

Morphological Divergence of the Fat Dormouse along the Hyrcanian Forests of Northern Iran, Indicate about the Presence of Micro-Refugium During LGM

Zahra Eftekhari¹, Morteza Naderi^{2*},
Mohammad Kaboli³, Hamidreza Rezaei⁴

1. Ph. D. Candidate, Department of Biology, Islamic Azad University, Science & Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Biology, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Gorgan, Tehran, Iran

(Received: Nov. 11, 2016 - Accepted: Feb. 17, 2018)

واگرایی ریختی اشکول (*Glis glis*) در امتداد جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، شاهدی بر وجود خردپناهگاه در طی آخرین دوره یخبندان

زهرا افتخاری^۱، مرتضی نادری^{۲*}، محمد کابلی^۳،

حمیدرضا رضایی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد

علوم و تحقیقات تهران

۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک

۳. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸)

Abstract

Quaternary climatic fluctuations have left phylogeographical footprints on some organisms. Relocation of northern populations of many species to the southern parts during ice ages, followed by subsequent northward expansions from refugia during interglacial periods resulted in intraspecific morphological and molecular divergence. Studying this divergence could demonstrate the large size of important refugia specifically in Pleistocene. Photographing lower mandibles, we would able to compare morphological differences between populations distributed along the Hyrcanian forests. We compared our results with previous molecular findings. However the role of remnant Hyrcanian forests as a refugium has been confirmed by some investigations but long-term survival and isolation of some species in this refugium from eastern and northern parts of Palearctic region triggered inter population's evolutionary divergence. By investigation about these evolutionary diverged traits, some micro refugia can be defined along the Hyrcanian refugia. In this study, we found some preliminary documents about the presence of eastern micro refugia based on morphological divergence of *Glis glis* as a model species.

Keywords: Fat dormouse, Phylogeny, Hyrcanian Forests, Refugium Theory, Evolutionary Divergence.

چکیده

رد پای نوسان‌های اقلیمی و پیشروی و پسروی یخچال‌ها در اعصار گذشته را می‌توان در برخی جانداران مشاهده کرد. تغییر گستره پراکنش به سمت عرض‌های جنوبی در دوره پیشروی یخچال‌ها و بقای این جانداران در پناهگاه‌ها و انتشار مجدد به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، باعث ایجاد تغییراتی ریختی و ژنتیکی شده و با بررسی این تغییرات می‌توان گستره حضور پناهگاه‌های مهم بویژه در دوره پلیستوسن را مشخص کرد. در این پژوهش، شواهدی اولیه در خصوص نقش خردپناهگاهی محدوده شرقی جنگل‌های هیرکانی کشور در آخرین دوره یخبندان بزرگ ارائه می‌شود. در این راستا، مطالعه گونه اشکول (*Glis glis* Linnaeus, 1766) که دارای ویژگی‌های بوم‌شناختی و زیستی نسبتاً منحصر به فردی است، به عنوان گونه مدل انتخاب شد. استخوان فک زیرین افراد متعلق به جمعیت‌های مختلف در امتداد جنگل‌های خزری ایران به شیوه استاندارد تصویربرداری شده و تحلیل‌های ریخت‌سنجی هندسی انجام شد. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها با نتایج به دست آمده از مطالعات ژنتیکی مقایسه شد. نتایج حاکی از واگرایی ریختی شدید جمعیت واقع در منتهی‌الیه بخش شرقی پناهگاه هیرکانی بر اساس صفات فک زیرین است که کاملاً منطبق بر یافته‌های ژنتیکی پیشین است. همچنین ویژگی‌های ریخت‌شناختی ظاهری از قبیل میانگین وزن، میانگین طول بدن و طول دم نیز اختلاف معناداری را با سایر جمعیت‌های مورد بررسی در مرکز و منتهی‌الیه غربی محدوده جنگل‌های خزری نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اشکول، تبارشناسی، جنگل‌های هیرکانی، ریخت‌شناسی هندسی، نظریه پناهگاه‌ها، واگرایی تکاملی.

مقدمه

شرایط زیست‌محیطی گذشته، چه از طریق تأثیر مستقیم پارامترهای غیر زیستی بر صفات متابولیک و یا تأثیر غیرمستقیم پارامترهای زیست‌محیطی بر بوم‌شناسی حیوانات بویژه گزینش زیستگاه (Helvacı et al., 2012) تا حدّ زیادی توزیع فعلی گونه‌ها را تحت کنترل داشته است. در این میان، نوسانات اقلیمی دوره زمین‌شناختی کواترنری نقش عمده‌ای در توزیع جغرافیایی گونه‌ها و همچنین شکل‌دهی ساختار ژنتیکی و تنوع آنها داشته است. بویژه این نوسانات بر گونه‌های ساکن مناطق جنگلی تأثیر زیادی بر جای گذاشته است؛ چراکه پیشروی یخچال‌ها سیمای باز و وسیعی را ایجاد می‌کردند و به این ترتیب این گونه‌ها به مناطق جنگلی باقی مانده در عرض‌های جنوبی یا همان پناهگاه‌ها رانده می‌شدند (Hewitt, 2004 & 2000; Taberlet et al., 1998). به دلیل اهمیت این پناهگاه‌ها به عنوان لکه‌های داغ حفاظتی و کانون‌های گسترش تنوع زیستی و آندمیسم در دنیا، امروزه توجه محققان به نقش پناهگاه‌های بخش شرقی پالتارکتیک، معطوف شده است. در این پژوهش‌ها عمدتاً گونه‌های متعلق به خانواده Gliridae با توجه به ویژگی‌های زیستگاهی، بوم‌شناختی و زیستی خاص و نسبتاً منحصر به فرد، به عنوان مدلی در بررسی و شناسایی پناهگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Michaux et al., 2004; Hürner et al., 2010; Helvacı et al., 2012; Mouton et al., 2012). اشکول، تنها گونه جنس *Glis* از خانواده Gliridae و زیرخانواده Glirinae (Holden, 2005) از راسته جونندگان است که گستره پراکنش آن بر مناطق جنگلی پهن‌برگ اروپا و جنوب غرب آسیا منطبق است. این گونه کاملاً شب فعال و از نظر برخی ویژگی‌های زیستی با سایر جونندگان متفاوت است؛ به عنوان مثال، طول عمر به نسبت بیشتری داشته (بین ۶ تا ۱۲ سال) و دوره خواب زمستانی آن نیز بسیار طولانی‌تر است (حدود ۷ تا ۸ ماه) (Pilastro et al., 2003). اشکول، مدلی مناسب برای مطالعه این وقایع

محسوب می‌شود؛ چراکه این پستاندار کوچک، منحصراً جنگل‌زی است و با استراتژی تغییر محدوده توزیع و پراکنش خود در برابر نوسانات شدید اقلیمی دوران کواترنری مقاومت کرده است (Helvacı et al., 2012). در این گونه، رفتار مهاجرت فصلی مشاهده نمی‌شود (Martino et al., 1941; Morris, 1997). انتخاب زیستگاه شدیداً وابسته به متغیرهایی مثل حضور تاج پوششی به هم پیوسته از زیستگاه‌های جنگلی (بویژه پهن برگ) است (Kryštufek, 2010). اشکول گونه‌ای کمتر شناخته شده در بین پستانداران ایران محسوب می‌شود و تا قبل از مطالعات اخیر، توسط Naderi et al. (2013) به جز چند گزارش اطلاعات منتشر شده و قابل استنادی در مورد جنبه‌ها و ابعاد گوناگون این گونه مشتمل بر ریخت‌شناسی، استفاده از زیستگاه، بوم‌شناسی و توزیع وجود نداشت. همچنین در گستره جنگل‌های شمال کشور متأسفانه بومیان برای مقابله با زیان رسیده به محصولات باغی بویژه گردو و فندق و برخی نیز با هدف تاکسیدرمی و فروش آن به نام کاذب سنجاب، اقدام به شکار اشکول در فصل تابستان می‌کنند. توسعه شهرها، جاده‌ها و برش درختان منجر به شکل‌گیری الگوی لکه‌ای در بسیاری از مناطق در امتداد این جنگل‌ها شده و به این ترتیب، این گونه در معرض صدمات ناشی از تکه تکه شدگی زیستگاه‌ها در حال حاضر نیز قرار دارد.

به طور کلی می‌توان اذعان داشت که مطالعات مبتنی بر نظریه پناهگاه‌ها کمتر بخش شرقی منطقه زیست‌جغرافیایی پالتارکتیک را در بر گرفته است و تنها مطالعه صورت گرفته در کشور که از اشکول به عنوان یک مدل بهره‌گیری کرده است، پژوهشی است که توسط Naderi et al. (2013) انجام پذیرفت و در آن بر نقش جنگل‌های هیرکانی کشور به عنوان پناهگاهی ارزشمند در دوره یخبندان بزرگ تأکید شد. نتایج حاصل از این مطالعه، نشان از واگرایی تکاملی بسیار بالا (با واگرایی درون‌گونه‌ای بالغ بر ۱۲ درصد) گونه اشکول از سایر تبارهای شناخته‌شده در دنیا داشت. به این ترتیب

گلیداغ در شرق را به طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر و عرض متغیر ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر پوشش می‌دهند. از سوی دیگر، جنگل‌های خزری از سطح دریا تا ارتفاع حدود ۲۸۰۰ متر گسترش یافته و اغلب از تیپ‌های آمیخته راش، ممرز، بلوط، افرا و توسکا تشکیل شده است. به طور کلی در پنج زیستگاه مختلف در امتداد این مناطق، نمونه‌گیری از جمعیت‌ها انجام شد (جدول ۱ و شکل ۱). با توجه به این که جمعیت‌های محلی این گونه به شکل منقطع و در برخی مناطق قابل مشاهده هستند، زیستگاه‌های مورد مطالعه به صورت تصادفی و با پیمایش ترانسکت‌های شبانه انتخاب شدند؛ به طوری که توزیع نسبتاً متعادلی از جمعیت‌ها در طول جنگل‌های هیرکانی به دست آید. نمونه‌های مورد بررسی اغلب از نمونه‌های شکار شده توسط شکارچیان و کشاورزان در فصول برداشت محصولات باغی بویژه گردو و فندق به دست آمدند.

ریخت‌شناسی هندسی

در دهه‌های اخیر شیوه جدیدی توسعه پیدا کرده است که آنالیزهای آماری چندمتغیره را در تحلیل ساختارهای ریخت‌شناختی مورد استفاده قرار می‌دهد. این شیوه که به سرعت نیز رو به رشد است، ریخت‌شناسی هندسی (Geometric morphometric) نامیده می‌شود. ایده بنیادین این شیوه امکان مقایسه ساختارهای ریختی از طریق شکل صرفنظر از اندازه آن است. به این ترتیب، اندازه‌گیری‌های خطی استاندارد بین نقاطی خاص بر روی ساختار مورد نظر مورد استفاده قرار نگرفته و به جای آن، مختصات کارتزین این نقاط (لندمارک‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پژوهش صورت گرفته توسط این محققان، برای اولین بار، تبار ایرانی اشکول را معرفی کرده و بر نقش جنگل‌های هیرکانی ایران به عنوان پناهگاهی مهم در دوران زمین‌شناختی کواترنری تأکید کردند. در این پژوهش، سعی بر آن شد تا بر اساس شاخص‌های ریختی به‌عنوان مارکری در تعیین ساختار زیست جغرافیایی درون‌گونه‌ای (Deffontaine et al., 2005; Deffontaine et al., 2009)، نقش خردپناهگاهی بخش‌هایی از جنگل‌های هیرکانی در دوران زمین‌شناختی کواترنری مورد بررسی قرار گیرد. در بین مارکرهای مختلف ریختی برای چنین مطالعاتی، بررسی مندبیل زیرین (فک زیرین) می‌تواند تفاوت‌های ریختی را حتی در مقیاس‌های زمانی کوتاه نیز منعکس کند (Renaud & Michaux 2007). این پرسش که آیا نقش واگرایی‌های ریختی در طول جنگل‌های شمال کشور برای این گونه اتفاق افتاده است یا خیر، بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی آبی از این اکوسیستم‌ها، تأثیر زیادی باقی گذارد.

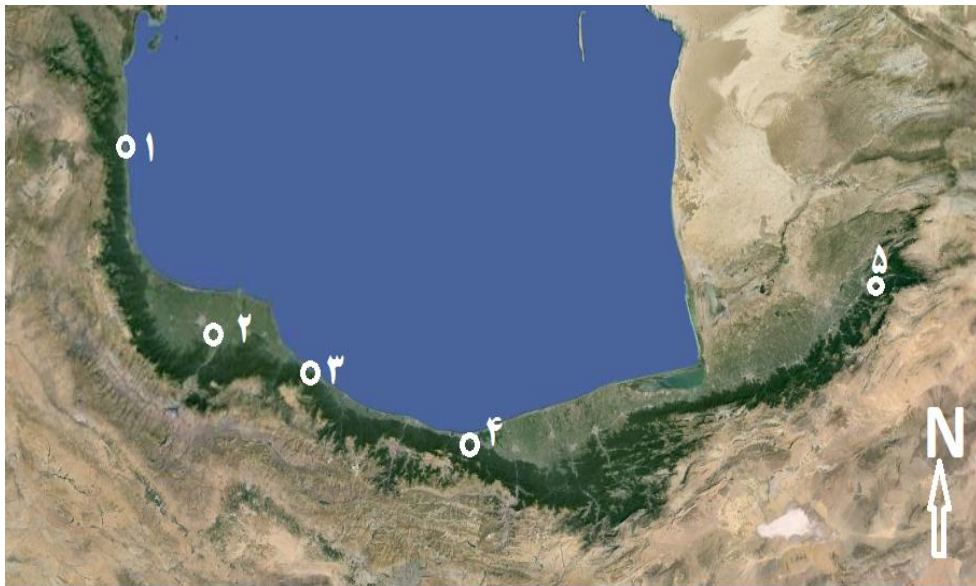
مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

زیستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده جنگل‌های هیرکانی از لوندویل تا نزدیکی منتهی‌الیه شرقی پراکنش این جنگل‌ها (منطقه کلالة) قرار دارند. وسعت جنگل‌های دامنه شمالی البرز، که به جنگل‌های ناحیه رویشی هیرکانی یا خزری شهرت دارد، بالغ بر ۱۸۴۷۸۸۶ هکتار برآورد می‌شود (سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۱۳۸۶). این جنگل‌ها، نیمرخ شمالی البرز از آستارا در غرب تا

جدول ۱. زیستگاه‌های مورد مطالعه در طول جنگل‌های هیرکانی

| ردیف | نام زیستگاه | مختصات جغرافیایی | میانگین ارتفاع (m) |
|------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| ۱ | لوندویل | ۳۸°۴۸' N، ۴۸°۴۸' E | ۲۱۸ |
| ۲ | محدوده شهرستان رامسر | ۳۶°۳۹' N، ۵۰°۵۰' E | ۲۵ |
| ۳ | محدوده شهرستان سیاهکل | ۳۷°۵۵' N، ۴۹°۴۹' E | ۴۹۵ |
| ۴ | محدوده شهرستان نور | ۳۶°۰۷' N، ۵۲°۵۲' E | -۹ |
| ۵ | محدوده شهرستان کلالة | ۳۷°۳۱' N، ۵۵°۵۵' E | ۳۸۴ |



شکل ۱. موقعیت زیستگاه‌های محل جمعیت‌های مورد مطالعه (شماره‌ها با جدول ۱ منطبق هستند)

طوری که دوربین موازی با سطح زمین باشد. همچنین با کمک یک دستگاه ترازپاب، از تراز بودن دوربین اطمینان حاصل شد. برای تصویربرداری فقط از یک مندیبل (مندیل‌های راست نمای داخلی) استفاده شد. لازم به ذکر است تفاوتی در انتخاب مندیبل‌ها به طور کلی وجود ندارد، ولی باید یک رویهٔ یکسان از نظر راست یا چپ بودن و نمای بیرونی و یا داخلی رعایت شود. تمامی نمونه‌ها کامل بوده و نیازی به ترمیم بخش‌های آسیب دیده با کمک نرم‌افزارهای مورد استفاده وجود نداشت. از یک بستر شطرنجی به عنوان مقیاس برای اندازه‌گیری‌ها در تصویر بهره‌گیری شد. تصاویر گرفته شده با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 ver,2.10 (Rohlf, 1990) رقومی شدند و لندمارک‌ها روی تصاویر قرار داده شد. برای اینکه بتوان لندمارک‌ها را بر روی تصاویر نمونه‌ها قرار داد، فایل تصاویر توسط برنامه TpsUtil ver,1.33 (Rohlf, 2006) به یک فایل Tps تبدیل شدند.

در راستای بررسی تفاوت‌های معنادار بین گروه‌های مورد بررسی، از آزمون همبستگی کانونیک^۱

به این ترتیب، نمونه‌ها با کمک این مختصات مورد مقایسه قرار می‌گیرند. مقادیر یا ارزش این نقاط با کمک آنالیزهای چندمتغیره مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند که متغیرهای شکل (Shape variables) نامیده می‌شوند. در راستای چنین مطالعه‌ای، کلیه نمونه‌های جمع‌آوری شده تعیین جنسیت شده و ویژگی‌های ریختی ظاهری از قبیل طول کلی بدن، وزن، طول دم نیز اندازه‌گیری شد. لذا امکان تمایز افراد بالغ از نابالغ‌ها و همچنین مقایسهٔ ویژگی‌های ریختی ظاهری جمعیت‌ها وجود داشت. برای تعیین جنسیت، علاوه بر توجه به منافذ منجر و واژن، وجود یا عدم وجود باکولوم در نرها نیز به دقت بررسی شد. جمجمه افراد جمع‌آوری شده از شکارچیان و تاکسیدرمیست‌ها به روش جوشاندن (به مدت ۱۰ دقیقه) و تمیز کردن فرد به فرد آماده شدند. برای اطمینان از عدم اشتباه در تعلق جمجمه‌ها به افراد مختلف جمجمهٔ هر فرد بلافاصله با استفاده از ماژیک‌های مقاوم بر روی جمجمه و دو مندیبل زیرین کدگذاری شدند. تصاویر با استفاده از دوربین دیجیتال کانن با قدرت تفکیک دوازده مگاپیکسل گرفته و در فرمت JPEG ذخیره شدند. برای تهیه عکس‌ها، دوربین بر روی یک پایه عکاسی قرار داده شد؛ به

به محدوده شهرستان سیاهکل و رامسر اختلاف معناداری وجود ندارد. در جدول ۵، سطح معناداری (P-value) تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مختلف ارائه شده است. همچنین به منظور بررسی تفاوت‌های ریختی بین نرها و ماده‌ها و همچنین با هدف حذف تأثیر تفاوت‌های ریختی ناشی از طول و عرض جغرافیایی ناحیه پراکنش، این موضوع فقط در بین نمونه‌های متعلق به محدوده شهرستان سیاهکل ($n=56$) با توجه به کفایت نمونه‌های هر دو جنس (۲۷ نر و ۲۹ ماده) مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه این بررسی حاکی از عدم وجود تفاوت معنادار بین صفات ریختی فک زیرین در بین نرها و ماده‌ها و میزان بسیار پایین فاصله پروکراست (PD) بین صفات ریختی فک زیرین نرها و ماده‌ها در این محدوده بوده است ($p=0/11$ و $PD=0/02$) (شکل ۴).

جدول ۲. درصد واریانس توجیه شده و مقادیر ویژه برای جایگاه لندمارک در بین گروه‌های مختلف مورد بررسی

| بردارهای کانونی | مقادیر ویژه | درصد واریانس توجیه شده | درصد تجمعی |
|--------------------|----------------|---------------------------|---------------|
| ۱ | ۳/۴۵ | ۵۵/۵۳ | ۵۵/۵۳ |
| ۲ | ۱/۳۷ | ۲۲/۰۸ | ۷۷/۶۳ |
| ۳ | ۰/۵۷ | ۹/۳۰ | ۸۶/۹۳ |
| ۴ | ۰/۳۳ | ۵/۴۳ | ۹۲/۳۶ |
| ۵ | ۰/۳۰ | ۴/۸۴ | ۹۷/۲۰ |
| ۶ | ۰/۱۷ | ۲/۷۹ | ۱۰۰ |

جدول ۳. سطح معناداری (P-value) برای فواصل پروکراست بین گروه‌های مختلف مورد بررسی (با ۱۰۰۰۰ تکرار)

| ظ | رامسر | لوندویل | گردنه | نور | حیران |
|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| سیاهکل | | | | | |
| رامسر | | ۰/۰۱۲۲ | | | |
| لوندویل | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۲۱۳۵ | | | |
| گردنه | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۲۸۶۷ | | | |
| حیران | | | | | |
| نور | ۰/۰۰۶۳ | ۰/۱۸۵۹ | ۰/۰۰۶۴ | ۰/۱۰۵۹ | |
| کلاله | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۶ | <۰/۰۰۰۱ |

(CVA) بهره‌گیری شد (Zelditch et al., 2004). این آزمون در واقع برای دسته‌بندی افراد ناشناخته به گروه‌های از پیش مشخص شده طراحی شده است. این روش اغلب در ریخت‌سنجی در تکنیک‌های دسته‌بندی برای بررسی اینکه آیا دو گروه یا بیش از دو گروه در میانگین آنها تفاوت دارند، استفاده می‌شود (Mitteroecker & Gunz, 2009). همچنین از این روش می‌توان در تعیین ارتباط افراد با منشأ ناشناخته به جمعیت‌های شناخته شده استفاده کرد (Claridge & Gillham, 1992). در این مطالعه از CVA برای آنالیز ماتریس کواریانس نمونه‌ها با این هدف که آیا دو گروه نر، ماده از نظر ریختی با هم متفاوت هستند یا خیر و همچنین یافتن محورهایی که بزرگترین تغییرات بین محورها را نشان می‌دهند استفاده شد. این آنالیز توسط برنامه MorphoJ انجام پذیرفت.

نتایج

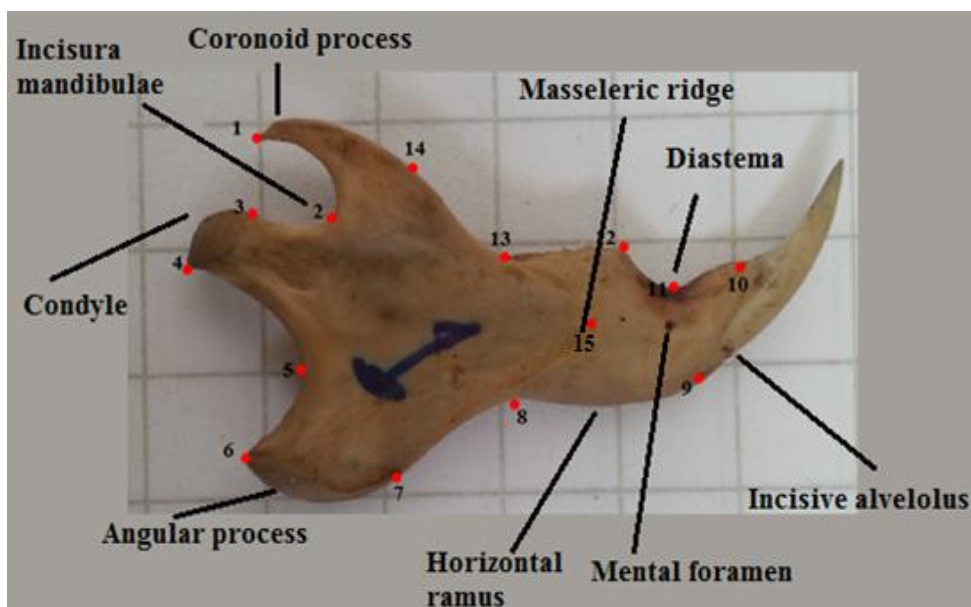
پراکندگی لندمارک‌های تعریف شده بر روی فک زیرین بعد از تحلیل پروکراست در شکل ۳، نمایش داده شده است. در این شکل، نمای کلی از وضعیت تفاوت بین نمونه‌های مختلف از نظر محل زیستگاه قابل مشاهده است. نقاط متراکم نشان‌دهنده نزدیکی لندمارک‌های تعریف شده به هم و نقاط دورافتاده‌تر نشان‌دهنده تفاوت‌های موجود از نظر جایگاه آن لندمارک در نمونه‌های مختلف است.

تحلیل همبستگی کانونی (CVA)

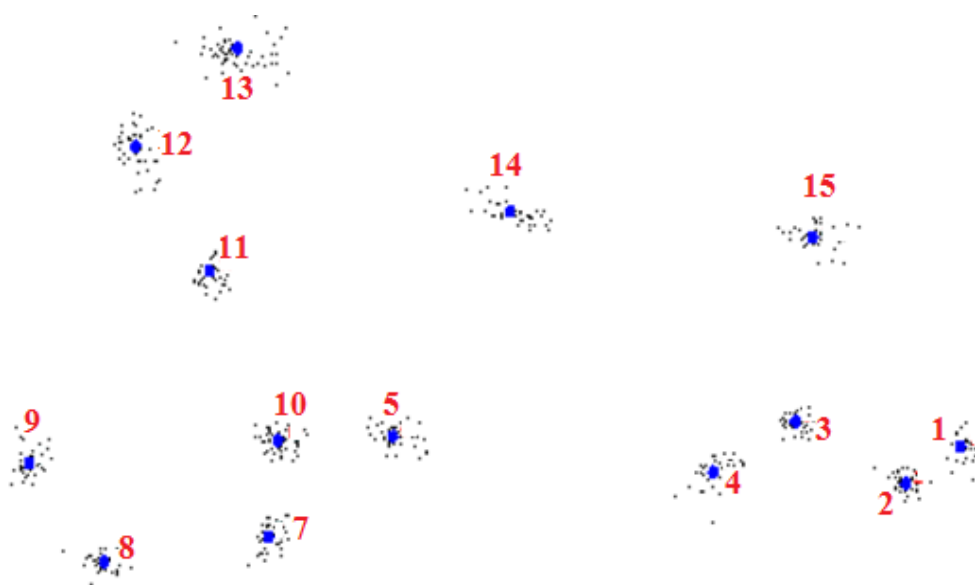
تحلیل CVA برای بررسی معناداری تفاوت‌های ریختی در بین جمعیت‌های مختلف مورد بررسی حاکی از تفاوت معنادار و نسبتاً زیاد جمعیت متعلق به منتهی الیه پراکنش شرقی گونه یعنی محدوده شهرستان کلاله با سایر جمعیت‌های مورد بررسی است. CV1 و CV2 مجموعاً ۷۷/۶۳ درصد واریانس بین گروه‌های مورد بررسی از نظر جایگاه میانگین لندمارک‌های تعبیه شده بر روی فک زیرین را توجیه می‌کنند (جدول ۲). بین نمونه‌های متعلق

کمترین وزن را داشت و از این به بعد، تفاوتی معنادار با سایر جمعیت‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

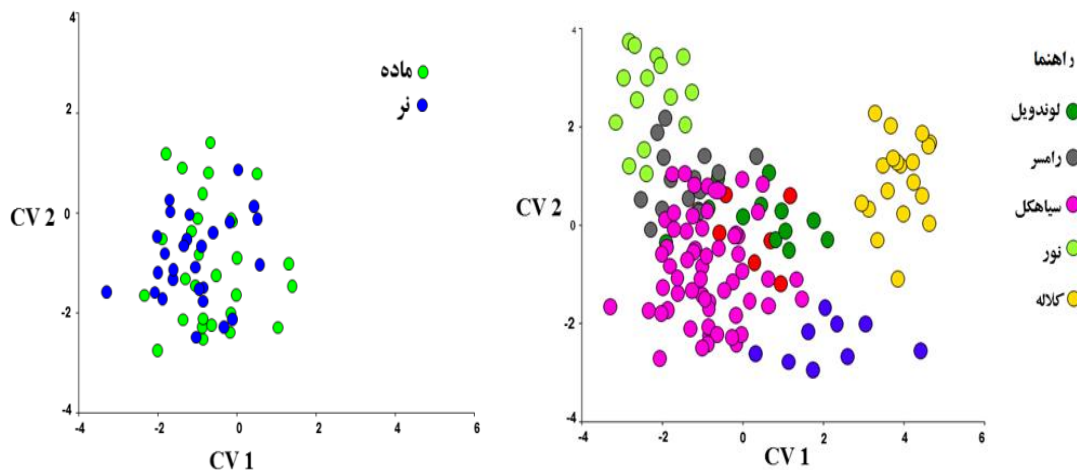
در ادامه میانگین وزن و طول سر و بدن و دم ارائه شده است (جدول ۴). مشاهده می‌شود که به طور میانگین، افراد متعلق به منطقه کلاکه



شکل ۲. موقعیت لندمارک‌ها بر روی مندیبل راست گونه مورد مطالعه



شکل ۳. پراکندگی جایگاه لندمارک‌های روی هم گذاری شده نمای عمودی فک زیرین تمامی افراد بعد از آنالیز پروکراست (GPA). اعداد نشان‌دهنده شماره لندمارک‌های تعریف شده و نقاط پر رنگ میانگین محل فرارگیری این لندمارک‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۴. نتایج آزمون CVA برای پی بردن به تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مختلف (در محدوده لوندویل و رامسر نمونه‌هایی از جمعیت‌هایی با فاصله کمتر از پنج کیلومتر در تحلیل‌ها وارد شدند) (شکل چپ). نتایج آزمون CVA برای پی بردن به تفاوت‌های ریختی بین نرها و ماده‌های متعلق به محدوده شهرستان سیاهکل (شکل راست).

جدول ۴. میانگین وزن و طول سر و بدن و دم

| جمعیت | میانگین وزن به گرم (با دقت ۰/۱ گرم) | میانگین طول سر و بدن (پوزه تا مخرج) (cm) | میانگین طول دم (cm) |
|---------|--|---|------------------------|
| لوندویل | ۱۴۲/۷۶ | ۱۷/۹۸ | ۱۷/۰۶ |
| رامسر | ۲۳۴ | ۱۹/۹۷ | ۱۸/۷۲ |
| سیاهکل | ۲۰۶/۱۲ | ۱۸/۱۵ | ۲۰/۲۳ |
| نور | ۲۰۳/۱۷ | ۱۸/۱۷ | ۱۹/۰۱ |
| کلاله | ۱۰۵/۴۳ | ۱۵/۰۴ | ۱۵/۲۵ |

بحث و نتیجه‌گیری
استخوان فک زیرین بسیاری از جوندگان در مطالعات تکامل ساختارهای پیچیده ریختی مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند؛ چراکه به خوبی و با سرعت بیشتری تغییرات تکاملی ریختی در جوندگان را نشان می‌دهند (Li, 1989) و بر این اساس نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گونه اشکول را می‌توان به دو گروه کاملاً واگرا از یکدیگر در محدوده مورد مطالعه تقسیم کرد. این مسئله حاکی از واگرایی درون‌گونه‌ای اشکول در طول جنگل‌های هیرکانی است. همان‌طور که سایر مطالعات مبتنی بر ژن نشان می‌دهند، این گونه واگرایی زیادی از سایر جمعیت‌های محدوده زیست جغرافیایی پالئارکتیک پیدا کرده

(Naderi *et al.*, 2013) و در عین حال، به دلیل بقای درازمدت و بدون ارتباط با سایر جمعیت‌های دامنه غربی پالئارکتیک، مسیر تکاملی مجزایی را طی کرده است. نتایج این پژوهش شواهدی اولیه‌ای مبنی بر وجود خردپناهگاه و یا پناهگاه‌هایی در میان «پناهگاه مادری» در کشور ارائه می‌کند که لازم است با مطالعات ریخت‌شناختی و مولکولی بیشتر تأیید شود. محققان مختلفی در سایر بخش‌های دنیا به وجود خردپناهگاه‌ها، اشاره می‌کنند. به‌عنوان مثال در شبه جزیره ایبری، مطالعات انجام شده در خصوص *Apodemus ilex* در چین (که حاکی از وجود خردپناهگاه است)، خردپناهگاه‌هایی که در اثر جدایی اقلیمی (Louis & Diethard, 2003)،

ریشه این تفاوت‌ها را باید در ژن‌ها جستجو کرد. جنگل‌های هیرکانی کشور به‌عنوان شرقی‌ترین نقطه حضور اشکول، محسوب می‌شود و شرق این جنگل‌های باستانی نیز آخرین نقطه از حضور این گونه محسوب می‌شود. بنابراین، انتظار می‌رود با بقای درازمدت گونه در این پناهگاه و احتمالاً خردپناهگاه‌ها منجر به سیر تکاملی مجزایی از سایر جمعیت‌های حوزه زیست‌جغرافیایی پالئارکتیک شده است. چنین واگرایی‌های تکاملی در امتداد این زیستگاه‌های باستانی و باقی مانده از عصر یخبندان نیز اتفاق افتاده است که بر ارزش دوچندان این لکه‌های داغ حفاظتی و مراکز گسترش تنوع زیستی و آندمیسم صحه می‌گذارد.

سپاسگزاری

از حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست جمهوری و همچنین از زحمات بی‌شائبه آقایان افشین داورپناه، مهدی کامران، گل حسن‌پور روح، نبی ملکی، پوریا صفری و کلیه کسانی که در انجام این پژوهش از کمک و یاری دریغ نوزیدند، تشکر و قدردانی می‌شود.

جدایی توپوگرافیکی (Zhao & Yang, 1997) و یا زیستگاهی (Yao *et al.*, 2010) به وجود آمده‌اند. به نظر می‌رسد جدایی خردزیستگاهی و اثرات کمتر اقلیمی توسط دریای خزر در منتهی‌الیه بخش شرقی هیرکانی، احتمالاً باعث ایزوله شدن این جمعیت از سایر جمعیت‌های بخش میانی محدوده هیرکانی و در نهایت، واگرایی ریختی شده است. البته چنین نتیجه‌گیری تا تکمیل شدن بررسی‌های مولکولی و ریختی دیگر لزوماً باید با احتیاط تفسیر گردد. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، میزان تفاوت‌های ریختی در مندیل به خاطر رژیم غذایی در بین جمعیت‌های متعلق بین یک گونه چندان بیشتر از تفاوت‌های ایجاد شده در اثر سن و یا تفاوت بین جنس‌های نر و ماده نیست؛ به طوری که میانگین فواصل پروکراستس بین گروه‌هایی با تیمار غذایی متفاوت کمتر از فواصل بین جمعیتی با زیستگاه‌هایی مختلف می‌باشد (Li, 1989). بنابراین به نظر می‌رسد تفاوت‌های ریختی فاحش در شکل هندسی مندیل زیرین اشکول بین جمعیت کلاله و سایر بخش‌های کشور را نمی‌توان به رژیم غذایی ارتباط داد، بلکه

REFERENCES

- Claridge, M.F.; Gillham, M.C. (1992). Variation in populations of leafhoppers and planthoppers (*Auchenorrhyncha*): biotypes and biological species, pp. 241–259. In: Footitt, R.G., Sorensen, J.T. (Eds.), *Ordination in the study of morphology, evolution and systematics of insects: applications and quantitative genetic rationales*. Elsevier, New York, p. 418.
- Deffontaine, V.; Libois, R.; Kotlík, P.; Sommer, Nieberding; R.C.; Paradis, E.J.; Searle B.; Michaux, J.R. (2005). Beyond the Mediterranean peninsulas: evidence of central European glacial refugia for a temperate forest mammal species, the bank vole (*Clethrionomys glareolus*), *Molecular Ecology* Vol. 14 (6), PP. 1727–1739.
- Deffontaine, V.; Renaud, S.; Fontaine, M.; Quere, J.; Libois, R. (2009). A relic bank vole lineage in the French Basque country highlights the biogeographical history of Pyrenean Mountains in Europe, *Molecular Ecology*, Vol. 18 (11), PP. 2489–2502.
- Helvaci, Z.; Renaud, S.; Ledevin, R.; Adriaens, D.; Michaux, J.; Çolak, R.; Kankiliç, T.; Kandemir, I.; Yiğit, N.; & Çolak, E. (2012). Morphometric and genetic structure of the edible dormouse (*Glis glis*): a consequence of

- forest fragmentation in Turkey. *Biological Journal of the Linnean Society* Vol. 107(3), PP. 611–623.
- Hewitt, G.M. (1999). Post-glacial recolonization of European biota. *Biological Journal of the Linnean Society* Vol. 68, (1-2), PP. 87–112.
- Hewitt, G.M. (2000). The genetic legacy of the Quaternary ice ages, *Nature*, Vol. 405, PP. 907–913.
- Hewitt, G.M. (2004). The structure of biodiversity-insight from molecular phylogeography, *Frontiers in Zoology* 1,4.
- Holden, M.E. (2005). Family Gliridae, *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (D. E. Wilson and D. M. Reeder, eds.). 3rd ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, PP. 819–841.
- Hürner, H.; Krystufek, B.; Sarà, M.; Ribas, A.; Ruch, T.; Sommer, R.; Ivashkina, V.; Michaux, J.R. (2010). Mitochondrial phylogeography of the edible dormouse (*Glis glis*) in the Western Palearctic Region, *Journal of Mammalogy*, Vol. 91(1), PP. 233–242.
- Kryštufek, B., 2010. *Glis glis* (Rodentia: Gliridae), *Mammalian Species*, Vol.42 (865), PP. 195-206.
- Li, B.Y. (1989). Geomorphologic regionalization of the Hengduan Mountainous region, *Journal of Mountain Research*, Vol. 7, Issue 1, PP. 13–20.
- Louis, B.; Diethard, T. (2011). Micro-evolutionary divergence patterns of mandible shapes in wild house mouse (*Mus musculus*) populations, *Evolutionary Biology*, 11:306
- Martino, V.E.; Martino, E.V. (1941). Material for the ecology and classification of the great dormouse (*Glis* sp.). *Zapiski Russkogo Nauchnago Instituta v Belgrade*, Vol. 17, PP. 1–10.
- Michaux, J.R.; Libois, R.; Davison, A.; Chevret, P.; Rosoux, R. (2004). Is the western population of the European mink, (*Mustela lutreola*), a distinct management unit for conservation?, *Biological Conservation*, Vol. 115 (3), PP. 357–367.
- Mitteroecker, P.; Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics, *Evolutionary Biology*, Vol. 36, Issue 2, PP.235–247.
- Morris, P. (1997). A review of the fat dormouse (*Glis glis*) in Britain, *Natura Croatica* Vol. 6 (2), PP. 163–176.
- Mouton, A.; et al. (2012). Using phylogeography to promote dormouse conservation: the case of *Muscardinus avellanarius* (Rodentia, Gliridae), *PECKIANA* Vol. 8, PP. 255–264
- Naderi, Gh.; Kaboli, M.; Koren, T.; Karami, M.; Zupan, S.; Rezaei, H.R.; Krystufek, B. (2013). Mitochondrial evidence uncovers a refugium for the fat dormouse (*Glis glis* Linnaeus, 1766) in Hyrcanian forests of northern Iran, *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, Vol. 79 (3), PP. 202-207
- Pilastro, A.; Tavecchia, G.; Marin, G. (2003). Long living and reproduction skipping in the fat dormouse, *Ecology* Vol. 84 (7), PP. 1784–1792.
- Renaud, S.; Michaux, J.R. (2007). Mandibles and molars of the wood mouse, *Apodemus sylvaticus* (L.): integrated latitudinal pattern and mosaic insular evolution. *Journal of biogeography*, Vol. 34 (3) PP. 339-355.
- Rohlf, F.J. (1990). *TpsSmall* Version 1.20. Ecology and Evolution, SUNY at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F.J. (2006). *TPSDIG*, version 2.10., Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Taberlet, P.; Fumagalli, L.; Wust-Saucy,

- A.G.; Cosson, J.F. (1998). Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe, *Molecular Ecology*, Vol. 7 (4), PP. 453-464.
- Yao, Y.H.; Zhang, B.P.; Han, F.; Pang, Y. (2010). Spatial Pattern and Exposure Effect of Altitudinal Belts in the Hengduan Mountains. *Journal of Mountain Science* Vol. 28, PP. 11–20.
- Zelditch, M.L.; Swiderski, D.L.; Sheets, H.D.; Fink, W.L. (2004). Elsevier Academic Press, New York and London, 437p
- Zhao, E.; Yang, D. (1997). Amphibians and reptiles of the Hengduan Mountain region, In: Sun HL, editor. Beijing: Science Press.