



Original Research Paper

Evaluating the response of Anura amphibians to the decreasing of water depth caused by climate change: investigating the growth, development and survival of green toad (*Bufo variabilis*) larvae

Nemat Dastansara, Somaye Vaissi *, Zeynab Taheri Khas, Mozafar Sharifi

Department of Biology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran

Key Words

Global warming
Water depth change
Growth and development
Mortality
Amphibian larvae

Abstract

Introduction: The water depth in freshwater habitats, from ephemeral ponds to permanent ponds and lakes, is changing due to various factors, including climate fluctuations. In such environments, changing conditions usually produce heterogeneous patterns of growth, metamorphosis, and reproductive timing. The purpose of this study is to examine the effects of water depth level reduction on growth size, age, and metamorphosis of green toad larvae (*Bufo variabilis*).

Materials & Methods: The effect of reducing the water depth in two treatments with moderate reduction and rapid reduction of water along with the control treatment was investigated for 15 weeks. For this purpose, green toad larvae were placed in artificial tanks with a density of 50 larvae in each tank with 4 repetitions under the same diet until metamorphosis.

Results: The results of the experiment showed that the reduction of the water depth in the fast and medium treatments increases the growth rate, reduces the duration of metamorphosis and also reduces the survival rate compared to the control treatment. Based on the statistical results, these effects are significant on the size and time of metamorphosis, but insignificant on the survival rate.

Conclusion: Our experiment elucidates the understanding of an environmental stressor on the situation of amphibians and shows how water fluctuations can affect the status of species that rely on freshwater for development.

* Corresponding Author's email: s.vaissi@razi.ac.ir

Received: 23 August 2022; Reviewed: 25 September 2022; Revised: 27 November 2022; Accepted: 28 December 2022

(DOI): [10.22034/AEJ.2022.363474.2891](https://doi.org/10.22034/AEJ.2022.363474.2891)

مقاله پژوهشی

ارزیابی پاسخ دوزیستان بدون دم به کاهش عمق آب ناشی از تغییرات اقلیمی: بررسی رشد، تکوین و بقاء لاروهای وزغ سبز (*Bufo variabilis*)

نعمت دستان سرا، سمیه ویسی*، زینب طاهری خاص، مظفر شریفی

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

کلمات کلیدی

گرمايش جهاني
تغيير عمق آب
رشد و نمو
مرگ و مير
لارو دوزيستان

چکیده

مقدمه: عمق آب در زیستگاه های آب شیرین، از حوضچه های زودگذر تا برکه ها و دریاچه های دائمی بر اثر عوامل مختلف از جمله نوسانات اقلیمی در حال تغییر است. در چنین محیط هایی، تغییر شرایط معمولاً الگوهای ناهمگون رشد، دگردیسی و زمان تولیدمثل را ایجاد می کنند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی کاهش عمق آب بر اندازه رشد، سن و اندازه دگردیسی و بقاء لارو وزغ سبز (*Bufo variabilis*) است.

مواد و روش ها: اثر کاهش عمق آب در دو تیمار با کاهش متوسط و کاهش سریع آب به همراه تیمار شاهد به مدت ۱۵ هفته مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور لاروهای وزغ سبز در مخازن مصنوعی با تراکم ۵۰ لارو در هر مخزن با ۴ تکرار تحت رژیم غذایی یکسان تا زمان دگردیسی قرار داده شدند.

نتایج: نتایج حاصل از آزمایش نشان داد کاهش عمق آب در تیمار سریع و متوسط باعث افزایش سرعت رشد، کاهش مدت زمان دگردیسی و هم چنین کاهش نرخ بقا در مقایسه با تیمار شاهد می شود. براساس نتایج آماری این اثرات بر اندازه و زمان دگردیسی معنی دار، ولی بر میزان بقای بی معنا می باشد.

بحث و نتیجه گیری: آزمایش ما درک یک عامل استرس زای محیطی بر وضعیت دوزیستان را توضیح می دهد و نشان می دهد که چگونه نوسانات آبی می تواند بر وضعیت گونه هایی که برای تکوین به آب شیرین متکی هستند تأثیرگذار باشد.

مقدمه

جمعیت دوزیستان در سرتاسر جهان با نرخ قابل توجهی بالاتر از سایر گونه‌های مهره‌داران در حال کاهش است (۱، ۲). بیش از یک سوم گونه‌های دوزیستان توسط اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت یا IUCN به عنوان در معرض خطر، در خطر انقراض یا به شدت در معرض خطر قرار گرفته‌اند. عوامل استرس‌زای آبی، مانند رژیم‌های دمایی، خطر شکارگری و دوره آبی تالاب‌ها و برکه‌ها، اغلب می‌توانند اثرات مرگبار بر جمعیت دوزیستان و لارو آن‌ها داشته باشند (۳، ۴). این گروه از مهره‌داران خونسرد از اجزای مهم اکوسیستم‌ها در سراسر جهان محسوب می‌شوند که نقش مهمی در شبکه‌های غذایی به عنوان رابطه شکار و شکارگری ایفا می‌کنند که اغلب اکوسیستم‌های زمینی و آبی را به هم مرتبط می‌کنند (۵). آن‌ها همچنین به عنوان شاخص زیست‌محیطی سلامت و کیفیت اکوسیستم عمل می‌کنند (۶). پراکندگی و اکولوژی کنونی دوزیستان منعکس‌کننده الگوهای بارندگی و دما می‌باشد، چرا که تغییرات اقلیم تأثیرات قابل توجهی بر تنوع زیستی دوزیستان دارد (۷، ۸). با افزایش دما و رویدادهای شدید اقلیمی دوزیستان شرایط محیطی فراتر از ظرفیت فیزیولوژیکی خود را تجربه می‌کنند زیرا عملکردهای متابولیکی آنان به شرایط محیطی وابسته است که در نهایت منجر به تغییراتی در رفتار و اکولوژی می‌شود (۹). آب یک ویژگی حیاتی برای برکه‌ها است که مستقیماً با افزایش دما از طریق خشک و کم آب شدن بر بقای لارو دوزیستان برکه‌ها و تالاب‌ها تأثیر می‌گذارد (۱۰). تغییر عمق آب برکه‌ها احتمالاً با تغییرات اقلیمی، تغییر الگوهای آب و هوا و فصلی بودن بارش‌ها تغییر خواهند کرد در نتیجه انتظار می‌رود که افزایش دما باعث افزایش نرخ تبخیر و در نتیجه کاهش تغییر عمق آب شود (۱۱). دوزیستان با دارا بودن پوست نفوذپذیر، تخم‌های بدون پوسته، چرخه‌های زندگی دو مرحله‌ای (لارو دوزیستان بدون دم به زیستگاه‌های آبی و بالغین به زیستگاه‌های خشکی و آبی نیاز دارند) و همچنین خونسرد بودن در برابر تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیر هستند. ثابت شده است که تغییرات در دوره آبی می‌تواند به عنوان یک عامل استرس‌زای مهم در طول تکوین دوزیستان عمل کند. به عنوان مثال لارو بسیاری از دوزیستان در پاسخ به خشک شدن حوضچه‌ها و سایر عوامل استرس‌زای محیطی، رشد خود را سرعت می‌بخشند. با این حال، افرادی که این کار را انجام می‌دهند اغلب هزینه‌هایی را مانند اندازه کوچک‌تر در دگردیسی را متحمل می‌شوند (۳، ۱۲، ۱۳). گونه‌های دیگر دوزیستان این نوع انعطاف‌پذیری رشدی را از خود نشان نمی‌دهند (یعنی برای فرار از عوامل استرس‌زای محیطی رشد را تسریع نمی‌کنند). برای این گونه‌ها، رشد در یک محیط استرس‌زا ممکن است بقا را تا دگردیسی یا پس

از آن کاهش دهد (۱۴، ۱۵). مطالعات نشان می‌دهد که نوسانات آبی زیستگاه‌ها می‌تواند نتایج متفاوتی بر دوزیستان (۱۶)، پرندگان آبی و دیگر گونه‌های آبی و پوشش گیاهی داشته باشد (۱۷، ۱۸). دوزیستان تولیدمثل‌کننده تالاب‌ها به عنوان یک سیستم ایده‌آل برای بررسی آسیب‌پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی محسوب می‌شوند. دوزیستانی که عمدتاً در تالاب‌های زودگذر زاد و ولد می‌کنند، به دلیل تکیه بر ویژگی‌های رژیم آبی مبتنی بر بارش مانند زمان، عمق و مدت زمان آب در تالاب‌ها، آسیب‌پذیر هستند زیرا تالاب‌هایی که قبل از تکمیل رشد لارو خشک می‌شوند، منجر به مرگ و میر تخم‌ها یا لاروها می‌شود و تولیدمثل آنان را کاهش دهد (۱۹، ۲۰، ۲۱). به عنوان مثال، کاهش جمعیت چهار گونه دوزیست را در رودخانه ساوانا در ایالات متحده با روند خشک شدن در دهه ۱۹۹۰ و کوتاه شدن دوره‌های آبی، مرتبط دانسته‌اند (۲۲). هم‌چنین تغییر در الگوهای بارش می‌تواند دوزیستانی را که زاد و ولد فصلی مشخصی دارند تحت تأثیر قرار دهد. به عنوان مثال، وزغ‌های بلوط (*Bufo quercicus*) در فلوریدا از ماه می تا سپتامبر تولیدمثل می‌کنند و خشکسالی‌های بهار و تابستان که منجر به خشکی حوضچه‌های پرورش می‌شود، می‌تواند زاد و ولد آن‌ها را کاهش دهد (۲۳). درک تأثیر دوره آبی و تغییرات عمق آب بر بقای لارو و سرعت رشد برای پیش‌بینی اثرات بالقوه تغییرات آب و هوایی بر دوزیستان کلیدی است و توانایی دوزیستان برای پاسخ به تغییر در دسترس بودن آب ممکن است تداوم جمعیت‌ها را تعیین کند (۲۴، ۲۵). تغییرات اقلیمی چرخه هیدرولوژیکی سالانه و زمان رویدادهایی مانند ذوب برف را تغییر می‌دهد که ممکن است منجر به تغییر در زمان‌بندی رشد برخی از گونه‌ها و هم‌چنین باعث استرس و مرگ و میر شود (۲۶). افزایش دما و کاهش بارندگی می‌تواند زیستگاه‌های پرورش‌آزبان را خشک کرده و از تخم‌ریزی آنان جلوگیری کند هم‌چنین کاهش رطوبت محیط می‌تواند زیستگاه‌های زمینی را برای دوزیستان کشنده تر کند (۲۷). گونه‌های آبی می‌توانند با روش‌های مختلف به گرم شدن و خشک شدن پاسخ دهند، از جمله تغییرات در نرخ رشد و نمو (۲۸)، جستجوی پناهگاه برای جلوگیری از خشک شدن (۲۹)، تغییرات فنولوژیکی برای تولیدمثل زودتر (۳۰) و تغییرات بالقوه در محدوده و پراکندگی در زیستگاه جدید (۳۱). در طول مراحل زندگی گونه‌های آبی با چرخه زندگی پیچیده، شروع دگردیسی به شدت تحت تأثیر زیستگاهی است که لاروها در آن رشد می‌کنند. لاروهای دوزیستان ممکن است در پاسخ به شرایط محیطی در حال تغییر، انعطاف‌پذیری زیادی را در اندازه و زمان دگردیسی نشان دهند. اثرات دمای آب و دوره آبی روی لاروهای آبی اغلب با مبادله بین اندازه بدن و زمان دگردیسی اندازه‌گیری می‌شود (۳۲، ۳۳). پیش‌بینی اثرات تعاملی فشارهای محیطی متعدد بر موجودات

زنده در یک اقلیم در حال تغییر یک چالش فزاینده فوری در بوم شناسی است (۳۴). درک این که چگونه فشارهای محیطی بر روابط بنیادی بین پاسخ‌های ارگانیسمی، مانند اندازه بدن، زمان بندی رویدادهای کلیدی تاریخ زندگی و بقا تأثیر می‌گذارد، برای رویارویی با این چالش کلیدی است (۱۵). در میان کشورهای خاورمیانه، ایران در دهه‌های آینده با افزایش ۲/۶ درجه سانتی‌گراد میانگین دما و کاهش ۳۵ درصدی بارندگی مواجه خواهد شد (۳۵). ۸۵ درصد از ایران در اقلیم‌های نیمه خشک و خشک قرار دارد و افزایش دما و کاهش بارندگی به خصوص در سال‌های اخیر باعث کم آب شدن و خشک شدن آن‌ها شده است که اثرات مخربی بر تنوع زیستی داشته است (۳۶، ۳۷). تغییرات طولانی مدت در دما و بارش به طور مستقیم و غیرمستقیم بروی جانوران تأثیر می‌گذارد اما اطلاعات کمی در مورد اثر کاهش عمق آب در اثر افزایش دما، یا عوامل دیگر برای اغلب گونه‌های آبی، شناخته شده است. در این مقاله، برای درک بهتر واکنش لاروهای دوزیستان به تغییرات عمق آب، چهار متغیر رشد، زمان و اندازه بدن در دگردیسی و بقاء لاروهای وزغ سبز (*Bufo* *variabilis*) مورد بررسی قرار گرفت. این گونه در اکثر استان‌های شمالی و غربی پراکنش دارد و طیف گسترده‌ای از زیستگاه‌ها، از جمله تالاب‌های زودگذر، برکه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن کوچک و دائمی کشاورزی را اشغال می‌کنند، بنابراین می‌تواند برای تعمیم برای دیگر گونه‌های دوزیستان به ویژه گونه‌های آسیب پذیرتر مفید باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری: در این مطالعه از روستای سربله (۳۴ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، ۴۷ درجه و ۰۱ دقیقه شرقی در فاصله ۳۰ کیلومتری شهر کرمانشاه) یک جفت وزغ سبز (*Bufo variabilis*) در حالت آمپلکسوس به همراه مقداری از آب برکه در اواخر اسفندماه به آزمایشگاه انتقال داده شد و تخم گذاری آن‌ها طی ساعات بعد و در آزمایشگاه انجام شد (شکل ۱). دمای آب هنگام نمونه برداری ۱۹ درجه سانتی‌گراد و عمق آب بین ۵-۳ سانتی متر متغیر بود. تخم‌ها تا زمان هچ شدن در آکواریوم با اکسیژن رسانی مناسب نگهداری شدند. نمونه‌های بالغ پس از تخم گذاری به همراه تخم‌های اضافه به محیط جمع‌آوری شده، برگردانده شدند.

آماده سازی محیط آزمایش: مخازن طراحی شده برای این آزمایش شامل ۱۲ مخزن پلاستیکی به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۱ سانتی متر، شامل سه تیمار و هر تیمار شامل ۴ تکرار که تا ۱۶ سانتی متری عمق آن‌ها با آب دکلره شده پر شده است (شکل ۱). اکسیژن دهی به مخازن توسط پمپ‌های تعبیه شده اکسیژن در هر مخزن انجام شد. درجه حرارت

آب مخازن بین ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود و دوره نوری به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم شده است.

طراحی آزمایش: ۴۸ ساعت پس از تفریخ تخم‌ها و تشکیل لارو شناسگر، آن‌ها به مخازن آزمایش انتقال داده شدند. به هر کدام از تیمارها ۵۰ لارو که در مجموع ۶۰۰ لارو در این تحقیق به کار برده شد. آزمایش به این صورت انجام شد که طی ماه اول آزمایش عمق آب ۱۲ مخزن یکسان (۱۶ سانتی متر) بود و تا پایان آزمایش ثابت نگه داشته شده است. در ماه دوم آزمایش اولین کاهش عمق آب برای تیمار با کاهش متوسط و کاهش سریع اعمال شد، بدین صورت که عمق آب تیمار دوم (متوسط) از ۱۶ به ۱۴ سانتی متر و عمق آب تیمار سوم (سریع) از ۱۶ به ۱۲ سانتی متر کاهش داده شد. دومین کاهش تغییر عمق در ماه سوم اعمال شد بدین صورت که عمق آب تیمار دوم (متوسط) از ۱۴ به ۱۲ سانتی متر و عمق آب تیمار سوم (سریع) از ۱۲ به ۱۰ سانتی متر کاهش داده شده و تا پایان آزمایش ثابت نگه داشته شده است. درجه حرارت محیط و آب مخازن در تیمارها روزانه مورد بررسی قرار گرفته و مخازن از نظر مرگ و میر روزانه و همچنین از ماه اول به بعد از نظر دگردیسی نیز کنترل شدند.

تغذیه: تغذیه لاروهای در ماه اول آزمایش هفته‌ای دوبار به میزان ۰/۶ گرم اسفناج خام برای هر لارو، ماه دوم هفته‌ای سه بار، دو وعده اسفناج خام و یک وعده گوشت خام (سنگدان مرغ) به میزان ۰/۸ گرم برای هر مخزن، از ماه سوم تا پایان آزمایش هفته‌ای ۴ بار، اسفناج خام، برگ چغندر پخته و گوشت خام به میزان ۰/۸ گرم برای هر لارو داده شده است. مدت زمان آزمایش ۱۲۲ روز طول کشید.

عکس برداری، متغیرهای مورد بررسی و تحلیل آماری: زمان عکس برداری از لاروها در ماه اول و دوم هفته‌ای دو بار، در ماه سوم هفته‌ای یک بار، در ماه چهارم هر ده روز یک بار، و از ماه چهارم تا پایان آزمایش هر ۱۵ روز یک بار صورت گرفته که در مجموع ۲۶ بار عکس برداری انجام شد. عکس برداری از هر مخزن به صورت تصادفی صورت گرفت، به طوری که از هر سه تیمار هیدروپریود ۱۵ لارو انتخاب شده و از آنان عکس گرفته شد. متغیرهای مورد بررسی شامل SVL (اندازه تنه از پوزه تا مخرج) که به وسیله نرم افزار Digimizer نسخه ۵/۷/۵ اندازه گیری شد. هم چنین زمان (سن) دگردیسی، اندازه (سایز) دگردیسی و بقای لارو تا هنگام دگردیسی مورد بررسی قرار گرفتند و داده‌ها به وسیله نرم افزار آماری Spss نسخه ۲۲ تحلیل شدند. برای بررسی آماری از واریانس یک طرفه ANOVA و برای بررسی تفاوت بین تیمارها از آزمون مقایسه‌های چندگانه تعقیبی (آزمون توکی) استفاده گردید. همه داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف استاندارد (Mean $\pm$ SD) بیان می‌شوند.

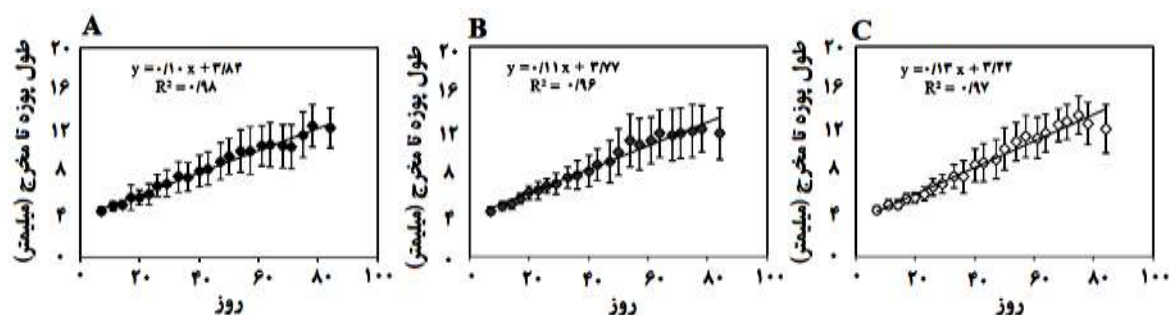


شکل ۱: محل نمونه برداری، روستای سرابله (استان کرمانشاه) (A)، آمپلکسوس وزغ سبز (*Bufo variabilis*) (B)، تخم‌های تازه گذاشته شده (C)، مخازن آزمایش (D)

نتایج

رشد: در این مطالعه نتایج حاصل از ANOVA نشان داد که کاهش عمق آب بر روی رشد تاثیر معنی داری دارد ($P=0.003$, $df=2$). میانگین اندازه SVL لاروها و انحراف معیار در تیمارهای مختلف در روز اول آزمایش به ترتیب برای تیمار شاهد به میزان 4.41 ± 0.33 تیمار با کاهش متوسط 4.33 ± 0.33 و تیمار با کاهش

سریع 4.41 ± 0.33 اندازه گیری شد. بیشترین اندازه در روز ۷۰ آزمایش برای تیمار با کاهش سریع 12.81 ± 1.65 ، تیمار با کاهش متوسط 11.71 ± 2.42 و سپس تیمار شاهد 10.52 ± 2.15 اندازه گیری شد. هم چنین بیشترین نرخ رشد برای تیمار با کاهش سریع به میزان 0.13 میلی متر در روز ثبت گردید و سپس به ترتیب برای تیمار با کاهش متوسط به میزان 0.11 و برای تیمار شاهد به میزان 0.10 میلی متر در روز اندازه گیری شد (شکل ۲).



شکل ۲: طول پوزه تا مخرج لاروهای وزغ سبز (*Bufo variabilis*) در تیمار شاهد (A)، تیمار با کاهش متوسط عمق آب (B) و تیمار با کاهش سریع عمق آب (C) در طول آزمایش

اندازه دگر دیسی: نتایج حاصل از ANOVA نشان می دهد که تغییر عمق آب بر روی اندازه دگر دیسی لاروهای وزغ سبز تاثیر معنی دار

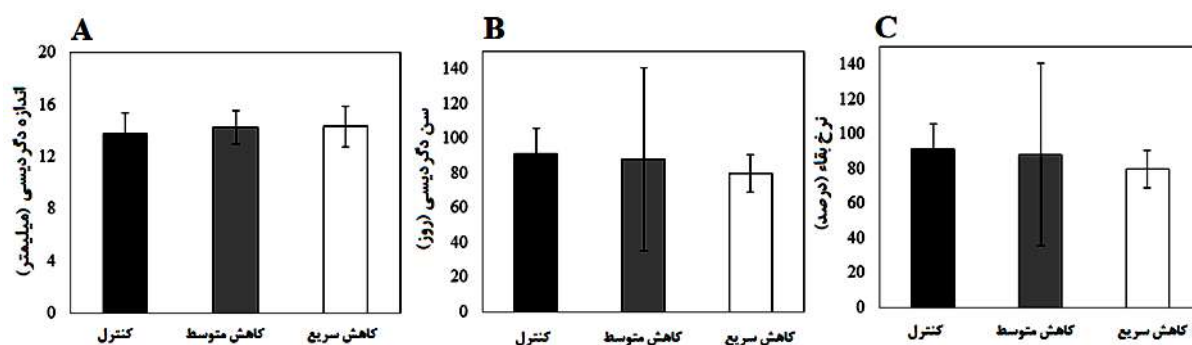
دارد ($F=5.38$, $P=0.005$, $df=2$). بیشترین اندازه دگر دیسی برای تیمار با کاهش سریع و با میانگین و انحراف معیار 14.30 ± 1.53 ثبت

می دهد که کاهش عمق آب بر زمان دگردیسی لاروها در وزغ سبز تاثیر معنی دار دارد ($F=4/96, P=0/007, df=2$) (شکل ۳).

بقا: نتایج حاصل از ANOVA نشان می دهد که کاهش عمق آب بر بقای لارو وزغ سبز تاثیر معنی دار ندارد ($F=0/97, P=0/41, df=2$). میانگین و انحراف معیار بقا برای تیمار با کاهش سریع $48/0 \pm 13/26$ ، در تیمار با کاهش متوسط $50/0 \pm 15/23$ و در تیمار شاهد $60/50 \pm 14/73$ به دست آمد (شکل ۳).

شد، بعد از آن به ترتیب برای تیمار با کاهش متوسط $14/26 \pm 1/53$ و سپس در تیمار شاهد $13/75 \pm 1/58$ اندازه گیری شد (شکل ۳).

زمان دگردیسی: کم ترین زمان برای دگردیسی در تیمار با کاهش سریع به میزان $79/54 \pm 10/63$ روز ثبت گردید و پس از آن به ترتیب برای تیمار با کاهش متوسط $87/85 \pm 52/50$ و برای تیمار شاهد $91/28 \pm 14/37$ ثبت گردید. نتایج حاصل از ANOVA نشان



شکل ۳: نمودار اندازه دگردیسی (A)، مدت زمان دگردیسی (B) و نرخ بقا (C) در سه تیمار شاهد، تیمار با کاهش متوسط عمق آب و تیمار با کاهش سریع عمق آب در لارو وزغ سبز (*Bufo variabilis*)

زمان کوتاه تر دگردیسی خواهند کرد که دانش موجود در مورد پاسخ های پلاستیستی (انعطاف پذیری) این گونه به عوامل استرس زای آبی را تأیید می کند (۴۵). با توجه به این که که تغییرات اقلیمی در کاهش جهانی دوزیستان دخالت مهمی دارند، این گونه مطالعات به پیش بینی واکنش گونه ها به تغییرات اقلیمی آینده اهمیت قابل توجهی دارند (۴۶). واکنش ها به نوسانات آبی ممکن است از جمعیتی به جمعیت دیگر متفاوت باشد. نتایج آزمایش Brannelly و همکاران بر روی گونه *Rana pipiens* نشان می دهد که یک دوره آبی کوتاه می تواند بر سرعت رشد و نمو لارو دوزیستان که برای تکوین به آب شیرین متکی هستند تأثیر منفی می گذارد، به طوری که خشک شدن زود هنگام حوضچه در نتیجه تغییرات محیطی نه تنها می تواند بقا و رشد را کاهش دهد، بلکه می تواند عملکرد پس از دگردیسی را نیز تغییر دهد (۱۴). مطالعه دیگر روی لارو *R. sphenoccephala* نشان داد که بررسی سه تغییر سطح دوره آبی در رشد و دگردیسی تاثیر معنی دار دارد ولی به طور کلی بر بقا تاثیر قابل توجهی ندارد (۱۰). پاسخ لاروهای قورباغه *Pseudacris maculata* به تغییرات عمق آب شبیه سازی شده در آزمایشگاه توسط Amburgey و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که لاروهای قورباغه ها در تیمارهای با کاهش عمق آب، سریع ترین میزان رشد و مدت زمان دگردیسی را نسبت به تیمارهای با سطح آب پایدار در سایر تیمارها

بحث

الگوهای فصلی و سالانه دما و بارش، به عنوان دو عامل مهم بر فرآیندهای حیاتی جمعیت های دوزیستان تاثیر گذار است (۳۸). پیش بینی می شود که تغییرات اقلیمی، از جمله بارندگی و افزایش دما، مهم ترین محرک های تغییرات اکولوژیکی در قرن های آینده باشد (۳۹). چرخه زندگی دوزیستان به دلیل وابستگی به محیط آبی به شدت با دسترس بودن آب مرتبط است. تغییرات در میزان آب تالاب ها به طور بالقوه یکی از بزرگ ترین تهدیدها برای اکثر دوزیستان است (۴۰، ۴۱). هم چنین تأثیر دما و تغییرات ناشی از آن بر فرآیندهای فیزیولوژیکی دوزیستان عمدتاً به دلیل طبیعت خونسرد بودن این گروه غیرقابل انکار است (۴۲). صفات انعطاف پذیری لارو دوزیستان، مانند سرعت رشد و اندازه در دگردیسی، به دوزیستان اجازه می دهد تا با فشارهای محیطی متفاوت مقابله کنند (۴۳). افزایش دمای آب و تبع آن خشک شدن سریع در تالاب های تکثیر دوزیستان به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است و می تواند طیف وسیعی از پاسخ های لاروی را برانگیزد (۴۴). مطالعه ما اثر عامل استرس زای حاصل از کاهش عمق آب بر میزان رشد، مدت زمان دگردیسی و بقا را بر دوزیست بدون دم وزغ سبز نشان داد، که این لاروها در تیمارهای سریع کاهش عمق آب در مقایسه با تیمار شاهد، با نرخ رشد سریع تر، اندازه بزرگ تر و مدت

نشان دادند (۱۱). در مطالعه Brady و Griffiths رشد قورباغه در سه گونه دوزیست *Bufo calamita*, *B. bufo* و *Rana temporaria* که از خطرات مختلف خشک شدن حوضچه در طبیعت رنج می‌برند، مقایسه شد. در حوضچه‌های خشک‌کننده، قورباغه‌ها از اثرات ازدحام (تراکم بالا) رنج می‌بردند و در اندازه‌های کوچک‌تری دگردیسی کردند، اما تکوین در پاسخ به خشک شدن در هیچ یک از سه گونه سریع‌تر نشد. فقدان برهمکنش‌های گونه‌ها نشان داد که هیچ تفاوتی بین این سه گونه در انعطاف‌پذیری رشدی وجود ندارد. محدودیت‌های رشدی ممکن است محدودیتی را برای درجه انعطاف‌پذیری که می‌تواند در گونه‌ای مانند *B. calamita* که فقط در حوضچه‌های زودگذر با دوره دوره آبی متغیر تولید می‌کند، ایجاد کند. از طرف دیگر، تنوع ژنتیکی کم در جمعیت *B. calamita* ممکن است تکامل انعطاف‌پذیری سازگار در این گونه را محدود کرده باشد (۴۵). پاسخ لاروهای دوزیستان به خشک شدن زیستگاه‌های آبی از طریق هورمون آزادکننده کورتیکو تروپین است، که بخشی از یک مسیر خاص سیستم غدد درون‌ریز را فعال می‌کند و در نتیجه لاروها برای تکوین سریع، پاسخ می‌دهند (۴۷). این عمل می‌تواند به کوتاه شدن زمان دگردیسی منجر شود (۴۸)، که اغلب با کاهش اندازه بدن در دگردیسی همراه است (۴۹). رابطه بین زمان و اندازه بدن در دگردیسی همیشه سازگار نیست و اغلب به شرایط محیطی بستگی دارد (۱۵). لاروهای دوزیستان تحت فشارهای محیطی ناشی از گرم شدن دما و تسریع در خشک شدن حوضچه، با افزایش اندازه بدن و یا کاهش زمان دگردیسی جبران شده‌اند. این جبران‌ها اغلب به قیمت کاهش بقا، کاهش تناسب اندام و کاهش اندازه در دگردیسی اتفاق می‌افتند (۵۰، ۵۱). بنابراین، پاسخ لارو دوزیستان به تغییرات اقلیمی ممکن است با مبادلات عمومی بین پاسخ اندازه بدن و زمان به دگردیسی محدود شود. این پاسخ‌های لارو مهم است زیرا می‌توانند اثرات مثبت و منفی بر تناسب اندام بالغین و پویایی جمعیت داشته باشند. به عنوان مثال، کوتاه شدن مدت زمان لاروی ممکن است منجر به کاهش رشد و میزان بقا شود (۵۰، ۵۲). اما از طرف دیگر، کوتاه شدن مدت زمان لاروی ممکن است از طریق کاهش خطر خشک شدن منجر به افزایش بقا شود (۱۵). مطالعات اثر کاهش عمق آب برفاز لاروی دوزیستان بی‌دم نشان‌دهنده افزایش سرعت رشد لاروها در پاسخ به محدودیت آب است (۵۳، ۵۴). نتایج حاصل از آزمایش ما روی گونه *B. variabilis* نیز نشان داد که کاهش عمق آب بر رشد و زمان دگردیسی تأثیر معنی‌داری دارد به طوری که تیمارهای کاهش متوسط و سریع عمق آب باعث افزایش اندازه و کاهش مدت زمان دگردیسی می‌شود ولی این عامل بر میزان بقا لارو تأثیری معنی‌داری نداشته است. انتظار می‌رود که تغییرات اقلیمی بر حوضچه‌های زودگذر بیش‌ترین تأثیر را داشته باشد و بر اثر خشک

و کم آب شدن آن‌ها تغییراتی در شرایط اکولوژیکی گونه ایجاد شود (۵۵). بررسی‌های میدانی انجام شده در منطقه جمع‌آوری نمونه تخم وزغ سبز نشان داد به دلیل افزایش دما به خصوص در سال‌های اخیر، کم آب شدن زود هنگام و بهره‌برداری کشاورزی و تغییرات ناشی از مداخله انسان در معرض تهدید قرار گرفته است. لارودوزیستان معمولاً با تغییر در اندازه یا سن دگردیسی به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند. فشار انتخابی متفاوت بر روی سن یا اندازه در دگردیسی ممکن است منجر به یک پاسخ متفاوت در میان گونه‌ها به تغییرات محیطی شود (۵۶، ۵۷). بررسی‌های بیش‌تری لازم است که آیا تغییر در دوره آبی باعث تغییر در اندازه دگردیسی و نرخ رشد و تأثیر بر بقا در خانواده‌های دیگر دوزیستان نیز می‌شود، یا خیر. با درک نقش افزایش دما و ارتباط آن با نوسانات آبی و تأثیر این عوامل و تهدیدات مختلف دیگر در تکوین و بقای دوزیستان، پیش‌بینی‌های بهتری در مورد چنین تغییراتی بر جمعیت‌ها خواهیم داشت. علاوه بر این، برنامه‌های حفاظتی و مدیریت بهتری از نظر بیولوژیکی می‌تواند اجرا کرد. به طور مثال با پاسخ متفاوت دوره آبی بین جمعیت‌ها یا گونه‌ها، سیاست‌های خاصی برای هر شرایط در برنامه‌های مدیریت استفاده خواهد شد. شناسایی فعل و انفعالات طبیعی و اهمیت آن‌ها و درک چگونگی تغییر آن‌ها در پاسخ به تغییر اقلیم برای حفاظت بسیار مهم است (۵۸). درک این که چگونه دوره‌های آبی تغییر یافته ممکن است بر رشد و بقای دوزیستان تأثیر بگذارد، احتمالاً سنگ بنای حفاظت از دوزیستان است (۱۱). از دست دادن گروه‌های دوزیستان زمانی رخ می‌دهد که یک حوضچه یا تالاب قبل از این که لاروها دگردیسی کنند، خشک می‌شود و این اتفاق با بارش‌های کم‌تر و افزایش تبخیر بیش‌تر می‌شود (۵۹). دوزیستانی که در حوضچه‌های موقت و نه‌رها متناوب زاد و ولد می‌کنند مستعد نوسانات دما و بارندگی هستند، زیرا تبخیر و تعرق می‌تواند در طول خشکسالی‌های چرخه‌ای بیش‌تر از بارندگی باشد و منجر به خشک شدن مکان‌های آبی شود (۶۰). بارندگی ناکافی، خشکسالی شدید و یا دوره‌های آبی کوتاه شده هم چنین با کاهش فعالیت فراخوانی دوزیستان بدون دم و در نهایت نارسایی‌های تولیدمثلی در تعداد زیادی از مولدین شود (۵۲، ۶۱، ۶۲). پاسخ‌های اکولوژیکی به تغییرات در دوره آبی احتمالاً پیچیده است و درک اثرات آن مستلزم ترکیبی از دانش در مورد تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی زیستگاه و گونه‌ها است. با این وجود، درک اثرات عوامل منفرد، مانند کاهش عمق آب، گامی ضروری برای کشف برهمکنش‌های بین دوزیستان و محیط‌های زندگی آن‌ها است. مطالعه ما رابطه بین فشارهای متقابل مرتبط با تغییرات اقلیم بر دوزیستان و پاسخ‌های لارو به این فشارها را برجسته می‌کند. ما به تحقیقات و بحث‌های آینده را در مورد درک بهتر این موضوع تشویق می‌کنیم که چرا فشارهای مختلف اقلیم باعث

15. **Richter-Boix, A., Tejedo, M. and Rezende, E.L., 2011.** Evolution and plasticity of anuran larval development in response to desiccation. A comparative analysis. *Ecology and Evolution*. 1(1):15-25. <https://doi.org/10.1002/ece3.2>.
16. **Jakob, C., Poizat, G., Veith, M., Seitz, A. and Crivelli, A.J., 2003.** Breeding phenology and larval distribution of amphibians in a Mediterranean pond network with unpredictable hydrology. *Hydrobiologia*. 499: 51-61. <https://doi.org/10.1023/A:1026343618150>.
17. **Carli, C.M. and Bayley, S.E., 2015.** River Connectivity and Road Crossing Effects on Floodplain Vegetation of the Upper Columbia River, Canada. *Ecoscience*. 22(2-4): 97-107. <https://doi.org/10.1080/11956860.2015.1121705>.
18. **Dimalaxis, A. and Pyrovetsi, M., 1997.** Effect of water level fluctuations on wading bird foraging habitat use at an irrigation reservoir, Lake Kerkini, Greece. *Colonial waterbirds*. 244-252. <https://doi.org/10.2307/1521690>.
19. **Brooks, R.T., 2009.** Potential impacts of global climate change on the hydrology and ecology of ephemeral freshwater systems of the forests of the northeastern United States. *Climatic Change*. 95(3-4): 469-483. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9531-9>.
20. **Greenberg, C.H., Perry, R.W., Franzreb, K.E., Loeb, S.C., Saenz, D., Rudolph, D.C. and Tanner, G.W., 2013.** Climate change and wildlife in the southern United States: Potential effects and management options. In: *Climate change adaption and mitigation management options A guide for natural resource managers in southern forest ecosystems* CRC Press-Taylor and Francis. 379-420. <https://doi.org/10.1201/b15613-12>.
21. **Sabbaghi Rostami, N., Kami, H.G. and Okhli, N., 2019.** Study of Reproduction of Iranian wood frog (*Rana pseudodalmatina*) in Mazandaran Province (Behshahr County). *Journal of Animal Environment*. 9(4): 137-144. (In persian)
22. **Daszak, P., Scott, D.E., Kilpatrick, A.M., Faggioni, C., Gibbons, J.W. and Porter, D., 2005.** Amphibian population declines at Savannah River Site are linked to climate, not chytridiomycosis. *Ecology*. 86(12): 3232-3237. <https://doi.org/10.1890/05-0598>.
23. **Greenberg, C.H. and Tanner, G.W., 2005.** Spatial and temporal ecology of oak toads (*Bufo quercicus*) on a Florida landscape. *Herpetologica*. 61(4): 422-434. <https://doi.org/10.1655/04-89.1>.
24. **Pounds, J.A., Fogden, M.P.L. and Campbell, J.H., 1999.** Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 398(6728): 611-615. <https://doi.org/10.1038/19297>.
25. **McMenamin, S.K., Hadly, E.A. and Wright, C.K., 2008.** Climatic change and wetland desiccation cause amphibian decline in Yellowstone National Park. *Proceedings of the national Academy of Sciences*. 105(44): 16988-16993. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809090105>.
26. **Semlitsch, R.D. and Wilbur, H.M., 1988.** Effects of pond drying time on metamorphosis and survival in the salamander *Ambystoma talpoideum*. *Copeia*. 978-983.
27. **Alan Pounds, J., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P., Foster, P.N. and Young, B.E., 2006.** Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*. 439(7073): 161-167.
28. **Sheridan, J.A., Caruso, N.M., Apodaca, J.J. and Rissler, L.J., 2018.** Shifts in frog size and phenology: Testing predictions of climate change on a widespread anuran using data from prior to rapid climate warming. *Ecology and Evolution*. 8(2): 1316-1327. <https://doi.org/10.1002/ece3.3636>.
29. **Rittenhouse, T.A.G., Harper, E.B., Rehard, L.R. and Semlitsch, R.D., 2008.** The role of microhabitats in the desiccation and survival of anurans in recently harvested oak-hickory forest. *Copeia*. 4: 807-814. <https://doi.org/10.1643/CH-07-176>.
30. **Todd, B.D., Scott, D.E., Pechmann, J.H.K. and Whitfield, Gibbons, J., 2011.** Climate change correlates with rapid delays and advancements in reproductive timing in an amphibian community. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 278(1715): 2191-2197. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1768>.

واکنش‌های متفاوت می‌شود و این که آیا این الگوها ممکن است در سایر گونه‌های آبی سازگار باشد یا خیر.

منابع

1. **Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E., Rodrigues, A.S., Fischman, D.L. and Waller, R.W., 2004.** Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*. 306(5702): 1783-1786.
2. **Whittaker, K., Koo, M.S., Wake, D.B. and Vredenburg, V.T., 2013.** Global Declines of Amphibians. *Encycl Biodivers* Second Ed. 3: 691-699. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00266-5>.
3. **Gervasi, S.S. and Foufopoulos, J., 2008.** Costs of plasticity: Responses to desiccation decrease post-metamorphic immune function in a pond-breeding amphibian. *Functional Ecology*. 22(1): 100-108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01340.x>.
4. **Catenazzi, A., 2015.** State of the World's Amphibians. *Annual Review of Environment and Resources*. 40: 91-119. <https://doi.org/10.1146/102014-021358>.
5. **Greig, H.S., Kratina, P., Thompson, P.L., Palen, W.J., Richardson, J.S. and Shurin, J.B., 2012.** Warming, eutrophication, and predator loss amplify subsidies between aquatic and terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*. 18(2): 504-514. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02540.x>.
6. **Townsend, J.M. and Driscoll, C.T., 2013.** Short communication Red-backed salamander (*Plethodon cinereus*) as a bioindicator of mercury in terrestrial forests of the northeastern United States. *Ecological Indicators*. 34: 168-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.04.017>.
7. **Ranvestel, A.W., Lips, K.R., Pringle, C.M., Whiles, M.R. and Bixby, R.J., 2004.** Neotropical tadpoles influence stream benthos: Evidence for the ecological consequences of decline in amphibian populations. *Freshwater Biology*. 49(3): 274-285. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01184.x>.
8. **Bickford, D., Howard, S.D., Ng, D.J.J. and Sheridan, J.A., 2010.** Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity and Conservation*. 19(4): 1043-1062. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9782-4>.
9. **Le Roux, P.C. and McGeoch, M.A., 2008.** Rapid range expansion and community reorganization in response to warming. *Global Change Biology*. 14(12): 2950-2962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01687.x>.
10. **Ryan, T.J. and Winne, C.T., 2001.** Effects of hydroperiod on metamorphosis in *Rana sphenoccephala*. *The American Midland Naturalist*. 145(1): 46-53. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2001\)145\[0046:EOHOMI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2001)145[0046:EOHOMI]2.0.CO;2).
11. **Amburgey, S., Funk, W.C., Murphy, M. and Muths, E., 2012.** Effects of hydroperiod duration on survival, developmental rate, and size at metamorphosis in boreal chorus frog tadpoles (*Pseudacris maculata*). *Herpetologica*. 68(4): 456-467. <https://doi.org/10.1655/HERPETOLOGICA-D-11-00093>.
12. **Cabrera-Guzmán, E., Crossland, M.R., Brown, G.P. and Shine, R., 2013.** Larger Body Size at Metamorphosis Enhances Survival, Growth and Performance of Young Cane Toads (*Rhinella marina*). *PLoS One*. 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070121>.
13. **Kirschman, L.J., McCue, M.D., Boyles, J.G. and Warne, R.W., 2017.** Exogenous stress hormones alter energetic and nutrient costs of development and metamorphosis. *Journal of Experimental Biology*. 220(18): 3391-3397. <https://doi.org/10.1242/jeb.164830>.
14. **Brannelly, L.A., Ohmer, M.E.B., Saenz, V. and Richards-Zawacki, C.L., 2019.** Effects of hydroperiod on growth, development, survival and immune defences in a temperate amphibian. *Functional Ecology*. 33(10): 1952-1961. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13419>.

49. Alford, R.A. and Harris, R.N., 1988. Effects of larval growth history on anuran metamorphosis. *The American Naturalist*. 131(1): 91-106. <https://doi.org/10.1086/284775>.
50. Davenport, J.M., Hossack, B.R. and Fishback, L.A., 2017. Additive impacts of experimental climate change increase risk to an ectotherm at the Arctic's edge. *Global Change Biology*. 23(6): 2262-2271. <https://doi.org/10.1111/gcb.13543>
51. Alford, R.A. and Harris, R.N., 1988. Effects of larval growth history on anuran metamorphosis. *The American Naturalist*. 131(1): 91-106.
52. Semlitsch, R.D., 1987. Relationship of Pond Drying to the Reproductive Success of the Salamander *Ambystoma talpoideum*. *Copeia*. 1: 61. <https://doi.org/10.2307/1446038>.
53. Laurila, A. and Kujasalo, J., 1999. Habitat duration, predation risk and phenotypic plasticity in common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *Journal of Animal Ecology*. 68(6): 1123-1132. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00354.x>.
54. Merilä, J., Laurila, A., Pakkala, M., Räsänen, K. and Timenes, L.A., 2000. Adaptive phenotypic plasticity in timing of metamorphosis in the common frog *Rana temporaria*. *Ecoscience*. 7(1): 18-24. <https://doi.org/10.1080/11956860.2000.11682566>.
55. Blaustein, A.R., Walls, S.C., Bancroft, B.A., Lawler, J.J., Searle, C.L. and Gervasi, S.S., 2010. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*. 2(2): 281-313. <https://doi.org/10.3390/d2020281>.
56. Lowe, W.H., 2012. Climate change is linked to long-term decline in a stream salamander. *Biological Conservation*. 145(1): 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.004>.
57. Mohammadi, M., Vaissi, S. and Akmali, V., 2020. Independent and interactive effects of temperature, water level and density on the cannibalism of Levant Green Frog, *Pelophylax bedriagae* larvae. *Journal of Animal Environment*. 12(4): 271-278. (In persian)
58. Gilman, S.E., Urban, M.C., Tewksbury, J., Gilchrist, G.W. and Holt, R.D., 2010. A framework for community interactions under climate change. *Trends in ecology & evolution*. 25(6): 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.03.002>.
59. Shadle, E.J., 2020. Amphibians in a changing world: assessing the effects of warming and drying on amphibian larvae and the relationships between larval survival, body size, and time to metamorphosis (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
60. Brooks, R.T., 2004. Weather-related effects on woodland vernal pool hydrology and hydroperiod. *Wetlands*. 24(1): 104-114. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0104:WEOWVP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0104:WEOWVP]2.0.CO;2).
61. Scheele, B.C., Driscoll, D.A. and Fischer, J. and Hunter, D.A., 2012. Decline of an endangered amphibian during an extreme climatic event. *Ecosphere*. 3(11): art101. <https://doi.org/10.1890/es12-00108.1>
62. Gibbs, J.P. and Breisch, A.R., 2001. Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999. *Conservation Biology*. 15(4): 1175-1178. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.0150041175.x>
31. Travis, J.M.J., Delgado, M. and Bocedi, G., 2013. Dispersal and species' responses to climate change. *Oikos*. 122(11): 1532-1540. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00399.x>.
32. Smith-Gill, S.J. and Berven, K.A., 1979. Predicting amphibian metamorphosis. *The American Naturalist*. 113(4): 563-585. <https://doi.org/10.1086/283413>.
33. Ruthsatz, K., Peck, M.A., Dausmann, K.H., Sabatino, N.M. and Glos, J., 2018. Patterns of temperature induced developmental plasticity in anuran larvae. *Journal of Thermal Biology*. 74: 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.03.005>.
34. Sutherland, W.J., Adams, W.M., Aronson, R.B., Aveling, R., Blackburn, T.M., Broad, S. and Watkinson, A.R., 2009. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. *Conservation biology*. 23(3): 557-567. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01212.x>.
35. NCCOI, 2014. Third national communication to UNFCCC. National Climate Change Office of Iran.
36. Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*. 4(4): 315-328. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z>
37. Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. and Nejadsoleymani, H., 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*. 8(1). <https://doi.org/doi:10.1186/s40068-019-0135-3>
38. Dervo, B.K., Bærum, K.M., Skurdal, J. and Museth, J., 2016. Effects of Temperature and Precipitation on Breeding Migrations of Amphibian Species in Southeastern Norway. *Scientifica (Cairo)*. <https://doi.org/10.1155/2016/31743>.
39. Lawler, J.J., Shafer, S.L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E.P., Blaustein, A.R. and Bartlein, P.J., 2009. Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*. 90(3): 588-597. doi:10.1890/08.0823.1.
40. Barnett, T.P., Adam, J.C. and Lettenmaier, D.P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*. 438 (7066): 303-309. <https://doi.org/10.1038/nature04141>.
41. Pechmann, J.H.K., Estes, R.A., Scott, D.E. and Gibbons, J.W., 2001. Amphibian colonization and use of ponds created for trial mitigation of wetland loss. *Wetlands*. 21(1): 93-111. [https://doi.org/10.1672/0277.5212\(2001\)021\[0093:ACAUOP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277.5212(2001)021[0093:ACAUOP]2.0.CO;2).
42. Gerick, A.A., Munshaw, R.G., Palen, W.J., Combes, S.A. and O'Regan, S.M., 2014. Thermal physiology and species distribution models reveal climate vulnerability of temperate amphibians. *Journal of biogeography*. 41(4): 713-723. <https://doi.org/10.1111/jbi.12261>.
43. Wilbur, H.M. and Collins, J.P., 1973. Ecological aspects of amphibian metamorphosis. *Science*. 182(4119): 1305-1314. <https://doi.org/10.1126/182.4119.1305>
44. Newman, R.A., 1992. Adaptive Plasticity in Amphibian Metamorphosis. What type of phenotypic variation is adaptive and what are the costs of such plasticity? *Bioscience*. 42(9): 671-678.
45. Brady, L.D. and Griffiths, R.A., 2000. Developmental responses to pond desiccation in tadpoles of the British anuran amphibians (*Bufo bufo*, *B. calamita* and *Rana temporaria*). *Journal of Zoology*. 252(1): 61-69. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb00820.x>.
46. Thurman, L.L. and Garcia, T.S., 2019. Asymmetric competition shapes amphibian response to rapid environmental change. *Ecosphere*. 10(12). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2950>.
47. Denver, R.J., 1997. Proximate mechanisms of phenotypic plasticity in amphibian metamorphosis. *American Zoologist*. 37(2): 172-184. <https://doi.org/10.1093/icb/37.2.172>.
48. Kulkarni, S.S., Gomez-Mestre, I., Moskalik, C.L., Storz, B.L. and Buchholz, D.R., 2011. Evolutionary reduction of developmental plasticity in desert spadefoot toads. *Journal of Evolutionary Biology*. 24(11): 2445-2455. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2011.02370.x>