



## ارزیابی و مدل سازی شبکه عصبی درختان چنار خطر آفرین فضای سبز شهری

مژده نافیان<sup>۱</sup>، محسن بهمنی<sup>۱\*</sup>، الهام قهساره اردستانی<sup>۲</sup> و علی سلطانی<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
<sup>۲</sup> گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

نافیان، م.، م. بهمنی، ا. قهساره و ع. سلطانی. ۱۳۹۹. ارزیابی و مدل سازی شبکه عصبی درختان چنار خطر آفرین فضای سبز شهری. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۲): ۷۷-۹۴.

**سابقه و هدف:** فضای سبز به عنوان یکی از با ارزشترین ارکان زنده کالبد شهری دارای اهمیت بالایی است. در برنامه ریزی و مدیریت این فضا، شناسایی و ثبت اطلاعات مربوط درختان کشت شده در خیابان برای ارزیابی احتمال بروز خطر ناشی از آن ها امری ضروری است. بخش بزرگی از درختان چنار<sup>۱</sup> کهنسال در شهرهای صنعتی و پرجمعیت در معرض انواع آلودگی های آب و هوایی، خشکسالی های مکرر و تنش های فیزیکی قرار دارند که سبب کاهش مقاومت این درختان می شود. شناسایی درختان در معرض خطر را می توان توسط انواع روش های آماری اولویت بندی کرد. یکی از مدل های آماری کمتر استفاده شده در این مورد، شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup> (ANN) است. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور ارزیابی و مدل سازی درختان چنار خطر آفرین فضای سبز خیابان کوالامپور شهر اصفهان توسط ANN در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

**مواد و روش ها:** در پژوهش حاضر معیار شدت خطر آفرینی درختان چنار در خیابان کوالامپور شهر اصفهان با روش آماربرداری صد درصد با استفاده از متغیرهای کمی و معیارهای شدت خطر آفرینی (کیفی یا عیوب) مورد مطالعه قرار گرفت. پس از تعیین سهم معیارهای خطر آفرین و درجه اهمیت آن ها در درختان چنار، آنالیز کروسکال - والیس<sup>۳</sup> بین تعداد درختان در معیارهای مختلف خطر آفرینی صورت گرفت. در مرحله بعد، درختان از نظر معیارهای خطر آفرینی وزن دهی شدند. سپس بر مبنای اعداد حاصل از وزن دهی بر اساس طبقه بندی تجربی به ۵ طبقه خطر آفرین تقسیم شدند. همچنین به منظور پردازش داده های متغیرهای کمی، معیارهای شدت خطر آفرین، متغیر وزن دهی و طبقه های شدت خطر آفرینی از آنالیز مولفه های اصلی<sup>۴</sup> (PCA) و شبکه پرسپترون چند لایه<sup>۵</sup> (MLP) شبکه عصبی استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج معیار شدت خطر آفرینی نشان داد متغیرهای زخم روی تنه و ریشه (۸۳٪)، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم (۶۱٪)، مشکل های ریشه (۵۴٪) و خشکیدگی شاخه و سرشاخه ها (۵۰٪) دارای سهم قابل توجهی هستند. همچنین در نتایج حاصل از آزمون کروسکال - والیس معیار شدت خطر آفرینی درختان چنار، مشاهده شد که تعداد درختان بین ۴ طبقه بدون خطر یا سالم، خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد در سطح خطای یک درصد دارای اختلاف معنی دار هستند. نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که طبقات بدون خطر و خطر کم در یک دسته و طبقات خطر متوسط و خطر زیاد در دسته دیگر با هم در سطح خطای یک درصد دارای اختلاف معنی دار هستند. نتایج حاصل از PCA نشان دهنده این است که محور اول و دوم، ۴۴/۶۹ درصد از تغییرات کل را در برمی گیرند. پارامترهای وزن دهی و طبقات خطر آفرینی با خشکیدگی شاخه و سرشاخه ها، قطر درخت، پوسیدگی پیشرفته و زخم روی تنه و ریشه همبستگی بالا و مثبت را نشان دادند. به طور کلی دو متغیر زخم روی تنه و ریشه و خشکیدگی شاخه و سرشاخه ها از مهمترین

\*Corresponding Author. Email Address: mohsen.bahmani@sku.ac.ir

متغیرهای موثر در تعیین شدت خطر آفرینی درختان چنار در منطقه مورد مطالعه در دو روش بیان شده هستند. با توجه به ضرایب تبیین بالای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی، ارزیابی و در نهایت همه داده‌های شبکه عصبی (۰/۹۹۹، ۰/۹۴۹، ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۱) و حداقل میانگین مربعات خطا (داده‌های آموزشی=۰/۰۵۲، ارزیابی=۰/۱۱۴ و اعتبارسنجی=۰/۰۴۴) در طبقه‌بندی شدت خطر آفرینی درختان چنار، دقت شبکه عصبی در پیش‌بینی طبقات شدت خطر آفرینی از سطح بسیار مطلوبی برخوردار است و همچنین منطبق بودن خروجی شبکه عصبی و داده‌های واقعی برهم دال بر کیفیت مناسب شبکه است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج روش‌های معیارهای تشخیصی خطر آفرینی و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، دو متغیر تاثیرگذار زخم روی تنه و ریشه و خشکیدگی شاخه و سرشاخه‌ها به‌طور مرتب بر روی درختان چنار مورد بازبینی قرار گیرد. همچنین تصمیم‌گیران از روش شبکه عصبی برای شناسایی و تشخیص شدت خطر آفرینی درختان چنار استفاده نمایند. بنابراین می‌توان این روش را به‌عنوان راهکاری مناسب و سودمند در مدیریت فضای سبز شهری و اقدام‌های پیشگیرانه پیشنهاد نمود.

**واژه‌های کلیدی:** جنگلداری شهری، معیار شدت خطر آفرینی، آنالیز مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه.

## مقدمه

فضای سبز به‌عنوان یکی از ارزشترین ارکان زنده کالبد شهری دارای اهمیت بسیار والایی در افزایش کیفیت زیستی و تأمین حداقل نیازهای جسمی، روحی و رفاهی شهروندان با کارکردهای متعدد و حیاتی بوده که بهبود و تغییر سلامت جسمی و روانی موجودات زنده بویژه انسان‌ها، زیباسازی محیط زیست، کاهش اثرات مخرب تغییرات اقلیمی نظیر مهار تندبادها و سیلاب‌ها و همچنین کنترل و کاهش آلاینده‌های خطرناک می‌باشد. برای برنامه‌ریزی و مدیریت فضای سبز شهری، شناسایی و ثبت اطلاعات مربوط درختان خیابانی امری ضروری است (Pourhashemi et al., 2012; Banj Shafiei et al., 2016). درختان شهری گاهی خطرهایی برای انسان‌ها، ماشین‌ها و تأسیسات مختلف مجاور خود دارند که ناشی از افتادگی کامل درخت یا شاخه‌های آن است. حتی درختانی که در ظاهر سالم هستند ممکن است به‌دلیل شکستگی در تنه و یا ریشه‌کن شدن بر روی زمین سقوط کنند. تنها راه از بین بردن خطرهای بیان شده به‌طور کامل، حذف بخشی یا قطع کردن کامل درخت است؛ اما به‌وسیله ارزیابی‌های سیستماتیک خطر، می‌توان درخت یا شاخه‌هایی که احتمال شکست یا افتادگی در آن‌ها بیشتر است را شناسایی کرد و با حذف آن‌ها پیش از شکستن، احتمال خطرهای جانی و مالی را کاهش داد (Kazemi Najafi, 2016). درخت خطر آفرین، درختی تعریف می‌شود که با ساختاری با نقص احتمالی که با شکست تمام یا بخشی از آن، می‌تواند

برای یک هدف مانند انسان، وسیله نقلیه، ساختمان و ... ایجاد خطر کند. درختان خطر آفرین در بیشتر موارد نادیده گرفته می‌شوند، مگر آنکه به‌واسطه خطر آفرینی آسیبی ایجاد شود (Mortimer and Kane, 2004). بنابراین نمی‌توان به‌طور پی در پی درختان خطر آفرین و غیر خطر آفرین را از یکدیگر جدا کرده، زیرا بیشتر درختان پتانسیل خطر آفرینی را دارا می‌باشند (Harris et al., 1999). ارزیابی خطر درخت فرآیندی است که طی آن احتمال شکست و افتادگی درخت از طریق شناسایی و ارزیابی شرایط ساختمانی آن بررسی می‌شود (Matheny and Clark, 2009). این ارزیابی‌ها به دو دلیل انجام می‌شوند، دلیل اول شناسایی موقعیت‌های پرخطر و پیشنهاد فعالیت مناسب و موثر برای جلوگیری از خسارت‌های مالی و جانی و دلیل دوم اطمینان از سالم بودن درخت به‌منظور حفظ و نگهداری آن است (Kazemi Najafi, 2016). هم اکنون مدارک و شواهدی که دلالت بر توانایی مدیریت فضای سبز شهری در شناسایی معیارهای خطر آفرینی درختان دارد، رو به افزایش است (Pourhashemi et al., 2012; Banj Shafiei et al., 2016).

مطالعه بررسی خطر آفرینی درختان چنار خیابان ولیعصر تهران نشان داده است که خشکیدگی شاخه و سرشاخه و وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم بیشترین سهم را در خطر آفرینی درختان دارند (Pourhashemi et al., 2012). در پژوهشی دیگر ویژگی‌های کمی و کیفی و مقدار خطر آفرینی درختان چنار شهر ارومیه تعیین شد. پس از وزن‌دهی معیارهای

فرد و سرعت رشد و ... این درخت موجب شده است که چنار جزء اولین انتخاب برای حاشیه خیابان‌ها در بسیاری از نقاط ایران بویژه گذشته نه چندان دور باشد (Mortimer and Kane, 2004). همچنین وجود درختان چنار کهنسال در بیشتر خیابان‌های شهر اصفهان نیز بیانگر قدمت تاریخی استفاده از این درخت در ایجاد فضای سبز شهری می‌باشد. یکی از اصلی‌ترین معایب درختان گونه‌های چنار پوسیدگی به نسبت سریع تنه و به اصطلاح "دل قرمزی" می‌باشد که سبب می‌شود بخش بزرگی از تنه به‌طور کامل نابود گردد و استحکام نگهداری تاج اغلب گسترده درخت از دست رود. همین‌طور خشکیدگی شاخه‌های اصلی درختان چنار به واسطه کم آبی کاملاً رایج است که در صورت عدم قطع شاخه‌های اصلی این درخت، می‌تواند سبب خسارات فراوان شود (Khoshgofarmanesh *et al.*, 1996).

در شهرهایی مانند تهران و اصفهان که سهم درختان چنار از درختان شهری زیاد است، بررسی میزان خطرآفرینی این درختان در خیابان‌های مهم و پر رفت و آمد بسیار دارای اهمیت است. با توجه به ضرورت آگاهی از خطرهای درختان خیابانی به‌عنوان یکی از پیش شرط‌های مدیریت صحیح آن‌ها و اهمیت درختان چنار به‌عنوان یکی از عظیم‌ترین و کهنسال‌ترین درختان از گذشته تاکنون، همچنین صنعتی بودن، گسترده بودن، پرجمعیت بودن و مشکل‌های مربوط به آلودگی آب و هوا شهر اصفهان که مقاومت درختان را کاهش داده و خطرآفرینی آن‌ها را دو چندان کرده است و همچنین خشکسالی‌های صورت گرفته که تاثیر ویژه روی این شهر و درختان آن داشته، ضرورت بررسی و شناسایی درختان خطرآفرین چنار و میزان خطر آن‌ها را افزایش می‌دهد. تا افزون بر شناخت و بررسی این درختان مدیریت بهتر جنگلداری شهری درختان چنار را فراهم نماید. بیشتر مطالعاتی که تاکنون بر روی خطرآفرینی درختان صورت گرفته است براساس تعیین معیارهای خطرآفرینی این درختان است در صورتی که در مطالعه حاضر افزون بر استفاده از این روش، از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی برای تفسیر و تعیین ارتباط‌های بین متغیرهای اندازه‌گیری مورد نظر استفاده شده است. همچنین از سوی دیگر با بکارگیری روش شبکه عصبی به پیش‌بینی احتمال سقوط درختان خطرآفرین

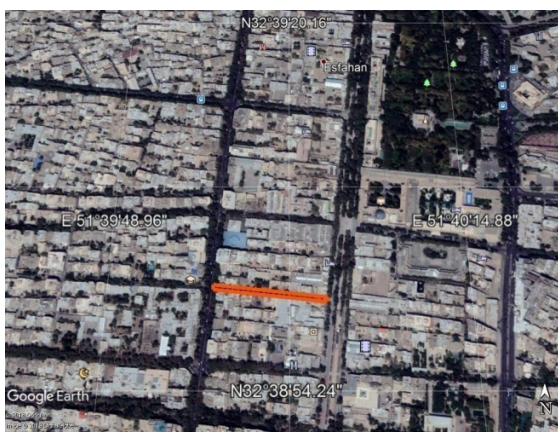
خطرآفرین، تعداد ۷۰ درخت در طبقه خطر بسیار کم، ۱۰۲ درخت در طبقه خطر کم و ۱۸ درخت در طبقه خطر متوسط قرار گرفتند (Banj Shafiei *et al.*, 2016). در مطالعات دیگری برای شناسایی معیارهای خطرآفرینی نیز تحقیقاتی صورت گرفته است (Hickman *et al.*, 1989; Mat-theck and Breloer, 1994; Albers *et al.*, 1996; Dunster, 1996; Pourmajidian *et al.*, 1996; Raiesi and Bahmani, 2018).

در پژوهشی عامل‌های اصلی توصیف کننده ساختار توده در جنگل‌های بلوط زاگرس<sup>۶</sup> با استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) بررسی شد. نتایج نشان داد 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 دیگر متغیرها برخوردار بودند (Hosseinzadeh *et al.*, 2015). در مطالعات دیگری نیز از تجزیه مولفه‌های اصلی به‌منظور دستیابی به تاثیر مهمترین عامل‌ها یا متغیرها روی پوشش گیاهی استفاده شده است (Barazmand *et al.*, 2011; Hasanzad Navroodi *et al.*, 2015; Ravi Raja, 2016).

در مطالعه دیگر ریسک سقوط درختان چنار خطر آفرین در فضای سبز شهر کرج را با شبکه عصبی مدل‌سازی شد. در مجموع، مدل شبکه عصبی را به‌عنوان پیش‌بینی در ارزیابی احتمال سقوط درختان چنار پیشنهاد شد (Jahani, 2017a). در تحقیق‌های دیگری از این شبکه برای مدل‌سازی ارزیابی کیفیت زیباشناختی منظر جنگل و شناسایی تغییرات جنگلی نیز استفاده شده است (Heikkonen and Varjo, 2004; Jahani, 2017b and Mohammadi Fazel, 2015).

درخت چنار یکی از عظیم‌ترین و کهنسال‌ترین درختانی بوده است که از گذشته تاکنون مورد توجه کلیه اقوام و ملل مختلف بویژه ایرانیان قرار گرفته است. درخت چنار با داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد نظیر قامت استوار، ارزش ویژه چوب، شاخه‌های موزون، قدمت تاریخی، تاج پهن و سایه‌ی گسترده، مناظر و چشم‌اندازهای زیبایی ایجاد کرده و به‌عنوان یکی از عامل‌های مهم و مؤثر در فضای سبز بویژه جنگلداری شهری محسوب می‌شود. بزرگی، زیبایی، ویژگی‌های منحصر به

ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۷۰ متر واقع شده است (Parsamahr and Khosravani, 2017). درختان چنار منطقه مورد بررسی همسن و در حدود ۹۰ ساله، در دو سمت خیابان کوالامپور اصفهان با جهت شرقی - غربی و به موازات خیابان عباس آباد و میان خیابان چهارباغ عباسی و شمس آبادی در محدوده شهرداری منطقه یک اصفهان در طول مسیر ۲۶۵/۱۱ متر قرار گرفته‌اند (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت خیابان کوالامپور شهر اصفهان (با نرم افزار Google Earth نسخه 6.0 Plus)  
Fig. 1- Map of the Kuala Lumpur St., Isfahan (Google Earth Plus 6.0)

ارتفاع برابر سینه با خط‌کش دو بازو<sup>۷</sup> اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت از دستگاه سونو بر اساس درصد شیب استفاده شد. برای برآورد ارتفاع تنه هر درخت در این پژوهش، از تصاویر گرفته شده با دوربین از هر درخت و استفاده از برنامه ImageJ8-64X، ارتفاع تنه اندازه‌گیری شد. اندازه تاج درخت از تفاضل ارتفاع درخت از ارتفاع تنه حاصل شد (Zobeiry, 2012).

برای تعیین میزان خطرآفرینی درختان (ویژگی‌های کیفی یا عیوب) از درجه‌بندی مقدار خطرآفرینی درختان به شرح زیر استفاده شد.

۱) شاخه و سرشاخه‌های خشکیده  
خطر کم: شاخه‌های فرعی و سرشاخه‌ها خشک شده باشند؛  
خطر متوسط: تاج درخت شامل شاخه‌های قطور و اصلی خشک شده باشند به‌طوری‌که بین یک سوم تا دو سوم تاج درخت خشکیده باشد؛  
خطر زیاد: تاج درخت به‌طور کامل خشکیده باشد.

پرداخته است. بر همین اساس پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی و مدل‌سازی درختان چنار خطرآفرین فضای سبز خیابان کوالامپور شهر اصفهان در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد بررسی

اصفهان یکی از شهرهای مرکزی ایران با درختان چنار کهن و بی‌شمار با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰

### روش تحقیق

برای اندازه‌گیری و ثبت متغیرهای کمی و کیفی درختان چنار در دو سمت خیابان کوالامپور از روش آماربرداری صد در صد استفاده شد. برای هر درخت چنار ۱۱ ویژگی کمی (ارتفاع درخت، قطر درخت، ارتفاع تنه و ارتفاع تاج) و کیفی یا عیوب (وضعیت خشکیدگی درختان، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم، مشکل‌های ریشه، پوسیدگی پیشرفته، زخم روی تنه و ریشه، تماس با خطوط نیرو و شکاف و ترک) اندازه‌گیری شد و مطابق با معیارهای تشخیص درختان خطرآفرین (Pourhashemi et al., 2012) درجه‌بندی مقدار خطرآفرینی درختان که در فرم‌های آماربرداری از پیش طراحی شده، ثبت شد.

### صفات کمی و کیفی (عیوب یا معیارهای تشخیص

#### درختان خطرآفرین) مورد بررسی

به‌منظور اندازه‌گیری قطر درخت، قطر درخت در ناحیه‌ی

را شامل شود و در محل زخم هم عیب‌های دیگری از قبیل شکاف یا حفره در اثر عامل‌های زنده و غیرزنده وجود داشته باشند.

۷) تماس با خطوط انتقال برق

خطر کم: خطوط انتقال برق با فاصله ۱۰ متری از درخت قرار دارد،

خطر متوسط: خطوط انتقال برق نزدیک به تاج درخت و در فاصله ۲-۳ متری آن قرار گرفته است،

خطر زیاد: عبور خطوط انتقال برق در امتداد و مجاور آن یا از داخل تاج رد شده باشد (Robbins, 1986; Fazio, 1989; Pourmajidian *et al.*, 1996; Pourhashemi *et al.*, 2012).

پس از بررسی‌های صفات کمی و کیفی در تحقیق حاضر و همچنین پس از تعیین سهم معیارهای خطرآفرین و درجه اهمیت آن‌ها در درختان چنار، برای آنالیز تجزیه واریانس بین تعداد درختان در معیارهای مختلف خطرآفرینی (سالم، خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد)، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف تست شد. با توجه به این که داده‌ها نرمال نبودند و با عملیات استانداردسازی نرمال نشدند، از آزمون کروسکال - والیس و سپس برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۸</sup> و مقایسات جفتی من - ویتنی<sup>۹</sup> با نرم افزارهای PAST 3.3 و IBM SPSS25 و Statistics استفاده شد (Pourhashemi *et al.*, 2012).

در مرحله بعد، درختان از نظر معیارهای خطرآفرینی وزن دهی شدند، بدین ترتیب که در هر معیار به طبقه‌ی خطر کم وزن یک، خطر متوسط وزن دو و خطر زیاد وزن سه داده شد و حاصل جمع نمره‌های بالا برای هفت معیار تشخیص درختان خطرآفرین بیان شده در بالا، بررسی گردید و برای هر درخت نمره خطر آفرینی مشخص شد که با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده بین صفر تا ۲۱ است. بدین ترتیب هرچه این عدد بزرگتر باشد، پتانسیل خطر آفرینی درخت بیشتر است. سپس بر مبنای اعداد به‌دست آمده و بر اساس طبقه‌بندی تجربی به ۵ طبقه‌ی خطر آفرینی تقسیم شدند و نحوه‌ی توزیع درختان در طبقه‌های خطرآفرینی مشخص شد (Pourmajidian *et al.*, 1996; Pourhashemi *et al.*, 2012).

۲) شکاف یا ترک

خطر کم: شاخه‌های قطور دارای ترک یا شکاف باشند؛

خطر متوسط: تنه اصلی درخت دارای شکاف عمقی بوده و این شکاف طول زیادی از تنه را شامل شود یا اینکه در بخش مشخصی از تنه تعداد ۲ شکاف و یا بیشتر وجود داشته باشد، خطر زیاد: در محل شکاف تنه، عیب‌های دیگری (مانند پوسیدگی یا بیماری) نیز وجود داشته باشد.

۳) وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)

خطر کم: یک شاخه بزرگ و اصلی درخت بیرون از فضای اصلی تاج قرار گرفته باشد (تناسب تاج را بر هم زند و سبب تقارن نداشتن تاج شود)،

خطر متوسط: درخت کمی کج بوده،

خطر زیاد: کج‌شدگی درخت بیش از حد بوده است.

۴) مشکل‌های ریشه

خطر کم: مشاهده نشانه‌های کمبود مواد غذایی که به‌صورت رنگ‌پریدگی، سوختگی و یا تغییر رنگ برگ‌ها بروز می‌نماید، خطر متوسط: پوسیدگی پیشرفته روی ریشه‌ها یا گورچه‌ها مشاهده شود،

خطر زیاد: بیرون‌زدگی ریشه‌ها و کنده شدن شدید سطح معابر مجاور طوقه درخت یا بیش از نیمی از ریشه‌های زیر سطح تاج درخت بریده شده یا شکسته شده و یا بیرون زدگی ریشه داشته باشد.

۵) پوسیدگی تنه و شاخه

خطر کم: وجود پوسیدگی در شاخه‌های اصلی قطور؛

خطر متوسط: وجود پوسیدگی پیشرفته در تنه اصلی؛

خطر زیاد: در محل پوسیدگی پیشرفته در تنه اصلی، عیب‌های دیگری از قبیل شکاف، دو یا چند شاخه شدن تنه نیز وجود داشته باشند.

۶) زخم

خطر کم: محیط زخم کمتر از ۱۰ درصد از محیط کل تنه را شامل شود؛

خطر متوسط: محیط زخم بیشتر از ۱۰ تا ۳۰ درصد محیط کل تنه را شامل شود؛

خطر زیاد: محیط زخم بیشتر از ۳۰ درصد از محیط کل تنه

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

NData(i): داده نرمال شده

U: حد بالای محدوده نرمال‌سازی (۰/۹)

L: حدپایین محدوده نرمال‌سازی (-۰/۹)

max(i): حداکثر ارزش داده‌ها

min(i): حداقل ارزش داده‌ها

Data(i): داده غیرنرمال

در این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی طبقه شدت خطرآفرینی درختان چنار جهت تعیین ساختار شبکه از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به‌دلیل توانایی فراوان در مدل‌های پیچیده و غیر خطی و متداول‌ترین انواع شبکه عصبی در امر مدل‌سازی استفاده شد. در تحقیق حاضر یک شبکه پرسپترون با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید و تابع انتقال خطی برای لایه خروجی برای پیش‌بینی طبقه شدت خطرآفرینی درختان چنار مشروط بر اینکه به اندازه کافی نورون در لایه پنهان موجود باشد، و به‌صورت آزمون و خطا در نظر گرفته شد (Jahani, 2017a; Shahgholi et al., 2018).

### آموزش شبکه عصبی

آموزش یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با پارامترهای آزاد (وزن‌ها و بایاس‌ها) توسط الگوریتم آموزش و بر اساس داده‌های آموزشی (داده‌های ورودی و هدف) به‌گونه‌ای برآزش شوند که مقدار خطای بین خروجی شبکه و پارامتر هدف به حداقل مقدار ممکن خود برسد (Shahgholi et al., 2018). در پژوهش حاضر، برای آموزش شبکه عصبی از روش یادگیری پس از انتشار خطا (آموزش با ناظر در جهت اصلاح خطا) که برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیشخور که به‌طور معمول شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه هم نامیده می‌شوند، استفاده شد. به‌منظور بهبود سرعت و عملکرد عمومی پس انتشار خطا از الگوریتم لوببرگ - مارکوارت<sup>۱۲</sup> استفاده شد. پس در پژوهش حاضر به‌طور تصادفی ۷۰٪ از داده‌ها برای فضای آموزشی، ۱۵٪ از داده‌ها اعتبارسنجی و در نهایت ۱۵٪ از مابقی داده‌ها به‌عنوان داده‌های آزمایشی برای آزمون عملکرد شبکه پس از آموزش مورد استفاده قرار

### تجزیه مولفه‌های اصلی PCA

تجزیه مولفه‌های اصلی نخستین روشی است که در آن محورهای رج‌بندی از داده‌های ماتریس به‌تنهایی محاسبه شده است. در این روش، ماتریس تشابهات به مجموعه‌ای از محورهای مولفه‌های عمود برهم تبدیل می‌شود. در حقیقت هدف اصلی این روش کاهش تعداد متغیرهای همبسته، به یک یا چند متغیر غیرهمبسته است که همان محورها و یا مولفه‌های عمود برهم هستند (Mesdaghi, 2005; Kent and Coker, 2011; Tahmasebi, 2011). در پژوهش حاضر از آنالیز مولفه‌های اصلی با ماتریس همبستگی<sup>۱۱</sup> برای تحلیل میانگین ویژگی‌های کمی و کیفی (عیوب) درختان چنار با پارامترهای اندازه‌گیری شده وزن‌دهی و طبقات خطر آفرینی برای هر درخت از نرم افزار PAST 3.3 استفاده شد.

### مدل شبکه عصبی مصنوعی

#### طراحی شبکه عصبی

برای طراحی مدل شبکه عصبی به‌منظور پیش‌بینی شدت خطر سقوط درختان چنار خطرآفرین از دو طبقه شدت خطرآفرینی (صفر الی ۵ در طبقه اول با خطر کم و ۶ الی ۱۰ با خطر بیشتر) که براساس روش وزن‌دهی محاسبه شد، استفاده گردید. پیش‌بینی شدت خطر سقوط درختان چنار خطرآفرین بر اساس ویژگی‌های کمی و کیفی درختان (عمومی و عیوب) به کمک الگوریتم مناسب در محیط شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار Matlab نسخه ۲۰۱۴a شبیه‌سازی شدند. در تحقیق حاضر متغیرهای قطر برابر سینه (سانتی‌متر)، ارتفاع (متر)، ارتفاع تنه (متر)، ارتفاع تاج (متر)، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده (درصد)، شکاف یا ترک (درصد)، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم (درجه)، مشکلات ریشه (درصد)، پوسیدگی تنه و شاخه (درصد)، زخم روی تنه و ریشه (درصد) و تماس با خطوط انتقال برق (درصد) به‌عنوان متغیرهای مستقل ورودی و طبقه شدت خطرآفرینی در هر اصله درخت به‌عنوان هدف<sup>۱۱</sup> شبکه در نظر گرفته شد. متغیرهای ورودی در محدوده ۰/۹- تا ۰/۹ با استفاده از رابطه ۱ استاندارد شدند (Jahani, 2017a).

گیرد. ۸۳ درصد درختان چنار مورد بررسی دارای زخم روی تنه و ریشه با درجه اهمیت خطر کم و متوسط هستند که ۲ درصد مربوط به سطح زخم بیش از نصف محیط تنه با درجه اهمیت خطر متوسط می‌باشد. زخم روی تنه و ریشه ۴۳ اصله درخت چنار مسأله دارای اهمیتی است و باید توجه خاصی به آن شود، نتایج مشابهی توسط دیگر محققان گزارش شده است (Pourhashemi *et al.*, 2012; Banj Shafiei *et al.*, 2016).

دومین معیار مهم خطر آفرین درختان چنار وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم است که حدود ۶۱ درصد درختان چنار با درجه اهمیت خطر کم و متوسط را شامل می‌شود. این گونه درختان اگر با عیب‌های دیگری از جمله زخم و پوسیدگی ریشه همراه باشند، خطر سقوط درختان چنار را افزایش می‌دهند و باید در برنامه‌های مدیریت فضای سبز شهر درختان خطر آفرین از لحاظ هرس و قطع آن‌ها مورد بررسی قرار گیرند که با مطالعه Pourhashemi *et al.* (2012) همخوانی دارد.

سومین معیار مهم خطر آفرینی درختان چنار مشکل‌های ریشه است که بیش از نیمی از درختان چنار (۵۴ درصد) را در برمی‌گیرد و تنها معیاری در مطالعه حاضر است که درجه اهمیت خطر زیاد (۸ درصد درختان چنار) را شامل می‌شود. این امر با اصلاح خاک و قطع درختان بسیار خطرناک می‌تواند مدیریت شود. (Pourhashemi *et al.*, 2012) بیان نمود که مشکل‌های ریشه درختان چنار نتیجه آبیاری زیاد و تراکم کاشت زیاد اولیه است که با در نظر گرفتن تمهیدهای لازم و به هنگام کاشت اولیه درختان در محیط شهری مانند تراکم کاشت مناسب، اصلاح و تقویت خاک، رژیم آبیاری مطلوب و مالچ‌پاشی خاک اطراف طوقه درختان می‌توان از بروز ریشه در سال‌های آینده جلوگیری نمود.

۵۰ درصد کل درختان مورد بررسی چنار دچار خشکیدگی شاخه‌های فرعی، شاخه‌ها و تاج درختان (شاخه‌های قطور و اصلی) به‌عنوان چهارمین معیار مهم خطر آفرینی درختان چنار هستند. احتمال شکستن شاخ‌های این درختان در برابر وزش باد شدید زیاد است. با توجه به اینکه ۴۸ درصد از این معیار مربوط به درجه اهمیت کم خطر آفرینی است نیاز به توجه بیشتر در مدیریت درختان خطر آفرین

گرفتند. در مدل‌سازی، شبکه پرسپترون چند لایه یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. برای تعیین تعداد نرون‌ها و لایه‌ها و نوع توابع معیار مشخصی وجود ندارد و کار با تعداد نرون‌های کم شروع شده و اضافه کردن نرون‌ها را تا جایی که دیگر تاثیری در بهبود خطا نداشته باشند ادامه داده می‌شود (Alamdari *et al.*, 2011; Azizi and Montazeri, 2015; Jahani, 2017a; Shahgholi *et al.*, 2018).

به‌منظور بررسی عملکرد شبکه، از میانگین مربعات خطا<sup>۱۳</sup> (MSE) به عنوان معیاری برای سنجش دقت نتایج شبکه عصبی (رابطه ۲) و ضریب تعیین R<sup>2</sup> (رابطه ۳) استفاده شد.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})(P_i - P_{ave})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave}) \sum_{i=1}^n (P_i - P_{ave})}} \quad (3)$$

که در این روابط O<sub>i</sub> داده اندازه‌گیری شده، P<sub>i</sub> داده برآورد شده، O<sub>ave</sub> میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده، P<sub>ave</sub> میانگین داده‌های برآورد شده، n: تعداد داده‌ها هستند (Jahani, 2017a).

## نتایج و بحث

### تجزیه و تحلیل مشخصه‌های کمی و کیفی

آماره‌های توصیفی متغیرهای کمی و کیفی درختان چنار مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از بررسی‌های صفات کیفی درختان چنار، نتایج نشان داد که هر یک از درختان دارای کدام نوع از عیب‌ها هستند. سهم هر یک از معیارهای تشخیص خطر آفرین و درجه اهمیت آن‌ها در درختان مورد مطالعه در جدول ۲ نمایش داده شده است. دو معیار زخم روی تنه و ریشه و وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم به‌ترتیب ۸۳ و ۶۱ درصد بیشترین سهم و شکاف تنه و تماس با خطوط کمترین سهم (۱۴ و ۱۵ درصد) را در خطر آفرینی درختان چنار داشته‌اند.

مشاهده زخم روی تنه و ریشه از مهمترین معیارهای خطر آفرینی درختان چنار در پژوهش حاضر است. گفتنی است درختانی که دارای پوسیدگی بیرونی هستند به‌طور معمول دارای پوسیدگی درونی نیز هستند که باید مورد توجه قرار

عیب‌های بسیار کم در درختان چنار مورد بررسی باشد. بنابراین از این نظر با اهمیت است که چه تعدادی از درختان چنار قابلیت تبدیل شدن به درختانی با خطر بیشتر در آینده را دارند، نتایج مشابهی توسط دیگر محققان گزارش شده است (Pourhashemi *et al.*, 2012; Banj Shafiei *et al.*, 2016).

در جدول ۳ آماره‌های توصیفی معیارهای تشخیص خطر آفرینی در درختان چنار نشان داده شده است. نتایج آموزن کروسکال - والیس نشان داد که در کل درختان چنار مورد بررسی، از نظر

و اجرای اقدام‌های ترمیمی از جمله هرس شاخه‌های خشکیده احساس می‌شود و تنها ۵۰ درصد از درختان بدون خشکیدگی هستند. (Pourhashemi *et al.* (2012) اشاره به مشکل‌های خشکیدگی شاخه‌های خشک و تاج درختان نمودند و هرس و قطع درختان درگیر با این مسأله را پیشنهاد نمودند. سهم درختان از طبقه‌های خطر کمتر به سمت طبقه‌هایی با خطر بیشتر کاهش یافته است. این می‌تواند به دلیل وجود

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای کمی و کیفی درختان چنار  
Table 1. Descriptive statistics of the quantitative and qualitative variables of plane trees

تماس با خطوط (%) Interfering with lines (%)	زخم روی تنه و ریشه (%) Wound (%)	پوسیدگی (درصد) Decay (%)	مشکل‌های ریشه (%) The root problems (%)	ضعف ساختاری یا فیزیکی (درجه) Structural or physical weakness (degree)	شکاف (%) Gap or cracked (%)	خشکیدگی شاخه و سرشاخه‌ها (%) Dried up branches and wigs (%)	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	ارتفاع تنه (متر) Trunk height (m)	ارتفاع کل (متر) Total Height (m)	قطر (سانتی‌متر) DBH (cm)	صفات Traits
0	0	0	0	5	0	0	1.48	2.22	5	10	مینیمم Minimum
50	60	20	100	30	50	75	10.58	10.07	19	50	ماکزیمم Maximum
5.38	25.38	7.30	25	13.46	3.84	16.82	6.44	4.67	11.11	31.86	میانگین Mean
13.20	12.43	9.72	30.11	8.49	10.36	19.62	2.20	1.59	2.79	10.81	انحراف معیار Standard deviation

شدند جدول ۴ نشان می‌دهد که حدود نیمی از کل درختان چنار در طبقه خطر کم قرار گرفته‌اند و هیچ گونه درختی در طبقه‌های خطر متوسط و خطر زیاد یافت نشدند. بنابراین برای آنالیزهای PCA و شبکه عصبی طبقات شدت خطر آفرینی به صورت نمره صفر الی ۵ طبقه اول با خطر کم و ۶ الی ۱۰ در طبقه دوم با خطر بیشتر تقسیم‌بندی شد (جدول ۵).

### تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی PCA

برای کمی کردن روابط بین متغیرهای کمی و کیفی و پارامترهای وزن‌دهی و طبقات خطر آفرینی از روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) به منظور تعیین مهمترین عامل موثر بر خطر آفرینی درختان چنار منطقه مورد مطالعه استفاده شد. همانطور که در بخش نتایج نشان داده شد بین برخی از متغیرهای کمی و کیفی با پارامترهای وزن‌دهی و طبقات شدت

تعداد درختان بین ۴ طبقه (بدون خطر یا سالم، خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد) اختلاف معنی‌داری در سطح خطای یک درصد ( $P=0.0001 < \alpha$ ) وجود دارد که نتایج مشابه و متفاوتی توسط دیگر محققان گزارش شده است (Pourhashemi *et al.*, 2012; Banj Shafiei *et al.*, 2016). نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن از طبقات مختلف خطر برای درختان چنار نشان داد که طبقات بدون خطر (سالم) و خطر کم در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار ندارند و همچنین طبقات خطر متوسط و خطر زیاد در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار ندارند ولی مشاهده شد که طبقات بدون خطر و خطر کم با طبقات خطر متوسط و خطر زیاد در سطح خطای یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند (شکل ۲).

در این مرحله که درختان از نظر معیارهای خطر آفرینی وزن‌دهی



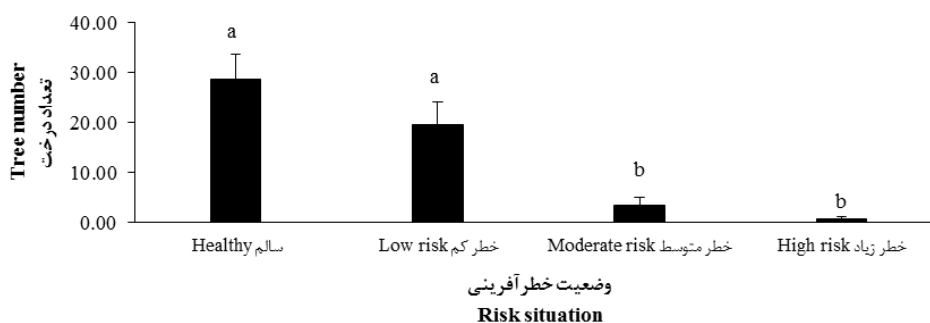
جدول ۲- سهم هر یک از معیارهای خطر آفرین در درختان چنار مورد بررسی

Table 2. Risk classification of studied plane trees

تعداد درختان سالم در طبقه معیار مورد بررسی Number of healthy trees in each classification فاقد خطر Safe	درختان Trees		درجه اهمیت Risk situation	معیار خطر آفرینی Risk classification
	درصد Percent	تعداد Number		
26(50%)	48	25	خطر کم Low risk	شاخه و سرشاخه‌های خشکیده Dried up branches
	2	1	خطر متوسط Moderate risk	
	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
45(86%)	50	26	مجموع Total	شکاف تنه Gap or cracked
	14	7	خطر کم Low risk	
	0	0	خطر متوسط Moderate risk	
	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
	14	7	مجموع Total	
20(39%)	46	24	خطر کم Low risk	ضعف ساختاری یا فیزیکی Structural or physical weakness
	15	8	خطر متوسط Moderate risk	
	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
	61	32	مجموع Total	
24(46%)	25	13	خطر کم Low risk	مشکل‌های ریشه The root problems
	21	11	خطر متوسط Moderate risk	
	8	4	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
33(64%)	54	28	مجموع Total	پوسیدگی پیشرفته Decay
	36	19	خطر کم Low risk	
	0	0	خطر متوسط Moderate risk	
	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
9(17%)	36	19	مجموع Total	زخم روی تنه و ریشه Wound
	81	42	خطر کم Low risk	
	2	1	خطر متوسط Moderate risk	
44(85%)	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	تماس با خطوط Interfering with lines
	83	43	مجموع Total	
	11	6	خطر کم Low risk	
	14	2	خطر متوسط Moderate risk	
	0	0	خطر زیاد (خطرناک) High risk (dangerous)	
	15	8	مجموع Total	

جدول ۳- آماره های توصیفی معیارهای خطر آفرینی در درختان چنار  
Table 3. Descriptive statistics of risk classification of plane trees

فاصله اطمینان ۹۵٪ Confidence inter- 95% val for mean								
ماکسیمم Maximum	مینیمم Minimum	حد پایین Lower bound	حد بالا Upper bound	خطای معیار Standard error	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	تعداد Number	معیار Criterion
86.00	17.00	29.62	69.23	8.09	21.41	49.42	7	فاقد خطر (سالم) Safe (healthy)
81.00	6.00	13.38	59.75	9.47	25.07	36.57	7	خطر کم Low risk
21.00	00.	-1.79	13.79	3.18	8.42	6.00	7	خطر متوسط Moderate risk
8.00	00.	-1.65	3.93	1.14	3.02	1.14	7	خطر زیاد High risk
86.00	00.	13.12	33.44	4.95	26.20	23.28	28	کل Total



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد درختان چنار برآورد شده از طریق معیارهای تشخیص شدت خطر آفرینی (مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی دار آماری در سطح خطای ۱ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن هستند)

Fig. 1- Mean comparison of the number of plane trees estimated by the detection criteria of risk classification (\*\*Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level, using Duncan's Multiple Range Test)

قطر درخت (۰/۵۷)، پوسیدگی پیشرفته (۰/۵۷) و زخم روی تنه و ریشه (۰/۵۱) و محور دوم همبستگی بالا و مثبت با پارامترهای ارتفاع درخت (۰/۸۷)، ارتفاع تنه (۰/۶۸)، ارتفاع تاج (۰/۶۱) و همبستگی منفی با پارامترهای مشکل های ریشه (۰/۳۹-) و وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم (۰/۲۹-) را نشان می دهد (شکل ۳ و جدول ۷). پارامترهای وزن دهی و طبقات شدت خطر آفرینی در نمودار PCA در مقایسه با دیگر پارامترها دارای پیکان بزرگتری هستند و همبستگی بیشتری با درختان چنار مورد بررسی دارند و تاثیر بیشتری بر تغییرات درختان می گذارند. دو پارامتر وزن دهی و طبقات شدت خطر آفرینی با یکدیگر همبستگی بالا و مثبت داشته اند. همچنین سه پارامتر ارتفاع درخت، ارتفاع تنه و ارتفاع تاج دارای همبستگی بالا و مثبت با یکدیگر هستند.

در آنالیز مولفه های اصلی PCA چهار متغیر کمی (قطر

خطر آفرینی ارتباط تنگاتنگ وجود دارد. شناسایی میزان این روابط در تعیین احتمال خطر آفرینی درختان چنار نقش مهمی ایفا می کند.

نتایج حاصل از آنالیز مولفه های اصلی به خوبی روابط بین ویژگی های کمی و کیفی درختان چنار را آشکار می کند، محور اول ۲۶/۶۷ درصد، محور دوم ۱۸/۰۲ درصد و روی هم رفته ۴۴/۶۹ درصد از تغییرات از کل را این دو محور نشان می دهد (جدول ۶). در نمودار حاصل از مولفه های اصلی، ویژگی های ورودی کمی و کیفی و خروجی های وزن دهی و طبقات شدت خطر آفرینی توسط پیکان هایی نشان داده شده اند (شکل ۳). نوک پیکان جهت حداکثر تغییرات و طول آن ها بیانگر میزان تغییرات است (Ghehsareh Ardestani *et al.*, 2015). محور اول همبستگی بالا و مثبت با پارامترهای وزن دهی (۰/۹۲)، طبقات شدت خطر آفرینی (۰/۸۳)، خشکیدگی شاخه و سرشاخه ها (۰/۵۸)،

جدول ۴- طبقه‌بندی میزان خطر آفرینی درختان چنار مورد بررسی  
Table 4. Risk classification of studied plane trees

تعداد درختان Trees percent	درصد درختان Trees number	وضعیت خطر آفرینی State of risk	نمره خطر آفرینی Grade of risk	کد طبقه Code class
3	6	بی خطر	0	1
24	46	خطر بسیار کم Very low risk	1-5	2
25	48	خطر کم Low risk	6-10	3
0	0	خطر متوسط Moderate risk	11-15	4
0	0	خطر زیاد (خطرناک) Very high (dangerous)	16-21	5
52	100	مجموع Total		

جدول ۵- مشخصات داده‌های خروجی  
Table 5. Output data characteristics

طبقه شدت خطر آفرینی درختان چنار Risk classes	وزن دهی معیارها Weighting criteria	
1	0	مینیمم Minimum
2	10	ماکسیمم Maximum
1.48	5.26	میانگین Mean
0.50	2.55	انحراف معیار Standard deviation

خشکیدگی شاخه و سرشاخه‌ها، قطر درخت، پوسیدگی پیشرفته و زخم روی تنه و ریشه، در جهت مثبت همبستگی بالا را نشان دادند. یافته‌های این مطالعه با نتایج Pourhashemi *et al.* (2012) که بیان نمودند متغیرهای خشکیدگی شاخه و سرشاخه‌ها، پوسیدگی پیشرفته، قطر درخت، زخم روی تنه و ریشه، شکاف تنه و تماس با خطوط بر تغییرات پارامترهای وزن دهی و طبقات خطر آفرینی تاثیر می‌گذارند، همخوانی دارد.

درخت، ارتفاع درخت، ارتفاع تنه و ارتفاع تاج) و متغیر کیفی تماس با خطوط در بالای محور اول و در سمت راست واقع شدند. متغیر خشکیدگی شاخه و سرشاخه‌ها روی محور اول در سمت راست قرار گرفت. متغیرهای مشکل‌های ریشه، انحراف از راستای قائم، پوسیدگی پیشرفته، زخم روی تنه و ریشه و پارامترهای وزن دهی و طبقات خطر آفرینی در پایین محور اول در سمت راست واقع شدند. پارامترهای وزن دهی و طبقات خطر آفرینی با متغیرهای

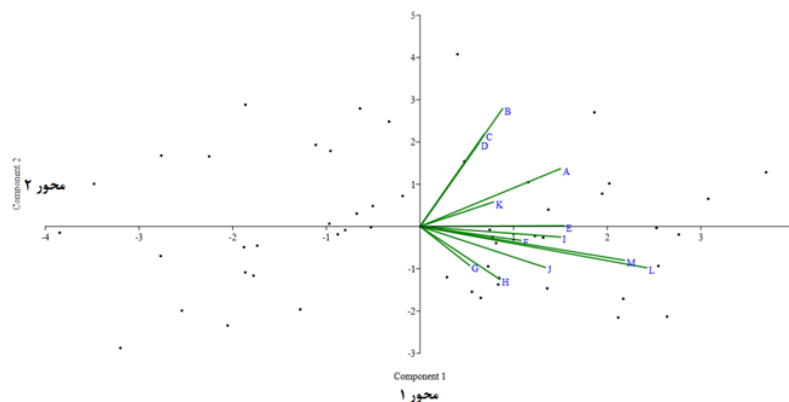
جدول ۶- آمار محورهای آنالیز مولفه‌های اصلی  
Table 6. Statistics of principal component analysis axes

درصد واریانس Variance %	مقدار ویژه Eigenvalue	محور اصلی Principal component (PC)
26.67	3.46	1
18.02	2.34	2
11.09	1.44	3
8.59	1.11	4
7.78	1.01	5
6.87	0.89	6
5.85	0.76	7
4.93	0.64	8
4.58	0.59	9
3.60	0.46	10
1.91	0.24	11
0.04	0.01	12
0.00	0.00	13

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین متغیرها با محورهای PCA (A= قطر درخت، B= ارتفاع درخت، C: ارتفاع تنه، D: ارتفاع تاج، E: خشکیدگی شاخه و سر شاخه‌ها، F: شکاف تنه، G: انحراف از راستای قائم، H: مشکل‌های ریشه، I: پوسیدگی پیشرفته، J: زخم روی تنه و ریشه، K: تماس با خطوط، L: وزن‌دهی معیارهای خطر آفرینی، M: طبقات شدت خطر آفرینی)

Table 7. Correlation between variables and principal components of PCA (A=DBH, B= Total height, C=Trunk height, D=Crown height, E=Dried up branching and twigs, F=Gap or cracked, G=Structural or physical weakness, H= Root problems, I= Decay, J= Wound, K= Interfering with power lines, L=Weighting criteria, M= Risk classes)

PC13	PC12	PC11	PC10	PC9	PC8	PC7	PC6	PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	محور متغیر Component Variable
1.97	0.00	0/03	-0.47	0.25	-0.17	0.25	-0.23	0.10	0.16	-0/08	0.43	0.57	A
-1.92	0.00	-0.01	0.13	0.00	0.10	-0.10	0.02	-0.00	0.04	0.27	0.87	0.33	B
1.09	0.00	-0.06	0.34	0.18	-0.15	-0.14	-0.28	0.16	-0.00	-0.39	0.16	0.26	C
1.51	-0.00	0.02	-0.07	-0.13	0.25	-0.02	0.23	-0.12	0.06	0.63	0.61	0.23	D
-4.85	0.01	0.13	0.04	-0.36	-0.32	-0.01	-0.20	-0.59	0.00	-0.04	0.00	0.58	E
-1.67	0.01	0.02	0.17	-0.09	-0.32	0.41	0.21	0.48	-0.25	0.38	-0.10	0.41	F
-3.52	0.01	0.07	0.09	0.20	-0.17	-0.19	0.29	0.03	0.79	0.13	-0.29	0.20	G
-7.04	0.02	0.05	0.05	0.45	0.07	-0.14	-0.21	-0.22	-0.42	0.47	-0.39	0.32	H
-1.09	0.02	0.11	-0.16	-0.19	0.10	-0.49	0.07	0.45	-0.22	-0.24	-0/07	0.57	I
-4.48	0.01	-0.01	0.12	-0.13	0.45	0.31	-0.41	0.14	0.33	-0.04	-0/30	0.51	J
-4.34	0.02	0.09	0.05	0.16	0.20	0.28	0.51	-0.25	-0.18	-0.58	0.18	0.29	K
2.57	-0.06	0.14	0.09	0.06	0.06	-0.04	0.05	-0.00	-0.01	-0.03	-0.30	0.92	L
-5.70	0.00	-0.41	-0.06	-0.03	-0.04	-0.07	0.18	-0.13	-0.02	-0.03	-0.25	0.83	M



شکل ۳- آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) درختان چنار (A: قطر درخت، B= ارتفاع درخت، C: ارتفاع تنه، D: ارتفاع تاج، E: خشکیدگی شاخه و سر شاخه‌ها، F: شکاف تنه، G: ضعف ساختاری یا فیزیکی، H: مشکل‌های ریشه، I: پوسیدگی پیشرفته، J: زخم روی تنه و ریشه، K: تماس با خطوط، L: وزن‌دهی معیارهای خطر آفرینی، M: طبقات شدت خطر آفرینی)

Fig 3. Principal component analysis (PCA) of plane trees (A=DBH, B= Total height, C=Trunk height, D=Crown height, E=Dried up branching and twigs, F=Gap or cracked, G=Structural or physical weakness, H= Root problems, I= Decay, J= Wound, K= Interfering with power lines, L=Weighting criteria, M= Risk classes)

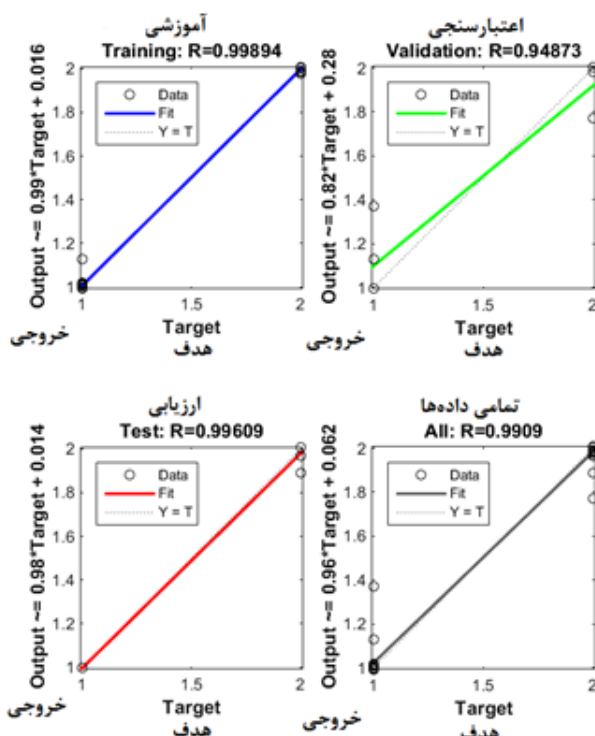
به‌صورت برابر برای آزمون و اعتبارسنجی در نظر گرفته شدند. شبکه برای آموزش به‌صورت تصادفی از داده‌ها استفاده نمود. تعداد تکرار شبکه ۱۰۰۰ دور در نظر گرفته شد. با اجرای شبکه، پیش‌بینی برای داده‌های ورودی انجام پذیرفت. شبکه بعد از ۷ اپوک (تکرار) به مقدار هدف تعیین شده رسید. در تکرار ۹ تا ۱۳ در ۶ بار متوالی عدم بهبود را شاهد است و شبکه متوقف شده است. نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و

### شبکه عصبی

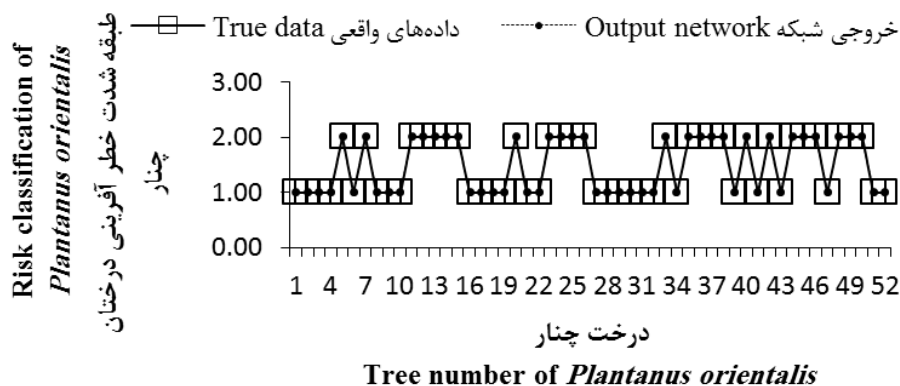
لایه ورودی شبکه عصبی متشکل از ۱۱ نورون شامل داده‌های ویژگی‌های کمی و کیفی درختان چنار و یک لایه پنهان ۲ نورون و خروجی شبکه نیز یک نورون شامل طبقه شدت خطر آفرینی درختان چنار است. ۷۰ درصد داده‌های ورودی برای آموزش استفاده شد و شبکه با الگوریتم مارکوارت - لونبرگ آموزش داده شد و ۳۰ درصد از داده‌های باقیمانده

پنهان شامل یک نورون با تابع سیگموئید در لایه میانی و یک نورون با تابع انتقال خطی در لایه خروجی دقیق و موثر تشخیص داده شد به صورتی که ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای تمامی داده‌ها برابر ۰/۹۹۱ به دست آمد. هر چه داده‌های رگرسیون ( $R$ ) به یک نزدیکتر باشد، جواب قابل قبول‌تر است، که در تمام این نمودارها چنین وضعیتی مشاهده شده است (Jahani, 2017a; Shahgholi *et al.*, 2018). تبیین و حداقل میزان میانگین مربعات خطا آزمون داده‌ها دقت

مدل شبکه عصبی در شکل ۴ آورده شده است. ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی، ارزیابی و در نهایت همه داده‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۹۹، ۰/۹۴۹، ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۱ به دست آمد. میانگین مربعات خطا برای آموزش، آزمون و ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۰۵۲، ۰/۱۱۴ و ۰/۰۴۴ محاسبه گردید. در شکل ۵ داده‌های واقعی و خروجی شبکه یا مقادیر پیش‌بینی شبکه از ابتدا تا انتها آورده شده است. در تحقیق حاضر استفاده از شبکه عصبی MLP با یک لایه



شکل ۴- نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی  
 Fig. 4- Linear regression results between experimental values and artificial neural network model



شکل ۵- داده‌های واقعی دو طبقه شدت خطر آفرینی درخت چنار و خروجی شبکه عصبی  
 Fig. 5- The real data of the two risk classes and outputs of the neural network

شرایط مشابه است. با شناخت متغیرهای کمی و کیفی موثر بر معیار خطر آفرینی درخت چنار هر منطقه می‌توان در جهت مدیریت فضای سبز شهری آن منطقه‌ها برنامه‌ریزی کرد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و ارزیابی مدل می‌توان پیشنهاد نمود که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه به‌عنوان روش غیرخطی در پیش‌بینی شدت خطر آفرینی درختان با توجه به تعیین خطای آموزشی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب و سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و از نتایج آن می‌توان در مدیریت فضای سبز شهری و اقدام‌های پیشگیرانه استفاده نمود.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> *Platanus orientalis* L.
- <sup>2</sup> Artificial Neural Network
- <sup>3</sup> Kruskal-Wallis test
- <sup>4</sup> Principal Component Analysis
- <sup>5</sup> Multi Layer Perceptron
- <sup>6</sup> *Quercus brantii* L.
- <sup>7</sup> Caliper
- <sup>8</sup> Duncan's multiple range test
- <sup>9</sup> Pairwise Mann-Whitney-Tests
- <sup>10</sup> Matrix correlation
- <sup>11</sup> Target
- <sup>12</sup> Levenberg-Marquardt Algorithm
- <sup>13</sup> Mean Squared Error

Alamdari, A.A., Dosti Aref, A., Karimi Mahabadi, R. and Rajabi, Z., 2011. Special topics in electrical and computer engineering with Matlab. Negarande Danesh Press, Tehran.

Albers, J. and Hayes, E., 1993. How to detect, assess and correct hazard trees in recreational areas. Department of Natural Resources Press, Minnesota DNR, USA.

Azizi, H.R. and Montazeri, M., 2015. Anticipated monthly temperatures for selected stations in Isfahan

شبکه عصبی در پیش‌بینی خطر آفرینی درختان چنار از سطح مطلوبی برخوردار است که نشان دهنده توانایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده است. خروجی شبکه عصبی و واقعی برهم منطبق هستند و دال بر کیفیت خوب شبکه است که با یافته‌های (Jahani 2017a) همخوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج تحقیق حاضر نشان داد که معیار خطر آفرینی درختان چنار تحت تاثیر متغیرهای کمی و کیفی درخت چنار قرار دارد به طوری که با توجه به نتایج حاصل از وزن‌دهی معیار شدت خطر آفرینی متغیرهای زخم روی تنه و ریشه، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی یا انحراف از راستای قائم، مشکل‌های ریشه و خشکیدگی شاخه و سر شاخه و نتایج حاصل از PCA می‌توان چنین نتیجه گرفت که متغیرهای خشکیدگی شاخه و سر شاخه‌ها، قطر درخت، پوسیدگی پیشرفته و زخم روی تنه و ریشه برای خطر آفرینی بیشتر درخت چنار موثرتر هستند. در اینجا می‌توان بیان نمود که دو متغیر زخم روی تنه و ریشه و خشکیدگی شاخه و سر شاخه از مهمترین متغیرهای موثر در تعیین معیار شدت خطر آفرینی درختان چنار در منطقه مورد مطالعه است.

با توجه به پارامترهای وزن‌دهی و طبقات شدت خطر آفرینی با برخی متغیرهای کمی و کیفی درخت چنار ارتباط دارد بنابراین نتایج به‌دست آمده در هر منطقه قابل تعمیم به منطقه‌هایی با

### منابع

province using artificial neural network multi-layer Perceptron. Geographical Researches Quarterly Journal. 30(3), 241-258.

Banj Shafiei, A., Samadzadeh Gargari, Kh., Seyedi, N. and Alijanpour, A., 2016. Study of qualitative, quantitative and risk possibility of Plane trees of Urmia. Forest Research and Development. 1(4), 319-335.

Barazmand, S., Shataei, Sh., Kavosi, M.R. and Habashi, H., 2011. Spatial distribution of tree crown dieback and its relation with some environmental factors and road

- network. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*. 19(3), 159-174.
- Dunster, J.A., 1996. Hazard tree assessments: Developing a species profile for western hemlock. *Journal of Arboriculture*. 22(1), 51- 57.
- Fazio, J.R., 1989. How to recognize and prevent hazard trees. *Tree City USA Bulletin*, Nebraska City, NE: National Arbor Day Foundation, USA.
- Ghehsareh Ardestani, E., Bassiri, M., Tarkesh, M. and Borhani, M., 2010. Distributions of species diversity abundance models and relationship between ecological factors with Hill(N1) species diversity index in 4 range sites of Isfahan Province. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 63(3), 387-397.
- Hassanzad Navroodi, I., Namiranian, M. and Zahedi Amiri, G., 2004. An evaluation of relationship between quantitative and qualitative characteristics and site factors in the natural beech (*Fagus orientalis*) stands in Asalem. *Iranian Journal of Natural Research*. 57(2), 235-248.
- Harris, R.W., Clark, J.R. and Matheny, N.P., 1999. *Arboriculture: Integrated management of trees, shrubs and vines*, 3rd ed., Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- 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.
- Hickman, G.W., Caprile, J. and Perry, E., 1989. Oak tree hazard evaluation. *Journal of Arboriculture*. 15(8), 177-184.
- Hosseinzadeh, J. Najafifar, A. and Tahmasebi, M., 2015. Investigation on principal factors determining stand structure in Oak forests of Zagross. *Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology)*. 29(4), 766-774.
- Jahani, A., 2017a. Aesthetic quality evaluation modeling of forest landscape using artificial neural network. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 24(3), 17-33.
- Jahani, A., 2017b. Sycamore Failure Hazard Risk modeling in urban green space. *Jsah*. 3(4), 35-48.
- Jahani, A. and Mohammadi Fazel, A., 2015. Aesthetic quality modeling of landscape in urban green space using artificial neural network. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*. 69(4), 951-963.
- Kazemi Najafi, S., 2016. *Nondestructive evaluation of standing trees*. First Printing, Tarbiat Modarres University Publication Center, Tarbiat Modares University Press, Tehran.
- Kent, M. and Coker, P., 2001. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. Mesdaghi, M. Publications University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- Khoshgoftarmanesh, A.H., Eshghizadeh, H.R., San-aei Ostovar, A. and Taban, M., 2013. Assessment of iron (Fe) chlorosis in Plane trees (*Plantanus orientalis* L.) grown in green space of Isfahan city, I: Leaf Mineral concentration. *Journal of Water and Soil Science*. 20(76), 19-31.
- Mesdaghi, M., 2005. *Plant Ecology*. Publications University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- Matheny, N. and Clark, J., 2009. Tree risk assessment: what we know (and what we don't know). *Arborist New*. 18(1), 28-33.
- Mattheck, C. and Breloer, H., 1994. Field guide for visual tree assessment (VTA). *Arboricultural Journal: the International Journal of Urban Forestry*. 18(1), 1-23.

- 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.
- Parsamahr, A.H. and Khosravani, Z., 2017. Determining drought severity using multi- criteria decision-making based on TOPSIS method (case study: selective stations of Isfahan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Reserch*. 24(1), 16-29.
- Pourhashemi, M., Khosro pour, A. and Heidari, M., 2012. The assessment of hazardous oriental plane (*Platanus orientalis* Linn.) trees in Valiasr street of Tehran. *Iranian Journal of Forest*. 4(3), 265-275.
- Pourmajidian, M. R., Aghajani, H., Fallah, A. and Heydari, M., 2015. An investigation of dangers rate of Pine (*Pinus eldarica* Medw) trees in urban margins in Babol city. *Natural Ecosystems of Iran*. 5(4), 63-76.
- Raiesi, M. and Bahmani, M., 2018. Urban tree risk management (case study: Plane trees in Isfahan streets). In *Proceedings International Conference on Natural Resources Management in Developing Coun-*
- tries. 25<sup>th</sup> February, Department of Natural resources, Tehran University.
- 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.
- Robbins, R., 1986. How to recognize and reduce tree hazards in recreation sites. NA- FR- 31. Radnor, PA: USDA Forest Service, Northeastern Area, USA.
- Shahgholi, G., Ghafouri Chiyaneh, H. and Mesri Gundoshmian, T., 2017. Modeling of soil compaction beneath the tire using multilayer perceptron neural networks. *Journal of Agricultural Machinery*. 8(1), 105-118.
- Tahmasebi, P., 2011. Ordination multivariate analysis of ecological data. Shahrekord University Press, Iran.
- Zobeiry, M., 2012. Forest inventory measurement of tree and forest. Tehran University Press, Iran.







Environmental Sciences Vol. 18/ No. 2/ Summer 2020

77-94

## Plane tree risk assessment in urban space using Artificial Neural Network

Mozhde Nafian<sup>1</sup>, Mohsen Bahmani<sup>1\*</sup>, Elham Ghehsareh Ardestani<sup>2</sup> and Ali Soltani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup> Department of Rangeland and Watershed management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

Received: 2019.02.13 Accepted: 2019.06.09

Nafian, M., Bahmani, M., Ghahsareh Ardestani, E. and Soltani, A., 2020. Plane tree risk assessment in urban space using Artificial Neural Network. *Environmental Sciences*. 18(2): 77-94.

**Introduction:** As one of the most valuable parts of a municipal system, the green space has long been praised. For that matter, all the data related to streetside trees must be assessed and recorded. A large part of old plane trees (*Platanus orientalis*) planted in industrial, dense populated cities are subjected to all kinds of air and water pollutions, frequent droughts and various physical stresses, which make them less likely to sustain. Identification of the most vulnerable tree individuals can be prioritized by a variety of statistical methods. A less applied statistical model in this field is the Artificial Neural Network (ANN). In this study, we present the results of applying ANN model in risk assessment of plane trees planted along Kuala Lumpur Avenue in Isfahan in 2018.

**Material and methods:** In the current study, the risk level of keeping plane trees in Kuala Lumpur Ave., Isfahan, was studied using data acquired by a full survey method, and using quantitative tree body proportions and few risk factors (qualitative or imperfect properties). Following coining the share of each of seven hazard criteria and their trio importance indices, a Kruskal-Wallis test compared the number of trees in different risk levels. Then, all the trees were scored via the biased levels of their risk level. Accordingly, based on the weighted scores, they were divided into five hazardous categories. To develop an understanding of the quantitative variables, risk factors, weight parameters, and hazard classes, we carried out a principle component analysis (PCA) and a multi-layer perceptron (MLP) network procedure.

**Results and discussion:** The results of the proportion of each hazard index revealed the importance of the trunk and root wounds (83%), the structural tree weakness (61%), root problems (54%), and branch and twig dieback (50%). Also, results of Kruskal-Wallis test showed that the risk levels of the planted trees can be significantly

\*Corresponding Author. *Email Address:* mohsen.bahmani@sku.ac.ir

classified into four classes of: with no risk or healthy, low, moderate, and high-risk classes, at one percent error level. The results of Duncan's mean test showed that the number of trees in no risk and low-risk classes were significantly higher than the other classes at one percent error level. The results of the PCA indicated that the first and second components explained 44.69 percent of the total variation. The risk and weighting parameters of the branch and twig dieback, the tree diameter, advanced decay, and wound on the trunk and root were highly and positively correlated. In general, the two variables of the trunk and root wounding, as well as branch and twig dieback, were among the most important variables in terms of risk assessment of the plane trees. The high coefficient of determination values of training, validation, verification, and finally, all neural network data (0.999, 0.949, 0.996, and 0.991) and the least mean square error values (training data = 0.052, verification 0.114, and validation = 0.044) indicated the accuracy and desirability of the ANN in the prediction of the risk classes for streetside trees.

**Conclusion:** According to the results of risk assessment diagnostic criteria and main components analysis, the two variables of trunk wound and root and branch mortality of plane trees should be regularly reviewed. Moreover, decision-makers may use the neural network method to identify and detect the risk possibility of planted trees. Therefore, this approach can be proposed as a suitable and useful solution in urban green space management and preventive measures.

**Keywords:** Urban forestry, Risk level criterion, Principle component analysis, Multilayer perceptron network.