

مدل‌سازی زیستگاه پایکای افغانی (*Ochotona rufescens*) در ایران با تکیه بر پارامترهای اقلیمی

سعید خاکی^{۱*}، افشین علیزاده شعبانی^۲، محمد کابلی^۳، زهرا نوری^۴ و طاهر قدیریان^۵

۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ایران

۲ و ۳. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۴. کارشناس ارشد زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، ایران

۵. کارشناس ارشد زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۱۵)

چکیده

تغییرات آب و هوایی و تأثیرات آن بر گونه‌های حیات‌وحش یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که متخصصان حفاظت حیات‌وحش در قرن حاضر با آن روبه‌رو هستند. در این بین، به‌منظور تعیین شرایط آب و هوا شاخص‌هایی لازم است. پایکاه، به‌دلیل جابه‌جایی اندک و شرایط زیستگاهی خاصشان، شاخصی برای تغییرات آب و هوایی به‌شمار می‌روند. در پژوهش حاضر پارامترهای اقلیمی مؤثر بر پراکندگی پایکای افغانی در ایران بررسی شد تا مدل اقلیم مطلوب این گونه به‌مثابه پایه‌ای برای بررسی تغییرات اقلیمی در آینده و پیش‌بینی جابه‌جایی‌های حیات‌وحش تهیه شود. بدین منظور، ابتدا پراکندگی پایکای افغانی با توجه به رکوردهای موجود در ایران تعیین شد و سپس پارامترهای اقلیمی و ارتفاع از سطح دریا در ۱۲۰ نقطه حضور و عدم حضور گونه ثبت شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر مبنای رگرسیون منطقی دوتایی انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که پارامترهای میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه، میانگین رطوبت نسبی، روزهای با دمای حداکثر صفر درجه سانتی‌گراد و روزهای با دمای حداقل ۴- درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین پارامترهایی هستند که اقلیم مناسب پایکای افغانی در ایران را مشخص می‌کنند. همچنین مدل به‌دست‌آمده تا حدود زیادی پراکندگی پایکای افغانی در ایران را توجیه می‌کند.

واژگان کلیدی

افزایش دما، ایران، پارامترهای اقلیمی، پایکای افغانی (*Ochotona rufescens*)، مدل‌سازی زیستگاه.

۱. مقدمه

تغییرات آب و هوایی ممکن است منابع موجود و زیستگاه مناسب برای گونه‌های جانوری را تغییر دهد که این خود می‌تواند درصد زنده‌بودن حیات وحش را تحت تأثیر قرار دهد (Hughes, 2000, Schwartz *et al.*, 2006). بنابراین، درک چگونگی تغییرات آب و هوایی بر جمعیت حیات وحش اهمیت زیادی برای کارشناسان محیط‌زیست و مدیران منابع طبیعی دارد (Root & Schneider, 2006). از آنجاکه آب و هوا به‌طور مستقیم بر جوامع گیاهی اثر می‌گذارد، پدیده افزایش دما در قرن حاضر می‌تواند سبب تغییر در توزیع گونه‌های گیاهی به عرض‌های جغرافیایی بالاتر شود و این مسئله سبب جابه‌جایی و مهاجرت گونه‌های جانوری به‌ویژه پستانداران علفخوار برای تأمین علوفه مورد نیاز خود می‌شود (Root *et al.*, 2003). در این میان جمعیت گونه‌هایی با دامنه جابه‌جایی و زیستگاه محدود، به‌علت وجود موانع فیزیکی و جغرافیایی به یک مکان خاص محدود شده و مانع تبادل ژنتیکی با سایر جمعیت‌ها می‌شود و به این ترتیب بیشتر در معرض خطر انقراض قرار می‌گیرند (Parmesan, 2006). پایکاهای یکی از این پستانداران کوچک‌اند که به‌دلیل قدرت جابه‌جایی محدود در اثر تغییرات آب و هوایی ممکن است در معرض خطر انقراض قرار گیرند.

پایکاهای پستاندارانی کوچک شبیه همسترها با گوش‌های بزرگ‌تر و صدای خاص خود هستند که جزء راسته خرگوش‌سانان (Lagomorphs) به‌شمار می‌روند. شواهد حاکی از آن است که پایکای معاصر در اوایل دوره الیگوسن از خانواده Ochotonidae منشأ گرفته و در دوره میوسن به جنس‌های گوناگون تقسیم شده است. در آن زمان پایکاهای در سراسر شمال آمریکا، آسیا و آفریقا یافت می‌شدند (Grzimek, 2004). پراکنش امروزی پایکاهای در شمال هولو آرکتیک است که شمال آمریکا، اروپا و آسیا را در بر می‌گیرد (Grzimek, 2004). اقلیم مهم‌ترین سازوکار در محدود کردن پراکنندگی پایکاهای در سراسر دنیاست (Grayson, 2001; Rickart, 2005). Gray (1942) فقط یک گونه از خانواده پایکاهای به نام پایکای افغانی یا کلارد و یا رافسکنس (*Ochotona rufescens*) را در خاورمیانه

گزارش کرده است. این گونه در مناطق کوهستانی افغانستان، پاکستان، ارمنستان، جنوب غربی ترکیه و ایران پراکنندگی دارد (Hoffman *et al.*, 2005; Smith *et al.*, 1990). پایکاهای یکی از مهم‌ترین اعضای اکوسیستم بومی خود هستند و با جمع‌آوری و تغذیه از گونه‌های متفاوت گیاهی نقش مهمی در پراکنش گونه‌های گیاهی دارند و همچنین می‌توانند طعمه بسیاری از گوشتخواران باشند (Nowak, 1999).

پایکاهای به‌دمای محیط بسیار حساس‌اند و اساساً از لحاظ فیزیولوژیکی قادر به زنده‌ماندن در درجه‌حرارتی بیشتر از آستانه‌ای خاص نیستند (Smith & Weston, 1998; Verts & Carraway, 1990). به‌سبب همین ویژگی یعنی حساس بودن به درجه‌حرارت بالا و شرایط زیستگاهی (MacArthur & Wang, 1974; Smith, 1974) پایکاهای می‌توانند شاخصی عالی برای تغییرات آب و هوا باشند (Beever *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2004). مدیران محیط‌زیست و گروه‌های حفاظتی به‌منظور حفاظت از گونه‌هایی نظیر پایکاهای در مقابل بحران آب و هوایی در قرن حاضر به فناوری و پژوهش‌های نوآورانه نیاز دارند. یکی از این نیازهای پژوهشی شناسایی وضعیت آب و هوایی زیستگاه فعلی گونه‌ها به‌منظور پیش‌بینی و بررسی تغییرات آینده است. یکی از ابزارهای مناسب برای این منظور مدل‌سازی زیستگاه و در اینجا مدل‌سازی اقلیمی زیستگاه گونه است. چنین مدل‌هایی، علاوه بر نقش پژوهشی، در ارزیابی اثرهای تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه‌ها کاربرد فراوانی دارند.

پژوهش‌های زیادی در زمینه اکولوژی و زیستگاه گونه‌های متفاوت پایکاهای در جهان صورت گرفته است، ولی تنها پژوهشی که در مورد پایکای افغانی در ایران صورت گرفته به بررسی تغییرات درون‌گونه‌ای جمعیت پایکاهای مربوط است که Aliabadian (1996) در پایان‌نامه خود به آن پرداخته است. همچنین Cermak و همکاران (2006) در پژوهشی با عنوان یادداشت‌هایی از خانواده پایکاهای در خاورمیانه برخی از نقاط پراکنندگی پایکای افغانی در ایران را مشخص کردند. ولی تاکنون پژوهش مستندی در مورد اکولوژی و وضعیت زیستگاهی پایکای افغانی در ایران انجام نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی

در ایران را در بر بگیرد. به‌منظور اطمینان از عدم حضور گونه در این مناطق تعدادی پرسشنامه تنظیم شد و برای کارشناسان و متخصصان حیات‌وحش این مناطق فرستاده شد تا عدم حضور گونه را تأیید کنند. در مجموع اطلاعات اقلیمی از ۶۰ نقطه حضور و ۶۰ نقطه عدم حضور تعیین شد که از این تعداد ۴۰ نقطه (۲۰ نقطه حضور و ۲۰ نقطه عدم حضور) به‌منظور ارزیابی مدل نهایی به‌طور تصادفی انتخاب و جدا شد (Varasteh Moradi, 2010; Bahadori, 2008; Alizadeh, 2009) و ۸۰ نقطه وارد رابطه رگرسیون منطقی دوتایی در نرم‌افزار Minitab 13.1 شد (Minitab, 2000). سپس در هر یک از مناطق حضور و عدم حضور پایکای افغانی (*Ochotona rufescens*)، آمار اقلیمی چندساله ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی خود آن مناطق و یا نزدیک‌ترین ایستگاه به مناطق حضور و عدم حضور گونه تهیه شد (Iran Meteorological Organization, 2011).

۲.۲. متغیرها

با توجه به پارامترهای اقلیمی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی کشور و همچنین نتایج پژوهش‌های صورت‌گرفته درباره سایر گونه‌های پایکا که از لحاظ زیستگاهی مشابه پایکای افغانی‌اند (Carraway, 1998; Smith, 1974; Verts & Bruggeman, 2010; Smith & Weston, 1990)، برخی پارامترهای اقلیمی که ممکن بود نقش مهم‌تری در پراکندگی این گونه داشته باشند، انتخاب شدند. سپس میانگین چندساله هر یک از این پارامترها محاسبه شد. این پارامترها عبارت بودند از: میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه، میانگین دمای خشک، میانگین حداقل دمای روزانه، میانگین حداکثر دمای روزانه، میانگین دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد)، تعداد روزهای با حداکثر دمای برابر صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر، تعداد روزهای با حداکثر دمای برابر ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر، تعداد روزهای با حداقل دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و کمتر، تعداد روزهای با حداقل دمای صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر، تعداد روزهای با حداقل دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و بیشتر، میانگین حداکثر رطوبت نسبی به درصد، میانگین

زیستگاه پایکای افغانی با استفاده از عامل اقلیم جهت مدل‌سازی زیست‌اقلیمی پایکای افغانی در ایران است که زمینه‌ساز بررسی‌های بعدی در مورد تغییرات اقلیمی بر پراکندگی این گونه شود.

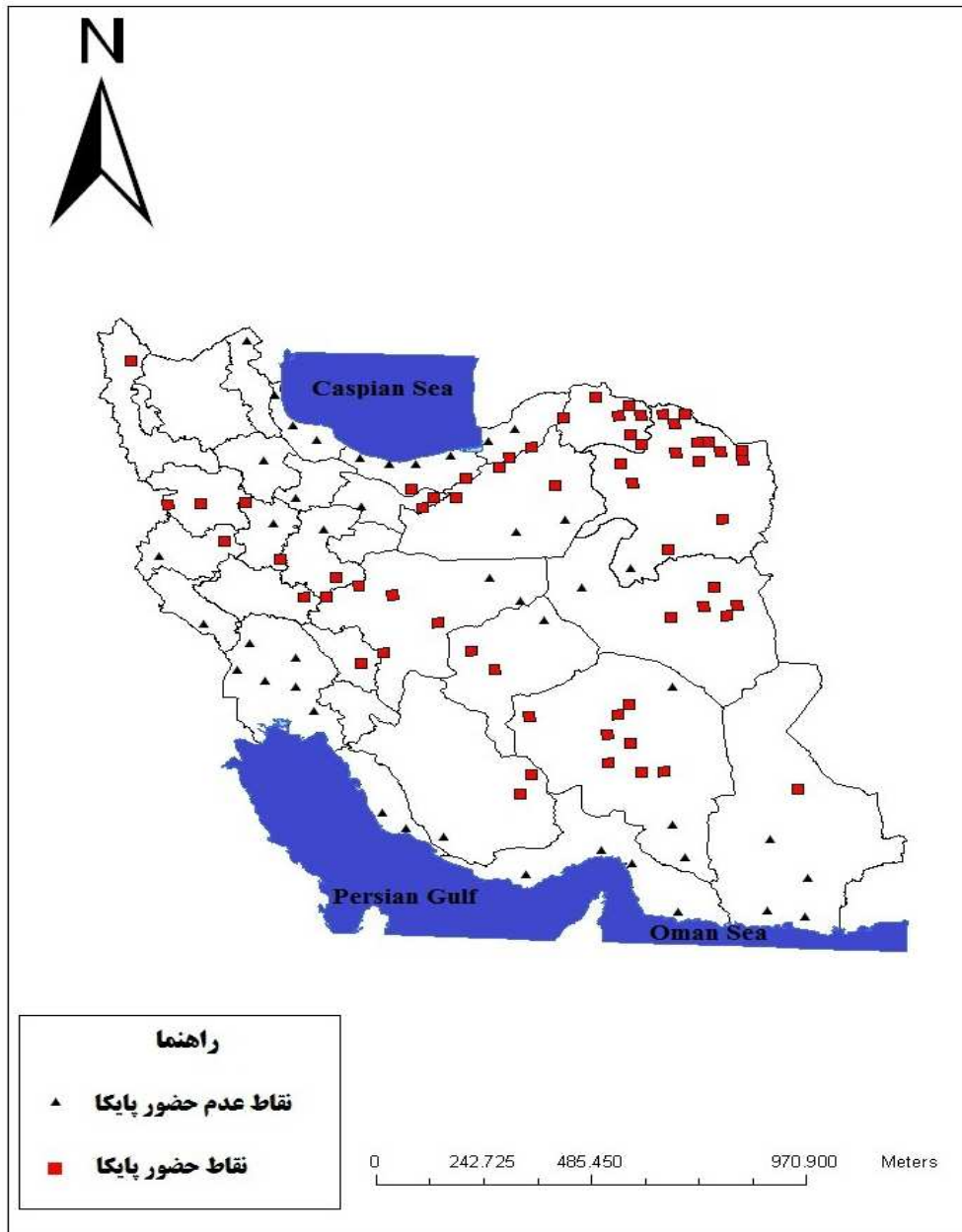
۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. روش نمونه‌برداری

در این پژوهش که طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ انجام شد، نقاط پراکندگی پایکای افغانی در ایران با توجه به مطالعه تاریخ طبیعی گونه و پژوهش‌هایی که تاکنون در مورد پراکندگی این گونه در خاورمیانه و ایران صورت گرفته است (Blanford, 1876; Murray, 1884; Misonne, 1956; Taghizadeh, 1964; Lay, 1967; Deroguin, 1988; Obuch & Kristín, 2004; Cermak *et al.*, 2006; Etemad, 1985) و گزارش‌ها و مستندات مورد تأیید افراد آموزش‌دیده و صاحب‌نظران (متخصصان و کارشناسان حیات‌وحش، زیست‌شناسان، تاکسیدرمیست‌ها، عکاسان طبیعت، محیط‌بانان و شکارچیان باتجربه) مشخص شد (شکل ۱). از آنجاکه هدف این پژوهش تعیین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر حضور گونه است، پارامترهای اقلیمی در مکان‌های عدم حضور نیز به‌منظور مقایسه آن‌ها با نقطه‌های حضور باید ثبت شود. در این پژوهش از داده‌های عدم حضور شبیه‌سازی شده استفاده شد (Engler *et al.*, 2004; Jimenez-Valverde & Lobo, 2008; Chefaoui & Lobo, 2008). یک گونه معمولاً در مکان‌هایی حضور می‌یابد که مورد ترجیح آن باشد و مکان‌های عدم حضور باید دور از این مناطق باشد. برای تولید نقاط عدم حضور شبیه‌سازی شده روش‌های گوناگونی وجود دارد (Chefaoui & Lobo, 2008). در اینجا از روش تولید نقاط عدم حضور تصادفی در مناطقی استفاده شد که به‌طور قطع گونه حضور ندارد (Zaniewski *et al.*, 2002). بدین منظور، با توجه به زیستگاه‌های بالقوه پایکای افغانی و بررسی مناطق زیست‌جغرافیایی این گونه، نقاطی تعیین شد که احتمال حضور گونه در آن کم است (Cermak *et al.*, 2006; Lay, 1967; Obuch & Kristín, 2004). این نقاط طوری انتخاب شدند که تمام اقلیم‌ها و زیستگاه‌های عمده گوناگون

همچنین متغیر ارتفاع به سبب همبستگی آن با پارامترهای اقلیمی و نقش مهم آن در پراکندگی پایکا (Smith et al., 2004 ; Morrison & Hik, 2007;) Dearing, 1996; Richardson, 2010; Bruggeman, 2010; Chakraborty et al., 2005).

حداقل رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی (درصد)، مجموع بارندگی ماهیانه، تعداد روزهای دارای بارندگی، تعداد روزهای با بارندگی برابر ۱ میلی‌متر و بیشتر، تعداد روزهای با بارندگی ۵ میلی‌متر و بیشتر، تعداد روزهای همراه با بارش برف، مجموع ماهیانه ساعات آفتابی، درجه گرم‌ترین روز، درجه سردترین روز و



شکل ۱. نمایش نقاط پراکنش پایکای افغانی در ایران و نقاط عدم حضور گونه

۳.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

نوع روش آماری مورد استفاده برای مدل‌سازی به نوع داده‌های جمع‌آوری شده بستگی دارد (Hirzel & Guisan, 2002). براساس نوع داده‌های جمع‌آوری شده و مدل‌های آماری گوناگونی که در این نوع پژوهش‌ها به کار می‌رود، از مدل همبستگی منطقی دوتایی^۱ (Pereira & itami, 1991) به‌مثابه مناسب‌ترین نوع مدل پیش‌بینی‌کننده برای انجام دادن محاسبات براساس داده‌های دوتایی (حضور و عدم حضور) برای مدل‌سازی اقلیمی زیستگاه پایکا استفاده شد.

رگرسیون منطقی دوتایی ابزاری آماری برای تجزیه و تحلیل داده‌های دوتایی از قبیل داده‌های حضور/عدم حضور است. هنگامی که متغیر پاسخ دوحالته باشد (حضور و عدم حضور یا 0 و 1) و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده طبقه‌ای و یا کمی باشند، می‌توان احتمال رویداد حالت حضور را براساس مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته و با معادله ۱ پیش‌بینی کرد.

(معادله ۱)

$$\text{pr}(x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}$$

x_1, x_2, \dots, x_n متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مستقل و $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ ضرایب لجستیک‌اند. با استفاده از ضرایب محاسبه‌شده با رگرسیون لجستیک می‌توان احتمال حضور گونه را در هر نقطه از زیستگاه براساس مجموعه‌ای از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده زیست‌محیطی پیش‌بینی کرد.

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل، از روش نمایه آکایکه^۲ استفاده شد. این روش مدل‌های گوناگون را مقایسه می‌کند. به این ترتیب، سری متغیرهایی که اختلاف آکایکه (ΔAIC) کمتر از دو داشته باشند، به‌مثابه پیش‌بینی‌کننده وارد رابطه رگرسیون منطقی دوتایی می‌شوند (Bahadori, 2008; Moradi, 2010).

به‌منظور سنجش دقت مدل در این پژوهش از آزمون G استفاده شد. در این آزمون انحراف مدل

اصلی از مدلی که تمام ضرایب آن صفر است محاسبه می‌شود. به‌منظور ارزیابی نحوه توصیف داده‌ها با مدل (نیکویی برازش) از آزمون‌های پیرسون، انحراف و هاسمر-لمنشو^۳ استفاده شد. به‌طور کلی زمانی که ارزش P این آزمون‌ها معنی‌دار باشد (p کمتر از ۰.۰۵ درصد)، نتیجه می‌شود که داده‌های حاصل از نمونه‌برداری در عرصه با پیش‌بینی‌های مدل همخوانی ندارد و مدل به‌دست‌آمده مدل مناسبی نیست (Alizadeh, 2009).

در تحقیق حاضر محاسبات مربوط به رگرسیون منطقی دوتایی با نرم‌افزار Minitab 13.1 (Minitab, 2000) و محاسبات مربوط به بهترین مدل با معیار آکایکه، با نرم‌افزار Statistica 6.0 (Statsoft, 2001) انجام شد. همچنین به‌منظور نمایش نقاط نمونه‌برداری و نقشه پراکنندگی پایکای افغانی از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استفاده شد.

۳. نتایج

به‌منظور انتخاب پارامترهایی که با حضور گونه مرتبط‌اند، ابتدا تک تک متغیرها به شکل مجزا وارد رابطه رگرسیون منطقی در نرم‌افزار Minitab 13.1 شدند و ارزش P آن‌ها محاسبه شد و متغیرهایی که رابطه منطقی برقرار نکردند ($P > 0.05$)، حذف شدند. سپس همبستگی بین این متغیرها در نرم‌افزار Minitab 13.1 محاسبه شد و از بین هر دو متغیری که همبستگی بالای ۰/۸ داشتند، یک متغیر، بسته به اهمیت آن در زندگی گونه، انتخاب شد (Varasteh, 2008; Bahadori, 2010; Moradi, 2010). در نتیجه متغیرهای نهایی شامل میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)، میانگین رطوبت نسبی (درصد)، تعداد روزهای با حداقل دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و کمتر، تعداد روزهای با حداکثر دمای صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر و ارتفاع بود که این پارامترها وارد نمایه آکایکه در نرم‌افزار Statistica شدند و چهار مدل از پارامترهایی که اختلاف آکایکه آن‌ها کمتر از دو بود، مناسب‌ترین مدل‌های اقلیم مناسب زیستگاه پایکای افغانی در ایران شناخته شدند (جدول ۱).

1. Binary Logistic Regression
2. Akaike Information Criterion

جدول ۱. نتایج حاصل از معیار آکایکه به منظور پیش‌بینی بهترین مدل (اعداد مربوط به هر متغیر در ستون متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بیانگر ضریب رگرسیونی آن متغیرند).

شماره مدل	پارامترهای پیش‌بینی‌کننده					درجه آزادی	AIC	ΔAIC	P
	تعداد روزهای با حداکثر دمای برابر صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر	تعداد روزهای با حداقل دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و کمتر	میانگین رطوبت نسبی	ارتفاع	میانگین ماهانه متوسط دمای روزانه				
۱	-۰/۰۶۶۱	-	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۳۵	-۰/۱۰۵	۴	۸۷/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰۰
۲	-۰/۰۶۶۷	۰/۰۰۷۱	-	۰/۰۰۷	-۰/۱۱۸	۴	۸۷/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۰۰
۳	-۰/۰۷۲۷	۰/۰۰۷۹	-۰/۰۳۳۳	۰/۰۰۴	-	۴	۸۹/۰۶	۱/۸۹	۰/۰۰۰
۴	-۰/۰۶۷۶	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۳۴	-۰/۱۰۴۴	۵	۸۹/۱۳	۱/۹۵	۰/۰۰۰

که شواهد کافی مبنی بر صفر نبودن حداقل یکی از ضرایب وجود دارد و به این ترتیب فرضیه صفر (شیب رگرسیون منطقی=۰) رد می‌شود (Alizadeh, 2009). در نتیجه پارامترهای مورد نظر می‌تواند اطلاعات مناسبی از اقلیم مناسب زیستگاه پایکای افغانی در ایران فراهم کند (جدول ۲).

۳.۱. دقت مدل رگرسیون

ارزش p آزمون G در هر چهار مدل برابر با صفر شد، به این معنی که وارد کردن متغیرهای مربوطه قدرت پیش‌بینی حضور و عدم حضور پایکا را در اقلیمی خاص افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون G در چهار مدل نهایی

مدل	پیشینه احتمالی	آزمون آماری G	درجه آزادی	ارزش P مدل
۱	-۳۲/۵۳۸	۶۲/۹۷۶	۴	۰/۰۰۰
۲	-۳۲/۵۸۲	۶۲/۸۹۰	۴	۰/۰۰۰
۳	-۳۲/۹۶۳	۶۲/۱۲۶	۴	۰/۰۰۰
۴	-۳۲/۵۳۷	۶۲/۹۸۰	۵	۰/۰۰۰

نشان‌دهنده تناسب قابل قبول داده‌ها با مدل است (جدول ۳).

۳.۲. آزمون‌های نیکویی برازش

بر اساس نتایج آزمون‌های نیکویی برازش، مدل‌های به‌دست‌آمده دارای ارزش P از ۵ درصد بیشترند که

جدول ۳. نتایج آزمون‌های نیکویی برازش

مدل	روش	مربع کای	درجه آزادی	P
۱	Pearson	۸۳/۷۵۱۹	۸۸	۰/۶۰۸
	Deviance	۶۵/۰۷۶۶	۸۸	۰/۹۶۸
	Hosmer-Lemeshow	۵/۲۴۵۶	۸	۰/۷۳۱
۲	Pearson	۸۴/۶۲۴۹	۸۸	۰/۵۸۲
	Deviance	۶۵/۱۶۳۱	۸۸	۰/۹۶۸
	Hosmer-Lemeshow	۴/۹۴۷۳	۸	۰/۷۶۳
۳	Pearson	۸۲/۵۱۵۵	۸۸	۰/۶۴۵
	Deviance	۶۵/۹۲۷۰	۸۸	۰/۹۶۲
	Hosmer-Lemeshow	۶/۰۰۳۶	۸	۰/۶۴۷
۴	Pearson	۸۴/۰۷۷۴	۸۷	۰/۵۶۹
	Deviance	۶۵/۰۷۳۱	۸۷	۰/۹۶۲
	Hosmer-Lemeshow	۵/۲۴۵۹	۸	۰/۷۳۱

برخی عوامل اقلیمی در سطح آماری مربوطه با حضور و عدم حضور گونه رابطه معنی‌دار دارند. در نهایت در این تحقیق با توجه به نتایج معیار آکایکه چهار مدل از پارامترهای اقلیمی و ارتفاع بهترین ترکیب را از اقلیم مناسب پایکای افغانی در ایران ارائه کردند (جدول ۱). از بین این مدل‌ها، مدل شماره ۴ قدرت پیشگویی بالاتری (میزان G بالاتر) از سایر مدل‌ها دارد (جدول ۲) در نتیجه، در مقایسه با بقیه مدل‌ها، توانایی بیشتری در تعیین اقلیم مناسب زیستگاه پایکا در ایران دارد. در این مدل، تعداد روزهای با حداقل دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و ارتفاع با حضور گونه رابطه مثبت و میانگین رطوبت نسبی به درصد، تعداد روزهای با حداکثر دمای برابر صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر و میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه با حضور گونه رابطه منفی نشان دادند. در این مدل مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در حضور گونه میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه است (ضریب رگرسیونی بالاتر). ضریب منفی این متغیر و همچنین ضریب مثبت تعداد روزهای با دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نیز حاکی از اهمیت دمای پایین در پراکنندگی و انتخاب زیستگاه از سوی پایکاست.

به عقیده Smith (1974) پایکاها، هنگامی که به مدت چند ساعت در معرض درجه حرارت بیش از ۷۷ درجه فارنهایت (معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار می‌گیرند، به دلیل خزشان، دچار استرس حرارتی شدید می‌شوند و ممکن است بمیرند. همچنین پژوهش‌های انجام گرفته در مورد پایکای آمریکایی نشان می‌دهد که

۳.۳. اعتبارسنجی مدل

بدین منظور بررسی می‌شود که آیا در مناطقی که با مدل اقلیمی، مناسب زیست گونه پیش‌بینی شده است، گونه واقعا حضور دارد یا خیر و به این ترتیب، مدل ارزش‌گذاری می‌شود. برای این منظور، ۴۰ نقطه‌ای که در ابتدا به‌طور تصادفی برداشت شده بودند، وارد مدل شدند؛ بیشتر بودن احتمال حضور گونه از ۰/۵، با توجه به معادله، نشان‌دهنده اقلیمی بود که گونه باید در آن حضور داشته باشد و میزان کمتر از ۰/۵ بیانگر عدم حضور گونه است (Bahadori, 2008). از ۴۰ نقطه چهار نقطه با مدل هم‌خوانی نداشت (در دو مورد از مناطقی که طبق مدل اقلیم مطلوب گونه تشخیص داده شده بود گونه حضور نداشت و در دو مورد از مناطقی که مدل آن‌ها را نامطلوب پیش‌بینی کرده بود گونه حضور داشت). همچنین به‌منظور معنی‌دار بودن یا معنی‌دار نبودن هم‌خوانی بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات مدل از آزمون مربع‌کای در نرم‌افزار Minitab 13.1 استفاده شد و مقدار به‌دست‌آمده برابر ۲۵/۶۰۰ بود که از مقدار محاسبه‌شده در جدول مربع‌کای در سطوح ۱ و ۵ درصد با درجه آزادی ۱ بزرگ‌تر بود. بنابراین نتیجه می‌شود که بین حضور گونه و اقلیم مطلوب محاسبه‌شده و نیز بین شرایط اقلیمی نامطلوب گونه و عدم حضور گونه رابطه معنی‌داری برقرار است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهند که

آن‌ها نرخ بقای گونه کاهش می‌یابد (MacArthur & Wang, 1974; Smith, 1974).

در کل نتیجه می‌شود که دما در پراکندگی پایکا اهمیت زیادی دارد و این گونه به واسطه جابه‌جایی محدود و زیستگاه‌های ویژه خود به تغییرات آب و هوایی بسیار حساس است. از آنجاکه تغییرات آب و هوایی به‌ویژه افزایش دما برای پایکاها تهدیدی بالقوه است، به‌تازگی وضعیت بسیاری از پایکاها به‌منظور قرارگیری در گونه‌های در خطر انقراض در حال بررسی است (Federal Register, 2009) و در این میان بررسی وضعیت پایکای افغانی اهمیت بیشتری دارد، زیرا علاوه بر اینکه مورد تهدید دماست، تنها گونه‌ای است که به مثابه حیوان آزمایشگاهی از آن استفاده می‌شود (Smith et al., 1990).

نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از آن است که در برخی مناطق به‌علت تغییرات اقلیمی پایکاها حدود ۱۹۰ متر جابه‌جایی ارتفاع داشته‌اند (Beever et al., 2003). این مسئله اهمیت بررسی ارتفاع را در کنار سایر پارامترهای اقلیمی نشان می‌دهد که در مدل‌هایی به‌دست‌آمده در این پژوهش پارامتر ارتفاع با سایر پارامترهای اقلیمی بررسی شد (جدول ۱). همچنین در پژوهش‌های متعددی بین ارتفاع و حضور و فراوانی پایکا رابطه مثبتی گزارش شد (Dearing, 1996; Richardson, 2010; Bruggeman, 2010; MacArthur & Wang, 1974) با توجه به مرور منابع گوناگون، پایکاها اساساً در مناطق مرتفع زندگی می‌کنند و به‌شدت به دمای پایین وابسته‌اند و از لحاظ فیزیولوژی قادر به تولیدمثل در مناطقی خارج از این حالت نیستند (Smith & Weston, 1990; Verts & Carraway, 1998). یافته‌های این پژوهش تأییدکننده پژوهش‌هایی است که در مورد پایکاها صورت گرفته است. نقش ارتفاع به‌طور غیرمستقیم و به واسطه تأثیر در پارامترهای اقلیمی مانند حداکثر و حداقل دما نمود پیدا می‌کند. با افزایش ارتفاع به‌علت وجود گیاهان متنوع و دیرتر آب شدن برف‌ها و در دسترس بودن علوفه، هم برای تغذیه و هم جمع‌آوری در فصل تابستان، و یا به‌مثابه عایق در فصل زمستان، هم برای گونه و هم برای حفظ گیاهان در زیر آن، گونه به مناطق مرتفع‌تر جذب می‌شود (Dearing, 1996; Richardson, 2010; Smith et al., 2004; Morrison

افزایش دما فعالیت این گونه را کاهش می‌دهد، حساسیت آن‌ها را افزایش و نرخ تولیدمثل گونه را کاهش می‌دهد (Beever et al., 2003; MacDonald & Brown, 1992).

MacArthur و Wang (1974) بیان کردند که در گستره دمایی بین ۳۷ تا ۸۱ درجه فارنهایت، بین مدتی زمانی که پایکاها بیرون‌اند و درجه حرارت همبستگی منفی وجود دارد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوا در تغییرات جمعیت پایکاها در جهان عاملی پیشرو است (Wei-Dong & Smith, 2005; Beever et al., 2003). افزایش دما از طریق تأثیر در پوشش گیاهی، تأثیر در زمان جمع‌آوری علوفه و تغییر رفتار به‌علت نیازهای تنظیم حرارتی بدن بر پایکاها اثر می‌گذارد. پایکاها به دلیل نداشتن خواب زمستانی می‌بایست غذای مورد نیاز خود را برای زمستان ذخیره کنند؛ بدین سبب، طی تابستان کوتاه نواحی کوهستانی و پاییز، وقت زیادی را به جمع‌آوری گیاهان اختصاص می‌دهند. مشکلی که پایکاها برای جمع‌آوری علوفه طی این فصل‌ها دارند، درجه حرارت بالاست. پایکاها در طول تابستان دو حالت تغذیه دارد؛ یک مورد تغذیه مستقیم از گیاهان تازه (Dearing, 1996) و حالت دوم تغذیه مربوط به جمع‌آوری گیاهان برای زمستان است. با افزایش سن گیاهان مقدار بیوماس آن‌ها افزایش می‌یابد و ترکیبات ثانویه‌ای تولید می‌کنند که سمی است، ولی سبب نگهداری گیاهان برای زمستان می‌شوند و با خشک‌شدن گیاهان این ترکیبات از بین می‌روند (Dearing, 1996). در نتیجه پایکاها گیاهان را در مرحله اوج رشد و بیوماس آن‌ها جمع‌آوری می‌کنند (Huntly, 1987). افزایش دما در مرحله رشد گیاهی و فراوانی آن‌ها مؤثر است؛ در نتیجه، با افزایش دما گیاهان زودتر به اوج رشدشان می‌رسند و فعالیت جمع‌آوری گیاهان برای پایکا زودتر شروع می‌شود و افزایش می‌یابد (Parmesan, 2006). در نتیجه موجب کاهش زمان تغذیه مستقیم گونه و مقدار گیاهان مناسب تغذیه می‌شود، این مسئله انرژی کافی برای فعالیت تابستان گونه را کاهش می‌دهد و در نتیجه کاهش فعالیت پایکاها به دلیل مشکل در تنظیم حرارتی بدن

مقدار رطوبت نسبی همبستگی نشان می‌دهد. در واقع با افزایش رطوبت نسبی امکان حضور پایکا کاهش می‌یابد و این می‌تواند به سبب خزهای فشرده این گونه باشد که مانع تبخیر آب از بدن گونه می‌شود که این مسئله به مطالعه بیشتری نیاز دارد.

نبود گزارش از وجود پایکا از شرق البرز می‌تواند با رابطه منفی حضور گونه با پارامتر تعداد روزهایی که حداکثر دمای هوا مساوی صفر یا کمتر است توجیه شود که نشانه سرمای بیش از اندازه و کمبود روزهای آفتابی و گرم است. همان‌طور که دمای بالا بر نرخ تولیدمثل گونه مؤثر است، دمای بسیار پایین هم ممکن است در تولیدمثل پایکا اختلال ایجاد کند، زیرا این گونه بیشتر در ماه‌های گرم سال تولیدمثل می‌کند (Smith *et al.*, 1990; Nowak, 1999). در نتیجه احتمال حضور گونه در مناطق با دمای بسیار پایین و تعداد ماه‌های گرم کمتر در سال کاهش می‌یابد و چنین مناطقی زیستگاه مناسبی برای پایکا نیستند.

با توجه به الگوی پراکندگی پایکای افغانی در ایران وجود این گونه در مناطق مرتفع و کوهستانی با مثبت بودن ضرایب ارتفاع در مدل رابطه مستقیم دارد.

علاوه بر مواردی که از صحت مدل در توجیه پراکندگی پایکای افغانی در ایران بیان شد، این مدل از دقت بالایی نیز برخوردار است. برای نمونه، احتمال حضور گونه، با توجه به مدل مطلوبیت اقلیمی که از معادله ۱ به دست می‌آید، در برخی از مناطق کشور مثل منطقه پرور سمنان، تندوره خراسان رضوی و بخش‌های گوناگون خراسان جنوبی و استان کرمان و اصفهان که جمعیت‌های عمده پایکای افغانی در آنجا قرار دارند، در مقایسه با سایر مناطق بیشتر است. در واقع این مناطق از لحاظ اقلیمی برای حضور گونه مطلوبیت بالاتری دارند. این نشانه دقت بالای این مدل در تعیین پراکندگی پایکای افغانی با توجه به پارامتر اقلیم در ایران است. با توجه به این مدل می‌توان درصد مطلوبیت اقلیمی هر نقطه را برای پایکای افغانی در ایران به دست آورد و به این ترتیب میزان شدت و ضعف سایر فاکتورها را بر پراکندگی پایکا اندازه‌گیری کرد. با استفاده از این مدل به مثابه اقلیم مناسب زیست پایکای افغانی، می‌توان با توجه به جابه‌جایی‌های ارتفاعی این گونه به بررسی نقش تغییرات اقلیمی در

(Hik, 2007) و در واقع ارتفاع برای پارامترهای اقلیمی نقش تعدیل‌کنندگی برای زیستن پایکاها را دارد.

مدل به دست آمده تا حدود زیادی قادر است پراکندگی پایکای افغانی را در ایران توجیه کند. با توجه به رکوردهای ثبت شده نقاط پراکندگی عمده پایکای افغانی را می‌توان به پنج ناحیه تقسیم‌بندی کرد:

- ۱- شمال شرق و شرق ایران شامل کوه‌های هزارمسجد و کپه‌داغ و بینالود؛
- ۲- جنوب شرق ایران شامل کوه‌های تفتان و ده برکی جنوب شرق کرمان؛
- ۳- مرکز ایران شامل مرکز رشته‌کوه البرز و زاگرس و بخش شمالی کوهرود؛
- ۴- طول رشته‌کوه البرز از جنوب شرق کرمان تا مرز ایران و ترکیه واقع در بسطام آذربایجان غربی؛
- ۵- قسمت شرقی و مرکزی البرز (شکل ۱).

در واقع پراکندگی پایکای افغانی از جنوب شرق ایران از کوه‌های تفتان در سیستان و بلوچستان شروع می‌شود و از انتهایی‌ترین نقطه رشته‌کوه زاگرس در طول این رشته‌کوه در کرمان تا بسطام در مرز ایران و ترکیه امتداد می‌یابد. بخش دیگر پراکندگی پایکای افغانی که جمعیت عمده و اصلی پایکا در ایران را شامل می‌شود، از شرق ایران و کوه‌های کپه‌داغ و بینالود شروع می‌شود و در امتداد البرز تا قزوین ادامه می‌یابد.

با توجه به نقاط پراکندگی کنونی پایکای افغانی در ایران (شکل ۱) و مدل به دست آمده می‌توان گفت که نبودن پایکای افغانی در مناطق کویری مرکز ایران با ضریب منفی مدل با پارامتر میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه همخوانی دارد. در واقع با توجه به مدل نهایی تهیه شده مربوطه می‌بینیم که با افزایش میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. همچنین حضور این گونه با پارامتر تعداد روزهای با حداقل دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و کمتر رابطه‌ای مثبت دارد و این نشانه ترجیح زیستگاهی پایکا در انتخاب مناطق با دمای کمتر است. نبودن پایکای افغانی در سواحل دریای خزر و خلیج فارس و دریای عمان با ضریب منفی مدل با

اقلیمی اقدامات لازم صورت گیرد. با توجه به این مدل می‌بینیم که پایکاها اغلب در مناطق کوهستانی ایران با هوای سرد و خشک زندگی می‌کنند و این مطلب گفته‌های Lay (۱۹۷۴) را تأیید می‌کند.

جابه‌جایی‌های پایکا پرداخت و از آن به‌مثابه شاخصی برای بررسی شرایط اقلیمی استفاده کرد. همچنین می‌توان زیستگاه‌های اقلیمی این گونه را در کشور تعیین کرد تا در صورت نیاز و بحرانی‌شدن شرایط

Reference

- Aliabadian, M., J. Darvish, and B. Kiabi (1996) "Study of intraspecific variation of pika (*Ochotona rufescens* Gray 1842) in Khorasan province (*Ochotonidae-lagomorpha*)," *iranian journal of biology*, 3(3 & 4): 286-303.
- Alizadeh Shabani, A., L. McArthur, and M. Abdollahian (2009) "Comparing different environmental variables in predictive models of bird distribution," *russian journal of ecology*, 40: 537-542.
- Bahadori, F (2008) "Habitat suitability modeling of eurasian nuthatch (*Sitta europaea*) at northern Alborz, Iran," ms thesis, Iran, University of Tehran, 92.
- Beever, E.A., P.F. Brussard and J. Berger (2003) "Patterns of apparent extirpation among isolated populations of pikas (*Ochotona princeps*) in the Great Basin," *Journal of Mammalogy*, 84: 37-54.
- Benda P. and I. Horacek (1995) "Geographic variation in three species of *Myotis* (Mammalia: Chiroptera) in south of the western Palearctic," *Acta Soc. Zool. Bohem.*, 59: 17-39.
- Blanford W. T (1876) "Eastern Persia, an account of the journeys of the Persian Boundary Commission 1870-71-72," volume II. The Zoology and Geology. London, vii+516 pp, 28 pls.
- Bruggeman, J.B (2010) Pilot study on factors affecting pika population in the North Cascades ecosystem. Bear Tooth Wildlife Research, LLC 700 Ninth Street. Final Report. California Press, Berkeley.
- Cermak, S., J. Obuchch. and P. Benda (2006) "Notes on the genus *Ochotona* in the Middle East (*Lagomorpha: Ochotonidae*)," *Lynx (Praga)*, n. s, 37: 51-66.
- Chakraborty, S., T. P. Bhattacharyya, Srinivasulu, C., Venkataraman, M., Goonatilake, W. L. D. P. T. S. de A., Sechrest, W. and Daniel, B. A (2005) "*Ochotona rufescens* (Gray, 1942)" in: S. Molur, C. Srinivasulu, B. Srinivasulu, S. Walker, P. O. Nameer and L. Ravikumar (eds), status of south Asian non-volant small mammals: conservation assessment and management plan (c.a.m.p.) workshop report, pp. 618 pp.. Coimbatore, India.
- Chefaoui, R. and J. Lobo (2008) "Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance," *ecological modelling*, 210: 478-486.
- Deroguin L (1988) "Notes sur quelques mammifères du Baluchistan iranien. Rev.," *Suisse Zool.*, 95: 595-606.
- Dearing, M.D (1996) "Disparate determinants of summer and winter diet selection of a generalist herbivore," *Ochotona princeps. oecologia*, 108: 467-478.
- Engler, R., A. Guisan and L. Rechsteiner (2004) "An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data," *Journal of applied ecology*, 41(2): 263-274.
- Etemad, E (1985) *Mammals of Iran*, vol. 2, Iran, Tehran, Department of the Environment Press, 293. (in Persian)
- Federal Register (2009) "Endangered and threatened wildlife and plants; 90-day finding on a petition to list the American pika as threatened or endangered with critical habitat," *Federal Register*, 74: 21301-21310.
- Gray, J.E (1942) "Descriptions of some new genera and fifty unrecorded species of Mammalia. Ann. Mag. Nat. Hist.," *Series 1*, 1:255-267.
- Grayson, D (2005) "A brief history of Great Basin pikas," *Journal of Biogeography*, 32: 2103-2111.
- Grzimek's Animal Life Encyclopedia (2004) eds. Michael Hutchins, Dennis A. Thoney, and Melissa C. Mcdade. Detroit: Gale, Pikas pp. 491-502.
- Hengl, T., H. Sierdsema, A. Radovic and A. Dilo (2009) "Spatial prediction of species distributions from occurrence-only records: combining point pattern analysis, ENFA and

- regression-kriging," *ecological modelling*, 220: 3499-3511.
20. Hirzel, A. and A. Guisan (2002) "Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modeling," *Ecological modelling*, 157(2-3): 331-341.
 21. Hughes, L (2000) "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?," *trends in ecology and evolution*, 15: 56-61.
 22. Huntly, N.J (1987) "Influence of refuging consumers (pikas: *ochotona princeps*) on subalpine
 23. Meadow vegetation," *Ecology*, 68: 274-283.
 24. Iran meteorological organization (2011) <http://www.weather.ir/farsi/statistics/index.asp>.
 25. Jimenez-Valverde, A., J. Lobo and J. Hortal (2008) "Not as good as they seem: The importance of concepts in species distribution modeling," *diversity distributions*, 14(6):885-890.
 26. Lay D. M (1967) "A study of the mammals of iran resulting from the street expedition of 1962-63," *fieldiana zool*, 54: 1-282.
 27. Macarthur, R.A. and L.C.H. Wang (1974) "Behavioral thermoregulation in the pika, *ochotonaprinceps*: A field study using radio-telemetry," *canadian journal of zoology*, 52: 353-358.
 28. Macdonald, K. and J. Brown (1992) "Using montane mammals to model extinctions due to global change," *Conservation biology*, 6: 409-415.
 29. Minitab statistical software (2000) Minitab. version 13.1. Minitab, pennsylvania state university, university park, usa. www.minitab.com
 30. Misonne X (1956): Notes sur les ochotones de l'iran. *bull. Inst. roy. sci. natur. belg*, 32(54): 1-7.
 31. Morrison, S.F., and D.S. Hik (2008) When? where? and for how long? census design considerations for an alpine lagomorph, the collared pika (*ochotona collaris*). pages 103-113 in P.C. Alves, N. Ferrand, and K. Hacklander, editors. *lagomorph biology: evolution, ecology, and conservation*. springer-verlag, berlin, germany.
 32. Murray J. A (1884) "Additions to the present knowledge of the vertebrate zoology of Persia," *ann. mag. natur. hist., ser. 5*, 14: 97-106.
 33. Nowak, R (1999) *Walker's mammals of the world*, sixth edition. Baltimore and London: The john hopkins university press.
 34. Obuch J. and A. Kristín (2004) "Prey composition of the little owl *athenenoctua* in an arid zone (egypt, syria, iran)," *Folia zool.*, 53: 65-79. october 19, 2006 at <http://www.answers.com/topic/afghan-pika>.
 35. Parmesan, C (2006) "ecological and evolutionary responses to recent climate change," *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 37: 637-669.
 36. Pereira, J.M.C. and R.M. Itami (1991) "Gis-based habitat modeling using logistic multiple regression: A study of the mt. graham red squirrel. photogramm. eng.," *remote sen*, 57: 1475-1486.
 37. Rickart, E (2001) "Elevational diversity gradients, biogeography, and the structure of MONTANE COMMUNITIES IN THE INTERMOUNTAIN REGION OF NORTH AMERICA," *GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY*, 10: 77-100
 38. Montane communities in the intermountain region of north america. *Global ecology and biogeography*, 10: 77-100.
 39. Richardson, R.M (2010) "Factors influencing pika foraging behavior in north cascades national park," washington. Final report.
 40. Roberts, T. J (1997) *The mammals of pakistan*, Karachi, Oxford university press, 252.
 41. Root, T.L. and S.H. Schneider (2006) "Conservation and climate change: the challenges ahead," *Conservation biology*, 20: 706-708.
 42. Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, and J.A. Pounds (2003) "Fingerprints of global warming on wild animals and plants," *Nature*, 421: 57-60.
 43. Schwartz, M.W., L.R. Iverson, A.M Prasad, S.N. Matthews, and R.J. O'connor (2006) "Predicting extinctions as a result of climate change," *ecology*, 87:1611-1615.
 44. Smith, A.T., and M.L. Weston (1990) "Ochotona princeps," *Mammalian species*, 352:1-8.
 45. Smith, A.T (1974) "The distribution and dispersal of pikas: Influences of behavior and climate," *Ecology*, 55:1368-1376.
 46. Smith, A. T., Formozov, N. A., Hoffmann, R. S., Changlin, Z. and Erbajeva, M. A (1990) "chapter 3: the pikas," in: J. A. Chapman and J. C. Flux (eds), *rabbits, hares and pikas: Status survey and conservation action plan*, 14-60. the world conservation union, gland, switzerland.
 47. Smith, A.T., L. Weidong, and D.S. Hik (2004) "Pikas as harbingers of global warming," *species*, 41: 4-5.

48. Statsoft (2001) Statistica. version 6. Statsoft, tula, oklahoma, usa. www.statsoft.com
49. Taghizadeh F (1964) *The harmful rodents of iran and their control*, Ministry of agriculture, tehran, 109 (in farsi, with a summary in english, paginated separately, 10).
50. Varastehmoradi, H (2010) "Habitat evaluation of middle spotted woodpecker (*dendrocoosmedius*) in golestan national park," *journal of natural environment*, 63(3): 303-315.
51. Verts, B. J. and L. N. Carraway (1998) *Land mammals of oregon*, Berkeley, university of california press.
52. Wei-dong, L. and A. Smith (2005) "Dramatic decline of the threatened ili pika (*ochotona iliensis*) in xinjiang, china," *Oryx*, 39: 30-34. Western regional climate center
53. Zaniwski, A., Lehmann, A. and Overton, J (2002) "Predicting species spatial distributions using presence-only data: A case study of native new zealand ferns," *Ecological modelling*, 157(2-3), 261-280.