

بررسی دو شکلی جنسی در ویژگی‌های ریخت‌شناختی جمع‌جمه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) در ایران با روش ریخت‌سنجی هندسی

فرزانه قنبری^۱، محمد کابلی^{۱*}، سهیل ایگدری^۲ و باقر نظامی بلوچی^۳
^۱ گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۳ گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

دو شکلی جنسی پدیده‌ای رایج در بسیاری از گونه‌های جانوری است و بررسی حاضر نیز با هدف بررسی الگوهای دو شکلی جنسی جمع‌جمه خرس قهوه‌ای در ایران با روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک انجام شد. بدین منظور، بر روی تصاویر دو بعدی نماهای پشتی، شکمی و جانبی جمع‌جمه ۷۹ قلاده خرس به ترتیب ۱۷، ۱۳ و ۱۶ لندمارک تعریف و قرار داده شدند. پس از آنالیز پروکراست، داده‌های حاصل با تحلیل‌های چند متغیره CVA و MANOVA بررسی شدند. نتایج به دست آمده تفاوت معنی‌داری را بین شکل جمع‌جمه نمونه‌های نر، ماده و نابالغ نشان داد. تفاوت‌های مشاهده شده در شکل جمع‌جمه جنس‌های نر و ماده تأیید کننده وجود دو شکلی جنسی در شکل جمع‌جمه خرس قهوه‌ای است. بر این اساس، عمده تفاوت‌های شکل جمع‌جمه دو جنس نر و ماده به استخوان‌های پس‌سری، کمان زیگوماتیک آهیانه و ردیف‌های دندانی مربوط است. این تفاوت‌ها می‌تواند نشان‌دهنده الگوی رشد آلمتری متفاوت جمع‌جمه بین دو جنس به دلیل تفاوت در عملکرد ساختارها باشد. نتایج این مطالعه همچنین می‌تواند الگوی مناسبی برای تعیین جنسیت جمع‌جمه‌های ناشناخته موجود در مجموعه موزه‌های تاریخ طبیعی و یا در طبیعت ارایه نماید.

واژه‌های کلیدی: تحلیل شکل، خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*)، دو شکلی جنسی، ریخت‌سنجی هندسی

مقدمه

شده است (Slice, 2007). این گونه مطالعات در درک چگونگی تکامل همزمان جنس‌های نر و ماده در گونه‌های مختلف و امکان شناخت ریشه دو شکلی جنسی دارای اهمیت است (Tjarks, 2009).

دو شکلی جنسی پدیده‌ای رایج در بسیاری از گونه‌های جانوری است (Schoener, 1967؛ Ralls, 1976) که الگوهای آن در مطالعات متعددی بررسی

منبع مهم تغییرپذیری درون گونه‌ای در برخی گونه‌ها است (Takemura *et al.*, 2007)، لذا، در مطالعات ریخت‌شناختی جمعیت‌ها و گونه‌ها، شناخت دقیق الگوهای تفاوت میان نر و ماده گام اول محسوب می‌شود. از این رو، با توجه به اهمیت این موضوع و نیز به دلیل عدم وجود تحقیق و مطالعه در زمینه دو شکلی جنسی گونه خرس قهوه‌ای در ایران، مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوهای دو شکلی جنسی در شکل جمجمه خرس قهوه‌ای با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی انجام شد.

مواد و روش کار

در این بررسی، تعداد ۷۹ جمجمه از خرس‌های قهوه‌ای شامل ۴۲ نر، ۲۲ ماده و ۱۵ نابالغ بررسی شد (جدول ۱). از شاخص‌های: تعداد و شکل دندان‌ها، وضعیت درزهای جمجمه و همچنین طول کندیلو بازال برای تعیین و جداسازی نمونه‌های بالغ از نابالغ، شاخص‌های تیغه ساجیتال و کندیلو بازال برای تعیین جنسیت نمونه‌ها استفاده شد (Zavatsky, 1976). برای اندازه‌گیری متغیر طول کندیلو بازال از نرم‌افزار ImageJ نسخه ۱/۴۵ s استفاده شد. از سطوح پشتی، شکمی و جانبی تمامی نمونه‌ها با دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک شش مگاپیکسل عکس‌برداری شد. در روش ریخت‌سنجی هندسی با استفاده از لندمارک‌ها بر روی نقاط هومولوگ و مختصات آنها (X و Y) به عنوان متغیرهای مرتبط با شکل، الگوهای مختلف تفاوت شکل استخراج و تغییرات مختصات فضایی این نقاط به عنوان بازتابی از تغییرات شکلی در بین ساختارهای زیستی با استفاده از

مکانیسم‌های تکاملی متفاوتی از جمله: انتخاب جنسی، وظایف متفاوت والدینی و رقابت درون جنسی برای کسب غذا به عنوان دلایل توسعه دو شکلی جنسی در تاکسون‌های مختلف جانوران ذکر شده است (Kaliontzopoulou *et al.*, 2005؛ Derocher *et al.*, 2007). در مهره‌داران، دو شکلی جنسی مجموعه می‌تواند به واسطه تفاوت در اندازه و شکل باشد. در بررسی دو شکلی جنسی بر پایه اندازه (size-based) مهره‌داران، به طور معمول مجموعه نرها از ماده‌ها بزرگ‌تر است (Ralls, 1976؛ Schoener, 1967؛ Grandal-d'Anglade and López-González, 2005). در صورتی که دو شکلی جنسی بر پایه شکل (shape-based) به دلیل تفاوت در الگوی رشد بین جنس‌ها طی فرایند فردزایی ایجاد می‌شود (Badyaev, 2002)، به عبارت دیگر یک ویژگی ریختی در یکی از جنس‌ها بیش از جنس دیگر توسعه می‌یابد (Grandal-d'Anglade and López-González, 2005).

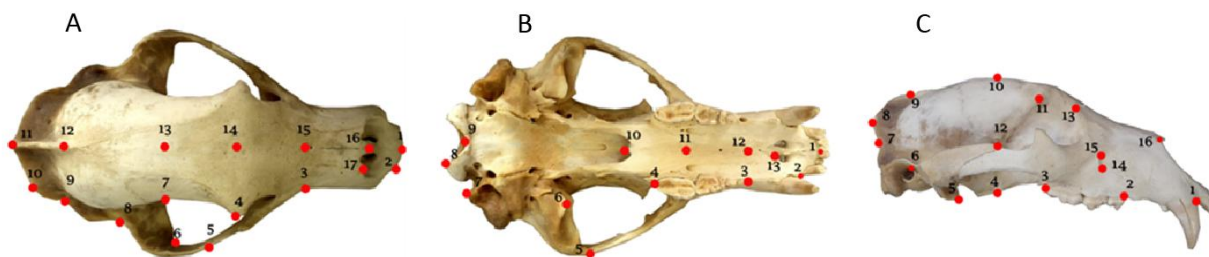
دو شکلی جنسی در برخی گونه‌های خرس نیز بررسی شده است (Grandal-d'Anglade and López-González, 2005؛ Bechshøft *et al.*, 2008). Ohdachi و همکاران (۱۹۹۲) در مطالعه جمجمه جمعیت‌های خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) با روش ریخت‌سنجی سنتی وجود دو شکلی جنسی را گزارش نمودند. اما برخلاف روش‌های ریخت‌سنجی سنتی، روش ریخت‌سنجی هندسی ابزاری جدید برای مطالعه ساختارهای ریختی پیچیده توسعه یافته، نسبت به روش‌های سنتی قابلیت بیشتری برای نشان دادن تفاوت‌های شکل‌های زیستی دارد (Rohlf and Marcus, 1993). با توجه به این که دو شکلی جنسی

با آنالیز پروکراست (GPA (Generalized Procrustes Analysis) (Rohlf and Slice, 1990) و با نرم‌افزار MorphoJ نسخه ۱/۰۵a (Klingenberg, 2008) روی هم‌گذاری شدند. داده‌های حاصل از هر سه نما با هدف مقایسه شکل سه گروه (نر، ماده و نابالغ) با استفاده از تحلیل چند متغیره تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) تحلیل چند متغیره واریانس (MANOVA) بر روی ماتریس کوواریانس با نرم‌افزارهای MorphoJ و PAST نسخه ۲/۱۵ (Hammer et al., 2001) تحلیل شدند. شکل میانگین یا اجماع هر گروه (نر، ماده و نابالغ) با برنامه TPSSmall نسخه ۱/۲۰ (Rohlf, 1990) محاسبه و الگوهای تغییر شکل بین گروه‌ها با گراف‌های wireframe توسط نرم‌افزار MorphoJ مصورسازی شدند.

تحلیل‌های چند متغیره بررسی و ارزیابی می‌شوند (Rohlf and Marcus, 1993). برای استخراج داده‌های شکل، نماهای پشتی، ۱۲ لندمارک و ۵ شبه‌لندمارک، نماهای شکمی، ۱۱ لندمارک و ۲ شبه‌لندمارک و نماهای جانبی، ۱۳ لندمارک و ۳ شبه‌لندمارک بر اساس مطالعات مشابه (Drake and Loy et al., 2008؛ Milenković et al., 2010؛ Klingenberg, 2010؛ Figueirido et al., 2011) تعریف شدند (شکل ۱) و با نرم‌افزار TpsDig2 نسخه ۲/۱۰ (Rohlf, 2006) بر روی تصاویر دو بعدی قرار داده شدند. برای اجتناب از ایجاد داده‌های اضافی در ساختارهای متقارن، تنها نیمه راست جمجمه (شکل ۱) لندمارک‌گذاری شد (Cardini et al., 2010). به منظور حذف ویژگی‌های غیر شکل نظیر: اندازه، مکان و زاویه متفاوت، جایگاه لندمارک‌ها

جدول ۱- تعداد نمونه‌های نر، ماده و نابالغ بر اساس مکان جمع‌آوری

مجموعه	نر	ماده	نابالغ	محل جمع‌آوری
سازمان حفاظت محیط‌زیست	۲۶	۲۰	۱۵	نامشخص
اداره محیط‌زیست زنجان	۳	۱	-	استان زنجان
سمنان	۴	-	-	استان سمنان
مؤسسه طرح سرزمین	۱	-	-	استان گلستان
اداره محیط‌زیست گلستان	۱	-	-	استان گلستان
دانشگاه محیط‌زیست کرج	۲	۱	-	استان گلستان
اداره محیط‌زیست مازندران	۱	-	-	استان مازندران
موزه دارآباد	۱	-	-	شاهرود
اداره محیط‌زیست شاهرود	۱	-	-	شاهرود
لرستان	۱	-	-	شاهرود
مؤسسه ارسباران	۱	-	-	منطقه حفاظت شده دنا
مجموع	۴۲	۲۲	۱۵	



شکل ۱- شماره و تعریف لندمارک‌ها و شبه‌لندمارک‌های استفاده شده برای تحلیل ریختی جمجمه‌ها

(A) نمای پشتی: ۱- نقطه میانی پیش فکی (premaxilla) در نوک پایینی استخوان سپتوم (septum) بین دندان‌های پیش مرکزی فوقانی، ۲- نقطه روی دندان پیش سوم، ۳- تقاطع بین کمان زیگوماتیک (zygomatic arch) و فک (maxilla)، ۴- بالاترین نقطه زائیده پس حدقه‌ای (postorbital process)، ۵- نقطه میانی درز بین دو استخوان جوگال و اسکواموزال (squamosal-jugal suture)، ۶- بالاترین نقطه خمیدگی داخلی کمان زیگوماتیک (zygomatic arch)، ۷- ابتدایی‌ترین نقطه محل اتصال اسکواموزال (squamosal) به استخوان پیشانی (frontal)، ۸- پایین‌ترین نقطه خمیدگی استخوان اسکواموزال، ۹- پایین‌ترین نقطه محل تقاطع استخوان اسکواموزال یا استخوان پاریتال (parietal)، ۱۰- امتداد خطی از لندمارک‌های ۸ و ۹ تا جایی که لبه استخوان پاریتال (parietal) را قطع کند، ۱۱- بالاترین نقطه استخوان پس سری (occipital crest)، ۱۲- خطی عمود از لندمارک ۹ بر محور میانی جمجمه تا جایی که تیغه ساجیتال (sagittal crest) را قطع کند، ۱۳- خطی عمود از لندمارک ۷ بر محور میانی جمجمه تا جایی که درز پیشانی (frontal suture) را قطع کند، ۱۴- خطی عمود از لندمارک ۴ بر محور میانی جمجمه تا جایی که درز پیشانی را قطع کند، ۱۵- خطی عمود از لندمارک ۳ بر محور میانی جمجمه تا جایی که درز بینی (nasal suture) را قطع کند، ۱۶- نقطه میانی درز بینی، ۱۷- پایین‌ترین نقطه درز سمت راست بینی.

(B) نمای شکمی: ۱- ابتدایی‌ترین نقطه محل اتصال دندان‌های پیش در قسمت پیش فکی (premaxilla)، ۲- عقبی‌ترین نقطه دندان پیش سوم، ۳- لبه جلویی دندان پیش آسیای اول، ۴- انتهایی‌ترین نقطه دندان آسیای دوم، ۵- نقطه میانی درز بین دو استخوان جوگال و اسکواموزال (squamosal-jugal suture)، ۶- نقطه اوج استخوان پتریگوئید (pterygoid)، ۷- نقطه اوج استخوان پارااکسی پیتال (para occipital)، ۸- بالاترین نقطه کندیل استخوان پس سری (occipital condyle)، ۹- پایین‌ترین نقطه کندیل استخوان پس سری، ۱۰- انتهایی‌ترین نقطه روی درز استخوان کام (palatine)، ۱۱- خطی عمود از سوراخ عقبی کامی بر محور میانی جمجمه تا جایی که درز کامی را قطع کند، ۱۲- خطی عمود از لندمارک ۳ بر محور میانی جمجمه تا جایی که درز ناحیه فک را قطع کند، ۱۳- پایین‌ترین نقطه سوراخ جلویی کامی (incisive foramen).

(C) نمای جانبی: ۱- لبه جلویی دندان نیش، ۲- لبه جلویی پیش آسیای چهارم، ۳- انتهایی‌ترین نقطه دندان آسیای دوم، ۴- نقطه اوج استخوان پتریگوئید (pterygoid)، ۵- نقطه اوج استخوان اسکواموزال (squamosal)، ۶- بالاترین نقطه مجرای گوش بیرونی (external acoustic meatus)، ۷- داخلی‌ترین نقطه لبه استخوان پاریتال (parietal)، ۸- بیرونی‌ترین نقطه لبه استخوان پاریتال (parietal)، ۹- خطی عمود از لندمارک ۶ بر محور میانی جمجمه تا جایی که تیغه ساجیتال (sagittal crest) را قطع کند، ۱۰- خطی عمود از لندمارک ۴ بر محور میانی جمجمه تا جایی که استخوان پیشانی (frontal) را قطع کند، ۱۱- بالاترین نقطه زائیده پس حدقه‌ای (postorbital process)، ۱۲- نقطه میانی درز بین دو استخوان جوگال و اسکواموزال (squamosal-jugal suture)، ۱۳- امتداد خطی از لندمارک ۶ و ۱۲ تا جایی که لبه استخوان پیشانی (frontal) را قطع کند، ۱۴- ابتدایی‌ترین نقطه سوراخ جلوی حدقه‌ای، ۱۵- انتهایی‌ترین نقطه سوراخ جلوی حدقه‌ای، ۱۶- انتهایی‌ترین نقطه درز استخوان بینی (nasal bone).

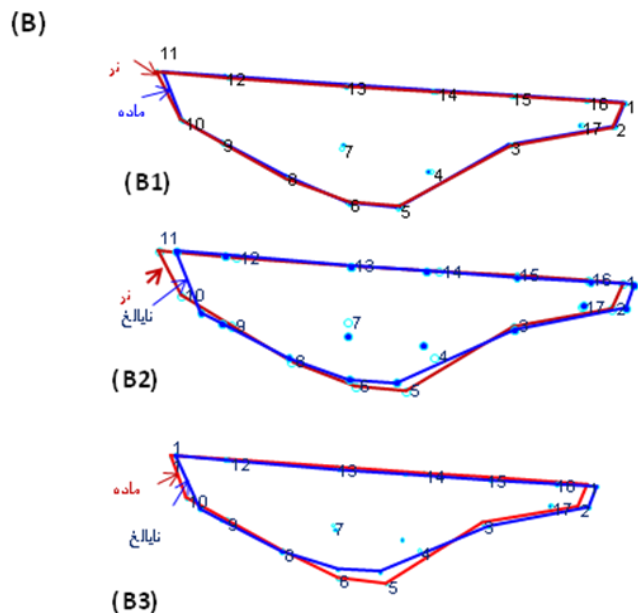
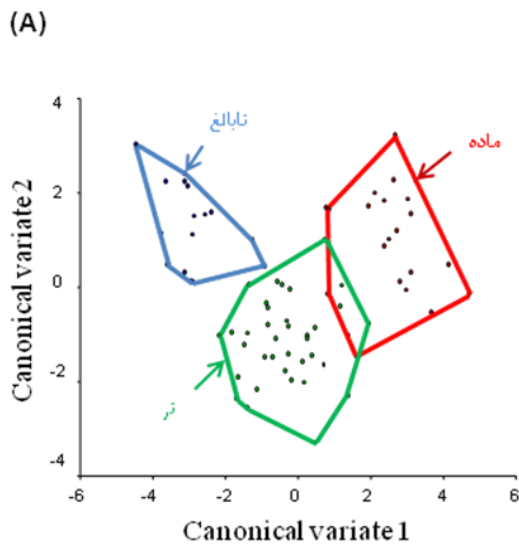
نتایج

نمای پستی: تحلیل تفاوت معنی‌داری را بین

شکل نمای پستی جمجمه جنس‌های نر و ماده خرس قهوه‌ای نشان داد ($P=0.03$) (شکل ۲-۱). در مقایسه گراف wireframe شکل میانگین نمای پستی جمجمه جنس‌های نر و ماده، تفاوت عمده مربوط به قسمت استخوان پس سری است (شکل ۲-۱). بر این اساس، در جنس نر لندمارک ۱۱ (مربوط به بالاترین نقطه استخوان پس سری) همراه با لندمارک ۱۰ (مربوط به استخوان پاریتال) به طرف پشت جابجا شده‌اند. به واسطه این جابجایی‌ها، استخوان پس سری در نرها نسبت به ماده‌ها بزرگ‌تر است.

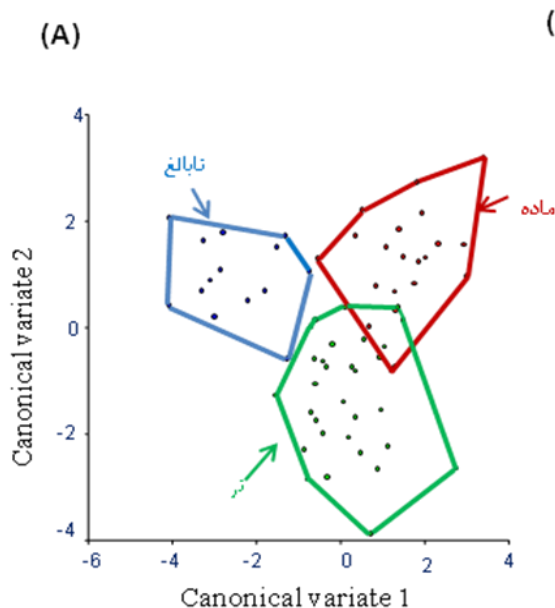
همچنین، تحلیل تفاوت بسیار معنی‌داری را در شکل نمای پستی جمجمه بین بالغ‌ها و نابالغ‌ها نشان داد ($P<0.0001$). تفاوت عمده میان بالغ‌ها و نابالغ‌ها مربوط به نواحی ابتدایی و انتهایی جمجمه و کمان زیگوماتیک

است. در جنس‌های نر و ماده لندمارک ۱۱ به سمت پشت جابجا شده است (شکل‌های ۲-۱ و ۲-۲). این جابجایی در جنس نر نسبت به نابالغ‌ها خیلی بیشتر از جنس ماده بوده، به عبارت دیگر استخوان پس سری در نرها بزرگ‌تر از جنس ماده و نابالغ‌ها است. در جنس‌های نر و ماده لندمارک‌های مربوط به آرک زیگوماتیک به سمت بیرون جابجا شده است. این جابجایی‌ها باعث عریض‌تر شدن آرک زیگوماتیک در جنس‌های نر و ماده نسبت به نابالغ‌ها شده است. انبساط مشاهده شده در ناحیه پیشانی (لندمارک‌های ۴، ۷، ۱۳ و ۱۴) نشان‌دهنده عریض بودن پیشانی در جنس‌های نر و ماده نسبت به نابالغ‌هاست. همچنین، گراف wireframe انبساطی را در ناحیه بینی در محدوده لندمارک‌های ۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد که نشان‌دهنده بزرگ بودن طول استخوان بینی در ماده‌ها نسبت به نابالغ‌هاست (شکل‌های ۲-۱ و ۲-۳).



شکل ۲-۱ (A) تحلیل CVA داده‌های شکل نمای پستی جمجمه جنس‌های نر، ماده و نابالغ، (B) گراف wireframe مقایسه شکل میانگین، (B1) جنس‌های نر و ماده، (B2) جنس نر و نابالغ و (B3) جنس ماده و نابالغ

نشان داد ($P=0.0001$). در بالغ‌ها لندمارک ۲ (لبه جلویی پیش آسیای چهارم) اندکی به سمت پشت و لندمارک ۳ (انتهایی ترین نقطه دندان آسیای دوم) نیز به سمت پیشین جابجا شده‌اند و این جابجایی‌ها سبب کوچک شدن این بخش از ردیف دندانی (دندان‌های آسیا و پیش آسیا) نسبت به نابالغ‌ها شده است. جابجایی لندمارک ۲ در بالغ‌ها باعث بزرگ شدن ردیف دندانی در ناحیه دندان نیش در فاصله لندمارک‌های ۱ و ۲ شده است. جابجایی لندمارک‌های مربوط به پیشانی (لندمارک‌های ۱۰، ۱۳ به سمت بیرون و ۱۱ به سمت درون) باعث بزرگ شدن ناحیه پیشانی شده است (شکل‌های B2-۳ و B3-۳).

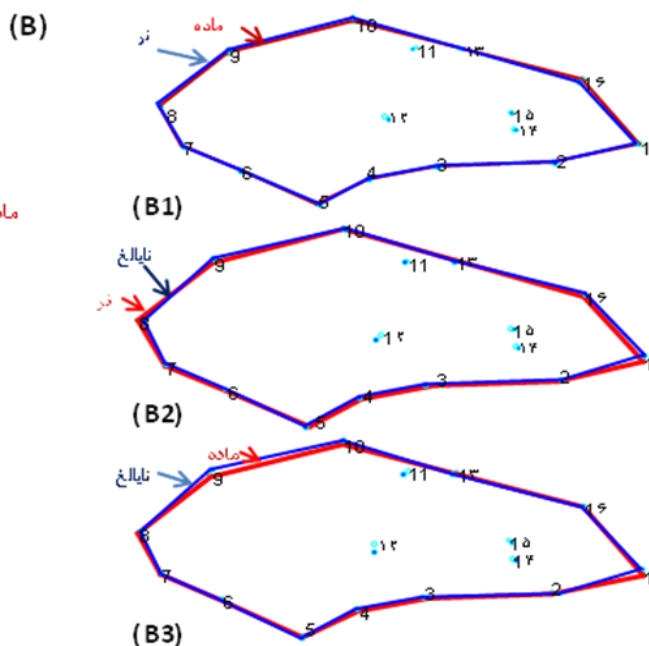


شکل ۳- A) تحلیل CVA داده‌های شکل نمای جانبی جمجمه جنس‌های نر، ماده و نابالغ، B) گراف wireframe مقایسه شکل میانگین، B1) جنس‌های نر و ماده، B2) جنس نر و نابالغ و B3) جنس ماده و نابالغ

نشان داد ($P=0.0106$) (شکل ۴- A). نتایج مقایسه شکل اجماع جنس‌های نر و ماده نشان داد که لندمارک

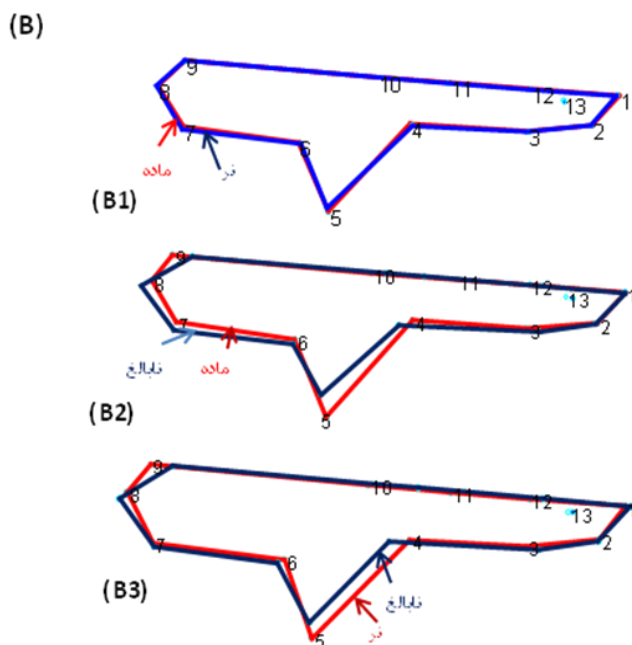
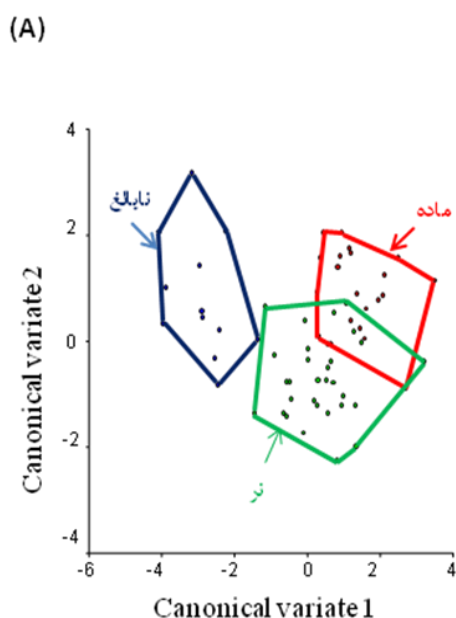
نمای جانبی: تحلیل CVA تفاوت معنی داری در شکل نمای جانبی جمجمه بین جنس‌های نر و ماده نشان داد ($P=0.008$) (شکل ۳- A). مقایسه شکل اجماع نمای جانبی جمجمه جنس‌های نر و ماده، جابجایی لندمارک‌های ۸ (بیرونی ترین نقطه لبه استخوان پاریتال) و ۹ (بر روی تیغه ساجیتال) در جنس نر به سمت پشتی را نشان می‌دهد که بیان کننده بزرگ بودن ناحیه آهیانه در نرها است (شکل ۳- B1). در جنس نر، ناحیه پیشانی به واسطه جابجایی لندمارک‌های مربوط به این ناحیه (لندمارک‌های ۱۰، ۱۳ به سمت بیرون و ۱۱ به سمت درون) بزرگ‌تر از ماده بود.

همچنین، تحلیل CVA تفاوت معنی داری را در شکل نمای جانبی جمجمه جنس‌های نر، ماده و نابالغ



نمای شکمی: تحلیل CVA تفاوت معنی داری را در شکل نمای شکمی جمجمه بین جنس‌های نر و ماده

بین بالغ‌ها و نابالغ‌ها تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P < 0.001$). انبساطی در کمان زیگوماتیک بالغ‌ها نسبت به نابالغ‌ها مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده بزرگ بودن آن در بالغ‌ها نسبت به نابالغ‌هاست. در بالغ‌ها جایجایی لندمارک‌های مربوط به ردیف دندانی یعنی لندمارک‌های ۳ (عقبی‌ترین نقطه دندان پیش سوم) و ۴ (انتهایی‌ترین نقطه دندان آسیای دوم) سبب فشردگی در این ناحیه شده که با انبساط در فاصله لندمارک‌های ۲ و ۳ همراه می‌شود (شکل‌های ۴-B2 و ۴-B3).



شکل ۴- (A) تحلیل CVA داده‌های شکل نمای شکمی جمجمه جنس‌های نر، ماده و نابالغ، (B) گراف wireframe مقایسه شکل میانگین، (B1) جنس‌های نر و ماده، (B2) جنس نر و نابالغ و (B3) جنس ماده و نابالغ

نسبت رشد آنها و یا به عبارت دیگر تفاوت در الگوی رشد آلومتری متفاوت جمجمه در بین دو جنس است (Tjarks, 2009; Badyaev, 2002).

انبساط جایگاه لندمارک‌ها و یا بزرگ بودن ناحیه مربوط به کمان زیگوماتیک از لحاظ طول و ارتفاع در بالغ‌ها نسبت به نابالغ‌ها و در جنس نر نسبت به ماده

۷ (مربوط به استخوان اکسی پیتال) نیز در جنس نر به سمت بیرون جابجا شده است که این امر سبب بزرگ شدن استخوان اکسی پیتال در آنها شده است. انبساط در لندمارک ۴ (ناحیه کام دهان)، لندمارک ۱۰ (انتهایی‌ترین نقطه روی درز استخوان کام) و لندمارک ۱۳ (پایین‌ترین نقطه سوراخ جلویی کامی) مربوط به طول کام دهانی در جنس نر دیده می‌شود. موارد بالا نشان می‌دهد که طول و عرض کام دهان در جنس نر از ماده بزرگ‌تر است.

تحلیل CVA در شکل نمای شکمی جمجمه

بحث

در این تحقیق، تفاوت‌های مشاهده شده در شکل جمجمه جنس‌های نر و ماده، تأیید کننده وجود دو شکلی جنسی در شکل جمجمه خرس قهوه‌ای در ایران است. تفاوت‌ها در شکل بخش‌های متفاوت جمجمه بین جنس‌های نر و ماده، نشان‌دهنده تفاوت در

آلومتری مثبت در این ناحیه است.

انبساط جایگاه لندهمارک‌ها در ناحیه استخوان پس‌سری در جنس نر نسبت به ماده‌ها و نابالغ‌ها نشان‌دهنده بزرگ‌تر بودن این ناحیه در نرها است و این امر می‌تواند به دلیل نیاز به جایگاه بیشتر برای اتصال ماهیچه‌های تنه‌ای و گردنی در جنس نر باشد که نسبت به ماده قوی‌تر است. استخوان پس‌سری بزرگ، جایگاه بیشتری را برای اتصال ماهیچه‌های تمپورالیس و تنه‌ای فراهم می‌سازد (Liem *et al.*, 2000).

نتایج همچنین نشان داد که طول استخوان بینی و ناحیه پیشانی در بالغ‌ها بیش از نابالغ‌ها است که بیان‌کننده الگوی رشد آلومتری مثبت این نواحی است. دلیل این الگوی رشد در ناحیه پیشانی و سینوس‌ها که داخل استخوان پیشانی قرار دارند، می‌تواند توسعه حس بویایی در خرس‌های بالغ باشد. این ویژگی، ارتباط مستقیمی با سینوس‌های پیشانی ندارد ولی بزرگ بودن پیشانی می‌تواند در توسعه مارپیچ‌ها (turbinate) به سمت حفره بینی مؤثر باشد (Grandal-d'Anglade and López-González, 2005).

در نهایت، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مجموعه جنس نر در بخش‌هایی که گردن و ماهیچه‌های آرواره‌ها را حمایت می‌کند نسبت به جنس ماده توسعه بیشتری یافته است و تفاوت‌های مشاهده شده ممکن است به دلیل رفتارهای قلمروطلبی و تغذیه‌ای متفاوت بین دو جنس باشد (Grandal-d'Anglade and López-González, 2005) که البته به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد. نتیجه این مطالعه لزوم پژوهش‌های تکمیلی در خصوص چگونگی تکامل همزمان بین ویژگی‌های رفتاری متفاوت نرها و ماده‌های خرس قهوه‌ای و خصوصیات آناتومی آنها را آشکار می‌کند.

می‌تواند به اندازه ماهیچه‌های تمپورالیس (temporalis) و جونده (masseter) مرتبط باشد، زیرا کمان زیگوماتیک منشأ و حمایت‌کننده این ماهیچه‌ها است (Grandal-d'Anglade and López-González, 2005؛ Naples and MacAfee, 2012) و سبب تقویت آنها می‌گردد (Naples and MacAfee, 2012). از آنجا که بالغ‌ها نسبت به نابالغ‌ها جثه بزرگ‌تری دارند، بنابراین، وجود ماهیچه‌های تمپورالیس و جونده بزرگ‌تر و قویتر طبیعی است چرا که افزایش اندازه کمان زیگوماتیک سبب افزایش اندازه این ماهیچه‌ها و در نتیجه افزایش توانایی آنها برای حرکت دادن آرواره به سمت عقب و جلو می‌شود (Naples and MacAfee, 2012). در ضمن، کمان زیگوماتیک بزرگ‌تر می‌تواند فضای بیشتری را برای زایده کورونوئید فک زیرین فراهم آورد (Liem *et al.*, 2000). نتایج همچنین، نشان‌دهنده بزرگ بودن ناحیه آهیانه در بالغ‌ها نسبت به نابالغ‌ها و همچنین در جنس نر نسبت به ماده است که نشان‌دهنده الگوی رشد آلومتری مثبت این ناحیه در آنها است. بزرگ بودن این ناحیه، می‌تواند فضای بیشتری را برای جایگاه اتصال ماهیچه تمپورالیس فراهم آورد.

ردیف دندان‌های آسیا و پیش‌آسیا و همچنین ناحیه پوزه (در نمای پشتی) در نابالغ‌ها بزرگ‌تر از بالغ‌ها بود. از این رو، در بالغ‌ها این دندان‌ها رشد نسبی کمتری نسبت به سایر بخش‌ها داشته، به عبارت دیگر الگوی رشد آنها آلومتری منفی است. بنابراین، در طول فرآیند آنتورژنی مجموعه، استخوان پس‌سری و کمان زیگوماتیک رشد بیشتری نسبت به ردیف دندان‌های آسیا و پیش‌آسیا دارند. روند رشد آنتورژنی ردیف دندان‌های نیش نیز نشان‌دهنده یک الگوی رشد

سپاسگزاری

مجموعه جمجمه خرس قهوه‌ای قدردانی می‌شود. همچنین، از آقایان فرهاد عطایی، علی ادیبی، طاهر قدیریان، هادی فهیمی و موسی شجاع به خاطر در اختیار قرار دادن نمونه‌های جمجمه برای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.

از سازمان حفاظت محیط‌زیست دانشگاه محیط‌زیست کرج، موزه دارآباد، اداره محیط‌زیست شاهرود، اداره محیط‌زیست مازندران، اداره محیط‌زیست گلستان و اداره محیط‌زیست زنجان به خاطر فراهم کردن امکان دسترسی به

منابع

- Badyaev, A. V. (2002) Growing apart: an ontogenetic perspective on the evolution of sexual dimorphism. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 369-378.
- Bechshøft, T., Sonne, C., Rige't, F., Wiig, Ø. and Dietz, R. (2008) Differences in growth, size and sexual dimorphism in skulls of East Greenland and Svalbard polar bears (*Ursus maritimus*). *Polar Biology* 31: 945-958.
- Cardini, A., Diniz Filho, J. A. F., Polly, P. D. and Elton, S. (2010) Biogeographic analysis using geometric morphometrics: clines in skull size and shape in a widespread African arboreal monkey. In: *Morphometrics for Nonmorphometricians* (Ed. Elewa, A. M. T) 124. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg.
- Derocher, A. E., Anderson, M. and Wiig, Ø. (2005) Sexual dimorphism of polar bears. *Journal of Mammology* 86: 895-901.
- Drake, A. G. and Klingenberg, G. P. (2010) Large-Scale Diversification of Skull Shape in Domestic Dogs: -Disparity and Modularity. *The American Naturalist* 175: 289-301.
- Figueirido, B., Palmqvist, P., Pérez-laros, J. A. and Dong, W. (2011) Cranial shape transformation in the evolution of the giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *Naturwissenschaften* 98: 107-116.
- Grandal-d'Anglade, A. and López-González, F. (2005) Sexual dimorphism and ontogenetic variation in the skull of the cave bear (*Ursus spelaeus* Rosenmüller) of the European Upper Pleistocene. *Geobios* 38: 325-337.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Kaliontzopoulou, A., Carretero, M. A. and Lorente, G. A. (2007) Multivariate and geometric morphometrics in the analysis of sexual dimorphism variation in Podarcis Lizards. *Journal of Morphology* 268: 152-165.
- Klingenberg, C. P. (2008) MorphoJ. Retrieved from <http://www.flywings.org.uk/MorphoJ-page.htm>. On: 15 March 2013.
- Liem, K., Bemis, W., Walker, W. F. and Grande, L. (2000) *Functional anatomy of the vertebrates: An Evolutionary Perspective*. 3rd edition. Belmont, California.
- Loy, A., Genov, P., Galfo, M., Jacobone, M. G. and Vigna, A. (2008) Cranial morphometrics of the pennine brown bear (*Ursus arctos marsicanus*) and preliminary notes on the relationships with other southern European populations. *Italian Journal of Zoology* 75: 67-75.
- Milenković, M., Blagojević, V. J. Š. J., Tatović, S. and Vujošević, M. (2010) Skull variation in Dinaric-Balkan and Carpathian gray wolf populations revealed by geometric morphometric

- approaches. *Journal of Mammalogy* 91: 376-386.
- Naples, V. L. and MacAfee, R. K. (2012) Reconstruction of the cranial musculature and masticatory function of the Pleistocene panamerican ground sloth *Eremotherium laurillardi* (Mammalia, Xenarthra, Megatheriidae). *Historical Biology* 24: 187-206.
- Ohdachi, S., Aoi, T., Mano, T. and Tsubota, T. (1992) Growth, sexual dimorphism, and geographical variation of skull dimensions of the brown bear *Ursus arctos* in Hokkaido. *Journal of the Mammalogical Society of Japan* 17: 27-47.
- Ralls, K. (1976) Mammals in which females are larger than males. *Quarterly Review of Biology* 51: 245-276.
- Rohlf, F. J. (1990) TpsSmall Version 1.20. Ecology and Evolution. SUNY at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F. J. (2006) TpsDig2, Version 2.10. Ecology and Evolution. SUNY at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F. J. and Marcus, L. F. (1993) A revolution in morphometrics. *Trend in Ecology and Evolution* 8: 129-132.
- Rohlf, F. J. and Slice, D. E. (1990) Extensions of the procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39: 40-59.
- Schoener, T. W. (1967) The ecological significance of sexual size dimorphism in the lizard *Anolis conspersus*. *Science* 155: 474-486.
- Slice, D. E. (2007) Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology* 36: 261-281.
- Takemura, C. M., Cesar-Jr, R. M., Hingst-Zaher, E., Arantes, R. A. T. and Costa. L. A. T. (2007) Application of wavelets in the analysis of sexual dimorphism in the skull of South American canids (Mammalia, Canidae). 15th European Symposium on Artificial Intelligence ECAI2002, Lyon, France.
- Tjarks, H. (2009) Geometric morphometric analysis of head shape in *Thamnophis elegans*. Msc thesis, California State University, Chico, USA.
- Zavatsky, B. P. (1976) The use of the skull in Age determination of the brown bear. 3th International Conference on Bears Research and Management, Binghamton, New York.

**Sexual dimorphism in skull morphology of the brown bear
(*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) in Iran
using geometric morphometric technique**

Farzaneh Ghanbari¹, Mohammad Kaboli^{1*}, Soheil Eagderi² and Bagher Nezami Balouchi³

¹ Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Department of Environment, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Sexual dimorphism is a common phenomenon in many animal species. This study was conducted to investigate the patterns of sexual dimorphism in skull of Iranian brown bears (*Ursus arctos*) using geometric morphometric technique. The ventral, dorsal and lateral faces of 79 collected skulls were photographed using digital camera and seventeen, thirteen and sixteen landmark points were defined and digitized on images, respectively. Landmark data after generalised procrustes analysis (GPA) were analyzed using CVA (Canonical Variate Analysis) and MANOVA (Multivariate Analysis of Variance). Results showed significant difference between skull shape of male and female ($P < 0.05$) and adults and youngs as well. Observed differences in the shape of skull could confirm sexual shape dimorphism in the cranium of brown bears. According to the results, sexual dimorphism of bear's skull was more pronounced in occipital crest, zygomatic arc, parietal bones and teeth row. These differences could display the allometric growth pattern in both genders' skull as a result of different functional morphology.

Key words: Shape analysis, Brown bear *Ursus arctos*, Sexual dimorphism, Landmark-based geometric morphometrics

* mkaboli@ut.ac.ir