

Distribution modeling of the genus *Gammarus* Fabricius, 1775 in Alborz and North and Central Zagros: An approach based on ensemble model

Somayeh Esmaeili-Rineh^{1,*}, Elnaz Zangani¹, Peyman Karami²

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

2- Department of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Received: 15 May 2022 Accepted: 20 September 2022

Key words

Gammarus populations
Freshwater
Distribution Model
Topography

Abstract

A variety of organisms are present in Freshwater ecosystems that the knowledge of species distribution is essential to understand the ecological and evolutionary factors that determine patterns of biodiversity. The construction of a species distribution model is an alternative approach for the study of its geographic range. Therefore, in this study, the distribution of freshwater amphipods of the genus *Gammarus* in Iran was investigated using SDMs distribution models. The ensemble modeling approach (eSDM), GAM, GLM, MARS and RF models were used. AUC and Kappa criteria were used to evaluate the mentioned models. Also, climatic variables, topography, vegetation and soil quality were used for modeling purposes. The results showed that single models predicted the suitable habitat for taxon (AUC=0.90). The increasing level in soil organic carbon (SOC) and Bio18 variables lead to an increase in habitat suitability. Also, they are mostly recorded at an altitude between 1000 to 2500 meters, but, the increase or decrease in height does not have a linear effect on the habitat desirability in this genus. Therefore, the predicted distribution for this genus indicates the combined role of soil biomass, vegetation and precipitation parameters that can determine the distribution range of the genus *Gammarus* in Iran.

*Corresponding Author: sesmaeili60@gmail.com

مدلسازی پراکنش جنس *Gammarus Fabricius, 1775* در البرز و زاگرس مرکزی و شمالی: رویکردی مبتنی بر مدلسازی کلی

سمیه اسمعیلی رینه^{۱*}، الناز زنگانی^۱، پیمان کرمی^۲

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

۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

دریافت: ۲۵ اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۱

چکیده	واژه‌های کلیدی
<p>در اکوسیستم های آب شیرین، تنوعی از موجودات حضور دارند که فهم پراکنش آنها برای شناخت فاکتورهای تکاملی و اکولوژیکی تعیین کننده الگوهای تنوع زیستی ضروری است. بازسازی مدل پراکنش، رویکردی جایگزین برای مطالعه دامنه پراکنش جغرافیایی آن می باشد. بنابراین در این مطالعه پراکنش دوجورپایان آب شیرین زی جنس <i>Gammarus</i> در ایران با استفاده از مدل های پراکنش SDMs مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مدلسازی پراکنش گونه از رویکرد مدلسازی همادی (eSDM) و مدل های منفرد GAM, GLM, MARS, RF استفاده شد. برای ارزیابی مدل های مذکور از معیارهای AUC و Kappa استفاده شد. همچنین از متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، گیاهی و کیفیت خاک به منظور مدلسازی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل های منفرد با قدرت مناسبی زیستگاه جنس را پیش بینی کرده اند (AUC= 0.90). همچنین روند افزایشی در متغیرهای کربن آلی خاک (SOC) و متغیر Bio18 منجر به افزایش مطلوبیت زیستگاه برای جنس <i>Gammarus</i> می شود. همچنین عمده حضور آن ها بین ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر به ثبت رسیده است اما افزایش و یا کاهش ارتفاع بر مطلوبیت زیستگاه این جنس اثر خطی ندارد که شاید به دلیل آن باشد که فاکتورهای مختلف اثر یکدیگر را خنثی می کنند. بنابراین گستره پراکنش پیش بینی شده برای این جنس نشان دهنده نقش تلفیقی پارامترهای بیوماس خاک، پوشش گیاهی و بارش است که می تواند محدوده پراکنش جنس در ایران را تعیین کنند.</p>	<p>جمعیت های <i>Gammarus</i> آب شیرین مدلسازی پراکنش توپوگرافی</p>
* پست الکترونیکی: sesmaeili60@gmail.com	

مقدمه

کاروتنوئیدی یکی از مهمترین منابع غذای زنده برای پرورش آبزیان به شمار می آید (Väinölä et al., 2008). تنوع این جنس در عرض های جغرافیایی بالا (بین ۶۰ تا ۹۰ درجه)، به دلیل یخبندان های پلیوستوسن و ساکن شدن اخیر پایین است و در عرض های جغرافیایی میانی (بین ۳۰ تا ۶۰ درجه) بیشترین تنوع این جنس مشاهده می شود (Väinölä et al., 2008). مطالعات اخیر نشان می دهد که محدوده سرزمینی ایران به دلیل حضور زیستگاه های متنوع آبی بر اساس داده های ریختی دارای ۱۹ گونه از جنس *Gammarus* می باشد (Esmaeili-Rineh & Shabani, 2021) که البته با مطالعات مولکولی مشخص شده است که این جنس در ایران دارای گونه های مخفی زیادی می باشد که با تفاوت ریختی اندکی از هم متمایز می شوند (Katouzian et al., 2016).

علیرغم گستردگی مطالعات انجام شده جهت شناخت و تشریح نیازهای بوم شناختی جمعیت های جنس *Gammarus* در نقاط مختلف ایران، عدم وجود مطالعات مرتبط با برآورد پراکنش بالقوه و در نتیجه عدم وجود نقشه های دقیق از پراکنش پتانسیل این جنس در مناطق مختلف جغرافیایی کشور، مدیریت صحیح مناطق حضور آن را با محدودیت های جدی مواجه ساخته است از این رو هدف این مطالعه شناسایی گستره حضور این جنس و تعیین مهمترین معیارهای موثر بر روی حضور آن می باشد.

مواد و روش ها**محدوده مورد مطالعه و نقاط حضور**

داده های این مطالعه از ۷۱ ایستگاه از چشمه های آب شیرین در امتداد رشته کوه های البرز، بخشی از زاگرس و فلات مرکزی ایران طبق Katouzian و همکاران (۲۰۱۶) به دست آمد. اکثر مطالعات صورت گرفته روی جمعیت

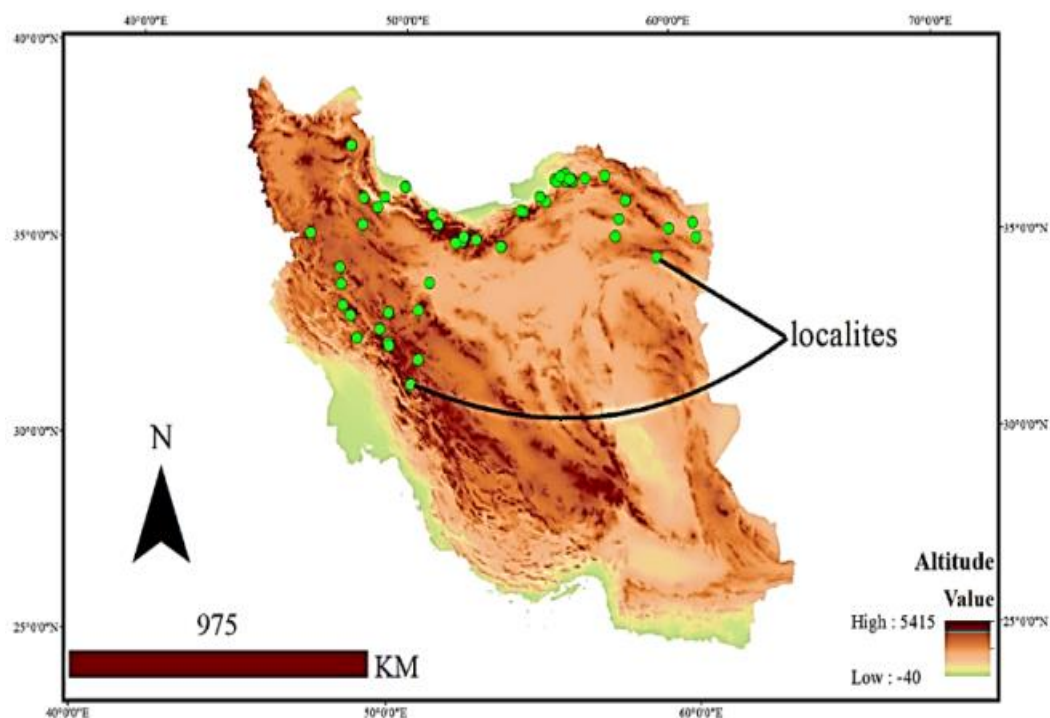
تنوع زیستی محیط های آب شیرین نسبت به محیط های دریایی و خشکی به طرز نگران کننده ای در ۳۰ سال اخیر در حال کاهش می باشد (Dudgeon et al., 2006). در این زیستگاه ها جمعیت گروه های جانوری بخصوص بی مهرگان تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی، آلودگی ها و اثرات انسانی به سرعت در حال نابودی می باشد (Chessman, 2009). فهم پراکنش گونه ها برای شناخت فاکتورهای تکاملی و اکولوژیکی که الگوهای تنوع زیستی را تعیین می کنند، ضروری است (Graham et al., 2006) حضور تاکسون در مکانی خاص می تواند نشان دهنده نمونه برداری درست در آن منطقه باشد. اما مطالعات میدانی به تنهایی برای تعیین محدوده پراکنش گونه کافی نیست (Shi et al., 2007).

بازسازی مدل پراکنش یک گونه رویکردی جایگزین برای مطالعه دامنه پراکنش جغرافیایی آن می باشد. پیش بینی پراکنش یک گونه به دلیل ارزیابی منابع، حفاظت محیطی و مدیریت تنوع زیستی حایز اهمیت می باشد. بنابراین پیش بینی پراکنش جغرافیایی یک تاکسون فرضی برای حفاظت از گونه های در معرض خطر انقراض و یا گونه های کمیاب و بومی، بقای آنها، حفظ تنوع زیستی اکوسیستم و حفظ پرده اکولوژیک آنها حیاتی است (Liu et al., 2005).

اعضای جنس *Gammarus Fabricius, 1775* یکی از بزرگترین جنس های دوجورپایان آب شیرین هستند که با بیش از ۲۰۰ گونه در سرتاسر نیمکره شمالی پراکنش یافته اند. بیشتر گونه های این جنس سطحی زی می باشند در حالی که گونه های کمی در چاه ها، غارها و یا سایر زیستگاه های آب های زیرزمینی یافت شده اند (Karaman & Pinkster, 1977). اعضای این جنس به علت ارزش غذایی بالا، مقدار بالای پروتئین قابل هضم و رنگدانه های

گونه می شوند. بنابراین در این مطالعه متناسب با محدودیت های شناسایی، جمعیت ها در سطح جنس شناسایی و وارد مدلسازی پراکنش شدند.

های این جنس بر اساس صفات ریختی بوده است، اما مطالعات مولکولی که توسط Katouzian و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد نشان داد که بسیاری از گونه های شناسایی شده بر اساس صفات ریختی خود شامل چندین



شکل ۱: موقعیت نقاط حضور جمعیت های جنس *Gammarus* در ایران.

ویژگی اکوسیستم در نظر گرفته می شوند (Barton et al., 2020). این دسته از متغیرها با تاکید بر روی پارامترهای خاک، ویژگی های فیزیکی ناحیه و اقلیمی به شرح کربن آلی خاک (SOC)، ارتفاع، رطوبت توپوگرافی (CTI) و همچنین متغیرهای زیست اقلیمی (BioClim) انتخاب شد (جدول ۱). مدل رقومی ارتفاعی و همچنین متغیرهای زیست اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه از پایگاه اقلیمی (www.worldclim.org) تهیه شدند. با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، نقشه رطوبت توپوگرافی (CTI) محاسبه گردید که به نحوی حاصل از شناسایی موقعیت مکانی آبراهه ها می باشد. شاخص رطوبت (CTI)، شاخص

متغیرهای زیستگاهی

ابتدا با مروری بر مطالعات انجام گرفته بر روی جنس *Gammarus*، برخی متغیرهای زیستگاهی موثر بر روی حضور بررسی شدند (Ba et al., 2010؛ Gies, 2015؛ Herkül et al., 2016). با در نظر گرفتن محدودیت های تهیه اطلاعات، تلاش بر انتخاب متغیرهایی بود که پراکنش تاکسون را به شکلی مناسب توجیه کنند. از این رو تلاش شد تا از متغیرهایی که به عنوان جانشین تلقی می شوند استفاده شود. جانشین ها (Surrogates) معیارهایی هستند که به منظور ارزیابی تنوع زیستی به کار می روند و به عنوان

نظر پراکندگی بیشتر در چشمه ها، آبراهه ها و دره ها حضور دارد در این مطالعه برای مطالعه پراکنش آنها از نقشه عمق دره (Skentos et al., 2018) نیز استفاده گردید.

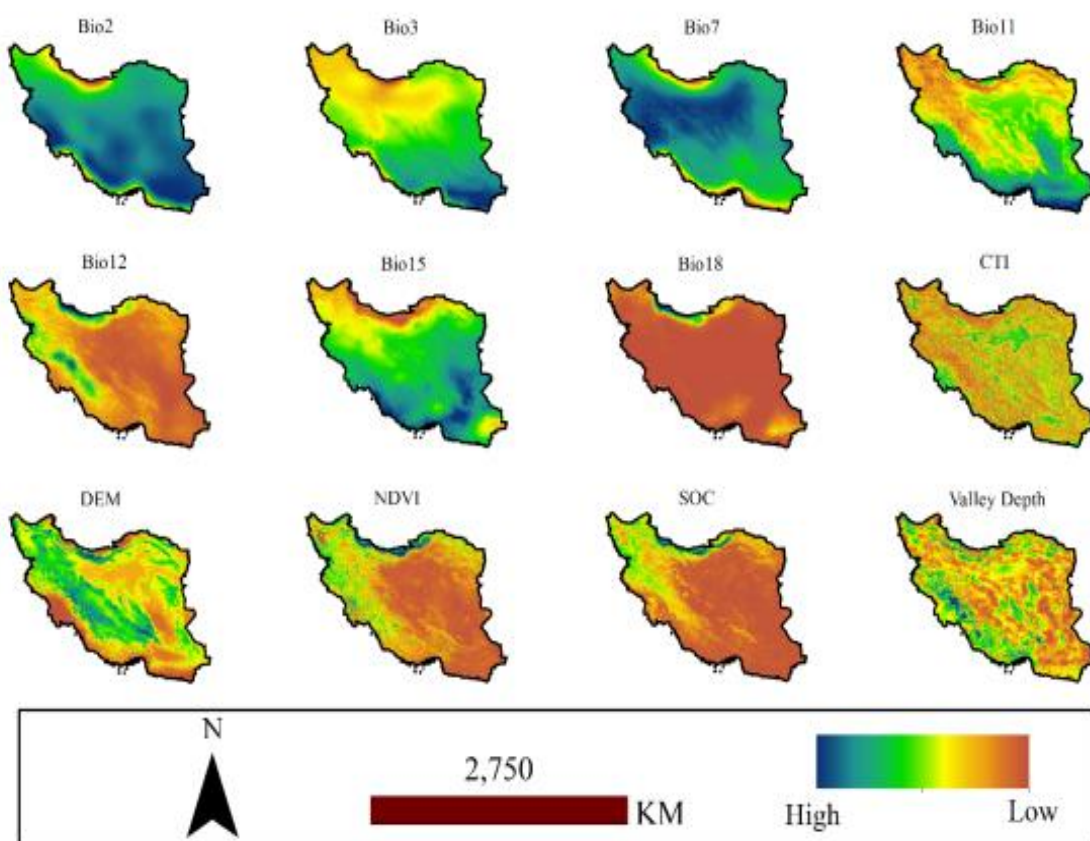
ترکیب پستی و بلندی است که نسبت بین شیبها را در حوضه به نمایش می گذارد و به شاخص خیزی نیز معروف می باشد و شاخصی از پراکنش مکانی رطوبت خاک در طول چشم انداز زمین است. از آنجا که جنس مورد مطالعه از

جدول ۱. متغیرهای زیستگاهی مورد استفاده، دامنه تغییرات و واحد هر یک.

متغیر	مخفف	حد اقل	حد اکثر	واحد
ارتفاع	DEM	-۴۰	۵۴۱۴	متر
کربن آلی خاک	SOC	۰	۲۲۳	تن در هکتار
رطوبت توپوگرافی	CTI	۳/۵۱	۲۱/۴۶	-
دامنه میانگین دمای روزانه	Bio2	۲۴	۱۴۱	درجه سانتی گراد
هم دمایی (ایزوترمالی)	Bio3	۱۴۳	۴۱۷	بدون بعد
محدوده سالانه دما	Bio7	۱۶۶	۴۲۴	درجه سانتی گراد
میانگین دمای سردترین فصل	Bio11	-۲۰۰	۲۱۷	درجه سانتی گراد
بارش سالانه	Bio12	۳۷	۱۵۴۸	میلی متر
فصلی بودن بارش	Bio15	۱۵	۱۴۰	درصد
بارش گرم ترین فصل	Bio18	۰	۲۳۸	میلی متر
تراکم پوشش گیاهی	NDVI	-۰/۱۴	۱	-
عمق دره	Valley depth	۰	۲۵۱۹	متر

متغیرهای زیستگاهی تحلیل همبستگی انجام گرفت و آن دسته از متغیرها که همبستگی بیش از ۰/۸۵ داشتند وارد مدلسازی نشدند. این تحلیل با استفاده از دستور Band Collection Statistics در محیط نرم افزار ArcGIS10.4.1 انجام گرفت. تمام متغیرهای این مطالعه با دقت ۳۰ ثانیه (تقریباً ۱ کیلومتر) وارد فرآیند مدلسازی شدند.

تهیه نقشه مذکور در نرم افزار SAGAGIS انجام گرفت. تراکم کربن آلی خاک از پایگاه (GSOCmap) با واحد تن در هکتار (1-tonnes.ha) تهیه گردید. این متغیر به عنوان جانشین تنوع زیستی (Rienzi et al., 2018) می تواند به موارد متعددی همچون فرسایش، کیفیت خاک، کیفیت پوشش گیاهی و محیط اشاره داشته باشد. بین



شکل ۲. متغیرهای زیستگاهی مورد استفاده در فرآیند مدل‌سازی.

استفاده شد. معیار AUC (Area under the curve) به عنوان یک متریک غیر وابسته به حد آستانه است که دارای دامنه نوسان بین ۰ تا ۱ است. مقادیر این معیار در صورتی که کمتر از ۰/۵ محاسبه شوند مدل پیش بینی تصادفی داشته است. مقادیر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۷ به عنوان مدل متوسط، ۰/۰۷ تا ۰/۰۹ مدل خوب و بیش از این مقدار به عنوان عالی قلمداد می شود. آماره کاپا مبتنی بر صحت کلی پیش بینی های مدل می باشد که با توجه به صحت مورد انتظار در حالت تصادفی عمل می کند محدوده این آماره بین ۱- تا ۱+ است. ۱+ نشانگر تطابق کامل و مقادیر صفر و کمتر از آن نشانگر آن است که مدل عملکردی بهتر از حالت تصادفی نداشته است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵).

مدل پراکنش

در این مطالعه به منظور مدل‌سازی پراکنش جنس از نرم افزار Biomed و مدل های جنگل تصادفی^۱ (RF)، رگرسیون چند متغیره اسپلاین^۲ (MARS)، مدل جمعی تعمیم یافته^۳ (GAM) و مدل خطی تعمیم یافته^۴ (GLM) استفاده گردید. تعداد ۱۰۰۰ شبه عدم حضور^۵ به صورت تصادفی در اجرای مدل های مذکور در محیط R4.3.1 قرار گرفت. مدل ها ۱۰ تکرار داشتند و تنها مدل های که دارای معیار کاپای بیش از ۰/۷۵ بودند برای ادغام در نظر گرفته شدند. برای ارزیابی مدل های منفرد از معیارهای AUC و kappa

- 1 - Generalized Linear Model
- 2 - Multi Adaptive Regression Splines
- 3 - Generalized Additive Model
- 4 - Random forests
- 5 - Pseudo absent

نتایج

۶۱ نقطه وارد فرآیند مدلسازی شدند. بین متغیرهای زیستگاهی مورد استفاده در مدلسازی نیز همبستگی بیش از ۰/۸۵ مشاهده نشد. از این رو هیچ یک از متغیرهای مورد استفاده در جدول ۱ و شکل ۲ از تحلیل حذف نشدند. جدول زیر نتایج حاصل از اعتبار سنجی مدل های منفرد مورد استفاده را به تفکیک نمایش می دهد (جدول ۲).

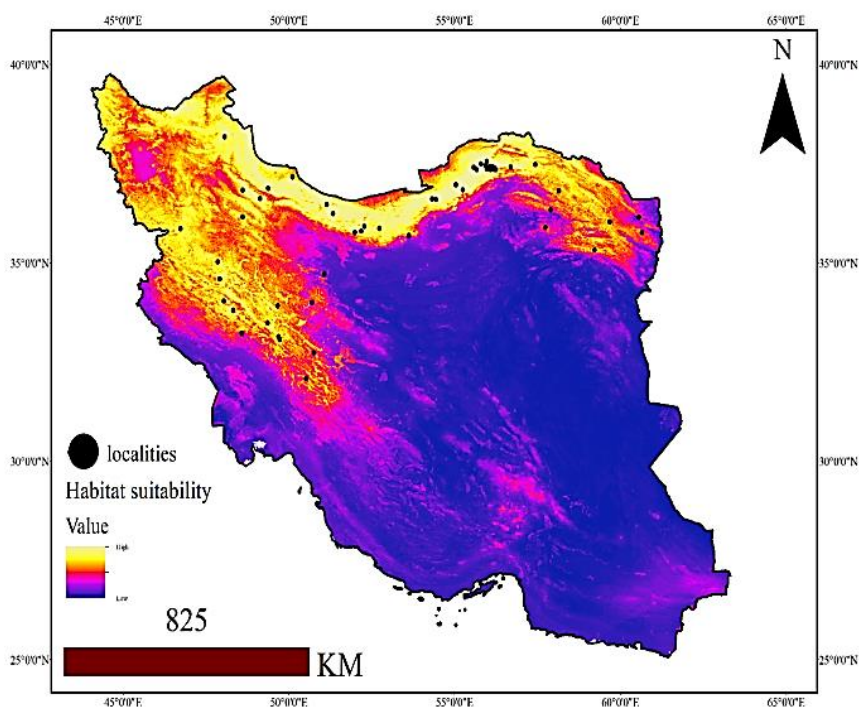
کاهش خود همبستگی مکانی بین نقاط حضور با در نظر گرفتن فاصله ۵ کیلومتری بر روی داده ها انجام گرفت و آن دسته از نقاط حضوری که دارای خود همبستگی مکانی بالا بودند از تحلیل حذف شدند به این ترتیب از تعداد ۷۱ نقطه حضور مورد استفاده ۱۰ نقطه حضور حذف شد که در انتها

جدول ۲. اعتبار مدل های مورد استفاده در فرآیند مدلسازی.

Models	AUC	kappa
GLM	0.80	0.70
MARS	0.80	0.78
GAM	0.81	0.80
RF	0.85	0.89

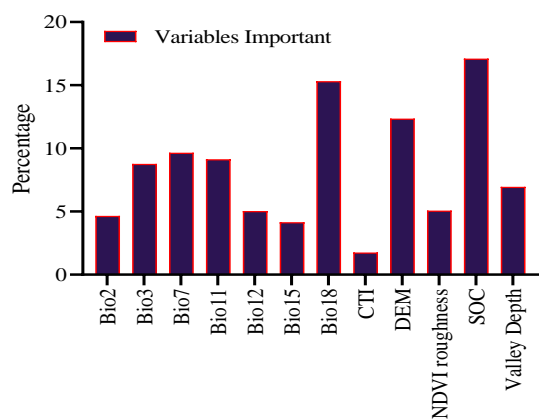
جنس مورد مطالعه در بخش های شمالی و جنوب غربی در امتداد رشته کوه زاگرس و البرز است. سایر مناطق کشور مانند بخش های مرکزی، جنوبی و شرقی فاقد مطلوبیت زیستگاه هستند.

شکل ۳ مدل همادی (Ensemble) را نمایش می دهد که در آن رنگ های روشن و زرد زیستگاه مطلوب و رنگ های آبی و تیره زیستگاه نامطلوب را برای جنس *Gammarus* نمایش می دهند. براساس نتایج، بیشترین گستره پراکنش

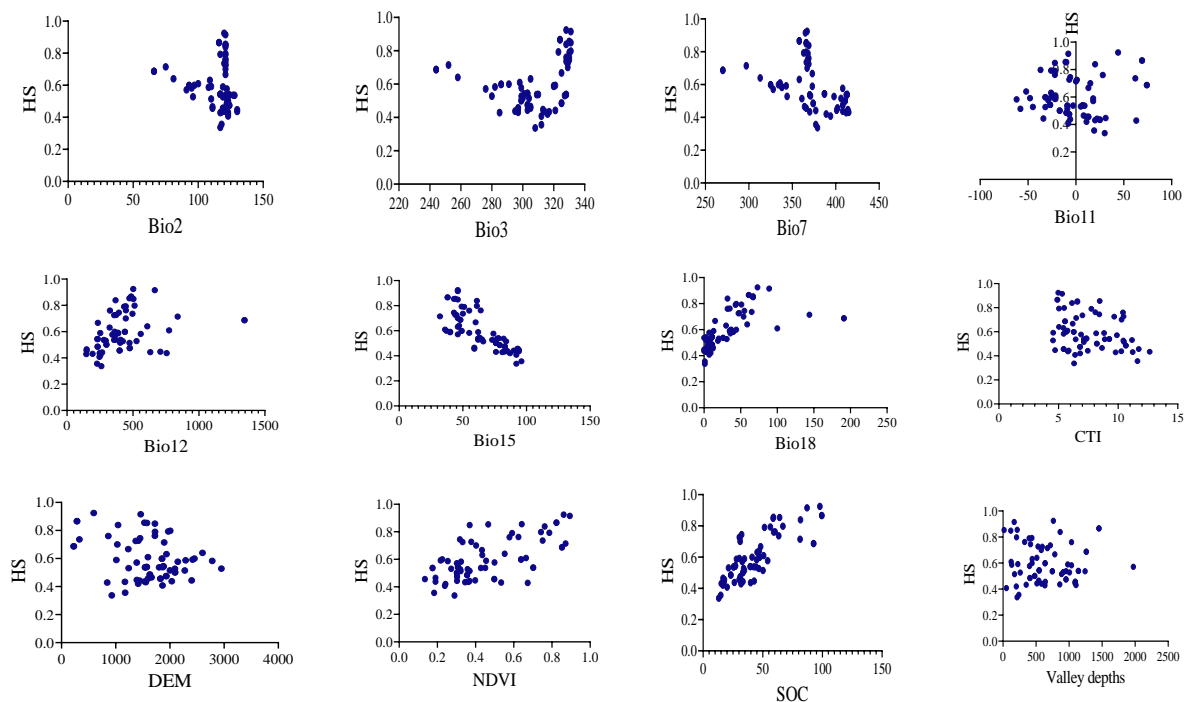


شکل ۳. مطلوبیت زیستگاه جنس با استفاده از مدل همادی یا کلی.

جنس افزوده می شود اما بیشترین مقدار مطلوبیت زیستگاه در محدوده بین ۵ تا ۵۰ تن در هکتار اندازه گیری شده است. پاسخ پراکنش جنس به متغیر تراکم پوشش گیاهی (NDVI) نشان داد که جنس *Gammarus* در مقادیر متفاوتی از زبری پوشش گیاهی حضور دارند و با افزایش زبری در این متغیر بر مطلوبیت زیستگاه افزوده می شود.



شکل ۴. تاثیر متغیرهای زیستگاهی بر روی پراکنش جنس *Gammarus* در ایران. ویژگی هر کدام از متغیرها در جدول ۱ آمده است.



شکل ۵. اثر هر یک از متغیرهای زیستگاهی بر میزان مطلوبیت زیستگاه به ازای نقاط حضور جمعیت های جنس *Gammarus*.

درصد اهمیت متغیرها

وضعیت متغیرها در فرایند مدلسازی در شکل ۴ آمده است. طول هر میله نشان دهنده مقدار اهمیت آن متغیر در مدلسازی است. بر اساس نتایج این مطالعه متغیر کربن آلی خاک بیشترین تاثیر را در گستره انتشار جنس مورد مطالعه داشته است. کمترین تاثیر نیز مربوط به متغیر رطوبت توپوگرافی (CTI) می باشد. تغییرات در مطلوبیت زیستگاه به ازای هر متغیر برای نقاط حضور جنس در شکل ۵ آمده است. در این اشکال در محور X متغیر زیستگاهی قرار گرفته و در محور Y نیز مطلوبیت زیستگاه نمایش داده شده است. به طور مثال مطلوبیت زیستگاه با افزایش مقدار دامنه میانگین دمای روزانه (Bio2) افزایش پیدا می کند و دامنه میانگین دمای روزانه بین ۱۰۰ تا ۱۴۵ درجه سانتی گراد (فاکتور مقیاس ۱۰) بیشترین مقدار مطلوبیت زیستگاه را برای جنس *Gammarus* دارد. برای متغیر کربن آلی خاک (SOC) نیز با افزایش مقدار این متغیر بر مطلوبیت زیستگاه

بحث

زیستگاه این جنس نشان دهنده نقش پارامترهای خاک و بیومس در حفظ جمعیت های آن است. این کیفیت بالای خاک به این معنا است که گروه مورد مطالعه از مناطقی که بیومس پایین دارند اجتناب دارد شاید به همین دلیل است که این جنس در ناحیه رویشی البرز و زاگرس به نسبت نواحی داخلی ایران مطلوبیت زیستگاه بیشتری دارد.

بارش در گرمترین فصل (Bio18) به عنوان متغیر تاثیرگذار دیگر بر روی پراکنش جنس *Gammarus* مطرح شد. در صورت خشکسالی و کاهش میزان بارش سالانه بعضی از چشمه ها و قنات ها خشک می شوند و یا سطح آب در آنها کاهش می یابد که منجر به کاهش و یا نابودی ارگانیسم های موجود در محیط های آبی می شود (Vadher et al., 2018). پراکنش این متغیر می تواند تحت تاثیر ساختارهای ناهموار ارتفاعی باشد که از جمله این ساختارها می توان به رشته کوه های البرز و زاگرس اشاره کرد. این دو ساختار در پراکنش پارامترهای جوی در ایران بسیار نقش آفرین می باشند. به واسطه همین نقش، شاهد هستیم که بسیاری از پارامترهای جوی مناطق داخلی ایران نیز از مناطق تحت سیطره این دو رشته کوه متفاوت هستند. بارش متفاوت این نواحی بر روی شکل گیری رودخانه ها، چشمه ها و سایر منابع آبی حساس و ضروری برای این گروه موثر است. همین امر باعث شده که حضور اعضای جنس *Gammarus* در مناطق مرکزی ایران تحت تاثیر قرار گیرد.

در این مطالعه، اعضای جنس *Gammarus* در ارتفاعات بین ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مشاهده شده اند و عمده حضور آن ها بین ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر به ثبت رسیده است. در مطالعه ای که روی گونه *G. lacustris* انجام شده است نتایج نشان داد که میزان سختی و pH آب در ارتفاعات و دشت ها با یکدیگر متفاوت هستند (Økland & Økland 1985). همچنین در مطالعه دیگری که توسط Wilhelm

در این مطالعه با استفاده از نقاط حضور جمعیت های متعلق به جنس *Gammarus*، وضعیت زیستگاه این جنس در ایران مدلسازی شد. در پراکنش گونه از متغیرهای زیستگاهی استفاده گردید که به نحوی به عنوان جانشین های تنوع زیستی عمل کرده و گستره پراکنش جنس را به خوبی مشخص کرده اند. تمام مدل های منفرد در این مطالعه با یکدیگر تلفیق شدند تا مدل همادی شکل گیرد. بر اساس نتایج از میان متغیرهای تاثیرگذار بر روی گستره پراکنش به ترتیب متغیرهای کربن آلی خاک (SOC)، میزان بارش در گرمترین فصل سال (Bio18) و ارتفاع (DEM) بیشترین تاثیر را در پراکنش داشتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد جنس مورد مطالعه در امتداد نوار رشته کوه های البرز و زاگرس پراکنش داشته و بیشترین مطلوبیت زیستگاه نیز در این مناطق بدست آمده است. یکی از دلایل مهمی که می تواند منجر به چنین چیدمانی از مطلوبیت زیستگاه در این مناطق باشد، پراکنش و تراکم رودخانه ها و منابع آبی در امتداد این دو رشته کوه می باشد.

ویژگی های یک زیستگاه نظیر شرایط آب و هوایی، زمین شناسی، توپوگرافی و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک بر کیفیت و کمیت آب در چشمه ها اثر می گذارند (Koralay, 2018). یکی از این متغیرها میزان کربن آلی موجود در خاک است. تفاوت در محتوای کربن موجود در اکوسیستم های مختلف، تا حدود زیادی وابسته به عوامل خاک و اقلیم است و کربن آلی با افزایش محتوای رس خاک و بارندگی سالانه، افزایش و با افزایش دمای سالانه، کاهش می یابد (کاشی و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه کربن آلی خاک بر روی پراکنش این جنس بسیار موثر ارزیابی شد به نحوی که نسبت به سایر متغیرهای مورد استفاده اهمیت بیشتری دارد. بالا بودن مقدار این متغیر در

و Schindler (۲۰۰۱) روی همین گونه انجام شد، نتایج نشان داد که در زمان تولید مثل نمونه های ماده در زیستگاه های مرتفع تعداد تخم کمتر با اندازه بزرگتر نسبت به زیستگاه های دشتی دارند. اما نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش و یا کاهش ارتفاع بر مطلوبیت زیستگاه جنس اثر خطی ندارد که شاید به دلیل اثر فاکتورهای مختلف بر روی یکدیگر باشد که همدیگر را خنثی می کنند. همچنین داده ها نشان داد که از ارتفاع ۲۵۰۰ متر به بعد حضور این جنس با احتمال کمتری مواجه است و در ارتفاعات کمتر از ۲۲۶ متر مشاهده نشده است. در مطالعه ای که توسط موسی پور و همکاران (۱۳۹۹) در ارتباط با تغییرات جمعیتی دوجورپایان آب شیرین گونه *Gammarus fasciatus* در ارتفاعات لانکشرگیلان انجام گرفت نیز ارتفاع حضور ۱۹۰ متر ذکر شد که در مقایسه با نمونه های این مطالعه ارتفاع کمتری دارد.

شاخص رطوبت توپوگرافی (CTI) که به نحوی بیان کننده مقدار رطوبت ناشی از وجود آبراهه ها می باشد به نسبت سایر متغیرها تاثیر کمتری داشت که نشان می دهد جمعیت های مختلف جنس *Gammarus* در این مقیاس مطالعاتی به نسبت کمتری از این عامل تاثیرپذیری دارند و متغیرهای مربوط به کیفیت خاک و اقلیم نقش کنترل بیشتری دارند. با افزایش شاخص CTI مطلوبیت زیستگاه برای این جنس افزایش پیدا می کند. اما بین مطلوبیت زیستگاه و افزایش شدید رطوبت توپوگرافی همبستگی بالایی وجود ندارد. مقادیر بین ۵ تا ۱۰ واحد از شاخص مذکور بیشترین اثر را بر روی مطلوبیت زیستگاه دارند. این به این معناست که بین پیچیدگی زیاد آبراهه ها و این پارامتر ارتباط مستقیمی برقرار نیست. از آنجایی که بین متغیرهای افزایش درجه حرارت و طول روز با تراکم *Gammarus* ها ارتباط وجود دارد (قلی پور و همکاران، ۱۳۹۰)، با شروع فصل بهار و

افزایش دما به حدود ۲۰ درجه سانتی گراد، دوره تولیدمثل جمعیت های جنس *Gammarus* آغاز خواهد شد و با افزایش درجه حرارت در فصول اردیبهشت و خرداد تراکم جمعیت آنها افزایش می یابد (موسی پور و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعه ی دیگر که توسط Stubbington و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، نتایج نشان داد که با کاهش درجه حرارت آب به ۱۵ درجه سانتی گراد، *Gammarus* ها پس از تشکیل کیست به خواب زمستانی فرو خواهند رفت و با افزایش درجه حرارت تا ۲۰ درجه سانتی گراد مجدداً فعالیت های خود را آغاز خواهند کرد. در ارتباط با نوع زیستگاه هم بایستی گفت که جمعیت های مختلف جنس *Gammarus*، زیستگاه های آبی که دارای جریان خطی مستقیم باشند و همچنین چشمه هایی که دارای فضاهایی در زیر گیاهان و زیر سنگ ها و همچنین هوموس فراوان می باشند را ترجیح می دهند (Lawrence & Poulter, 1996).

در مطالعات مختلفی به نقش لاشبرگ به عنوان بخشی از بیوماس برای حضور این جنس اشاره شده است. در مطالعه ای که توسط یوسفی سیاهکلرودی و همکاران (۱۳۹۷) بر روی تنوع ژنتیکی *Gammarus* در رودخانه های شرق تهران انجام گرفت یکی از دلایل تراکم پایین جمعیت های این جنس در برخی مناطق را کمبود لاشبرگ و وجود مواد آلاینده ذکر کردند. بالا بودن نقش کربن آلی خاک (SOC) در گستره پراکنش این جنس در ایران، نشان دهنده این موضوع است که اعضای جنس *Gammarus* به مناطقی با حضور بیوماس زنده حساس بوده و به عنوان یکی از پیش شرط های حضور جمعیت های این جنس مطرح می شوند. بنابراین بررسی های این مطالعه نشان می دهد که تلفیق میزان بارش، درصد رطوبت، توپوگرافی حاصل از

فصلنامه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۱، شماره ۳، صفحات ۲۴۵-۲۳۶.

Ba, J., Hou, Z., Platvoet, D., Zhu, L. & Li, S. 2010. Is *Gammarus tigrinus* (Crustacea, Amphipoda) becoming cosmopolitan through shipping? Predicting its potential invasive range using ecological niche modeling. *Hydrobiologia*, 649(1), 183-194.

Barton, P.S., Westgate, M.J., Foster, C.N., Cuddington, K., Hastings, A., O'Loughlin, L.S., Sato, C.F., Willig, M.R. & Lindenmayer, D.B. 2020. Using ecological niche theory to avoid uninformative biodiversity surrogates. *Ecological Indicators*, 108, 105692.

Chessman, B. G. 2009. Climatic changes and 13-years trends in stream macroinvertebrates in New South Wales, Australia. *Global Change Biology*, 15, 2791-2802.

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D.J., Leveque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D. & Stiassny, M.L. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163-182.

Esmaeili-Rineh, S. & Shabani, S. A. 2021. New species of freshwater amphipod of the genus *Gammarus* from Iran. *North-Western Journal of Zoology*, 17, 170-179.

Gies, M. 2015. Species distribution modelling of stream macroinvertebrates at the catchment scale. Doctoral dissertation, Universitätsbibliothek Duisburg-Essen.

Graham, C. H., Moritz, C. & Williams, S. E. 2006. Habitat history improves prediction of biodiversity in a rainforest fauna. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 632-636.

Herkül, K., Lauringson, V. & Kotta, J. 2016. Specialization among amphipods: the invasive *Gammarus tigrinus* has narrower niche space

پستی ها و بلندی ها و تراکم پوشش گیاهی می تواند توصیف کننده زیستگاه این جنس در ایران باشد.

سپاسگزاری

از دانشگاه رازی به جهت حمایت های مالی جهت انجام این مطالعه تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

جعفری، ع.، میرزائی، ر.، زمانی، ا.، محمودی، ر. ۱۳۹۵. مدل سازی پراکنش قوچ و میش اصفهان بر اساس بهبود ارباب داده های حضور و انتخاب متغیر مناسب با استفاده از روش حداکثر آنتروپی. فصلنامه بوم شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۱۵، صفحات ۴۹-۳۹.

کاشی زنوزی، ل.، بانج شفیق، جعفری، ع. ۱۳۹۵. بررسی برخی عوامل مؤثر بر کربن آلی خاک در حوضه آبخیز زیلبرچای. نشریه علوم آب و خاک، سال ۲۰، شماره ۷۶، صفحات ۲۱۸-۲۰۷.

قلی پور، ع.، فتح پور، ح.، میرزاخانی، ع. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات فصلی گاماروس آکی کودا (*Gammarus aequicauda*) در خلیج میانکاله. فصلنامه زیست شناسی ایران، دوره ۲۴، شماره ۴، صفحات ۵۸۸-۵۶۵.

موسی پور، م.، علاف نویریان، ح.، صیاد اوغلی، ف. ۱۳۹۹. بررسی تراکم جمعیت *Gammarus* آب شیرین و ارتباط آن با عوامل غیر زیستی در روان آب ارتفاعات لانک شهر (رشت-گیلان). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی و تکوین جانوری، شماره ۴۹، جلد ۱۳، صفحات ۵۰-۳۹.

یوسفی سیاهکلرودی، ه.، یوسفی سیاهکلرودی، س.، خاتمی، ش. ۱۳۹۷. تنوع ژنتیکی *Gammarus* در رودخانه های شرق استان تهران با استفاده از توالی یابی ژن CO1 میتوکندریایی.

- Økland, K. A. & Økland, J. 1985. Factor interaction influencing the distribution of the freshwater "shrimp" *Gammarus*. *Oecologia*, 66(3), 364-367.
- Rienzi, E.A., Fox, J.F., Grove, J.H. & Matocha, C.J. 2018. Experimental results and temporal surrogate modeling of particulate organic carbon released during interrill erosion. *Catena*, 163, 1-12.
- Shi, C-M., Huang, Z-S., Wang, L., He, L-J., Hua, Y-P., Leng, L. & Zhang, D-X. 2007. Geographical distribution of two species of *Mesobuthus* (Scorpiones, Buthidae) in China: insights from systematic field surveys and predictive models. *Journal of Arachnology*, 35, 215-226.
- Skentos, A. 2018. Topographic Position Index based landform analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece). *Acta Geobalcanica*, 4(1), 7-15.
- Stubbington, R., Hogan, J.P. & Wood, P.J. 2017. Characterization of the density and body size of a *Gammarus pulex* (Crustacea: Amphipoda) population in subsurface sediments reflects the sampling technique used. *Hydrobiologia*, 788(1), 293-303.
- Vadher, A. N., Millett, J., Stubbington, R. & Wood, P. 2018. The duration of channel drying affects survival of *Gammarus pulex* (Amphipoda: Gammaridae) within subsurface sediments: an experimental flume study. *Hydrobiologia*, 820, 165–173.
- Väinölä, R., Witt, J.D.S., Grabowski, M., Bradbury, J.H., Jazdzewski, K. & Sket, B. 2008. Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 241–255.
- Wilhelm, F.M. & Schindler, D.W. 2001. Reproductive strategies of *Gammarus lacustris* (Crustacea: Amphipoda) along an elevation gradient. *Functional Ecology*, 14, 413-422.
- compared to native gammarids. *Ecosphere*, 7(6), p.e01306.
- Karaman, G.S. & Pinkster, S. 1977. Fresh water *Gammarus* species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea, Amphipoda), part 1. *Gammarus pulex*-group and related species. *Bijdragen Tot De Dierkunde*, 47, 1–97.
- Katouzian, A.R., Sari, A., Macher, J.N., Weiss, M., Saboori, A., Leese, F. & Weigand, A.M. 2016. Drastic underestimation of amphipod biodiversity in the endangered Irano-Anatolian and Caucasus biodiversity hotspots. *Scientific Reports*, 6(1),1-10.
- Koralay, N., Kara, O. & Kezik, U. 2018. Effects of run-of-the-river hydropower plants on the surface water quality in the Solakli stream watershed, Northeastern Turkey. *Water and Environment Journal*, DOI: 10.1111/wej.12338
- Kotta, J., Orav-Kotta, H., Paalme, T., Kotta, I. & Kukk, H. 2006. Seasonal changes in situ grazing of the mesoherbivores *Idotea baltica* and *Gammarus oceanicus* on the brown algae *Fucus vesiculosus* and *Pylaiella littoralis* in the central Gulf of Finland, Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 554, 117–125.
- Kotta, J., Orav-Kotta, H., Herkuel, K. & Kotta, I. 2011. Habitat choice of the invasive *Gammarus tigrinus* and the native *Gammarus salinus* indicates weak interspecific competition. *Boreal Environment Research*, 16, 64–72.
- Lawrence, A. & Poulter, C. 1996. Potential role of estuarine amphipod *Gammarus duebeni* in sub-lethal. *Ecotoxicology Testing*, 34(7), 93-100.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P. & Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28, 385 -393.