گفتوگو

ردیابی اثر عصر یخبندان بر جمعیت موجودات زندهٔ ایران

مروری بر یک بررسیِ موردی

دکتر حسین رجائی
مرکز زیست‌شناسی گریندل و موزهٔ جانورشناسی، دانشگاه هامبورگ، آلمان
دکتر ابوالفضل عرب‌جوشقانی
گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد

کلیدواژه‌ها: پراکنش جانداران، تنگنای ژنتیک، یخبندان کواترنری.

مقدمه

پرسش دربارهٔ حوادثی که در گذشته روی کرهٔ زمین رخ داده است و تأثیر این رویدادها بر موجودات زنده پرسش جدیدی نیست. قرن‌های متمادی است که انسان از خود می‌پرسد که خود او و دیگر جانوران و گیاهان از کجا و چگونه به‌وجود آمده‌اند؟ موجودات زنده چرا و به چه ترتیب چنین پراکنشی دارند؟ عوامل تعیین‌کنندهٔ این نحوهٔ توزیع موجودات زنده چه بوده و کدام عوامل مهم‌ترند؟

در دوره‌های مختلف زمانی و بسته به سطح دانش بشر، همواره پاسخ‌های متفاوتی به این سؤالات داده شده است. اما از آنجا که شناخت هر چه بیشتر رخدادهای گذشته و اثرهای آن‌ها بر زمین، جهان‌بینی علمی ما را بیش از پیش متحول کرده است، امروزه سؤالات پیچیده‌تری می‌پرسیم و برای یافتن پاسخ برای آن‌ها به روش‌های دقیق‌تری تلاش می‌کنیم. برای مثال، اینکه ترکیب موجودات زندهٔ حاضر روی کرهٔ زمین تنها چیزی در حدود ۱۰ درصد کلّ حیات موجود در طول تاریخ زمین است، بیش از هر چیزی ممکن است ما را به یافتن حوادثی که باعث انقراض‌های گسترده روی زمین شده‌اند، ترغیب کند. فشارهای مختلفی همچون وزنه‌هایی سنگین بر خزانهٔ ژنتیک موجودات زنده اثر گذاشته‌اند و با محدود کردن آن‌ها، در نهایت آن‌ها را به ورطهٔ انقراض کشانده‌اند (واکنشی رایج در بین موجودات زنده)، یا باعث ایجاد سازگاری‌های جدید در جمعیت‌ها شده‌اند و بقای آن موجودات را برای مدت بیشتری تضمین کرده‌اند. چنین فشارهایی را در زیست‌شناسی تکاملی تحت عنوان کلی «تنگنای ژنتیک» یا «اثر گردن بطری»[1] می‌شناسیم. اگر جمعیتی را درون یک بطری تصور کنیم و گلوگاه بطری را همچون فشاری محیطی در نظر آوریم، به این نتیجه می‌رسیم که گردن بطری عملاً آزادی حرکت کمتری به جمعیت می‌دهد، اصطلاحاً جمعیت را محدود می‌کند و تنها به سازگار شوندگان با شرایط متغیر محیط اجازهٔ خروج می‌دهد. از مثال‌های رایج این فشارها یا گلوگاه‌های تکاملی می‌توان به عوامل زنده‌ای همچون رقابت‌های درون‌گونه‌ای یا بین‌گونه‌ای، شکارچی‌ها، کمبود مواد غذایی یا عوامل غیرزنده‌ای نظیر تغییرات آب‌وهوایی، برخورد شهاب‌سنگ‌ها به زمین و تغییرات بوم‌شناختی حاصل از آن، فعالیت آتش‌فشان‌ها و غیره اشاره کرد. اما آنچه در این راستا اهمیت دارد، درک این موضوع مهم است که معمولاً برآیند بسیار پیچیده‌ای از میان‌کنش مجموعه‌ای از این عوامل و واکنش‌های موجودات زنده و تغییرات ژنتیک درون جمعیت‌هاست که منجر به بقا به واسطهٔ سازگاری یا انقراض گونه‌ها می‌شود. در ۵۰۰ میلیون سال گذشته، دست‌کم پنج انقراض بزرگ روی کرهٔ زمین رخ داده است. تخمین زده شده است که در پایان هر کدام از این دوره‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درصد از موجودات زنده منقرض شده‌اند. با این همه اگر چه انقراض‌های بزرگ بخش اعظم تنوع زیستی را حذف کرده‌اند، درعین‌حال سبب خالی شدن کنام‌ها یا آشیان‌های[2] زیادی شده‌اند و به دیگر گونه‌های باقی‌مانده، امکان گونه‌زایی و ایجاد تنوع را داده‌اند.

امروزه می‌دانیم که تغییرات اقلیمی (مخصوصاً دوره‌های متناوب یخبندان و بین یخبندان) روی کرهٔ زمین از تعیین‌کننده‌ترین عوامل شکل‌دهی به ترکیب فعلی موجودات زنده محسوب می‌شوند. در طول این دوره‌های یخبندان، جمعیت‌های سازگار برای در امان ماندن از دام انقراض، در مکان‌هایی که شرایط اقلیمی مناسب‌تری داشته تجمع کرده‌اند و اصطلاحاً دامنهٔ پراکنش جمعیت، منقبض[3] می‌شده است. به این ترتیب چنین مکان‌هایی که ما آن‌ها را پناهگاه[4] می‌نامیم، نقش کلیدی در بقای این‌گونه‌ها داشته‌اند. پس از پایان هر دورهٔ یخبندان و در دورهٔ بین یخچالی، جمعیت‌ها بار دیگر انبساط[5] یافته و با یافتن زیستگاه‌های مساعد یا سازش به کنام‌های جدید، محدودهٔ پراکنش خود را تا حد ممکن گسترش می‌داده‌اند (Avise 2000; Hewitt 2000). به این ترتیب به‌سادگی می‌توان تجسم کرد که ترکیب موجودات زنده و پراکنش جغرافیایی آن‌ها بر کرهٔ زمین بارها و بارها عوض شده است. آنچه امروزه در الگوی جغرافیای موجودات زنده می‌بینیم، در حقیقت بیشترین تأثیر را از آخرین یخبندان دورهٔ کواترنری (که بین ۱۸ تا ۲۳ هزار سال پیش رخ داده است) گرفته است (Hewitt 2000). یکی از حوزه‌های بسیار پویا و مهیج جغرافیای زیستی ردیابی این حوادث و نیز ردیابی پناهگاه‌ها برای توضیح برخی از این حوادث در هر منطقه است.

چرا یافتن پناهگاه‌ها مهم‌اند؟

پناهگاه‌ها محل تراکم و تجمع جمعیت‌ها برای دوره‌هایی نسبتاً طولانی بوده‌اند. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که در چنین مکان‌هایی تنوع گونه‌ای و نیز درون هر گونه‌ای تنوع ژنتیک بسیار بالایی دیده شود. پس به‌طور منطقی احتمال زیادی برای یافتن گونه‌های کشف نشده در چنین مناطقی هست. همین موضوع کاوش در پناهگاه‌های گذشته را اولویت می‌بخشد. از سوی دیگر اینکه بدانیم گونه‌ها ۲۰ هزار سال پیش چگونه پراکنش داشته‌اند، دامنهٔ پراکنش‌شان در کجا انقباض داشته و در کجا مطلقاً حضور نداشته‌اند، تصویر روشن‌تری از تاریخچهٔ آن گونه‌ها به ما می‌دهد. تصویری که بر مبنای آن می‌توان قضاوت‌های دقیق‌تری دربارهٔ روابط نیایی[۶] گونه‌ها و جمعیت‌ها داشت. همچنین با فهم این تاریخچه می‌توان دربارهٔ پدیده‌های گونه‌زایی، عوامل مؤثر بر پیشبرد و یا موانع موجود بر سر راه آن‌ها به تحلیل‌های دقیق‌تری دست یافت. یافتن پناهگاه‌ها همچنین در حوزه‌هایی همچون حفاظت محیط‌زیست اهمیتی ویژه دارد. از آنجا که عملاً به دلایل اقتصادی و دیگر ملاحظات مدیریتی، نمی‌توان همهٔ زیستگاه‌ها را مورد حفاظت قرار داد، لازم است تا نوعی اولویت‌بندی برای مناطق قابل حفاظت درنظر گرفته شود. در چنین اولویت بندی‌هایی عمدتاً عوامل مختلفی همچون تنوع زیستی، نوع پوشش گیاهی، نرخ وجود گونه‌های بومی و غیره درنظر گرفته می‌شود. در اینجاست که شناخت مناطقی که اهمیت استراتژیک و تاریخی قابل ملاحظه‌ای برای حفظ جمعیت‌ها داشته‌اند، آن‌ها را در صدر اولویت‌های حفاظتی قرار می‌دهد. چه بسا منطقه‌ای که در تاریخ یک گونه، نقش مهمی برای بقای آن داشته است در آینده نیز بتواند چنین نقشی را بازی کند به شرط آنکه آن ناحیه تخریب نشود.

اگر چه انقراض‌های بزرگ بخش اعظم تنوع زیستی را حذف کرده‌اند، درعین حال سبب خالی شدن کنام‌ها یا آشیان‌های زیادی شده‌اند و به دیگر گونه‌های باقی‌مانده، امکان گونه‌زایی و ایجاد تنوع را داده‌اند

ردیابی حوادث عصر یخبندان در ایران

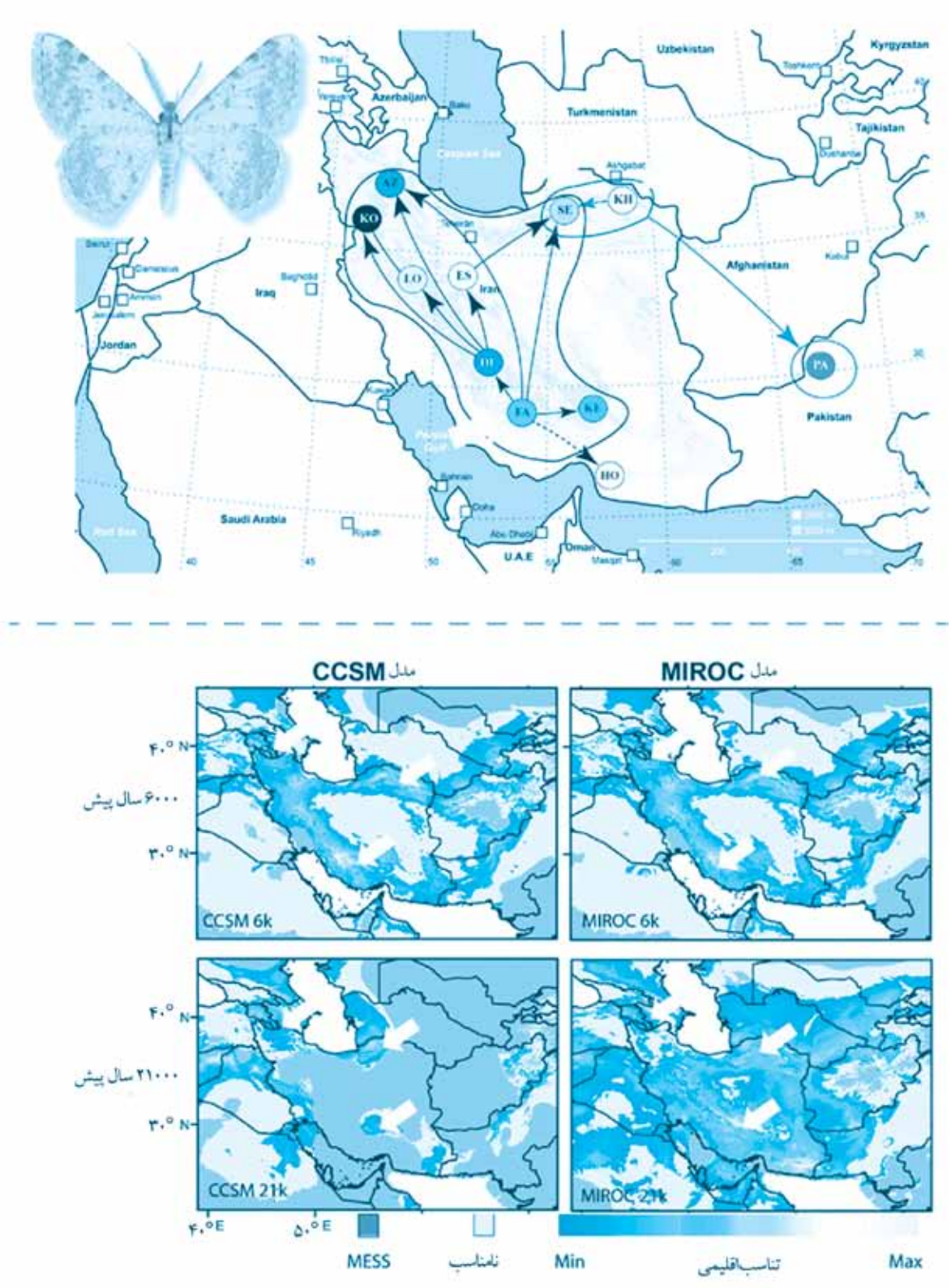
مطالعات زمین‌شناسان نشان می‌دهد که در یخبندان دورهٔ کواترنری، ایران مستقیماً از یخ پوشیده نشده بلکه هوایی سرد و خشک به‌ویژه در بخش‌های شمالی و غربی، بر کشور حاکم بوده است و تنها در نوک قله‌های مرتفعی همچون دماوند، سبلان و دنا توده‌های متراکم یخی تجمع داشته‌اند (van Zeist & Bottema 1977; El-Moslimany 1986; Djamali et al. 2008, 2011). متأسفانه دانش ما در مجموع دربارهٔ نوع پوشش گیاهی، ترکیب جانوران و اثرهای دوره‌های یخبندان بر موجودات زنده در ایران بسیار ناچیز است (Djamali et al. 2008, 2011; Rajaei et al. 2013) و همین موضوع، اهمیت پژوهش در این حوزه را در کشور بالا می‌برد.

در مطالعه‌ای که اخیراً نتایج آن در نشریه Organisms Diversity and Evolution منتشر شده است، محققان به بررسی اثرهای آخرین دورهٔ یخبندان در ایران پرداخته‌اند (Rajaei et al. 2013). در این مطالعه از دو گونه شب‌پره (*Gnopharmia colchidaria* و *G. kasrunensis* S.l.) و گیاهان میزبان آن‌ها که گونه‌هایی از بادام وحشی‌اند[۷]، به‌عنوان مدل مطالعاتی استفاده شده‌است. پرسش‌محوری این تحقیق بررسی وجود و نیز مکان‌یابی پناهگاه‌های این دو گونهٔ شب‌پره در دورهٔ کواترنری و نیز نحوهٔ تغییرات جمعیتی این شب‌پره‌ها در دوران بعد از یخبندان بوده‌است.

برای پاسخ به این پرسش‌ها، ابتدا داده‌های ژنتیکی جمعیت‌های شب‌پره‌ای جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مختلف در سراسر کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آزمون‌های مختلف جمعیتی برای تعیین میزان تنوع ژنتیکی و نیز تخمین نحوهٔ رشد جمعیت‌ها در گذشته انجام شد. نتایج این آزمون‌ها برای هر دو گونه به روشنی تنوع ژنتیکی بسیار بالایی را در جمعیت جنوب غربی زاگرس (حوالی کوه دنا) و نیز برای گونه *colchidaria* در کوه‌های کپه داغ و نیز حوالی سمنان نشان می‌دهند. به‌ویژه این آزمون بر نقش جمعیت جنوب غربی زاگرس، به‌عنوان یک جمعیت مرکزی، تأکید دارند (برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به مقاله Rajaei et al. 2013). همچنین آزمون رشد جمعیتی نشان داده که جمعیت‌ها رشد عادی نداشته و در مقطعی دچار انبساط ناگهانی شده‌اند (نشانه‌ای بر انبساط بعد از دوره یخبندان).

در مرحلهٔ بعد به‌عنوان یک روش مستقل برای سنجش نتایج فوق، از مدل‌سازی پراکنش گونه‌های شب‌پره و گیاهان میزبان‌شان استفاده شده است. در این روش ابتدا، بر مبنای داده‌های پراکنش هر گونه و نیز شرایط اقلیمی حاکم بر خاورمیانه، تمام نقاطی که شرایط اقلیمی مناسبی برای پراکنش این گونه را داشتند شناسایی شدند. در مرحلهٔ بعد و براساس داده‌های پراکنش در حال حاضر و نیز بر مبنای سناریوهای مختلف اقلیمی در گذشته، نقشهٔ پراکنش آن گونه در

یکی از حوزه‌های بسیار پویا و مهیج جغرافیای زیستی ردیابی این حوادث و نیز ردیابی پناهگاه‌ها برای توضیح برخی از این حوادث در هر منطقه است



شـکل ۱. بازسـازی سـناریوی تراکم گونهٔ *Gnopharmia colchidaria* در پناهگاه‌های کواترنری در ایران. تصویر بالا (الف) جمعیت‌های مطالعه شدهٔ این گونه و نیز نتایج آزمون‌های تمایز جمعیتی را در آن نشان می‌دهد. پیکان‌های قرمز رنگ، جمعیت‌های دارای تنوع ژنتیک بالا را مشخص می‌کنند. پیکان‌های سیاه رنگ، مسیرهای گسترش جمعیت‌ها را در دورهٔ بعد از یخبندان نشان می‌دهند. خطوط سیاه دور جمعیت‌ها نشانگر دودمان‌های متفاوت جمعیتی‌اند. تصویر پایین (ب) نتایج مدل‌سازی‌های اکولوژیک را در این گونه نشان می‌دهد. این مدل‌سازی‌ها بر مبنای دو مدل رایج (CCSM و MIROC) برای ۶ و ۲۱ هزار سال قبل انجام شده‌اند. طیف رنگی به‌سمت رنگ قرمز، تراکم بالاتر جمعیت‌ها را در این مقاطع زمانی مشخص می‌کنند که با پیکان قرمز نیز تأکید شده‌اند.

اینکه بدانیم گونه‌ها ۲۰ هزار سال پیش چگونه پراکنش داشته‌اند، دامنهٔ پراکنش‌شان در کجا انقباض داشته و در کجا مطلقاً حضور نداشته‌اند، تصویر روشن‌تری از تاریخچهٔ آن گونه‌ها به ما می‌دهد

۲۱ هزار و نیز ۶ هزار سال پیش محاسبه شدند. این نقشه‌ها تجمع جمعیت‌ها را باز هم در جنوب غربی زاگرس، کوه‌های کپه داغ و نیز جنوب قفقاز در ۲۱ هزار سال پیش (اوج یخبندان کواترنری) نشان می‌دهند.

براساس این نتایج، رجایی و همکارانش (۲۰۱۳) سناریویی را مطرح کرده‌اند که بر مبنای آن در آخرین دورهٔ یخبندان، جمعیت‌های *Gnopharmia colchidaria* در پناهگاه‌هایی در جنوب غربی کوه‌های زاگرس، شمال خراسان (کپه داغ) و جنوب قفقاز تجمع کرده‌اند. این سناریو با دور بودن این جمعیت‌ها برای مدت نسبتاً طولانی سبب شده تا در هرکدام از این سه منطقه، زیرگونه‌ای مجزا برای این گونه شکل بگیرد (Rajaei et al. 2012). منطقهٔ سمنان اما منطقه‌ای ویژه برای این گونه است، چراکه تنوع بالای ژنتیکی در آن به چشم می‌خورد. Rajaei و همکارانش (۲۰۱۳) معتقدند که این منطقه در حقیقت همانند نوعی دالان[8] برای عبور جمعیت‌ها از حاشیه کویر عمل کرده و دو زیرگونه‌ای که مدت‌ها از هم جدا مانده‌اند، بار دیگر در این منطقه با هم برخورد کرده و جمعیت‌های دورگه[9] را به‌وجود

پرسش‌محوری این تحقیق بررسی وجود و نیز مکان‌یابی پناهگاه‌های این دو گونهٔ شب‌پره در دورهٔ کواترنری و نیز نحوهٔ تغییرات جمعیتی این شب‌پره‌ها در دوران بعد از یخبندان بوده است

نتایج به‌دست آمده از مطالعات jamali و همکاران (۲۰۱۱) که عدم حضور درختان و درختچه‌های بادام وحشی در نواحی شمالی زاگرس را نشان داده‌اند نیز هم‌خوانی دارد، چرا که میزبان این شب‌پره‌ها نیز درختچه‌های بادام است که در آن دوره در بخش‌های جنوبی‌تر زاگرس پراکنش داشته‌اند. همچنین تنوع بالای گیاهی و جانوری در هر سه منطقهٔ یاد شده (Akhani 1998; Noroozi et al. 2008; Kryzhanovsky and Atamoradov 1994; Tarkhnishvili et al. 2013) مهر تأییدی دیگری بر این سناریوست. بر مبنای این سناریو، دامنهٔ پراکنش جمعیت‌های این گونه بعد از اتمام دورهٔ یخبندان و مساعدتر شدن شرایط اقلیمی، مجدداً دوباره بسط پیدا کرده و به مناطق مجاور گسترش یافته است. اما آورده‌اند. نتایج این مطالعه سناریوی نسبتاً مشابهی برای *Gnopharmia kasrunensis* نیز پیشنهاد می‌کنند. با این تفاوت که جمعیت‌های این گونه در دورهٔ سرما تنها در پناهگاه جنوب‌غربی زاگرس تجمع کرده‌اند. در پایان، نویسندگان مقالهٔ فوق، بر لزوم مطالعات تکمیلی بر مبنای گونه‌های جانوری و گیاهی بیشتر و با استفاده از ژن‌های بیشتر تأکید کرده‌اند.

پی‌نوشت‌ها

1. Bottleneck effect
2. Niche
3. Contraction
4. Refugium
5. Eexpansion
6. Phylogenetic
7. Prunus scoparia و Prunus fenzliana
8. corridor
9. Hybrid

منابع

1. Akhani, H. (1998) **Plant biodiversity of Golestan National Park**, Iran. Stapfia, 53, 1–411.
2. Avise, J. C. (2000) **Phylogeography: The history and formation of species**. Cambridge: Harvard University Press.
3. Djamali, M. (2008) **Palaeoenvironmental changes in Iran during the last two climatic cycles** (vegetation-climate-anthropisation). PhD thesis in Universite Paul Cezanne (AIX-Marseille III).
4. Djamali, M., Biglari, F., Abdi, K., Andrieu-Ponel, V., de Beaulieu, J. L., Mashkour, M., et al. (2011) **Pollen analysis of coprolites from a late Pleistocene-Holocene cave deposit** (Wezmeh Cave, west Iran): insights into the late Pleistocene and late Holocene vegetation and flora of the central Zagros Mountains. Journal of Archaeological Science, 38, 3394–3401.
5. El-Moslimany, A. P. (1986) **Ecology and late-Quaternary history of the Kurdo-Zagrosian oak forest near Lake Zeribar, western Iran**. Vegetatio, 68, 55–63.
6. Hewitt, G. M. (2000) **The genetic legacy of the Quaternary ice ages**. Nature, 405, 907–913.
7. Kryzhanovsky, O. L. & Atamuradov, K. I. (1994) **Zoogeography of Coleoptera in Turkmenistan**. In V. Fet (Ed.), Biogeography and ecology of Turkmenistan (pp. 403–418). Boston: Dordrecht. 616 p.
8. Noroozi, J., Akhani, H. & Breckle, S. W. (2008) **Biodiversity and phytogeography of the alpine flora of Iran**. Biodiversity and Conservation, 17(3), 493–521.
9. Rajaei Sh, H., Stüning, D. & Trusch, R. (2012) **Taxonomic revision and zoogeographical patterns of the species of Gnopharmia Staudinger**, 1892 (Geometridae, Ennominae). Zootaxa, 3360, 1–52.
10. Rajaei Sh. H., Rödder, D., Weigand, A. M., Dambach, J, Raupach, M. and Wägele, J. W. (2013) **Quaternary refugia in southwestern Iran: Insights from two sympatric moth species and independent lines of evidence**. Organisms Diversity & Evolution, 13 (3), 409-423.
11. Tarkhnishvili, D., Murtskhvaladze, M. and Gavashelishvili, A. (2013) **Speciation in Caucasian lizards: climatic dissimilarity of the habitats is more important than isolation time**. Biological Journal of the Linnean Society; DOI:10.1111/bij.12092
12. van Zeist, W. & Bottema, S. (1977) **Palynological investigations in western Iran**. Palaeohistoria, 19, 19–85.