Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

49(2), Summer, 2026

10.22055/ppr.2026.52633.1899

Assessing the Efficiency of Geometric versus Traditional Morphometrics in Discriminating Geographic Populations of the Sunn Pest (*Eurygaster integriceps*) in Western Iran

S. Salehi[1], J. Nazemi-Rafie [1*]

1. ***Corresponding Author**: Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran (j.nazemi@uok.ac.ir)

Received: 12 July 2026 Revised: 23 September 2026 Accepted: 5 October 2026

Abstract

Background and Objectives

The sunn pest, *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae), is a major pest of wheat and barley in Iran. Its geographic populations may vary in body size and shape due to environmental conditions and other factors. Traditional morphometrics relies on linear measurements, whereas geometric morphometrics analyzes shape using landmarks. Procrustes-transformed coordinates are widely used in geometric morphometric studies. However, researchers have rarely examined the value of residual shape data, obtained after accounting for size and allometric effects in sunn pest populations. This study compared traditional morphometrics, Procrustes data, and residual data to assess how well each distinguishes geographic populations of *E. integriceps* in Kurdistan Province, western Iran. It also assessed whether removing size-related effects improves population discrimination and whether the three approaches produce similar clustering patterns. Understanding geographic variation may provide a basis for future studies of population structure and improved pest management.

Materials and Methods

Adult sunn pests were collected from ten counties in Kurdistan Province, Iran: Sanandaj, Dehgolan, Ghorveh, Irankhah, Marivan, Divandareh, Tazehabad, Saghez, Bijar, and Kamyaran. After assessing specimen quality, 30 males and 30 females were randomly selected from each county. The final sample comprised 600 adults: 300 males and 300 females. Nine morphological characters were measured for traditional morphometric analysis. For geometric morphometrics, 18 landmarks were digitized on the dorsal surface of each specimen. Traditional measurements were standardized and analyzed using principal component analysis. We aligned landmark coordinates using Generalized Procrustes Analysis to remove differences in position, orientation, and scale. Centroid size was then calculated. Multivariate regression was used to assess allometry and obtain residual shape data after accounting for size-related effects. We conducted discriminant function analysis (DFA) separately for females and males using each of the three datasets. Classification accuracy was assessed through jackknifed cross-validation. Relationships among the ten geographic populations were also examined using average-linkage clustering (UPGMA) based on Mahalanobis distances.

Results

Discriminant function analysis (DFA) using traditional morphometric data from female and male insects revealed that, by cross-validation, 30.6% and 27.9% of the 10 sampled areas in Kurdistan Province were correctly discriminated for females and males, respectively. Similarly, DFA applying Procrustes data (geometric morphometrics) correctly discriminated 36.3% and 33.9% of the 10 sampled areas for females and males, respectively, based on cross-validation. In addition, DFA using residual data (geometric morphometrics) based on cross-validation correctly discriminated 42.9% and 39.6% of the 10 sampled areas for females and males, respectively. In the present study, the dendrograms generated from the residual and Procrustes data demonstrated similar clustering patterns for both females and males. Cluster analysis based on geometric morphometric data indicated that the dendrogram for females provided relatively better results than the dendrograms generated from traditional morphometric data for both sexes and from geometric morphometric data for males. In particular, Irankhah, Tazehabad, and Dehgolan were grouped with their geographically adjacent regions, Saghez, Divandareh, and Sanandaj, respectively. Furthermore, in DFA, residual data revealed higher discriminatory capacity than Procrustes data for differentiating the geographic populations of the sunn pest (*E. integriceps*) based on cross-validation.

Discussion

Geometric morphometrics distinguished the sampled geographic populations of *E. integriceps* more effectively than traditional morphometrics. The higher accuracy obtained with residual data suggests that accounting for centroid size and allometric effects can reveal shape differences that might otherwise be obscured. Residual data provided the highest cross-validated classification rates in both sexes, indicating that they can complement conventional Procrustes coordinates in population-level studies. The similar clustering patterns obtained from Procrustes and residual data also suggest that the main geographic relationships were broadly consistent across the two geometric approaches. Neighboring counties clustered together, matching their geographic proximity. However, classification rates remained below 50%, indicating that morphometric traits alone could not clearly distinguish all ten populations. Future studies could combine broader geographic sampling with independent evidence, such as molecular markers and environmental variables, to better understand the factors underlying population variation. Overall, residual geometric morphometric data provided the best discrimination, followed by Procrustes data and traditional morphometrics.

Keywords: Traditional morphometrics, Geometric morphometrics, Residual data, Procrustes data, Eurygaster integriceps

Associate editor: M. Esfandiari (Prof.)

Citation: Salehi, A., & Nazemi-Rafie, J. (2026). Assessing the Efficiency of Geometric versus Traditional Morphometrics in Discriminating Geographic Populations of the Sunn Pest (*Eurygaster integriceps*) in Western Iran. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *49*(2), 191-213. https://doi.org/10.22055/ppr.2026.52633.1899

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٩، شماره ٢، تابستان ١٤٠٥

10.22055/ppr.2026.52633.1899

ارزیابی کارایی مورفومتریک هندسی و سنتی در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در غرب ایران

سارا صالحی[1] و جواد ناظمی رفیع[*1]

۱- * **نویسنده مسوول**: گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، سنندج ، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۳

چکیده

سن گندم (*Eurygaster integriceps*) مهمترین آفت گندم و جو در ایران است. هدف از این پژوهش، بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم (*E. integriceps*) و ارزیابی نقش جنسیت در تغییرات اندازه و شکل بدن با استفاده از دو رویکرد مورفومتریک سنتی و هندسی بود. همچنین، کارایی داده‌های پروکراست (مورفومتریک هندسی) و داده‌های باقیمانده (مورفومتریک هندسی) حاصل از حذف اثر اندازه و آلومتری در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. ۱۰ شهرستان (سنندج، دهگلان، قروه، ایران‌خواه، مریوان، دیواندره، تازه آباد، سقز، بیجار و کامیاران) از استان کردستان انتخاب شد. تعداد ۱۸ لندمارک بر روی بدن حشرات بالغ نر و ماده با روش مورفومتریک هندسی قرار داده شد. همچنین ۹ خصوصیت بدن حشرات بالغ با استفاده از روش مورفومتریک سنتی اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) با روش مورفومتریک سنتی حشرات ماده و نر نشان داد که تابع تشخیص بر اساس اعتبارسنجی متقابل به ترتیب به میزان ۳۰/٦ و ۲۷/۹ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود. نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) داده‌های پروکراست (مورفومتریک هندسی) حشرات ماده و نر به ترتیب ۳٦/۳ و ۳۳/۹ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز کردند. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) داده‌های باقیمانده (مورفومتریک هندسی) حشرات ماده و نر به ترتیب ٤۲/۹ و ۳۹/٦ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز کردند. در تحقیق حاضر، دندروگرام حاصل از داده‌های باقیمانده و پروکراست حشرات ماده و همچنین دندروگرام حاصل از داده‌های باقیمانده و پروکراست حشرات نر الگوی گروه‌بندی مشابهی داشتند. تجزیه و تحلیل کلاستر مورفومتریک هندسی نشان داد که دندروگرام حشرات ماده نتایج نسبی بهتری را نسبت به دندروگرام مورفومتریک سنتی حشرات نر وماده و دندروگرام مورفومتریک هندسی حشرات نر نشان داد. به طور کلی، داده‌های مورفومتریک هندسی (داده‌های باقیمانده و پروکراست) در مقایسه با مورفومتریک سنتی، توانایی نسبی بالاتری را در تفکیک گروه‌های جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری نشان دادند. همچنین، در تجزیه و تحلیل تابع تشخیص(DFA)، داده‌های باقیمانده در مقایسه با داده‌های پروکراست با استفاده از اعتبارسنجی متقابل، توانایی نسبی بالاتری را در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم (*E. integriceps*) نشان دادند.

کلیدواژه‌ها: مورفومتریک سنتی، مورفومتریک هندسی، داده‌های باقیمانده، پروکراست، سن گندم

دبیر تخصصی: دکتر مهدی اسفندیاری

مقدمه

سن گندم *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera:Scutelleridae) علاوه بر ایران در تعداد زیادی از کشورهای آسیایی، اروپایی و آفریقایی وجود داشته و در اغلب موارد آفت درجه اول گندم و جو محسوب می‌شود (Popov et al., 1996). خسارت این آفت کمی و کیفی است. پوره ها و حشرات کامل از طریق تغذیه از برگ‌ها، ساقه‌ها و دانه‌ها موجب خسارت می‌شوند (Mehrabadi et al., 2009; Zibaee, 2017). جمعیت‌های جغرافیایی حشرات به دلیل تفاوت در شرایط محیطی و فشارهای انتخابی می‌توانند تغییرات قابل توجهی در صفات مورفولوژیک نشان دهند. استان کردستان با دارا بودن تنوع اقلیمی و ارتفاعی، می‌تواند محیط مناسبی برای بررسی الگوهای تنوع مورفولوژیک سن گندم باشد. همچنین شرایط اقلیمی، ارتفاع، دما، طول دوره رشد گندم، نوع رقم گندم و تاریخچه مدیریت زراعی می‌توانند موجب ایجاد تغییرات مورفولوژیک در جمعیت‌ها شوند (Salehi et al., 2018). اگرچه روش‌های مولکولی اطلاعات ارزشمندی درباره ساختار ژنتیکی جمعیت‌ها فراهم می‌کنند، اما نیازمند تجهیزات تخصصی و هزینه‌های آزمایشگاهی بیشتری نسبت به روش‌های مورفومتریک هستند. استفاده از روش‌های قدرتمند برای تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی حشرات از یکدیگر، از اهمیت بالایی برخوردار است تا بتوان در تحقیقات بعدی، ارتباط بین شکل ظاهری و میزان خسارت برخی آفات مانند سن گندم را بیشتر مورد بررسی قرار داد.

علم مورفومتریک مطالعه تغییرات شکل و همچنین مطالعه تغییرات همگام متغیرها نسبت به یکدیگر است. از اوایل قرن بیستم، زیست‌شناسی از یک رشته توصیفی به یک علم کمی تبدیل شده‌است (Bookstein, 1998). علم مورفومتریک سنتی شامل بکارگیری آنالیزهای آماری چند متغیره برای مرتب کردن متغیرهای شکلی است. معمولا در این روش، فاصله خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در برخی مواقع نسبت و زوایا نیز به کار گرفته می‌شود. به دلیل اینکه اندازه گیری فاصله خطی معمولاً با اندازه، همبستگی بالایی دارد (Bookstein, 1998) بنابراین تلاش برای استفاده از روش مورفومتریک هندسی[۱] مورد توجه قرار گرفته است. این روش‌ها شامل داده‌های لندمارک[۲] و داده‌های محیطی (outline) است (Adams et al., 2003). تجزیه و تحلیل مستقیم مختصات لندمارک‌ها به عنوان متغیر، روش مناسبی نیست زیرا هنوز اثرات تغییر در موقعیت[۳]، جهت[۴] و مقیاس[۵] نمونه‌ها وجود دارد، بنابراین قبل از تجزیه و تحلیل باید تغییرات غیرشکلی از لحاظ ریاضی حذف گردند و سپس متغیرها به متغیرهای پروکراست[۶] تبدیل شود. همچنین برای ارزیابی آزمون آلومتری در مورفومتریک هندسی می‌توان از رگرسیون بین مختصات پروکراست و اندازه مرکزی استفاده کرد. رگرسیون بین مختصات پروکراست و اندازه مرکزی برای حذف تأثیر اندازه از مختصات پروکراست به کار می‌رود. بنابراین رگرسیون، داده‌های باقیمانده[۷] را ایجاد می‌کند که می‌تواند در تجزیه و تحلیل‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد (Klingenberg, 2011). اکثر مطالعات مورفومتریک هندسی از مختصات پروکراست برای بررسی تغییرات شکل استفاده می‌کنند. علاوه بر داده‌های پروکراست، داده‌های باقیمانده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا مشخص شود حذف اثر اندازه و آلومتری چگونه بر الگوی تمایز جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم تأثیر می‌گذارد. در مطالعاتی که هدف آن‌ها بررسی تفاوت‌های شکلی مستقل از اثر اندازه و آلومتری است، استفاده از داده‌های باقیمانده حاصل از رگرسیون بین شکل و اندازه، می‌تواند اطلاعات جدید و تکمیلی درباره تغییرات شکل فراهم کند (Sidlauskas et al., 2011; Klingenberg, 2016; Klingenberg 2022).

---

۱ geometric morphometrics
۲ landmark
۳ position
۴ orientation
۵ scale
۶ Procrustes
۷ residual data

سن گندم (*E.integriceps*) به دلیل پراکنش جغرافیایی گسترده، وجود جمعیت‌هایی که تحت شرایط متفاوت محیطی رشد می‌کنند و دارا بودن تغییرات بالقوه در اندازه و شکل بدن (Critchley 1998)، می‌تواند یک مدل مناسب برای ارزیابی عملکرد رویکردهای مختلف مورفومتریک باشد. در این گونه، تفاوت‌های مشاهده‌شده بین جمعیت‌های جغرافیایی ممکن است ترکیبی از تغییرات اندازه‌ای ناشی از شرایط محیطی و تغییرات واقعی شکل بدن باشد. ازاین‌رو، مقایسه داده‌های پروکراست و باقیمانده حاصل از حذف اثر آلومتری، می‌تواند مشخص کند که آیا حذف مؤلفه وابسته به اندازه و ایجاد داده‌های باقیمانده، توانایی تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی را بهبود می‌دهد؟ علاوه بر این، وجود ساختارهای خارجی مشخص و قابل تعریف در بدن این گونه، امکان استفاده دقیق از لندمارک‌های همولوگ و کاربرد روش‌های مورفومتریک هندسی را فراهم می‌کند. روش مورفومتریک سنتی در مطالعه جمعیت‌های جغرافیایی مختلف *E. integriceps* استفاده شده است. بیشتر محققان از روش مورفومتریک سنتی برای مطالعه جمعیت جغرافیایی سن‌ها در نقاط مختلف جهان استفاده کرده‌اند (Mohaghegh, 1991; Sarafrazi, 2001). در روش مورفومتریک هندسی، بیشتر مطالعات بر اساس داده‌های پروکراست جهت مقایسه جمعیت‌های جغرافیایی و گونه‌های حشرات انجام شده است و مطالعات کمی روی داده‌های باقیمانده (مورفومتریک هندسی) جهت مقایسه جمعیت‌های جغرافیایی و گونه‌های حشرات انجام شده است (Nazemi et al., 2025; Nazemi and Modaber, 2025). تاکنون مطالعه‌ای روی جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم با استفاده از داده‌های باقیمانده انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم (*E. integriceps*) و ارزیابی نقش جنسیت در تغییرات اندازه و شکل بدن با استفاده از دو رویکرد مورفومتریک سنتی و هندسی بود. همچنین، کارایی داده‌های پروکراست (مورفومتریک هندسی) و داده‌های باقیمانده (مورفومتریک هندسی) حاصل از حذف اثر اندازه و آلومتری در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری‌ها از ۱۰ منطقه استان کردستان انجام شد (جدول ۱). در هر منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری از سن گندم نسل تابستانه (نسل جدید) در چهار مزرعه مستقل گندم در تابستان سال ۱۳۹۱ با تور حشره گیری انجام شد. مزارع انتخاب‌شده در هر منطقه حداقل ۵ کیلومتر از یکدیگر فاصله داشتند تا احتمال وابستگی فضایی نمونه‌ها کاهش یافته و نمونه‌برداری از مزارع مستقل از یکدیگر انجام شود. شرایط زراعی تمام مناطق نمونه‌برداری مشابه بوده و از مزارع آبی نمونه برداری انجام شد. در هر مزرعه، نمونه‌برداری از پنج نقطه مختلف مزرعه انجام گرفت و در مجموع، از چهار مزرعه واقع در هر شهرستان ۴۰۰ حشره بالغ سن گندم (۲۰۰ حشره نر و ۲۰۰ حشره ماده) جمع‌آوری شد. پس از بررسی کیفیت نمونه‌ها، ۳۰ حشره بالغ نر و ۳۰ حشره بالغ ماده به طور تصادفی از هر شهرستان برای انجام مطالعات مورفومتریک انتخاب شد؛ بنابراین مجموع حجم نمونه مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌های آماری استان کردستان (۱۰ شهرستان) ۳۰۰ حشره بالغ نر و ۳۰۰ حشره بالغ ماده بود.حشرات نر و ماده از طریق صفحه ژنیتالیا تشخیص داده شدند. صفحه جنسی حشرات ماده چند تکه (شکل ۱، ب) و صفحه جنسی حشرات نر به صورت یک تکه (شکل ۱، ج) می‌باشد. نمونه‌های خشک حشرات با کمک چسب قابل حل در آب بروی پلات‌های مثلثی شکل چسبانده شدند. حشرات نر و ماده به صورت مجزا در تجزیه و تحلیل‌های آماری به کار گرفته شدند. عکس برداری از نمونه‌ها توسط استریومیکرسکوپ Olympus و مدل SZX12 انجام شد. تصاویر حشرات کامل با بزرگنمایی ۱۰ و صفحات جنسی با بزرگنمایی ۳۲ گرفته شد. دوربین در فاصله ۱۵ سانتی متری و عمود بر سطح بدن قرار گرفته بود. صفات مورفومتریک سنتی بر اساس مطالعات قبلی محققان انتخاب شدند (Syromyatnikov et al., 2017; Sarafrazi et al., 2004). جهت انتخاب نقاط اندازه‌گیری

در روش مورفومتریک سنتی، طول (BL) و عرض بدن (BW)، طول (GL) و عرض صفحه جنسی (GW)، طول (PL) و عرض پیش گرده (PW)، طول (SL) و عرض سپرچه (SW) و طول خرطوم (PrL) با نرم افزار tpsDig V. 2.18 اندازه‌گیری شد (شکل ۱، الف، ب وج).

مقادیر ۹ صفت اندازه‌گیری شده وارد نرم افزار SPSS شد و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[۱] (PCA) مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی[۲] انجام گرفت. از آنجا که صفات مورفومتریک دارای مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت بودند، استفاده از ماتریس همبستگی امکان استانداردسازی داده‌ها و مقایسه سهم نسبی هر صفت در ایجاد تغییرات ریخت‌شناختی را فراهم کرد. هدف از انجام PCA، شناسایی الگوی کلی تغییرات صفات، تعیین مهم‌ترین محورهای تغییرات مورفومتریک و مشخص کردن صفاتی بود که بیشترین نقش را در تشکیل هر مؤلفه اصلی داشتند. مؤلفه‌های اصلی بر اساس مقدار ویژه (Eigenvalue)، بارهای عاملی صفات و درصد واریانس تفسیر شدند. در این مطالعه، PCA به‌عنوان یک تحلیل اکتشافی برای بررسی ساختار تنوع مورفومتریک مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به محدود بودن تعداد صفات اندازه‌گیری‌شده (۹ صفت) و هدف مطالعه که مقایسه توان تفکیک صفات مورفومتریک بود، تحلیل DFAبه‌طور مستقل با استفاده از ۹ صفت اصلی انجام شد تا توانایی این صفات در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی با استفاده از اعتبارسنجی متقابل[۳] ارزیابی شود. تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) با استفاده از نرم افزار PAST انجام شد و درصد طبقه‌بندی صحیح جداول DFA با روش Jackknifed[۴] و اعتبارسنجی متقابل انجام شد. تجزیه و تحلیل کلاستر با روش Average Linkage (UPGMA) و بر اساس فواصل ماهالانوبیس بین ۱۰ جمعیت جغرافیایی با استفاده از نرم افزار SAS V. 12.0 انجام گرفت و دندروگرام‌ها ترسیم شدند. در تحقیق حاضر ۱۸ لندمارک روی کل بدن حشرات بالغ ماده و نر با روش مورفومتریک هندسی (شکل ۱، د) و نرم افزار tpsDig V. 2.18 قرار داده شد. پس از تعیین ۱۸ لندمارک همولوگ و قابل تشخیص بر روی نمای پشتی بدن سن گندم، مختصات دوبعدی (X و Y) هر لندمارک برای حشرات بالغ ماده و نر ثبت شد. سپس با استفاده از مختصات ثبت‌شده و نرم‌افزار tpsRelw 1.45 (Rohlf, 2007)، میزان تغییرپذیری موقعیت هر لندمارک در بین نمونه‌ها محاسبه و با استفاده از واریانس (S^2) مقایسه شد. بدین‌ترتیب، متغیرهای مورد استفاده در تحلیل، مختصات لندمارک‌ها و مقادیر واریانس حاصل از آنها بودند و لندمارک‌ها به‌عنوان نقاط مرجع برای تولید داده‌های مورفومتریک مورد استفاده قرار گرفتند (Rohlf, 2016). داده‌های خام بدست آمده از لندمارک‌ها در نرم‌افزار MorphoJ V. 1.06d (Klingenberg, 2011) وارد شد.

پس از اجرای Generalized Procrustes Analysis (GPA)، اثرات ناشی از انتقال، چرخش و مقیاس حذف شدند. سپس اندازه مرکزی برای هر نمونه محاسبه و رابطه بین مؤلفه شکل و اندازه مرکزی با استفاده از رگرسیون چندمتغیره بررسی شد. پس از معنی‌دار بودن آلومتری، باقیمانده‌های رگرسیون به‌عنوان داده‌های باقیمانده (residual)استخراج شدند. از این‌رو، داده‌های باقیمانده بیانگر بخش تغییرات شکلی هستند که پس از حذف اثر اندازه مرکزی و مؤلفه آلومتریک باقی می‌ماند و در ادامه به‌عنوان داده‌های شکل تصحیح‌شده نسبت به اندازه برای تحلیل‌های تابع تشخیص و خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. در مطالعه حاضر، آزمون آلومتری برای هر دو جنس نر و ماده معنی‌دار بود؛ در نهایت، داده‌های پروکراست (Procrustes) و داده‌های باقیمانده به‌صورت جداگانه در تحلیل تابع تشخیص (DFA) و تحلیل کلاستر مورد استفاده قرار گرفتند تا توانایی تغییرات کلی شکل و تغییرات شکلی مستقل از اندازه در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی مقایسه شود. داده‌های باقی‌مانده و پروکراست

[۱] Principal Component Analysis

[۲] correlation matrix

[3] cross validation

[۴] Jackknifed classification matrix (leave-one-out cross-validation)

جمعیت‌های جغرافیایی *E.integriceps* به صورت فایلی با فرمت Notepad ذخیره شد تا با استفاده از نرم‌افزار PAST v.3.19 تجزیه و تحلیل‌های تابع تشخیص (DFA) روی آنها انجام شود (Hammer and Harper, 2006).

نتایج

الف: تجزیه و تحلیل مورفومتریک سنتی

اندازه‌گیری بخش‌های مختلف حشرات ماده نشان داد که بزرگترین میانگین طول (۰/۰۵±۱۲/۱۱) و عرض (۰/۰۳±۷/۶۴) بدن متعلق به جمعیت جغرافیایی سن گندم منطقه قروه بود (جدول ۲). همچنین بزرگترین میانگین طول (۰/۰۵±۱۱/۸۷) و عرض (۰/۰۳±۷/۵۳) بدن در حشرات نر، متعلق به منطقه قروه بود (جدول ۳).

تعداد مؤلفه‌های اصلی بر اساس معیار مقدار ویژه (Eigenvalue)بزرگ‌تر از ۱ تعیین شد؛ به این ترتیب، مؤلفه‌هایی که مقدار ویژه آنها بیش از یک بود، برای تفسیر نتایج حفظ شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در حشرات ماده نشان داد که دو مؤلفه اصلی استخراج‌شده در مجموع ۶۶/۸ درصد از تغییرات کل صفات شکل ظاهری را به خود اختصاص دادند. بررسی بارهای عاملی صفات نشان داد که مؤلفه اصلی اول عمدتاً بیانگر تغییرات مرتبط با اندازه عمومی بدن بوده و صفات طول بدن (۰/۹۴۲)، عرض بدن (۰/۷۷۴)، طول سپرچه (۰/۸۰۳)، عرض سپرچه (۰/۹۱۱)، عرض پیش گرده (۰/۹۰۶) و طول پیش گرده (۰/۷۷۳) بیشترین بارهای عاملی را در این مؤلفه نشان دادند؛ بنابراین این صفات مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد تغییرات مشاهده‌شده در PC1 بودند. در مقابل، مؤلفه اصلی دوم بیشتر تحت تأثیر صفات مرتبط با ساختار صفحه جنسی قرار داشت، به‌طوری‌که طول (۰/۸۷۷) و عرض صفحه جنسی (۰/۸۷۴) بالاترین بارهای عاملی را در این مؤلفه نشان دادند و بیشترین نقش را در ایجاد تغییرات PC2 ایفا کردند. در حالی‌که طول خرطوم با بار عاملی پایین و منفی (۰/۲۳۴-) سهم محدودی در تشکیل این مؤلفه داشت. بر این اساس، الگوی PCA نشان داد که تنوع شکل ظاهری حشرات ماده عمدتاً در دو محور مستقل شامل تغییرات اندازه کلی بدن و ویژگی‌های ساختاری صفحه جنسی سازمان‌دهی شده است و صفات دارای بار عاملی بالا، مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده تفاوت‌های ظاهری بین حشرات و جمعیت‌های جغرافیایی محسوب می‌شوند (جدول ۴).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در حشرات نر نشان داد که سه مؤلفه اصلی استخراج‌شده در مجموع ۷۷/۳ درصد از تغییرات کل صفات شکل ظاهری[1] را به خود اختصاص دادند. تحلیل بارهای عاملی نشان داد که هر یک از این مؤلفه‌ها بیانگر بخش متفاوتی از تغییرات شکل ظاهری هستند. در مؤلفه اصلی اول (PC1)، صفات مرتبط با اندازه عمومی بدن بیشترین بارهای عاملی را نشان دادند؛ به‌طوری‌که طول بدن (۰/۹۵۰)، عرض بدن (۰/۹۰۲)، عرض پیش‌گرده (۰/۹۱۹)، طول پیش‌گرده (۰/۸۲۴) و طول سپرچه (۰/۸۱۸) بیشترین تأثیر را در تشکیل این مؤلفه داشتند، در حالی‌که عرض سپرچه نیز با بار عاملی نسبتاً بالا (۰/۵۷۰) در این مؤلفه مشارکت داشت. بنابراین، PC1 عمدتاً به عنوان مؤلفه مرتبط با تغییرات اندازه کلی بدن تفسیر می‌شود. در مؤلفه اصلی دوم (PC2)، صفات مربوط به ساختار صفحه جنسی بیشترین نقش را داشتند، به‌طوری‌که طول (۰/۹۱۹) و عرض صفحه جنسی (۰/۹۱۸) بالاترین بارهای عاملی را نشان دادند و مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده تغییرات این مؤلفه بودند؛ در مقابل، سایر صفات بدن در این مؤلفه دارای بارهای بسیار پایین بودند و نقش محدودی داشتند. مؤلفه اصلی سوم (PC3) عمدتاً توسط طول خرطوم مشخص شد، زیرا این صفت با بالاترین بار عاملی (۰/۹۷۳) بیشترین سهم را در ایجاد تغییرات این محور داشت، در حالی‌که سایر صفات دارای بارهای بسیار پایین بودند. در مجموع، نتایج PCAنشان داد که تنوع مورفولوژیک جمعیت جغرافیایی مورد مطالعه در سه محور اصلی شامل اندازه عمومی بدن (PC1)، ویژگی‌های صفحه جنسی (PC2) و طول خرطوم (PC3)سازمان‌دهی شده است و صفاتی که دارای بیشترین بارهای عاملی در هر مؤلفه بودند، مهم‌ترین عوامل ایجادکننده تغییرات مشاهده‌شده محسوب می‌شوند (جدول

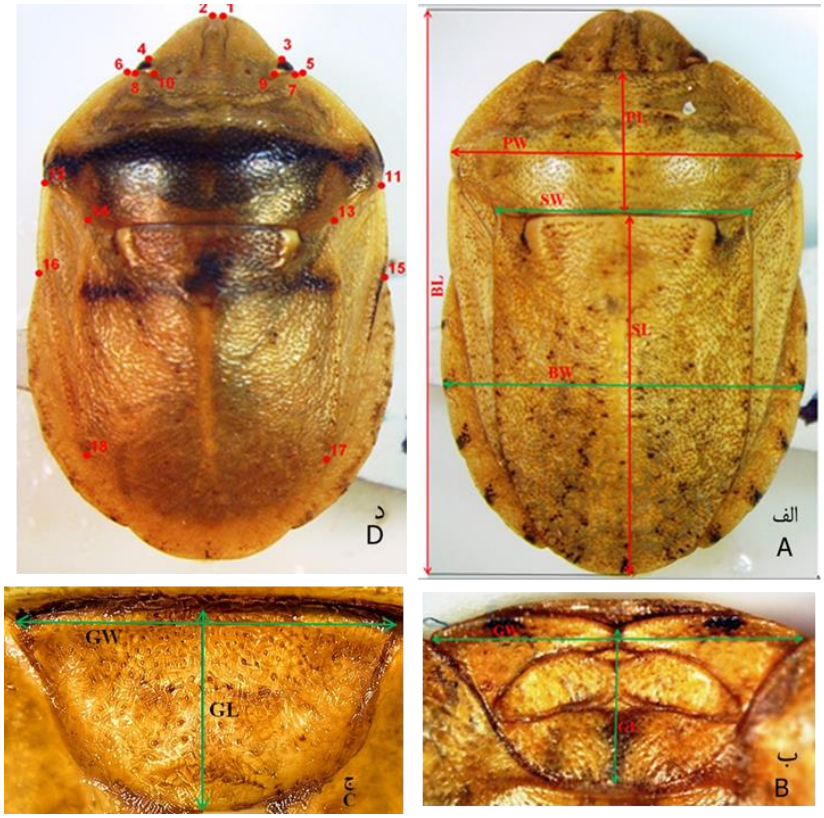
[1] morphological traits

۵). همچنین همبستگی بین اندازه‌گیری صفات حشرات ماده و نر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همبستگی بین اندازه‌گیری صفات حشرات ماده نشان داد که بین طول و عرض بدن (r=۰/۶۳ و P<۰/۰۱) و بین طول خرطوم و طول بدن (r=۰/۱۳ و P<۰/۰۵) همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق نمونه برداری سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان

Table 1. Geographical characteristics of sampled areas of *Eurygaster integriceps* in Kurdistan Province

area	Altitude	Latitude	Longitude
Sanandaj	1679 m	35 º 25´	46º 57´
Bijar	2054 m	35 º 53´	47 º 32´
Dehgolan	1825 m	35 º 15´	47 º 25´
Irankhah	1977 m	36 º 08´	46 º 44´
Ghorveh	1970 m	35 º 07´	47 º 48´
Kamyaran	1669 m	34 º 47´	46 º 56´
Marivan	1539 m	35 º 31´	46 º 10´
Divandareh	1850 m	35 º 50´	47 º 04´
Saghez	1630 m	16 º 13´	46 º 22´
Tazeabad	2003 m	35 º 41´	46 º 59´



شکل ۱- بخش‌های مختلف اندازه‌گیری شده طول پیش گرده (PL)، پهنای پیش گرده (PW)، طول سپرچه (SL)، پهنای سپرچه (SW)، طول بدن (BL)، پهنای بدن (BW) در اندام‌های بدنی (الف) و طول (GL) و پهنای (GW) صفحه جنسی ماده (ب) و نر (ج) حشرات بالغ سن گندم در مورفومتریک سنتی و ۱۸ لندمارک قرار داده شده بر روی اندام‌های بدنی حشرات بالغ سن گندم در مورفومتریک هندسی (د)

Figure 1. Measurement of different somatic characters of pronotum length (PL), pronotum width (PW), scutellum length (SL), scutellum width (SW), body length (BL), body width (BW) (A) and sexual characters of length (GL) and width (GW) of genitalia plate of female (B) and male (C) of *Eurygaster*

***integriceps* adult in traditional morphometrics (b) and 18 digitized landmarks in geometric morphometrics (D)**

نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) حشرات ماده نشان داد که تابع تشخیص بر اساس اعتبارسنجی متقابل به میزان ۳۰/۶ درصد، ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود به طوری که منطقه ایران خواه بیشترین میزان تفکیک (۴۳/۳ درصد) و سنندج و دهگلان کمترین میزان تفکیک (۱۶/۶ درصد) را از مناطق دیگر نمونه برداری نشان دادند (جدول ۶). نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) حشرات نر نشان داد که تابع تشخیص بر اساس اعتبارسنجی متقابل(cross-validation) به میزان ۲۷/۹ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود به طوری که منطقه ایران خواه بیشترین میزان تفکیک (۴۳/۳ درصد) و بیجار کمترین میزان تفکیک (۱۶/۷ درصد) را از مناطق دیگر نمونه برداری نشان دادند (جدول ۷).

نتایج تجزیه و تحلیل کلاستر نشان داد که دندروگرام مرتبط با حشرات ماده (شکل ۲، الف)، جمعیت‌های جغرافیایی دهگلان و دیواندره را به ترتیب با جمعیت‌های جغرافیایی ایران خواه و سقز دسته‌بندی کردند در صورتیکه دندروگرام مرتبط با حشرات نر (شکل ۲، ب)، قروه و دهگلان را به ترتیب با جمعیت‌های جغرافیایی ایران‌خواه و بیجارگروه‌بندی کردند. همچنین شاخص‌های اعتبار دندروگرام‌های حشرات ماده و نر با استفاده از ضریب همبستگی کوفنتیک[۱] (CCC) محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی کوفنتیک برای دندروگرام‌های حشرات ماده و نر به ترتیب ۰/۷۱۸ و ۰/۶۵۵ بود.

ب: تجزیه و تحلیل مورفومتریک هندسی

میانگین واریانس ۱۸ لندمارک روی بدن حشرات ماده و نر سن گندم مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین واریانس ۱۸ لندمارک روی بدن حشرات ماده نشان داد که لندمارک‌های ۱۷ (S^2=۰/۰۰۰۱۷۹) و ۱۸ (S^2=۰/۰۰۰۱۹۳) واقع در قسمت انتهایی شکم، دارای بیشترین تغییرپذیری مختصات و لندمارک‌های ۳ (S^2=۰/۰۰۰۰۰۷۷) و ۴ (S^2=۰/۰۰۰۰۰۷۶) واقع در قسمت بالایی چشم‌های مرکب، کمترین تغییرپذیری مختصات را نسبت به سایر لندمارک ها نشان دادند. در حشرات نر نیز لندمارک‌های ۱۷ (S^2=۰/۰۰۰۱۶) و ۱۸ (S^2=۰/۰۰۰۱۷) دارای بیشترین تغییرپذیری مختصات و لندمارک ۳ (S^2=۰/۰۰۰۰۰۷۳) و ۴ (S^2=۰/۰۰۰۰۰۷۶) دارای کمترین تغییرپذیری مختصات نسبت به سایر لندمارک ها بودند. دلیل بیشترین تغییرات و جابجایی لندمارک‌های انتهای شکم می‌تواند به دلیل انعطاف‌پذیری مورفولوژیکی بیشتر این ناحیه نسبت به سایر نواحی بدن است. بخش‌های انتهایی شکم در بسیاری از حشرات شامل ساختارهایی هستند که در رشد پس‌جنینی، بلوغ جنسی و عملکردهای مرتبط با تولیدمثل دچار تغییرات شکلی بیشتری می‌شوند. دلیل کمترین تغییرات و جابجایی لندمارک‌های اطراف چشم مرکب می‌تواند به این دلیل باشد که تغییرات شدید در موقعیت یا شکل ناحیه اطراف چشم می‌تواند بر میدان دید، زاویه دریافت نور و کارایی بینایی اثر بگذارد (Land, 1997)؛ بنابراین این ناحیه تحت محدودیت‌های عملکردی و رشدی قرار دارد و انتظار می‌رود تغییرپذیری شکلی کمتری نشان دهد.

آنالیز چند متغیره حشرات ماده در بین نمونه‌های ده منطقه نشان داد که بین مناطق مختلف تفاوت معنی داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (P=<۰/۰۱ ,۲/۵= ۲۲۵۳، ۳۲۴ F ، Wilks’ lambda=۰/۰۶۷). همچنین آنالیز چند متغیره حشرات نر تفاوت معنی‌داری را در بین مناطق نمونه‌برداری در سطح ۱ درصد نشان داد (<۰/۰۱ , P=۴/۱۷ (۳۲۴ ،۲۲۵۳) F ۱/۳۴ Wilks’ lambda=).

آلومتری با استفاده از رگرسیون چندمتغیره (multivariate regression) بین مختصات پروکراست (به عنوان متغیر وابسته) و اندازه مرکزی به (عنوان متغیر مستقل) در نرم‌افزار tpsReg بررسی شد. آزمون رگرسیون بین اندازه مرکزی و متغیرهای شکلی حشرات ماده، وجود آلومتری را در میان مناطق نشان داد یعنی تغییرات شکلی

[۱] cophenetic correlation coefficient

حشرات ماده در ده منطقه در استان کردستان غیر یکنواخت بود؛ بنابراین فاکتور اندازه روی متغیرهای شکلی تاثیر معنی داری داشته و با تغییر اندازه، شکل نیز به طور معنی‌داری تغییر پیدا کرد (Wilks Lambda=۰/۶۸ ،P= <۰/۰۱). همچنین اندازه مرکزی ۱۴ درصد از تغییرات شکل بدن حشرات ماده را توضیح داد (r^2=۰/۱۴). آلومتری در بین نمونه‌های حشرات نر نیز معنی دار بود (Wilks Lambda=۰/۶۷ ،P= <۰/۰۰۱) و اندازه مرکزی ۱۰ درصد از تغییرات شکل بدن حشرات نر را توضیح داد (r^2=۰/۱۰). با توجه به اینکه آزمون آلومتری در حشرات ماده و نر معنی دار بود. بنابراین داده‌های باقیمانده (residual data) از رگرسیون بین اندازه مرکزی و داده های پروکراست بدست آمد و مقایسه تجزیه و تحلیل توابع تشخیص (DFA) و کلاستر بین داده‌های باقیمانده و پروکراست به شرح زیر انجام شد.

نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) داده‌های باقیمانده حشرات ماده بر اساس اعتبارسنجی متقابل، ۴۲/۹ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر تفکیک کرد به طوری که منطقه بیجار بیشترین میزان تفکیک (۶۳/۳ درصد) و سنندج کمترین میزان تفکیک (۲۶/۶ درصد) را از مناطق دیگر نمونه برداری نشان دادند (جدول ۸) درصورتیکه نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص حشرات ماده بر اساس داده‌های پروکراست و با استفاده از اعتبارسنجی متقابل نشان داد که تابع تشخیص به میزان ۳۶/۳ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود (جدول ۹).

تجزیه و تحلیل تابع تشخیص (DFA) حشرات نر بر اساس داده‌های باقیمانده نشان داد که تابع تشخیص بر اساس اعتبارسنجی متقابل به میزان ۳۹/۶ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود؛ داده‌های باقیمانده بیشترین تمایز را در جمعیت‌های جغرافیایی بیجار (۵۰ درصد) نشان داد (جدول ۱۰). همچنین نتایج تجزیه و تحلیل تابع تشخیص حشرات نر بر اساس داده‌های پروکراست و با استفاده از اعتبارسنجی متقابل نشان داد که تابع تشخیص به میزان ۳۳/۹ درصد ۱۰ منطقه نمونه‌برداری استان کردستان را از یکدیگر متمایز نمود به طوری که منطقه بیجار بیشترین میزان تفکیک (۴۳/۳ درصد) را از مناطق دیگر نمونه برداری نشان دادند (جدول ۱۱).

تجزیه و تحلیل کلاستر نشان داد که دندروگرام‌های مرتبط با داده‌های پروکراست و باقی‌مانده (مورفومتریک هندسی) در حشرات ماده و همچنین دندروگرام‌های مرتبط با داده‌های پروکراست و باقی‌مانده در حشرات نر الگوی گروه‌بندی مشابهی داشتند. بنابراین به دلیل تشابه دندروگرام‌های مرتبط با داده‌های پروکراست و باقی‌مانده، یکی از دندروگرم ها (شکل‌های ۲، ج و د) در مقایسه‌های الگوی گروه بندی اشاره شدند. نتایج تجزیه و تحلیل کلاستر حشرات ماده (شکل ۲، ج) نشان داد که جمعیت‌های جغرافیایی سقز، دیواندره و دهگلان با مناطق ایران‌خواه، تازه آباد و سنندج در یک گروه قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل کلاستر حشرات نر (شکل ۲، د) جمعیت‌های جغرافیایی سقز، دیواندره و دهگلان را به ترتیب با مناطق قروه، تازه آباد و بیجار دسته‌بندی کرد.

شاخص‌های اعتبار دندروگرام‌های مرفومتریک هندسی با استفاده از ضریب همبستگی کوفنتیک (CCC) محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی کوفنتیک برای دندروگرام‌های حاصل از داده‌های باقیمانده و پروکراست حشرات ماده (با وجود مشابه بودن الگوی گروه‌بندی دندروگرام‌های داده‌های باقیمانده و پروکراست) به ترتیب ۰/۷۸۵ و ۰/۷۶۷ بود. همچنین ضریب همبستگی کوفنتیک برای دندروگرام‌های حاصل از داده‌های باقیمانده و پروکراست حشرات نر (با وجود مشابه بودن الگوی گروه‌بندی دندروگرام‌های داده‌های باقیمانده و پروکراست) به ترتیب ۰/۶۸۰ و ۰/۶۶۵ بود.

جدول ۲- میانگین اندازه صفات در جمعیت های جغرافیایی سن گندم ماده (*Eurygaster integriceps*) در ۱۰ منطقه استان کردستان با مورفومتریک سنتی

Table 2. Mean of measured characteristics of female populations of *Eurygaster integriceps* in ten areas of Kurdistan province

	Body lenght	Body width	pronotum length	pronotum width	Scutellum length	Scutellum width	Genitalia length	genitalia width	proboscis length
Sanandaj	12.06±0.04^{ab}	7.57±0.03^{a}	3.26±0.01^{ab}	7.21±0.03^{ab}	7.43±0.03^{ab}	5.23±0.02^{a}	1.46±0.01^{de}	3.12±0.01^{bc}	5.65±0.01^{a}
Bijar	12.03±0.04^{abc}	7.62±0.03^{a}	3.24±0.01^{ab}	7.23±0.02^{ab}	7.50±0.04^{a}	5.24±0.02^{a}	1.45±0.01^{e}	3.15±0.02^{b}	5.57±0.01^{cd}
Dehgolan	12.02±0.08^{abc}	7.61±0.04^{a}	3.28±0.02^{ab}	7.22±0.05^{ab}	7.38±0.06^{ab}	5.20±0.03^{ab}	1.42±0.01e	3.10±0.02^{bc}	5.64±0.03^{ab}
Irankhah	11.75±0.07^{d}	7.39±0.05^{b}	3.18±0.02^{c}	7.14±0.04^{ab}	7.29±0.05^{bc}	5.05±0.02^{b}	1.34±0.01^{f}	3.09±0.02^{bc}	5.58±0.02^{bcd}
Ghorveh	12.11±0.05^{a}	7.64±0.03^{a}	3.30±0.02^{a}	7.27±0.03^{a}	7.42±0.04^{ab}	5.25±0.03^{a}	1.52±0.01^{bc}	3.12±0.02^{bc}	5.62±0.01^{abc}
Kamyaran	11.85±0.06^{cd}	7.51±0.04^{ab}	3.26±0.02^{ab}	7.11±0.03^{b}	7.20±0.05^{c}	5.55±0.02^{ab}	1.34±0.01^{f}	3.06±0.02^{c}	5.60±0.02^{abc}
Marivan	11.85±0.04^{cd}	7.51±0.02^{ab}	3.2±0.01^{abc}	7.16±0.06^{ab}	7.32±0.03^{bc}	5.15±0.02^{ab}	1.49±0.01^{cd}	3.24±0.02^{a}	5.54±0.01^{d}
Divandareh	11.89±0.09^{bcd}	7.40±0.09^{b}	3.2±0.03^{bc}	7.14±0.03^{ab}	7.32±0.06^{bc}	5.15±0.04^{ab}	1.59±0.01^{a}	3.25±0.02^{a}	5.56±0.02^{cd}
Saghez	11.95±0.04^{abcd}	7.56±0.03^{a}	3.22±0.01^{abc}	7.20±0.03^{ab}	7.40±0.03^{ab}	5.19±0.02^{ab}	1.55±0.01^{ab}	3.25±0.02^{a}	5.56±0.02^{cd}
Tazeabad	12.08±0.07^{ab}	7.59±0.02^{a}	3.27±0.02^{ab}	7.23±0.03^{ab}	7.43±0.04^{ab}	5.21±0.02^{a}	1.54±0.01^{b}	3.24±0.01^{a}	5.61±0.02^{abc}
Mean	11.96±0.02	7.54±0.01	3.24±0.007	7.19±0.01	7.37±0.01	5.19±0.009	1.47±0.006	3.16±0.007	5.59±0.007

The mean measurements are compared across the columns of the table.

جدول ۳- میانگین اندازه صفات در جمعیت های جغرافیایی سن گندم نر (*Eurygaster integriceps*) در ۱۰ منطقه استان کردستان با مورفومتریک سنتی

Table 3. Mean of measured characteristics of male populations of *Eurygaster integriceps* in ten areas of Kurdistan province

	Body lenght	Body width	pronotum length	pronotum width	Scutellum length	Scutellum width	Genitalia length	genitalia width	proboscis length
Sanandaj	11.74±0.05^{ab}	7.52±0.04^{a}	3.17±0.02^{ab}	7.05±0.04^{abc}	7.24±0.03^{ab}	5.07±0.03^{a}	1.16±0.01^{bcd}	2.24±0.01^{c}	5.47±0.02^{abc}
Bijar	11.69±0.06^{abc}	7.53±0.03^{a}	3.19±0.01^{ab}	7.09±0.03^{abc}	7.18±0.04^{b}	5.1±0.02^{a}	1.24±0.01^{ab}	2.39±0.05^{ab}	5.47±0.01^{abc}
Dehgolan	11.08±0.06^{ab}	7.48±0.04^{a}	3.23±0.02^{a}	7.08±0.04^{abc}	7.2±0.05^{b}	5.07±0.03^{a}	1.21±0.04^{ab}	2.41±0.06^{a}	5.49±0.02^{a}
Irankhah	11.37±0.08^{cd}	7.33±0.04^{b}	3.14±0.01^{b}	6.99±0.04^{cd}	7.13±0.05^{bc}	5.04±0.03^{a}	1.25±0.04^{a}	2.4±0.08^{a}	5.43±0.02^{bc}
Ghorveh	11.87±0.05^{a}	7.53±0.03^{a}	3.24±0.02^{a}	7.16±0.03^{a}	7.36±0.03^{a}	5.14±0.02^{a}	1.2±0.01^{abc}	2.32±0.02^{abc}	5.51±0.01^{a}
Kamyaran	11.57±0.05^{bcd}	7.46±0.04^{ab}	3.18±0.02^{ab}	7±0.02b^{cd}	7.03±0.04^{cd}	5.06±0.02^{a}	1.09±0.01^{e}	2.24±0.01^{c}	5.49±0.01^{ab}
Marivan	11.64±0.05^{bcd}	7.41±0.03^{ab}	3.17±0.01^{ab}	7.03±0.03^{abc}	7.22±0.04^{ab}	5.05±0.02^{a}	1.15±0.01^{cde}	2.2±0.03^{c}	5.47±0.01^{abc}
Divandareh	11.46±0.09^{d}	7.32±0.07^{b}	3.13±0.03^{b}	6.88±0.07^{d}	6.99±0.06^{d}	4.97±0.05^{a}	1.11±0.01^{de}	2.23±0.01^{c}	5.42±0.02^{c}
Saghez	11.66±0,05^{ab}	7.54±0.03^{a}	3.19±0.02^{ab}	7.1±0.03^{abc}	7.19±0.03^{b}	4.73±0.02^{b}	1.17±0.01^{bcd}	2.27±0.01^{bc}	5.45±0.02^{abc}
Tazeabad	11.77±0.06^{ab}	7.52±0.04^{a}	3.21±0.01^{a}	7.13±0.04^{ab}	7.19±0.04^{b}	5.08±0.02^{a}	1.15±0.01^{bcd}	2.25±0.01^{c}	5.49±0.02^{a}
Mean	11.67±0.02	7.4±0.01	3.1±0.007	7.05±0.01	7.17±0.01	5.03±0.02	1.17±0.006	2.3±0.01	5.47±0.007

The mean measurements are compared across the columns of the table.

جدول ٤- بارهای عاملی مربوط به هر یک از مؤلفه های اصلی ۹ صفت ظاهری حشرات ماده جمعیت های سن گندم (*Eurygaster integriceps*) مورفومتریک سنتی در استان کردستان

Table 4. Coefficients of principal components of nine morphological characteristic of female populations of *Eurygaster integriceps* of traditional morphometric in Kurdistan Province

	First principal component	Second principal component
Body lenght	0.942	0.046
Body width	0.774	-0.04
pronotum length	0.773	-0.026
pronotum width	0.906	-0.005
Scutellum length	0.803	0.095
Scutellum width	0.911	-0.052
Genitalia length	0.07	0.877
genitalia width	-0.04	0.874
proboscis length	0.182	-0.234

جدول ٥- بارهای عاملی مربوط به هر یک از مؤلفه های اصلی ۹ صفت ظاهری حشرات نر جمعیت های سن گندم (*Eurygaster integriceps*) مرفومتریک سنتی در استان کردستان

Table 5. Coefficients of principal component of nine morphological characteristic of male populations of Eurygaster integriceps of traditional morphometric in Kurdistan Province

	First principal component	Second principal component	Third principal component
Body lenght	0.95	-0.015	-0.043
Body width	0.902	-0.026	-0.064
pronotum length	0.824	-0.089	-0.021
pronotum width	0.919	-0.002	-0.086
Scutellum length	0.818	0.017	-0.043
Scutellum width	0.57	-0.001	0.222
Genitalia length	0.065	0.919	0.028
genitalia width	0.045	0.918	-0.011
proboscis length	0.105	-0.019	0.973

بحث

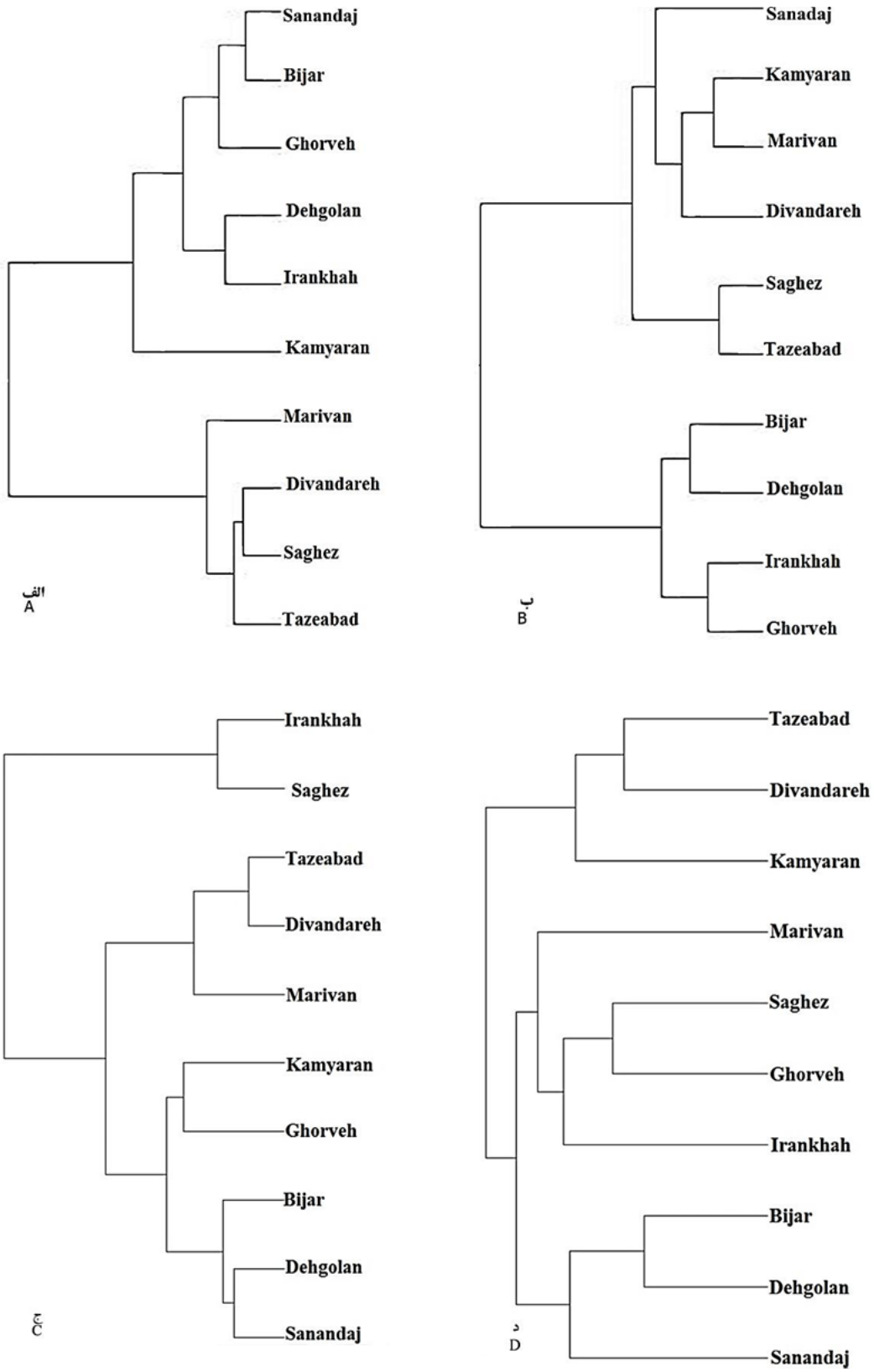
در مطالعه حاضر، همبستگی مثبت بالا و معنی‌دار بین طول و عرض بدن (r=۰/۶۳) نشان‌دهنده وجود یک الگوی رشد هماهنگ در صفات اصلی بدن *E. integriceps* است و بیان می‌کند که بخش قابل توجهی از تغییرات این صفات ناشی از اندازه عمومی بدن است. چنین روابطی در حشرات نیم‌بالپوش (Hemiptera) نیز گزارش شده است (Kocorek and Danielczok-Demska, 2003)، به‌گونه‌ای که صفات مرتبط با ابعاد کلی بدن معمولاً تحت تأثیر یک عامل مشترک رشدی قرار داشته و همبستگی بالایی با یکدیگر نشان می‌دهند. در مقابل، همبستگی بسیار ضعیف بین طول خرطوم و طول بدن (r=۰/۱۳) نشان داد که خرطوم استقلال ریختی بیشتری نسبت به صفات عمومی بدن دارد؛ زیرا این ساختار علاوه بر اندازه کلی بدن، تحت تأثیر محدودیت‌های عملکردی مرتبط با تغذیه و استفاده از گیاه میزبان قرار می‌گیرد.

بنابراین، خرطوم می‌تواند در مقایسه با صفات اندازه‌ای عمومی، اطلاعات اختصاصی‌تری درباره تفاوت‌های جمعیتی فراهم کند (Daly, 1985; Kocorek and Danielczok-Demska, 2003). این موضوع توسط نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز تأیید شد؛ به‌طوری‌که در ماده‌ها، طول و عرض بدن، طول و عرض پیش گرده و طول و عرض سپرچه همگی بارهای بالایی در مؤلفه اول داشتند. بنابراین، مؤلفه اول را نمی‌توان صرفاً نشان‌دهنده یک صفت خاص دانست، بلکه باید آن را نمایانگر یک محور کلی اندازه یا رشد هماهنگ بدن تفسیر کرد. در بسیاری از گونه‌های راسته Hemiptera، صفات مرتبط با اندازه بدن، بال و اندام‌های اصلی معمولاً در اولین مؤلفه اصلی تجمع

پیدا می‌کنند (Mitra et al., 2014). با وجود ارزش توصیفی بالای مورفومتریک سنتی، تجمع چندین صفت در یک محور اندازه عمومی بدن[۱] (PC1)، می‌تواند قدرت این روش را در تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی نزدیک کاهش دهد. در چنین شرایطی، تفاوت بین جمعیت‌های جغرافیایی ممکن است بیشتر بازتاب تفاوت در اندازه کلی بدن نسبت به تفاوت واقعی شکل بدن باشد. نتایج مطالعه حاضر نیز این موضوع را تأیید کرد زیرا با اینکه مورفومتریک سنتی توانست وجود تفاوت‌های معنی‌دار بین جمعیت‌های جغرافیایی را نشان دهد، اما قدرت تفکیک آن در طبقه‌بندی صحیح افراد محدود بود (Zelditch et al., 2004). در مقابل، در مطالعه حاضر، مؤلفه اصلی دوم (PC2) در ماده‌ها عمدتاً تحت تأثیر صفات جنسی قرار گرفت که نشان می‌دهد این ساختارها مستقل از محور عمومی اندازه بدن تغییر می‌کنند. چنین الگویی بیانگر آن است که صفات جنسی صرفاً یک صفت وابسته به اندازه نیست، بلکه یک منبع مستقل از تنوع مورفولوژیک در جمعیت‌های جغرافیایی *E. integriceps* محسوب می‌شود. یافته‌های مشابهی در سایر اعضای راسته Hemiptera گزارش شده است به‌طوری‌که در *Anthocoris antevolens* White، تغییرات صفات جنسی توانست جمعیت‌ها را تفکیک کند و از نظر مورفومتریک اطلاعات ارزشمندی برای تمایز گروه‌های نزدیک فراهم کرد.

همچنین تغییرات شکل صفات جنسی در زیرخانواده Triatominae (Reduvidae :Hemiptera) قادر به تفکیک گروه‌های نزدیک شد و اطلاعات مستقلی نسبت به سایر صفات بدن فراهم کرد (Horton et al., 2007; Belintani et al., 2022). همچنین مطالعات Sarafrazi et al., (2004) روی *E. integriceps* نیز وجود تفاوت‌های جنسی و جغرافیایی را در اندازه و شکل گزارش کرده‌اند. یافته‌های آنها نشان داد که جنس و موقعیت جغرافیایی می‌توانند هر دو در ایجاد تغییرپذیری اندازه بدن این گونه نقش داشته باشند. مطالعه جدید Özgökçe et al., (2025) نشان دادند که تنوع شکل ظاهری سن گندم (*E. integriceps*) می‌تواند در داخل یک گونه قابل توجه باشد. این یافته با مطالعه حاضر از این نظر مشابه است که جمعیت‌های جغرافیایی *E. integriceps* می‌توانند تفاوت‌های ظاهری قابل اندازه‌گیری داشته باشند، بدون اینکه این تفاوت‌ها الزاماً به جدایی گونه‌ای منجر شوند. در چنین شرایطی، تفاوت بین جمعیت‌های جغرافیایی ممکن است بیشتر بازتاب تفاوت در اندازه کلی بدن نسبت به تفاوت واقعی در شکل ظاهری باشد. نتایج مطالعه حاضر نیز این موضوع را تأیید کرد؛ زیرا اگرچه مورفومتریک سنتی توانست وجود تفاوت‌های معنی‌دار بین جمعیت‌های جغرافیایی را نشان دهد، اما قدرت تفکیک آن در طبقه‌بندی صحیح افراد محدود بود. بنابراین، مورفومتریک سنتی بیشتر برای شناخت الگوی تغییرات اندازه و روابط بین صفات اندازه‌گیری شده مناسب است، اما برای تفکیک جمعیت‌هایی که تفاوت‌های ظریف شکلی دارند، محدودیت‌هایی دارد (Zelditch et al., 2004). چنین وضعیتی در حشرات با رشد وابسته به شرایط محیطی بسیار رایج است، زیرا عواملی مانند دما، طول دوره رشد، کیفیت گیاه میزبان و شرایط تغذیه‌ای می‌توانند اندازه نهایی بدن را تغییر دهند، بدون آنکه الزاماً موجب تغییرات پایدار در شکل شوند. بنابراین، اگر هدف مطالعه، تعیین تمایز جمعیت‌های جغرافیایی نزدیک درون یک گونه باشد، اتکا فقط به صفات اندازه ممکن است باعث بزرگ‌نمایی تفاوت‌های محیطی و کاهش قدرت تشخیص تغییرات واقعی جمعیتی شود (Dujardin, 2008).

[۱] general body-size axis



شکل ۲- دندروگرام آنالیز تحلیل کلاستر جمعیت های جغرافیایی سن گندم (*Eurygaster integriceps*) مرتبط با مورفومتریک سنتی حشرات ماده (الف) و حشرات نر (ب) و مورفومتریک هندسی حشرات ماده (ج) و نر (د).

Figure 2. Dendrogram of cluster analysis of *Eurygaster integriceps* populations related with traditional morphometrics of females (A) and males (B) and geometric morphometrics of females (C) and males (D).

جدول ٦- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک سنتی جمعیت های جغرافیایی حشرات ماده سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان

Table 6. Cross validation of Discriminant analysis of traditional morphometric of female populations in Kurdistan province

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	5(16.6%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	10(33.3%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	5(16.6%)	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	13(43.3%)	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	9(30%)	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	12(40%)	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	10(40%)	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	9(30%)	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	8(26.6%)	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9(30%)

The values in and outside the parentheses represent the sample size and percentage, respectively

جدول ۷- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک سنتی جمعیت های جغرافیایی حشرات نر سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان

Table 7. Cross validation of Discriminant analysis of traditional morphometric of male populations in Kurdistan province

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	8(26.6%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	5(16.7%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	7(23.3%)	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	13(43.3%)	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	7(23.3%)	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	6(20%)	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8(26.7%)

The values in and outside the parentheses represent the sample size and percentage, respectively

جدول ۸- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک هندسی جمعیت های جغرافیایی حشرات ماده سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان با استفاده از داده‌های باقی‌مانده

Table 8. Cross validation of Discriminant analysis of geometric morphometric of female populations in Kurdistan province using residual data

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	8(26.6%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	19(63.3%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	11(36.6%)	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	16(53.3%)	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	17(56.6%)	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	17 (56.6%)	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	11(36.6%)	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10(33.3%)

جدول ۹- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک هندسی جمعیت های جغرافیایی حشرات ماده سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان با استفاده از داده‌های پروکراست

Table 9. Cross validation of Discriminant analysis of geometric morphometric of female populations in Kurdistan province using Procrustes data

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	5(20%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	16(53.3%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	9(30%)	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	13(43.3%)	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	10(33.3%)	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	14(46.6%)	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	13(43.3%)	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	7(23.3%)	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	12(40%)	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9(30%)

جدول ۱۰- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک هندسی جمعیت های حشرات نر سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان با استفاده از داده‌های باقی‌مانده

Table 10. Cross validation of Discriminant analysis of geometric morphometric of male populations in Kurdistan province using residual data

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	10(33.3%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	15(50%)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	12(40%)	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	11(36.6%)	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	12(40%)	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	12(40%)	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	12(40%)	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	11(36.6%)	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	12(40%)	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12(40%)

جدول ۱۱- دسته بندی تجزیه و تحلیل تابع تشخیص مورفومتریک هندسی جمعیت های حشرات نر سن گندم (*Eurygaster integriceps*) در استان کردستان با استفاده از داده‌های پروکراست

Table 11. Cross validation of Discriminant analysis of geometric morphometric of male populations in Kurdistan province using Procrustes data

	Sanandaj	Bijar	Dehgolan	Irankhah	Ghorveh	Kamyaran	Marivan	Divandareh	Saghez	Tazeabad
Sanandaj	**7(23.3%)**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bijar	-	**13(43.3%)**	-	-	-	-	-	-	-	-
Dehgolan	-	-	**11(36.6%)**	-	-	-	-	-	-	-
Irankhah	-	-	-	**11(36.6%)**	-	-	-	-	-	-
Ghorveh	-	-	-	-	**11(36.6%)**	-	-	-	-	-
Kamyaran	-	-	-	-	-	**10(33.3%)**	-	-	-	-
Marivan	-	-	-	-	-	-	**10(33.3%)**	-	-	-
Divandareh	-	-	-	-	-	-	-	**10(33.3%)**	-	-
Saghez	-	-	-	-	-	-	-	-	**8(26.6%)**	-
Tazeabad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**11(36.6%)**

.

در روش مورفومتریک هندسی معمولا از داده‌های پروکراست برای تجزیه و تحلیل و مقایسه بین جمعیت‌های جغرافیایی و گونه‌ها استفاده می‌شود (Zelditch et al., 2004; Miguel et al., 2011). تاکنون مطالعه‌ای روی جمعیت‌های جغرافیایی سن گندم با استفاده از داده‌های باقیمانده انجام نشده است. داده‌های پروکراست با استفاده از اطلاعات هندسی لندمارک‌ها، امکان بررسی تغییرات شکل بدن را بدون تأثیر مستقیم اندازه فراهم می‌کنند. این رویکرد در حشرات راسته Hemiptera اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بسیاری از تفاوت‌های جمعیتی در این گروه نه به صورت تغییرات شدید ابعادی، بلکه به شکل تغییر در نسبت بخش‌های مختلف بدن، آرایش فضایی صفحات اسکلتی و تغییرات ظریف در ساختارهای تشخیصی مشاهده می‌شود. مطالعات انجام‌شده روی Triatominae (Hemiptera:Reduviidae) نشان داده‌اند که مورفومتریک هندسی مبتنی بر داده‌های پروکراست قادر است تفاوت‌های ظریف شکل در ساختارهایی مانند سر، بال و صفات جنسی را آشکار کند؛ تفاوت‌هایی که ممکن است با روش‌های سنتی مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله‌های خطی قابل تشخیص نباشند. بنابراین، داده‌های پروکراست نسبت به داده‌های سنتی، تصویر جامع‌تری از تغییرات مورفولوژیک فراهم می‌کنند، زیرا به جای تمرکز بر چند اندازه خطی، کل پیکربندی هندسی بدن را به صورت یک واحد تحلیل می‌کنند (Dujardin et al., 2000; Dujardin et al., 2010; Belintani et al., 2022).

یکی از مهم‌ترین نتایج مورفومتریک هندسی مطالعه حاضر، معنی‌دار بودن رابطه بین اندازه مرکزی و شکل در هر دو جنس نر و ماده *E. integriceps* بود. این یافته از نظر تفسیر نتایج بسیار مهم است، زیرا نشان می‌دهد تغییرات شکل بدن در *E. integriceps* کاملاً مستقل از اندازه نیست. به عبارت دیگر، حشرات کوچک و بزرگ صرفاً نسخه‌های کوچک و بزرگ یک شکل یکسان نیستند، بلکه با تغییر اندازه، شکل بدن نیز به‌صورت معنی‌دار تغییر می‌کند. این پدیده همان چیزی است که در مورفومتریک هندسی تحت عنوان آلومتری یا همبستگی شکل و اندازه بررسی می‌شود. مطالعات انجام‌شده درراسته Hemiptera نیز نشان داده‌اند که شکل بدن و ساختارهایی مانند بال و سر می‌توانند تحت تأثیر اندازه بدن تغییر کنند و حذف اثر آلومتری برای تفسیر صحیح تفاوت‌های جمعیت‌های جغرافیایی ضروری است (Dujardin et al., 2009)؛ بنابراین، معنی‌دار بودن آزمون آلومتری در مطالعه حاضر اهمیت زیادی داشت، زیرا نشان داد که مقایسه مستقیم شکل جمعیت‌های جغرافیایی *E. integriceps* بدون کنترل اثر اندازه می‌تواند بخشی از تغییرات ناشی از افزایش اندازه بدن را به اشتباه به تفاوت‌های جمعیتی نسبت دهد (Klingenberg, 2016). با وجود اینکه داده‌های پروکراست (Procrustes) اطلاعات دقیقی از تفاوت‌های شکل بین جمعیت‌های جغرافیایی را ارائه می‌کنند (Rohlf and Slice, 1990) ولی هنگامی که هدف ما تشخیص مرزهای دقیق جمعیتی و حذف اثرات ناشی از تغییر اندازه بدن و شرایط محیطی باشد، داده‌های باقیمانده (residual) مزیت بیشتری دارند. در سن گندم که جمعیت‌های مختلف تحت شرایط محیطی متفاوت قرار دارند، این رویکرد امکان تفکیک تغییرات پایدار شکلی از تغییرات ناشی از اندازه را فراهم می‌کند. بنابراین، داده‌های باقیمانده نه تنها یک تبدیل ریاضی داده‌ها است بلکه یک ابزار زیست‌شناختی برای استخراج اطلاعات مرتبط با ساختار واقعی جمعیت‌های جغرافیایی محسوب می‌شود (Klingenberg, 2022).

یکی از جالب‌ترین نتایج پژوهش حاضر افزایش قدرت تفکیک جمعیت‌های جغرافیایی پس از حذف اثر آلومتری بود. دقت DFA در مورفومتریک سنتی برای ماده‌ها ۳۰/۶ درصد و برای نرها ۲۷/۹ درصد بود. در مقابل، دقت DFA بر اساس داده‌های پروکراست در ماده‌ها فقط ۳۶/۳ درصد و در نرها ۳۳/۹ درصد بود؛ اما هنگامی که داده‌های باقیمانده مورد استفاده قرار گرفتند، دقت تفکیک به ۴۲/۹ درصد در ماده‌ها و ۳۹/۶ درصد در نرها افزایش یافت. این نتیجه یکی از مهم‌ترین یافته‌های مطالعه حاضر است. در ماده‌ها، افزایش از ۳۰/۶ درصد در مورفومتریک سنتی به ۴۲/۹ درصد در داده‌های باقیمانده نشان داد که حذف مؤلفه آلومتری، اطلاعات جمعیتی موجود در شکل را آشکارتر کرده است.

از نظر زیستی می‌توان چنین تفسیر کرد که تفاوت میان جمعیت‌ها احتمالاً تنها به تفاوت در جثه محدود نیست. اگر تمام تمایز جمعیتی صرفاً ناشی از اندازه بود، انتظار می‌رفت حذف اثر اندازه موجب کاهش توان تفکیک شود. اما در مطالعه حاضر، حذف اثر اندازه موجب افزایش قدرت تفکیک شد. بنابراین، به نظر می‌رسد بخشی از تفاوت‌های جمعیتی در الگوی شکل، مستقل از اندازه است و آلومتری می‌تواند بخشی از تغییرات شکل را پنهان کند (Klingenberg, 2016). این تفسیر با مطالعات مورفومتریک هندسی سایر حشرات نیز همخوانی دارد به عنوان مثال آزمون رگرسیون بین پروکراست بر اندازه مرکزی در *Triatoma sordida* Stål (Hemiptera: Reduviidae) و گونه‌های نزدیک، نشان داده است که اثر آلومتری می‌تواند بسته به ساختار بدن، متفاوت باشد و داده‌های باقیمانده می‌توانند برای بررسی تغییرات شکل مستقل از اندازه مورد استفاده قرار گیرند زیرا هدف اصلی تشخیص تفاوت‌های جغرافیایی مستقل از اندازه بود (Nattero et al., 2017). نکته مهم‌تر آن است که در مطالعه حاضر، الگوی گروه‌بندی کلی دندروگرام‌های داده‌های پروکراست و باقیمانده در هر جنس (نر و ماده به طور جداگانه) مشابه باقی ماند، اگرچه قدرت تفکیک DFA پس از اصلاح آلومتری افزایش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که حذف مؤلفه آلومتری لزوماً ساختار کلی شباهت میان جمعیت‌های جغرافیایی (الگوی گروه‌بندی دندروگرام) را تغییر نمی‌دهد، بلکه می‌تواند وضوح آماری تفاوت‌های موجود در همان ساختار را افزایش دهد. به عبارت دیگر، داده‌های باقیمانده بیشتر موجب آشکارتر شدن و تقویت الگوی تغییرات شکلی موجود بین جمعیت‌ها شدند تا اینکه یک الگوی کاملاً جدید ایجاد کنند (Klingenberg, 2016).

ضریب همبستگی کوفنتیک (CCC) نشان‌دهنده میزان حفظ روابط فاصله‌ای داده‌های اولیه در ساختار سلسله‌مراتبی دندروگرام است و مقادیر بالاتر آن بیانگر انطباق بهتر دندروگرام با الگوی واقعی شباهت‌ها و تفاوت‌های ریختی بین نمونه‌ها است (Gere et al. 2023). در مطالعه حاضر، مقادیر ضریب همبستگی کوفنتیک نشان داد که دندروگرام‌های مربوط به افراد ماده *E. integriceps*، چه در مورفومتریک سنتی (۰/۷۱۸) و چه در مورفومتریک هندسی مبتنی بر داده‌های باقی‌مانده (۰/۷۸۵) و پروکراست (۰/۷۶۷)، نسبت به افراد نر دارای انطباق بیشتری با ماتریس فاصله اولیه بودند که نشان‌دهنده بازنمایی ضعیف‌تر ساختار فاصله‌ای داده‌ها در دندروگرام‌های حشرات نر نسبت به حشرات ماده بود. این تفاوت می‌تواند بیانگر آن باشد که تغییرات ریختی افراد ماده در جمعیت‌های مورد بررسی، الگوی گروه‌بندی منسجم‌تر و پایدارتری داشته و دندروگرام‌ها توانسته‌اند روابط شباهت و فاصله بین جمعیت‌ها را دقیق‌تر بازسازی کنند. همچنین Kamimura et al. (2020) در مطالعه گسترده روی *Triatoma brasiliensis* Neiva (Hemiptera: Reduviidae) تفاوت‌های ریختی معنی‌داری بین نرها و ماده‌ها مشاهده کردند و نشان دادند که دو شکلی جنسی بر ساختار تغییرات شکل اثرگذار بود. نتیجه حاصل از مطالعه حاضر در ضریب کوفنتیک بالاتر در ماده‌های *E. integriceps* در هر سه روش مورفومتریک سنتی، داده های باقی‌مانده و پروکراست مورفومتریک هندسی یک یافته جدید و قابل توجه است. احتمالاً اندازه بزرگ‌تر بدن ماده‌ها، ثبات بیشتر صفات ریختی مرتبط با تولیدمثل و کاهش هم‌پوشانی تغییرات شکل بین جمعیت‌ها، موجب شده است که ساختار حاصل از داده‌های حشرات ماده، هماهنگی بیشتری با ماتریس فاصله اولیه داشته باشد. این تفسیر با اصول مورفومتریک هندسی که تأکید می‌کند حذف اثر اندازه و تمرکز بر تغییرات واقعی شکل می‌تواند کیفیت گروه‌بندی را افزایش دهد، همخوانی دارد (Klingenberg, 2016) .

این یافته یکی از مهم‌ترین استدلال‌های پژوهش حاضر است. نتایج نشان داد که مورفومتریک سنتی و مورفومتریک هندسی نباید به‌عنوان دو روش رقیب در نظر گرفته شوند، بلکه هرکدام جنبه متفاوتی از تنوع ریخت‌شناختی را آشکار می‌کنند. مورفومتریک سنتی برای پاسخ به این پرسش مناسب است که آیا جمعیت‌ها از نظر اندازه و ابعاد خطی بدن با یکدیگر تفاوت دارند؟ در مقابل، مورفومتریک

هندسی مبتنی بر داده‌های پروکراست، با حفظ روابط فضایی بین لندمارک‌ها، تغییرات پیکربندی کلی شکل بدن (shape configuration) را بررسی می‌کند؛ بنابراین قادر است تغییراتی را آشکار کند که ممکن است در اندازه‌گیری‌های خطی سنتی قابل تشخیص نباشند. همچنین، داده‌های باقیمانده حاصل از حذف اثر آلومتری نشان می‌دهند که پس از کنترل تأثیر اندازه بدن، کدام بخش از تغییرات شکلی مستقل از اندازه باقی می‌ماند و می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری درباره تمایز جمعیت‌های جغرافیایی ارائه دهد.

نتیجه گیری کلی

مهم‌ترین دستاورد مورفومتریک این مطالعه آن است که تفاوت جمعیت‌های جغرافیایی *E. integriceps* تنها ناشی از تغییرات اندازه بدن نیست، بلکه بخشی از این تمایز به تفاوت‌های واقعی در الگوی شکل بدن و آرایش نسبی اجزای آن مربوط است که پس از حذف تغییرات ناشی از اندازه بدن نیز حفظ می‌شوند. بنابراین، حذف اثر اندازه و استفاده از داده‌های باقی مانده، موجب آشکارتر شدن تغییرات شکلی مرتبط با جمعیت‌های جغرافیایی شد و توانست تمایز شکل ظاهری جمعیت‌های جغرافیایی را نسبت به داده‌های پروکراست و مورفومتریک سنتی با دقت بیشتری نشان دهد.

سپاس‌گزاری

به این وسیله از گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به واسطه فراهم کردن امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. *Italian Journal of Zoology*, *71*(1), 5–16. https://doi.org/10.1080/11250000409356545

Belintani, T., de Paiva, V. F., de Oliveira, J., & da Rosa, J. A. (2022). New in morphometry: Geometric morphometry of the external female genitalia of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae). *Acta Tropica*, *229*, 106383. http://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106383.

Bookstein, F. L. (1991). Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology university press, New York.

Bookstein, F. L. (1998). A hundred years of morphometrics. *Acta Zoologica Academiae cientiarum Hungaricae*, *44*, 7-59. http://doi.org/10.45203/eajbsa.1998.152110

Critchley, B. R. (1998). Literature review of sunn pest, *Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera, Scutelleridae). *Crop Protection*, *17*, 271–287. http://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.01.016

Daly, H. V. (1985). Insect morphometrics. *Annual Review of Entomology*, *30*, 415–438. http://doi.org/10.1146/annurev.en.30.010185.002215.

Dujardin, J. P. (2008). Morphometrics applied to medical entomology. *Infection, Genetics and Evolution*, *8(6)*, 875–890. http://doi.org/10.1016/j.meegid.2008.07.011.

Dujardin, J. P., Kaba, D., & Henry, A. B. (2010). The exchangeability of shape. *BMC Research Notes*, *3*, 266. http://doi.org/10.1186/1756-0500-3-266.

Dujardin, J. P., Steindel, M., Chávez, T., Machane, M., & Schofield, C. J. (2000). Changes in the sexual dimorphism of Triatominae in relation to their evolution. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 95(6),* 837–844. http://doi.org/10.1590/S0074-02762000000600016.

Gere, A., Radványi, D., & Kovács, S. (2023). Recommendations for validating hierarchical clustering in consumer sensory projects. *Current Research in Food Science*, *6*, 100522.

Hammer, O., & Harper, D. A. T. (2006). Paleontological data analysis. Willey-Blackwell, Oxford

Horton, D. R., Unruh, T. R., Lewis, T. M., & Thomsen-Archer, K. L. (2007). Morphological and Genetic Divergence in Three Populations of *Anthocoris antevolens* (Hemiptera: Heteroptera: Anthocoridae). *Annals of the Entomological Society of America, 100(3),* 403–412. http://doi.org/10.1603/0013-8746(2007)100[403MAGDIT]2.0.CO;2.

Kamimura, E. H., Viana, M. C., Lilioso, M., Fontes, F. H. M., Pires-Silva, D., Valença-Barbosa, C., Carbajal-de-la-Fuente, A. L., Folly-Ramos, E., Solferini, V. N., Thyssen, P. J., Costa, J., & Almeida, C. E. (2020). Drivers of molecular and morphometric variation in Triatoma brasiliensis (Hemiptera: Triatominae): the resolution of geometric morphometrics for populational structuring on a microgeographical scale. *Parasites & Vectors*, *13*, 455. http://doi.org/10.1186/s13071-020-04340-7

Klingenberg, C. P. (2011). Morphoj: an integrated software package for geometric morphometric. *Molecule Ecology Resources, 11(2),* 353-357. http://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924

Klingenberg, C.P. (2016). Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, *226*, 113–137. http://doi.org/10.1007/s00427-016-0539-2

Klingenberg, C.P. (2022). Methods for studying allometry in geometric morphometrics: a comparison of performance. *Evolutionary Ecology*, *36*, 439–470. http://doi.org/10.1007/s10682-022-10170-z

Kocorek, A., & Danielczok-Demska, T. (2003). Comparative morphology of the eggs and first instar larvae of European species of the genus *Aelia* (Hemiptera: Pentatomidae). *Zoologischer Anzeiger*, *242(3),* 205–217. http://doi.org/10.1078/0044-5231-00072

Land, M.F. (1997). Visual acuity in insects. *Annual Review of Entomology*, *42*, 147–177. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.147

Mehrabadi, M., Bandani, A. R., Saadati, F., & Ravan, S. (2009). Sun pest, Eurygaster integriceps Puton (Hemiptera: Scutelleridae), digestive α-amylase, α-glucosidase and β-glucosidae. *Journal of Asia-Pacific Entomology, 12*, 79–83. http://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.01.016

Miguel, I., Baylac, M., Iriondo, M., Manzano, C., Garnery, L., & Estonba, A. (2011). Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the Apis mellifera M evolutionary branch. *Apidologie, 42*, 151-166. http://doi.org/10.1051/apido/2010048

Mitra, S., Harsha, R., Hazra, N., & Mazumdar, A. (2014). Estimation of fitness of normal and stylopized paddy pest, Cofana spectra (Hemiptera: Cicadellidae), through correlation of life-history traits. *International Journal of Insect Science*, *6*, 33–42. http://doi.org/10.4137/IJIS.S13029

Mohaghegh, J. (1991). Systematical and biological revision of the genus *Eurygaster* Lap. In Iran. MSc. Thesis, University of Tehran, Iran. 140 pp.

Nattero, J., Piccinali, R. V., Macedo Lopes, C., Hernández, M. L., Abrahan, L., Lobbia, P. A., Rodríguez, C. S., & Carbajal de la Fuente, A. L. (2017). Morphometric variability among the species of the *Sordida* subcomplex (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae): evidence for differentiation across the distribution range of *Triatoma sordida*. *Parasites & Vectors*, *10*, 412. http://doi.org/ 10.1186/s13071-017-2350-y

Nazemi_Rafie, J., & Modaber, M. (2025). Residual data reveals greater efficacy than Procrustes data in differentiation and relationships between the populations of Apis cerana (Hym., Apidae). *Journal of Asia Pacific Entomology*, *28*, 1-9. http://doi.org/10.1016/j.aspen.2024.102357

Nazemi-Rafie, J., Modaber, M., & Ghasemi, T. (2025). Residual Data Reveals Greater Efficacy than Procrustes Data in Differentiation and Relationships Between the Populations of Apis florea. *Research on Animal Production*, *16*, 126-137. http://doi.org/10.61882/rap.2024.1480

Özgökçe, M. S., Doğaç, M., & Kara, H. (2025). Molecular phylogeny and population structure of Eurygaster integriceps (Hemiptera: Scutelleridae) in the Southeastern Anatolia Region of Türkiye. *Turkish Journal of Zoology*, *49(3)*, 135–147. http://doi.org/10.55730/1300-0179.3219

Popov, C., Barbulescu, A., & Vonica, L. (1996). Population dynamics and management of sunn pest in Romania. In Sunn Pests and Their Control in the Near East (eds Miller, R. H. and Morse, J. G.). *Plant Production and Protection*, *138*, 165-175. http://doi.org/10.1134/S0013873820020050

Rohlf, F. J. (2007). tpsRelw, version 1.45. Department of Ecology and Evolution, State University of New York; Stony Brook, New York, USA.

Rohlf, F. J. (2016). tps Dig2 version 2.17. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, pp 106–117.

Salehi, M.S., Sadeghi, A., Badakhshan, H., & Maroofpour, M. (2018). Evaluation of wheat genotypes for resistance to nymphs of the sunn pest (*Eurygaster integriceps* Put. [Hemiptera: Scutelleridae]) under field conditions in Kurdistan Province. *Plant Pests Research*, *7(4)*, 29–40. https://doi.org/10.22124/iprj.2018.2745

Sarafrazi, A. (2001). Molecular and morphological structures and host associations of the Iranian sunn pest, *Eurygaster integriceps* (Heteroptera: Scutelleridae) populations.Ph.D. Thesis, University of Wales, Cardiff. 254pp.

Sarafrazi, A., Loxdale, H. D., Hemingway, J., Abdollahi, G., & Murray, D. A. (2004). Host plant associated variation and sexual dimorphism in size and shape in Iranian geographic

populations of sunn pest, Eurygaster integriceps Puton. Second International Conference on Sunn Pest, ICARDA.

Sidlauskas, B. L., Mol, J. H., & Vari, R. P. (2011). Dealing with allometry in linear and geometric morphometrics: a taxonomic case study in the *Leporinus cylindriformis* group (Characiformes: Anostomidae) with description of a new species from Suriname. *Zoological Journal of the Linnean Society*, *162*, 103–130. http://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2010.00677.x

Syromyatnikov, M. Y., Golub, V. B., Kokina, A. V., Soboleva, V. A., & Popov, V. N. (2017). DNA barcoding and morphological analysis for rapid identification of most economically important crop-infesting Sunn pests belonging to *Eurygaster* Laporte, 1833 (Hemiptera, Scutelleridae). *ZooKeys*, *706*, 51–71. http://doi.org/10.3897/zookeys.706.13888.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., & Fink, W. L. (2004). Geometric morphometrics for biologists: A primer. Elsevier Academic Press. New York and London. 437 pp.

Zibaee, A. (2017). Purification and characterization of a digestive lipase in *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *39(4)*, 65-78. http://doi.org/10.22055/ppr.2016.12402

© 2026 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.