

Paper Type: Original Article



The Effects of Climate Change on the Distribution Pattern and Habitat Suitability of the Azerbaijan Lizard *Darevskia Raddei Raddei* (Boettger, 1892) (Lizards: *Lacertidae*)

Rasoul Karamiani^{1,*}, Amir Dehghani²

¹ Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran; (**Corresponding author:** karamiani@razi.ac.ir).

² Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz, Iran; a.dehghani93@gmail.com.

Citation:

Karamiani, R., Dehghani, A. (2023). The effects of climate change on the distribution pattern and habitat suitability of the Azerbaijan lizard *Darevskia raddei raddei* (Boettger, 1892) (Lizards: *Lacertidae*). *The quarterly scientific journal of applied biology*, 36(3), 102-110.

Received: 03/01/2023

Accepted: 17/09/2023

Abstract

Introduction: The awareness of the distribution of species is very important in their conservation. Of 35 species lizards of the genus *Darevskia* Arribas, 1997 (*Lacertidae*), ten species are documented from Iran. The Azerbaijan lizard *D. raddei* (Boettger, 1892) include three recognized subspecies *D. raddei chaldoranensis*, *D. raddei vanensis* and *D. raddei raddei*, *Darevskia raddei raddei* is distributed in Ardabil, East Azerbaijan and West Azerbaijan Provinces.

Methods: In the study, used the maximum entropy approach based on climatic variables, modeled the potential distribution areas and determined the suitable habitats in the Last Interglacial (LIG), and Mid-Holocene (MH), the contemporary as well as predicated distribution in the future (2080) under the representative concentration pathway scenarios (RCP 2.6 and RCP 8.5) of greenhouse gas concentration levels for the subspecies.

Results: Precipitation of the warmest quarter of the year, mean temperature of the coldest quarter of the year and seasonal temperature were the most important factors in simulated the distribution pattern of the subspecies in the LIG and MH respectively. Mean temperature of the coldest quarter of the year, seasonal temperature, and isothermality variables constructed important contributions to the contemporary distribution it. Precipitation of the warmest quarter of the year, precipitation of the coldest quarter of the year and isothermality were the most important factors affecting species distribution for the future.

Conclusion: It seems over time, climatic change has been responsible for destruction of habitats the subspecies, although human activity in the fragmentation, destruction and change of habitats cannot be ignored.

Keywords: Distribution, Azerbaijan lizard, Weather conditions.



Corresponding Author: karamiani@razi.ac.ir



<https://doi.org/10.22051/jab.2023.42488.1537>



اثرات تغییر اقلیم بر الگوی پراکنش و مطلوبیت زیستگاه سوسمار آذربایجانی *Darevskia raddei raddei* (Boettger, 1892) (سوسماران: لاسرتیده)

رسول کریمانی^{۱*}، امیر دهقانی^۲

^۱ استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
^۲ استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

نویسنده مسئول: karamiani@razi.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

چکیده

مقدمه: آگاهی از پراکنندگی و استقرار گونه‌ها امری بدیهی و بسیار مهم در حفاظت از آن‌ها است. از ۳۵ گونه‌ی سوسمار جنس *Darevskia* Arribas, 1997 (خانواده لاسرتیده) ده گونه در ایران پراکنده شده است. گونه *D. raddei* (Boettger, 1892) دارای سه زیر گونه *D. raddei chaldoranensis*، *D. raddei raddei* و *D. raddei vanensis* است. *Darevskia raddei raddei* در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی پراکنش یافته است.

روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از رویکرد بی‌نظمی بیشینه براساس متغیرهای اقلیمی، پتانسیل پراکنش، تعیین زیستگاه‌های مناسب و پیش‌بینی آن‌ها از آخرین بین یخبندان، دوره هولوسن-میانی، عصر حاضر و آینده (سال ۲۰۸۰) تحت سناریوهای نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP 2.6 و RCP 8.5) برای سوسمار آذربایجانی *D. raddei raddei* ارزیابی گردید.

یافته‌ها: بارش گرم‌ترین سه ماه سال، میانگین دمای سردترین سه ماه سال و دمای فصلی مهم‌ترین عوامل در شبیه‌سازی الگوی پراکنش *D. raddei raddei* در آخرین بین یخبندان و دوره هولوسن-میانی بودند. میانگین دمای سردترین سه ماه سال، دمای فصلی، هم‌دمایی مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده پراکنش آن در دوره معاصر بودند. برای آینده بارش گرم‌ترین سه ماه سال، بارش در سردترین سه ماه سال و هم‌دمایی مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده پراکنش گونه بودند.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد با گذشت زمان، تغییرات اقلیمی عامل تخریب زیستگاه *D. raddei raddei* بوده است، اگرچه نمی‌توان فعالیت‌های انسانی در تکه‌تکه شدن، تخریب و تغییر زیستگاه‌ها را نادیده گرفت.

کلیدواژه‌ها: پراکنش، سوسمار آذربایجانی، شرایط آب‌وهوا.

۱- مقدمه

تغییرات اقلیم نقشی اساسی در پراکنندگی گونه‌های جانوری، مخصوصاً خزندگان ایفا کرده است، یکی از واکنش‌های راهبردی گونه‌ها به تغییرات پایدار آب‌وهوا، تغییر دامنه‌ها به مناطقی که دارای آب‌وهوای مناسب در محدوده تحمل آن‌ها است می‌باشد [1]. تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش گونه‌ها قادر است کمک شایانی به درک تحقیقات نظری، تاثیر تغییرات آب‌وهوایی بر توزیع و فراوانی گونه‌ها و فرآیندهای محیط‌زیستی در برنامه‌ریزی حفاظت از گونه‌ها کند [2]-[4]. از الگوهای پراکنش گونه می‌توان برای بررسی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر توزیع و فراوانی گونه‌ها، تعیین تنوع

زیستی، پیش‌بینی توزیع پتانسیل، مناسب بودن زیستگاه برای گونه‌ها و ارزیابی تغییرات احتمالی آینده در تنوع استفاده کرد [3]، [7]–[5]. رویکرد بیشینه بی‌نظمی (Maximum Entropy) یک رویکرد کلی برای توصیف پراکنش احتمالی از گزارش‌های اندک حضور گونه‌ها است [8]. توزیع احتمالی براساس متغیرهای محیطی موثر بر منطقه مورد مطالعه تخمین زده می‌شود [9]. اقلیم عصرهای گذشته و حاضر را می‌توان براساس مدل‌های گردش عمومی جو که فرآیندهای فیزیکی جو را به صورت مدل‌های عددی نشان می‌دهند شبیه‌سازی نمود و هم‌چنین شرایط آب‌وهوایی آینده را، تحت سناریوهایی با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) تصویرسازی کرد [10]–[12]. معمولاً برای بررسی خود همبستگی فضایی نقاط گزارش شده حضورگونه‌ها در مناطق از روش موران جهانی^۱ تحت‌عنوان نمره استاندارد (z-score) استفاده می‌شود. در شاخص موران فرضیه صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین نقاط استقرار وجود ندارد، حال زمانی که مقدار p-value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ باشد آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. مقدار شاخص I بین -۱ و +۱ متغیر است. هرچه مقدار این شاخص به +۱ نزدیک‌تر باشد نشان از خود همبستگی مکانی بیش‌تر و هرچه به -۱ نزدیک‌تر شود نشان از عدم خود همبستگی مکانی است؛ در صورتی که مقدار این شاخص صفر باشد دلیلی بر توزیع تصادفی داده‌ها بوده است در واقع هیچ ارتباط مکانی وجود ندارد [13].

در برخی از سوسماران مانند اسکینک‌های چشم ماری *A. pannonicus*، *Ablepharus Grayanus* و گونه‌های *Darevskia kopetdaghica* و *Eremias pleskei* و *Phrynocephalus horvathi* توزیع و مطلوبیت زیستگاه‌ها با تغییر اقلیم روند کاهشی [7]، [14] یا افزایشی مانند *Saara loricata* [15] و در برخی دیگر دامنه پراکنش به سمت مناطق خنک شمالی جهان تغییر یافته است [16]. جنس *Darevskia Arribas*, 1997 (سوسماران کوچک خانواده لاسرتیده) دارای ۳۵ گونه در منطقه قفقاز، کریمه و شمال و شرق ترکیه، از شرق کوه‌های البرز تا کپه داغ در مرز ایران و ترکمنستان است [17]، [18]. ده گونه از جنس *Darevskia* در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، گیلان، مازندران، تهران، البرز، گلستان و خراسان شمالی در ایران پراکنده شده است؛ گونه *D. raddei* (Boettger, 1892) با سه زیر گونه *D. raddei chaldoranensis*، *D. raddei raddei* و *D. raddei vanensis* منحصراً در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی پراکنش یافته است [19]. در این مطالعه به شناسایی مناطق بالقوه پراکنش و درک الگوهای تغییر جغرافیای زیستی سوسمار آذربایجانی *Darevskia raddei raddei*، بر پایه تغییر اقلیم، در سه دوره زمانی از گذشته (آخرین بین یخبندان و دوره هولوسن-میانی)، عصر حاضر و تا آینده (سال ۲۰۸۰) پرداخته خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

ثبت نقاط حضور در مناطق استقرار گونه براساس فعالیت‌های میدانی شکل ۱ و استفاده از گزارش‌های ثبت شده قبلی از دامنه پراکنش سوسمار آذربایجانی در ایران (استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی)، ارمنستان، آذربایجان، گرجستان انجام گرفت. در این مطالعه از ۷۶ نقطه حضور گونه استفاده شد [20]–[23]. نتایج شاخص موران برای سوسمار آذربایجانی نشان داد، نقاط نوعی خوشه‌بندی فضایی و الگوی مترکم و نزدیک به هم داشتند. برای بررسی شاخص جهانی موران از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شد. برای مدل سازی از رویکرد حداکثر آنتروپی (Maximum Entropy: MaxEnt) بر اساس ۱۹ متغیر اقلیمی (Bioclimatic) (جدول الف-۱) برای دوره‌های گذشته (آخرین بین یخبندان: حدود ۱۲۰ هزار سال قبل و دوره هولوسن-میانی: حدود شش هزار سال قبل)، معاصر و آینده (سال ۲۰۸۰) مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از بررسی‌های هیات بین دول تغییر اقلیم^۲ در گزارش پنجم^۳ و مدل سیستم اقلیمی مرکز آب‌وهوایی پکن نسخه ۴/۱^۴ استفاده شد (<http://www.ccafs-climate.org>). برای سال ۲۰۸۰ دو سناریو بررسی شد ۱- سناریو RCP 2.6، طبق این سناریو غلظت گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۳۰ بسیار کم می‌شود و برای غلظت گازهای گلخانه‌ای یک "اوج و نزول" در نظر گرفته شده است، سطح اجباری تابشی گازهای گلخانه‌ای ابتدا تا اواسط قرن حاضر (سال ۲۰۵۰) حدود ۳/۱ وات در هر متر مربع (W/m²) می‌رسد و سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات در هر متر مربع باز می‌گردد [24]، برای رسیدن به چنین سطح اجباری از تابش، باید با مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌طور غیر مستقیم انتشار آلاینده‌های هوا در گذر زمان غلظت آن‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش داد و ۲- سناریو RCP 8.5، براساس این ایده غلظت گازهای گلخانه‌ای با گذشت زمان هم‌چنان بالا خواهد رفت [25].

¹ Global Moran's I

² Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC)

³ Fifth Assessment Report (AR5)

⁴ The Beijing Climate Center Climate System Model Version 1.1 (BCC-CSM1-1)

برای شناسایی نسبت همبستگی بین متغیرها و نقاط ثبت شده حضور گونه، از نرم افزار (Openmodeller (V. 1.0.7) [26] استفاده شد؛ سپس مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در نرم افزار SPSS (نسخه ۲۲) مشخص گردید و متغیرهای که دارای ضریب همبستگی پیرسون بیش تر از ۰/۷۵ داشتند حذف شدند [27]، [28]. بین تمامی متغیرهای اقلیمی همبستگی گرفته شد و هفت متغیر اقلیمی برای مدل‌سازی به کار گرفته شد (جدول ۱). نقشه پراکنش گونه براساس ۱۵ مرتبه اجرای مدل (تکرار) که بهترین مدل را برای گونه مورد مطالعه ارائه می‌دهد، استخراج گردید. برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی نقشه‌های پراکنش از آماره تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت کننده^۱ استفاده شد. در صورتی که سطح زیر منحنی در رویکرد بی‌نظمی بیشینه ۰/۵ تا ۰/۷ باشد نشان‌دهنده پیش‌بینی یک مدل بهتر از حالت تصادفی است [29]، مقادیر ۰/۷-۰/۹، بیانگر یک مدل خوب و مقادیر بیش از ۰/۹ نشان‌دهنده پیش‌بینی بسیار عالی مدل است [30]. در نهایت از نرم‌افزار DIVA-GIS 7.3.0.1 برای ترسیم نقشه‌های پیش‌بینی شده براساس نقاط حضور گونه در زیستگاه‌ها استفاده شد [31].

۳- نتایج

مقادیر (Moran's I: 0.012; z-score: 6.344; p-value: 0.000) حاصل از شاخص جهانی موران خود همبستگی مکانی بین نقاط پراکنش سوسمار آذربایجانی را تایید کرد. براساس پیش‌بینی مدل‌ها، مهم‌ترین متغیرهای اساسی برای سوسمار آذربایجانی میزان بارش و تغییرات فصلی، بارش در سردترین سه ماه سال و دامنه تغییرات سالانه بودند. مقدار سطح زیر منحنی^۲ در این مطالعه برای آخرین بین یخبندان $0/001 \pm 0/996$ ، دوره هولوسن-میانی $0/002 \pm 0/995$ ، عصر حاضر $0/004 \pm 0/993$ و آینده (سال ۲۰۸۰: تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5) $0/001 \pm 0/996$ بوده که بیانگر پیش‌بینی عالی مدل‌ها است. سهم نسبی عملکردی هر متغیر برای دوره‌های گذشته، عصر حاضر و آینده در جدول ۱ و نقشه مطلوبیت زیستگاه‌ها و احتمال پراکنش سوسمار آذربایجانی در شکل ۲ ارائه گردیده است. بارش گرم‌ترین سه ماه سال، میانگین دمای سردترین سه ماه سال و دمای فصلی مهم‌ترین عوامل در شبیه‌سازی الگوی پراکنش *D. raddei raddei* در گذشته و آینده بودند. براساس نتایج حاصل از MaxEnt عوامل موثر بر مدل پراکنش سوسمار آذربایجانی در دوره معاصر میانگین دمای سردترین سه ماه سال، دمای فصلی و هم‌دمایی ذکر شده اند.



شکل ۱- الف- روستای جوشین-خاروانا، ب- جنگلهای ارسباران -خدآفرین، پ- ساپلاخ-هریس، ت- روستای کسانق - شهرستان اهر، ث- مشگین شهر، ج- اطراف معدن مس سونگون-ورزقان.

^۱ Receiver Operating Characteristic Curve (ROC)

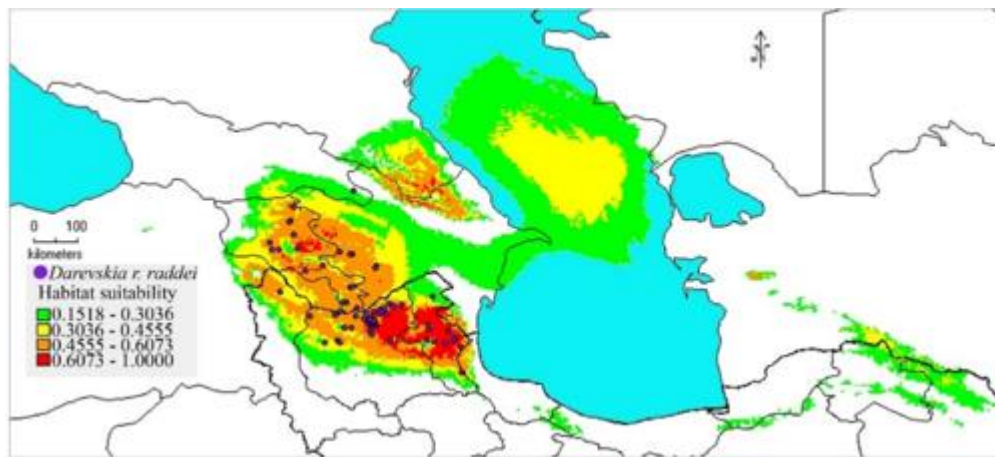
^۲Area under the curve

Figure 1- a. Joshin village - Kharvana, b. Arasbaran forests - Khodafarin, c. Saplakh - Harris, d. Kasanagh village - Ahar city, e. Meshginshahr, f. Around the Songun copper mine – Varzeqan.

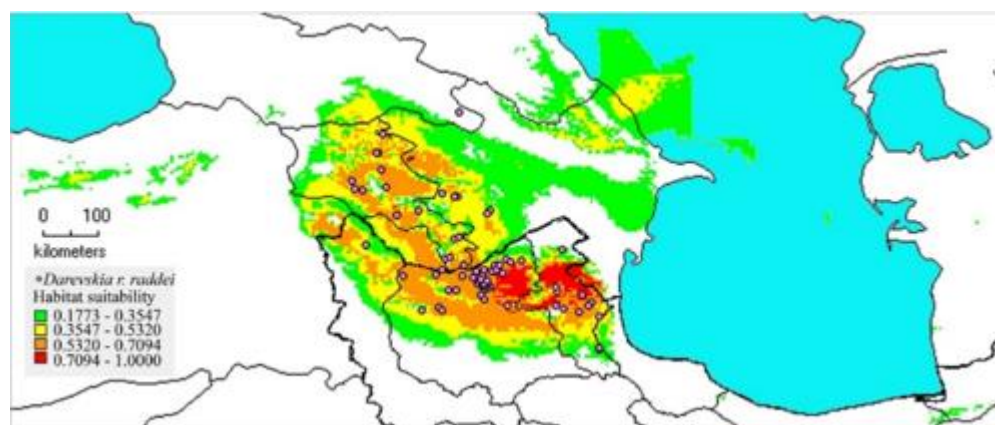
جدول ۱- نسبت متغیرهای مهم (درصدی) در آخرین بین یخبندان، هولوسن-میانی، دوره معاصر و آینده (سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 برای سال ۲۰۸۰) که در مدل MaxEnt برای سوسمار آذربایجانی *Darevskia raddei raddei* استفاده شده است.

Table 1- Relative of variables (in percentages) at the LIG, the MH, the contemporary, and future period (RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios for 2080) used in MaxEnt model for of the Azerbaijan lizard *Darevskia raddei raddei*.

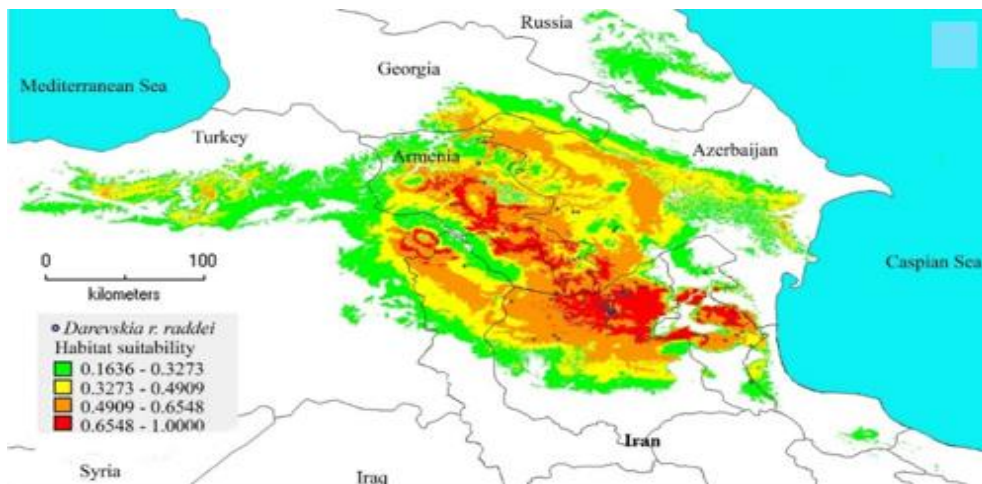
Variable	Description of Variables	LIG	MH	Present Time	2.6 Scenario	8.5 Scenario
Bio11	Mean temperature of the coldest quarter of the year	20.5	27	31.2	8	8
Bio4	Temperature seasonality (standard deviation * 100)	18.1	18.9	18.3	15.8	17
Bio3	Isothermality [(BIO2 / BIO7) * 100]	4.3	9.6	14.4	21.3	23.3
Bio19	Precipitation of the coldest quarter of the year	15.2	15.9	13.8	22.4	19.1
Bio18	Precipitation of the warmest quarter of the year	25.3	19.5	12.9	26	26.3
Bio2	Mean diurnal range [mean of monthly (max temp – min temp)]	3.5	9.1	5.1	6.4	6.3
Bio9	Mean temperature of the driest quarter of the year	13.1	0.1	0	0	0



a.

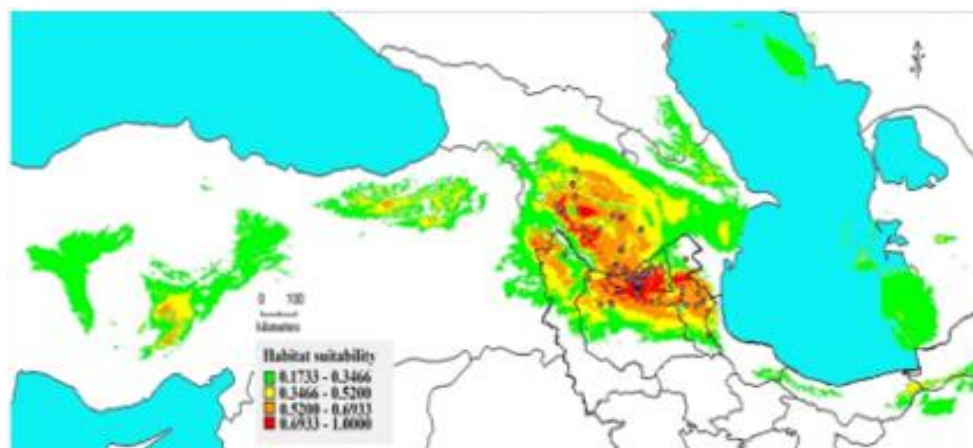


b.

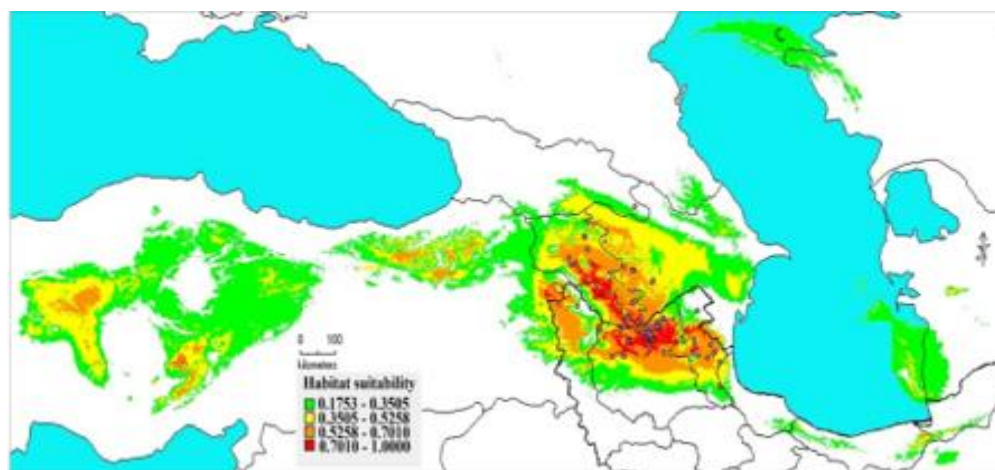


c.
شکل ۲- الگوی پراکنش بالقوه سوسمار آذربایجانی *Darevskia raddei raddei* در زیستگاه‌ها در دوره‌های الف؛ الف- آخرین بین یخبندان، ب- هولوسن-میانی، ج- معاصر؛ دایره بیانگر حضور گونه و مربع‌ها در داخل شکل نشان دهنده مقدار مطلوبیت زیستگاه می‌باشند.

Figure 2- Pattern of potential distribution of the Azerbaijan lizard (*Darevskia r. raddei*) in habitats of periods; a. the last between of glacial, b. the Middle Holocene period, c. the contemporary period, the circle shows the presence of species and the squares in the figure shows the amount of habitat suitability.



a.



b.

شکل ۳- پیش بینی مطلوبیت زیستگاه و الگوی پراکنش سوسمار آذربایجانی (*Darevskia raddei raddei*) در سال ۲۰۸۰؛ الف- سناریو RCP 6.0، ب- سناریو RCP 8.5 دایره ها حضور گونه و مربع ها در داخل شکل میزان مناسب بودن زیستگاه را نشان می دهد.

Figure 3- Predicted habitat suitability and distribution model of the Azerbaijan lizard (*Darevskia raddei raddei*) during 2080; a. scenario RCP 6.0, b. scenario RCP 8.5. The circle shows the presence of species and the squares in the figure shows the amount of habitat suitability.

۴- بحث

حوادث دیرینه اقلیمی، باعث ایجاد نوسانات متعدد در محدوده پراکنش گونه‌ها می‌شوند، بررسی کلی طیف زمانی دامنه تغییرات از اهمیت حفاظتی برای گونه‌ها برخوردار است؛ زیرا گونه‌هایی که در گذشته دچار تغییر مکانی شده‌اند ممکن است در سناریوی تغییر اقلیم به کاهش یا جابه‌جایی دامنه پراکنش ادامه دهند [1]، خزندگان به هر گونه تغییر پایدار آب‌وهوا حساس می‌باشند؛ زیرا برای حفظ فرآیندهای فیزیولوژیکی حیاتی به دما و شرایط محیطی اطراف خود متکی هستند [32]. به نظر می‌رسد سوسماران در مناطق معتدل و کوهستانی در برابر تغییرات آب‌وهوایی بسیار آسیب پذیر هستند [33]، [34]. تولیدمثل آن‌ها در بهار و تابستان که رژیم‌های دما و رطوبت مناسب برای فعالیت‌های حیاتی تاریخ طبیعی هستند، اتفاق می‌افتد. تغییر دما و آب‌وهوایی در طول این فصول ممکن است منجر به شکست تولیدمثل، مرگ‌ومیر مرتبط با گرم شدن ناگهانی در زمستان، اثرات متقابل جوامع بی‌سی تغییر یافته و بیماری بالقوه شود. نتایج شاخص موران و رویکردی پیشینه بی‌نظمی نشان داد سوسمار آذربایجانی دارای الگوی پراکنش مترکم و تحت‌تاثیر میزان دمای ماهیانه، فصلی و بارش فصلی بوده است که مانند دیگر سوسماران از جمله *Ablepharus* وابستگی تاریخی به بارش و دما دارد [35]. سیلرو و کارتر [1] در بررسی تغییر دامنه پراکنش گونه *Podarcis carbonelli Pérez-Mellado, 1981* از خانواده *Lacertidae* در راستای تغییر اقلیم در دوره‌های مختلف زمانی (آخرین بین یخبندان، آخرین حداکثر یخبندان، معاصر و آینده) نشان دادند که دامنه پراکنش آن در دوره آخرین بین یخبندان نسبت به دوره‌های دیگر کاهش نسبی را نشان می‌دهد و دامنه پراکنش آن در جهت مناطق مرطوب و دمای پایین شمالی تغییر کرده است که همین مساله در گونه مورد مطالعه در این تحقیق هم مصداق دارد. در برخی از گونه‌های جانوری ممکن است الگوی پراکنش با تغییر اقلیم دچار نوسان شدیدی شود مانند آن‌چه در الگوی پراکنش گگوی پلنگی (*Eublepharis angramainyu Anderson & Leviton, 1966*) رخ داده است، الگوی پراکنش گگوی پلنگی در دوره هولوسن-میانی نسبت به دوره‌های آخرین بین یخبندان، عصر حاضر و الگوی پراکنش پیش‌بینی شده در ۲۰۵۰ بسیار گسترده‌تر نشان داده شده است [35]؛ پس می‌توان گفت تغییر اقلیم توانسته است که در الگوی پراکنش گروه‌های مختلف جانوری تاثیر بسزایی گذاشته است. دیرینه اقلیم‌شناسان بیان کرده‌اند که دوره آخر بین یخبندان (حدود ۱۲۰۰۰ سال پیش) در طول تابستان در نیم‌کره شمالی، به دلیل تغییر در مدار زمین، توزیع تابش خورشیدی بر روی زمین، میانگین دمای سالانه سطح جهانی حدود ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد گرم‌تر قبل از صنعتی شدن بوده و دمای سطح ارتفاعات حداقل ۲ درجه سانتیگراد گرم‌تر از عصر حاضر بوده است (ncei.noaa.gov)، احتمال می‌رود که محدودیت زیستگاه‌های مناسب و مطلوب *Darevskia raddei raddei* در گذشته همین بوده باشد. هم‌چنین در هولوسن-میانی (تقریباً ۶۰۰۰ سال پیش)، به دلیل تغییرات آهسته در طول هزاران و میلیون‌ها سال در مدار زمین، میزان تابش خورشیدی که به زمین می‌رسد تغییر کرده است؛ این تغییرات مداری باعث گردیده است که در اواسط هولوسن در نیم‌کره شمالی تابستان گرم‌تر و زمستان سردتر از عصر حاضر بوده است که می‌تواند دلیلی بر کم بودن وسعت زیستگاه‌های مناسب نسبت به عصر حاضر در گونه مورد مطالعه باشد. مدل‌های حاصل از رویکرد حداکثر آنتروپی، منطقه مناسب بزرگ‌تری را نسبت به منطقه اشغال شده در حال حاضر *D. raddei raddei*، نشان دادند. اگرچه مناسب‌ترین نواحی تا حد زیادی با جمعیت‌های مشاهده شده مطابقت دارد (شکل ۲). مناطق دیگری نیز وجود دارند که آب‌وهوا مناسب است اما حضور گونه ثبت نشده است. این مورد در مورد مناطق از شرق ترکیه، شمال غربی ایران (آذربایجان غربی: ماکو)، جنوب ارمنستان، بخش‌هایی از آذربایجان و نخجوان است. اگرچه، جستجوهای بیش‌تر می‌تواند جمعیت‌های جدا شده‌ای از این گونه را در مناطق دیگر پیدا کند. متغیرهایی که بیش‌ترین کمک را به مدل داشتند عبارتند از میانگین دمای سردترین سه ماه سال (۵- درجه سانتیگراد)، بارش گرم‌ترین سه ماه سال (۷۹ میلی‌متر) و دمای فصلی. از این سه، تنها میانگین دمای سردترین سه ماه سال سهم بالایی داشت (جدول ۱). تحقیقات تطبیقی بیش‌تر در مورد ریختی و بوم-فیزیولوژی برای تعیین علل نزدیکی این الگو مورد نیاز است. با این وجود، زیستگاه‌هایی که گونه‌ها در آن زندگی می‌کنند ممکن است کاملاً متفاوت باشند (شکل ۱) مانند جنگل‌های بلوط و تپه‌های سنگلاخی. با این حال، آب‌وهوا را می‌توان مشابه، با دمای متوسط و سطوح بالای رطوبت در نظر گرفت. در آینده (سال ۲۰۸۰) براساس سناریو RCP 2.6 که غلظت گازهای گلخانه‌ای دارای اوج (اواسط قرن حاضر) و نزول (سال ۲۱۰۰) پیش‌بینی می‌شود مناسب ماندن زیستگاه‌ها و الگوی پراکنش سوسمار آذربایجانی روند کاهشی را داشته باشد، ولی بر پایه سناریو RCP 8.5 که غلظت گازهای گلخانه‌ای با گذشت زمان هم‌چنان بالا خواهد رفت، علاوه بر کاهش مطلوبیت زیستگاهی و پراکنش در کشورهای آذربایجان،

ارمنستان و ایران، مناطقی از شمال شرقی استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی کاملاً برای بقا گونه مورد مطالعه نامناسب و در عین حال مناطقی از شرق و مرکز ترکیه دارای مطلوبیت زیستگاهی خوبی خواهند شد.

۵- نتیجه‌گیری

مدیریت حفظ و احیای زیستگاه‌های موجود برای خزندگان، افزایش سطح زیستگاه دست نخورده و انطباق اقدامات مدیریتی برای کاهش عوامل استرس‌زای محیطی اهمیت اساسی دارد. از آنجایی که ریزاقلیم‌ها را می‌توان به آسانی با فعالیت‌های مدیریت زمین محلی دست‌کاری کرد، مردم می‌توانند به‌طور فعال آینده‌ای را برای برخی از این موجودات مهندسی کنند، به‌ویژه زمانی که محیط‌های آن‌ها در حال حاضر به دلیل فعالیت‌های انسانی بسیار تغییر کرده است. در حال حاضر محافظت نمی‌شود؛ اما سزاوار اولویت حفاظت است.

سیاس‌گذاری

بدین‌وسیله از آقای علی دهقانی که ما را در کار میدانی یاری نمودند تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

بدین‌وسیله نویسندگان نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافی ندارند.

منابع

- [1] Sillero, N., & Carretero, M. A. (2013). Modelling the past and future distribution of contracting species. The Iberian lizard *podarcis carbonelli* (squamata: lacertidae) as a case study. *Zoologischer anzeiger - a journal of comparative zoology*, 252(3), 289–298. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044523112000629>
- [2] Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*, 19(1), 181–197. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/07-2153.1>
- [3] Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145–148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- [4] Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in ecology and evolution*, 19(9), 497–503. [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(04\)00203-4?large_figure=true](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(04)00203-4?large_figure=true)
- [5] Kleidon, A., & Mooney, H. A. (2000). A global distribution of biodiversity inferred from climatic constraints: results from a process-based modelling study. *Global change biology*, 6(5), 507–523. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2486.2000.00332.x>
- [6] Ramirez-Villegas, J., Cuesta, F., Devenish, C., Peralvo, M., Jarvis, A., & Arnillas, C. A. (2014). Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. *Journal for nature conservation*, 22(5), 391–404. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138114000387>
- [7] Karamiani, R., Rastegar-Pouyani, N., & Rastegarpouyani, E. (2018). Modeling the past and current distribution and habitat suitability for *Ablepharus grayanus* and *A. pannonicus* (sauria: scincidae). *Asian herpetological research*, 9(1), 56–64.
- [8] Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... & E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151. <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- [9] Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*, 34(1), 102–117. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- [10] Miao, C., Duan, Q., Sun, Q., & Li, J. (2013). Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Progress in physical geography: earth and environment*, 37(6), 727–744. <https://doi.org/10.1177/0309133313494961>
- [11] Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- [12] Aghakhani Afshar, A., Hassanzadeh, Y., Besalatpour, A. A., & Pourreza Bilondi, M. (2017). Annual assessment of Kashafrud watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change. *Journal of water and soil conservation*, 23(6), 217–233. https://jwsc.gau.ac.ir/article_3486.html

- [13] Gunaratna, N., Liu, Y., & Park, J. (2013). Spatial autocorrelation. *Journal of recuperado EL*, 2, 1–14. <https://www.stat.purdue.edu/~bacraig/SCS/Spatial Correlation new.doc>
- [14] Hosseinian, S. (2021). Climate change and its effects on the distribution pattern of critically endangered lizards in Iran. *Journal of animal environment*, 13(4), 137–142. http://www.aejournal.ir/article_163061.html
- [15] Kafash, A., Kaboli, M., Koehler, G., Yousefi, M., & Asadi, A. (2016). Ensemble distribution modeling of the Mesopotamian spiny-tailed lizard, *Saara loricata* (Blanford, 1874), in Iran: an insight into the impact of climate change. *Turkish journal of zoology*, 40(2), 262–271. <https://journals.tubitak.gov.tr/zoology/vol40/iss2/15/>
- [16] Moreno-Rueda, G., Pleguezuelos, J. M., Pizarro, M., & Montori, A. (2012). Northward shifts of the distributions of Spanish reptiles in association with climate change. *Conservation biology*, 26(2), 278–283. <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2011.01793.x>
- [17] Ahmadzadeh, F., Flecks, M., Carretero, M. A., Mozaffari, O., Böhme, W., Harris, D. J., ... & Rödder, D. (2013). Cryptic speciation patterns in Iranian rock lizards uncovered by integrative taxonomy. *PloS one*, 8(12), e80563. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0080563>
- [18] Arnold, E. N., Arribas, O., & Carranza, S. (2007). Systematics of the palaearctic and oriental lizard tribe lacertini (squamata: lacertidae: lacertinae), with descriptions of eight new genera. *Zootaxa*, 1430(1), 1–86. <https://www.biotaxa.org/Zootaxa/article/view/zootaxa.1430.1.1>
- [19] Nasrullah, R. P., Rasoul, K., Hamzeh, O., Azar, K., & Eskandar, R. P. (2012). A new subspecies of *darevskia raddei* (Boettger, 1892)(Sauria: Lacertidae) from the West Azerbaijan province, Iran. *Asian herpetological research*, 2(4), 216–222. https://lacertilia.de/AF/Bibliografie/BIB_6416.pdf
- [20] Freitas, S., Rocha, S., Campos, J., Ahmadzadeh, F., Corti, C., Sillero, N., ... & Carretero, M. A. (2016). Parthenogenesis through the ice ages: a biogeographic analysis of Caucasian rock lizards (genus *Darevskia*). *Molecular phylogenetics and evolution*, 102, 117–127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1055790316301233>
- [21] Dehghani, A., Hosseinian Yousefkhani, S. S., Rastegar-Pouyani, N., Banan-Khojasteh, S. M., & Mohammadpour, A. (2014). Sexual size dimorphism in *darevskia raddei* (sauria: lacertidae) from northwestern Iran. *Zoology in the middle east*, 60(2), 120–124. <https://doi.org/10.1080/09397140.2014.914715>
- [22] Argaña, E., Freitas, S., Sillero, N., Corti, C., Drovetski, S. V., Garcia-Muñoz, E., ... & Carretero, M. A. (2013). An apparent case of bilateral gynandromorphy in the femoral pores of the Caucasian rock lizard *Darevskia raddei*. *Herpetology notes*, 6(1), 77–80. https://www.academia.edu/download/53580351/An_apparent_case_of_bilateral_gynandromo20170619-2985-19dseje.pdf
- [23] Grechko, V. V., Bannikova, A. A., Kosushkin, S. A., Ryabinina, N. L., Milto, K. D., Darevsky, I. S., & Kramerov, D. A. (2007). Molecular genetic diversification of the lizard complex *darevskia raddei* (sauria: lacertidae): early stages of speciation. *Molecular biology*, 41(5), 764–775. <https://doi.org/10.1134/S0026893307050093>
- [24] van Vuuren, D. P., den Elzen, M. G. J., Lucas, P. L., Eickhout, B., Strengers, B. J., van Ruijven, B., ... & Van Houdt, R. (2007). Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic change*, 81(2), 119–159. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9172-9>
- [25] Riahi, K., Grübler, A., & Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological forecasting and social change*, 74(7), 887–935. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162506001387>
- [26] de Souza Muñoz, M. E., De Giovanni, R., de Siqueira, M. F., Sutton, T., Brewer, P., Pereira, R. S., ... & Canhos, V. P. (2011). Openmodeller: a generic approach to species' potential distribution modelling. *Geoinformatica*, 15(1), 111–135. <https://doi.org/10.1007/s10707-009-0090-7>
- [27] Rissler, L. J., Hijmans, R. J., Graham, C. H., Moritz, C., & Wake, D. B. (2006). Phylogeographic lineages and species comparisons in conservation analyses: a case study of california herpetofauna. *The american naturalist*, 167(5), 655–666. <https://doi.org/10.1086/503332>
- [28] Hosseinzadeh, M. S., Farhadi Qomi, M., Naimi, B., Roedder, D., & KAZEMI, S. M. (2018). Habitat suitability and modelling the potential distribution of the plateau snake skink *ophiomorus nuchalis* (sauria: scincidae) on the Iranian plateau. *North-western journal of zoology*, 14(1). http://macroecointern.dk/pdf-reprints/Hosseinzadeh_NWJZ_2018.pdf
- [29] Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N. E., & Thuiller, W. (2012). Invasive species distribution models – how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global ecology and biogeography*, 21(11), 1126–1136. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1466-8238.2012.00768.x>
- [30] Manel, S., Williams, H. C., & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of applied ecology*, 38(5), 921–931. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- [31] Hijmans, R., Guarino, L., Cruz, M., & Rojas, E. (2000). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant genetics research newsletter*, 127, 15–19. https://www.diva-gis.org/docs/pgr127_15-19.pdf
- [32] Vose, J. M., & Klepzig, K. D. (2013). *Climate change adaptation and mitigation management options: a guide for natural resource managers in southern forest ecosystems*. Taylor & Francis.
- [33] Zani, P. A., & Rollyson, M. E. (2011). The effects of climate modes on growing-season length and timing of reproduction in the pacific northwest as revealed by biophysical modeling of lizards. *The american midland naturalist*, 165(2), 372–388. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-165.2.372>
- [34] Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of biogeography*, 33(10), 1712–1728. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01482.x>
- [35] Karamiani, R., & Rastegar-Pouyani, N. (2021). The effect of climate change on habitat suitability and a distribution model of the Iranian fat-tailed gecko, *Eublepharis angramainyu* Anderson and Leviton, 1966 (sauria: eublepharidae) since the last

interglacial to 2050. *Zoology and ecology*, 31, 24-32. https://www.researchgate.net/profile/Rasoul-Karamiani-2/publication/354733268_

ضمیمه الف

جدول الف ۱ - متغیرهای زیست اقلیمی مورد استفاده در مدل‌ها (www.worldclim.org).

Table A 1- Bioclimatic variables used at models (www.worldclim.org).

Characters	Definition	توضیح
BIO1	Annual mean temperature	میانگین دمای سالانه
BIO2	Mean diurnal range [mean of monthly (max temp - min temp)]	میانگین دمایی روز (میانگین ماهیانه بیش‌ترین دما - کمترین دما)
BIO3	Isothermality [(BIO2 / BIO7) * 100]	هم‌دمایی
BIO4	Temperature seasonality (standard deviation * 100)	دمای فصلی (انحراف معیار × ۱۰۰)
BIO5	Maximum temperature of the warmest month	بیش‌ترین دمای گرم‌ترین ماه
BIO6	Minimum temperature of the coldest month	کمترین دمای سردترین ماه
BIO7	Temperature annual range (BIO5 - BIO6)	میانگین دمای سالانه
BIO8	Mean temperature of the wettest quarter of the year	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال
BIO9	Mean temperature of the driest quarter of the year	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال
BIO10	Mean temperature of the warmest quarter of the year	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال
BIO11	Mean temperature of the coldest quarter of the year	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO12	Annual precipitation	بارش سالانه
BIO13	Precipitation of the wettest month	بارش گرم‌ترین ماه
BIO14	Precipitation of the driest month	بارش خشک‌ترین ماه
BIO15	Precipitation seasonality (standard deviation / mean)	بارش فصلی (انحراف معیار / میانگین)
BIO16	Precipitation of the wettest quarter of the year	بارش مرطوب‌ترین فصل سال
BIO17	Precipitation of the driest quarter of the year	بارش خشک‌ترین فصل سال
BIO18	Precipitation of the warmest quarter of the year	بارش گرم‌ترین فصل سال
BIO19	Precipitation of the coldest quarter of the year	بارش سردترین فصل سال