

اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر توزیع جغرافیایی گونهٔ جو پیازدار (*Hordeum bulbosum* L.) در زاگرس مرکزی

صدیقه السادات حسینی^۱، علی طویلی^{۲*}؛ علی اصغر نقی پور برج^۳، شهرام خلیقی سیگارودی^۲

۱- دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت ۰۰/۰۶/۲۰- تاریخ پذیرش ۰۰/۱۱/۲۹)

چکیده:

تغییر اقلیم با تغییر فصل رشد یا تغییر الگوهای دمای که محرک تغییر چرخه حیات است، بر بسیاری از گیاهان و جانوران تأثیر می‌گذارد. گونه جو پیازدار (*Hordeum bulbosum*) با پراکندگی زیاد در زاگرس به ویژه زیر اشکوب‌های جنگل‌های بلوط غرب در ناحیه رویشی ایران و تورانی، گونه‌ای مهم برای احیا و اصلاح مراتع است. در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی این گونه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در زاگرس مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ۷۳ نقطه حضور با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت و تعداد ۱۱ متغیر محیطی شامل متغیرهای زیست‌اقلیمی، فیزیوگرافی و کاربری سرزمین در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌سازی اجماعی شامل مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی، روش افزایشی تعمیم‌یافته، مدل خطی تعمیم‌یافته، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، جنگل تصادفی و رگرسیون چندمتغیره تطبیقی انجام بود که در نهایت قابل اعتمادترین مدل، مدل جنگل تصادفی تعیین شد. همچنین پیش‌بینی برای سال ۲۰۷۰ بر اساس سه سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای SSP126، SSP370 و SSP585 و دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0 انجام شد. نتایج نشان داد حدود ۲۵ درصد منطقهٔ مورد مطالعه در حال حاضر به‌عنوان رویشگاه مطلوب گونه شناسایی شده است و موثرترین متغیرها در پراکنش گونه عبارتند از: مجموع بارندگی سالانه، میانگین دمای پربارش‌ترین سه ماهه متوالی سال و مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال. پیش‌بینی می‌شود که به‌واسطه تغییر اقلیم در مدل گردش عمومی GFDL-ESM4، ۲۷/۳۲ درصد (SSP370) تا ۳۱/۰۲ درصد (SSP585) و برای مدل MRI-ESM2-0، ۲۶/۰۶ درصد (SSP370) تا ۳۱/۶۸ درصد (SSP585) در سال ۲۰۷۰ از رویشگاه مطلوب گونه کاسته شود. نقشه‌های رویشگاه مطلوب امروزی و آینده که در این پژوهش تهیه شده‌اند، می‌تواند در تدوین و اجرای برنامه‌ها و طرح‌های مدیریتی و حفاظتی گونهٔ مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: استان چهارمحال و بختیاری، رویشگاه مطلوب، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مدل جنگل تصادفی، مدل گردش عمومی

۱. مقدمه

تغییر اقلیم با تغییر فصل رشد یا تغییر الگوهای دمایی که محرک تغییر چرخه حیات جانداران است بر بسیاری از گیاهان و جانوران تأثیر می‌گذارد (Hardy, 2003). امروزه با به وقوع پیوستن این تغییرات، اکوسیستم‌های سطح کره زمین در حال تغییر وضعیت و نابودی قرار گرفته‌اند. جنگل‌ها و مراتع، زیستگاه جانوران و رویشگاه گیاهان محسوب می‌شوند و اگر این اکوسیستم‌ها آسیب ببینند، بقای موجودات زنده به علت فقدان زیستگاه مورد تهدید قرار می‌گیرد. طی سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری روی مدل‌سازی تغییرات پراکنش گونه‌ها در واکنش به تغییر اقلیم در بسیاری از مناطق جهان و برای هزاران گونه انجام شده است (Milner et al., 2017). بنابراین، تعیین رویشگاه‌های مناسب و شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی و انسانی موثر بر حضور گونه‌ها در شرایط فعلی و آینده به منظور حفاظت از گونه‌های مهم بوم‌شناختی و ارزشمند گیاهی ضروری است.

گونه مورد بررسی در این تحقیق جو پیاژدار (*Hordeum bulbosum* L.) از تیره Poaceae است. فرم رویشی این گونه گیاهی علفی، پایا با ارتفاع ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است. رویش آن بیشتر در اقلیم نیمه خشک معتدل و نیمه خشک سرد و در سطح کمتری در عرصه‌های مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب سرد است. تکثیر این گیاه از طریق بذر بوده و گیاهی سازگار با سرمای شدید، یخبندان و خشکی طولانی مدت می‌باشد (Moghimi, 2005). پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها در سال‌های اخیر به بخش مهمی از برنامه‌ریزی حفاظت تبدیل شده است و بدین منظور فنون مدل‌سازی به‌طور گسترده‌ای

توسعه یافته است (Guisan and Thuiller, 2005). مدل‌های توزیع گونه‌ای از ارتباط میان متغیرهای زیست‌محیطی و نقاط حضور گونه‌ها برای شرایط محیطی که گونه در آن می‌تواند زندگی کند، استفاده می‌کنند. با استفاده از این مدل‌ها، امکان ارزیابی مطلوبیت زیستگاه گونه بر اساس پراکنش مکانی متغیرهای زیست‌محیطی مطلوب در کل گستره پراکنش آن فراهم می‌شود (Pakniat et al., 2016). مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Spicies Distribution Models) بر کاربردترین روش‌ها به منظور پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات پراکنش گونه‌های گیاهی است (Sinclair et al., 2010).

در این مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی اجماعی و بسته رایانه‌ای Biomod2، اقدام به تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر و آینده گونه جو پیاژدار گردید. مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌سازی اجماعی و بسته Biomod، با هدف بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی انجام شده است. Gebrewahid و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه گونه *Oxytenanthera abyssinica* در جنگل‌های اتیوپی شمالی برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ پیش‌بینی کردند که در پاسخ به گرم شدن کره زمین، زیستگاه مطلوب گونه تغییر مکان می‌دهد و افزایش دما، محل زندگی آن‌ها را به ارتفاعات بالاتر جابه‌جا می‌کند. Zhang و همکاران (۲۰۱۵)، به پیش‌بینی رویشگاه مناسب ۱۵۴۱ گونه گیاهی دانه‌دار در حال حاضر و آینده در آلبرتا کانادا پرداختند. پیش‌بینی آن‌ها نشان داد که ۳۶۸ گونه، ۸۰ درصد رویشگاه فعلی خود را از دست خواهند داد. همچنین، پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش سه گونه گون زرد

آسیب‌پذیر به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است (Jowkar et al., 2016). در طی ۱۵ سال گذشته، میانگین درجه حرارت سالیانه در زاگرس مرکزی افزایش یافته است، در حالی که میزان بارندگی سالیانه منطقه در این مدت کاهش پیدا کرده است (Moradi, Babaeian et al., 2015). (۲۰۲۱)، نیز در بررسی اثر تغییرات آب و هوایی روی جنگل‌های حفاظت‌شده سفیدکوه استان لرستان دریافتند که سطح پوشش گیاهی عالی و خوب در سال ۲۰۱۷ حدود ۳۷۰۰۰ هکتار بوده و اقلیم منطقه طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ به سمت نیمه‌خشک رفته است. وقوع این پدیده در گونه‌های جنگلی و مرتعی ممکن است به تدریج سبب نابودی اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی منطقه رویشی زاگرس شود. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، مطالعه حاضر به‌منظور با هدف تعیین پراکنش جغرافیایی گونه جو پیازدار در استان چهارمحال و بختیاری در شرایط حال حاضر و پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ تحت سناریوهای مختلف بر پراکنش این گونه انجام شد.

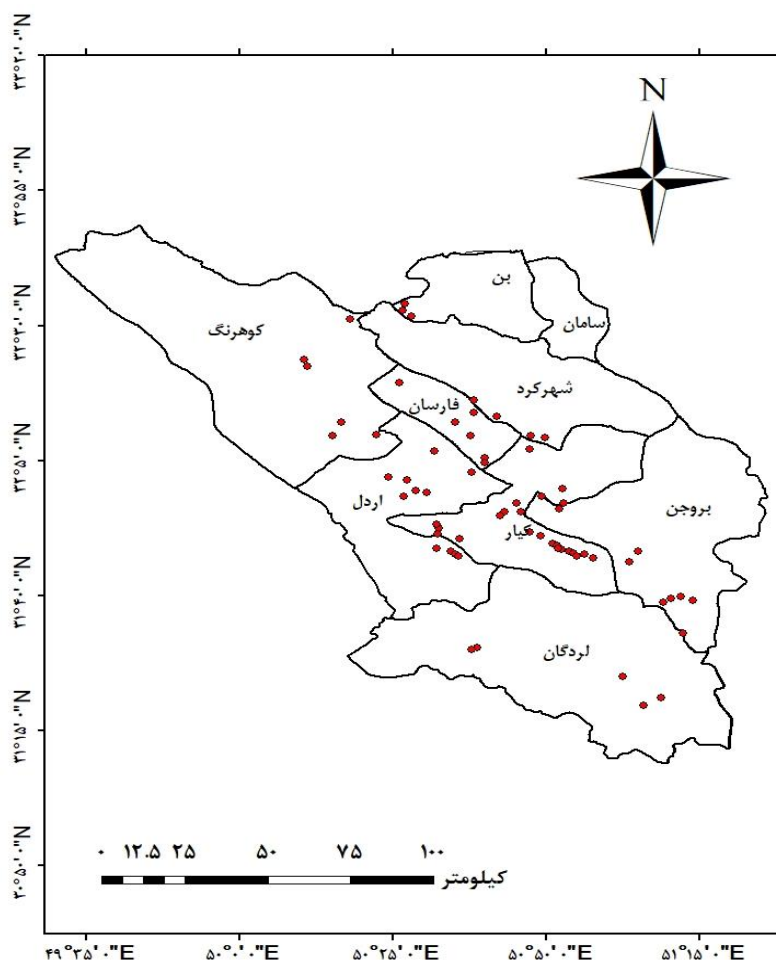
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی و با مساحتی حدود ۱/۶۵ میلیون هکتار انجام شد (شکل ۱). استان چهارمحال و بختیاری بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این استان دارای تنوع توپوگرافی بالایی است به‌طوری که دامنه ارتفاعی در این منطقه بین ۷۸۳ تا ۴۱۷۸

(*Astragalus verus*)، استپی بیابانی (*Stipa Carataegus*) و زالزالک زرد (*azarolus*) در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد؛ که نتایج نشان داد که بر اثر تغییر اقلیم بخش قابل توجهی از رویشگاه‌های مناسب حال حاضر این گونه‌ها، نامناسب خواهد شد. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان داد که رویشگاه گونه‌ها احتمالاً به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا خواهند شد (Teimori Asl et al., 2020a; Teimori Asl et al., 2020b; Naghipour et al., 2021). Bazrmanesh و همکاران (۲۰۱۸)، اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک گونه گیاهی *Bromus tomentellus* Boiss در استان اصفهان را مطالعه نمودند که نتایج آن‌ها نشان داد که تحت سناریوی خوش‌بینانه ۴۶/۱ کیلومتر مربع به مساحت رویشگاه گونه افزوده و تحت سناریوی بدبینانه ۳۵/۷۴ کیلومتر مربع از سطح رویشگاه کاسته خواهد شد. در گزارشی دیگر، Naghipour و همکاران (۲۰۲۰)، در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه لاله‌واژگون (*Fritillaria imperialis* L) در ایران با استفاده از مدل‌سازی اجماعی دریافتند که تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، ۴۶/۱ تا ۷۷/۳۷ درصد از رویشگاه این گونه تا سال ۲۰۵۰ از دست خواهد رفت.

منطقه زاگرس دارای فون و فلور منحصر به‌فرد بوده و از غنی‌ترین ذخایر ژنتیکی کشور محسوب می‌شود (Naghipour et al., 2016). زاگرس مرکزی با دارا بودن شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های طبیعی منحصر به‌فرد و همچنین تنوع قابل توجهی از گونه‌های گیاهی و جانوری، از لحاظ تنوع‌زیستی اهمیت بالایی دارد (Hunnam, 2011). به‌نظر می‌رسد گستره کوهستانی زاگرس یکی از مناطق



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان چهارمحال و بختیاری) به همراه نقاط حضور ثبت شده برای گونه جو پیازدار

جدول ۱- توصیف اقلیمی متغیرهای زیست اقلیمی

نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی
BIO1	میانگین دمای سالیانه	BIO11	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO2	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO12	مجموع بارندگی سالانه
BIO3	شاخص همدمایی $(100 \times (BIO2/BIO7))$	BIO13	مجموع بارندگی پر بارش ترین ماه
BIO4	تغییرات فصلی دما (انحراف معیار $\times 100$)	BIO14	مجموع بارندگی کم بارش ترین ماه
BIO5	بیشینه دمای گرم ترین ماه	BIO15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
BIO6	کمینه دمای سردترین ماه سال	BIO16	مجموع بارندگی پر بارش ترین فصل سال
BIO7	دامنه سالانه دما $(BIO5-BIO6)$	BIO17	مجموع بارندگی کم بارش ترین فصل سال
BIO8	میانگین دمای پر بارش ترین سه ماهه متوالی سال	BIO18	مجموع بارندگی گرم ترین فصل سال
BIO9	میانگین دمای خشک ترین فصل سال	BIO19	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
BIO10	میانگین دمای گرم ترین فصل سال		

دمای استان حدود ۱۰ درجه سانتی گراد است (Jaafari et al., 2017).

۲-۲. داده‌های حضور گونه و اطلاعات متغیرهای محیطی

متر متغیر است. بارش متوسط سالانه در این استان حدود ۵۶۰ میلی متر است و در مناطق مرتفع بارش‌ها عمدتاً به صورت برف می‌باشد. میانگین دمای سالانه از ۵ درجه سانتی گراد در بخش‌های مرکزی تا ۱۶ درجه سانتی گراد در بخش‌های غربی متغیر بوده و میانگین

جدول ۲- اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل

اهمیت نسبی	عنوان به انگلیسی	متغیرهای محیطی
۲۵/۷۷	Bio12- Annual Precipitation	مجموع بارندگی سالانه
۱۹/۰۷	Bio8- Mean Temperature of the Wettest Quarter	میانگین دمای پربارش‌ترین سه‌ماهه متوالی سال
۱۵/۲۰	Bio18- Total rainfall is the hottest season of the year	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
۱۲/۶۲	Bio15- Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
۸/۲۴	Slope	شیب
۷/۴۷	DEM	ارتفاع
۴/۳۸	Bio3-Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	شاخص هم دمایی
۳/۰۹	Bio7- Annual temperature range	دامنه سالانه دما
۲/۳۱	Bio4- Temperature Seasonality (standard deviation *100)	تغییرات فصلی دما
۱/۰۳	Land Cover/Land Use	پوشش/کاربری سرزمین
۰/۷۷	Aspect	جهت شیب

جدول ۳- برآورد سطح زیر منحنی (AUC) و TSS در مدل‌های مختلف اجرا شده

شاخص‌ها	RF	GBM	MARS	GLM	ANN	FDA	میانگین
AUC	۱	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۳
TSS	۱	۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۷۸

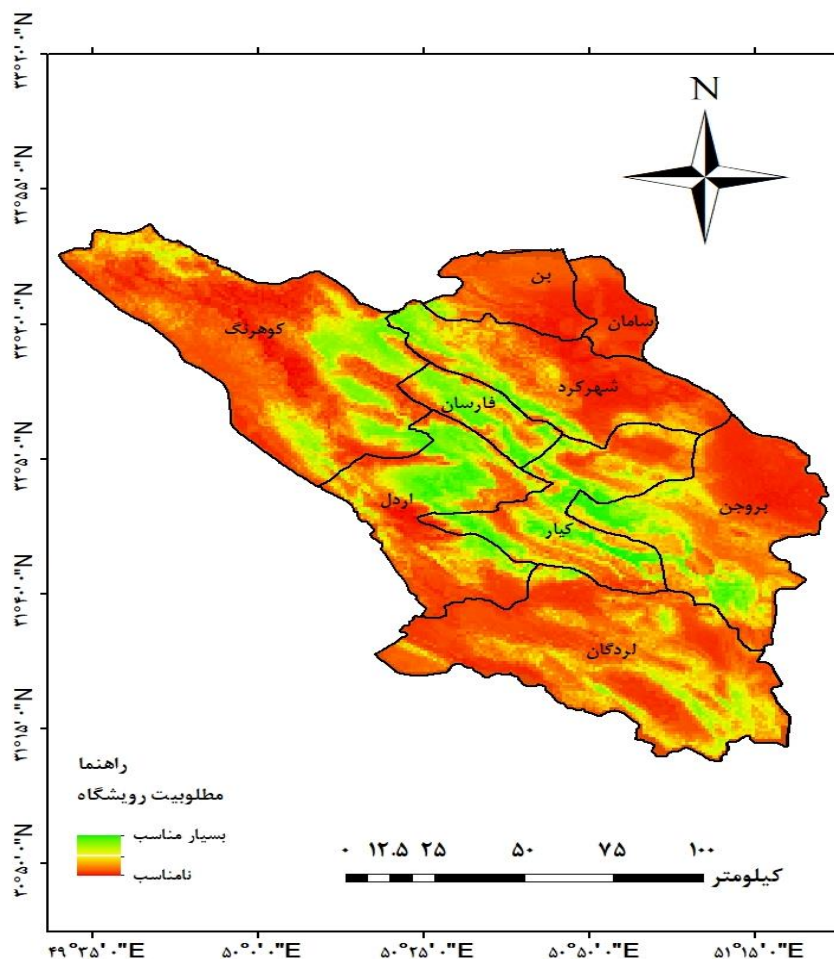
شدند که به‌عنوان داده‌های فیزیوگرافی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین لایه کاربری سرزمین از لایه تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استخراج شد. لایه‌های محیطی دریافت شده از نظر ابعاد، دقت مکانی و سیستم مختصات جغرافیایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 توسط ابزار Extract by mask یکسان‌سازی شدند. به‌منظور بررسی همبستگی میان متغیرها از آزمون پیرسون با ضریب همبستگی کمتر از ۰/۸ استفاده شد و در نهایت پس از حذف لایه‌های با همبستگی بالا، تعداد ۱۱ متغیر محیطی در مدل‌سازی استفاده شد (جدول ۲).

۲-۳. مدل‌سازی اجماعی

در مطالعه حاضر از شش مدل شامل شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، روش

در سطح استان با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS^۱) تعداد ۷۳ نقطه حضور گونه ثبت شد (شکل ۱). سعی شد مناطقی به‌عنوان نقاط حضور گونه ثبت شوند که حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار دهد و فاصله نقاط نمونه‌برداری شده از یکدیگر نیز حداقل ۱ کیلومتر باشد (Naghipour *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر، مدل‌سازی در دوره زمانی حال حاضر و دوره زمانی آینده (سال ۲۰۷۰) انجام شد. تعداد ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی حاصل شده از دما و بارش ماهیانه با دقت ۳۰ ثانیه معادل یک کیلومتر مربع، از پایگاه CHELSA (<https://chelsa-climate.org>) دریافت شدند (جدول ۱). با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه‌های درصد و جهت شیب تولید

¹Global Positioning System



شکل ۲- نقشه رویشگاه مطلوب امروزی *H. bulbosum* در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از رویکرد اجماعی

جدول ۴- تغییر در وسعت رویشگاه‌های مطلوب (کیلومتر مربع) تا سال ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و مدل

گردش عمومی GFDL-ESM4

تغییرات خالص در رویشگاه	رویشگاه جدید		رویشگاه از دست رفته		عدم حضور پایدار	حضور پایدار	سناریو
	درصد	مساحت	درصد	مساحت			
-۴/۸۷	۲۵/۸۲	۱۰۷۵/۱۶	۳۰/۷۰	۱۲۷۸/۱۸	۱۱۲۹۳/۸	۲۸۸۴/۸۵	سناریو SSP126
-۵/۷۵	۲۱/۵۷	۸۹۷/۹۹	۲۷/۳۲	۱۱۳۷/۵۱	۱۱۴۷۰/۹۷	۳۰۲۵/۵۱	سناریو SSP370
-۴/۸۴	۲۶/۱۸	۱۰۹۰/۳۶	۳۱/۰۲	۱۲۹۲	۱۱۲۷۷/۲۵	۲۸۷۲/۳۸	سناریو SSP585

مدل‌های انتخاب شده به منظور تعیین رابطه نقاط حضور گونه و عوامل محیطی استفاده می‌شوند. در این مدل‌ها، متغیر پاسخ یا وابسته حضور و غیاب گونه و متغیر پیشگو یا مستقل، متغیرهای محیطی می‌باشند و روابط بین متغیرها به صورت توابع ریاضی (آماري) ارائه می‌شود. برای بالا بردن کارایی و دقت مدل، هر کدام از مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار اجرا شد. ۸۰

افزایشی تعمیم‌یافته (Generalized Boosting Method)، مدل خطی تعمیم‌یافته (Generalized Linear Model)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (Flexible Discriminant Analysis)، جنگل تصادفی (Random Forest) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی (Multivariate Adaptive Regression Splines) استفاده شده است.

اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر توزیع جغرافیایی گونه جو پیازدار...

جدول ۵- تغییر در وسعت رویشگاه‌های مطلوب (کیلومتر مربع) تا سال ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و مدل گردش

عمومی MRI-ESM2-0

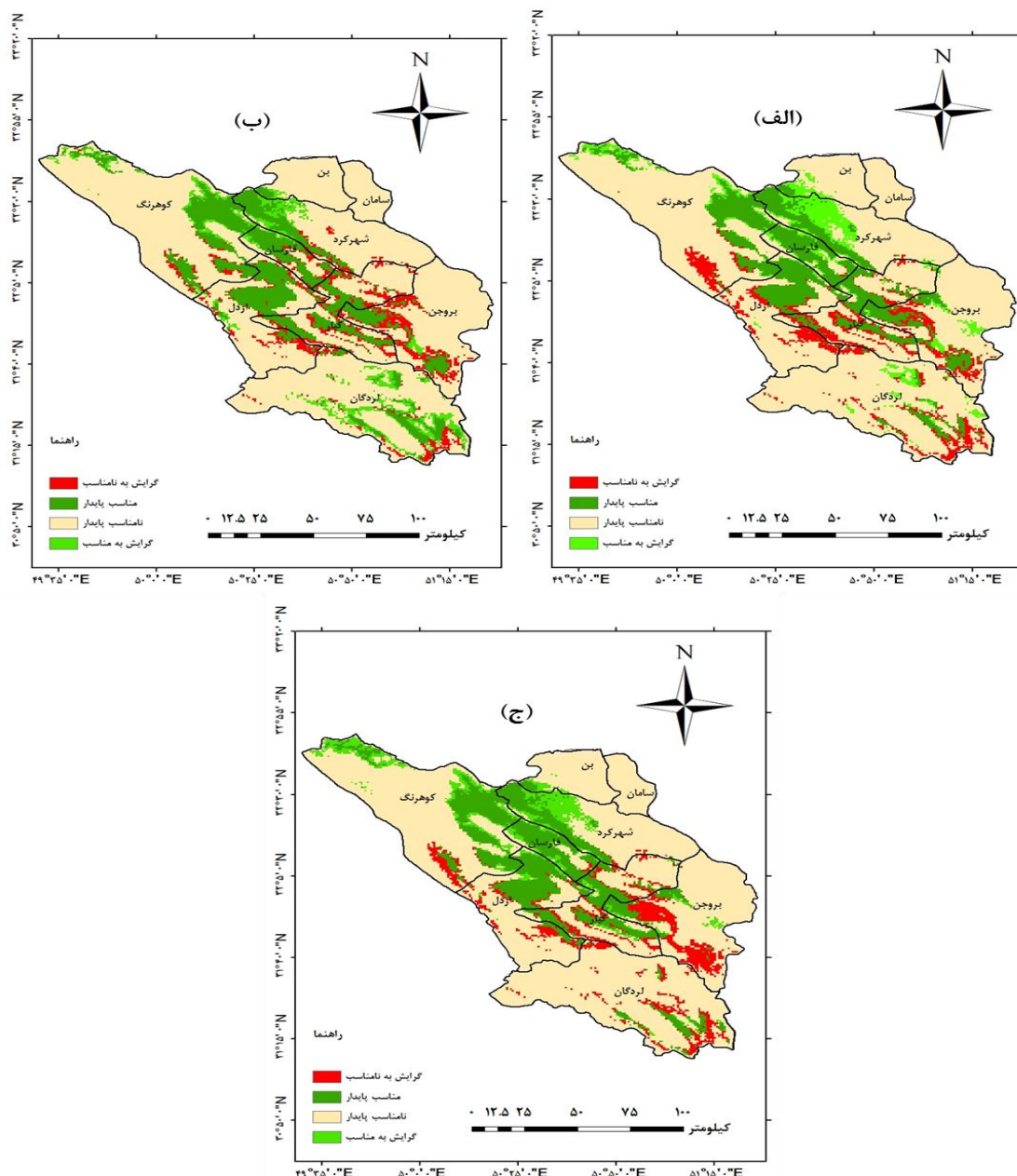
سناریو	حضور پایدار	عدم حضور پایدار	رویشگاه از دست رفته		رویشگاه جدید		تغییرات خالص در رویشگاه
			مساحت	درصد	مساحت	درصد	
سناریو SSP126	۲۹۸۳/۶۹	۱۱۴۹۸/۳۴	۱۱۱۴/۷۰	۲۷/۱۹	۹۳۵/۲۵	۲۲/۸۲	-۴/۳۷
سناریو SSP370	۳۰۳۰/۰۸	۱۱۵۷۵/۹	۱۰۶۸/۳۲	۲۶/۰۶	۸۵۷/۶۹	۲۰/۹۲	-۵/۱۳

نتایج، ۲۵/۱۸ درصد از سطح استان می‌تواند رویشگاه مطلوب گونه باشد و بیشتر رویشگاه‌های مطلوب آن در بخش‌های مرکزی استان از جمله سه شهرستان کیار، فارسان و اردل قرار دارد (شکل ۲). درصد اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در جدول ۲ ارائه شده است. سه متغیر مجموع بارندگی سالانه، میانگین دمای پر بارش‌ترین سه ماهه متوالی سال و مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال در مجموع ۶۰/۴ درصد اهمیت را شامل می‌شوند و بیشترین سهم را در مطلوبیت رویشگاه این گونه دارند بر اساس نتایج، تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای چشم‌گیری بر رویشگاه‌های مطلوب *H. bulbosum* در استان داشته باشد. برآوردهای حاصل از سناریوهای اقلیمی مختلف در مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 نشان می‌دهند که براساس سناریوی SSP 370، ۲۷/۳۲ درصد و SSP585، ۳۱/۰۲ درصد از رویشگاه مطلوب گونه تا سال ۲۰۷۰ از بین خواهد رفت. همچنین ۲۶/۱۸-۲۱/۵۷ درصد بر مساحت رویشگاه‌های مطلوب گونه بر اساس سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 افزوده خواهد شد (جدول ۴). با توجه به بررسی‌های سناریوها برای مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0، ۲۶/۰۶ درصد (SSP370) تا ۳۱/۶۸ درصد (SSP585) تا سال ۲۰۷۰ رویشگاه‌های مطلوب گونه مورد بررسی از بین خواهد رفت. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند بر اساس

درصد نقاط حضور گونه به عنوان واسنجی مدل و ۲۰ درصد باقی مانده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شدند. همچنین برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی از دو شاخص TSS (True Skill Statistic) و سطح زیر منحنی ROC یا شاخص AUC (Statistic) استفاده شد. اگر مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) کمتر از ۰/۷ باشد، مدل در پیش‌بینی ضعیف خواهد بود، مقادیر ۰/۹-۰/۷ نشان‌دهنده پیش‌بینی قابل قبول و مقادیر بالای ۰/۹ عالی بودن پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد (Franklin, 2010). شاخص TSS نیز دامنه‌ای بین +۱ تا -۱ دارد و هرچه به +۱ نزدیک‌تر، توانایی مدل مناسب‌تر و هرچه به صفر یا کمتر از آن میل پیدا کند، دقت مدل کاهش می‌یابد. درصد اهمیت متغیرهای مختلف در مدل‌های پراکنش گونه *H. bulbosum* نیز برآورد شد. در این مطالعه از داده‌های حاصل از پروژه CMIP6 و دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP370 و SSP585 برای پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر گونه جو پیازدار در سال ۲۰۷۰ در کل استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد.

۳. نتایج

مدل‌ها براساس دو معیار TSS ($>0/62$) و AUC ($>0/87$) همگی در رتبه‌های خوب تا عالی قرار گرفتند و بالاترین سطح هر دو معیار برای مدل جنگل تصادفی برآورد گردید (جدول ۳). بر اساس

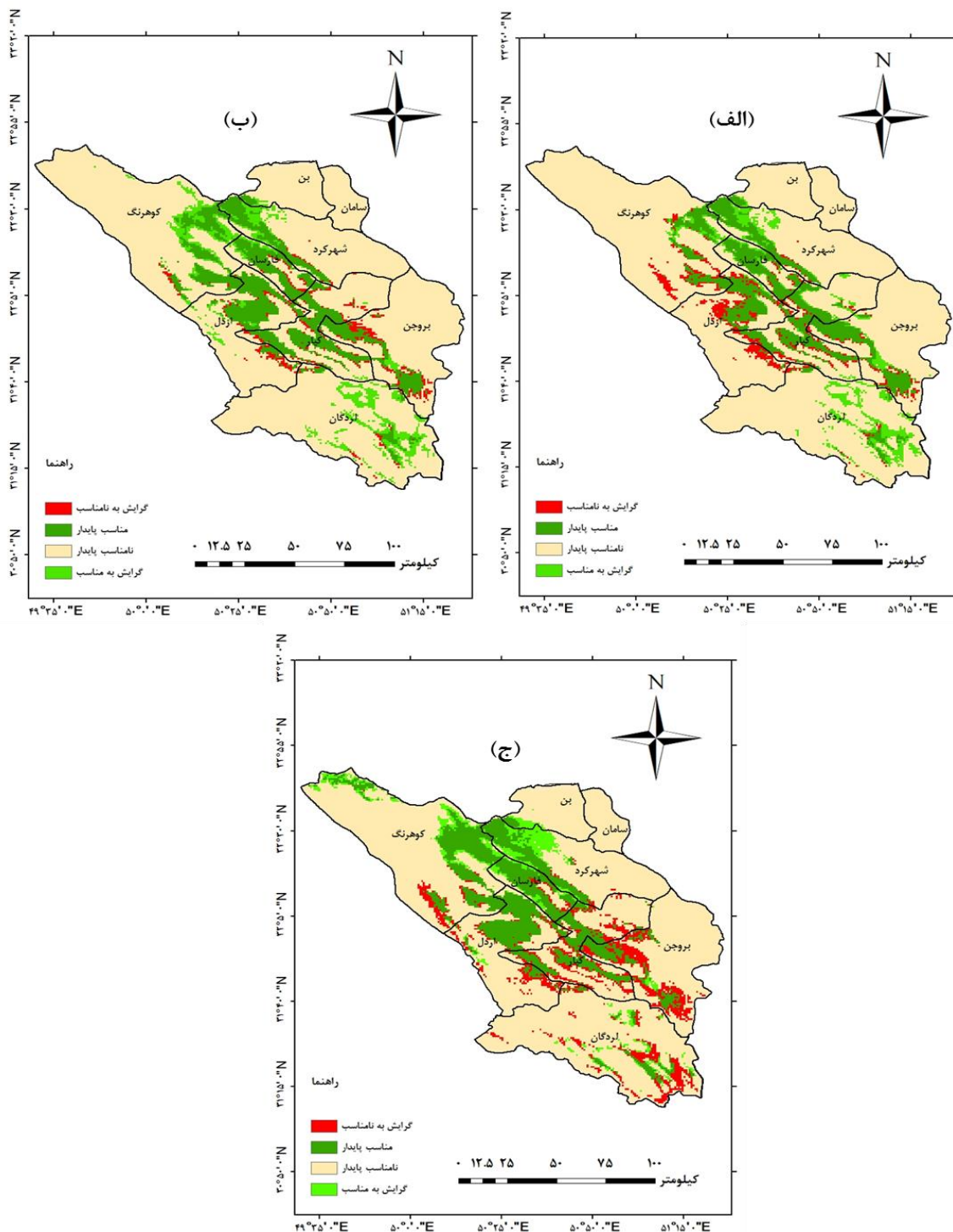


شکل ۳- تغییر در رویشگاه مطلوب *H. bulbosum* در شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۷۰) بر اساس مدل GFDL-ESM4 با سه سناریو: الف) SSP126، ب) SSP370، ج) SSP585

سناریوهای مختلف حاصل از مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0 ۹۲/۸۲-۲۰/۲۲ درصد بر رویشگاه‌های گونه تا سال ۲۰۷۰ افزوده خواهد شد. نرخ خالص رویشگاه از دست رفته گونه در آینده نیز حداکثر ۴/۳۷- و حداقل ۱۰/۴۱- خواهد بود (جدول ۵).

۴. بحث و نتیجه گیری

پایداری گونه‌های گیاهی کشت شده از مهم‌ترین ارکان موفقیت در طرح اصلاح و احیاء مرتع است. قبل از اجرای طرح، تعیین رویشگاه بالقوه گونه‌های هدف در شرایط موجود، ضروری می‌باشد. همچنین تعیین رویشگاه بالقوه آن‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم در آینده نیز لازم است، زیرا ممکن است تناسب رویشگاهی برای گونه‌های هدف در سال‌های آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش یافته و باعث نابودی



شکل ۴- تغییر در رویشگاه مطلوب *H. bulbosum* در شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۷۰) بر اساس مدل MRI-ESM2-0 با سه سناریو: الف) SSP126، ب) SSP370، ج) SSP 585

شامل می‌شود، اما با توجه به نتایج، بخش وسیعی از رویشگاه گونه مورد مطالعه بر اثر تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ نامطلوب خواهد شد. این مقدار بر اساس سناریوهای مورد بررسی ۲۶/۰۶ درصد (SSP370) تا ۳۱/۶۸ درصد (SSP585) پیش‌بینی شده است.

طیف وسیعی از منابع مالی و طبیعی شود. بر اساس یافته‌های حاصل از مدل اجماعی، ۲۵/۱۸ درصد (۴۱۵۴/۷۰۰ کیلومتر مربع) از سطح استان چهارمحال و بختیاری در حال حاضر رویشگاه گونه جو پیازدار است که بیشتر بخش‌های مرکزی استان را

Aghakhani و همکاران (۲۰۱۷a,b)، در پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی مهم بوم‌شناختی در زاگرس مرکزی، بیشترین کاهش در رویشگاه گونه‌ها را در مقاطع زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰، مربوط به سناریوی RCP8.5 بیان کردند.

مدل‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌های AUC و TSS در رتبه‌های خوب تا عالی قرار گرفتند و بر اساس نتایج، مدل‌های جنگل تصادفی و تعمیم‌یافته تقویت شده، پیش‌بینی بهتری را داشتند و قابل اعتمادترین مدل‌ها برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شدند. مطالعات دیگر نیز بر قابلیت بالای مدل جنگل تصادفی در مقایسه با مدل‌های دیگر در مدل‌سازی‌های پراکنش گونه‌ای تاکید نموده‌اند (از جمله: Prasad, 2006; Cheng; et al.; 2012; Taleshi et al., 2017; Haidarian Aghakhani et al., 2017a; Naghipour et al., 2018; Ashrafzadeh et al., 2020; Teimori Asl et al., 2020a).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مجموع بارندگی سالانه، مهم‌ترین متغیر در مدل‌سازی پراکنش گونه بوده، بنابراین بارش اثر بیشتری در پراکنش رویشگاه‌های گونه مورد بررسی در استان چهارمحال و بختیاری را دارد. در مطالعات دیگر نیز گونه‌هایی از جمله لاله‌واژگون و پسته وحشی (بنه) (Naghipour et al., 2019) و بلوط ایرانی (Haidarian et al., 2017a)، مجموع بارندگی سالانه مهم‌ترین متغیر محیطی در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه بودند. در این پژوهش، اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه *H. bulbosum* مورد بررسی قرار گرفت. پیش‌بینی‌ها نشان داد که گونه‌های مختلف به ویژه گونه‌های با گستره‌های جغرافیایی محدودتر به شدت به واسطه تغییر اقلیم

نقشه‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی نشان می‌دهد که رویشگاه‌های مطلوب گونه در حال جابجایی به سمت ارتفاعات است و میانگین ارتفاع حضور گونه در حال حاضر ۲۲۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد که در آینده میانگین ارتفاع حضور گونه ۲۲۸۱ متر از سطح دریا پیش‌بینی شده است. علت این جابجایی‌ها، به رویشگاه اقلیمی (بارندگی و دما) گونه مربوط است که باعث می‌شود مناطق کم‌ارتفاع‌تر برای این گونه‌ها نامناسب شود. محدود شدن پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و جابجایی رویشگاه‌ها در مطالعات دیگر نیز پیش‌بینی شده است. Amiri و همکاران (۲۰۱۹)، در بررسی پراکنش گونه *Artemisia sieberi* Besser در منطقه ایران مرکزی با توجه به پنج الگوریتم مدل‌سازی برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ با توجه به افزایش درجه حرارت، جابجایی گونه به سمت ارتفاعات را پیش‌بینی نمودند. Costion و همکاران (۲۰۱۵)، با هدف اینکه آیا گونه‌های گیاهی در قله کوه‌های گرمسیری در اثر تغییر اقلیم زنده می‌مانند یا خیر در شمال شرقی استرالیا با توجه به سه سناریو به بررسی ۱۹ گونه گیاهی بومی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تا سال ۲۰۴۰ بر اثر تغییر اقلیم، رویشگاه گونه‌ها حداقل ۱۷ درصد و حداکثر ۱۰۰ درصد کاهش می‌یابد.

بر اساس یافته‌ها، سناریوی SSP585 نسبت به دو سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره رویشگاه‌های جو پیازدار خواهد داشت. Teimori Asl و همکاران (۲۰۲۰a)، در بررسی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه بالقوه استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana*) در زاگرس مرکزی با بررسی چهار سناریوی اقلیمی، بیان کردند که RCP8.5 اثرات شدیدتری بر این گونه نشان داد. Haidarian

شده‌اند، می‌تواند در تدوین و اجرای برنامه‌ها و طرح‌های اصلاحی و حفاظتی گونه مورد مطالعه و گونه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال، مناطقی که در این مطالعه به‌عنوان رویشگاه مطلوب تعیین شدند، می‌توانند برای استقرار و معرفی مجدد گونه مورد استفاده قرار گیرند.

تهدید می‌شوند. بنابراین، تلاش‌ها برای یافتن موقعیت‌های حضور جدید، شناسایی زیستگاه‌های بالقوه مطلوب در شرایط کنونی و تحت سناریوهای اقلیمی مختلف برای مدیریت و حفاظت بهتر از گونه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. نقشه‌های رویشگاه مطلوب امروزی و آینده که در این پژوهش تهیه

References

- Amiri, M., Tarkesh, M., & Jafari, R., 2019. Predicting the distribution of *Artemisia sieberi* Besser under climate change in the steppe and semi-steppe of Irano-Touranian region. *Desert Management* 7(13), 29-48. (In Persian)
- Ashrafzadeh, M.R., Naghipour, A.A., Haidarian, M., & Khorozyan, I., 2019a. Modeling the response of an endangered flagship predator to climate change in Iran. *Mammal Research* 64, 39-51.
- Ashrafzadeh, M.R., Naghipour, A.A., Haidarian, M., Kusza, S., & Pilliod, D.S., 2019b. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. *Global Ecology and Conservation* 19, e00637.
- Babaeian, I., Modirian, R., Karimian, M., Zarghami, M., 2015. Simulation of climate change in Iran during 2071-2100 using PRECIS regional climate modelling system. *Desert* 16, 135-152. (In Persian)
- Bazrmanesh, A., Tarkesh, M., Bashari, H., Pourmonafi, S., 2018. The effect of climate change on climatic ecological nests of *Bromus tomentellus* Boiss using Maxent model in Isfahan. *Iranian Journal of Natural Resources-Rangeland and Watershed Management* 71(4), 857-867. (In Persian)
- Cheng, L., Lek, S., Lek-Ang, S., Li, Z., 2012. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. *Limnologia* 42,127-136.
- Costion, C.M., Simpson, L., Pert, P.L., Carlsen, M.M., Kress, W.J., Crayn, D., 2015. Will tropical mountaintop plant species survive climate change? Identifying key knowledge gaps using species distribution modelling in Australia. *Biological Conservation* 191, 322-330.
- Franklin, J., 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction, Cambridge University Press.
- Gebrewahid, Y., Abrehe, S., Meresa, E., Eyasu, G., Abay, K., Gebreab, G., Kidanemariam, K., Darcha, G., 2020. Current and future predicting potential areas of *Oxytenanthera abyssinica* (A. Richard) using MaxEnt model under climate change in Northern Ethiopia. *Ecological Processes* 9, 1-15.
- Guisan, A., & Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8,993-1009.
- Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M., 2017a. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using species distribution modelling in Central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies* 43, 497-511. (In Persian)
- Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., Tatian, M., 2017b. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 8(3), 1-14. (In Persian)
- Hardy, J.T., 2003. Climate change: causes, effects, and solutions: John Wiley & Sons.
- Hunnam, P., 2011. Conservation of biodiversity in the Central Zagros Landscape conservation zone:

- Mid-Term evaluation report. Government of the Islamic Republic of Iran, United Nations Development Program Global Environment Facility, Project No PIMS 2278: 2011.
- Jaafari, A., Gholami, D.M., Zenner, E.K., 2017. A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. *Ecological informatics*, 39,32-44.
- Jowkar, H., Ostrowski, S., Tahbaz, M., Zahler, P., 2016. The conservation of biodiversity in Iran: threats, challenges and hopes. *Iranian Studies*, 49,1065-1077.
- Milner, A.M., Khamis, K., Battin, T.J., Brittain, J.E., Barrand, N.E., Füreder, L., Cauvy-Fraunié, S., Gíslason, G.M., Jacobsen, D., Hannah, D.M., 2017. Glacier shrinkage driving global changes in downstream systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114,9770-9778.
- Moghimi, J., 2005. Introducing some important rangeland plants for improvement of Iranian rangelands. 669p. (In Persian).
- Moradi, Gh., Zeilabi, M., Mokhtari, M.H., Sotoodeh, A., 2021. The effect of weather changes on forests of Sefidkuh Protected Area using landsat satellite images in Iran. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 9(18), 247-265. (In Persian).
- Naghipour, A.A., Bashari, H., Khajeddin, S.J., Tahmasebi, P., Irvani, M., 2016. Effects of smoke, ash and heat shock on seed germination of seven species from Central Zagros rangelands in the semi-arid region of Iran. *African Journal of Range & Forage Science* 33,67-71. (In Persian)
- Naghipour, A.A., Haidarian, M., Sangoony, H., 2018. Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of *Fritillaria imperialis* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 32(3), 747-758. (In Persian).
- Naghipour, A.A., Haidarian, M., Sangoony, H., 2019. Predicting the impact of climate change on the distribution of *Pistacia atlantica* in the Central Zagros. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 6(13), 197- 214. (In Persian).
- Naghipour, A., Teimoori Asl, S., Ashrafzadeh, M., & Haidarian, M., 2021. 'Predicting the Potential Distribution of *Crataegus azarolus* L. under Climate Change in Central Zagros, Iran', *Journal of Wildlife and Biodiversity* 5(4), 28-43.
- Pakniat, D., Homami, M., Maleki, S., Tohidi, M., & Jolaei, L., 2016. Habitat modeling of Asian Huber wintering populations (*Chlamydotis macqueenii*) in Fars province. *Animal Environment Quarterly*, 8(3),19-28. (In Persian).
- Prasad, A.M., Iverson, L.R., Liaw, A., 2006. Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems* 9,181-199.
- Sinclair, S.J, Blais, M.A, Gansler, D.A, Sandberg, E., Bistis, K., LoCicero, A., 2010. Psychometric properties of the Rosenberg Self-Esteem Scale: Overall and across demographic groups living within the United States. *Evaluation & the Health Professions* 33, 56-80.
- Taleshi, H., Jalali, Gh., Alavi, G., Hosseini, M., Naemi, B., 2017. The effect of climate change on the potential geographical distribution of the eastern beech species *Fagus orientalis* Lipsky in the Hyrcanian forests of Iran. *Iranian Forest Magazine, Iranian Forestry Association* 10, 251-266. (In Persian).
- Teimori Asl, S., Naghipour, A.A., Ashrafzadeh, M.R., Haidarian, M., 2020a. Predicting the effect of climate change on potential habitat *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr in Central Zagros, *Rangeland Scientific Journal* 14(3), 526-538. (In Persian)
- Teimori Asl, S., Naghipour, A.A., Ashrafzadeh, M.R., & Haidarian, M., 2020b. Predicting the Consequences of Climate Change on Geographical Distribution *Astragalus verus* Olivier in the Central Zagros, *Remote Sensing and GIS in Natural Resources* 11(2), 68-85. (In Persian).
- Zhang, X., Yuan, X., Shi, H., Wu, L., Qian, H., & Xu, W., 2015. Exosomes in cancer: small particle, big player. *Journal of hematology & oncology*, 8,1-13.