# کاهش متغیرهای ورودی در فرآیند مدل‌سازی خطر سقوط درختان خطرآفرین نارون با روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

**الهام قهساره اردستانی[۱*]، مژده نافیان[۱]، محسن بهمنی[۱]**

۱- دانشکده منابع، طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد؛ آزمایشگاه مرکزی، دانشگاه شهرکرد

*ایمیل نویسنده مسئول : elham.ghehsareh@nres.sku.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۷/۱۳

**چکیده**

درختان می‌توانند یک طیف وسیعی از منافع زیست محیطی، ارزش‌های زیباشناختی، تاریخی و گردشگری و مزایای اجتماعی، فیزیولوژیکی و اقتصادی را در بر گیرند و از طرفی دیگر این درختان باعث مخاطرات محیطی می‌شوند. هدف از این پژوهش کاهش متغیرهای کم اهمیت با روش‌های معیارهای تشخیصی خطرآفرینی درختان و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی در فرآیند مدل‌سازی ریسک سقوط درختان خطرآفرین نارون مورد مطالعه با روش شبکه عصبی است. بدین منظور به جمع‌آوری متغیرهای کمی و کیفی درختان نارون در خیابان سیدعلیخان اصفهان با روش آماربرداری صد در صد این درختان در سال ۱۳۹۷ پرداخته شد. نتایج حاصل از عدم حذف و حذف متغیرهای قطر درخت و تماس با خطوط انتقال برق در مدل‌های پیش‌بینی سقوط درختان خطرآفرین نشان دهنده این مطلب است که متغیرهایی که طی فرآیند مطالعه حذف شده‌اند، تاثیر قابل توجهی در پیش‌بینی سقوط درختان خطرآفرین نداشته ولی حذف متغیرهای یاد شده، باعث افزایش دقت و کاهش تعداد تکرارهای آموزش شبکه برای رسیدن به شبکه بهینه می‌شود و زمان رسیدن به شبکه عصبی بهینه، را کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان استفاده از مدل‌سازی سقوط درختان به منظور مدیریت فضاهای سبز شهری را پیشنهاد کرد.

**کلمات کلیدی**

"درخت نارون"، "درختان خطرآفرین"، "معیار تشخیصی خطرآفرینی"، "آنالیز مولفه‌های اصلی"، "شبکه عصبی"

# Reduction of input variables in the process of modeling risk possibility of elm trees by principal component analysis

**Elham Ghehsareh Ardestani[1,*], Mozhde Nafian[1], Mohsen Bahmani[1]**

1. Dept., of Natural Resources and Earth Sciences, Faculty of rangeland and watershed, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran; Central Laboratory, Shahrekord University,Shahrekord

*Email Address: elham.ghehsareh@nres.sku.ac.ir

**Abstract**

Trees can cover a wide range of environmental, aesthetic, historical, tourism benefits and social, physiological, as well as economic benefits, however, the trees can cause environmental risks. The aim of current study was to reduce the insignificant variables by methods of index criteria of tree and analysis of the main components and then using the remaining variables in the process of modeling the risk possibility falling of elm tree by Neural Network Method. For this purpose, the quantitative and qualitative variables of elm trees were collected in Seyed Alikhan Street of Isfahan by counting 100% of these trees in 2018. The results of elimination of tree diameter and contact with power transmission lines in predictive models of risk of falling dangerous trees indicated that the variables that were eliminated during the study process did not have a significant effect on predicting the risk of falling dangerous trees. This creates a significant change in the accuracy of the model training data and decrease the number of repetitions of network training to reach the optimal network and reduces the time to reach the optimal neural network. Therefore, we recommended the use of tree fall modeling for management of urban green spaces.

**Keywords**

“Elm tree”, “Hazardous Trees”, “Index Criteria of Hazardous Trees”, “Principal Components Analysis”, “Neural Network”

## ۱- مقدمه

فضای سبز شهری، بخشی از فضاهای باز شهری است که عرصه‌های طبیعی یا مصنوعی آن، اغلب تحت استقرار درختان است که براساس نظارت و مدیریت انسان، با در نظر گرفتن ضوابط، قوانین و تخصص‌های مرتبط به آن، برای بهبود شرایط زیستی، زیستگاهی و رفاهی شهروندان و مراکز جمعیتی غیرروستایی، حفظ، نگهداری و یا احداث می‌شوند (مجنونیان، ۱۳۷۴). درختان می‌توانند یک طیف وسیعی از منافع زیست محیطی، پاسخگوی نیازهای مادی و تامین کننده ارزش‌های زیباشناختی، ارزش‌های تاریخی، تفرجی و گردشگری، مزایای اجتماعی، فیزیولوژیکی و اقتصادی را در بر گیرند ( Chiesura, 2004) و از طرفی دیگر این درختان باعث خطرات احتمالی می‌شوند. خطرات در ارتباط با این درختان مربوط به تاثیر بالقوه آن در سلامت و ایمنی عمومی، صدمه به اموال و اختلال در فعالیت‌های انسانی است (Sjöberg et al., 2004). در تعریف درختان خطرآفرین به درختان کاملا خشکیده یا در حال خشکیدن، اجزای خشکیده درختان زنده یا درختان زنده به شدت ناپایدار در محیط که می‌تواند ناشی از آسیب‌های ساختاری یا عوامل دیگر باشد اطلاق می‌شود و این درختان ریسک بالایی را در تهدید امنیت جانی شهروندان یا اموال آن‌ها در محیط زیست شهری به همراه دارند (Duryea et al., 2007). از آنجایی که درختان خطرآفرین در فضای سبز شهری از اهمیت بالایی برخوردارند، شناسایی و کمی‌سازی شدت ریسک این درختان اجتناب‌ناپذیر است و فقط در این صورت امکان مدیریت ریسک و انجام اقدامات پیشگیرانه و به موقع فراهم می‌گردد (جهانی، ۱۳۹۵). تصمیم‌گیری برای حذف درخت‌ها صرفا بر این اساس نیست؛ بلکه مسائل ایمنی، اهمیت تاریخی و زیست محیطی، تامین بودجه، ارزش زیبایی‌شناسی آن و بسیاری از مسائل دیگر می‌تواند این تصمیم‌گیری را تحت تاثیر قرار دهد. برای ارزیابی ریسک درخت باید ارزیابی ساختار درخت، عیوب درخت، احتمال شکست بعدی درخت، ارزیابی آسیب‌های احتمالی ناشی از آن باید مدنظر قرار بگیرد ( Wassenaer and Richardson, 2009). حرکت به سوی رویکرد ارزیابی خطر درک ما را از خطرات ناشی از شکست درخت افزایش می‌دهد. مدیریت درختان خطرآفرین به بررسی احتمال خطر درختان در محیط‌های طبیعی و انسان ساخت می‌پردازد. در تعریف درختان خطرآفرین به درختان کاملا خشکیده یا در حال خشکیدن، اجزای خشکیده درختان زنده یا درختان زنده به شدت ناپایدار در محیط که می‌تواند ناشی از آسیب‌های ساختاری یا عوامل دیگر باشد اطلاق می شود و این درختان ریسک بالایی را در تهدید امنیت جانی شهروندان یا اموال آن‌ها در محیط زیست شهری به همراه دارند( Mortimer and Kane, 2004; Duryea et al., 2007). در پژوهشی ویژگی‌های کمی، کیفی و مقدار خطر آفرینی درختان چنار ( Platanus orientalis L.) در شهر ارومیه اندازه‌گیری شد. پس از وزن‌دهی معیارهای خطرآفرین، تعداد ۷۰ درخت (۳۶/۸ درصد) در طبقه خطر بسیار کم، ۱۰۲ درخت (۵۳/۷ درصد) در طبقه خطر کم و ۱۸ درخت (۹/۵ درصد) در طبقه خطر متوسط قرار گرفتند. بنابراین انجام اقدامات اصلاحی برای درختان با خطر متوسط پیشنهاد می‌شود (بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه دیگر به بررسی خطرآفرینی درختان چنار خیابان ولیعصر تهران پرداخته شد و نتایج نشان داد که شاخه و سرشاخه‌های خشکیده (۸۰ درصد) و وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) (۶۹ درصد) بیشترین سهم را در خطر آفرینی درختان دارند، در حالی که معیارهای شاخه‌دهی نامناسب و پوسیدگی کم اهمیت‌ترین معیارها هستند (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی[1] به منظور دستیابی به مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار روی تغییرات کمی و کیفی ده رویشگاه از توده‌های جنگلی طبیعی راش (Fagus orientalis) منطقه اسالم گیلان، استفاده نمود، در مجموع نتایج نشان داد که تاثیر خواص خاک و ارتفاع از سطح دریا به عنوان مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی تغییرات کمی و کیفی توده جنگلی طبیعی راش می‌باشند (حسن زاد ناورودی و همکاران، ۱۳۸۳). در مطالعه دیگری به منظور بررسی خشکیدگی مخاطره آمیز درختان جنگلی استان ایلام از روش PCA استفاده شد و عوامل موثر برآن نیز مشخص گردید (رستم نیا و آخوندزاده هنزائی، ۱۳۹۵). در پژوهشی به بررسی روش رسته‌بندی تجزیه و تحلیل مولفه اصلی برای ارائه روشی مناسب جهت تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی پرداخته شد. نتایج نشان داد که این روش توانایی نشان دادن ماهیت اصلی ساختار داده‌ها را دارد (اسحاقی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای برای پیش‌بینی ریسک سقوط درختان چنار خطر آفرین در فضای سبز شهر کرج از شبکه عصبی مصنوعی [2] استفاده شد. در مجموع، مدل شبکه عصبی با دقت بالا برای پیش‌بینی احتمال سقوط درختان چنار پیشنهاد شد (جهانی، ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای دیگر به منظور مدل‌سازی آشفتگی انبوهی جنگل در ارزیابی محیطی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که شبکه پرسپترون چند لایه[3] با یک لایه پنهان و چهار نرون در هر لایه با توجه به بیشترین مقدار ضریب تبیین، بهترین عملکرد بهینه‌سازی توپولوژی را نشان داد (جهانی،۱۳۹۴). در تحقیقی دیگری به منظور برآورد موجودی سرپای توده‌های جنگلی از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۵). درختان نارون (Ulmus carpinifoliavar.umbelifera) از خانواده Ulmaceae در جنگل‌های طبیعی ایران به ویژه دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز و جلگه‌های مرطوب و استپی پراکندگی نسبتا متراکمی دارند. همچنین به دلیل داشتن ظاهری زیبا و سایه‌بانی گسترده به عنوان درختی زینتی و سایه‌دار در فضای سبز غالب شهرها به کار می‌روند (ارباب و همکاران، ۱۳۸۲). وجود درختان نارون کهنسال در خیابان‌های شهر اصفهان نیز نشان دهنده قدمت طولانی استفاده از این درختان در ایجاد فضای سبز شهری می‌باشد. با این وجود این درختان مشکلات متعددی برای اکوسیستم‌های شهری به وجود می‌آورند. در شهرهایی مانند اصفهان که سهم درختان نارون از درختان شهری زیاد است، بررسی میزان خطرآفرینی این درختان در خیابان‌های مهم و پر رفت و آمد بسیار مورد اهمیت است تا علاوه بر شناخت و بررسی این درختان مدیریت بهتر درختان نارون در فضای سبز شهری را فراهم نماید. بنابراین یکی از مشکلات فضای سبز شهر اصفهان وجود درختان نارون کهنسال با پتانسیل ریسک بالا در آسیب به شهروندان و اموال عمومی است. از این رو شناسایی و ارزیابی شدت ریسک درختان نارون خطرآفرین در اولویت مدیریت فضای سبز شهر اصفهان قرار دارد. با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت آگاهی از خطرهای جانی و مالی درختان خیابانی به عنوان یکی از پیش‌شرط‌های مدیریت آن‌ها از یک

1 .Principal Component Analysis =PCA
2 .Artificial Neural Network = ANN
3 .Multiple Liner Regression = MLP

سو و اهمیت درختان نارون خیابان سیدعلیخان اصفهان از لحاظ ارزش‌های زیباشناختی، گردشگری، تاریخی و مزایای اجتماعی و اقتصادی از سوی دیگر است. لذا اهداف اصلی این تحقیق شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در فرآیند مدل‌سازی از طریق معیارهای خطرآفرینی درختان و روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و مقایسه کارایی استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی با کل متغیرها و حذف متغیرهای کم اهمیت در مدل‌سازی و پیش‌بینی ریسک سقوط درختان خطرآفرین نارون است.

## ۲- روش انجام تحقیق

برای اندازه‌گیری و ثبت متغیرهای کمی و کیفی درختان نارون مورد مطالعه در دو سمت خیابان سیدعلیخان شهر اصفهان از روش آماربرداری صد در صد استفاده شد. برای هر درخت نارون ۹ ویژگی کمی (قطر درخت (سانتی‌متر)، ارتفاع درخت (متر)) و کیفی یا عیوب (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. به منظور اندازه‌گیری قطر درخت، قطر درخت در ناحیه‌ی ارتفاع برابر سینه با خط‌کش دو بازو[1] اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع درخت از دستگاه سونتو بر اساس درصد شیب استفاده شد (زبیری، ۱۳۹۱).

- **محدوده مورد مطالعه**

محدوده پژوهشی در استان اصفهان در شهر اصفهان که یکی از کلان شهرهای ایران با درختان نارون کهن و بی‌شمار بین ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و۵۴ ثانیه عرض شمالی خط استوا و۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۵۷۰ متر قرار گرفته است (پارسامهر و خسروانی، ۱۳۹۶). در شکل ۱ درختان نارون محدوده پژوهشی در دو سمت خیابان سید علیخان اصفهان به طول ۴۵۲/۵۴ متر که در محدوده شهرداری منطقه یک اصفهان، واقع شده است.

**شکل ۱- نقشه موقعیت خیابان سیدعلیخان شهر صفهان**

- **صفات کیفی و تعیین معیارهای تشخیص درختان خطرآفرین نارون مورد مطالعه**

مطابق با معیارهای تشخیص درختان خطرآفرین (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱) درجه‌بندی مقدار خطرآفرینی درختان بر اساس هفت معیار براساس متغیرهای کیفی درختان نارون مورد مطالعه صورت گرفت. به منظور تعیین میزان خطرآفرینی درختان (ویژگی‌های کیفی یا عیوب) از درجه‌بندی مقدار خطرآفرینی درختان استفاده شده بهره گرفته شد. داده‌های مربوط به تعداد درختان در طبقات مختلف خطر نرمال نبودند و پس از تبدیل با سه روش استاندارد (جذر، معکوس و لگاریتم طبیعی) نیز نرمال نشدند، از آزمون ناپارامتری کروسکال–والیس[2] برای این منظور استفاده شد و سپس برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دان[3] و مقایسات جفتی من‌ویتنی[4] استفاده شد. در مرحله بعد، درختان از نظر معیارهای خطرآفرینی وزن‌دهی 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 فوق برای هفت معیار تشخیص درختان خطرآفرین در جدول ۱ 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 بدست آمده و بر اساس طبقه‌بندی تجربی به ۵ طبقه‌ی خطر آفرینی در جدول ۲ تقسیم شدند و نحوه‌ی توزیع درختان در طبقه‌های خطرآفرینی مشخص شد (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱).

- **تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی**

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نوعی از تجزیه و تحلیل آماری است که تعداد کمتری از عوامل را به نام مؤلفه‌های اصلی از میان عوامل اولیه گزینش می‌کند، به طوری که تعدادی از اطلاعات کم اهمیت حذف می‌شود. در صورتی که فاکتور KMO[5] مربوط به این روش کمتر از ۰/۵باشد، داده‌ها برای تجزیه و تحلیل عوامل اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین۰/۵تا ۰/۶۹ باشد باید با احتیاط بیشتر به تجزیه و تحلیل عوامل پرداخت. اما در صورتی که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تجزیه و تحلیل مناسب خواهد بود (Abdul-Wahab et al., 2005؛ Ravi Raja, 2016 ؛احسان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). متغیرهای کمی و کیفی در محدوده ۰/۹- تا ۰/۹ با استفاده از رابطه ۱ استاندارد شدند (جهانی، ۱۳۹۵).

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

**رابطه ۱**

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 و Data(i) داده غیرنرمال است. در این پژوهش برای محاسبه فاکتور KMO و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی از نرم افزارهای IBM SPSS ۲۵ Statistics و PAST ۳,۳ استفاده شد.

- **شبکه عصبی مصنوعی**

برای طراحی مدل شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی شدت خطر سقوط درختان نارون خطرآفرین مورد مطالعه از دو طبقه شدت خطرآفرینی (صفر بی‌خطر و ۵-۱ با خطر بسیار کم در طبقه اول و ۱۰-۶ با خطر کم و ۱۵-۱۱ با خطر متوسط در طبقه دوم) که براساس روش وزن‌دهی محاسبه شد، استفاده گردید. پیش‌بینی شدت خطر سقوط درختان نارون خطرآفرین بر اساس خصوصیات 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 از

1. Caliper

2 .Kruskal–Wallis one-way analysis of variance
3 .Dunn's Post Hoc
4. Mann-Whitney pairwise
5. Kaiser-Meyera-Olkin

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)، پوسیدگی تنه و شاخه (درصد)، زخم (درصد) و تماس با خطوط انتقال برق (درصد) که در بخش قبل استاندارد شده بودند به عنوان متغیرهای مستقل ورودی و طبقه شدت خطرآفرینی در هر اصله درخت به عنوان هدف (Target) شبکه در نظر گرفته شد. در این پژوهش به منظور پیش‌بینی طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه جهت تعیین ساختار شبکه از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به دلیل توانایی فراوان در مدل‌های پیچیده و غیرخطی و متداول‌ترین انواع شبکه عصبی در امر مدل‌سازی استفاده شد. در تحقیق حاضر یک شبکه پرسپترون با یک لایه مخفی با تابع سیگموید و تابع انتقال خطی برای لایه خروجی جهت پیش‌بینی طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون مشروط بر اینکه به اندازه کافی نورون در لایه پنهان موجود باشد، در نظر گرفته شد. 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) به گونه‌ای برازش شوند که مقدار خطای بین خروجی شبکه و پارامتر هدف به حداقل مقدار ممکن خود برسد (احسان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ جهانی، ۱۳۹۵). در پژوهش حاضر، برای آموزش شبکه عصبی از روش یادگیری پس از انتشار خطا که برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیشخور که معمولا شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه هم نامیده می‌شوند، استفاده شد. به منظور بهبود سرعت و عملکرد عمومی پس انتشار خطا از الگوریتم لونبرگ–مارکوارت استفاده شد. پس در پژوهش حاضر به طور تصادفی ۷۰٪ از داده‌ها برای فضای آموزشی، ۱۵٪ از داده‌ها اعتبارسنجی و در نهایت ۱۵٪ از مابقی داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی برای آزمون عملکرد شبکه پس از آموزش مورد استفاده قرار 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 را با تعداد نرون‌های کم شروع شده و اضافه کردن نرون‌ها را تا جایی که دیگر تاثیری در بهبود خطا نداشته باشند ادامه داده می‌شود (احسان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

- **معیارهای ارزیابی**

یکی ار معیارهای مورد بررسی اعتبار مدل، معیار برازندگی ضریب همبستگی (R) و یا توان دوم آن ($R^2$) است که مقدار آن به ترتیب برای R بین ۱- تا ۱+ و برای $R^2$ بین صفر تا ۱+ تغییر می‌کند. همچنین به منظور مقایسه کارایی مدل‌های شبکه عصبی، از میانگین مربعات خطا (MSE) به عنوان معیاری برای سنجش دقت نتایج شبکه عصبی (رابطه ۲) و ضریب تبیین $R^2$ (رابطه ۳) استفاده شد.

**رابطه ۲**

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

**رابطه ۳**

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

که در این روابط $O_i$: داده اندازه‌گیری شده، $P_i$: داده برآورد شده، $O_{ave}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده، $P_{ave}$: میانگین داده‌های برآورد شده، n: تعداد داده‌ها هستند (جهانی، ۱۳۹۵).

## ۳- نتایج

### معیارهای تشخیص خطرآفرینی

نتایج نشان داد که چهار معیار وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، زخم، پوسیدگی پیشرفته و شاخه و سرشاخه‌های خشکیده به ترتیب ۵۱، ۴۹، ۴۴ و ۴۲ درصد بیشترین سهم و معیار تماس با خطوط انتقال برق کمترین سهم (۱۷ درصد) را در خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه در جدول ۱ داشته‌اند. داده‌های مربوط به تعداد درختان در طبقات مختلف خطر نرمال نبودند و پس از تبدیل نیز نرمال نشدند، از آزمون ناپارامتری کروسکال–والیس برای این منظور استفاده شد. نتایج آزمون کروسکال–والیس نشان داد که در بین تعداد درختان در ۴ طبقه خطرآفرینی (فاقد خطر یا سالم، خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد) اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد.نتایج مقایسه میانگین آزمون دان و مقایسات جفتی من‌ویتنی طبقات مختلف خطر برای تعداد درختان نارون مورد مطالعه نشان داد که طبقه سالم با سایر طبقات خطر و همچنین طبقات خطر کم با خطر زیاد در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند ولی در شکل ۲ طبقه کم خطر با طبقه خطر متوسط و از طرفی طبقه خطر متوسط با طبقه خطر زیاد در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض صفر مبنی بر برابری تعداد درختان در طبقات مختلف خطر رد می‌گردد. به عبارت دیگر با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان بیان نمود که تعداد درختان در طبقات مختلف خطر متفاوت است و نتایج نشان داد که با افزایش طبقات خطر تعداد درختان نیز کاهش یافته است بطوریکه کمترین تعداد درخت در طبقه خطر زیاد و بیشترین تعداد درخت در طبقه سالم مشاهده شده است.جدول ۲ طبقه‌بندی میزان خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این مرحله که درختان از نظر معیارهای خطرآفرینی وزن‌دهی شدند، حدود ۱۵ اصله درخت (۱۰٪) از کل درختان نارون در طبقه سالم (بدون خطر)، ۵۴ اصله درخت (۸۲٪) در طبقات خطر کم (خطر بسیار کم و کم) و ۲ اصله درخت (۳٪) در طبقه خطر متوسط یافت شدند. در طبقه‌بندی میزان خطرآفرینی درختان نارون در جدول ۲، بیش از ۸۰ درصد درختان در طبقه خطر کم قرار گرفتند. بنابراین می‌توان اقدامات پیشگیرانه را هنوز بر روی این درختان اعمال نمود

### تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA)

- اجرای روش تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA) در پیش‌پردازش داده‌های ورودی

متغیرهای اولیه در ارزیابی وضعیت خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه شامل متغیرهای کمی (ارتفاع درخت و قطر درخت) و کیفی یا عیوب (شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، مشکلات ریشه، پوسیدگی پیشرفته، زخم، شکاف یا ترک و تماس با خطوط انتقال برق) به مقادیر استاندارد تبدیل شدند. مقدار فاکتور KMO برابر کل داده‌ها ۰/۳۶۹ (کمتر از ۰/۵) حاصل شد. بنابراین نمی‌توان تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی را روی کل داده‌ها اجرا نمود و نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های

اصلی از اعتبار کافی برخوردار نیست. با توجه به سهم هر یک از معیارهای خطرآفرین در درختان نارون در جدول ۱ به علت داشتن حداقل سهم متغیر تماس با خطوط انتقال برق، این متغیر حذف شد و از داده‌های ورودی باقی‌مانده، مقدار فاکتور KMO به ۰/۶۳۹ رسید که این مقدار وجود همبستگی کافی بین متغیرهای ورودی برای انجام آنالیز مولفه‌های اصلی را تایید می‌کند. به منظور شناسایی متغیرهای تاثیرگذار بر فرایند خطرآفرینی درختان نارون منطقه مورد مطالعه از روش آنالیز مولفه اصلی (PCA) در بین متغیرهای کمی و کیفی و پارامتر وزن‌دهی استفاده شد. محورهای اول، دوم، سوم و چهارم رسته‌بندی با داشتن بیشترین ارزش ویژه به ترتیب ۳۳/۴۲، ۱۸/۹۳، ۱۲/۹۰ و ۸/۸۸ درصد و روی هم رفته ۷۴/۱۳ درصد از تغییرات کل را در جدول ۳ نشان دادند. در تشکیل مولفه اول متغیر قطر درخت، مولفه دوم متغیر زخم، مولفه سوم متغیر شاخه و سرشاخه‌های خشکیده و مولفه چهارم پوسیدگی پیشرفته بالاترین ضرایب را در جدول ۴ دارند که نشان دهنده تاثیر بیشتر این متغیرها در تشکیل چهار مولفه است. برای تعیین متغیرهای اصلی در وقوع خطرآفرینی درختان نارون از روش تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی استفاده شده است. در این روش متغیرهای اصلی متغیرهایی هستند که حداقل یکی از ضرایب آن‌ها که برای تشکیل عامل مربوطه استفاده می‌شود، دارای مقدار نسبتا بالایی باشد. نتایج محاسبات در جدول ۴ نشان داده شده و با توجه به پیچیدگی خطرآفرینی درختان این معیار تقریبا معادل با ۰/۵۰ انتخاب شده است. با توجه به معیار در نظر گرفته شده است همه متغیرهای وروردی حائز اهمیت هستند. از طرفی دیگر، با توجه به جدول ۵ می‌توان بیان نمود که بین متغیرهای ارتفاع و قطر درخت در دو مولفه اول که حدود ۵۲/۳۵ درصد از تغییرات کل را در جدول ۳ نشان می‌دهد دارای همبستگی مثبت و بالایی است. بنابراین بر این اساس یکی از این دو متغیر برای مدل‌سازی با شبکه عصبی حذف می‌شوند.چهار مولفه اول انتخاب می‌شوند. همچنین در شکل ۴ که مربوط به تست بریدگی است، چهار مولفه اول به عنوان مولفه‌های اصلی انتخاب می‌شوند. زیرا این محورها به خاطر اینکه مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از عصای شکسته هستند قابل تفسیر هستند. تمام متغیرها ضریب تقریبا ۰/۵۰ و بالای آن را در چهار عامل استخراج شده دارند. بنابراین همه متغیرهای تاثیرگذار در وقوع خطرآفرینی درختان نارون است. بین متغیرهای ارتفاع و قطر درخت همبستگی بالا و مثبتی مشاهده شد. بنابراین به علت وجود همراستایی بین این دو متغیر یکی از این دو باید حذف شود. در مطالعه حاضر متغیر تماس با خطوط انتقال برق به علت داشتن حداقل سهم در وضعیت خطرآفرینی و متغیر قطر درخت به خاطر همبستگی بالایی که با متغیر ارتفاع درخت در تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی داشت، تصمیم بر آن شد که این دو متغیر وارد مدل‌سازی شبکه عصبی نگردد.

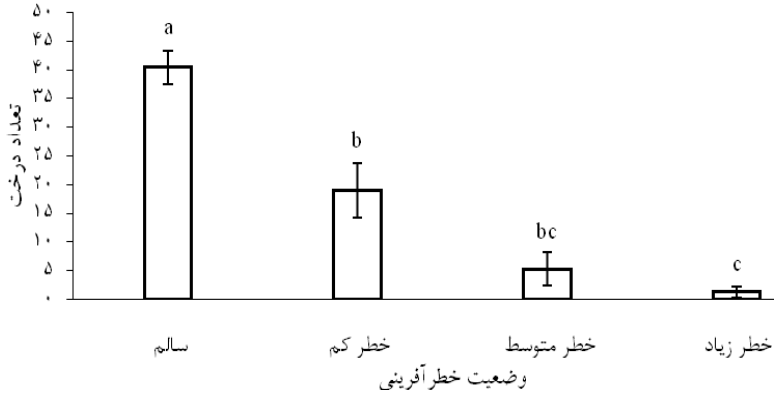
- تجزیه و تحلیل ارتباط متغیرها بر روی دو مولفه اول

با توجه به آنالیز PCA، بین برخی از متغیرهای کمی و کیفی با پارامتر وزن‌دهی ارتباط تنگاتنگ وجود دارد. شناسایی میزان این روابط در تعیین احتمال خطرآفرینی درختان نارون نقش مهمی ایفا می‌کند. نتایج حاصل از آنالیز مولفه اصلی به خوبی روابط بین خصوصیات کمی و کیفی درختان نارون را آشکار می‌کند.

**جدول۱- سهم هر یک از معیارهای خطرآفرین در درختان نارون مورد بررسی**

| معیار خطرآفرینی | درجه اهمیت | درختان خطر آفرین | | درختان سالم |
|---|---|---|---|---|
| | | تعداد | درصد | |
| شاخه و سرشاخه‌های خشکیده | خطر کم | ۲۶ | ۴۰ | ۳۸ (٪۵۸) |
| | خطر متوسط | ۱ | ۱ | |
| | خطر زیاد | ۱ | ۱ | |
| | مجموع | ۲۸ | ۴۲ | |
| شکاف یا ترک | خطر کم | ۲۱ | ۳۲ | ۴۵ (٪۶۸) |
| | خطر متوسط | ۰ | ۰ | |
| | خطر زیاد | ۰ | ۰ | |
| | مجموع | ۲۱ | ۳۲ | |
| ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم) | خطر کم | ۳۱ | ۴۷ | ۳۲ (٪۴۹) |
| | خطر متوسط | ۳ | ۴ | |
| | خطر زیاد | ۰ | ۰ | |
| | مجموع | ۳۴ | ۵۱ | |
| مشکلات ریشه | خطر کم | ۱۹ | ۲۹ | ۴۲ (٪۶۴) |
| | خطر متوسط | ۴ | ۶ | |
| | خطر زیاد | ۱ | ۱ | |
| | مجموع | ۲۴ | ۳۶ | |
| پوسیدگی پیشرفته | خطر کم | ۰ | ۰ | ۳۷ (٪۵۶) |
| | خطر متوسط | ۲۲ | ۳۳ | |
| | خطر زیاد | ۷ | ۱۱ | |
| | مجموع | ۲۹ | ۴۴ | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| زخم | خطر کم | ۳۲ | ۴۹ | ۳۴ (٪۵۱) |
| | خطر متوسط | ۰ | ۰ | |
| | خطر زیاد | ۰ | ۰ | |
| | مجموع | ۳۲ | ۴۹ | |
| تماس با خطوط نیرو | خطر کم | ۴ | ۶ | ۵۵ (٪۸۳) |
| | خطر متوسط | ۷ | ۱۱ | |
| | خطر زیاد | ۰ | ۰ | |
| | مجموع | ۱۱ | ۱۷ | |




**شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد درختان نارون برآورد شده از طریق معیارهای تشخیص شدت خطرآفرینی (مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۱ درصد هستند).**

**جدول ۲- طبقه‌بندی میزان خطرآفرینی درختان نارون مورد بررسی**

| کد طبقه | نمرهٔ خطرآفرینی | وضعیت خطرآفرینی | درصد درختان | تعداد درختان |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | بی‌خطر | ۱۵ | ۱۰ |
| ۲ | ۱- ۵ | خطر بسیار کم | ۵۲ | ۳۴ |
| ۳ | ۶- ۱۰ | خطر کم | ۳۰ | ۲۰ |
| ۴ | ۱۱- ۱۵ | خطر متوسط | ۳ | ۲ |
| ۵ | ۱۶- ۲۱ | خطر زیاد (خطرناک) | ۰ | ۰ |
| | | مجموع | ۱۰۰ | ۶۶ |

**جدول ۳- آمار محورهای آنالیز مولفه اصلی**

| محور اصلی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار ویژه | ۳/۰۰ | ۱/۷۰ | ۱/۱۶ | ۰/۷۹ | ۰/۷۳ | ۰/۵۹ | ۰/۵۶ | ۰/۲۷ | ۰/۱۶ |
| درصد واریانس | ۳۳/۴۲ | ۱۸/۹۳ | ۱۲/۹۰ | ۸/۸۸ | ۸/۱۱ | ۶/۶۳ | ۶/۲۷ | ۳/۰۰ | ۱/۸۲ |

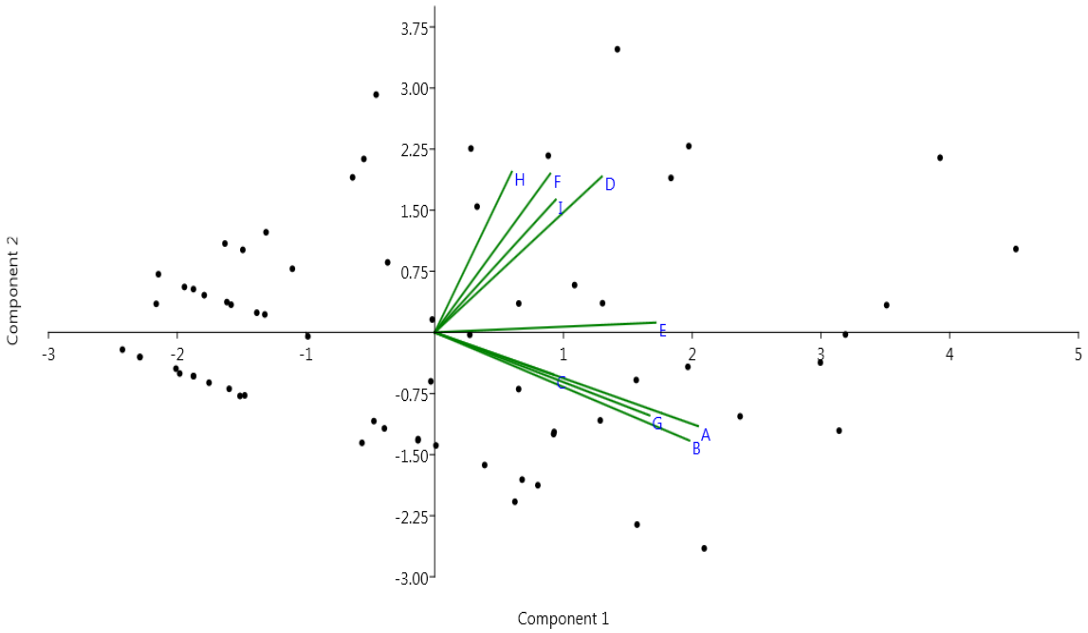
**جدول ٤- مقادیر مربوط به بردارهای ویژه برای تشکیل هر مولفه**

| متغیر محور | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 | PC9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قطر درخت | ۰/۸۲ | -۰/۳۴ | -۰/۱۸ | ۰/۱۷ | -۰/۰۴ | -۰/۰۰ | ۰/۰۸ | -۲۱/۰ | ۰/۲۷ |
| ارتفاع درخت | ۰/۷۹ | -۰/۴۰ | -۰/۱۱ | -۰/۰۴ | ۰/۱۲ | ۰/۰۵ | ۰/۲۶ | -۰/۱۴ | -۰/۲۷ |
| شاخه و سرشاخه‌های خشکیده | ۰/۳۷ | -۰/۱۵ | ۰/۷۷ | ۰/۱۵ | -۰/۱۶ | ۰/۳۶ | ۰/۱۳ | ۰/۱۵ | ۰/۰۲ |
| شکاف یا ترک | ۰/۵۲ | ۰/۵۸ | ۰/۱۹ | -۰/۲۷ | ۰/۰۰ | ۰/۲۳ | -۰/۴۰ | -۰/۲۲ | -۰/۰۳ |
| ضعف ساختاری یا فیزیکی | ۰/۶۹ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۳۸ | -۰/۳۴ | -۰/۳۶ | -۰/۳۱ | ۰/۱۱ | -۰/۰۸ |
| مشکلات ریشه | ۰/۳۶ | ۰/۵۹ | -۰/۱۶ | -۰/۳۵ | -۰/۴۶ | -۰/۰۷ | ۰/۳۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ |
| پوسیدگی پیشرفته | ۰/۶۷ | -۰/۳۰ | -۰/۰۰ | -۰/۴۸ | ۰/۳۱ | -۰/۱۱ | -۰/۱۴ | ۰/۲۷ | ۰/۰۶ |
| زخم | ۰/۲۴ | ۰/۵۹ | ۰/۴۲ | ۰/۱۷ | ۰/۴۴ | -۰/۳۵ | ۰/۲۱ | -۰/۰۵ | ۰/۰۲ |
| وزن‌دهی | ۰/۳۸ | ۰/۴۹ | -۰/۵۱ | ۰/۳۵ | ۰/۲۴ | ۰/۳۵ | ۰/۰۲ | ۰/۱۸ | -۰/۰۰ |

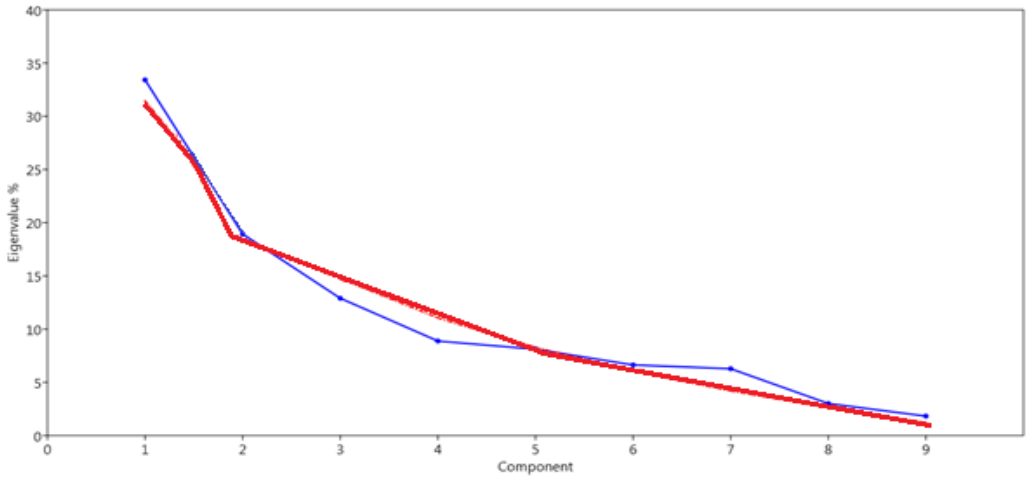
همانطور که در جدول ۳ نشان داده شد، محور اول ۳۳/۴۲ درصد، محور دوم ۱۸/۹۳ درصد و روی هم رفته ۵۲/۳۵ درصد از تغییرات از کل را این دو محور نشان می‌دهد. در تشکیل مولفه‌های اول و دوم پارامترهای میانگین قطر درخت و زخم بالاترین ضرایب را دارند که نشان دهنده تاثیر بیشتر این پارامترها در تشکیل مولفه اول و دوم هستند. با توجه به این که دو مولفه اصلی بیش از ۵۲ درصد از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کند، در صورت استفاده از معیار درصد واریانس، برای تحلیل روابط بین متغیرها، دو مولفه اول انتخاب شدند. در شکل ۳ در نمودار حاصل از مولفه‌های اصلی، ویژگی‌های ورودی کمی و کیفی و وزن‌دهی توسط پیکان‌هایی نشان داده شده‌اند. نوک پیکان جهت حداکثر تغییرات و طول آن‌ها بیانگر میزان تغییرات آن‌ها است (قهساره اردستانی و همکاران، ۱۳۸۹). محور اول همبستگی مثبت با متغیرهای قطر درخت (۰/۸۲۷)، ارتفاع درخت (۰/۸۰۰)، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده (۰/۳۷۳)، ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم) (۰/۶۹۳)، پوسیدگی پیشرفته (۰/۶۷۴) و محور دوم همبستگی مثبت با شکاف یا ترک (۰/۵۸۲)، مشکلات ریشه (۰/۵۹۳)، زخم (۰/۶۰۰) و وزن‌دهی (۰/۴۹۶) را در جدول (۴) نشان می‌دهد. در تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار متغیر (قطر درخت، ارتفاع درخت، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده و پوسیدگی پیشرفته) در پایین محور اول و در سمت راست واقع شدند. پنج متغیر (ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، مشکلات ریشه، زخم روی تنه، شکاف یا ترک و وزن‌دهی) در بالای محور اول در سمت راست در شکل ۳ واقع شدند. دو مولفه اول و دوم روی هم رفته بیشترین درصد تغییرات از کل را نشان می‌دهند. همچنین در شکل ۴ مولفه اول و دوم دارای مقادیر ویژه هستند که بالای منحنی عصای شکسته (خط نقطه چین قرمز) قرار گرفته‌اند و می‌توانند نشان دهنده اختلاف معنی‌داری باشند. در این صورت این محورها به خاطر اینکه مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از عصای شکسته هستند قابل تفسیر هستند (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱).

## ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد خطرآفرینی درختان :

لایه ورودی شبکه عصبی متشکل از ۹ نورون شامل داده‌های خصوصیات کمی و عیوب درختان نارون مورد مطالعه (ارتفاع درخت، قطر درخت، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، مشکلات ریشه، پوسیدگی پیشرفته، زخم، شکاف یا ترک و تماس با خطوط انتقال برق) و یک لایه پنهان ۵ نورون و خروجی شبکه نیز یک نورون شامل طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون در شکل ۵ است. تعداد تکرار شبکه ۱۰۰ 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 ۲ تا ۷ در ۶ بار متوالی عدم بهبود را شاهد است و شبکه متوقف شده است. نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی در شکل ۶ قسمت الف آورده شده است. ضریب تبیین ($R^2$) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی، ارزیابی و در نهایت تمامی داده‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۴۷، ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۶ و ۰/۹۶۲ به دست آمد. میانگین مربعات خطا (MSE) برای آموزش، تست و ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۰۱۶، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۴ محاسبه گردید. در شکل ۷ قسمت الف داده‌های واقعی و خروجی شبکه یا مقادیر پیش‌بینی شبکه از ابتدا تا انتها آورده شده است.




**شکل ۳- آنالیز مولفه اصلی (PCA) درختان نارون (A: قطر درخت، B= ارتفاع درخت، C: شاخه و سر شاخه‌های خشکیده، D: شکاف یا ترک، E: ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، F: مشکلات ریشه، G: پوسیدگی پیشرفته، H: زخم، I: وزن‌دهی معیارهای خطرآفرینی، •: درخت نارون، Component: مولفه)**

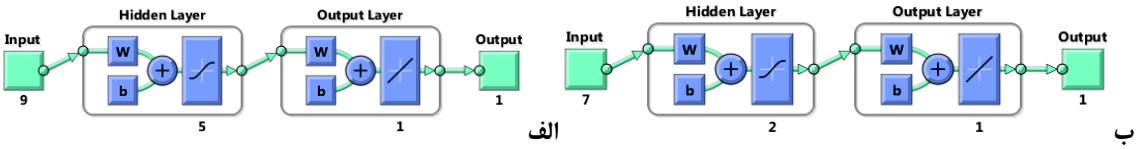



**شکل ٤- نمودار آزمون بریدگی در روش تجزیه و تحلیل مولفه اصلی(خط قرمز نمودار عصای شکسته) (Component : مولفه، Eigenvalue: ارزش ویژه)**

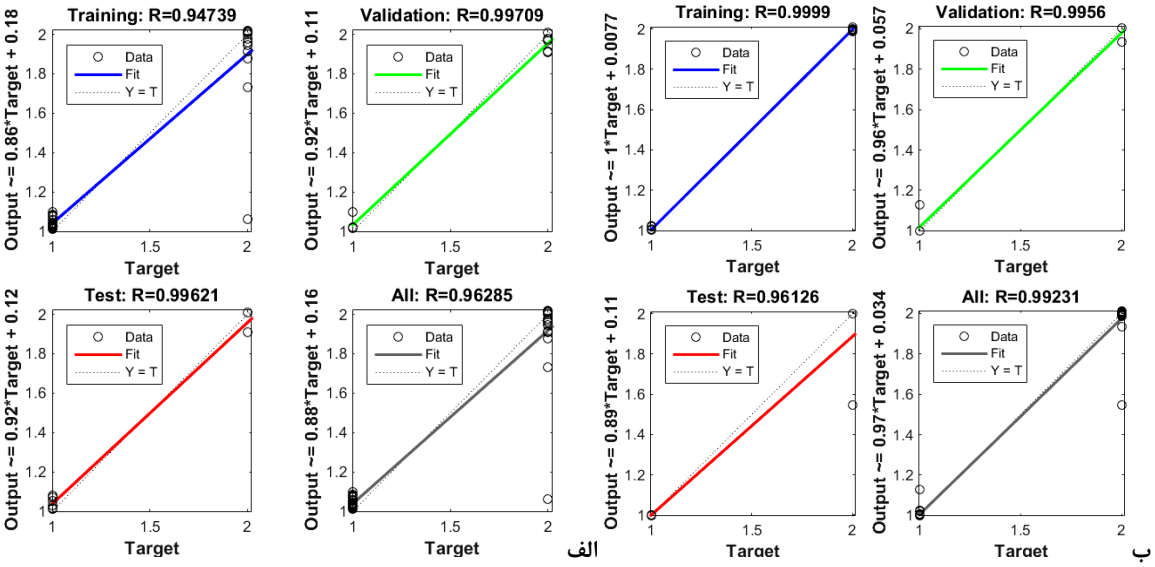
براساس سهم هر یک از معیارهای خطرآفرین در درختان نارون مورد مطالعه، آنالیز PCA و آزمون همبستگی از بین متغیرهای کمی، قطر درخت و از بین متغیرهای کیفی، متغیر تماس با خطوط انتقال برق حذف گردید. لایه ورودی شبکه عصبی متشکل از ۷ نورون شامل داده‌های خصوصیات کمی و عیوب درختان نارون (ارتفاع درخت، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده، وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم)، مشکلات ریشه، پوسیدگی پیشرفته، زخم و شکاف یا ترک) و یک لایه پنهان ۲ نورون و خروجی شبکه نیز یک نورون شامل طبقه شدت خطرآفرینی درختان نارون در شکل ۵ است. تعداد تکرار شبکه ۱۰۰۰ دور در نظر گرفته شد. با اجرای شبکه پیش‌بینی برای داده‌های ورودی انجام پذیرفت. شبکه بعد از ۱۱ اپوک (تکرار) به مقدار هدف تعیین شده رسید. در تکرار ۶ تا ۱۱ در ۶ بار متوالی عدم بهبود را شاهد است و شبکه متوقف شده است. نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی در شکل ۶ آورده شده است. ضریب تبیین بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی، ارزیابی و در نهایت تمامی داده‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۹۹، ۰/۹۹۶، ۰/۹۶۱ و ۰/۹۹۲ به دست آمد. میانگین مربعات خطا برای آموزش، تست و ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۲۵ محاسبه گردید. در شکل ۷ داده‌های واقعی و خروجی شبکه یا مقادیر پیش‌بینی شبکه از ابتدا تا انتها آورده شده است.

**جدول ٥- همبستگی بین متغیرهای کمی و کیفی و وزن‌دهی درختان نارون(نکته:اگر دو متغیر همبستگی بالای ۰/۷± داشته باشند تنها یکی از آن‌ها برای ورود به مدل انتخاب می‌شود. *، ** در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار هستند)**

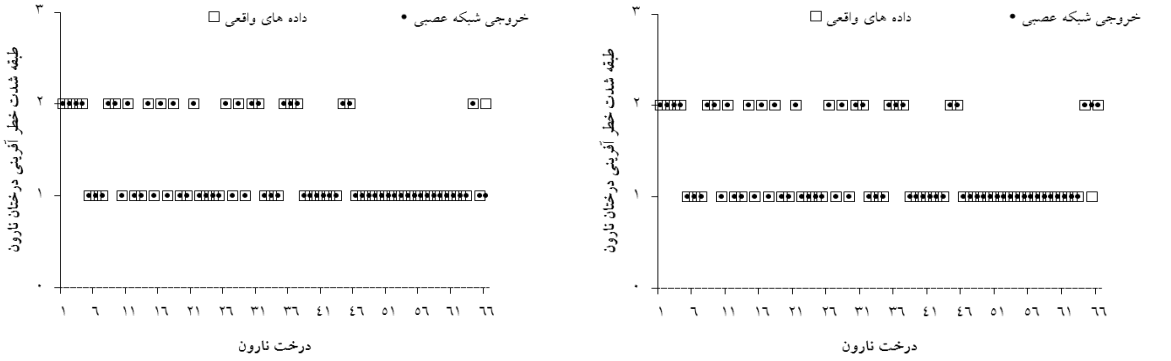
| متغیر | قطر | ارتفاع | شاخه و سرشاخه‌های خشکیده | شکاف و ترک | وضعیت و ضعف ساختاری | مشکلات ریشه | پوسیدگی پیشرفته | زخم | تماس با خطوط انتقال برق | وزن‌دهی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قطر | ۱/۰۰۰ | | | | | | | | | |
| ارتفاع | ۰/۷۸۸** | ۱/۰۰۰ | | | | | | | | |
| شاخه و سرشاخه‌های خشکیده | ۰/۲۳۸ | ۰/۲۷۵* | ۱/۰۰۰ | | | | | | | |
| شکاف و ترک | ۰/۱۵۱ | ۰/۱۲۲ | ۰/۲۰۵ | ۱/۰۰۰ | | | | | | |
| وضعیت و ضعف ساختاری | ۰/۵۶۴** | ۰/۳۸۴** | ۰/۲۲۱ | ۰/۲۹۸* | ۱/۰۰۰ | | | | | |
| مشکلات ریشه | ۰/۱۰۹ | ۰/۱۰۴ | -۰/۰۳۴ | ۰/۴۱۷** | ۰/۲۱۱ | ۱/۰۰۰ | | | | |
| پوسیدگی پیشرفته | ۰/۵۱۵** | ۰/۶۲۲** | ۰/۱۵۱ | ۰/۲۷۸* | ۰/۲۷۵* | ۰/۰۶۹ | ۱/۰۰۰ | | | |
| زخم | -۰/۰۴۵ | -۰/۰۰۹ | ۰/۱۷۰ | ۰/۳۴۹** | ۰/۱۵۷ | ۰/۲۱۲ | ۰/۰۲۸ | ۱/۰۰۰ | | |
| تماس با خطوط انتقال برق | ۰/۲۴۸* | ۰/۱۷۳ | -۰/۱۵۹ | ۰/۳۲۸** | ۰/۲۱۲ | ۰/۲۷۴* | ۰/۰۱۵ | ۰/۲۰۷ | ۱/۰۰۰ | |
| وزن‌دهی | ۰/۵۰۹** | ۰/۴۷۹** | ۰/۴۱۱** | ۰/۶۰۰** | ۰/۵۸۵** | ۰/۴۹۹** | ۰/۴۸۳** | ۰/۵۲۳** | ۰/۵۱۸** | ۱/۰۰۰ |




**شکل ٥- ساختار مدل‌سازی شبکه عصبی، (الف) کل متغیرها یا قبل از کاهش متغیرها، (ب) بعد از کاهش متغیرها (حذف دو متغیر قطر درخت و تماس با خطوط انتقال برق)**




**شکل ٦:- نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی، (الف) کل متغیرها یا قبل از کاهش متغیرها، (ب) بعد از کاهش متغیرها (حذف دو متغیر قطر درخت و تماس با خطوط انتقال)**




**شکل ۷- داده‌های واقعی دو طبقه شدت خطرآفرینی درخت نارون مورد مطالعه و خروجی شبکه عصبی، (الف) کل متغیرها یا قبل از کاهش متغیرها، (ب) بعد از کاهش متغیرها (حذف دو متغیر قطر درخت و تماس با خطوط انتقال برق)**

## ٤- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت جهانی جنگل‌های شهری و تاثیری که بر مردم جهان دارند، نیاز به تمرکز بیشتری بر خطرات محیطی بالقوه در بین درختان خطرآفرین وجود دارد. بنابراین نیاز به پیمایش این درختان توسط کارشناسان بیماری‌های درختان، مدیران جنگل‌های شهری و متخصصان مربوطه برای درک نحوه دریافت و ارتباط خطرآفرینی درختان در جنگل‌های شهری وجود دارد. این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی طرح‌های آتی و ارزیابی و کاهش خطرات محیطی، مفید باشد . مهم‌ترین معیار خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه، معیار وضعیت و ضعف ساختاری یا ضعف فیزیکی (انحراف از راستای قائم) با ۵۱ درصد که درجه اهمیت خطر کم (۴۷٪) و متوسط (۴٪) را در جدول

۱ شامل می‌گردد. اگر این درختان با معایب دیگری به عنوان نمونه زخم، پوسیدگی پیشرفته درگیر باشند، خطر سقوط را افزایش می‌دهند که با مطالعات پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۱) و بانج شفیعی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد و باید در برنامه‌های مدیریت فضای سبز شهر، درختان خطرآفرین از لحاظ هرس و قطع مورد بررسی قرار گیرند. دومین معیار مهم خطرآفرینی درختان نارون، معیار زخم با ۴۹ درصد که فقط با درجه اهمیت خطر کم همراه است که در حدود ۱۰ درصد از محیط کل تنه و نیمی از درختان نارون مورد مطالعه را در جدول ۱ در بر می‌گیرد، نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۴). معیار زخم از دیگر معیارهای خطرآفرینی است که شایان ذکر است ار آنجا که درختان دارای پوسیدگی ظاهری به طور معمول پوسیدگی درونی ریشه و تنه نیز دارند، این موضوع دارای اهمیت زیادی است و باید مورد توجه قرار گیرد (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به سهم معیار ضعف ساختاری یا فیزیکی (انحراف از راستای قائم) و به دلیل مسن بودن درختان نارون خیابان سیدعلیخان اصفهان و با توجه به سهم قابل توجه معیار پوسیدگی پیشرفته در آن‌ها، باید به ضعف ساختاری (انحراف از راستای قائم) توجه خاصی نمود. این گونه درختان اگر با عیب‌های دیگری من جمله پوسیدگی پیشرفته همراه باشند بسیار خطرناک خواهند بود و باید قطع شوند که با مطالعه پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. با توجه به اینکه در بیشتر درختان نارون مورد مطالعه سرشاخه‌ها یا شاخه‌های فرعی خشکیده هستند (در طبقه خطر کم ۴۰٪) در مورد این درختان هرس سبک و قطع شاخه‌های خشکیده احساس می‌شود. در حال حاضر بهترین و مناسب‌ترین راهکار برای تصحیح عیب‌های درختان، اصلاح و ترمیم تاج، هرس است (بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۴).با توجه به اینکه بین تعداد درختان در ۴ طبقه خطرآفرینی (فاقد خطر یا سالم، خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد) اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد که نتایج مشابه و متفاوتی توسط سایر محققان گزارش شده است (بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۴؛ پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به اینکه پارامتر وزن‌دهی با برخی از متغیرهای کمی و کیفی درختان نارون مورد مطالعه ارتباط دارد بنابراین نتایج به دست آمده در هر منطقه قابل تعمیم به مناطقی با شرایط مشابه است. با شناخت متغیرهای کمی و کیفی موثر بر معیار خطرآفرینی درخت نارون هر منطقه می‌توان در جهت مدیریت فضای سبز شهری آن مناطق برنامه‌ریزی گردد که در راستای پیشنهاد پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۱) است . متغیرهای قطر و ارتفاع درخت در شکل ۳ نمودار PCA در مقایسه با سایر متغیرها دارای پیکان بزرگتری هستند و همبستگی بیشتری با یکدیگر و با متغیر پوسیدگی پیشرفته درختان نارون مورد مطالعه دارند و تاثیر بیشتری بر تغییرات درختان می‌گذارند. پارامتر شکاف یا ترک و وزن‌دهی نسبت به سایر عوامل کیفی و کمی همبستگی بالا و مثبت داشته‌اند. یافته‌های این مطالعه با نتایج پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۱) و بانج شفیعی و همکاران (۱۳۹۴) که بیان نمودند متغیرهای مشکلات ریشه و شکاف یا ترک بر تغییرات پارامتر وزن‌دهی تاثیر می‌گذارند، همخوانی دارد. در تحقیق حاضر استفاده از شبکه عصبی MLP با یک لایه پنهان شامل ۵ نورون با تابع سیگموید در لایه میانی و یک نورون با تابع انتقال خطی در لایه خروجی برای کل متغیرها دقیق و موثر تشخیص داده شد به صورتی که ضریب همبستگی ($R^2$) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای تمامی داده‌ها برابر ۰/۹۶۲ 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 (جهانی، ۱۳۹۵). استفاده از شبکه عصبی MLP با یک لایه پنهان شامل ۲ نورون با تابع سیگموید در لایه میانی و یک نورون با تابع انتقال خطی در لایه خروجی بعد از کاهش یاحذف متغیرها دقیق و موثر تشخیص داده شد به صورتی که ضریب همبستگی بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای تمامی داده‌ها برابر ۰/۹۹۲ به دست آمد (احسان زاده و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به ضریب تبیین و حداقل میزان میانگین مربعات خطا (MSE) آزمون داده‌ها دقت شبکه عصبی در پیش‌بینی خطرآفرینی درختان نارون مورد مطالعه از سطح مطلوبی برخوردار است که نشان دهنده توانایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده است. خروجی شبکه عصبی و واقعی بر هم منطبق هستند و دال بر کیفیت خوب شبکه است که با یافته‌های جهانی (۱۳۹۵) و شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد.به طور کلی سه متغیر زخم، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده و پوسیدگی پیشرفته از مهم‌ترین متغیرهای موثر در دو روش معیار تشخیص خطرآفرینی و تجزیه و تحلیل مولفه اصلی برای ارزیابی خطرآفرینی درختان نارون در منطقه مورد مطالعه است.حذف دو متغیر در ورودی مدل نشان دهنده این مطلب است که تاثیر قابل توجهی در پیش‌بینی ریسک سقوط درختان خطرآفرین نارون نداشته ولی ضریب همبستگی کل را افزایش می‌دهد. همچنین کاهش متغیرهای ورودی در مدل شبکه عصبی مصنوعی باعث کاهش تعداد تکرارهای آموزش شبکه برای رسیدن به شبکه بهینه می‌شود و زمان رسیدن به شبکه عصبی بهینه کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و ارزیابی مطلوب مدل شبکه عصبی پرسپترون قبل و بعد از کاهش متغیرها می‌توان پیشنهاد نمود که استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای پیش‌بینی شدت خطرآفرینی درختان شهری با توجه به تعیین خطای آموزشی می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب و سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و از نتایج آن می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت فضای سبز شهری و اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی استفاده نمود.

## منابع


- احسان زاده، ع.، نژاد کورکی، ف.، طالبی، ع. ۱۳۹۵. مقایسه کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، رگرسیون مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه در مدل‌سازی شاخص کیفیت هوای شهری، محیط شناسی، شماره۳: ص ۴۵۵-۴۷۳.
- ارباب، ع.، جلالی سندی، ج.، صحراگرد، ا. ۱۳۸۲. جنبه‌هایی از بیواکولوژی سوسک برگخوار نارون Xanthogaleruca luteola Mull (Col.; Chrysomelidaea)، علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۴، شماره ۳۴: ص ۸۴۷-۸۵۴.
- بانج شفیعی، ع. صمدزاده‌گرگری، خ.، سیدی، ن.، علیجانپور، ا. ۱۳۹۴. بررسی کمی و کیفی و مقدار خطر آفرینی درختان چنار شهر ارومیه"، مجله پژوهش و توسعه جنگل، شماره۴: ص ۳۱۹-۳۳۵.

- بیات، م.، نمیرانیان، م.، امید، م.، رشیدی، آ.، بابایی، س. ۱۳۹۵. کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در برآورد موجودی سرپای توده-های جنگلی، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره۲ : ص ۲۱۴-۲۲۶.
- پارسامهر، ا. ح.، خسروانی، ز. ۱۳۹۶. تعیین شدت خشکسالی با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای TOPSIS (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۴، شماره ۱: ص ۱۶-۲۹.
- پورهاشمی، م.، خسروپور، ا.، حیدری، م. ۱۳۹۱. ارزیابی خطرآفرینی درختان چنار .Platanus orientalis Linn خیابان ولیعصر تهران، مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، شماره ۳: ص ۲۶۵-۲۷۵.
- جهانی، ع. ۱۳۹۴. مدل سازی آشفتگی انبوهی جنگل در ارزیابی محیطی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره ۲۴: ص ۳۱۰-۳۲۲.
- جهانی، ع. ۱۳۹۵. مدل‌سازی ریسک سقوط درختان چنار خطرآفرین در فضای سبز شهری، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۴: ص ۳۵-۴۸.
- حسن زاد ناورودی، ا.، نمیرانیان، م.، زاهدی امیری، ق. ۱۳۸۳. بررسی رابطه بین ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی طبیعی راش با عوامل رویشگاه(منطقه اسالم)، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۲: ص ۲۳۵-۲۴۸.
- رستم نیا، م.، آخوندزاده هنزائی، م. ۱۳۹۵. بررسی خشکیدگی مخاطره آمیز درختان جنگلی استان ایلام با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، شماره ۶: ص ۱۴۴-۱۳۱.
- زبیری، م. ۱۳۹۱. آماربرداری در جنگل (اندازه گیری درخت و جنگل)، دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- شیخ الاسلامی، ع.، باقری خلیلی، ف.، محمودآبادی، ع. ۱۳۹۱. کاهش متغیرهای ورودی در فرآیند مدل سازی تصادفات آزادراهها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مهندسی حمل و نقل، دوره۳: ص ۳۲۵-۳۳۸.
- قهساره اردستانی، ا.، بصیری، م.، ترکش، م.، برهانی، م. ۱۳۸۹. بررسی مدل های توزیع فراوانی تنوع گونه ای و ارتباط عوامل محیطی با شاخص تنوع گونه ای هیل $N_1$ در چهار مکان مرتعی استان اصفهان، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۶۳: ص ۳۸۷-۳۹۷.
- مجنونیان، ه. ۱۳۷۴. مباحثی پیرامون پارکها، فضای سبز و تفرجگاه‌ها، چاپ اول. تهران. سازمان پارک ها و فضای سبز شهر تهران.
- Abdul-Wahab, S. A.; et al. 2005. Pricipal component and multiple regression analysis in modeling of ground-level ozone and factors affecting its concentrations, Environmental Modeling and Software, Vol. 20(10), P. 1263-1271. DOI 10.3390/w6082412.
- Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city, Landscape and Urban Planning, Vol. 68, P. 129-138. DOI 10.1016/j.landurbplan.2003.08.003.
- Duryea, M.L., et al. 2007. Hurricanes and the urban forest: I. Effects on southeastern United States coastal plain tree species, Arboricult. Urban Forestry. Vol. 33(2), P. 83-97.
- Mortimer, M.J., Kane, B. 2004. Hazard tree liability in the United States: uncertain risks for owners and professionals, Urban Forestry andUrban Greening, Vol. 2(3), P. 159-165.
- Ravi Raja, A. 2016. Principal component analysis based assessment of trees outside forests in satellite images, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9(S1), P. 1-6.
- Sjöberg, L., et al. 2004. Explaining risk perception. An evaluation of the psychometric paradigm in risk perception research, Trondheim.
- Wassenaer, P.V., Richardson, M. 2009. A review of tree risk assessment using minimally invasive technologies and two case studies, Arboriculture Journal, Vol. 32, P. 275-292. DOI 10.1080/03071375.2009-9747583.