دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره یازدهم، شماره بیست و سوم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

مدل‌سازی رویشگاه گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) با استفاده از سنجش از دور در استان‌های اردبیل و زنجان

آزاد کاکه ممی[1]، اردوان قربانی[2*]، مهدی معمری[3]، اباذر اسمعلی عوری[4]، زینب حزباوی[5]، سحر غفاری[6]

[1]دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[2]استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[3]دانشیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشگین‌شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[4]استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[5]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
[6]دانش‌آموخته دکتری علوم مرتع گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

چکیده

داده‌های سنجش از دور توانایی زیادی برای نشان دادن ویژگی‌های رویشگاه و استفاده در مدل‌های توزیع گونه‌ها فراهم می‌کند. هدف از این مطالعه تعیین مهمترین پیش‌بینی‌کننده‌های سنجش از دور شامل شاخص‌های اقلیمی (بارندگی و درجه حرارت)، شاخص‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و شاخص ناهمواری زمین (TRI) و شاخص‌های سنجش از دوری (شاخص جهانی پایش محیطی (GEMI)، شاخص سطح برگ (LAI)، شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی (MNDWI)، شاخص نسبت ساده اصلاح شده (MSR)، شاخص نسبت سوختگی نرمال شده (NBR) و شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده (VARI) با استفاده از دو مدل توزیع گونه (درخت رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی) برای پیش‌بینی حضور گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در سطح شهرستان خلخال استان اردبیل و بخش شمالی استان زنجان با استفاده از نرم‌افزار SAHM است. ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از سطح زیرمنحنی نشان داد برای هر دو مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۹۹۱) و مدل جنگل تصادفی (۰/۹۷۴) در سطح عالی قرار می‌گیرد. مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه براساس روش درخت رگرسیون تقویت‌شده به‌ترتیب شامل متغیرهای بارندگی سالانه، شیب، مدل رقومی ارتفاع، دما، شاخص پایش جهانی محیط‌زیست و شاخص ناهمواری است. مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه براساس روش جنگل تصادفی به‌ترتیب شامل بارندگی سالانه، مدل رقومی ارتفاع، شاخص جهانی پایش محیط‌زیست، شیب، شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده، دما، شاخص نسبت ساده اصلاح شده، شاخص ناهمواری زمین، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص نسبت سوختگی نرمال‌شده، شاخص آب اختلاف نرمال‌شده اصلاحی، شاخص سطح برگ و جهت شیب است. مناطق تعیین شده به عنوان رویشگاه مناسب در این مطالعه می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریتی با هدف ارزیابی رویشگاه‌های مستعد، امکان حفاظت، تکثیر و پرورش این گونه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه انتخاب روش مدل‌سازی، منبع اصلی تغییرپذیری در پیش‌بینی‌هاست و انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی ساده نیست، بنابراین استفاده از ترکیبی از این مدل‌ها به‌جای تکیه به خروجی‌های حاصل از یک مدل مجزا پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: **درخت رگرسیون تقویت‌شده، جنگل تصادفی، شاخص‌های سنجش از دوری**

*نویسنده مسئول: a_ghorbani@uma.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

مقدمه

پوشش گیاهی به‌عنوان اصلی‌ترین جزء اکوسیستم‌های طبیعی ماهیت پویا و متغیر دارد و از طرف دیگر گستردگی سطح مراتع باعث شده ارزیابی و شناخت بر پایه پیمایش‌های میدانی سخت و در مواردی امکان‌پذیر نباشد. گستردگی و پیچیدگی تعاملات بین گیاهان و محیط نیاز به رویکردهای نوآورانه برای پرداختن به تعاملات چند بعدی گیاه و محیط دارد و باعث تغییر الگوواره در نحوه ارزیابی، اندازه‌گیری، نظارت و پرداختن به چنین تعاملاتی می‌شود (Sanguet et al., 2022). دشواری نمونه‌گیری و روش‌های زمان‌بر در مناطق طبیعی می‌تواند به‌عنوان مانعی برای اطلاعات دقیق از چگونگی توزیع گونه به‌خصوص در مناطقی با وسعت زیاد با پیچیدگی اقلیمی، توپوگرافی و خاکی باشد (Ahmadi et al., 2023). ماهیت فراگیر و قابل دسترسی داده‌های بزرگ (جغرافیایی)، به‌روز بودن داده‌های مکانی و روش‌های نوآورانه جمع‌آوری داده‌ها در شناخت روابط گیاه و محیط را تسهیل می‌کند (Deneu et al., 2022). داده‌های سنجش از دور توانایی بالایی برای نشان دادن ویژگی‌های رویشگاه و استفاده در مدل‌های توزیع گونه‌ها فراهم می‌کند. این داده‌ها اغلب تنها منبع سازگار اطلاعات در مورد تغییرات محیطی در فضا و زمان هستند که امکان تجزیه و تحلیل در گذشته را نیز دارند (Sanguet et al., 2022). از سوی دیگر، داده‌های با وضوح بالا و پرتکرار، امکان توصیف دقیق‌تر فنولوژی گیاهان، تهیه نقشه از انواع رویشگاه‌های ریزمقیاس و ارزیابی بهتر طبیعت را امکان‌پذیر می‌کند. ترکیب چنین اطلاعاتی در مدل‌های پراکندگی گونه‌ها می‌تواند منجر به تولید نقشه جهانی از تغییر توزیع گونه شده و در نتیجه اقدامات حفاظتی مؤثر را هدف قرار دهد (Ahmadi et al., 2023). اگرچه استفاده از سنجش از دور در مدل‌های توزیع گونه‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده و حمایت قرار گرفته، اما هنوز در حد کامل و پتانسیل مورد بررسی قرار نگرفته است (Pérez Chaves et al., 2018).

در حال حاضر، بررسی و پیش‌بینی پراکندگی گونه‌ها با توجه به‌سرعت تغییرات در شرایط رویشگاه‌ها بسیار ضروری است. مدل‌های پراکندگی گونه‌ای، مکان‌های بالقوه حضور گونه‌ها را با توجه به شرایط محیطی که گونه در آن حضور دارد پیش‌بینی می‌نمایند. مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی نقش مهمی در توزیع، پایداری، پراکندگی و توانایی رقابتی گونه دارد (Samadi Khanghah et al., 2022). در حالی‌که جمع‌آوری داده‌ها به خودی خود یک کار زمان‌بر و پرهزینه است، اما دسترسی به مکان‌های مختلف یک چالش مهم دیگر است. با این حال، برای پیش‌بینی احتمال وقوع گونه‌ها داده‌های مکانی در مقیاس بزرگتر با استفاده از مدل‌های توزیع گونه، ضروری است که نه تنها داده‌های قابل اعتماد حضور گونه‌ها، بلکه اطلاعات مکانی مرتبط با عوامل محیطی مورد نیاز است (صفائی و همکاران، ۱۴۰۱). انتخاب پیش‌بینی کننده‌های محیطی برای مدل‌سازی توزیع گونه ضروری است. با این حال، هنوز انتخاب این پیش‌بینی کننده‌های به‌عنوان منبع اصلی بحث باقی‌مانده است. پیش‌بینی کننده‌ها باید فرآیندهایی که شرایط محیطی را با وقوع گونه‌ها مرتبط می‌کنند، اندازه‌گیری کنند و با مقیاس‌های مکانی و زمانی که چنین فرآیندهایی در آنها اتفاق می‌افتد مطابقت داشته باشند (Leitãoand Santos, 2019). از سوی دیگر با توجه به اینکه انتخاب روش مدل‌سازی، منبع اصلی تغییرپذیری در پیش‌بینی‌هاست و انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی ساده نیست، بنابراین استفاده از ترکیبی از این مدل‌ها به‌جای تکیه به خروجی‌های حاصل از یک مدل مجزا پیشنهاد می‌گردد (Gašparovičová et al., 2022).

گونه گیاهی ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) از گونه‌های درختی ارتفاعات ناحیه رویشی ایران و تورانی است که از گونه‌ای ارزشمند و نماد جنگل‌های مناطق خشک کوهستانی و شرایط زیستی دشوار شناخته شده است. بردباری در سخت‌ترین شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی و هیدرولوژی از ویژگی‌های بارز گونه ارس است و شرایط جوی پیش‌بینی نشده که رشد بیشتر گیاهان را مختل می‌کند اثر محدودی بر چرخه زندگی این گونه دارد. متأسفانه مطالعات زیست‌محیطی حکایت از تخریب پوشش، توقف یا کافی نبودن تجدید حیات این گونه به‌دلیل بهره‌برداری غیراصولی، قطع بی‌رویه و چرای مفرط دام در بسیاری از رویشگاه‌های طبیعی ارس دارد. از سوی دیگر رشد آهسته، کند بودن روند تجدیدنسل و نیز بهره‌برداری بی‌رویه از چوب ارس این درختان را به‌شدت در معرض انهدام و انقراض قرار داده است (خوشنویس و همکاران، ۱۳۹۸). از این‌رو مسئله از بین رفتن رویشگاه‌های طبیعی ارس چه با دخالت انسان و چه در اثر

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

تغییر آب و هوا راهبردی را می‌طلبد که به حفظ و احیای توده‌های طبیعی آن و جبران کمبود فضای سبز کشور کمک کند. بنابراین قبل از هر برنامه‌ریزی، مطالعه و بررسی رویشگاه از ضروریات امر به حساب می‌آید. لذا هدف از این مطالعه پاسخ به سه سوال ذیل است: ۱) آیا داده‌های سنجش از دور شامل شاخص‌های اقلیمی (استخراج شده توسط داده‌های ماهواره هواشناسی)، شاخص‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی و شاخص‌های سنجش از دوری برای مدل‌سازی برای پیش‌بینی توزیع گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) مناسب است؟؛ ۲) مهم‌ترین پیش‌بینی کننده‌های سنجش از دوری برای مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع گونه ارس کدامند؟ و ۳) کدام‌یک از دو مدل توزیع گونه درخت رگرسیون تقویت[1] شده و جنگل تصادفی[2] برای پیش‌بینی حضور گونه ارس در شهرستان خلخال در جنوب استان اردبیل و بخش شمالی استان زنجان کارایی بیش‌تری دارد؟

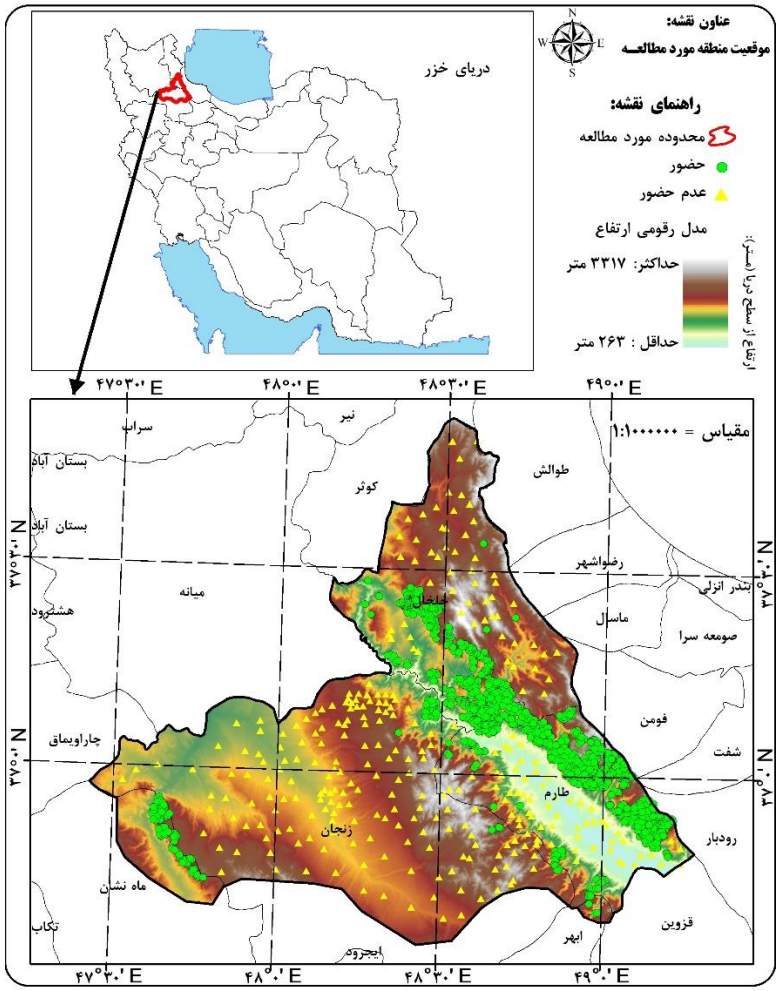
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل شهرستان خلخال در جنوب استان اردبیل و بخش شمالی استان زنجان (شامل سه شهرستان زنجان، طارم و بخش شمال شرقی شهرستان ماهنشان) با مساحت حدود ۱۰۳۶۷ کیلومترمربع در حدود جغرافیایی '۲۵ °۴۷ تا '۱۶ °۴۹ طول شرقی و '۳۴ °۳۶ تا '۵۲ °۳۷ عرض شمالی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در محدوده ارتفاع ۲۶۳ تا ۳۳۱۷ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بارندگی سالانه کل منطقه مورد مطالعه حدودا ۴۵۰ میلی‌متر (حداقل: ۳۴۲ و حداکثر: ۸۱۲ میلی‌متر) و متوسط دما سالانه در محدوده ۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد (حداقل: ۵ و حداکثر: ۱۸ میلی‌متر) است. به‌طور کلی ارتفاعات منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای سرد کوهستانی، زمستان‌های پربرف و سرد و در تابستان معتدل و خشک است. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن نیمه‌خشک فراسرد است. جنگل‌های منطقه مورد مطالعه که به‌صورت انبوه، نیمه‌انبوه و تنک هستند، جزو جنگل‌های خشک ناحیه ایران - تورانی هستند (داغستانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سفیدی و همکاران، ۱۳۹۷ و Naghibi and Dashtpagerdi, 2017).

[1]Boosting Regression Tree (BRT)
[2]Random Forest (RF)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



شکل ۱- موقعیت و تقسیمات سیاسی منطقه مورد مطالعه در ایران

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی: برای جمع‌آوری اطلاعات از مناطق پراکندگی گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) از نقشه تیپ‌های گیاهی تهیه شده در اداره منابع طبیعی استان اردبیل و زنجان، مطالعات پیشین در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی و مطالعات میدانی استفاده شد. در ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی و طی چندین مرحله بازدیدهای میدانی اولیه از منطقه مورد مطالعه و محل‌های دارای راه دسترسی مناسب برای ثبت نمونه وقوع انتخاب شد سپس با پیمایش عرصه‌ای مختصات طول و عرض جغرافیایی نقاط حضور و عدم حضور گونه با استفاده از گیرنده دستی موقعیت‌یاب جهانی مختصات جغرافیایی (GPS) ثبت شد. در هنگام ثبت نقاط حضور برای اجتناب از اریب ناشی از نمونه‌برداری سعی شد مناطقی به‌عنوان محل حضور در نظر گرفته شوند که علاوه بر غالبیت گونه حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومترمربع را تحت پوشش قرار داده باشد، همچنین نمونه‌برداری از یکدیگر حداقل یک کیلومتر فاصله داشتند. با توجه به اینکه مدل‌های مورد استفاده به داده‌های زمینه (مانند نقاط عدم حضور کاذب) نیاز دارند، به‌طور تصادفی تعداد نقطه زمینه‌ای در گستره مورد مطالعه به‌جز پیکسل‌های رویشگاهی که حضور گونه در آن ثبت‌شده بود انتخاب شدند و سایر مناطق که گونه در آن حضور نداشته به‌عنوان نقطه غیاب گونه در نظر گرفته شدند. از آنجاکه دست‌یابی به یک مدل مطلوبیت قابل استناد نیازمند دستیابی به تعداد کافی از نقاط حضور گونه موردنظر است، جمعاً تعداد ۱۵۷۷ (نقطه حضور و غیاب) برای گونه به ثبت رسید.

آماده‌سازی لایه‌های داده‌های مورد استفاده در مدل انتخاب، تهیه و آماده‌سازی لایه‌های وابسته به اقلیمی: دما و بارش به‌عنوان اصلی‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر در شکل‌گیری انواع پوشش‌های گیاهی در مدل استفاده شد. متغیر بارندگی براساس آمار ایستگاه‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

باران‌سنجی و سینوپتیک و رابطه گرادیان بارندگی - ارتفاع استخراج شده نقشه‌سازی شد. با توجه به اینکه تعداد و پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک در استان اردبیل و زنجان نامطلوب است و امکان نقشه‌سازی متغیرهای وابسته به درجه حرارت با صحت مناسب وجود ندارد. با توجه به هدف مطالعه که استفاده از اطلاعات برگرفته از سنجش از دور است بدین منظور جهت تهیه لایه بارش و دما از اطلاعات برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی بالا (فواصل تصویربرداری کوتاه) استفاده شد. بدین منظور بازه زمانی ۳۰ ساله انتخاب و با توجه به تعداد و حجم بالای اطلاعات در این بازه زمانی از موتور پردازشگر قدرتمند Google Earth Engine و محیط کدنویسی آن استفاده شد که کدهای مورد استفاده برای هدف این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین تولیدات ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- کدهای مورد استفاده داده‌های بارش و دما

بارش	دما

var geometry =
/* color: #d63000 */
/* displayProperties: [{"type": "rectangle"}] */
ee.Geometry.Polygon([[[47.31064567849103, 38.45520839285983],
[47.31064567849103, 36.34334403266938],
[50.50766716286603, 36.34334403266938],
[50.50766716286603, 38.45520839285983]]], null, false);
/***** End of imports. If edited, may not auto-convert in the playground. *****/
Map.centerObject(geometry);
Map.addLayer(geometry);
var trmm =
ee.imageCollection('TRMM/3B43V7')
.filterBounds(table)
.filterDate('1990-01-01','2021-02-30')
.select('percipitation');
.toBands().clip(geometry);
print(Per);
Map.addLayer(tem,{},'tPer);
Export.image.toDrive({image:Per,
description:'Per,
scale:10000,
region:geometry,
maxPixels:1e9,
	var geometry =
	/* color: #d63000 */
	/* displayProperties: [{"type": "rectangle"}] */
	ee.Geometry.Polygon([[[47.31064567849103, 38.45520839285983],[47.31064567849103, 36.34334403266938],[50.50766716286603, 36.34334403266938],[50.50766716286603, 38.45520839285983]]], null, false);
	/***** End of imports. If edited, may not auto-convert in the playground. *****/
	Map.centerObject(geometry);
	Map.addLayer(geometry);
	var tem
	=ee.ImageCollection("NASA/FLDAS/NOAH01/C/GL/M/V001)
	.filterBounds(geometry)
	.filterDate('1990-01-01','2021-12-30')
	.select('Tair_f_tavg')
	.toBands.clip(geometry);
	print(tem);
	Map.addLayer(tem,{},'tem);
	Export.image.toDrive({image:tem,
	description:'tem,
	scale:10000,
	region:geometry,
	maxPixels:1e9,});

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

جدول ۲- تولیدات ماهواره‌ای مورد استفاده

نام	شرح	بازه زمانی مورد استفاده (در دسترس)
TRMM 3B43: Monthly Precipitation Estimates	پروژه مأموریت اندازه‌گیری بارندگی استوایی (تخمین ماهانه بارش و بر اساس آن تهیه لایه بارش سالانه	۱۹۹۰/۰۱/۰۱ الی ۲۰۲۱/۱۲/۳۰
FLDAS: Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System	FLDAS: شبکه سیستم‌های هشدار زود هنگام قحطی (FEWS NET) سیستم همسان‌سازی داده‌های زمین Restore original (Edited) جهت محاسبه دمای هوای سالانه	۱۹۹۸/۰۱/۰۱ الی ۲۰۱۹/۱۲/۰۱

آماده‌سازی لایه‌های توپوگرافی اولیه و ثانویه

با توجه به بررسی اولیه، نقشه‌های پستی و بلندی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور برای منطقه انتخاب شده تهیه و از آن نقشه مدل نقشه رقومی ارتفاع با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار $ArcGIS_{10.5}$ و سپس نقشه شیب، جهت جغرافیایی، شاخص موقعیت توپوگرافی (Topographic Position Index: TPI) و شاخص ناهمواری زمین (Terrain Roughness Index: TRI) تهیه شد.

آماده‌سازی لایه‌های وابسته به شاخص‌های سنجش از دور

به‌منظور استخراج شاخص‌های سنجش از دور ابتدا بایستی نوع ماهواره، سنسور و زمان تصویربرداری با توجه به هدف مطالعه انتخاب گردد. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه وسعت بالایی داشته و همچنین به‌جهت هزینه بالای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مناسب از تصاویر سری ۸ ماهواره لندست و سنسور OLI آن استفاده شد. با توجه به مراحل فنولوژی و درجه سبزینگی درخت ارس در منطقه مورد مطالعه با سایر گونه‌های پوشش گیاهی قابل تمایز است تصویر خردادماه سال ۱۴۰۰ با پوشش ابر حداقلی انتخاب گردید که ویژگی‌های تصویر انتخابی در جدول (۳) ارائه شده است. عملیات پیش‌پردازش در واقع اعمال کلیه اقداماتی است که ضمن تصحیح کلیه انحناها و خطاهای احتمالی، با استخراج اطلاعات اولیه، آن‌ها را برای مرحله‌ی پردازش آماده می‌کند. به‌منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی، رادیومتریکی- اتمسفری و توپوگرافیکی تصاویر مورد بررسی اولیه قرار گرفتند (کاکه ممی و همکاران، ۱۴۰۰). به‌منظور استخراج شاخص‌های سنجش از دور با استفاده از نرم‌افزار ENVI، ۶ شاخص سنجش از دوری (شاخص جهانی پایش محیطی[4]، شاخص سطح برگ[5]، شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی[6]، شاخص نسبت ساده اصلاح شده[7]، شاخص نسبت سوختگی نرمال شده[8] و شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده[9] محاسبه و لایه رستری آن تهیه شد.

مدل‌های پراکندگی گونه‌ای و ارزیابی مدل

در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از روش‌های مختلف مدل‌سازی از دو روش مدل‌سازی درخت رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی استفاده شد. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار زیستگاه مساعدت شده (SAHM) انجام گرفت.

درخت رگرسیون تقویت‌شده ترکیبی از تکنیک‌های آماری و یادگیری ماشین است. ایده اساسی در این روش ترکیب مجموعه‌ای از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده ضعیف (خطای پیش‌بینی بالا) بر ای رسیدن به پیش‌بینی قوی (خطای پیش‌بینی کم) است. در هر مرحله، هر مجموعه داده طبقه‌بندی شده و این طبقه‌بندی به‌عنوان وزن برای برازش درخت بعدی استفاده می‌شود (Elith et al., 2008). مزایای استفاده از درخت رگرسیون تقویت‌شده عبارتند از: تحلیل سریع داده‌های با حجم زیاد، عدم نیاز به فرض توزیع داده‌ها، کنترل انواع مختلف متغیرهای

[4]Global Environmental Monitoring Index: GEMI
[5]Leaf Area Index: LAI
[6]Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI
[7]Modified Simple Ratio: MSR
[8]Normalized Burn Ratio: NBR
[9]Visible Atmospherically Resistant Index: VARI

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

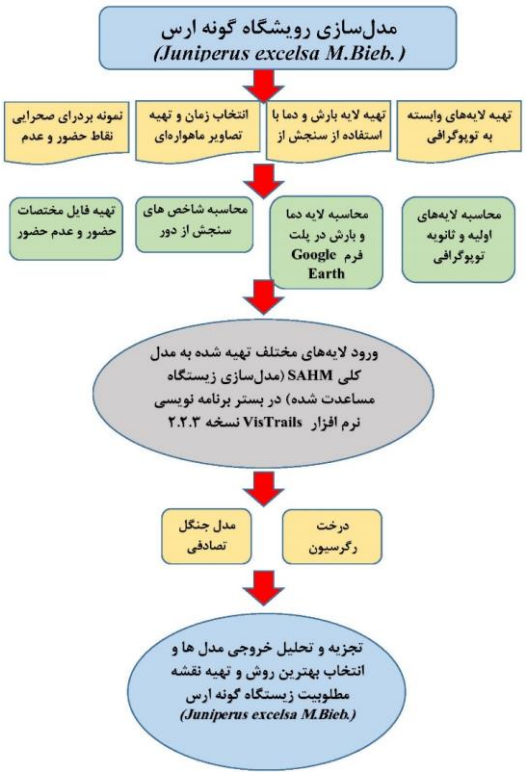
پیش‌بینی‌کننده، حساسیت کمتری به هم‌پوشانی، برازش روابط پیچیده غیرخطی و کنترل خودکار اثر متقابل بین متغیرها، عدم نیاز به تبدیل داده‌ها یا حذف نقاط دور افتاده، اصلاح داده‌های ازدست‌رفته و تعیین مؤثرترین و مهمترین عوامل در طبقه‌بندی از عمده ویژگی‌های این روش است که آن را از دیگر روش‌ها متمایز می‌سازد (Westreich et al., 2010).

روش جنگل تصادفی یک شگرد یادگیری ترکیبی است که براساس یک الگوریتم گروهی با مجموعه‌ای از درختان تصمیم است. هر درخت با انتخاب یک دسته تصادفی از متغیرها و نمونه‌های تصادفی از مجموعه داده آموزشی، آموزش داده می‌شود. مدل جنگل تصادفی براساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درختان تصمیم استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت زی‌اد انجام می‌دهد. مدل جنگل تصادفی، برخلاف مدل‌های کلاسیک مانند رگرسیون که تنها بر پایه یک مدل تکیه دارند با استفاده از تعداد زیادی درخت تصمیم، از اطلاعات بیش‌تری در داده‌ها استفاده می‌کند. سپس تمام درختان با هم، برای پیش‌بینی ترکیب می‌شوند، تا بتوان استنباط بهتری از متغیرها داشت. مهم‌ترین ویژگی جنگل‌های تصادفی عملکرد بالای آنها در اندازه‌گیری اهمیت متغیرها است که مشخص شود هر متغیر چه نقشی در پیش‌بینی پاسخ دارد. روش درخت رگرسیون جنگل تصادفی به‌ویژه هنگامی‌که تعداد مشاهدات در مقایسه با تعداد پیش‌بینی‌کننده‌ها نسبتاً کم باشد و یا برعکس مقدار داده زیادی داریم روش پیش‌بینی کارامد است. مدل جنگل تصادفی می‌تواند با هزاران متغیر ورودی بدون حذف متغیر سر و کار داشته باشد. مشکل این الگوریتم آن است که برای ارائه پیش‌بینی‌های خروجی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها کندتر عمل می‌کند (سیاسر و هنر، ۱۳۹۸).

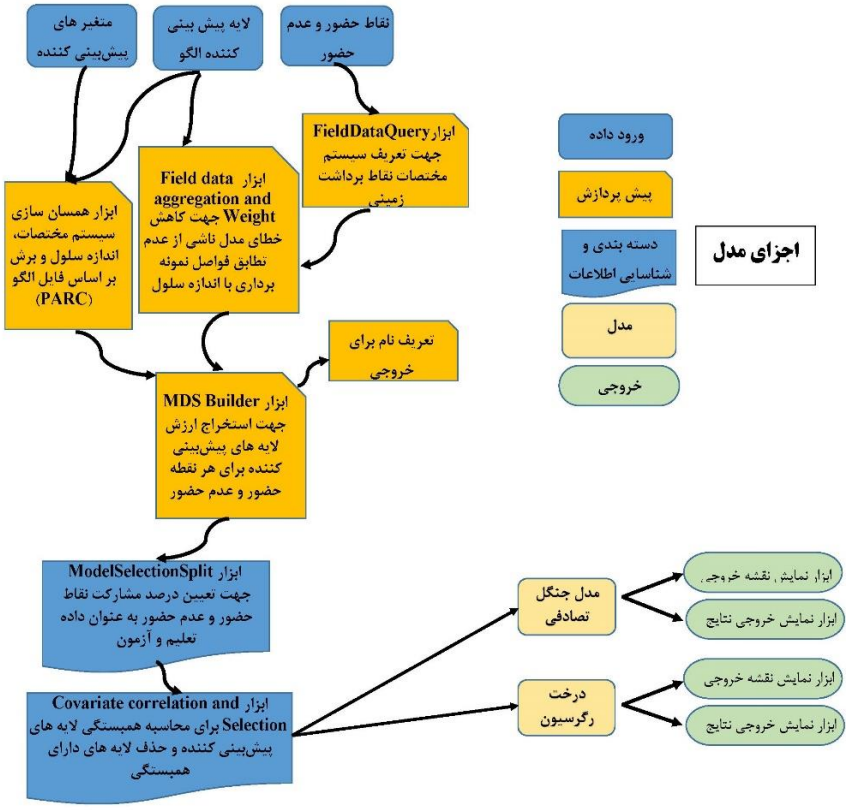
به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، مساحت زیر منحنی (AUC) و ماتریس خطا استفاده شده است. منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در ارائه دقت شرایط احتمالی و پیش‌بینی مدل در توصیف حضور پدیده است. هر چه سطح زیر منحنی (AUC) بیشتر باشد اعتبار تمایز بین رویشگاه‌های مناسب و نامناسب گونه مورد تحقیق بالاتر خواهد بود و به همان نسبت نیز دقت مدل بیشتر می‌شود که میزان آن از ۰ تا ۱ متغیر است که به‌طورکلی تقسیم‌بندی ۰/۹ تا ۱ (عالی)، ۰/۹ تا ۰/۸ (خیلی خوب)، ۰/۸ تا ۰/۷ (خوب)، ۰/۷ تا ۰/۶ (متوسط) و ۰/۶ تا ۰/۵ (ضعیف) را برای آن ارائه داده‌اند. در ماتریس خطا معیارهایی شامل درصدی که به درستی طبقه‌بندی شده، حساسیت (کسری از حضورهایی که به‌درستی پیش‌بینی شده است)، اختصاصیت (کسری از عدم حضورها که به‌درستی پیش‌بینی شده است)، آمار مهارت واقعی (تطابق و عدم تطابق بین مشاهدات و پیش‌بینی‌ها) و مقدار کاپا (به روش کوهن) مورد بررسی قرار گرفته است. ۷۰ درصد داده‌ها برای داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد آن برای اعتبارسنجی مدل به کار برده شدند و هر دو دسته از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. در شکل (۲) نمودار مراحل اجرایی تحقیق و در شکل (۳) فرآیند مدل‌سازی رویشگاه گونه در نرم‌افزار مدل‌سازی زیستگاه مساعدت شده (SAHM)[10] ارائه شده است.

[10]Software for Assisted Habitat Modeling (SAHM)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



شکل ۲- نمودار مراحل اجرایی تحقیق

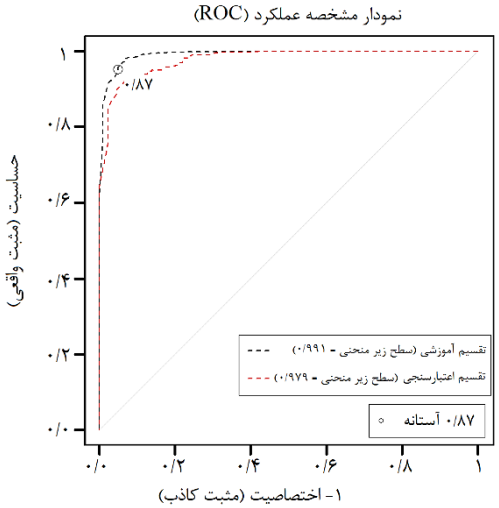


شکل ۳- فرایند مدل‌سازی رویشگاه گونه

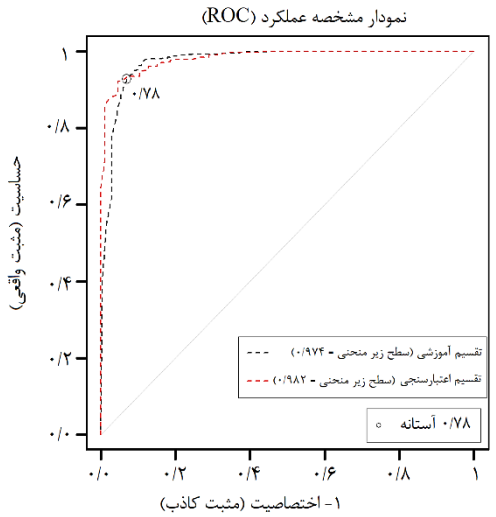
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

نتایج

اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی کننده توزیع گونه: اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی کننده توزیع گونه، گامی اساسی در توسعه و تعیین مناطق مناسب پراکندگی توزیع گونه و تعین کیفیت آنها است. براساس نتایج اعتبارسنجی با استفاده از داده‌های آزمون نشان داد که مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده با سطح زیر منحنی (۰/۹۹۱) و مدل جنگل تصادفی (۰/۹۷۴) بود. ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از سطح زیرمنحنی نشان داد برای هر دو مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده و مدل جنگل تصادفی در سطح عالی قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش در شکل‌های (۴ و ۵) نمایش داده شده است.



شکل ۴- نمودار اعتبارسنجی نقشه پراکندگی رویشگاه گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش درخت رگرسیون تقویت‌شده



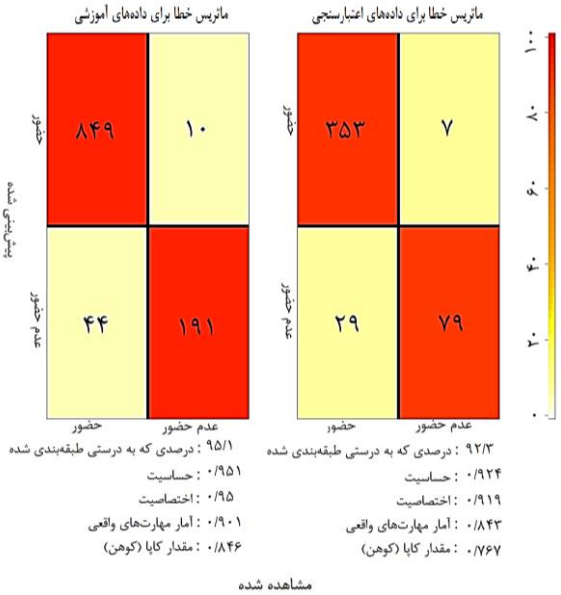
شکل ۵- نمودار اعتبارسنجی نقشه پراکندگی رویشگاه گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش جنگل تصادفی

تحلیل ماتریس خطا: در مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی از مجموع ۱۰۹۴ داده حضور و عدم حضور وارد شده به مدل، ۸۴۹ داده حضور و ۱۹۱ داده عدم حضور به‌درستی پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۱۰۴۰)؛ در حالیکه ۱۰ داده حضور و ۴۴ داده عدم حضور به ترتیب عدم حضور و حضور پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۵۴). در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی از مجموع ۴۶۸ داده حضور و عدم حضور وارد شده به مدل، ۳۵۳ داده حضور و ۷۹ داده عدم حضور به‌درستی پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۴۳۲)؛ درحالی‌که ۷ داده حضور و ۲۹ داده عدم حضور به ترتیب عدم حضور و حضور پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۳۶) (شکل ۶). در مدل جنگل تصادفی، ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی از مجموع ۱۰۹۴ داده حضور و عدم حضور وارد شده به مدل، ۸۲۸ داده حضور و ۱۸۷ داده عدم حضور به‌درستی پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۱۰۱۵)؛ درحالی‌که ۱۴ داده حضور و ۶۵ داده عدم حضور به ترتیب عدم حضور و حضور پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۷۹). در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی از مجموع ۴۶۸ داده حضور و عدم حضور وارد شده به مدل، ۳۵۶ داده حضور و ۸۰ داده عدم حضور به‌درستی پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۴۳۶)؛ در حالیکه ۶ داده حضور و ۲۶ داده عدم حضور به ترتیب عدم حضور و حضور پیش‌بینی شده است (مجموعاً ۳۲) (شکل ۷).

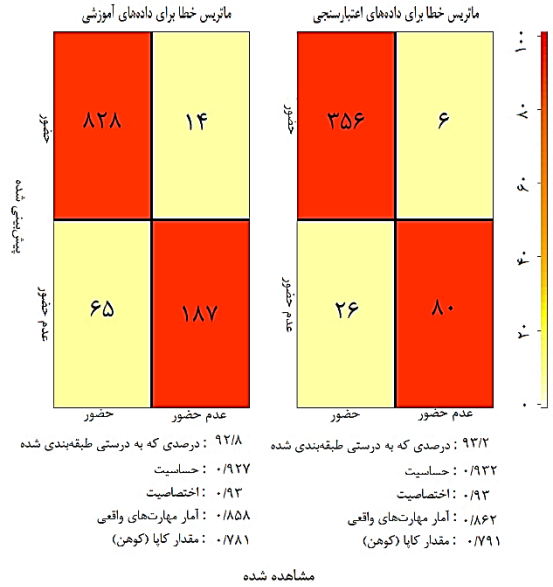
درصدی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده (۹۵/۱ درصد) و جنگل تصادفی (۹۲/۸) و در ماتریس خطا برای داده‌های اعتباری مدل جنگل تصادفی (۹۳/۲) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (۹۲/۳ درصد) است. کسری از حضورهایی که به درستی پیش‌بینی شده است، براساس داده حساسیت در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

(۰/۹۵۱) و جنگل تصادفی (۰/۹۲۷) و در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی مدل جنگل تصادفی (۰/۹۲۷) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۹۲۴) است. کسری از عدم حضورها که به‌درستی پیش‌بینی شده است، براساس داده اختصاصیت در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۹۵۰) و جنگل تصادفی (۰/۹۳۰) و در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی مدل جنگل تصادفی (۰/۹۳۰) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۹۱۹) است. تطابق و عدم تطابق بین مشاهدات و پیش‌بینی‌ها براساس داده آمار مهارت‌های واقعی در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۹۰۱) و جنگل تصادفی (۰/۸۵۸) و در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی مدل جنگل تصادفی (۰/۸۶۲) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۸۴۳) است. مقدار کاپا در ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۸۴۶) و جنگل تصادفی (۰/۷۸۱) و در ماتریس خطا برای داده‌های اعتبارسنجی مدل جنگل تصادفی (۰/۷۹۱) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (۰/۷۶۷) است (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶- ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی و داده‌های اعتبارسنجی متقابل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.)در مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده

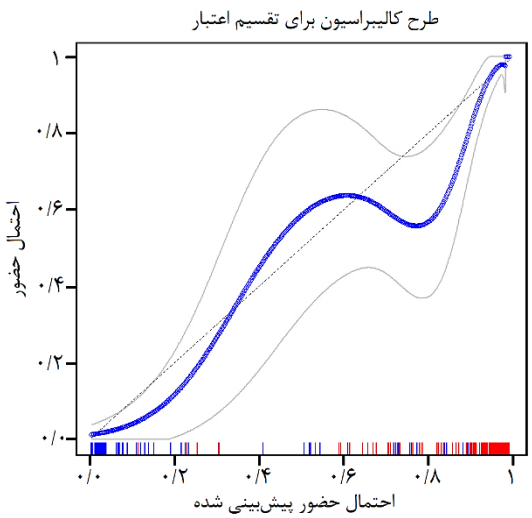


شکل ۷- ماتریس خطا برای داده‌های آموزشی و داده‌های اعتبارسنجی متقابل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش جنگل تصادفی

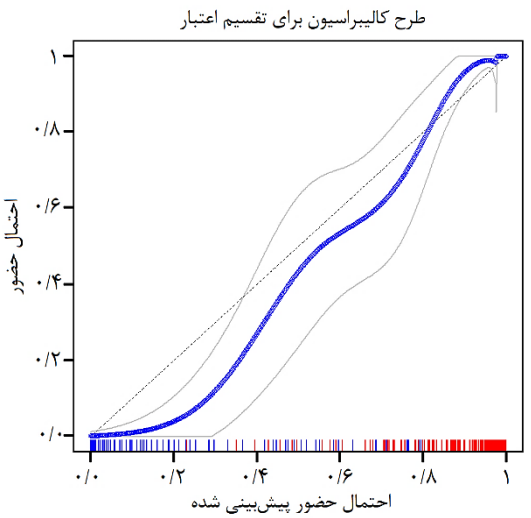
تحلیل طرح کالیبراسیون برای تقسیم اعتبار مدل:

در طرح کالیبراسیون برای تقسیم اعتبار مدل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش درخت رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی دارای چندین نقطه عدم وجود (مقادیر آبی) است که مقادیر پیش‌بینی‌شده بسیار زیادی به آن‌ها داده شده است که منجر به منحنی کالیبراسیون می‌شود که حالت مورب را دنبال نکند (شکل‌های ۸ و ۹).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



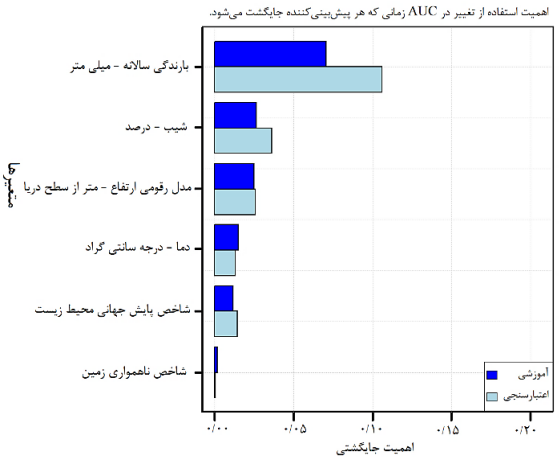
شکل ۸- طرح کالیبراسیون برای تقسیم اعتبار مدل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش درخت رگرسیون تقویت‌شده



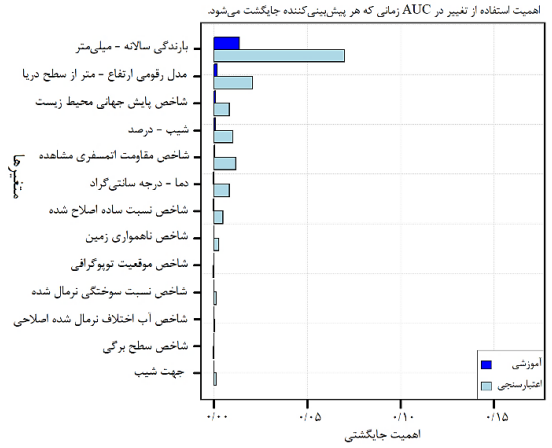
شکل ۹- طرح کالیبراسیون برای تقسیم اعتبار مدل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش جنگل تصادفی

نمودار اهمیت هر یک از متغیرها: طبق نتایج به‌دست‌آمده از نمودار اهمیت هر یک از متغیرها، مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه براساس روش درخت رگرسیون تقویت‌شده برای داده‌های آموزشی به‌ترتیب شامل متغیرهای بارندگی سالانه، شیب، مدل رقومی ارتفاع، دما، شاخص پایش جهانی محیط‌زیست و شاخص ناهمواری است. مهم‌ترین متغیرها براساس روش درخت رگرسیون تقویت‌شده برای داده‌های اعتبارسنجی به‌ترتیب شامل متغیرهای بارندگی سالانه، شیب، مدل رقومی ارتفاع، شاخص پایش جهانی محیط‌زیست، دما و شاخص ناهمواری است (شکل ۱۰). مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه براساس روش جنگل تصادفی برای داده‌های آموزشی به‌ترتیب شامل بارندگی سالانه، مدل رقومی ارتفاع، شاخص جهانی پایش محیط‌زیست، شیب، شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده، دما، شاخص نسبت ساده اصلاح شده، شاخص ناهمواری زمین، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص نسبت سوختگی نرمال شده، شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی، شاخص سطح برگ و جهت شیب است. برای داده‌های اعتبارسنجی به‌ترتیب شامل بارندگی سالانه، مدل رقومی ارتفاع، شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده، شیب، شاخص جهانی پایش محیط‌زیست، دما، شاخص نسبت ساده اصلاح شده، شاخص ناهمواری زمین، شاخص نسبت سوختگی نرمال شده، جهت شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی و شاخص سطح برگ است (شکل ۱۱).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



شکل ۱۰- نمودار اهمیت هر یک از متغیرها بر مدل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش درخت رگرسیون تقویت‌شده

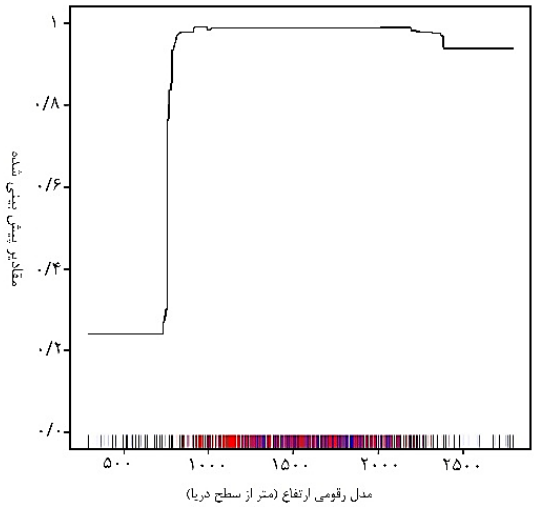


شکل ۱۱- نمودار اهمیت هر یک از متغیرها بر مدل مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش جنگل تصادفی

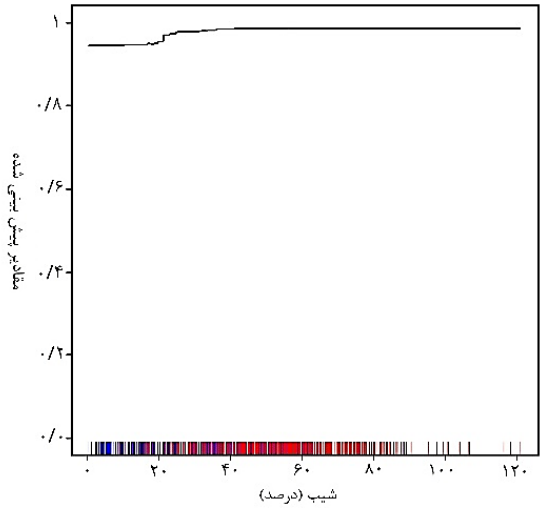
نمودار منحنی پاسخ

درخت رگرسیون تقویت‌شده: پستی و بلندی‌ها به‌خصوص تغییرات ارتفاع می‌توانند بسیاری از عوامل محیطی را تغییر دهند و در ایجاد رویشگاه و همچنین پراکندگی گونه‌های گیاهی نقش مهمی ایفا کنند. در مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده منحنی پاسخ گونه به متغیر ارتفاع به‌صورت آستانه افزایشی است، حداقل ارتفاع رویشگاه این گونه ۴۵۰ متر و حداکثر ارتفاع آن حدود ۲۸۰۰ متر است و با افزایش ارتفاع احتمال حضور گونه کم می‌شود. بیشترین تراکم ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متری است و بعد از ۲۰۰۰ متری حضور گونه کاهش و از ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۸۰۰ متری حضور گونه تقریباً ثابت است. نتایج نشان داد که با افزایش درصد شیب (بالاتر از ۲۰ درصد) احتمال حضور گونه افزایش و بعد از آن تقریباً ثابت می‌ماند. شاخص ناهمواری سطح زمین در مقادیر ۵ تا ۱۲۰ روند تقریباً ثابتی در پراکندگی گونه دارد. مقدار بارندگی اثر متفاوتی در روند پراکندگی گونه داشته است؛ به‌طوری‌که با افزایش بارندگی روند گونه ابتدا کاهش و کمترین حضور گونه در مقدار بارندگی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و در بیشتر از این مقدار مجدداً حضور گونه افزایش یافته است (۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر) و در بارندگی بیش از ۷۰۰ میلی‌متر مجدداً پراکندگی گونه به‌شدت کاهش یافته است و کمترین حضور گونه در بارندگی ۸۰۰ میلی‌متر و بیش از این مقدار مشاهده شد. بیش‌ترین احتمال حضور برای این گونه برای مناطقی با دمای ۹ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. با افزایش دمای بیش از ۱۶ درجه سانتی‌گراد احتمال حضور گونه کاهش یافته است. نمودار پاسخ متغیر شاخص جهانی پایش محیط‌زیست نشان می‌دهد احتمال حضور این گونه از ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ روند ثابت و در بیشتر از ۰/۲۰ به سرعت کاهش پیدا می‌کند و در مقادیر ۰/۲۲ تا ۰/۲۴ روند ثابتی دارد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۷).

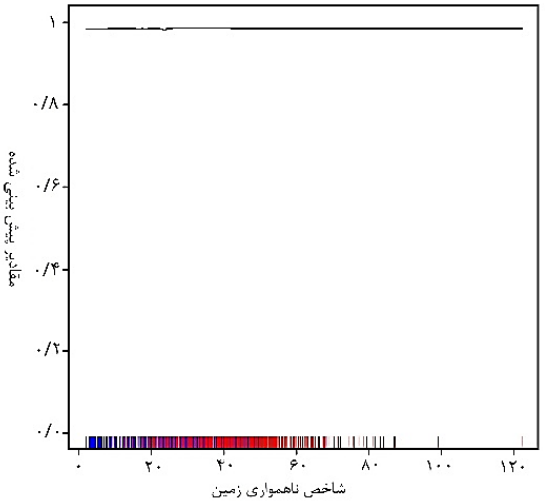
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



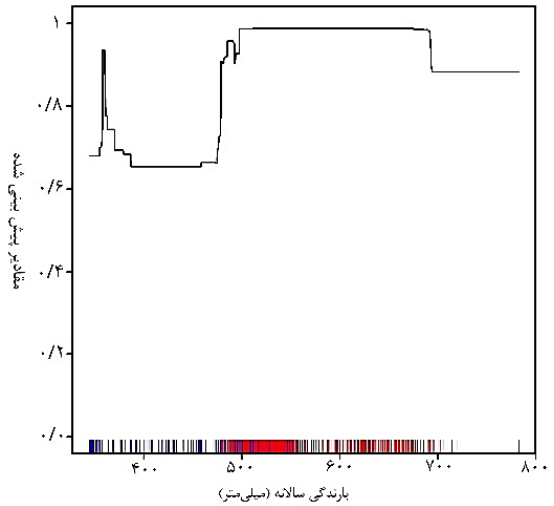
شکل ۱۲- منحنی پاسخ مدل رقومی ارتفاع - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده



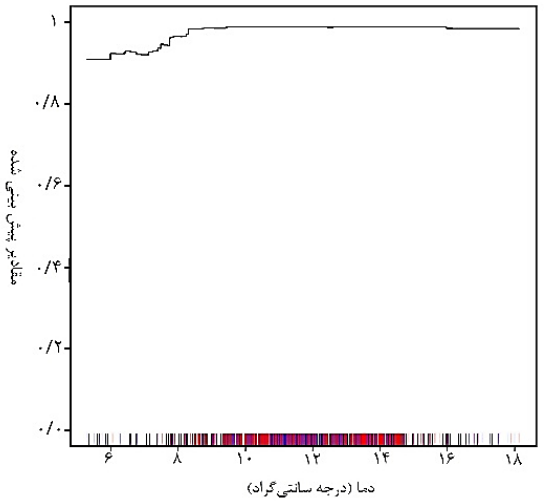
شکل Error! Use the Home tab to apply 0 -Title1 ۱۳to the text that you want to appear here.- منحنی پاسخ شیب - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده



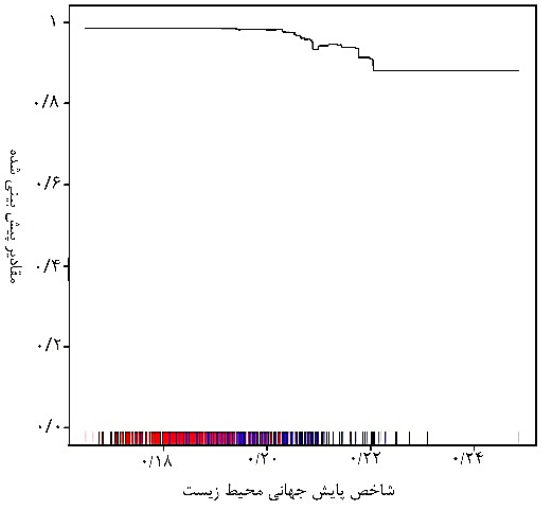
شکل ۱۴- منحنی پاسخ شاخص ناهمواری زمین - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده



شکل ۱۵- منحنی پاسخ مقدار بارندگی سالانه - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده



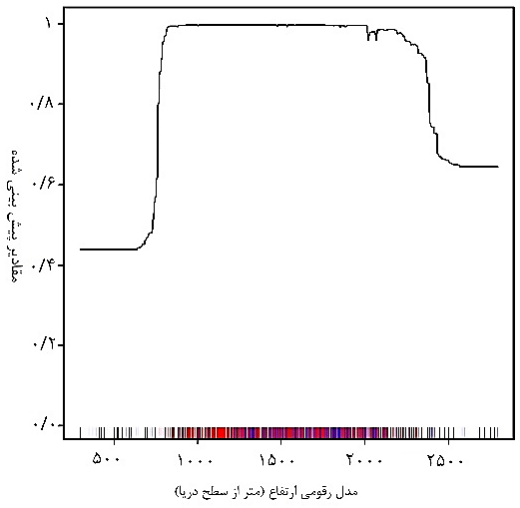
شکل ۱۶- منحنی پاسخ دما - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده



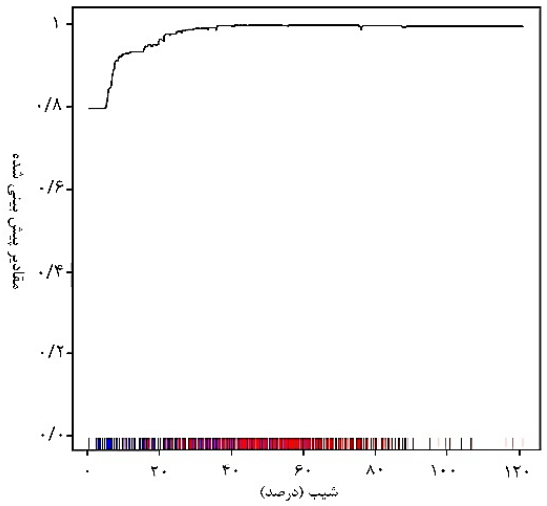
شکل ۱۷- منحنی پاسخ شاخص پایش جهانی محیط‌زیست - مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

جنگل تصادفی: در مدل جنگل تصادفی منحنی پاسخ گونه به متغیر ارتفاع به‌صورت آستانه افزایشی است، حداقل ارتفاع رویشگاه این گونه ۴۵۰ متر و حداکثر ارتفاع آن حدود ۲۸۰۰ متر است و با افزایش ارتفاع احتمال حضور گونه کم می‌شود. بیشترین تراکم ۸۰۰ تا ۲۳۰۰ متری است و بعد از ۲۳۰۰ متری حضور گونه کاهش و از ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۸۰۰ متری حضور گونه تقریباً ثابت است. با افزایش درصد شیب احتمال حضور گونه به‌سرعت افزایش و سپس احتمال حضور گونه ثابت است. کمترین احتمال حضور گونه در شیب صفر و بیشترین احتمال حضور گونه در شیب ۴۰ تا ۱۲۰ درصد مشاهده شد. جهت شیب روند ثابتی در پراکندگی گونه ارس نشان داد. شاخص ناهمواری سطح زمین در مقادیر ۰ تا ۵ درصد روند ثابت و در بیش از این مقدار به سرعت افزایش و سپس از ۲۰ تا ۱۲۰ درصد روند تقریباً ثابتی در پراکندگی گونه دارد. شاخص موقعیت توپوگرافی روند ثابتی در پراکندگی گونه ارس نشان داد. مقدار بارندگی اثر متفاوتی در روند پراکندگی گونه داشته است به‌طوری که با افزایش بارندگی تا ۳۵۰ میلی‌متر روند گونه ابتدا به سرعت افزایش و سپس روند کاهشی داشته و در بازه ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر احتمال حضور گونه روند ثابت داشته است و سپس در بیش از این مقدار مجدداً حضور گونه افزایش یافته است (۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر) و در بارندگی بیش از ۷۰۰ میلی‌متر مجدداً پراکندگی گونه به‌شدت کاهش یافته است و کمترین حضور گونه در بارندگی ۷۳۰ میلی‌متر و بیش از این مقدار مشاهده شده است. با افزایش دما تا ۸ درجه سانتی‌گراد حضور گونه افزایش و سپس تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد روند تقریباً ثابتی دارد و پس از آن احتمال حضور گونه به سرعت کاهش پیدا می‌کند. با افزایش متغیر شاخص جهانی پایش محیط‌زیست از ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ احتمال حضور این گونه ابتدا ثابت و در بیش از این مقدار تا ۰/۲۲ به‌سرعت کاهش و در بیش از این مقدار روند ثابتی پیدا می‌کند. بیشترین حضور گونه در مقدار ۰/۱۸تا ۰/۲ و کمترین احتمال حضور در ۰/۲۲ است. منحنی پاسخ گونه به شاخص سطح برگ تا ۰/۰۵ روند کاهشی و در بیش از این مقدار روند ثابتی دارد. شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی از ۰/۵- تا ۰/۲-روند ثابت و در بیش از این مقدار احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. منحنی پاسخ شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده نشان می‌دهد احتمال پراکندگی گونه با افزایش این شاخص از ۰/۱۸- به‌سرعت افزایش و در بازه ۰/۱۸- تا ۰/۳ روند ثابتی دارد. منحنی پاسخ گونه به شاخص نسبت ساده اصلاح شده از حدود ۰/۱ تا ۰/۲ به سرعت افزایش و در بیش از این مقدار تا ۱/۷ با روند ثابت اثرگذار است. احتمال حضور گونه در شاخص نسبت سوختگی نرمال شده ۰/۱- تا ۰/۶ مشاهده شد. احتمال حضور گونه تا مقدار صفر روند ثابت و پس از این مقدار تا ۰/۴ تقریباً روند ثابت و در بیش از ۰/۴ روند کاهشی مشاهده شد (شکل‌های ۱۸ تا ۳۰).

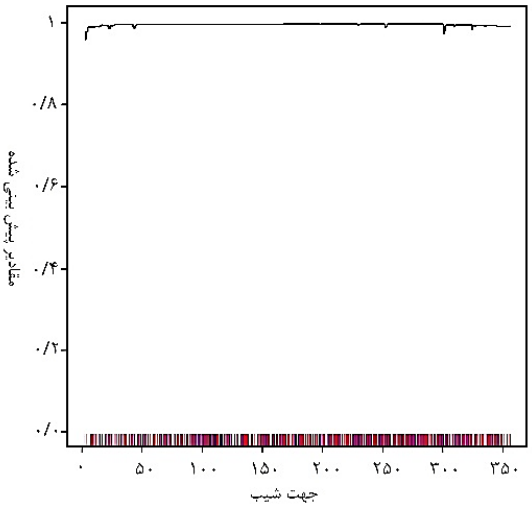


شکل ۱۸- منحنی پاسخ مدل رقومی ارتفاع - مدل جنگل تصادفی

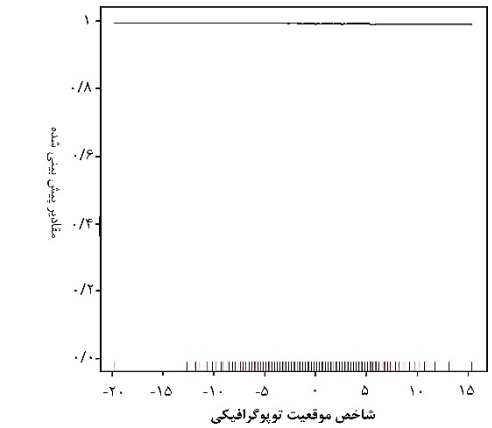


شکل Error! Use the Home tab to apply 0 -Title1 **۱۹- منحنی** to the text that you want to appear here.

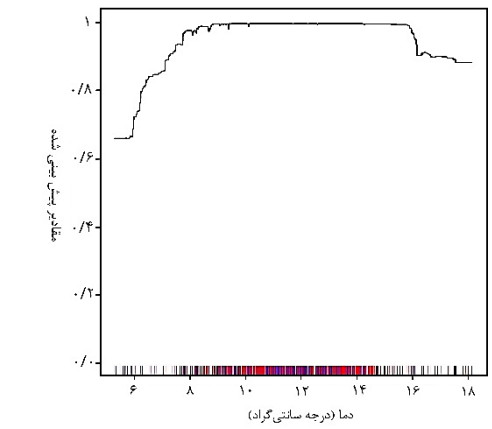
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



شکل Error! Use the Home tab to apply 0 -Title1 ۲۰- منحنی پاسخ جهت شیب - مدل جنگل تصادفی to the text that you want to appear here.

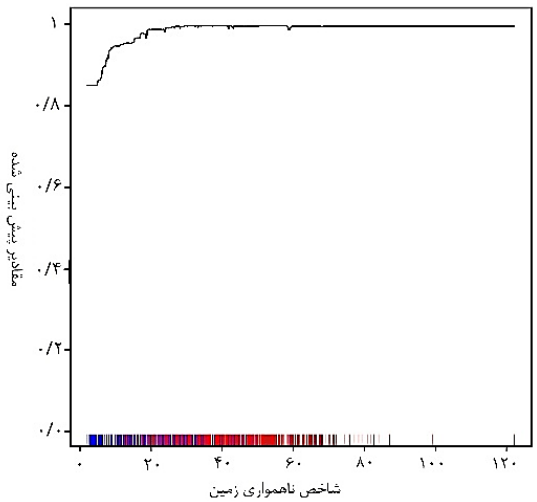


شکل ۲۲- منحنی پاسخ شاخص موقعیت توپوگرافیکی - مدل جنگل تصادفی

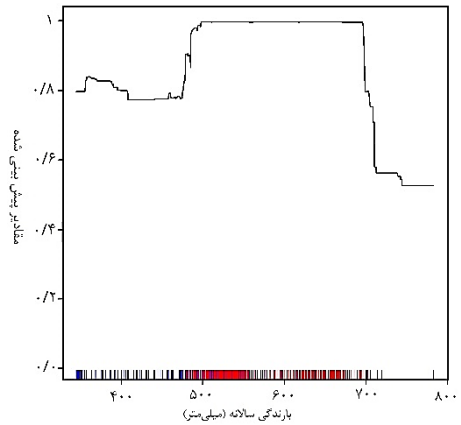


شکل ۲۴- منحنی پاسخ دما - مدل جنگل تصادفی

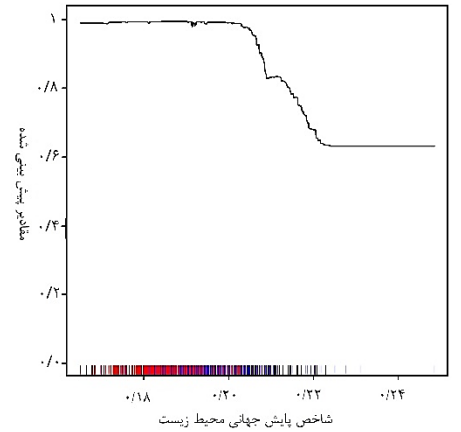
پاسخ شیب - مدل جنگل تصادفی



شکل ۲۱- منحنی پاسخ شاخص ناهمواری زمین - مدل جنگل تصادفی

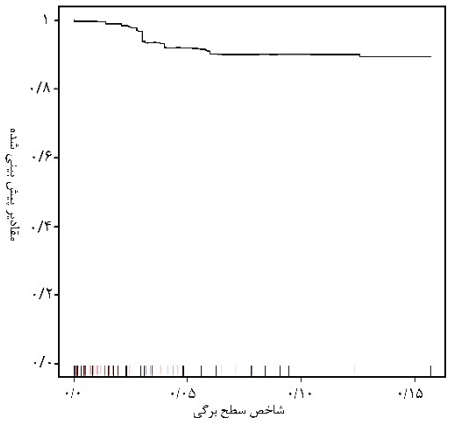


شکل ۲۳- منحنی پاسخ بارندگی سالانه - مدل جنگل تصادفی

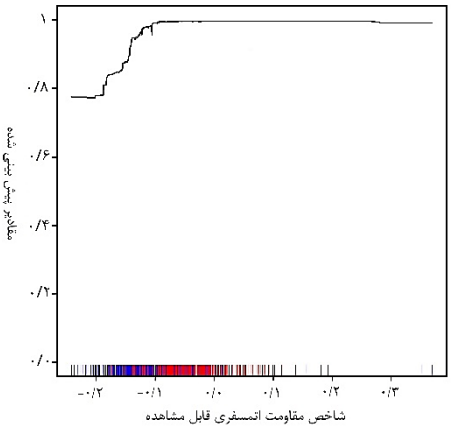


شکل ۲۵- منحنی پاسخ شاخص پایش جهانی محیط‌زیست - مدل

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

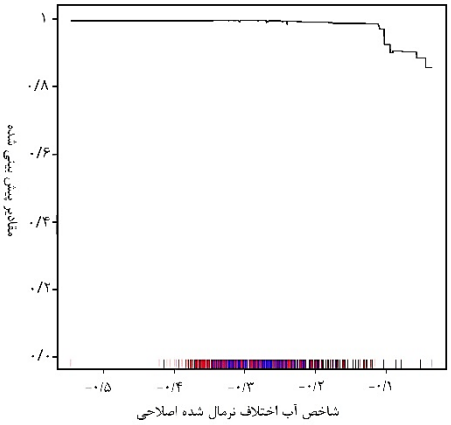


شکل ۲۶- منحنی پاسخ شاخص سطح برگ - مدل جنگل تصادفی

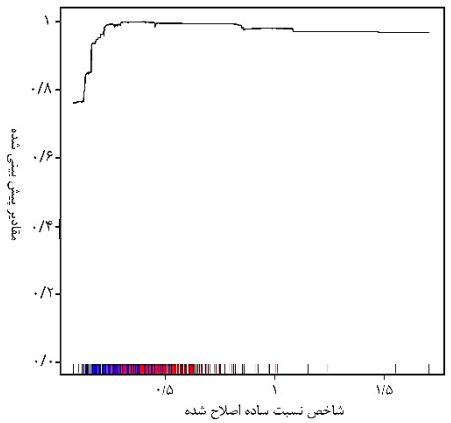


شکل ۲۸- منحنی پاسخ شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده - مدل جنگل تصادفی

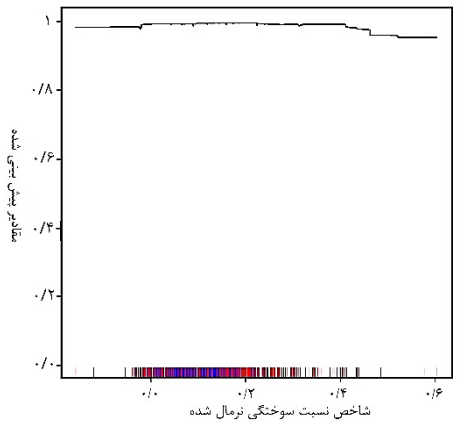
جنگل تصادفی



شکل ۲۷- منحنی پاسخ شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی - مدل جنگل تصادفی



شکل ۲۹- منحنی پاسخ شاخص نسبت ساده اصلاح شده - مدل جنگل تصادفی

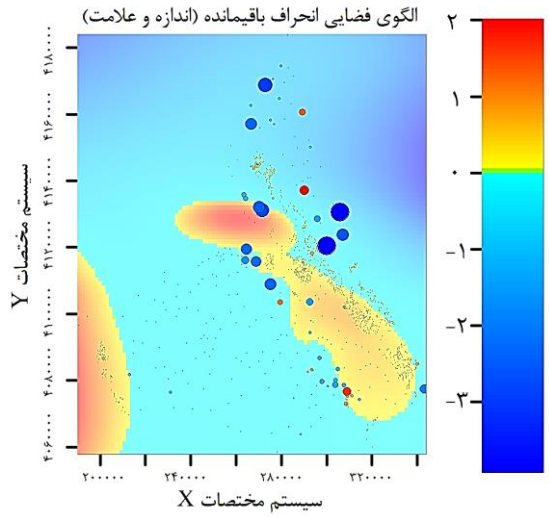


شکل ۳۰- منحنی پاسخ شاخص نسبت سوختگی نرمال شده - مدل جنگل تصادفی

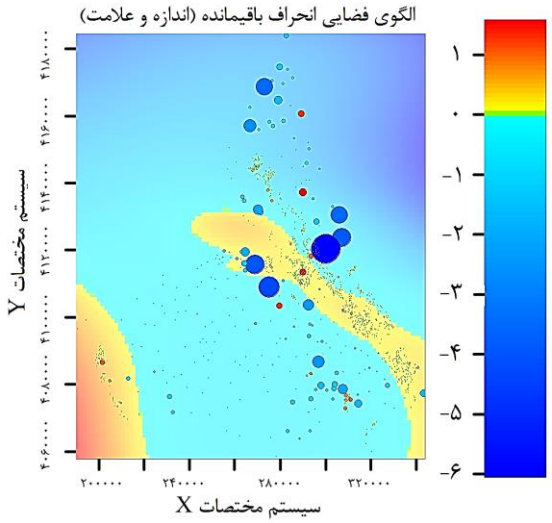
نمودارهای باقیمانده مدل رابطه فضایی: در نمودار الگوی فضایی مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده باقیمانده‌های انحراف در بازه ۳- تا ۲+ و در روش جنگل

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

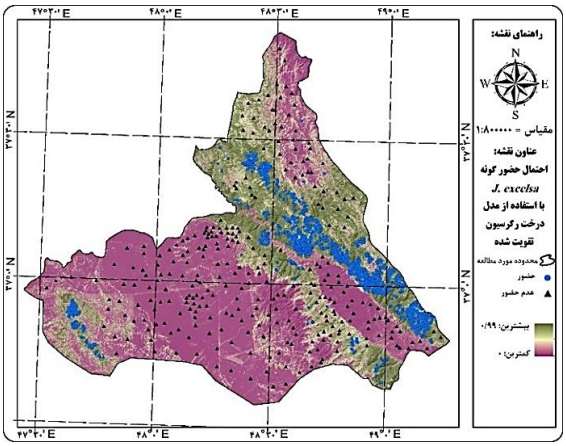
تصادفی در بازه ۶- تا ۱+ است. با توجه به اینکه باقیمانده‌های انحراف با مقادیر مطلق بزرگتر از ۲ می‌تواند نشان‌دهنده یک مشکل باشد، بر این اساس مدل جنگل تصادفی با بازه کمتر برازش مناسب‌تری از پراکندگی گونه ارائه می‌دهد (شکل‌های ۳۱ و ۳۲). نقشه طبقه‌بندی شده حضور و عدم حضور مربوط به هر مدل در شکل‌های ۳۳ و ۳۴ ترسیم شد.



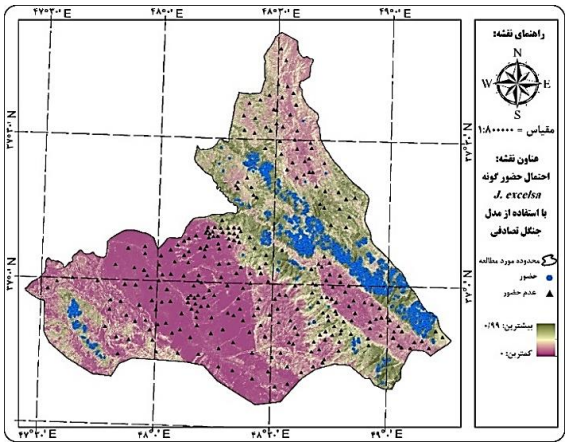
شکل ۳۱- الگوی فضایی مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش درخت رگرسیون تقویت‌شده



شکل ۳۲- الگوی فضایی مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در روش جنگل تصادفی



شکل Error! Use the Home tab to apply 0 -Title1 to the text that you want to appear here.-۳۳ نقشه نهایی مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) براساس روش درخت رگرسیون تقویت‌شده



شکل ۳۴- نقشه نهایی مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) براساس روش جنگل تصادفی

بحث و نتیجه‌گیری

دو روش‌های مدل‌سازی استفاده‌شده برای پیش‌بینی پراکندگی گونه ارس دارای سطح زیرمنحنی بالاتر از ۰/۹ بودند. مقدار سطح زیرمنحنی بالای ۰/۹ نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای قابلیت عالی برای پیش‌بینی پراکندگی گونه ارس در منطقه مورد مطالعه هستند. مدل‌های مورد بررسی براساس شاخص‌های سطح زیر منحنی و ضریب کاپا در رتبه‌های خوب تا عالی قرار گرفتند. روش درخت رگرسیون تقویت‌شده توانایی‌های دو الگوریتم شامل درختان رگرسیون، مدل‌هایی که واکنش به پیش‌بینی کننده‌ها را از طریق جداسازی دودویی بهینه و تقویت شونده شرح می‌دهند و یک روش تطبیقی جهت ترکیب تعداد زیادی مدل‌های ساده برای کسب عملکرد مناسب را

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

با یکدیگر ترکیب می‌کند (Naghibi et al., 2016). عملکرد بالای مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده با یافته‌های محمدی و همکاران (Mohammady et al., 2021) مطابقت دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که حضور گونه ارس با ارتفاع از سطح دریا به‌صورت گوسی است. بدین ترتیب که در ابتدا با افزایش ارتفاع از سطح دریا، حضور گونه افزایش می‌یابد و سپس با افزایش ارتفاع حضور گونه کاهش می‌یابد. بیشترین حضور گونه در ارتفاع ۸۰۰ تا ۲۳۰۰ متری با حضور ثابت است و سپس در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متری حضور گونه به‌سرعت کاهش می‌یابد. داغستانی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی ویژگی‌های توده‌های ارس در طارم زنجان بیان کردند که در این منطقه گونه ارس در طبقات ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۱۷۰۰ متر حضور دارد و بیشترین تراکم گونه ارس را در ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا دانسته و عمق و حاصلخیزی خاک، دما، اشعه فرابنفش نوع و میزان بارندگی، رطوبت مطلق هوا و شدت وزش باد را در تراکم درختان ارس در رابطه با ارتفاع مؤثر می‌دانند. عدم مطابقت پژوهش ایشان با پژوهش حاضر را می‌توان به بررسی توده‌های ارس در بازه ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ متری در پژوهش فوق که محدوده پراکندگی مطلوب این گونه در رویشگاه‌های کشور است، مربوط دانست. دوگان و همکاران (Dogan et al., 2011) ارتفاع حضور گونه ارس در ترکیه را ۵۰۰-۲۳۰۰ متر از سطح دریا دانستند که با محدوده پراکندگی در محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر هم‌خوانی بیشتری دارد. استفان و همکاران (Stephan et al., 2020) حضور گونه ارس را در ارتفاعات بالا (عمدتاً بالای ۱۵۰۰ متر از سطح زمین) گزارش کردند. در پژوهش حاضر با افزایش ارتفاع از سطح دریا، احتمال حضور گونه ارس کاهش می‌یابد. کاهش حضور گونه ارس در ارتفاعات بالا می‌تواند تا حدودی به‌دلیل محدودیت‌های اکوفیزیولوژیکی نظیر تغییر نوع و مقدار بارندگی، کاهش درجه حرارت، کوتاه شدن دوره رویش گیاهی، وجود اشعه فرابنفش، افزایش شدت تابش نور خورشید، کم شدن فشار هوا، کاهش رطوبت مطلق هوا و خشکی بیشتر محیط، کاهش عمق و کیفیت و حاصلخیزی خاک و قرار گرفتن در معرض شدت وزش بادهای شدید محلی و توان تولید کم اکوسیستم در این ارتفاعات باشد. در واقع نامناسب بودن شرایط رویش در ارتفاعات سبب کاهش حضور گونه ارس شده است (Klippel et al., 2017). پژوهش کنونی از این نظر با نتیجه تحقیق اوزکان و همکاران (Özkan et al., 2010) سازگاری دارد.

نتایج نشان داد که با افزایش درصد شیب (بالاتر از ۳۰ درصد) احتمال حضور گونه به سرعت افزایش و در شیب بالاتر از ۴۰ درصد (تا ۱۲۰ درصد) تقریباً ثابت می‌ماند. شیب یک عامل مهم توپوگرافی است که به علت کاهش عمق خاک در اثر افزایش حجم و سرعت رواناب سطحی، فرسایش و آبشویی، عدم استقرار بذر، افزایش زهکشی (از دست رفتن رطوبت خاک)، کاهش حاصلخیزی خاک بر اثر آبشویی و از دست رفتن لایه هوموس، کاهش عمق خاک و پدیده خاکسازی و افزایش ناپایداری خاک از عوامل تعیین کننده و تأثیرگذار در پراکنش گونه‌های گیاهی به شمار می‌آید (داغستانی و همکاران، ۱۳۹۶). لیوینگستون (Livingston, 1972) حضور گونه ارس را در شیب‌های تند و پرتگاه‌ها گزارش کردند که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. کاهوچی (Kahveci et al., 2018) با بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی و عوامل اقلیمی بر روی پراکندگی گونه‌های مختلف ارس در آناتولی ترکیه به این نتیجه دست یافتند که کاهش رطوبت از عوامل مهم محدود کنند پراکندگی این گونه در کشور ترکیه است و یکی از عوامل از دست رفتن رطوبت خاک افزایش شیب است به‌صورتی که با افزایش شیب علاوه بر کاهش ضخامت خاک در اثر فرسایش و آبشویی، افزایش زهکشی و از دست رفتن رطوبت خاک را به دنبال دارد.

براساس یافته‌های این پژوهش بیشترین احتمال حضور گونه ارس در دامنه‌های شمال و غرب و دامنه‌های شمال شرقی و جنوب شرقی و شرق واجد کمترین حضور بودند. با این وجود حضور گونه در تمام جهات جغرافیایی مشاهده شد. جهت جغرافیایی با تأثیر بر روی مقدار دریافت انرژی خورشید، زاویه و مقدار دریافت نور، رطوبت خاک و تبخیر سبب تغییر ترکیب گونه‌ای و موجب محدودیت انتشار گیاهان می‌شود و رشد گیاهان و گاهی حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی در جهات مختلف زمین را تعیین می‌کند (Wu et al., 2019). پژوهش‌های سرنجزی (Sarangzai et al., 2012) و جاهنسون و میلر (Johnson DD, Miller, 2006) بیشترین تراکم گونه ارس در هکتار را برای جهت دامنه شمالی معرفی کردند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

نامبردگان علت افزایش تراکم درختان را در جهت شمالی اینگونه معرفی کردند که جهت دامنه بر توزیع اقلیم خرد در زمین‌نما منجر به تغییر در ویژگی‌های خاکی می‌شود که شرایط را برای حضور گونه‌ها میسر می‌سازد. در جهت شمالی به‌دلیل تابش کمتر آفتاب، تبخیر کمتری صورت می‌گیرد و در نتیجه محیط‌های خاکی خنک و ماندگاری رطوبت بیشتر است (Maren et al., 2015). اتو و همکاران (Otto et al., 2010) نیز در تحقیق خود دریافتند که جهت شیب اثر زیادی بر زنده‌مانی و میزان قطر و ارتفاع نهال‌های ارس داشته و در دامنه‌های شمالی تراکم نهال‌ها بیشتر و میزان قطر و ارتفاع آنها بیشتر است. بر پایه نتایج پژوهش حاضر با وجود حضور بیشتر در دامنه‌های شمال و غرب ارتباط معنی‌داری بین حضور گونه ارس با جهت دامنه مشاهده نشد. سرنجزی و همکاران (Sarangzai et al., 2012) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که گونه ارس بیشترین حضور را در فرم‌های زمین شامل دره‌های باریک، آبراهه‌ها، دره‌های U شکل، یال‌های موضعی، تپه‌های موجود در دره‌ها دارد. حضور گونه ارس نسبت به شاخص موقعیت توپوگرافی نشان داد که در دره‌ها و دامنه‌ها حضور گونه بیشتر بوده و در یال‌ها حضور این گونه کمترین است. این موضوع ممکن است به دلیل مناسب بودن شرایط رویشگاهی از قبیل شرایط رطوبتی بهتر، عمیق‌تر بودن و حاصلخیزی خاک در دره‌ها نسبت به طبقات دیگر و همچنین رقابت بیشتر درختان برای کسب نور باشد. ضمن اینکه عمق کم و خشک‌تر بودن خاک در یال‌ها، عاملی برای کوتاه‌تر شدن ارتفاع درختان است (مؤمنی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). در روی یال‌ها معمولاً دریافت نور و انرژی بیشتر، کم‌عمق بودن خاک و بیرون‌زدگی‌های سنگی و وزش شدید باد، محیط نامساعدی را تشکیل می‌دهند. در ضمن این مناطق تقریباً خشک بوده و تغذیه آبی در آن‌ها ضعیف است که مجموع این عوامل باعث کم شدن احتمال حضور گونه ارس می‌گردد. یافته‌های این تحقیق با نتایج پژوهش فیشر (Fisher, 1997) تطابق دارد، اما با تحقیقات مؤمنی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) که بیان کردند در یال‌ها بالاترین و دره‌ها واجد کمترین تعداد نهال ارس در قطعه نمونه بودند مغایر است. این محققان دلیل تراکم کمتر گونه ارس در دره‌ها را به دلیل سهولت دسترسی انسان و دام در دره‌ها و اثرهای منفی ناشی از کوبیدگی خاک و چرای نهال‌ها توسط دام در دامنه‌ها و مناطق مرطوب‌تر دانستند.

نتایج نشان داد که در بارندگی سالانه حدود ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر، بیشترین احتمال رخداد گونه اتفاق می‌افتد، پس پس از آن احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. علت کاهش رخداد گونه در بارش‌های بیشتر را می‌توان به کاهش توان رقابتی گونه مذکور نسبت به سایر گونه‌های گیاهی نسبت داد که البته به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. حضور گونه ارس در مناطق مرتفع می‌تواند ناشی از وجود رطوبت در نواحی با ارتفاع بالاتر باشد. این مناطق بر اساس پراکندگی بارش منطقه در بیشترین مقدار خود بوده و نشان می‌دهد که شرایط رطوبتی مناسبی برای رشد گونه ارس فراهم می‌کند (Sarangzai et al., 2012). میانگین درجه حرارت سالانه در محدوده دامنه ۶ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در احتمال حضور گونه ارس یک روند افزایشی مشاهده می‌شود؛ بیش‌ترین احتمال حضور برای این گونه برای مناطقی با دمای ۹ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. با افزایش دمای بیش از ۱۶ درجه سانتی‌گراد احتمال حضور گونه کاهش یافته است. به عبارت دیگر افزایش میانگین درجه حرارت سالانه تا یک حدی باعث افزایش احتمال حضور گونه ارس می‌شود و بعد آن اثر معکوس دارد. احتمال حضور گونه ارس در منطقه مطالعاتی با افزایش ارتفاع تا ۲۳۰۰ متر از سطح دریا افزایش می‌یابد اما بعد از آن به ازای افزایش ارتفاع احتمال حضور آن کاهش داشته زیرا در ارتفاعات بالاتر از ۲۳۰۰ متر از سطح دریا شرایط دمایی که با ارتفاع همبستگی منفی دارد نیز باعث محدودیت تکمیل چرخه زندگی گیاه می‌شود. در منطقه مورد بررسی پژوهش حاضر در شهرستان خلخال استان اردبیل و شمال استان زنجان با میانگین بارش ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر و عدم توزیع یکسان آن در نقاط مختلف و در نظر گرفتن این نکته که این دو شهرستان از نظر اقلیمی در محدوده اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد بنابراین از نظر بوم‌شناختی با محدودیت‌های حرارتی روبه‌رو نیست و فقط عوامل رطوبتی پراکندگی آن را با محدودیت روبه‌رو می‌کند. با توجه به اینکه گونه ارس در مناطق مرتفع و کوهستانی رویش دارد به دلیل کاهش درجه حرارت در ارتفاعات، درجه حرارت تأثیر بسزایی روی پراکندگی گونه دارد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

مؤمنی مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، درجه حرارت متوسط سالانه ۸ درجه سانتی‌گراد را در مطالعه جوامع ارس استان خراسان، مناسب رشد این گونه بیان کردند.

با افزایش متغیر شاخص جهانی پایش محیط‌زیست از ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ احتمال حضور این گونه ابتدا ثابت و در بیش از این مقدار تا ۰/۲۲ کاهش و در بیش از این مقدار به‌سرعت کاهش پیدا می‌کند. بیشترین حضور گونه در مقدار ۰/۱۸ و کمترین احتمال حضور در ۰/۲۴ است. مقادیر نزدیک به صفر (بین ۰/۱- تا ۰/۱+) معمولاً نشان‌دهنده سطوح برهنه سنگی، ماسه‌ای یا برفی است. مقادیر پایین و مثبت شاخص (حدود ۰/۲+ تا ۰/۴+) نشان‌دهنده پوشش درختچه‌ای و علف‌زار و مقادیر بالای شاخص NDVI (اعداد نزدیک به ۱+) نشان‌دهنده جنگل‌های بارانی مناطق گرم و استوایی است (Rouse et al., 1973). صابرفر و همکاران (۱۳۹۷) نیز در مطالعه خود حضور گونه ارس را با استفاده از شاخص NDVI در مقادیر ۰/۱۶ تا ۰/۲۶ گزارش کردند که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. براساس نتایج حاصل از شاخص پایش جهانی محیط‌زیست (GEMI) استنباط می‌شود گونه ارس با افزایش تراکم و پوشش گیاهی از حضور گونه ارس کاسته می‌شود و این گونه در مناطقی با فضای باز حضور بیشتری داشته باشد. روانبخش و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان کردند که نهال‌های ارس به سایه درختان مادری یا دیگر درختچه‌ها وابسته نیستند و برای ادامه بقا به آفتاب مستقیم علاقه‌مندند که با نتیجه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. منحنی پاسخ گونه به شاخص سطح برگ روند سیگموئیدی معکوس دارد به‌طوری که در ابتدا روند حضور گونه ثابت (۰ تا ۰/۷) و سپس با افزایش این شاخص (بیش از ۰/۸) حضور گونه به سرعت کاهش و در بیشتر از ۰/۱۵ روند ثابتی دارد. با توجه به سوزنی برگ بودن گونه ارس و همچنین وفور تیره گندمیان در سطح منطقه مورد مطالعه با افزایش مقدار شاخص سطح برگ حضور گونه کاهش می‌یابد. شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی (MNDWI) از ۰/۵- تا ۰/۱- روند ثابت و پس از آن احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. مقادیر مثبت شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی (MNDWI) نشان‌دهنده‌ی آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده‌ی پدیده‌های غیرآبی همچون خاک و پوشش گیاهی است (Xu, 2006). به دلیل کوهستانی بودن منطقه از یک‌سو و سرشت اکولوژیکی گونه ارس که نورپسند مقاوم به خشکی است حضور این گونه در مقادیر منفی شاخص آب اختلاف نرمال شده اصلاحی (MNDWI) قابل توجیه است. نتایج این پژوهش با نتایج خوشنویس و همکاران (۱۳۹۸) که گونه ارس را خشکی‌پسند معرفی کرده‌اند مطابقت دارد. با افزایش مقادیر شاخص‌های مقاومت اتمسفری قابل مشاهده (VARI) و شاخص نسبت ساده اصلاح شده (MSR) حضور گونه افزایش و سپس کاهش و ادامه با روند ثابتی اثرگذار است. با توجه به اینکه در بخش شمالی استان زنجان (شامل سه شهرستان زنجان، طارم و بخش شمال شرقی شهرستان ماهنشان) و شهرستان خلخال محتوای آئروسل اتمسفر بالا مانند باران، مه، گرد و غبار دارند شاخص مقاومت اتمسفری قابل مشاهده (VARI) می‌تواند جایگزین سایر شاخص‌های سنجش از دوری قرار گیرد. احتمال حضور گونه ارس در شاخص نسبت سوختگی نرمال شده ۰/۱- تا ۰/۶ مشاهده شد. احتمال حضور گونه تا مقدار صفر روند ثابت و پس از این مقدار تا ۰/۴ تقریباً روند ثابت و در بیش از ۰/۴ روند کاهشی مشاهده شد. محاسبه شاخص نسبت سوختگی نرمال شده (NBR) براساس یک تصویر شطرنجی با باندهای NIR و SWIR است و محدوده مقادیر بین ۱+ و ۱- است. پوشش گیاهی سالم بازتاب بالایی در طیف NIR نشان می‌دهد، در حالی که مناطق اخیراً سوخته از پوشش گیاهی به شدت در طیف SWIR منعکس می‌شوند (Martín, 1998). با توجه به اینکه احتمال حضور گونه در مقادیر مثبت شاخص نسبت سوختگی نرمال شده (NBR) مشاهده شد می‌توان بیان داشت گونه ارس نسبت به آتش‌سوزی حساس است و در مناطقی که اخیراً سوخته احتمال حضور گونه کم است. وجود ترکیبات اسانس‌دار پایه روغن در این گیاه سبب می‌شود قابلیت اشتعال‌پذیری بالایی داشته باشد. معدود مناطقی که این گیاه در آنها پراکنش دارد همواره در معرض برخی آتش‌سوزی‌ها به‌واسطه انسان بوده است. گونه ارس در گذشته در سطح وسیعی به‌صورت متمرکز و یا پراکنده وجود داشته ولی در حال حاضر فقط در مناطق محدودی دیده می‌شود. لذا ضروری است که رویشگاه‌های جایگزین برای جلوگیری از انقراض و حفظ وضعیت موجود گونه ارس معرفی شود.

با وجود شباهت به نسبت زیاد بین نتایج حاصل از دو مدل، متغیرهای اثرگذار و نقشه‌های شایستگی رویشگاه یا

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

الگوهای مکانی در احتمال وقوع پیش‌بینی شده گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) بین الگوریتم‌های مدل متفاوت است اما هم‌پوشانی بسیاری با هم دارند که این مرتبط با بهره‌مندی مدل‌های مختلف از منطق‌های متفاوت در امر مدلسازی است. به‌دلیل تفاوت در ماهیت مدل‌های استفاده شده در این مطالعه نمی‌توان انتظار داشت که نتایج حاصل از مدل‌ها یکسان باشد. از سوی دیگر نتایج حاصل از این پژوهش بیان‌گر این مطلب است که درصد توانایی مدل‌سازی اثرات متقابل پیچیده میان متغیرهای پیش‌بینی کننده را دارد، لذا این مطلب می‌تواند در عملکرد مدل تأثیرگذار باشد؛ لذا استفاده از چند روش پیش‌بینی به جای استفاده از یک روش قابل اعتمادتر است. در این روش می‌توان بهترین مدل را با توجه به کم‌ترین خطا و بالاترین صحت انتخاب کرد. مناطق تعیین شده به عنوان رویشگاه مناسب در این مطالعه می‌تواند در تدوین راهبردها و برنامه‌های مدیریتی با هدف ارزیابی رویشگاه‌های مستعد، امکان حفاظت، تکثیر و پرورش گونه ارس مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که پیش‌بینی پراکندگی بالقوه گونه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) با استفاده از داده‌های پیش‌بینی شده توسط سناریوهای مختلف تغییر اقلیم انجام شود و تغییرات پراکندگی جغرافیایی این گونه در بازه‌های زمانی مختلف (گذشته، حال و آینده) مورد پایش قرار گیرد.

منابع

خوشنویس، م.، تیموری، م.، صادق زاده حلاج، م.ح.، متینی‌زاده، م.، شیراونی، ا. ۱۳۹۸. «بررسی تأثیر تاج پوشش و جهت جغرافیایی آن بر جوانه‌زنی بذر و زنده‌مانی نونهال‌های ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb)». جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۱۱(۳): ۳۶۳-۳۷۱.

داغستانی، م.، زنگنه، م.، طاهری، م. ۱۳۹۶. «بررسی ویژگی‌های کمی و ویژگی‌های خاک توده‌های ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb.) در طارم زنجان». پژوهش و توسعه جنگل، ۳(۲): ۱۷۵-۱۹۰.

روانبخش، ه.، مروی مهاجر، م.ر.، اعتماد، و. ۱۳۸۹. «بررسی تجدید حیات طبیعی گونه‌های چوبی در درختزارهای دامنه جنوبی البرز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد لتیان)». مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۲(۲): ۱۲۵- ۱۱۳.

سفیدی، ک.، فیروزی، ی.، کیوان‌بهجو، ف.، شرری، م.، رستمی‌کیا، ی. ۱۳۹۷. «کمی‌سازی ساختار مکانی توده‌های جنگلی ارس در منطقهٔ کندرق خلخال». جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۱۰(۲): ۲۰۷-۲۲۰.

سیاسر، ه.، و ت. هنر، ۱۳۹۸. «کاربرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در برآورد تبخیر تعرق مرجع روزانه درشمال استان سیستان و بلوچستان». آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۱۳): ۳۷۸-۳۸۸.

صابرفر، ر.، فلاحتکار، س.، حسین‌کیا، س.ح. ۱۳۹۷. «تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست (مطالعه موردی: ارسزارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت شده قرخود)». اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹(۱): ۷۱-۹۱.

صفائی، م.، رضائیان، ه.، ضیائیان فیروزآبادی، پ.، و ع.ا. تراهی، ۱۴۰۱. «مدل‌سازی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر توزیع مکانی بلوط (مطالعه موردی: استان‌های ایلام و لرستان)». تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲(۶۵): ۲۴۷-۲۶۴.

کاکه‌ممی، ا.، معمری، م.، قربانی، ا.، غفاری، س. ۱۴۰۰. «ارزیابی تغییرات کاربری اراضی استان اردبیل با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای». تحقیقات مرتع و بیابان، ۲۸(۳): ۵۵۰- ۵۳۷.

مؤمنی‌مقدم، ت.، ثاقب طالبی، خ.، اکبری‌نیا، م.، اخوان، ر.، حسینی، س.م. ۱۳۹۱. «تأثیر عوامل فیزیوگرافی و ادافیک بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی درختان ارس (مطالعه موردی: منطقه لاین - خراسان)». جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۴(۲): ۱۴۳-۱۵۶.

Ahmadi, K., Mahmoodi, S., Pal, S.C., Saha, A., Chowdhuri, I., Nguyen, T.T., Socha, J. 2023. Improving species distribution models for dominant trees in climate data-poor forests using high-resolution remote sensing. Ecological Modelling, 475: 110190.

Deneu, B., Joly, A., Bonnet, P., Servajean, M., Munoz, F. 2022. Very high resolution species distribution modeling based on remote sensing imagery: how to capture fine-grained and large-scale vegetation ecology with convolutional neural networks?. Frontiers in Plant Science, 13: 1-17.

Dogan, H.H., Karadelev, M., Işiloğlu, M. 2011. Macrofungal diversity associated with the scale-leaf juniper trees, *Juniperus excelsa* and *J. foetidissima*, distributed in

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Yousefi, S., Dastres, E., Edalat, M., Pouyan, S., Eskandari, S. 2021. Modeling and prediction of habitat suitability for Ferula gummosa medicinal plant in a mountainous area. Natural Resources Research, 30: 4861-4884 .

Naghibi, S.A., Dashtpagerdi, M.M. 2017. Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features. Hydrogeology journal, 25(1): 169 .

Naghibi, S.A, Pourghasemi, H.R., Dixon, B. 2016. GIS-based groundwater potential mapping using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 188(1): 44 .

Otto, R., Krusi, B.O., Delgado, J.D., Andez-Palacios, J.M.F., Del-Rey, E.G., Arevalo, J.R. 2010. Regeneration niche of the Canarian juniper: the role of adults, shrubs and environmental conditions. Annals Forest Science, 67: 709-719.

Özkan, K., Gulsoy, S., Aerts, R., Muys, B. 2010. Site properties Crimean Juniper (*Juniperus excelsa*) in semiarid forests of south western Anatolia Turkey. Journal of Environmental Biology, 31: 97-100.

Pérez Chaves, P., Ruokolainen, K., Tuomisto, H. 2018. Using remote sensing to model tree species distribution in Peruvian lowland Amazonia. Biotropica, 50(5): 758-767 .

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring Vegetation System in the Great Plains with ERTS. In Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: 309-317.

Samadi Khanghah, S.S., Moameri, M., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., Biswas, A. 2022. Modeling potential habitats and predicting habitat connectivity for Leucanthemum vulgare lam. In northwestern rangelands of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 194(2): 109.

Sanguet, A., Wyler, N., Petitpierre, B., Honeck, E., Poussin, C., Martin, P., Lehmann, A. 2022. Beyond topo-climatic predictors: Does habitats distribution and Turkey. Turkish Journal of Botany, 35(2): 219-237 .

Elith, J., Leathwick, J.R., Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. Journal of Animal Ecology, 77(4), 802-813.

Fisher, M. 1997. Decline in the Juniper woodlands of Riyadh Reserve in the southwestern Saudi Arabia, responses to climate change, Global ecology and biogeography, 6(5): 379-38.

Gašparovičová, P., Ševčík, M., David, S. 2022. The Prediction of Distribution of the Invasive Fallopia Taxa in Slovakia. Plants, 11(11): 1484 .

Johnson, D.D., Miller, R.F. 2006. Structure and development of expanding western juniper woodlands as influenced by two topographic variables. Forest ecology and management, 229: 7-15 .

Kahveci, G., Alan, M., Köse, N. 2018. Distribution of juniper stands and the impact of environmental parameters on growth in the drought-stressed forest-steppe zone of Central Anatolia. Dendrobiology, 80: 61-69 .

Klippel, L., Krusic, P.J., Brandes, R., Hartl-Meier, C., Trouet, V., Meko, M., Esper, J. 2017. High-elevation inter-site differences in Mount Smolikas tree-ring width data. Dendrochronologia, 44: 164-173 .

Leitão, P.J., Santos, M.J. 2019. Improving models of species ecological niches: a remote sensing overview. Frontiers in Ecology and Evolution, 7: 1-9 .

Livingston, R.B. 1972. Influence of birds, stone and soil on the establishment of pasture juniper, Juniper communis and Red cedar and J. virginiana in New England pastures, Ecology, 53(6): 1141–1147 .

Maren, I.E, Karki, S., Prajapati, C., Yadav, R.K., Shresth, B.B. 2015. Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? Journal of Arid Environments, 121(1): 112-123 .

Martín, M.P. 1998. Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. Doctoral thesis, Departamento de Geografía. Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá, Spain.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

remote sensing information improve predictions of species distribution models?. Global Ecology and Conservation, 39: e02286.

Sarangzai, A.M., Ahmed, M., Ahmed, A., Tareen, L., Jan, S.U. 2012. The ecology and dynamics of *Juniperus excelsa* forest in Balochistan-Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 44(5): 1617-1625.

Stephan, J., Bercachy, C., Bechara, J., Charbel, E., López-Tirado, J. 2020. Local ecological niche modelling to provide suitability maps for 27 forest tree species in edge conditions. iForest-Biogeosciences and Forestry, 13(3): 230 .

Westreich, D., Lessler, J., Funk, M.J. 2010. Propensity score estimation: neural networks, support vector machines, decision trees (CART) and meta-classifiers as alternatives to logistic regression. Clinical Epidemiology, 63(8): 826-833 .

Wu, H., Franklin, S.B., Liu, J., Lu, Z. 2019. Relative importance of density dependence and topography on tree mortality in a subtropical mountain forest. Forest Ecology and Management, 384: 169-179 .

Xu, H. 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14): 3025-3033.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

Modeling species habitats of *Juniperus excelsa* M.Bieb. using remote sensing and geographic information system in Ardabil and Zanjan province

Azad Kakehmami[1], Ardavan Ghorbani[*2], Mehdi Moameri[3], Abazar Esmali Ouri[4], Zeinab Hazbavi[5], Sahar Ghafari [6]

[1]PhD. Student of Rangeland Science and Engineering, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[2]Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[3]Associate Professor, Department of Plant Sciences and Medicinal Plants, Meshgin Shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili Iran
[4]Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[5]Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[6]Ph.D. of Rangeland Science, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received: 2023/06/25; Accepted: 2023/09/13

Abstract

Remote sensing data provide a high ability to represent habitat characteristics and use in species distribution models. The purpose of this study is to determine the most important of remote sensing predictors, including climatic indices (precipitation and temperature), primary and secondary topographic indices (elevation, slope, direction, Topographic Position Index (TPI) and Terrain Roughness Index (TRI) and remote sensing indices (Global Environmental Monitoring Index (GEMI), Leaf Area Index (LAI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Modified Simple Ratio Index (MSR), Normalized Burn Ratio Index (NBR) and Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)) using two species distribution models (Boosted Regression Tree and Random Forest) to predict the presence of J. excelsa in Khalkhal County of Ardabil province and northern part of Zanjan province using SAHM software. The evaluation of prediction models using AUC chart (Area under curve) showed that it is at an excellent level for both the BRT model (0.991) and the RF model (0.974). The most important affecting habitat desirability based on the BRT method include annual precipitation, slope, digital elevation model, temperature, GEMI index and TRI index variables respectively. The most important variables affecting habitat desirability based on the RF method, respectively, include annual precipitation, digital elevation model, GEMI index, slope, VARI index, temperature, MSR index, TRI index, TPI index, NBR index, MNDWI index, LAI index and aspect. The region mapped in the study as suitable habitats' for the species could be used in the planning strategies with the aim of evaluating the susceptible habitats, the possibility of conservation, reproduction and breeding. Considering that the modeling method choice is the main source of variability in predictions and choosing the best prediction model is not simple, therefore, it is suggested to use a combination of these models instead of relying on the outputs of a single model.

***Keywords*:** Boosted Regression Tree, Random Forest, Remote sensing indices

*Corresponding author: a_ghorbani@uma.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]