



دانشگاه رازی

دانشکده علوم

جلسه دفاع از پایان نامه دکتری

عنوان:

ارزیابی وضعیت تبارزادی و آرایه‌شناختی هم‌تافت گونه *Eremias persica* در ایران بر پایه داده‌های

مولکولی و ریخت‌شناختی

ارائه دهنده: سید حسن مرادی

زمان: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶ ساعت ۱۴:۰۰



ایجناب سید حسن مرادی، موفق به اخذ مدرک کارشناسی زیست‌شناسی دبیری در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه آزاد اسلامی مشهد و دوره کارشناسی ارشد در رشته زیست‌شناسی جانوری گرایش بیوسیتاتیک در سال ۱۴۰۰ از دانشگاه حکیم سبزواری شد و در حال حاضر دانشجوی مقطع دکتری بیوسیتاتیک جانوری در دانشگاه رازی کرمانشاه می‌باشم. مطالعات اینجناب در زمینه آرایه‌شناسی، فیلوژنی مولکولی و بوم‌شناسی خزندگان متمرکز است و در طی دوران تحصیل افتخار آشنایی و همکاری با اساتید برجسته‌ای همچون دکتر نصراله رستگار پویانی، دکتر اسکندر رستگار پویانی، دکتر سید سعید حسینیان یوسفخانی، دکتر علیرضا کینسر وی، دکتر مجید مومنی مقدم داشته‌ام.

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت
۱	دکتر نصراله رستگار پویانی	استاد راهنمای اول
۲	دکتر اسکندر رستگار پویانی	استاد راهنمای دوم
۳	دکتر وحید اکملی	داور
۴	دکتر احمد قارزی	داور
۵	دکتر محمدرضا غلامی (از دانشگاه علوم پزشکی)	داور خارجی
۶	دکتر علی قنبری (از دانشگاه علوم پزشکی)	داور خارجی
۹	دکتر لطیف پور کریمی	نماینده تحصیلات تکمیلی

## چکیده:

مجموعه بزرگی از سوسماران بیابانی خانواده لاسرتیده در فلات مرکزی، شرق و شمال شرق ایران به طور سنتی تحت عنوان *Eremias persica*, Balnford 1875 شناخته می‌شوند. مطالعات پراکنده اخیر نشان داده که این گونه با پراکنش وسیع در ایران، مشکل از جمعیت‌های متعدد دارای ریخت‌شناسی متنوع با تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر هستند که برخی به تازگی به عنوان گونه‌های جدید معرفی شده‌اند؛ بنابراین در حال حاضر *E. persica* در ایران معرف یک هم‌تافت گونه با جمعیت‌های متمایز و وضعیت آرایه‌شناختی نامشخص است. رساله حاضر، با بهره‌گیری از توالی‌های دو نشانگر میتوکندریایی (*Cytochrome b* و *12s rRNA*)، داده‌های ریخت‌شناختی و بوم‌شناختی این مجموعه در محدوده پراکنش آن در ایران، به دنبال حل ابهامات موجود و تعیین جایگاه آرایه‌شناختی این جمعیت‌ها است. برای این منظور، مجموعه‌ای از ۱۸۱ نمونه (شامل نمونه صید شده، بافت و DNA موزه‌ای) برای مطالعات مولکولی و ۸۳ نمونه برای مطالعات ریخت‌شناختی از جمعیت‌های ۷۰ منطقه در ایران گردآوری شدند. در نتیجه ۱۹ صفت اندازه‌شی، ۹ صفت شمارشی و ۶ صفت نسبی، و همچنین مجموعه‌ای از صفات کیفی به منظور ارزیابی تفاوت‌های ریختی میان جمعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، مدل‌سازی پردازش بوم‌شناختی به منظور ردیابی پارامترهای زیست‌محیطی مؤثر و محدود کننده پراکنش کلادها انجام گرفت. براساس مدل‌های حاصل میزان هم‌پوشانی و صحت‌سنجی مشاهدات پرت انجام گرفت، و مساحت پردازش بوم‌شناختی بالقوه برای هر گونه یا کلاد مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج حاصل از داده‌های مولکولی موقعیت *E. rafiqi* و *E. fahimii* را به عنوان دو گونه مجزا و تاکسون‌های خواهری مجموعه مورد بررسی، تأیید کرد. همچنین الگوی تبارزادی حاکی از وجود دو کلاد هم‌جا مربوط به *E. fahimii* می‌باشد، که در اینجا به عنوان زیرگونه‌هایی با اختلاف ژنتیکی معنادار معرفی شدند. از جمعیت‌های منسوب به هم‌تافت گونه *E. persica* در مجموع ۴ کلاد تک‌تبار با پراکنش مجزا شناسایی گردید. توزیع *E. persica sensu stricto* به نواحی مرکزی تا جنوب ایران محدود گشت، و وجود زیر جمعیت‌هایی با توزیع ناهم‌جا در گونه پیشنهادی *E. sp2* شناسایی گردید. در نهایت آزمون‌های ژنتیک جمعیت، جدایی ناشی از یک رخداد انشعاب سازشی یا کلادزایی سریع را در بین مجموعه شناسایی کردند. تخمین ساعت مولکولی نیز بر پایه رویداد زمین‌شناختی کوه‌زایی زاگرس در حدود ۱۲ میلیون سال پیش، انجام گرفته. تخمین‌های ساعت مولکولی نشان دادند که در بازه زمانی ۴ تا ۵ میلیون سال پیش جدایی *E. fahimii* و *rafiqi* از هم‌تافت گونه *E. persica* صورت گرفته و به دنبال آن در یک بازه کوتاه زمانی ۳ میلیون ساله (در حدود ۳.۶ میلیون سال تا ۶۰۰ هزار سال پیش) کلادزایی اصلی هم‌تافت گونه *E. persica* شروع شده‌است. در نهایت، هفت لکه زیستگاهی با هم‌پوشانی غیرمعنادار در جمعیت‌های شرقی و مرکزی مربوط به هم‌تافت گونه مورد بررسی شناسایی شد.

مدل‌های زیستگاهی در بیشینه مساحت زیستگاه مناسبی برابر با ۶۸۸،۸۹۶.۳۱ کیلومتر مربع، برای مجموع تمام گونه‌های مورد بررسی در فلات ایران شناسایی کردند. بر مبنای نتایج مدل‌سازی، توزیع گونه‌های پیشنهادی به محدوده شرقی شیب رشته کوه زاگرس در ایران و بخش‌هایی محدودی از غرب افغانستان، متمرکز است. با این حال، *E. rafiqi* تنها گونه از این مجموعه است که تا شمال پاکستان نیز پراکنش

دارد. مشابه تمایزات زیست‌محیطی و ژنتیکی، درجاتی از واگرایی معنادار ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ) میان صفات ریختی نیز در این مجموعه مشاهده شد. بر این اساس، صفات ارتفاع سر (HH)، طول اندام حرکتی عقبی (LHL)، فاصله بین لبه خلفی چشم تا لبه قدامی حفره شنوایی (ETD) و طول عریض‌ترین قسمت قاعده دم (LBT) به عنوان صفات مبین دوشکلی جنسی، شناسایی شدند. همچنین، طول پوزه تا مخرج (SVL)، فاصله خلفی بین دو چشم (IOD)، تعداد ردیف‌های عرضی فلس‌های شکمی (NTVS)، تعداد فلس‌های پشتی (NDS) و تعداد تیغه‌های زیر انگشت چهارم پا (SDLT) به عنوان صفات متمایزکننده گونه‌ها در آزمون‌های تک متغیره، معرفی شدند. تحلیل‌های چند متغیره مؤلفه‌های اصلی (PCA) و توابع ممیزی (DFA) بر روی تمام گونه‌ها نشان داد که صفات طول سر، تعداد منافذ رانی (NFP)، تعداد تیغه‌های زیر انگشت چهارم پا و تعداد ردیف‌های عرضی فلس‌های شکمی، اهمیت ویژه‌ای در تمایز خوشه‌ها دارند. همچنین، این تمایزات در الگوی هندسی فلس‌های سری نیز بین گونه‌ها شناسایی گردید. در نهایت بر مبنای تمایزات ریختی سنجیده شده، کلید شناسایی جنس *Eremias* به‌روزرسانی و با در نظر گرفتن کلادهای جدید ارائه گردید. بر این اساس، فرضیه یکپارچگی جمعیت‌های منتسب به *E. persica* در فلات ایران رد شد. از بین کلادهای ژنتیکی شناسایی شده سه رتبه گونه برای جمعیت‌های شرقی و شمال شرقی ایران از هم‌تفات *E. persica* و سه رتبه زیرگونه‌هایی برای جمعیت‌های شمال شرقی و مرکزی گونه‌های پیشنهادی *E. sp2 C2* و *E. sp3 C2* و گونه *E. fahimii* شناسایی گردید. کلادهای شناسایی شده توسط داده‌های ریختی و ژنتیکی پشتیبانی می‌شوند. در نهایت تحلیل‌های ژنتیکی، وجود دامنه جغرافیایی ویژه و محدودیت‌های خاص زیستگاهی و تفکیک پردازش بوم‌شناسی، الگوی تاریخ تکاملی این کلادها را تحت تأثیر یک انشعاب سریع باستانی و انقراض‌های پس از آن تأیید می‌کنند.

## :Abstract

*Eremias persica* Blanford, 1875 (Persian racerunner) is one of the lacertid species with a wide distribution across the Iranian Plateau that has been relatively understudied. Recent scattered studies have revealed that this species in Iran consists of multiple populations exhibiting diverse morphologies and considerable differences, some of which have recently been described as new species. Accordingly, *E. persica* in Iran appears to represent a species complex consisting of distinct populations with unclear taxonomic status. The present dissertation, utilizing mitochondrial markers (*Cytochrome b* and *12s rRNA*), as well as morphological and ecological data across the species' distribution range in Iran, aims to resolve the existing ambiguities and determine the taxonomic position of these populations. To this end, a total of 181 samples (including field-collected specimens, tissue samples, and museum-preserved DNA) were gathered for molecular studies, and 83 specimens were used for morphological analyses, representing populations from 70 localities across Iran. As a result, 19 morphometric traits, 9 meristic traits, 6 ratio-based traits, along with a set of qualitative features, were assessed to evaluate morphological differences among populations. Subsequently, ecological niche modeling was conducted to trace the environmental parameters influencing and limiting species distributions. Based on the resulting models, overlap and validation of outlier observations were assessed, and the potential ecological niche area was estimated for each species or clade.

Molecular data confirmed the distinct species status of *E. rafiqi* and *E. fahimii* as sister taxa within the studied complex. Additionally, the phylogenetic pattern indicated the presence of two sympatric clades (secondary sympatric)

within *E. fahimii*, which are introduced here as subspecies with significant genetic differentiation. Among the populations previously grouped under the *E. persica* complex, four monophyletic clades with separate distributions were identified. The distribution of *E. persica sensu stricto* was found to be restricted to central and southern regions, while two relict populations in the proposed species *E. sp2* were identified from eastern and central regions of Iran. Population genetic analyses revealed divergence resulting from either an adaptive radiation event or rapid cladogenesis within the complex. Molecular clock estimations, calibrated using the orogenic event of the Zagros Mountains approximately 12 million years ago, suggest that the divergence of *E. rafiqi* and *E. fahimii* from the *E. persica* complex occurred between 5 and 4 million years ago. Subsequently, the primary cladogenesis of the *E. persica* complex is estimated to have occurred over a short time span of approximately 3 million years, from around 3.6 million to 600 thousand years ago.

Ecological niche models identified seven habitat patches exhibiting a non-significant degree of overlap between eastern and central populations of the studied species. Additionally, a maximum suitable habitat area of 688,896.31 km<sup>2</sup> was estimated for all *Eremias* species examined across the Iranian Plateau. Based on the results, the distribution of the proposed species is concentrated along the eastern slope of the Zagros Mountains in Iran and in limited parts of western Afghanistan. However, *E. rafiqi* is the only species within this group whose range extends into northern Pakistan. Similar to the ecological and genetic differentiations, significant degrees of divergence ( $p \geq 0.05$ ) were also observed among morphological traits within this group. Accordingly, head height (HH), hindlimb length (LHL), distance between posterior edge of eye to the anterior edge of tympanum (ETD), and the length of widest part of belly (LBT) were identified as traits indicative of sexual dimorphism. Moreover, snout-to-vent length (SVL), posterior interorbital distance (IOD), the number of transverse rows of ventral scales (NTVS), the number of dorsal scales (NDS), and the number of sub-digital lamellae under the fourth toe (SDLT) were introduced as species-distinguishing traits in univariate analyses. Multivariate analyses, including principal component analysis (PCA) and discriminant function analysis (DFA), conducted on all species, revealed that head length, number of femoral pores (NFP), number of sub-digital lamellae under the fourth toe, and number of transverse rows of ventral scales play a particularly important role in cluster differentiation. Furthermore, such distinctions were also observed among species in the geometric pattern of head scales. Finally, based on the assessed morphological differentiations, the identification key for the genus *Eremias* was updated and presented with consideration of the newly identified clades; the genetically identified clades were recognized as distinct species and subspecies, both morphologically and genetically, each with a specific geographic range and unique habitat constraints, and the hypothesis of population unity attributed to *E. persica* on the Iranian Plateau was rejected.