بوم‌شناسی کاربردی/ سال چهاردهم / شماره سوم / ۱٤۰٤/ صفحات ٦۹ تا ۸٤

پهنه‌بندی خطر پراکنش پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortrix viridana L.*) در جنگل‌های سروآباد استان کردستان، ایران

احمد ولی‌پور[۱*]، مهتاب پیرباوقار[۲] و عبدالله نادری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۱۱/۰۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۲/۱٦)

چکیده

پروانه جوانه‌خوار بلوط از آفات مهم جنگل‌های زاگرس است که با تغذیه از برگ و جوانه، موجب ضعف شدید درختان می‌شود. با وجود تلاش برای مهار این آفت، اطلاعات دقیق درباره پراکنش آفت و مناطق بحرانی محدود است. این پژوهش با هدف مدل‌سازی احتمال حضور آفت و پهنه‌بندی خطر آن در جنگل‌های سروآباد با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد. بدین منظور ٦۱ نقطه آلوده و ۵۷ نقطه غیرآلوده به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. ویژگی‌های مکانی شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت، شیب و فاصله از اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، جاده‌ها و رودخانه‌ها در محیط GIS استخراج و به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند. نتایج نشان داد ارتفاع، شیب، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از جاده اثر منفی و معنی‌داری بر احتمال حضور آفت دارند. شاخص‌های برازش مدل ضریب تعیین نک‌جرکی (۰/۵۰۲)، آزمون هازمر-لمشاو (*p*-value = ۰/۷۰۷)، سطح زیر منحنی راک (۰/۸٦٤) و صحت کلی طبقه‌بندی (۷۵/٤ درصد) بود. بر اساس نقشه پهنه‌بندی، ۲۲ درصد از جنگل‌های سروآباد در زون پرخطر، ۱۱/۲ درصد در زون متوسط و بقیه در زون کم‌خطر قرار گرفتند. بر پایه یافته‌ها، عوامل شناسایی‌شده نقش مهمی در تبیین الگوی حضور آفت در جنگل‌های سروآباد دارند و به‌کارگیری نتایج می‌تواند کارایی برنامه‌های مدیریتی و اقدامات کنترلی را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پروانه جوانه‌خوار بلوط، رگرسیون لجستیک، جنگل‌های زاگرس، عوامل محیطی و انسانی، GIS، مدل‌سازی پراکنش

۱. دانشیار، گروه جنگلداری و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۲. دانشیار، گروه جنگلداری و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ahmadvalipour@uok.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

مقدمه

اکوسیستم‌های جنگلی با ایفای نقش کلیدی در حفظ تعادل اکولوژیک، تأمین معیشت جوامع محلی و ارائه خدمات اکوسیستمی یکی از عوامل مهم پایداری سرزمین هستند. با این‌حال، کشور ایران با پوشش حدود ۷/٤ درصد جزو کشورهای با پوشش جنگلی کم به حساب می‌آید (۱). جنگل‌های زاگرس که از شمال غرب تا جنوب غرب امتداد دارند، با ترکیب غالب گونه‌های جنس بلوط تقریباً ٤۰ درصد از مساحت جنگل‌های کشور را به خود اختصاص داده‌اند. تولید و ارائه خدمات اکوسیستمی گوناگون (مانند ترسیب کربن، تأمین زیستگاه، تنظیم جریان‌های آب، جلوگیری از سیل و فرسایش خاک، تعدیل آب و هوا، تولید محصولات چوبی و غیرچوبی، گیاهان دارویی و خوراکی) از جمله ارزش‌های مهم جنگل‌های زاگرس است که جایگاه مهمی در تأمین امنیت غذایی، حفاظت از آب، تأمین معیشت و حمایت از نسل‌ها پیدا کرده است (۱). این جنگل‌ها به دلایل گوناگون انسانی (توسعه بی‌رویه و افزایش جمعیت) و طبیعی (تغییر اقلیم) در معرض تهدید و تخریب قرار گرفته است. آفات جنگلی یکی از عوامل مهم تهدیدکننده پایداری اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌آیند که با تغذیه از اندام‌های حیاتی درختان، موجب کاهش توان فتوسنتزی، زوال تدریجی پوشش گیاهی و اختلال در چرخه‌های زیستی جنگل می‌شوند.

از منظر بوم‌شناسی، حشرات نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند. با این حال در صورت طغیان، منجر به اختلال در تعادل طبیعی بوم‌سازگان می‌شوند. در سال‌های اخیر، طغیان‌های مکرر برخی آفات در جنگل‌های ایران، به‌ویژه در ناحیه زاگرس، خسارات گسترده‌ای را به منابع طبیعی وارد کرده و موجب نگرانی‌های جدی در زمینه مدیریت و حفاظت از این زیست‌بوم‌ها شده است (۲، ۳ و ٤). پراکنش وسیع و گاه پیش‌بینی‌ناپذیر این آفات، همراه با کمبود داده‌های دقیق مکانی، چالش‌های متعددی را در برنامه‌ریزی‌های کنترلی و حفاظتی ایجاد کرده است. علاوه بر پیامدهایی که طغیان آفات بر ساختار و کارکردهای جنگل می‌گذارند؛ خدمات اکوسیستمی قابل ارائه جنگل به جوامع انسانی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای مثال کاهش محصولات غیرچوبی از جمله گیاهان دارویی و میوه‌های جنگلی، درآمد جوامع محلی را کاهش می‌دهد (۵ و ٦). از این رو شناسایی عوامل موثر بر پراکنش آفت و نقاط حساس جنگل در مقابله با تهدیدها و کاهش پیامدهای منفی آفات ضروری است (٦ و ۷).

از زمانی که آمزل و عبایی در سال ۱۳۵٤ در ماکو و سردشت و پس از آن عبایی در سال ۱۳٦۲ در جنگل‌های بلوط استان کهکیلویه و بویراحمد نمونه‌هایی از پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortrix viridana* L. (Lep. Tortricidae)) را جمع‌آوری و خسارت آن را گزارش کردند نزدیک به نیم قرن می‌گذرد (۲). با این حال، طغیان این آفت هر ساله خسارت‌های زیادی را در جنگل‌های بلوط ایجاد و هزینه‌های قابل توجهی را به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور برای مراقبت از جنگل در برابر آفت تحمیل می‌کند. پروانه جوانه‌خوار بلوط یکی از آفت‌های تک نسلی جنگل‌های بلوط است که در مرحله لاروی پنج سنی خود، از برگ و جوانه درختان تغذیه می‌کند و طیف نسبتا وسیعی از میزبان‌ها شامل گونه‌های جنس بلوط، زالزالک، بنه، گلابی وحشی، افرا کیکم و بادام کوهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳، ۸ و ۹). طغیان این حشره در برخی سال‌ها منجر به بروز آسیب‌های فراوانی در جنگل‌های زاگرس و حتی جنگل‌های هیرکانی می‌گردد (۲). آغاز رشد لاروها از اواخر اسفند و اوایل فروردین بوده و آغاز تغذیه آنها از برگ درختان بستگی به زمان شروع فصل رویش و ظهور برگ‌ها دارد و در اواخر اردیبهشت تا اوایل خرداد پایان می‌پذیرد (۲ و ۳). جنگلی که مورد حمله این آفت قرار می‌گیرد، کاملا عاری از برگ شده و از جنبه‌های مختلف زیستی، اقتصادی و اجتماعی آثار منفی بر جای می‌گذارد (۹).

جنگل‌های استان کردستان با مساحت حدود ۲٤۰ هزار هکتار و با تیپ غالب گونه‌های بلوط (۱۰) یکی از میزبان‌های این آفت است. پروانه جوانه‌خوار بلوط، با نام محلی "هاریه" در کردستان، از گذشته‌های دور در منطقه حضور داشته است، اما رشد و طغیان این آفت در ده سال اخیر به ویژه در جنوب استان و شهرستان‌های

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

مریوان و سروآباد شدت گرفته است؛ به‌طوری‌که طغیان آفت به صورت سالیانه اتفاق می‌افتد. این در حالی است که در برخی گزارش‌ها دوره‌های ۳ تا ۵ سال و ۵ تا ۷ سال به‌عنوان دوره طغیان آفت اعلام شده است (۳). مطالعه حضور و پراکنش آفت جوانه‌خوار بلوط با استفاده از تله‌های فرومونی نشان داد که این آفت در تمام جنگل‌های استان حضور دارد و بیشترین فعالیت آن در اواخر اردیبهشت‌ماه است (۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که آفت جوانه‌خوار بلوط از هر سه گونه بلوط زاگرس شمالی به ویژه مازودار (*Quercus infectoria*) تغذیه می‌کند (۳ و ٤). مطالعه پارامترهای موثر بر پراکنش پروانه جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های مریوان بیانگر این است که جمعیت آفت بیشترین و کمترین همبستگی را به‌ترتیب با ارتفاع و شیب دارد. همچنین، شاخص دریافت نور، NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) و فاصله از آبراهه‌ها به‌ترتیب با همبستگی قوی تا ضعیف رتبه‌بندی شدند (۱۱). تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های پی در پی، کاهش دشمنان طبیعی، تنوع کم گونه‌ای، عدم مدیریت درست آفت و تغییرات اجتماعی در مدیریت جنگل از جمله عوامل موثر بر افزایش طغیان آفات جنگل عنوان شده است.

با توجه به پیامدهایی که این آفت به صورت مستقیم (مانند از بین رفتن برگ‌ها و ضعف فیزیولوژیک درخت) و غیرمستقیم (ایجاد شرایط برای حضور آفات و بیماری‌های دیگر مانند بیماری زغالی) بر توده‌ها و درختان جنگل می‌گذارد (٤، ۱۲ و ۱۳)؛ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، هر سال در بخش‌هایی از جنگل‌های آفت‌زده، اقدام به مبارزه با این آفت به روش‌های مختلف می‌نماید. اگرچه اقدامات انجام شده به نسبت اعتبار تخصیص‌یافته انجام می‌شود و عوامل اداری و مدیریتی زیادی در آن دخیل هستند اما مطالعه دقیقی برای تعیین نوع مبارزه متناسب با شدت حضور آفت در هر منطقه صورت نمی‌گیرد. در برنامه‌ریزی مقابله با این آفت، اطلاعات دقیقی در رابطه با اولویت‌بندی مناطق وجود ندارد و اغلب بر پایه بازدیدهای میدانی، کانون‌های بحران شناسایی و اقدامات اجرایی در آنها انجام می‌شود. علاوه بر این، برآورد درستی از مساحت مناطق آلوده به آفت، مناطق دارای پتانسیل آلودگی و نیز عوامل محیطی موثر بر پراکنش آفت وجود ندارد. آگاهی نسبی از موارد گفته شده منجر به اشراف اطلاعاتی کارشناسان جنگل و در نتیجه تخصیص اعتبارات به صورت هدفمندتر، شناسایی مناطق دارای اولویت، تعیین روش مبارزه متناسب با شدت آفت در هر نقطه و به طور کلی افزایش کارایی سیستم مدیریت در زمینه کنترل آفت و حفاظت از جنگل‌ها خواهد بود.

به منظور شناسایی عوامل محیطی موثر بر پراکنش و حضور پروانه جوانه‌خوار بلوط، رویکرد مدلسازی احتمالی بر پایه رگرسیون لجستیک و تهیه نقشه پهنه‌بندی عملیاتی یکی از تکنیک‌های پرکاربرد است. با توجه به اینکه حضور و عدم حضور آفت در هر نقطه از جنگل، جزو متغیرهای دو بعدی است، متغیر وابسته در مطالعه حاضر دارای طبیعتی دوگانه (باینری) است که می‌توان احتمال وقوع آن را با رگرسیون لجستیک نشان داد. این روش قابلیت بسیار خوبی برای مدلسازی پیشامدهای تصادفی که صرفا دارای دو حالت ممکن هستند (حضور و عدم حضور در این تحقیق)، از خود نشان می‌دهد (١٤). از این رو به صورت گسترده در مطالعات مختلفی به منظور تعیین پراکنش پوشش گیاهی (۱۵، ١٦ و ۱۷)، زمین‌لغزش (۱۸)، آتش‌سوزی (۱۹)، حفاظت از حیات وحش (۲۰) و تخریب و تغییرات سطح جنگل (۲۱) مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات به منظور افزایش دقت پیش‌بینی گسترش آفت جنگلی و زراعی، از ترکیب روش رگرسیون لجستیک با الگوریتم یادگیری ماشین استفاده شده است (۲۲).

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان و یگان‌های عملیاتی آن در شهرستان‌ها از طریق پیمانکاران و با نظارت کارشناسان خود، هر ساله اقداماتی نظیر شکار از طریق تله‌های فرمونی، عملیات مکانیکی و استفاده از سم بیولوژیک بی‌تی را برای مهار جمعیت پروانه جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های استان انجام داده‌اند. با وجود تلاش‌های اجرایی برای کنترل آفت، نبود اطلاعات دقیق مکانی و عدم اولویت‌بندی مناطق بحرانی، موجب

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

کاهش اثربخشی اقدامات شده است. از این رو، وجود مدل و نقشه قابل اعتماد برای پیش‌بینی خطر پراکنش آفت و شناسایی مناطق حساس، برای مدیریت و کنترل آفت ضروری است.

با توجه به چالش‌های موجود در مدیریت آفت جوانه‌خوار بلوط، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی احتمال خطر حضور این آفت در جنگل‌های شهرستان سروآباد استان کردستان انجام شد. در این مطالعه، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش آفت شناسایی و نقشه‌های پهنه‌بندی و اولویت‌بندی مناطق مستعد تهیه گردید. بهره‌گیری از این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار گیرد و زمینه‌ساز ارتقای اثربخشی اقدامات مدیریتی، تخصیص هدفمند منابع، انتخاب روش‌های مبارزه متناسب با شدت آلودگی و در نهایت افزایش کارایی سیستم حفاظت از جنگل‌های زاگرس در برابر تهدیدهای ناشی از طغیان آفات باشد تا از تشدید بحران‌های محیط زیستی در جنگل‌های زاگرس پیشگیری نمایند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

با توجه به گستردگی پراکنش آفت در جنگل‌های بلوط زاگرس، گستره جنگل‌های شهرستان سروآباد در استان کردستان، برای تهیه مدل پراکنش پروانه جوانه‌خوار در نظر گرفته شد. کوه‌های هورامان، شاهو و کوسالان از ارتفاعات مهم این شهرستان است که شرایط را برای جذب رطوبت و شکل‌گیری ابرهای بارانزا و استقرار پوشش جنگلی فراهم نموده است. بر پایه اعلام اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، مساحت جنگل‌های سروآباد حدود ٦۷۰۰۰ هکتار است که عمدتا ترکیبی از گونه‌های جنس بلوط (برودار (*Quercus brantii* Lindl.) و مازودار (*Q. infectoria* Oliv.)، بنه و سایر گونه‌ها (گلابی، زالزالک، کیکم و بادام کوهی) است. منطقه مورد بررسی در گستره "٤٤ '٠١ °٣٥ تا "٢٠ '٢٤ °٣٥ عرض جغرافیایی شمالی و "٣٥ '٠٤ °٤٦ تا "٢٠ '٤٣ °٤٦ طول جغرافیایی شرقی و در دامنه ارتفاعی ۷۵۰ تا ۳۳۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد. بر پایه آمار اداره کل هواشناسی استان کردستان، متوسط بارندگی شهرستان در بازه زمانی سی ساله (تا سال ۱٤۰۰) حدود ٦۵۰ میلی‌متر و بیشتر در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار به صورت برف و باران است. متوسط دمای سالانه در تابستان و زمستان به ترتیب ۲٦ و ٤ درجه سانتیگراد گزارش شده است. این جنگل‌ها از گذشته‌های دور محل تأمین معیشت جوامع محلی و روستاییانی بوده است که گذران زندگی آنها عمدتا بر پایه دامداری و کشاورزی سنتی است. به منظور بهره‌گیری و ترکیب موثر عوامل و منابع تولید (جنگل، کشاورزی و دامداری) سیستم‌های بیشه‌زراعی شکل گرفته است و رابطه انسان با طبیعت در چارچوب قواعد سنتی و عرفی بیشه‌زراعی تنظیم شده است. در سال‌های اخیر به دلیل روی آوردن نسل جدید به مشاغل فنی و خدماتی در شهرستان سروآباد، شکل معیشت محلی تغییر یافته و جنگل اهمیت کمتری در تأمین درآمد آنها دارد. تغییرات اقلیمی، تابستان‌های گرم و طولانی، خشکسالی و طغیان آفات و بیماری‌ها در کنار عوامل انسانی مانند توسعه شهرها، جاده‌سازی، خطوط انتقال انرژی و تغییر کاربری زمین منجر به کاهش سطح جنگل‌ها و از دست رفتن کیفیت رویشگاه و درختان شده است.

روش تحقیق

نقشه‌ها: نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، آبراهه‌ها، شبکه جاده، فاصله از اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع (با اندازه سلول ۳۰ متر) استخراج شدند. با توجه به اهمیت فعالیت‌های انسانی در وقوع پدیده‌های اکولوژیک، عواملی مانند اراضی کشاورزی، شبکه جاده و مناطق مسکونی از نقشه کاربری اراضی استخراج شد.

متغیرها و جمع‌آوری داده‌ها: داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی شامل دو گروه داده‌های جمع‌آوری شده از عرصه و نقشه‌های فیزیوگرافی و سایر عوامل محیطی بودند. نقشه عوامل محیطی برای برآورد احتمال حضور پروانه جوانه‌خوار بلوط

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

جدول ۱. متغیرهای پیش‌بینی کننده احتمال حضور آفت جوانه‌خوار بلوط و ویژگی‌های آنها در جنگل‌های سروآباد

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار
فاصله از مناطق مسکونی	۲۷۸/۴۲	۵۴۶۸/۹۹	۱۷۰۵/۶۲	۱۵۸۹/۶۸	۹۳۵/۷۴
فاصله از جاده	۱/۵۰	۸۴۱۱/۴۳	۱۵۰۴/۲۳	۹۷۲/۶۲	۱۵۷۲/۲۰
فاصله از اراضی کشاورزی	۰۰۰/۰۰	۵۱۶۴/۴۲	۱۰۵۸/۴۲	۶۴۱/۹۶	۱۱۲۳/۰۲
فاصله از رودخانه	۱۶۲/۷۲	۹۳۳۵/۶۴	۱۹۸۰/۷۱	۱۳۰۹/۹۹	۱۹۰۹/۹۲
شیب	۱/۲۴	۴۲/۴۲	۱۴/۶۱	۱۳/۷۴	۹/۵۲
ارتفاع از سطح دریا	۱۰۵۵/۰۰	۲۱۶۳/۰۰	۱۴۷۵/۶۳	۱۴۵۶/۵۹	۲۱۲/۲۹
جهت جغرافیایی (آزیموت اصلاح‌شده)	۰۰/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۳	۰۰/۹۸	۰۰/۷۲

شامل پوشش جنگلی، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب، اراضی کشاورزی، شبکه راه‌های ارتباطی و آبهای سطحی تهیه شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده از عرصه مربوط به نقاطی بود که توسط پروانه جوانه‌خوار بلوط آلوده شده بود. به این ترتیب محدوده مناطق دارای آفت با استفاده از GPS نقشه‌برداری شد و در نقشه تهیه شده تعدادی نقطه به صورت تصادفی مشخص و در جنگل کنترل شد. سپس، موقعیت مکانی ۶۱ نقطه آلوده به پروانه جوانه‌خوار بلوط در محیط GIS ثبت گردید. تعداد ۵۷ نقطه به صورت تصادفی در مناطق فاقد پروانه جوانه‌خوار بلوط نیز برداشت و در پایگاه داده ایجاد شده ثبت گردید. با استفاده از نقشه‌های تهیه شده (شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، آبراهه، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی) پایگاه داده‌ها با استخراج ویژگی‌های این فاکتورها، برای نقاط آفت‌زده و بدون آفت (متغیرهای پیش‌بینی کننده) تکمیل شد. این ویژگی‌ها شامل ارتفاع هر نقطه از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب، فاصله نقاط از اراضی کشاورزی، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده‌های اصلی و فاصله از رودخانه‌ها بود که به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده (مستقل) برای ایجاد مدل رگرسیون لجستیک به‌کار گرفته شد (جدول ۱). با توجه به اینکه همه متغیرها به جز جهت جغرافیایی پیوسته و دارای مقیاس نسبی بودند برای سهولت کار و همگن نمودن داده‌ها، آزیموت جهت‌های جغرافیایی با استفاده از تابع کسینوسی (– 45) Cos (Aspect) + 1 به عددهای پیوسته (مقادیری از صفر (جهت جنوب غربی) تا دو (جهت شمال شرقی) تبدیل شد (۲۳). محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های مربوط به ایجاد مدل رگرسیون لجستیک، در محیط نرم‌افزار SPSS. 22 انجام شد.

مدل برآورد خطر پراکنش آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط

یکی از روش‌های ایجاد مدل پراکنش پروانه جوانه‌خوار بلوط به دلیل ویژگی‌های این پدیده و ماهیت دوگانه (باینری) آن، مدل رگرسیون لجستیک است. رگرسیون چندگانه لجستیک برای مدلسازی احتمال وقوع یک پیشامد دوحالتی به عبارتی متغیرهای وابسته دو بعدی که دارای دو پاسخ بله یا خیر، هست یا نیست، حضور یا عدم حضور و مشابه آن هستند؛ به کار می‌رود. پاسخ‌های مثبت و منفی (متغیر وابسته) به صورت گسسته و به ترتیب با عددهای یک و صفر نشان داده می‌شود و ارتباط آن با متغیر(های) مستقل با استفاده از مدل عمومی زیر (رابطه ۱) برقرار می‌گردد (۱۴، ۲۴).

$$p = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_k x_k}}{1+e^{\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_k x_k}}$$ رابطه ۱

در این معادله، p احتمال وجود آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط به عبارتی احتمال به دست آمدن ارزش یک توسط مدل، β_i ضریب برآورد شده توسط مدل، x_i متغیر مستقل و e عدد نپر و پایه تابع نمایی است (۱۴ و ۲۴).

در این روش برای برآورد پارامترها از روش حداکثر درست‌نمایی، MLE (Maximum Likelihood Estimation)، استفاده

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

می‌شود و فرض نرمال بودن متغیر پاسخ و همگنی واریانس‌ها مطرح نیست، با این حال وجود همخطی در بین متغیرهای پیشگو پذیرفته نیست (۱۴). فرض مهم در رگرسیون لجستیک این است که احتمال به دست آمدن پاسخ مثبت (عدد ۱) برای متغیر وابسته از منحنی لجستیک تبعیت می‌کند. در مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده برای تحلیل ارتباط فضایی بین رویداد حضور آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط و عوامل محیطی مؤثر بر آن به نقاط آفت‌زده و بدون آفت، که موقعیت آنها طی عملیات میدانی برداشت و در پایگاه داده ثبت شده بود، به ترتیب عدد یک و صفر نسبت داده شد. خروجی این مدل مجموعه اعدادی بین صفر و یک است؛ به‌طوری‌که به ازای هر نقطه (یعنی هر عدد صفر یا یک) مقدار احتمالی مشخص می‌شود که نزدیکی آن نقطه را به عدد یک (وجود آفت) نشان می‌دهد. این احتمال بر پایه متغیرهای پیش‌بینی کننده توسط مدل محاسبه شد. رگرسیون لجستیک در دو گام صفر و یک انجام شد. در گام صفر هیچ متغیر پیش‌بینی کننده‌ای وارد مدل نمی‌شود و مدل‌سازی صرفا بر اساس مقدار ثابت (β_0) صورت می‌گیرد که به آن مدل نول گفته می‌شود. البته این مدل معمولاً مورد نظر محققان نیست و مدل تولیدشده در گام یک به‌عنوان مدل اصلی گزارش می‌شود. در گام یک، متغیرهای مستقل وارد مدل شده و مدل نهایی با توجه به آماره‌های به‌دست‌آمده ارائه می‌گردد.

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل

در این مطالعه، از آماره Nagelkerke R^2، آزمون هازمر–لمشاو (Hosmer-Lemeshow, H-L)، جدول طبقه‌بندی داده‌ها یا ماتریس خطا، منحنی ROC (مشخصه عملکرد نسبی (Receiver Operating Characteristic)) و نمودار طبقه‌بندی برای ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. شبه R^2ها به منظور آزمون نکویی برازش مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از رابطه ۲ به کار رفته است.

رابطه ۲ $$NagelKerke\ Pseudo\ R^2 = \frac{1-\left[\frac{L(R)}{L(F)}\right]^{2/N}}{1-L(R)^{2/N}}$$

که: L(F) مقدار تابع احتمال مدل لجستیک برازش‌یافته (احتمال حضور پروانه جوانه‌خوار)، L(R) مقدار تابع احتمال در صورتی که تمام ضرایب مدل به جز ثابت مدل (عرض از مبدأ) صفر در نظر گرفته شود و N تعداد مشاهده‌ها است. ضریب Nagelkerke در مدل لجستیک همانند ضریب تعیین در رگرسیون‌های دیگر برای ارزیابی برازش مدل مورد استناد قرار می‌گیرد اما تفاوت زیادی هم با آن دارد و تفسیر آن با احتیاط زیادی همراه است. مقادیر بیشتر از ۰/۲ نشان‌دهنده برازش نسبتا خوب و قابل قبول مدل است (۱۷).

آزمون هازمر–لمشاو، نکویی برازش و کالیبراسیون مدل را نشان می‌دهد و با تقسیم خروجی مدل (مقدار احتمال) به ۱۰ طبقه مساوی (از طبقه ۰/۱> تا ۰/۹–۱)، تعداد مشاهده‌های قرار گرفته در هر گروه را با تعداد افرادی که توسط مدل لجستیک در هر گروه پیش‌بینی شده است مقایسه می‌کند. مقدار احتمال (*p*-value) این مقایسه بر اساس توزیع کای اسکوئر محاسبه شده است و در صورتی که آماره آزمون هازمر–لمشاو بیشتر از ۰/۰۵ باشد فرض صفر که بیانگر عدم وجود اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل است، رد نمی‌شود (۲۴). به این ترتیب نتیجه‌گیری می‌شود که پیش‌بینی مدل با واقعیت تفاوت معنی‌داری ندارد.

جدول طبقه‌بندی: صحت کلی پیش‌بینی حضور یا عدم حضور آفت به وسیله جدول طبقه‌بندی قابل ارزیابی است. این جدول نشان می‌دهد که چه تعداد از مشاهده‌های متغیر وابسته، که با صفر و یک مشخص شده بودند، به درستی توسط مدل پیش‌بینی شده است. صحت پیش‌بینی صفرها، یک‌ها و پیش‌بینی کل توسط مدل به درصد نشان داده می‌شود.

قدرت تفکیک مدل و منحنی ROC: قدرت تفکیک مدل با دو ویژگی حساسیت و تشخیص تعیین می‌شود. منظور از حساسیت، توانایی مدل در تشخیص درست نقاطی است که دارای آفت هستند و با نسبت تعداد نقاط آفت‌زده‌ای که به درستی طبقه‌بندی شده است به کل نقاط دارای آفت محاسبه می‌شود. تشخیص عبارت است از توانایی مدل برای انتخاب نقاط فاقد

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

آفت که با نسبت تعداد تشخیص‌های درست نقاط بدون آفت به کل نقاط بدون آفت نشان داده می‌شود (۲٤). برای تسهیل در نشان دادن قدرت تفکیک مدل از روی شاخص‌های حساسیت و تشخیص، منحنی ROC رسم می‌شود. در این منحنی مقادیر حساسیت در محور Yها و مقادیر تشخیص (مقدار تشخیص – ۱) در محور Xها قرار می‌گیرد. در رگرسیون لجستیک با در نظر گرفتن حد آستانه ۰/۵ (طبقه‌بندی تصادفی)، مدلی که فاقد قدرت تفکیک است، منحنی ROC آن با زاویه ٤٥ درجه از نقطه صفر دستگاه مختصات (نیمساز) ترسیم می‌شود؛ چرا که احتمال ۰/۵ نشان‌دهنده طبقه‌بندی تصادفی نقاط است. مدل با قدرت تفکیک زیاد همزمان حساسیت و تشخیص بالایی دارد و منحنی ROC آن از نیمساز فاصله گرفته به سمت بالا و گوشه چپ محور مختصات متمایل می‌گردد. سطح زیر منحنی راک (Area Under the Curve (AUC) که از ۰/۵ تا ۱ متغیر است قدرت تفکیک مدل را مشخص می‌کند به‌طوری‌که هر چه به ۱ نزدیکتر باشد قدرت تفکیک مدل لجستیک بیشتر است (۲۵ و ۲٦).

نمودار طبقه‌بندی: نمودار احتمالات پیش‌بینی شده تصویری از پیش‌بینی‌های درست و نادرست را ارائه می‌دهد. محور افقی این نمودار احتمال پیش‌بینی شده از صفر تا یک و محور عمودی فراوانی مشاهده‌های طبقه‌بندی شده در بازه احتمالی محور افقی است. در داخل نمودار نقاطی که نشان‌دهنده دو حالت متغیر وابسته (حضور و عدم حضور آفت جوانه‌خوار) است نشان داده می‌شود. انتظار بر این است که نقاط مربوط به عدم حضور آفت در سمت چپ و نقاط مربوط به حضور آفت در سمت راست نمودار تجمع پیدا کند. بنابراین هر قدر پراکنش نقاط به صورت U شکل و تجمع آنها در دو انتهای صفر و یک محور افقی باشد، مطلوب‌تر است. تبعیت نقاط از توزیع نرمال به معنی تجمع بیشتر نقاط در احتمال ۰/۵ و بیانگر طبقه‌بندی تصادفی نقاط است. با این حال باید توجه کرد که همه نقاط به طور کاملا درستی طبقه‌بندی نمی‌شوند و همیشه تعدادی از مشاهدات دارای کد یک در سمت چپ نمودار قرار می‌گیرند که عکس آن برای نقاط با کد صفر اتفاق می‌افتد.

حساسیت‌سنجی و تعیین اهمیت متغیرها: به منظور تعیین میزان تاثیر و اهمیت متغیرهای مستقل بر پراکنش آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط، از روش حذف متغیرها استفاده شد. در این روش هر بار یکی از متغیرهای مستقل حذف و مدل با سایر متغیرهای مستقل ایجاد شد. پس از هر بار اجرای مدل، میزان تأثیر متغیر مستقل بر قدرت پیش‌بینی مدل با دو شاخص Nagelkerke R^2 و سطح زیر منحنی راک ارزیابی شد. به این ترتیب میزان تغییرات این دو شاخص، حساسیت مدل به متغیر مستقل حذف شده و مقدار تاثیر آن بر متغیر وابسته را نشان می‌دهند.

پهنه‌بندی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر پروانه جوانه‌خوار بلوط، لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مستقل ذخیره شده در پایگاه داده‌ها وارد مدل شدند و پس از اعمال ضرایب، خروجی مورد نظر تهیه شد. در این نقشه هر نقطه ارزشی از صفر تا یک را نشان می‌دهد که معادل احتمال حضور آفت در آن نقطه است. هر چه این مقدار به یک نزدیکتر باشد، احتمال خطر بروز آفت بیشتر است. برای پهنه‌بندی نقشه خطر، طبقه‌بندی ارزش‌های احتمال به نسبت مساوی به چهار طبقه تقسیم و نقشه پهنه‌بندی خطر پراکنش آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط با چهار طبقه کم‌خطر، خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر یا بحرانی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8.2 تهیه شد.

نتایج

مدل خطر آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط

به منظور بررسی وجود هم‌خطی چندگانه، به‌عنوان یکی از مراحل مهم فراکافت رگرسیون لجستیک، شاخص‌های تحمل هم‌خطی (Tolerance) و فاکتور تورم واریانس (Variance Inflation Factor, VIF) مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

جدول ۲. شاخص‌های تحمل هم‌خطی (Tolerance) و فاکتور تورم واریانس (VIF) برای متغیرهای پیش‌بینی کننده

متغیر	Tolerance	VIF
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۷۱۸۹	۱/۳۹۱
فاصله از رودخانه	۰/۵۲۵۷	۱/۹۰۲
فاصله از جاده	۰/۷۰۲۹	۱/٤۲۳
فاصله از اراضی کشاورزی	۰/۵۰۷۲	۱/۹۷۲
شیب	۰/۵۷٦۸	۱/۷۳٤
ارتفاع از سطح دریا	۰/۵۳٤٤	۱/۸۷۱
جهت جغرافیایی	۰/۹۸۰٦	۱/۰۱۹

جدول ۳. ضرایب رگرسیون و آماره والد متغیرهای مستقل

متغیرهای مدل	ضریب رگرسیون	آماره والد	ضریب رگرسیون نرمال‌شده
ثابت	۹/۳٤۳٦٦۵	۱۵/۷۰۹۵۳**	۹/۳۲۷
فاصله از مسکونی	-۰/۰۰۰۸۷۹٤	۵/۱۹۳۲*	-٤/۷۷٦
فاصله از رودخانه	-۰/۰۰۰۱۷۲۵	۱/۰۸۹٤ ns	-۱/۵۷۲
فاصله از جاده	-۰/۰۰۰٤۹۵۲	۵/٤۲۸۸*	-٤/۱٤۹
فاصله از کشاورزی	۰/۰۰۰۱۵٦۲	۰/۲۰۲۹ ns	۰/٦۹۷
شیب	-۰/۰۷۳۷۱۸۷	۳/٦۹٦۰*	-۳/۰۷٤
ارتفاع از سطح دریا	-۰/۰۰٤۰۳۵۳	٦/٤۷۱۹**	-۸/۷۳۰

*، ** و ns به ترتیب بیانگر متغیرهای معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیرمعنی‌دار

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، هم‌خطی چندگانه در بین متغیرهای پیش‌بینی کننده وجود نداشت.

مدل نهایی رگرسیون لجستیک با ورود متغیرهای مستقل، توانست احتمال حضور آفت جوانه‌خوار بلوط را در جنگل‌های سروآباد به‌طور معنی‌داری پیش‌بینی کند. جدول ۳ نشان می‌دهد که متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، شیب، فاصله از جاده و فاصله از مناطق مسکونی اثر قابل توجهی بر حضور آفت داشته‌اند و آماره والد آنها معنی‌دار شده است.

آزمون مدل کامل در مقابل مدل گام صفر (فقط با عرض از مبدأ) معنی‌دار بود که نشان می‌دهد تفکیک نقاط دارای آفت و بدون آفت در حضور متغیرها به طور قابل اعتمادی توسط مدل صورت گرفته است (chi square= ۵۵/٦٦٦، df= ٦، $p<$ ۰/۰۰۱). مقادیر Nagelkerke R^2 (۰/۵۰۲) و آماره آزمون هازمر-لمشاو (chi square= ۵/٤٦٦، p-value= ۰/۷۰۷) بیانگر برازش خوب مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مشاهدات است. با توجه به جدول طبقه‌بندی مشخص شد که ۷۵/٤ درصد از کل نقاط دارای آفت و بدون آفت به درستی توسط مدل پیش‌بینی شده است که نشان‌دهنده صحت قابل توجه مدل است (جدول ٤). شاخص‌های حساسیت، ویژگی و دقت پیش‌بینی مدل نیز بیانگر عملکرد خوب مدل است (جدول ٤).

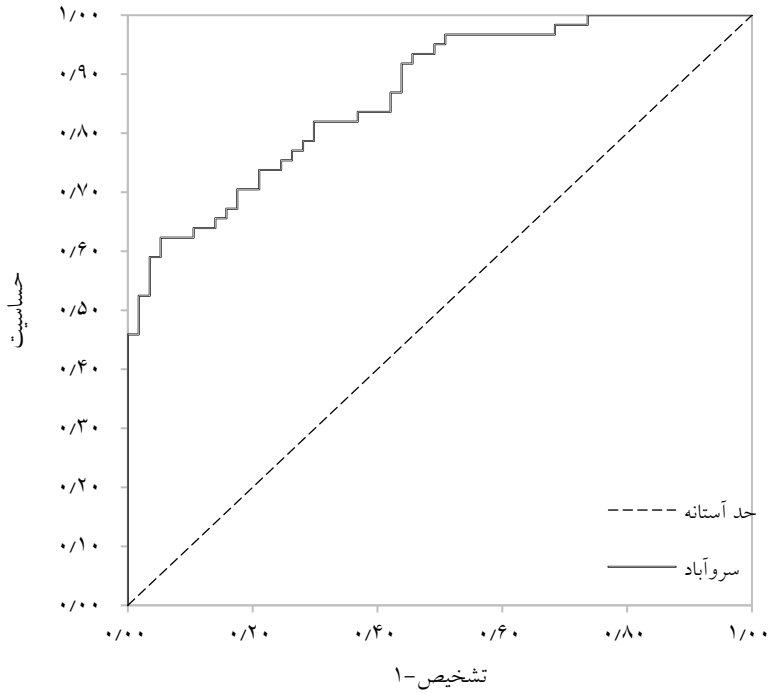
قدرت تفکیک مدل با منحنی راک، از مهمترین شاخص‌های اعتبارسنجی مدل لجستیک، در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ظاهری منحنی راک که از خط مبنای ۰/۵ فاصله گرفته و به سمت گوشه چپ و بالا متمایل شده است بیانگر قدرت تفکیک بالای آن می‌باشد. نزدیک بودن سطح زیر منحنی راک (۰/۸٦٤) به عدد یک، قدرت تفکیک بالای مدل را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

جدول ٤. ماتریس خطا و شاخص‌های عملکرد مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی حضور آفت جوانه خوار بلوط در جنگل‌های سروآباد

مشاهده شده	پیش‌بینی شده		شاخص‌های عملکرد مدل (٪)			
	بدون آفت	آفت‌زده	دقت کلی (Accuracy)	حساسیت (Sensitivity)	وبژگی (Specificity)	دقت پیش‌بینی (Precision)
بدون آفت	٤٢	١٥	٧٥/٤	٧٧	٧٣/٧	٧٥/٨
آفت‌زده	١٤	٤٧				



شکل ١. منحنی راک بر اساس پیش‌بینی مدل رگرسیون لجستیک

همچنین معنی‌دار بودن آزمون مقایسه AUC با مقدار ٠/٥ به این معنی است که مدل لجستیک گروه‌ها را به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی نکرده است (*p*-value< ٠/٠١).

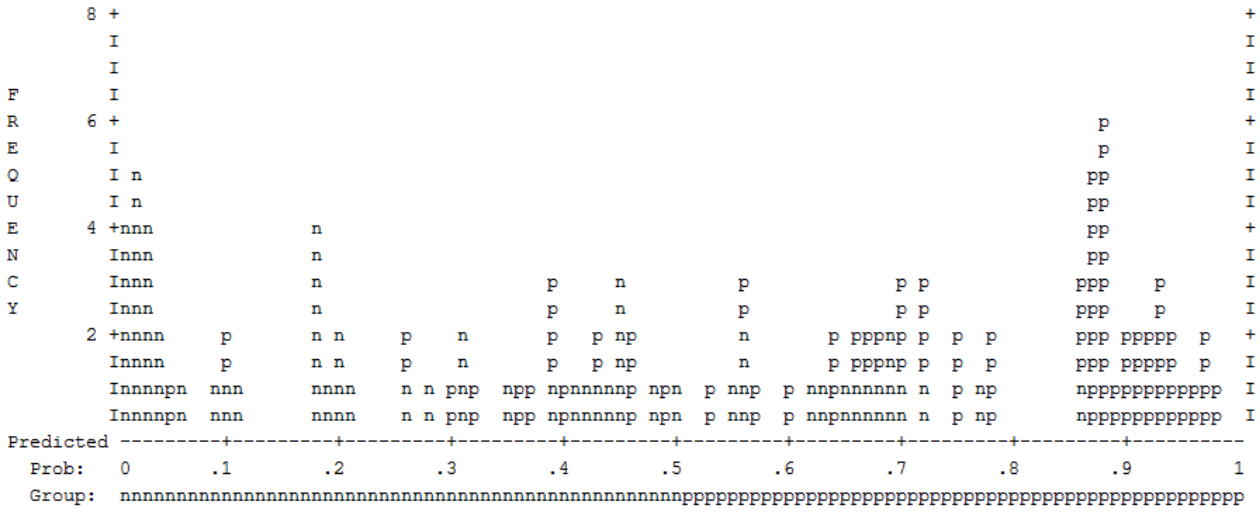
شکل ٢ نمودارهای طبقه‌بندی مشاهدات و احتمالات پیش‌بینی شده توسط مدل است. مشاهدات در دو گروه نقاط دارای آفت (p) و نقاط بدون آفت (n) طبقه‌بندی شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است بیشتر نقاط p در سمت راست (احتمال حضور آفت >٠/٥) و اغلب نقاط n در سمت چپ (احتمال حضور آفت <٠/٥) قرار گرفته و حالت کلی U شکل ایجاد شده است. از آنجا که کارایی مدل صد در صد نیست، حضور تعدادی از نقاط در دو سمت مخالف اجتناب‌ناپذیر است.

حساسیت‌سنجی و تعیین اهمیت متغیرها

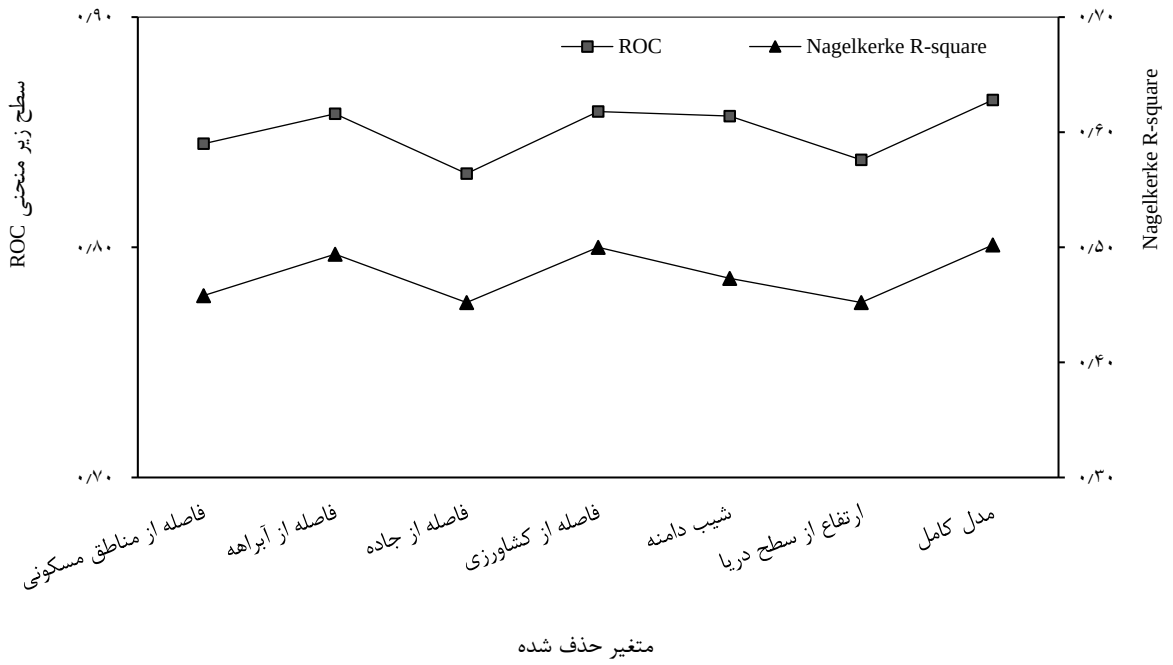
همانطور که در شکل ٣ مشخص است، پس از حذف متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده، منجر به کاهش ٩/٩٦ درصدی شاخص $Nagelkerke\ R^2$ شد. همچنین مساحت زیر منحنی راک با حذف این متغیرها به ترتیب ٣/٠١ و ٣/٧٠ درصد کاهش یافت. در مقابل، حذف متغیرهای فاصله از اراضی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]



شکل ۲. طبقه‌بندی مشاهدات و احتمالات پیش‌بینی‌شده حضور (p) و عدم حضور (n) پروانه جوانه‌خوار در جنگل‌های سروآباد استان کردستان



شکل ۳. تعیین اهمیت متغیرها در پراکنش آفت جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های سروآباد

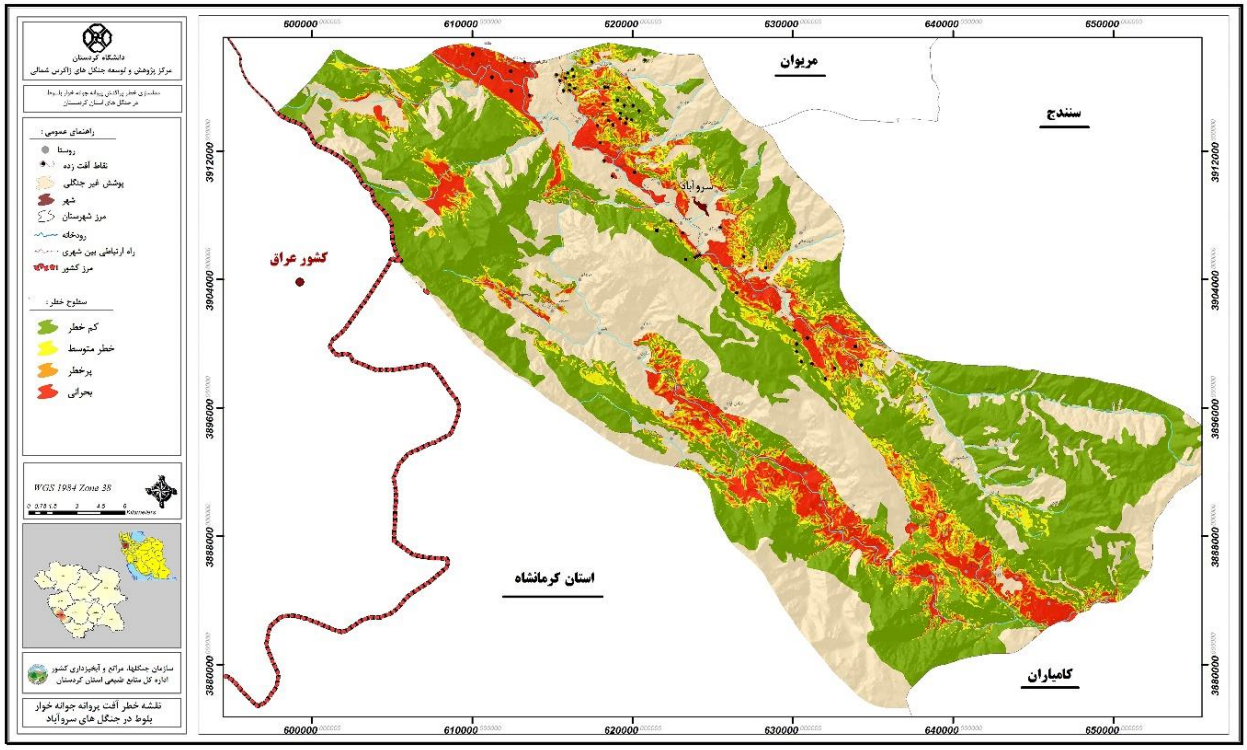
کشاورزی، فاصله از آبراهه و شیب دامنه تغییراتی کمتر از یک درصد در مساحت زیر منحنی راک ایجاد کرد که بیانگر تأثیر و اهمیت کم آن‌ها در مدل است.

نقشه احتمال حضور و پهنه‌بندی پراکنش آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط

با اجرای مدل رگرسیون لجستیک در جنگل‌های شهرستان سروآباد، نقشه پیش‌بینی احتمال حضور آفت در این جنگل‌ها به

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]



شکل ٤. نقشه پهنه‌بندی پیش‌بینی احتمال آفت پروانه جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های سروآباد

جدول ٥. مساحت پهنه‌های احتمال حضور جوانه خوار بلوط در جنگل‌های سروآباد

پهنه‌های خطر	مساحت (هکتار)	درصد
کم‌خطر	٤٤٧٩٣/٢٨	٦٦/٨
خطر متوسط	٧٤٨٧/٠٦	١١/٢
پرخطر	٥٠٩٤/٨٤	٧/٦
بحرانی	٩٦٣١/٦٥	١٤/٤
جمع	٦٧٠٠٦/٨٣	١٠٠/٠

دست آمد. احتمال حضور آفت در هر نقطه با ادغام لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مستقل و ضرایب آنها، مطابق مدل، در محدوده جنگل‌های منطقه محاسبه شد. بر پایه نقشه طبقه‌بندی احتمال حضور آفت (شکل ٤) مساحت هر کدام از پهنه‌های خطر آفت در جدول ٥ محاسبه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

آفت جوانه‌خوار بلوط در سال‌های اخیر به یک چالش بزرگ برای مدیران منابع طبیعی تبدیل شده است. از آنجا که اطلاع از حضور یا عدم حضور این آفت در یک منطقه، یعنی پاسخ‌های مبتنی بر منطق بولین، نه پاسخگوی دغدغه‌های مدیریتی است و نه نیازهای اطلاعاتی کارشناسان اجرایی را تأمین می‌کند، در این مطالعه، مدل پیش‌بینی کننده احتمال خطر حضور آفت تدوین شد. رگرسیون لجستیک توانایی تبدیل متغیر دوبعدی گسسته را به طیفی از احتمالات ممکن و متغیری پیوسته دارد (١٤ و ٢٦). در این پژوهش هم از این قابلیت رگرسیون لجستیک استفاده شد. نتایج مدل و شاخص‌های ارزیابی نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول آن در پیش‌بینی احتمال حضور آفت جوانه‌خوار بلوط بود.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

ارزیابی‌ها نشان داد که مدل توسعه یافته، تمایز مناسبی میان نقاط دارای آفت و فاقد آن ایجاد کرده و از دقت کافی برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برخوردار است. شاخص‌های آماری گزارش‌شده در بخش نتایج از جمله معنی‌دار بودن آزمون کای اسکوئر نسبت به مدل نول، نکوئی برازش و کالیبراسیون مدل (آماره هازمر–لمشاو) و مقدار شاخص R^2 Nagerkerke (بیانگر انطباق پیش‌بینی‌های صورت گرفته با مشاهده‌ها) این موضوع را تأیید می‌کنند. همچنین، نمودار طبقه‌بندی مشاهدات و پیش‌بینی‌ها گویای توانایی مدل در طبقه‌بندی صحیح (بیش از ۷۵ درصد) بخش قابل توجهی از نقاط نمونه زمینی است. در شاخص راک مدل ارائه شده در این پژوهش نیز سطح زیر منحنی در حد خیلی زیاد قرار گرفت و به طور معنی‌داری نیز با مقدار ارزش آستانه (۰/۵) که نشان‌دهنده تصادفی بودن پیش‌بینی‌ها است، اختلاف داشت. بررسی نتایج شاخص‌ها و آزمون‌ها، نشان‌دهنده دقت خوب مدل، قدرت تفکیک بالا و قابل اتکا بودن پیش‌بینی آن است. مقایسه مدل پیش‌بینی کننده خطر حضور آفت جوانه‌خوار بلوط با مدل‌های لجستیک ارائه شده در زمینه‌های دیگر بیانگر این است که دقت مدل قابل قبول بوده و در برخی موارد نسبت به سایر مطالعات بیشتر است. برای نمونه در مطالعه تیپ‌بندی جنگل، سطح زیر منحنی راک از ۰/٦۳ تا ۰/۹ و Nagelkerke R2 از ۰/۱۳٤ تا ۰/٥٤٦ متغیر بود (۱۷). مقدار این دوشاخص به ترتیب در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش، ۰/۷۹٦ و ۰/٤٥ (۲٦) و در مدلسازی تغییر پوشش گیاهی ۰/۸۲۱ و ۰/۲٥۱٤ (۲۷) بود.

بر پایه تحلیل رگرسیون و ضرایب آن، با افزایش متغیرهای فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، شیب و ارتفاع از سطح دریا، احتمال حضور آفت کاهش و با افزایش متغیر فاصله از اراضی کشاورزی این احتمال افزایش می‌یابد. تجزیه و تحلیل رابطه متغیرهای محیطی با احتمال حضور آفت در بیشتر موارد منطبق بر واقعیت‌های میدانی، تجربیات و مشاهدات کارشناسان و مطالعات صورت گرفته بود. با گذر از جاده‌های این شهرستان که به طور غالب از میان جنگل می‌گذرد و با نگاهی اجمالی مشخص است که جنگل‌های اطراف جاده‌ها، در ماه اردیبهشت به شدت تحت تاثیر آفت قرار گرفته و تقریباً بدون برگ هستند (۱۱). این وضعیت در اطراف مناطق مسکونی و مناطق هموار و کم‌شیب البته با شدت کمتری نسبت به اطراف جاده‌ها دیده می‌شود. به این ترتیب اطراف جاده‌ها، نزدیک مناطق مسکونی و کم شیب، مکان‌های مطلوب برای حضور و فعالیت لاروهای جوانه‌خوار است. در مطالعه پارامترهای موثر بر پراکنش پروانه جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های مریوان مشخص شد که ارتفاع از سطح دریا بیشترین همبستگی را با جمعیت آفت دارند و مشابه پژوهش حاضر، همبستگی متغیرهای ارتفاع و شیب با جمعیت آفت به صورت غیرمستقیم بود (۱۱). اهمیت ارتفاع از سطح دریا، شیب و فاصله از آبراهه در پراکنش تیپ‌های جنگل (۱۷) و اهمیت نقش عوامل انسانی از جمله جاده‌ها در گسترش آفات از جمله سوسک چوبخوار (۲۸) نشان داده شد.

مدل نشان داد که احتمال حضور آفت در ارتفاع‌های پایین بیشتر است. یکی از نتایجی که از مجموع این موارد می‌توان به دست آورد این است که آفت جوانه‌خوار در جایی که حضور و آثار دخالت انسان (مانند وجود جاده) در بوم‌سازگان بیشتر است حضور چشمگیرتری دارد. اثرات فعالیت‌های انسانی مانند تردد دام، جاده‌ها و عبور و مرور وسایل نقلیه منجر به تغییر بوم‌سازگان، حساسیت بیشتر و ضعف فیزیولوژیک درختان می‌شود که بستر مناسبی را برای حمله آفت فراهم می‌آورد (۷ و ۹). در مورد اثر ارتفاع، علاوه بر اینکه آثار فعالیت‌های انسانی در ارتفاعات پایین‌تر شدیدتر بود، عوامل محیطی دیگری هم در رابطه با متغیر ارتفاع تغییر می‌کند که بر حضور آفت تاثیرگذار است. از جمله این عوامل می‌توان به کاهش دما در ارتفاعات و تغییر ترکیب گونه‌ای و موجودی جنگل اشاره کرد. دمای مطلوب آفت جوانه‌خوار در استان کردستان در محدوده ۱۷ تا ۲۱ درجه عنوان شده است (۳). همچنین پوشش درختی میان‌بند در جنگل‌های کردستان با حضور قابل توجه گونه مازودار شرایط مناسب‌تری را نسبت به ارتفاعات برای فعالیت این آفت فراهم می‌آورد. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، مازودار مهمترین میزبان این آفت است (٤). بنابراین، افزایش ارتفاع می‌تواند به دلیل کاهش دما، یخبندان زمستانه،

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

کاهش موجودی جنگل و منابع غذایی مورد نیاز آفت، پراکنش آن را محدود کند. در مدل ارائه شده، نقاط نزدیک به اراضی کشاورزی، مکان مناسبی برای حضور پروانه جوانه‌خوار نبود؛ به احتمال زیاد استفاده از سم و کود برای مقابله با آفات و بیماری‌های کشاورزی و افزایش حاصلخیزی زمین زراعی مطلوبیت این مناطق را برای فعالیت آفت کاهش داده است (۲۹ و ۳۰). احتمال حضور این آفت در نقاط نزدیک‌تر به رودخانه‌ها بیشتر بود. در پژوهش‌های دیگر نیز اهمیت عوامل رطوبت و دما بر آغاز فعالیت آفت جوانه‌خوار تایید شده است (٤). تحلیل حساسیت مدل نشان داد که برخی متغیرها نقش کلیدی‌تری در پیش‌بینی احتمال حضور آفت جوانه‌خوار بلوط دارند. به‌ویژه ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده، به‌عنوان عوامل مؤثر، می‌توانند در طراحی برنامه‌های مدیریتی و پایش آفت مورد توجه قرار گیرند. این یافته‌ها می‌تواند به اولویت‌بندی مناطق حساس، بهینه‌سازی اقدامات کنترلی و تخصیص منابع برای مقابله با آفت مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

بر پایه مدل و نقشه احتمال حضور آفت جوانه‌خوار بلوط در جنگل‌های شهرستان سروآباد، بخش قابل توجهی از این جنگل‌ها به‌ویژه در نوار مرکزی از شمال غرب به جنوب شرق در دره‌های هورامان و ژاوه‌رو در معرض خطر قرار دارند. وضعیت جنگل‌های زاگرس با توجه به تغییرات اقلیمی، خرد شدن بوم‌سازگان‌ها به دلایلی مانند جاده‌سازی، توسعه شبکه گازرسانی، سدسازی، تغییر کاربری و طرح‌های مختلف اقتصادی در سال‌های اخیر نگران‌کننده است. بیماری زغالی بلوط از جمله تهدیدهای جدی است که هزاران هکتار از جنگل‌های زاگرس را از بین برده است. آفت‌هایی مانند جوانه‌خوار بلوط، که خود پس از تضعیف درختان توسط عوامل مخرب دیگر مانند خشکسالی طغیان می‌کنند، با تشدید ضعف فیزیولوژیک درختان، زمینه بروز بیماری زغالی را به وجود می‌آورند (٤).

بر پایه نقشه احتمال آفت، بیش از ۲۲ درصد جنگل‌های سروآباد در وضعیت پرخطر و بحرانی قرار دارند که لازم است به صورت فوری و جدی برای آنها برنامه‌ریزی شود. دو عامل ارتفاع از سطح دریا و جاده از مهمترین متغیرهای موثر بر حضور آفت بودند که لازم است در برنامه‌ریزی و اجرای الگوی مبارزه با جوانه‌خوار بلوط مورد توجه قرار گیرد. با توجه به محدودیت بودجه ادارات منابع طبیعی و عدم تناسب آن با گستردگی آفت، رابطه بین احتمال حضور آفت و این دو متغیر را می‌توان برای طراحی مدل مناسب مدیریت آفات مورد استفاده قرار داد. از این‌رو، نقشه تهیه شده در این پژوهش، می‌تواند مبنای قابل اتکایی برای طراحی برنامه مبارزه با جوانه‌خوار بلوط قرار گیرد و کارایی عملیاتی را ارتقا دهد. با این‌حال، در کنار پایش مداوم و تهیه نقشه دقیق مناطق تحت تاثیر آفت، تهیه نقشه‌های تیپ، تراکم، ویژگی‌های پایه جنگل و سایر نقشه‌های عوامل انسانی و محیطی با مقیاس مناسب و استقرار ایستگاه‌های اقلیمی در فواصل مناسب برای ارائه مدل‌های دقیق‌تر برای کاهش خطای مدل و ارائه نتایج دقیق‌تر ضروری است.

در حال حاضر مبارزه با آفت با روش مکانیکی، کارگذاری تله‌های فرومونی و استفاده از سم‌های بیولوژیک به صورت محدود انجام می‌شود که در عمل، کارایی زیادی نداشته است. کنترل پروانه جوانه‌خوار بلوط نیازمند یک برنامه جامع است و استفاده از آفت‌کش در کنار پیامدهای مخرب آن بر اکوسیستم، اثرگذاری چندانی در کنترل آفت نخواهد داشت. بهبود قدرت فیزیولوژیک درختان با دخالت‌های جنگل‌شناسی (مانند تنک‌کردن، حذف پایه‌های ضعیف و بیمار، هدایت منابع محدود آبی و متمرکز کردن منابع رویشگاهی بر پایه‌های قوی)، استفاده از روش‌های مبارزه بیولوژیک و بهره‌گیری شایسته از مشارکت جوامع محلی در اجرای برخی فعالیت‌های مدیریت سنتی (مانند گلازنی درختان به صورت محدود و اصلاح‌شده (۱۰) از جمله روش‌هایی است که ضمن سازگاری بیشتر با اکوسیستم طبیعی، می‌تواند کارایی مناسبی برای مبارزه با آفت جوانه‌خوار بلوط داشته باشد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

تشکر و قدردانی

از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان برای همکاری و فراهم نمودن بخشی از داده‌ها و اعتبار مورد نیاز طرح سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع

1. Talebi, K.S., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer.
2. Askary, H., Tabrizian, M., Zargaran, M.R., Alemansoor, H., Ghazi, M.M., Barimani, M.H. and Ajam Hassani, M., 2009. Evaluation of trap shape and pheromone dispensers in capturing male *Tortrix viridana* (Lep.: Tortricidae). *Applied Entomology and Phytopathology*, 77(1): 33–50. (In Persian)
3. Ghobari, H., Goldansaz, S.H., Askari, H., Ashouri, A., Kharazi-Pakdel, A. and Bihamta, M.R., 2007. Investigation of presence, distribution and flight period of oak leaf roller moth, *Tortrix viridana* using pheromone traps in Kurdistan province. *Journal of Entomological Society of Iran*, 27(1): 47–59. (In Persian)
4. Zargaran, M.R., Mousavi Mirkala, S.R., Banj Shafiei, A. and Ramezani Kakroudi, E., 2015. Survey on biology of *Tortrix viridana* L. in laboratory and field conditions and its distribution in West-Azerbaijan. *Forest Research and Development*, 1(1): 31–42. (In Persian)
5. Flower, C.E. and Gonzalez-Meler, M.A., 2015. Responses of temperate forest productivity to insect and pathogen disturbances. *Annual Review of Plant Biology*, 66: 547–569.
6. Munro, H.L., Montes, C.R., Gandhi, K.J.K. and Poisson, M.A., 2022. A comparison of presence-only analytical techniques and their application in forest pest modelling. *Ecological Informatics*, 68: 101525.
7. Rusch, A., Valantin-Morison, M., Roger-Estrade, J. and Sarthou, J.P., 2012. Using landscape indicators to predict high pest infestations and successful natural pest control at the regional scale. *Landscape and Urban Planning*, 105(1–2): 62–73.
8. Alijanpour, A., Zargaran, M.R. and Motallebi, R., 2016. Survey on nutritional indices of green oak leaf roller (*Tortrix viridana* L.) in grouping and individual nutrition methods. *Forest Research and Development*, 1(3):181–193. (In Persian)
9. Alehosseini, S.A., Saadati, S.H. and Zarghani, H.H., 2013. Study of population dynamics of oak tortrix moth (*Tortrix viridana*) and its natural enemies in Fars province. *Plant Protection Journal*, 5:1–12. (In Persian)
10. Valipour, A., Plieninger, T., Shakeri, Z., Ghazanfari, H., Namiranian, M. and Lexer, M.J., 2014. Traditional silvopastoral management and its effects on forest stand structure in northern Zagros, Iran. *Forest Ecology and Management*, 327: 221–230.
11. Seifi, S., Madadi, H., Ghobari, H. and Pir-Bavaghar, M., 2023. Studying the effective factors of spatial distribution of *Tortrix viridana* L. in Mariwan oak forests. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 21(2): 337–349. (In Persian)
12. Rubtsov, V.V. and Utkina, I.A., 2003. Interrelations of green oak leaf roller population and common oak: results of 30-year monitoring and mathematical modeling. In: McManus, M.L. and Liebhold, A.M. (Eds.), *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects*, 1–5 September 2002, Krakow, Poland. Gen. Tech. Rep. NE-311. USDA Forest Service: 90–97.
13. Schroeder, H. and Degen, B., 2008. Spatial genetic structure in populations of the green oak leaf roller, *Tortrix viridana* L. *European Journal of Forest Research*, 127(6): 447–453.
14. Montgomery, D.C. and Runger, G.C., 2011. Applied Statistics and Probability for Engineers. 5th ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
15. Ghanbari, F., Shataee Joybari, S., Azim Mohseni, M. and Habashi, H., 2011. Application of topography and logistic regression in forest type spatial prediction. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(1): 27–41. (In Persian)
16. Jafarian, Z., Arzani, H., Jafari, M., Zahedi, Gh. and Azarnivand, H., 2012. Mapping spatial prediction of plant species using logistic regression (Case study: Rineh Rangeland, Damavand Mountain). *Physical Geography Research*, 44(1):1–18. (In Persian)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

17. Modares Gorji, H., Pir Bavaghar, M. and Ghahramany, L., 2014. Modeling distribution of forest types of Armardeh forests (Baneh) using logistic regression method. *Forest and Poplar Research*, 21(4): 629–642. (In Persian)
18. Khaledi, S., Derafshi, K., Mehrjunejad, A., Gharachahi, S. and Khaledi, S., 2012. Assessment of landslide effective factors and zonation using logistic regression in GIS environment: Taleghan Watershed case study. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(1): 65–82. (In Persian)
19. Mohammadi, F., Pir Bavaghar, M. and Shabanian, N., 2014. Application of artificial neural network for forest fire risk mapping based on physiographic, human and climatic factors in Sarvabad, Kurdistan Province. *Forest and Poplar Research*, 11(2): 97–107. (In Persian)
20. Mladenoff, D.J., Sickley, T.A. and Wydeven, A.P., 1999. Predicting grey wolf landscape colonization: logistic regression models vs. new field data. *Ecological Applications*, 9: 37–44.
21. Arekhi, S., Mahmoudian, A. and Emadaddian, S., 2022. Forest degradation using GIS and logistic regression (Case study: Forests of Sardasht). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4): 69–92. (In Persian)
22. Zhou, H., Xu, Z., Chen, Y., Yan, Y., Zhang, S., Lin, X., Cui, D. and Yang, J., 2025. The combined multilayer perceptron and logistic regression (MLP-LR) method better predicted the spread of *Hyphantria cunea*. *Journal of Economic Entomology*, 118(3): 1156–1173.
23. Beers, T.W., Press, P.E. and Wensel, L.C., 1996. Aspect transformation in site productivity research. *Journal of Forestry*, 64: 691–692.
24. StatSoft Inc., 2013. STATISTICA Formula Guide: Logistic Regression (Version 1.1). Available at: https://www.statsoft.com
25. Pontius Jr., R.G. and Schneider, L.C., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 239–248.
26. Yesilnacar, E. and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks in a medium-scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79: 251–266.
27. Mirzaei Zadeh, V., Mahdavi, A., Karmshahi, A. and Jaefarzadeh, A.A., 2016. Investigation of the spatial pattern of forest cover changes using logistic regression in Malekshahi. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(3): 45–68. (In Persian)
28. Raffa, K.F., Aukema, B.H., Bentz, B.J., Carroll, A.L., Hicke, J.A., Turner, M.G. and Romme, W.H., 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58(6): 501–517.
29. Liebhold, A.M., 2012. Forest pest management in a changing world. *International Journal of Pest Management*, 58(3): 289–295.
30. Kocacinar, F., Kezik, U. and Eroglu, M., 2014. Larval development and behavior of oak leaf roller depending on Brant's oak phenology. In: *Proceedings of the Turkey II Forest Entomology and Pathology Symposium*, Antalya, Turkey.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]

Hazard zonation of the Green Oak Tortrix (*Tortrix viridana* L.) in the forests of Sarvabad, Kurdistan Province, Iran

Ahmad Valipour[1*], Mahtab Pir-Bavaghar[2] and Abdollah Naderi[3]

(Received: January 29-2026; Accepted: May 06-2026)

Abstract

The green oak tortrix (*Tortrix viridana*) is a significant pest affecting the Zagros forests, where larval feeding on leaves and buds severely weakens oak trees. Despite ongoing control efforts, comprehensive data on its distribution and critical risk areas remain scarce. This study aimed to model the probability of pest occurrence and delineate hazard zones in the Sarvabad forests using logistic regression. We randomly sampled 61 infested and 57 non-infested points. Spatial variables, including elevation, aspect, slope, and distances to agricultural lands, residential areas, main roads, and rivers, were extracted in a GIS environment and utilized as predictors. Our results indicated that elevation, slope, distance from residential areas, and distance from roads significantly negatively influenced the probability of pest presence. Model fit indices (Nagelkerke R^2 = 0.502, Hosmer–Lemeshow, AUC = 0.864, and an overall classification accuracy of 75.4%) demonstrated good predictive performance. The hazard zonation map revealed that 22% of the Sarvabad forests were classified as high risk, 11.2% as moderate risk, and the remainder as low risk. These findings highlight the influential factors that explain the spatial distribution of the pest and suggest that applying these results can improve management strategies and control measures.

Keywords: green oak leaf-roller moth, logistic regression, Zagros forests, environmental and anthropogenic factors, GIS, distribution modeling

1. Associate Professor, Department of Forestry & Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Forestry & The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry Dr. Hedayat Ghazanfari, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
3. Master of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
* Corresponding Author, Email: ahmadvalipour@uok.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.15991]