean Society 156: 239-259.

Bonato, L., Edgecombe, G.D., Lewis, J.G., Minelli, A., Pereira, L.A., Shelley, R.M. & Zapparoli, M. 2010. A common terminology for the external anatomy of centipedes (Chilopoda). ZooKeys 69: 17-51.

Bonato, L., Iorio, É. & Minelli, A. 2011. The centipede genus *Clinopodes* CL Koch, 1847 (Chilopoda, Geophilomorpha, Geophilidae): reassessment of species diversity and distribution, with a new species from the Maritime Alps (France). Zoosystema 33: 175-205.

Bonato, L. & Minelli, A. 2014. Chilopoda Geophilomorpha of Europe: a revised list of species, with taxonomic and nomenclatorial notes. Zootaxa 3770: 1-136.

Cardini, A. L. & Loy, A. 2013. On growth and form in the" computer era": from geometric to biological morphometrics. Hystrix Italian Journal of Mammalogy 24: 1-6.

Edgecombe, G.D. & Giribet, G., 2007. Evolutionary biology of centipedes (Myriapoda: Chilopoda). Annual Review Entomology. 52: 151-170.

Gutierrez, B.L., MacLeod, N. & Edgecombe, G.D. 2011. Detecting taxonomic signal in an under-utilised character system: geometric morphometrics of the forcipular coxae of Scutigeromorpha (Chilopoda). ZooKeys 156: 49-66.

Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources 11: 353-357.

Lewis, J. G. E. 2006. The biology of centipedes. Cambridge University Press, Cambridge, 488 pp.

MacLeod, N. 2002. Geometric morphometrics and geological shape-classification systems. Earth-Science Reviews 59: 27-47.

Manton, S. M. 1965. The evolution of arthropodan locomotory mechanisms. Part 8. Functional requirements and body design in Chilopoda, together with a comparative account of their skeleto-muscular systems and an appendix on a comparison between burrowing forces of annelids and chilopods and its

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]
[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]

bearing upon the evolution of the arthropodan haemocoel. Zoological Journal of the Linnean Society 45: 251-484.

Mitić, B.M., Ilić, B.S., Tomić, V.T., Makarov, S.E. & Ćurčič, B.P. 2010. Parental Care in *Clinopodes flavidus* Koch (Chilopoda: Geophilomorpha: Geophilidae). Annales Zoologici 60: 633-638.

Murphy, D.D., Freas, K.E. & Weiss, S.B. 1990. An environment-metapopulation approach to population viability analysis for a threatened invertebrate. Conservation Biology 4: 41-51.

Popovici, G. & Stratan, A.A. 2019. New insights into Romanian Chilopoda: Redescription of *Clinopodes intermedius* Dărăbanţu and Matic, 1969 (Geophilomorpha: Geophilidae). Biologia 74: 1501-1507.

Savriama, Y., Gerber, S., Baiocco, M., Debat, V. & Fusco, G. 2017. Development and evolution of segmentation assessed by geometric morphometrics: The centipede *Strigamia maritima* as a case study. Arthropod Structure & Development 46: 419-428.

Simaiakis, S. & Mylonas, M. 2006. Intraspecific variation in segment number in *Pachymerium ferrugineum* (CL Koch, 1835) (Chilopoda: Geophilomorpha) in the south Aegean Archipelago (north-east Mediterranean, Greece). Biological Journal of the Linnean Society 88: 533-539.

Siriwut, W., Edgecombe, G.D., Sutcharit, C. & Panha, S. 2015. The centipede genus *Scolopendra* in mainland Southeast Asia: molecular phylogenetics, geometric morphometrics and external morphology as tools for species delimitation. PLOS One 10: 1-37

Valentin, A. E., Penin, X., Chanut, J.P., Sévigny, J.M. & Rohlf, F.J. 2008. Arching effect on fish body shape in geometric morphometric studies. Journal of Fish Biology 73: 623-638.

Zarei, R., Rahimian, H., Mirmonsef, H. & Bonato, L. 2020. Geophilomorpha from Alborz Mountains and a checklist of Chilopoda from Iran. Zootaxa 4780: 132-146.

*****

How to cite this article:

Zarei, R. & Seifali, M. 2020. Comparison of intra-species variations in *Clinopodes flavidus* (Geophlilomorpha, Geophilidae) populations in Alborz Mountain using geometric morphometric. Nova Biologica Reperta 7: 304-314. (In Persian).

زارعی، ر. و سیفعلی، م. ۱۳۹۹. مقایسه تغییرات درون گونه ایِ جمعیت‌های *Clinopodes flavidus* (Geophlilomorpha, Geophilidae) در منطقه البرز با استفاده از شیوه ریخت‌سنجی هندسی. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۷: ۳۱۴-۳۰۴.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1399.7.3.11.7]

[DOI: 10.52547/nbr.7.3.304]