

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

رساله دکتری کشاورزی اکولوژیک

مدل سازی پویایی نیتروژن در گیاه توتون

حجت صالح زاده

استاد راهنما

دکتر منوچهر قلی پور

مرداد ۱۳۹۵

۳۸۵
۱۸ / ۱۷ / ۱۳۹۵

تاریخ:
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

پیوست شماره ۲

دانشکده: کشاورزی

گروه: زراعت

پایان نامه رساله دکتری آقای حجت صالح زاده

تحت عنوان: مدلسازی پویایی نیتروژن در گیاه توتون

در تاریخ ۹۵/۱۰/۱۴ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک رساله دکتری ارزیابی گردید و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر حمید عباسدخت		نام و نام خانوادگی: دکتر منوچهر قلی پور
	نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی برادران		نام و نام خانوادگی:

و

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: دکتر محمد رضا عامریان		نام و نام خانوادگی: دکتر حمید رضا اصغری
			نام و نام خانوادگی: دکتر صمد امامقلی زاده
			نام و نام خانوادگی: دکتر بهنام کامکار

تقدیم به:

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم
و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه

مهر

و به : همسرم، اسطوره زندگی، پناه خستگیم

و به: پسر، امید بودنم.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه
جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن
سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم

تعهد نامه

اینجانب **حجت صالحزاده** دانشجوی دوره **دکتری رشته اکولوژی** دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مدل سازی پویایی نیتروژن در گیاه توتون** تحت راهنمایی جناب آقای **دکتر منوچهر قلی پور** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک با امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای زنده) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته با استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نر افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطالب با ید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

عنوان مقالات چاپ شده در مجلات علمی و پژوهشی:

صالح‌زاده ح.، قلی‌پور م.، عباسدخت ح. و برادران م. (۱۳۹۴) "بهینه‌سازی غلظت نیتروژن بافت گیاه برای افزایش کمیت و کیفیت برگ توتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی" **مجله به زراعی کشاورزی**، دانشگاه تهران، کد مقاله: (R5 JCI-201507-1196)

Salehzadeh H., Gholipoor M. Abbasdokht H. and Baradaran M. (2016) "Optimizing Plant Traits to Increase Yield and Quality in Tobacco Using by Artificial Neural Network" **International Journal of Plant Production**, 10 (1), P 1735-8043.

عنوان مقالات ارائه شده در همایش:

صالح‌زاده ح.، قلی‌پور م.، عباسدخت ح.، برادران م.، رنجبر ر. (۱۳۹۴) "بررسی تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن بر کمیت و کیفیت توتون واریته بارلی ۲۱". **سومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست - بهمن ۱۳۹۴**، ارومیه

صالح‌زاده ح.، قلی‌پور م.، عباسدخت ح.، برادران م.، رنجبر ر. (۱۳۹۴) "مدل توزیع نیتروژن در گیاه توتون در مراحل مختلف رشد با استفاده از منابع متفاوت کود های ازته و ارتباط آن با سنتز نیکوتین" **سومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست - بهمن ۱۳۹۴**، ارومیه

تقدیر و تشکر

از استاد گرامی جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این پایان‌نامه بسیار مشکل می‌نمود.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر عباسدخت و جناب آقای دکتر برادران به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی دریغ شما سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر شهباززاده، هیات مدیره شرکت دخانیات، استاد و برادر بزرگوارم

که بدون حمایت جنابعالی انجام این مهم امکان پذیر نبود.

از آقایان دکتر رنجبر، رئیس ایستگاه تحقیقات توتون ارومیه

مهندس صلواتی مدیر مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش

مهندس محسن‌زاده رئیس بخش تکنولوژی

بخاطر حمایت بی دریغ سپاسگزاری می‌شود.

چکیده

نیترژن 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 به جای می‌گذارد. نیترا ریداکتاز به عنوان آنزیم کلیدی در احیای نیترژن معدنی به شمار می‌رود و در رشد و نمو گیاه تأثیر مستقیم دارد. به منظور بهینه‌سازی غلظت (پیدا کردن غلظت تعادلی) نیترژن در برگ، ساقه و ریشه توتون و برخی صفات دیگر در جهت افزایش همزمان کمیت و کیفیت برگ توتون (محتوای پتاسیم بالا و نیکوتین متوسط و کلر کم) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، دو آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات توتون تیرتاش و ارومیه به اجرا در آمد. تیمارها شامل دو منبع کود نیترژن (اوره و نیترا آمونیوم) و چهار زمان مصرف بود. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین منابع کودی استفاده شده (اوره و نیترا آمونیوم) وجود ندارد. بهترین الگو، مصرف دو سوم کود اوره و یک سوم کود نیترا آمونیوم قبل از نشاکاری و مصرف باقی‌مانده کود در مرحله رشد سریع بود. دو مدل شبکه عصبی ایجاد گردید که ساختار آنها به صورت ۴-۱۵-۱۵-۴ و ۱۲-۱۰ بود. مدل شبکه عصبی نشان داد که متوسط مقادیر بهینه غلظت نیترژن در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۳/۰۶، ۲/۴۲ و ۱/۵۱ درصد می‌باشد. غلظت بهینه آنزیم نیترا ریداکتاز در مرحله قبل از گلدهی ۱۳/۱۱، در مرحله گلدهی ۴/۷۴ و در مرحله پس از گلدهی $4/7 \mu\text{m NO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ برآورد گردید. غلظت بهینه قند در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب برابر با ۴/۳۲، ۱۳/۰۴ و ۹/۵۴ درصد به دست آمد.

کلید واژه‌ها: توتون، پتاسیم، کلر، نیکوتین، نیترا ریداکتاز، مدل.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول.....
۱.....	۱.مقدمه، فرضیات و اهداف طرح.....
۳.....	فصل دوم: بررسی منابع.....
۳.....	۲-۱. کلیات.....
۵.....	۲-۱-۱. ترکیبات تشکیل دهنده توتون.....
۵.....	۲-۱-۲. ترکیبات معدنی.....
۵.....	۲-۱-۲-۱. کلر.....
۷.....	۲-۱-۲-۲. پتاسیم.....
۷.....	۲-۱-۲-۳. ترکیبات آلی.....
۸.....	۲-۱-۳-۱. هیدرات‌های کربن.....
۹.....	۲-۱-۳-۲. آلکالوئیدها.....
۱۰.....	۲-۱-۳-۳. نیکوتین.....
۱۰.....	۲-۱-۴. کیفیت توتون.....
۱۲.....	۲-۱-۵. فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز و ارتباط آن با نیتروژن.....
۱۴.....	۲-۱-۶. اهمیت نیتروژن در عملکرد کمی و کیفیت شیمیایی برگ توتون.....
۱۷.....	۲-۲. مدل‌سازی در گیاهان زراعی.....
۱۹.....	۲-۳. هوش مصنوعی.....

- ۲۰ سیستم‌های خبره. ۱-۳-۲
- ۲۱ سیستم‌های فازی. ۲-۳-۲
- ۲۱ شبکه‌های عصبی مصنوعی. ۳-۳-۲
- ۲۳ دلایل مورد توجه واقع شدن شبکه‌های عصبی مصنوعی. ۱-۳-۳-۲
- ۲۳ ساختار شبکه عصبی. ۲-۳-۳-۲
- ۲۵ تابع انتقال یا تابع تحریک. ۱-۲-۳-۳-۱
- ۲۶ انواع توابع تحریک. ۲-۲-۳-۳-۲
- ۲۷ تابع تحریک خطی. ۱-۲-۲-۳-۳-۲
- ۲۷ تابع حدی دو مقداری. ۲-۲-۲-۳-۳-۲
- ۲۷ تابع محرک سیگموئیدی. ۳-۲-۲-۳-۳-۲
- ۲۸ تابع تحریک تانژانت هایپربولیک. ۴-۲-۲-۳-۳-۲
- ۲۸ توانایی‌های شبکه عصبی. ۳-۳-۳-۲
- ۲۸ قابلیت یادگیری (آموزش). ۱-۳-۳-۳-۲
- ۲۹ قابلیت تعمیم‌دهی. ۲-۳-۳-۳-۲
- ۲۹ مقاوم بودن شبکه در مقابل خطا. ۳-۳-۳-۳-۲
- ۳۰ انتخاب نوع شبکه عصبی. ۴-۳-۲
- ۳۰ شبکه‌های عصبی پرسپترون. ۱-۴-۳-۲
- ۳۰ شبکه‌های عصبی پرسپترون تک لایه. ۱-۱-۴-۳-۲
- ۳۱ آموزش شبکه پرسپترون تک لایه. ۲-۱-۱-۴-۳-۲
- ۳۲ شبکه‌های پرسپترون چند لایه. ۳-۱-۱-۴-۳-۲

- ۲-۳-۴-۲. آموزش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون ۳۵
- ۲-۳-۴-۳. اعتبارسنجی و آزمون ۳۶
- ۲-۵. پیشینه مدل سازی در علوم کشاورزی ۳۷
- ۲-۶. پیشینه استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در علوم کشاورزی ۴۱
- فصل سوم: روش پژوهش ۴۵
- ۳-۱. مشخصات مکان و اجرای آزمایش ۴۵
- ۳-۲. اندازه گیری شاخص های کیفی توتون ۴۸
- ۳-۲-۱. اندازه گیری کلر ۴۸
- ۳-۲-۲. اندازه گیری قند کل ۴۹
- ۳-۲-۳. اندازه گیری نیکوتین ۵۰
- ۳-۲-۴. سنجش فعالیت آنزیم نترات ریداکتاز ۵۱
- ۳-۳. ساختار مدل شبکه عصبی مورد استفاده ۵۲
- ۳-۴-۲. اعتبارسنجی و آزمون ۵۵
- ۳-۵. بهینه سازی رگرورها در ۳ مرحله ذیل انجام پذیرفت: ۵۶
- ۳-۵-۱. مرحله اول بهینه سازی ۵۶
- ۳-۵-۲. مرحله دوم بهینه سازی ۵۶
- ۳-۵-۳. مرحله سوم بهینه سازی ۵۷
۴. فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۹
- ۴-۱. تأثیر استفاده از کودهای نیتروژنی متفاوت بر کمیت و کیفیت عملکرد توتون بارلی و قابلیت استفاده از کود اوره در مزارع توتون کاری ۵۹

- ۱-۱-۴. عملکرد برگ خشک و شاخص سطح برگ: ۶۰
- ۲-۱-۴. قطر و ارتفاع ساقه ۶۱
- ۳-۱-۴. کلروفیل برگ ۶۲
- ۴-۱-۴. محتوای پتاسیم برگ ۶۳
- ۵-۱-۴. محتوای نیتروژن و نیکوتین برگ ۶۷
- ۶-۱-۴. محتوای کلر و خاکستر برگ ۶۸
- ۲-۴. مدل سازی شبکه عصبی و تعیین مقادیر بهینه نیتروژن برای افزایش کمیت و کیفیت برگ توتون ۷۴
- ۳-۴. مدل سازی شبکه عصبی و تعیین مقادیر بهینه برخی صفات برای افزایش کمیت و کیفیت توتون ۸۴
۵. نتیجه گیری کلی ۹۷

فهرست جدوال

صفحه	عنوان جدول
۴۶	جدول ۱-۳. خصوصیات خاک مورد استفاده در آزمایش
۵۷	جدول ۲-۳. خلاصه مشخصات و پارامترهای شبکه عصبی بکار رفته در مدل شبکه عصبی
۷۱	جدول ۱-۴. تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه
۷۲	جدول ۲-۴. مقایسه میانگین صفات عملکرد برگ خشک، ارتفاع بوته و قطر ساقه توتون
۷۲	جدول ۳-۴. مقایسه میانگین غلظت کلروفیل برگ توتون در تیمارهای مختلف
	جدول ۴-۴. متوسط دمای هوا و میزان بارندگی در مرکز تحقیقات ارومیه در سال ۱۳۹۳ بر اساس
۷۳	آمار ایستگاه سینوپتیک ارومیه
	جدول ۵-۴. متوسط دمای هوا و میزان بارندگی در مرکز تحقیقات تیرتاش در سال ۱۳۹۳ بر
۷۳	اساس آمار ایستگاه سینوپتیک گلوگاه
۷۵	جدول ۶-۴. شاخص‌های آماری مربوط به توابع فعال‌سازی مختلف
	جدول ۷-۴. برخی از خصوصیات آماری غلظت نیتروژن اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد،
۸۱	کمیت برگ فرآوری شده، محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده مورد
۸۷	جدول ۸-۴. برخی از خصوصیات آماری صفات مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی
۸۸	جدول ۹-۴. شاخص‌های آماری مربوط به توابع فعال‌سازی مختلف

فهرست اشکال

صفحه	عنوان شکل
۲۵	شکل ۲-۱. ساختار شماتیک شبکه عصبی چند لایه و نحوه عمل آن
۷۶	شکل ۴-۱. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ در مرحله آموزش برای ۴ تابع فعال‌سازی.
۷۶	شکل ۴-۲. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش برای تابع فعال‌سازی سیگموئید.....
۷۷	شکل ۴-۳. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش برای تابع فعال‌سازی تانژانت هایپربولیک.....
۷۸	شکل ۴-۴. ساختار شبکه عصبی به کار رفته در تجزیه و تحلیل داده‌ها.....
۷۹	شکل ۴-۵. میزان مشارکت رگسورها در توجیه تغییرات عملکرد برگ فرآوری شده و محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده توتون.....
۸۵	شکل ۴-۶. ساختار شبکه عصبی به کار رفته جهت بهینه‌سازی رگسورها برای
۸۹	شکل ۴-۷. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش در شرایط استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئید.....
۹۰	شکل ۴-۸. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) بر خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئید.....
۹۰	شکل ۴-۹. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی گوس.....
۹۱	شکل ۴-۱۰. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از
۹۱	شکل ۴-۱۱. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی.....
۹۳	شکل ۴-۱۲. میزان مشارکت رگسورها در توجیه تغییرات عملکرد برگ فرآوری شده و محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده توتون.....

فصل اول

۱. مقدمه، فرضیات و اهداف طرح

بسیاری از محققین بر این عقیده اند که رشد گیاه (از جمله توتون) تحت تأثیر فرآیندهای پیچیده عوامل محیطی و مدیریتی گوناگون قرار می‌گیرد. تعیین کیفیت توتون پس از عمل‌آوری به‌شدت متأثر از عوامل آب و هوایی و خاکی است که گیاه را در مزرعه تحت تأثیر قرار می‌دهند. شایان توجه است که تأثیر این عوامل بسیار پیچیده و مشکل‌می‌باشد. تجمیع تأثیر تک تک این عوامل در مراحل مختلف و با در نظر گرفتن نوسانات غیر قابل پیش‌بینی و اجتناب ناپذیر، اهمیت ساخت و کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان و به‌ویژه شبکه عصبی مصنوعی را آشکار می‌سازد.

بررسی تأثیر تک تک گزینه‌های مدیریتی به شکل جداگانه و طی چند سال نمی‌تواند راه حل مناسب و قابل تاملی در مطالعه تولید در کشاورزی باشد. انجام این آزمایش‌ها در نواحی که خصوصیات اقلیمی متغیری دارند هزینه‌بر و وقت‌گیر است، زیرا نیاز به تعداد نمونه کافی از ارقام، انواع خاک و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی دارد. از سویی در بسیاری از موارد این گونه تحقیقات نمی‌توانند تأثیر عوامل اقلیمی و تغییرات دراز مدت آنها را روی رفتار سیستم تولید و عملکرد نشان دهند. تنوع محیطی بر پیچیدگی‌های موجود می‌افزاید. تعیین پتانسیل تولید یک گیاه تابعی از شرایط اقلیمی و پتانسیل‌های ژنتیکی است و ارزیابی توانمندی مناطق در به فعلیت رساندن پتانسیل‌های ژنتیکی

گیاهان یکی از نکات مهم در برنامه‌ریزی کلان کشاورزی است. زیرا باید ابتدا قابلیت اراضی و خصوصیات درازمدت اقلیمی نواحی به نحوی باشد که امکان به فعلیت رسیدن قابلیت‌های بالقوه گیاه فراهم گردد. مدل‌های شبیه‌سازی از جمله تکنیک‌هایی هستند که با اهداف مختلفی مانند انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت، تعیین بهترین گزینه‌های مدیریت زراعی، برآورد پتانسیل تولید مناطق، تعیین خط مشی‌های به‌نژادی ارقام، انتقال تکنولوژی، پهنه‌بندی اکولوژیک، پیش‌بینی اثرات اقلیم و آنالیز عملکرد ساخته و استفاده شده‌اند. در نتیجه نیاز به تکرار آزمایش‌های زمان‌بر و هزینه‌بر برای ارزیابی اثر بسیاری از عوامل اقلیمی و مدیریتی در کشاورزی مرتفع شده است. از آنجا که به‌ندرت شاهد حصول عملکرد پتانسیل در مزارع هستیم و عملکرد واقعی کسری از ۵ تا ۶۰ درصدی از عملکرد پتانسیل است. لذا یافتن راهکارهایی که بتوانند این فاصله را به حداقل تقلیل دهند می‌تواند به تضمین اقتصادی نظام‌های کشاورزی کمک کند.

فرضیات طرح شامل موارد زیر است:

- نوع و زمان مصرف کود نیتروژنی بر تجمع آلکالوئیدها و نیتروژن کل و فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز تأثیرگذار است.
- می‌توان از کود اوره برای توتون‌های تیپ غربی (برگ درشت) به‌جای نیترات آمونیوم (کود مرسوم) استفاده نمود.
- دو مورد زیر، از اهداف طرح به‌شمار می‌روند:
 - ساخت و آزمون مدل شبکه عصبی برای گیاه توتون.
 - محاسبه مقادیر بهینه نیتروژن و برخی صفات دیگر برای گیاه توتون بارلی ۲۱ در شرایط مختلف کودی با استفاده از مدل ایجاد شده.

فصل دوم: بررسی منابع

۱-۲. کلیات

توتون از لحاظ لغوی یک کلمه ترکی به معنای دود می‌باشد. از کشف توتون نزدیک به پانصد سال می‌گذرد. پس از سال ۱۴۹۲ میلادی و کشف توتون توسط کریستف کلمب در آمریکای مرکزی، استفاده از توتون به‌طور گسترده رایج گردید. نام گونه توتون از کلمه تاباک که وسیله‌ای شبیه به پیپ یا چپق بوده گرفته شده است که سرخپوستان آمریکا برای استفاده از دود به‌کار می‌بردند (زمانی، ۱۳۹۰). طبق گزارشات کاشفان، به این گیاه در مکزیک آزیتکس^۱، در امریکای مرکزی یتیل^۲، در برزیل پتوم^۳ و در سایر نواحی غربی یومی^۴ می‌گویند. جان‌نیکوت در سال ۱۵۶۱ میلادی، زمانی که سفیر فرانسه در پرتغال بود، دانه *N. rustica* را به فرانسه فرستاد. نام جنس نیکوتیانان^۵ از اسم این شخص گرفته شده است (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹).

¹ Azitex

² Yetell

³ Ptom

⁴ Uomi

⁵ Nicotiana

پرتغالی ها پس از اشغال جنوب ایران و استقرار در جزیره هرمز، بذر توتون را به ایران وارد کردند و در سال ۱۳۵۱ قمری، بنا به توصیه محمودخان ناصرالملک همدانی، توسط دکتر استپان‌هاراطوفیانس، معروف به حکیم فانوس، برای اولین بار کشت توتون در گیلان و در محلی بنام موازی (نزدیک رشت) شروع شد و بعدها در مازندران، گلستان و پس از مدتی در ارومیه توسعه یافت. توتون یکی از محصولات با ارزش کشاورزی و صنعتی است که در شرایط مختلف آب و هوایی در بیش از صد کشور دنیا کشت می‌شود و در اقتصاد بعضی از آنها اهمیت به‌سزایی دارد (سلجی، ۱۳۸۱). توتون از مشهورترین و پرمصرف‌ترین گیاهان تدخینی است که با کیفیت‌های مختلف جهت مصرف به شکل‌های گوناگون مانند سیگار معمولی، سیگار برگ و پیپ و حتی برای تهیه بعضی از داروها و آفت کش ها تولید و استفاده می‌گردد (خدابنده، ۱۳۸۵). سطح زیر کشت توتون در دنیا ۴/۷۷ میلیون هکتار، تولید سالانه ۱۰/۷ میلیون تن و متوسط عملکرد آن در کشورهای در حال توسعه ۱/۶ تن در هکتار و در کشورهای توسعه یافته ۲/۲ تن در هکتار می‌باشد (ناگاراگان و پراسادراو، ۲۰۰۴؛ سلجی، ۱۳۸۱).

در ایران گستردگی کشت توتون از شمال تا جنوب و از غرب تا شرق کشور می‌باشد که سطح زیر کشت ارقام توتون در ایران حدود ۷۰۰۰ هکتار با عملکردی حدود ۹۰۰۰ تن می‌باشد. از مهم‌ترین نواحی کشت آن در ایران استان‌های گلستان، مازندران، گیلان و کردستان می‌باشند. موفقیت در افزایش تولید به آگاهی از عملکرد بالقوه و شناخت عوامل محدود کننده عملکرد در مناطق مختلف تولید توتون برای تأمین نیازهای آینده وابسته می‌باشد. گیاهان در شرایط مختلف اقلیمی و خاکی، تفاوت‌هایی در عملکرد و کیفیت از خود نشان می‌دهند. عملکرد یک محصول زراعی در یک مکان، حاصل تغییرات عوامل مدیریتی و محیطی است. عوامل محیطی مانند نوع خاک، آفات و بیماری‌ها، رطوبت خاک ذخیره شده در زمان کاشت یا نشاکاری، تغییرات روزانه آب و هوای فصل رشد و عوامل مدیریتی مانند تاریخ کاشت، حاصلخیزی، آبیاری و تیمارهای شیمیایی برای مبارزه با

آفات و بیماری‌ها است. روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری عوامل فوق جهت افزایش بهره‌وری و کاهش خطرات در شرایط آب و هوایی مختلف وجود دارد (صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۱-۱. ترکیبات تشکیل‌دهنده توتون

خواص کیفی هر جسمی به میزان ترکیبات تشکیل‌دهنده وابسته است. ترکیبات متشکله توتون مانند سایر محصولات گیاهی دو قسمت اصلی (آلی و معدنی) را شامل می‌شود:

۲-۱-۲. ترکیبات معدنی

علاوه بر هیدروژن، نیتروژن و کربن عناصر فراوان دیگری هم در توتون یافت می‌گردند که کمبود هر یک سبب اختلالات فیزیولوژیکی و در نتیجه تغییرات نامطلوب در ترکیبات شیمیایی و کیفیت توتون می‌گردند و بر شاخص‌های مهم توتون مانند قابلیت سوزش، قدرت جذب و نگهداری رطوبت، الاسیته اثر می‌گذارند (سازگار، ۱۳۷۰). عناصر معدنی عمده توتون عبارتند از: عناصر ماکرو شامل پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، فسفر، گوگرد و عناصر میکرو مانند آهن، منگنز، مس، برم و مولیبدن. تجمع مواد معدنی در توتون تا حد زیادی تابع شرایط جغرافیایی، جنس توتون، بافت و ترکیب خاک مورد کشت می‌باشد. مواد معدنی به‌طور یکنواخت در قسمت‌های مختلف اندام توتون پخش نمی‌شود. مقدار آن در برگ بیش از سایر قسمت‌ها است. مواد معدنی به سوختن بدون شعله توتون و دوام سوزش اثر می‌گذارند (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹).

۲-۱-۲-۱. کلر

کلر در پروسه فتوسنتز نقش بسیار مهمی دارد. از آنجائیکه نیاز گیاه به کلر کم است جزء عناصر کم مصرف محسوب می‌شود. کلر برای تجزیه آب در جریان فرایند فتوسنتز و تولید اکسیژن

مورد نیاز می‌باشد. علاوه بر این کلر ممکن است برای تقسیم سلولی در برگ‌ها و ریشه‌ها مورد نیاز باشد. توتون یک گیاه کلر دوست می‌باشد و تجمع کلر در برگ‌های آن به سرعت و به مقدار زیاد صورت می‌گیرد (یکوان و زیانگ، ۲۰۰۴). اگر میزان کلر در توتون از ۲٪ تجاوز کند سوزش توتون کمتر می‌شود و بالاتر از آن علاوه بر افزایش ناسوزشی، اثرات منفی در عطر و طعم توتون بجای می‌گذارد و رایحه نامطلوب به آن می‌دهد (پیدینگ، ۱۹۹۹؛ پیدینگ و وارن، ۱۹۹۰؛ سیفولا و پوستیگلیون، ۲۰۰۲). کلر موجود در برگ بر عکس پتاسیم اثر نامطلوب روی سوزش برگ دارد. وجود ۲ تا ۵ درصد کلر در بافت توتون با کاهش کیفیت محصول همراه است (سیفولا، ۲۰۰۲). انباشت کلر در برگ‌ها متأثر از خاک، آب آبیاری و کود است (تیسو، ۱۹۹۰). با وجود این pH خاک، فاصله کاشت و رقم (مارچند، ۲۰۱۰) نیز روی انباشت کلر تأثیر دارد. بیشترین مقدار کلر در گیاه در برگ‌ها و ساقه‌ها ذخیره می‌شود. زیادی کلر در توتون باعث کاهش وزن خشک، ضخیم ترشدن برگ‌ها، کاهش الاسیته، افزایش هیگروسکوپیسیتی^۱، تیره رنگی برگ‌ها و عطر و طعم نامطلوب^۳ می‌شود. کلر نقش مثبت پتاسیم را محدود می‌نماید. بعلاوه قطران دود را بالا برده و بر مزه و طعم دود تأثیر منفی خواهد داشت. کلر از آن دسته میکروالمان‌ها است که جذب آن توسط گیاه از خاک و کود آسان‌تر از سایر عناصر میکرو انجام می‌پذیرد (سیفولا و پوستیگلیون، ۲۰۰۲). فرم نیتروژن دار در ایجاد واکنش کلر در توتون موثر است، وقتی نیتروژن به فرم نترات در گیاه تجمع یافته باشد افزایش کلر ایجاد حالت غیرعادی در توتون نمی‌کند در حالی که اگر نیتروژن به فرم آمونیاکی توسط گیاه جذب شود در این حالت کلر اثرات نامساعد خود را در بوته به‌ویژه در برگ‌ها (به‌صورت رنگ کدر غیر یکنواخت) نشان می‌دهد (کلاوسن و لنز، ۱۹۹۵؛ ویلوکس و همکاران، ۱۹۷۳).

¹ Hygroscopicity

² Dinginess

³Undesirable Odors

۲-۱-۲-۲. پتاسیم

دومین عنصر پر مصرف برای رشد گیاه پتاسیم است (کیو و همکاران، ۲۰۱۰). پتاسیم نقش ساختاری ندارد بلکه عمل آن در طبیعت بیشتر کاتالیزوری است (مارچند، ۲۰۱۰). همچنین پتاسیم در اعمال فیزیولوژیکی از جمله متابولیسم کربوهیدرات‌ها یا تشکیل و تجزیه و انتقال نشاسته، متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین‌ها، فعال‌سازی آنزیم‌های مختلف، تسریع رشد بافت‌های مریستمی و تنظیم حرکات روزنه‌ها و آب‌نقش بسزایی دارد (فوشنگ، ۲۰۰۵). پتاسیم عنصر پویایی است که در صورت بروز کمبود به بافت‌های مریستمی جوان انتقال می‌یابد (فرخ و فرخ، ۲۰۱۲). در میان عناصر معدنی برگ توتون، پتاسیم مهم‌ترین ماده معدنی و عنصر اساسی مرتبط با کیفیت برگ است. پتاسیم، رنگ برگ، جنس و خواص رطوبت‌پذیری برگ و به‌طور کلی قابلیت سوزش آنرا بهتر می‌سازد (فرخ و فرخ، ۲۰۱۲؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۰). املاح پتاسیم در موقع سوختن باد کرده و باعث می‌گردند که عمل اکسیداسیون در موقع سوختن بهتر و کامل‌تر انجام پذیرد. بین پتاسیم و دمای احتراق توتون رابطه معکوس وجود دارد (مصباح، ۱۳۸۱؛ گورآ و همکاران، ۲۰۰۲). با افزایش پتاسیم برگ، محتوی نیکوتین آن کاهش می‌یابد. پتاسیم باعث افزایش کیفیت برگ توتون می‌شود. مقدار زیاد پتاسیم باعث نازکی، قابلیت الاستیکی و انعطاف پذیری بیشتر برگ‌های توتون گردد و کمبود پتاسیم سبب انواع نکروزیس^۱ یا مرگ سلولی برگ‌های سبز می‌شود (منگل، ۲۰۰۷؛ سازگار، ۱۳۷۰).

۲-۱-۳. ترکیبات آلی

گیاهان با جذب عناصر و ترکیبات معدنی و بهره‌گیری از انرژی نورانی و انجام فعالیت‌های آنزیمی، ترکیبات آلی که شکل دهنده اصلی ساختار گیاه هستند را تشکیل می‌دهند (سازگار، ۱۳۷۰).

¹ Necrosis

ترکیبات آلی عمده توتون عبارتند از: هیدرات‌های کربن، آلکالوئیدها (نیکوتین)، ترکیبات نیتروژن دار، پروتئین‌ها، پلی فنل‌ها و پیگمان‌ها.

۲-۱-۳-۱. هیدرات‌های کربن

در میان ترکیبات آلی موجود در برگ توتون، کربوهیدرات‌ها (قندها) بسیار مهم می‌باشند. کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای شامل نشاسته است که مهم‌ترین ماده ذخیره‌ای در بافت‌های گیاهان می‌باشد (گانگ و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این، گیاه دارای قندهای محلول است که مستقیماً به عنوان انرژی در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. قندهای احیایی^۱ موجود در برگ مهم‌ترین شاخص کیفی توتون هستند (فریتز و همکاران، ۲۰۰۶). این قندها عبارتند از: الف) منوساکاریدها (گلوکز، فروکتوز و رافینوز) و ب) دی ساکاریدها (مالتوز). در جریان خشکانیدن، پلی-ساکاریدها تحت تأثیر آنزیم‌ها به قندهای ساده تبدیل می‌شوند. این تبدیل‌ها در درجه حرارت‌های نسبتاً بالا و با وجود آب کافی انجام می‌گیرد (تیسو، ۱۹۹۰؛ مصباح، ۱۳۸۱).

قندهای احیا کننده به‌هنگام سوختن توتون به گاز کربنیک و آب تجزیه گشته و سبب افزایش حالت اسیدی دود می‌شوند. اسید مزبور با بازهای حاصل از تجزیه ترکیبات نیتروژنه (نظیر پروتئین) خنثی گشته و بدین طریق دود مرطوب و ملایم به‌دست می‌آید (رضوی و فجری، ۱۳۷۴). در توتون، هیدرات‌های کربن از عوامل بسیار موثر در کیفیت محسوب می‌گردند. افزایش آن‌ها در انواع توتون‌های گرمخانه‌ای و آفتاب خشک (شرقی) سبب فزونی ارزش کیفی آن‌ها می‌گردد. نیتروژن کل با میزان قند رابطه معکوس دارد و این ارتباط در توتون‌های ایران بسیار بارز است (سازگار، ۱۳۷۰). کریمی (۱۳۷۵) گزارش نموده است که بیشتر بودن قند توتون و کمتر بودن نیکوتین منجر به ملایم‌تر شدن مزه توتون می‌گردد. وی مقدار قند مطلوب برای توتون را حدود ۱۸ درصد، ناگاراگان و پراسادرواً

^۱ Reducing sugars

(۲۰۰۴) بین ۱۰ الی ۲۶ درصد، ماو و همکاران (۱۹۹۷) بین ۱۵ الی ۲۵ درصد را مطلوب گزارش کردند. محتوای قند در توتون‌های شرقی حدود ۱۵ الی ۱۸ درصد بوده که مزه شیرین به دود حاصله می‌دهد.

۲-۱-۳-۲. آلکالوئیدها

حدود ۲۵۰۰ ترکیب در توتون شناسایی شده است که آلکالوئیدها و ترپنوئیدها جزو ترکیبات عمده آنها می‌باشند (نوگرو و ورپوت، ۲۰۰۲). آلکالوئیدها ترکیبات قلیایی نیتروژن دار هستند که در گیاهان و گاهی هم در بافت‌های جانوری یافت می‌شوند (مصباح، ۱۳۸۱). آلکالوئیدها غالباً در اندام‌هایی غیر از محل سنتز خود جمع می‌گردند (شوجی و همکاران، ۲۰۰۹). مثلاً در توتون و تنباکو، نیکوتین در ریشه ساخته شده و سپس به ساقه و برگ انتقال می‌یابد (شوجی و هاشیماتو ۲۰۰۸؛ شوجی و همکاران، ۲۰۰۱۱). مهم‌ترین آلکالوئیدهای توتون عبارتند از: نیکوتین^۱، نورنیکوتین^۲، میوسمین^۳، آنابازین^۴، نیکوتیرین^۵ و آنتابین^۶ (شوجی و همکاران، ۲۰۱۰؛ نوگرو و ورپوت، ۲۰۰۲؛ لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). عمده ترین آلکالوئید توتون نیکوتین است که در اغلب انواع توتون حدود ۹۵ درصد میزان کل آلکالوئید را تشکیل می‌دهد. پنج درصد بقیه را سایر آلکالوئیدها به‌ویژه نورنیکوتین شامل می‌شود (سیمینسکی، ۲۰۰۵).

¹ Nicotine

² Nornicotine

³ Myosmine

⁴ Anabazin

⁵ Nicotyrine

⁶ Anatabine

۲-۱-۳-۳. نیکوتین

نیکوتین جزء ترکیبات قلیائی آلی است و به صورت مایعی بی رنگ و روغنی شکل که به آسانی بخار می شود وجود دارد (تیسو، ۱۹۹۰؛ شوجی و همکاران، ۲۰۱۰). ضمن استعمال دخانیات، ۲۵ درصد این ماده از توتون به دود منتقل می شود و بقیه اثرات فیزیولوژیکی خود را روی بدن به جای می گذارد (بوش، ۲۰۰۰؛ شوجی و همکاران، ۲۰۰۸). هر گاه میزان این ماده در توتون بین ۱-۲ درصد باشد شخص مصرف کننده را اقلع می کند (رضوی و فجر، ۱۳۷۴). در گیاه توتون مقدار آن از کم به زیاد افزایش می یابد و مقدار آن بسته به نوع توتون از ۰/۵ تا ۵ درصد متغیر است (مصباح، ۱۳۸۱). توتون های شرقی، آکالوئید کمتری نسبت به توتون های گرمخانه ای برگ درشت مانند ویرجینیا و توتون های هوا خشک مانند بارلی دارند. معمولاً نیکوتین در توتون بارلی از سایر ارقام بیش تر است (سازگار، ۱۳۷۰).

۲-۱-۴. کیفیت توتون

هدف از کشت توتون، استحصال برگ گیاه می باشد و بر خلاف اکثر گیاهان زراعی، عملکرد اقتصادی گیاه توتون فقط شامل برگ ها بوده و از همه مهم تر، کیفیت برگ عمل آوری شده و خواص شیمیایی آن مد نظر می باشد (صالحزاده و همکاران، ۲۰۰۹). کیفیت توتون حاصل مجموعه ای از خواص شیمیایی، فیزیکی و ارگانولپیتیکی است که توتون را برای نوعی از مصرف آماده می سازد. بدیهی است هرچه کیفیت مورد نظر در بالاترین سطح در آن وارسته وجود داشته باشد آن توتون از ارزش کیفی بالایی برخوردار خواهد بود (سازگار، ۱۳۷۰). به عنوان مثال از توتون بارلی رنگ قهوه ای، قند حدود یک درصد، ناچیزی عطر و طعم و ظرفیت پرکنی^۱ بالا انتظار می رود، در حالیکه از توتون شرقی هوا خشک، برگ های کوچک، با رنگ ملایم زرد طلایی یا نارنجی، قند متوسط حدود ۱۰ درصد، عطر و طعم مطبوع و میزان آکالوئید کم (حدود یک درصد) را باید توقع داشت (صالحزاده و همکاران،

^۱ Filling Capacity

۱۳۸۷). به طور خلاصه هر نوع مشخصی از توتون، استاندارد کیفی ویژه خود را داراست که ممکن است استاندارد مذکور در نوع دیگری از توتون از همان ارزش و اعتبار برخوردار نباشد (سیفولا، ۲۰۰۵).

تعیین کیفیت برگ بسیار مشکل تر از تعیین عملکرد کمی آن می باشد چون این شاخص بر اساس طعم، محتوی هیدرات کربن بالا و در مقابل، نیکوتین و آلبومین پایین بیان می شود (پانسکو، ۲۰۰۳). موادی مانند هیدرات کربن، روغن های فرار و صمغ ها در کیفیت توتون اثر مثبت دارند (لایو و همکاران، ۲۰۰۰). در صورتی که مواد آلبومینه، ترکیبات پروتئینی و پکتینی و نیتروژنه که مقدار آن ها از میزان مورد نیاز تجاوز نماید اثر منفی بر توتون به جای می گذارند. کریمی (۱۳۷۵) گزارش کرد که بیشتر بودن قند و کمتر بودن نیکوتین، مزه توتون را ملایم می کند و کیفیت آن را بالا می برد. علاوه بر عوامل مثبت یا منفی موثر بر کیفیت توتون، تعادل مواد مختلف تشکیل دهنده از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به عنوان مثال افزایش قندهای محلول به تنهایی نمی تواند افزایش کیفی قابل توجهی در توتون بوجود آورد. زمانی کیفیت برگ بالا می رود که نسبت هیدرات های کربن به سایر مواد در حد معینی حفظ شود. کیفیت توتون ارتباط مستقیم با زودرسی و مقاومت به خشکی و ارتباط معکوس با عملکرد و مقاومت به بیماری دارد (سیفولا و پوستیگلیون، ۲۰۰۳). به طور کلی کاهش کیفیت با افزایش عوامل منفی همراه است. این عوامل منفی سبب می شوند که عطر و طعم توتون نامطبوع شده و دود حاصل از سوختن فرآورده های آن تند و تلخ گردد.

کود پایه بایستی حتماً قبل از نشاء کاری به صورت یکنواخت در سطح مزرعه توزیع شود چون در روزهای اولیه نشاء کاری برای ساخت و توسعه سلول های ریشه، ساقه و برگ مورد نیاز می باشد. تاخیر در مصرف کود پایه باعث عدم گسترش یاخته ها در اندام ها خواهد شد (سلجی، ۱۳۸۱). کوددهی مناسب به وضعیت حاصلخیزی خاک و نوع توتون مورد کشت بستگی دارد. افزایش عملکرد و بهبود کیفیت تقریباً هم راستا با تامین نیتروژن تا سطح معینی تحقق می یابد. با عدول از آن سطح معین، کیفیت توتون به طور معنی داری کاهش می یابد که البته خود این مساله به تعدادی از عوامل از جمله قابلیت دسترسی عناصر غذایی دیگر، نوع خاک، اقلیم و بخصوص تامین آب و غیره بستگی دارد. با

افزایش نیتروژن، مقدار نیکوتین افزایش می‌یابد ولی مقدار هیدرات‌کربن کاهش نشان می‌دهد (پلیوانوسکا و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین کوددهی توتون بایستی با احتیاط انجام بگیرد، چون در توتون هدف عملکرد حداکثر نبوده بلکه بیشتر عملکرد مطلوب مدنظر است (بیگلویی و همکاران، ۲۰۱۰؛ سیفولا، ۲۰۰۲). در حالت کلی میزان قند و پتاسیم بالا، نیکوتین متوسط و کلر ناچیز را می‌توان از عوامل بسیار مهم موثر در کیفیت شیمیایی برگ عمل‌آوری شده توتون برشمرد. نسبت عناصر معدنی و آلی موجود در گیاه توتون به‌شدت از عوامل اقلیمی، آدافیکی و مدیریتی (روش خشکانیدن، عمل‌آوری و فراوری توتون) تأثیر می‌پذیرد. بر همین اساس، تعیین مقادیر بهینه (تعادلی) بین آنها امری ساده به نظر نمی‌رسد.

۲-۱-۵. فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز^۱ و ارتباط آن با نیتروژن

نیترات ریداکتاز (NR)، آنزیم تنظیمی و محدودکننده میزان مصرف نیترات می‌باشد و عملکردهای کاتالیزوری آن مورد بررسی‌های متعددی قرار گرفته است (مت و همکاران، ۱۹۹۸؛ کنجباو و راکوورا، ۱۹۹۵). نیترات ریداکتاز به‌عنوان عامل محدود کننده رشد و نمو و تولید پروتئین در گیاهان معرفی شده و فعالیت آن تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد.

فعالیت این آنزیم در برگ بیشتر از ریشه و ساقه می‌باشد. در حالت عادی در گیاهان عالی، نیترات در سیتوپلاسم به‌میزان کم یافت می‌شود. در واکوئل نیز به‌عنوان یک یون اسمتیکی تجمع کرده و انجام وظیفه می‌نماید (اسچیل و همکاران، ۱۹۹۷^a). میزان نیترات موجود در سیتوپلاسم توسط فعالیت نرمال آنزیم نیترات ریداکتاز کنترل می‌گردد. ولی در هنگام کمبود نیتروژن در دسترس و یا کم‌آبی، یون نیترات از دیواره تونوپلاست عبور کرده و وارد سیتوپلاسم می‌شود و از این طریق، کمبود نیترات را بر طرف می‌کند (بائو مینگ و همکاران، ۲۰۰۴). اگر افزایش یون نیترات در سیتوپلاسم به‌علت افزایش جذب کود نیتروژنه باشد، باعث افزایش رونویسی ژن مربوط به آنزیم نیترات ریداکتاز

¹ Nitrate reductase

شده و فعالیت آنزیم مذکور نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز موجب افزایش بی رویه سنتز اسیدهای آلی گشته و سنتز هیدرات‌های کربن، به شدت کاهش می‌یابد (سولومونسن، ۱۹۹۰).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر معدنی مورد استفاده گیاهان است و در بین فرم‌های قابل جذب، نیترات به عنوان منبع اصلی نیتروژن در طبیعت است و فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (کرایسر و همکاران، ۲۰۱۱). نیترات ریداکتاز به عنوان کلید هضم نیتروژن گیاهی و اولین آنزیم جهت احیای نیتروژن معدنی و انتقال آن در چرخه احیای نیتروژن معدنی و انتقال آن در چرخه احیای نیتروژن معدنی و انتقال آن در چرخه متابولیسم بوده و در رشد و نمو گیاه تأثیر مستقیم دارد. البته نیترات به خودی خود یک ماده سمی برای انسان محسوب نمی‌شود ولی نیتريت حاصل از آن، می‌تواند با آمین‌ها ترکیب شده و تشکیل نیتروزآمین را بدهد که یک ماده سرطان‌زا برای بدن به‌شمار می‌رود.

نیترات ریداکتاز آنزیم کلیدی در متابولیسم نیترات بوده و سبب احیای آن به نیتريت می‌شود. این آنزیم بیشتر همراه با نیترات و به شکل القایی در سلول ساخته می‌شود و عوامل زیادی از جمله هورمون‌ها و عوامل مختلف محیطی بر بیان ژن‌های مربوط به بیوسنتز آن اثر می‌گذارند (کاتالین و همکاران، ۲۰۰۰). در گیاه توتون، نیترات ریداکتاز یکی از آنزیم‌های مهم است که در متابولیسم نیکوتین و متعاقباً هیدرات‌های کربن نقش به‌سزایی داشته و بر روی ترکیب و کیفیت شیمیایی برگ اثر می‌گذارد (کاجیکاوا و همکاران، ۲۰۱۰). فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز توسط غلظت نیترات برگ‌ها و در نتیجه نیتروژن قابل دسترس در خاک کنترل می‌گردد (وی برو و همکاران، ۱۹۸۳).

نیترات ریداکتاز یکی از عوامل بسیار مهم و تاثرگذار بر تنظیم فرآیندهای بیوشیمیایی و سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه توتون به‌شمار می‌رود و افزایش و یا کاهش فعالیت آن، به شدت کیفیت ذائقه‌ای مورد انتظار برگ عمل‌آوری شده را تغییر می‌دهد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹؛ کاتالین و همکاران، ۲۰۰۰؛ مت و همکاران، ۱۹۹۸). رابطه منفی بسیار بالایی بین فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز و تجمع نشاسته در برگ وجود دارد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). سنتز بیش از اندازه

هیدرات کربن در مراحل پس از گلدهی در توتون به‌علت کاهش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز می‌باشد. این امر باعث تجمع قند به‌صورت نشاسته در برگ شده و تلخی و زندگی دود سیگار ساخته شده را به دنبال دارد. لیتون و نیلسن (۱۹۹۹) اعلام کردند که فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در اوایل فصل رویشی در حداکثر مقدار خود می‌باشد زیرا حداکثر جذب نیتروژن در این دوره رخ می‌دهد. با نزدیک شدن به مرحله گلدهی و کاهش محتوای نیتروژن در تمام اندام‌ها، فعالیت این آنزیم نیز کاهش یافت، چرا که میزان نیتروژن در دسترس محدود می‌شود.

۲-۱-۶. اهمیت نیتروژن در عملکرد کمی و کیفیت شیمیایی برگ توتون

رشد گیاه به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر فراهمی نیتروژن است. فراهمی نیتروژن برای گیاهان در آغاز فصل به‌طور نسبی بیشتر بوده و با افزایش سن گیاه، دسترسی آن کمتر می‌شود (کائو، ۱۹۹۷). بر همین اساس، غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاهی متناسب با سن گیاه تغییر می‌کند. در مراحل اولیه رشد و نمو، غلظت‌های بالای نیتروژن جهت بیوسنتز ترکیبات آلی ضروری می‌باشد. به موازات مسن‌تر شدن گیاه، نیاز به بیوسنتز این مواد کمتر می‌شود. یکی از علتهای این موضوع، انتقال مجدد ترکیبات آلی از بافت‌های مسن به بافت‌های جوان‌تر است (باسو و همکاران، ۲۰۱۶؛ بولینگ و همکاران، ۲۰۱۱). در هر مقطع زمانی، یک غلظت بحرانی نیتروژن در بافت گیاه وجود دارد که در پائین‌تر از آن غلظت، رشد گیاه کاهش می‌یابد. این غلظت‌ها به عنوان تابعی از سن گیاه بیان می‌شوند.

به‌طوری که قبلاً اشاره شد، نیتروژن فاکتور بسیار مهم و محدود کننده رشد تمام گیاهان زراعی است (کرایسر و همکاران، ۲۰۱۱) از این‌رو از کودهای نیتروژنه جهت تغذیه گیاه و افزایش کمیّت و کیفیت محصول استفاده می‌شود. در توتون، اکثر نیتروژن جذب شده به پروتئین و آلکالوئید تبدیل می‌شود (بلو منتال و همکاران، ۲۰۰۱؛ مک اوون و همکاران، ۱۹۹۰؛ جفری و همکاران، ۲۰۰۸). در گیاهان دیگر، مازاد نیتروژن به‌صورت نیترات در بافت تجمع می‌یابد. در توتون، مازاد نیتروژن باعث افزایش ماده سرطان‌زای نیتروزآمین در دود سیگار استحصالی می‌گردد (کاستلی و همکاران، ۲۰۰۱؛

مک اوون و همکاران، ۱۹۸۴؛ سازگار، ۱۳۷۰). غلظت نیتروژن در برگ‌ها ارتباط مستقیم با میزان نیکوتین و ارتباط منفی با غلظت نشاسته و قند برگ دارد (صالحزاده و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش غلظت نیتروژن در اثر مصرف بی رویه کود نیتروژن باعث افزایش خاکستر، غلظت نیکوتین، نیتروژن کل، نیتروژن پروتئینی، رزین، اترهای روغنی و کاهش غلظت قند خواهد شد (سیفولا و پوستیگلیون، ۲۰۰۳). غلظت نیتروژن نیتراتی در برگ‌ها متأثر از نسبت کود نیتروژنه به کودهای دیگر، رطوبت خاک، نوع خاک و به‌میزان کمی اختلافات ژنتیکی می‌باشد (تیسو، ۱۹۹۰). جفری و همکاران (۲۰۰۸) و سینکلر (۱۹۸۹) گزارش کردند زمانی که غلظت نیتروژن کل در ماده خشک توتون بارلی به ۲/۲ درصد برسد، تجمع نیتروژن نیتراتی آغاز خواهد شد.

گیاه توتون نسبت به مصرف نیتروژن بسیار حساس بوده و بوته باید در طول فصل رشد نیتروژن کافی در اختیار داشته باشد و برای تضمین کیفیت و رسیدگی به موقع برگ‌ها باید پس از گلزنی، میزان آن در خاک به حداقل ممکن برسد (ثابتی و همکاران، ۲۰۱۳). در مزرعه، کمبود نیتروژن باعث رسیدگی پیش از موعد و زرد شدن برگ‌ها خواهد شد که چنین برگ‌هایی پس از عمل‌آوری پر چین و چروک و ضخیم بوده و دود ناشی از آن بی مزه خواهد بود. نیتروژن اضافی خاک منجر به تولید برگ‌های قهوه ای و تیره متمایل به سیاه خواهد شد که خشک و کاهی بوده و دود قوی و زنده‌ای خواهد داشت. افزایش نیتروژن خاک باعث افزایش عملکرد توتون خواهد شد ولی در سطوح بالاتر، تقلیل کیفیت را به دنبال خواهد داشت (سیفولا و پوستیگلیون، ۲۰۰۲؛ ۲۰۰۳؛ سازگار، ۱۳۷۰).

نیتروژن عمدتاً به صورت یون نیترات (NO_3^-) و یون آمونیوم (NH_4^+) توسط ریشه گیاهان عالی جذب می‌شود. یون آمونیوم و نیترات تأثیرات متفاوتی روی برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان عالی دارند (کوجیما، ۲۰۰۶؛ فلور، ۱۹۹۹). یون آمونیوم در مقایسه با یون نیترات در ریشه‌های کوچک و برگ‌های جوان یافت می‌شود و در زنجیره‌های کوتاه کربنی شرکت می‌کند و گیاهی که با نیتروژن آمونیومی تغذیه می‌شود دی‌اکسیدکربن زیادی را در برگ خود تثبیت می‌کند و عملکرد بالاتری در مقایسه با میزان آن در تغذیه نیتروژن نیتراتی دارد (کای و کیان، ۲۰۰۳).

هر چند آسیمیلاسیون نیتروژن در گیاه، با احیای یون نیترات و آمونیوم در گیاه همراه است ولی هرگاه بسیاری از گیاهان، تنها با مقدار زیادی از یون آمونیوم تغذیه شوند، توقف رشد در آنها رخ می‌دهد (گرناس و همکاران، ۱۹۹۷؛ راب و تری، ۱۹۹۵؛ ماگال هیس و هوپر، ۱۹۸۹، کریک‌بای و هوگز، ۱۹۷۰). توقف رشد ناشی از یون آمونیوم دلایل مختلفی دارد از جمله این که یون آمونیوم سبب اختلال در تنظیم pH گیاه می‌شود (کلوسن و لنز، ۱۹۹۵؛ پوریچ و بارکر، ۱۹۶۷)، باعث کاهش جذب برخی عناصر غذایی مانند پتاسیم (فوشنگ، ۲۰۰۵) و کلسیم (ویلکوکس و همکاران، ۱۹۷۳) و منیزیم و کمبود آن‌ها در گیاه می‌گردد، با مصرف بیش از حد قندها طی آسیمیلاسیون یون آمونیوم، میزان کربوهیدرات‌ها در گیاه محدود می‌شود (کرامر و لویس، ۱۹۹۳).

فقدان یون نیترات (به‌عنوان یک یون اسمتیکی در گیاه) دلیل دیگر کاهش یا توقف رشد گیاه در اثر مصرف بیش از حد یون آمونیوم است (راب و تری، ۱۹۹۴). برخی شواهد حاکی از آن می‌باشد که نوع منبع نیتروژن ممکن است سنتز برخی از هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه سبب تغییر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شود (کندی و زیوارت، ۱۹۹۷).

در مزارع توتون کشور معمولاً کود اوره مصرف نمی‌شود و نیتروژن گیاه از منبع نیترات آمونیوم تامین می‌شود. این در حالی است که، کود اوره در ایالت کنتاکی به‌عنوان منبع نیتروژن برای توتون بارلی ۲۱ محسوب می‌شود (ویلیامز و ماینر، ۱۹۸۲). این کود علی‌رغم افزایش آبی pH خاک در پیرامون دانه کود (به‌دلیل افزایش غلظت آمونیاک)، در دراز مدت و با اکسیده شدن به یون نیترات، سبب کاهش pH خاک می‌شود (ماگال هیز و همکاران، ۱۹۸۹؛ کریک‌بای و هوگز، ۱۹۷۰). با توجه به این که خاک‌های ایالت کنتاکی دارای pH حدود ۶ تا ۶/۵ هستند. لذا این کود سبب اسیدی‌تر شدن این خاک‌ها شده و باعث جذب آلومینیوم و منگنز تا حد سمیت می‌گردد لذا در این خاک‌ها از آهک نیز استفاده می‌شود. از جمله مزیت استفاده از اوره به‌جای نیترات آمونیوم، آبشویی کمتر آن است (نیدر و همکاران، ۲۰۰۱) چون یون آمونیوم حاصل از هیدراسیون اوره به ذرات خاک جذب سطحی می‌شود در حالی که یون نیترات دومین آنیون قابل تحرک بعد از کلر است که به‌راحتی آبشویی می‌گردد (لیو و زانگ، ۲۰۰۸). مقداری از یون آمونیوم جذب

شده به ذرات خاک در بین فضای بین لایه‌های رس‌های خاک تثبیت شده و مقدار ازت کل خاک افزایش یافته و بازیافت آن توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد و از هدر رفت نیتروژن خاک توسط آبشویی و نیتریفیکاسیون، جلوگیری و این نیتروژن به تدریج به‌طور مستقیم و غیرمستقیم جذب گیاه می‌شود (چانیتی و همکاران، ۲۰۰۴). البته جذب تدریجی آن ممکن است آثار سوء در رسیدگی دیرهنگام برگ توتون و ترکیب آلکالوئیدهای آن از جمله نیتروزآمین داشته باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در صورت استفاده از آن در زراعت توتون لازم است این کود قبل از مرحله رشد سریع بوته مصرف گردد. صحت این فرضیه نیاز به بررسی دارد. در خاک‌های توتون‌کاری استان مازندران و آذربایجان غربی و کردستان با توجه به این که pH بالاتر است تأثیر مصرف اوره به‌جای نیترات آمونیوم ممکن است ارجحیت داشته باشد.

۲-۲. مدل‌سازی در گیاهان زراعی

استفاده از مدل و کاربرد آن در علوم مختلف، شکاف‌های دانش ما را شناسایی کرده و در نتیجه امکان برنامه‌ریزی تحقیقات کارآمدتر و هدفمندتر را فراهم می‌سازد (باسو و ریچی، ۲۰۱۵). محصول نهایی، مدلی خواهد بود که از نظر فیزیکی و فیزیولوژیکی روابط موجود را به‌هم مرتبط می‌سازد. شایان ذکر است که روابط بیولوژیکی حاکم بر جهان هستی بسیار پیچیده بوده و خیلی از روابط نیز هنوز ناشناخته‌اند (جیمز و کات فورث، ۱۹۹۶). در نتیجه، مرتبط ساختن تمام روابط موجود در عمل غیر ممکن است.

اصطلاح مدل‌سازی محصولات زراعی، ارتباط عمیق بین رشته‌ای مختلف علوم کشاورزی را در خود نهفته دارد (رائوکس و همکاران، ۲۰۱۰). با استفاده از مدل‌سازی می‌توان اهمیت و اثر پارامترهای خاص و میزان تأثیر هر یک از آنها در تولید محصولات و همچنین درک تعاملات اولیه در سیستم خاک، گیاه و جو را برآورد نمود (باسو و همکاران، ۲۰۱۶). به‌طور کلی، مدل‌سازی یکی از ابزارهای مناسب برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی پدیده‌های محیط زیستی و طبیعی می‌باشد که اغلب

به صورت مدل‌های مفهومی با روابط ریاضی بیان می‌شوند. فرآیندها و پدیده‌هایی که در سیستم‌های محیط زیستی وجود دارد و مهندسين با آن سر و کار دارند اغلب دو خصوصیت عمده دارند: الف) وابسته به متغیرهای زیاد هستند، ب) روابط بسیار پیچیده‌ای بین اجزا وجود دارد که تحلیل آن را بسیار مشکل می‌نماید. این مشکل همواره باعث خطا در دقت و صحت پیش‌بینی مدل‌های مرسوم می‌شود (دومونت و همکاران ۲۰۱۵؛ بولت و کومستوک، ۱۹۹۷).

تکنیک‌هایی که در مدل‌سازی استفاده می‌شوند با اهداف مختلفی مانند انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت، تعیین بهترین گزینه‌های مدیریت زراعی و آنالیز به کارگرفته می‌شوند (بوت و همکاران، ۱۹۹۱؛ هافل و همکاران، ۲۰۰۱). این موضوع نیاز به تکرار آزمایش‌های زمان‌بر و پرهزینه برای ارزیابی اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی در کشاورزی را مرتفع ساخته است. پیش‌بینی تغییرات اقلیم و تغییر آب و هوا و برآورد پتانسیل منابع آبی و خاکی کشورها جهت تخمین تولید غذای مکفی برای جمعیت آن‌ها از طریق مطالعات سنتی مرسوم، عملاً ناممکن و همراه با خطای بسیار می‌باشد (آنتل، ۲۰۰۹؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۱۱). مدل‌ها ابزارهایی عملی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان به درکی از واقعیت، البته نه کل آن، بلکه بخش مفید و قابل فهم آن دست یافت. امروزه، مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی به‌عنوان ابزاری چند منظوره در تحقیقات و مدیریت زراعی مطرح هستند (باسو و همکاران، ۲۰۱۵؛ نصیری محلاتی و کوچکی، ۱۳۷۹؛ تاتاری و همکاران، ۱۳۸۸).

تغییر اقلیم و آب و هوای کره زمین به‌شدت، امنیت و کیفیت غذای جهان را تحت تأثیر قرار داده و تغییر الگوهای زراعی و استفاده از تکنولوژی‌های جدید در کشاورزی از طریق پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم برای مقابله با این چالش اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (راف و بلو، ۲۰۱۵). اصلاح گران می‌توانند نیازهای آینده بشر را بر پایه تغییرات اقلیم به‌وسیله شبیه‌سازی ویژگی‌های سیستم‌های طبیعی پیش‌بینی کنند.

یک مدل، نمایشی شماتیک از مفهوم یک سیستم یا مجموعه‌ای از معادلات است که نشان‌دهنده رفتار یک سیستم با هدف درک و بهبود عملکرد سیستم می‌باشد (باسو و همکاران، ۲۰۱۶؛ بوت و

همکاران، ۱۹۹۱؛ بولت و کومستوک، ۱۹۹۷). بسیاری از سیستم‌های طبیعی پیچیدگی زیادی دارند و نمی‌توان مرز مشخصی برای آنان قائل شد چرا که اکوسیستم‌های کشاورزی ذاتا اکوسیستم‌های متغیری می‌باشند. مدل‌های شبیه‌سازی تجربی بر پایه روابط و فاکتورهای وابسته بین متغیرها می‌باشد و پارامترهای ورودی فراوانی نیاز دارند و همچنین در خارج از دامنه داده‌هایی که ساخته شده‌اند قابلیت استفاده نخواهند داشت (بولت و کومستوک، ۱۹۹۷؛ باسو و همکاران، ۲۰۱۱). برای فائق آمدن به این محدودیت، شبکه‌های عصبی مصنوعی ابداع شدند که خیلی سریع کاربرد گسترده‌ای پیدا کردند.

آنچه در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین در علوم مختلف واقع شده است، مدل‌سازی به‌روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. هوش مصنوعی در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست امروزه به دلیل گسترش دانش و پیچیده‌تر شدن فرآیند تصمیم‌گیری، اهمیت بیشتری یافته‌است.

۲-۳. هوش مصنوعی

هوش مصنوعی به سیستم‌هایی گفته می‌شود که می‌تواند واکنش‌هایی مشابه رفتارهای هوشمند انسانی از جمله درک شرایط پیچیده، شبیه‌سازی فرآیندهای تفکری و شیوه‌های استدلالی انسانی و پاسخ موفق به آن‌ها، یادگیری و توانایی کسب دانش و استدلال برای حل مسائل داشته باشند (سرل و همکاران، ۲۰۰۰). در شرایطی که مجموعه قوانین لازم برای حل مسأله وجود نداشته باشد و یا شناخت پدیده بسیار پیچیده باشد، کاربرد یک سامانه هوش مصنوعی که قابلیت یادگیری، خلاقیت و انعطاف‌پذیری انسان را داشته باشد به کار گرفته شود. در این راستا روش‌های محاسباتی عصبی رایج شده که در آن تکیه اساسی بر تربیت تدریجی سامانه است (روتکووسکی و همکاران، ۱۹۹۶).

انواع سیستم‌های هوشمند عبارتند از، سیستم‌های خبره^۱، سیستم‌های فازی^۲ و شبکه عصبی مصنوعی.

^۱ Expert system

^۲ Fuzzy systems

۲-۳-۱. سیستم‌های خبره

سیستم‌های خبره، برنامه‌های کامپیوتری پیچیده‌ای هستند که می‌توانند مانند انسان در چگونگی انجام کار تصمیم‌گیری کنند. در سیستم‌های خبره، تجربه و تخصص یک شخص خبره برای حل یک مسأله به صورت یک سری گزاره‌های شرطی تعریف می‌شود و سپس این گزاره‌های شرطی (قوانین) در مورد یک مسأله مشخص، یک پایگاه شناختی به وجود می‌آورند (اوتنگ و همکاران، ۲۰۱۳). سه مشکل عمده بر سر راه شناخت قوانین حل مساله وجود دارد:

الف) کسب شناخت به روش‌های دستی هزینه و وقت زیادی را صرف می‌کند.

ب) بعد از کسب شناخت برای یک مسأله مشخص، آن را نمی‌توان به حل مسأله دیگر تعمیم داد.

ج) با توجه به این که هر متخصص برای حل مسائل با راه‌حل‌های نامشخص روش خاص خودش را دارد، نمی‌توان روش صحیح حل این مسائل را شناخت (دونالتی و راشل، ۲۰۱۰؛ وان اورت و همکاران، ۲۰۰۵).

این مشکلات باعث شد سیستم‌های یادگیری ماشینی^۱ طراحی شوند که قادرند شناخت یک متخصص را به طور خودکار از روی چندین مثال یاد بگیرند. به عبارت بهتر، قبل از استفاده از یک سیستم یادگیری ماشینی، متخصص رشته مورد نظر باید آن را آموزش دهد. این سیستم در طی یک زمان مشخص به چگونگی تشخیص یک متخصص نگاه می‌کند و با تغییر ضرایب ساختار خود سعی می‌کند مانند او تصمیم بگیرد و بعد از این مرحله، سیستم برای پاسخگویی و استفاده یک شخص غیر متخصص آماده است (رائوکس و همکاران، ۲۰۱۰).

¹ Machine Learning Systems

۲-۳-۲. سیستم‌های فازی

نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ ارائه شده است. تفاوت عمده بین مجموعه‌های کلاسیک و مجموعه‌های فازی در مفهوم درجه عضویت اعضای مجموعه است. درجه عضویت می‌تواند هر عدد دلخواه در فاصله صفر و یک باشد. به عبارت دیگر هر شیء می‌تواند کاملاً عضو یک مجموعه فازی باشد، کاملاً عضو آن نباشد و یا تقریباً عضو آن باشد که با درجه عضویت آن شیء در مجموعه‌ها بیان می‌شود (کومار و همکاران، ۲۰۱۵؛ چن و همکاران، ۲۰۰۶). کلمه فازی یا مبهم، برای توصیف مجموعه‌هایی به کار رفته است که میزان و یا درجه عضویت اعضای آن مبهم است. استفاده از مجموعه‌های فازی در روند تحلیل تصمیم‌گیری در محیط‌هایی که اطلاعات موجود در آن ناقص، مبهم و یا گنگ هستند بسیار کار آمد است. نتیجه حاصل شده در این روش فاکتور قطعیت^۱ نام دارد که در روند تصمیم‌گیری محاسبه می‌شود و معین کننده درجه درستی تصمیم گرفته شده است. فاکتور قطعیت می‌تواند دارای مقادیری در محدوده‌های گوناگون باشد، ولی معمولاً پس از تعیین، آن را در محدوده صفر و یک نرمال^۲ می‌کنند (روتکووسکی و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۳-۳. شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی از سیستم‌های هوشمند هستند که جای خود را در اواخر دهه ۸۰ در کاربردهای علمی و مهندسی باز کرده‌اند. این شبکه‌ها ابزار قدرتمندی برای پردازش اطلاعات نامنظم و پیچیده‌ای هستند که تئوری محکم و دقیقی نمی‌توان برای آن‌ها به کار برد. این ابزار قادرند بین اطلاعاتی که از آزمایشات تجربی و حل مثال‌های متعدد به دست آمده است از طریق درون یابی، ارتباط نهفته‌ای تعیین کنند که در حل مسائل مشابه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار شبکه عصبی مصنوعی،

¹ Certainty Factor

² Normalize

روشی محاسباتی، الهام گرفته از دستگاه‌های عصبی زیستی است و ساختار کلی آن از شبکه بیولوژیکی انسان الهام گرفته شده است (مک کولوس، ۱۹۴۳).

این شبکه‌ها از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته به نام نرون^۱ تشکیل شده که برای حل یک مسأله باهم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. نرون‌ها معمولاً به صورت موازی عمل می‌کنند و در معماری‌های منظمی شکل می‌یابند. از ترکیب چند نرون، سلول ساخته می‌شود که بسته به نوع آن، سلول وظیفه خاصی را در شبکه به عهده دارد. چگونگی اتصال سلول‌های عصبی در لایه‌های متفاوت، مشخص‌کننده ساختار شبکه است که معماری شبکه نام^۲ دارد (لنوکسا و همکاران، ۱۹۹۸).

یک شبکه عصبی مصنوعی شبیه مغز انسان، قابلیت یادگیری، فراخوانی و تعمیم یافتن از الگوهای یادگیری داده‌ها را دارد. این شبکه می‌تواند برای یک عمل خاص با تعدیل وزن‌های بین عناصر، آموزش ببیند (سرل و همکاران، ۲۰۰۰؛ بولت و کومستوک، ۱۹۹۹). معمولاً شبکه‌های عصبی مصنوعی را آموزش می‌دهند تا یک ورودی خاص را به یک خروجی خاص تبدیل کنند. مزیت این شبکه‌ها آن است که قادر به مدل‌سازی دستگاه‌های خطی و غیرخطی هستند (ریچارد و همکاران، ۲۰۰۴؛ رائوکس و آدام، ۲۰۱۰).

به‌طور خلاصه، در این روش داده‌های مشاهده‌ای به مدل آموزش داده می‌شود و پس از آموزش مدل با دقت مناسب، کار پیش‌بینی و شبیه‌سازی را انجام می‌دهد. روابط پیچیده‌ای بین اجزا طبیعت وجود دارد که تحلیل آن را بسیار مشکل می‌نماید. این مشکل همواره باعث خطا در دقت و صحت پیش‌بینی مدل‌های مرسوم می‌شود که باعث کاهش کارایی مدل‌های کلاسیک در تحلیل روابط پیچیده حاکم شده است و با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به این مشکل فایق آمد (زانگ و باریون، ۲۰۰۶؛ یوریگ و همکاران، ۱۹۹۲).

¹ Neuron

² Network architecture

۲-۳-۳-۱. دلایل مورد توجه واقع شدن شبکه‌های عصبی مصنوعی

الف) شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به تشخیص رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی بدون نیاز به ملاحظات فیزیکی صریح هستند و حتی زمانی که مجموعه‌های آموزشی دارای خطای اندازه‌گیری باشند، عملکرد خوبی دارند (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

ب) قادرند خود را با مشکلات و تغییرات به‌وجود آمده سازگار کنند و سایر مشخصات پردازش اطلاعات در شبکه را دارند و وقتی یکبار مورد آموزش قرار گیرند به‌آسانی قابل کاربرد هستند (ناسیمنتو، ۲۰۰۰).

ج) در صورت عدم درک کامل مسایل که تجزیه معنی‌دار با روش‌های فیزیکی امکان‌پذیر نیست، کاربرد شبکه‌ها مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد.

د) شبکه‌ها قادر به مدل‌سازی فرآیندهای غیرخطی بدون حل معادلات پیچیده مشتقات جزئی هستند (رائوکس و همکاران، ۲۰۱۶)

ه) بر خلاف روش همگرایی، شبکه‌ها نیازی به فرض کردن فرم ریاضی رابطه ورودی و خروجی ندارند (هایکین، ۱۹۹۴).

۲-۳-۳-۲. ساختار شبکه عصبی

در شبکه‌های عصبی مصنوعی بلوک‌های ساختاری و یا نرون‌ها، دستگاه‌های محاسباتی خیلی ساده‌ای هستند و ارتباط بین نرون‌ها، عملکرد شبکه را تعیین می‌کند. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل مراحل آموزش، بازخوانی و الگوریتم پس انتشار خطاست و هدف از آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی تعیین ارتباط مناسب، جهت حل مسائل مختلف است. در واقع شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز با ایده گرفتن از رفتار شبکه عصبی بیولوژیکی شکل یافته است (نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷؛ مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولت و کومستوک، ۱۹۹۷). در این شبکه‌ها نیز عموماً لایه‌های موازی نرون‌ها وجود دارد که نرون‌های هر لایه نقش خاصی را ایفا می‌کنند. معمولاً ورودی‌هایی که از خارج به شبکه عصبی

داده می‌شوند، به دسته‌ای از نرون‌ها که در یک لایه مرتب شده اند، اعمال می‌شود (سرل و همکاران، ۲۰۰۰). این ورودی‌ها با وزن‌های خاص جمع شده و به تابع تحریک هر نرون فرستاده می‌شوند که این اقدام به پردازش جمع وزن‌دار ورودی‌های اعمال شده به نرون می‌کند و خروجی نرون را به لایه‌های بعدی و نهایتاً به لایه خروجی می‌فرستد که جواب شبکه نسبت به ورودی‌های اعمال شده به آن است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ ونجی و همکاران، ۲۰۱۶؛ گوتام و پانیگراهی، ۲۰۰۷). شکل ۱-۲ ساختار شماتیک نحوه عملکرد یک شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

اگر چه نرون‌های بیولوژیکی از نرون‌های مصنوعی که توسط مدارهای الکتریکی ساخته می‌شوند، بسیار کندتر هستند (یک میلیون بار)، اما عملکرد مغز خیلی سریع‌تر از عملکرد یک کامپیوتر معمولی است. علت اصلی این پدیده بیشتر به خاطر ساختار کاملاً موازی نرون‌های عصبی مغز است و این بدان معنی است که همه نرون‌ها معمولاً به‌طور هم‌زمان کار می‌کنند و پاسخ می‌دهند (بشیر و همکاران، ۲۰۰۰؛ هیتچ و نیلسن، ۱۹۹۸). شبکه‌های عصبی مصنوعی با وجود این که با سیستم عصبی طبیعی قابل مقایسه نیستند، ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را در بعضی از کاربردها مانند رباتیک، کنترل و به‌طور کلی در هر جا که نیاز به یادگیری یک نگاشت خطی و یا غیرخطی باشد ممتاز می‌نماید. به بیان دیگر، شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع نوعی سیستم پردازش اطلاعات هستند که از تعمیم یافتن مدل‌های ریاضی شبکه‌های عصبی انسان بر مبنای فرضیات زیر توسعه یافته‌اند :

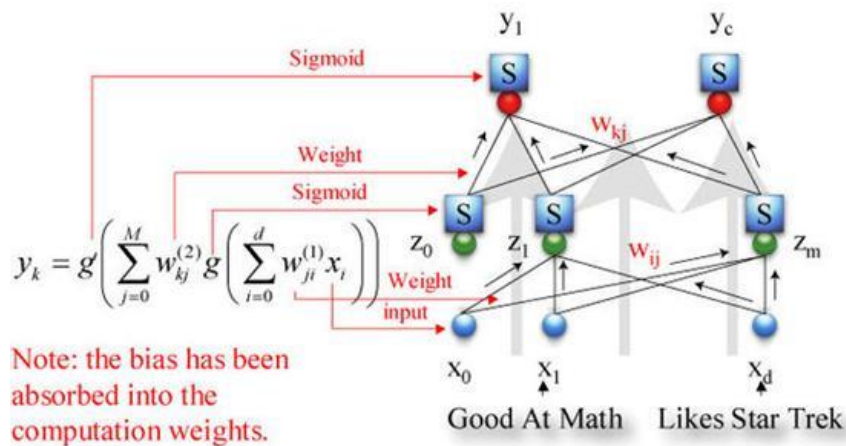
الف) داده پردازش در اجزای ساده‌ای به نام نرون صورت می‌گیرد (تای و شفلیت، ۱۹۹۱).

ب) اطلاعات از طریق ارتباط بین نرون‌ها منتقل می‌شود (منهاج، ۱۳۹۳، صفا و سیمرد، ۲۰۱۱).

ج) هر ارتباط دارای وزن مخصوص به‌خودش است (نبوی و پله سرایی، ۲۰۱۴؛ سرل و همکاران، ۲۰۰۰؛ بشیر و هاجمیر، ۲۰۰۰).

د) هر نرون برای محاسبه خروجی‌اش، یک تابع تحریک دارد که به مجموع وزن‌دار ورودی‌هایش اعمال می‌شود (نوربخش و همکاران، ۲۰۰۴).

ر) خروجی هر پردازشگر (نرون) ممکن است به تعداد زیادی واحد پردازشگر دیگر منتقل شود (نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷؛ قدسی و همکاران، ۲۰۱۲). این مدل ریاضی تعریف شده که مشابه دستگاه عصبی مغز کار می‌کند، ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱-۲. ساختار شماییک شبکه عصبی چند لایه و نحوه عمل آن
برگرفته از سایت: www.extremetech.com

۱-۲-۳-۳-۱. تابع انتقال یا تابع تحریک^۱

توابع انتقال (توابع فعال‌سازی) انواع مختلفی دارند که برخی از آنها عبارتند از: توابع خطی، لگاریتمی، سیگموئیدی (زانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ هیتچ، ۱۹۹۸). معمولاً در یک سلول شبکه عصبی یک ورودی اضافی نیز وجود دارد که بایاس نامیده می‌شود. نقش بایاس، افزایش یا کاهش مجموع وزن‌دار است (سرل و همکاران، ۲۰۰۰؛ بولت و همکاران، ۱۹۹۷). بایاس به‌عنوان یک جبران‌کننده عمل می‌کند و به شبکه کمک می‌کند تا الگوهای موجود را بهتر بشناسد (کائول و همکاران، ۲۰۰۵؛ منهاج، ۱۳۹۳؛ سرل و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاما و همکاران، ۱۹۹۵). گره‌هایی که در لایه ورودی یافت می‌شوند، در اصل نرون‌هایی هستند که هیچ عملیاتی بر روی آن‌ها صورت نمی‌گیرد و در محاسبه

¹ Stimulation or Transferring Functions

تعداد لایه‌ها نیز قرار نمی‌گیرند. گره‌های لایه خروجی، نرون‌های پاسخ دهنده هستند که پاسخ حل مسئله در آن‌ها نمایان می‌شود. بین نرون‌های ورودی و خروجی نیز نرون‌های پنهان قرار دارند. برای حل یک مسئله با چندین ورودی و خروجی از یک نرون به‌تنهایی نمی‌توان استفاده کرد. در این حال باید از چندین نرون به‌صورت موازی بهره‌جست که بتوانند بردارهای ورودی را هم‌زمان پردازش کنند و به بردار خروجی لایه آخر منتقل کنند (نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷).

درون هر نرون یک وزن به‌خصوصی است که با اعمال آن به مقادیر ورودی به نرون روی آنان تأثیر گذاشته و بردارهای وزن‌دار را به توابع تحریک هدایت می‌کنند. ممکن است نیاز باشد که یک بردار علاوه بر تجربه تغییر وزن، در فضای برداری نیز جابجا شود که این عمل با اضافه کردن یک بایاس به ماتریس وزن‌دار صورت می‌گیرد (نوربخش و همکاران، ۲۰۰۴؛ خوش‌نویس و همکاران، ۲۰۱۳). سپس مقادیر وزن‌دار به توابع تحریک برده می‌شوند و تابع خروجی مقدار اصلی را به‌خود می‌گیرد و با توجه به این که آیا جواب مناسب به‌دست آمده است یا خیر این مقادیر با بردار هدف^۱ مقایسه می‌شوند و در صورت اختلاف با بردار هدف به‌عقب برگشت داده می‌شوند تا وزن‌های مناسب‌تری برای آن بردارها انتخاب گردد (سیمرد و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاتریک و سیمرد، ۱۹۹۴؛ گوتام و پانیگراهی، ۲۰۰۷؛ زانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ منهاج، ۱۳۹۳).

۲-۳-۳-۲. انواع توابع تحریک

اصولاً وقتی مقادیر ورودی به نرون وزن‌دار شدند، مقادیر وزن‌دار توسط توابع W مربوط به وزن-دهی، مقدار واقعی خروجی نرون را به خود می‌گیرند (ونجی و همکاران، ۲۰۱۱). تابع تحریک بر اساس نیاز خاص حل مسئله انتخاب می‌شود که در عمل تعداد محدودی از این توابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. توابعی که به‌خصوص در کاربردهای مهندسی مورد استفاده بیشتری قرار می‌گیرند،

^۱ Target

عبارتند از توابع تحریک خطی، تابع حدی دو مقداره (باینری)، تابع محرک سیگموئیدی و تابع محرک تانژانت هایپربولیک.

۲-۳-۲-۲-۱. تابع تحریک خطی

خروجی این تابع برابر ورودی آن است. این تابع بیشتر در شبکه‌های ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند (زانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ منهج، ۱۳۹۳).

۲-۳-۲-۲-۲. تابع حدی دو مقداری

خروجی این تابع معمولاً ۰ یا ۱ و یا ۱ یا -۱ است. اگر مقدار ورودی وزن‌دار بزرگتر از $\frac{-b}{w}$ باشد مقدار تابع ۱ و در غیر این صورت مقدار آن -۱ و یا صفر (بسته به خواسته مسأله) می‌باشد. این تابع چون مقادیر ورودی را بین دو مقدار محدود می‌کند (گوتام و پانیگراهی، ۲۰۰۷) در مسائلی به کار برده می‌شوند که بخواهیم داده‌ها را به‌طور خطی از هم جدا کنیم (مانند تابع متحرک خطی).

۲-۳-۲-۳-۲. تابع محرک سیگموئیدی

این تابع نیز مقادیر ورودی را بین صفر و یک محدود می‌کند با این تفاوت که میزان تغییرات آن غیرخطی است. مزیت این تابع در عملکرد آن با ورودی‌های بزرگ و یا کوچک است. هنگامی که مقادیر ورودی به سمت اعداد منفی بزرگ میل کند، مقدار صفر و هنگامی که مقادیر ورودی به سمت صفر میل کند، مقدار تابع به سمت ۰/۵ و هنگامی که مقادیر ورودی به سمت مقادیر مثبت بزرگ میل کند مقدار تابع به سمت یک میل خواهد کرد (منهج، ۱۳۹۳).

۲-۳-۳-۲-۴. تابع تحریک تانژانت هایپربولیک

تابع تحریک دیگر که اغلب توسط زیست‌شناسان به‌عنوان مدل ریاضی از تحریک سلول عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تابع تانژانت هایپربولیک است که از نظر شکل شبیه تابع منطقی می‌باشد (زانگ و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۳-۳-۳. توانایی‌های شبکه عصبی

۲-۳-۳-۱. قابلیت یادگیری^۱ (آموزش)

نرون یک دستگاه غیرخطی است و در نتیجه یک شبکه عصبی که از اجتماع این نرون‌ها تشکیل می‌شود نیز یک سیستم کاملاً پیچیده و غیرخطی خواهد بود (بولت و کومستوک، ۱۹۹۷). به‌علاوه خاصیت غیرخطی عناصر پردازش در کل شبکه توزیع می‌گردد. پیاده‌سازی یک سیستم با یک نگاهت غیرخطی و یا خطی پیچیده به وسیله یک الگوریتم معمولی و بدون قابلیت یادگیری، نیاز به دقت و مراقبت زیادی دارد. در چنین حالتی سیستمی که بتواند خود این رابطه را استخراج کند، بسیار سودمند به نظر می‌رسد. قابلیت یادگیری یعنی توانایی تنظیم پارامترهای شبکه (وزن‌های سیناپسی)، در شرایطی که محیط شبکه تغییر می‌کند و شبکه شرایط جدید را تجربه می‌کند (بایلی و همکاران، ۲۰۱۶). با این هدف که اگر شبکه برای یک وضعیت خاص آموزش دید و تغییر کوچکی در شرایط محیطی آن (وضعیت خاص) رخ داد، شبکه بتواند با آموزش مختصر برای شرایط جدید کارآمد باشد. دیگر این‌که اطلاعات در شبکه‌های عصبی در سیناپس‌ها ذخیره می‌گردد و هر نرون در شبکه به‌صورت بالقوه از کل فعالیت سایر نرون‌ها متأثر می‌شود. در نتیجه اطلاعات از نوع مجزا از هم نبوده، بلکه متأثر از کل شبکه است.

¹ Learning

آنچه که شبکه عصبی فرا می‌گیرد (اطلاعات و یا دانش)، در وزن‌های سیناپسی مستتر می‌باشد. رابطه یک به یک بین ورودی‌ها و وزن‌های سیناپسی وجود ندارد. می‌توان گفت که هر وزن سیناپسی مربوط به همه ورودی‌ها است، ولی به هیچ یک از آن‌ها به‌طور منفرد و مجزا مربوط نیست. به عبارت دیگر هر نرون در شبکه، از کل فعالیت سایر نرون‌ها متأثر می‌باشد. در نتیجه اطلاعات توسط شبکه‌های عصبی پردازش می‌شوند. بر این اساس، چنانچه بخشی از سلول‌های شبکه حذف شوند و یا عملکرد غلط داشته باشند باز هم احتمال رسیدن به پاسخ صحیح وجود دارد. اگر چه این احتمال برای تمام ورودی‌ها کاهش یافته، ولی برای هیچ یک از بین نرفته است (زانگ و همگاران، ۲۰۰۰؛ منهاج، ۱۳۹۳؛ بشیر، ۲۰۰۰).

۲-۳-۳-۳-۲. قابلیت تعمیم‌دهی

پس از این که نمونه‌های اولیه به شبکه آموزش داده شد، شبکه می‌تواند در مقابل یک ورودی آموزش داده نشده قرار گیرد و یک خروجی مناسب ارائه نماید. این خروجی بر اساس یک مکانیزم تعمیم که همان درون‌یابی است، به دست می‌آید. به عبارت روشن‌تر، شبکه تابع نگاشت بین دسته‌های ورودی و خروجی را بدون این که دقیقاً بداند چیست، یاد می‌گیرد و الگوریتم را می‌آموزد و یا رابطه تحلیلی مناسب را برای تعدادی نقاط در فضا به دست می‌آورد (کائول و همکاران، ۲۰۰۵؛ منهاج، ۱۳۹۳).

۲-۳-۳-۳-۲. مقاوم بودن شبکه در مقابل خطا

در یک شبکه عصبی مصنوعی هر سلول به‌طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه برآیند رفتارهای محلی سلول‌های متعدد است. این ویژگی باعث می‌شود تا خطاهای محلی اصطلاحاً از چشم خروجی نهایی دور بماند. به عبارت دیگر سلول‌ها در یک روند همکاری، خطاهای محلی یکدیگر را

تصحیح می‌کنند. این خصوصیت باعث افزایش قابلیت مقاوم بودن (تحمل‌پذیری خطاها) در سیستم می‌گردد (هایکین، ۱۹۹۴).

۲-۳-۴. انتخاب نوع شبکه عصبی

نوع یک شبکه عصبی توسط ساختار و آموزش آن مشخص می‌شود (بشیر، ۲۰۰۰). انتخاب این شبکه به ماهیت مسأله مورد بررسی و نوع داده‌های آن وابسته است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به‌همین خاطر به این سیستم‌ها هوشمند گفته می‌شود، چراکه بر اساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. شبکه‌های عصبی مصنوعی علیرغم تنوع، از ساختار مشابهی برخوردار می‌باشند.

۲-۳-۴-۱. شبکه‌های عصبی پرسپترون

۲-۳-۴-۱-۱. شبکه‌های عصبی پرسپترون تک لایه

یکی از مهم‌ترین شبکه‌های عصبی که در مهندسی جایگاه خاصی دارد و از زمره کاربردی‌ترین شبکه‌ها به‌شمار می‌رود، شبکه‌های پرسپترون هستند. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلولهای عصبی، یک نگاشت غیرخطی را به‌دقت انجام دهند که این همان خواسته بسیاری از مسائل فنی مهندسی است که می‌تواند توسط این شبکه‌ها مطرح شود (لونی و همکاران، ۱۹۹۶؛ بایلی و همکاران؛ ۲۰۱۶؛ کائول و همکاران، ۲۰۰۵). پرسپترون یک شبکه غیر بازگشتی است که از یک الگوریتم آموزش با ناظر بهره می‌گیرد. بنابراین، دسته‌های آموزشی آن شامل مجموعه‌ای از بردارهای ورودی همراه با بردارهای هدف دلخواه‌شان است. در این شبکه بردارهای ورودی شامل حدود

پیوسته‌ای از مقادیر است، اما بردارهای هدف شامل اعداد باینری یعنی صفر و یک هستند که بعد از آموزش، تولید می‌شوند.

$$\mathbf{a}_{out} = f(\mathbf{W} \times \mathbf{P} + \mathbf{b})$$

۱-۲

$$f \left(\begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1R} \\ W_{21} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{1R} & \dots & \dots & W_{SR} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_3 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_r \end{Bmatrix} \right) = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_s \end{Bmatrix}$$

۲-۳-۴-۱-۱-۲. آموزش شبکه پرسپترون تک لایه

در ساختار شبکه پرسپترون، پارامترهایی وجود دارند که قابل تنظیم می‌باشند. تنظیم این پارامترها برای آن است که سیستم رفتار مطلوبی را در برابر تحریکات و اطلاعات خارجی از خود نشان دهد که به اصطلاح به این عمل آموزش آن سیستم گفته می‌شود (بولت و همکاران، ۱۹۹۷؛ نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷). در واقع این سیستم‌ها قادرند یاد بگیرند و از راه یادگیری، دانش لازم برای برخورد مناسب با یک پدیده را جمع‌آوری نمایند و از آن دانش به‌هنگام نیاز بهره ببرند. برای آموزش شبکه پرسپترون تک لایه^۱، زوج بردارهای آموزشی شامل بردارهای ورودی و بردارهای هدف به شبکه داده می‌شود. سپس ماتریس وزن با درایه‌های کوچکی برای همه وزن‌های شبکه به صورت تصادفی فرض می‌شود. بردار ورودی در ماتریس وزن ضرب شده و تابع تحریک حدی باینری به این بردارهای وزن دار اعمال می‌شود.

با داشتن مقدار خطا، وزن‌ها اصلاح می‌گردند و این عمل اصلاح وزن‌ها آنقدر تکرار می‌شود تا مقدار خطای شبکه به حد قابل قبول برسد. شبکه‌های تک لایه از این مشکل اساسی برخوردارند که تنها توانایی حل آن دسته از مسائل طبقه‌بندی را دارند که به‌طور خطی از هم مستقل‌اند و از حل

¹ Single Layer Perceptron

بسیاری از مسائل و طبقه‌بندی الگوهایی که در فضای ورودی به‌طور خطی از هم جدا ناپذیرند، ناتوان می‌باشند. در شبکه‌های عصبی پرسپترون با چند انتشار برگشتی، این ناتوانی‌ها توسط الگوریتم یادگیری پس از انتشار خطا لایه مرتفع می‌شود (نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷).

۳-۲-۳-۱-۱-۴-۳. شبکه‌های پرسپترون چند لایه

معمول‌ترین نوع شبکه عصبی مصنوعی که در بسیاری از علوم مهندسی استفاده می‌گردد شبکه‌های عصبی چند لایه^۱ پیش‌خور همراه با ناظر است که از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می‌گیرد (پاتریک و سیمرد، ۱۹۹۴؛ روگر و دولا، ۱۹۹۴). مسئله اصلی در این شبکه‌ها تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های آن‌ها می‌باشد که در این رابطه نظرات متفاوتی وجود دارد. در این مورد ثابت شده است که در شبکه‌های عصبی با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب تمامی توابع مورد نظر با هر درجه تقریب خواهد بود، مشروط به این که به اندازه کافی نرون در لایه مخفی وجود داشته باشد. این قضیه به تقریب‌ساز جهانی معروف می‌باشد (نیلسن و کلموگروف، ۱۹۸۷).

در شبکه‌های چند لایه، لایه‌ها به ترتیب به هم متصل می‌شوند، به‌گونه‌ای که خروجی‌های لایه اول، ورودی‌های لایه دوم و به‌همین ترتیب تا آخر که خروجی‌های لایه آخر خروجی‌های اصلی و پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می‌دهند. به‌عبارتی دیگر جریان سیگنال شبکه در یک مسیر پیش‌خور صورت می‌گیرد که از لایه ورودی شروع شده و به لایه خروجی ختم می‌گردد. دو نوع سیگنال استفاده می‌شود که باهم متفاوت‌اند. دسته اول، عموماً در شبکه‌های چند لایه پرسپترون، ابتدا سیگنال‌های تابع، بر اساس ورودی‌های هر نرون و پارامترهای وزن و تابع محرک نظیرش محاسبه می‌شوند و سپس

^۱ Multi Layer Perceptron

دسته دوم سیگنال‌های خطا، که با برگشت از لایه خروجی و منشعب شدن به لایه‌های پنهان دیگر، محاسبه می‌شوند (بایلی و همکاران، ۲۰۱۶؛ بشیر، ۱۹۹۸).

تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی به نظر طراح شبکه دارد و با سعی و خطا به دست می‌آید. در صورت کافی نبودن تعداد نرون‌ها، شبکه قادر نخواهد بود نداشت دقتی بین بردارهای ورودی و خروجی ایجاد کند. تابع به صورت خطی است و فرآیند یادگیری در تمام نرون‌ها و لایه‌ها در خروجی هر نرون از شبکه صورت می‌گیرد. همه وزن‌ها و بایاس‌هایی که در شبکه قرار دارند در طول فرآیند یادگیری قابل تغییر هستند.

شبکه در مرحله یادگیری از تابع فعال‌سازی استفاده می‌کند. توابع فعال‌سازی روی تک تک نرون‌های هر لایه عمل می‌کنند. آنها در طول مسیر محاسبات شبکه، ثابت‌اند و بدون تغییر باقی می‌مانند. این مسیر با معادلات زیر بیان می‌شود (سیمرد و همکاران، ۲۰۰۰؛ بشیر، ۱۹۹۸):

$$a^{i+1}(K) = f^{i+1}(W^{i+1}(K) \times a^i + b^{i+1}(K)) \quad 2-2$$

$$i = 0, 1, \dots, L - 1$$

که در آن، i شماره لایه در حال محاسبه می‌باشد که a^i ، به عنوان خروجی لایه قبلی برای محاسبات لایه $i + 1$ ام به عنوان ورودی، عمل می‌کند. تغییرات بر اساس فرآیند اصلاح خطایی که سیگنال خطا در لایه خروجی تشکیل داده است، انجام می‌شوند. بردار خطا، اختلاف بین بردار پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه می‌باشد، که بعد از محاسبه در مسیر برگشت از لایه خروجی به سمت لایه‌های پیشین و از طریق لایه‌های شبکه، در کل شبکه توزیع می‌گردد (بشیر، ۱۹۹۸). هنگامی که بردار خروجی با بردار مطلوب مقایسه می‌شود مقدار خطا در خروجی نرون n ام از لایه آخر برای k

امین الگو به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$e_n(K) = t_n(K) - a_n(K)$$

۳-۲

بنابراین می‌توان مقدار لحظه‌ای خطا را برای نرون n ام از لایه خروجی تعریف نمود. همین طور، میزان خطای شبکه با شاخص زیر که برابر مجموع مربعات خطا است، به دست آورده می‌آید (بشیر، ۱۹۹۴؛ ونجی و همکاران، ۲۰۱۴):

$$\hat{F}(K) = \sum_{j=1}^n e_j^2(K)$$

۴-۲

برای تعیین این که تا چه حد شبکه آموزش دیده است، تابع \hat{F}_{avr} که تقریبی از \hat{F} می‌باشد، به صورت زیر تعریف گردید (بشیر و همکاران، ۲۰۰۰؛ ونجی و همکاران، ۲۰۱۴):

$$\widehat{F}_{avr}(K) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F(j)$$

۵-۲

در شبکه‌های چند لایه پرسپترون، بر خلاف شبکه‌های تک لایه آن، هر نرون دارای یک تابع فعال‌سازی غیرخطی مشتق‌پذیر می‌شود (منهاج، ۱۳۹۳؛ زانگ و باریون، ۲۰۰۶). اساس و شیوه تأثیرگذاری توابع فعال‌سازی به شرح ذیل می‌باشد (بایلی، ۲۰۱۶؛ زانگ و همکاران، ۲۰۰۲).

$$f_{sig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$$

۶-۲

$$f_{sig}(n) = f(n) \cdot (1 - f(n))$$

۷-۲

$$f_{tanh}(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$$

۸-۲

$$f_{tanh}(n) = 1 - f^2(n)$$

۹-۲

مشتق تابع فعال‌سازی در $\frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial W_n(K)}$ و $\frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial b_n(K)}$ نمایان می‌شود، به طوری که با داشتن پارامترهای شبکه i

در هر لایه، می‌توان نوشت :

$$\frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial W^i(K)} = \frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial e(K)} \cdot \frac{\partial e(K)}{\partial a^i(K)} \cdot \frac{\partial a^i(K)}{\partial n^i(K)} \cdot \frac{\partial n^i(K)}{\partial W^i(K)}$$

۱۰-۲

$$\frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial b^i(K)} = \frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial e(K)} \cdot \frac{\partial e(K)}{\partial a^i(K)} \cdot \frac{\partial a^i(K)}{\partial n^i(K)} \cdot \frac{\partial n^i(K)}{\partial b^i(K)} \quad ۱۱-۲$$

که در آن:

$$\frac{\partial a^i(K)}{\partial n^i(K)} = f(n^i(k)) \quad ۱۲-۲$$

$$\frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial e(K)} = 2e(k) \quad ۱۳-۲$$

$$\frac{\partial e(K)}{\partial a^i(K)} = -1 \quad ۱۴-۲$$

$$\frac{\partial n^i(K)}{\partial b^i(K)} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{\partial n^i(K)}{\partial W^i(K)} = a^{i-1}(K) \quad ۱۵-۲$$

پارامترهای شبکه *MLP* را می‌توان در هر لایه و برای هر نرون از آن لایه اصلاح نمود (بایلی و همکاران،

:۲۰۱۶)

$$W_n(k+1) = W_n(K) - \alpha \times \frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial W_n(K)} = W_n(K) - \alpha \times \Delta W_n(K) \quad ۱۶-۲$$

$$b_n(k+1) = b_n(K) - \alpha \times \frac{\partial \hat{F}(K)}{\partial b_n(K)} = b_n(K) - \alpha \times \Delta b_n(K) \quad ۱۷-۲$$

۲-۳-۴-۲. آموزش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

آموزش شبکه‌های عصبی در واقع تعیین مقادیر بهینه وزن‌ها می‌باشد تا شبکه کمترین خطا را داشته باشد. ایده کلی این آموزش از روند تربیت و آموزش در انسان گرفته شده است. ذهن انسان از بدو تولد با دریافت الگوهای مختلف از خارج شکل گرفته و در واقع وزن‌های داخلی ذهن بر اساس الگوهای مختلف تغییر می‌یابند. همین ایده در شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است، بدین ترتیب که در ابتدا یکسری وزن‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و سپس با توجه به اطلاعات آموزشی که شامل ورودی و خروجی‌های مرتبط می‌باشد، وزن‌ها به نحوی تغییر می‌کنند که شبکه به ازای مقادیر ورودی داده‌ها، مقادیر خروجی را بدهد (مارتینز و همکاران ۲۰۱۲؛ بایلی و همکاران، ۲۰۱۶).

روش‌های آموزش شبکه به دو دسته کلی با نظارت و بدون نظارت تقسیم می‌شوند. آموزش نظارت شده به زوج‌هایی نیاز دارد که از بردار ورودی و بردار هدف (خروجی دلخواه) تشکیل شده باشند. یک بردار ورودی و خروجی دلخواه مربوط به آن، یک زوج آموزشی نامیده می‌شود. معمولاً یک شبکه تحت تعدادی از چنین زوج‌های آموزشی، آموزش می‌بیند. به این صورت که با به‌کار بردن یک بردار ورودی، خروجی شبکه محاسبه و با بردار هدف خود مقایسه می‌شود و تفاوت بین خروجی محاسبه شده و خروجی دلخواه که خطا نامیده می‌شود به سمت عقب در سراسر شبکه منتشر می‌گردد و سپس وزن‌ها مطابق با الگوریتمی که تمایل به حداقل رساندن خطا را دارد تغییر یافته و تنظیم می‌شوند (لونی و همکاران، ۱۹۹۶؛ بشیر، ۲۰۰۰). یکی از الگوریتم‌هایی که در روش‌های آموزش با نظارت مورد استفاده قرار می‌گیرد، الگوریتم لونبرگ-مارکوارت است که در سال ۱۹۹۴ ارائه شد و از جمله سریع‌ترین و مؤثرترین روش‌های آموزش به‌شمار می‌آید که برای شبکه‌های با حجم متوسط بسیار سریع‌تر از الگوریتم‌های دیگر است (زانگ و باریون، ۲۰۰۶).

۲-۳-۴-۳. اعتبارسنجی و آزمون

یکی از مشکلاتی که در آموزش شبکه‌های عصبی اتفاق می‌افتد مشکل فرا انطباقی است (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲). در این وضعیت میزان خطا در مورد داده‌های آموزشی بسیار کم و در مورد داده‌های جدیدی که به شبکه ارائه می‌شود زیاد است. در واقع شبکه به‌جای این که داده‌های کلی را یاد بگیرد، نمونه‌های آموزشی را حفظ می‌کند (بایلی و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکل، تقسیم داده‌ها به دو قسمت می‌باشد. دسته‌اول برای آموزش و دسته دوم برای معتبر ساختن شبکه به‌کار می‌رود. دسته دوم که خود شامل دو قسمت اعتبارسنجی و آزمون می‌باشد، در تنظیم پارامترها نقشی ندارند، ولی تغییرات میزان خطا برای هر دو دسته در حین آموزش بررسی می‌شود. هنگامی که میزان خطا برای دسته دوم در چندین تکرار افزایش پیدا کرد آموزش متوقف شده

و پارامترها به حالتی که خطای دسته دوم حداقل بوده است برگردانده می‌شود. هرچه مقدار میانگین مربعات خطا کمتر باشد، بیانگر آن است که نتایج شبیه‌سازی شده مدل به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است (زانگ و باریون، ۲۰۰۶؛ قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳؛ بشیر، ۲۰۰۰).

۲-۵. پیشینه مدل‌سازی در علوم کشاورزی

مدل‌های سیستم‌های زراعی از دهه ۶۰ میلادی توسعه پیدا کرده‌اند و تا پیش از اواسط دهه ۸۰ اکثر مطالعات مدل‌سازی، بر فرآیندهای انفرادی سیستم‌های زراعی متمرکز بوده‌اند (آیوجا، ۲۰۰۳). مدل‌های تجربی با شبیه‌سازی عوامل اقلیمی و خاکی در کاهش خلاء موجود بین عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است، به‌طوری‌که با کمک این مدل‌ها سیستم‌هایی مدیریتی مختلفی برای فائق آمدن به عوامل محدود کننده، اتخاذ می‌شوند. برای مثال بوندواولی و همکاران (۱۹۷۰) و نیلسن و همکارانش (۱۹۹۶) عوامل آب و هوایی مهم تأثیرگذار در عملکرد دانه ذرت در ناحیه کمربند ذرت در آمریکا را توسط مدل شبیه‌سازی کرده و اعلام نمودند، نوسانات دمایی در ماه "می" تأثیر بسزایی در عملکرد دانه در این منطقه دارد. در صورتی‌که در مناطق دیگر آمریکا، تنش‌های محیطی از عوامل تأثیرگذار، بر عملکرد دانه ذرت بیان گردیده است (تیگن و توماس، ۱۹۹۵؛ تیگن، ۱۹۹۱)، بدیهی است این مهم در انتخاب مدیریت بهینه مزرعه، نقش کلیدی دارد.

باتیا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلاء عملکرد سویای دیم را برای مناطق متفاوت در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که به‌طور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق، ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰ درصد است. آگاروال (۱۹۹۴) با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد، پتانسیل عملکرد گندم در کشور هندوستان را ۲ تا ۷ تن در هکتار با خلاء معادل ۲ تا ۴ تن برآورد کرده و اظهار کردند، حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از خلاء عملکرد، مربوط به تاریخ کاشت نامناسب می‌باشد. هافل و همکاران (۲۰۰۱) با هدف تعیین محدودیت‌های

زراعی در نظام های تولید برنج موریتانی و ارزیابی راهکارهای مدیریتی جایگزین برای افزایش سوددهی اقتصادی این نظامها و رفع محدودیت‌های موجود با استفاده از مدل Oryza-s در ارزیابی پتانسیل عملکرد این محصول، خلاء عملکرد آن را نیز در نواحی مورد مطالعه بین ۱ تا ۷/۷ تن در هکتار تعیین کردند. متوسط تولید این نواحی نیز ۸/۶ تن تعیین شد. آنها به این نتیجه رسیدند که با این میزان خلاء افزایش عملکرد این محصول می‌تواند در رفع چالش‌های غذایی این کشور امید بخش باشد. آنها ضمن آنالیز اقتصادی و اجتماعی این نظام ها در ۴۲ شالیزار بزرگ و با استفاده از این تکنیک نشان دادند که مدیریت تغذیه و بهبود راهبردهای کنترل علفهای هرز می‌تواند اثر قابل توجهی در افزایش تولید برنج در موریتانی داشته باشد.

بوت و همکاران (۱۹۹۱) عملکرد بادام زمینی در نواحی مختلف هند را شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه از مدل PNUTGRO برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل یک رقم بادام زمینی در بیش از ۸ منطقه از هندوستان استفاده شد. نتایج نشان داد که در اکثر مناطق نمی‌توان رشد ضعیف و کاهش عملکرد این محصول را به شرایط نامطلوب آب و هوایی نسبت داد بلکه در بسیاری از مناطق، حاصلخیزی خاک و حضور آفات باعث ایجاد کاهش عملکرد شده است. مارلتوو و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی رهیافت جدید برای آنالیز اجزاء موثر در عملکرد گندم با استفاده از مدل WOFOST گزارش کردند که خلاء عملکرد بین سیستم تولید دیم و پتانسیل، به‌علت دوره‌های بارندگی هنگام بهار است و درجه حرارت به‌عنوان یک فاکتور مهم برای محدودیت رشد گندم مطرح نیست. این مدل می‌تواند برای آنالیز سیستم‌های کشت و شبیه‌سازی عملکرد گندم در آب و هوای سرد و نیمه خشک استفاده گردد. تاتاری و همکاران (۱۳۸۸) نیز در بررسی پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در استان خراسان با استفاده از داده‌های بارندگی و خاک با به‌کارگیری انواع مدل‌های رگرسیونی مشاهده نمودند که بارندگی در ماه‌های فروردین، خرداد، آبان و اسفند، مقدار رطوبت خاک در نقطه FC و PWP و درصد رس خاک مهم‌ترین متغیرهای تعیین کننده عملکرد گندم دیم بودند. در این مطالعه مشخص شد که

در صورت نیاز، می‌توان عملکرد گندم را تنها بر اساس مقادیر بارندگی در ماه‌های فروردین و آبان نیز با دقت قابل قبولی تخمین زد.

کامکار و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی ساخت و آزمون یک مدل ساده برای پیش‌بینی پتانسیل تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی گزارش کردند که عملکرد ماده خشک شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد ماده خشک مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد، عملکرد شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده داشت. این مدل ساده می‌تواند مراحل فنولوژیک و تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی را به شکلی قابل قبول شبیه‌سازی نماید. حسین پناهی و همکاران (۱۳۹۱) با هدف شناسایی صفات تعیین‌کننده عملکرد گندم تحت شرایط تنش خشکی با بهره‌گیری از رهیافت مدل‌سازی گزارش نمودند که تغییرات ناشی از تغییر در حداکثر سرعت نمو بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد کمتر از تغییر در سرعت نمو قبل از گلدهی بود. افزایش سرعت نمو بعد از گلدهی هم در شرایط پتانسیل و هم در شرایط محدودیت آب سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه عملکرد شد اما میزان این کاهش تحت شرایط پتانسیل بیشتر بود.

آندرسون (۲۰۱۰) در بررسی ارتباط بین پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی گندم تحت تأثیر محیط، مدیریت و رقم گزارش کرد بهترین روش برای پایداری تولید و عملکرد در شرایط تغییرات فصلی استفاده از مدیریت‌های تاکتیکی مانند انتخاب رقم مناسب، مقدار و زمان کوددهی، کنترل آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز است و در بخش مدیریت‌های استراتژیکی عواملی مانند اسیدپته خاک، مواد آلی خاک و فشردگی خاک جهت کاهش خلاء عملکرد بین عملکرد واقعی و پتانسیل باید در نظر گرفته شود. سیلشی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تغییرات خلاء عملکرد ذرت با توجه به عناصر غذایی و شرایط آب و هوایی در آفریقا گزارش کردند عملکرد و اجزاء عملکرد با مقدار رس خاک، ارتفاع و میانگین بارش سالیانه در مکان‌های مورد مطالعه تغییر کرد.

بولینگ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی خلاء عملکرد برنج دیم در مزارع کشاورزان اندونزی گزارش کردند که محدودیت آبی در حدود ۲۸ درصد در کاهش عملکرد تأثیرگذار بود و مقدار کم نیتروژن

حدود ۳۵ تا ۶۳ درصد در خلاء عملکرد نقش داشت. مارلتوو و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های هواشناسی و مدل گیاهی شبیه‌سازی، رشد گندم زمستانی در شرایط محدودیت آب، عملکرد دانه و رشد گیاه را با استفاده از مدل WOFOST پیش‌بینی کردند. عملکرد پیش‌بینی شده مطابقت زیادی با داده‌های واقعی داشت. این مدل روش مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شرایط کمبود آب است. کونینگ و ون دیپن (۱۹۹۲) تولید پتانسیل و واقعی برخی محصولات زراعی را در کشورهای اتحادیه اروپا مقایسه کرده و خلاء عملکرد را برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که خلاء عملکرد در مورد گندم بین ۴۵ تا ۶۵ درصد و برای سورگوم شیرین در جنوب اروپا بین ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد.

بکر و جانسون (۱۹۹۹) با مطالعه سیستم‌های تولید برنج در ساحل عاج نشان دادند که در شرایط آبیاری کامل یا آبیاری نسبی، عملکرد واقعی به ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. سینکلر و هوریه (۱۹۸۹) با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده، نیتروژن ویژه برگ^۱ (گرم در متر مربع) را یک عامل تعیین کننده مهم موثر در کارایی استفاده از تشعشع^۲ (گرم بر مگاژول) گیاهان زراعی اعلام کردند. برنامه‌های^۳ CROSPAL (آدام و همکاران، ۲۰۱۰)، APES^۴ (دونالتی و راشل، ۲۰۱۰) و^۵ APSIM (کیتینگ و همکاران، ۲۰۰۳) مثال‌هایی از مدل‌ها هستند که نشان می‌دهند چگونه مدل‌ها از گذشته تاکنون در شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان و واکنش آنها به محیط پیرامون استفاده شده است.

به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته نرم‌افزاری در مدل‌سازی در دهه گذشته منجر به بهبود روش‌ها و تشکیل مجموعه‌ای متمرکز، متشکل از مدل‌های برگزیده شده است و همکاری‌های بین‌المللی

¹ SLN

² RUE

³ Crop Simulator: Picking and Assembling Libraries

⁴ Agricultural Production and Externalities Simulator

⁵ Agricultural Production Systems Simulator

متخصصین در جهت ارتقاء سطح کیفی و عملیاتی مدل‌سازی گیاهان زراعی ادامه دارد (ون اورت و همکاران، ۲۰۰۵). تائو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی پتانسیل تولید و خلاء عملکرد ذرت تابستانه در چین با استفاده از مدل WOFOST گزارش کردند عملکرد واقعی ذرت تابستانه بین ۲۵۳۷ تا ۸۷۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. بهبود مدیریت محصول و سیستم‌های آبیاری می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردد.

۲-۶. پیشینه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در علوم کشاورزی

عموماً وقتی از مدل‌سازی زراعی صحبت می‌شود، منظور مدل‌هایی است که مبتنی بر روش‌های مکانیستی و تجربی است. این روش‌های مدل‌سازی مکانیستی برای توسعه، نیازمند پارامترهای ورودی فراوان و پیچیده‌ای می‌باشند. این مدل‌ها محدودیت‌های زیادی دارند و تأثیر بعضی از فاکتورهای مهم محدود کننده عملکرد، مانند آفات و بیماری‌ها، شوری و pH خاک و غیره را در نظر نمی‌گیرند و عملکرد پتانسیل را با خطا شبیه‌سازی می‌کنند (پولاکتوف و توپاج، ۲۰۰۱). یکی از روش‌های مدل‌سازی که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین در علوم مختلف واقع شده است، و تمام پارامترهای محدود کننده موثر در روند شبیه‌سازی را محاسبه می‌نماید، مدل‌سازی به‌روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. ونجی و همکاران (۲۰۰۱) در پیش‌بینی دقیق مراحل رشد و تخمین بهترین عملکرد وزن خشک گیاه توتون در شرایط آب و هوایی و اداکیکی متفاوت، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی را با هم مقایسه نموده و اعلام کردند که شبکه عصبی مصنوعی با ۶ لایه ورودی، یک لایه پنهان و ۱۹ نرون در لایه پنهان، بهترین برآورد را در تخمین عوامل تأثیرگذار در رشد توتون را داشته و به بهترین نحو ارتباط بین ۶ فاکتور محیطی موثر (ورودی مدل)، و عملکرد برگ خشک (خروجی مدل) را نسبت به مدل رگرسیونی مرسوم، تبیین می‌کند.

پژوهشگران علوم کشاورزی از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی پارامترهایی چون میزان تبخیر و تعرق هفتگی (لندراس و همکاران، ۲۰۰۹)، تبخیر روزانه (پیری و همکاران، ۲۰۰۹)،

پیش‌بینی دمای هوا (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۹)، تشعشع خورشیدی (میویرو، ۲۰۰۸)، پیش‌بینی سیلاب (موکرجی و همکاران، ۲۰۰۹)، تخمین میزان فرسایش خاک (کیم و جیلی، ۲۰۰۸) و قابلیت نگهداشت آب و ضریب آبگذری، توپوگرافی و عملکرد غلات در منطقه میسوری آمریکا، مطالعاتی را انجام دادند و مشاهده نمودند که روش شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روشهای رگرسیونی و سایر روش‌های مدل سازی دارای خطای کمتری می‌باشد. کول و همکاران (۲۰۰۵) نیز از قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد ذرت و سویا در منطقه مریلند استفاده نموده و بیان کردند که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی دارای دقت بالاتری می‌باشد. آن‌ها از پارامترهای میزان بارندگی و خصوصیات خاک به‌عنوان ورودی‌های مدل استفاده کردند و دریافتند که بارندگی در ماه‌های "ژوئن" تا "اوت"، دارای اهمیت بیشتری می‌باشد و به‌همین دلیل بهتر است که آمار بارندگی در این ماه‌ها به‌صورت هفتگی به مدل معرفی گردد.

آلوارز (۲۰۰۹) شبکه‌های عصبی مصنوعی را جهت تعیین بازده گیاه گندم در منطقه پامپاس آرژانتین به‌کار برده و نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق را به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور آب و هوایی مؤثر بر بازده پتانسیل محصول معرفی نمود. آنها عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن و بیوماس تجمعی علفهای هرز را به‌عنوان متغیر مستقل و گزینه‌های مدیریتی مختلف (میزان آبیاری، روش کاشت، تراکم نشاء، سن گیاهچه‌های نشاکاری شده، مقدار علف‌کش، تعدد و زمان کنترل علف‌های هرز و زمان و مقدار مصرف کودهای نیتروژن و فسفر) را به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفتند. براساس نتایج این تحقیق عملکرد دانه بین ۰/۲ و ۷/۳ تن در هکتار (با میانگین عملکرد ۳/۲ در نظام‌های کم آبیاری، ۴/۲ تن در نظام‌های فاریاب، معادل ۴۷ و ۵۷ درصد از عملکرد پتانسیل) متغیر بود. همبستگی‌ها نیز نشان داد که سن نشاء در زمان انتقال به مزرعه، عدم انتخاب زمان مناسب برای عملیات زراعی و کاربرد کود فسفر، ۶۰ درصد از نوسان عملکرد را توجیه می‌کند. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که کاربرد صحیح کود میزان عملکرد را تا ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد.

نوروزی و همکاران (۲۰۱۰) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه خشک و کوهستانی غرب ایران استفاده نمودند و بیان داشتند که شاخص انتقال رسوب مهم‌ترین عامل توپوگرافی مؤثر بر میزان عملکرد این گیاه بوده است و میزان پروتئین موجود در دانه‌ها تحت تأثیر میزان نیتروژن کل خاک می‌باشد. باسو و همکاران (۲۰۰۱) از مدل SALUS جهت شبیه‌سازی انتخاب نرخ کود نیتروژن بهینه با استفاده از روش استراتژیک و تاکتیکی استفاده کردند و بهترین مقدار مصرف کود نیتروژنه جهت حصول حداکثر عملکرد و کمترین آبشویی را تعیین نمودند. مارتینز و همکاران (۲۰۱۶) با شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های بلند مدت در مناطق مدیترانه ای اعلام کردند می‌توان میزان کود مصرفی نیتروژنه را بدون کاهش عملکرد در استفاده از روش بدون شخم به نصف کاهش داد.

هاما و همکاران (۱۹۹۵) در تخمین میزان نیکوتین توتون دو مدل رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی (با دو روش آموزش شبکه، انتشار برگشتی و شبکه خطی) را مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی با روش آموزش انتشار برگشتی، ۳۵ درصد دقت بیشتری نسبت به روش رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی خطی داشت. کائول و همکاران (۲۰۰۵) نیز برای تخمین عملکرد ذرت، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند.

فصل سوم: روش پژوهش

۳-۱. مشخصات مکان و اجرای آزمایش

این تحقیق در قالب آزمایش مزرعه‌ای کشت توتون هوا خشک (بارلی، رقم ۲۱) در دو استان گلستان (مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش، طول ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی) و آذربایجان غربی (مرکز تحقیقات توتون ارومیه، ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۲/۲ دقیقه طول شرقی) انجام پذیرفت. پس از مشخص نمودن مزارع، آزمایش نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر جهت تعیین مشخصات فیزیکی- شیمیایی خاک صورت گرفت و بر اساس آزمون خاک (جدول ۳-۱)، میزان کود مورد نیاز پایه (به‌غیر از نیتروژن) محاسبه و کوددهی پایه انجام پذیرفت. میزان نیتروژن خالص مورد نیاز در هر منطقه نیز محاسبه گردید.

جدول ۳-۱. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در آزمایش.

منطقه	pH	EC (ds/m)	Cl (me/l)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	ازت کل (درصد)	فسفر قابل دسترس (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
مرکز تیرتاش	۷/۴۱	۰/۷۴	۱/۱۵	۲	۳/۴	۰/۲۲	۳۳/۶	۵۹۶
مرکز ارومیه	۷/۵	۱/۴۴	۱/۴	۰/۷۱	۲/۹	۰/۱۵۵	۵۳	۶۷۰

نیتروژن خالص مورد نیاز در هر هکتار برای مزرعه مرکز تحقیقات تیرتاش برابر با ۷۸ کیلوگرم و برای مزرعه مرکز تحقیقات ارومیه، ۸۵ کیلوگرم برآورد گردید.

در هر دو مزرعه (ارومیه و تیرتاش)، واحدهای آزمایشی شامل ۸ ردیف به صورت جوی و پشته و طول ۴ متر ایجاد شدند. فاصله ردیف‌ها از هم ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها بر روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. عامل اول نوع کود (اوره و نیترات آمونیوم) و عامل دوم ۴ زمان مصرف به شرح زیر بود:

۱- مصرف کل نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت پایه، قبل از نشاکاری.

۲- مصرف دو سوم نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت پایه، قبل از نشاکاری و یک سوم آن به صورت سرک، در آغاز رشد سریع بوته (حدود ۳۰ روز پس از نشاکاری در مزرعه).

۳- مصرف نیمی از نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت پایه، قبل از نشاکاری و نصف دیگر به صورت سرک، در آغاز رشد سریع بوته.

۴- مصرف یک سوم نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت پایه، قبل از نشاکاری و دو سوم آن به صورت سرک، در آغاز رشد سریع بوته.

قبل از عملیات نشاکاری تقریباً در اواسط بهمن در خزانه‌ها بذریاشی انجام و نشاها مراحل رشدی خود را در خزانه‌ها به صورت فلوت سیستم (خزانه شناور) طی نمودند. در این مراحل کلیه عملیات

مبارزه با آفات و بیماری‌ها و وجین به‌طور یکسان برای نشاها انجام گردید. انتقال نشاها به زمین اصلی در مرحله ۵-۶ برگی انجام شد. نشاکاری در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات تیرتاش و ارومیه به‌ترتیب در ۲۰ اردیبهشت و ۲۰ خرداد انجام شد. آبیاری به فواصل ۷ تا ۱۰ روز انجام و عملیات وجین، سله‌شکنی، خاک‌دهی پای بوته‌ها و مبارزه با آفات و بیماری‌ها و آبیاری بر اساس عرف مناطق و در زمان‌های مورد نیاز صورت پذیرفت.

هر قطعه آزمایشی به دو بخش تقسیم شد، یک بخش از آن برای تعیین عملکرد که براساس رسیدگی در هر چین برداشت می‌گردید. از بوته‌های بخش دوم برای سنجش سایر پارامترها و متغیرها از جمله اندازه‌گیری میزان نیتروژن در برگ، ساقه و ریشه (در پنج مرحله)، شاخص سطح برگ، فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز، میزان کلروفیل، نیکوتین، قند، خاکستر، کلر و پتاسیم استفاده شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، ارتفاع بوته و قطر ساقه در ۱۰۵ روز بعد از نشاکاری انجام پذیرفت.

زمان‌های نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن برگ، ساقه و ریشه شامل ۳۰ (مرحله ۱؛ در متن به‌صورت اندیس ۱ استفاده خواهد شد)، ۵۰ (مرحله ۲)، ۷۰ (مرحله ۳)، ۸۵ (مرحله ۴، حدود گلدهی) و ۱۰۰ روز بعد از نشاکاری (مرحله ۵) بود. نمونه‌گیری به‌صورت تخریبی انجام پذیرفت. برای نمونه‌گیری جهت تعیین مقادیر نیتروژن در اندام‌های مختلف، بوته‌ها به‌طور تصادفی انتخاب و سپس کل بوته با احتیاط از زمین خارج گردید، ریشه‌ها مورد شستشو قرار گرفت، برگ‌ها جدا و ساقه نیز از محل طوقه قطع شد و نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. پس از توزین، برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته، مجدداً توزین شده و جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن (به‌روش کج‌لدال) مورد استفاده قرار گرفتند.

برداشت برگ‌های رسیده از پایین بوته در پنج چین انجام شد و عمل‌آوری هر چین طبق دستورالعمل فرآیند فرآوری توتون بارلی (تیپ غربی سایه‌خشک)، در مرکز فرآوری مراکز تحقیقاتی تیرتاش و ارومیه و با رعایت تمام استانداردهای لازم انجام پذیرفت. برگ‌های رسیده پس از برداشت،

سوزن‌زنی و نخ‌کشی در انبار مشروط طی حدود یک ماه فرآوری می‌شوند. این فرآیند شامل سه مرحله رنگ‌آوری، تثبیت رنگ و نهایتاً خشکانیدن برگ می‌باشد. در دو مرحله اول هنوز فعل و انفعالات شیمیایی ادامه داشته (برای مثال تبدیل نشاسته به قندهای ساده‌تر، شکستن کلروفیل و تبدیل رنگدانه‌ها و ...) و تنظیم رطوبت و درجه حرارت در هر مرحله، پیوسته پایش می‌گردد. رنگ نهایی و مطلوب برای توتون بارلی پس از عمل‌آوری، قهوه‌ای شکلاتی می‌باشد، در صورتی‌که در سایر وارپته‌های توتون تیپ غربی رنگ زرد طلایی مورد نظر می‌باشد. نحوه عمل‌آوری و رنگ‌آوری، کیفیت توتون را تحت تأثیر قرار می‌دهد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹؛ زمانی، ۱۳۹۰؛ صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۳. اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی توتون

محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین در برگ پس از فرآوری، کیفیت شیمیایی توتون را به لحاظ ذائقه‌ای تعیین می‌کنند (سازگار، ۱۹۷۰؛ مصباح، ۱۳۸۴؛ فوشنگ، ۲۰۰۵؛ لويس، ۲۰۱۰؛ لفینگول، ۱۹۹۹؛ پیرینگ و وان، ۱۹۹۰). در روز ۱۰۰ ام پس از نشاکاری، نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری صفات زیر مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۲-۱. اندازه‌گیری کلر

در مقایسه با عناصر غذایی دیگر، جذب کلر در توتون از سرعت بسیار زیادی برخوردار است. تجمع زیاد کلر در برگ عمل‌آوری شده موجب عدم سوزش مناسب (ناسوزی) آن می‌شود (سیفولا، ۲۰۰۵؛ لایو، ۲۰۰۰). بر همین اساس، این عنصر در کلیه مطالعات مرتبط با کیفیت برگ توتون مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلر موجود در برگ‌های عمل‌آوری شده، با استفاده از تیتراسیون به‌روش ماف (سازگار، ۱۳۷۰) در آزمایشگاه مرکز تحقیقات توتون تیرتاش و ارومیه اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا ماده خشک گیاهی با نترات نقره و اسید نیتریک و پرمنگنات پتاسیم مخلوط و سپس آن رقیق شده و استون

همراه با محلول فریک آهن به آن افزوده شد و با محلول تیوسیانات پتاسیم تیترا گردید و با توجه به فرمول‌های استاندارد کرسستا^۱ (سازمان بین‌المللی تحقیقات توتون)، درصد کلر محاسبه گردید.

در روش فوق برای محاسبه کلر از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\text{درصد کلر} = (V_2 - V_1) \times [0.89 \times 100 / (100 - b)]$$

V_1 : حجم نیترا نقره مورد استفاده برای نمونه شاهد

V_2 : حجم نیترا نقره مورد استفاده برای تیتراسیون نمونه

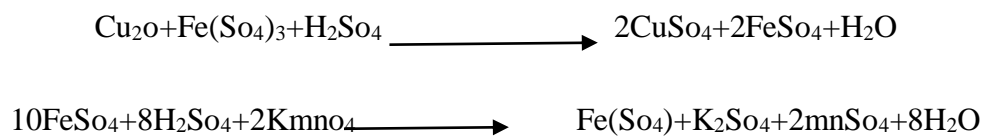
b : رطوبت نمونه خرمن یا توتون مورد آزمایش می‌باشد.

۲-۲-۳. اندازه‌گیری قند کل

جهت تعیین درصد قند کل، از برگ توتون عمل‌آوری شده، عصاره تهیه شد. پس از خنثی کردن آن با استات سرب، ۲۵ میلی‌لیتر از عصاره برداشته و داخل ارلن مایر ۲۵ میلی‌لیتر ریخته و به آن ۳ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۵٪ و ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و درب ارلن مایر با در پوش کاغذ آلومینیوم واجد یک سوراخ کوچک پوشانده شد و به مدت ۲ ساعت داخل حمام بخار آب در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، قرار داده شد تا عمل شکسته شدن دی ساکارید به منوساکارید به‌طور کامل انجام پذیرد. پس از اتمام زمان فوق، عصاره با آب سرد، خنک و با سود، خنثی شد. سپس ۲۵ میلی‌لیتر فهلینگ A و ۲۵ میلی‌لیتر فهلینگ B به ارلن اضافه و به مدت ۵ دقیقه جوشانده شد. بعد از آن، با استفاده از فیلترهای مناسب (فیلتر کمبریج) صاف شده و رسوب به دست آمده داخل ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شده و مقداری آب مقطر به آن اضافه و در ۲۵ میلی‌لیتر سولفات فریک، حل شد. سپس با پرمنگنات پتاسیم تا رسیدن به نقطه پایانی که همان رنگ صورتی است، تیترا گردید. در انتها، با استفاده از از رابطه کرسستا، درصد قند کل محاسبه گردید (سازگار، ۱۳۷۰).

^۱ CORESTA

فرمول واکنشها:



روش محاسبه:

$$V \times 6/363 = X \equiv y \longrightarrow \text{mg ol suger}$$

- اگر حجم نهایی محلول زیر صافی ۲۵ میلی لیتر باشد:

$$\text{درصد قند} = y \times 0/229 \times (100/(100-b))$$

- اگر حجم نهایی محلول زیر صافی ۲۰ میلی لیتر باشد:

$$\text{درصد قند} = y \times 0/286 \times (100/(100-b))$$

b = رطوبت نمونه خرمن یا توتون مورد آزمایش می باشد

۳-۲-۳. اندازه گیری نیکوتین

برای اندازه گیری نیکوتین، ۱ گرم پودر توتون بر اساس دستورالعمل کرسا، آماده و نمونه به بالن تقطیر منتقل و ۵ تا ۱۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. ۳۰ تا ۴۰ گرم سدیم کلراید و ۵ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید به بالن تقطیر اضافه و پس از عبور آخرین قطره محلول، در پوش آن بسته شد. محلول حاصل از تقطیر در یک بالن حجمی ۲۵۰ میلی لیتری که حاوی ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ بود جمع کرده و سرعت تقطیر به صورتی تنظیم شد که حداقل ۱۰ الی ۱۲ میلی لیتر از محلول در هر دقیقه، تقطیر شود. سپس با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی لیتر رسانده و محلول تقطیر شده اسیدی به هم زده شد و مخلوط گردید. در نهایت به روش اسپکترومتری میزان نیکوتین در طول موجهای ذیل تعیین شد.

جذب تصحیح شده را با استفاده از مقادیر جذب بدست آمده، با استفاده از فرمول یک به شرح زیر محاسبه شد:

$$A=1/059[A_{259}-(A_{236}+A_{282})/2]$$

که در آن A_{236} ، A_{259} و A_{282} مقادیر جذب خوانده شده بترتیب در طول موجهای ۲۳۶، ۲۵۹ و ۲۸۲ است.

نتایج آزمون را بر حسب درصد جرمی آلکالوئیدهای توتون (بر حسب نیکوتین) محاسبه گردید:

$$W_{nic}=(100AV_1V_3)/[aV_2Lm(100-b)/100]$$

که در آن

a = قابلیت جذب نیکوتین در سولفوریک اسید ۰/۰۲۵ مول در لیتر (یعنی ۳۴/۳ جذب بیشینه در ۲۵۹ نانومتر)

A = جذب تصحیح شده

b = رطوبت پودر توتون بر حسب درصد جرمی

L = طول مسیر نور در سل بر حسب سانتیمتر

m = جرم نمونه مورد استفاده برای تقطیر بر حسب میلی گرم

V_1 = حجم محلول تقطیر شده بر حسب میلی لیتر

V_2 = حجم محلول تقطیر شده مورد استفاده برای رقت بر حسب میلی لیتر

V_3 = گنجایش بالن حجمی مورد استفاده برای رقت بر حسب میلی لیتر

۳-۲-۴. سنجش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز

نمونه‌گیری جهت سنجش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در هر دو منطقه مورد مطالعه، در سه مرحله قبل از گلدهی، گلدهی و بعد از گلدهی انجام شد. جهت اندازه‌گیری آنزیم نیترات ریداکتاز در برگ، چهارمین برگ کاملاً توسعه یافته بخش فوقانی بوته، برداشت و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و پس از پودر کردن آن، ۲۰۰-۳۰۰ میلی گرم توزین و درون لوله‌های آزمایش پلاستیکی در

بسته (تا زمان اندازه‌گیری میزان غلظت آنزیم در آزمایشگاه) در نیتروژن مایع، نگهداری گردید. سنجش آنزیم نیترات ریداکتاز در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ملی بانک ژن، به روش بوتلا (۱۹۹۳) انجام پذیرفت. نمونه‌های تهیه شده در لوله آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر محلول ریخته شد. این محلول شامل نیترات پتاسیم ۱۵۰ میلی‌مولار، پروپانول ۰/۳ درصد و تامپون فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار بود. سپس لوله‌ها به مدت یک ساعت در آن ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و محلول، صاف گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول مذکور برداشته شد، ۱ میلی‌لیتر گریس I (۰/۵ گرم سولفانیلک اسید را در ۵۰ میلی‌لیتر اسید استیک حل و حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) و گریس II (۰/۲ گرم آلفا نفتیل آمین را در ۵۰ میلی‌لیتر، استیک اسید حل و حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) به آن اضافه و جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر، خوانده شد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

۳-۳. ساختار مدل شبکه عصبی مورد استفاده

تعیین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان بسیار حایز اهمیت است. هتج و نیلسن (۱۹۸۷) فرمول زیر را برای حداکثر تعداد نرون در لایه پنهان ارائه کردند:

$$N_h \leq 2N_i + 1 \quad ۱-۳$$

که در آن N_h بیانگر تعداد نرون در لایه پنهان و N_i تعداد ورودی‌ها می‌باشند. روگر و دولا در سال ۱۹۹۴، اعلام کردند که محاسبه تعداد نرون بر اساس رابطه مذکور، مشکل فرا انطباقی در مرحله آموزش را به دنبال خواهد داشت و جهت رفع مشکل، فرمول ۲-۳ را ارائه نمودند.

$$N_h \leq \frac{2N_s}{N_i + 1} \quad ۲-۳$$

که در آن، N_s تعداد نمونه‌های مورد آموزش می‌باشد.

در تحقیق حاضر، از مدل شبکه عصبی پرسپترون سه لایه برای مدل‌سازی واکنش کمی و کیفی (غلظت پتاسیم، کلر و نیکوتین در برگ عمل‌آوری شده) توتون به رگسورها (متغیرها)، استفاده شد. علاوه بر فرمول ۳-۲، از شاخص‌های مندرج در قسمت "اعتبار سنجی و آزمون" ارایه شده در همین بخش نیز برای تعیین تعداد نرون در لایه پنهان، استفاده گردید. الگوی ورودی به یک نرون، شبیه دندریت یک سلول بیولوژیک است که می‌توان آن را با برداری با n متغیر یا نرون به صورت $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ نشان داد. مجموع حاصل ضرب ورودی‌ها در وزن‌های نظیرشان را نیز می‌توان با کمیت اسکالر (S) به صورت زیر نمایش داد که در آن

$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ ، بردار وزن نرون‌ها است:

$$S = \sum_{n=1}^N w_n \cdot x_n = W^T \cdot X \quad 3-3$$

در این مطالعه از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار QNET، از الگوریتم پس انتشار^۱ برای آموزش شبکه استفاده گردید. برای هر لایه پنهان، یکی از ۴ تابع فعال‌سازی زیر مورد استفاده قرار گرفت (زانگ و همکاران، ۲۰۰۲):

• تابع سیگموئید:

$$f\left(\sum W_{ij}X_i\right) = \frac{1}{1+e^{-\left(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i\right)}} \quad 4-3$$

• تابع تانژانت هایپربولیک:

$$f\left(\sum W_{ij}X_i\right) = \frac{e^{\left(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i\right)} - e^{-\left(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i\right)}}{e^{\left(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i\right)} + e^{-\left(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i\right)}} \quad 5-3$$

• تابع سکانت هایپربولیک:

^۱. Back propagation

$$f\left(\sum W_{ij}X_i\right) = \frac{2e^{\left(\sum_{i=1,j=1}^n W_{ij}X_i\right)}}{e^{2\left(\sum_{i=1,j=1}^n W_{ij}X_i\right)} + 1} \quad ۶-۳$$

• تابع گوس:

$$f\left(\sum W_{ij}X_i\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{\left[\left(\sum_{i=1,j=1}^n W_{ij}X_i\right) - \pi\right]^2}{2\sigma^2}} \quad ۷-۳$$

که در آن، e عدد نپر، σ انحراف معیار، π عدد پی، X رگرسور و W وزن^۱ می‌باشند.

ابتدا داده‌های مربوط به ورودی و خروجی مدل به‌طور تصادفی پشت سر هم قرار داده شده و به ۲ قسمت داده‌های آموزش (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم گردیدند (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲). سپس با استفاده از رابطه ۳-۸، داده‌ها استاندارد گردیدند. چون در صورتی که داده‌ها به‌صورت خام وارد شبکه شوند، به‌علت تغییرات زیاد داده‌ها، تأثیر متفاوتی بر روی شبکه گذاشته، به‌صورتی که برخی از نرون‌ها خیلی زود اصطلاحاً به حد "آتش"^۲ رسیده و در مقابل، مابقی نرون‌ها حتی به آستانه فعالیت نیز نمی‌رسند (منهاج، ۱۳۹۳).

$$Y_i = 0.8 \times \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} + 0.1 \quad ۸-۳$$

که در آن 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.

^۱ - Weight

^۲ - Fire

۳-۴-۲. اعتبارسنجی و آزمون

یکی از مشکلاتی که در آموزش شبکه‌های عصبی رخ می‌دهد، مشکل فرا انطباقی است. در این وضعیت میزان خطا در مورد داده‌های آموزشی بسیار کم و در مورد داده‌های جدیدی که به شبکه ارائه می‌شود، زیاد است. در واقع شبکه به‌جای این‌که داده‌های کلی را یاد بگیرد، نمونه‌های آموزشی را حفظ می‌کند. یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکل، تقسیم داده‌ها به دو قسمت می‌باشد. دسته اول برای آموزش و دسته دوم برای معتبر ساختن شبکه به‌کار می‌رود. دسته دوم، خود شامل دو قسمت اعتبارسنجی و آزمون می‌باشد (منهاج، ۱۳۹۳؛ ونجی و همکاران، ۲۰۱۱؛ زانگ و باریون، ۲۰۰۶).

اعتبارسنجی و آزمون، در تنظیم پارامترها نقشی ندارند، ولی تغییرات میزان خطای هر دو دسته در حین آموزش را بررسی می‌کنند. هنگامی که میزان خطا برای دسته دوم در چندین تکرار افزایش پیدا کرد، آموزش متوقف شده و پارامترها به حالتی که خطای دسته دوم حداقل بوده است، برگردانده می‌شوند. به منظور اعتبار سنجی، از ضریب همبستگی (r)، میانگین خطای مطلق (MAE) (تانگ و یین، ۲۰۱۲)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) (صفا و سمرسینگه، ۲۰۱۱) و خطای استاندارد نسبی (RSE) استفاده گردید (ریچارد و همکاران، ۲۰۰۴):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad 9-3$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad 10-3$$

$$RSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}}{Ybar} \quad 11-3$$

که در آن Y_i خروجی مشاهده شده، $Ybar$ میانگین خروجی مشاهده شده، \hat{Y}_i خروجی برآورد

شده و $\hat{Y}bar$ میانگین خروجی برآورد شده می‌باشند (منهاج، ۱۳۹۳؛ بشیر، ۲۰۰۰).

۳-۵. بهینه‌سازی رگسورها در ۳ مرحله ذیل انجام پذیرفت:

۳-۵-۱. مرحله اول بهینه‌سازی:

ابتدا در بین رگسورها، رگسور یا رگسورهایی 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 گرفته و 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 بر اساس مدل برتر، مقادیر این رگسورها 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.

۳-۵-۲. مرحله دوم بهینه‌سازی:

در این مرحله، با استفاده از داده‌های اصلی و داده‌های برآورد شده در مرحله قبل، مابقی رگسورها به‌صورت تک تک به‌عنوان خروجی وارد مدل گردیدند. ورودی‌های مدل، کیفیت و کمیت عملکرد، و رگسورهایی که جدیداً وارد مدل شده بودند، را شامل می‌شدند. همانند مرحله اول، داده‌ها به دو دسته تقسیم 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 (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳، بایلی و همکاران، ۲۰۱۶؛ بشیر، ۱۹۹۸).

۳-۵-۳. مرحله سوم بهینه‌سازی :

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 به دست آورده شد (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قلی‌پور و همکاران ۲۰۱۳، بایلی و همکاران، ۲۰۱۶؛ بشیر، ۱۹۹۸).

جدول ۳-۲. خلاصه مشخصات و پارامترهای شبکه عصبی بکار رفته در مدل شبکه عصبی

پارامتر	توضیحات
ساختار شبکه	پرسپترون چند لایه (MLP)
نوع شبکه عصبی	پیش‌رو (FeedForward)
الگوریتم آموزش	انتشار برگشتی (Back Propagation)
توابع عملکرد خطا	ضریب همبستگی (r)، میانگین خطای مطلق (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای استاندارد نسبی (RSE)
روش بهینه‌سازی	Levenberg-Marquardt(LM)
تعداد لایه‌های پنهان	یک
تعداد نرون‌های لایه پنهان	۵-۱۵ (سعی و خطا)
توابع تحریک لایه پنهان	تانژانت هایپربولیک، سیگموئید، سکانت هایپربولیک، گوس
تابع تحریک لایه خروجی	(Purelin) خطی
تعداد داده‌های آموزش (Train)	۲۶۵۴ نمونه (۷۰ درصد)
تعداد داده‌های اعتبارسنجی (validation)	۹۴۸ نمونه (۱۵ درصد)
تعداد داده‌های آزمون (Test)	۹۴۸ نمونه (۱۵ درصد)
تعداد نسل آموزش	۸۰۰۰

فصل چهارم

۴. نتایج و بحث

توتون یک محصول درآمد زا و بسیار اقتصادی بوده و حتی در بعضی از کشور های آسیایی (ترکیه، چین)، اروپایی (بلغارستان)، افریقایی (زیمبابوه) و امریکای جنوبی (برزیل) به عنوان محصول راهبردی شناخته می شود. با توجه به اهمیت و حساسیت کاربرد کودهای نیتروژنی در کشت پر اهمیت و درآمدزا، ولی در عین حال مغفول ماندن توتون در ایران (به لحاظ محصول نهایی استحصالی توتون و فرهنگ غنی مردم ایران زمین و عدم استعمال محصولات دخانی توسط اکثریت اقشار مختلف جامعه)، نتایج طرح اجرا شده در سه مبحث جداگانه ارائه می گردد.

۴-۱. تأثیر استفاده از کودهای نیتروژنی متفاوت بر کمیت و کیفیت عملکرد توتون بارلی

و قابلیت استفاده از کود اوره در مزارع توتون کاری.

با عنایت به عدم مصرف کود اوره در مزارع توتون کاری کشور به دلایل مبهم و وجود شائبه کاهش کیفیت توتون استحصالی، بین کشاورزان و حتی کارشناسان و نظر به همکاری و مشارکت شرکت

دخانیات ایران در اجرای طرح حاضر و نیز اهمیت قابلیت استفاده از کود اوره (تولید داخلی) در کشت توتون، ابتدا نتایج تأثیر منابع مختلف کودهای نیتروژنی بر کمیت و کیفیت توتون، تشریح می‌گردد.

۴-۱-۱. عملکرد برگ خشک و شاخص سطح برگ:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۱)، بیانگر معنی‌دار بودن اثر مکان بر عملکرد برگ خشک می‌باشد. میانگین عملکرد در تیرتاش (۲/۹۳ تن در هکتار) بیشتر از ارومیه (۲/۷۶ تن در هکتار) بود. از بین مابقی منابع تغییر در جدول تجزیه واریانس، تنها اثر تقسیط نیتروژن و برهم‌کنش تقسیط نیتروژن و منبع نیتروژن معنی‌دار شد. به‌طور کلی هنگامی که اثر متقابل دو فاکتور معنی‌دار می‌گردد بدان معنی است که اثر یک فاکتور تحت تأثیر فاکتور دیگر قرار می‌گیرد. این حالت برای نیتروژن و تقسیط آن نیز صادق است، به‌صورتی که در شرایط استفاده از کود اوره، بیشترین عملکرد برگ زمانی به‌دست آمد که دو سوم کود مورد نیاز به‌صورت پایه و مابقی به‌صورت سرک استفاده شد (جدول ۴-۲). این در حالی است که برای کود نترات آمونیوم، بهترین الگوی تقسیط به‌صورت یک سوم پایه و دو سوم مابقی به‌صورت سرک بود. معنی‌دار نشدن اثر متقابل این دو عامل با مکان، نشان‌گر آن است که این الگو برای هر دو مکان صادق است. شاخص سطح برگ، تنها تحت تأثیر مکان قرار گرفت. مقدار آن در تیرتاش و ارومیه به‌ترتیب برابر با ۴/۳۶ و ۳/۸۸ بود. معنی‌دار شدن برهم‌کنش منبع نیتروژن و تقسیط آن بر عملکرد برگ خشک و معنی‌دار نشدن این برهم‌کنش و حتی اثرات اصلی منبع نیتروژن و تقسیط آن بر شاخص سطح برگ این موضوع را به‌طور ضمنی بیان می‌دارد که تغییرات ناشی از منبع نیتروژن و تقسیط آن در عملکرد برگ، بیشتر مربوط به تأثیر بر ضخامت برگ بوده نه تأثیر بر مساحت آن. طول و عرض برگ توتون با افزایش نیتروژن خاک نسبت به عدم استفاده از نیتروژن (شاهد) تا سطح معینی افزایش می‌یابد ولی با عدول از آن سطح معین، افزایش نیتروژن خاک تاثیری معنی‌داری بر طول و عرض نخواهد داشت (کورت و هندل، ۱۹۸۶؛ کولسن ۱۹۵۹؛ کارا عیوض اوغلو و همکاران، ۲۰۰۷). تعداد برگ در توتون صفت وابسته به ژن بوده و تحت تأثیر عوامل

محیطی قرار نمی‌گیرد (پوستینی و شامل رستمی، ۱۳۷۹؛ ثابتی و همکاران، ۱۳۹۱؛ صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹).

۴-۱-۲. قطر و ارتفاع ساقه:

کمیت ارتفاع ساقه در هر دو مکان از لحاظ آماری مشابه بود. علاوه بر اثرات اصلی، اثرات متقابل منبع نیتروژن و تقسیط آن نیز معنی‌دار شد. در شرایط استفاده از نیترات آمونیوم، الگوی تقسیط یک سوم به‌صورت پایه و مابقی به‌صورت سرک باعث حصول بالاترین ارتفاع در گیاه گردید (جدول ۴-۲). برای کود اوره، الگوی تقسیط دو سوم به‌صورت پایه و مابقی به‌صورت سرک، بیشترین تأثیر را بر ارتفاع ساقه داشت. واکنش قطر ساقه نیز همانند ارتفاع ساقه بود (جدول ۴-۱ و ۴-۲). نیتروژن به‌واسطه نقشی که در تولید و صدور هرمون سیتوکنین از ریشه به اندام‌های هوایی دارد موجب افزایش سرعت تقسیم سلولی و رشد و افزایش ارتفاع و قطر گیاه می‌شود (کارا عیوض اوغلو و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین فراهمی ازت در خاک در مراحل مختلف رشد به‌ویژه در مرحله رشد سریع توتون تأثیر به‌سزایی در ارتفاع، قطر ساقه و عملکرد برگ خشک توتون خواهد داشت (صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹؛ ثابتی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور کلی، معنی‌دار شدن اثر متقابل نوع کود و تقسیط آن بر این صفات به‌علت تفاوت کود اوره و نیترات آمونیوم از لحاظ ماهیت شیمیایی می‌باشد. کود نیترات آمونیوم موقع حل شدن در محلول خاک، سبب ایجاد یون‌های آمونیوم و نیترات می‌شود (راب و تری، ۱۹۹۵؛ کرامر و لويس، ۱۹۹۳؛ ماگال هیس و هابر، ۱۹۸۹). یون نیترات با بار منفی توسط لایه دوگانه الکتریکی پخشیده ذرات منفی کلوئیدهای خاک به توده محلول خاک، دفع شده و مستعد آبشویی می‌گردد. این در حالی است که اوره در خاک به مرور زمان در خاک هیدرولیز شده و به یون آمونیوم تبدیل می‌شود (کای و کوین، ۲۰۰۳؛ والچ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ماگال هیس و هابر، ۱۹۸۹). یون‌های آمونیوم به‌عنوان یک کاتیون، جذب ذرات خاک می‌شود و حتی برخی رس‌های خاک از جمله ایلیت و ورمی‌کولایت، یون آمونیوم را تثبیت می‌کنند (نیدر و دنیش، ۲۰۱۱) و در نتیجه آبشویی آن

خیلی کمتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت آبشویی برای کود نیترات آمونیوم در مقایسه با کود اوره، بیشتر است و با کاهش تقسیط پایه کود نیترات آمونیوم و تقسیط بخش عمده آن به صورت سرک می‌توان از آبشویی زیاد آن در اوایل فصل رشد جلوگیری کرد (باسو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کای و کوین، ۲۰۰۳؛ باسو و همکاران، ۲۰۱۵). گرچه آبیاری در هر دو مزرعه بر اساس ۸۰ در صد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک (صالح زاده و همکاران، ۲۰۰۹) با استفاده از بلوک های گچی محاسبه و انجام می پذیرفت ولی میزان بارندگی نیز در آبشویی و جذب مواد از خاک موثر می‌باشد. با توجه به میزان بارندگی گزارش شده در دو منطقه (جداول ۴-۴ و ۴-۵) همانگونه که ملاحظه می‌گردد در اوایل فصل دوره رشد (اردیبهشت و خرداد) میزان بارندگی در منطقه تیرتاش نسبتا بالا بوده و این مهم در میزان آبشویی نیتروژن و سایر مواد معدنی به‌ویژه کلر تاثیر گذاشته است. در اصل، در مراحل آغازین رشد توتون، ریشه‌های نشاء در مزرعه هنوز توسعه نیافته‌اند و نیاز گیاه به نیتروژن در یک ماه اول بعد از نشاکاری زیاد نیست (لی و زانگ، ۲۰۰۵). مک دانیل (۱۹۹۶) فراهم بودن نیتروژن قابل دسترس را در مرحله رشد سریع را عامل اصلی موثر در ارتفاع و قطر توتون اعلام کرد. پوستینی و شامل رستمی (۱۳۷۸)، در بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و زراعتی دو رقم توتون بارلی نسبت به کود ازته، صالح‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کمیت و کیفیت توتون تیپ شرقی و ثابتی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تاثیر کود نیتروژن و ازتوباکتر بر برخی خصوصیات کمی و کیفی توتون گرمخانه‌ای نتایج مشابهی را گزارش کردند.

۳-۱-۴. کلروفیل برگ

در خصوص محتوای کلروفیل برگ، اثر متقابل سه گانه مکان، منبع نیتروژن و الگوی تقسیط نیتروژن معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). در منطقه تیرتاش، بیشترین تأثیر بر این صفت مربوط به کود اوره بود و نکته جالب توجه این که، بین ۴ الگوی تقسیط نیتروژن تفاوت آماری وجود نداشت (جدول ۴-۳). در منطقه ارومیه، باز هم بیشترین کمیت محتوای کلروفیل برگ مربوط به اوره بود ولی بین

الگوهای تقسیط نیتروژن، تفاوت وجود داشت. به طوری که بهترین الگوی تقسیط، تقسیط یک سوم به صورت پایه و مابقی به صورت سرک بود. علت افزایش سبزیگی گیاه در مصرف اوره به عنوان منبع نیتروژن، مربوط به هیدرولیز آهسته اوره در خاک و جذب یون‌های آمونیوم توسط کلوئیدهای خاک و آبشویی کمتر می‌باشد که منجر به در دسترس بودن بیشتر نیتروژن در خاک و جذب آن به مرور زمان و در طول دوره رشد شده و منجر به افزایش کلروفیل گیاهان تغذیه شده با اوره می‌گردد (مایر و سیم، ۱۹۹۶؛ تان و همکاران، ۲۰۰۰؛ لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). مقداری از این کلروفیل افزایش یافته در برگ در کوددهی با اوره، به هنگام رسیدگی برگ‌ها در مراحل انتهایی رشد و نیز در مرحله رنگ‌آوری در فرآیند عمل‌آوری، تجزیه و به سایر رنگدانه‌ها تبدیل گردیده و تأثیری در کیفیت برگ عمل‌آوری شده توتون ندارد (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲؛ محسن‌زاده، ۲۰۱۵).

۴-۱-۴. محتوای پتاسیم برگ

اثرات متقابل مکان آزمایش و منبع نیتروژن بر غلظت پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳-۱). در منطقه تیرتاش، کود اوره از لحاظ تجمع پتاسیم در برگ بر کود نیترات آمونیوم برتری داشت (۳/۸۶ درصد در مقابل ۳/۲۵ درصد). ولی در منطقه ارومیه، عکس این حالت صادق بود (۳/۷۷ درصد در مقابل ۳/۳۸ درصد). در میان عناصر معدنی موجود در برگ توتون، پتاسیم از مهمترین عناصر تعیین‌کننده کیفیت برگ به‌شمار می‌رود (لیو و همکاران، ۲۰۰۵) و عنصر اساسی خاکستر می‌باشد (سازگار، ۱۳۷۰). پتاسیم رنگ برگ، جنس برگ، خواص رطوبت‌پذیری برگ و به‌طور کلی قابلیت سوزش آن را بهتر می‌کند. با بیشتر شدن تجمع پتاسیم، نازکی برگ، 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 (فرخ و فرخ، ۲۰۱۲؛ ثابتی و جبارزاده، ۲۰۰۴). بین پتاسیم و دمای احتراق توتون، رابطه معکوس وجود دارد (آکهارست، ۱۹۸۱).

ماو و همکاران (۱۹۹۵) در بررسی که بر روی تعدادی از مطالعات صورت گرفته انجام دادند، علت همبستگی منفی بین کوددهی پتاسیمی و نیکوتین یا آلکالوئید کل را به رقیق شدن نیکوتین در اثر افزایش وزن خشک نسبت دادند. مارچند (۱۹۹۲) در بررسی واریته‌های توتون تیپ غربی اظهار داشت که عملکرد خشک برگ، ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و مقدار قند احیاء برگ همبستگی مثبتی با پتاسیم داشت، ولی مقدار نیتروژن و آلکالوئید با پتاسیم برگ، همبستگی منفی داشته و تحت تاثیر میزان کود پتاسیم قرار گرفتند. کیو و همکاران (۲۰۱۰)، لیو و همکاران (۲۰۰۵) و پلی وانوسکا و همکاران (۲۰۰۴) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

لیتون و نیلسن (۱۹۹۹) گزارش کردند که ۸۰ تا ۸۵ درصد تغییرات لگاریتمی سوزش برگ در ثانیه می‌تواند توسط رگرسیون چندگانه غلظت‌های برگی پتاسیم، نیتروژن احیا شده و کلر بیان شود. مدت زمان سوزش، با پتاسیم رابطه مثبت و با نیتروژن و کلر رابطه منفی دارد (اسکولجی و مک کانتز، ۱۹۶۳). این رگرسیون‌ها نشان دادند که نیتروژن احیا شده به میزان $1/46$ بار و کلر به مقدار $1/22$ بار اثر مثبت پتاسیم بر روی سوزش را می‌کاهد. لیتون و همکارش همچنین گزارش کردند، اگرچه مدت زمان سوزش ارتباط نزدیک‌تری با نسبت‌های پتاسیم با کلر و کلسیم و یا پتاسیم با نیتروژن و کلر، دارد ولی پتاسیم به‌تنهایی اثر سودمندی در خصوصیات سوزش محصول توتون، در ایالت انتاریو داشته است.

در مقایسه با اکثر محصولات، جذب روزانه پتاسیم در گیاه توتون، نسبتاً زیاد می‌باشد (فوشنگ، ۲۰۰۵). غلظت پتاسیم در برگ توتون بین ۲ الی ۸ درصد K_2O در تغییر می‌باشد که بعضی مواقع تا ۱۰ درصد نیز می‌رسد. علائم کمبود پتاسیم در کمتر از ۳ درصد K_2O در برگ ظاهر می‌شود و در ۲ درصد یا کمتر، علائم شدید بروز می‌نماید (لیو و همکاران، ۲۰۱۰). در مقایسه با توتون‌های با کیفیت بالا در سایر کشورها، مقدار پتاسیم در برگ‌های توتون تولید شده در ایران بسیار کم می‌باشد و این میزان پایین پتاسیم، یک عامل محدود کننده جهت افزایش کیفیت توتون‌های ایرانی شده است. مقدار کم پتاسیم در برگ توتون در ایران، به دلیل مصرف کم کودهای پتاسیمی نیست، زیرا کشاورزان

توتون کار به دلیل قیمت پایین کودهای شیمیایی در سال‌های اخیر (قبل از افزایش قیمت کود شیمیایی) کود سولفات پتاسیم را حتی بیشتر از نیاز توتون، مصرف کرده‌اند، ولی با این وجود در محصول برگ توتون مزارع ایران در بهترین شرایط میزان پتاسیم برگ توتون از ۳ درصد تجاوز نمی‌کند (شامل رستمی، ۱۳۸۰). روابط پیچیده‌ای (مانند اقلیم، شرایط اداپیک و تنش‌های محیطی) در جذب پتاسیم از خاک وجود دارد و نظرات نیز متفاوت می‌باشند. شاید دلیل برتری کود اوره به نیترات و یا برعکس آن، در جذب پتاسیم از خاک، ناشی از شرایط اقلیمی و اداپیک حاکم در مناطق مورد آزمایش و یا تحت تأثیر تنش‌های محیطی باشد. در هر صورت در رویارویی با چنین ابهاماتی است که ضرورت به کارگیری مدل‌های شبکه عصبی برای مطالعه هم‌زمان متغیرها، احساس می‌گردد.

۴-۱-۵. محتوای نیکوتین و نیتروژن برگ

میزان نیکوتین برگ توتون تحت تأثیر محل آزمایش، منبع نیتروژن مصرفی و نحوه مصرف تقسیطی آن قرار نگرفت (جدول ۴-۱). همانطور که در بخش کلیات هم اشاره شد، نیکوتین قسمت اعظم آلکالوئیدهای توتون را تشکیل می‌دهد (لویس و همکاران، ۲۰۱۰) و از ترکیبات مهم دود بوده و بدون آن توتون خاصیت وجودی خود را از دست می‌دهد. زیرا این ماده از ترکیبات مهم دود به‌شمار می‌رود. به هنگام استعمال دخانیات، ۸۵ درصد نیکوتین جذب بدن می‌گردد. هرگاه میزان این ماده در توتون بین ۱-۲ درصد باشد، شخص مصرف‌کننده را اقناع می‌کند (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). محتوای نیتروژن برگ تنها تحت تأثیر منبع نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴-۱). محتوای نیتروژن برگ در شرایط استفاده از کود نیترات آمونیوم و اوره به ترتیب برابر با ۱/۹۷۷ و ۲/۳۳۳ درصد شد.

نیتروژن از عناصر کلیدی در توتون محسوب شده و از مرحله گیاهچه‌ای تا پایان برداشت، مقدار نیتروژن موجود در خاک بیش از هر عنصری بر روند رشد و نمو گیاه توتون تأثیر می‌گذارد (پلی وانوسکا و همکاران، ۲۰۰۰). گیاه باید نیتروژن قابل دسترس کافی در طول مراحل رشد داشته باشد و نیتروژن خاک باید در فاصله بعد از سرزنی گیاه تخلیه شده باشد تا رسیدگی برگ‌ها به‌خوبی صورت گیرد. با این حال گزارش شده است، در مزارعی که نیاز به مصرف کود نیتروژن دارند، برای بعضی از

ارقام توتون‌های تیپ غربی در مرحله سرزنی جهت ایجاد تعادل در میزان نیتروژن و کربوهیدرات، کمتر از ۱۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف نمایند (مور، ۱۹۹۶).

مصرف مازاد نیتروژن اثرات منفی متعددی بر محصول توتون به‌جا می‌گذارد که به تاخیر انداختن رسیدگی برگ توتون که پدیده‌های ناخواسته‌ای را به‌وجود می‌آورد (هتچ، ۱۹۹۸). چون زودرسی، میزان قندهای احیاء شده را افزایش داده که خود یکی از فاکتورهای مطلوب در توتون‌های ظریف در خرمن سیگارت به‌شمار می‌آیند. توتون‌هایی که با نیتروژن کم تغذیه می‌شوند، نسبت به توتون‌هایی که بهتر تغذیه شده‌اند زودتر علائم رسیدگی کاذب را نشان می‌دهند (رایدینگ، ۱۹۸۱). در هنگام کمبود، گیاه توتون دارای برگ‌های سبز روشن می‌گردد و میزان قند در توتون‌های گرمخانه‌ای افزایش و نیکوتین آنها کاهش می‌یابد (سایتو و همکاران، ۱۹۸۵؛ کانگ و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که نیتروژن مورد احتیاج در توتون‌های شرقی و معطر، کم (سیفولا، ۲۰۰۵؛ صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹) و در توتون‌های گرمخانه‌ای کم تا متوسط (پانسکو، ۱۹۸۵؛ حقیقی و همکاران، ۲۰۰۱)، در توتون مریلند، متوسط (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹) و در سایر توتون‌های هوا خشک (بارلی)، آفتاب‌خشک و آتش‌خشک متوسط تا زیاد می‌باشد (سایتو و همکاران، ۱۹۸۵؛ پلی وانوسکا و همکاران، ۲۰۰۰).

احتیاج توتون‌های گرمخانه‌ای به نیتروژن کم است (حقیقی و همکاران، ۲۰۰۱؛ سیت و همکاران، ۲۰۰۲) و مقادیر زیاد نیتروژن همچون مقادیر کم آن، درآمد توتون کار را محدود می‌کند. در حقیقت صنعت توتون گرمخانه‌ای موجودیت خود را تا حد زیادی مدیون تعادل میزان نیتروژن در خاک می‌داند (کانگ و همکاران، ۲۰۱۳). وقتی میزان قابل استفاده به اندازه کافی نباشد توتون گرمخانه‌ای ظاهر سالم و قوی نخواهد داشت. اگر زرد شدن در اوایل رشد ادامه یابد، بوته و برگ‌ها ممکن است دارای رشد خیلی کمی بوده و محصول به‌شدت کاهش یابد (رایدینگ، ۱۹۸۱). معمولاً علائم کمبود که در برگ‌های پایین بوته ظاهر شده و سپس به سمت بالای بوته پیشرفت می‌کند در حالت‌های شدید زرد شدن برگ با سوختن یا خشک شدن برگ و رنگ قهوه‌ای روشن همراه است. برگ‌هایی که

کمبود نیتروژن دارند ظاهر رسیده‌ای داشته در حالی که عملاً نارس هستند. پس از تخمیر، چنین برگ‌هایی نازک، بی‌محتوا و دانه دانه بوده که فاقد نرمی و عطر خوب می‌باشد.

نیتروژن اضافی گیاه را در برابر بیماری‌های قارچی و باکتریایی حساس می‌کند (کافی، ۲۰۱۱). زیادی نیتروژن باعث افزایش نیکوتین، کاهش قند و عطر و همچنین ضعیف شدن بافت می‌شود در حالی که کمبود نیتروژن باعث افزایش نسبت قند به نیکوتین می‌شود (راب و تری، ۱۹۹۵؛ کارا عیوض اوغلو و همکاران، ۲۰۰۷). توتون گرمخانه‌ای معمولاً "بیشتر نیتروژن مورد احتیاج خود را از ذخیره‌های نیتروژن خاک تامین می‌نماید (ماو و همکاران، ۱۹۹۵؛ حقیقی و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار نیتروژن قابل استفاده بستگی به میزان مواد آلی در خاک و سرعت تجزیه و فعل و انفعالات خاک داشته که خود تحت تاثیر شرایط جوی از جمله زمان شخم، عمق شخم و غیره قرار دارد. مهمترین فاکتوری که در رابطه با از دست دادن نیتروژن به وسیله شستشو باید منظور شود، میزان بارندگی و طول مدت آن است. شستشو و از دست دادن نیتروژن وقتی بارندگی طولانی و آهسته باشد نسبت به زمانی که به صورت رگبار شدید است، زیادتر می‌شود (شامل رستمی، ۱۳۷۵).

محسن‌زاده (۲۰۱۵) در بررسی خصوصیات ارقام توتون و مقدارمختلف سطوح پتاسیم نشان دادند که مقدار نیتروژن برگ در ۴۵ روز بعد از نشاکاری نسبت به سایر مراحل بیشتر بود و هم‌زمان با افزایش مقدار نیکوتین و کلسیم در طی رشد، مقدار نیتروژن برگ کاهش یافت و همبستگی نیتروژن برگ با پتاسیم و نیکوتین برگ منفی بود. فوشنگ (۲۰۰۵) نیز نتایج مشابهی را در مطالعه بر روی توتون‌های گرمخانه‌ای گزارش کرده بود.

دراک و همکاران (۲۰۱۳) تحقیقی را جهت تعیین تأثیر روش و زمان مصرف کود نیتروژن روی خصوصیات کمی و کیفی و خصوصیات شیمیایی توتون گرمخانه‌ای انجام دادند. روش مصرف شامل محلول‌پاشی و مصرف خاکی و زمان مصرف نیز قبل از نشاکاری، ۲ هفته، ۴ هفته، ۶ هفته و ۸ هفته بعد از نشاکاری بود. تیمارهای کودی ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز کودی توصیه شده بود. نتایج بررسی

نشان داد که صفت درآمد و مقدار آلکالوئید کل تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفتند در حالی که مقدار قند زمانی که نیتروژن کمتری در اوایل فصل مصرف شد بیشترین مقدار بود.

مطالعات فراوانی در رابطه با تأثیر نیتروژن بر کمیت و کیفیت توتون انجام و گزارشات متعدد همسو و یا در تناقض با یکدیگر در زمان‌های مختلف ارائه شده است. نکته مهم این است که نتایج کدام محقق در چه اقلیمی و محدودیت‌هایی برای ما به عنوان محقق توتون مفید و کاربردی است؟ با توجه به حجم عظیم داده‌ها، شرایط و این که هر محقق در یک زمان و مکان خاصی در صدد رفع یک یا نهایتاً چند فاکتور دخیل در تولیدات گیاهان زراعی، برآمده است و در صورت بروز محدودیت‌ها و شرایط خاص به‌طور همزمان و در مکان‌های مختلف، به‌لحاظ آب و هوایی و اقلیمی، تمامی گزارشات مذکور در برآیند اثرات متقابل متغیرها، محو شده و عاجز از ارائه راهکار می‌باشند.

۴-۱-۶. محتوای کلر و خاکستر برگ

خاکستر برگ، تنها تحت تأثیر مکان آزمایش قرار گرفت (جدول ۴-۱)، به‌طوری که در تیرتاش نسبت به ارومیه بیشتر بود (۲۳/۶ درصد در مقابل ۲۲/۴ درصد). به‌طور کلی، جنس توتون در ایجاد و نوع و مقدار خاکستر دخالت دارد. توتون‌های گرمخانه‌ای دارای خاکستر بین ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد وزن ماده خشک توتون هستند. این میزان در توتون‌های آفتاب خشک بیشتر می‌باشد. با توجه به این که منظور از خاکستر، بقایای ستون توتون خور سیگارت پس از استعمال می‌باشد، در این گزارش جزئیات آن مطرح نشده است. تأثیر منبع نیتروژن بر کلر برگ معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). از نظر کمیت تجمع کلر در برگ، کود اوره نسبت به کود نیترات آمونیوم تأثیر بالاتری داشت. به بیان دیگر، در شرایط استفاده از کود اوره، کلر بیشتری در برگ‌ها تجمع می‌یابد تا زمان استفاده از نیترات آمونیوم (۱/۸۵ در مقابل ۱/۴۳ درصد). گزارش‌ها حاکی از آن است که تجمع زیاد کلر در توتون باعث کاهش وزن خشک، ضخیم‌تر شدن برگ‌ها، کاهش قابلیت ارتجاعی، افزایش هیگروسکوپیسیتی^۱، تیره رنگی

^۱- Hygroscopicity

برگ^۱ و عطر و طعم نامطلوب^۲ می‌شود (کلاوسن و لنز، ۱۹۹۵؛ ویلوکس و همکاران، ۱۹۷۳). غلظت بالای کلر از طریق بالا بردن قطران دود، مزه و طعم دود را ناخوشایند می‌نماید (آکهارست، ۱۹۸۱). سوای این که جذب و تجمع کلر در برگ‌های توتون به شدت تحت تأثیر برهم‌کنش این عنصر با عناصر دیگر قرار می‌گیرد، توتون از گیاهان کلر دوست به‌شمار می‌رود. از این رو، تجمع کلر در برگ‌های این گیاه به سرعت و به مقدار زیاد صورت می‌گیرد (مارچنر، ۱۹۹۵؛ لانگ و وی برو، ۱۹۸۱). بر همین اساس، کود نیترات آمونیوم از لحاظ محتوای کلر برگ بر کود اوره برتری دارد که در گزارشات متعددی این مهم، به‌علت اثر آنتاگونیستی نیترات با یون کلراید بیان شده است که احتمالاً سبب کاهش جذب یون کلراید توسط گیاه شده است (اسکولجی و مک کانتز، ۱۹۶۳؛ تیلمن و نیلسن، ۱۹۹۹).

اولین گزارش مربوط به خاصیت ناسوزی توتون‌های تولید شده در سواحل دریا می‌باشد که نسلر (۱۸۶۷) به عنصر کلر، به‌عنوان عامل ناسوزی توتون اشاره کرده است. در تحقیقات بعدی مشخص شد که سوزش برگ توتون با میزان پتاسیم برگ به شکل نمک‌های سیتریک و مالیک ارتباط دارد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). درصد بالای کلر در برگ توتون روی کیفیت (عطر و طعم) توتون نیز اثر منفی دارد. تجمع کلر در برگ تحت تأثیر ژنوتیپ، خاک، آب آبیاری است. با این حال pH خاک، نحوه و فاصله کاشت، کوددهی و ارتفاع سرزنی در تجمع آن نقش دارد (ایکوان و ژانگ، ۲۰۰۴).

در تحقیقی توسط دیوید رید و همکاران (۲۰۰۸) که روی ارزیابی وضعیت کلر در برگ توتون و منابع پتانسیل سطوح بالای کلر، در سه فصل زراعی و در ۱۴ منطقه کشت توتون، روی وارپته توتون گرمخانه‌ای با خصوصیات آب و هوایی و خاک متفاوت انجام شد، گزارش شد که در تمام مناطق، سطح کلر برگ‌ها از میزان مورد قبول (۱/۵ درصد) بیشتر است. بیشترین مقدار کلر در برگ‌های پایین و چین اول دیده شد و به طرف بالا (به جز افزایش بسیار کم در لچه برگ‌ها)، کاهش یافت. بین کلر

^۱- Diniginess

^۲- Undesirable Odors

توتون مناطق مختلف نیز تفاوت معنی دار مشاهده شد. در میزان نیکوتین (۲/۱ درصد) مناطق مختلف تفاوتی دیده نشد. نتایج این تحقیق نشان داد هیچ ارتباطی بین کلر خاک، pH خاک و کلر برگ وجود ندارد.

کارا عیوض اوغلو و همکاران (۲۰۰۴) اثر کلر آب آبیاری و نوع نیتروژن کودی را روی توتون گرمخانه‌ای در دو سال بررسی و نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در کلر بالای ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، به‌طور محسوسی کاهش یافت. کاهش عملکرد در کلر ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، مربوط به اثر کلر روی برگ‌های وسط و بالای بوته بود. میزان کلر برگ در برگ‌های بالایی بیشتر بود و با افزایش میزان کلر آب به‌طور خطی افزایش یافت و این افزایش با زیادی نیتروژن آمونیومی سرعت بیشتری داشت.

به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت که اثر منبع نیتروژن بر عملکرد برگ معنی دار نگردید. به بیان دیگر، هیچ تفاوتی بین اوره و نیترات آمونیوم از لحاظ عملکرد برگ وجود ندارد. از این حیث می‌توان در هر دو منطقه، اوره را به‌راحتی جایگزین نیترات آمونیوم نمود. ولی به لحاظ این که در تیرتاش، محتوای پتاسیم (کیفیت) برگ از اوره تأثیر مثبت می‌پذیرد و در ارومیه از نیترات آمونیوم، بهتر است فقط در تیرتاش از اوره استفاده شود. اثر مکان بر محتوای کلر برگ، معنی دار نشد. این امر نشان می‌دهد که تیرتاش و ارومیه از لحاظ این صفت، مشابهت دارند. ولی نیترات آمونیوم در مقایسه با اوره باعث تجمع کمتر کلر در برگ‌ها می‌شود. با در نظر گرفتن رابطه معکوس محتوای کلر برگ و کیفیت آن، به نظر می‌رسد که در صورت استفاده از اوره در تیرتاش، کیفیت برگ اندکی کمتر از ارومیه می‌شود. با این حال در جمع جبری تأثیر منفی کلر و تأثیر مثبت پتاسیم بر کیفیت برگ، اثر پتاسیم قابل توجه‌تر است، چون پتاسیم مهم‌ترین عنصر تعیین کننده کیفیت برگ به‌شمار می‌رود (آکهارست، ۱۹۸۱). در تیرتاش، الگوی تقسیط اوره به‌صورت دوسوم پایه و مابقی سرک (در مرحله رشد سریع توتون) و برای ارومیه، الگوی یک سوم پایه و دو سوم سرک، برای کود نیترات آمونیوم قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۴-۱. تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه

منبع تغییر	Df	عملکرد برگ خشک	ارتفاع بوته	کلروفیل	سطح برگ	قطر ساقه
مکان (L)	۱	۵/۳۹**	۳۹۱/۰۲ ^{ns}	۱۵۲/۶۵**	۲/۹۵*	۳۱/۲ ^{ns}
خطای اصلی a	۴	۰/۳۱	۳۱۸/۹۵	۱۳/۳۰۸	۰/۳۱۶	۴۷/۹۲
منبع نیتروژن (A)	۱	۱/۲۹ ^{ns}	۷۶۹/۱۸**	۱۹۹/۲۶**	۰/۵۴۲ ^{ns}	۱۶/۸ ^{ns}
A × L	۱	۱/۳۸ ^{ns}	۷۲/۵۲ ^{ns}	۵۰/۴۳**	۰/۲۰ ^{ns}	۵/۷۴ ^{ns}
تقسیم نیتروژن (B)	۳	۶/۹۳**	۶۱۰/۵۷*	۱۴/۵۵*	۰/۹۹ ^{ns}	۲۵/۱۳*
B × L	۳	۰/۵۲ ^{ns}	۱۸۳/۹۶ ^{ns}	۸/۰۴ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۱۰/۳۶**
B × A	۳	۸/۱۹**	۸۸۱/۶۹**	۱۵/۹۹*	۰/۹۷ ^{ns}	۴۲/۸۲۴**
B × A × L	۳	۰/۲۱ ^{ns}	۳۷/۲۴ ^{ns}	۱۸/۸۰*	۰/۱۸ ^{ns}	۷/۵۲ ^{ns}
خطای فرعی b	۲۸	۰/۵۷	۱۴۶/۲۷	۴/۷۴	۰/۶۸	۸/۶۳
CV		۲۶/۵۸	۸/۲۴	۷/۸۷	۱۹/۹۸	۱۰/۰۴

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود تفاوت معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۴-۱

منبع تغییر	Df	پتاسیم	نیکوتین	خاکستر	کلر	نیتروژن برگ
مکان (L)	۱	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۴۷ ^{ns}	۱۷/۱۶*	۱/۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
خطای اصلی a	۴	۰/۵۹	۱/۱۲	۲/۳۰	۰/۵۰	۰/۳۸
منبع نیتروژن (A)	۱	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۳/۵۸ ^{ns}	۲/۱۲**	۱/۵۳*
A × L	۱	۲/۹۰*	۰/۲۰ ^{ns}	۱/۸۸ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}
تقسیم نیتروژن (B)	۳	۰/۸۵ ^{ns}	۴/۳۵**	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}
B × L	۳	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}
B × A	۳	۰/۵۵ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۱/۶۴ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}
B × A × L	۳	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۵۳ ^{ns}	۱/۱۲ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}
خطای فرعی b	۲۸	۰/۴۶	۰/۵۰	۲/۱۸	۰/۲۶	۰/۲۶
CV		۱۹/۰۰	۲۳/۶۵	۴/۶۱	۳۰/۸۹	۲۴/۷۵

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود تفاوت معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴-۲. مقایسه میانگین صفات عملکرد برگ خشک، ارتفاع بوته و قطر ساقه توتون.

منبع کود	نحوه تقسیط	عملکرد (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)
نیترات آمونیوم	مصرف پایه	۱/۶ ^c	۱۳۶ ^b	۲۶/۵ ^c
	یک سوم پایه و بقیه سرک	۴/۳۶۸ ^a	۱۶۱ ^a	۳۰/۸ ^a
	یک دوم پایه و بقیه سرک	۲/۲۴۷ ^b	۱۴۸ ^{ab}	۲۷/۶ ^b
	سه دوم پایه و بقیه سرک	۲/۲۶۳ ^b	۱۳۶ ^b	۲۹/۸ ^b
اوره	مصرف پایه	۲/۱۴۳ ^b	۱۳۷ ^b	۲۹/۶ ^b
	یک سوم پایه و بقیه سرک	۲/۶۹۲ ^b	۱۴۵ ^b	۲۶/۳ ^c
	یک دوم پایه و بقیه سرک	۲/۵۸۰ ^b	۱۴۹ ^{ab}	۳۰/۷ ^b
	دو سوم پایه و بقیه سرک	۴/۶۳۳ ^a	۱۶۱ ^a	۳۲/۸ ^a
LSD		۰/۸۹	۱۴/۱۲	۱/۴۷

جدول ۴-۳. مقایسه میانگین غلظت کلروفیل برگ توتون در تیمارهای مختلف

محل آزمایش	منبع کود	نحوه تقسیط	مقدار کلروفیل برگ
ارومیه	نیترات آمونیوم	مصرف پایه	bc ۲۶/۴
		یک سوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۳/۸
		یک دوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۶/۵
		سه دوم پایه و بقیه سرک	c ۲۲/۸
اوره	اوره	مصرف پایه	bc ۲۵/۴
		یک سوم پایه و بقیه سرک	a ۳۲/۴
		یک دوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۵/۱
		دو سوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۴/۶
تیرتاش	نیترات آمونیوم	مصرف پایه	bc ۲۵/۸
		یک سوم پایه و بقیه سرک	b ۲۷/۸
		یک دوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۶/۳
		سه دوم پایه و بقیه سرک	bc ۲۵/۶
اوره	اوره	مصرف پایه	a ۳۱/۶
		یک سوم پایه و بقیه سرک	a ۳۳/۰
		یک دوم پایه و بقیه سرک	a ۳۱/۷
		دو سوم پایه و بقیه سرک	a ۳۳/۷
LSD			۳/۶۴

جدول ۴-۴. متوسط دمای هوا و میزان بارندگی در مرکز تحقیقات ارومیه در سال ۱۳۹۳ بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک ارومیه

ماه‌های سال	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
متوسط دمای حداکثر	۱۱/۶	۱۶	۲۰	۲۵/۵	۲۹	۳۵	۳۹	۳۶/۲	۳۴/۲	۲۴/۸	۱۶/۴	۱۱/۸
درجه حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	-۱۴/۸	-۱۲/۸	-۴/۶	-۶	۵/۲	۸/۶	۱۱/۸	۱۰/۶	۵/۸	-۱	-۵/۴	-۵/۶
متوسط دما	-۲/۵	۰/۸	۸/۰	۱۲/۶	۱۷/۳	۲۱/۸	۲۴/۸	۲۵/۰	۲۰/۱	۱۱/۳	۴/۴	۲/۲
بارندگی (میلی‌متر)	۳۲	۱/۶	۴۸/۲	۲۱/۸	۵۰/۴	۲/۲	۰	۰/۳	۳/۲	۱۴۷/۵	۲۸/۶	۱۱/۵
سرعت باد (متر در ثانیه)	۱/۸	۲/۶	۳	۳/۱	۲/۹	۲/۸	۲/۶	۲/۷	۲/۵	۱/۸	۱/۸	۱/۳

جدول ۴-۵. متوسط دمای هوا و میزان بارندگی در مرکز تحقیقات تیرتاش در سال ۱۳۹۳ بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک گلوگاه

ماه‌های سال	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
متوسط دمای حداکثر	۱۶	۲۳/۶	۳۲/۵	۳۲/۲	۳۴	۳۵	۳۴/۵	۳۷	۳۶	۳۰/۶	۲۱/۵	۱۹
درجه حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	-۱/۱	-۷	۰	۱	۱۰	۱۵/۸	۱۸/۶	۱۹/۶	۱۵	۶/۴	۲/۶	-۰/۶
متوسط دما	۸/۹	۷	۱۲/۲	۱۷	۲۴/۶	۲۷/۵	۲۸/۹	۳۰/۱	۲۶/۹	۱۸/۷	۱۲/۹	۱۰
بارندگی (میلی‌متر)	۱۹/۹	۲۶/۶	۱۰۱/۱	۲۶/۱	۷/۱	۱۷۲	۴/۹	۰/۵	۴۵/۵	۱۱۲/۷	۹۸/۹	۴۷/۴
سرعت باد (متر در ثانیه)	۱/۴	۱/۵	۲	۲	۲	۲/۴	۱/۹	۱/۴	۱/۱	۱	۱/۱	۱/۳

۲-۴. مدل سازی شبکه عصبی و تعیین مقادیر بهینه نیتروژن برای افزایش کمیت و

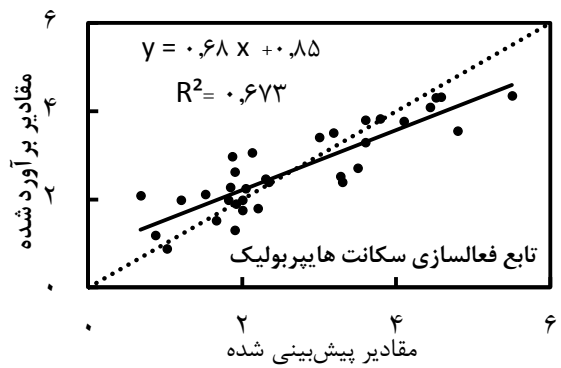
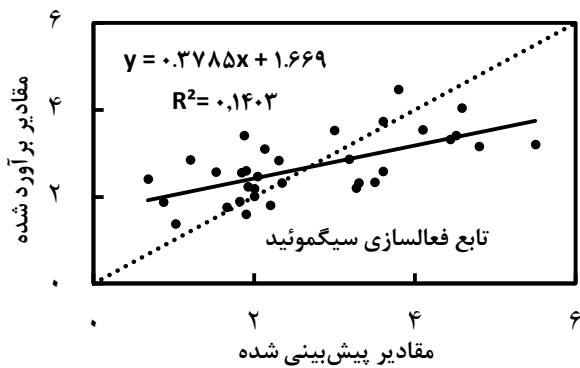
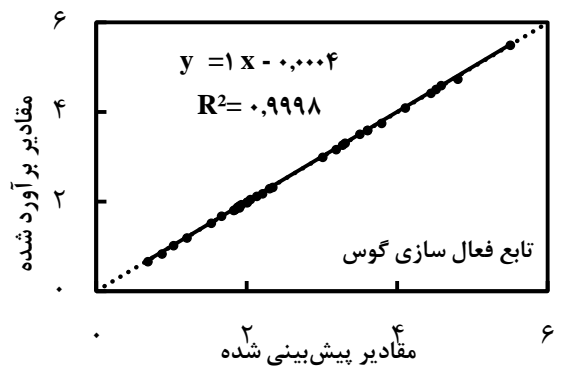
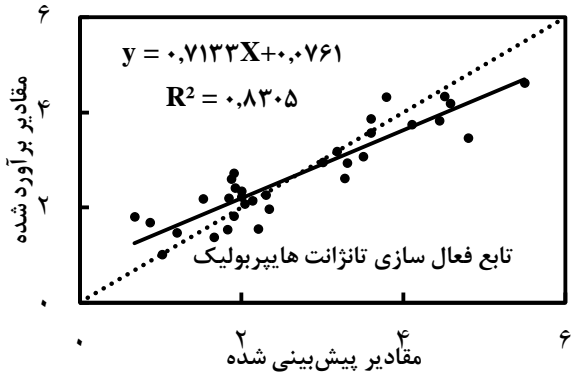
کیفیت برگ توتون

در این بررسی، از شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی از لحاظ (۱) توابع فعال‌سازی مختلف، (۲) تعداد لایه‌های پنهان و (۳) تعداد نرون در هر لایه پنهان استفاده گردید. ترکیب این سه عامل سناریوهای خیلی زیادی را ایجاد می‌نماید که آرایه شاخص‌های آماری برای کلیه این سناریوها جدولی حجیم و غیر لازم را به دنبال دارد. بر همین اساس پس از انتخاب بهترین تعداد لایه پنهان و تعداد نرون در لایه پنهان، تنها به آرایه شاخص‌های آماری برای توابع فعال‌سازی مورد آزمون بسنده گردید. بر اساس این شاخص‌ها، زمانی یک مدل شبکه عصبی از دقت بالاتر برخوردار خواهد بود که علاوه برداشتن ضریب همبستگی بالاتر، از میانگین خطای مطلق کمتر، خطای استاندارد نسبی کوچک‌تر و مجذور میانگین مربعات خطای پایین‌تر برخوردار باشد (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲؛ گوتام و پانیگراهی، ۲۰۰۷). این حالت برای تابع فعال‌سازی گوس صادق بود (جدول ۴-۴).

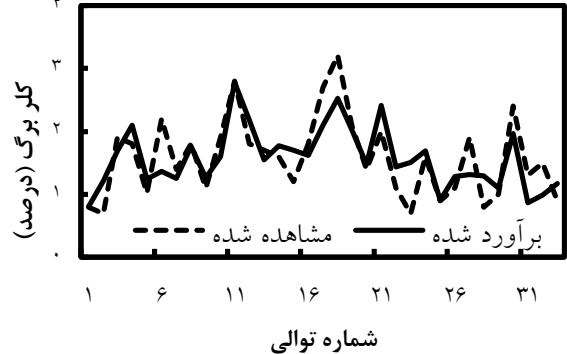
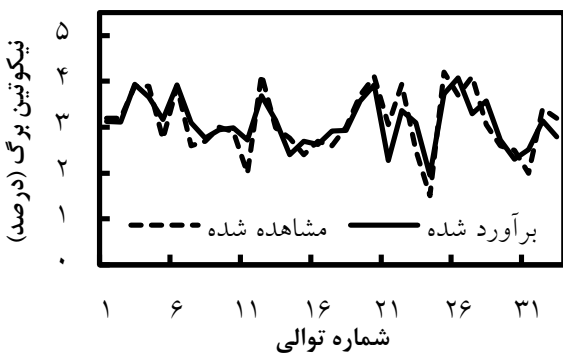
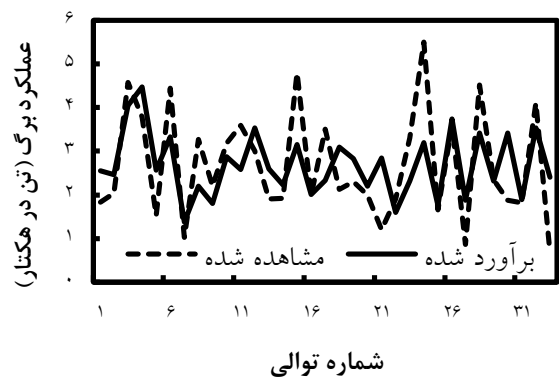
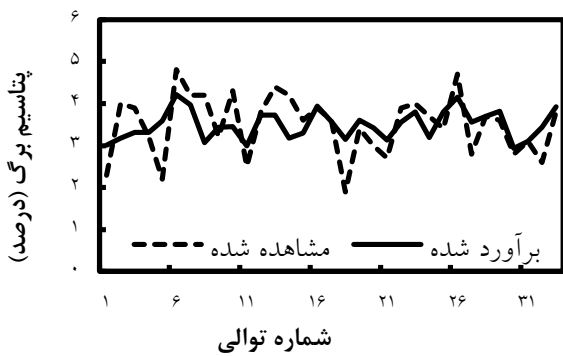
حساسیت‌سنجی مدل شبکه عصبی برای ۴ تابع فعال‌سازی نیز برتری تابع فعال‌سازی گوس را بر توابع فعال‌سازی سیگموئید، تانژانت هایپربولیک و سکانت هایپربولیک به‌وضوح نشان می‌دهد (شکل ۴-۱). انطباق مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده شده در توالی‌های مختلف برای دو تابع فعال‌سازی سیگموئید و تانژانت هایپربولیک در شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ آورده شده است. عدم انطباق قابل قبول مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده شده حاکی از نامناسب بودن این دو تابع فعال‌سازی برای استفاده در جهت ایجاد مدل شبکه عصبی برای صفات مندرج در جدول ۴-۵، می‌باشد. به‌طور کلی، در غالب موارد میزان انطباق در مرحله آموزش بالاتر از مرحله آزمون می‌باشد. در این بررسی نیز میزان انطباق در مرحله آزمون کمتر از مرحله آموزش به دست آمد، با این حال انطباق در حد نسبتاً بالا قرار داشت.

جدول ۴-۶. شاخص‌های آماری مربوط به توابع فعال‌سازی مختلف.

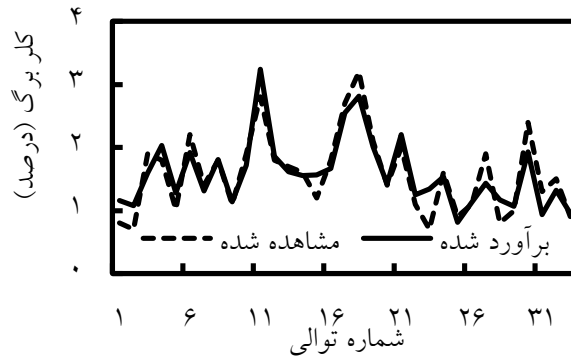
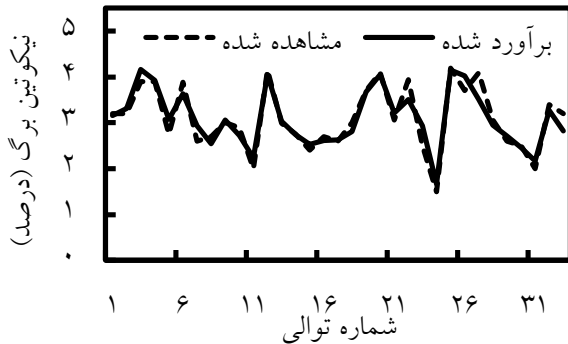
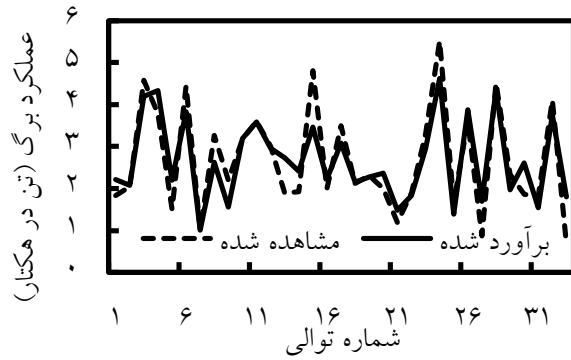
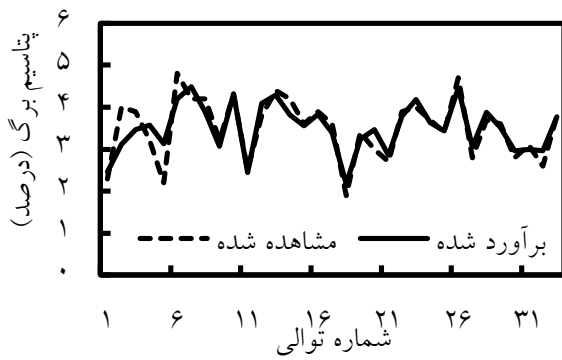
RMSE	MAE	RSE	r	متغیر وابسته	تابع فعال‌سازی
۰/۰۱۲۵۲	۰/۰۱۳۲۱	۰/۰۰۴۶۷	۰/۹۹۹۹۰	عملکرد برگ	گوس
۰/۰۰۳۳۷	۰/۰۰۳۷۴	۰/۰۰۰۹۶	۰/۹۹۹۹۸	پتاسیم برگ	
۰/۰۰۸۲۷	۰/۰۰۸۹۹	۰/۰۰۵۲۴	۰/۹۹۹۸۴	کلر برگ	
۰/۰۱۱۳۱	۰/۰۱۲۴۹	۰/۰۰۳۶۵	۰/۹۹۹۷۵	نیکوتین برگ	
۰/۶۹۵۵۲	۰/۷۶۳۹۵	۰/۲۵۹۶۹	۰/۶۴۰۵۸	عملکرد برگ	سیگموئید
۰/۴۴۳۲۸	۰/۴۷۵۰۶	۰/۱۲۶۷۶	۰/۵۵۰۲۰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



شکل ۴-۱. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ در مرحله آموزش برای ۴ تابع فعال‌سازی.



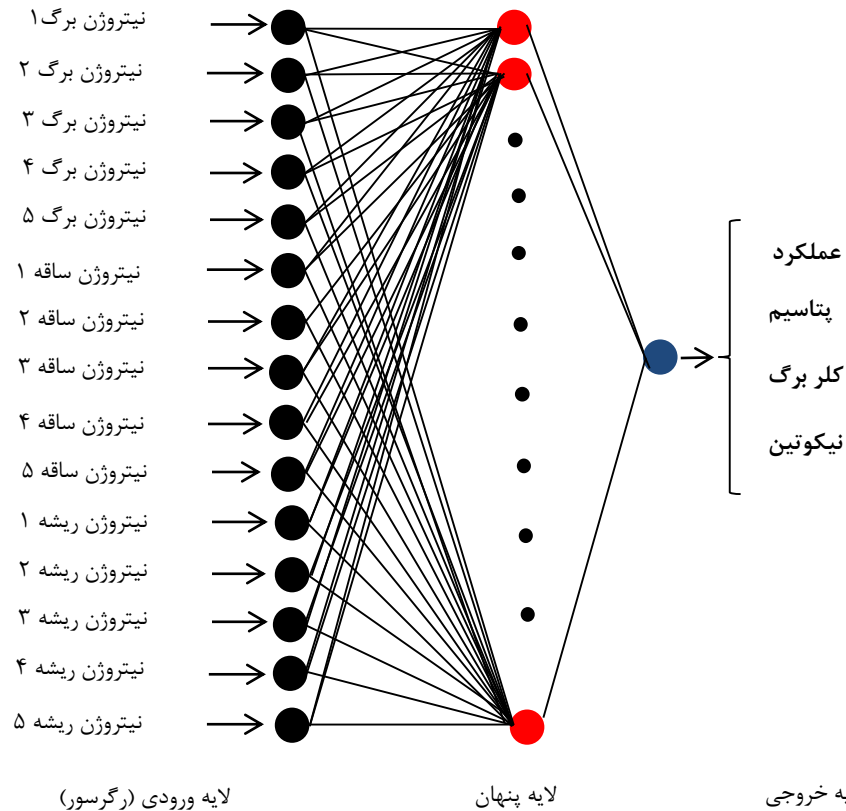
شکل ۴-۲. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش برای تابع فعال‌سازی سیگموئید.



شکل ۳-۴. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش برای تابع فعال سازی تانژانت هایپربولیک.

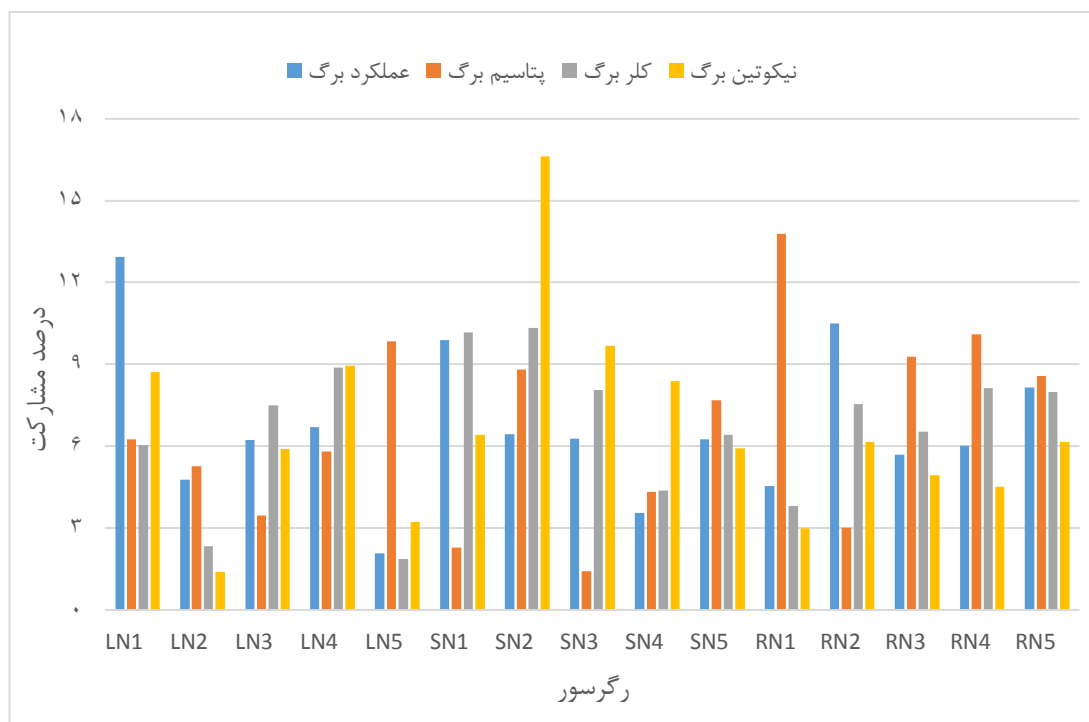
ساختار مدل عصبی ایجاد شده در شکل ۴-۴ آورده شده است. این مدل از ۱۵ نرون در لایه پنهان، برخوردار می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد لایه پنهان، کارکرد مدل شبکه عصبی در مرحله آموزش نیز افزایش یافت. ولی در مرحله آزمون، مدل قادر به پیش‌بینی متغیرهای خروجی نبود. در صورت استفاده از تعداد نرون کم در لایه پنهان، مدل قادر به آموزش نبود که این امر با گزارش دیگران از جمله باطنی و همکاران (۲۰۰۷) و مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. تعداد اولیه تکرارهای آموزشی شبکه برای هر رگرسور با مقدار اولیه خطای هدف برابر با ۰/۰۵ و ۱۰۰ تکرار برای هر نرون در لایه پنهان شروع شد و تا حداکثر تعداد تکرار (۱۰۰۰ تکرار) ادامه یافت. مقادیر مختلف تکرار با ثابت نگه داشتن مقدار خطای هدف، بررسی و کنترل گردید. به منظور مشخص شدن تعداد تکرار بهینه و نیز برای اینکه الگوریتم‌ها زمان بیشتری برای آموزش در اختیار داشته باشند و کاملاً آموزش ببینند، تعداد تکرارهای بالاتر از ۱۰۰۰ نیز بعضاً انتخاب گردید. در صورتی که شبکه‌ای

در هر تکرار (حداکثر تا ۱۰۰۰) به بیشترین ضرایب همبستگی در مرحله آموزش و خطای زیر ۵ درصد دست می‌یافت، به‌عنوان تکرار بهینه برای آن شبکه انتخاب گردید.



شکل ۴-۴. ساختار شبکه عصبی به‌کار رفته در تجزیه و تحلیل داده‌ها، اندیس‌های ۱ تا ۵ به‌ترتیب نشان‌دهنده زمان‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز بعد از نشاکاری می‌باشند.

از لحاظ میزان مشارکت در توجیه تغییرات خروجی‌های مدل، بین رگرسورها تفاوت وجود داشت (شکل ۳-۵). بیشترین میزان مشارکت، مربوط به SN2 در توجیه تغییرات نیکوتین برگ بود که مقدار آن بر ۱۶/۶۲ درصد، بالغ گردید. به بیان دیگر، در ۵۰ روز بعد از نشاکاری، غلظت نیتروژن در ساقه نقش تعیین‌کننده‌تری در تحت تأثیر قرار دادن نیکوتین برگ فرآوری شده دارد تا مراحل دیگر رشد و اندم‌های دیگر گیاه.



شکل ۴-۵. 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 نشان-دهنده زمان‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز بعد از نشاکاری می‌باشد.

به‌طور کلی، بهینه‌سازی در علوم زیستی متفاوت از بهینه‌سازی در علوم دیگر از جمله علوم فیزیک و شیمی می‌باشد. چون سیستم رشد و نمو گیاه یک سیستم بیولوژیکی بوده و از این رو پیچیدگی آن قابل مقایسه با علوم شیمی یا فیزیک نیست. بر همین اساس در علوم مذکور، بهینه‌سازی می‌تواند بر اساس مقادیری فراتر از مقادیر مشاهده شده پایه‌گذاری گردد. ولی در علوم زیستی بهتر است مقادیر بهینه رگرسورها در دامنه تغییرات مقادیر مشاهده شده قرار داده شود. این امر کمک شایانی به قابل اتکا بودن نتایج می‌کند.

یکی از پیش شرط‌های بهینه‌سازی، وجود تنوع در صفات می‌باشد (زانگ و باریون، ۲۰۰۶؛ سرل و همکاران، ۲۰۰۰؛ بولت و کومستوک، ۱۹۹۷). در همین راستا، یکی از اهداف اعمال زمان‌های مصرف مندرج در بخش "مواد و روش‌ها"، ایجاد تنوع در غلظت نیتروژن در بافت‌های ریشه و اندام‌های هوایی در مراحل مختلف رشد گیاه بود (آلن و راون، ۱۳۸۷؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۵). خوشبختانه به لحاظ ماهیت

تیمارها و وجود تنوع در خاک و اقلیم دو منطقه ارومیه و تیرتاش، تنوع قابل توجهی در مقادیر ورودی (غلظت نیتروژن در اندام‌های مختلف توتون) و خروجی مدل (کمیت و کیفیت عملکرد برگ) حاصل گردید (جدول ۴-۵). به عنوان نمونه، میزان تغییر در درصد کلر برگ بر ۴ برابر بالغ گردید. این‌گونه تأثیرپذیری رشد و پارامترهای دیگر مانند جذب عناصر غذایی از تغییر نسبت آمونیوم به نیترات در خاک (تأثیر منابع مختلف کودی) و همچنین اقلیم توسط پژوهشگران دیگر (اسکوجلی و مک کین، ۱۹۶۳) نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، ویلیامز و ماینر (۱۹۸۲) گزارش کردند که در سال‌های پرباران، مقادیر بالای نسبت آمونیوم به نیترات در کود مصرفی عملکرد بالاتری از توتون را باعث گردید. این در حالی است که در سال‌های کم باران، استفاده از کود نیتروژن حاوی تنها نیترات منجر به افزایش ۶ درصدی عملکرد توتون می‌گردد. کاهش در جذب عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط گیاه توتون به نسبت بالای آمونیوم به نیترات مربوط بوده و کاهش این نسبت، باعث افزایش جذب آن‌ها می‌گردد (اسکوجلی و مک کین، ۱۹۶۳).

جدول ۴-۷. برخی از خصوصیات آماری غلظت نیتروژن اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد، کمیت برگ فرآوری شده، محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی.

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

اندیس‌های ۱ تا ۵ به ترتیب نشان‌دهنده زمان‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز بعد از نشاکاری می‌باشند.

در حین بهینه‌سازی نتایج نشان داد که محتوای نیتروژن ریشه در مرحله ۵ (برای توضیحات بیشتر در خصوص مراحل، به‌عنوان شکل ۴-۴ مراجعه شود) (RN5)، محتوای نیتروژن ساقه در مرحله ۲ (SN2)، محتوای نیتروژن برگ در مرحله ۴ (LN4) و محتوای نیتروژن برگ در مرحله ۱ (LN1) رابطه قوی‌تری با کمیت و کیفیت عملکرد برگ داشتند. در نتیجه 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 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 بر اساس 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 به دست آمده در آزمایش مزرعه‌ای بودند انتخاب شدند.

در مرحله بعد، 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، محتوای نیتروژن ریشه در مرحله ۵ (RN5)، محتوای نیتروژن ساقه در مرحله ۲ (SN2)، محتوای نیتروژن برگ در مرحله ۴ (LN4) و محتوای نیتروژن برگ در مرحله ۱ (LN1) بود. همانند مرحله اول، داده‌ها به ۲ 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 به دست آمده در آزمایش مزرعه‌ای بودند انتخاب شدند.

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 به‌دست آمد که مقدار LN1 تا LN5 به‌ترتیب ۴/۵۹، ۳/۵۹، ۳/۱۲، ۲/۳۵ و ۱/۶۷ درصد وزن خشک، مقدار SN1 تا SN5 به‌ترتیب ۲/۴۲، ۲/۶۱، ۲/۵۶، ۲/۳۷ و ۲/۱۱ درصد وزن خشک و مقدار RN1 تا RN5 به‌ترتیب ۲/۰۶، ۱/۵۶، ۱/۴۳، ۱/۴۴ و ۱/۰۹ 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 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 (لیو و همکاران، ۲۰۰۵؛ محسن‌زاده، ۲۰۰۱۵) و در نتیجه امکان انجام امور اصلاحی در جهت نیل به کمیت و کیفیت بالای عملکرد وجود دارد. استفاده از آبیاری نواری قطره‌ای^۱ که نوعی آبیاری قطره‌ای مخصوص گیاهان زراعی است می‌تواند زمینه را برای تنظیم دقیق‌تر غلظت نیتروژن در مراحل مختلف رشد فراهم نماید.

به‌طور کلی، توتون به مصرف نیتروژن بسیار حساس بوده و نسبت قند به نیکوتین، تعیین کننده بخشی از کیفیت می‌باشد. در حالت ایده‌آل در مرحله قبل از گلدهی این نسبت ۶ تا ۸ به ۱ می‌باشد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). در حالت مصرف کود نیتروژنی بیش از حد و یا تنش خشکی این نسبت ۵ به ۱ خواهد شد و در حالت بارندگی زیاد و یا آبشویی، نسبت مذکور امکان دارد ۹ به ۱ نیز باشد (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). کمبود نیتروژن باعث می‌شود که نیتروژن موجود به‌جای استفاده در سنتز نیکوتین، منجر به سنتز فنیل پروپانوئیدها گردد (فریتز و همکاران، ۲۰۰۶). متابولیسم کربن و نیتروژن در گیاه توتون بسیار به هم وابسته اند (کانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ راب و تری، ۱۹۹۵؛ پانسکو، ۱۹۸۵). برای این که کربوهیدرات‌های تولید شده در رشد و فتوسنتز و یا بافت‌های ساختاری استفاده گردند، وجود نیتروژن غیر آلی ضروری می‌باشد (فریتز و همکاران، ۲۰۰۶).

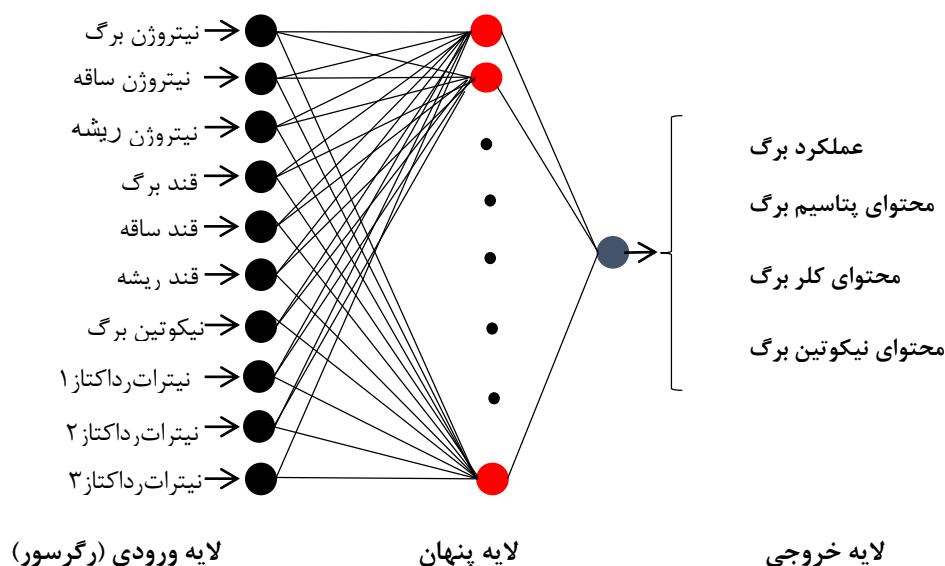
کمبود نیتروژن باعث رسیدگی پیش از موعد و زرد شدن برگ‌ها خواهد شد که چنین برگ‌هایی پس از فراوری، پر چین و ضخیم بوده و دود ناشی از آن بی مزه خواهد بود. نیتروژن اضافی خاک منجر به تولید برگ‌های قهوه‌ای و تیره متمایل به سیاه خواهد شد. چنین برگ‌هایی خشک و کاهی بوده و دود قوی و زنده‌ای دارند (لیتون و نیلسن، ۱۹۹۹). اگرچه افزایش نیتروژن خاک باعث افزایش

کمیت عملکرد توتون می‌شود، ولی کیفیت برگ عمل‌آوری شده را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد (سیفولا ۲۰۰۲؛ ۲۰۰۳).

۳-۴. مدل‌سازی شبکه عصبی و تعیین مقادیر بهینه برخی صفات برای افزایش کمیت و

کیفیت توتون

هدف از ایجاد مدل شبکه عصبی در این قسمت، تعیین مقادیر بهینه نیکوتین برگ در مرحله گلدهی، غلظت قند در برگ، ساقه و ریشه ۱۰۰ روز پس از نشاکاری، و فعالیت بهینه آنزیم نیترات ریداکتاز در مراحل قبل از گلدهی، حین گلدهی و پس از گلدهی برای افزایش کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (میزان نیکوتین، پتاسیم و کلر) برگ عمل‌آوری شده توتون بود. برای یافتن پاسخ این سؤال که آیا رفتار رگرسور (ها) تحت تأثیر رگرسورهای مجاور قرار می‌گیرد یا خیر؟، در این مدل شبکه عصبی نیز، مقادیر بهینه نیتروژن ریشه، ساقه و برگ در روز ۱۰۰ام پس از نشاکاری به‌دست آمد. در نتیجه، ورودی مدل شبکه عصبی دارای ۱۰ رگرسور و خروجی آن ۴ متغیر داشت (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶. ساختار شبکه عصبی به‌کار رفته جهت بهینه‌سازی رگرسورها برای افزایش کمیت و کیفیت توتون (کلر، پتاسیم و نیکوتین). در لایه ورودی نیتروژن و قند در برگ، ریشه و ساقه بیانگر درصد اندازه‌گیری شده غلظت‌های

مربوط ۱۰۰ روز پس از نشاکاری می‌باشد. همچنین آنزیم نیترات ریداکتاز ۱ تا ۳ بیانگر غلظت (فعالیت) آنزیم به‌ترتیب در مرحله قبل از گلدهی، گلدهی و پس از گلدهی می‌باشند.

بهینه‌سازی رگسورهای مندرج در شکل ۴-۶ از این حیث قابل تأمل است که بین آنها و همچنین

بین رگسورها و کمیت و کیفیت برگ فراوری شده توتون روابط پیچیده‌ای وجود دارد.

به‌عنوان نمونه، با افزایش محتوای پتاسیم برگ، محتوای نیکوتین آن کاهش می‌یابد (شامل‌رستمی، ۱۹۹۶). نیتروژن باعث افزایش کمیت عملکرد برگ می‌گردد (مارشتی و همکاران،

۲۰۰۶) و در مقابل، از طریق افزایش محتوای نیکوتین برگ، کاهش محتوای پتاسیم برگ (کنا،

۱۹۹۰) و تقلیل غلظت قندها (ریدینگ، ۱۹۸۱) منجر به پایین آمدن کیفیت برگ می‌شود. غلظت

بالای آمونیاک^۱ (به بیان ساده‌تر نیتروژن) باعث افزایش نسبت نیکوتین به نمک‌های نیکوتین^۲ موجود

در دود می‌شود. این امر باعث تندی و طعم تلخ دود توتون می‌گردد (دیویس و نیلسون، ۱۹۹۹).

برهم‌کنش آمونیاک بافت با قندها یا ترکیبات کربونیل منجر به ایجاد ترکیبات شیمیایی مختلف

شده و از این طریق، عطر و طعم دود توتون را دستخوش تغییر و تحول می‌نماید. به‌عنوان مثال،

تشکیل فروکتوسازین‌ها^۳ و دی‌اکسی فروکتوسازین‌ها^۴ نتیجه برهم‌کنش آمونیاک با گلوکز و فروکتوز

می‌باشد (دیویس و نیلسون، ۱۹۹۹). برگ‌های حاوی نیترات (به بیان ساده‌تر نیتروژن) بالا از فرآیند

سوختن بهتری برخوردار هستند چون نیترات از تسهیل‌کنندگان این فرآیند به‌شمار می‌رود (لفینگول

و لفینگول، ۱۹۸۸).

به‌دست آوردن مقادیر تعادلی (بهینه) رگسورها برای افزایش همزمان کمیت و کیفیت برگ

(پتاسیم بالا، کلر پایین و نیکوتین متوسط) در شرایط وجود روابط پیچیده که به برخی از آنها اشاره

شد، امر ساده‌ای نیست. بهینه‌سازی مبتنی بر شبکه عصبی از روش‌های کارآمد برای متغیرهای

برخوردار از تأثیر متقابل پیچیده به‌شمار می‌رود.

¹ Amonia

² The ratio of nicotine/nicotine salts

³ Fructosazines

⁴ Deoxyfructosazines

برخی از خصوصیات آماری توصیفی صفات در جدول ۴-۶ آورده شده است. برخی از صفات از جمله صفات کمّیت و کیفیت برگ مورد مطالعه در این جدول، تکرار مطالب مندرج در جدول ۴-۵ می‌باشد. علت این امر، ارایه مشخصات کلیه صفات مندرج در ساختار مدل شبکه عصبی (شکل ۴-۶) بود. خوشبختانه، تیمارها توانستند دامنه بالایی از تغییرات رگسورها و متغیرهای خروجی مدل را ایجاد نمایند. کمترین و بیشترین میزان تغییرات به ترتیب متعلق به غلظت قند ساقه (۱/۸۲ برابر) و غلظت نیکوتین برگ (۷/۶۷ برابر) بود. شایان ذکر است که عوامل اقلیمی نیز در این موضوع دخیل می‌باشند. نتایج تحقیقات ویلیام و ماینر (۱۹۸۲) نشان داد که در سال‌هایی که بارندگی بیش از حد طبیعی بود میزان بالای آمونیوم نسبت به نیترات باعث افزایش ۲۶ درصدی عملکرد شد. در صورتی که در سال‌هایی با میزان بارندگی کمتر، تیمارهایی که کود مصرفی آن‌ها ۱۰۰ درصد نیتروژن نیتراتی بود، ۶ درصد عملکرد بالاتری نسبت به استفاده از منبع نیتروژن آمونیومی داشتند. بر اساس آمار سازمان هواشناسی، میزان بارندگی در مناطق مورد آزمایش در ارومیه ۳۴۱ میلیمتر و در تیرتاش ۷۸۹ میلیمتر اعلام شده بود که مبین اختلاف فاحش بارندگی در دو منطقه می‌باشد.

جدول ۴-۸ برخی از خصوصیات آماری صفات مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی، شامل لایه ورودی (رگرسورها) و لایه خروجی (چهار ردیف آخر جدول)

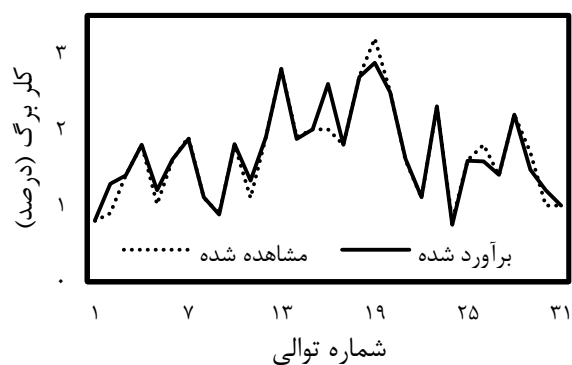
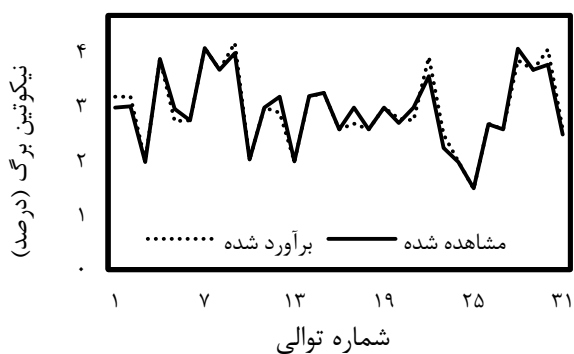
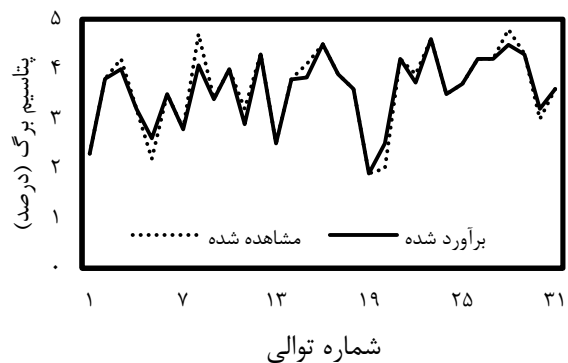
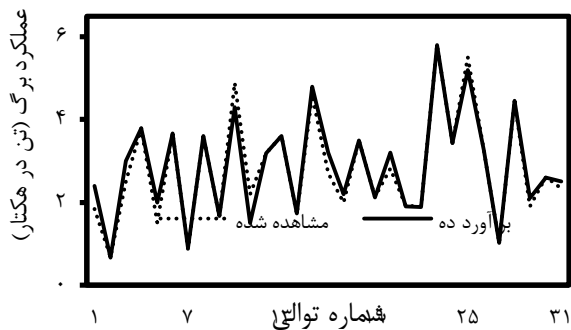
صفت	حداقل	حداکثر	میانگین	دامنه
درصد نیتروژن برگ	۰/۹۰	۳/۷۶	۲/۱۶	۲/۸۶
درصد نیتروژن ساقه	۱/۵۰	۴	۲/۴۷	۲/۵
درصد نیتروژن ریشه	۰/۵	۲/۹	۱/۷	۲/۴
درصد نیکوتین برگ	۰/۶	۴/۶	۳/۰۱	۴
درصد قند برگ	۲/۶	۶/۹	۴/۵۶	۴/۳
درصد قند ساقه	۹	۱۶/۴	۱۳/۱۴	۷/۴
درصد قند ریشه	۵/۸	۲۰/۳	۱۲/۰۸	۱۴/۵
فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در مرحله قبل از گلدهی ($\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	۹/۷	۱۸	۱۳/۶۱	۸/۳
فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در مرحله گلدهی ($\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	۱/۵	۸/۰۵	۵/۱۵	۶/۵۵
فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در مرحله پس از گلدهی ($\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	۱/۲	۷/۲	۳/۵۳	۶
عملکرد برگ (تن در هکتار)	۱/۶۸	۵/۸	۳/۷۴	۴/۱۲
درصد پتاسیم برگ	۱/۹	۴/۸	۳/۵۷	۲/۹
درصد کلر برگ	۰/۷	۳/۲	۱/۶۴	۲/۵
درصد نیکوتین برگ	۱/۵	۴/۲	۲/۹۹	۲/۷

همانند مدل شبکه عصبی قبل (شکل ۳-۴)، در این مدل شبکه عصبی نیز، انتخاب تعداد زیاد نرون در لایه پنهان مشکل فرا انطباقی را بوجود آورد. به طوری که در مرحله آموزش بسیار توانمند بود، ولی در مرحله آزمون (اعتبارسنجی) دچار مشکل گردید (روگر و همکاران، ۱۹۹۴). برای این مدل شبکه عصبی، ۱۲ نرون در یک لایه پنهان مناسب به دست آمد.

عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از چهار تابع انتقالی در جدول ۴-۷ نشان داده شده است. مقادیر پایین MEA, RMSE, RSE و میزان بالای r برای تابع فعال سازی سیگموئید بیانگر تخمین دقیق مدل MLP مبتنی بر این تابع نسبت به توابع دیگر می باشد.

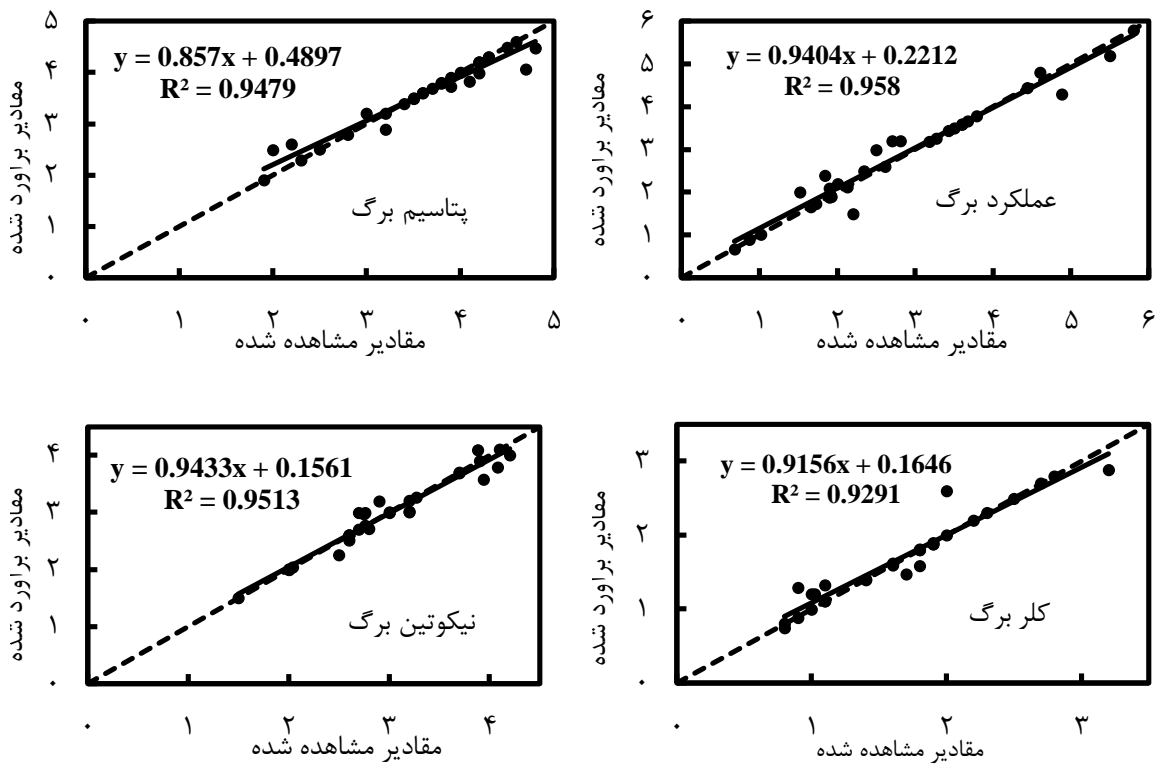
جدول ۴-۹. شاخص‌های آماری مربوط به توابع فعال‌سازی مختلف.

RMSE	MAE	RSE	r	متغیر وابسته	تابع فعال‌سازی
۰/۱۹۲	۰/۱۵۸	۰/۰۶۸	۰/۹۷۹	عملکرد برگ	سیگموئید
۰/۱۴۰	۰/۰۹۹	۰/۰۳۹	۰/۹۷۴	پتاسیم برگ	
۰/۱۱۸	۰/۰۸۳	۰/۰۷۱	۰/۹۶۴	کلر برگ	
۰/۱۰۹	۰/۰۹۶	۰/۰۳۷	۰/۹۷۶	نیکوتین برگ	
۰/۳۸۲	۰/۴۱۲	۰/۱۳۵	۰/۹۱۶	عملکرد برگ	گوس
۰/۳۸۴	۰/۳۷۳	۰/۱۰۶	۰/۷۸۵	پتاسیم برگ	
۰/۳۱۵	۰/۲۶۷	۰/۱۸۹	۰/۷۸۱	کلر برگ	
۰/۳۴۶	۰/۲۸۲	۰/۱۱۶	۰/۸۰۰	نیکوتین برگ	
۰/۳۹۱	۰/۴۰۶	۰/۱۳۸	۰/۹۰۸	عملکرد برگ	تانژانت هایپربولیک
۰/۳۲۲	۰/۳۲۷	۰/۰۸۹	۰/۸۵۷	پتاسیم برگ	
۰/۲۹۳	۰/۲۷۷	۰/۱۷۶	۰/۸۰۰	کلر برگ	
۰/۳۹۷	۰/۳۹۳	۰/۱۳۴	۰/۷۰۷	نیکوتین برگ	
۰/۵۷۱	۰/۶۱۴	۰/۲۰۲	۰/۷۸۶	عملکرد برگ	سکانت هایپربولیک
۰/۴۴۵	۰/۴۶۶	۰/۱۲۳	۰/۶۶۹	پتاسیم برگ	
۰/۲۸۶	۰/۲۶۴	۰/۱۷۱	۰/۷۸۰	کلر برگ	
۰/۳۴۲	۰/۳۲۴	۰/۱۱۵	۰/۷۵۲	نیکوتین برگ	

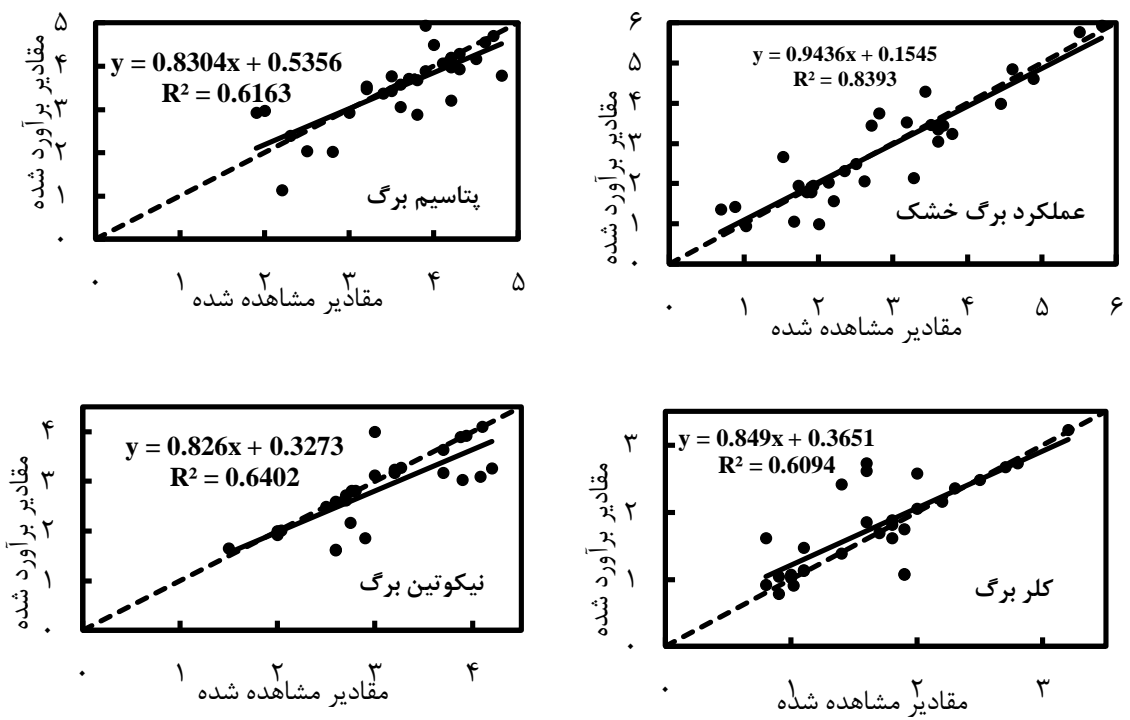


شکل ۴-۷. الگوهای توالی برای کمیت (عملکرد برگ خشک) و کیفیت (نیکوتین، کلر و پتاسیم) توتون در مرحله آموزش در شرایط استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئید.

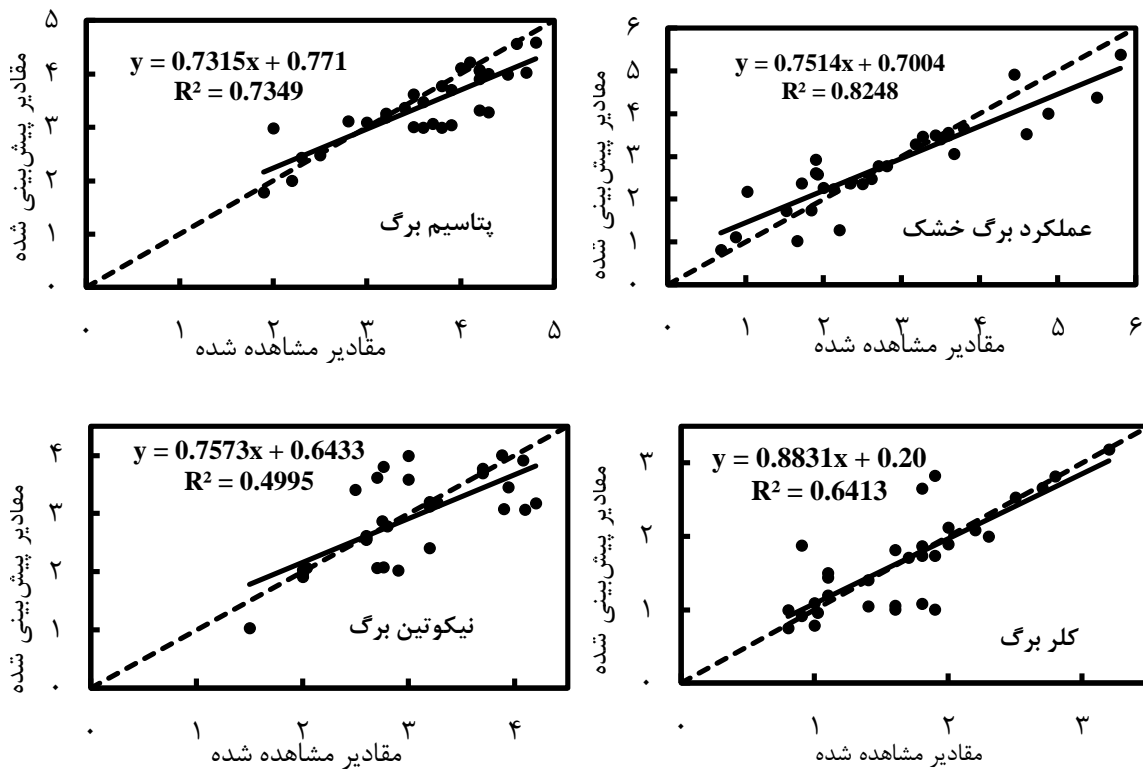
تطابق بالاتر مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر برآورد شده توسط تابع فعال‌سازی سیگموئید، نسبت به توابع دیگر نیز تأییدی بر این برتری می‌باشد (شکل‌های ۴-۷ تا ۴-۱۱). همانطور که در این شکل-ها مشاهده می‌شود مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در تمام دامنه به‌طور یکنواخت پخش شده‌اند که بر صحیح بودن عمل تصادفی کردن داده‌ها و اختصاص آنها به مرحله آموزش و آزمون دارد.



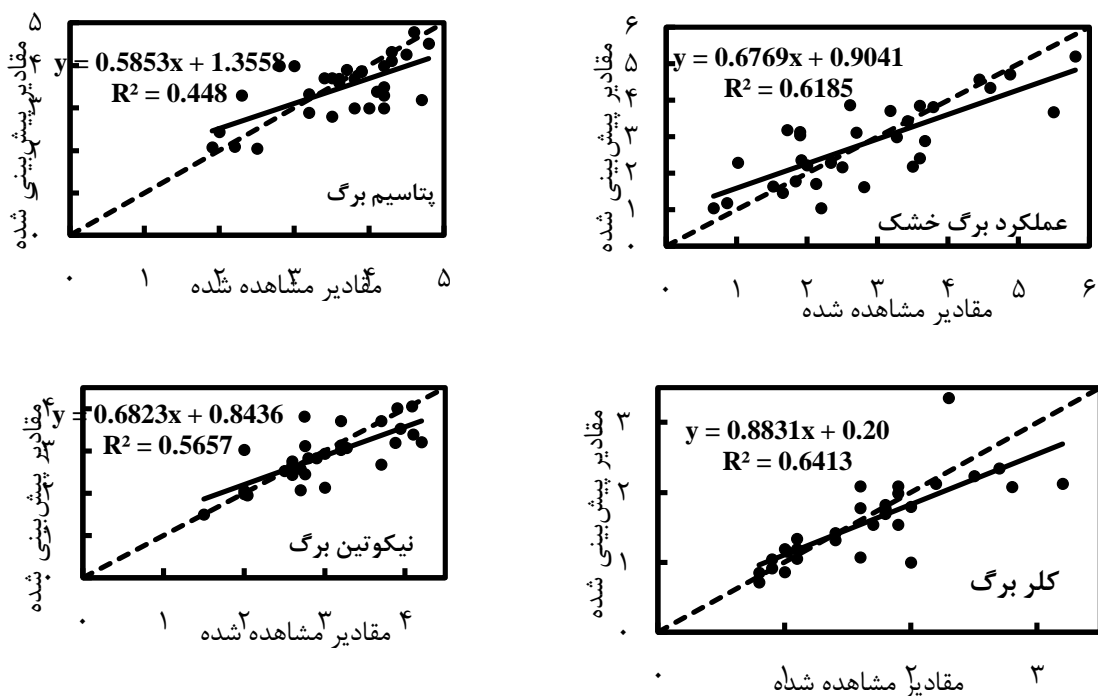
شکل ۴-۸. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئید.



شکل ۴-۹. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی گوس.



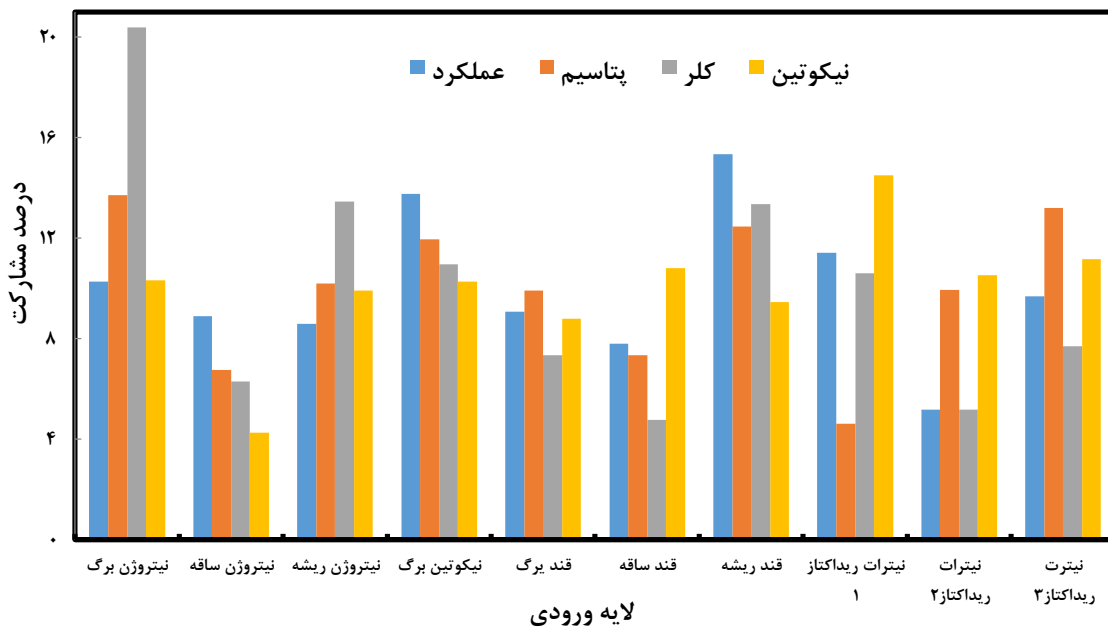
شکل ۴-۱۰ نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هایپربولیک.



شکل ۴-۱۱. نتایج حساسیت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد برگ خشک و کیفیت (درصد پتاسیم، نیکوتین و کلر) برگ خشک در مرحله آموزش با استفاده از تابع فعال‌سازی سکانت هایپربولیک.

همانطور که انتظار می‌رفت، نتایج مرحله آموزش عموماً بهتر از مرحله آزمون بود (نتایج ارایه نشده). با این حال، مقادیر نسبتاً بالای R^2 به دست آمده در مرحله آزمون، نشان داد که شبکه به درستی آموزش دیده و قابل اطمینان و دقیق می‌باشد و می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد برگ عمل‌آوری شده (کمیت) و محتوای کلر، پتاسیم و نیکوتین برگ عمل‌آوری شده (کیفیت)، کارآمد باشد.

شکل ۴-۱۲ میزان مشارکت رگسورها در توجیه تغییرات کمیت و کیفیت عملکرد را نشان می‌دهد. در این شکل به‌وضوح میزان تأثیرگذاری هر یک از رگسورها را در کمیت و کیفیت عملکرد برگ توتون ارایه می‌کند. بالاترین میزان مشارکت (حدود ۲۰ درصد) مربوط به غلظت نیتروژن برگ در توجیه تغییرات کلر برگ عمل‌آوری شده می‌باشد. کمترین میزان تأثیرگذاری مربوط به غلظت نیترون ساقه (۴/۲۵ درصد مشارکت در توجیه تغییرات نیکوتین برگ عمل‌آوری شده) می‌باشد. بر خلاف سایر رگسورها، غلظت قند برگ تأثیر تقریباً یکسانی در اجزاء چهارگانه لایه خروجی داشت. قابل توجه بودن میزان مشارکت رگسورها دلالت بر انتخاب صحیح رگسورها در این مطالعه دارد. قند ریشه نیز مشارکت قابل توجهی داشت. این موضوع می‌تواند به دلیل بالا بودن حجم کربوهیدرات ذخیره شده در ریشه در طول دوره رشد باشد.



شکل ۴-۱۲. میزان مشارکت رگسورها در توجیه تغییرات عملکرد برگ فرآوری شده و محتوای پتاسیم، کلر و نیکوتین برگ فرآوری شده توتون. اندیس‌های ۱، ۲ و ۳ آنزیم نیترات ریداکتاز بیانگر غلظت (فعالیت) آنزیم به ترتیب در مرحله قبل از گلدهی، گلدهی و پس از گلدهی می‌باشند.

در این بررسی به جای میزان نیتروژن خاک، غلظت نیتروژن بافت مد نظر قرار گرفت و به‌عنوان رگسور در ورودی مدل لحاظ گردید. علت این امر آن است که بسیاری از فاکتورهای دیگر به غیر از غلظت نیتروژن در خاک، بر جذب نیتروژن توسط گیاه دخالت دارند. برای مثال، تعرق از عوامل تأثیر گذار بر جذب ریشه‌ای عناصر غذایی خاک به‌شمار می‌رود (هاولین و همکاران، ۲۰۰۵). خود این عامل (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین در این تحقیق بر غلظت نیتروژن در بافت گیاه تمرکز گردید تا غلظت آن در خاک. از چنین الگوی بهینه‌سازی برای چغندر قند و جو نیز استفاده گردیده است (قلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قلی‌پور، ۲۰۱۱). بر اساس نتایج حاصله، غلظت نیتروژن بهینه برابر با ۱/۶۴ درصد برای برگ، ۲/۱۲ درصد برای ساقه و ۱/۰۴ درصد برای ریشه بود. مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی قبل نیز مشابه این مقادیر بود (به ترتیب ۱/۶۷، ۲/۱۱ و ۱/۰۹ درصد). بر اساس مقادیر میانگین، تأثیر غلظت نیتروژن برگ در توجیه تغییرات کمیت و کیفیت عملکرد، چشمگیرتر از تأثیر غلظت نیتروژن ساقه بود.

تعادل بین محتوای نیتروژن بافت، فعالیت نیترات ریداکتاز و محتوای قند نقش مهمی در کمیت و کیفیت برگ توتون دارد. نیترات منبع اصلی نیتروژن آلی از جمله نیکوتین ($C_{10}H_{14}N_2$) در گیاه توتون می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۰). نیترات در چرخه سنتز گلوتامین تبدیل به آمونیوم می‌شود که این فرآیند در دو مرحله و توسط آنزیم نیترات ریداکتاز به‌عنوان کاتالیزور، در سیتوپلاسم و کلروپلاست برگ انجام می‌پذیرد (استیت و همکاران، ۲۰۰۲). فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز در مرحله رونوبسی با در دسترس بودن سوبسترای نیترات، کربن حاصل از فتوسنتز (قند محلول) و گلاپسین که محصول نهایی فرآیند سنتز نیتروژن می‌باشد، کنترل می‌گردد. در بسیاری از مواقع، کربن مورد نیاز برای آسیمیلایسیون نیترات می‌تواند از احیاء نشاسته {باعث تلخی دود شده و از عوامل منفی کیفیت توتون می‌باشد (اسچیل و همکاران، ۱۹۹۷)} تجمع یافته و یا انتقال مجدد کربن انجام پذیرد (فیتچر و اسکولز، ۱۹۹۲).

رابطه نزدیک و تنگاتنگ بین نیتروژن بافت، فعالیت نیترات ریداکتاز و محتوای قند که پیش از این به آن اشاره شد، ضرورتاً نشان‌دهنده این موضوع نیست که هر یک از آنها را بتوان به‌عنوان شاخص برای دیگری استفاده نمود چون الف) رابطه بین فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز و غلظت نیتروژن در بافت گیاهی خطی نیست؛ با افزایش غلظت نیتروژن، فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز افزایش و سپس کاهش می‌یابد (شریفی راد و همکاران، ۲۰۱۳). ب) فاکتورهای متعدد دیگری به غیر از غلظت نیتروژن در اندام گیاهی، از جمله طول روز، درجه حرارت و سن گیاه تأثیر به‌سزایی روی فعالیت آنزیم دارند (راث بجرانو و لپس، ۱۹۷۰). و ج) افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاهی باعث کاهش کل کربوهیدرات‌های غیر ساختاری می‌گردد؛ بزرگی این تأثیرگذاری وابستگی شدیدی به فاکتورهای محیطی دارد (ردی و همکاران، ۱۹۹۶). بر همین اساس، سه رگرسور اشاره شده در بالا، باهم وارد مدل شبکه عصبی گردیدند. غلظت بهینه آنزیم نیترات ریداکتاز که توسط مدل شبکه عصبی برآورد گردید برابر با $13/11 \mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ در مرحله قبل از گلدهی، $4/74 \mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ در

مرحله گلدهی، و $4/7 \mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ پس از گلدهی بود. غلظت بهینه قند توسط مدل در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب معادل $4/32$ ، $13/04$ و $9/54$ درصد به دست آمد.

نیکوتین عمدتاً در ریشه سنتز شده و $97-90$ درصد از کل آلكالوئیدهای توتون را تشکیل می دهد (سایتو و همکاران، 1985 ؛ سازگار، 1370). میزان نیکوتین برگ توتون در طول فرآیند فرآوری آن ممکن است تغییر کند. مقداری از نیکوتین موجود در برگ در حین برداشت به سایر آلكالوئیدها از جمله نورنیکوتین تغییر می یابد. نورنیکوتین توسط آنزیم نیکوتین N-دمتیلاز، از نیکوتین بوجود آمده و جزو ترکیبات خطرناک برای سلامتی انسان می باشد (هتچ، 1998 ؛ ویلیام، 1999). بر همین اساس، میزان نیکوتین برگ در زمان گلدهی، ملاک عمل قرار گرفت تا با برآورد مقدار بهینه آن، میزان مطلوب نیکوتین در برگ فرآوری شده، برآورد گردد. بر اساس پیش بینی مدل شبکه عصبی ساخته شده، بهترین میزان نیکوتین در مرحله گلدهی $2/31$ درصد بود که در نهایت پس از فرآوری برگ توتون، به $1/87$ درصد خواهد رسید.

۵. نتیجه گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در استفاده از منابع کودی متفاوت وجود نداشته و بهترین الگو، مصرف دو سوم کود اوره و یک سوم کود نیترات آمونیوم قبل از نشاکاری (به صورت پایه) و باقیمانده در مرحله رشد سریع توتون بود. در مناطق توتون‌کاری ایران، کشاورزان از کود اوره استفاده نمی‌کنند و بر این باورند که کیفیت توتون و رنگ برگ عمل‌آوری شده در استفاده از کود مذکور به شدت افت خواهد کرد. این باور غلط در بین کارشناسان و مروجین نیز وجود دارد. نتایج بررسی حاضر ابهامات استفاده از کود اوره در مزارع توتون را برطرف کرده و با توجه به وفور نسبی کود اوره نسبت به نیترات آمونیوم و تولید داخلی بیشتر این کود، مشکلات پیش‌روی توتون‌کاران مناطق مختلف کشور در تهیه کود نیترات آمونیوم را برطرف می‌نماید.

متوسط مقادیر بهینه غلظت نیتروژن در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۳/۰۶، ۲/۴۲ و ۱/۵۱ درصد به دست آمد که در این غلظت‌ها، افزایش همزمان پتانسیل عملکرد کمی و کیفی برگ، امکان‌پذیر می‌باشد.

نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بیشترین 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.

بیشترین 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. 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. غلظت بهینه آنزیم نیترات ریداکتاز در مرحله قبل از گلدهی ۱۳/۱۱، در مرحله گلدهی ۴/۷۴ و در مرحله پس از گلدهی $4/7 \mu\text{mNO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ به دست آمد.

در پایان پیشنهاد می‌گردد سایر عوامل موثر در کمیت و کیفیت توتون نیز با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گیرند که از جمله مهمترین آنها ارتباط بین میزان و نحوه آبیاری، با جذب کلر در گیاه توتون می‌باشد. چراکه یکی از مهمترین عوامل کاهش کیفیت و حتی محدودیت منطقه ای کشت توتون در ایران، عنصر کلر می‌باشد.

منابع:

- پوستینی ک و شامل رستمی م ت، (۱۳۷۹) "واکنش‌های فیزیولوژیکی و زراعتی دو رقم توتون بارلی نسبت به کود ازته" **مجله علوم کشاورزی ایران**، شماره ۲، جلد ۳۱: ص ۳۶۴.
- تاتاری م، کوچکی ع ر، نصیری محلاتی م، (۱۳۸۸) "پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در استان خراسان با استفاده از داده‌های بارندگی و خاک با به کارگیری انواع مدل‌های رگرسیونی" **مجله پژوهش‌های زراعی ایران**، شماره ۲، جلد ۷: ص ۳۶۵.
- ثابتی م ع، فلاح نصرت آباد ع، ن‌روزی م، امیری ا و آذرپور ا، (۱۳۹۱) "تأثیر کود نیتروژن و ازتوباکتر بر برخی خصوصیات کمی و کیفی توتون گرمخانه‌ای" **نشریه دانش آب و خاک**، شماره ۲، جلد ۲۲: ص ۱۳۶.
- حسین پناهی ف، کافی م، پارسا م، نصیری محلاتی م و بناییان و م، (۱۳۹۱) "بهره‌گیری از رهیافت مدل‌سازی در طراحی تیپ ایده آل گندم برای شرایط تنش خشکی" **پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی**، ش ۱۰، سری ۴، ص ۱۲۳-۱۴۷.
- خدابنده ن، (۱۳۸۵) "زراعت گیاهان صنعتی" چاپ چهارم، نشر خانه کتاب، ۵۰۴ ص.
- سازگار، پ، (۱۳۷۰) "شیمی عمومی توتون" انستیتو تحقیقات توتون تیرتاش. ۷۶ ص.
- سلجی م ح، (۱۳۸۱) "زراعت توتون‌های معطر". انتشارات مرکز تحقیقات توتون ارومیه. ۲۸ ص.
- زمانی پ، (۱۳۹۰) **زراعت و عمل‌آوری توتون**، انتشارات به اندیشان، ۱۶۴ ص.
- سراجی م ر، محسن‌زاده ر و مصباح ر، (۱۳۸۸) "تأثیر ارتفاع بوته (تعداد برگ) و زمان گلزنی بر عملکرد کمی و کیفی توتون گرمخانه‌ای" **کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش**، ص ۲۴۷.
- صادقی ب، (۱۳۷۳) "مختصری در مورد کشت توتون و تنباکو" مقاله ترویجی شرکت دخانیات ایران، ص ۴.
- صالح‌زاده ح، فیاض مقدم ا، برنوسی ا و امیر نیا ر، (۱۳۸۷) "اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کیفیت شیمیایی توتون شرقی" **دهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات**، تهران، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
- صلواتی م ر، حسین زاده ن، عباسی رستمی ح، شامل رستمی م ت، (۱۳۸۹) "بررسی پایداری و سازگاری عملکرد لاین‌های اصلاح شده توتون گرمخانه‌ای در استان‌های مازندران و گلستان" **کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش**. ۸۹-۱۰۴ ص.

- رضوی ر. و فجرى ح و، (۱۳۷۴) "تعیین آب مصرفی توتون *BS.31* با استفاده از لایسیمتر، کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات توتون ارومیه، ص ۵.
- عباسی رستمی ح، حسین زاده فشالمی، مهدوی ع، نجفی م ر، محسنزاده ر، کر ع و رامشگر ح (۱۳۹۰) "مقایسه عملکرد ناحیه ای چند ژنوتیپ توتون گرمخانه‌ای در استان‌های مازندران و گلستان" کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش ص ۹۳-۱۰۸.
- قلی زاده ع، مشتاقی م، صالحی ف، خاطری ه و محسنزاده ر، (۱۳۸۸) "ارزیابی تناسب اراضی جهت تعیین مناطق مستعد کشت توتون در استان گلستان" کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش ص ۱-۳۸.
- قهرمان ا، (۱۳۸۳) "کوروموفیت‌های ایران (سیستماتیک گیاهی)" جلد اول، مرکز نشر دانشگاهی ص ۱۵۵.
- کامکار ب، کوچکی ع ر، نصیری محلاتی م و رضوانی مقدم پ، (۱۳۸۷)، "ساخت و آزمون یک مدل ساده برای پیش‌بینی پتانسیل تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی" مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی"، جلد اول، شماره سوم، ص ۹۹-۱۱۶.
- کریمی ه. (۱۳۷۵) "گیاهان زراعی"، چاپ چهارم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- کوچکی ع ر، نصیری محلاتی م، مندنی ف و خرم دل س، (۱۳۹۰) "نگرشی نوین بر جنبه‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک گیاهان زراعی" انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- مصباح ر. (۱۳۸۴) "بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد کیفی و کمی توتون ویرجینیا" کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش. ص ۴۳-۹۵.
- مصباح، م. (۱۳۸۱) "کیفیت توتون" نشریه ترویجی مرکز تحقیقات توتون گیلان، شماره ۲۳، ص ۲۱.
- منهاج، م. (۱۳۹۳). "مبانی شبکه‌های عصبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دهم، ص ۷۱۶
- مهدوی ع، حسین زاده ن و قلی زاده ع، (۱۳۹۰) "اثرات زمان‌های مختلف نشاکاری بر خصوصیات کمی و کیفی توتون گرمخانه‌ای رقم کا ۳۲۶ در شرایط دیم" کارنامه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش، ص ۱-۱۴.
- نصیری محلاتی م و کوچکی ع ر، (۱۳۸۸) "پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان" برآورد پتانسیل و خلاء عملکرد، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۷، شماره ۲ ص ۶۹۵-۷۰۲.

نصیری محلاتی م، (۱۳۷۹) "مدلسازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی" انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد،

ص. ۲۸۰.

Akehurst C. (1981) "Tobacco Tropical Agriculture". **London: Longman Scientific and Technical Group.**

Adam M., Ewert F., Leffelaar P.A., Corbeels M., Van Keulen H. and Wery J. (2010) "CROSPAL, software that uses agronomic expert knowledge to assist modules selection for crop growth simulation" ***Environmental Modelling and Softwar.*** 25, p945-956.

Adam M., Bussel L.G., Leffelaar P.A., Van Keulen H. and Ewert F. (2011) "Effects of modelling detail on simulated crop productivity under a wide range of climatic conditions" ***Ecological Modelling.*** 222, pp131-143.

Aggarwal P.K. (1994) "Constraints in wheat productivity in India. In: Simulating the Effect of Climatic Factors, Genotype and Mmanagement on Productivity of Wheat in India" ***Agricultural Research Institute, New Delhi, India,*** pp. 1-11.

Ahuja L. R. (2003) "Quantifying agricultural management effects on soil properties and processes" ***Geoderma.*** 116, pp 1-2.

Allen S. and Raven J.A. (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, pp580-596.

Alvarez A. (2009) "Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach" ***European Journal Agronomy.*** 30, pp 70-77.

Amiri E., Rezaei M., Bannayan M. and Soufizadeh S. (2013) "Calibration and Evaluation of CERES Rice Model under Different Nitrogen and Water Management Options in Semi-Mediterranean Climate Condition". ***Communications in Soil Science and Plant Analysis,*** 44, pp1814-1830.

Amjed A., Sanjani S., Hoogenboom G., Ahmad A., Khaliq T., Wajid S. A., Noorka I. R. and Ahmad S. (2012) "Application of crop growth models in agriculture of developing countries: a review" ***New Horizons in Science & Technology .1(4),*** pp95-99.

- Anderson W.K. (2010) "Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat". *Field Crops Research*, 116, pp14–22.
- Antle J. (2009) "Climate change and agriculture: economic impacts" *Choices* 23, pp 9-11.
- Bailey J., Kotagiri K. and Leckie C. (2016) "Invariant Backpropagation: How to Train a Transformation in Variant Neural" *arXiv*: 1502.04434v3.
- Bannayan M. and Crout N. M. J. (1999) "A stochastic modelling approach for real time forecasting of winter wheat yield" *Field Crops Research*, 62, pp 85-95.
- Bao Ming C., Wang Z., Li S.X., Wang G.X. and Songc H.X. (2004) "Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables" *Plant Science*, 167. pp 635–643.
- Basheer, I.A. (1998) "Neuromechanistic-based modeling and simulation of constitutive behavior of fine-grained soils". PhD time dependent growth curves for *S. flexneri* in a Dissertation, *Kansas State University*, pp 435.
- Basheer I.A. and Hajmeer M. (2000) "Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and Application" *Journal of Microbiological Methods*, 43, pp 3–31.
- Basso B., Dumont B., Cammarano D., Pezzuolo A., Marinello F and Sartori L. (2016) "Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone" *Science of the Total Environment*. pp227–235.
- Basso B., Ritchie J. T., Cammarano D. and Sartori L. (2011) "A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field" *European Journal* .18(2), pp 220-229.
- Basso B., Ritchie J.T. (2015) "Simulating crop growth and biogeochemical fluxes in response to land management using the SALUS model" Oxford University Press, New York, New York, pp252-274.
- Batani S.A., Borghei S.M. and Jeng D.S. (2007) "Neural network and neuro-fuzzy assessments for scour depth around bridge piers" *Engineering Applications of Artificial Intelligence* , 20, pp 401-414.

- Becher M. and Johnson D.E. (1999) "Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of cote d'Ivoire". *field crops*, 60, pp201-208.
- Bhatia V.S., Singh P., Wani S.P., Chauhan G.S., Kesava Rao A.V.R., Mishra A.K., Srinivas K. (2008) "Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model" *Agricultural and forest meteorology*, 148, pp1256-1265.
- Biglouei M.H., Assimi M. and Akbarzadeh A. (2010) "Different Levels of Soil Moisture on Yield and Quality Characteristics of Coker (flue-cured)" *Tobacco ProEnvironment*, Vol. 3, pp 89 – 99.
- Blumenthal J., Baltensperger D.D, Cassman K.G, Mason S.C. and Pavlista A.D. (2001) "Effect of nitrogen on crop quality and health, in: Follett R.F, Hatfield J.L. (Eds.), Nitrogen In the environment: Sources, Problems and Management" *Elsevier Science*, New York, USA, pp 45–63.
- Boling A., Boumana B.A.M., Tuonga T.P., Konboon Y. and Harnpichitvitaya D. (2011) "Yield gap analysis and the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive Jasmine rice in north-east Thailand" *NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences*, 58, pp 11–19.
- Boling A. A., Tuong T.P., Keulen H., vanBouman B. A., Suganda H. and Spiertz J. H. J. (2010) "Yield gap of rainfed rice in farmers' fields in Central Java, Indonesia" *Agricultural Systems*, 103, pp 307–315.
- Bolte I. and Comstock C.R. (1997) "Combining expert systems and neural networks for learning sitespecific conditions" *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 19 pp 37-53.
- Bond Fred G. (2013) "Guide FLUE-CURED TOBACCO" Collge of AGRICULTURE and LIFE. *North Carolina Cooperative Extension Service*, pp 214.
- Bondavalli B. Colyer. D. and Kroth E.M. (1970) "Effects of weather, nitrogen and population on corn yield response" *Agronomy Journal*. vol 62, pp 669 -672.
- Boote K.J., Jones J.W. and Singh P. (1991) "Modeling growth and yield of Groundnut: state of art. P.p.331-343. in groundnut: A global perspective" proc.int, workshop 25-20 Nov, 1991. *patancheru, India. ICRISAT*, patancheru, AP. INDIA.
- Botella M.A., Cruz C., Martins-Loucao M.A. and Cerda A.I. (1993) "Nitrate reductase activity in wheat seedlings as affected by NO₃⁻/NH₄⁺ ratio and salinity". *Journal of Plant Physiol*, 142, pp 531-536.

- Bush L. (2000) "Tobacco alkaloids. Past, present and future, CORESTA Information Bull" *CORESTA Congress, Lisbon, Portugal*, pp 29–31.
- Cai X. and Qian C. (2003) "Effects of forms and application rate of nitrogen fertilizer on yield and qualities of tobacco in southeast Tibet " *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 14(1), pp 66-70.
- Cao H. (1997) "Studies on simulation-optimization-decision making for wheat population, soil moisture and nitrogen dynamic" *Nanjing Agricultural University*, Nanjing.
- Castelli F., Ceotto E. and Contillo R. (2001) "Reduced N supply limits the nitrate content of flue-cured tobacco" *Agronomy Sustain*, 31, pp329–335
- Chantigny M.H., Angers D.A., Morvan T. and Pomar C.(2004) "Dynamic of pig slurry nitrogen in soil and plants as determined with N15 " *Soil Science Society American Journal*. 68, pp 637-643.
- Chari M.S. (1995) "Role of research in the improvement of productivity and quality of Indian flue cured virginia tobacco" Rajahmundry, India: **Central Tobacco Research Institute, Rajahmundry, India**, pp26-27.
- Chen C. T., Lin C. T. and Huang S. F. (2006) "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management" *International Journal of Production Economics*, 102(2), pp 289–301
- Ceotto E. and Castelli F. (2002) "Radiation-use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum*): response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitations" *Field Crops Research*, 74, pp 117-130.
- Claussen W. and Lenz F. (1995) "Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants *Solanum melongena*" *Plant Soil*, 171, pp267–274.
- Coulson DA, (1959) "Some effects of maleic hydrazid on flue cured tobacco quality" *Tobacco Science*, 30, pp 69-72.
- Cramer M.D. and Lewis O.A.M. (1993) "The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plants" *Ann. Bot.* 72, pp 359–365.
- Court W. A. and Hendel JG, (1986) "Characteristics of flue –cured tobacco grown under varying proportions of ammonium and nitrate fertilization" *Tobacco Science*, 30, pp 69-72.

- David Reed T., Charles S., Johnson. Paul J., Semtner Carol A. and Wilkinson i.i.(2008) “**Flue-cured Tobacco Production Guide**”. *Virginia State Univercity*, pp.96
- Dumont B., Basso B., Leemans V., Bodson B., Destain J.P. and Destain M.F. (2015) “A comparison of within season yield prediction algorithms based on crop model behaviour analysis” *Agriculture. Forest Meteorol*, 204, 10–21.
- Donatelli M. and Russell G. (2010) “A Component-Based Framework for Simulating Agricultural Production and Externalities. In: Brouwer F. and Van Ittersum M.K. (Eds.), Environmental and agricultural modelling: integrated approaches for policy impact assessment” *Springer, Dordrecht, The Netherlands*, pp 63-108.
- Drake M.P., Vann M.C. and Fisher L.R. (2013) “Influence of nitrogen application rate on the yield, quality, and chemical components of flue-cured tobacco” *Tobacco Science*, 52, pp 26–34.
- Ewert F., Rounsevell M. D. A., Reginster I., Metzger M. J. and Leemans R. (2005) “Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107,pp101-116.
- Farrokh A. R. 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” *Intlernayional Journal Agriculture Crop Science*,4,pp 770-778.
- Fernandes J.M., Lazzaretti A., Pavan W. and Tsukahara R. Y. (2011) “Information architecture for crop growth simulation model applications” *Sustainable Agri-production and Environment (HAICTA 2011)*, Skiathos,pp 8-11.
- Fichtner K. and Schulze E.D. (1992) “The effect of nitrogen nutrition on annuals originating from habitats of different nitrogen availability” *Oecologia*, 92, pp 236-241.
- Flower K.C. (1999) “Agronomy and physiology. Field practices, in: Davis D.L., Nielsen M.T. (Eds.), **Tobacco: production, chemistry and technology**” Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, pp 76–103.
- Fritz C., Natalia P.R., Feil R. and Stitt M. (2006) “Regulation of secondary metabolism by the carbon nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism” *The Plant Journal*. 46, pp 533–548.

- Fusheng L. (2005) "Potassium and water interaction. International workshop on soil potassium and fertilizer" *Agricultural College Guangxi University. Nanning Guangxi 530005*.
- Gautam P.K. and Panigrahi S. (2007) "Leaf nitrogen determination of corn plant using aerial images and artificial neural networks" *Canadian Biosystems Engineering*, 49, PP9.
- Gang R., Rosanne A., Healy Anna M., Klyne Harry T., Horner B., Martha G., Robert J. and Thornburg W. (2007) "Transient starch metabolism in ornamental tobacco floral nectaries regulates nectar composition and release" *Plant Science*, 173, pp 277–290
- Ghods R., Mirabdollah R., Jalali R. and Ruzbahman M.A. (2012) "Predicting wheat production in Iran using an artificial neural networks approach" *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* 2(2), pp 34-47.
- 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". *Int. J. Plant Prod.* 6, 429-442.
- Gholipour M., Rohani A. and Torani, S. (2013) "Optimization of traits to increasing barley grain yield using an artificial neural network" *International Journal of Plant Production*, 7, pp 1-17.
- Gholipour M. Sinclair T.R. (2011) "Historical changes of temperature and vapor pressure deficit during the crop growing season in Iran" *International Journal of Plant Production*, 5, pp 195-206.
- Gerendás J., Zhu Z., Bendixen R., Ratcliffe R.G. and Sattelmacher B. (1997) "Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants" *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 160:239-251.
- Guerra M. Marchond G. and Peres O. (2002) "Efficiency of potash fertilizer applied in fertigation on the production and chemical composition of tobacco leaves" *Abstracts of presentations made at the 2002 CORESTA congress, New Orleans, USA*. apost, 32.

- Haefele S.M., Wopereise M.C.S., Donovan C. and Maubuisson J. (2001) “Improving the productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania” *European Journal Agronomy*, 14, pp181-196.
- Haghighi H., Hamid M.D., Mobaser R. and Moosavi A.A. (2011) “Effect of different nitrogen and potassium fertilizer levels on quality and quantity yield of flue-cured tobacco (Coker 347)” *World Application. Science Journal*, 15, pp 941-946.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L. and Nelson W.L. (2005) “Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management” 7th Ed. *Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ*.
- Hama M. McClure W.F. and Whitaker T.B. (1995) “Applying artificial neural networks. I. Estimating nicotine in tobacco from near infrared data” *J. Near Infrared Spectrosc* Vol, 3, pp133–142.
- Haykin S. (1994) “Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Macmillan” *New York, USA*, pp 26-37.
- Hecht S.S.(1998) “Biochemistry, biology, and carcinogenicity of tobacco-specific N-nitrosamines” *Chemical Research Toxicol*, 11, pp 559-603.
- Jame Y.W. and Cutforth H.W. (1996) “Crop Growth Models for Decision Support systems” *Canadian Journal Plant Science*, 76(1), pp 9-19.
- Jeffrey D., Vaughan G., Hoy D. and Arthur G. Wollum (2008) “Assessment of Burley tobacco nitrogen needs following cover cropping and manure application .*Tobacco Science*, 48, pp1-11.
- Kajikawa M., Shoji T., Kato A. and Hashimoto T. (2010) “Vacuole Localized Berberine Bridge Enzyme-Like Proteins Are Required for a Late Step of Nicotine Biosynthesis in Tobacco” *Plant Physiol*, Vol. pp 155, 2011.
- Kamkar B., Koocheki A., Nassiri Mahallati M., Rezvani Moghaddam P., Kafi M (2011) “Fungal diseases and inappropriate sowing dates, the most important reducing factors in cumin fields of Iran, a case study in Khorasan provinces” *Crop Protection*, 30, pp208-215.
- Karaivazoglou N.A., Papakosta D.K. and Divanidis S. (2005) “ Effect of chloride in irrigation water and form of nitrogen fertilizer on Virginia (flue-cured) tobacco” *Field Crops Research*, 92, pp 61-74.
- Karaivazoglou N.A., Tsotsolis N.C. and Tsadilas C.D. (2007) “Influence of liming and form of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, growth, yield, and quality of Virginia (flue-cured) tobacco” *Field Crops Research*, 100, pp52–60.

- Katalin N. Omarov R.T. Evdei L. and Herman S. lips. (2000) "Distribution of the Mo-enzymes. Aldehydeoxidase, xanthine dehydrogenase and nitrate reductase in maize (*Zea mays* L.) nodol roots as affected by nitrogen and Salinity" *Plan Science*, 155, pp45-58.
- Kaul M. Rober L. Hill, Walthall C. (2005) "Artificial neural network for corn and soybean yield prediction" *Plan Science*, 85, pp 1-18.
- Keating B.A. Carberry P.S. Hammer G.L. Probert M.E. Robertson M.J. Holzworth D. Huth N.I. Hargreaves J.N.G. Meinke H. Hochman Z. (2003) "An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation" *European Journal of Agronomy*, 18, pp267-288.
- Kena K. (1990) "Effect of N. P. K. fertilizer on the yield and quality of flue-cured leaf tobacco" *Ethiopian Journal of Agriculture Science*, 12, pp77-82.
- Kende H., and Zeevaart J.A.D. (1997) "The five "classical" plant hormones" *Plant Cell*, 9, pp 97-121.
- Kenjebavea S. and Rakova N. (1995) "Multiple forms of nitrate reductase and their role in nitrate assimilation in roots of wheat at low temperature or high salinity" *Journal Plant Physiology*, 93, pp294-525.
- Kim M., and Gilley J. E. (2008) "Artificial neural network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas" *Comput Electron Agriculture*, 64, pp268-275.
- Kirkby E. A. and Hughes D. A. (1970) "Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism" *University Leeds, England*.
- Kojima S., Bohner A. and Wirén N. (2006) "Molecular mechanisms of urea transport in plants" *Journal Membrane Biology*, 212, pp 83-91.
- Koning G.H.J. and van Diepen C.A. (1992) "Crop production potential of rural areas within the European Communities. IV: Potential, water limited and actual crop production" Working Document 68. *Netherlands Scientific Council for Government Policy*, The Hague.
- Kraiser T., Gras D., Gutiérrez A.G., Gonzalez B. and Gutiérrez A.R. (2011) "A holistic view of nitrogen acquisition in plants" *Journal Experiment Botany* 62, pp1455-1466.
- Kumar A., Gupta N., Gupta A.K. and Gaur V.K. (2009) "Identification of biomarkers for determining genotypic potential of nitrogen-use-efficiency and optimization of

- the nitrogen inputs in crop plants” *Journal Crop Science Biotechnology*, 12, pp183-194.
- Kumar Singh A., Tripathy R. and Chopra U.K. (2008) “Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop”. *Journal Crop Science Biotechnology*, 95, 7, pp 776–786.
- Kumar P., Praveen T., and Prasad M. (2015) “Simulation of Sediment Yield Over Ungauged Stations Using MUSLE and Fuzzy Model” *Aquatic Procedia*, 168, pp 1291-1298.
- Kuang Q. T., Zu-Hong L. , Yan-Qing L., GuoT., Xiang-Zhong S. and Shun-Geng M. (2013) “Model of Total Nitrogen and Total Sugar in Tobacco Optimizing after Uninformative Variable Elimination” *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 41(6), pp 917-921.
- Landeras G., Ortiz-Barredo A., and López J.J. (2009) “Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models” *Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 135, pp 323-334.
- Lansigan F. (1998) “Minimum Data and Information Requirements for Estimating Yield Gaps in Crop Production Systems” *Agricultural Information Technology in Asia and Oceania*, pp151-160.
- Laue G Preston C A and Baldwin I.T (2000) “Fast track to the trichome: induction of N-acyl nornicotines precedes nicotine induction in *Nicotiana repanda*” *Planta* , 10, pp510-514.
- Leffingwell J.C. (2001) “Chemical constituents of tobacco leaf and difference among tobacco types” *Leffingwell Reports*, 1, 2, pp85.
- Leffingwell, J.C., Leffingwell, D., 1988. Chemical and sensory aspects of tobacco flavor, *Rec. Adv. Tob. Sci.* 14, 169-218.
- Lennox B., Rutherford P., Montague G.A., Haughina and C., Compt (1998) “Case study investigating the application of neural networks for process modelling and condition monitoring” *Computers & chemical engineering*, 22 11, pp1573-1579.
- Layton, D. and Nielsen M.T.(1999) “Tobacco Production, Chemistry and Technology” **University Press Cambridge, UK Blackwell Science**, 467pp.
- Lewis R. S. Bowen S. W. Keogh M. R. and Dewey R. E. (2010) “Three nicotine demethylase genes mediate nornicotine biosynthesis in *Nicotiana tabacum*L:

- functional characterization of the CYP82E10 gene” *Phytochemistry* 71, pp1988–1998.
- Li L., Peter P., Gui-yan W., Run-hai L., Hong-zhan L. and Ai-ping X. (2011) “Quantifying the yield gap in wheat–maize cropping systems of the Hebei Plain” *China Field Crops Research* 124, pp180–185.
- Li G.J., Peng F.T., Zhang L., Shi, X.Z. and Wang Z.Y. (2010) “Cloning and characterization of a SnRK₁-encoding gene from *Malus hupehensis* Rehd. and heterologous expression in tomato” *Mol. Biol. Rep.*, 37, pp947–954.
- Liu Y. X., Li C. J. and Zhang F. S. (2005) “Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels” *Annals Of Botany*, 95, pp 991–998.
- Liu Y.L., Zhang B., Li C.L., Hu F. and Velde B. (2008) “Long term fertilization influence on clay mineral composition and Ammonium absorption in rice paddy soils” *Soil Science American Journal*, 72, pp1580-1590.
- Lobell D., Cassman K. and Field C. (2009) “Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes” *Annual Review of Environment and Resources*, 34, pp 110-1146.
- Looney, C.G. (1996) “Advances in feedforward neural networks: demystifying knowledge acquiring black boxes” *IEEE Trans. New York. Knowledge Data Eng.* 8, 2, pp 211–226.
- MacKown CT, Eivazi F, Sims J. L. and Bush L. P. (1984) “Tobacco-specific-nitrosamines: effects of burley alkaloid isolines and nitrogen fertility management” *Journal Agriculture Food Chemistry*, 32, pp1269–1272.
- MacKown CT., Sutton T. G. and Bush L. P. (1990) “Nitrogen compositional changes in xylem exudate and leaves of burley tobacco” *Crop Science*, 30, pp133–138.
- MAF F. (1985) “The analysis of agricultural materials” *Ministry of agriculture, Fisheries and Food*. London, UK.
- Maha Hana W.F., Whitaker T.B., White M.W. and Bahle D.R. (1997) “Applying artificial neural networks: Part II. Using near infrared data to classify tobacco types and identify native grown tobacco” *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 5, 1, pp19–25.
- Marchand M. (2010) “Effect of potassium on the production and quality of tobacco leaves” *Research Findings*, 24, International Potash Institute.

- Magalhaes J.R. and Huber D.M. (1989) "Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture" *Fertilizer Research*, 21, pp1–6.
- Marletto V., Ventura F., Fontana G. and Tomei F. (2007) "Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model" *Agricultural and Forest Meteorology*, 147, pp 71–79.
- Matt P. Schurr U. Klein D. Krapp A. and Stitt M. (1998) "Growth of tobacco in short-day conditions leads to high starch, low sugars, altered diurnal changes in the Nia transcript and low nitrate reductase activity, and inhibition of amino acid synthesis" *Planta*, 207, 1, pp 27-41.
- Matt P., Giiger M., Engels C., Krap A. and M. Stitt (2001) "Evaluated carbon dioxide increases nitrate uptake and nitrate reductase activity when tobacco is growing on nitrate, but increases ammonium uptake and inhibits nitrate reductase activity when tobacco is growing on ammonium nitrate" *Plant, Cell and Enviroment*, 24, pp 119-1137.
- Marchetti R., Castelli F. and Contillo, R. (2006) "Nitrogen requirements for flue cured tobacco" *Agronomy Journal*, 98, pp 664-669.
- Martinez V., Baladrón C., Gomez-Gil J., Ruiz-Ruiz G., Aguiar M. and Carro B. (2012) "Temperature and Relative Humidity Estimation and Prediction in the Tobacco Drying Process Using Artificial Neural Networks" *Sensors* 2012, 12, pp14004-14021.
- Maw B.W., Stephenson M.G., Gaines T.P. and Mullinix B.G. (1995) " Comparison of liquid and granular nitrogen fertilizer on the yield, quality and value of flue-cured tobacco" *Tobacco Science*, 39, pp77-82.
- Maw B.W., Stansell J. R., and Stansell B. G.(1997)"Soil-Plant-Water Relationships for Flue-cured tobacco" The Georgia Agricultural Extention, college of agriculture and environmental science. *The University of Georgia. Research Bulletin*, No: 427.
- McCree K.J. (1983) "Carbon balance as a function of plant size in sorghum plants" *Crop Science*, 23, pp 1173-1177.
- McCulloch W.S and Math B. (1943) "Math" *BioPhysics*, 5,115, pp133.
- McDaniel C.N. Hartnett L.K. and Sangrey K. A. (1996) " Regulation of node number in day-neutral Nicotiana tabacum: a factor in plant size" *Plant Journal*, 9, pp 55-61.

- McMaster G.S. and Hargreaves J.N.G. (2009) “CANON in D(esign): Composing scales of plant canopies from phytomers to whole-plants using the composite design pattern”. *NJAS*, 57, pp 39-51.
- Meng Q. Hou P. Wu L, Chen X. Cui Z. and Zhang F. (2013) “Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China”. *Field Crops Research*, 143, pp 91–97.
- Mengel K. (2007) “Potassium, In: Barker A.V. D.J. Pilbeam (Eds.), **Handbook of Plant Nutrition**” *CRC Press*, Taylor & Francis Group, pp203.
- Milkes R. R., Fouteno W. C. and Larson R.A. (1989) “Hydrology of horticultural substrates: predicting air and water content of limited volume plug cells” *Journal of American Society Hort Science*, 114, pp 57-61.
- Miner G.S. and Sims J.L. (1983) “Changing fertilization practices and utilization of added plant nutrients for efficient production of tobacco” *Recent Adv. Tobacco Science*, 9, pp 4-76.
- Moore. M. (1996) “Topping and Chemical sucker Control programs for Georgia. The university of Georgia college of agricultural and environmental science” **Cooperative Extension Service.**
- Mohsenzadeh R. (2015) “Study of quality and chemical characteristics of tobacco cultivars (*Nicotiana tabaccum*)” *Experiment Journal of Application Science*, 3, pp 11-14.
- Mukerji A., Chatterjee C. and Raghuwanshi N.S. (2009) “Flood forecasting using ANN, Neuro-Fuzzy, and Neuro-GA models” *Hydrol Eng. ASCE*, 14, pp 647-652.
- Mubiru J. (2008) “Predicting total solar irradiation values using artificial neural Networks” *Renewable Energy*, 33, pp 2329-2332.
- Murthy V.R.K. (2002) “**Basic Principles of Agricultural Meteorology**” Book Syndicate Publishers, Koti, Hyderabad.
- Nabavi-Pelesaraei A., Abdi R., Rafiee S. and Bagheri I. (۲۰۱۴) “Determination of efficient and inefficient units for watermelon production-a case study: Guilan province of Iran” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11, pp101-107.
- Nagarajan K. and Prasa DRao J.A.V. (2004)“**Textbook of Field Crops Production**” Published by Directorate of Information and Publication of Agriculture Indian

- Council of Agricultural Research Krishi Anusandhan Bhavan, *Pusa, New Delhi*, 110012, pp769-812.
- Nascimento O. Augusto C. Giudici R. and Guardani R. (2000) “Modeling the kinetics of a photochemical water treatment process by means of artificial neural networks” *Chemical engineering and processing*, 38, 6, pp 373-382.
- Neumann K. Verburg P. H. Stehfest E. and Müller C. (2010) “The yield gap of global grain production: A spatial analysis” *Agricultural Systems*, 103, pp 316–326.
- Nieder R. and Dinesh K. Scherer (2011) “Fixation and defixation of ammonium in Soil” *Biol Fertil Soil*, 47, pp1-14
- Nielsen D. Peterson G. Anderson R. Ferreira V. Shawcroft W. and Remington K. (1996) “estimating corn yields from precipitation records, A method for assessing adapted environments and production risk” *Conservation Tillage Fact Sheets No 2-96. USDA-ARS, USDA-NRCS, Colorado*.
- Nessler J. (1867) “Der Tabak Sience Best and Theil Und Seine Be HndLung” *Mannhem*, pp150.
- Nielsen H. and R. Kolmogorov’s (1987) “mapping neural networks existence theorem. pp11-14., In Proceedings of the fist IEEE International Joint Conference on Neural Networks”. *San Diego*.
- Nourbakhsh H., Emam-Djomeh Z., Omid, Mirsaeedghazi, H. and Moini S. (2014) “Prediction of red plum juice permeate flux during membrane processing with ANN optimized using RSM” *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, pp1-9.
- Norouzi M. (2009) “Prediction of rainfed wheat yield using artificial neural network in Ardal district of Chaharmahal and Bakhtiari province” M.Sc. Thesis, Collage of Agriculture, *Isfahan University of Technology*, pp 112.
- Nugroho L.H. and Verpoorte R. (2002) “Secondary metabolism in tobacco” *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* Vol. 68, 105 – 125.
- Oteng D. P. Yeboah S.N.T., Amponsah S. and Owusu Danquah E. (2013) “Crop modeling: A tool for agricultural research – A review. E3” *Journal of Agricultural Research and Development*, 2, 1. pp 1-6.
- Patrice Y. Simard (1994) “Ecient computation of complex distance metrics using hierarchical ltering. In Advances in Neural Information Processing Systems”. **Morgan Kaufmann Publishers** pp115.

- Paunescu A.D. and M. Paunescu (2003) "Studies concerning the release of new oriental tobacco genotypes with superior characteristics of state and aroma" **CORESTA Meet. Agro-phyto Groups, 2003, Bucharest**, abstr. A 27.
- Pearson C.J. (1985) "Editorial : Research and development for yield in pearl millet". *Field Crops Research*, 11, pp113-121.
- Peeding G. F. and Warren R. L. (1990) "Effect of nitrogen source and chloride rate on some agronomic and chemical characteristics of flue-cured tobacco" **Bul. Spic. CORESTA symposium Kallihea**. Abstr. A06, Pp115.
- Peeding G.F. (1999) "Production practice: flue-cured tobacco, pp104-142, In: Tobacco Production, Chemistry and Technology" Layton, D. and M.T. Nielsen (1999) "Tobacco Production, Chemistry and Technology" **University Press Cambridge, UK .Blackwell Science**. 467pp.
- Pelivanoska V. Trajkoski J. and Filipsonki k. (2000) "Effect of fertilization and irrigation on yield and quality of tobacco type Burley". Bull. Spec. **CORESTA meeting**, 2002, Lisbon congress, p 58.
- Pelivanoska V. , K. Filiposkik and J. Trajkosk (2004) "The effect of the rate nitrogen fertilizer on the content of some chemical composition in Burley tobacco" Abstracts of presentations made at the 2004. **CORESTA Congress, Kyoto, Japan**. Apost 20.
- Piri J. Amin S. Moghaddamnia A. Keshavarz A. Han D. and Remesan R. (2009) "Daily pan evaporation modeling in a hot and dry climate" **Hydrol Eng, ASCE**, 14, pp 803-811.
- Poluektov R.A.and Topaj A.G. (2001) "Crop modeling: nostalgia about present or reminiscence about future" *Agronomy Journal*, 93, pp 653-659.
- Puritch G. S. and Barker A.V. (1967) "Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity". *Plant Physiolgy*. 42, pp1229-1238.
- Qiu Hu J., Zhang H., He X., Zhang W. and Li C. (2010) "Effects of potassium fertiliser on potassium content in fluecured tobacco leaves and the economic benefits in Gansu province" **Acta Prataculturae Sinica**, 19, pp156 – 160.
- Raab T.K. and Terry N. (1995) "Carbon, nitrogen, and nutrient interactions in *Beta vulgaris* L. as influenced by nitrogen sources, NO₃⁻ versus NH₄⁺" *Plant Physiology*, 107, pp575–584.
- Rauff O.K. and Bello R. (2015) "A Review of Crop Growth Simulation Models as Tools for Agricultural Meteorology" *Agricultural Sciences*, 6, pp 1098-1105.

- Reddy A.R., Reddy K.R., Padjung R. and Hodges H. F. (1996) "Nitrogen nutrition and photosynthesis in leaves of Pima cotton" *Journal of Plant Nature*, 19, pp 755-77.
- Reynolds M. P., Rajaram S. and Sayre K. D. (1999) "Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand" *Crop Science*, 39, pp 1611-1621.
- Richard A. (2004) "**Regression Analysis: A Constructive Critique**" Sage Publications. Thousand Oaks, CA. pp351.
- Rios-Gonzalez K., Erdei L. and Lips S.H. (2002) "The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources" *Plant Science*, 162, pp 923-930.
- Robertson G.P. Goffman P. (2007) "Nitrogen transformations. In: Paul, E.A. (Ed.), Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, third ed. Academic" **Elsevier, New York**, pp 341–364.
- Robertson M.J., Llewellyn R.S., Mandel R., Lawes R., Bramley R.G.V., Swift L., Metz N. and O'Callaghan C. (2012) "Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry: status, issues and prospects" **Precision Agriculture**, 13, pp 181–199.
- Rodríguez-Ort, J. C., Valdez-Cepeda R. D. and Lara-Mireles J.L. (2006) "Soil nitrogen fertilization effect on phytoextraction of Cadmium and lead by tobacco (*Nicotiana glauca*)" **Bioremediation Journal**, 10, 3, 1-10.
- Rogers. L.L. and Dowla F. U. (1994) "Optimization of ground water remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling" **Water Resource Research**, 30, pp 457-481.
- Roth-Bejerano N. and Lips S.H. (1970) "Hormonal regulation of nitrate reductase activity in leaves" **New Phytol.**, 69, pp165-169.
- Ryding W.W. (1981) "Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on flue-cured tobacco in Zimbabwe" **Zimbabwe Agriculture Journal**, 19, pp 91-100.
- Roux S., Adam M. and Wery J. (2010) "An interdisciplinary framework for the development and analysis of crop models. International Environmental Modelling and Software Society" **Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting**, Ottawa, Canada.
- Rutkowska D., Pilinski M. and Rutkowski L. (1996) "Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems" **PWN, Warsaw**, pp67-76.

- Sabeti M.A., Norouzi M. and Nosratabad A.F. (2013) “Effects of nitrogen fertilization on nitrogen use efficiency of Coker (flue-cured) tobacco inoculated with *Azotobacter chroococcum*” *Advances in Environmental Biology*, 7,6, pp 968-977.
- Safa M. and Samarasinghe S. (2011) “Determination and modelling of energy consumption in wheat production using neural networks: "A case study in Canterbury province, New Zealand” *Energy*, 36, 8, pp 5140-5147.
- Saitoh F., Noma M. and Kawashima N. (1985) “The alkaloid contents of 60 *Nicotiana* species” *Phytochemistry*, 24, pp 477-480.
- Salehzade H., Fayyaz Mogaddam A., Bernosi I., Ghiyasi M. and Amini P. (2009) “The Effect of Irrigation Regimes on Yield and Chemical Quality of Oriental Tobacco in West Azerbaijan” *Research Journal of Biological Sciences*, 4, pp 632-636.
- Scheible W-R., Lauerer M., Schulze E-D., Caboche M. and Stitt M. (1997^a) “Accumulation of nitrate in the shoot acts as a signal to regulate shoot-root allocation in tobacco” *Plant Journal*, 11, pp 671–691.
- Scheible W-R., Gonzales-Fontes A., Lauerer M., Müller-Röber B, Caboche M. and Stitt M. (1997^b) “Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco” *Plant Cell*, 9, pp 783–789.
- Sérélé C.Z., Gwyn Q.H.J., Boisvert J., Pattey E., McLaughlin N. and Daoust G. (2000) “Corn yield prediction with artificial neural network trained using airborne remote sensing and topographic data” *Proceedings of 2000 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1, pp 384-386.
- Shamel Rostami M.T. (1996) “Effect of different nitrogen resources on quality and quantity of flue-cured tobacco cv. Coker 347” *Tirtash Tobacco Research Institute Publishers*, Mazandaran, Iran, 2,1, pp1-74.
- Sharifi-Rad J., Sharifi-Rad M. and Miri A. (2013) “Regulation of the expression of nitrate reductase genes in leaves of medical plant, *Foeniculum vulgare* by different nitrate sources” *International Journal Agriculture Crop Science*, 5, pp 2911-2916.
- Shoji T. and Hashimoto T. (2008) “Why does anatabine, but not nicotine, accumulate in jasmonate-elicited cultured tobacco BY-2 cells?” *Plant Cell Physiology*, 49, pp1209-1216.
- Shoji T., Inai K., Yazaki Y., Sato Y., Takase H., Shitan N., Yazaki K., Goto Y., Toyooka K. Matsuoka K. and Hashimoto T. (2009) “Multidrug and toxic compound extrusion-type transporters implicated in vacuolar sequestration of nicotine in tobacco roots” *Plant Physiol.* 149, pp 708–718

- Shoji T. Kajikawa and M. Hashimoto T. (2010) “Clustered transcription factor genes regulate nicotine biosynthesis in tobacco” *Plant Cell*, 22, pp 3390–3409.
- Sifola M. I. (2005) “Quality characteristics of Burley tobacco irrigated with saline water, growth, gas exchange and yield of tobacco Burley type” *Field Crops Research*, 47, pp 81-91.
- Sifola M. I. and Postiglione L. (2002) “The effect of NaCl in irrigation water on growth, gas exchange and yield of tobacco Burley type” *Field Crops Research*, 47, pp 81-91.
- Sifola M. I. and Postiglione L. (2003) “The Effect of Nitrogen Fertilization on Nitrogen Use Efficiency of Irrigated and Non- Irrigated Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)” *Plant and soil*, 252, pp313-323.
- Sileshi G., Akinnifesi F., Debusho L., Beedy T., Ajayi O. and Mong’omba S. (2010) “Variation in maize yield gaps with plant nutrient inputs, soil type and climate across sub-Saharan Africa” *Field Crops Research*, 116, pp 1–13.
- Simard P.Y., Yann L, Denker S. and Victorri B. (2000) “Transformation invariance in pattern recognition—tangent distance and tangent propagation” *Neural networks: tricks of the trade*, 11, pp 181–197 .
- Siminszky B., Gavilano L., Bowen S. W. and Dewey R. E. (2005) “Conversion of nicotine to nornicotine in *Nicotiana tabacum* is mediated by CYP82E4, acytochrome P450 monooxygenase” *Proc Natl Acad Sci USA.*, 102, pp 14919–14924.
- Sinclair T.R and Horie T. (1989) “Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency, a review” *Crop Science*, 29, pp 90-98.
- Skogley E.O. and McCants C.B. (1963) “Ammonium and chloride influences on growth characteristics of flue-cured tobacco” *Soil Science*, 27, pp 391-394.
- Smith B.A., Hoogenboom G. and McClendon R.W. (2009) “Artificial neural networks for automated year-round temperature prediction” *Comp. Electron Agriculture*, 68, pp 52-61.
- Stitt M., Muller C., Matt P., Gibon Y., Carillo P., Morcuende R., Scheible W.R. and Krapp A. (2002) “Steps toward an integrated view of nitrogen metabolism” *Journal Experiment Botany*, 53, pp 959-970.
- Solomonson L.P. and Barber, M.J. (1990) “Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation” *Annu. Rev. Plant Biology*, 41, pp 225-253.

- Tan X.W., Ikeda H. and Oda M. (2000) "The absorption, translocation, and assimilation of urea, nitrate or ammonium in tomato plants at different plant growth stages in hydroponic culture" *Science Hortic. Amsterdam*, 84, pp275-283.
- Tang H.W.V. and Yin M.S. (2012) "Forecasting performance of grey prediction for education expenditure and school enrollment" *Economics of Education Review*, 31, pp 452-462.
- Tao W., Changhe L. and Bohua Y. (2011) "Production potential and yield gaps of summer maize in the Beijing-Tianjin-Hebei Region" *Journal of Geogr. Science*, 21,4, pp 677-688.
- Teigen L.D. (1991) "Weather, climate and variability of U.S. corn yield. Feed Site" U.S. Dept. Agric., *Res. Serv.*, pp 28-37.
- Thiery F., Grieu S. and Traor'e. (2008) "Integration of neural networks in a geographical information system for the monitoring of a catchment area" *Mathematics and Computers in Simulation*, 76, pp388-397.
- Thai C.N. and R.L. Shewfelt (1991) "Modeling sensory color quality of tomato and peach: Neural networks and statistical regression" *Transactions of the ASAE*, 34, 3, pp950-955.
- Tittonell P. Vanlauwe B. Corbeels M. and Giller K. E. (2008) "Yield gaps, nutrient use efficiencies and response to fertilisers by maize across heterogeneous smallholder farms of western Kenya" *Plant Soil*, pp313, pp19-37.
- Torabi B. Soltani A. Galeshi S. Zeinali E. (2011) "Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat" *Australian Journal of Crop Science*, AJCS 5, 7, pp 879-884.
- Tso T.C.(1990) "**Physiology and Biochemistry of Tobacco Plants**" Dowden, Hutchinson & Ross Inc. pp410.
- Tumbo S.D., D.G. Wagner and P.H. Heinemann (2002) "Hyperspectral-based neural network for predicting chlorophyll status in corn" *Transactions of the ASAE*, 45, 3, pp825-832.
- Uhrig J. W., Engel B. A. and Baker W. L. (1992) "An application of neural networks: Predicting corn yields. In Computer in Agricultural Extension Programs" *Proc. 4th International Conference*, pp 348-353.

- Van Evert F.K., Holzworth D., Muetzelfeldt R.M., Rizzoli A.E. and Villa F. (2005) “Convergence in integrated modeling frameworks” In: Proceedings of the MODSIM. *International Congress on Modelling and Simulation*.
- Wenjie P., Chaoying J., Yuanju T. and Yang S. (2011) “Tobacco Dry Weight Estimation Based On Artificial Neural Network” *Intelligent Automation & Soft Computing*, 17,7, pp 997-1007.
- Weybrew J. A., Wan Ismail W. A. and Long R.C. (1983) “The cultural management of flue-cuer tobacco quality” *Tobacco. Science*, 27, pp 56-61.
- Wilcox G. E., Hoff J. E. and Jones CE. (1973) “Ammonium reduction of calcium and magnesium concentration of tomato and sweet corn leaf tissue and influence on the incidence of blossom end rot of tomato fruit” *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98, pp 86-89.
- Williams D.L.H. (1999) “The Chemistry of S-nitrosothiols” *Accounts of Chemical Research*, 32, pp869-876.
- Williams L.M. and Miner G.S. (1982) “Effect of urea on yield and quality of flue-cured tobacco” *Agronomy Journal*, 74, pp 457-62.
- www.Coresta.com (2010) “Determination of reducing carbohydrates in tobacco by continuous flow analysis” *CORESTArecommended method*. No. 38.
- www.Coresta.com(2010) “Determination of total alkaloids (as nicotine) in tobacco by continuous flow analysis” *CORESTA recommended method*. No. 35
- Yikuan F. and Xiang Z. (2004) “The study of chloride main origion and accumulation in flue-cured tobacco” *Abstracts of presentations made at the 2004 CORESTA Congress*, Kyoto, Japan.
- Yousefinejad-Ostadkelayeh M., Rajabipour A. and Khanali M. (2015) “Applying Artificial Neural Networks for Modeling of Environmental Impacts of Tobacco Production” *Biological Forum–An International Journal*. 7,1, pp1260-1266.
- Zhang Q., Yang S.X., Mittal S.S. and Yi S. (2002) “Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural networks” *PUBMED* , 83, pp 281-290.
- Zhang SJ., Huang YJ., Ren QC., Zhang XQ., Yang ZX., and Yang TZ. (2010) “Effects of nitrogen fertilization on leaf senescence, photosynthetic characteristics, yield, and quality of different flue-cured tobacco varieties” *PUBMED*, 21, 3, pp 668-74.

Zhang W.J., and Barrion A.T. (2006) "Function approximation and documentation of sampling data using artificial neural networks" *Environ Monit Assessment*, 122, pp 185–201.

Abstract

Nitrogen (N) affects adversely the tobacco yield quantity and quality as it increases yield, chloride and nicotine contents, but decreases potassium content. Nitrate reductase as a key enzyme in the reducing of inorganic nitrogen has a direct impact on plant growth. This experiment was aimed at optimization of (finding the balance between) N concentration in leaf, stem and root and some other traits to increase simultaneously both yield quantity and quality (high potassium, low chloride and medium nicotine contents) using artificial neural network. Two field experiments based on complete block design with three replications were conducted in Tirtash and Urmia tobacco research centers. Treatments were factorial arrangement of two N sources (urea and nitrate ammonium) and four application patterns. The results showed that there were no significant different between two N sources used here (urea and ammonium nitrate). The best application pattern was use of nitrate ammonium in 2/3 basal and urea in 1/3 basal and the rest of them at the beginning of rapid growth stage. It was established two artificial neural networks which their structure were 15-15-4 and 10-12-4. The neural network model showed that the average value of optimized N concentration was 3.06, 2.42 and 1.51% for leaf, stem and root, respectively. The obtained optimum values of Nitrate reductase activity were 13.11, 4.74 and 4.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{NO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ for pre-flowering, flowering and post-flowering stages, respectively. Those of soluble sugar content appeared to be 4.32, 13.04 and 9.54% for leaf, stem and root, respectively.

Keywords: Tobacco; potassium; chloride; nicotine; nitrate reductase; model.



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

PhD Dissertation in Ecology

Modeling of nitrogen dynamic in tobacco

Hojjat Salehzadeh

Supervisor:

Dr. Manouchehr Gholipoor

September 2016