

# مدل سازی خطر سقوط درختان خطرآفرین با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک در فضای سبز شهری

الهام قهساره اردستانی<sup>۱\*</sup>، مژده نافیان<sup>۲</sup>، محسن بهمنی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد؛ آزمایشگاه مرکزی، دانشگاه شهرکرد
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد  
mozhdnafian@gmail.com
۳. استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد  
mohsen.bahmani@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۳

## چکیده

درختان فضای سبز شهری به‌رغم ارائه طیف وسیعی از منافع زیست‌محیطی، زیباشناختی، اجتماعی، فیزیولوژیکی و اقتصادی می‌توانند باعث خطرات جانی و مالی برای شهروندان شوند. اهداف این تحقیق برآورد احتمال خطر سقوط درختان نارون و مدل‌سازی آن از طریق شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک است، بدین ترتیب ۱۲۹ اصله درخت نارون در خیابان شریعتی شهرکرد بررسی شدند. برای این منظور، متغیرهای قطر و ارتفاع درخت، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، شکاف یا ترک، وضعیت و ضعف ساختاری، مشکلات ریشه و پوسیدگی تنه و شاخه به‌عنوان متغیرهای مستقل و طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک استفاده شدند. در این پژوهش از شبکه پرسپترون چند لایه با ۵ نورون در لایه ورودی، یک لایه پنهان با ۲۰ نورون و یک نورون در لایه خروجی استفاده شد. نتایج نشان داد که رگرسیون لجستیک نتوانست بین متغیرهای مستقل و طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون برازش خوبی را انجام دهد. در صورتی که شبکه عصبی قادر بود مدلی مناسب را برازش دهد. به‌طور کلی شبکه عصبی با کارایی مناسب و بالا در مقایسه با روش رگرسیون لجستیک، برای پیش‌بینی خطر سقوط درختان نارون، مناسب‌تر بوده است. بنابراین شناخت عوامل مؤثر در خطرآفرینی درختان فضای سبز شهری و کمی کردن این عوامل پیش‌نیاز برآورد خطرآفرینی درختان فضای سبز شهری و ارائه آن‌ها به مدل‌های پیش‌بینی است. به‌طور کلی مدل شبکه عصبی مصنوعی ابزاری مدیریتی برای مدیران فضای سبز شهری به‌منظور آگاهی از احتمال سقوط درختان خطرآفرین و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و کنترلی در کاهش احتمال سقوط درختان فضای سبز محسوب می‌شود.

## کلیدواژه

تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی، شاخص کاپا، ضریب تبیین، معیارهای تشخیصی خطرآفرینی، منحنی مشخصه عملکرد.

## ۱. سرآغاز

فضاهای شهری مزایای (خدمات زیست‌محیطی، فیزیولوژیکی و اجتماعی) قابل توجهی برای شهر به ارمغان می‌آورد (منتظرالحجه و همکاران، ۱۳۸۹) ولی شکستگی و افتادن آن‌ها در اثر عوامل مختلف به‌ویژه طوفان‌ها و وزش بادهای شدید باعث خسارت‌های شدید اقتصادی، حتی جانی می‌شود که سلامت و ایمنی عمومی را به خطر می‌اندازد که این امر با توجه به حضور گسترده آن‌ها به‌ویژه

فضای سبز شهری در عملکرد شهر نقش اساسی را دارد به‌طوری که کمبود آن می‌تواند باعث اختلال در حیات شهر شود (پورمجیدیان و همکاران، ۱۳۹۳). در این میان درختان به‌عنوان مهم‌ترین عامل حجم فضای سبز شهری، جایگاه ویژه‌ای دارند. وجود محیط‌های طبیعی مانند درختان کنار خیابان، پارک‌ها و جنگل‌های شهری در

بنابراین مدل‌سازی این رفتار و اندازه‌گیری شرایط درخت در فضای سبز شهری، برای ارزیابی خطر درخت بسیار مهم است (کاظمی نجفی، ۱۳۹۵).

برای ارتباط دادن متغیرهای کمی و کیفی (عیوب) درختان با احتمال خطرآفرینی آن‌ها، روش‌های مختلفی وجود دارد، از آن جمله می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره که دارای محدودیت و فرضیات کمتر نسبت به روش‌های آماری برای فرایند مدل‌سازی است، اشاره کرد. هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط بین متغیرهای کمی و کیفی به‌عنوان مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل و شدت خطرآفرینی به‌عنوان متغیر وابسته است. این مدل، احتمالی که یک واقعه رخ می‌دهد را حداکثر می‌نماید و لزومی برای وجود رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته ندارد. مدل شبکه عصبی بدون در نظر گرفتن محدودیت و فرضیاتی، از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به کشف کردن رابطه بین مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی خروجی متناظر با ورودی دلخواه است (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۳).

رئیزی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای ویژگی‌های کمی، کیفی و مقدار خطرآفرینی درختان نارون در دو سمت خیابان سعدی شهرکرد بررسی کردند و نشان دادند که سه معیار تماس با خطوط و انحراف از راستای قائم، زخم روی تنه و ریشه بیشترین سهم را در خطرآفرینی درختان نارون دارند. در پژوهش دیگری با بررسی درختان خطرآفرین کاج در شهرستان بابل به این نتیجه رسیدند که معیارهای شاخه و سرشاخه‌های خشکیده و مشکلات ریشه بیشترین سهم خطرآفرینی را داشتند (پورمجیدیان و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعات دیگری در همین راستا روی درخت چنار نیز انجام شده است (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۴).

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی عوامل

در مناطق شهری اهمیت زیادی دارد (Sjöberg et al., 2004؛ کاظمی نجفی، ۱۳۹۵). مدیریت درختان خطرآفرین به بررسی احتمال ایجاد خطر درختان در فضای سبز طبیعی و مصنوعی می‌پردازد. درختان خطرآفرین به درختان کاملاً خشکیده یا در حال خشکیدن، اجزای خشکیده درختان زنده یا درختان زنده به شدت ناپایدار در محیط که می‌تواند ناشی از عوامل مختلف باشند گفته می‌شود و این درختان خطر بالایی را در تهدید امنیت جانی و اقتصادی شهروندان در فضای سبز شهری به همراه دارند (Albers et al., 1996؛ Mortimer & Kane, 2004؛ Duryea et al., 2007). بنابراین مدیریت و دخالت‌های غیرعلمی و غیر فنی در ساختار درخت و فضای سبز می‌تواند این خسارات و صدمات جانی و اموال را تشدید کند.

ارزیابی درختان برای اطمینان از سلامتی آن‌ها یا شدت خطرآفرینی آن‌ها و اینکه آیا می‌توانند در برابر عوامل مختلف به‌ویژه طوفان‌های آینده مقاومت کنند، برای حذف یا کاهش صدمات ناشی از افتادن، امری بسیار ضروری است (کاظمی نجفی، ۱۳۹۵). سالانه خسارت‌های اقتصادی بسیاری به دلیل سقوط درختان فضای سبز شهری به تأسیسات، ساختمان‌ها و امکانات شهری وارد می‌شود. این امر توجه مدیران شهرداری‌ها و فضای سبز و همچنین مدیریت بحران شهرها به شناسایی و کمی‌سازی شدت ریسک این درختان سرپا جلب کرده است و فقط در این صورت امکان مدیریت خطر و انجام اقدامات پیشگیرانه و به موقع فراهم می‌شود (جهانی، ۱۳۹۵؛ کاظمی نجفی، ۱۳۹۵). معمولاً درختان سالم پایداری بیشتری در برابر نیروهای وارد شده دارند و درختان صدمه دیده و دارای معایب در تاج، تنه و ریشه بیشتر مستعد شکستگی و ریشه‌کنی هستند. پایداری و رفتار مکانیکی یک درخت به علت ایجاد خسارت‌های مالی و جانی ناشی از افتادن درخت (بر ساختمان‌ها، اموال و ...)، در مرکز توجه بسیاری از مدیران فضای سبز شهری، متخصصان مربوطه قرار دارد.

همکاران، ۱۳۸۲). این درختان در جنگل‌های طبیعی ایران به‌ویژه دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز و جلگه‌های مرطوب و استپی پراکندگی نسبتاً متراکمی دارند. همچنین به دلیل داشتن ظاهری زیبا و سایه‌بانی گسترده به‌عنوان درختی زینتی و سایه‌دار و برگ‌ریز در فضای سبز غالب شهرها به‌کار می‌روند (شجاعی و همکاران، ۱۳۸۰).

بر اساس اطلاعات موجود، در ایران با وجود وسعت زیاد فضای سبز شهری و با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت آگاهی از خطرهای درختان خیابانی که ریسک بالایی در تهدید امنیت جانی شهروندان یا اموال آن‌ها دارند، به‌عنوان یکی از پیش‌شرط‌های مدیریت از یک‌سو و ارزش و اهمیت درختان نارون بلوار شریعتی شهرکرد از سوی دیگر، تاکنون پژوهش‌های کاربردی محدودی در زمینه پیش‌بینی احتمال سقوط درختان خطرآفرین انجام شده است. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین مهم‌ترین متغیرهای کمی و کیفی ورودی مستقل مؤثر بر احتمال سقوط درختان و توسعه مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی احتمال سقوط درختان خطرآفرین نارون و نیز مقایسه این دو مدل در پیش‌بینی احتمال سقوط درختان خطرآفرین در خیابان شریعتی شهرکرد انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در استان چهارمحال و بختیاری در شهرستان شهرکرد و بین طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه و از نظر عرض جغرافیایی در عرض شمالی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه قرار گرفته است (رئیزی و همکاران، ۱۳۹۵). منطقه مورد بررسی بخشی از بلوار شریعتی بین میدان بسیج تا تقاطع خیابان فردوسی شمالی به طول ۵۸۴/۱۳ متر بود.

اصلی توصیف‌کننده ساختار توده در جنگل‌های بلوط زاگرس با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۱</sup> بررسی کردند و نشان دادند که از بین متغیرهای ساختاری جنگل، درصد تنه‌های سالم، تنوع گونه‌ای، تراکم درختان، تعداد شاخه‌های خشک، متوسط قطر برابر سینه و تاج پوشش کل به ترتیب از تغییرات بیشتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار بودند.

اسحاقی‌راد و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی روش رسته‌بندی تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی برای ارائه روشی مناسب برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد که این روش توانایی نشان دادن ماهیت اصلی ساختار داده‌ها را دارد. در پژوهش‌های دیگری نیز از تجزیه مؤلفه‌های اصلی به منظور دستیابی به تأثیر مهم‌ترین متغیرها بر روی پوشش گیاهی استفاده شده است (برازمند و همکاران، ۱۳۹۱؛ حسن‌زاد ناورودی و همکاران، ۱۳۸۳؛ Ravi Raja, 2016).

جهانی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای ریسک سقوط درختان خطرآفرین چنار را با استفاده از شبکه عصبی مدل‌سازی کرد. بیات و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به‌منظور برآورد موجودی سرپای توده‌های جنگلی از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. در تحقیقات دیگری از این شبکه برای مدل‌سازی ارزیابی کیفیت زیباشناختی منظر جنگل و شناسایی تغییرات جنگلی نیز استفاده شده است (جهانی و محمدی فاضل، ۱۳۹۵؛ جهانی، Heikkonen & Varjo, 2004؛ ۱۳۹۵). همچنین استفاده از دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی حضور گونه‌های مورد مطالعه قرار گرفته است (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۳).

درخت نارون (*Ulmus carpinifolia* var. *umbelifera*) از خانواده Ulmaceae است. این جنس دارای گونه‌ها و واریته‌های مختلفی است که در اغلب نقاط دنیا به‌ویژه آسیا، اروپا و آمریکای شمالی انتشار دارد (ارباب و



شکل ۱. نقشه موقعیت خیابان شریعتی شهرکرد (رنگ صورتی)، مأخذ: گوگل ارث

## ۲-۲. روش تحقیق

از روش آماری صد درصد برای اندازه‌گیری و ثبت متغیرهای کمی و کیفی درختان نارون در دو سمت خیابان شریعتی شهرکرد استفاده شد. برای هر درخت نارون ۹ ویژگی کمی و کیفی (قطر درخت (سانتی‌متر)، ارتفاع درخت (متر)، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده (درصد)، شکاف یا ترک (درصد)، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) (درجه)، مشکلات ریشه (درصد)، پوسیدگی تنه و شاخه (درصد)، زخم (درصد) و تماس با خطوط انتقال برق (درصد)) اندازه‌گیری شد (نافیان و همکاران، ۱۳۹۸). از خط‌کش دو بازو<sup>۲</sup> و دستگاه سونتو به ترتیب برای اندازه‌گیری قطر درخت و ارتفاع درخت استفاده شد (زبیری، ۱۳۹۱). به منظور اندازه‌گیری متغیرهای کیفی از درجه‌بندی معیارهای تشخیص درختان خطرآفرین (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱) بر اساس هفت معیار استفاده شد (جدول ۱).

داده‌های مربوط به تعداد درختان در طبقات مختلف خطر نرمال نبودند و پس از تبدیل نیز نرمال نشدند، از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس<sup>۳</sup> برای این منظور از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics نسخه ۲۵ استفاده شد.

سپس درختان از نظر معیارهای خطرآفرینی وزن‌دهی شدند، بدین ترتیب که در هر معیار به طبقه خطر کم وزن

یک، خطر متوسط وزن دو و خطر زیاد وزن سه داده شد و حاصل جمع نمره‌های فوق برای هفت معیار تشخیص درختان خطرآفرین بررسی شد (جدول ۱) و برای هر درخت نمره خطرآفرینی مشخص شد که با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده بین صفر تا ۲۴ است. بدین ترتیب هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، پتانسیل خطرآفرینی درخت بیشتر است. سپس بر مبنای اعداد به دست آمده و بر اساس طبقه‌بندی تجربی به ۶ طبقه خطرآفرینی تقسیم شدند (جدول ۲) و نحوه توزیع درختان در طبقه‌های خطرآفرینی مشخص شد (نافیان و همکاران، ۱۳۹۸؛ پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱).

## ۲-۳. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) تعداد کمتری از متغیرها را به نام مؤلفه‌های اصلی از میان متغیرهای اولیه گزینش می‌کند، به طوری که تعدادی از متغیرهای کم‌اهمیت حذف می‌شود (نافیان و همکاران، ۱۳۹۸). در صورتی که شاخص  $KMO^4$  مربوط به این روش کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تجزیه و تحلیل عوامل اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار این شاخص بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد باید با احتیاط بیشتر به تجزیه و تحلیل عوامل پرداخت. اما در صورتی که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد،

از این روش های نرمال سازی داده ها بین ۰/۹ تا ۰/۹- است. با در نظر داشتن این نکات در این مطالعه، در این مرحله متغیرهای کمی و کیفی در محدوده ۰/۹- تا ۰/۹ با استفاده از رابطه ۱ نرمال شدند (جهانی، ۱۳۹۵).

$$NData(i) = \left[ \frac{U - L}{Max(i) - Min(i)} \times Data(i) \right] + \left[ U - \left( \frac{U - L}{Max(i) - Min(i)} \times Max(i) \right) \right] \quad (1)$$

مؤلفه های اصلی را تأیید می کند (شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱). به منظور شناسایی متغیرهای تأثیرگذار و اصلی بر فرایند خطر آفرینی درختان نارون منطقه مورد مطالعه از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) در بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته وزن دهی استفاده شد. در این روش متغیرهای اصلی متغیرهایی هستند که حداقل یکی از ضرایب آن ها که برای تشکیل عامل مربوطه استفاده می شود، دارای مقدار نسبتاً بالایی باشد. در این پژوهش برای محاسبه فاکتور KMO و تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی از نرم افزارهای IBM SPSS Statistics نسخه ۲۵ و PAST به کار گرفته شد.

## ۲-۴. رگرسیون لجستیک دو وجهی

روابط رگرسیونی به منظور دستیابی به بهترین مدل رگرسیونی با متغیرهایی که تأثیرگذارتر بر احتمال سقوط درختان نارون است، ارزیابی شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۵ استفاده شد. قبل از به کارگیری داده ها در ساخت مدل رگرسیون لجستیک چند متغیره، بهتر است داده ها با استفاده از رابطه ۱ نرمالیزه شوند. روش مورد استفاده برای تحلیل آماری این مدل، انواع روش های گام به گام است که در این پژوهش تمامی متغیرها وارد مدل شدند. با انتخاب این روش امکان جداسازی متغیرهای مستقل معنادار مرتبط با احتمال سقوط درختان نارون (متغیر وابسته) وجود دارد (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۳).

به منظور ارزیابی مدل حاصل از رگرسیون لجستیک دو

همبستگی های موجود در بین داده ها برای تجزیه و تحلیل مناسب خواهد بود (احسان زاده و همکاران، ۱۳۹۵). قبل از به کارگیری داده ها در تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی، باید داده ها نرمالیزه شوند (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۳). برای نرمال سازی داده ها روش های متعددی وجود دارد که یکی

که در آن  $NData(i)$  داده نرمال شده؛  $U$ ، حد بالای محدوده نرمال سازی (۰/۹)؛  $L$ ، حد پایین محدوده نرمال سازی (۰/۹-)؛  $Max(i)$  حداکثر ارزش داده ها،  $Min(i)$  حداقل ارزش داده ها و  $Data(i)$  داده غیر نرمال است.

نخست متغیرهای مستقل ارتفاع درخت، قطر درخت، شاخه و سرشاخه های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، مشکلات ریشه، پوسیدگی پیشرفته، زخم، شکاف یا ترک، تماس با خطوط انتقال برق و متغیر وابسته وزن دهی نیز نرمال سازی شدند. مقدار فاکتور KMO برابر کل داده ها ۰/۴۸۱ (کمتر از ۰/۵) حاصل شد. بنابراین نمی توان تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی را روی کل داده ها اجرا کرد و نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی از اعتبار کافی برخوردار نیست. با توجه به سهم هر یک از معیارهای خطر آفرین در درختان نارون، (جدول ۱) متغیر تماس با خطوط انتقال برق به علت داشتن حداقل سهم، این متغیر حذف شد و از داده های ورودی باقی مانده، مقدار فاکتور KMO به ۰/۴۹۹ رسید که این مقدار وجود همبستگی کافی بین متغیرهای ورودی برای انجام آنالیز مؤلفه های اصلی را تأیید نمی کند. بنابراین مجدداً به سهم هر یک از معیارهای خطر آفرین مراجعه شد (جدول ۱) و دومین متغیر کم اهمیت که متغیر زخم روی تنه بود از کل متغیرها کنار گذاشته شد. از داده های ورودی باقی مانده، مقدار فاکتور KMO به ۰/۵۳۵ رسید که این مقدار وجود همبستگی کافی بین متغیرهای ورودی (کل متغیرها به جزء متغیرهای تماس با خطوط انتقال برق و زخم) برای انجام آنالیز

## ۲-۵. شبکه عصبی مصنوعی

به منظور پیش پردازش داده‌ها در آموزش شبکه، لازم است داده‌ها در دامنه مناسبی با استفاده از رابطه ۱ نرمال‌سازی شوند. در این پژوهش ۷۰، ۱۵ و ۱۵ درصد از کل داده‌ها، به ترتیب برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل اختصاص یافتند. متغیرهای قطر درخت (سانتی‌متر)، ارتفاع درخت (متر)، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده (درصد)، شکاف یا ترک (درصد)، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) (درجه)، مشکلات ریشه (درصد) و پوسیدگی تنه و شاخه (درصد) به عنوان متغیرهای ورودی و متغیر وابسته طبقه شدت خطر آفرینی در هر اصله درخت به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. برای طراحی مدل شبکه عصبی به منظور پیش بینی شدت خطر سقوط درختان نارون خطر آفرین از دو طبقه شدت خطر آفرینی (صفر بی خطر و ۱-۵ با خطر بسیار کم و ۱۰-۱۵ با خطر کم در طبقه نخست و ۱۱-۱۵ با خطر متوسط و ۲۰-۱۶ در خطر زیاد و ۲۴-۲۱ در خطر بسیار زیاد در طبقه دوم) که بر اساس روش وزن دهی محاسبه شد، استفاده شد. بر اساس قضیه تقریب عمومی، شبکه عصبی با یک لایه مخفی و با تعداد کافی نورون در لایه قادر به تقریب هر تابع پیوسته دلخواه است (کیا، ۱۳۹۷). در این مطالعه به منظور آموزش شبکه عصبی از شبکه پرسپترون چند لایه که از شبکه‌های عصبی پیشخور است با کاربرد نرم افزار Matlab نسخه ۲۰۱۴a، استفاده شد. برای آموزش شبکه عصبی از پس انتشار با نرخ یادگیری کاهش<sup>۱</sup> (BDLRF) استفاده شد. توابع فعالیت در لایه‌های مخفی برای تمام شبکه‌ها از نوع تابع سیگموئید و در لایه خروجی تابع انتقال خطی در نظر گرفته شد.

به منظور ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی، فرایند آموزش تا جایی که تفاوت بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش بینی شده توسط تغییر وزن بین لایه‌های مختلف در طول زمان را به حداقل برساند و در نهایت بهترین ساختارهای شبکه برای سقوط یا عدم سقوط درختان نارون بر اساس کمترین میزان ریشه دوم میانگین مربعات

وجهی از جدول خلاصه مدل<sup>۵</sup> و محاسبه شاخص‌های ROC<sup>۶</sup> و کاپا<sup>۷</sup> استفاده می‌شود. در جدول ۸ سه شاخص ضریب تبیین نیجل کرک<sup>۸</sup>، ضریب تبیین کاکس و نل<sup>۹</sup> و - loglikelihood<sup>۲</sup> برای ارزیابی مدل استفاده شد و نشان دهنده تطابق مدل با داده‌ها است. از طرفی، شاخص ضریب تبیین نیجل کرک مشابه ضریب تبیین در رگرسیون معمولی عمل می‌کند. ارزیابی صحت مدل حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دو وجهی با استفاده از این شاخص‌ها انجام می‌شود. با توجه به این شاخص‌ها، اگر شاخص -2 loglikelihood مقدار کمتری به خود اختصاص دهد، مدل مناسبی است و دامنه دو شاخص دیگر ضریب تبیین نیجل کرک و ضریب تبیین کاکس و نل، بین صفر و یک متغیر است. برای اینکه پی برد کدام متغیرها بر متغیر وابسته تأثیر آماری معناداری دارند، از آماره<sup>۱۰</sup> والد استفاده می‌شود. اما برای اینکه میزان تأثیر هر یک از متغیرها بر متغیر وابسته چقدر است از آماره<sup>۱۱</sup> Exp(B) استفاده می‌شود. بنابراین آمار والد مقدم بر آماره Exp(B) است (Hutcheson & Nick, 1999; Hosmer et al., 2013).

منحنی مشخصه عملکرد (ROC) یا مشخصه عملیاتی گیرنده یکی از مشهورترین روش‌های ارزیابی مدل است. منحنی ROC یک معیار سنجش میزان کارایی در مسائل دسته‌بندی است. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از میزان حساسیت یا پیش‌بینی درست در مقابل پیش‌بینی غلط در یک سیستم طبقه‌بندی دودویی است که آستانه تفکیک در آن متغیر است. دامنه سطح زیر منحنی از صفر تا یک متغیر است که امتیاز یک نشان دهنده تشخیص عالی، ۰/۵ نشان دهنده پیش‌بینی است که بهتر از حدس تصادفی است و مقادیر کمتر از ۰/۵ عملکرد بدتر از حالت تصادفی را بیان می‌کند. یکی از مزیت‌های شاخص سطح زیر منحنی این است که امکان مقایسه آزمون‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. سطح زیر منحنی یک شاخص تشخیصی است که احتمال وقوع را صرف نظر از خوب بودن برازش پیش‌بینی ارائه می‌دهد (Hosmer et al., 2013). همچنین شاخص کاپا نیز یکی دیگر از روش‌های ارزیابی مدل است.

## ۳. نتایج

## ۳-۱. معیارهای تشخیص خطرآفرینی

نتایج نشان داد که سه معیار شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، مشکلات ریشه و شکاف تنه به ترتیب ۸۷، ۷۹ و ۷۷ درصد بیشترین سهم و معیار تماس با خطوط انتقال برق کمترین سهم (۲۹ درصد) را در خطرآفرینی درختان نارون دارند (جدول ۱).

خطا (MSE) و بیشترین ضریب تبیین (بین -۱ تا +۱) انتخاب شدند.

به منظور بررسی صحت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی، پس از انجام شبیه‌سازی با بهترین شبکه و نتایج حاصل از اعتبارسنجی، شبیه‌سازی احتمال سقوط درختان نارون انجام شد و میزان تطابق مقادیر حاصل از پیش‌بینی احتمال سقوط درختان نارون با مقادیر واقعی آن با اندازه‌گیری سطح زیر منحنی ROC و کاپا بررسی شد.

جدول ۱. سهم هر یک از معیارهای خطرآفرین در درختان نارون

تعداد درختان سالم	درختان		درجه اهمیت	معیار خطرآفرینی
	تعداد	درصد		
۱۷ (%۱۳)	۴۴	۳۴	خطر کم	شاخه و سرشاخه‌های خشکیده
	۱۹	۱۵	خطر متوسط	
	۴۹	۳۸	خطر زیاد	
	۱۱۲	۸۷	مجموع	
۳۰ (%۲۳)	۲۱	۱۶	خطر کم	شکاف تنه
	۲۹	۲۳	خطر متوسط	
	۴۹	۳۸	خطر زیاد	
	۹۹	۷۷	مجموع	
۴۶ (%۳۶)	۲	۲	خطر کم	ضعف ساختاری یا فیزیکی
	۲۱	۱۶	خطر متوسط	
	۶۰	۴۶	خطر زیاد	
	۸۳	۶۴	مجموع	
۲۷ (%۲۱)	۱۲	۹	خطر کم	مشکلات ریشه
	۵۰	۳۹	خطر متوسط	
	۴۰	۳۱	خطر زیاد	
	۱۰۲	۷۹	مجموع	
۴۴ (%۳۴)	۴۰	۳۱	خطر کم	پوسیدگی پیشرفته
	۰	۰	خطر متوسط	
	۴۵	۳۵	خطر زیاد	
	۸۵	۶۶	مجموع	
۵۸ (%۴۵)	۳۱	۲۴	خطر کم	زخم روی تنه و ریشه
	۳۱	۲۴	خطر متوسط	
	۰	۰	خطر زیاد	
	۷۱	۵۵	مجموع	
۹۲ (%۷۱)	۲۴	۱۹	خطر کم	تماس با خطوط
	۱۳	۱۰	خطر متوسط	
	۰	۰	خطر زیاد	
	۳۷	۲۹	مجموع	

خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد) اختلاف معناداری در سطح یک درصد وجود ندارد. طبقه‌بندی میزان خطرآفرینی

نتایج آزمون کروسکال-والیس نشان داد که در بین تعداد درختان در ۴ طبقه خطرآفرینی (فاقد خطر یا سالم،

نتایج مقادیر مربوط به بردارهای ویژه، برای تشکیل هر مؤلفه در جدول ۴ نشان داده شد و با توجه به پیچیدگی خطرآفرینی درختان این معیار تقریباً معادل با ۰/۶۰ انتخاب شده است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱). از طرفی دیگر، با توجه به شکل ۲ می‌توان بیان کرد که بین متغیرهای مشکلات ریشه و پوسیدگی پیشرفته همبستگی مثبت و بالایی و متغیرهای شکاف یا ترک و وزن‌دهی همبستگی مثبت در دو مؤلفه نخست که حدود ۶۸/۹۱ درصد (جدول ۳) از تغییرات کل را نشان می‌دهد، وجود دارد. بنابراین بر این اساس انتخاب معیار ۰/۶ و حذف دو متغیر مشکلات ریشه و شکاف یا ترک، مسئله همبستگی به خودی خود بر طرف می‌شود. در شکل ۲ و جدول ۴، متغیرهای ضعف ساختاری یا فیزیکی، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، مشکلات ریشه و پوسیدگی پیشرفته با متغیر وزن‌دهی معیارهای خطرآفرینی دارای همبستگی بیشتری هستند و تأثیر بیشتری بر تغییرات آن می‌گذارند.

درختان نارون در جدول ۲ نشان داده شده است. حدود ۴ اصله درخت (۳درصد) از کل درختان نارون در طبقه سالم (بدون خطر)، ۴۰ اصله درخت (۳۱درصد) در طبقات خطر کم (خطر بسیار کم و کم)، ۶۵ اصله درخت (۵۰درصد) در طبقه خطر متوسط و ۲۰ اصله درخت (۱۶درصد) در طبقه خطر زیاد (خطر زیاد و بسیار زیاد) قرار گرفتند.

### ۲.۳. کاهش متغیرهای ورودی در فرایند مدل‌سازی با روش تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

محورهای اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم رسته‌بندی با داشتن بیشترین ارزش ویژه به ترتیب ۲۹/۷۲، ۱۹/۱۹، ۱۴/۲۳، ۱۱/۸۴ و ۹/۱۵ درصد و در مجموع ۸۴/۱۳ درصد از تغییرات کل را نشان دادند (جدول ۳). در تشکیل مؤلفه نخست متغیر وزن‌دهی، مؤلفه دوم متغیر قطر درخت، مؤلفه سوم متغیر شکاف یا ترک، مؤلفه چهارم وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) و مؤلفه پنجم شاخه و سرشاخه‌های خشکیده بالاترین ضرایب را در (جدول ۳) دارند که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر این متغیرها در تشکیل پنج مؤلفه است.

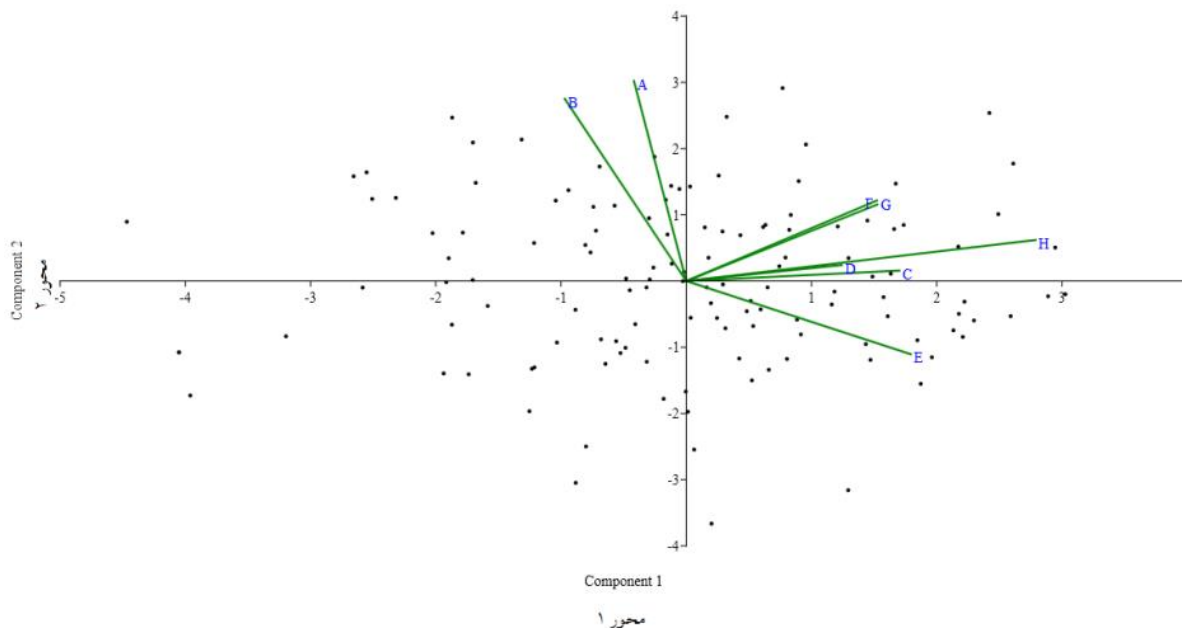
جدول ۲. طبقه‌بندی میزان خطرآفرینی درختان نارون مورد بررسی

کد طبقه	نمره خطرآفرینی	وضعیت خطرآفرینی	درصد درختان	تعداد درختان
۱	۰	بی خطر	۳	۴
۲	۱-۵	خطر بسیار کم	۳	۴
۳	۶-۱۰	خطر کم	۲۸	۳۶
۴	۱۱-۱۵	خطر متوسط	۵۰	۶۵
۵	۱۶-۲۰	خطر زیاد	۱۵	۱۹
۶	۲۱-۲۴	خطر بسیار زیاد	۱	۱
		مجموع	۱۰۰	۱۲۹

جدول ۳. آمار محورهای آنالیز مؤلفه اصلی

محور اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مقدار ویژه	۲/۳۷۷	۱/۵۳۴	۱/۱۳۸	۰/۹۴۶	۰/۷۳۲	۰/۶۲۳	۰/۵۱۷	۰/۱۲۹
درصد واریانس	۲۹/۷۱۹	۱۹/۱۸۶	۱۴/۲۳۴	۱۱/۸۳۷	۹/۱۵۲	۷/۷۹۳	۶/۴۶۲	۱/۶۱۶





شکل ۲. آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) درختان نارون (A: قطر درخت، B= ارتفاع درخت، C: شاخه و سرشاخه های خشکیده، D: شکاف یا ترک، E: ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، F: مشکلات ریشه، G: پوسیدگی پیشرفته، H: وزن دهی معیارهای خطر آفرینی، \* درخت نارون، Component: مؤلفه)

جدول ۴. مقادیر مربوط به بردارهای ویژه برای تشکیل هر مؤلفه

متغیر	محور	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
قطر درخت		-۰/۱۳۹	۰/۸۱۲	-۰/۰۱۹	۰/۲۳۳	۰/۱۱۷	-۰/۰۷۰	-۰/۴۹۶	-۰/۰۰۹
ارتفاع درخت		-۰/۳۲۴	-۰/۷۴۰	۰/۱۷۰	۰/۱۸۴	-۰/۰۴۲	-۰/۱۷۷	۰/۵۰۰	۰/۰۰۶
شاخه و سرشاخه های خشکیده		۰/۵۶۹	-۰/۰۴۲	۰/۴۲۵	-۰/۰۱۹	۰/۶۳۳	-۰/۲۹۴	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷
شکاف یا ترک		۰/۴۱۵	-۰/۰۶۵	۰/۷۳۵	۰/۱۲۸	-۰/۴۹۶	-۰/۰۶۸	-۰/۰۶۸	۰/۱۰۱
ضعف ساختاری یا فیزیکی		۰/۶۰۰	-۰/۲۹۷	-۰/۱۷۵	۰/۵۲۹	-۰/۱۳۸	۰/۴۵۳	۰/۰۰۵	۰/۱۱۹
مشکلات ریشه		۰/۵۱۱	۰/۳۱۱	-۰/۵۸۲	۰/۱۹۳	-۰/۱۹۰	-۰/۴۵۴	۰/۱۰۷	۰/۱۰۶
پوسیدگی پیشرفته		۰/۵۰۹	-۰/۳۲۷	-۰/۱۲۹	-۰/۷۲۳	۰/۰۰۶	۰/۲۷۴	-۰/۰۱۲	۰/۱۳۰
وزن دهی		۰/۹۳۴	-۰/۱۶۶	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	-۰/۱۱۴	۰/۰۸۹	۰/۰۴۷	-۰/۲۷۳

درختان نارون را تبیین کند. مقدار آماره والد<sup>۱۱</sup> برابر با ۱۲/۵۷۰ و نسبت بخت<sup>۱۲</sup> های آن ۰/۵۱۸ نتایج مربوط به زمانی است که عدد ثابت فقط در مدل باشد (جدول ۶). با توجه به نتایج تحلیل اولیه در بلوک (۰) به استثنای متغیرهای قطر درخت و ارتفاع با سطح معناداری بزرگتر از ۰/۰۵ (به ترتیب با سطح معناداری ۰/۸۵۱ و ۰/۱۸۶)، سایر متغیرها وارد شده در رگرسیون قادر به پیش بینی تغییرات متغیر وابسته احتمال سقوط درختان هستند.

### ۲.۳. مدل رگرسیون لجستیک دو وجهی

از مجموع ۱۲۹ اصله درخت در مدل رگرسیون لجستیک، مجموع درختان تجزیه و تحلیل شدند. جدول طبقه بندی رگرسیون لجستیک (جدول ۵) نشان می دهد که با اطمینان ۶۵/۹ درصد با استفاده از ۵ متغیر مستقل (ارتفاع درخت، قطر درخت، شاخه و سرشاخه های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی، پوسیدگی پیشرفته) به عنوان متغیرهای پیش بینی کننده احتمال سقوط درختان در این تحقیق قادر است تغییرات متغیر وابسته احتمال سقوط

جدول ۵. جدول طبقه‌بندی در مرحله صفر

پیش‌بینی شده		مشاهده شده	
درصد صحت	سالم	خطر آفرین	خطر آفرین
۱۰۰/۰۰	۰	۸۵	خطر آفرین
۰	۰	۴۴	سالم
۶۵/۹۰			درصد کل

جدول ۶. متغیرهای موجود در معادله در مرحله صفر

Exp(B)	Sig.	df	والد	S.E.	B	
۰/۵۱۸	/۰۰۰	۱	۱۲/۵۷۰	۰/۱۸۶	-۰/۶۵۸	عدد ثابت

جدول ۷. ضرایب مدل آزمون امنی بوس

sig	df	کای اسکور	
۰/۰۰۰	۵	۵۱/۵۹۱	مرحله
۰/۰۰۰	۵	۵۱/۵۹۱	بلوک
۰/۰۰۰	۵	۵۱/۵۹۱	مدل

میزان از واریانس متغیر وابسته را تبیین کنند (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۳). مقادیر هر دو آماره مربوط به ضریب تبیین پزودو ۰/۳۳ و ۰/۴۵۶ (ضریب همبستگی (R): ۰/۵۷۴ - ۰/۶۷۵) بوده که ۵ متغیر مستقل در این تحقیق از قدرت تبیین متوسطی در خصوص واریانس و تغییرات متغیر وابسته به احتمال سقوط درختان برخوردار هستند. در واقع ۵ متغیر توانسته‌اند بین ۰/۳۳ تا ۰/۴۵۶ درصد از تغییرات سقوط درختان را تبیین کنند.

آمار نکوئی برآزش هوسمر-لمشو<sup>۱۴</sup> نشان داد که برآزش میزان پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته در سطح خطای کوچکتر از ۰/۰۱ معنادار نیست بدین معنی که مدل تحقیق مناسب نبوده و از برآزش لازم برخوردار نیست. یعنی متغیرهای مستقل قادر به پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته نیست (جدول ۹).

با جدول طبقه‌بندی (جدول ۱۰)، عملکرد مدل و قدرت تفکیک افراد در طبقات متغیر وابسته (درختان سالم

در مجموع کل خروجی رگرسیون لجستیک در بلوک (۱) در ۴ بخش، ارزیابی کل مدل، آمار نکوئی برآزش، آزمون‌های آماری مربوط به تأثیر هر متغیر پیش‌بینی (مستقل) و ارزیابی احتمالات پیش‌بینی شده تقسیم می‌شود. نتایج آزمون امنی بوس<sup>۱۳</sup> مربوط به ارزیابی کل مدل رگرسیون لجستیک در جدول ۷ نشان داده شده است. این آزمون به بررسی قدرت تبیین و کارایی مدل را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون امنی بوس، برآزش مدل قابل قبول و در سطح خطای کمتر از ۰/۰۱ معنادار است.

جدول ۸ آماره لگاریتم درست‌نمایی و ضریب تبیین پزودو (شامل ضریب تبیین کاکس و نل و ضریب تبیین نیجل کرک) را نشان می‌دهد. این ضرایب، تقریب‌های ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) در رگرسیون خطی هستند که در اینجا در رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. این ضریب مشخص می‌کند که متغیرهای وابسته توانسته‌اند تا چه

خطرآفرین و ۲۸ اصله درخت سالم به درستی تفکیک شده‌اند. به عبارتی، ۱۳ اصله درخت خطرآفرین به اشتباه در گروه درختان سالم و بر عکس ۱۶ اصله درخت سالم در گروه درختان خطرآفرین قرار گرفته‌اند.

متغیرهای مستقل وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) و پوسیدگی پیشرفته وارد شده در تحلیل رگرسیون قادر به پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته (درختان سالم و خطرآفرین) هستند و توانایی پیش‌بینی آن‌ها در سطح خطای ۰/۰۱ معنادار است. از طرفی، متغیر قطر درخت بیشترین توانایی در وضعیت احتمال سقوط درختان دارد (جدول ۱۱).

و درختان خطرآفرین) را به پاسخ مورد انتظار در همان طبقه از طریق ترسیم توافقی پاسخ‌ها در طبقات مشاهده شده و مورد انتظار نشان می‌دهد. با این جدول میزان عملکرد پیش‌بینی‌پذیری مدل ارزیابی می‌شود. در این جدول، خانه‌های قطری، تعداد پیش‌بینی‌های صحیح را نشان می‌دهد و خانه‌های خارج از قطر نیز تعداد پیش‌بینی‌های غیر صحیح را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج این جدول می‌توان به میزان صحت و سقم مدل در طبقه‌بندی افراد پی‌برد. همان‌طور که در جدول ۱۰ نشان داده شد، دقت طبقه‌بندی اصله درختان توسط مدل برابر با ۷۷/۵ درصد بود. یعنی در این مرحله، ۷۲ اصله درخت

جدول ۸. خلاصه مدل

مرحله	-2Log likelihood	Cox & snell R square	Nalckerke R square
۱	۱۱۳/۹۸۱ <sup>a</sup>	۰/۳۳۰	۰/۴۵۶

جدول ۹. آزمون هوسمر و لمشو

مرحله	کای اسکور	Df	Sig.
۱	۵/۱۲۵	۸	۰/۷۴۴

جدول ۱۰. جدول طبقه‌بندی در مرحله ۱

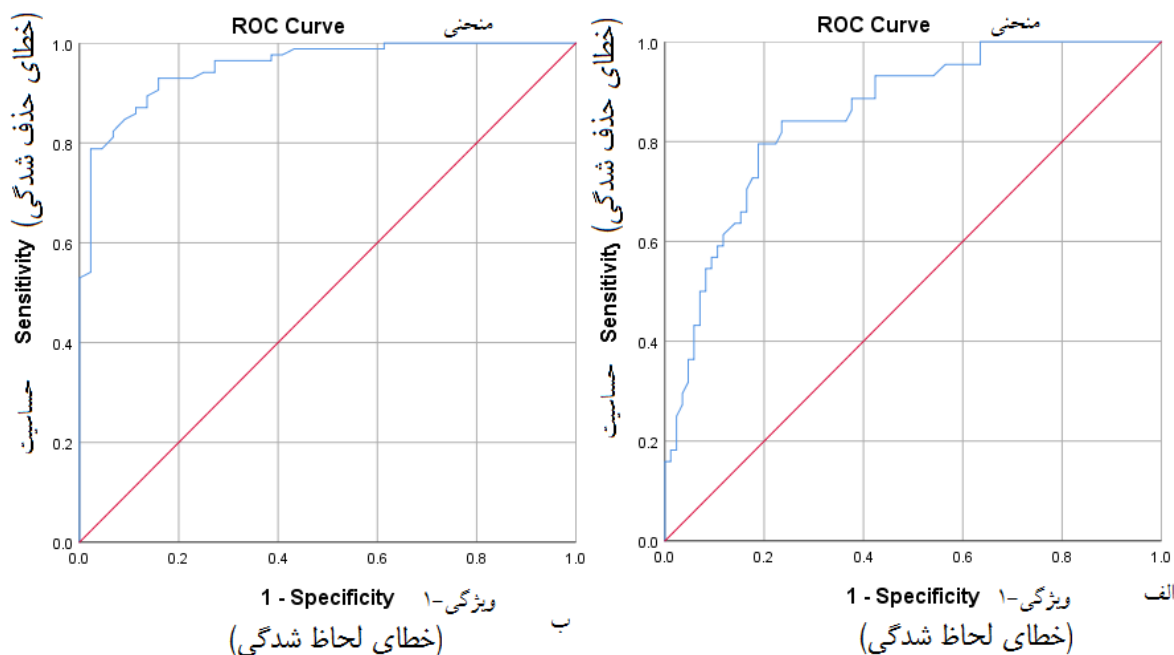
مرحله ۱	مشاهده شده	پیش‌بینی شده		خطرآفرین	سالم	درصد صحت
		خطرآفرین	سالم			
		۷۲	۱۳	خطرآفرین	۸۴/۷	
	طبقه شدت خطرآفرینی	۱۶	۲۸	سالم	۶۳/۶	
	درصد کل				۷۷/۵	

جدول ۱۱. متغیرهای ورودی در معادله

مرحله	متغیر	B	S.E.	والد	Df	Sig.	Exp(B)	حد پایین	حد بالا
مرحله ۱	قطر درخت	-۰/۱۵۹	۰/۵۶۹	۰/۰۷۸	۱	۰/۷۷۹	۰/۸۵۳	۰/۲۷۹	۲/۶۰۲
	ارتفاع درخت	-۰/۱۷۷	۰/۶۸۴	۰/۰۶۷	۱	۰/۷۹۶	۰/۸۳۸	۰/۲۱۹	۳/۱۹۹
	شاخه و سرشاخه‌های خشکیده	-۰/۵۴۲	۰/۳۶۵	۲/۲۱۰	۱	۰/۱۳۷	۰/۵۸۱	۰/۲۸۴	۱/۱۸۹
	ضعف ساختاری یا فیزیکی	-۱/۳۲۳	۰/۳۲۴	۱۶/۷۰۹	۱	۰/۰۰۰	۰/۲۶۶	۰/۱۴۱	۰/۵۰۲
	پوسیدگی پیشرفته	-۱/۶۸۴	۰/۳۹۲	۱۸/۴۸۶	۱	۰/۰۰۰	۰/۱۸۶	۰/۰۸۶	۰/۴۰۰
	عدد ثابت	-۱/۰۵۳	۰/۳۰۱	۱۲/۲۸۴	۱	۰/۰۰۰	۰/۳۴۹		

دارد (شکل ۳). همچنین ضریب کاپا ۰/۴۹۲ و در سطح خطای ۰/۰۱ معنادار برای درختان نارون است.

مقدار سطح زیر منحنی (AUC) در منحنی ROC برای درختان نارون برابر ۰/۸۵۵ است. نتایج نشان می‌دهد که مدل کارایی لازم را در پیش‌بینی احتمال سقوط درختان



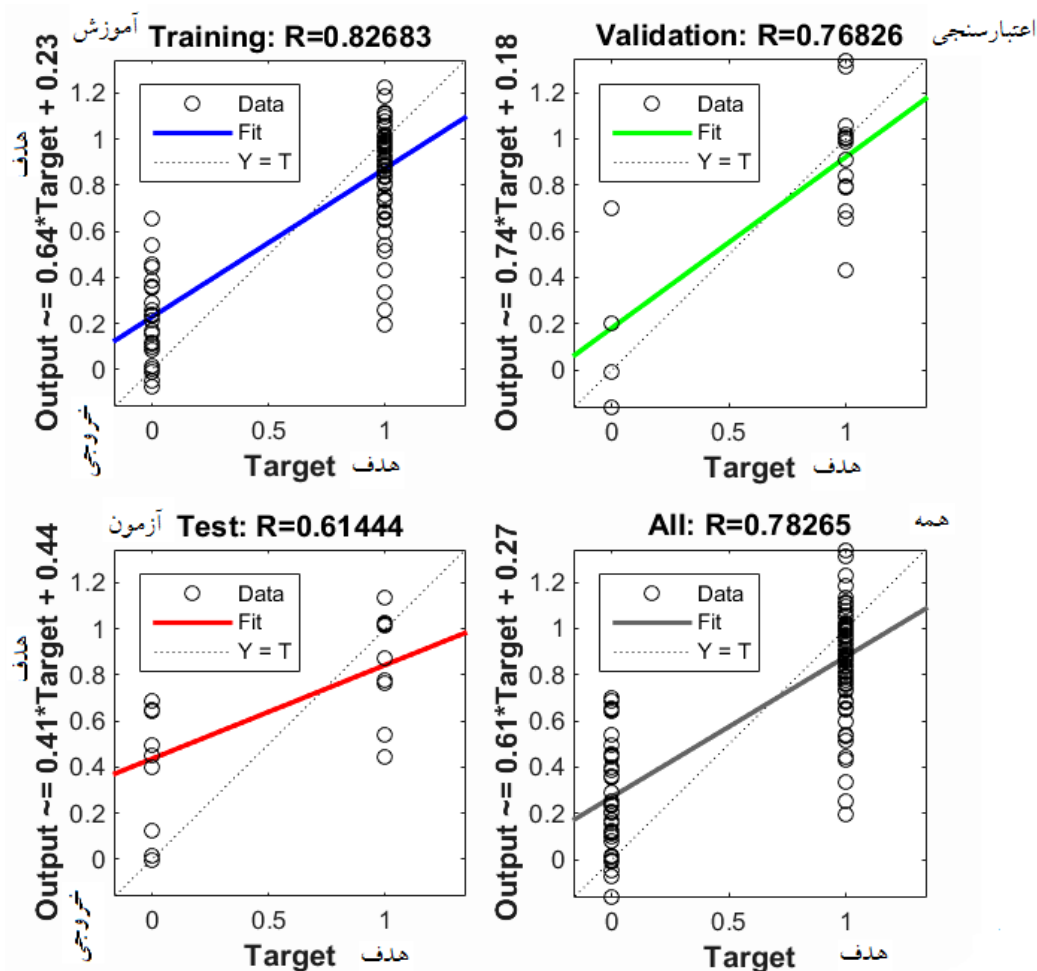
شکل ۳. منحنی ROC به منظور ارزیابی عملکرد مدل رگرسیون لجستیک احتمال سقوط درختان نارون (الف)، ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی احتمال سقوط درختان نارون (ب)

بهبود را شاهد است و شبکه متوقف شده است. نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی در شکل ۴ آورده شده است. ضریب همبستگی (R) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی، ارزیابی و در نهایت تمامی داده‌ها به ترتیب برابر ۰/۸۲۷، ۰/۷۶۸، ۰/۶۱۴ و ۰/۷۸۳ به دست آمد. میانگین مربعات خطا (MSE) برای آموزش، تست و ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۰۵۵، ۰/۱۳۶ و ۰/۲۶۹ محاسبه شد (شکل ۴). مقدار سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد در منحنی ROC برای درختان نارون برابر ۰/۹۵۳ است. نتایج نشان می‌دهد که مدل کارایی لازم را در پیش‌بینی احتمال سقوط درختان دارد (شکل ۳). همچنین ضریب کاپا ۰/۷۷۵ و در سطح خطای ۰/۰۱ معنادار برای درختان نارون است.

### ۳.۳. شبکه عصبی

لایه ورودی شبکه عصبی متشکل از ۵ نورون شامل داده‌های ارتفاع درخت، قطر درخت، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) و پوسیدگی پیشرفته و یک لایه پنهان ۲۰ نورون و خروجی شبکه نیز یک نورون شامل طبقه شدت خطر آفرینی درختان نارون است. شبکه‌ای با ۵ ورودی، ۲۰ عنصر پردازشی (نورون) در لایه پنهان و یک خروجی، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی احتمال سقوط درختان داد.

تعداد تکرار شبکه ۵۰ دور در نظر گرفته شد. با اجرای شبکه پیش‌بینی برای داده‌های ورودی انجام پذیرفت. شبکه بعد از ۷ تکرار به مقدار هدف تعیین‌شده (طبقه شدت خطر آفرینی) رسید. در تکرار ۲ تا ۷ در ۶ بار متوالی عدم



شکل ۴. نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی

#### ۴. بحث

مهاری درختان خطر آفرین و رویکرد آخر قطع درخت خطر آفرین که در صورت تحقق نیافتن دو رویکرد اول و دوم انجام می شود (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بانج شفیع و همکاران، ۱۳۹۴). درباره درختان خطر آفرین خیابان شریعتی در شرایط فعلی، مناسب ترین رویکرد مدیریتی برای تصحیح عیب های تاج درختان هرس است که درباره این درختان قطع شاخه های خشکیده پیشنهاد می شود ولی درباره درختانی که از نظر این معیار در طبقات خطر متوسط و زیاد (جدول ۱) قرار دارند، هرس باید با شدت بیشتری انجام گیرد و پایش سالانه درباره این درختان صورت گیرد. بنابراین سهم معایب تاج درختان در خطر آفرینی درختان حائز اهمیت است و اجرای اقدامات

نتایج معیارهای تشخیصی خطر آفرینی نشان داد سه معیار شاخه و سرشاخه های خشکیده، مشکلات ریشه و شکاف تنه بیشترین سهم را در خطر آفرینی درختان نارون در برداشته اند که پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۱) و بانج شفیع و همکاران (۱۳۹۴) نیز در تحقیقات خود به مشکلات تاج درختان به خصوص خشکیدگی شاخه و سرشاخه های درختان که سبب ایجاد خطر می شود اشاره کردند. به منظور مدیریت درختان خطر آفرین در فضاهای سبز شهری سه رویکرد کلی اتخاذ شده است: دور کردن هدف از درخت خطر آفرین که فقط درباره اهداف متحرک امکان پذیر است، اقداماتی مانند هرس سبک و سنگین و

همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور کلی دو متغیر شاخه و سرشاخه‌های خشکیده و مشکلات ریشه در هر دو روش معیارهای شدت خطرآفرینی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی جزء مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شدت خطرآفرینی درختان نارون انتخاب شده‌اند. در این پژوهش مشخص شد که با حذف عوامل خطرآفرین مانند هرس، اصلاح تاج، تقویت و اصلاح خاک و در نهایت قطع درختان توجه ویژه‌ای داشت. بنابراین شناسایی متغیرهای مؤثر در مقدار خطرآفرینی به‌منظور مدیریت درختان فضای سبز شهری بسیار مهم است که همراستا با یافته‌های بانج شفيعی و همکاران (۱۳۹۴) است.

با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی (ضریب تبیین)، شاخص‌های ROC و کاپا، میزان کارایی مدل رگرسیون لجستیک با مدل شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی شد. مقایسه بین دو مدل نشان داد که مدل شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکوات عملکرد بهتری نسبت به مدل رگرسیون لجستیک دارد که با یافته‌های شیخ‌الاسلامی و همکاران (۱۳۹۱)، منصوریان و همکاران (۱۳۹۳) و احسان‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت داشت.

شناخت عوامل مؤثر در خطرآفرینی درختان فضای سبز شهری و کمی کردن این عوامل پیش‌نیاز ارائه مدل‌های پیش‌بینی و برآورد خطرآفرینی درختان فضای سبز شهری است. مشخص کردن وزن این عوامل با استفاده از روش‌های مختلف مورد استفاده در مدل‌سازی خطر سقوط درختان خطرآفرین فضای سبز شهری می‌تواند در پیش‌بینی خطر سقوط درختان به کاربران این‌گونه مدل‌ها کمک کند. با توجه به اهداف این پژوهش، پس از شناخت عوامل مهم و تأثیرگذار بر خطرآفرینی درختان نارون و مشخص کردن وزن عوامل با روش‌های رگرسیون لجستیک و روش شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌بینی خطرآفرینی درختان نارون مورد بررسی حاصل شد. ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده برای تعیین خطرآفرینی درختان نارون در این پژوهش نشان می‌دهد که میزان دقت مدل‌های حاصل از این

ترمیمی احساس می‌شود. ظهور بسیاری از مشکلات ریشه به خاطر در نظر نگرفتن تمهیدات لازم به هنگام کاشت اولیه درختان از جمله تراکم کاشت مناسب، اصلاح و تقویت خاک، آبیاری مطلوب و مالچ‌پاشی خاک اطراف ریشه در فضاهای شهری است که می‌توان با رعایت این تمهیدات مانع از بروز بسیاری از مشکلات ریشه در سال‌های آینده شد (پورهایشمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بانج شفيعی و همکاران، ۱۳۹۴). در حال حاضر تقویت و اصلاح خاک و در نهایت قطع درختان با خطر زیاد درباره درختان نارون خیابان شریعتی پیشنهاد می‌شود تا اندازه‌ای مشکلات ریشه را برطرف کند.

شکاف در تنه درختان خیلی معمول است البته ممکن است دلایل متفاوتی از جمله نوسانات دمایی، نوسانات رشد، آفتاب سوختگی، زخم‌های هرس و ... داشته باشد. در اثر این شکاف‌ها علاوه بر خسارتی که به تنه درخت وارد می‌شود، محل مناسبی نیز برای ورود عوامل بیماری‌زا و آفات می‌شود که این بیماری‌ها باعث خشکیدگی درختان آلوده می‌شود. در شرایط فعلی استفاده از مواد مخصوصی به منظور ترمیم و پانسیمان با روش درست و علمی برای درختان خیابان شریعتی توصیه می‌شود.

نتایج آزمون کروסקال-والیس نشان داد که در بین تعداد درختان در ۴ طبقه خطرآفرینی اختلاف معناداری در سطح یک درصد وجود ندارد که نتایج مشابه و متفاوتی توسط سایر محققان گزارش شده است (پورهایشمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بانج شفيعی و همکاران، ۱۳۹۴).

با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی متغیرهای مهم‌تر برای ورود به مدل‌سازی از میان متغیرهای اولیه انتخاب شده‌اند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان دهنده آن است که تماس با خطوط انتقال برق، زخم روی تنه از متغیرهای کم‌اهمیت برای ورود به مدل‌سازی هستند. همچنین این روش باعث حذف همبستگی بین متغیرهای ورودی از جمله مشکلات ریشه و شکاف تنه به مدل و تفسیر آسان‌تر مدل‌ها شد (احسان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ شیخ‌الاسلامی و

اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و کنترلی در کاهش احتمال سقوط درختان فضای سبز محسوب می‌شود.

با توجه به ضرورت پایش‌های مستمر درختان فضای سبز شهری، در پژوهش‌های آتی علاوه بر معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، از معیارهای پوسیدگی درون چوب درختان و نسبت طول تاج زنده به ارتفاع درخت نیز استفاده شود. همچنین شناسایی بیماری‌ها و آفات موجود در درختان نیز در پژوهش‌های مشابه در اولویت قرار گیرد.

### یادداشت‌ها

1. Principal component analysis
2. caliper
3. Kuruskal-Wallis
4. Kaiser-Meyer-Olkin
5. model summary
6. Rreceiver operating characteristic
7. Kappa
8. Nagelkerke
9. Cox & Snell
10. Back-propagation with declining learning-rate factor
11. wald
12. exp(B)
13. Omnibus Test
14. Hosmer and Lemeshow Test

روش‌ها در پیش‌بینی خطر سقوط یا عدم سقوط درختان نارون متفاوت است که این موضوع منجر به بروز تفاوت معناداری بین عملکردهای روش‌های مورد استفاده شد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این بررسی، روش متداول رگرسیون لجستیک دو وجهی در فرایند مدل‌سازی کارایی لازم را ندارد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم آموزش لوبنبرگ مارکوات توانست برای احتمال سقوط درختان نارون، مدل مناسب‌تر با ضریب رگرسیون (ضریب تبیین) بهتری را پیش‌بینی نماید. با استفاده از مدل شبکه عصبی بدون انجام معادلات پیچیده غیرخطی، می‌توان دینامیک حاکم بر سیستم را استخراج کرد و از این سو، خروجی‌های مدل را پیش‌بینی کرد. با انتخاب نوع مناسب تکنیک یادگیری، تعداد مناسب لایه پنهان و نورون، همچنین نوع و تعداد متغیرهای ورودی و نیز کالیبره کردن مناسب آن‌ها، شبکه عصبی مصنوعی ابزاری بسیار کارا و مناسب برای پیش‌بینی احتمال سقوط درختان است. بنابراین این مدل، ابزاری برای پژوهشگران، مدیران فضای سبز شهری و متخصصان مربوطه برای آگاهی از احتمال سقوط درختان خطرآفرین و

### منابع

- احسان‌زاده، ع.، نژادکورکی، ف. و طالبی، ع. ۱۳۹۵. مقایسه کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، رگرسیون مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه در مدل‌سازی شاخص کیفیت هوای شهری، محیط‌شناسی، ۴۲(۳): ۴۵۵-۴۷۳.
- اریاب، ع.، جلالی‌سندی، ج. و صحراگرد، ا. ۱۳۸۲. جنبه‌هایی از بیواکولوژی سوسک برگ‌خوار نارون *Xanthogaleruca luteola* Mull (Col.; Chrysomelidae)، علوم کشاورزی ایران، ۴: ۸۴۷-۸۵۴.
- اسحاقی‌راد، ج.، پاک‌گهر، ن.، بانج شفیعی، ع. و علوی، ج. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های رسته‌بندی غیرمستقیم در تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی (مطالعه موردی: جنگلکاری فرودگاه ارومیه)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۳۲(۴): ۶۳۷-۶۴۶.
- بانج شفیعی، ع.، صمدزاده‌گرگری، خ.، سیدی، ن. و علیجانپور، احمد. ۱۳۹۴. بررسی کمی و کیفی و مقدار خطرآفرینی درختان چنار شهر ارومیه، مجله پژوهش و توسعه جنگل، ۱(۴): ۳۱۹-۳۳۵.
- برازمند، س.، شتایی، ش.، کاوسی، م. و حبشی، ه. ۱۳۹۱. بررسی پراکنش سرخشکیدگی درختان جنگلی و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی و جاده‌ها (مطالعه موردی: سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا)، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۹(۳): ۱۷۴-۱۵۹.

- بیات، م.، نمیرانیان، م.، امید، م.، رشیدی، آ. و بابایی، س. ۱۳۹۵. کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در برآورد موجودی سرپای توده-های جنگلی، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۴(۲): ۲۱۴-۲۲۶.
- پورمجیدیان، م. ر.، آقاجانی، ح.، فلاح، ا. و حیدری، م. ۱۳۹۳. بررسی خطرآفرینی درختان کاج ایرانی (*Pinus eldarica* Medw.) حاشیه خیابان‌ها (مطالعه موردی: شهرستان بابل)، فصلنامه علمی پژوهشی اکوسیستم‌های ایران، ۵(۴): ۶۳-۷۶.
- پورهاشمی، م.، خسروپور، ا. و حیدری، م. ۱۳۹۱. ارزیابی خطرآفرینی درختان چنار (*Platanus orientalis* Linn.) خیابان ولیعصر تهران، مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۴(۳): ۲۶۵-۲۷۵.
- حسن‌زاد ناوردی، ا.، نمیرانیان، م. و زاهدی امیری، ق. ۱۳۸۳. بررسی رابطه بین ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی طبیعی راش با عوامل رویشگاه (منطقه اسالم)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۲): ۲۳۵-۲۴۸.
- حسین‌زاده، ج.، نجفی‌فر، ع. و طهماسبی، م. ۱۳۹۵. بررسی عوامل اصلی توصیف‌کننده ساختار توده در جنگل‌های بلوط زاگرس. مجله پژوهش‌های گیاهی مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۹(۴): ۷۶۶-۷۷۴.
- جهانی، ع. ۱۳۹۵. مدل‌سازی ریسک سقوط درختان چنار خطرآفرین در فضای سبز شهری، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۴): ۳۵-۴۸.
- جهانی، ع. و محمدی‌فاضل، ا. ۱۳۹۵. مدل‌سازی کیفیت زیباشناختی منظر در فضای سبز شهری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹(۴): ۹۵۱-۹۶۳.
- رئیس، م.، بهمینی، م.، جلالی، م.، مهدیان، ح. ر. و میرفروغی، م. ۱۳۹۵. بررسی امکان خطرآفرینی درختان نارون *Ulmus carpinifolia umbelifera* var. در ارتباط با پوسیدگی، مشکلات ریشه و تماس با خطوط برق خیابان سعدی شهرکرد، ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۱۶ دی‌ماه، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار - موسسه آموزش عالی مهراروند، تهران.
- زبیری، م. ۱۳۹۱. آماربرداری در جنگل (اندازه‌گیری درخت و جنگل)، دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- شجاعی، م.، استوان، ه.، مژدهی، ح.، زمانی‌زاده، ح.، نصرالهی، ع.، لبافی، ی.، ره‌جو، و. و شریفی، ش. ۱۳۸۰. وابستگی‌های زیستی قارچ بیماری‌زای *Ophiostoma ulmi* (Buisman) با درختان میزبان و حشرات ناقل و نقش آن‌ها در مدیریت تلفیقی مبارزه و پیشگیری بیماری هلندی نارون، علوم کشاورزی، ۷(۲): ۱-۲۵.
- شیخ‌الاسلامی، ع.، باقری خلیلی، ف. و محمودآبادی، ع. ۱۳۹۱. کاهش متغیرهای ورودی در فرایند مدل‌سازی تصادفات آزادراه‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مهندسی حمل‌ونقل، ۳(۴): ۳۲۵-۳۳۸.
- کاظمی نجفی، س. ۱۳۹۵. ارزیابی غیرمخرب درختان سرپا، انتشارات آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران.
- کیا، م. ۱۳۹۷. شبکه‌های عصبی در Matlab. چاپ ششم، نشر دانشگاهی کیان، تهران.
- منظرالحجه، م.، حسینی، م. و سهرابی، آ. ۱۳۸۹. معیارهای انتخاب گونه، جانمایی و کاشت درختان در فضاهای شهری، ماهنامه راه و ساختمان، ۸(۷۴): ۳۹-۴۵.
- منصوریان، س.، ایزدی دربندی، ا.، راشد محصل، م.، راستگو، م. و کانونی، ه. ۱۳۹۳. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی حضور علف‌های هرز در مزارع نخود دیم استان کردستان، مجله دانش علف‌های هرز، ۱۰: ۱۱۸-۱۳۵.
- نافیان، م.، بهمینی، م.، قهساره اردستانی، ا. و سلطانی، ع. ۱۳۹۸. ارزیابی و مدل‌سازی خطرآفرینی درختان چنار با استفاده از معیارهای تشخیص خطرآفرینی و آنالیز مؤلفه اصلی، علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۶(۲): ۱-۱۶.



Albers, J., Eiber, T., Hayes, E., Bedker, P., MacKenzie, M., Brien, J.O., Pokorny, J. and Torsello, M. 1996. How to recognize hazardous defects in trees. USDA Forest Service. Washington DC.

Duryea, M. L., Kampf, E. and Littell, R.C. 2007. Hurricanes and the urban forest: I. Effects on southeastern United States coastal plain tree species. *Arboricult. Urban Forestry*, 33(2): 83-97.

Heikkonen, J. and Varjo, J. 2004. Forest change detection applying Landsat thematic mapper difference features: A comparison of different classifiers in boreal forest conditions. *Forest Science*, 50(5): 579-588.

Hosmer, D. W., Lemeshow, S., and Sturdivant, R. X. 2013. *Applied Logistic Regression*. Third edition. John Wiley & Sons, INC.

Hutcheson, G. and Nick, S. 1999. *The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Mortimer, M. J. and Kane, B. 2004. Hazard tree liability in the United States: uncertain risks for owners and professionals. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2(3): 159-165.

Ravi Raja, A. 2016. Principal component analysis based assessment of trees outside forests in satellite images. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(S1): 1-6.

Sjöberg, L., Moen, B. E. and Rundmo, T. 2004. Explaining risk perception. An evaluation of the psychometric paradigm in risk perception research. Norwegian University of Science and Technology, C Rotunde Publikasjoner.