

## تعیین عوامل تأثیرگذار در انتشار گونه *Festuca ovina* با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: گرادیان ارتفاعی مراتع مغان-سبلان استان اردبیل)

سحر غفاری<sup>۱</sup>، اردوان قربانی<sup>۲\*</sup>، مهدی معمری<sup>۳</sup>، رئوف مصطفی‌زاده<sup>۳</sup>، محمود بیدارلرد<sup>۴</sup> و آزاد کاکه‌ممی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکترای علوم مرتع، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، پست الکترونیک: a\_ghorbani@uma.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران

۵- دانشجوی دکترای علوم مرتع، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۵

### چکیده

این تحقیق با هدف پیش‌بینی گسترش رویشگاه گونه *Festuca ovina* با روش آنتروپی حداکثر و تعیین عوامل مؤثر بر انتشار آن در گرادیان ارتفاعی مراتع مغان-سبلان استان اردبیل انجام شد. ۲۸ مکان مطالعاتی انتخاب و در هر مکان مطالعاتی ۳ ترانسکت و در طول هر ترانسکت ۱۰۰ متری ۱۰ پلات یک مترمربعی با فاصله ده متر از یکدیگر برای نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌برداری خاک در هر مکان مطالعاتی، از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری انجام شد. خصوصیات خاک با استفاده از روش‌های آمار مکانی، خصوصیات توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، اطلاعات اقلیمی با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه و سنج‌های سیمای سرزمین به کمک نقشه کاربری تهیه شد. نقشه پیش‌بینی مربوط به پراکنش گونه *F. ovina* با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر تهیه شد. نقش عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه با استفاده از روش جک‌نایف و منحنی‌های پاسخ بررسی گردید. متغیرهای ارتفاع، شیب، تغییرات اندازه ضریب لکه، پتانسیم عمق ۱۵-۳۰ و آهک عمق ۱۵-۳۰ بیشترین سهم را در مدل داشتند. شاخص سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۸۶ به دست آمد که نشان‌دهنده صحت و کارایی متوسط مدل در شناسایی مطلوب‌ترین مناطق پراکنش است. ضریب کاپای حاصل از مقایسه نقشه‌های پیش‌بینی و واقعی مقدار ۰/۷۲ به دست آمد که در سطح خیلی خوب است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی، مطلوبیت زیستگاه، زمین آمار.

### مقدمه

پیش‌بینی پراکنش بالقوه یک گونه گیاهی، بر اساس ارتباط بین نقاط رخداد گونه گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف

مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی، به‌عنوان

تخمین توزیع گونه‌های گیاهی تنها بر پایه داده‌های حضور و تخمین احتمال ناشناخته توزیع آنهاست (Elith *et al.*, 2006). ایده کلی حاکم بر حداکثر آنتروپی، تخمین احتمال توزیع یک هدف از طریق یافتن احتمال توزیع حداکثر آنتروپی است (به معنای بیشترین گسترش یا نزدیک‌ترین حالت به فرم یکنواخت)، البته این گسترش با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی است که در مورد اطلاعات ناکامل ما در مورد پراکنش گونه هدف وجود دارد. در واقع حداکثر آنتروپی یک ارزش احتمال خام را برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌کند که نشان‌دهنده برازندگی و تناسب هر پیکسل در رابطه با دیگر پیکسل‌ها می‌باشد. یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی روش آنتروپی حداکثر این است که سهم نسبی هریک از متغیرها و درصد مشارکت آن متغیر در کل مدل پیش‌بینی مشخص می‌شود. این ویژگی به کاربران اجازه می‌دهد تا با شناخت متغیرهای دارای تأثیر بیشتر در وقوع گونه‌های مختلف، در مطالعات بعدی تنها بر متغیرهای مهم متمرکز شوند و هزینه و زمان مورد استفاده برای تحقیقات بعدی کاهش و در مقابل صحت پیش‌بینی مدل‌ها افزایش یابد. همچنین این مدل زمانی که تعداد نقاط حضور اندک باشد کارایی بیشتری نسبت به انواع مدل‌های دیگر دارد (Phillips *et al.*, 2006). در سطح دنیا با استفاده از روش آنتروپی حداکثر تحقیقات نسبتاً زیادی برای مدل‌سازی پراکنش گونه انجام شده است. به‌عنوان مثال Vessella و Schirone (۲۰۱۳) نشان دادند که حتی در مواقعی که نمونه‌ها هم کم است، عملکرد پیش‌بینی روش آنتروپی حداکثر می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین صحت پیش‌بینی را دارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد. Qin و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از دو مدل آنتروپی حداکثر و گارپ (Genetic algorithm: GARP) به پیش‌بینی تهاجم گونه *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc در منطقه بومی آن و بعد در سطح جهانی پرداختند. هر دو روش مدل‌سازی پیش‌بینی‌های قابل اعتمادی را از وسعت تهاجم این گونه در سطح جغرافیایی ارائه کردند ولی نتایج مدل آنتروپی حداکثر محافظه‌کارانه‌تر بود.

می‌شود. مدل‌های پیش‌بینی کننده رویشگاه، تناسب رویشگاه را برای استقرار گونه‌های گیاهی مشخص می‌کنند و به مدیران منابع طبیعی کمک می‌کند تا با اختصاص زمان و هزینه کمتر، به شناسایی عوامل تهدیدکننده جمعیت‌ها، تعیین عوامل مهم در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، رویشگاه مطلوب گونه‌های گیاهی، ارائه فرضیه‌های جدید در ایجاد الگوهای تنوع زیستی، پیش‌بینی تغییرات سناریوهای آینده (اعم از تغییر کاربری، مدیریت و ...)، طرح‌های مبارزه بیولوژیک با فرسایش و مناطق با اهمیت حفاظتی بپردازند (Bagheri *et al.*, 2017). تاکنون مجموعه گسترده‌ای از مدل‌های آماری و مبتنی بر یادگیری ماشین معرفی شده‌اند (Bedia *et al.*, 2011). یک جنبه مهم در مدل، انتخاب روش مدل‌سازی مناسب است، زیرا یک انتخاب با مطلوبیت کم باعث پیش‌بینی با عملکرد ضعیف خواهد شد (Gaston & Garcia-Vinas, 2011). انجمن مدل‌سازی بوم‌شناسی نشان داده است که روش مدل‌سازی در توانایی پیش‌بینی مدل‌های توزیع گونه‌ها اثر معنی‌داری نشان داده است (Muñoz & Felicísimo, 2004). به‌طور کلی اطلاعات در دسترس، بیشتر داده‌های مربوط به حضور گونه‌ها بوده و داده‌های عدم حضور بندرت در دسترس هستند. حتی اگر این داده‌ها در دسترس نیز باشند، مقادیر آنها با شک و تردید همراه است. به همین دلیل، روش‌های مدل‌سازی که فقط به داده‌های حضور گونه‌ها نیاز دارند، از اهمیت زیادی برخوردارند (Zare Chahouki *et al.*, 2017) و Bagheri *et al.*, (2018). کارایی روش‌های مبتنی بر نقاط حضور، متأثر از انتخاب پس‌زمینه، متغیرهای پیش‌بینی کننده، پیچیدگی انتخاب پارامترهای مدل‌سازی و مهمتر از همه وضعیت نقاط حضور می‌باشند (Warren & Seifert, 2010). یکی از این روش‌ها، مدل‌سازی بر اساس روش آنتروپی حداکثر بر اساس داده‌های فقط حضور بوده و هر دو نوع داده پیوسته و ناپیوسته را می‌توان در تجزیه و تحلیل مدل استفاده نمود. مدل آنتروپی حداکثر در تجزیه و تحلیل مدل استفاده نمود. مدل آنتروپی حداکثر (Maximum entropy modeling: Maxent) روشی برای

شده است. فرضیات این پژوهش: الف) مطلوبیت بخش‌های مختلف گرادیان ارتفاعی مراتع مغان- سیلان استان اردبیل به‌عنوان زیستگاه متفاوت؛ ب) گونه *F.ovina* تخصص‌گرا بوده که مؤلفه‌های خاص زیستگاهی را انتخاب می‌کند.

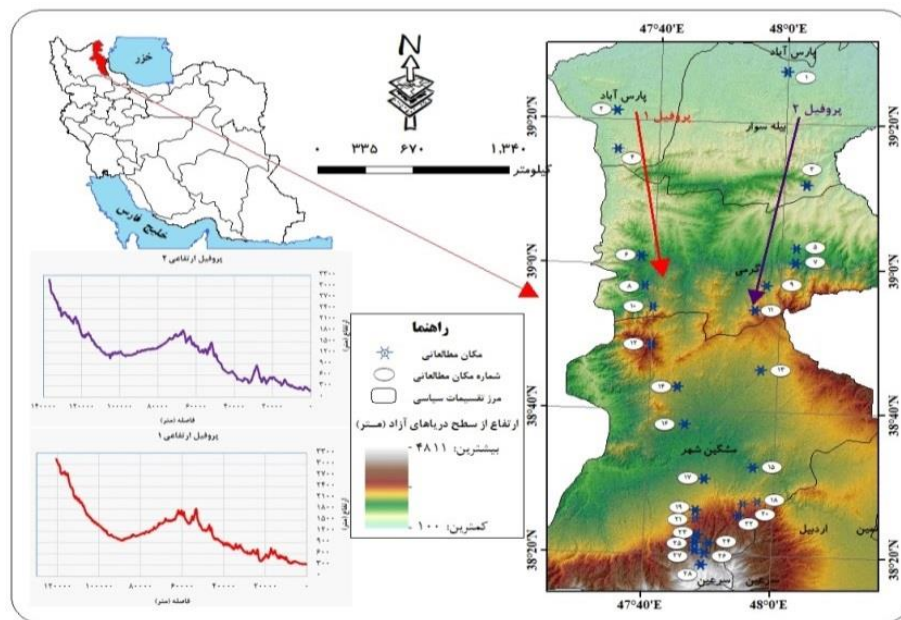
## مواد و روش

### منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی با حدود جغرافیایی  $47^{\circ}45'$  تا  $48^{\circ}23'$  طول شرقی و  $38^{\circ}18'$  تا  $39^{\circ}27'$  عرض شمالی در گرادیان ارتفاعی مراتع مغان- سیلان استان اردبیل قرار گرفته است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود  $617356/57$  هکتار است (شکل ۱).

Esfanjani و همکاران (۲۰۱۸)، در بررسی تأثیر عوامل محیطی در پراکنش قابلیت گونه‌های *Festuca*, *Artemisia aucheri* و *ovina* در مراتع چهار باغ استان گلستان با استفاده از روش آنتروپی حداکثر نتیجه گرفتند که این روش مدل‌سازی برای دو گونه *F.ovina* و *B.tomentellus* موفق‌تر و مناسب‌تر است. با توجه به نتایج مدل، مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در ترجیح رویشگاه گونه مورد بررسی به ترتیب متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، فسفر، سیلت، پتاسیم، ماده آلی و شیب بوده است.

این پژوهش با هدف بررسی قابلیت و کارایی روش آنتروپی حداکثر در تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه *F.ovina* در گرادیان ارتفاعی مراتع مغان- سیلان استان اردبیل انجام



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

۳۰۰ متر ارتفاع مناسب برای مقایسه تغییرات پوشش گیاهی شناخته شد، اما در بازه ارتفاعی کمتر از ۳۰۰ متر، ارتفاع تأثیر کمی در تغییر گیاهان داشت (Ghafari et al., 2018).

براساس بررسی منابع، در ایران به‌جز منطقه هیرکانی، مطالعه تغییرات گیاهی در بازه ارتفاعی ۵۰۰ متر انجام شده است (Makhdoom, 2005 و Ghafari et al., 2018)؛ اما در منطقه مورد مطالعه، با توجه به مشاهدات میدانی، بازه ارتفاعی

جدول ۱- موقعیت و ویژگی مکان‌های مطالعاتی در طول گرادیان ارتفاعی مغان- سبلان

ارتفاع	شماره مکان مطالعاتی روی نقشه (۱)	مختصات جغرافیایی	شیب (درصد)	گونه‌های غالب	بارندگی (mm)	دما (°C)	بافت خاک
۱۰۰-۳۰۰	۱	"۰۷'۰۱° ۴۸ "۲۰'۲۷° ۳۹	۳	<i>Lolium perenne -Medicago minima</i>	۲۷۰	۱۴	سیلت-رسی-لومی
۱۰۰-۳۰۰	۲	"۲۷'۳۴° ۴۷ "۱۹'۲۱° ۳۹	۳	<i>Trigonella monspeliaca-Erodium deserti</i>	۲۷۴	۱۴	سیلت-رسی-لومی
۳۰۰-۶۰۰	۳	"۵۳'۰۴° ۴۸ "۳۸'۱۱° ۳۹	۲۲	<i>Artemisia austriaca-Trifolium subterraneum</i>	۲۷۹	۱۳	رسی-لومی
۳۰۰-۶۰۰	۴	"۵۰'۳۴° ۴۷ "۰۲'۱۶° ۳۹	۲۲	<i>Avena eriantha -Artemisia austriaca</i>	۲۸۲	۱۳	رسی-لومی
۶۰۰-۹۰۰	۵	"۳۱'۰۳° ۴۸ "۵۱'۰۲° ۳۹	۳۱	<i>Trifolium subterraneum</i>	۲۹۸	۱۲	رسی
۶۰۰-۹۰۰	۶	"۱۴'۳۹° ۴۷ "۱۷'۰۱° ۳۹	۱۲	<i>Trachynia distachya</i>	۳۰۰	۱۲	رسی-لومی
۹۰۰-۱۲۰۰	۷	"۲۸'۰۳° ۴۸ "۴۸'۰۰° ۳۹	۳۸	<i>Medicago minima-Poa bulbosa-Trifolium resupinatum</i>	۳۱۱	۱۱	شنی-رسی-لومی
۹۰۰-۱۲۰۰	۸	"۵۹'۳۹° ۴۷ "۱۱'۵۷° ۳۸	۳۶	<i>Bromus arvensis-Thymus kotschyanus</i>	۳۲۱	۱۱	رسی-لومی
۱۲۰۰-۱۵۰۰	۹(*)	"۰۴'۵۹° ۴۷ "۳۲'۵۷° ۳۸	۲۱	<i>Astragalus microcephalus-Festuca ovina</i>	۳۴۲	۱۰	شنی-لومی

ارتفاع	شماره مکان مطالعاتی روی نقشه (۱)	مختصات جغرافیایی	شیب (درصد)	گونه‌های غالب	بارندگی (mm)	دما (°C)	بافت خاک
۱۲۰۰-۱۵۰۰	(*)۱۰	"۱۷' ۴۱° ۴۷ "۱۸' ۵۴° ۳۸	۹	<i>Astragalus microcephalus-Medicago minima</i>	۳۳۵	۱۰	شنی-لومی
۱۵۰۰-۱۸۰۰	(*)۱۱	"۲۳' ۵۷° ۴۷ "۰۹' ۵۴° ۳۸	۱۸	<i>Artemisia austriaca -Festuca ovina</i>	۳۵۹	۱۰	شنی-لومی
۱۵۰۰-۱۸۰۰	(*)۱۲	"۱۴' ۴۱° ۴۷ "۰۵' ۴۹° ۳۸	۲۸	<i>Festuca ovina -Dactylis glomerata</i>	۳۴۸	۹	لومی
۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۳	"۳۹' ۵۸° ۴۷ "۵۳' ۴۵° ۳۸	۱	<i>Xeranthemum squamosum -Artemisia austriaca</i>	۳۳۷	۱۰	شنی-لومی
۱۲۰۰-۱۵۰۰	(*)۱۴	"۴۱' ۴۵° ۴۷ "۱۶' ۴۳° ۳۸	۳۰	<i>Festuca ovina-Trigonella arcuata - Erodium cicutarium</i>	۳۲۸	۱۰	لومی
۹۰۰-۱۲۰۰	(*)۱۵	"۵۴' ۵۷° ۴۷ "۲۲' ۳۲° ۳۸	۲۴	<i>Artemisia austriaca</i>	۳۲۳	۱۱	شنی-رسی-لومی
۹۰۰-۱۲۰۰	۱۶	"۰۰' ۴۷° ۴۷ "۰۹' ۳۸° ۳۸	۱۲	<i>Artemisia austriaca- Lasiopogon muscoides</i>	۳۱۶	۱۱	رسی-لومی
۱۲۰۰-۱۵۰۰	(*)۱۷	"۵۲' ۵۸° ۴۷ "۳۸' ۲۷° ۳۸	۳۵	<i>Astragalus microcephalus -Trifolium arvense-Acantholimon gilliatii</i>	۳۴۰	۱۰	شنی-رسی-لومی
۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۸	"۲۴' ۵۰° ۴۷ "۳۸' ۳۰° ۳۸	۱۲	<i>Medicago minima-Aegilops triuncialis-Astragalus vegetus</i>	۳۲۵	۱۰	شنی-لومی
۱۵۰۰-۱۸۰۰	(*)۱۹	"۳۰' ۵۶° ۴۷	۱۴	<i>Astragalus microcephalus - Taeniatherum caput-medusae</i>	۳۵۵	۹	رسی-لومی

ارتفاع	شماره مکان مطالعاتی روی نقشه (۱)	مختصات جغرافیایی	شیب (درصد)	گونه‌های غالب	بارندگی (mm)	دما (°C)	بافت خاک
		"۱۷' ۲۷° ۳۸					
۱۵۰۰-۱۸۰۰	۲۰	"۱۰' ۴۹° ۴۷ "۱۵' ۲۶° ۳۸	۲۰	<i>Taeniatherum caput-medusae - Medicago sativa</i>	۳۴۶	۹	شنی-لومی
۱۸۰۰-۲۱۰۰	(*)۲۱	"۵۵' ۵۵° ۴۷ "۴۱' ۲۵° ۳۸	۳۴	<i>Astragalus microcephalus-Bromus arvensis-Thymus kotschyanus</i>	۳۶۶	۸	رسی-لومی
۱۸۰۰-۲۱۰۰	(*)۲۲	"۰۹' ۴۹° ۴۷ "۰۶' ۲۵° ۳۸	۲۰	<i>Bromus tectorum</i>	۳۶۱	۸	لومی-شنی
۲۱۰۰-۲۴۰۰	(*)۲۳	"۱۹' ۵۱° ۴۷ "۴۵' ۲۱° ۳۸	۳۱	<i>Festuca akhaniai-Astragalus eristylus-Poa pratensis</i>	۳۸۵	۷	شنی-لومی
۲۱۰۰-۲۴۰۰	(*)۲۴	"۳۱' ۴۹° ۴۷ "۵۲' ۲۲° ۳۸	۳۷	<i>Astragalus aureus-Festuca ovina</i>	۳۷۹	۷	شنی-لومی
۲۴۰۰-۲۷۰۰	(*)۲۵	"۱۳' ۴۹° ۴۷ "۴۷' ۲۱° ۳۸	۳۹	<i>Festuca ovina- Astragalus aureus</i>	۳۹۸	۶	شنی-لومی
۲۴۰۰-۲۷۰۰	(*)۲۶	"۵۱' ۵۰° ۴۷ "۲۱' ۲۰° ۳۸	۴۰	<i>Festuca ovina- Trifolium medium</i>	۳۹۳	۶	شنی-لومی
۲۷۰۰-۳۰۰۰	(*)۲۷	"۱۶' ۴۹° ۴۷ "۴۳' ۲۰° ۳۸	۳۳	<i>Lolium rigidum-Festuca ovina- Trifolium medium</i>	۴۰۴	۶	شنی-لومی
۳۰۰۰-۳۳۰۰	(*)۲۸	"۲۵' ۵۰° ۴۷ "۴۴' ۱۸° ۳۸	۱۹	<i>Festuca ovina-Alopecurus vaginatus</i>	۴۲۵	۱۱	شنی-لومی

مکان‌های مطالعاتی دارای ستاره نقاط مشاهده حضور گونه می‌باشد.

عمق) شامل: اسیدپتته، هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، ازت، ماده آلی، ماده آلی ذره‌ای، وزن مخصوص ظاهری، بی‌کربنات، آهک، رس، شن، سیلت، رس قابل انتشار و سدیم؛ ۳ عامل پوشش سطحی خاک شامل: خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرگ؛ ۲ عامل اقلیمی شامل: میانگین بارندگی سالانه و درجه حرارت سالانه؛ ۳ عامل پستی و بلندی شامل: ارتفاع، شیب و جهت و ۷ سنجه سرزمین شامل: تراکم لبه، متوسط سطح لکه، تغییرات ضریب اندازه لکه، میانگین فاصله تا آثار انسانی، شاخص تجمع، میانگین شاخص شکل و متوسط شاخص بعد فراکتال مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات اقلیمی با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و اطلاعات فیزیوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شدند. استخراج سنجه‌های سرزمین با استفاده از نرم‌افزار 4 Fragstats انجام شد. سپس سنجه‌های سیمای سرزمین مؤثر بر خصوصیات پوشش گیاهی به عنوان متغیر محیطی در هر طبقه ارتفاعی محاسبه و نقشه‌سازی گردید. برای توصیف تغییرات مکانی و تهیه نقشه هر متغیر خاک از روش‌های آمار مکانی استفاده شد. برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار فضایی از تجزیه و تحلیل «تغییرنما یا واریوگرام» در نرم‌افزار GS+5 استفاده گردید. آنالیز همبستگی مکانی پارامترهای محیطی با استفاده از مدل‌های مختلف واریوگرام (گوسین، نمایی، کروی و خطی) بررسی شد و با توجه به مجذور میانگین مربعات خطا، مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و حد آستانه بهترین مدل واریوگرام برای هر یک از متغیرهای محیطی تعیین شد (Ghorbani et al., 2018). بعد از تعیین اجزای تغییرنما برای هر یک از خصوصیات خاک با توجه به ساختار مکانی داده‌ها، خصوصیات واریوگرام و ارزیابی میزان انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش اعتبارسنجی متقاطع به منظور درون‌یابی خصوصیات خاک روش کریجینگ انتخاب شد (Ghorbani et al., 2018). به‌طور

با استفاده از اطلاعات ذکرشده در امتداد گرادیان ارتفاعی مغان-سبلان بین ۱۰۰ تا ۳۳۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا (ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر، عمدتاً زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و صنعتی و فقدان مراتع طبیعی هستند و مراتع در ارتفاع بیش از ۳۳۰۰ متر فاقد جاده دسترسی بودند) نمونه برداری با فواصل ارتفاعی ۳۰۰ متر از سطح دریا انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه دارای تابستان خشک و زمستان‌های سرد است، برای سه تا چهار ماه از سال با برف و یخ پوشانده می‌شود؛ در اواسط اردیبهشت تا اواسط شهریور ماه، فصل خشک است. در ارتفاعات پایین، آب و هوا نیمه خشک است و در ارتفاعات بالا، سرد و نیمه خشک است (Ghorbani et al., 2018 و Ghafari et al., 2018). آمار توصیفی مکان‌های مطالعاتی در جدول ۱ تشریح شده است.

#### نمونه برداری داده‌های محیطی

نمونه برداری از عوامل پستی و بلندی، خاک و پوشش گیاهی به منظور مدل‌سازی در دو پروفیل از ۱۰۰ متر تا ۳۳۰۰ متر از سطح دریا از دشت مغان تا نیمه شمالی سبلان در استان اردبیل در مجموع با انتخاب ۲۸ مکان مطالعاتی انجام شد. در هر مکان مطالعاتی ۳ ترانسکت و در طول هر ترانسکت ۱۰۰ متری ۱۰ پلات یک مترمربعی (اندازه پلات با توجه به نوع و نحوه پراکنش گونه‌های گیاهی و با توجه به مطالعات گذشته Nazari Anbaran et al., 2016) و (Ghorbani & Bahrami, 2017) با فاصله ده متر از یکدیگر برای نمونه برداری انتخاب شد. نمونه برداری خاک از دو عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی متری (عمق خاک منطقه و عمق ریشه‌دوانی گیاهان) و همچنین در پلات‌های اول، پنجم و دهم هر ترانسکت برداشت و با هم مخلوط شد. با توجه به اقلیم منطقه و اهمیت عوامل خاکی و تأثیر فعالیت‌های انسانی در این مطالعه، ۱۷ عامل خاکی (در دو

پتاسیم عمق ۳۰-۱۵)، یک متغیر پوشش سطح زمین (خاک لخت)، پنج متغیر سنجه سیمای سرزمین (تراکم لبه، متوسط سطح لکه، تغییرات ضریب اندازه لکه، میانگین فاصله تا آثار انسانی و شاخص تجمع) در فرایند مدل‌سازی استفاده شد (جدول ۲).

آماده‌سازی لایه‌های ورودی برای مدل آنتروپی حداکثر الگوریتم مدل آنتروپی حداکثر به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع‌های مکانی گونه می‌پردازد. در این مدل، با استفاده از نقاط حضور گونه ( $x_1$  تا  $x_n$ ) و فضای جغرافیایی محدود (مجموعه پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه) احتمال توزیع نامعلوم  $\hat{\pi}$  محاسبه شد (Phillips *et al.*, 2006). آنتروپی  $\hat{\pi}$  به صورت زیر محاسبه گردید.

$$H(\hat{\pi}) = \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x)$$

ln: لگاریتم طبیعی، X: مجموعه پیکسل‌های منطقه، x: نقاط حضور گونه

معمول، در بسیاری از تحقیقات مرتبط با مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها و به منظور افزایش صحت تجزیه و تحلیل برای کمی کردن ارتباط بین متغیرها و گونه‌های گیاهی، اقدام به محدود کردن متغیرهای مورد بررسی شده است. در بررسی روابط پراکنش پوشش گیاهی با عوامل محیطی، ابتدا برای جلوگیری از هم‌خطی و انتخاب مهمترین شاخص‌های محیطی با کمترین همبستگی و هم‌خطی، همبستگی بین عوامل محیطی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کاهش اثرهای نامطلوب ناشی از همبستگی میان متغیرها از بین جفت متغیرهایی که دارای همبستگی بالاتر از ۰/۸ بودند با انجام آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از آنها حذف شد؛ در غیر این صورت متغیرهایی که همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد با یکدیگر داشتند با یک وزن وارد مدل شدند (Songlin *et al.*, 2007). آزمون همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. از ۴۸ متغیر محیطی اولیه (پستی و بلندی، خاک، اقلیمی، سنجه‌های سیمای سرزمین و پارامترهای سطحی خاک)، ۲۲ متغیر محیطی شامل دو متغیر توپوگرافی (ارتفاع و شیب)، یک متغیر اقلیمی (میانگین بارندگی سالانه)، ۱۳ متغیر خاکی (اسیدیته عمق ۰-۱۵، هدایت الکتریکی عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰، آهک عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰، رس عمق ۰-۱۵ و رس قابل انتشار عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰، سیلت عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰، کلسیم عمق ۰-۱۵ و وزن مخصوص ظاهری و



جدول ۲- فهرست متغیرهای مورد استفاده در فرایند مدل‌سازی

متغیر محیطی	روش اندازه‌گیری	واحد اندازه‌گیری	روابط ریاضی	شرح/پیامدهای زیست محیطی
سطح پوشش زمین	برآورد چشمی در سطح (پلات)	درصد (%)	-	-
اقلیمی	متوسط بارندگی سالانه درون‌یابی داده‌های باران سنجی و سینوپتیک	میلی‌متر (mm)	-	-
	اسیدیته	-	-	-
	هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر (ds/m)	-	-
	آهک	درصد	-	-
	بتاسیم	میلی‌اکی‌والان در لیتر	-	-
	کلسیم	میلی‌اکی‌والان در لیتر	-	-
	رس	درصد (%)	-	-
	سیلت	درصد (%)	-	-

متغیر محیطی	روش اندازه گیری	واحد اندازه گیری	روابط ریاضی	شرح / پیامدهای زیست محیطی
رس قابل انتشار	هیدرومتری و به صورت نسبتی از کل رس خاک	درصد (%)	-	-
وزن مخصوص ظاهری	استوانه های فلزی با حجم ثابت	گرم	-	-
ارتفاع از سطح دریا	GPS	متر	-	-
شیب	DEM	درصد (%)	-	-
متوسط سطح لکه	نرم افزار Fragstats	هکتار	$MPS = \frac{\sum_{i=1}^m [a_i]}{m}$ <p><math>a_i</math> = مساحت لکه؛ <math>m</math> = تعداد کل انواع لکه</p>	میانگین اندازه لکه / مربوط به تکه تکه شدن زیستگاه
سنجه سیمای سرزمین	تغییرات ضریب اندازه لکه	-	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [a_i - MPS]^2}{m}}$ <p><math>a_i</math> = مساحت لکه؛ <math>m</math> = تعداد کل انواع لکه؛ <math>MPS</math> = متوسط سطح لکه</p>	تغییرات در اندازه لکه ها / مربوط به تکه تکه شدن زیستگاه

شرح/پیامدهای زیست محیطی	روابط ریاضی	واحد اندازه گیری	روش اندازه گیری	متغیر محیطی
مقدار لبه در واحد سطح / مربوط به اثر متقابل با مناطق همجوار	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10000)$ <p><math>e_{ik}</math> = طول کل حاشیه‌های لکه‌های کلاس نوع <math>i</math> در سیمای سرزمین؛ <math>A</math> = مساحت کل سیمای سرزمین؛ برای تبدیل به هکتار در 10000 ضرب شده است.</p>	متر در هکتار	نرم‌افزار Fragstats	تراکم لبه
فاصله اقلیدسی لبه به لبه بین هر سایت نمونه و دیگر موارد استفاده از زمین مشخص / تأثیر انواع استفاده از زمین‌های مجاور	$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{m}$ <p><math>h_i</math> = فاصله هر لکه نسبت به نزدیک‌ترین همسایه از نوع خود؛ <math>m</math> = تعداد کل نزدیک‌ترین همسایه به لکه</p>	متر	نرم‌افزار Fragstats	فاصله تا آثار انسانی (زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و یا هر ساخت و سازی)
فراوانی جفت‌های مختلف از انواع لکه (انواع لکه‌های مشابه مجاور همسان) که در نقشه پهلو به پهلو بنظر می‌رسند / تعیین اینکه الگوی مکانی کپه‌ای است و یا تکه‌تکه	$AI = \left[ \left( \frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right) P_i \right] (100)$ <p><math>g_{ii}</math> = تعداد یال بین پیکسل لکه <math>i</math> براساس روش تک شمارش، <math>\max g_{ii}</math> = حداکثر تعداد یال بین پیکسل لکه <math>i</math> براساس روش تک شمارش؛ <math>P_i</math> = نسبت چشم‌انداز متشکل از لکه <math>i</math></p>	-	نرم‌افزار Fragstats	شاخص تجمع

پارامتر در دیگر پارامترها نیز بررسی شد. آزمون جک‌نایف (Jackknife) می‌تواند برای محاسبه قدرت نسبی هر متغیر پیشگو به‌کار رود. نتایج آزمون جک‌نایف شامل سه بخش: (۱) استفاده از تمامی متغیرهای ورودی، (۲) استفاده از تمامی متغیرهای ورودی به‌جز یک متغیر، (۳) استفاده از تنها یک متغیر ورودی بوده است (شهریان و همکاران، ۱۳۹۵). تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (Receiver Operating Characteristic curve: ROC) و مساحت زیر منحنی (Area Under the Curve: AUC) برای ارزیابی کیفیت کلی مدل استفاده شد. نمودار ROC از طریق رسم حساسیت (Sensitivity) در برابر اختصاصیت (Specificity) به‌دست آمد. این منحنی به‌عنوان ارتباط میان نسبتی از حضورهایی که صحیح پیش‌بینی شده‌اند حساسیت و نسبتی از عدم حضورهایی که غیر صحیح پیش‌بینی شده‌اند اختصاصیت تعریف شد. برای ایجاد نمودار ROC، درصد مشخصی از نقاط حضور برای آموزش مدل و بقیه برای مرحله ارزیابی مدل استفاده شد. بنابراین مدلی دارای پیش‌بینی ایده‌آل بود که ROC تولید شده توسط آن از نزدیک محورهای بالا و چپ می‌گذشت و به‌عبارت دیگر سطح زیر منحنی برابر یک بود. معنی دار بودن این منحنی توسط پارامتر AUC مشخص شد. AUC این احتمال را ارزیابی می‌کند که مکان‌های حضور گونه که به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، مطلوبیت بالاتری به‌عنوان زیستگاه گونه نسبت به مکان‌های عدم حضور که به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، داشته است. AUC با امتیاز ۱ به معنی پیش‌بینی کامل و AUC با امتیاز ۰/۵ به معنی پیش‌بینی تصادفی در نظر گرفته شد. مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ بیانگر مدل ضعیف، بین ۰/۷ تا ۰/۹ مدل متوسط/منطقی و AUC بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی عالی مدل در نظر گرفته شد (Peterson et al., 2011). به‌دلیل اینکه خروجی مدل آنتروپی حداکثر یک نقشه پیوسته است، ضروری است که برای تعیین حضور یا عدم‌حضور گونه‌های مورد نظر، حد آستانه

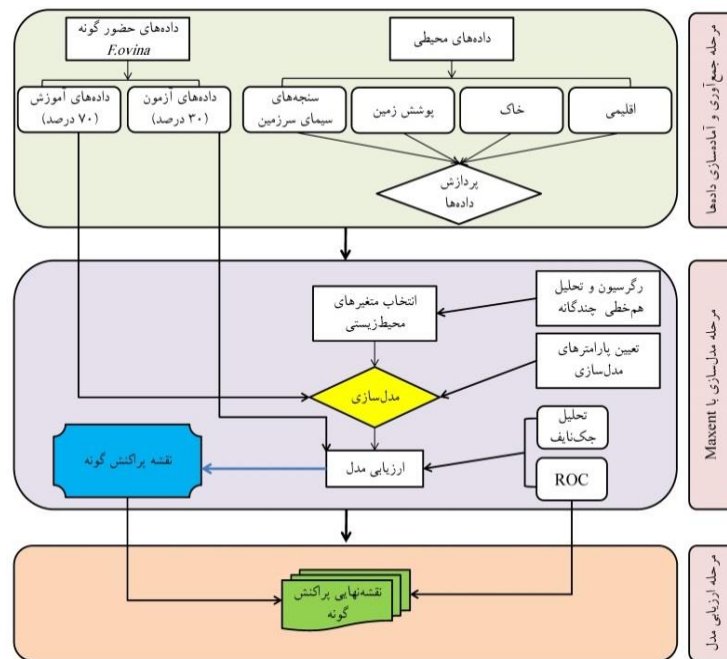
برای ساخت مدل آنتروپی حداکثر، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی و اطلاعات مربوط به نقاط حضور گونه مورد نیاز است. روش آنتروپی حداکثر تا حدود زیادی به نرمال بودن و یکسان بودن ویژگی‌های لایه‌های رستری ورودی (مختصات، قدرت تفکیک و ...) حساسیت دارد و عدم رعایت این اصل سبب انحراف از محاسبات صحیح و تولید خروجی‌ها، بی‌اعتبار خواهد شد؛ بنابراین تمامی نقشه‌ها تهیه و به فرمت ASCII تبدیل شدند. موقعیت جغرافیایی نقطه حضور گونه که در بازدید میدانی ثبت شده بود، با فرمت CSV ذخیره شد. اطلاعات مربوط به حضور گونه (۱۶ مکان مطالعاتی از ۲۸ مکان مورد مطالعه) و همچنین لایه‌های محیطی وارد نرم‌افزار MAXENT 3.3.3e گردید. در این روش از ۷۰ درصد نقاط حضور به‌صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی مدل استفاده شد.

ارزیابی کارایی مدل‌ها و نقشه‌های پیش‌بینی و تهیه نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه‌ها

آنتروپی حداکثر از دو طریق اهمیت متغیرهای ورودی را به مدل بررسی می‌کند: ۱- آنالیز مشارکت متغیرها؛ ۲- آزمون جک‌نایف. با بررسی آنالیز مشارکت متغیرها، متغیرهای تأثیرگذار در فرایند مدل‌سازی، درصد سهم نسبی (Percent contribution) و اهمیت جایگشتی (Permutation importance) آنها مشخص شد. ابتدا سهم نسبی هر یک از شاخص‌ها در مدل آنتروپی حداکثر مشخص شد و از آنجا که مدل آنتروپی حداکثر متغیرها را وابسته به یکدیگر می‌داند و باید تأثیر هر شاخص بر شاخص دیگر مشخص شود، به همین دلیل بر اساس الگوی مدل‌های متغیرهای جایگزینی تصادفی در هر مرحله از تکرار به صورت خودکار به ارزش هر یک از پارامترها میانگین تأثیرات در سایر پارامترها اضافه شد و جایگزین ارزش قبلی خود شد. به‌ترتیب علاوه بر میزان تأثیر هر پارامتر، اهمیت جایگشتی یا تأثیر وجود این شاخص یا

اختصاصیت (کسری از عدم حضورها که به درستی پیش‌بینی شده است) در حدود آستانه صفر تا یک محاسبه شد. در پایان نیز ضریب کاپا برای بررسی میزان تطابق بین نقشه حاصل از مدل آنتروپی حداکثر و نقشه واقعی در نرم‌افزار ArcGIS10.5 محاسبه گردید. مراحل انجام مدل‌سازی به‌طور خلاصه در شکل ۲ ارائه شده است.

بهینه مشخص شود (Peterson & Shaw, 2003). بعد از تعیین آستانه بهینه با استفاده از روش ترکیبی حساسیت و اختصاصیت برابر، نقشه‌های پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه‌ها تبدیل شد. این روش یکی از روش‌های رایج برای تعیین حدود آستانه بهینه است که در آن حساسیت (کسری از حضورهایی که به درستی پیش‌بینی شده است) و

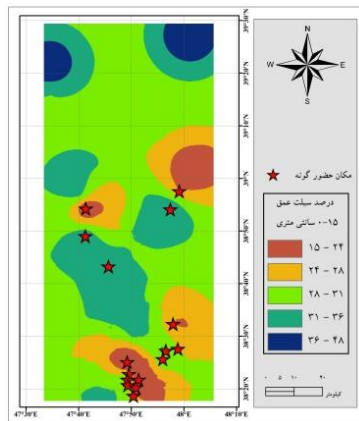


شکل ۲- نگراره مراحل مدل‌سازی پراکنش گونه *F.ovina* در گرادیان ارتفاعی مغان-سبلان

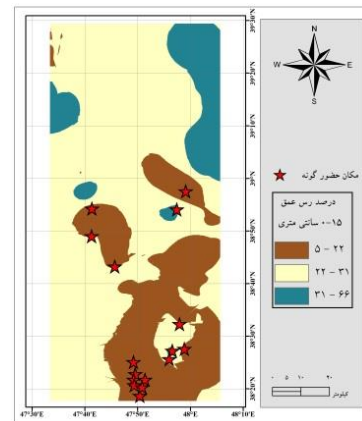
## نتایج

سه پارامتر اثر قطعه، دامنه تأثیر و آستانه در ایجاد نقشه درون‌یابی مناسب نقش اساسی دارند، آورده شده است. نقشه پراکنش درصد رس و سیلت عمق ۱۵-۰ به‌عنوان نمونه در شکل‌های ۳ و ۴ براساس روش کریجینگ ارائه شده است. به‌منظور شناخت بهتر خصوصیات منطقه مقایسه خصوصیات متغیرهای محیطی در مکان‌های مطالعاتی منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

صحت روش‌های درون‌یابی برای همه متغیرهای خاک با روش تقاطعی بررسی شد. نتایج نشان داد که مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده در مورد همه متغیرهای خاک با روش کریجینگ تطابق بیشتری دارد. جدول ۳ اجزای مربوط به تغییرنمای متغیرهای رس و سیلت عمق ۱۵-۰ (به‌عنوان نمونه) را نشان می‌دهد. در این جدول بهترین مدل تغییرنما که نرم‌افزار امکان بکارگیری آن را دارد و همچنین



شکل ۴- نقشه سیلت عمق ۰-۱۵ خاک منطقه



شکل ۳- نقشه رس عمق ۰-۱۵ خاک منطقه

جدول ۳- اجزای مربوط به تغییرنمای (واریوگرام) خصوصیات خاک انتخاب شده برای تولید نقشه

مجموع مربعات خطا	ضریب همبستگی $R^2$	نسبت	شعاع تأثیر (متر)	فاصله گام (متر)	آستانه (C0+C)	اثر قطعه‌ای (C0)	مدل تغییرنما	خصوصیت
۴/۰۳	۰/۶۳	۰/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	-۳۵۹۴۰	-۱۰۰	کروی	رس عمق ۰-۱۵
۱۰۶۷	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۲۴	۶۹/۵۷	۲۵/۳۰	نمایی	سیلت عمق ۰-۱۵

جدول ۴- مقایسه خصوصیات متغیرهای محیطی در مکان‌های مطالعاتی منطقه مورد مطالعه (میانگین ± انحراف معیار) (نکته: مکان‌های مطالعاتی دارای ستاره نقاط مشاهده حضور گونه می‌باشد)

مکان مطالعاتی	۱	۲	۳	۴	۵
ارتفاع	۱۹۷/۵ ± ۰/۷	±۱/۵	±۱/۷	±۰/۹	±۲/۶
شیب	۲/۶±۰/۳	۲/۵±۰/۲	۲۲/۰±۰/۵	۲۱/۹±۰/۷	۳۱/۰±۰/۷
جای لخت	۳۳/۲ ±۲/۲	۱۰/۸ ±۲/۳	۸/۲ ±۲/۰	۳/۲ ±۰/۶	۵/۷ ±۰/۷
بارندگی	۳۳۷/۷ ±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۸
اسیدیته (۰-۱۵)	۷/۶ ±۰/۰	۷/۶ ±۰/۰	۷/۰ ±۰/۰	۷/۶ ±۰/۰	۷/۰ ±۰/۸
هدایت الکتریکی (۱۵)	۰/۷ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۷ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۸ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۰-۳۰)	۰/۳ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۴ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۴ ±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۱۴/۲ ±۰/۸	۷/۵ ±۰/۶	۵/۷ ±۰/۲	۶/۲ ±۰/۴	۷/۸ ±۰/۳
آهک (۱۵-۳۰)	۹/۱ ±۰/۶	۷/۶ ±۰/۷	۸/۵ ±۰/۳	۹/۰ ±۰/۴	۶/۸ ±۰/۸
رس (۰-۱۵)	۴۰/۴ ±۰/۴	۳۷/۹ ±۱/۹	۴۲/۲ ±۱/۴	۴۱/۲ ±۱/۰	۶۵/۰ ±۰/۵
رس قابل انتشار (۰-۱۵)	۶۶/۸ ±۴/۸	۴۰/۸ ±۳/۸	۵۳/۴ ±۲/۴	۶۲/۸ ±۱/۸	۷۲/۸ ±۳/۰
رس قابل انتشار (۳۰-۱۵)	۶۸/۸ ±۱/۹	۲۶/۰ ±۱/۰	۵۰/۹ ±۱/۸	۶۲/۸ ±۱/۵	۷۶/۶ ±۲/۲
سیلت (۰-۱۵)	۴۹/۸±۰/۶	۴۵/۸±۱/۸	۲۸/۹±۰/۶	۳۱/۸±۰/۶	۱۸/۸±۰/۸
سیلت (۱۵-۳۰)	۳۹/۰ ±۱/۹	۴۲/۳ ±۲/۲	۲۲/۸ ±۰/۴	۳۳/۳ ±۱/۶	۲۶/۵ ±۱/۰
کلسیم (۰-۱۵)	۶/۷ ±۰/۲	۳/۶ ±۰/۸	۵/۸ ±۰/۲	۴/۷ ±۰/۸	۷/۶ ±۰/۸
وزن مخصوص ظاهری	۱/۵ ±۰/۰	۱/۵ ±۰/۰	۱/۴ ±۰/۰	۱/۸ ±۰/۰	۱/۲ ±۰/۰
پتاسیم (۱۵-۳۰)	۴۰/۰ ±۱/۵	۲۲/۴ ±۱/۰	۲۵/۴ ±۱/۳	۳۰/۲ ±۱/۴	۴۷/۰ ±۲/۶
تراکم لیم	۱۱/۴±۰/۰	۱۱/۴±۰/۰	۱۵/۴±۰/۰	۱۵/۴±۰/۰	۲۲/۷±۰/۰
متوسط سطح لکه	۶۶۷/۹ ±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰
ضریب اندازه لکه	۶۷۷/۳±۰/۰	۶۷۷/۳±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	۶۹۴/۷±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	۴۸۰/۰ ±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰	±۰/۰
شاخص تجمع	۹۸/۲ ±۰/۰	۹۸/۲ ±۰/۰	۹۷/۲ ±۰/۰	۹۷/۲ ±۰/۰	۹۶/۰ ±۰/۰

مکان مطالعاتی	۶	۷	۸	(*) ۹	(*) ۱۰	
ارتفاع	±۰/۹ ۸۵۹/۵	±۲/۴ ۱۰۷۶/۱	±۲/۸ ۱۱۴۶/۲	۱۳۹۰/۵	±۲/۷۱۴۰/۳ ±۰/۹	
شیب	۱۱/۶±۰/۶	۳/۸±۱/۱	۳/۲±۰/۵	۲۰/۷±۲/۵	۸/۷±۰/۴	
جای لبت	۸/۶	±۲/۴ ۱۲/۸	±۷/۴ ۱۰/۷	±۱/۵ ۱۲/۱	±۱/۴ ۲۲/۸	±۲/۹
پارزدگی	±۰/۰ ۳۴۰/۵	±۰/۰ ۳۰۳/۰	۳۲۹/۲	±۰/۰ ۳۲۱/۳	±۰/۰ ۳۵۵/۴	±۰/۰
اسیدپته (۰-۱۵)	۷/۱	±۰/۰ ۷/۱	±۰/۰ ۷/۶	±۰/۰ ۷/۲	±۰/۰ ۶/۸	±۰/۰
هدایت الکتریکی (۱۵-۰)	۱/۱	±۰/۰ ۰/۳	±۰/۰ ۰/۹	±۰/۰ ۰/۴	±۰/۰ ۱/۲	±۰/۱
هدایت الکتریکی (۳۰-۱۵)	۰/۳	±۰/۰ ۰/۲	±۰/۰ ۰/۵	±۰/۰ ۰/۲	±۰/۰ ۰/۴	±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۳/۳	±۰/۱ ۳/۱	±۰/۱ ۱۰/۸	±۰/۴ ۴/۲	±۰/۱ ۳/۶	±۰/۱
آهک (۱۵-۳۰)	۴/۰	±۰/۳ ۳/۰	±۰/۱ ۱۲/۴	±۰/۲ ۴/۶	±۰/۱ ۲/۹	±۰/۰
رس (۰-۱۵)	۲۴/۴	±۰/۴ ۳۷/۲	±۰/۲ ۳۸/۳	±۰/۲ ۱۳/۹	±۰/۳ ۱۵/۶	±۰/۲
رس قابل انتشار (۱۵-۰)	۲۴/۷	±۲/۴ ۲۲/۷	±۰/۳ ۲۰/۶	±۰/۱ ۷۳/۲	±۲/۵ ۱۲/۸	±۰/۹
رس قابل انتشار (۳۰-۱۵)	۲۰/۲	±۰/۴ ۲۰/۵	±۰/۰ ۲۴/۷	±۰/۹ ۶/۱۰	±۲/۶ ۲۱/۳	±۰/۴
سیلت (۰-۱۵)	۳۲/۴±۰/۴	۲۱/۸±۰/۳	۳۲/۴±۰/۵	۲۴/۰±۰/۶	۱۹/۵±۱/۲	
سیلت (۱۵-۳۰)	۲۹/۹	±۰/۳ ۲۲/۶	±۰/۴ ۲۵/۷	±۰/۲ ۲۲/۷	±۰/۲ ۳۰/۴	±۰/۹
کلسیم (۰-۱۵)	۷/۷	±۰/۴ ۴/۳	±۰/۰ ۹/۱	±۰/۲ ۳/۹	±۰/۲ ۹/۷	±۰/۵
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲	±۰/۰ ۱/۲	±۰/۰ ۱/۱	±۰/۰ ۱/۲	±۰/۰ ۱/۳	±۰/۰
پتاسیم (۳۰-۱۵)	۱۵/۵	±۰/۲ ۱۸/۶	±۰/۲ ۳۱/۰	±۱/۶ ۱۷/۴	±۰/۵ ۱۶/۲	±۰/۲
تراکم لبه	۲۲/۷±۰/۰	۲۴/۱±۰/۰	۲۴/۱±۰/۰	۲/۳±۰/۰	۲/۳±۰/۰	
متوسط سطح لکه	±۰/۰ ۱۲۲/۷	±۰/۰ ۱۰۳/۰	۱۰۳/۰	±۰/۰ ۱۴/۷	±۰/۰ ۱۴/۷	±۰/۰
ضریب اندازه لکه	۶۹۴/۷±۰/۰	±۰/۰ ۱۲۲۹/۹	۱۲۲۹/۹	±۰/۰ ۴۶۴/۶±۰/۰	۴۶۴/۶±۰/۰	±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	±۰/۰ ۱۸۱/۹	۱۳۰/۲	±۰/۰ ۱۳۰/۲	±۰/۰ ۱۲۳۲/۰	±۰/۰ ۱۲۳۲/۰	±۰/۰
شاخص تجمع	۹۶/۰	±۰/۰ ۹۵/۰	±۰/۰ ۹۵/۰	±۰/۰ ۹۰/۷	±۰/۰ ۹۰/۷	±۰/۰



مکان مطالعاتی	(*) ۱۱	(*) ۱۲	۱۳	(*) ۱۴	(*) ۱۵
ارتفاع	۱۷۳۰/۸ ±۲/۰ ۱۶۶۰/۲ ±۲/۴	±۰/۷ ۱۳۶۸/۲	±۰/۷ ۱۳۱۳/۵	±۱/۹ ۱۱۹۱/۹	±۰/۶
شیب	۱۸/۰±۰/۴	۲۸/۲±۱/۲	۱/۰±۰/۱	۳۰/۳±۰/۶	۲۴/۰±۱/۴
حکای لغت	۳۷/۳ ±۴/۴	۱۰/۱ ±۱/۷	۶/۷ ±۱/۲	۱۰/۷ ±۱/۶	۹/۳ ±۱/۵
پارزنگی	۳۱۷/۹ ±۰/۰ ۳۲۹/۴ ±۰/۰	±۰/۰ ۲۷۸/۰	±۲۸۰/۹	±۰/۰ ۲۴۰/۹	±۰/۰
اسیدیته (۰-۱۵)	۷/۰ ±۰/۰	۷/۰ ±۰/۱	۷/۵ ±۰/۱	۷/۵ ±۰/۰	۷/۸ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۰-۱۵)	۰/۷ ±۰/۰	۱/۴ ±۰/۰	۰/۶ ±۰/۰	۰/۶ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۳۰-۱۵)	۰/۶ ±۰/۰	۰/۶ ±۰/۰	۰/۴ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۳ ±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۲/۷ ±۰/۲	۷/۵ ±۰/۷	۵/۴ ±۰/۵	۴/۳ ±۰/۱	۲/۹ ±۰/۱
آهک (۱۵-۳۰)	۲/۷ ±۰/۱	۸/۷ ±۰/۹	۷/۱ ±۰/۱	۹/۳ ±۰/۲	۲/۵ ±۰/۱
رس (۰-۱۵)	۳۳/۶ ±۰/۲	۲۴/۲ ±۰/۳	۱۶/۳ ±۰/۲	۲۱/۰ ±۰/۵	۲۴/۸ ±۰/۵
رس قابل انتشار (۰-۱۵)	۱۸/۵ ±۰/۳	۲۱/۵±۰/۶	۱۳/۵±۰/۳	۲۳/۱±۰/۸	۳۳/۵±۰/۶
رس قابل انتشار (۳۰-۱۵)	۲۴/۳ ±۱/۰	۲۵/۶ ±۱/۰	۱۳/۱ ±۰/۶	۳۰/۷ ±۲/۳	۳۰/۶ ±۲/۶
سیلت (۰-۱۵)	۲۶/۶±۰/۵	۲۵/۱±۰/۵	۳۰/۲ ±۰/۳	۳۳/۷±۰/۸	۲۲/۳±۰/۷
سیلت (۱۵-۳۰)	۳۵/۷ ±۰/۲	۲۵/۷ ±۰/۶	۲۵/۰ ±۰/۲	۲۷/۷ ±۰/۶	۲۰/۶ ±۱/۴
کلسیم (۰-۱۵)	۶/۰ ±۰/۳	۱۳/۵ ±۰/۳	۴/۹ ±۰/۲	۵/۷ ±۰/۲	۵/۵ ±۰/۱
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲ ±۰/۰	۱/۱ ±۰/۰	۱/۳ ±۰/۰	۱/۲ ±۰/۰	۱/۳ ±۰/۰
پتاسیم (۱۵-۳۰)	۲۲/۳ ±۰/۸	۵۶/۴ ±۰/۶	۱۷/۹ ±۰/۸	۱۹/۹ ±۰/۹	۱۶/۸ ±۱/۲
تراکم لبه	۲۵/۷±۰/۰	۲۵/۷±۰/۰	۲/۳±۰/۰	۲/۳±۰/۰	۲۴/۱±۰/۰
متوسط سطح لکه	۲۶/۱ ±۰/۰	۲۶/۱ ±۰/۰	۱۴/۷ ±۰/۰	۱۴/۷ ±۰/۰	۱۰۳/۰ ±۰/۰
ضریب اندازه لکه	۶۶۵/۸±۰/۰	۶۶۵/۸±۰/۰	۴۶۴/۶±۰/۰	۴۶۴/۶±۰/۰	۱۲۲۹/۹ ±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	۱۴۷/۵ ±۰/۰ ۱۴۷/۵ ±۰/۰	±۰/۰ ۱۲۳۲/۰	±۰/۰ ۱۲۳۲/۰	±۰/۰ ۱۳۰/۲	±۰/۰
شاخص تجمع	۹۲/۰ ±۰/۰	۹۲/۰ ±۰/۰	۹۰/۷ ±۰/۰	۹۰/۷ ±۰/۰	۹۵/۰ ±۰/۰

مکان مطالعاتی	۱۶	(*) ۱۷	۱۸	(*) ۱۹	۲۰
ارتفاع	۱۱۰۰/۸ ±۰/۸۱۵۰	۲/۲ ±۲/۸۱۲۹	۷/۸ ±۰/۶۱۷۸	۴/۴ ±۱/۸۱۷۸	۶/۶ ±۱/۸۱۷۰
شیب	۱۱/۷ ±۰/۴	۵/۵ ±۰/۲	۱/۱ ±۰/۵	۴/۴ ±۰/۳	۹/۹ ±۰/۴
جای لبه	۲۲/۵ ±۲/۰	۱۳/۰ ±۲/۱	۷/۲ ±۰/۸	۹/۹ ±۰/۷	۰/۷ ±۰/۴
پارزدگی	۲۶۷/۷ ±۰/۰	۲۳۱/۶ ±۰/۰	۲۶۵/۱ ±۰/۰	۲۴۰/۳ ±۰/۰	۳۳۷/۱ ±۰/۱
اسیدپته (۰-۱۵)	۷/۷ ±۰/۰	۷/۲ ±۰/۰	۷/۵ ±۰/۰	۷/۴ ±۰/۰	۶/۵ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۱۵-۰)	۰/۸ ±۰/۰	۰/۴ ±۰/۰	۱/۰ ±۰/۱	۰/۶ ±۰/۰	۱/۰ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۳۰-۱۵)	۰/۸ ±۰/۱	۰/۴ ±۰/۰	۰/۸ ±۰/۱	۰/۰ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۸/۶ ±۰/۱	۲/۸ ±۰/۰	۴/۴ ±۰/۵	۲/۷ ±۰/۲	۰/۵ ±۰/۰
آهک (۱۵-۳۰)	۱۱/۵ ±۰/۱	۵/۱ ±۰/۳	۷/۸ ±۰/۵	۲/۷ ±۰/۲	۱/۰ ±۰/۱
رس (۰-۱۵)	۲۵/۶ ±۰/۶	۲۱/۷ ±۰/۷	۱۵/۰ ±۰/۳	۲۳/۲ ±۰/۱	۱۲/۳ ±۰/۴
رس قابل انتشار (۱۵-۰)	۷/۶ ±۰/۸	۳۷/۸ ±۲/۶	۱۰/۴ ±۰/۱	۲۶/۶ ±۰/۱	۱۸/۳ ±۰/۵
رس قابل انتشار (۳۰-۱۵)	۱۳/۳ ±۰/۷	۵۴/۸ ±۲/۰	۸/۸ ±۰/۴	۲۴/۶ ±۰/۱	۱۹/۵ ±۰/۳
سیلت (۰-۱۵)	۲۶/۷ ±۰/۴	۲۷/۲ ±۰/۱	۲۳/۳ ±۱/۲	۳۳/۰ ±۰/۴	۱۹/۶ ±۰/۲
سیلت (۱۵-۳۰)	۲۸/۳ ±۰/۸	۲۲/۱ ±۰/۷	۳۲/۲ ±۱/۹	۳۲/۰ ±۰/۴	۲۳/۱ ±۰/۳
کلسیم (۰-۱۵)	۳/۵ ±۰/۱	۳/۹ ±۰/۲	۱۱/۸ ±۱/۴	۴/۲ ±۰/۱	۶/۵ ±۰/۴
وزن مخصوص ظاهری	۱/۱ ±۰/۰	۱/۳ ±۰/۰	۱/۲ ±۰/۰	۱/۲ ±۰/۰	۱/۲ ±۰/۰
پتاسیم (۳۰-۱۵)	۲۴/۴ ±۱/۲	۱۸/۱ ±۰/۶	۲۰/۸ ±۱/۲	۲۰/۸ ±۱/۲	۲۷/۸ ±۰/۲
تراکم لبه	۲۴/۱ ±۰/۰	۲/۳ ±۰/۰	۲/۳ ±۰/۰	۲۵/۷ ±۰/۰	۲۵/۷ ±۰/۰
متوسط سطح لبه	۱۰۳/۰ ±۰/۰	۱۴/۷ ±۰/۰	۱۴/۷ ±۰/۰	۲۶/۱ ±۰/۰	۲۶/۱ ±۰/۰
ضریب اندازه لبه	۱۲۲۹/۹ ±۰/۰	۴۶۲/۶ ±۰/۰	۲۶۴/۶ ±۰/۰	۶۶۵/۱ ±۰/۰	۶۶۵/۱ ±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	۱۳۰/۲ ±۰/۰	۱۲۳۲/۰ ±۰/۰	۱۲۳۲/۰ ±۰/۰	۱۳۷/۵ ±۰/۰	۱۳۷/۵ ±۰/۰
شاخص تجمع	۹۵/۰ ±۰/۰	۹۰/۷ ±۰/۰	۹۰/۷ ±۰/۰	۹۲/۰ ±۰/۰	۹۲/۰ ±۰/۰

مکان مطالعاتی	(*) ۲۱	(*) ۲۲	(*) ۲۳	(*) ۲۴	(*) ۲۵
ارتفاع	۱۹۹۸/۷ ±۳/۰	۱۹۹۴/۷ ±۱/۵	۳۵۵۹/۱±۱/۱	۳۳۱۱/۵ ±۲/۸	۲۶۸۶/۰ ±۲/۳
شیب	۳۳/۶±۱/۰	۲۰/۳±۱/۶	۳۰/۵±۲/۰	۳۶/۶±۲/۱	۴۰/۰±۱/۸
جای لبه	۲۶/۹ ±۲/۵	۶/۳ ±۱/۵	۳۴/۸ ±۲/۳	۱۰/۹ ±۱/۸	۱۳/۹ ±۲/۴
پارزدگی	۲۶۶/۳ ±۰/۸	۳۶۵/۱ ±۰/۸	۴۲۱/۷ ±۰/۲	۳۸۰/۸ ±۰/۸	۴۵۱/۱ ±۰/۸
اسیدپته (۰-۱۵)	۷/۶ ±۰/۰	۶/۶ ±۰/۰	۷/۱ ±۰/۰	۶/۴ ±۰/۸	۵/۹ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۰-۱۵)	۰/۵ ±۰/۰	۰/۶ ±۰/۸	۰/۳ ±۰/۰	۱/۱ ±۰/۸	۱/۱ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۳۰-۱۵)	۰/۴ ±۰/۰	۰/۳ ±۰/۰	۰/۳ ±۰/۰	۰/۷ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۶/۴ ±۰/۷	۱/۴ ±۰/۸	۴/۹ ±۰/۲	۱/۱ ±۰/۰	۱/۸ ±۰/۳
آهک (۱۵-۳۰)	۹/۰ ±۰/۸	۰/۳ ±۰/۰	۴/۲ ±۰/۸	۱/۲ ±۰/۸	۲/۸ ±۰/۳
رس (۰-۱۵)	۳۰/۶ ±۰/۴	۶/۸ ±۰/۲	۱۴/۸ ±۰/۷	۱۲/۰ ±۰/۳	۹/۰ ±۰/۰
رس قابل انتشار (۱۵-۳۰)	۱۶/۴±۱/۰	۱۶/۹±۰/۴	۶۳/۰±۲/۲	۳۶/۸±۰/۹	۱۱/۰±۰/۵
رس قابل انتشار (۱۵)	۱۳/۸ ±۰/۸	۱۶/۶ ±۰/۲	۳۷/۴ ±۰/۷	۲۶/۸ ±۱/۲	۱۰/۸ ±۰/۷
سیلت (۰-۱۵)	۳۱/۸±۱/۰	۱۳/۶±۰/۷	۱۹/۸±۱/۰	۳۰/۸±۰/۳	۱۹/۷±۰/۴
سیلت (۱۵-۳۰)	۲۹/۷ ±۰/۵	۱۳/۹ ±۰/۸	۱۹/۹ ±۰/۲	۲۸/۱ ±۰/۵	۱۹/۶ ±۰/۲
کلسیم (۰-۱۵)	۴/۳ ±۰/۸	۵/۶ ±۰/۸	۲/۹ ±۰/۰	۱۶/۵ ±۱/۱	۶/۷ ±۰/۴
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲ ±۰/۰	۱/۸ ±۰/۰	۱/۱ ±۰/۰	۱/۱ ±۰/۰	۱/۰ ±۰/۰
پتاسیم (۱۵-۳۰)	۲۰/۲ ±۰/۷	۱۷/۸ ±۰/۸	۱۸/۱ ±۰/۴	۱۷/۶ ±۰/۷	۱۹/۲ ±۰/۳
تراکم لبه	۰/۶±۰/۰	۰/۶±۰/۰	۴/۵±۰/۰	۴/۵±۰/۰	۰/۲±۰/۰
متوسط سطح لبه	۲/۶ ±۰/۰	۲/۶ ±۰/۰	۶۸۳/۳ ±۰/۰	۶۸۳/۳ ±۰/۰	۱۵۵۶/۰ ±۰/۰
ضریب اندازه لبه	۱۰۳/۶±۰/۰	۱۰۳/۶ ±۰/۰	۳۵۷/۵±۰/۰	۳۵۷/۵±۰/۰	۲۲۱۳±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	۵۱۵۲/۰ ±۰/۰	۵۱۵۲/۰ ±۰/۰	۱۹۵۱/۴ ±۰/۰	۱۹۵۱/۴ ±۰/۰	۸۷۰/۹ ±۰/۰
شاخص تجمع	۷۷/۳ ±۰/۰	۷۷/۳ ±۰/۰	۹۷/۹ ±۰/۰	۹۷/۹ ±۰/۰	۹۸/۳ ±۰/۰

مکان مطالعاتی	(*) ۲۶	(*) ۲۷	(*) ۲۸
ارتفاع	۲۵۵۶/۵ ±۲/۵	۲۷۵۳/۸ ±۴/۸	۳۱۵۰/۳ ±۳/۴
شیب	۳۹/۸±۰/۶	۳۲/۶±۰/۸	۱۸/۶±۰/۶
حکای لغت	۱۳/۸ ±۲/۸	۱۱/۹ ±۱/۵	۶/۸ ±۰/۹
پارزنگی	۳۹۵/۸ ±۰/۸	۴۱۳/۵ ±۰/۸	۴۷۷/۷ ±۰/۸
اسیدیته (۰-۱۵)	۶/۳ ±۰/۰	۶/۴ ±۰/۰	۵/۷ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۱۵-۰)	۱/۵ ±۰/۸	۰/۶ ±۰/۰	۱/۶ ±۰/۰
هدایت الکتریکی (۳۰-۱۵)	۰/۶ ±۰/۰	۰/۵ ±۰/۰	۰/۷ ±۰/۰
آهک (۰-۱۵)	۱/۰ ±۰/۰	۱/۳ ±۰/۰	۱/۶ ±۰/۲
آهک (۱۵-۳۰)	۱/۰ ±۰/۸	۱/۳ ±۰/۸	۱/۳ ±۰/۲
رس (۰-۱۵)	۹/۵ ±۰/۲	۱۴/۳ ±۰/۴	۱۱/۳ ±۰/۳
رس قابل انتشار (۱۵-۰)	۳۳/۴±۲/۰	۲۹/۶±۰/۴	۱۸/۴±۰/۸
رس قابل انتشار (۳۰-۱۵)	۲۵/۲ ±۱/۵	۴۸/۵ ±۱/۰	۴۰/۴ ±۱/۰
سیلت (۰-۱۵)	۲۸/۶±۰/۸	۳۱/۸±۰/۴	۲۶/۷±۰/۵
سیلت (۱۵-۳۰)	۲۸/۷ ±۰/۸	۳۱/۸ ±۰/۴	۲۷/۶ ±۰/۵
کلسیم (۰-۱۵)	۸/۶ ±۰/۲	۵/۸ ±۰/۲	۱۶/۵ ±۰/۸
وزن مخصوص ظاهری	۱/۸ ±۰/۰	۰/۹ ±۰/۰	۱/۰ ±۰/۰
پتاسیم (۱۵-۳۰)	۲۱/۵ ±۰/۴	۲۱/۲ ±۰/۷	۲۵/۶ ±۰/۵
تراکم لبه	۰/۲±۰/۰	۰/۰±۰/۰	۰/۰±۰/۰
متوسط سطح لکه	۱۵۵۶/۰ ±۰/۰	۱۴۰۷/۸ ±۰/۰	۱۳۰۹/۵ ±۰/۰
ضریب اندازه لکه	۲۲۱/۴±۰/۰	۱۶۸/۵±۰/۰	۹۵/۰±۰/۰
میانگین فاصله تا اثرات انسانی	۸۷۰/۹ ±۰/۰	۲۲۵/۴ ±۰/۰	۲۶۳۷/۸ ±۰/۰
شاخص تجمع	۹۸/۳ ±۰/۰	۹۸/۲ ±۰/۰	۹۸/۰ ±۰/۰

متفاوت از تحلیل جک‌نایف است. متغیرهای تغییرات اندازه ضریب لکه، ارتفاع، پتاسیم عمق ۱۵-۳۰، آهک عمق ۱۵-۰ و شیب بیشترین سهم را در مدل داشتند و متغیرهای هدایت الکتریکی عمق ۱۵-۰ و ۱۵-۳۰، اسیدپته عمق ۱۵-۰، سیلت عمق ۱۵-۳۰، وزن مخصوص ظاهری، بارندگی، رس عمق ۱۵-۰ و متوسط لکه در مدل‌سازی رویشگاه گونه *F.ovina* کمترین تأثیر را داشتند (جدول ۵).

نتایج مدل‌سازی آنتروپی حداکثر در چهار بخش اهمیت متغیرهای پیش‌بینی کننده، تفسیر منحنی‌های پاسخ مربوط به گونه، ارزیابی مدل و ارائه نقشه پراکنش گونه ارائه شده است. درصد سهم نسبی و درصد اهمیت جایگشتی هر یک از متغیرها در توزیع گونه با استفاده از الگوریتم Bootstarp در جدول ۳ ارائه شده است. این جدول براساس اجرای حداکثر آنتروپی بدون تحلیل جک‌نایف تولید شده است؛ بنابراین نتایج آن

جدول ۵- اهمیت متغیرهای ورودی براساس آنالیز مشارکت متغیرها در مدل‌سازی گونه *F.ovina* در منطقه مورد مطالعه

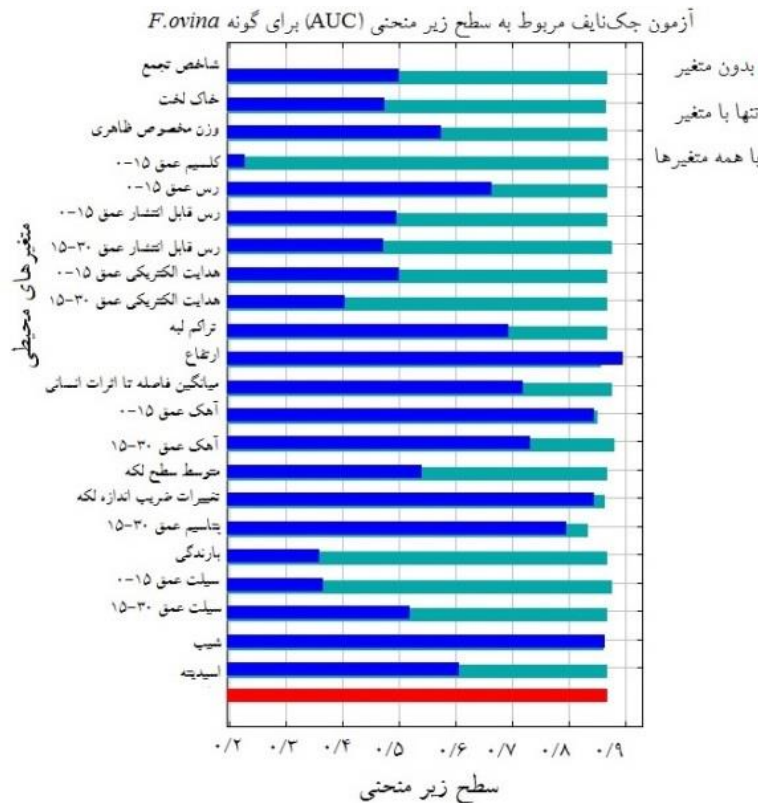
متغیرها	درصد سهم	درصد اهمیت جایگشتی	متغیرها	درصد سهم	درصد اهمیت جایگشتی
تغییرات ضریب اندازه لکه	۳۰/۹	۱۵/۵	فاصله تا اثرات انسانی	۰/۱	۰/۱
ارتفاع	۲۳/۸	۷/۶	شاخص تجمع	۰/۱	۰
پتاسیم عمق ۱۵-۳۰	۱۸/۶	۲۷/۷	رس قابل انتشار ۱۵-۰	۰	۰/۱
آهک عمق ۱۵-۰	۱۴/۳	۲۲/۹	میانگین بارندگی سالانه	۰	۰
شیب	۷/۹	۸/۱	اسیدپته ۱۵-۰	۰	۰
آهک عمق ۱۵-۳۰	۲/۱	۰/۳	هدایت الکتریکی ۱۵-۰	۰	۰
سیلت ۱۵-۰	۰/۹	۳/۸	هدایت الکتریکی ۱۵-۳۰	۰	۰
رس قابل انتشار ۱۵-۳۰	۰/۶	۱۲	رس ۱۵-۰	۰	۰
خاک لخت	۰/۳	۱/۸	متوسط لکه	۰	۰
کلسیم ۱۵-۰	۰/۲	۰/۱	سیلت ۱۵-۳۰	۰	۰
تراکم لبه	۰/۲	۰	وزن مخصوص ظاهری	۰	۰

افقی تأثیر و اهمیت متغیرها را در سه حالت (بدون متغیر، فقط با متغیر و با همه متغیرها) در حصول مدل پیش‌بینی نشان می‌دهد. منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده روابط بین متغیرهای محیطی و پراکنش رویشگاه‌های مناسب برای هر گونه هستند و می‌توانند اطلاعات مفیدی را درباره آستانه‌های محیطی مورد نیاز برای رشد هر گونه ارائه دهند. منحنی‌های پاسخ مربوط به متغیرهای تأثیرگذار در

براساس آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه برای گونه *F.ovina* ارتفاع، شیب، تغییرات ضریب اندازه لکه، آهک عمق ۱۵-۰، پتاسیم عمق ۱۵-۳۰ و آهک عمق ۱۵-۳۰ بودند و کمترین تأثیر را متغیرهای کلسیم عمق ۱۵-۰، بارندگی و سیلت عمق ۱۵-۳۰ داشتند (شکل ۵). در این شکل محور عمودی متغیرهای محیطی و محور

افزایش میزان پتاسیم عمق ۱۵-۳۰ و آهک عمق ۰-۱۵ گویای آن است که افزایش در این متغیرها کاهش میزان تناسب رویشگاه برای گونه مذکور را در پی داشته است. براساس این منحنی‌ها وقتی میزان پتاسیم عمق ۱۵-۳۰ کمتر از ۱۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر و آهک عمق ۰-۱۵ کمتر از ۲ درصد است، احتمال این گونه حداکثر است. بهترین مناطق برای استقرار این گونه مناطقی با شیب ۳۰ تا ۵۰ درصد است (شکل ۶).

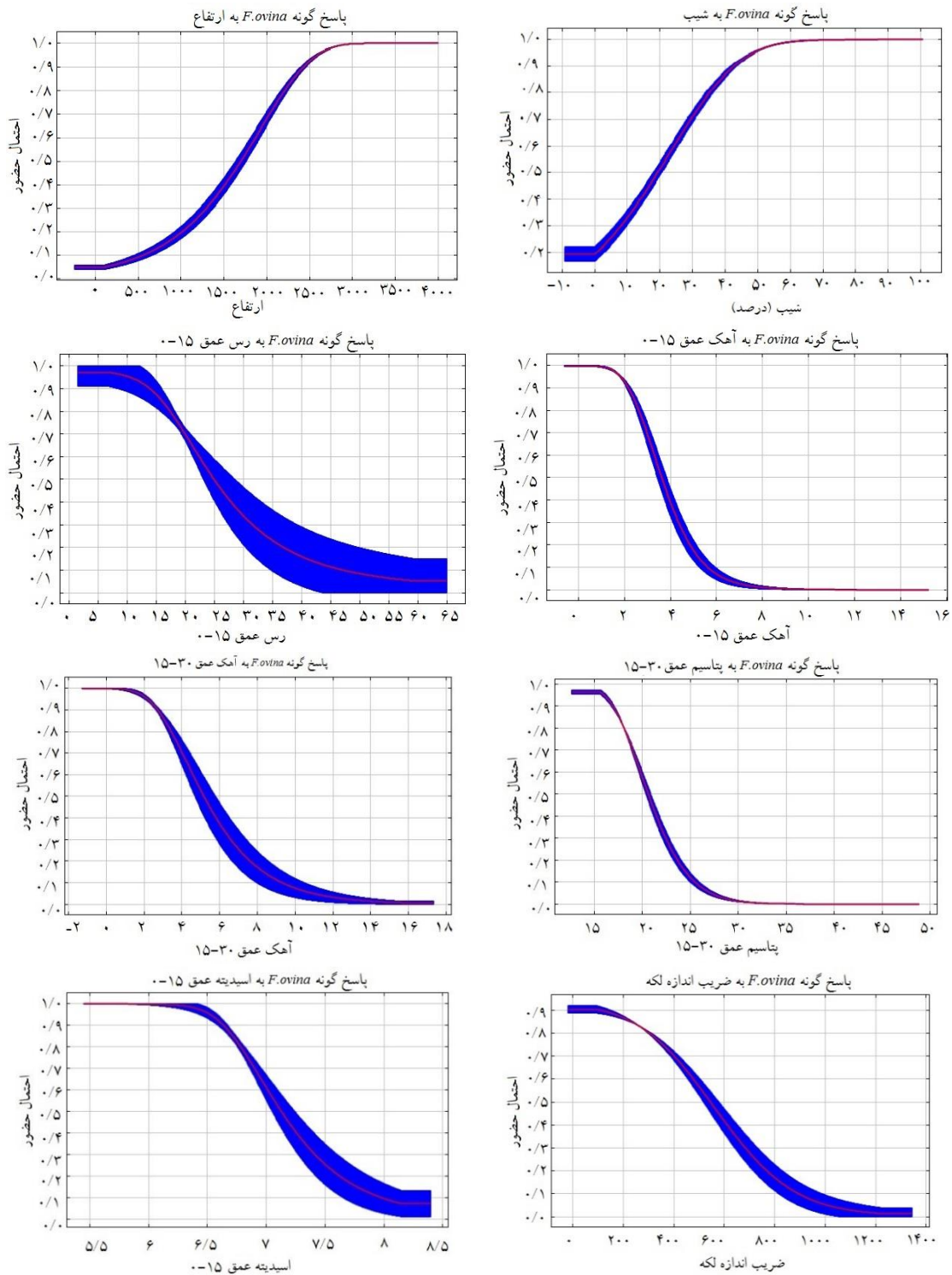
رویشگاه گونه *F.ovina* نشان می‌دهد که بیشترین احتمال حضور این گونه در مناطقی است که کمترین تغییرات ضریب اندازه لکه وجود داشته باشد و تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها در مراتع کمترین مقدار (بیشترین حضور در مراتعی با لکه‌های بزرگتر از ۱۰۰۰ هکتار) باشد، به طوری که با افزایش ارتفاع حضور این گونه افزایش می‌یابد. بیشترین رخداد احتمال برای این گونه برای مناطقی با ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریاست. کاهش قابل ملاحظه احتمال حضور گونه با



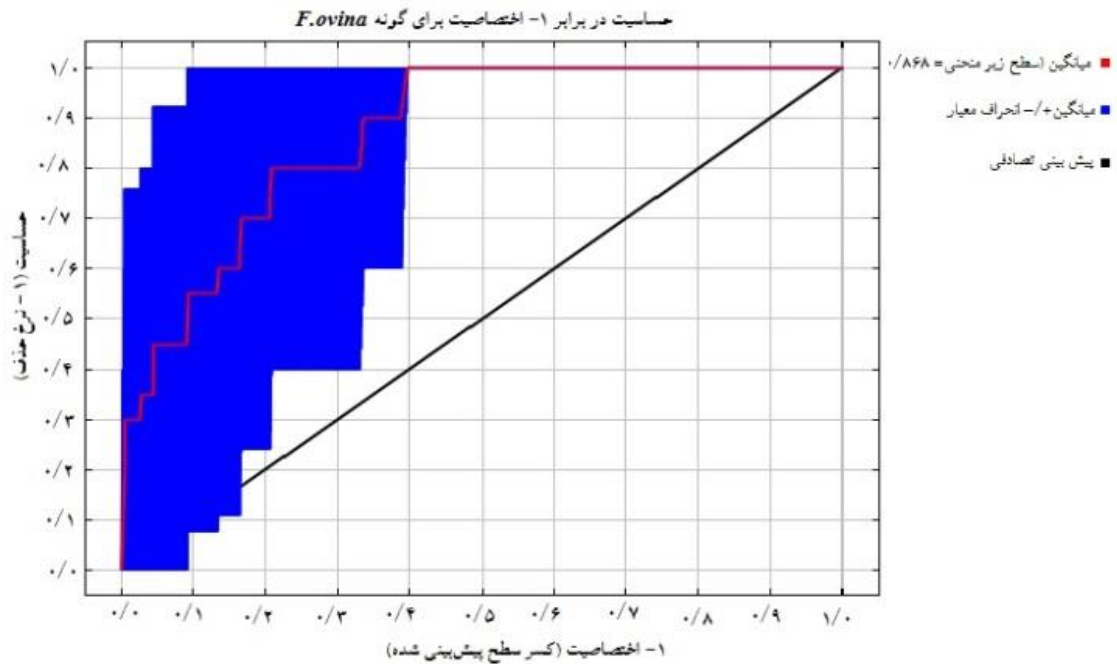
شکل ۵- نمودار چک‌نایف برای بررسی اهمیت هریک از متغیرها در میزان اعتبار مدل مبتنی بر شاخص AUC در رویشگاه گونه *F.ovina*.

از سطح زیرمنحنی نشان داد که برای گونه مورد بررسی در سطح متوسط/منطقی قرار دارد (جدول ۴).

اعتبارسنجی مدل آنترویی حداکثر میزان سطح زیر منحنی ROC برای گونه *F.ovina* مقدار ۰/۸۶ است (جدول ۴ و شکل ۷). ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی با استفاده



شکل ۶- منحنی‌های پاسخ متغیرها برای گونه *F.ovina* (سایه‌های آبی نشان‌دهنده انحراف معیار منحنی‌های پاسخ و خط قرمز رنگ نشان‌دهنده میانگین منحنی‌های پاسخ می‌باشد)



شکل ۷- نمودار سطح زیر منحنی ROC برای اعتبارسنجی مدل مطلوبیت زیستگاه *F.ovina* مبتنی بر روش آنتروپی حداکثر

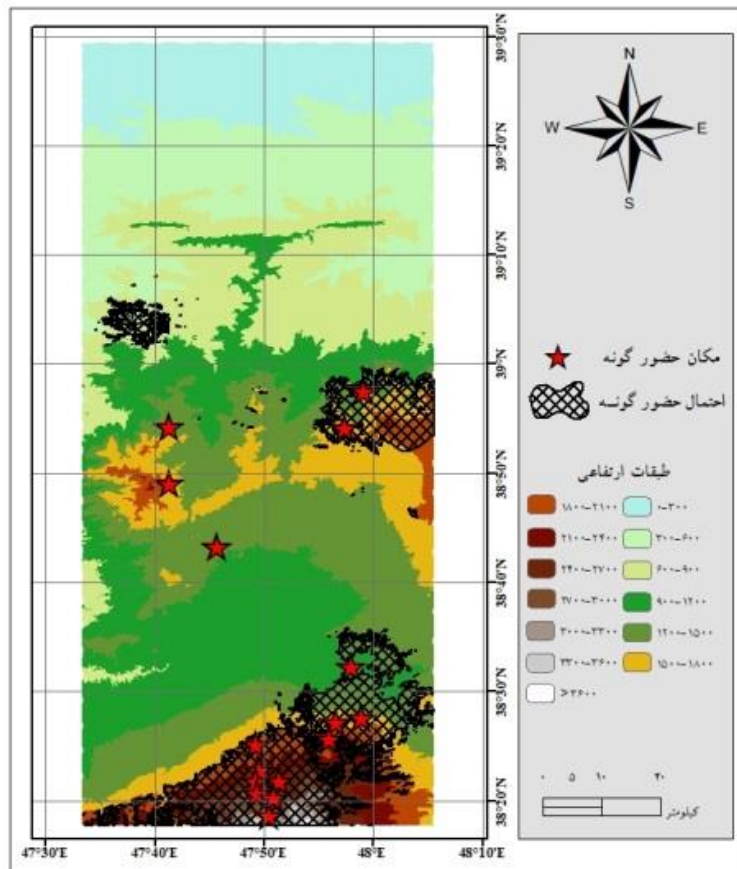
ضریب کاپا ۰/۷۲ و در سطح خیلی خوب است (جدول ۶ و شکل ۶). مساحت هریک از زیستگاه‌های مطلوب و نامطلوب و درصد هریک در جدول ۷ ارائه شده است.

پس از اجرای مدل، نقشه پراکنش گونه مورد مطالعه بعد از تعیین حدود آستانه بهینه حضور (۰/۴۲) تهیه شد. میزان تطابق بین نقشه پیش‌بینی و نقشه واقعی پراکنش گونه با استفاده از

جدول ۶- آستانه بهینه حضور و میزان تطابق نقشه پیش‌بینی گونه *F.ovina* با واقعیت زمینی براساس مدل آنتروپی حداکثر

آستانه بهینه حضور	آماره AUC	صحت پیش‌بینی	ضریب کاپا	میزان توافق با واقعیت زمینی
۰/۴۲	۰/۸۶	متوسط/منطقی	۰/۷۲	خیلی خوب



شکل ۶- نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه *F.ovina*

جدول ۷- مساحت و درصد مطلوبیت زیستگاه در محدوده مورد مطالعه

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	نوع زیستگاه
۱۰/۶۱	۶۵۵۱۱/۱۸	زیستگاه مطلوب برای حضور گونه
۸۹/۳۹	۵۵۱۸۴۵/۴۰	زیستگاه نامطلوب برای حضور گونه
۱۰۰	۶۱۷۳۵۶/۵۷	سطح کل مورد مطالعه

### بحث

گیاهی در منطقه از صرف هزینه‌های زیاد جلوگیری نموده و می‌توان با شناخت روابط حاکم و تعمیم دادن نتایج حاصل در مناطق مشابه، متناسب با شرایط رویشگاهی و وضعیت ترکیب گونه راهکارهای مؤثری برای اصلاح و توسعه مراتع پیشنهاد داد. براساس نمودار جک‌نایف عامل ارتفاع از سطح دریا مؤثرترین عامل بر پراکنش گونه *F.ovina* است. حضور و

هر گونه گیاهی با توجه به خصوصیات منطقه رویش، نیازهای اکولوژیک و دامنه بردباری با برخی از خصوصیات اقلیمی، توپوگرافی و خاکی دارای همبستگی بوده، بنابراین با مشخص نمودن عوامل اصلی تأثیرگذار بر حضور و عدم حضور گونه‌ها و مطالعه موردی گیاهان در کنار مطالعه جوامع

پراکنش این گونه در ارتفاع ۳۳۰۰-۱۴۰۰ متری و بیشترین حضور گونه در محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متری مشاهده شد. Sharifi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تیپ‌های گیاهی مراتع آلبی سبلان حضور این گونه را در حدود ارتفاعی ۳۷۵۰-۲۵۰۰ متری گزارش کردند. پژوهشگران بسیاری عامل ارتفاع را در پراکنش این گونه مؤثر دانستند که با نتایج پژوهش ما مطابقت دارد (Ghorbani & Bahrami, 2017; Heidari et al., 2017; Mirzaei Mossivand et al., 2017). Taghipour & Rastgar (۲۰۱۰) گزارش کردند که *F.ovina* با ارتفاع همبستگی منفی دارد که با این پژوهش در تضاد است. شیب از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه *F.ovina* است. درصد شیب به‌ویژه در ارتفاعات نقش عمده‌ای در استقرار جوامع گیاهی دارد. بیشترین حضور گونه در شیب بالای ۳۰ درصد بود و در شیب‌های بالاتر از ۵۰ درصد از حضور این گونه کاسته شد. Taghipour و همکاران (۲۰۰۸) عامل شیب را از عوامل مهم در گسترش جغرافیایی گونه *F.ovina* بیان کردند. Asghari و Ghorbani (۲۰۱۴) حضور این گونه را در شیب‌های ۱۵-۱۰ درصد بیشترین و در شیب‌های بیش از ۴۰ درصد به‌صورت پراکنده گزارش کردند. Mirzaei Mossivand و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که گونه *F.ovina* در مناطق مرتفع و شیب بالاتر از ۴۰ درصد سازگاری بهتری دارد. Heidari و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که این گونه در شیب حدود ۵۰ درصد به مقدار بهینه خود می‌رسد و با افزایش و کاهش شیب از حضورش کاسته می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. البته هر چه به سمت ارتفاعات بالا می‌رویم به دلیل شیب بیشتر، شستشوی خاک بیشتر شده و از مقدار رس و سیلت کاسته شده و بر میزان شن افزوده می‌شود و احتمال حضور گونه *F.ovina* به علت مجموعه ریشه‌ای قوی، قدرت نگهداری ذرات درشت‌تر در کنار یکدیگر، حضور بیشتر شده و هر چه بر میزان سیلت خاک افزوده شده است، از حضور گونه کاسته شده است.

(Heidari et al., 2017). در بررسی‌هایی که توسط Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) و Mirzaei Mossivand و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد گونه *F.ovina* بهترین عملکرد را در خاک‌های شنی- لومی داشت. Kavianpor و همکاران (۲۰۱۵) رس عمق اول و شن عمق اول و دوم را در پراکنش این گونه مؤثر دانستند. Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) رفتار *F.ovina* با شن را هم‌نوا افزایشی اما با درصد رس هم‌نوا کاهش‌ی گزارش کردند. Esfanjani و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که درصد شن خاک به‌عنوان جزئی از بافت خاک در مدل‌سازی گونه *F.ovina* بیشترین تأثیر را دارد. Heidari و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش گونه *F.ovina* بیان کردند که مقدار رس و سیلت تأثیر منفی بر حضور گونه داشته و با افزایش درصد رس و سیلت خاک امکان حضور گونه کاهش می‌یابد. Asghari و Ghorbani (۲۰۱۴) حضور گونه را در خاک‌های با بافت متوسط تا سنگین گزارش کردند که با نتایج این پژوهش در تضاد است. این گونه در خاک‌هایی با اسیدیتته ۷/۸-۵/۶ مشاهده و در اسیدیتته ۶/۵ به مقدار بهینه خود از نظر حضور رسید. البته هر چه بر میزان قلیایی بودن خاک افزوده می‌شود، از میزان حضور گونه کاسته می‌شود. همچنین این گونه نسبت به افزایش اسیدیتته روندی کاهنده نشان می‌دهد. Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) و Heidari و همکاران (۲۰۱۷)، بیان کردند هر چه به میزان قلیایی و اسیدیتته خاک افزوده شود از میزان حضور گونه *F.ovina* کاسته شده و این گونه تحمل کمی به خاصیت قلیایی و اسیدی بودن خاک دارد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار اسیدیتته را در منطقه انتشار ریشه *F.ovina* ۸-۶ گزارش کردند. Taghipour و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی و تعیین عوامل مؤثر در استقرار و گسترش گونه *F.ovina* بیان کردند که حضور با اسیدیتته خاک رابطه مثبت دارد که با این پژوهش در تضاد است. هدایت الکتریکی خاک در پراکنش گونه *F.ovina* کم

شرقی سبلان گزارش کردند. Zare Chahouki و همکاران (۲۰۱۵)، در بررسی عوامل محیطی مؤثر در پراکنش پوشش در مراتع قره‌باغ آذربایجان غربی گزارش کردند که این گونه بیشترین همبستگی را با پتاسیم داشته و با افزایش پتاسیم احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد که در تقابل با این پژوهش است. گونه *F. ovina* به‌طور عمده مراتعی را ترجیح می‌دهد که به دور از سکونتگاه‌های انسانی به‌عنوان یک عامل تهدیدکننده باشد. با توجه به ارزش علوفه‌ای گونه با تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها که باعث جدایی لکه‌های زیستگاهی و هجوم و اشغال به‌وسیله گیاهان مهاجم و فرصت طلب می‌شود در مهاجرت و استقرار این گونه‌های گیاهی نقش سوئی داشته و احتمال حضور گونه‌ها کاهش می‌یابد. لکه‌های زیستگاهی بزرگ و نسبتاً یکپارچه به‌ویژه در مناطق مرتفع زیستگاه مهم و ایده‌آلی را برای گونه *F. ovina* فراهم می‌سازند و این مناطق باید در اولویت حفاظتی قرار گیرند (Ashrafzadeh & Nazarian, 2018)؛ بنابراین اگر فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری، چرای دام و برداشت گیاهان برای مصارف مختلف به متغیرهای مورد بررسی در مدل اضافه شوند، ممکن است زیستگاه‌های مطلوب واقعی از آنچه در این پژوهش برآورده شده است کوچک‌تر و مجزاتر شود.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است که مراتب سپاس و قدردانی به‌عمل می‌آید.

### منابع مورد استفاده

- Ashrafzadeh, M. R. and Nazarian, A. R., 2018. Habitat suitability modelling for the Caspian Snowcock (*Tetraogallus caspius*), as a typical high-montane species. *Iranian Journal of Natural Environment*, 70(4): 745-756.
- Bagheri, H., Ghorbani, A., Zare Chahouki, M. A., Jafari A. A. and Sefidy, K., 2017. Halophyte species distribution modeling with MaxEnt model in the surrounding rangelands of Meighan playa, Iran.

اهمیت‌ترین متغیر تشخیص داده شد، به‌طوری‌که با افزایش یا کاهش این متغیر، تغییر معنی‌داری در احتمال حضور گونه حاصل نشد. این مسئله می‌تواند از دامنه تحمل وسیع گونه به مقادیر مختلف هدایت الکتریکی و تحمل این گونه به متغیر یادشده ناشی شده باشد. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۳)، به این نتیجه رسیدند که حداکثر تراکم گونه در هدایت الکتریکی ۰/۵-۰/۸ دسی زیمنس بر متر است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Ghorbani و Asghari (۲۰۱۴) عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر انتشار گونه *F. ovina* را در مراتع جنوب شرقی سبلان بررسی و بیان کردند که گونه مورد مطالعه شوری خاک را نمی‌پسندد. در مطالعه‌ای Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که احتمال حضور در هدایت الکتریکی ۰/۲۴ دسی زیمنس بر متر به حداکثر خود می‌رسد و تحمل زیاد به شوری خاک ندارد که در تضاد با این پژوهش است. نتایج نشان داد که حضور گونه *F. ovina* تابع مقدار بارندگی نیست. Taghipour و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی و تعیین عوامل مؤثر در استقرار و گسترش گونه بیان کردند که تابع رطوبت نبوده که با این پژوهش مطابقت دارد. میزان آهک از دیگر عواملی بود که در منطقه مورد بررسی بر پراکنش گونه *F. ovina* مؤثر بود. با افزایش میزان آهک از حضور گونه کاسته شده است. آهک از نمک‌هایی است که دارای حلالیت کم در آب است و در صورتی که به‌صورت محلول درآید تولید یک قلیای قوی می‌کند و گونه‌هایی را که به pH اسیدی نیاز دارند، با محدودیت روبرو می‌کند، از این رو آهک به‌جز برای گیاهان آهک‌دوست یک عامل بازدارنده رشد است و قابلیت استفاده از عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز را برای گیاهان کاهش می‌دهد (Zare Chahouki et al., 2015). از دیگر عناصر خاکی مؤثر در حضور گونه *F. ovina* عنصر پتاسیم است که همبستگی منفی با پراکنش این گونه دارد. Ghorbani و Asghari (۲۰۱۴) عنصر پتاسیم را به‌عنوان یکی از عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر پراکنش گونه *F. ovina* در مراتع جنوب

- 30(2): 15-29.
- Ghorbani, A., Mohammadi Moghaddam, S. Hashemi Majd, K. and Dadgar, N. 2018. Spatial variation analysis of soil properties using spatial statistics: a case study in the region of Sabalan mountain, Iran. *Journal of Eco.mont*, 10(1): 60-70.
- Ghorbani, A., Sharifi, J. Kavianpoor, A. H. Malekpoor, B. and Mirzaei Aghche Gheshlagh, F., 2013. Investigation on ecological characteristics of *Festuca ovina* L. in south-eastern rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(2): 379-396.
- Heidari, F., Dianati Tilaki, G. H. A. and Alavi, S. J., 2017. Evaluation on the response of *Bromus tomentellus* Boiss and *Festuca ovina* L., to some environmental variables using the Generalized Additive Model (GAM) in the rangeland of Galandrood watershed in Mazandaran province, Iran. *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(3): 79-94.
- Kavianpor, A. H., Ghorbani, A. and Heshmati, G. H. A., 2015. Application of spatial statistic in assessing canopy cover variation of rangeland plant species of sheep fescue. *Iranian Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 5(3): 59-70.
- Makhdoom, M., 2005. Foundation of land use planning, sixth edition. Tehran University press. p289.
- Mirzaei Mossivand, A., Keivan Behjou, F. Ramak, P. and Zandi Esfahan, E., 2017. The study of some ecological factors affecting distribution of *Festuca ovina* in Rangelands, Lorestan Province-County Delfan. *Iranian Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 7(4): 47-58.
- Muñoz, J. and Felicísimo, A. M., 2004. Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15, 285-292.
- Nazari Anbaran, F., Ghorbani, A. Azimi Motem, F. Teymorzadeh, A. Asghari, A. and Hashemimajd, K., 2016. Floristic and species diversity in altitudinal gradient of Lahrod-Shabil (North Sabalan). *Iranian Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 7(3): 1-18.
- Peterson, A. T. and Shaw, J., 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. *International Journal for Parasitology*, 33: 919-931.
- Peterson, A. T., Soberon, R. G., Pearson, R. P., Anderson, E., Martinez-Meyer, M., Nakamura, A. and Araujo, M.B., 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, *Journal of Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3): 1473-1484.
- Bedía, J., Busque J. and Gutiérrez, J. M., 2011. Predicting plant species distribution across an alpine rangeland in northern Spain. A comparison of probabilistic methods. *Journal of Applied Vegetation Science*, 14: 415-432.
- Buehler, E.C. and Ungar, L.H., 2011. Maximum entropy methods for biological sequence modeling. Workshop on Data Mining in Bioinformatics (BIOKDD). University of Pennsylvania. Philadelphia, 345 p.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B. A. and Manion, G., 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- Elith, J., Kearney M. and Phillips, S., 2010. The art of modelling range-shifting species. *Journal of Methods in Ecology and Evolution*, 1: 330-342.
- Esfanjani, J., Ghorbani, A. and Zare Chahouki, M. A., 2018. MaxEnt modeling for predicting Impacts of environmental factors on the potential distribution of *Artemisia aucheri* and *Bromus tomentellus- Festuca ovina* in Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(3): 1041-4147.
- Esfanjani, J., Zare Chahooki, M. A. Esmaeili, M. and Behmanesh, B., 2015. Habitat distribution modeling species ranges southern of Golestan province with logistic regression. *Iranian Journal of Watershed Management Research*, 108: 53-61.
- Gaston, A. and Garcia-Vinas, J. I., 2011. Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. *Journal of Ecological Modelling*, 222: 2037-2041.
- Ghafari, S., Ghorbani, A. Moameri, M. Mostafazadeh, R. and Bidarlord, M. 2018. Composition and structure of species along altitude gradient in Moghan-Sabalan rangelands, Iran. *Journal of Mountain Science*, 15(6): 1209-1228.
- Ghorbani, A. and Asghari, A., 2014. Ecological factors affecting the distribution of *Festuca ovina* in Southeastern rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(2): 368-381.
- Ghorbani, A. and Bahrami, B., 2017. The influence environmental factors on the Distribution of Plant Species in the Southeast Rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Watershed Management Research*,

- factors on distribution of range species at Hazarjarib area of Behshaher, Iran (Case study: Village Sorkhgriveh). *Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 154: 195-205.
- Taghipour, A. and Rastgar, S., 2010. Role of physiography on vegetation cover using ARCGIS 10.5 (Case of Hezarjarib's Rangelands, Mazandaran province). *Iranian Journal of Rangeland*, 4(2): 168-177.
- Vessella, F. and Schirone, B., 2013. Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. *Journal of Forest Ecology and Management*: 304: 150-161.
- Warren, D. L. and Seifert, S. N., 2010. Environmental niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Journal of Ecological Applications*, 21: 335-342.
- Zare Chahouki, M. A., Mashgholi, M. and Jafari, H., 2015. Classification of vegetation cover related to environmental factors (case study: Gharabagh rangelands of Azerbaijan province), *Iranian Journal of Plant Research*, 28(5): 995-1005.
- Zare Chahouki, M. A., Abbasi, M. and Azarnivand, H., 2018. Prediction of potential habitat for *Stipa barbata* species using maximum entropy model (Case Study: Taleghan Miany rangelands). *Iranian Journal of Rangeland*, 12(1): 35-47.
- Princeton, New Jersey, USA.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Journal of Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Qin, Z., Zhang, J. E. Tommaso, A. D. Wang, R. L. and Wu, R. S., 2015. Predicting invasions of *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc with Maxent and GARP models. *Journal of Plant Research*, 128: 763-775.
- Shahparian, M., Fakheran, S., Moradi, H., Hemami, M. and Shafiezadeh, M., 2017. Modeling habitat suitability of the dolphins using MaxEnt in Makran Sea, South of Iran. *Journal of Oceanography*, 7(28): 47-56.
- Sharifi, J., Ghorbani, A. Fayyaz, M. and Ashouri, P., 2017. Vegetation types and plant life forms of alpine Sabalan in Ardabil province. *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 7(2): 65-75.
- Sharifi, M.A., Dianatitilaki, G.H. A. and Alavi, S. J., 2015. Investigating the response of *Festuca ovina* L. to some environmental variables using HOF function in Galandrood watershed rangeland. *Iranian Journal of Rangeland*. 8(4): 328-341.
- Songlin, F., Schibig, J. and Vance, M., 2007. Spatial habitat modeling of American chestnut at Mammoth Cave National Park. *Journal of Forest Ecology and Management*, 252: 201-207.
- Taghipour, A., Mesdaghi, M., Heshmati, G.H. A. and Rastgar, S. H., 2008. The effect of environmental

**Determining the effective factors in *Festucaovina* species distribution  
using maximum entropy method  
(Case study: Altitude gradient of Moghan-Sabalanestan rangelands of Ardabil)**

**S. Ghafari<sup>1</sup>, A. Ghorbani<sup>2\*</sup>, M. Moameri<sup>3</sup>, R. Mostafazadeh<sup>3</sup>, M. Bidarlord<sup>4</sup> and A. Kakehmami<sup>5</sup>**

1-Ph.D. Student of Rangeland Science, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

2\*-Corresponding author, Associate Professor, Faculty of agricultural technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,Ardabil, Iran, E-mail: a\_ghorbani@uma.ac.ir

3-Assistant Professor, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabi, Iran

4- Research Assistant Professor, Watershed Management, Forests and Rangelands Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

5- Ph.D. Student of Rangeland Science, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

Received: 02/04/2019

Accepted: 09/02/2019

### **Abstract**

The aim of this study was to predict the habitat expansion of *Festuca ovina* by maximum entropy method and to determine the effective factors on its spread in the elevation gradient of Moghan-Sabalan rangelands of Ardabil province. The 28 study sites were selected and in each study site 3 transects and along each 100-meter transect 10 plots of 1 m<sup>2</sup> with a distance of 10 meters from each other were selected for sampling. Soil sampling in each study site was sampled from two depths of 0-15 and 15-30 cm. Soil properties using spatial statistics, topographic characteristics using digital elevation model, climatic information using meteorological data of the region, and land use measurements prepared with the help of a user map. Prediction maps related to the distribution of *F.ovina* were prepared using the maximum entropy modeling method. The role of environmental factors affecting the distribution of the species was investigated using the Jackknife method and response curves. Height variables, slope, patch size (coefficient of variation), potassium (15-30 cm depth), and lime (0-15cm depth) had the highest share in the model. The area under the curve index (AUC) was 0.86, which indicates the accuracy and average efficiency of the model in identifying the most desirable distribution areas. The kappa coefficient obtained from the comparison of forecast and actual maps was 0.72, which is at a very good level.

**Keywords:** Ecological niche modeling, habitat suitability, geostatistics.