

# تحلیل میزان اثرگذاری عوامل زیست محیطی بر رویش قطری راش (*Fagus orientalis lipsky*) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در جنگل‌های استان مازندران

محمود بیات<sup>۱\*</sup>، فاطمه گرزین<sup>۲</sup> و مجید حسنی<sup>۳</sup>

۱. استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۲)

## چکیده

رویش قطری و حجمی توده‌های جنگلی اساس تعیین میزان برش سالانه در برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری چوب از جنگل بوده و تعیین آن و عوامل مؤثر بر روی آن یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در جنگل است. در این پژوهش با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی، تأثیر متغیرهای محیط‌زیستی بر رویش قطری راش در قطعات نمونه ثابت در جنگل‌های شمال ایران، برای یک دوره نه ساله (۱۳۹۱-۱۳۸۲)، مدل‌سازی و تخمین زده شد. با استفاده از یک شبکه آماری ۱۵۰×۲۰۰ تعداد ۲۵۸ قطعه نمونه دائم ۱۰ آری دایره شکل و در مجموع ۱۸۹۵ نمونه برداشت شد. میانگین متغیرهای رویش قطری، سطح مقطع توده، مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف و تعداد در هکتار در داخل قطعه نمونه اندازه‌گیری شد که به ترتیب برابر ۳۰/۹، ۳۶/۸، ۲۹/۴ و ۴۲۱ به دست آمد. متغیرهای محیطی از قبیل مقدار انرژی تابشی نور خورشید در فصل رویش، شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع بالای نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده، سرعت باد و متغیرهای زیستی مثل متوسط قطر برابر سینه و سطح مقطع برابر سینه به عنوان متغیرهای ورودی بوده و رویش قطری به عنوان متغیر خروجی شبکه عصبی استفاده شد. شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا به همراه توابع سیگموئیدی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتایج به ترتیب، شاخص تغییرات قطر برابر سینه (۳۲ درصد)، ترکیب عوامل توپوگرافی و شاخص رطوبت خاک (۱۹/۵ درصد) و سطح مقطع برابر سینه (۱۶/۹ درصد) تغییرات رویش قطری راش را در سطح قطعه نمونه تعریف می‌کنند. باد و انرژی تابشی خورشید در فصل رویش نیز مجموعاً ۲۰ درصد تغییرات رویش قطری راش در سطح قطعات نمونه را تعریف می‌کنند. شبکه عصبی، دقت لازم را برای مدل‌سازی رویش قطری با استفاده از عوامل زیست محیطی مؤثر بر آن ارائه داد. همچنین درصد اثرگذاری عوامل محیطی و زیستی حدوداً یکسان بود که می‌توان نتیجه گرفت عوامل زیستی و محیطی به صورت تقریباً مساوی رویش قطری راش را کنترل می‌کنند.

**کلید واژگان:** پرسپترون چندلایه، رویش جنگل، قطعه نمونه ثابت، متغیرهای زیست محیطی، مدیریت منابع طبیعی.

## ۱. مقدمه

رویش قطری و حجمی توده‌های جنگلی اساس تعیین میزان یا برش سالانه در برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری چوب از جنگل به حساب آمده (Tabari et al., 2007) و تعیین رویش جنگل و عوامل مؤثر بر آن یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در جنگل است (Bang et al., 2010)، به عبارتی پیش‌بینی رشد و عملکرد توده، یک پیش‌نیاز اساسی برای برنامه‌ریزی مدیریت جنگل در هر سطح است (Zhang et al., 2014). یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت جنگل در زمینه تولید چوب و بهره‌برداری، محاسبه رویش جنگل و عوامل تعیین‌کننده مؤثر بر آن است. رویش جنگل معمولاً به وسیله عوامل زیستی و غیرزیستی تعیین می‌شود (Goudriaan, 1977; Bayat et al., 2013). گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) قریب به یک سوم از وسعت و به همین نسبت حجم سرپا را در توده‌های آمیخته و تا حدودی خالص جنگل‌های شمال ایران تشکیل داده است (Marvi Mohdajer, 2013). هم‌اکنون بیشتر راشستان‌ها تحت مدیریت طرح‌های جنگلداری قرار گرفته‌اند و با رویکرد جدید جنگل‌شناسی مبتنی بر پرورش گروه‌ها و پایه‌ها اداره می‌شوند. این گونه به وجود شرایط طبیعی و شبه‌کلیماکس وابستگی شدیدی دارد و به تغییراتی که در محیط ایجاد می‌شود حساس است. نور از عوامل مهمی است که بر خصوصیات کمی و کیفی نهال‌های راش تأثیر دارد. طبق مطالعات صورت گرفته، بهترین زادآوری در جنگل راش با ایجاد حفره‌هایی به قطر ۲۰ متر در تاج‌پوشش درختان راش، ایجاد می‌شود (Marvi Mohdajer, 2013). از نظر میزان بارندگی، جنگل‌های راش اسالم در غربی‌ترین بخش‌های جنگل خزری، جزء پرباران‌ترین جنگل‌های راش کشور محسوب می‌شوند که به تدریج به سمت شرق از میزان بارندگی کاسته شده به طوری که در گرگان این مقدار بارش به نصف کاهش می‌یابد (Marvi Mohdajer, 2013).

تغییرات مکانی و زمانی در متغیرهای غیرزیستی از قبیل تشعشعات خورشید، دمای هوای نزدیک به سطح زمین، آب و مواد غذایی در خاک، با پیدایش جوامع گیاهی یک سرزمین مرتبط بوده و تقسیم‌بندی گونه‌های گیاهی را طی بلند مدت در منطقه تعیین می‌کند (Pausas & Austin, 2001). ترکیب دقیق متغیرهای غیرزیستی در اکوسیستم‌های مختلف متفاوت است که منجر به ایجاد تغییرات رویش قطری درختان در سطح محلی می‌شود. در جنگل‌های با تاج‌پوشش بسته استوایی، شبکه‌های هیدرولوژی و ارتفاع بالا از نزدیکترین نقطه زهکشی شده، عوامل منطقی در مدل‌سازی برای سازمان‌دهی مکانی این مناطق هستند (Detto et al., 2013; Schietti et al., 2014). در حالی که در مناطق معتدله کوهستانی در جنگل‌های ساحلی (جذر و مدی)، بادهای مرسوم و رژیم حرارتی منطقه در ساختار تنوع زیستی و رویش در جنگل نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند (Pausas and Austin 2001; Sprugel and Bormann, 1982). در نتیجه، برای درک مکانیسم‌های اکولوژیکی مؤثر بر روند تغییر مدیریت زمین در مقیاس‌های متداول (برای مثال از ۳۰ متر تا دو کیلومتر)، بررسی اهمیت نسبی فاکتورهای زیست محیطی بر تغییرات رویش، ضروری به نظر می‌رسد. تعیین رویش و فاکتورهای محیطی به تنهایی و فقط با اندازه‌گیری‌های زمینی در سطوح بزرگ اغلب بسیار مشکل و در بعضی مواقع غیرممکن است (Kerr & Ostrovsky., 2003). امروزه استفاده از مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای بررسی و تعیین رویش جنگل و عوامل زیست محیطی مؤثر بر آن بسیار رایج گردیده است. کاربرد مدل برای مدیریت بهتر جنگل، از مهمترین عواملی است که مدل‌سازی را توجیه می‌کند. مدل‌های ایجاد شده، میزان رویش و عوامل مؤثر بر آن را مشخص کرده و بهترین گزینه را ارائه می‌دهند و در بعضی از مواقع می‌توان آینده جنگل را نیز به کمک آن پیش‌بینی کرد. به عبارت دیگر، پیچیده بودن عوامل مؤثر در تعیین

الگوریتم لورنبرگ-مارکوارت برای حجم پوست کاج برآزش شد. نتایج حاکی از وجود آریبی در فرضیه‌ها و مقادیر بالای خطا بود. سپس مدل‌سازی حجم پوست کاج را با استفاده از شبکه عصبی همبستگی آبخار پیش‌خور انجام داد. نتایج نشان داد مدل‌های حاصل از شبکه عصبی مصنوعی به دلیل داشتن توانایی‌هایی از قبیل غلبه بر مشکلاتی مانند روابط غیر خطی، توزیع غیر نرمال و داده‌های پرت و نویزدار در داده‌های جمع‌آوری شده از جنگل، نسبت به مدل‌های رگرسیونی برتر هستند. تکنیک شبکه عصبی مصنوعی معرفی شده در این مطالعه به‌طور کلی دارای پتانسیل زیادی برای بسیاری از برنامه‌های مدل‌سازی بوده و ابزاری مفید به‌عنوان جایگزین مدل‌های سنتی رگرسیون است. Diamantopoulou و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی پارامترهای تابع وایبول را برای مدل‌سازی توزیع قطر درخت با استفاده از حداقل مربعات و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در توده‌های جنگلی همسن *Crimean Juniper* در جنوب و جنوب غربی ترکیه استفاده کردند. نتایج محاسبات آن‌ها نشان داد که روش شبکه عصبی قابل اعتمادترین برآورد را جهت روش حداکثر احتمال<sup>۱</sup> با بهبود پارامترهای توزیع وایبول ارائه می‌دهد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که به نظر می‌رسد این روش، یک جایگزین مؤثر به‌جای تجزیه و تحلیل رگرسیون جهت برآورد پارامترهای تابع وایبول و ارائه یک روش برآورد دقیق برای مدل‌های رشد و عملکرد جنگل که هر دو برای برنامه‌ریزی مدیریت جنگل حیاتی‌اند. در پژوهشی دیگر Pequeno Reis و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از شبکه عصبی به پیش‌بینی رشد درختان در شرق منطقه آمازون پرداختند. آن‌ها از آمارهای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۲ استفاده کرده و شاخص‌های مختلف رقابتی نیمه-مستقل<sup>۲</sup> را وارد مدل کردند. نتایج نشان داد که همه شبکه‌های عصبی همبستگی بالای ۰٫۹۹، RMSE زیر

پارامتر موردنظر اعم از عوامل کمی و کیفی، ضرورت ایجاد مدل را برای پیش‌بینی‌های مورد نظر نمایان می‌کند (Bayat et al., 2013; Bourque & Bayat, 2015). استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی در جنگل و منابع طبیعی با توسعه سیستم‌های خبره برای حل مسئله و تصمیم‌گیری شروع شد (Coulson et al., 1987). کاربرد شبکه‌های عصبی برای کشف روابط حاکم بین عناصر اکوسیستم، کمی کردن آن عناصر و ارتباط آن‌ها با تخریب اکوسیستم در اثر توسعه، احتمال خطر در تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌های توسعه را کاهش می‌دهد، زیرا این تکنیک به عنوان یکی از سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت جنگل شناخته می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی برگرفته از ساختارهای عصبی بیولوژیکی مغز انسان هستند و تاکنون در مطالعات گسترده‌ای در زمینه محیط‌زیست به کار گرفته شده‌اند (Jahani et al., 2015).

Blackard و Dean (۱۹۹۹) در تحقیقی، به مقایسه دقت شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تفکیک در پیش‌بینی تیپ جنگل با استفاده از متغیرهای کارتوگرافی پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی پیش‌خور در تیپ‌بندی جنگل دارای دقت بالاتری است. Jensen و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های سنجش از دور، پیش‌بینی سن *Pinus teda* را در جنگل‌های برزیل، توسط روش‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج حاکی از عملکرد بهتر شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های رگرسیونی بود. Hasenauer و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی به مرگ و میر توده‌های نوئل با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. نتایج نشان داد شبکه پرسپترون چندلایه و شبکه همبستگی آبخار با الگوریتم پس انتشار بهترین پیش‌بینی را انجام می‌دهند و جایگزین مناسبی برای روش متداول لاجیت هستند. Diamantopoulou (۲۰۰۵) در تحقیقی به برآورد حجم پوست درخت کاج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخت. پنج مدل رگرسیون غیرخطی را با استفاده از

<sup>1</sup> Maximum likelihood

<sup>2</sup> Different Semi-independent Competitive Indicators

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

بخش گرازبن به وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار، سومین بخش از جنگل خیرود تحت مدیریت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در هفت کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. در این سری حداقل ارتفاع از سطح دریا ۶۰۰ متر و حداکثر آن به ۱۳۸۰ متر می‌رسد. سنگ مادر بخش گرازبن، آهکی بوده و در بعضی نقاط، طبقات سخت و طبقات نرم و به طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. طبق نقشه وزارت نفت، سنگ مادر این سری به دوران ژوراسیک علیا تعلق دارد. خاک این بخش در تقسیم‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است. بخش گرازبن در محدوده راشستان‌های هیرکانی قرار دارد که به علت دخالت‌های مستمر گذشته فراوانی ممرز در توده‌های راش به وفور دیده می‌شود و جوامع طبیعی راش در قسمت‌هایی به تیپ راش - ممرز تغییر یافته است. از سایر گونه‌های همراه با این تیپ در پارسل‌های مورد مطالعه می‌توان به بلوط، توسکا و افرا اشاره کرد. برای تشریح وضعیت اقلیم منطقه از ضریب آمبرژه (Q2) استفاده گردید که این ضریب برای منطقه مورد بررسی برابر ۲۰۳ است و با مراجعه به میانگین درجه حرارت حداقل در سردترین ماه سال ( $m = -3/5$ ) و اقلیم‌نگار آمبرژه اقلیم منطقه مورد بررسی مرطوب سرد تعیین گردید. در سیستم اقلیمی دومارتون، بخش گرازبن با داشتن ضریب خشکی معادل ۸۲/۶، دارای اقلیم مرطوب نوع ب سرد است (Forestry plan of Gorazbon, 1998). شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و شبکه آماربرداری را نشان می‌دهد.

### ۲.۲. روش انجام پژوهش

#### ۱.۲.۲. نحوه پراکنش و پیاده سازی قطعه نمونه -

#### ها و اندازه‌گیری در سطح قطعات

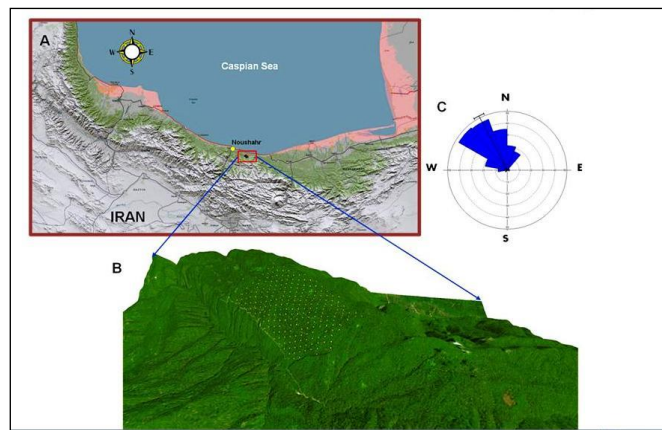
با استفاده از یک شبکه آماربرداری  $200 \times 150$  (الگوی اجرایی آماربرداری برخی از حوضه‌های آبخیز جنگل‌های

۱۱٪ و EF بالای ۰/۹۸ داشتند. آن‌ها در نهایت بیان کردند که با توجه به این پیش‌بینی رشد می‌توان نتیجه گرفت که شبکه‌های عصبی می‌توانند به طور کارآمدی در کمک به مدیریت جنگل‌ها استفاده شده و بنابراین با بهره‌گیری از آن، می‌توان از پایداری محیط‌زیستی و اقتصادی برای مدیریت پایدار جنگل اطمینان حاصل کرد. Ghanbari و همکاران (۲۰۰۹) توانایی شبکه عصبی را در پیش‌بینی تعداد در هکتار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که توانایی شبکه عصبی در پیش‌بینی تعداد در هکتار خوب بوده و همچنین این روش می‌تواند تغییرات تعداد در هکتار جنگل را با استفاده از خصوصیات توپوگرافی تا ۶۵٪ پیش‌بینی کند. Gorzin و همکاران (۲۰۱۷) به پیش‌بینی حجم صنعتی و هیزمی درختان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی حجم بود. Bayat و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای دیگر به بررسی کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در برآورد موجودی سرپای توده‌های جنگلی پرداختند. نتایج کارایی شبکه عصبی پس انتشار را در برآورد موجودی سرپای و برتری روش نوین شبکه عصبی را به روش تحلیل رگرسیون نشان داد.

در پژوهش حاضر هدف استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یکی از مهم‌ترین زیر مجموعه‌های هوش محاسباتی جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی عوامل زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری راش است. با این هدف عوامل توصیفی (متغیرهای زیست‌محیطی) مورد استفاده، با فرض اینکه دارای بیشترین همبستگی با متغیر پاسخ هستند به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای ورودی نوروپای‌های پردازش‌گر محسوب شده که در شبکه موردنظر با تبادل اطلاعات، متغیر پاسخ را با حداکثر دقت پیش‌بینی می‌کنند و در نهایت فاکتورهای زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری راش با استفاده از شبکه‌های عصبی تعیین می‌شود.

در ارتفاع برابر سینه، قطری بزرگتر از ۷/۵ سانتی‌متر داشتند به کمک خط‌کش دو بازو اندازه‌گیری و مقادیر آن‌ها در طبقات یک سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد. محل اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان توسط رنگ قرمز مشخص و آزیموت هر یک از درختان از طبقه‌گذاری ۵ سانتی‌متری به بالا نسبت به مرکز قطعه نمونه برداشت گردید. این عملیات پس از گذشت نه سال مجدداً تکرار و پس از اتمام کار نسبت به انجام محاسبات لازم اقدام شد.

شمال کشور)، در مجموع ۲۵۸ قطعه نمونه دائم ۱۰ آری دایره شکل، در سال ۱۳۸۲ توسط گروه جنگلداری دانشگاه تهران به منظور تهیه طرح جنگلداری بخش گرازین در قسمت قابل بهره‌برداری بخش گرازین به مساحت ۹۳۴/۲۴ هکتار آماربرداری گردید و در سال ۱۳۹۱ نیز عملیات توسط نویسندگان مقاله تکرار شد. در مجموع ۱۸۹۵ درخت نمونه برداشت شد و مختصات، قطر برابر سینه و سطح مقطع برای آن‌ها محاسبه شد. در داخل قطعه نمونه، قطر برابر سینه تمام درختان زنده که



شکل ۱. موقعیت بخش گرازین حوضه آبخیز جنگل خیرود در حوضه‌های آبخیز شمال کشور

رطوبت خاک، بافت خاک، نیتروژن، پتاسیم و فسفر (موادی که به صورت میکرو در خاک هستند) و با استفاده از الگوریتم مورفی و همکاران این شاخص را برآورد کردند (Murphy et al., 2011).

#### ۲,۲,۲,۲. شاخص رطوبت توپوگرافی

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)<sup>۱</sup> ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه است و بنابراین مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک در حوضه‌ها را با فرض برابر بودن شیب آب زیرزمینی با شیب سطح زمین، تقریب می‌زند. مناطقی که

#### ۲,۲,۲. متغیرهای محیطی مورد بررسی و روش

##### محاسبه آن‌ها

#### ۱,۲,۲,۲. ارتفاع از نزدیکترین نقطه زهکشی شده زمین

HNDP<sup>۱</sup> برابر است با فاصله عمودی بین سطح خشک بالای نقطه تا سطح مبنا (سطح آب) که اندازه‌گیری پتانسیل زهکشی را تسهیل می‌کند.  $HNDP=0$  نشان دهنده سطح و مقدار زیاد آب و مقدار HNDP بزرگ، نشان دهنده خشک بودن و کم بودن سطح آب است. زهکشی حاصل تجزیه و تحلیل داده‌های خاک-شناسی به دست آمده از طرح جنگلداری بخش گرازین و داده‌های به دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که با اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر این شاخص مثل

<sup>۱</sup> Height above Nearest Drainage Point

<sup>۲</sup> Topographic Wetness Index

ارتفاع نزدیکترین نقطه زهکشی شده و شاخص رطوبت توپوگرافی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Murphy et al., 2011).

### ۳،۲،۲،۲. مجموع تشعشعات خورشیدی در طول

#### فصل رویش

تشعشعات خورشیدی در دسترس (مستقیم و پخش) پراکنش و رویش درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر می‌دهد (Pausas & Austin, 2001). گونه‌های نورپسند از قبیل توس و افرا در صورت درجه ابرناکی بالا و نبود نور نسبت به گونه‌های سایه‌پسند از قبیل راش از رویش کمتر برخوردار هستند، به ویژه در مناطقی که عمدتاً نور کمتری در دسترس است. حساسیت به نور در بعضی از نهال‌ها و بذر پهن‌برگان در مرحله نهالی تا بلوغ متفاوت است (Tabari et al., 2007). تشعشعات خورشیدی این پتانسیل را دارند که رویش و پراکنش درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر دهند. تشعشعات خورشیدی ورودی، تابعی از محاسبات مدل رقومی زمین، شیب، جهت، فاکتور دید، زاویه افق، فاکتورهای تشکیل زمین، هندسه خورشید-زمین، زاویه نوردهی و محاسبات جریان نور در بالای اتمسفر است. روش استخراج میزان تشعشعات از محاسبات مدل لندست در محیط ArcGIS که دارای قابلیت مشابه در تولید چنین سطوحی است، گرفته شده است.

### ۴،۲،۲،۲. درجه حرارت هوا

متابولیسم یا سوخت و ساز گیاهی، رویش و غنای گونه‌ای از درجه حرارت تأثیر می‌پذیرند (Pausas & Austin, 2001). متغیرهای فیزیولوژیکی مرتبط با فوسنتز گیاهی و رویش در گونه‌های گیاهی جواب متفاوت به درجه حرارت اتمسفر و گرمای فصلی جمع شده مرتبط می‌دهند. به این دلیل پراکنش گیاهی می‌تواند رابطه منطقی و مناسبی با شاخص ورودی حرارت سالیانه داشته باشد. در این مطالعه از میانگین

در یک حوضه مقدار TWI مشابهی داشته باشند، در صورتی که شرایط محیطی دیگر آن‌ها (مانند خاک، پوشش گیاهی) یکسان باشد، فرض می‌شود که پاسخ هیدرولوژیکی مشابهی به باران داشته باشند و می‌توانند یکسان تلقی شوند (Rahimifar et al., 2011). توپوگرافی، آب، خاک و بارندگی را دوباره پخش و پراکنده کرده و در نتیجه سطوحی از شاخص رطوبت توپوگرافی می‌تواند به تنهایی از مدل رقومی زمین توسعه یابد. روش‌های محاسبه شاخص رطوبت توپوگرافی متغیر هستند. در اینجا روش جریان ماده پخمان استفاده شده است. با توجه به فرمول  $As, TWI = \ln(As/\tan(\beta))$ ، شیب در مساحت ویژه مشارکت داده شده و  $\tan(\beta)$ ، شیب در امتداد جهت جریان است.

ارتفاع نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده (HNDP) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) به عنوان نماینده‌ای از مقدار آب خاک هستند. گونه‌های درختی از نظر نیاز به آب در خاک و بردباری به آن متفاوتند (Bang et al., 2010). زمانی که مقدار آب در داخل خاک (SWC)<sup>۱</sup> محدود یا سطح آب اشباع برای دوره‌های زمانی متمادی طول می‌کشد، فتوسنتز و رویش گیاه کاهش می‌یابد تا تحمل‌پذیری گیاه به حدی برسد که بتواند بر شرایط موجود پیروز شود. آب بهینه خاک باعث کارایی بهتر و جذب بیشتر مواد غذایی خاک شده، اجازه افزایش عکس‌العمل‌های زیستی-شیمیایی و تولید زیست‌توده را داده و در پراکنش گونه‌ای نقش بسیار مهمی بازی می‌کند (Chavez, 1988). از آنجا که حجم آب خاک با زهکشی ارتباط زیادی به خصوص در مجاورت کانال‌های زهکشی دارد و شاخص رطوبت توپوگرافی ارتباط نزدیکی در مورد خصوصیات جریان آب در خاک دارد، ترکیب دو متغیر HNDP و TWI به عنوان معرف مقدار آب در خاک، منطقی و معقول به نظر می‌رسد. در مجموع برای تشریح و توضیح جریان آب سطحی مرتبط با فرایندها و طرح‌های سیمای سرزمین جنگلی، شاخص

<sup>1</sup> Soil Water Content

باشد. باد معمولاً در مطالعات غنای گونه‌ای به علت سختی تخمین و برآورد سرعت و جهت مکانی آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. در این مطالعه با استفاده از مدل رقومی زمین منطقه مورد مطالعه، از شبیه‌سازهای محاسباتی کامپیوتری پویایی جریان برای مدل کردن جریان باد در سطح پیچیده زمین استفاده شده است. این متغیر بر اساس معادله‌های سه بعدی نویر-استوکس (3D Navier-Stokes equations) مدل خواهد شد. بر پایه یکی شدن اثرات آشفتگی جوی و فرآیندهای حرارتی، محاسبات مدل بر اساس مرز متناسب شده سیستم مختصاتی خواهد بود.

#### ۷،۲،۲،۲. داده‌های اقلیمی

متغیرهای اقلیمی مانند حداکثر، حداقل و میانگین درجه حرارت، رطوبت و سرعت باد استفاده شد. به علت اینکه نمی‌توان از داده‌های اقلیمی که در سطح شهر و در ارتفاعات پایین توسط ایستگاه‌های هواشناسی ثبت شده‌اند، برای ارتفاعات استفاده کرد، باید از داده‌های چند ایستگاه که در نزدیکی منطقه مورد مطالعه است، استفاده شود که حداقل یکی از آن‌ها در ارتفاعی برابر با منطقه مورد مطالعه باشد. در این مطالعه از داده‌های سه ایستگاه هواشناسی شهر بابلسر، رامسر و سیاه‌بیشه مربوط به سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۶۴ به روش درون‌یابی استفاده شد، تا تغییرات ارتفاع از سطح دریا مد نظر قرار گیرد.

#### ۳،۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

##### ۱،۳،۲. نرمال‌سازی داده‌ها

برای افزایش دقت و سرعت فرآیندهای شبکه‌های عصبی، این داده‌ها نرمال شدند. برای این منظور از نرمال‌سازی خطی طبق رابطه ۱، استفاده شد. با استفاده از این رابطه کلیه داده‌ها بین بازه صفر تا یک قرار گرفتند. که در این رابطه  $\bar{X}$  داده نرمال شده،  $X_i$  داده مورد استفاده و  $X_{min}$  و  $X_{max}$  کمترین و بیشترین داده در منطقه مورد نظر است (Soltani et al., 2010).

درجه حرارت در فصل رویش به عنوان شاخصی از حرارت ورودی در فصل رویش در بلند مدت استفاده گردید. تغییرات عمودی در درجه حرارت بر پایه این نظریه است که درجه حرارت محیط هر یک کیلومتر  $6/5$  درجه تغییر می‌کند و درجه حرارت اولیه سطح زمین در نوشهر  $21/2$  است (Bourque & Bayat, 2015).

#### ۵،۲،۲،۲. رطوبت نسبی

رطوبت نسبی به صورت مستقیم بر روابط آبی گیاه (Campbell & Norman, 1998) و غیرمستقیم بر رویش جوانه‌ها، فتوسنتز، گرده افشانی و تولیدات زی‌توده اثر می‌گذارد (Bassow & Bazzaz, 1998). متغیرهای فیزیولوژیکی با تبخیر، تعرق و رویش گیاه در ارتباط هستند. محاسبه رطوبت نسبی بر اساس نرخ تغییر درجه حرارت با تغییر ارتفاع و ثبات رطوبت نسبی در  $100$ ، در یک هوای اشباع انجام می‌شود. رطوبت نسبی در یک هوای اشباع شده کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن این واقعیت که فقط تعداد محدودی از ایستگاه‌های اقلیمی رطوبت نسبی را ثبت کردند که اغلب در ارتفاعات پایین بوده است، نقشه‌های رطوبت نسبی بر اساس اصول مشهور هواشناسی مرتبط با جابه‌جایی‌های هوای مرطوب وابسته به کوه، توسعه و ارائه شدند (Bourque & Matin, 2012). محاسبات بلند مدت رطوبت نسبی بر پایه مدل رقومی زمین انجام خواهد شد که در یک رفتار مشابه در ارتباط با تغییرات مکانی رطوبت نسبی در اثر تغییرات توپوگرافی، جهت و بادهای رایج و درجه حرارت فصل رویش در ارتفاعات پایین صورت می‌پذیرد.

#### ۶،۲،۲،۲. باد

یکی از متغیرهای مهم محیطی است که میزان اهمیت آن در تأثیر بر تولیدات گیاهی و پتانسیل حضور گیاهان، برابر با سایر عوامل است. سرعت باد می‌تواند عواقب مثبت و منفی بر روی رویش هم از نقطه نظر فیزیولوژیکی و هم از نظر آشفتگی‌های مکانیکی داشته

### ۳,۳,۲. ارزیابی عملکرد شبکه

جهت بررسی و آزمون اعتبار مدل‌های حاصل از شبکه و رگرسیون، از معیارهای ضریب تبیین ( $R^2$ ) (رابطه ۲) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۳) استفاده شد. از لحاظ آماری هر چقدر مقدار آماره RMSE کمتر باشد، طبیعتاً برآوردهای انجام شده توسط مدل تخمین دارای دقت بیشتری خواهد بود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - y_{fi})^2}{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_{fi})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - y_{fi})^2}{n}} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه بالا  $y_o$  و  $y_f$  به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و برآورده شده پارامتر مورد نظر با شبکه و  $n$  تعداد کل داده‌های استفاده شده است.

### ۳. نتایج

برای تعیین رویش قطری از ۱۸۹۵ اصله درخت دو بار اندازه‌گیری شده استفاده شد. سطح مقطع توده و تعداد در هکتار درختان در پلات بسیار متغیر است که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات داده‌های مورد استفاده در تعیین رویشی قطری

متغیر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
تعداد درخت در هکتار	۱۲۲۰	۲۰	۴۲۱	۲۴۱
سطح مقطع توده (مترمربع در هکتار)	۱۱۳	۰	۳۶/۸	۱۴
میانگین قطری (سانتی‌متر)	۱۷۵	۱۴	۳۰/۱	۱۰/۹
قطر (سانتی‌متر)	۱۸۸	۷	۳۰/۹	۲۴/۷
مجموع سطح مقطع قطورتر از درخت هدف (مترمربع در هکتار)	۱۱۳	۰	۲۹/۴	۱۴/۵

$$\bar{X} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad \text{رابطه ۱}$$

### ۲,۳,۲. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

#### (Multi-Layer Perceptron)

در این مطالعه از شبکه پرسپترون چند لایه که معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل می‌شود، استفاده شد. در این مدل تمامی نرون‌های یک لایه به تمامی نرون‌های لایه بعد متصل هستند و یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهند. دو نوع تابع فعال‌سازی متداول برای مدل‌های پیش‌بینی و تقریب تابع، توابع سیگموئید و تانژانت هیپربولیک هستند که برای آموزش شبکه در لایه پنهان از تابع سیگموئیدی استفاده گردید که نرمال‌سازی را بین (۰/۹ -) انجام می‌دهد (Soltani et al., 2010). برای لایه خروجی تابع خطی BiasAxon استفاده شد. این نوع تابع در مواردی که دامنه خروجی نامحدود است و ماهیت مسئله به صورت رگرسیون بوده، همچنین پاسخ مطلوب تابع پیوسته از ورودی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Soltani et al., 2010). پس از آماده‌سازی داده‌ها، از نرم افزار NeuroSolutions 5 جهت طراحی و آموزش شبکه‌ها استفاده شد و کلیه معماری‌های بررسی شده در این محیط طراحی و اجرا شدند. برای مدل‌سازی داده‌ها به سه قسمت آموزش، اعتبارسنجی و آزمون تقسیم شدند که نسبت هر کدام به ترتیب برابر با ۷۰٪، ۱۵٪ و ۱۵٪ بود.



نمونه برداری به صورت مستقیم با قطعات ثابت در دو دوره آمار برداری به دست آمده است. رویش قطری ۹ ساله اکثر درختان بین ۱۰-۰ سانتی متر است.

ترکیب داده‌های زیستی و محیطی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین رویش قطری نه ساله راش به عنوان متغیر وابسته، ۲/۹۲ سانتی متر است که از

جدول ۲. ترکیب داده‌های زیستی و متغیرهای محیطی مورد استفاده در تعیین متغیرهای مؤثر بر رویش قطری

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	تعداد
رویش قطری (سانتی متر)	۰	۱۰	۲/۹۲	۲/۴۲۹	۱۸۹۵
میانگین مقدار انرژی تابشی خورشیدی در دسترس (مگاژول بر مترمربع)	۳۱۳۳/۹۶	۴۵۸۷/۴۳	۴۲۹۱/۷۹	۲۳۶/۵۹۰	۱۸۹۵
میانگین مقدار آب خاک (درصد)	۰/۲۸۵۲	۰/۹۶۰۱	۰/۳۸	۰/۱۳۴	۱۸۹۵
متوسط درجه حرارت فصلی (سانتی گراد)	۱۴/۵	۱۷/۳	۱۵/۲۷	۰/۳۷۵	۱۸۹۵
متوسط شاخص رطوبت توپوگرافی (بدون بعد)	-۴/۴۶	۴/۴۵	-۰/۶۱	۱/۳۹۸	۱۸۹۵
متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه)	۰/۱۶۸۸	۱۰/۰۱۸	۳/۱۷	۲/۱۸۳	۱۸۹۵
سطح مقطع توده (سانتی متر مربع)	۰	۱۱۳	۴۱/۹۵	۱۶/۰۴۷	۱۸۹۵
مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف (سانتی متر مربع)	۰	۱۱۳	۳۲/۰۰	۱۷/۱۸۵	۱۸۹۵
قطر برابر سینه به سانتی متر (سانتی متر)	۷	۱۸۸	۳۰/۹	۳۰/۳۳۲	۱۸۹۵

از متغیرهایی که اندازه گیری آن‌ها مشکل است، کمک فراوانی می‌کند. ارزش‌های روی محور قطر جدول نشان‌دهنده همبستگی بین دو متغیر یکسان است که برابر با ۱ است.

در جدول (۳) همبستگی پیرسون بین تمام متغیرهای زیست محیطی بررسی شده است که تأثیر مهمی در فهم روابط بین متغیرها دارد. وجود همبستگی یا عدم وجود همبستگی بین متغیرها در بررسی و اندازه گیری هر یک

جدول ۳. بررسی همبستگی پیرسون بین تمام متغیرهای زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری

متغیر	رویش قطری	مقدار انرژی تابشی خورشیدی در دسترس	میانگین مقدار آب خاک	متوسط درجه حرارت فصلی	متوسط شاخص رطوبت توپوگرافی	متوسط سرعت باد	مجموع سطح مقطع توده	مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف
رویش قطری	۱/۰۰۰	۰/۰۳۳	-۰/۰۷۲	۰/۱۲۲	۰/۱۳۸	-۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	-۰/۱۸۲
مقدار انرژی تابشی خورشیدی در دسترس	۰/۰۳۳	۱/۰۰۰	-۰/۰۲۸	۰/۲۴۷*	۰/۰۳۰	-۰/۲۷۸*	-۰/۲۴۷*	-۰/۲۳۸*
میانگین مقدار آب خاک	-۰/۰۷۲	-۰/۰۲۸	۱/۰۰۰	۰/۰۸۹	-۰/۲۹۹*	-۰/۳۱۸*	۰/۰۶۳	۰/۰۵۶
متوسط درجه حرارت فصلی	۰/۱۲۲	۰/۲۴۷*	۰/۰۸۹	۱/۰۰۰	۰/۳۰۸*	-۰/۲۶۴*	-۰/۱۶۵	-۰/۱۷۸
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۱۳۸	۰/۰۳۰	-۰/۲۹۹*	۰/۳۰۸*	۱/۰۰۰	-۰/۲۰۷*	-۰/۰۰۷	-۰/۰۳۵
متوسط سرعت باد	-۰/۰۱۵	-۰/۲۷۸*	-۰/۳۱۸*	-۰/۲۶۴*	-۰/۲۰۷*	۱/۰۰۰	-۰/۰۳۶	-۰/۰۲۵
سطح مقطع توده	۰/۰۱۸	-۰/۲۴۷*	۰/۰۶۳	-۰/۱۶۵	-۰/۰۰۷	-۰/۰۳۶	۱/۰۰۰	۰/۷۳۴*
مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف	-۰/۱۸۲*	-۰/۲۳۸*	۰/۰۵۶	-۰/۱۷۸	-۰/۰۳۵	-۰/۰۲۵	-۰/۰۳۵	۱/۰۰۰

\*: معنی داری در سطح ۹۵ درصد

رویش قطری، BAL مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف، BA سطح مقطع توده، W سرعت باد، TWI شاخص رطوبت توپوگرافی و T متوسط درجه حرارت فصلی است.

در جدول ۴ ضریب همبستگی، ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده، انحراف معیار و تغییرات آماری برای مدل رگرسیونی  $id = \exp(-5/405 + 0.047BAL + 0.047BA - 0.041W - 0.255TWI + 0.34T)$  که از عوامل زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری استخراج شد، ارائه شده است، که در آن

جدول ۴. ضریب همبستگی، ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده برای مدل رگرسیونی متغیرهای محیط زیستی مؤثر بر رویش قطری

مدل	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> اصلاح شده	انحراف معیار	تغییرات آماری
					F آماره
۱	۰/۴۵۱ <sup>a</sup>	۰/۲۰۳	۰/۱۹۸	۲/۱۷۴	۴۰/۰۵۸

a: متغیرهای مستقل: متوسط درجه حرارت فصلی، متوسط شاخص رطوبت توپوگرافی، متوسط سرعت باد، سطح مقطع توده، مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف

همان طور که مشخص است میزان معناداری مدل بسیار بالا و قابل قبول است.

جدول ۵ جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیونی عوامل زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری را نشان می‌دهد.

جدول ۵. جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیونی متغیرهای زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری را نشان می‌دهد

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معناداری
رگرسیون ۱	۱/۷۲۲	۵	۰/۳۴۴	۱۷/۵۳۷	۰/۰۰۰ <sup>b</sup>
باقی مانده	۳۷/۱۰۰	۱۸۸۹	۰/۰۲۰		
مجموع	۳۸/۸۲۲	۱۸۹۴			

b: متغیر وابسته: رویش قطری

مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف در هکتار و قطر برابر سینه به سانتی متر معنی دارترین متغیرهای تأثیرگذار بر رویش قطری هستند.

در جدول (۶) ضرایب مدل رگرسیونی عوامل زیست محیطی مؤثر بر رویش قطری را نشان می‌دهد و مقدار ثابت مدل آورده شده است. سطح مقطع برابر سینه در هکتار،

جدول ۶. ضرایب مدل رگرسیونی متغیرهای زیست محیطی تأثیرگذار بر رویش قطری را نشان می‌دهد

مدل	ضرایب استاندارد		t	معناداری
	B	انحراف معیار		
ضریب ثابت	-۵/۴۰۵	۲/۶۰۵	-۲/۰۷۵	۰/۰۳۸*
متوسط درجه حرارت فصلی	۰/۳۴۸	۰/۱۵۶	۲/۲۳۶	۰/۰۲۵*
متوسط شاخص رطوبت توپوگرافی	-۰/۲۵۵	۰/۰۹۱	-۲/۸۰۱	۰/۰۰۵**
متوسط سرعت باد	-۰/۰۴۱	۰/۰۰۸	-۵/۱۹۴	۰/۰۰۰***
سطح مقطع توده	۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	۵/۵۸۱	۰/۰۰۰***
مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف	۰/۰۴۷	۰/۰۰۳	۱۴/۵۲۸	۰/۰۰۰***

\*: معنی داری در سطح ۹۵ درصد    \*\*: معنی داری در سطح ۹۹ درصد

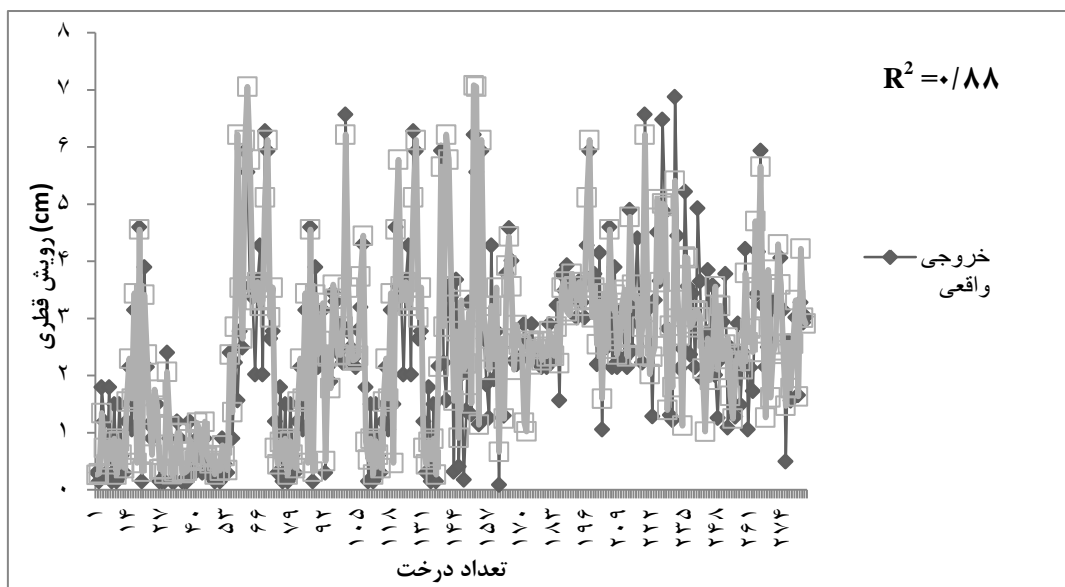
معماری شد. انتخاب تعداد نورون‌ها در لایه‌های پنهان با آزمون و خطا به دست آمد، به نحوی که بهترین ترکیب از تعداد نورون‌ها با توجه به میزان  $R^2$  و RMSE حاصل شود. در نهایت شبکه‌ای با معماری یک لایه ورودی، چهار لایه مخفی و یک لایه خروجی به عنوان برترین توپولوژی جهت مدل‌سازی، طراحی و اجرا شد. شکل (۲) دقت شبکه مورد استفاده در مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۷، در توپولوژی‌های مختلف با انتخاب تابع Tansig به جای Logsig در لایه خروجی، دقت مدل پیش‌بینی بهتر شده است. توپولوژی‌های مختلف با ترکیب‌های متنوعی از ورودی‌هایی مثل قطر برابر سینه (D) مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف (BAL)، سرعت باد (W)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و متوسط درجه حرارت فصلی (T)

جدول ۷. مدل‌سازی رویش قطری راش با استفاده از عوامل زیست محیطی مؤثر بر آن توسط شبکه عصبی مصنوعی

مدل	لایه ورودی	توپولوژی شبکه	تعداد نورون در لایه‌های پنهان	Epoch	R2	RMSE
۱	w	Tansig - Logsig	۲-۴	۶	۰/۷۲	۸/۸
۲	BAL	Logsig - Tansig	۴-۶	۱۳	۰/۷۵	۸/۵
۳	D	Logsig - Tansig	۴-۱	۱۶	۰/۷۵	۸/۵
۴	W*TWI*	Logsig - Logsig	۵-۸-۴	۱۲	۰/۷۷	۸/۴
۵	T*TWI*BAL	Logsig - Tansig	۵-۸-۱	۹	۰/۸	۸/۴
۶	T*W*TWI*BAL*D	Logsig - Tansig	۶-۸-۷-۱	۱۴	۰/۸۸	۸/۴

Epoch: تعداد دور رفت و برگشت،  $R^2$ : ضریب تبیین، RMSE: میانگین مربعات خطا



شکل ۲. دقت مدل مورد استفاده در پیش‌بینی رویش قطری

عوامل توپوگرافی و شاخص رطوبت خاک (۱۹/۵ درصد) و سطح مقطع برابر سینه توده (۱۶/۹ درصد) تغییرات

نتایج این تحقیق و مدل نشان دادند که به ترتیب، شاخص تغییرات قطر برابر سینه (۳۲ درصد) ترکیب

متغیرهای زیستی یعنی سطح مقطع توده در قطعات نمونه و شاخص تغییرات قطر برابر سینه بیشتر است. در جدول ۸ حداکثر و حداقل درصد تأثیر متغیرهای زیستی و غیر زیستی بر رویش قطری راش نشان داده شده است.

رویش قطری راش را در سطح قطعۀ نمونه تعریف می‌کنند. به طور کلی مجموع اثرات عوامل غیر زیستی از قبیل انرژی تابشی خورشید در فصل رویش، شاخص رطوبت توپوگرافی، سرعت باد و دمای هوا بر تغییرات رویش قطری راش تا حدودی نسبت به مجموع اثرات

جدول ۸. درصد تأثیر متغیرها به صورت فردی و مجموع (زیستی و غیرزیستی) بر رویش قطری راش در یک دوره نه ساله

اثر (درصد)	تابش تشعشعات خورشیدی		دمای هوا	رطوبت توپوگرافی	سطح مقطع توده		شاخص تغییرات قطر برابر سینه
	حداکثر	حداقل			سرعت باد	در سطح قطعۀ نمونه	
حداکثر	۴۰/۲	۲۵/۳	۴۲/۷	۲۸/۱	۴۲/۳	۲۹/۶	
حداقل	۱۱/۲	۸/۳	۱۹/۵	۱۱/۸	۱۶/۹	۳۲/۳	
مجموع میانگین		۵۰/۸				۴۹/۲	

$DBH_{max}$  حداکثر قطر برابر سینه که در داده‌ها و مرور منابع وجود دارد (در اینجا ۲۰۰ سانتی‌متر است). (Tabari et al., 2005; Tabari et al., 2007)

مناسبت‌ترین رابطه آموزش دیده شده است که از این لحاظ دارای یک مزیت منحصر به فرد نسبت به سایر روش‌ها است (Samarasinghe, 2006). پیروی خروجی‌های مدل از الگوی خروجی‌های واقعی در نمودار حاصل از دقت مدل نیز گویای تناسب شبکه با مسئله داده شده با توجه به متغیرهای مؤثر ورودی بر متغیر خروجی است. همچنان که تا کنون نیز ارتباط میان حجم و قطر، سطح مقطع، ارتفاع، شیب، جهت و فاصله بین درختان به طور موفقیت‌آمیزی با استفاده از شبکه عصبی مدل‌سازی شده است (Jensen et al., 1999; Blackard & Dean, 1999; Hasenauer et al., 2001; Diamantopoulou, 2005). از میان متغیرهای موجود، متغیرهای متوسط درجه حرارت فصلی، شاخص رطوبت توپوگرافی، سرعت باد، سطح مقطع توده، مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف، معنادار شدند که هر یک می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر رویش قطری در جنگل بگذارد. وجود رابطه منفی بین رویش قطری و مجموع سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف در هکتار نشان دهنده تأثیر منفی رقابت بین پایه‌ها بر رویش قطری است، در نتیجه با افزایش سطح مقطع بزرگتر از درخت هدف، رویش

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

برای برآورد و پیش‌بینی دقیق نیاز به ابزاری است که به وسیله آن تمام عوامل اعم از کمی و کیفی مورد ملاحظه قرار گیرند. مقایسه معیارهای ارزیابی مدل رگرسیونی و شبکه عصبی حاکی از ناکارآمدی آنالیز رگرسیون چندمتغیره جهت تعیین رویش قطری توسط عوامل زیست محیطی مؤثر در مقابل شبکه عصبی مصنوعی است که با نتایج Bayat و همکاران (۲۰۱۵)، Bayati و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. این موضوع را می‌توان به علت عدم وابستگی شبکه‌های عصبی به فرض‌های اولیه در مورد داده‌ها نسبت داد، زیرا ممکن است بین داده‌ها روابط غیرخطی وجود داشته باشد که رگرسیون قادر به پیش‌بینی آن نیست. بررسی نتایج ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی MLP با توابع انتقال سیگموئیدی توانایی پیش‌بینی رویش قطری درخت را دارد. مدل‌سازی به کمک شبکه عصبی بر علت توانایی در کشف روابط میان داده‌ها بدون نیاز به فرضیات در مورد شکل تابع اتصالات به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه برای پیدا کردن

کاهش می‌یابد.

همبستگی منفی میان سرعت باد و رویش قطری حاکی رابطه عکس میان دو متغیر بوده به این معنی که کاهش سرعت باد منجر به افزایش رویش قطری درختان می‌شود، همان‌طور که نتایج بانگ و همکاران نشان داد که کاهش سرعت باد باعث افزایش بهره‌وری گیاهان می‌شود (Bang et al., 2010). در این تحقیق سرعت باد ۲/۴ متر بر ثانیه است که شرایط بهینه رویش گیاهی است. آشفته‌گی‌های مزمین فیزیکی جنگل که در سرعت‌های زیاد باد در نزدیکی سطح زمین ایجاد می‌شود باعث ایجاد ناهمگونی‌های مکانی شده، بنابراین سبب تکثیر و ازدیاد گونه‌ای در مناطق تحت تأثیر می‌شود. در منطقه مورد مطالعه پدیده رویش با پراکنش رژیم‌های بادی غالب در ارتباط هستند. سرعت بادهای تاریخی به علت تغییر اقلیم در ارتفاعات بالا نسبت به ارتفاعات پایین سریع‌تر رو به کاهش است که پتانسیلی برای تأثیرگذاری بر روی فرایندهای زیستی فیزیکی (برای مثال پراکنش باد، تبخیر و تعرق و رژیم پراکنش) و رویش در ارتفاعات بالای جنگل‌های شمال ایران است. تأثیر رژیم‌های بادی و مقدار آب خاک (SWC) که در اثر تأثیر متقابل شاخص ارتفاع از نزدیکترین نقطه زه‌کشی شده و شاخص خیسی توپوگرافی بر رویش هستند قبلاً مشخص شد. اثرات کلی آن‌ها بر رویش نسبت به اثر باد کمتر است. مناطقی با HNDP کمتر از حالت بهینه (۰ تا ۲ متر)، مقدار آب خاک اشباع شده و سرعت پایین باد، رویش پایینی دارند که این حالت در قطعات نمونه‌ای که راش نسبت به گونه‌های دیگر چیره و حالت انحصاری است، مشخص‌تر است. راش‌هایی که در مناطقی از سیمای سرزمین که قسمت زیادی از فصل رویش خیس و پرآب هستند، رویش بسیار پایینی داشته و در یک دوره ۹ ساله بر اساس اندازه‌گیری‌های سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲ تقریباً ۱/۳ سانتیمتر رویش قطری داشته است. به طور کلی مجموع اثرات عوامل غیر زیستی از قبیل انرژی تابشی خورشید

در فصل رویش، شاخص رطوبت توپوگرافی، سرعت باد و دمای هوا بر تغییرات رویش قطری راش تا حدودی نسبت به مجموع اثرات متغیرهای زیستی یعنی سطح مقطع توده در قطعات نمونه و شاخص تغییرات قطر برابر سینه بیشتر است که با نتایج حاصل از مطالعه Bassow و Bazzaz (۱۹۹۸)، مطابقت دارد. بیشترین مقدار کنترل را قطر برابر سینه اولیه که همان پتانسیل رویش درخت است بر عهده دارد. متغیر شاخص رطوبت توپوگرافی نیز دومین عامل مؤثر بر رویش قطری بوده، همان‌طور که بوروک و بیات در مطالعه خود آن را صرف‌نظر از کوچک بودن مقدار عددی آن در مقابل اثر باد، یک متغیر حیاتی در ایجاد تنوع محلی برای غنای گونه‌ها دانسته‌اند (Bourque & Bayat, 2015). سطح مقطع توده نیز (۱۶/۹ درصد) در رویش قطری راش تأثیرگذار است، همچنان که فن و همکاران نیز در بررسی خود به ارتباط منفی معنی‌دار میان سطح مقطع و بقای درختان دست یافتند (Fan et al., 2017). با توجه به مجموع درصد اثرگذاری عوامل محیطی و زیستی در نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که عوامل زیستی و محیطی به صورت تقریباً مساوی رویش قطری راش را کنترل می‌کنند، همچنان که در مطالعات مختلف نیز در نظر گرفتن هر دو عوامل زیستی و محیطی را جهت بررسی بقای درخت ضروری دانسته‌اند (Fan et al., 2017). مدیریت عوامل و متغیرهای زیستی می‌تواند تأثیر مثبتی در رویش قطری راش در آینده داشته باشد. همچنان که با تنک کردن‌ها و عملیات‌های پرورشی مناسب تا حدودی می‌توان رقابت را کاهش داده و به افزایش رویش قطری کمک فراوانی کند (Pausas & Austin, 2001). همچنین عملیات‌های پرورشی و تنک‌سازی‌های به‌جا، در میزان دریافت انرژی تابشی خورشید تأثیر گذاشته که خود باعث بهبود شرایط رویش می‌شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود این تکنیک برای دیگر گونه‌ها در مناطق مختلف با توجه به شرایط محیطی متفاوت بررسی شود.

## References

- Bang, C., Sabo, J.L., Faeth, S.H., 2010. Reduced wind speed improves plant growth in a desert city. *PLoS One* 5, 1-8.
- Bassow, S.L., Bazzaz, F.A., 1998. How environmental conditions affect canopy leaf-level photosynthesis in four deciduous tree species. *Ecology* 79, 2660-2675.
- Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M., Zobeiri, M., 2013. Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania. *European journal of Forest Research* 132, 851-864.
- Bayat, M., Namiranian, M., Omid, M., Rashidi, A., Babayi, S., 2016. Applicability of artificial neural network for estimating the forest growing stock. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 24, 214-226 (In Persian).
- Blackard, J.A., Dean, D.J., 1999. Comparative accuracies of artificial neural networks and discriminate analysis in predicting forest cover types from cartographic variables. *Computers and Electronics in Agriculture* 24, 231-251.
- Bourque, Ch., Bayat, M., 2015. Landscape Variation in Tree Species Richness in Northern Iran Forests. *PLOS ONE* 10, 1-17.
- Bourque, CP-A., Matin, M.A., 2012. Seasonal snow cover in the Qilian Mountains of Northwest China: Its dependence on oasis seasonal evolution and lowland production of water vapor. *Hydrology* 455, 141-151.
- Campbell, G.S., Norman, J.M., 1998. An introduction to environmental biophysics. Springer Verlag, New York, 306 pp.
- Coulson, R.N., Folse, J.L., Loh, D.K., 1987. Artificial intelligence and natural resource management. *Science* 237, 262-267.
- Detto, M., Muller-Landau, H.C., Mascaro, J., Asner, G.P., 2013. Hydrological networks and associated topographic variation as templates for the spatial organization of tropical forest vegetation. *PLoS ONE* 8, 1-13.
- Diamantopoulou, M.J., 2005. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. *Computers and Electronics in Agriculture* 48, 235-244.
- Diamantopoulou, M.J., Ozcelik, R., Crecente-Campo, F., Eler, U., 2015. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. *Biosystems Engineering* 133, 33-45.
- Faculty of forestry., 1998. Forestry plan of Gorazbon in Educational and Research Forest of Kheyroud. 460p (In Persian).
- Fan, C., Tan, L., Zhang, P., Liang, J., Zhang, C., Wang, J., Zhao, X., Gadow, k., 2017. Determinants of mortality in a mixed broad-leaved Korean pine forest in northeastern China. *European Journal Forest Research* 136.457-469.
- Ghanbari, F., Shataee, Sh., Dehghani, A.A., Ayoubi, Sh., 2009. Tree density estimation of forests by terrain analysis and artificial neural network. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 16, 25-42 (In Persian).
- Gimblett, R.H., Ball, G.L., 1995. Neural network architectures for monitoring and simulating changes in forest resources management. *AI Applications* 9, 103-123.
- Gorzin, F., Namiranian, M., Omid, M., Bayat, M., 2017. Prediction commercial volume and cordwood volume of broadleaves by using Artificial Neural Networks (Case Study: kheyroud Forest Iranian Journal of Forest and Poplar Research 25, 517-527 (In Persian).
- Hasenauer, H., Merkl, D., Weingartner, M., 2001. Estimating tree mortality of Norway spruce stands with neural networks. *Advances in Environmental Research* 5, 405-414.
- Jensen, J.R., Qiu, F., Ji, M., 1999. Predictive modelling of coniferous forest age using statistical and artificial neural network approaches applied to remote sensor data. *International Journal of Remote Sensing* 20, 2805-2822.
- Marvi-Mohajer, M., 2013. Silviculture. University of Tehran press, 388p (In Persian).
- Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F-R., White, B., Bhatti, J.S., 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution. *Ecological Modelling* 222, 2314-2332.
- Pequeno Reis, L., Lopes de Souza, A., Mazzei, L., Carolline Marques dos Reis, P., Garcia Leite, H., Pedro Boechat Soares, C., 2016. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural networks. *Forest Ecology and Management* 382,161-167.

- Pausas, J.G., Austin, M.P., 2001. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal. *Vegetation Science* 12, 153-166.
- Rahimifar, A., Sheykh, V., Bahreman, A., 2011. Introduction and Preparation of Topographic Wetness Index map. Fifth National Conference on Watershed and Water Resources Management of the country, Kerman, Iran Irrigation and Water Engineering. 12p (In Persian).
- Samarasinghe, S., 2006. *Neural networks for applied sciences and engineering*. Auerbach Publications, USA, 570 p.
- Schiatti, J., Emilio, T., Rennó, C.D., Drucker, D.P., Costa, F.R.C., 2014. Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest. *Plant Ecology and Diversity* 7, 241-253.
- Soltani, S., Sardari, S., Sheykhpour, M. and Mousavi, S., 2010. *Understanding the Principles and Applications of Artificial Neural Networks*. Scientific and Cultural Organization of Nas, Tehran, 216p (In Persian).
- Sprugel, D.G., Bormann, F.H., 1982. Natural disturbance and the steady state in high-altitude balsam fir forests, *Science* 211, 390-393.
- Tabari, M., Fayaz, P., Espahbodi, K., Staelens, J., Nachtergale, L., 2005. Response of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) seedlings to canopy gap size. *Forestry*, 78, 443-450.
- Tabari, M., Espahbodi, K., Poormadjidian, M.R., 2007. Composition and structure of a *Fagus orientalis*-dominated forest managed with shelterwood aim: a case study in the Caspian forests, northern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 5, 35-40.
- Zhang, X., Duan, A., Dong, L., Cao, Q.V., Zhang, J., 2014. The application of Bayesian model averaging in compatibility of stand basal area for even-aged plantations in southern China. *Forest Science* 60, 645e651.

