



## به‌زرعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۵  
صفحه‌های ۶۸۲-۶۷۳

# بهینه‌سازی غلظت نیتروژن بافت گیاه برای افزایش کمیت و کیفیت برگ توتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

حجت صالح‌زاده<sup>۱</sup>، منوچهر قلی‌پور\*<sup>۲</sup>، حمید عباسدخت<sup>۳</sup>، مهدی برادران فیروزآبادی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، شاهرود - ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، شاهرود - ایران
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، شاهرود - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۳

### چکیده

نیتروژن با افزایش عملکرد برگ، محتوای کلر و نیکوتین برگ و در مقابل، با کاهش محتوای پتاسیم برگ، تأثیر متضادی بر کمیت و کیفیت برگ توتون به‌جای می‌گذارد. به‌منظور بهینه‌سازی غلظت (پیدا کردن غلظت تعادلی) نیتروژن در برگ، ساقه و ریشه توتون در جهت افزایش همزمان کمیت و کیفیت برگ توتون (محتوای پتاسیم بالا و نیکوتین متعادل و کلر کم) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دو آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات توتون تیرتاش و ارومیه به‌اجرا در آمد. تیمارها شامل دو منبع کود نیتروژن (اوره و نترات آمونیوم) و چهار زمان مصرف (مصرف کل، دو سوم، یک دوم و یک سوم نیتروژن قبل از نشاءکاری و مابقی در مرحله رشد سریع بوته) بود. در پنج مرحله شامل ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز بعد از نشاءکاری غلظت نیتروژن در برگ، ساقه و ریشه (ورودی مدل) به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، عملکرد برگ فرآوری شده و محتوای پتاسیم، نیکوتین و کلر (خروجی مدل) سنجیده شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در منابع کودی وجود ندارد. بهترین الگو، مصرف دو سوم کود اوره و یک سوم کود نترات آمونیوم قبل از نشاءکاری بود. مدل شبکه عصبی با یک لایه پنهان و ساختار ۴-۱۵-۱۵ مناسب بود. متوسط مقادیر بهینه غلظت نیتروژن در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۳/۰۶، ۲/۴۲ و ۱/۵۱ درصد به‌دست آمد که در این غلظت‌ها، افزایش همزمان پتانسیل عملکرد کمی و کیفی برگ وجود دارد که باید مورد توجه متخصصین به‌زرعی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: برگ، پتاسیم، کلر، نیکوتین، مدل

## ۱. مقدمه

نیکوتین جزو ترکیبات قلیایی آلی است که به‌صورت مایعی بی‌رنگ و روغنی در توتون یافت می‌شود. این ماده به‌آسانی بخار می‌گردد و قسمت اعظم آلکالوئیدهای توتون را تشکیل می‌دهد. در اصل بدون آن، توتون خاصیت وجودی خود را از دست می‌دهد زیرا از ترکیبات مهم دود است و به‌هنگام استعمال دخانیات، ۲۵ درصد آن به دود خارج شده از ریه منتقل می‌شود و مابقی جذب بدن استعمال کننده می‌گردد. هرگاه میزان این ماده در توتون بین ۱-۲ درصد باشد، شخص مصرف‌کننده را اقلع می‌کند [۱۶]. میزان آن در گیاه توتون از پایین به بالا افزایش می‌یابد و حدود تغییرات غلظت این ماده در واریته‌های مختلف توتون از ۰/۵ تا ۵ درصد گزارش شده است.

به‌طورکلی، بین این عناصر و ترکیبات با یکدیگر و با عناصر و ترکیبات دیگر روابط بازدارنده یا تسهیل‌کننده پیچیده‌ای وجود دارد که برخی از آنها در منابع منتشر شده یافت می‌شود. به‌عنوان مثال، در صورت افزایش تجمع کلر در برگ، اثرات مثبت پتاسیم جمع‌آوری شده در برگ را بر کیفیت توتون تقلیل می‌دهد. با افزایش پتاسیم برگ، محتوای نیکوتین آن کمتر می‌شود [۲۰]. نیتروژن باعث افزایش رشد برگ‌ها شده و بدین‌وسیله کمیت عملکرد را ارتقاء می‌دهد [۱۳]، ولی از طرف دیگر، این عنصر غذایی با بیشتر کردن بیش از حد محتوای نیکوتین برگ و کاهش غلظت پتاسیم، کیفیت برگ را به‌طور منفی متأثر می‌نماید [۱۰]. با در نظر گرفتن چنین روابط متقابل پیچیده و چندسویه بین متغیرها، بهینه‌سازی آنها (عوامل تأثیرگذار، رگرسورها) در جهت افزایش همزمان کمیت عملکرد برگ و کیفیت آن (توازن بین عناصر و ترکیبات مختلف) امری دشوار است. استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بهینه‌سازی، یکی از روشهایی است که بر این مشکل فایق می‌آید و به همین علت، اخیراً توجه پژوهشگران به‌استفاده از آن معطوف شده است. به‌عنوان نمونه، می‌توان به استفاده

کمیت و کیفیت برگ توتون تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی و زراعی قرار می‌گیرند. این عوامل علاوه بر آهنگ رشد گیاه، ترکیبات تشکیل‌دهنده برگ را دستخوش تغییر و تحول می‌نمایند. محتوای کلر، پتاسیم و نیکوتین در برگ عمل‌آوری شده از عوامل مهم تعیین‌کننده کیفیت و ویژگی‌های ارگانولپتیکی (عطر، طعم، گیرایی و غیره) برگ توتون به‌شمار می‌روند. تجمع زیاد کلر در توتون باعث کاهش وزن خشک، ضخیم‌تر شدن برگ‌ها، کاهش قابلیت ارتجاعی، افزایش هیگروسکوپیسیته<sup>۱</sup>، تیره رنگی برگ<sup>۲</sup> و عطر و طعم نامطلوب<sup>۳</sup> می‌شود. غلظت بالای کلر علاوه بر کاهش خوش‌سوزی، از طریق افزایش قطران دود، مزه و طعم دود را ناخوشایند می‌نماید [۱]. جدا از اینکه جذب و تجمع کلر در برگ‌های توتون به شدت تحت تأثیر برهم‌کنش این عنصر با عناصر دیگر قرار می‌گیرد، توتون از گیاهان کلردوست به‌شمار می‌رود. از این رو به‌طورکلی، تجمع کلر در برگ‌های این گیاه به‌سرعت و به‌مقدار زیاد صورت می‌گیرد [۱۲ و ۱۴].

در میان عناصر معدنی موجود در برگ توتون، پتاسیم از مهمترین عناصر تعیین‌کننده کیفیت برگ به‌شمار می‌رود و عنصر اساسی خاکستر می‌باشد. پتاسیم، رنگ برگ، جنس برگ، خواص رطوبت‌پذیری برگ و به‌طورکلی قابلیت سوزش آنرا بهتر می‌کند. با افزایش شدن تجمع پتاسیم، نازکی برگ و قابلیت ارتجاعی و انعطاف‌پذیری آن بیشتر می‌شود. املاح پتاسیم در موقع سوختن اصطلاحاً "باد" کرده و باعث می‌گردند که عمل اکسیداسیون بهتر و کامل‌تر انجام پذیرد [۶ و ۱۸]. بین پتاسیم و دمای احتراق توتون رابطه معکوس وجود دارد [۱].

1. Hygroscopicity
2. Dinginess
3. Undesirable Odors

## به‌زراعی کشاورزی

و سپس ریشه‌ها مورد شستشو قرار گرفتند. در نهایت پس از برداشت گیاه، عملکرد برگ فرآوری شده (کمیت عملکرد) و محتوای پتاسیم، کلسیم و نیکوتین آن (کیفیت عملکرد) اندازه‌گیری شد.

## ۲.۲. بهینه‌سازی رگرورها با استفاده از شبکه عصبی

### مصنوعی

ابتدا داده‌های مربوط به رگرورها (غلظت نیتروژن در اندام‌های مختلف گیاه؛ ورودی مدل) و کمیت و کیفیت عملکرد (خروجی مدل) به‌طور تصادفی پشت سر هم قرار داده شده و به ۲ قسمت داده‌های آموزش (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم گردیدند. سپس با استفاده از معادله زیر، داده‌های ورودی به شبکه استاندارد شدند [۱۷]:

$$Y_i = 0.8 \times \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} + 0.1 \quad (1)$$

در این رابطه،  $Y_i$  داده استاندارد شده،  $X_i$  داده استاندارد نشده،  $X_{\min}$  کوچکترین داده،  $X_{\max}$  بزرگترین داده می‌باشد. با استفاده از این رابطه، داده‌های ورودی بین ۰/۱ و ۰/۹ قرار می‌گیرند.

در این مطالعه، از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار QNET، از الگوریتم پس انتشار<sup>۱</sup> برای آموزش شبکه استفاده گردید. تعداد لایه‌های پنهان متفاوتی استفاده شد که برای هر لایه پنهان، یکی از ۴ تابع فعال‌سازی زیر مورد استفاده قرار گرفت:

- تابع سیگموئید:

$$f(\sum W_{ij} X_i) = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i}} \quad (2)$$

- تابع تانژانت هایپربولیک:

$$f(\sum W_{ij} X_i) = \frac{e^{\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i} - e^{-\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i}}{e^{\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i} + e^{-\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i}} \quad (3)$$

از شبکه عصبی در پیش‌بینی متغیرهای پیوسته‌ای مانند رطوبت خاک [۴]، نمونه‌برداری [۱۹]، تخمین بیوماس و عملکرد دانه [۵ و ۹]، بهینه‌سازی رگرورها در جو [۸] و چغندر قند [۷] اشاره نمود. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی بهینه‌سازی غلظت نیتروژن اندام‌های زیرزمینی و هوایی توتون برای ارتقاء همزمان کمیت و کیفیت برگ توتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. عملیات زراعی

دو آزمایش مزرعه‌ای بر روی توتون بارلی واریته ۲۱ در مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش و مرکز تحقیقات توتون ارومیه انجام شد. هر آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار بود. عامل اول، نوع کود نیتروژن (نیترات آمونیوم و اوره) و عامل دوم، ۴ زمان مصرف کود (مصرف کل نیتروژن قبل از نشاءکاری، مصرف دو سوم نیتروژن پیش از نشاءکاری و مابقی در مرحله رشد سریع بوته، مصرف یک دوم نیتروژن قبل از نشاءکاری و باقیمانده در مرحله رشد سریع بوته و مصرف یک سوم نیتروژن قبل از نشاءکاری و مابقی در مرحله رشد سریع بوته) در نظر گرفته شد. میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه براساس نتایج آزمون خاک (۷۸ کیلوگرم در هکتار ازت خالص برای مزرعه مرکز تیرتاش و ۸۵ کیلوگرم در هکتار ازت خالص برای مزرعه مرکز ارومیه) و براساس محتوای ازت هر نوع کود محاسبه و مصرف گردید. پس از نشاءکاری در ۵ مرحله (۳۰ مرحله ۱، در متن به صورت اندیس ۱ استفاده خواهد شد)، ۵۰ (مرحله ۲)، ۷۰ (مرحله ۳)، ۸۵ (مرحله ۴) و ۱۰۰ روز بعد از نشاءکاری (مرحله ۵) غلظت نیتروژن در ریشه (RN)، ساقه (SN) و برگ (LN) به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد. برای نمونه‌گیری از ریشه، ابتدا گیاه از زمین خارج گردید

گرفته، به ۲ قسمت داده‌های آموزش (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم گردیدند. سناریوهای متفاوتی مورد آزمون قرار گرفت و برای هر متغیر خروجی، مدل برتر انتخاب شد. سپس، براساس مدل برتر، مقادیر RN5، SN2، LN4 و LN1 برآورد گردید. هر کدام از این مقادیر برآورد شده می‌توانند به‌طور بالقوه غلظت‌های مطلوب نیتروژن برای حصول حداکثر کمیت و کیفیت عملکرد برگ باشند. مقادیری از غلظت‌ها که در محدوده غلظت‌های به‌دست آمده در آزمایش مزرعه‌ای بودند انتخاب شدند.

۲ - در این مرحله، با استفاده از داده‌های اصلی و داده‌های برآورد شده در مرحله قبل، مابقی رگرسورها به‌صورت تک تک به‌عنوان خروجی وارد مدل گردیدند. ورودی‌های مدل شامل کمیت و کیفیت عملکرد، RN5، LN4، SN2 و LN1 بود. همانند مرحله اول، داده‌ها به دو دسته تقسیم شده و سناریوهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفت و مدل برتر انتخاب شد. سپس، با استفاده از این مدل برتر، اقدام به برآورد خروجی مدل گردید. مقادیری از خروجی مدل که در دامنه غلظت‌های به‌دست آمده در آزمایش مزرعه‌ای بودند، انتخاب شدند.

۳ - برای پیش‌بینی کمیت و کیفیت عملکرد با استفاده از رگرسورهای برآورد شده، از مدل شبکه عصبی که در ابتدا ایجاد شده بود، استفاده گردید و بهترین ترکیب رگرسورها برای حصول عملکرد برگ بیشتر و کیفیت بالاتر به‌دست آورده شد.

### ۳. نتایج و بحث

نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در استفاده از دو منبع کودی (اوره و نیترات آمونیوم) در عملکرد و کیفیت نهایی برگ فرآوری شده مشاهده نشد. مصرف دو سوم کود اوره به‌صورت پایه و الباقی به‌صورت سرک در مرحله رشد سریع و مصرف یک سوم کود نیترات آمونیوم به‌صورت پایه و بقیه کود موردنیاز

• تابع سکانت هایپربولیک:

$$f(\sum W_{ij}X_i) = \frac{\tau e^{(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i)}}{e^{(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i)} + 1} \quad (4)$$

• تابع گوس:

$$f(\sum W_{ij}X_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-[(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i) - \mu]^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

در این رابطه، e عدد نپر، σ انحراف معیار، μ عدد پی، X رگرسور و W وزن می‌باشند.

برای ارزیابی قابلیت شبکه عصبی پرسپترون در پیش‌بینی تغییرات کمیت و کیفیت عملکرد برگ، از ضریب همبستگی (r)، میانگین خطای مطلق (MAE) (رابطه ۶)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۷) و خطای استاندارد نسبی (RSE) (رابطه ۸) استفاده گردید:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (7)$$

$$RSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}}{\bar{Y}} \quad (8)$$

در این رابطه،  $Y_i$  خروجی مشاهده شده،  $\bar{Y}$  میانگین خروجی مشاهده شده،  $\hat{Y}_i$  خروجی برآورد شده، و  $\bar{\hat{Y}}$  میانگین خروجی برآورد شده می‌باشند.

بهینه‌سازی رگرسورها در جهت افزایش متغیرهای خروجی، در ۳ مرحله صورت گرفت [۸]:

۱ - ابتدا در بین رگرسورها، ۴ رگرسوری (RN5، LN4، SN2 و LN1) که رابطه قوی‌تری با کمیت و کیفیت عملکرد برگ داشتند، به‌عنوان خروجی، وارد مدل شبکه عصبی گردیدند. در این مرحله، کمیت و کیفیت عملکرد برگ به‌عنوان ورودی‌های مدل شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. سپس داده‌های به‌طور تصادفی پشت سرهم قرار

بهینه‌سازی غلظت نیتروژن بافت گیاه برای افزایش کمیت و کیفیت برگ توتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

مواد و روش‌ها، ایجاد تنوع در غلظت نیتروژن در بافت‌های ریشه و اندام‌های هوایی در مراحل مختلف رشد گیاه بود و مراد از انتخاب دو منبع متفاوت نیتروژن، ایجاد تنوع در جذب پتاسیم بود [۲ و ۱۱].

خوشبختانه در این بررسی به‌لحاظ ماهیت تیمارها و وجود تفاوت در بین خاک و اقلیم دو منطقه مورد بررسی (نتایج ارایه نشده) باعث ایجاد تغییر قابل توجهی در مقادیر ورودی (غلظت نیتروژن در اندام‌های مختلف و زمان‌های متفاوت) و خروجی مدل (کمیت و کیفیت عملکرد برگ) گردید (جدول ۱).

به‌صورت سرک در مرحله رشد سریع، اختلاف معنی‌داری با هم نداشته و عملکرد و کیفیت مطلوبتری نسبت به سایر تیمارها داشتند (نتایج ارائه نشده).

یکی از محاسن بهینه‌سازی مبتنی بر شبکه عصبی، پیش‌بینی ترکیبی از مقادیر بهینه متغیرها است که این ترکیب در داخل دامنه تغییرات به‌دست آمده در آزمایش مزرعه‌ای یا آزمایشگاهی است. از این‌رو، یکی از پیش‌شرط‌ها برای قابل اتکاء بودن نتایج حاصل از شبکه عصبی، وجود دامنه نوسان قابل توجه در متغیرهای مورد تجزیه است [۲۲]. در همین راستا، هدف از اعمال زمان‌های مصرف مندرج در

جدول ۱. برخی از خصوصیات آماری غلظت نیتروژن اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد، کمیت برگ عمل‌آوری شده، محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ عمل‌آوری شده مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی

| صفت                      | حداقل | حداکثر | میانگین | دامنه |
|--------------------------|-------|--------|---------|-------|
| درصد نیتروژن برگ ۱       | ۳     | ۵/۰۸   | ۴/۰۸۳   | ۲/۰۸  |
| درصد نیتروژن برگ ۲       | ۲/۵۹  | ۵/۲    | ۳/۹۸۵   | ۲/۶۱  |
| درصد نیتروژن برگ ۳       | ۱/۹   | ۴/۷۲   | ۳/۲۸۸   | ۲/۸۲  |
| درصد نیتروژن برگ ۴       | ۱     | ۳/۹۱   | ۲/۵۷۴   | ۲/۹۱  |
| درصد نیتروژن برگ ۵       | ۰/۹   | ۳/۷۶   | ۲/۱۵۵   | ۲/۸۶  |
| درصد نیتروژن ساقه ۱      | ۱/۶۵  | ۴      | ۲/۴۹۶   | ۲/۳۵  |
| درصد نیتروژن ساقه ۲      | ۱     | ۳/۵    | ۲/۱۱۶   | ۲/۵   |
| درصد نیتروژن ساقه ۳      | ۰/۷   | ۳      | ۱/۶۳۱   | ۲/۳   |
| درصد نیتروژن ساقه ۴      | ۰/۴   | ۴      | ۲/۲۱۴   | ۳/۶   |
| درصد نیتروژن ساقه ۵      | ۱/۵   | ۴      | ۲/۴۷۱   | ۲/۵   |
| درصد نیتروژن ریشه ۱      | ۰/۴   | ۳/۲    | ۱/۷۱۹   | ۲/۸   |
| درصد نیتروژن ریشه ۲      | ۰/۵   | ۳      | ۱/۷۰۴   | ۲/۵   |
| درصد نیتروژن ریشه ۳      | ۰/۵   | ۲/۴    | ۱/۴۶۱   | ۱/۹   |
| درصد نیتروژن ریشه ۴      | ۰/۶۲  | ۲/۵۴   | ۱/۴۳۴   | ۱/۹۲  |
| درصد نیتروژن ریشه ۵      | ۰/۵   | ۲/۹    | ۱/۶۹۶   | ۲/۴   |
| عملکرد برگ (تن در هکتار) | ۱/۶۸  | ۵/۸    | ۳/۷۴    | ۴/۱۲  |
| درصد پتاسیم برگ          | ۱/۹   | ۴/۸    | ۳/۵۶۷   | ۲/۹   |
| درصد کلر برگ             | ۰/۷   | ۳/۲    | ۱/۶۴۰   | ۲/۵   |
| درصد نیکوتین برگ         | ۱/۵   | ۴/۲    | ۲/۹۸۶   | ۲/۷   |

## حجت صالح‌زاده و همکاران

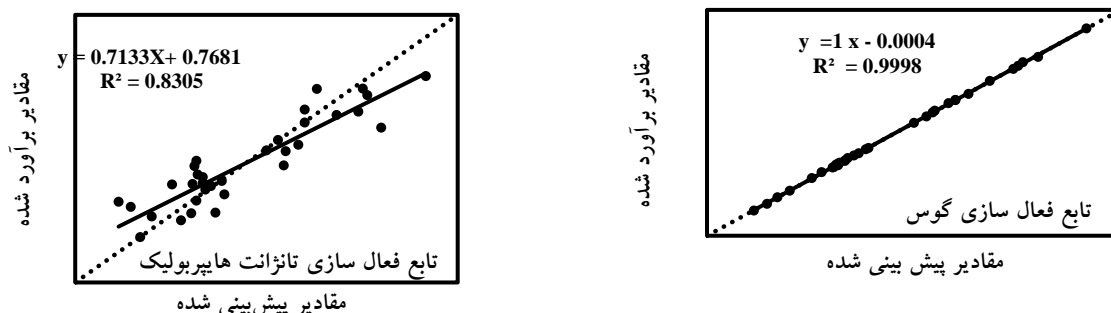
گیاه توتون به نسبت بالای آمونیم به نیترات مربوط بوده و کاهش این نسبت، باعث افزایش جذب آنها می‌گردد [۲۰]. به منظور ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی برای (۱) توابع فعال‌سازی مختلف، (۲) تعداد لایه‌های پنهان و (۳) تعداد نرون در هر لایه پنهان، از شاخص‌های آماری استفاده می‌شود. ترکیب این سه عامل سناریوهای خیلی زیادی را ایجاد نماید که ارایه شاخص‌های آماری برای کلیه این سناریوها جدولی حجیم و غیرلازم را به دنبال دارد. بر همین اساس، پس از انتخاب بهترین تعداد لایه پنهان و تعداد نرون در لایه پنهان، تنها به ارایه شاخص‌های آماری برای توابع فعال‌سازی مورد آزمون بسنده گردید (جدول ۲).

به عنوان نمونه، میزان تغییر در درصد کلر برگ بر ۴ برابر بالغ گردید. این گونه تأثیرپذیری رشد و پارامترهای دیگر مانند جذب عناصر غذایی، متأثر از تغییر نسبت آمونیم به نیترات و همچنین اقلیم توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است [۲۰]. به عنوان نمونه، طبق نتایج دیگر تحقیقات، در سال‌های پرباران، مقادیر بالای نسبت آمونیم به نیترات در کود مصرفی عملکرد بالاتری از توتون را باعث گردید [۲۱]. این در حالی است که در سال‌های کم‌باران، استفاده از کود نیتروژن حاوی تنها نیترات منجر به افزایش ۶ درصدی عملکرد توتون می‌گردد. کاهش در جذب عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط

جدول ۲. شاخص‌های آماری مربوط به توابع فعال‌سازی مختلف

| تابع فعال‌سازی     | متغیر وابسته | r       | RSE     | MAE     | RMSE    |
|--------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|
| گوس                | عملکرد برگ   | ۰/۹۹۹۹۰ | ۰/۰۰۴۶۷ | ۰/۰۱۳۲۱ | ۰/۰۱۲۵۲ |
|                    | پتاسیم برگ   | ۰/۹۹۹۹۸ | ۰/۰۰۰۹۶ | ۰/۰۰۳۷۴ | ۰/۰۰۳۳۷ |
|                    | کلر برگ      | ۰/۹۹۹۸۴ | ۰/۰۰۵۲۴ | ۰/۰۰۸۹۹ | ۰/۰۰۸۲۷ |
|                    | نیکوتین برگ  | ۰/۹۹۹۷۵ | ۰/۰۰۳۶۵ | ۰/۰۱۲۴۹ | ۰/۰۱۱۳۱ |
| سیگموئید           | عملکرد برگ   | ۰/۶۴۰۵۸ | ۰/۲۵۹۶۹ | ۰/۷۶۳۹۵ | ۰/۶۹۵۵۲ |
|                    | پتاسیم برگ   | ۰/۵۵۰۲۰ | ۰/۱۲۶۷۶ | ۰/۴۷۵۰۶ | ۰/۴۴۳۲۸ |
|                    | کلر برگ      | ۰/۷۸۵۴۸ | ۰/۱۷۸۹۹ | ۰/۳۱۰۰۸ | ۰/۲۸۲۶۹ |
|                    | نیکوتین برگ  | ۰/۸۲۲۵۲ | ۰/۰۹۲۴۲ | ۰/۳۱۶۸۱ | ۰/۲۸۶۱۸ |
| تانزانٹ هایپربولیک | عملکرد برگ   | ۰/۹۱۱۲۹ | ۰/۱۴۵۵۷ | ۰/۴۱۳۹۶ | ۰/۳۸۹۸۶ |
|                    | پتاسیم برگ   | ۰/۸۹۱۵۶ | ۰/۰۶۹۶۲ | ۰/۲۴۸۸۹ | ۰/۲۴۳۴۷ |
|                    | کلر برگ      | ۰/۹۰۲۹۳ | ۰/۱۲۴۷۹ | ۰/۲۱۳۱۶ | ۰/۱۹۷۰۹ |
|                    | نیکوتین برگ  | ۰/۹۴۵۳۶ | ۰/۰۵۳۱۹ | ۰/۱۷۳۷۲ | ۰/۱۶۴۷۲ |
| سکانت هایپربولیک   | عملکرد برگ   | ۰/۸۷۳۶۹ | ۰/۱۶۷۳۰ | ۰/۴۷۶۷۷ | ۰/۴۴۸۰۶ |
|                    | پتاسیم برگ   | ۰/۸۵۴۶۷ | ۰/۰۸۱۷۴ | ۰/۳۰۰۹۹ | ۰/۲۸۵۸۵ |
|                    | کلر برگ      | ۰/۸۶۷۲۵ | ۰/۱۴۴۱۶ | ۰/۲۵۵۴۵ | ۰/۲۲۷۶۸ |
|                    | نیکوتین برگ  | ۰/۹۳۶۸۲ | ۰/۰۵۷۰۰ | ۰/۱۸۶۳۴ | ۰/۱۷۶۵۱ |

بهبودسازی غلظت نیتروژن بافت گیاه برای افزایش کمیت و کیفیت برگ توتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۱. حساسیت سنجی مدل شبکه عصبی با استفاده از دو تابع فعال‌سازی در پیش‌بینی عملکرد برگ توتون در مرحله آموزش

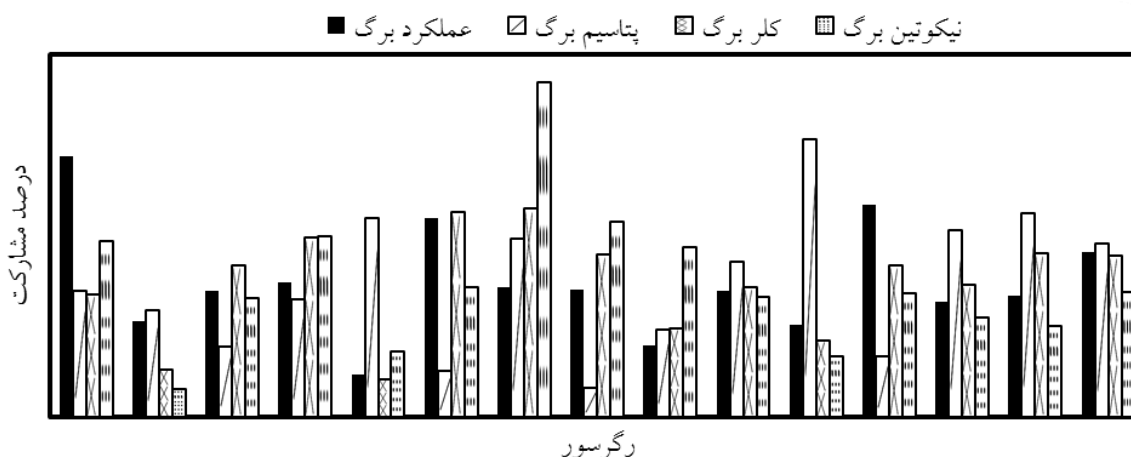
لایه پنهان و ساختار ۴-۱۵-۱۵ برای داده‌های به‌دست آمده در این آزمایش مناسب است. به بیان دیگر، وجود ۱۵ نرون در لایه پنهان توانست کارکرد مدل را به بالاترین سطح ممکن ارتقاء دهد (شکل ۲).

از لحاظ میزان مشارکت در توجیه تغییرات خروجی‌های مدل، بین رگرسورها تفاوت وجود داشت (شکل ۳). بالاترین میزان مشارکت، مربوط به SN2 در توجیه تغییرات نیکوتین برگ بود که مقدار آن بر ۱۶/۶۲ درصد بالغ گردید. به بیان دیگر، این عدد نشان می‌دهد که در ۵۰ روز بعد از نشاءکاری، غلظت نیتروژن در ساقه نقش تعیین‌کننده‌تری در تحت تأثیر قرار دادن نیکوتین برگ فرآوری شده دارد تا مراحل دیگر رشد و اندام‌های دیگر گیاه. میزان مشارکت SN3 در توجیه تغییرات پتاسیم برگ کمترین (۱/۴۳ درصد) بود. با این حال، این میزان برای عملکرد برگ، درصد کلر برگ و درصد نیکوتین برگ به ترتیب ۶/۲۸، ۸/۰۵ و ۹/۶۷ درصد به‌دست آمد که مقادیر نسبتاً بالایی می‌باشد. با یک نگاه کلی به میزان مشارکت‌ها در شکل ۳ این نکته مشخص می‌شود که به‌طور مورد انتظار، غلظت نیتروژن در تمامی مراحل رشد و نمو و در کلیه اندام‌های گیاه هم کمیت و هم کیفیت عملکرد برگ توتون را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

بر اساس این شاخص‌ها، زمانی یک مدل شبکه عصبی از دقت بالاتر برخوردار خواهد بود که علاوه بر داشتن ضریب همبستگی بالاتر، از میانگین خطای مطلق کمتر، خطای استاندارد نسبی کوچک‌تر و مجذور میانگین مربعات خطای پایین‌تر برخوردار باشد. این حالت برای تابع فعال‌سازی گوس صادق بود. در شکل ۱، نتایج حساسیت سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ در مرحله آموزش برای دو تابع فعال‌سازی آورده شده است. در این شکل نیز برتری تابع فعال‌سازی گوس بر تانژانت هایپربولیک را می‌توان به‌وضوح دید.

نتایج حساسیت‌سنجی مدل شبکه عصبی در مرحله آزمون برای تابع فعال‌سازی گوس حاکی از انطباق خوب خط رگرسیونی با خط ۱:۱ بود (نتایج ارایه نشده). در غالب موارد، میزان این انطباق در مرحله آموزش بالاتر از مرحله آزمون می‌باشد [۷ و ۸]. شایان ذکر است که با افزایش تعداد لایه پنهان، کارکرد مدل شبکه عصبی در مرحله آموزش نیز افزایش یافت، ولی در مرحله آزمون، مدل قادر به پیش‌بینی متغیرهای خروجی نبود. در صورت استفاده از تعداد نرون کم در لایه پنهان، مدل قادر به آموزش نبود. به‌طورکلی، تعداد لایه پنهان در شبکه و تعداد نرون در هر لایه از طریق آزمون و خطا به‌دست می‌آید [۳]. نتایج آزمون و خطا در این بررسی نشان داد که مدل با یک

## حجت صالح‌زاده و همکاران



شکل ۳. میزان مشارکت رگرسورها در توجیه تغییرات عملکرد برگ فرآوری شده و محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده توتون. L برگ، S ساقه، R ریشه، N غلظت نیتروژن و اندیس‌های ۱ تا ۵ به ترتیب نشان‌دهنده زمان‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز بعد از نشاءکاری می‌باشد.

فوق‌الذکر نیتروژن در ریشه، ساقه و برگ طی مراحل مختلف رشد و نمو قابل حصول است. خوشبختانه گزارش‌ها حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام توتون برای تجمع نیتروژن در اندام‌های مختلف و در نتیجه امکان انجام امور اصلاحی در جهت نیل به کمیت و کیفیت بالای عملکرد وجود دارد [۱۱ و ۱۵]. استفاده از آبیاری نواری قطره‌ای<sup>۱</sup> که نوعی آبیاری قطره‌ای مخصوص گیاهان زراعی است می‌تواند زمینه را برای تنظیم دقیق‌تر غلظت نیتروژن در مراحل مختلف رشد فراهم نماید.

### منابع

1. Akehurst BC (1981) Tropical Agriculture Series. Longman. New York. Pp. 630- 635.
2. Allen S and Raven JA (1987) Intracellular PH regulation in *Ricinus communis* grown with ammonium or nitrate as N source: the role of long distance transport. Journal of Experimental Botany. 38: 580-596.

نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بالاترین عملکرد برگ بهینه‌سازی شده توسط مدل شبکه عصبی برابر با ۵۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که حدود ۳ درصد بالاتر از حداکثر عملکرد مشاهده شده است. بالاترین کیفیت بهینه‌سازی شده (محتوای پتاسیم بالاتر و در مقابل کلر و نیکوتین پایین‌تر) معادل ۴/۸۶ درصد پتاسیم، ۰/۸۳ درصد کلر و ۱/۹۳ درصد نیکوتین بود. این افزایش هم‌زمان کمیت و کیفیت عملکرد در شرایطی به دست آمد که مقدار LN1 تا LN5 به ترتیب ۴/۵۹، ۳/۵۹، ۳/۱۲، ۲/۳۵ و ۱/۶۴ درصد وزن خشک بود، مقدار SN1 تا SN5 به ترتیب ۲/۴۲، ۲/۶۱، ۲/۵۶، ۲/۳۷ و ۲/۱۲ درصد وزن خشک شد و مقدار RN1 تا RN5 به ترتیب ۲/۰۶، ۱/۵۶، ۱/۴۳، ۱/۴۴ و ۱/۰۴ درصد وزن خشک بود. شایان ذکر است که در ترکیب دیگری از غلظت‌های نیتروژن، امکان افزایش بیشتر عملکرد برگ وجود داشت، ولی این امر به بهای کمتر شدن کیفیت برگ حاصل می‌گردید. این وضعیت در خصوص افزایش بیشتر کیفیت نیز صادق بود. به نظر می‌رسد با انجام مدیریت زراعی و دستکاری ژنتیکی، حفظ روند غلظت‌های

1. Tape irrigation



3. Chang DH and Islam S (2000) Estimation of soil physical properties using remote sensing and artificial neural network. *International Journal Remote Sensing of Environment*. 74: 534-544.
4. Drummond ST, Sudduth KA, Joshi A, Birrell SJ and Kitchen NR (2003) Statistical and neural methods for site specific yield prediction. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*. 46: 5-14.
5. Farrokh AR and Farrokh A (2012) Effect of nitrogen and potassium on yield, agronomy efficiency, physiological efficiency and recovery efficiency of nitrogen and potassium in flue-cured tobacco. *International Journal Agriculture Crop Science*. 4: 770-778.
6. Gholipour M, Emamgholizadeh S, Hassanpour H, Shahsavani D, Shahoseini H, Baghi M and Karimi A (2012) The optimization of root nutrient content for increased sugar beet productivity using an artificial neural network. *International Journal Plant Production*. 6: 429-442.
7. Gholipour M, Rohani A and Torani S (2013) Optimization of traits to increasing barley grain yield using an artificial neural network. *International Journal Plant Production*. 7: 1-17.
8. Jin YQ and Liu C (1997) Biomass retrieval from high-dimensional active/passive remote sensing data by using artificial neural networks. *International Journal Remote Sensing of Environment*. 18: 971-979.
9. Kena K (1990) Effect of N.P.K. fertilizer on the yield and quality of flue-cured leaf tobacco. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*. 12: 77-82.
10. Liu YX, Li CJ and Zhang FS (2005) Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Annals of Botany*. 95: 991-998.
11. Long RC and Weybrew JA (1981) Major chemical changes during senescence and curing. *Tobacco Science*. 7: 40-74.
12. Marchetti R, Castelli F and Contillo R (2006) Nitrogen requirements for flue-cured tobacco. *Agronomy Journal*. 98: 666-674.
13. Marschne H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. Pp. 229-312.
14. Mohsenzadeh R (2015) Study of quality and chemical characteristics of tobacco cultivars *Nicotiana tabaccum* (EJAS) [Online]. Available online at <http://www.ejasj.com>. *Extensive Journal of Applied Sciences*. 3: 11-14.
15. Mumba P and Banda HL (1990) Nicotine content of flue tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) at different stages of growth. *Tobacco Science*. 30: 179-183.
16. Rohani A, Abbaspour-Fard MH and Abdolapour S (2011) Prediction of tractor repair and maintenance costs using artificial neural network. *Expert Systems with Applications*. 38: 8999-9007.
17. Sabeti MA and Jabbarzadeh A (2004) Effect of different potassium fertilizer on quantity and quality yield of flue-cured tobacco. *Tobacco Research Institute Publishers, Rasht, Iran*. Code Number 6: 103-182.
18. ShamelRostami MT (1996) Effect of different nitrogen resources on quality and quantity of flue-cured tobacco cv. coker 347. *Tirtash Tobacco Research Institute Publishers, Mazandaran, Iran*. Code Number. 2-101-74.
19. Skogley EO and McCanns CB (1963) Ammonium and chloride influences on growth characteristics of flue-cured tobacco. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 27: 391-394.
20. Williams LM and Miner GS (1982) Effect of

urea on yield and quality of flue-cured tobacco  
*Nicotiana tabaccum*. Agronomy Journal. 74:  
457-62.

21. Zhang WJ and Barrion AT (2006) Function  
approximation and documentation of sampling  
data using artificial neural networks. Environ  
Monit Assessment. 122: 185-201.