

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

بررسی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان عملکرد محصول گندم آبی
(مطالعه‌ی موردی: شهرستان شاهرود)

دانشجو: مهناز کوثری

اساتید راهنما:

دکتر خلیل اژدری

دکتر روزبه مؤذن‌زاده

استاد مشاور:

دکتر منوچهر قلی‌پور

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد


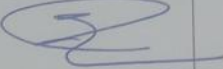
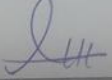
تیر ۱۳۹۶

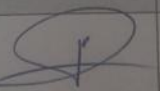
دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی
گروه: آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مهناز کوثری به شماره دانشجویی: ۹۳۱۴۵۱۴

تحت عنوان: بررسی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان عملکرد محصول گندم آبی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان شاهرود) در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی - سازه‌آبی مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: آقای دکتر منوچهر قلی‌پور		نام و نام خانوادگی: آقای دکتر خلیل ازمیری
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: آقای دکتر روزبه مؤمن‌زاده

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: آقای دکتر سید حسین حسینی		نام و نام خانوادگی: آقای دکتر محمد امامقلی‌زاده
			نام و نام خانوادگی: آقای دکتر مهدی دلفندی

تقدیم به

همسر صبور و مهربانم که با صبر و شکیبایی
مشکلات تحصیلم را تحمل نمود و بی دریغ یاریم می-
دهد.

مادر و پدرم آنها که فروغ محبتشان امید راهم بود.
و به فرزند عزیزم، غنچه زندگیم، که رایحه‌ی عطر
وجودش صمیمیت و صفاست.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ " :

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوام، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر خلیل اژدری و جناب آقای دکتر روزبه مؤذن‌زاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی‌ام را بر عهده گرفتند؛

از استاد صبور و با تقوا ، جناب آقای دکتر منوچهر قلی‌پور، که زحمت مشاوره‌ام را بر عهده گرفتند.

و از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر صمد امامقلی‌زاده و جناب آقای دکتر مهدی دل‌قندی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم، باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

مهنز کوثری تیر ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب مهنز کوثری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان عملکرد محصول گندم آبی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان شاهرود)

تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و دکتر روزبه مؤذن‌زاده متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

تحقق کشاورزی پایدار در هر منطقه مستلزم رعایت مباحث مدیریتی می‌باشد. بدین معنی که به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب اطلاع از کلیه فاکتورهای تأثیرگذار بر محصولات کشاورزی ضروری است. برآورد میزان عملکرد محصولات استراتژیکی نظیر گندم به دلیل اهمیتی که در برنامه-ریزی اقتصادی دارند بسیار حائز اهمیت است. هدف اصلی پژوهش حاضر، تعیین پارامترهای مؤثر در برآورد میزان عملکرد گندم آبی و توسعه‌ی یک مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی عملکرد گندم آبی به کمک پارامترهای اقلیمی در شهرستان شاهرود و در حد فاصل سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۳ می‌باشد. به منظور کاربرد شبکه‌ی عصبی از نرم افزار Qnet 2000 که قابلیت تعیین درصد تأثیرگذاری پارامترهای ورودی را بر خروجی دارد استفاده گردید. ورودی‌های مدل شامل حداقل مطلق دما، میانگین حداقل دما، حداکثر مطلق دما، میانگین حداکثر دما و متوسط دما، حداقل مطلق رطوبت نسبی، میانگین حداقل رطوبت نسبی، حداکثر مطلق رطوبت نسبی، میانگین حداکثر رطوبت نسبی و متوسط رطوبت نسبی، بارندگی، حداکثر سرعت باد، حداکثر ساعات آفتابی، تعداد روزهای یخبندان، عمق آب آبیاری و تبخیر-تعرق بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای حداقل مطلق دما و عمق آب آبیاری بیش‌ترین و پارامتر سرعت باد کم‌ترین تأثیر را در برآورد میزان عملکرد در منطقه مورد مطالعه داشتند. هم‌چنین بر اساس نتایج به دست آمده شبکه‌ی عصبی با تابع محرک سیگموئید و ساختار ۱-۱۵-۱۵-۷ (۷ نرون ورودی، ۲ لایه‌ی میانی و ۱ خروجی) بهترین نتایج را به همراه داشت به نحوی که مقدار ریشه میانگین مربعات خطا $RMSE = 167$ کیلوگرم در هکتار به

دست آمد. اگرچه تعداد سال‌هایی که عملکرد محصول گندم در قیاس با مقدار واقعی آن کم‌تر برآورد شده، بیش‌تر هستند با این حال بیش‌ترین خطای برآورد مربوط به سال‌های ۸ و ۱۰ است (به ترتیب ۱۹/۷۸ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به حالت واقعی) که جزء سال‌های بیش برآورد به حساب می‌آیند. نتایج این تحقیق نشان داد که با حذف مؤلفه‌های حداقل مطلق دما و عمق آب آبیاری به ترتیب ریشه میانگین مربعات خطا از ۱۶۷ کیلوگرم در هکتار به ۵۴۸ و ۳۵۲ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه‌ی عصبی مصنوعی در صورت آموزش صحیح و استفاده از داده‌های مؤثر و قابل اعتماد می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی در منطقه مورد مطالعه باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌ی عصبی مصنوعی، عملکرد، گندم، پارامترهای هواشناسی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- ضرورت تحقیق ۵
- ۳-۱- اهداف پایان نامه ۷

فصل دوم: پیشینه‌ی تحقیق

- ۱-۲- روش‌های برآورد میزان عملکرد محصولات زراعی ۱۰
- ۲-۱-۱- تحقیقات مزرعه‌ای ۱۰
- ۱۰.....

- ۲-۱-۲- مدل‌های شبیه‌سازی ۱۰
- ۳-۱-۲- رگرسیون چند متغیره ۱۱
- ۴-۱-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۲
- ۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته ۱۴

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۱-۳- منطقه مورد مطالعه ۲۶
- ۲-۳- داده‌های مورد نیاز ۲۸
- ۳-۳- محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل ۲۹
- ۴-۳- محاسبه تبخیر-تعرق گیاهی ۳۱
- ۵-۳- معنای شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۲

۳۶.....	۳-۶- معرفی نرم افزار Qnet
۳۷.....	۳-۷- اجرا و سامان دهی Qnet
37	۳-۸- توابع انتقال مورد استفاده در Qnet
۳۸.....	۳-۹- داده های آموزش
۳۹.....	۳-۱۰- معیارهای ارزیابی

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴۲.....	۴-۱- مقدمه
۴۲.....	۴-۲- بررسی تأثیر توابع محرک در یادگیری شبکه ی عصبی مصنوعی
۴۷.....	۴-۳- بررسی تأثیر لایه های میانی در یادگیری شبکه ی عصبی مصنوعی
۵۲.....	۴-۴- بررسی تعداد داده های ورودی بر روی یادگیری شبکه ی عصبی مصنوعی
۵۳.....	۴-۴-۱- تعیین بهترین ترکیب عوامل ورودی
۵۷.....	۴-۵- آنالیز حساسیت مدل و تعیین درجه ی تأثیر هر یک از ورودی ها
۶۲.....	۴-۶- نتیجه گیری
۶۳.....	۴-۷- پیشنهادات
۶۴.....	منابع

فهرست اشکال

شکل (۱-۳) روند عملکرد گندم طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۹۳

۲۷.....

شکل (۲-۳) موقعیت جغرافیایی شهرستان شاهرود

۲۷.....

شکل (۳-۳) ساختار نرونی

۳۴.....

شکل (۴-۳) شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان

۳۴.....

شکل (۱-۴) برآزش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید

(مرحله آموزش)

۴۴.....

شکل (۲-۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید

(مرحله آموزش)

۴۴.....

شکل (۳-۴) برآزش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید

(مرحله صحت‌سنجی) ۴۶.....

شکل (۴-۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید

..... (مرحله صحت‌سنجی) ۴۶

شکل (۵-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با دو لایه میانی (مرحله

آموزش) ۴۹

شکل (۶-۴) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با دو لایه میانی (مرحله

آموزش)

..... ۵۰

شکل (۷-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با دو لایه میانی (مرحله

صحت‌سنجی)

..... ۵۱

شکل (۸-۴) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد توسط مدل با دو لایه

میانی (مرحله صحت‌سنجی)

..... ۵۱

شکل (۹-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با ۷ ورودی (مرحله

آموزش) ۵۴

شکل (۱۰-۴) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با ۷ ورودی (مرحله

آموزش) ۵۴

شکل (۱۱-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با ۷ ورودی (مرحله

صحت‌سنجی) ۵۵

شکل (۴-۱۲) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با ۷ ورودی (مرحله

صحت‌سنجی).....

۵۵.....

شکل (۴-۱۳) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد با حذف حداقل مطلق دما

(مرحله آم‌ه‌وزش).....

۶۰.....

شکل (۴-۱۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با حذف حداقل مطلق دما

(مرحله آم‌ه‌وزش).....

۶۱.....

شکل (۴-۱۵) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد با حذف حداقل مطلق دما

(مرحله صحت‌سنجی)..... ۶۱.....

شکل (۴-۱۶) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با حذف حداقل مطلق دما

(مرحله صحت‌سنجی)..... ۶۲.....

فهرست جداول

جدول (۱-۴) نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی با توابع محرک مختلف در شبیه‌سازی

میزان عملکرد گندم آبی ۴۳

جدول (۲-۴) نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی با لایه‌های میانی متفاوت و تابع محرک

سیگموئید بر روی نرورون‌های ورودی

..... ۴۸

جدول (۳-۴) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا به ازای ترکیبات مختلف ورودی شبکه عصبی

..... ۵۶

جدول (۴-۴) سناریوهای مختلف با ۶ ورودی (مرحله صحت‌سنجی)

۵۹.....

جدول (۵-۴) مقادیر شاخص حساسیت پذیری عوامل مؤثر در برآورد عملکرد گندم آبی در ساختار

شبه‌بکه عصا

۵۹.....

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

کشور ایران از نظر موقعیت استراتژیکی و اقلیمی یکی از کشورهای بی‌نظیر در کره‌ی زمین است که با وسعتی برابر ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع از شمال تا جنوب و از شرق تا غرب دارای آب و هوای متغیر با اقلیم‌های متفاوت است. در کشوری با این همه نعمات خدادادی نباید فقر یافت شود. بنابراین تنها راه ممکن، تقدم سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی می‌باشد. میزان آبی که در حال حاضر هر ساله استحصال شده و در دسترس ما قرار می‌گیرد برابر با حدود ۹۰ میلیارد متر مکعب است که بیش از ۳ درصد کل آبی است که در سطح جهان استحصال می‌گردد. مفهوم این ارقام آن است که ایران از نظر آب و خاک، کشوری ثروتمند است.

در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، از حدود ۱۱/۳۸ میلیون هکتار سطح برداشت محصولات زراعی حدود ۸/۱۷ میلیون هکتار معادل ۷۱/۸۶ درصد به غلات اختصاص داشته که از این مقدار ۴۴/۵۲ درصد آن مربوط به اراضی با کشت آبی و ۵۵/۴۸ درصد بقیه به صورت کشت دیم بوده است. سطح گندم ۶۹/۹۲ درصد از کل سطح برداشت غلات می‌باشد. (بی‌نام، ۱۳۹۳).

گندم شاید اولین گیاه زراعی باشد که توسط انسان اهلی و کشت گردیده است. این موضوع احتمالاً به ۱۲ تا ۱۸ هزار سال قبل از میلاد برمی‌گردد. زادگاه بومی گندم آب و هوای نیمه خشک است ولی به علت سازگاری وسیع امکان کشت آن در شرایط اقلیمی کاملاً متفاوت (سرد و معتدل، مدیترانه‌ای، گرم و خشک) و در ارتفاعات خیلی بالا وجود دارد و امروزه در اکثر نقاط دنیا کشت می‌شود. ولی در عین حال عمده کشت و کار آن در عرض جغرافیایی ۵۰-۳۰ درجه‌ی شمالی و ۴۰-۲۵ درجه‌ی جنوبی متمرکز است. گسترش جهانی گندم باعث شده سنبله آن را به عنوان الگوی غذایی در جهان بشناسند. به عنوان مثال الگوی سازمان جهانی خوار و بار کشاورزی (FAO^۱) یک سنبله‌ی ریشکدار

^۱Food and Agriculture Organization

گندم و نیز برنامه‌ی توسعه‌ی سازمان ملل (UNDP^۱) جهان را در احاطه‌ی دو سنبله‌ی گندم نشان می‌دهد. این گیاه بیش‌ترین سطح کشت را در دنیا دارد و غذای اصلی انسان‌ها را تشکیل می‌دهد (خزاعی، ۱۳۸۲).

گندم از مهم‌ترین محصولات استراتژیک جهان می‌باشد، که هم از لحاظ وزنی و هم مقدار، قابل توجه بوده و مورد استفاده انسان است. تولید سالانه گندم در جهان حدود ۶۰۰ میلیون تن می‌باشد که تقریباً ۲۰ درصد انرژی و ۲۵ درصد نیازهای پروتئینی جمعیت جهان را فراهم می‌کند (هاشمی نصب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۳). این محصول از نظر مقدار تولید و سطح زیرکشت، مهم‌ترین محصول کشاورزی کشور بوده که افزایش تولید آن روز به روز مورد توجه و از نظر اقتصادی و تامین غذای اصلی اهمیت بسیاری دارد (زارع ابیانه، ۱۳۹۱).

این محصول به دو شیوه‌ی دیم و آبی کشت می‌شود. در گندم‌های آبی چون شرایط فیزیولوژیکی رشد به خصوص رطوبت برای انجام متابولیسم‌های بیوشیمیایی درون گیاهی فراهم‌تر است، حجم تولید و عملکرد مورد نظر و در نتیجه میزان پروتئین تولیدی در واحد سطح بالاست. اما در گندم‌های دیم که تنها به امید نزولات جوی کشت می‌شود، به دلیل فراهم نبودن رطوبت کافی میزان عملکرد در مقام مقایسه با گندم‌های آبی کم‌تر است و در نتیجه حجم پروتئین تولیدی در آنها پایین‌تر است.

سازمان جهانی خوار و بار کشاورزی (فائو) در جدیدترین گزارش خود با وجود کاهش ۳/۵ درصدی تولید گندم، ایران را در رتبه دوازدهمین تولیدکننده بزرگ گندم جهان معرفی کرده است. تولید این محصول در ایران از ۱۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۳ به ۱۳/۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۴ کاهش داشته است. براساس برآورد فائو، اتحادیه اروپا با تولید ۱۴۳/۷ میلیون تن گندم رتبه نخست جهان را به خود اختصاص داده و چین با ۱۲۲ میلیون تن و هند با ۹۶ میلیون تن به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. براساس برخی آمارهای رسمی در زمان حاضر گندم با سرانه مصرف حدود ۱۹۰

^۱United Natation Development Program

کیلوگرم در سال، نقش محوری در امنیت غذایی جامعه ایران دارد. به موازات ۳۰ درصد اراضی کشور زیرکشت گندم بوده و بالاترین یارانه کشور به آرد و نان تعلق دارد.

کمبود آب برای تولید محصولات کشاورزی روز به روز افزایش می‌یابد و گسترش منابع جدید آب متحمل هزینه‌های زیادی است. با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، لزوم افزایش تولید از طریق افزایش عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی ضرورت دارد و برنامه‌ریزی آبیاری می‌تواند با تنظیم و تأمین مقدار مناسب آبیاری در مراحل رشد گیاه، سبب افزایش کارایی مصرف آب گردد. از آنجا که میزان آب مصرفی در کشت‌های فاریاب به شدت بر میزان محصول تولید شده گندم تأثیرگذار است و از طرف دیگر عملکرد نهایی هر گیاه زراعی بر پایه‌ی برهم‌کنش ژنوتیپ گیاه و محیط رشد تعیین می‌گردد، با برنامه‌ریزی دقیق و استفاده اصولی از امکانات موجود، فناوری‌های نوین و به‌کارگیری مکانیزاسیون مناسب می‌توان افزایش و پایداری تولید این محصول استراتژیک را قوت بخشید و از منابع موجود بهره‌وری بهینه را به عمل آورد.

پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی یکی از ابزارهای مدیریتی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش کشاورزی است. آشکارترین کاربرد پیش‌بینی عملکرد، تعیین اعتبار لازم توسط دولت جهت خرید محصول و قیمت‌گذاری آن برای سال آینده می‌باشد. متغیرهای آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی نقش اساسی در پیش‌بینی عملکرد ایفا می‌کنند (زارع ایبانه، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه اثرات خشکسالی در کشاورزی در نهایت بر روی عملکرد محصول خواهد بود، به‌همین دلیل خشکسالی کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد محصول نسبت به میانگین طولانی مدت تعریف شده است (دربندی و همکاران، ۱۳۸۶).

عملکرد گیاه تابعی از عوامل مختلف گیاهی، اقلیمی و شرایط مدیریتی آب و خاک است. از این‌رو، محاسبه‌ی مقدار عملکرد گیاه و شاخص‌های وابسته به آن از روابط غیر خطی پیچیده‌ای تبعیت می‌کند که مدل‌سازی آن نیز دشواری خاصی دارد (اکبرپور و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۱ ضرورت تحقیق

غلات مهم‌ترین نقش را در امنیت غذایی به عهده دارند. در حال حاضر از ۷۰۰ میلیون هکتار اراضی زیر کشت غلات جهان، ۲/۲ میلیارد تن محصول برداشت می‌شود. از بین همه غلات سه محصول ذرت، برنج و گندم به ترتیب با تولید ۷۹۰، ۶۶۰ و ۶۰۰ میلیون تن محصول سالانه (در سال ۲۰۰۷)، مهم‌ترین غلات در سطح دنیا محسوب می‌شوند. اما در ایران گندم نسبت به دیگر محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که سال‌هاست غذای اصلی بسیاری از مردم ایران را تشکیل می‌دهد و حدود ۴۰ درصد کالری مصرفی مردم ایران از این محصول تأمین می‌شود. این محصول در مقایسه با محصولات پردرآمد دارای مزیت نسبی نمی‌باشد، اما به خاطر منافع ملی و قطع وابستگی غذایی، همگانی بودن مصرف گندم در سطح کشور، نیل به خودکفایی آن بایستی سرلوحه برنامه‌های توسعه کشور قرار گیرد (دلقندی و همکاران، ۱۳۹۳).

تحقق کشاورزی پایدار در هر منطقه مستلزم رعایت مباحث مدیریتی می‌باشد. بدین معنی که به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب اطلاع از کلیه فاکتورهای تأثیرگذار بر محصولات کشاورزی ضروری است. بروز ناهنجاری‌های اقلیمی نظیر خشک‌سالی و تغییر اقلیم در کنار رشد روز افزون جمعیت و تکنولوژی، در سال‌های اخیر منجر به استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عملکرد از سوی محققین شده است. مدل‌سازی به عنوان یک ابزار کارآمد با توانایی مناسب به صورت گسترده در زمینه‌های مختلف مورد استفاده واقع شده است که عرصه‌های مختلف تحقیقات مربوط به زراعت را پوشش می‌دهد.

وضعیت اقلیمی از مهم‌ترین عوامل موثر در میزان تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، بنابراین بخش کشاورزی نسبت به تغییرات بارندگی حساس و آسیب پذیر می‌باشد. اقلیم یک منطقه به عنوان مهم‌ترین عامل در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود، از این رو تغییرات اقلیمی عمده‌ترین

عامل بازدارنده در توسعه‌ی زراعت محسوب می‌شود. با توجه به بحران فزاینده مرتبط با نزولات جوی در ایران و مخصوصاً منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق (شهرستان شاهرود) انتخاب استراتژی‌های مناسب به منظور بیشینه کردن میزان عملکرد محصولات ضروری است. عملکرد محصولات زراعی یکی از متغیرهای اقتصادی چالش برانگیزی است که از یک سو اطلاع از مقدار آن لازم و از سوی دیگر با توجه به تغییرات مکانی عملکرد، پیش‌بینی آن در محدوده‌ی وسیعی از مناطق تحت کشت ضرورت دارد. مدل‌سازی عملکرد به طور عمده براساس متغیرهای هواشناسی، زراعی و مدیریتی برای ایجاد رابطه‌ی پراکنش مکانی متغیرهای زراعی است (زارع ایبانه، ۱۳۹۱).

نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان تولید گندم رابطه مستقیم و معنی‌داری با تغییرات آب و هوا دارد. برآوردهای موجود نشان می‌دهد که نیاز کشور به گندم تا سال ۱۴۰۰ از مرز ۲۰ میلیون تن در سال خواهد گذشت که حدود ۶۵-۷۰ درصد از این مقدار باید از اراضی آبی و بقیه از اراضی دیم تأمین شود (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین برآورد میزان عملکرد محصول گندم در مناطق مختلف کشور برای دستیابی به چنین ارقامی ضروری به نظر می‌رسد.

عملکرد گندم تابع شرایط اقلیمی، میزان آب آبیاری، نحوه‌ی آبیاری، مدیریت زراعی، تاریخ کاشت، نوع بذرو... است، که در هر منطقه متفاوت از مناطق دیگر است. بنابراین آگاهی از میزان آن در هر منطقه لازم و ضروری است. توانایی پیش‌بینی عملکرد گندم در سطح وسیع با استفاده از داده‌های اقلیمی در مناطق نیمه خشک از مزایای بسیاری برخوردار است. تا کنون مطالعه‌ای در زمینه‌ی کاربرد مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد گندم و شناسایی حداقل پارامترهای ورودی مورد نیاز برای شبیه‌سازی (پیش‌بینی) عملکرد گندم آبی در شهرستان شاهرود انجام نشده است. لذا این پژوهش به منظور تعیین حداقل پارامترهای ورودی مؤثر در تعیین عملکرد این گیاه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد این نوع از شبکه‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در این منطقه صورت گرفته است.

۱-۳- اهداف پایان نامه

در این پایان نامه موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

- بررسی توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد گندم آبی
- بررسی تأثیر توابع محرک در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- بررسی تأثیر لایه‌های میانی در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- بررسی تعداد داده‌های ورودی بر روی یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- آنالیز حساسیت مدل پیشنهادی و تعیین درجه‌ی تأثیر هر یک از ورودی‌ها

فصل دوم

پیشینه تحقیق

۱-۲- روش‌های مختلف برآورد عملکرد محصولات زراعی از جمله گندم

عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم تحت تأثیر سه مؤلفه‌ی پتانسیل ژنتیکی، شرایط اقلیمی و مدیریت‌های زراعی است. روش‌های مختلف برآورد عملکرد محصولات زراعی را می‌توان در ۴ دسته‌ی اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱-۱-۲- تحقیقات مزرعه‌ای

این روش برای یافتن راهکارهای به زراعی و به نژادی مناسب و با هدف افزایش عملکرد در واحد سطح انجام می‌گیرد و نیازمند صرف هزینه و زمان بسیاری می‌باشد. علاوه بر آن انجام آزمایشی با چندین گزینه به زراعی و به نژادی و بررسی اثرات متقابل آن‌ها در سطح مزرعه بسیار مشکل می‌باشد (دلقندی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۱-۲- مدل‌های شبیه‌سازی

مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی ابزارهای کمی هستند که بر اساس اصول علمی و روابط ریاضی استوار بوده و می‌توانند اثرات متفاوت اقلیم، خاک، آب و عوامل مدیریت زراعی را روی رشد و نمو گیاهان زراعی مورد ارزیابی قرار دهند (اندرزیان و همکاران، ۱۳۸۶). این مدل‌ها ابزاری مناسب با قابلیت‌های مختلف برای ارزیابی و تعیین مدیریت بهینه‌ی آبیاری در سطوح مختلف (حوضه، شبکه‌ی آبیاری و مزرعه) و بررسی تأثیرات کمی آب آبیاری بر عملکرد محصول است. مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رشد گندم توسعه داده شده‌اند که از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CERES-wheat، APSIM، WOFOST، EPIC، SOCRUS، Aqua crop اشاره نمود.

این مدل‌ها اگرچه دقت مناسبی دارند ولی نیازمند داده‌های جزئی بسیاری هستند، بعلاوه دقت مدل‌های شبیه‌سازی تا حد زیادی به دقت بودن داده‌های مورد نیاز ورودی بستگی دارد (اکبری، ۱۳۹۰).

۲-۱-۳- رگرسیون چند متغیره^۱

رگرسیون میزان اثر دو یا چند متغیر بر یک متغیر وابسته را می‌سنجد. رابطه‌ی رگرسیون چند متغیره به صورت کلی زیر است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + A \quad (1-1)$$

که در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

Y : متغیر وابسته

X_1, \dots, X_K : متغیرهای مستقل

β_1, \dots, β_K : ضرایب

A : خطای رگرسیون

این مدل موقعیت یک ابر صفحه^۲ در فضای K بعدی متغیرهای مستقل را توصیف می‌کند. پراکنش مشاهدات در یک فضای K بعدی بوده و موقعیت بهترین ابر صفحه رگرسیون که می‌توان بین آن‌ها برازش داد، تعیین می‌شود. در رابطه‌ی رگرسیون برای یافتن بهترین برازش مدل بر داده‌های مشاهداتی، پارامترهای رابطه به روش کم‌ترین مربعات^۳ محاسبه می‌شوند (نورانی و سیاح‌فرد، ۱۳۹۰). رگرسیون چند متغیره و مدل‌های زمین‌آمار پارامترها را به شکل خطی وارد فرآیندهای

^۱ Multiple Linear Regression (MLR)

^۲ Hyperplane

^۳ Least Squares Error

تصمیم‌گیری نموده که اغلب موارد نمی‌تواند به خوبی مسائل پیچیده‌ی اقلیمی - هیدرولوژیکی را تحلیل نماید.

تحقیقات مربوط به پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی بیش‌تر بر پایه‌ی استفاده از تحلیل رگرسیونی استوار بوده است. این تحقیقات محاسبه تأثیر آب و هوا را بر اساس انحراف عملکرد در سال‌های مورد نظر از خط رگرسیون که حاصل نتایج دراز مدت سال‌های گذشته (حداقل ۱۰ سال) می‌باشد، ممکن می‌سازد. در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان روشی بهتر و کارآمدتر در برآورد میزان عملکرد محصولات کشاورزی به کار رفته‌اند (سجادی و صبوری، ۱۳۹۴). در چند دهه اخیر، برخی محققان برای پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیندهای هواشناختی، هیدرولوژیک و خشکسالی‌ها از تحلیل‌های رگرسیونی و مدل‌های زمین‌آمار استفاده کرده‌اند. بنابراین ضروری است که مدل‌هایی با کارایی بیشتر به منظور پیش‌بینی پدیده‌های غیرخطی و پیچیده معرفی شوند. ظهور تئوری‌های توانمندی همچون منطق فازی، شبکه‌های عصبی و فیلترآلمن، پیشرفت‌های قابل توجهی در تحلیل رفتار سیستم‌های دینامیک در علوم مختلف مربوط به آب ایجاد کرده است.

۲-۱-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱

امروزه از جمله روش‌های کارآمد که استفاده‌ی فراوانی در علوم مربوط به آب و هوا دارد، شبکه عصبی مصنوعی است که به عقیده محققان، علت اصلی مقبولیت و استفاده روزافزون آن، قدرت و سرعت بالا در شبیه‌سازی فرآیندهایی است که درک و شناخت درستی از آن وجود نداشته و یا بررسی آن‌ها با دیگر روش‌های موجود، بسیار دشوار و وقت‌گیر است. به طور کلی، می-

^۱Artificial Neural Network (ANN)

توان اظهار داشت که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابزار توانمندی است که می‌توان از آن در پیش‌بینی مسایل اقلیمی- هیدرولوژیک استفاده نمود. بخصوص آنجا که این شبکه قادر است قانون حاکم بر داده‌ها، حتی داده‌های مغشوش را استخراج نماید و در ضمن نیازی به توضیح صریح طبیعت فرآیندها به صورت ریاضی ندارد (خوشحال دستجردی و حسینی، ۱۳۸۹). شبکه‌های عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های بدیع و در حال تحول است که به سبب در نظر گرفتن روابط غیرخطی و پیچیده موجود میان عوامل محیطی و مؤلفه‌های عملکرد گندم و به دنبال آن افزایش دقت برآورد پیش‌بینی‌ها، می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی مؤلفه‌های عملکرد باشند (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). آوارز^۱ (۲۰۰۹)، کائول و همکاران^۲ (۲۰۰۵) و درومند و همکاران^۳ (۲۰۰۳) در مطالعات مشابه به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی نسبت به مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی دقیق‌تری از عملکرد دارند.

شبکه‌ی عصبی تکنیکی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین در علوم مختلف واقع شده است. در ساختار این سیستم‌ها 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 می‌دهد که به اصطلاح به این عمل آموزش^۴ آن سیستم گفته می‌شود. 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 به هنگام نیاز بهره ببرند (باقری و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته

^۱ Alvarez

^۲ Kaul et al.

^۳ Drummond et al.

^۴ Training

تاکنون شبکه‌های عصبی در مسائل مختلف فنی و مهندسی از قبیل سیستم‌های هوا و فضا، الکترونیک و صنایع دفاعی به کار گرفته شده است. در علوم آب و کشاورزی نیز استفاده از شبکه‌های عصبی روند صعودی داشته و تحقیقات زیادی نیز تا به حال با استفاده از این روش‌ها انجام گرفته است. شبیه‌سازی پارامترهایی چون میزان تبخیر-تعرق هفتگی (لندراس و همکاران^۱، ۲۰۰۹)، تبخیر روزانه (پیری و همکاران^۲، ۲۰۰۹)، پیش‌بینی دمای هوا (اسمیت و همکاران^۳، ۲۰۰۹)، تشعشع خورشیدی (میوبیرو^۴، ۲۰۰۸)، پیش‌بینی سیلاب (موکرژی و همکاران^۵، ۲۰۰۹)، تخمین میزان فرسایش خاک (کیم و جیلی^۶، ۲۰۰۸) و قابلیت نگهداشت آب و ضریب آبگذری اشباع خاک (مردون و همکاران^۷، ۲۰۰۶) از جمله موارد کاربرد شبکه‌های عصبی در علوم مختلف آب و خاک می‌باشند.

در ارتباط با تحقیقات صورت گرفته در مورد برآورد میزان عملکرد محصول توسط مدل‌های ANN می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

وو و یین^۸ (۱۹۹۲) از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد عملکرد گندم در ارتباط با مصرف کود ازته استفاده کردند و نشان دادند که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جایگزین مناسبی برای تجزیه و تحلیل رگرسیون می‌باشد.

دروموند و همکاران (۲۰۰۳) جهت تعیین روابطی میان خصوصیات خاک، توپوگرافی و عملکرد ذرت در منطقه‌ی میسوری آمریکا مطالعاتی را انجام دادند و مشاهده نمودند که روش شبکه‌های عصبی نسبت به روش‌های رگرسیونی دارای خطای کمتری بوده است. نتایج تحقیق ایشان نشان داد زمانی که آب آبیاری، مقدار کود نیتروژنی و میزان درجه روز رشد به عنوان ورودی به مدل معرفی گردد، این مدل قادر به پیش‌بینی عملکرد با دقت بالایی می‌باشد.

^۱Landeras et al.

^۲Piri et al.

^۳Smith et al.

^۴Mubiru

^۵Mukerji et al.

^۶Kim and Gilley

^۷Merdun et al.

^۸Wu and Yen

کائول و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی توانایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی مؤثر عملکرد ذرت و سویا در منطقه‌ی مریلند، مقایسه قابلیت‌های پیش‌بینی مدل در سطوح کشوری، منطقه‌ای و محلی، ارزیابی عملکرد مدل ANN نسبت به تغییرات پارامترهای رشد و نمو و مقایسه اثر بخشی مدل رگرسیون چند متغیره خطی نسبت به مدل‌های ANN پرداختند. مدل شبکه‌ی عصبی با استفاده از داده‌های ثبت شده عملکرد در مکان‌های مختلف در سراسر مریلند توسعه داده شد. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های ANN همواره پیش‌بینی عملکردی، دقیق‌تر از مدل‌های رگرسیون دارند. مقادیر^۱ (R^2) و $RMSE^2$ در مورد برآورد میزان عملکرد ذرت برای مدل ANN به ترتیب ۰/۷۷ و ۱۰۳۶ و برای مدل رگرسیون چند متغیره خطی ۰/۴۲ و ۱۳۵۶ گزارش شده در حالیکه همین معیارها به ترتیب ۰/۸۱ و ۲۱۴ در برابر ۰/۴۶ و ۳۱۲ به ترتیب برای مدل‌های ANN و رگرسیون خطی در مورد عملکرد سویا حاصل شده است. اگر چه مدل‌های ANN برای توسعه زمان‌برتر از مدل‌های رگرسیون خطی هستند، اما نتایج تحقیق مذکور نشان داد که مدل ANN روشی برتر برای پیش‌بینی دقیق عملکرد ذرت و سویا تحت شرایط آب و هوایی معمولی مریلند می‌باشد.

پارک و هوانگ^۳ (۲۰۰۵) در آزمایشی برای مطالعه‌ی امکان پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی در دشت-دشت‌های آمریکا، در شرایط مختلف خاک و مدیریت زراعی، از سه روش مختلف شامل مدل‌های خطی عمومی، درخت رگرسیون و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده کردند. در این مطالعه مشخص شد که درخت رگرسیون مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی در این منطقه بوده است.

میائو و همکاران^۴ (۲۰۰۶) به منظور پیش‌بینی عملکرد ذرت به مدلی از شبکه عصبی با ۱۳ متغیر ورودی، ۱۳ نرون در لایه پنهان و یک متغیر خروجی دست یافتند. پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی

^۱ Coefficient of Determination

^۲ Root Mean Square Error

^۳ Park and Hwang

^۴ Miao et al.

مصنوعی در منطقه مورد مطالعه برای مقادیر R^2 و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۰۳۹ و ۰/۹۲ برای عملکرد کل و ۰/۹۲۱ و ۰/۰۴۲ برای عملکرد دانه بود که نشان دهنده دقت مناسب شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی است.

آلوارز (۲۰۰۹) اثر عوامل خاک و آب و هوا را بر روی عملکرد گندم در منطقه‌ی پامپاس کشور آرژانتین جهت دستیابی به یک مدل مناسب به منظور برآورد و پیش‌بینی تولید غلات مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. این منطقه به ۱۰ واحد جغرافیایی تقسیم شده و داده‌های ۱۰ فصل رشد مورد استفاده قرار گرفت (۲۰۰۴-۱۹۹۵). نتایج تحقیق ایشان حکایت از افزایش متوسط عملکرد ۴ درصدی در طول دوره‌ی مذکور داشته است. ایشان افزایش عملکرد مذکور را به دو عامل پیشرفت ژنتیکی و بهبود شیوه‌های مدیریتی منتسب نمودند. مقایسه‌ی عملکرد مشاهده‌ای با عملکرد پیش‌بینی شده از روش ANN، خطای کمتری از روش‌های رگرسیون نشان داد. وی نسبت بارندگی به تبخیر-تعرق پتانسیل محصول (R/CPET) را به عنوان مهم‌ترین فاکتور آب و هوایی مؤثر بر بازده این محصول معرفی نمود.

یونو و همکاران^۱ (۱۹۸۹) در تحقیقی که به منظور پیش‌بینی عملکرد ذرت با کمک سنجش از راه دور و شاخص‌های گیاهی مختلف انجام داده بودند، مشاهده کردند که دقت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی در تخمین عملکرد ذرت نسبت به مدل‌های پیش‌بینی تجربی بالاتر است.

سبحانی و عرب اسدی (۱۳۹۲) پژوهشی تحت عنوان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با استفاده از سیستم شبکه‌ی عصبی به منظور مدل‌سازی فرآیند پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی انجام دادند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که شبکه‌ی عصبی با ۶ نرون در لایه‌ی پنهان و تابع انتقال سیگموئید^۲ با توجه به داده‌های هواشناسی در منطقه‌ی مطالعاتی مدلی

^۱Yano et al.

^۲Sigmoid

خوب برای پیش‌بینی و برآورد این محصول زراعی می‌باشد و رگرسیون و خروجی داده‌های تست، صحتی بر این ادعا می‌باشد.

حسینی و همکاران (۱۳۸۶) پژوهشی به منظور توسعه یک مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان عملکرد گندم دیم بر اساس داده‌های هواشناسی در منطقه‌ی قروه استان کردستان انجام دادند. داده‌های هواشناسی مورد استفاده شامل میانگین، حداقل و حداکثر دما، میانگین درجه‌ی حرارت در نقطه‌ی شب، رطوبت نسبی، بارش ماهیانه و سالیانه، میانگین دمای سالانه، سرعت باد، تعداد روزهای یخبندان، بارانی و ابری، بیش‌ترین میزان بارندگی روزانه در حد فاصل سال‌های زراعی ۱۳۷۹-۱۳۶۸ بوده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در میزان تولید گندم در منطقه‌ی مذکور، مقدار و نحوه‌ی پراکنش بارش و میانگین دمای حداکثر روزانه، خصوصاً در ماه‌های میانی و انتهایی رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و با کوچک‌ترین تغییری در مقدار هر یک از آن‌ها، عملکرد محصول به میزان زیادی دست‌خوش تغییر شده است. نتایج تحقیق مذکور هم‌چنین حاکی از آن بود که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مقدار عملکرد گندم دیم را قبل از برداشت محصول با دقت بسیار خوب ($r = 0.99$) پیش‌بینی نموده است. نتایج روابط رگرسیونی نیز نشان داد که دو عامل بارندگی سالیانه و حداقل رطوبت نسبی هوا در خرداد ماه، $94/3$ درصد تغییرات عملکرد گندم دیم را در منطقه تبیین نموده است.

تاتاری (۱۳۸۷) نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند در پیش‌بینی عملکرد محسوب می‌شوند. به همین منظور مطالعه‌ای جهت بررسی امکان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در سطح استان خراسان با به کارگیری داده‌های اقلیمی و خاک‌شناسی و با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و هم‌چنین مقایسه‌ی قدرت پیش‌بینی این روش با مدل رگرسیون چندگانه خطی و مدل WOFOST، انجام داد. وی بیش از ۷۰ مدل ساده و ترکیبی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و ۲۱ مدل رگرسیون را مورد بررسی قرار داد. نتایج بررسی مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی نشان داد که عملکرد

گندم دیم به مجموع بارندگی در فصل رشد، بارندگی در ماه‌های آبان، فروردین، اردیبهشت و خرداد، بارندگی بهاره و مقدار آب قابل دسترس وابسته است. مقادیر $RMSE$ و R^2 در بهترین مدل شبکه‌ی عصبی به ترتیب ۷ و ۰/۸۷ به دست آمده است. مقایسه‌ی مدل‌های مختلف نشان داد در صورتی که مبنای مقایسه مقدار $RMSE$ باشد، شبکه‌ی عصبی و در صورتی که مبنای مقایسه مقدار R^2 باشد، مدل WOFOST، از دقت بیش‌تری برخوردار است.

نوروزی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی امکان استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت برآورد مؤلفه‌های عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های پستی و بلندی زمین پرداختند. از میان آرایش‌های متفاوت آزمایش شده، آرایش یک لایه‌ی میانی همراه با ۲۴ نرون و ۵۰۰۰ تکرار برای عملکرد کل، آرایش یک لایه‌ی پنهان همراه با ۱۷ نرون و ۷۰۰۰ تکرار برای عملکرد دانه و آرایش یک لایه‌ی میانی با ۱۳ نرون و ۱۰۰۰ تکرار برای وزن هزار دانه، مناسب‌ترین آرایش‌ها با دقت برآوردی مناسب بودند. مقادیر ضریب تعیین برای مؤلفه‌های عملکرد کل، عملکرد دانه و وزن هزار دانه به ترتیب برابر با ۰/۶۶، ۰/۷۲ و ۰/۴۱ به دست آمد. مقادیر میانگین مربعات خطا نیز برای مؤلفه‌های عملکرد کل، عملکرد دانه و وزن هزار دانه به ترتیب برابر با ۰/۰۴۳، ۰/۰۴۱ و ۰/۰۷۲ حاصل شد.

رحمانی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مدل بهینه بین عملکرد محصول جو با پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی را به دست آوردند. از بین مدل‌های تهیه شده، مدل با ۵ ورودی شامل متوسط دمای مینیمم، تعداد ساعات آفتابی، شاخص ناهنجاری بارش، شاخص ترانسو تغییر یافته و شاخص استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه مربوط به ایستگاه تبریز با دوره‌ی آماری ۳۰ سال به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد جو در منطقه شناخته شد. از بین شاخص‌های مطالعه شده، شاخص‌های نگوین، ترانسو تغییر یافته، استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه و ناهنجاری بارش بیش‌ترین هم‌بستگی را با عملکرد نشان دادند. بر اساس نتایج این تحقیق، مدل

شبکه‌ی عصبی با ساختار D-2-1 و اختصاص مقدار 0/9 برای ضریب تعیین به عنوان مدلی قابل اعتماد به منظور پیش‌بینی عملکرد محصول توصیه شده است.

شایگانی سلطان‌پور و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به مقایسه عملکرد مدل رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی عملکرد محصول گندم دیم در منطقه اردبیل پرداختند. برای برآورد عملکرد گندم دیم از شبکه‌های چندلایه‌ی پس‌انتشار برگشتی با الگوریتم‌های یادگیری لورنبرگ-مارکوات، الگوریتم گرادیان نزولی با مومنتوم و الگوریتم گرادیان نزولی مقیاسی برای آموزش الگوها استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبکه‌ی عصبی با الگوریتم لورنبرگ-مارکوات با ساختار ۱-۴-۶ با تابع آستانه‌ی تانژانت سیگموئید در مقایسه با توابع دیگر نتایج بهتری را ارائه کرد. به طوریکه ضریب هم‌بستگی در حدود 0/۸۳۹ به دست آمد. این در حالی است که ضریب تعیین بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی در روش رگرسیونی در حدود 0/۸۱۱ به دست آمد.

نوروزی (۲۰۰۹) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی غرب ایران استفاده نمود و بیان داشت که شاخص انتقال رسوب مهم‌ترین عامل توپوگرافی بر میزان عملکرد این گیاه بوده است.

یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹) پژوهشی جهت تعیین میزان اثر عناصر اقلیمی بر عملکرد گندم دیم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند انجام دادند. جهت ارزیابی دقت مدل بر اساس میزان عملکرد پیش‌بینی شده شاخص میزان تطابق (d) محاسبه شد که نتایج نشان داد میزان دقت مدل 0/۸۲ بوده است. ایشان دریافتند در بین عوامل ورودی بارش بالاترین نقش را در تعیین عملکرد گندم داشته است. دومین پارامتر مؤثر مقدار تبخیر و تعرق بوده است. از آنجا که در کشت دیم، بارش منطقه تنها منبع تأمین کننده‌ی نیاز آبی گیاه است، لذا نتیجه گرفتند که عملکرد گندم دیم شدیداً با بیلان آبی سالیانه منطقه مرتبط بوده است. چرا که بارش و تبخیر و تعرق دو مؤلفه‌ی اصلی در بیلان آب یک منطقه می‌باشند. علاوه بر دو عنصر اقلیمی فوق تنش سرما، تنش

گرما، دما و روزهای بارانی نیز در میزان تغییر عملکرد دیم مؤثر بوده که نقش تعداد روزهای بارانی از همه کمتر بوده است.

شعبانی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی به پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه‌ی سیسب استان خراسان شمالی پرداختند. ساختارهای به دست آمده به وسیله‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای مؤلفه‌های عملکرد گندم به ترتیب دارای ۱۶ گره در لایه‌ی ورودی و یک گره در لایه‌ی خروجی می‌باشند. تعداد گره لایه میانی برای مؤلفه‌های عملکرد کل و عملکرد دانه، ۲۰، هم-چنین تکرار بهینه ۱۰۰۰ و کاراترین تابع انتقال Tansig بود. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌توانند ۹۲ درصد تغییرات در عملکرد کل و عملکرد دانه‌ی گندم را توضیح دهند.

نتیجه پژوهش جلالی و صادقی‌زاده (۱۳۹۱) در ارزیابی توان شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد گندم در برخی اراضی زراعی خراسان شمالی، با اختصاص ۰/۵۶ برای ضریب تعیین حکایت از مقدار دقت متوسط داشت. ایشان علت این امر را این‌گونه توجیه نمودند که در این مدل‌سازی تنها از داده‌های فیزیکی خاک برای تخمین عملکرد استفاده شده است و از سایر عوامل خاکی مانند غلظت-های عناصر در خاک و هم‌چنین عوامل محیطی مثل شدت نور، درجه حرارت و شیب زمین، با فرض یکسان بودن برای تیمارها صرف نظر شده است.

باقری و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با هدف تعیین حداقل پارامترهای ورودی مورد نیاز برای تعیین عملکرد ذرت علوفه‌ای به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی و نیز کاربرد این نوع شبکه‌ها برای پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی به این نتیجه رسیدند زمانی که سه پارامتر آب آبیاری، کود نیتروژنی و درجه روز رشد به عنوان ورودی مدل به شبکه‌ی عصبی معرفی شوند، این مدل قادر به پیش‌بینی عملکرد ماده خشک ذرت علوفه‌ای با دقت بالایی می‌باشد. بهترین

اعتبارسنجی این مدل، در گام دهم آموزش و با میانگین مربعات خطای $0/0032$ حاصل شد. هم‌چنین نتایج آنالیز حساسیت حاکی از آن بود که درجه روز رشد با ضریب حساسیت $9/96$ ، مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای می‌باشد و پس از آن میزان آب آبیاری با ضریب حساسیت $2/07$ قرار می‌گیرد. افزودن پارامترهای تشعشع خورشیدی و رطوبت نسبی متوسط به ورودی‌ها سبب کاهش میزان میانگین مربعات خطا یا به عبارتی افزایش دقت شبیه‌سازی در روند آموزش شبکه می‌شوند، اما افزودن پارامتر سرعت باد تأثیری در بهبود روند آموزش شبکه ندارد.

زارع ایبانه (۱۳۹۱) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و زمین آمار در برآورد توزیع مکانی عملکرد گندم دیم و آبی (مطالعه‌ی موردی: خراسان رضوی) انجام داد. بدین منظور نخست مشخصات طول و عرض جغرافیایی هفده شهرستان مورد مطالعه، به عنوان ورودی‌های هر دو روش تعریف شد. خروجی هر دو روش نیز مقدار عملکرد گندم آبی و دیم هر شهرستان بود. نتایج نشان دادند در بین روش‌های زمین آمار، روش کریجینگ ساده با نیم تغییر نمای دایره‌ای در پیش‌بینی عملکرد گندم آبی با NRMSE برابر با $0/12$ و روش کریجینگ معمولی با نیم تغییر نمای نمایی و NRMSE برابر با $0/348$ در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم مناسب بودند. مقایسه‌ی نتایج زمین آمار و شبکه‌ی عصبی مصنوعی بیانگر توانایی بالای شبکه‌ی عصبی در مقابل روش زمین آمار کریجینگ بود، به طوری که در شبکه‌ی عصبی مصنوعی عملکرد گندم دیم و آبی به ترتیب با 46 و 42 درصد خطای کم‌تر نسبت به روش زمین آمار برآورد شد. هم‌چنین محاسبه‌ی شاخص ویلموت نشان داد دقت شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم، 81 درصد و در گندم آبی 65 درصد بود. در حالی که شاخص ویلموت برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم و آبی در روش زمین آمار، به ترتیب 53 و 50 درصد بود.

اکبرپور و همکاران (۱۳۹۲) مطالعه‌ای با هدف توسعه و ارزیابی کارایی مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در محاسبه‌ی عملکرد محصول گیاه زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی انجام دادند. ایشان به منظور

ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب هم‌بستگی، میانگین قدر مطلق خطا و میانگین مربعات خطا استفاده کردند. شبکه‌ی عصبی پیشنهادی با داشتن پنج لایه‌ی پنهان و تعداد ۵ نرون در هر لایه با ضریب هم‌بستگی ۰/۸، میانگین قدر مطلق خطا ۰/۶۹ و میانگین مربعات خطا ۰/۶۶ از دقت مناسبی در تخمین عملکرد گیاه زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی برخوردار بود. هم‌چنین تحلیل حساسیت مدل‌ها نشان داد که عملکرد محصول بیش‌ترین حساسیت را به عامل بارندگی سپس دما و در نهایت رطوبت دارد. ایشان نتیجه گرفتند که کاربرد شبکه‌ی عصبی معرفی شده می‌تواند زمینه‌ی ارتقای عملکرد محصول زعفران را در شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه (شهرستان بیرجند) فراهم نماید.

گلابی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده شبکه‌های عصبی مصنوعی میزان عملکرد نیشکر را در مزارع کشت و صنعت نیشکر خوزستان شبیه‌سازی و درصد تاثیر پارامترهای ورودی بر خروجی (عملکرد محصول) را تعیین کردند. نتایج بیانگر توانایی مناسب شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی میزان عملکرد با دقتی بیش از ۹۰ درصد بوده است. هم‌چنین نتایج نشان دادند که از میان پارامترهای ورودی هدایت الکتریکی آب و سرعت باد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر را بر میزان محصول تولیدی دارند. به طور کلی پارامترهای مربوط به آب در مقایسه با پارامترهای هواشناسی تاثیر بیش‌تری بر میزان عملکرد گیاه نیشکر دارا بوده‌اند.

ملاعزای (۱۳۹۲) تحقیقی با هدف تعیین مدلی برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم پیش از برداشت با استفاده از پارامترهای اقلیمی انجام داد. در این بررسی برای تهیه‌ی مدل‌های پیش‌بینی عملکرد گندم از روش‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که در روش رگرسیون در کلیه‌ی شهرهای مورد بررسی، اضافه شدن تعداد پارامترها با ضریب هم‌بستگی به مدل باعث افزایش دقت مدل می‌شود. در این تحقیق بهترین مدل رگرسیونی در کلالة با ۱۰ پارامتر به دست آمد که این مدل در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار و ریشه میانگین مربعات خطای آن برابر ۱۴ کیلوگرم در هکتار و ضریب تعیین مدل برابر یک می‌باشد. روش‌های مختلف

شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی عملکرد گندم در مقایسه با روش‌های رگرسیونی از ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تری برخوردار است و از بین پارامترهای هواشناسی مورد بررسی مجموع تعداد روزهای بارندگی دوره‌ی رشد، مجموع میزان بارندگی دوره‌ی رشد، بارندگی فروردین، شاخص خشکسالی مؤثر فروردین و میانگین بیشینه‌ی دمای هوای فروردین به ترتیب از مهم‌ترین عناصر اقلیمی تاثیرگذار در عملکرد گندم در روش شبکه‌ی عصبی در استان گلستان بوده است.

امام‌قلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی دو روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل رگرسیون چندگانه (MLR) را به منظور برآورد عملکرد دانه کنجد از روی ویژگی‌های گیاهی شامل زمان گلدهی (روز)، ارتفاع بوته (سانتی متر)، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه (g) و تعداد دانه در کپسول که به سادگی قابل اندازه‌گیری می‌باشد به کار گرفتند. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی با $RMSE = 0.339$ (تن در هکتار) و ضریب تعیین $R^2 = 0.19$ ، بهتر از مدل رگرسیون چندگانه با $RMSE = 0.346$ (تن در هکتار)، و $R^2 = 0.178$ می‌باشد. آنالیز حساسیت برای تعیین کاراکتری که بیش‌ترین و کم‌ترین اثر را بر عملکرد دانه کنجد دارد، نشان داد که به ترتیب تعداد کپسول در بوته و زمان گلدهی از ۱۰۰ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین اثرات را در عملکرد دانه کنجد دارند.

سجادی و صبوری (۱۳۹۴) عملکرد محصول کلزای دیم در منطقه‌ی گنبد استان گلستان را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۱ سال زراعی (۱۳۷۷-۱۳۸۸) پیش‌بینی کردند. ورودی‌های شبکه‌ی عصبی میانگین بارندگی هفتگی، میانگین درجه‌ی حرارت هفتگی، میانگین رطوبت نسبی هفتگی و میانگین تعداد ساعات آفتابی هفتگی و خروجی آن‌ها میزان عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار بود. از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با الگوریتم آموزش پس انتشار لورنبرگ-مارکواریت^۱ برای پیش‌بینی عملکرد استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که شبکه‌ی عصبی مصنوعی با ساختار ۱-۲۰-۱۳ دارای کم‌ترین مقدار RMSE برابر با

^۱Levernberg - Marquardt

۱۰۱/۲۳۵ و بیشترین مقدار R^2 برابر با ۰/۹۹۷ در میان ساختارهای مختلف شبکه‌ی عصبی به کار گرفته شده بود. از نظر ایشان این نتایج نشان دهنده توانایی بالای شبکه‌ی عصبی آموزش دیده در پیش‌بینی عملکرد محصول کلزا در منطقه مورد مطالعه است.

شیردلی و توسلی (۱۳۹۴) پژوهشی در منطقه‌ی تربت حیدریه با هدف پیش‌بینی عملکرد و کارایی مصرف آب زعفران با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که شبکه‌ی عصبی پیشنهادی با داشتن ۲ لایه میانی، ۸ نورون و ضریب تعیین ۰/۹۷ برای عملکرد و ۱ لایه پنهان، ۷ نورون و ضریب تعیین ۰/۹۰ برای کارایی مصرف آب، برازش خوبی برای این دو صفت داشت. هم‌چنین مطابق با شاخص‌های آماری NRMSE و MSE در مدل پیشنهادی که به ترتیب برابر بود با ۲/۷۸ درصد و ۰/۰۴۰ برای عملکرد و ۵/۴۱ درصد و ۰/۰۰۷۳ برای کارایی مصرف آب به دست آمد، بالاترین دقت برای پیش‌بینی صفات فوق مشاهده شد. تحلیل حساسیت مدل‌ها نیز نشان داد که عملکرد و کارایی مصرف آب محصول زعفران، بیشترین حساسیت را به عامل آبیاری، سپس بارندگی و در نهایت ساعات آفتابی دارد. هم‌چنین با بررسی پارامترهای هواشناسی موجود مشخص شد که افزودن پارامترهای رطوبت نسبی و دما به ورودی‌های مدل تأثیری در بهبود روند آموزش شبکه ندارد و دقت شبیه‌سازی مدل افزایش چندانی را نشان نمی‌دهد. ایشان خاطر نشان ساختند که کاربرد شبکه‌ی عصبی پیشنهادی در این تحقیق می‌تواند زمینه‌ی ارتقاء محصول زعفران را در منطقه تربت حیدریه فراهم نماید.

فصل سوم

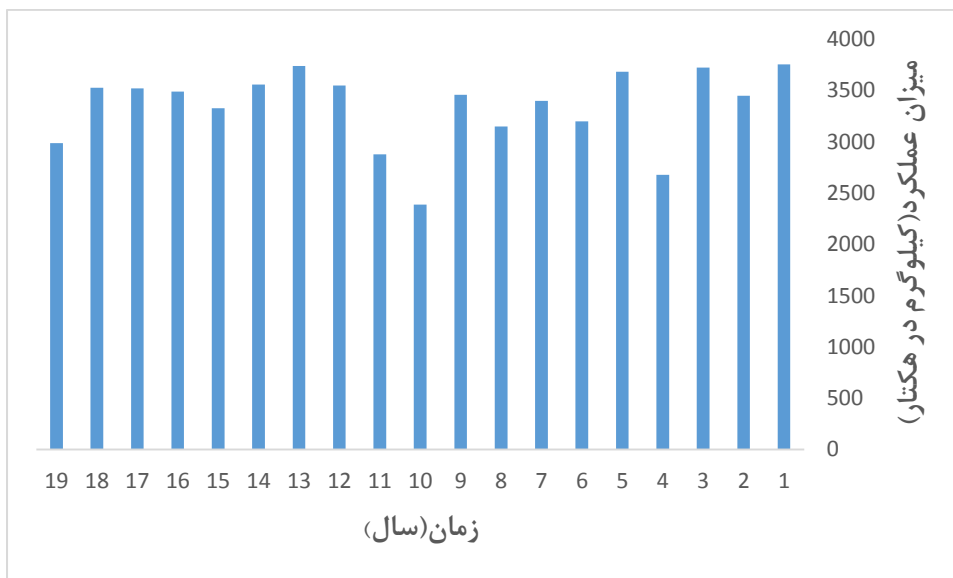
مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

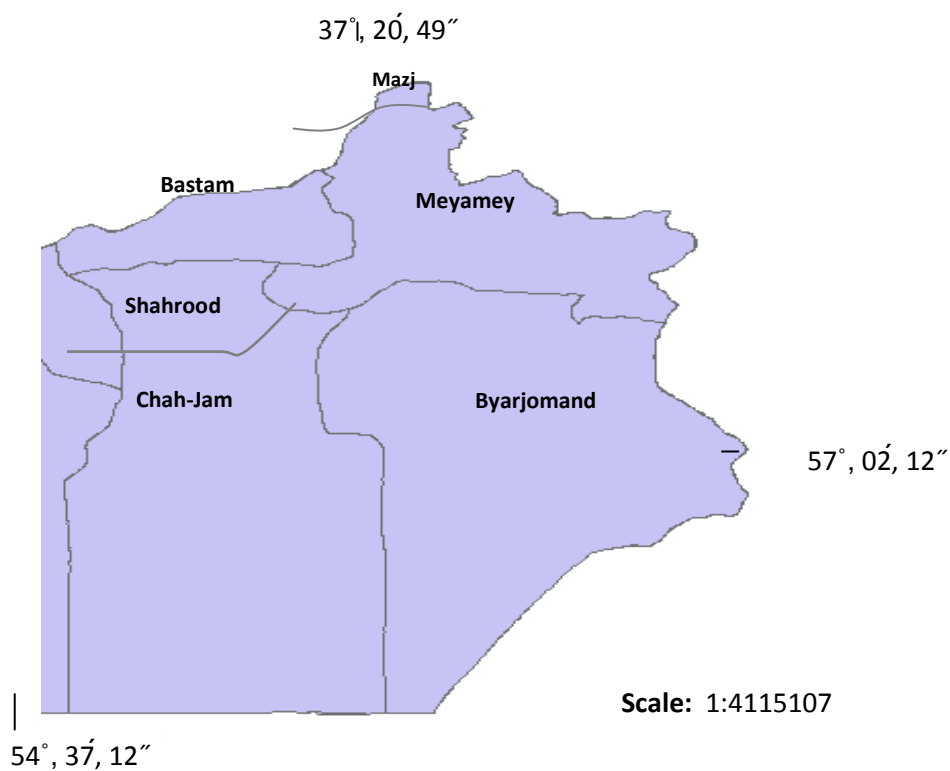
شهرستان شاهرود با مساحت ۵۱۴۱۹ کیلومتر مربع در دامنه‌ی جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده و از شمال به استان گلستان، از شرق به استان خراسان رضوی، از جنوب به استان اصفهان و یزد و از غرب به شهرستان دامغان محدود می‌گردد. این شهرستان در ۳۶°۲۵' عرضی و ۵۴°۵۸' طولی و ارتفاع ۱۳۸۰ متر از دریا واقع شده است. متوسط درجه‌ی حرارت در این شهرستان ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۱۸۰ میلی‌متر است.

اقلیم منطقه‌ی مذکور بر اساس روش‌های کمی از نوع خشک و نیمه‌خشک سرد می‌باشد. اصولاً مناطق خشک و نیمه‌خشک در توزیع بارندگی نوسان زیادی دارند و تغییر از سالی به سال دیگر باعث نوسان شدید در میزان محصولات می‌گردد. این شهرستان به دلیل شرایط آب و هوایی از این پدیده مصون نبوده است، بنابراین با بحران شدید آب همراه است. لذا کنترل و مدیریت منابع در این منطقه بسیار حائز اهمیت است. آگاهی از میزان عملکرد محصول می‌تواند در تصمیم‌گذاری‌های سیاسی-کشاورزی منطقه نقش مهمی داشته باشد. به نحوی که مقایسه‌ی میزان عملکرد در منطقه مورد مطالعه با مقادیر استاندارد محلی و کشوری می‌تواند سیاست‌های الگوی کشت منطقه را تحت تأثیر خود قرار دهد.

سطح زیر کشت گندم ۵/۷۱ میلیون هکتار در کشور است که از این مقدار ۳/۸ میلیون هکتار مربوط به کشت دیم و ۱/۹۱ میلیون هکتار کشت آبی می‌باشد. از مجموع ۵/۷۱ میلیون هکتار سطح زیر کشت سالانه ۱۲ میلیون تن گندم تولید می‌شود، که ۸ میلیون تن کشت آبی و ۴ میلیون تن را کشت دیم به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت گندم در شهرستان شاهرود ۶۳۰۰ هکتار است، که از این مقدار ۴۲۰۰ هکتار بذر گندم آبی و ۲۱۰۰ هکتار بذر گندم دیم کشت می‌شود (آمارنامه کشاورزی، ۹۴-۹۳). شکل (۱-۳) روند تغییرات عملکرد گندم را در شهرستان شاهرود طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۹۳ نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) روند عملکرد گندم طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۷۵



شکل (۲-۳) موقعیت جغرافیایی شهرستان شاهرود

۲-۳- داده‌های مورد نیاز

این پژوهش به منظور بررسی و ارزیابی ارتباط عوامل مختلف هواشناسی بر عملکرد محصول گندم آبی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در شهرستان شاهرود طراحی گردید، بنابراین از میانگین متغیرهای هواشناسی در بازه زمانی سالانه بهره‌گیری شد. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شاهرود واقع در طول جغرافیایی $55^{\circ} 54'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 22'$ شمالی و ارتفاع $1325/2$ متر از سطح دریا، طی سال‌های $1375-1393$ استفاده شد. حداقل مطلق دمای روزانه (T_{\min})، میانگین حداقل دمای روزانه (\bar{T}_{\min})، حداکثر مطلق دمای روزانه (T_{\max})، میانگین حداکثر دمای روزانه (\bar{T}_{\max})، متوسط دما (\bar{T})، حداقل مطلق رطوبت نسبی (RH_{\min})، میانگین حداقل رطوبت نسبی (\overline{RH}_{\min})، حداکثر مطلق رطوبت نسبی (RH_{\max})، میانگین حداکثر رطوبت نسبی (\overline{RH}_{\max})، متوسط رطوبت نسبی (\overline{RH})، مجموع بارندگی (P)، حداکثر سرعت باد (U)، مجموع حداکثر ساعات آفتابی (S) و مجموع تعداد روزهای یخبندان (D) مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی مورد استفاده بودند. این ایستگاه از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های کشور (1325) و اولین ایستگاه تأسیس شده در استان سمنان می‌باشد، که آماری بالغ بر 60 سال دارد.

داده‌های سری زمانی عملکرد گندم آبی و عمق آب آبیاری مربوط به 19 سال زراعی ($1375-1393$) از سازمان جهادکشاورزی شهرستان شاهرود اخذ گردید. سپس نرمال بودن تمامی پارامترهای هواشناسی، عمق آب آبیاری و عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به محدوده‌ی توابع محرک، انتقال متغیرهای خروجی و ورودی به بازه‌ی مناسب با یک توزیع لازم به نظر می‌رسد. مهم‌ترین هدف از این انتقال، تصحیح پخش متغیرهای ورودی و خروجی به نحوی است که خطای مدل‌سازی کم شود. با توجه به شکل و رفتار توابع محرک، زمانی که ورودی‌ها در محدوده‌ی $(0, 1)$ یا $(-1, 1)$ قرار می‌گیرند، میزان تغییرات در خروجی این توابع به ازای تغییرات ورودی بهتر نمایان شده و سرعت آموزش و همگرایی بیش‌تر می‌گردد (نورانی و سیاح‌فرد، 1390).

بنابراین در این مطالعه قبل از وارد کردن داده‌ها به شبکه، مقیاس‌دهی روی داده‌ها اعمال شد تا تمامی داده‌ها به صورت انتخابی بین (۱، ۰) قرار بگیرند.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، ۷۰ و ۳۰ درصد از داده‌ها به ترتیب برای آموزش و صحت‌سنجی ساختارهای مختلف شبکه‌ی عصبی مصنوعی در نظر گرفته شدند.

۳-۳- محاسبه‌ی تبخیر- تعرق پتانسیل

به خارج شدن آب از سطح خاک مرطوب تبخیر و از سطح روزنه‌های برگ گیاه تعرق گفته می‌شود و از آنجا که تفکیک این دو از یکدیگر در سطح مزرعه کار آسانی نیست، لذا در هم ادغام شده و به آن تبخیر- تعرق گفته می‌شود. از طرف دیگر تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه برابر نیاز آبی گیاه در نظر گرفته می‌شود که برآورد آن در مواردی مانند برنامه‌ریزی آبیاری، توازن هیدرولوژیکی، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و پیش‌بینی میزان عملکرد محصول ضروری است.

مقدار تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) را می‌توان بصورت مستقیم با استفاده از لایسی‌متر اندازه‌گیری نمود و یا از روابط تجربی ارائه شده همچون پنمن- مونتیت محاسبه نمود. گرچه لایسی‌متر اندازه‌گیری نسبتاً دقیقی از میزان تبخیر- تعرق ارائه می‌دهد اما در عمل، کارگذاری آن هزینه‌های زیادی به دنبال داشته و صرفه اقتصادی آن کم است. تا به حال روش‌های زیادی مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای شرایط مختلف جغرافیایی و اقلیمی با هدف محاسبه‌ی ET_0 تدوین شده است. این روش‌ها گستره‌ای از معادلات پیچیده چون روش پنمن-مونتیت که به داده‌های هواشناسی زیادی نیاز دارند تا معادلات ساده‌تر چون روش‌های بلانی-کریدل^۱ (۱۹۵۰) و هارگریوز-سامانی^۲

^۱Blaney and Criddle

^۲Hargreaves and Samani

(۱۹۸۲) که به داده‌های کمتری نیاز دارند را دربر می‌گیرد. محققین بسیاری در سراسر دنیا روش فائو- پنمن- مونتیث را در مقایسه با لایسی‌متر به عنوان دقیق‌ترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی نموده‌اند، بنابراین در این تحقیق نیز از روش فائو- پنمن- مونتیث به عنوان روش مبنا مورد استفاده قرار گرفته است (ستاری و همکاران، ۱۳۹۲).

در ماه مه سال ۱۹۹۰ میلادی، سازمان جهانی خوار و بار و کشاورزی هیأت مشورتی از کارشناسان و محققان را با همکاری کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان جهانی هواشناسی^۱ تشکیل داد تا ضمن بازنگری روش‌های این سازمان در زمینه‌ی نیاز آبی گیاهان، روش‌ها را تجدید نظر و روزآمد کنند. در گرده‌مایی کارشناسان، بر استفاده از روش ترکیبی پنمن-مونتیث به عنوان یک روش استاندارد روزآمد برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع توافق و روش‌هایی نیز، برای محاسبه‌ی پارامترهای مختلف پیشنهاد شد. این روش، کاستی‌های روش پیشین پنمن فائو را رفع و مقادیر آب مصرفی گیاهان را به داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح جهان نزدیکتر کرد. معادله پنمن-مونتیث فائو به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی معرفی می‌شود.

با استفاده از معادله‌ی اولیه پنمن-مونتیث و معادله‌های مقاومت آئروودینامیک و مقاومت سطحی، تبخیر-تعرق مرجع با روش پنمن-مونتیث فائو از رابطه (۱-۳) برآورد می‌شود (FAO، ۵۶).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (1-3)$$

که در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

^۱World Meteorological Organization

ET_0 : تبخیر-تعرق مرجع (میلی متر بر روز)

R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز)

G: شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز)

T: میانگین روزانه‌ی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (درجه سلسیوس)

u_2 : میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متر (متر بر ثانیه)

e_s : فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)

e_a : فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)

$e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)

Δ : شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه‌ی سلسیوس)

γ : ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس).

۳-۴- محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاهی

تبخیر و تعرق گیاه طبق دستورالعمل شماره ۲۴ سازمان جهانی خوار و بار کشاورزی، توسط گیاه مرجع سنجیده می‌شود. به این ترتیب که برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر، در ماه یا دوره حداکثر آبیاری مورد نیاز و یا در هر یک از ماه‌های فصل رشد، ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع در آن دوره محاسبه و سپس در ضریب گیاهی که متناسب با نوع و زمان رشد گیاه انتخاب شده است ضرب می‌شود.

پس از محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از ضریب گیاهی، تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مورد نظر (گندم) با استفاده از معده (۲-۳) محاسبه شد و برابر نیاز آبی آن در نظر گرفته شد.

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2-3)$$

به طوری که ET_c : تبخیر-تعرق گندم و K_c : ضریب گیاهی می باشد.

مقدار K_c برای مراحل مختلف رشد با توجه به اقلیم و شرایط منطقه مورد مطالعه محاسبه شد، سپس مقادیر ET_c به صورت روزانه در طول فصل رشد محاسبه شد و با میانگین گیری از آنها برای هر سال یک عدد به دست آمد.

۳-۵- معنای شبکه‌های عصبی مصنوعی

ایده اصلی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در سال ۱۹۴۰ توسط وان مک کلوت^۱ و والتر پیتز^۲ با الگو گرفتن از عملکرد نرون‌های عصبی مغز انسان مطرح شد. آن‌ها نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه کنند. نخستین کاربردهای عملی شبکه عصبی معرفی شبکه‌های پرسپترون توسط فرانک روزنبلات در سال ۱۹۵۸، طرح شبکه عصبی تطبیقی آدلاین توسط برنارد ویدرو ۱۹۶۰ بود. تا دهه ۸۰ به علت نبود کامپیوترهای با سرعت بالا جهت پیاده‌سازی، تحقیق در مورد شبکه‌های عصبی روندی کند داشت (منهاج، ۱۳۷۹).

فرضیات مهم در مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی از این قرار است:

^۱Waren Mc-Culloch

^۲Walter Pitts

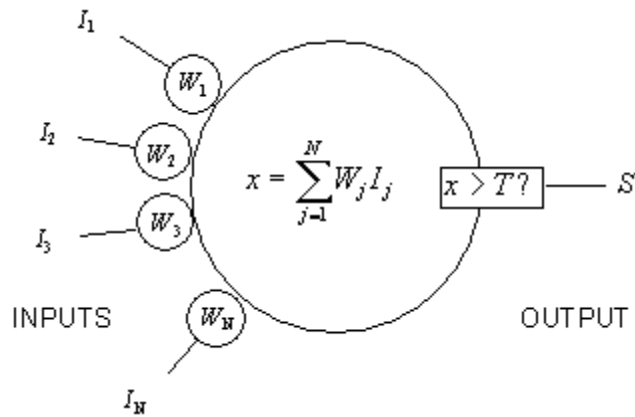
۱. داده پردازشی اطلاعات در اجزای ساده به نام نرون صورت می‌گیرد.

۲. اطلاعات بین نرون‌ها از طریق ارتباطات آن‌ها رد و بدل می‌شود.

۳. هر یک از این رابطه‌ها دارای وزن (w) مختص خود هستند که در مقدار اطلاعات رد و بدل شده با سایر نرون‌ها ضرب می‌شوند و به مرور زمان این وزن‌ها تنظیم می‌گردند. هر یک از نرون‌ها برای محاسبه‌ی خروجی خود، دارای یک تابع عملیاتی است که معمولاً تابعی غیرخطی است و روی ورودی‌ها اعمال می‌شود.

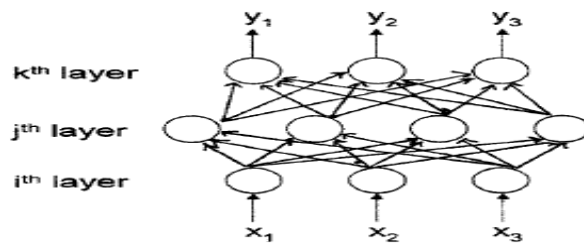
نرون یا گره، کوچک‌ترین واحد پردازش اطلاعات است. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز مجموعه‌ای از نرون‌های متصل به هم می‌باشند، که به هر مجموعه از این نرون‌ها یک لایه گفته می‌شود (منهاج، ۱۳۷۷). شبکه‌ی عصبی مصنوعی بدون توجه به نوع مسئله، از یک ساختار مشابه پیروی می‌نماید. یک شبکه‌ی عصبی معمولاً از سه لایه‌ی ورودی، میانی و خروجی تشکیل شده است. نرون‌های ورودی سیگنال‌های خارجی را که به شبکه تغذیه می‌شود، دریافت می‌کنند. این سیگنال‌ها به وسیله وزن‌هایی تعدیل می‌شوند. مطابق این تعدیلات، در هر نرون خروجی، ورودی‌های موزون جمع زده می‌شوند و سپس این مجموع از طریق یک تابع فعال‌سازی^۱ عبور داده می‌شوند. خروجی تابع فعال‌سازی، خروجی مورد نظر است (شاهنوشی و همکاران، ۱۳۸۸). این ساختار در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. ورودی‌ها به وسیله x ، وزن‌ها به وسیله w و خروجی با y نشان داده شده‌اند.

^۱Transfer Function



شکل (۳-۳) ساختار نرون مصنوعی

این شکل تنها ورودی‌های یک نرون خروجی خاص را نشان می‌دهد. هر ورودی می‌تواند به بیش از یک نرون خروجی وارد شود، و هر خروجی ممکن است ورودی مجموعه دیگری از نرون‌های خروجی جدید شود. در این حالت، نرون‌ها در لایه‌ی میانی نرون‌های پنهان نامیده می‌شود. توضیحات ارائه شده یک شبکه‌ی پیشخور^۱ را معرفی می‌نماید. وقتی یک شبکه‌ی پیشخور نرون‌های پنهان را شامل شود، شبکه پرسپترون چند لایه^۲ نامیده می‌شود (شاهنوشی و همکاران، ۱۳۸۸). شکل (۳-۳) یک شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان را نمایش می‌دهد.



شکل (۴-۳) شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان

^۱Feed Forward
^۲Multi Layer Perceptron

شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش می‌بینند که مسأله‌ای را حل کنند و در واقع برنامه‌ریزی قبلی نمی‌شوند. در واقع تنظیم وزن‌های ورودی هر نرون عصبی باعث یادگیری کل شبکه می‌شود که این تنظیم بر اساس مدل پیاده‌سازی شده می‌تواند با ناظر^۱ یا بدون ناظر^۲ صورت پذیرد. در یادگیری با ناظر فرض بر این است که در مرحله‌ی تکرار الگوریتم یادگیری، جواب مطلوب سیستم یادگیرنده از قبل آماده است، درحالی که در یادگیری بدون ناظر جواب مطلوب برای سیستم یادگیرنده موجود نیست. مدل‌سازی با سیستم‌های غیرخطی، مقاوم بودن و تحمل آسیب‌ها، قابل یادگیر بودن یعنی توانایی تنظیم وزن‌های شبکه، قابلیت تعمیم، سرعت بالا به دلیل پردازش‌های موازی، قابلیت سازگاری با تغییرات سیستم از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند.

در مرحله‌ی معماری شبکه یا همان انتخاب ساختار شبکه گزینش تعداد و چگونگی قرار گرفتن لایه‌ها و همچنین وزن‌های اتصال شبکه به عهده‌ی فرد طراح می‌باشد. آموزش مدل‌های شبکه‌ی عصبی بر مبنای سعی و خطا پایه‌ریزی شده، به طوری که آرایش بهینه شبکه با تغییر لایه‌های میانی و نرون آن، نوع تابع محرک، الگوریتم آموزشی و تعداد تکرار مرحله‌ی آموزش به منظور محاسبه‌ی عامل خروجی به دست می‌آید. مطلوب بودن لایه‌ی میانی را می‌توان با ایجاد رگرسیون خطی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری و در قالب شاخص ضریب هم‌بستگی و میزان خطای شبکه ارزیابی کرد (اکبرپور وهمکاران، ۱۳۹۲).

لایه‌ی ورودی فقط اطلاعات را دریافت کرده و مشابه متغیر مستقل عمل می‌کند، بنابراین تعداد نرون‌های لایه‌ی ورودی بر اساس طبیعت مسأله تعیین می‌شود و بستگی به تعداد متغیرهای مستقل دارد. لایه‌ی خروجی نیز همانند متغیر وابسته عمل نموده و تعداد نرون‌های آن بستگی به تعداد متغیرهای وابسته دارد. اما برخلاف لایه‌های ورودی و خروجی، لایه میانی بیانگر هیچ مفهومی نمی‌باشد، بلکه وظیفه تنظیم وزن‌ها و یادگیری را بر عهده داشته و تنها یک نتیجه میانی در فرآیند

^۱Supervised - Learning

^۲Unsupervised - Learning

محاسبه ارزش خروجی می‌باشد. از آنجایی که دقت تمامی مدل‌ها تابعی از ورودی‌های آنها می‌باشد، شناسایی پارامترهای ورودی مؤثر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و مدل‌هایی که از پارامتر ورودی کم‌تری استفاده کرده و قادر به ارائه نتایج نزدیک‌تری به واقعیت هستند، مطلوب می‌باشند (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). قدرت روش استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به علت اینکه می‌توان به صورت هم‌زمان تعداد زیادی از پارامترها را به عنوان ورودی مدل تعریف کنیم بسیار بالاتر از روش‌های سری زمانی می‌باشد.

۳-۶- معرفی نرم‌افزار Qnet

در حال حاضر توجه زیادی به سیستم‌های مدل‌سازی شبکه‌ی عصبی و کارایی آنها برای حل مسائل مدل‌سازی داده‌های در دسترس وجود دارد. نرم‌افزارهای متعددی از جمله NEUROSOLUTION، Neuro XL و MATLAB در زمینه‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارد. در این تحقیق از نرم‌افزار Qnet استفاده شده است. نرم‌افزار Qnet به صورتی طراحی شده است که توانایی انجام کارهای تخصصی و مبتدی با یک نرم‌افزار قدرتمند برای تولید و تکمیل شبکه‌های عصبی از نوع پس انتشار خطا^۱ برای حل مسائل روزمره را دارا می‌باشد. این قاعده مقدار تابع خطا را محاسبه کرده و آن را به عقب از یک لایه به لایه‌ی پیشین آن انتشار می‌دهد، ضرایب وزنی هر واحد جداگانه میزان می‌شود و بدین صورت میزان خطا کاهش می‌یابد. از مزیت‌های این شبکه‌ی عصبی می‌توان به سرعت بالا، روش‌های آموزش متعدد، قسمت کمک^۲ نرم‌افزار برای تمامی مدل‌ها، طراحی شبکه سریع و آسان، وجه مشترک آسان داده‌ها^۳، مجموعه تست‌های خودکار برای آنالیز مدل و آموزش اضافی، آنالیز متقابل کامل فرآیند یادگیری با استفاده از گراف‌های شبکه و ساختار قدرتمند خود درشت‌نمایی آن،

^۱Back Propagation

^۲Help

^۳Easy Data Interfacing

ابزار پیشرفته آنالیز شبکه، توانایی ذخیره‌ی خودکار مدل شبکه در طول آموزش، قسمت کنترل سرعت یادگیری برای خودکار کردن آموزش شبکه، الگوریتم‌های آموزش متعدد و... اشاره نمود. تمام این خصوصیات Qnet را به عنوان قدرتمندترین و راحت‌ترین نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی برای استفاده تبدیل کرده است.

۳-۷- اجرا و سامان‌دهی Qnet ۲۰۰۰

برای طراحی یک شبکه، مدل‌کننده باید اطلاعات اصلی شامل تعداد نرون‌های ورودی، تعداد لایه‌های میانی (۱ الی ۸) تعداد نرون‌های هر لایه‌ی میانی، تعداد نرون‌های خروجی و تابع انتقال مورد استفاده در هر لایه طراحی را تعیین نماید (راهنمای نرم‌افزار Qnet ۲۰۰۰).

۳-۸- توابع انتقال مورد استفاده در Qnet ۲۰۰۰

توابع انتقال گره، در ایفای هدف کنترل شدت سیگنال خروجی گره نقش دارند. این توابع شدت صوت خروجی را بین صفر و یک قرار می‌دهند. ورودی تابع انتقال، حاصل ضرب نقطه‌ای سیگنال‌های ورودی تمام نرون‌ها و بردار وزن گره‌ها می‌باشد. Qnet دارای چهار تابع انتقال سیگموئید با رابطه‌ی ریاضی $(1/(1+\exp(-x)))$ ، گوس^۱ با تابع ریاضی $(\exp(-x^2))$ ، تانژانت هیپربولیک $(\tanh(x))$ ، سکانت هیپربولیک $(\operatorname{sech}(x))$ می‌باشد. توابع در Qnet برای هر لایه به طور جداگانه قابل انتخاب هستند و می‌توان شبکه‌هایی با انواع مختلف توابع ترکیبی تولید کرد.

۳-۹- داده‌های آموزش

^۱ Gaussian

برای شبکه‌ی عصبی پس انتشار خطا، هرچه تعداد داده‌های آموزش بیش‌تر باشد، مدل نتایج بهتری ارائه می‌دهد. این شبکه‌ها به داده‌های آموزش نرمال شده بین صفر و یک نیازمند هستند. این مسأله به این دلیل است که سیگنال گره خروجی بین صفر و یک محدود است. این نرم‌افزار هم‌چنین به داده‌های نرمال شده برای بهبود خصوصیات آموزش احتیاج دارد و خود قادر به نرمال کردن داده‌ها به صورت خودکار می‌باشد. در طول انتخاب این گزینه در مرحله‌ی آموزش، تمام داده‌ها برای گره‌های لایه‌ی ورودی یا هدف‌های آموزش برای لایه‌ی خروجی بین محدوده‌ی ۰/۱۵ و ۰/۸۵ نرمال می‌شوند.

برای تعیین اینکه شبکه به حالت بهینه رسیده است، روش‌های زیر وجود دارد:

(۱) آنالیز RMS : پایان یافتن فرآیند آموزش در نقطه‌ای که تست خطا کم‌تری مقدار را داشته باشد.

(۲) آنالیز هم‌بستگی : پایان یافتن فرآیند آموزش در نقطه‌ای که ضریب هم‌بستگی بیش‌ترین مقدار را داشته باشد.

(۳) آنالیز تحمل : در صورتی که نیاز به دسترسی به یک درجه‌ی دقت شناخته شده باشد، قسمت

بررسی تحمل Qnet برای تعیین اینکه شبکه چه زمانی به سطح درجه دقت مورد نظر رسیده را می-

توان استفاده نمود (راهنمای Qnet).

۳-۱۰- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی دقت پیش‌بینی و انتخاب بهترین ساختار، از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد که به ترتیب از روابط (۳-۳) و (۴-۳) قابل محاسبه اند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y - y_t)^2} \quad (3-3)$$

$$R^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})(y_t - \bar{y}_t)}{\sqrt{\sum (y - \bar{y})^2 \sum (y_t - \bar{y}_t)^2}} \quad (4-3)$$

که در این روابط پارامترها به صورت زیر قابل تعریف می‌باشند:

n : تعداد داده‌ها،

y : مقادیر مشاهده‌ای،

\bar{y} : میانگین مقادیر مشاهده‌ای،

y_t : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،

\bar{y}_t : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشند.

نزدیک بودن ریشه‌ی میانگین مربعات خطا به صفر و نزدیک بودن ضریب تعیین به یک ملاک انتخاب بهترین ساختار می‌باشد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این بخش نتایج مربوط به مدل‌سازی عملکرد محصول گندم آبی در شهرستان شاهرود و طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۳ در قالب تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه گردیده است.

از آنجایی که در مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی تعداد نرون‌های ورودی، تعداد لایه‌های میانی و همچنین نوع توابع محرک در یادگیری شبکه تاثیر بسزایی دارد و می‌تواند نتایج شبیه‌سازی را از خود متأثر نماید، بنابراین در تحقیق حاضر تأثیر موارد مذکور بر روی نتایج مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج هر قسمت به ترتیب در بخش‌های زیر ارائه شده است:

- بررسی تأثیر توابع محرک در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- بررسی تأثیر لایه‌های میانی در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- بررسی تأثیر تعداد داده‌های ورودی بر روی یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی
- آنالیز حساسیت مدل و تعیین درجه‌ی تأثیر هر یک از داده‌های ورودی

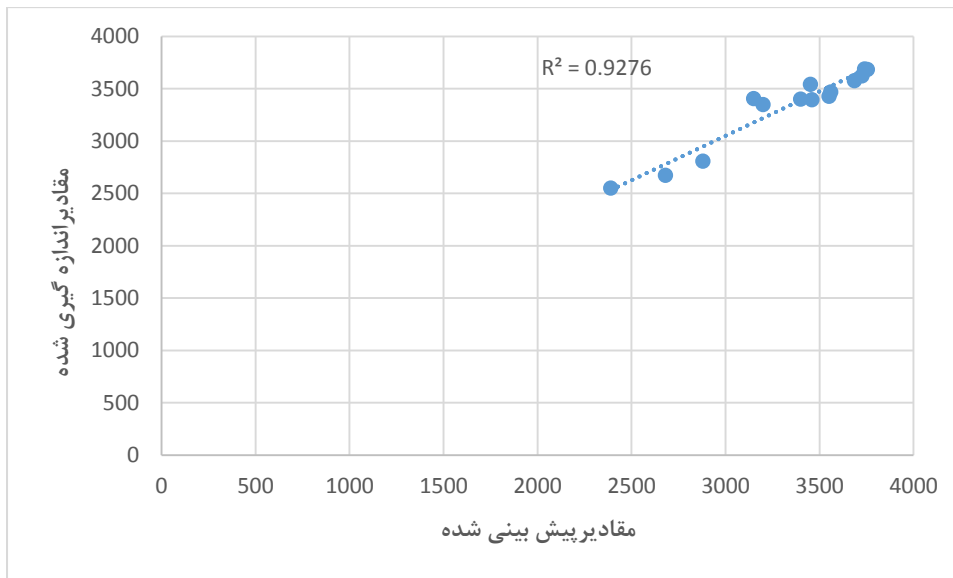
۴-۲- بررسی تأثیر توابع محرک در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی عموماً توسط یک‌سری از داده‌های واقعی مربوط به همان پدیده‌ی مورد مطالعه آموزش دیده و چنانچه این عمل با تکرار مناسب و توابع صحیح انجام شود، می‌توان انتظار تجزیه و تحلیل پدیده را با موفقیت در آینده داشت و از شبکه نتایج مناسب دریافت نمود. در تحقیق حاضر برای اجرای مدل از ساختار یک لایه ورودی، یک لایه میانی با دو نرون پنهان و یک لایه خروجی با توابع انتقال مختلف استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده در غالب ۱۶ نرون ورودی شامل حداقل مطلق دمای روزانه در سال (T_{\min})، میانگین حداقل دمای روزانه در سال (\bar{T}_{\min})، حداکثر مطلق

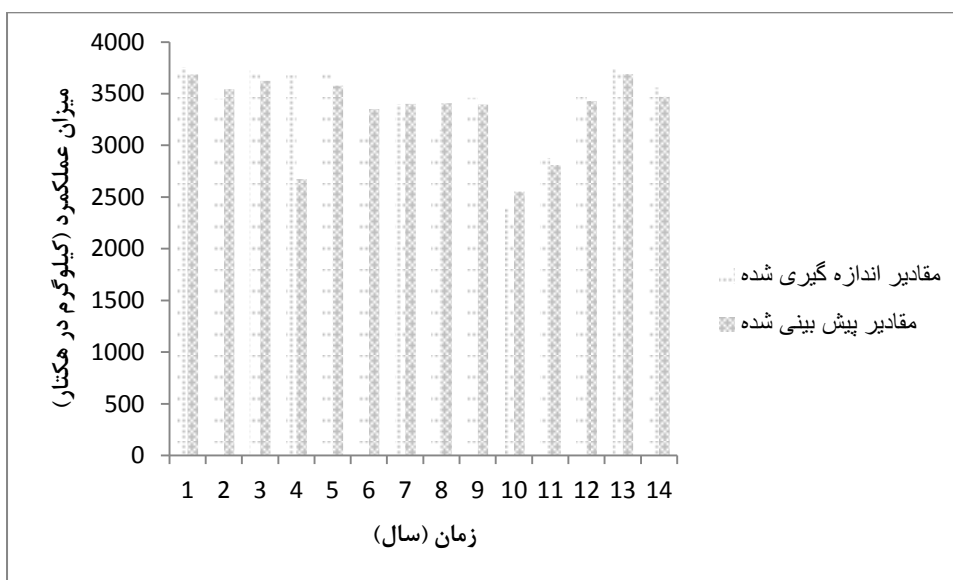
دمای روزانه در سال (T_{max})، میانگین حداکثر دمای روزانه در سال (\bar{T}_{max})، متوسط دما در سال (\bar{T})، حداقل مطلق رطوبت نسبی در سال (RH_{min})، میانگین حداقل رطوبت نسبی در سال (\overline{RH}_{min})، حداکثر مطلق رطوبت نسبی در سال (RH_{max})، میانگین حداکثر رطوبت نسبی در سال (\overline{RH}_{max})، متوسط رطوبت نسبی در سال (\overline{RH})، مجموع بارندگی در سال (P)، حداکثر سرعت باد در سال (U)، مجموع حداکثر ساعات آفتابی در سال (S)، مجموع تعداد روزهای یخبندان در سال (D)، مجموع عمق آب آبیاری در سال (I) و مجموع تبخیر-تعرق گیاهی در سال (ET_c) برای مدل تعریف شده و این مدل‌ها در تعداد ۱۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ تکرار به اجرا درآمده است. بهترین نتایج مربوط به ۴ تابع محرک سیگموئید، گوسین، تانژانت هیپربولیک و سکانت هیپربولیک در شبیه‌سازی میزان عملکرد محصول در جدول (۱-۴) ارائه شده است. همچنین نتایج مربوط به برازش میان مقادیر اندازه-گیری و برآورد شده عملکرد و مقایسه میان مقادیر مذکور در مرحله‌ی آموزش به ترتیب در شکل‌های (۱-۴) و (۲-۴) نشان داده شده است.

جدول (۱-۴) نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی با توابع محرک مختلف در شبیه‌سازی میزان عملکرد گندم آبی

ضریب همبستگی	RMSE	مرحله محاسباتی	تابع محرک	ساختار شبکه عصبی
۰/۹۶	۰/۰۳۱	آموزش	Sigmoid	۱
۰/۷۹	۰/۰۴۳	صحت‌سنجی		
۱	۰/۰۰۰۰۰۵	آموزش	Gaussian	۲
۰/۷۹	۰/۱۲۹	صحت‌سنجی		
۰/۹۶	۰/۰۴۴	آموزش	Tanh	۳
۰/۵۹	۰/۰۶۶	صحت‌سنجی		
۰/۹۹	۰/۰۰۲	آموزش	Sech	۴
۰/۸۸	۰/۰۸۸	صحت‌سنجی		



شکل (۱-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید (مرحله آموزش)

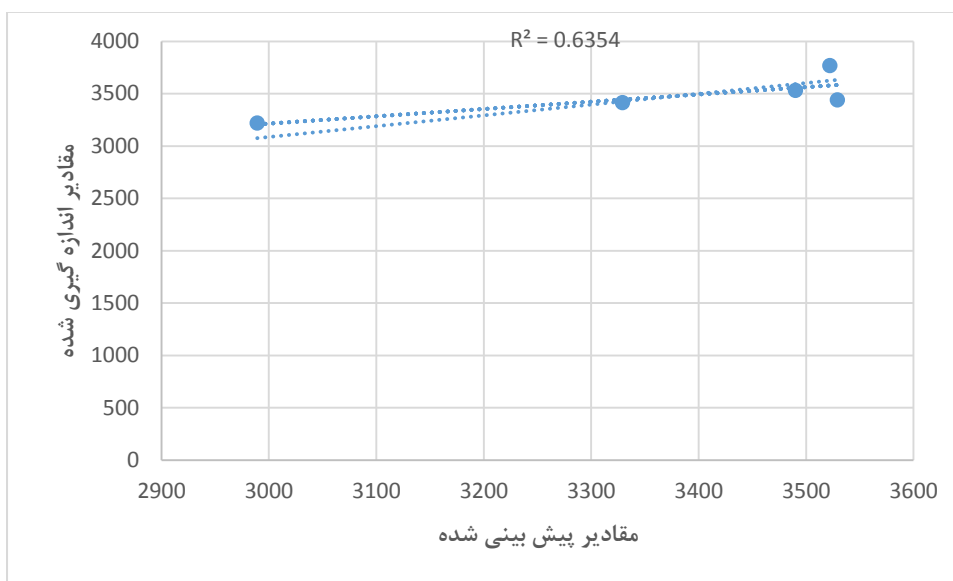


شکل (۲-۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید (مرحله آموزش)

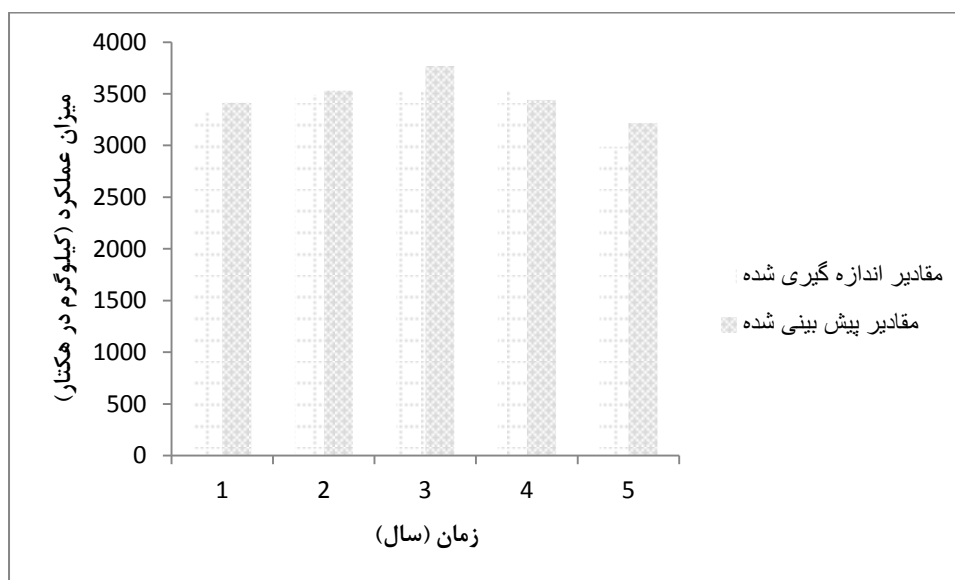
از آنجا که معمولا شبکه‌های آموزش داده شده برای مجموعه داده‌های مستقلی مورد صحت‌سنجی واقع می‌شوند. مقادیر خطای به‌دست آمده در هر تابع محرک در مرحله‌ی آموزش تا حدودی کم‌تر از مقادیر متناظر آن در مرحله‌ی صحت‌سنجی مدل می‌باشد، که کم‌ترین و بیش‌ترین اختلاف مذکور به ترتیب برای توابع محرک سیگموئید و گوسی رخ داده است. اگر چه این قضیه ممکن است همواره صادق نباشد. اختلاف نسبتا زیاد مقادیر خطای به دست آمده در توابع محرک گوسی و سکانت هیپربولیک در ۲ مرحله‌ی آموزش و صحت‌سنجی، بیانگر آن است که قابلیت تعمیم این توابع برای داده‌های مستقل با خطای زیادی همراه خواهد بود. از آنجا که مقادیر ضریب همبستگی به غیر از مرحله‌ی سنجی و در مورد تابع محرک Tanh، مقادیر مناسبی بوده است و با توجه به مقادیر خطای رخ داده شده، تابع محرک منتخب در این تحقیق و در این مرحله تابع سیگموئید با ترم مومنتوم ۰/۷، ۲۰۰۰۰ تکرار، ضریب همبستگی ۰/۸ و خطای ۰/۰۴ می‌باشد.

نتایج مربوط به همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد و مقایسه‌ی میان آن‌ها در مرحله‌ی صحت‌سنجی مدل شبکه‌ی عصبی با تابع محرک منتخب (سیگموئید) به ترتیب در شکل-های (۳-۴) و (۴-۴) نمایش داده شده است.

آنچنان که نتایج نشان می‌دهد در حدود ۶۵ درصد حالات (۹ سال)، مقادیر عملکرد محصول کم برآورد و در سایر سال‌ها مقادیر مذکور بیش برآورد شده است. با این حال مقادیر خطای رخ داده در سال‌های بیش یا کم برآورد تقریبا نزدیک به یک‌دیگر است به نحوی که بیش‌ترین خطا در سال‌های کم برآورد در سال دوازدهم و در حدود ۳/۴۱ درصد و بیش‌ترین خطا در سال‌های بیش برآورد در سال هشتم و در حدود ۸/۲ درصد می‌باشد.



شکل (۳-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید (مرحله صحت‌سنجی)



شکل (۴-۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده عملکرد با استفاده از تابع محرک سیگموئید (مرحله صحت‌سنجی)

مقادیر خطای برآورد عملکرد با مطالعات میائو و همکاران (۲۰۰۶) مشابه بود. سبحانی و اسدی (۱۳۹۲) نیز تابع محرک سیگموئید را به عنوان تابع محرک مناسب پیشنهاد دادند.

بررسی تأثیر نقش توابع محرک مختلف در شبیه‌سازی میزان عملکرد گندم آبی نشان داد که تابع محرک سیگموئید در هر دو مرحله‌ی آموزش و صحت‌سنجی مدل، رفتار نسبتاً یکسان و یکنواختی داشته و با اختصاص مقادیر ۰/۰۳ تا ۰/۴۳ برای شاخص RMSE به ترتیب در مرحله‌ی آموزش و صحت‌سنجی و اختصاص مقادیر ۰/۸ تا ۰/۹۶ برای ضریب همبستگی بهترین عملکرد را داشته است.

۳-۴ - بررسی تأثیر لایه‌های میانی در یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی

پس از انتخاب تابع Sigmoid، به عنوان تابع محرک برتر برای ساختار شبکه‌ی عصبی تنظیم شده، بار دیگر از این تابع برای پیش‌بینی میزان عملکرد محصول گندم آبی در شهرستان شاهرود بهره گرفته شد، با این تفاوت که در شبکه‌های طراحی شده جدید تعداد لایه‌های میانی نیز متغیر در نظر گرفته شدند. تعداد نرون‌های لایه‌های میانی برابر با یکی کمتر از نرون‌های ورودی (۱۵) است (منهاج، ۱۳۷۹). با توجه به این که در نرم‌افزار Qnet بیش‌ترین تعداد لایه‌های میانی ممکن قابل تعریف برابر ۸ می‌باشد، بنابراین برای طراحی شبکه‌های جدید به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ لایه میانی در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به تأثیر ساختارهای متفاوت لایه‌های میانی بر روی شبیه‌سازی میزان عملکرد گندم در جدول (۲-۴) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۲-۴) نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی با لایه‌های میانی متفاوت و تابع محرک سیگموئید برای نرون‌های ورودی

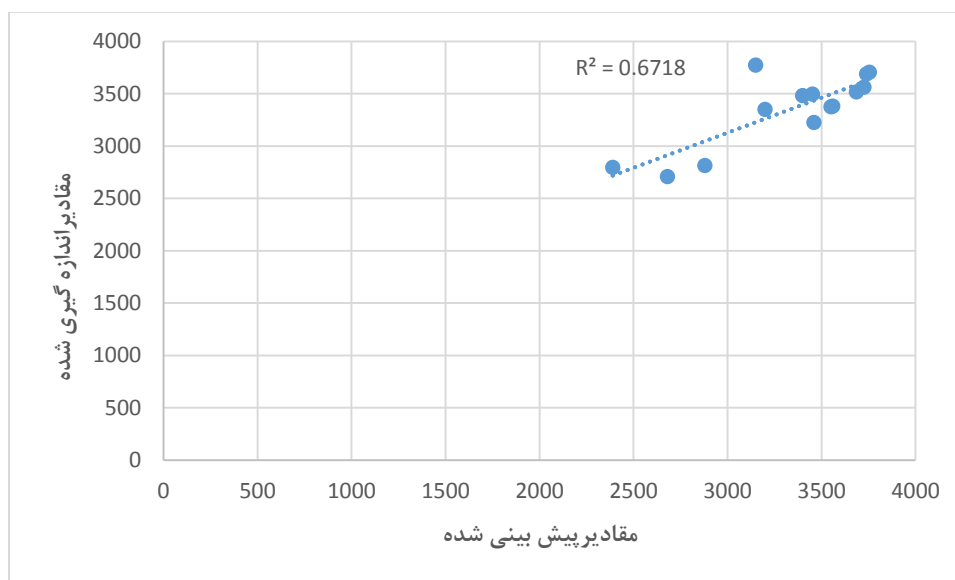
ضریب همبستگی	RMSE	مرحله محاسباتی	تعداد لایه‌های میانی	ساختار شبکه عصبی
۰/۹۸	۰/۰۲۳	آموزش	۱	۱۶-۱۵-۱*
۰/۶۱	۰/۰۵۳	صحت سنجی		
۰/۸۲	۰/۰۶۲	آموزش	۲	۱۶-۱۵-۱۵-۱
۰/۷۹	۰/۰۵۷	صحت سنجی		
۰/۶۸	۰/۰۷۹	آموزش	۳	۱۶-۱۵-۱۵-۱۵-۱
۰/۵۳	۰/۰۶۲	صحت سنجی		
۰/۵۰	۰/۱۰۹	آموزش	۴	۱۶-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱
-	۰/۰۵۶	صحت سنجی		
۰/۵۹	۰/۱۰۹	آموزش	۵	۱۶-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱
-	۰/۰۵۶	صحت سنجی		
۰/۴۸	۰/۱۰۹	آموزش	۶	۱۶-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱
-	۰/۰۵۶	صحت سنجی		
۰/۴۶	۰/۱۰۹	آموزش	۷	-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱ ۱۶
-	۰/۰۵۶	صحت سنجی		
-	۰/۳۴۶	آموزش	۸	-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱۵-۱ ۱۶
-	۰/۳۴۴	صحت سنجی		

* اعداد ساختار شبکه به ترتیب از چپ به راست بیانگر تعداد نرون‌های لایه ورودی، لایه پنهان اول (لایه پنهان دوم و...) و لایه خروجی می‌باشد.

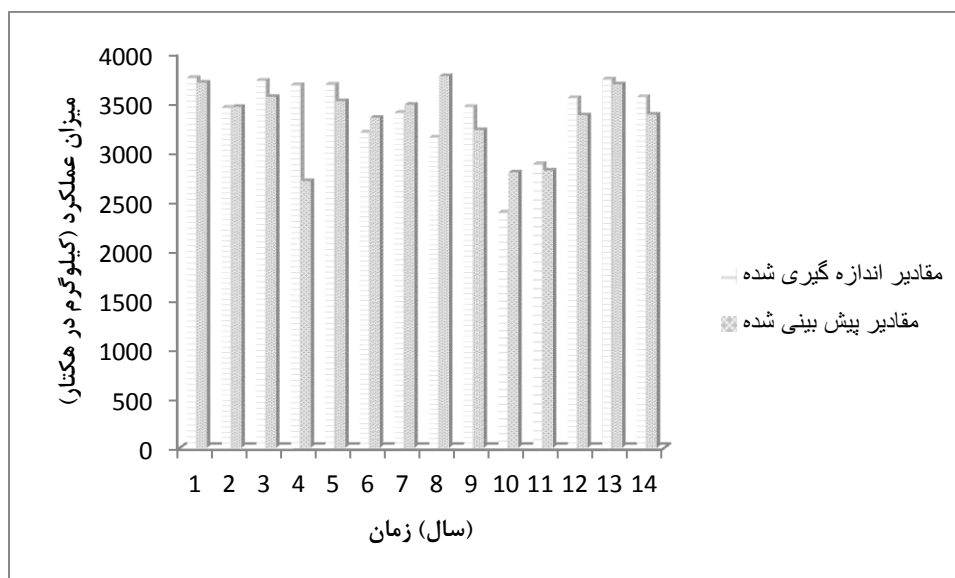
نتایج جدول (۲-۴) بیانگر آن است که تعداد لایه‌های میانی تأثیرات مختلفی بر روی خطای برآورد عملکرد گندم آبی در این تحقیق داشته است، به نحوی که کم‌ترین و بیش‌ترین خطای رخ داده در مرحله‌ی آموزش شبکه به ترتیب به ازای ۱ و ۸ لایه میانی اتفاق افتاده است. عدم بهبود نتایج شبیه‌سازی به ازای افزایش تعداد لایه‌های میانی در تحقیقات نوروزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز گزارش شده است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد لایه‌های میانی تا ۴ لایه میزان خطا نیز افزایش یافته است ولی پس از آن میزان خطا تا ۷ لایه تقریباً ثابت بود و در لایه ۸ به یک‌باره میزان خطا افزایش چشمگیری از خود نشان داده است.

در مرحله‌ی صحت‌سنجی مدل شبکه‌ی عصبی و بر خلاف مرحله‌ی آموزش یک ثبات نسبی به ازای مقادیر مختلف لایه‌ی میانی (به غیر از ۸ لایه‌ی میانی) در مقدار شاخص خطا دیده می‌شود، به نحوی که کم‌ترین میزان خطا در این مرحله‌ی مدل‌سازی به ازای ۱ لایه‌ی میانی ($RMSE = 0/053$) و بیش‌ترین خطا به ازای ۳ لایه‌ی میانی ($RMSE = 0/06$) رخ داده است. با در نظر گرفتن توأم مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، شبکه‌ای با ساختار ۲ لایه‌ی میانی و تابع محرک سیگموئید در این مرحله به عنوان ساختار برتر انتخاب شد.



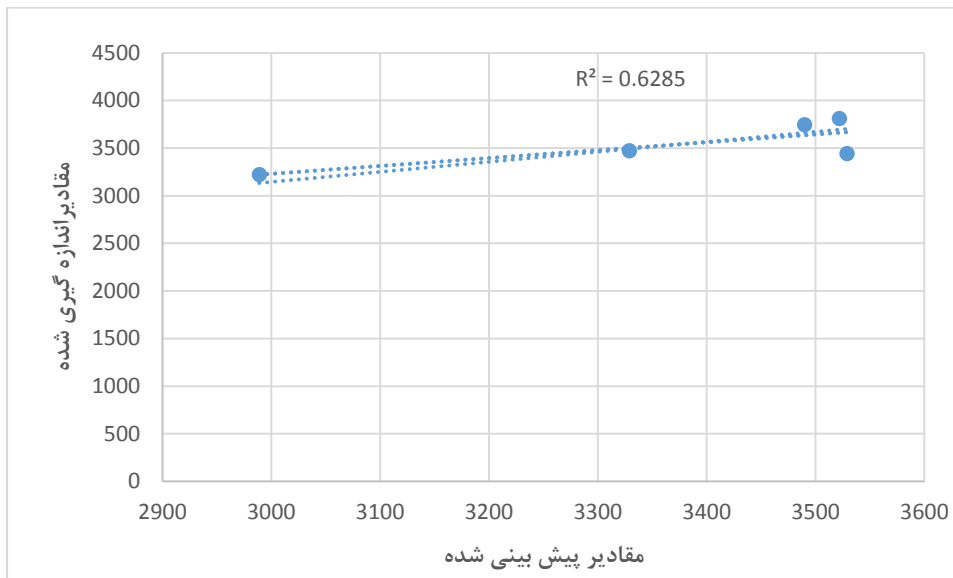
شکل (۴-۵) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با دو لایه میانی (مرحله آموزش)



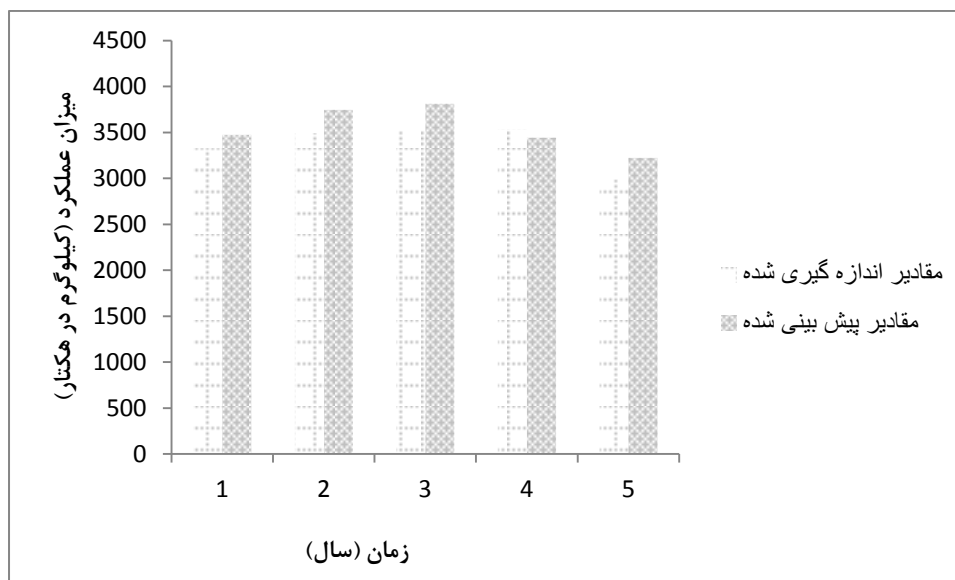
شکل (۴-۶) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه گیری و برآورد شده توسط مدل با دو لایه میانی (مرحله آموزش)

شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) نیز به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم آبی را برای ساختار انتخاب شده‌ی شبکه‌ی عصبی و در مرحله‌ی آموزش نشان می‌دهند. بر اساس نتایج به دست آمده مدل شبکه‌ی عصبی با ساختار منتخب مذکور در طی سال‌های اول، سوم، پنجم، نهم، یازدهم، دوازدهم، سیزدهم و چهاردهم (۵۷ درصد حالات) با کم برآورد عملکرد همراه بوده در حالیکه در سایر سال‌ها (۴۳ درصد حالات) با بیش برآورد عملکرد همراه بوده است.

بر اساس نتایج شکل (۴-۶) اگرچه تعداد سال‌هایی که عملکرد محصول گندم در قیاس با مقدار واقعی آن کم‌تر برآورد شده، بیش‌تر هستند با این حال بیش‌ترین خطای برآورد مربوط به سال‌های ۸ و ۱۰ است (به ترتیب ۱۹/۷۸ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به حالت واقعی) که جزء سال‌های بیش برآورد به حساب می‌آیند. این در حالی است که بیش‌ترین خطای برآورد عملکرد در سال‌های کم برآورد متعلق به سال ۹ (۶/۷۹ درصد کاهش نسبت به حالت واقعی) می‌باشد.



شکل (۷-۴) برازش بین مقادیر اندازه گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با دو لایه میانی (مرحله صحت سنجی)



شکل (۸-۴) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه گیری و برآورد شده عملکرد توسط مدل با دو لایه میانی (مرحله صحت سنجی)

در شکل‌های (۷-۴) و (۸-۴) نیز مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد محصول گندم آبی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ در مرحله‌ی صحت‌سنجی شبکه (ساختار تابع محرک سیگموئید و ۲ لایه‌ی میانی) نمایش داده شده است. مقدار ضریب همبستگی تقریبی $0/8$ و $RMSE = 0/057$ در این مرحله از مدل‌سازی نیز در قیاس با مقادیر گزارش شده در مطالعات اکبریور و همکاران (۱۳۹۲) و شیردلی و توسلی (۱۳۹۴)، مقادیر قابل قبولی می‌باشد.

در طی سال‌های مورد استفاده برای صحت‌سنجی شبکه منتخب، در حدود ۸۰ درصد حالات مدل با بیش‌برآورد میزان عملکرد واقعی همراه بوده است، اما دامنه تغییرات این بیش‌برآوردها در طی سال‌های اول، دوم، سوم و پنجم به یک‌دیگر نزدیک بوده است به نحوی که در سال‌های مذکور به ترتیب افزایش $4/32$ ، $7/33$ ، $8/2$ و $7/8$ درصدی را شاهد بوده‌ایم. لازم به توضیح است که بررسی مقادیر کم-برآورد یا بیش‌برآورد عملکرد گندم آبی در منطقه مورد مطالعه (شهرستان شاهرود) می‌تواند از نقطه نظر سیاست‌گذاری‌های کلان دولت در انتخاب صحیح رقم واردات یا صادرات این محصول، در صورت استفاده از این مدل‌های شبیه‌ساز، مفید واقع گردد.

بر اساس نتایج به دست آمده و از تلفیق هم‌زمان پارامترهای ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا، شبکه‌ی عصبی با ساختار شامل ۲ لایه میانی با بهترین نتایج در ۲ مرحله‌ی آموزش ($RMSE = 0/06$ و $R^2 = 0/67$) و صحت‌سنجی ($RMSE = 0/06$ و $R^2 = 0/62$) همراه بود.

۴-۴ - بررسی تعداد داده‌های ورودی بر روی یادگیری شبکه عصبی مصنوعی

دقت تمامی مدل‌های شبیه‌ساز تابعی از تعداد و میزان تأثیر ورودی‌های آن‌ها می‌باشد. شناسایی پارامترهای ورودی مؤثر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و اگرچه در اکثر موارد معمولاً با افزایش

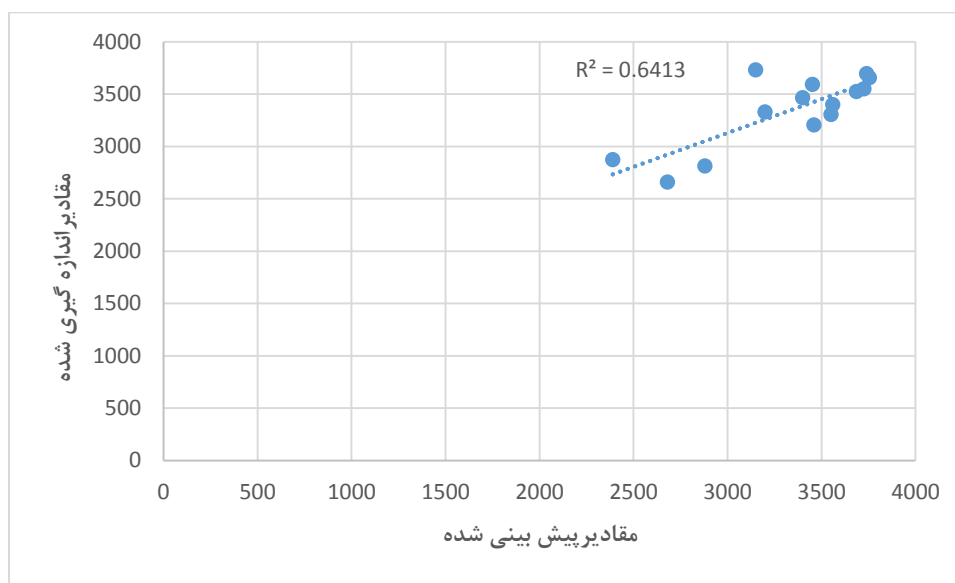
تعداد ورودی‌ها دقت مدل نیز بهبود می‌یابد ولی مدل‌هایی که از پارامترهای ورودی کم‌تری استفاده کرده و قادر به ارائه نتیجه‌ی نزدیک‌تری به واقعیت هستند، مطلوب می‌باشند.

۴-۴-۱- تعیین بهترین ترکیب عوامل ورودی

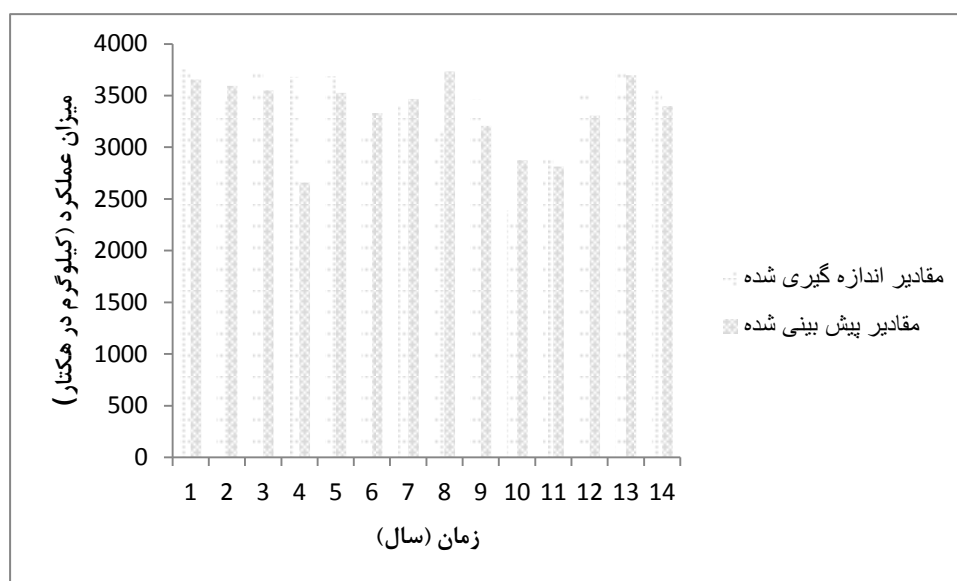
جهت تعیین عوامل ورودی مدل به نحوی که بتوان میزان دقت کافی را از تحلیل نتایج به دست آورد، بایستی ترکیب عواملی انتخاب شوند که بیش‌ترین تأثیر را در افزایش دقت مدل داشته و به عبارت دیگر در برآورد مقادیر پیشنهادی کم‌ترین خطا را ایجاد نمایند. برای نیل به این هدف، از روش ترکیب عوامل و سعی و خطا جهت رسیدن به بهترین ماتریس ورودی استفاده گردید. بدین منظور ابتدا با توجه به ۱۶ عامل مذکور مدل‌سازی و آموزش شبکه انجام شد. سپس مقدار خروجی مدل از فایل تست به کمک مدل به دست آمد و با توجه به مقادیر واقعی مقدار RMSE مربوط به ۱۶ داده محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد یکی از عوامل (تعداد روزهای یخبندان) حذف، و مجدداً مدل جدیدی با ۱۵ داده‌ی ورودی تهیه و پس از آموزش آن، خروجی جدیدی به دست آمد. با مقایسه‌ی خروجی جدید با میزان عملکرد واقعی RMSE این مدل نیز محاسبه گردید. این عمل، یعنی حذف عوامل و اکتساب RMSE به دفعات مختلف انجام شد، به نحوی که ترکیبات مختلف ۱۶ تایی، ۱۵ تایی، ۱۴ تایی،، ۲ تایی در مدل گنجانده شده و بهترین ترکیب عوامل که کم‌ترین میزان خطا را دارد، انتخاب شد. بهترین مدل جهت برآورد میزان عملکرد گندم به کمک عوامل آب و هوایی، ترکیب ۷ عامله‌ای متشکل از حداکثر مطلق دما، حداکثر مطلق رطوبت نسبی، حداکثر سرعت باد و حداکثر ساعات آفتابی، عمق آب آبیاری و تبخیر-تعرق گیاهی با $RMSE = 0.1045$ می‌باشد. نتایج مربوط به مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده‌ی میزان عملکرد گندم به ازای بهترین ترکیب ورودی‌ها در مرحله‌ی آموزش در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) و در مرحله‌ی صحت‌سنجی در شکل‌های (۴-۱۱) و

(۱۲-۴) نمایش داده شده است. همچنین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در سناریوهای مختلف

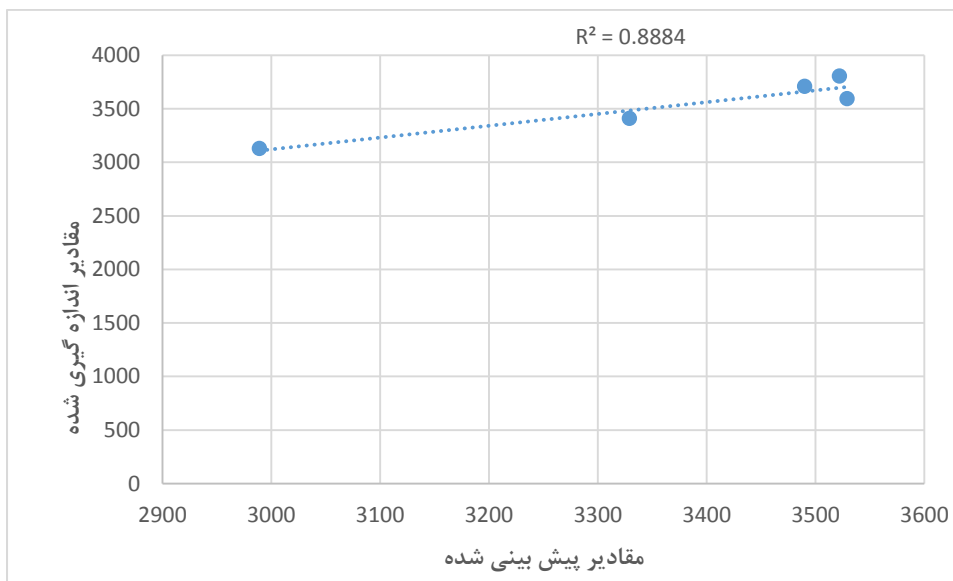
ترکیب ورودی‌ها به ساختار شبکه عصبی در جدول (۳-۴) لیست شده است.



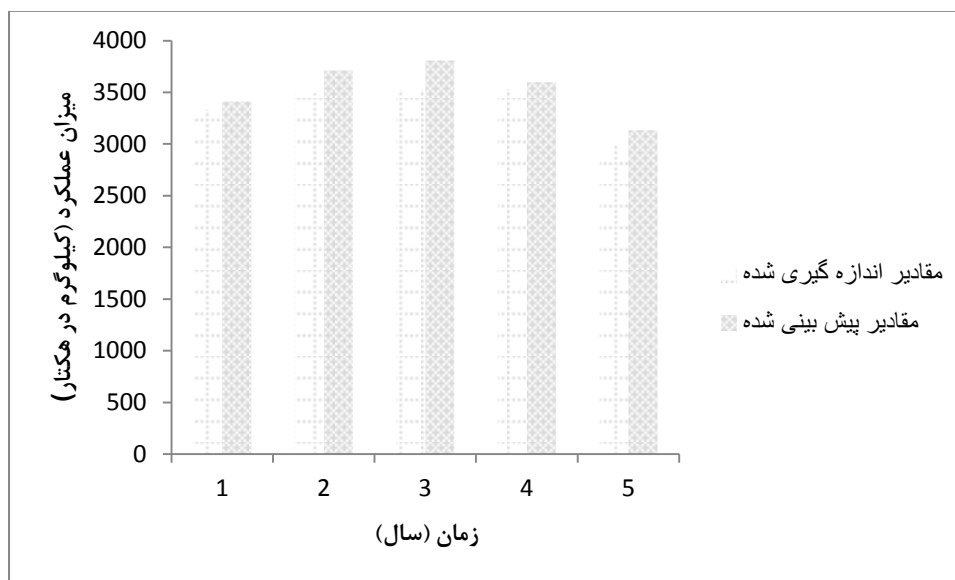
شکل (۹-۴) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با ۷ ورودی (مرحله آموزش)



شکل (۱۰-۴) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با ۷ ورودی (مرحله آموزش)



شکل (۴-۱۱) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد گندم با ۷ ورودی (مرحله صحت‌سنجی)



شکل (۴-۱۲) مقایسه بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با ۷ ورودی (مرحله صحت‌سنجی)

جدول (۳-۴) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا به ازای ترکیبات مختلف ورودی شبکه عصبی

س	ناریو	داده‌های ورودی	RMSE
۱	۰/۰۵۷	$ET_c . I . D . S . U . P . \overline{RH} . \overline{RH}_{max} . RH_{max} . \overline{RH}_{min} . RH_{min} . \overline{T} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۱
۲	۰/۰۵۵	$ET_c . I . S . U . P . \overline{RH} . \overline{RH}_{max} . RH_{max} . \overline{RH}_{min} . RH_{min} . \overline{T} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۲
۳		$ET_c . I . S . U . P . \overline{RH}_{max} . RH_{max} . \overline{RH}_{min} . RH_{min} . \overline{T} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۳
	۰/۰۵۲		
۴		$ET_c . I . S . U . P . \overline{RH}_{max} . RH_{max} . RH_{min} . \overline{T} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۴
	۰/۰۵۶		
۵		$ET_c . I . S . U . P . RH_{max} . RH_{min} . \overline{T} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۵
	۰/۰۵		
۶		$ET_c . I . S . U . P . RH_{max} . RH_{min} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۶
	۰/۰۵۵		
۷		$ET_c . I . S . U . P . RH_{max} . \overline{T}_{max} . T_{max} . \overline{T}_{min} . T_{min}$	۷
	۰/۰۵۶		
۸		$ET_c . I . S . U . P . RH_{max} . \overline{T}_{max} . T_{max} . T_{min}$	۸
	۰/۰۵۵		
۹		$ET_c . I . S . U . P . RH_{max} . T_{max} . T_{min}$	۹
	۰/۰۵۲		
۱۰		$ET_c . I . S . U . RH_{max} . T_{max} . T_{min}$	۱۰
	۰/۰۴۵		
۱۱		$ET_c . I . S . U . T_{max} . T_{min}$	۱۱
	۰/۰۷۱		
۱۲		$ET_c . I . U . T_{max} . T_{min}$	۱۲
	۰/۰۸۴		
۱۳		$ET_c . I . U . T_{min}$	۱۳
	۰/۰۹۹		
۱۴		$ET_c . I . T_{min}$	۱۴
	۰/۰۶۴		
۱۵		$ET_c . I$	۱۵
	۰/۰۶۸		

بر اساس نتایج به دست آمده در مرحله‌ی آموزش مدل به ازای ۷ ورودی منتخب، عدم بیش یا کم-برآورد محض در نتایج مدل‌سازی قابل ملاحظه است، به نحوی که کم‌ترین خطا در برآورد عملکرد در سال ۴ و معادل ۰/۵۷ درصد کاهش و بیش‌ترین خطا در سال ۸ و معادل ۱۸/۵ درصد افزایش مشاهده شده است. این درحالی است که اگرچه عملکرد ساختار شبکه‌ی عصبی منتخب در مرحله‌ی صحت‌سنجی و از نقطه نظر میزان خطا مقادیر قابل قبولی را به خود اختصاص داده است (کم‌ترین افزایش عملکرد در حدود ۱/۸۷ درصد و بیش‌ترین افزایش عملکرد در حدود ۸ درصد)، اما مدل از نقطه

نظر بیش یا کم‌برآورد عملکرد رفتار متعادلی نداشته بطوریکه در تمام سال‌ها با بیش‌برآورد عملکرد محصول مواجه بوده‌ایم.

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول (۳-۴) مبنی بر تأثیر ترکیبات مختلف ورودی در ساختار شبکه‌ی عصبی منتخب، تقریباً می‌توان گفت که عملکرد ورودی‌های مختلف به جز سناریوهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ تقریباً مشابه یک‌دیگر است، به نحوی که بهترین ساختار به سناریوی شماره ۱۰ با تعداد ۷ نرون ورودی و اختصاص مقدار ۰/۰۴۵ برای شاخص RMSE بازمی‌گردد. براساس نتایج این جدول بیش‌ترین افزایش RMSE به ازای حذف رطوبت نسبی از سناریوی ۱۰ به سناریوی ۱۱ اتفاق افتاده است که نشان از اهمیت این پارامتر در برآورد عملکرد داشته است.

۴-۵- آنالیز حساسیت مدل و تعیین درجه‌ی تأثیر هر یک از ورودی‌ها

جهت تعیین میزان حساسیت مدل به هر یک از ورودی‌ها و تعیین درجه‌ی اهمیت هر یک از این ۷ عامل، پس از برازش مدل شبکه‌ی عصبی بر داده‌ها و مقایسه‌ی آن در حالت‌های ترکیبی مختلف، از

شاخص RMSE استفاده شد. روش کار بدین گونه است که ابتدا ماتریسی از کلیه‌ی عوامل جوی موجود (۷ عامل اقلیمی مجموع حداکثر ساعات آفتابی (S), حداکثر سرعت باد (U), حداکثر مطلق رطوبت نسبی (RH_{max}), حداکثر مطلق دما (T_{max}), حداقل مطلق دما (T_{min}), عمق آب آبیاری (I) و تبخیر-تعرق گیاهی (ET_c)) به عنوان ورودی و عملکرد (Y) به عنوان خروجی به شبکه معرفی گردید. پس از آموزش مدل، جهت بررسی دقت مدل مقدار شاخص RMSE محاسبه گردید. سپس به صورت پی در پی، یکی از ورودی‌ها حذف و مجدداً شبکه آموزش دیده و خروجی جدیدی اکتساب گردید و مجدداً مقدار شاخص RMSE محاسبه شد. برای مثال در مرحله‌ی اول حداکثر مطلق رطوبت نسبی حذف و مدل با ۶ عامل دیگر ساخته شد. در مرحله‌ی بعد حداقل مطلق دما به جای حداکثر مطلق رطوبت نسبی حذف و مدل با ۶ عامل باقی‌مانده ساخته شد. این مراحل برای تک تک پارامترها اجرا شد که نتایج آن در جدول (۴-۴) ارائه شده است. بدین ترتیب در این مدل هفت RMSE مختلف به دست آمد. سپس به کمک روابط (۴-۱) تا (۴-۳) شاخص حساسیت‌پذیری (سارکر^۱، ۱۹۸۸) مدل نسبت به ۷ ورودی به دست آمد که نتایج آن در جدول (۴-۴) قابل مشاهده است. همچنین نتایج مربوط به شبیه‌سازی مدل شبکه‌ی عصبی فاقد T_{min} نیز به ترتیب در شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) در مرحله‌ی آموزش و در شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) در مرحله‌ی صحت‌سنجی ارائه گردیده است. بر این اساس مدلی فاقد پارامتر T_{min} در مرحله‌ی آموزش با مشخصات $RMSE = 0.078$ و در مرحله‌ی صحت‌سنجی با مشخصات $RMSE = 0.146$ با بیش‌ترین خطا در قیاس با سایر ساختارها همراه بوده است.

$$F_i = (RMSE_i - RMSE_t) / RMSE_t \quad (1-4)$$

$$W_i = F_i / \sum F_i * 100 \quad (2-4)$$

$$\sum F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \quad (3-4)$$

^۱Sarker

که در این روابط پارامترها به صورت زیر قابل تعریف می‌باشند:

F_i : انحراف خطای ایجاد شده در اثر حذف عامل i

$RMSE_i$: مقدار خطای ایجاد شده در مدل پس از حذف عامل i

$RMSE_i$: مقدار خطای اولیه‌ی مدل

W_i : شاخص حساسیت‌پذیری مدل نسبت به عامل i

جدول (۴-۴) سناریوهای مختلف با ۶ ورودی (مرحله صحت‌سنجی)

سناریو	پارامتر حذف شده	داده‌های ورودی	RMSE
۱	RH_{max}	$ET_c, I, S, U, T_{max}, T_{min}$	۰/۰۷۱
۲	T_{min}	$ET_c, I, S, U, RH_{max}, T_{max}$	۰/۱۴۶
۳	T_{max}	$ET_c, I, S, U, RH_{max}, T_{min}$	۰/۰۶۹
۴	U	$ET_c, I, S, RH_{max}, T_{max}, T_{min}$	۰/۰۵
۵	S	$ET_c, I, U, RH_{max}, T_{max}, T_{min}$	۰/۰۷۵
۶	I	$ET_c, S, U, RH_{max}, T_{max}, T_{min}$	۰/۰۹۴
۷	ET_c	$I, S, U, RH_{max}, T_{max}, T_{min}$	۰/۰۵۳

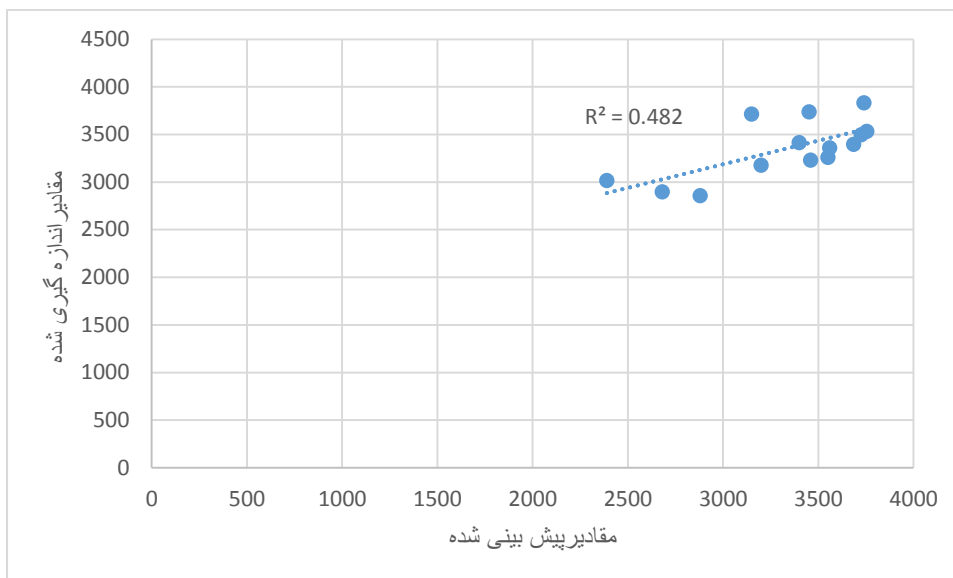
با توجه به تحلیل خروجی مدل می‌توان گفت که مهم‌ترین عنصر هواشناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه در میزان عملکرد گندم حداقل مطلق دما می‌باشد. چرا که با حذف این عامل در ماتریس ورودی مقدار خطای مدل به طرز چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

جدول (۵-۴) مقادیر شاخص حساسیت‌پذیری عوامل مؤثر در برآورد عملکرد گندم آبی در ساختار شبکه عصبی

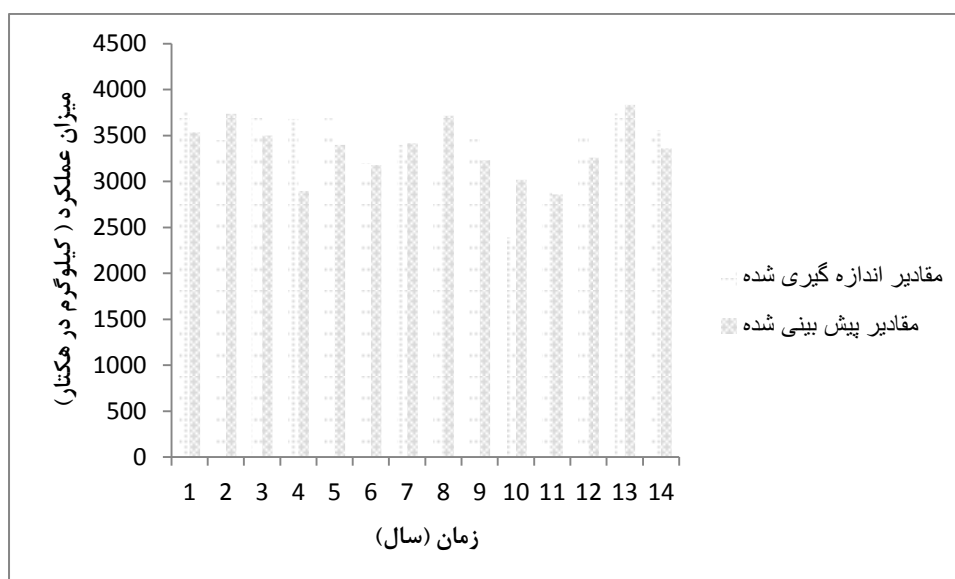
عامل حذف شده ضریب	RH_{\max}	T_{\max}	T_{\min}	U	S	I	ET_c
$RMSE_i - RMSE_t$	۰/۰۲۶۴	۰/۰۲۵۲	۰/۱۰۱۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۳۰۱	۰/۰۴۹۲	۰/۰۰۸۲
$\%W_i$	۱۰/۷۵	۱۰/۲۱	۴۱/۱۷	۲/۳۲	۱۲/۲۴	۱۹/۹۶	۳/۳۴

نتایج آنالیز حساسیت حاکی از آن است که حداقل مطلق دما با ضریب حساسیت ۴۱/۱۷، مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در شهرستان شاهرود می‌باشد و پس از آن میزان آب آبیاری با ضریب حساسیت ۱۹/۹۶ قرار می‌گیرد. حداکثر سرعت باد نیز کم‌ترین تأثیر را بر میزان محصول تولیدی دارد. نتایج به دست آمده با مطالعات گلایی و همکاران (۱۳۹۲)، اکبریور و همکاران (۱۳۹۲) و باقری و همکاران (۱۳۹۱) مشابه می‌باشد.

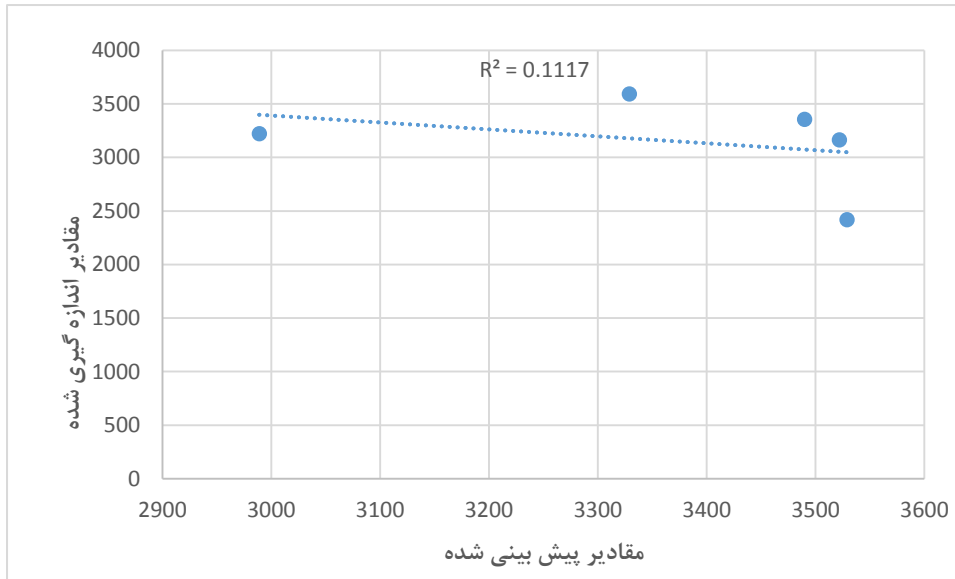
نتایج این جدول به نوعی تأکید کننده‌ی نتایج جدول (۴-۴) است به طوری‌که بیش‌ترین ریشه‌ی میانگین مربعات خطا در مدلی رخ داده که پارامتر T_{\min} از آن حذف شده در حالیکه کم‌ترین ریشه‌ی میانگین مربعات خطا در مدلی رخ داده است که سرعت باد از آن حذف شده و به ترتیب بیانگر تأثیر بالا و اندک این دو پارامتر در برآورد میزان عملکرد محصول است.



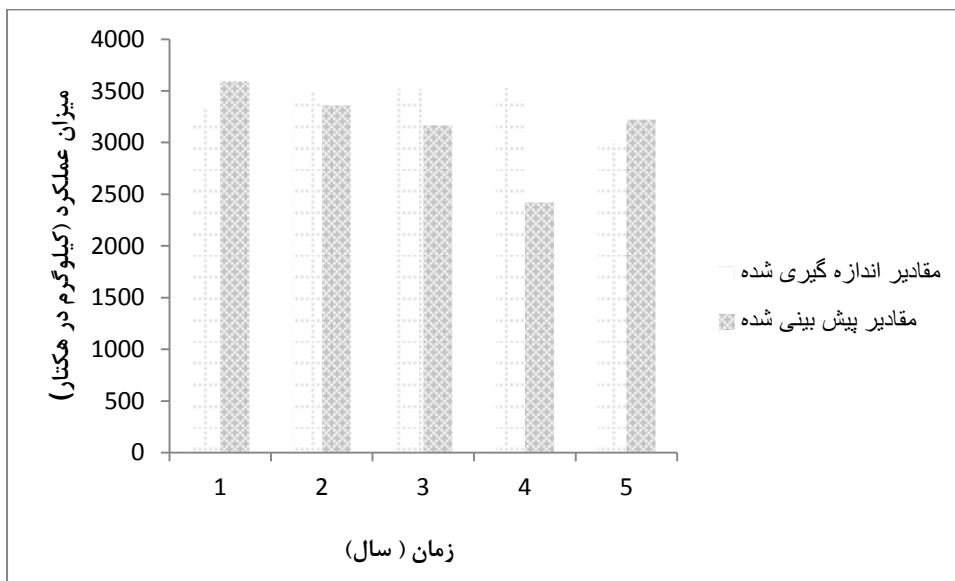
شکل (۴-۱۳) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد با حذف حداقل مطلق دما (مرحله آموزش)



شکل (۴-۱۴) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با حذف حداقل مطلق دما (مرحله آموزش)



شکل (۴-۱۵) برازش بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده میزان عملکرد با حذف حداقل مطلق دما (مرحله صحت‌سنجی)



شکل (۴-۱۶) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل با حذف حداقل مطلق دما (مرحله صحت‌سنجی)

۴-۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد میزان عملکرد محصول گندم آبی شهرستان شاهرود در یک بازه‌ی زمانی ۱۹ ساله مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین پارامترهای ورودی ساختارهای مختلف شبکه‌ی عصبی در این تحقیق را پارامترهای اصلی هواشناسی اخذ شده از ایستگاه هواشناسی منطقه تشکیل دادند. همچنین درجه‌ی تأثیر هر یک از عوامل ورودی بر روی برآورد میزان عملکرد محصول بررسی شد. در شکل‌ها (شکل‌های فصل ۴) مقادیر عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه‌ی عصبی و مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد برای الگوهای ورودی مختلف نمایش داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که از میان مدل‌های مختلف شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مدل شبکه‌ی عصبی با ساختار ۱-۱۵-۱۵-۷ با تابع آستانه‌ی سیگموئید در مقایسه با توابع دیگر نتایج بهتری را ارائه می‌دهد، به‌طوریکه ضریب هم‌بستگی ۰/۹۲ و مقدار خطای آن ۱۶۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که در بین عوامل ورودی حداقل مطلق دما در تعیین عملکرد گندم فاریاب شهرستان شاهرود بالاترین نقش را دارا بوده. و پس از آن پارامتر عمق آب آبیاری در رتبه‌ی دوم جای داشته است. علاوه بر دو عنصر فوق تبخیر-تعرق گیاهی، حداکثر ساعات آفتابی، حداکثر مطلق رطوبت نسبی، حداکثر مطلق دما و حداکثر سرعت باد نیز در میزان تغییر عملکرد مؤثر بوده که حداکثر سرعت باد کم‌ترین تأثیر را در این برآورد از خود نشان داد.

۴-۷- پیشنهادات

با مطالعه‌ی تحقیقات گذشته و علی‌رغم اهمیت محصولاتی مانند گندم فاریاب متأسفانه پژوهش‌هایی در زمینه‌ی پیش‌بینی عملکرد این محصول استراتژیک انجام نشده است. در این پایان‌نامه با استفاده

از شبکه‌ی عصبی مصنوعی سعی در پیش‌بینی عملکرد گندم فاریاب در شهرستان شاهرود شد. برای اینکه بتوان از نتایج مؤثرتری در این راستا بهره‌جست موارد زیر به عنوان موضوعاتی برای تحقیقات آینده توصیه می‌شود:

۱- پیش‌بینی میزان عملکرد گندم در سایر مناطق کشور

۲- پیش‌بینی عملکرد دیگر محصولات آبی

۳- استفاده از پارامترهای مستخرج شده از تکنیک سنجش از دور (NDVI) بهبود مدل‌سازی در پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی

منابع

- اندرزیان ب، بخشنده ع م، فتحی قا، عالمی خ، بنایان م، امام ی، (۱۳۸۶)، " CDSS-Model: مدلی برای شبیه‌سازی مراحل نمو گیاهان زراعی"، *زراعت و باغبانی*، شماره ۷۶.
- اکبری م، (۱۳۹۰)، "بیلان آب و خاک و عملکرد محصول گندم با استفاده از مدل شبیه‌سازی Aqua crop (مطالعه موردی در شبکه آبیاری آبشار اصفهان)"، *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، جلد ۱۲، شماره ۴، ص ۱۹-۳۴.
- ادب ح، فرخ‌زاد م، فیله‌کش ا، اسماعیلی ر، (۱۳۹۲)، "تهیه‌ی نقشه‌ی عملکرد محصول کلزای پاییزه با استفاده از شبکه‌ی عصبی پرسپترون (مطالعه‌ی موردی: سبزوار)"، *دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر*، فصل‌نامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۳، ص ۱۸۰-۱۷۱.

اکبریور، خراشادی زاده، شهیدی ع، قوچانیان، (۱۳۹۲)، "ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد محصول زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی"، **مجله‌ی پژوهش‌های زعفران**، ۱، ص ۲۷-۳۵.

باقری س، قیصری م، ایوبی ش، لوابی ن، (۱۳۹۱)، "پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، **مجله‌ی پژوهش‌های گیاهی** (۱۹)، شماره ۴.

بی‌نام، (۱۳۹۳)، **آمارنامه کشاورزی ایران**. سازمان جهاد کشاورزی و دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

تاتاری م، (۱۳۸۷)، **پایان‌نامه ارشد**: "پیش‌بینی عملکرد گندم در استان خراسان با به کارگیری داده‌های اقلیمی و خاک‌شناسی و با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی"، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

جلالی ور، صادقی‌زاده و، (۱۳۹۱)، "ارزیابی توان شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد گندم در برخی اراضی زراعی خراسان شمالی"، **همایش ملی خاک، کشاورزی پایدار**. دانشگاه ملایر.

حسینی س م ط، سی‌وسه مرده ع، فتحی پ، سی‌وسه مرده م، (۱۳۸۶)، "کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در برآورد عملکرد گندم در منطقه قروه استان کردستان"، **پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی**، جلد ۷، شماره ۱، ۴۱-۵۴.

خزاعی م، (۱۳۸۲)، **پایان‌نامه ارشد**: "مدل شبیه‌سازی به منظور پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی گندم بهاره در دو شهرستان بیرجند و زابل"، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه زابل.

خوشحال دستجردی ج، حسینی س م، (۱۳۸۹)، "کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی عناصر اقلیمی و پیش‌بینی سیکل خشک‌سالی (مطالعه‌ی موردی: استان اصفهان)"، **مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی**، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۹، شماره ۳، ص ۱۲۰-۱۰۷.

دربندی ص، کاوه ف، فاخری فردا، صدقی ح، کمالی غ، (۱۳۸۶)، "معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشک‌سالی بر پایه‌ی عملکرد نسبی محصول"، **مجله‌ی علوم کشاورزی**، جلد ۱۳، شماره ۳، ص ۱۰۷-۱۲۳.

دلقدی م، اندرزیان ب، برومند نسب س، مساح بوانی ع، جواهری ا، (۱۳۹۳)، "ارزیابی مدل CERES-wheat نسخه 4.5 در شبیه‌سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت-های مختلف تخصیص آب در مزرعه"، **نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، جلد ۲۸، شماره ۱، ص ۸۲-۹۱.

رحمانی ا، لیاقت ع، خلیلی ع، (۱۳۸۷)، "تخمین عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی با استفاده از پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی به روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی"، **مجله‌ی تحقیقات آب و خاک ایران**، دوره‌ی ۳۹، شماره ۱، ص ۴۷-۵۲.

زارع ابیانه ح، (۱۳۹۱)، "ارزیابی روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی عملکرد گندم دیم و آبی (مطالعه‌ی موردی: خراسان رضوی)"، **پژوهش‌های جغرافیای طبیعی**، سال ۴۴، شماره ۴، ص ۲۳-۴۲.

زارع ابیانه ح، (۱۳۹۲)، "بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشک‌سالی بر تغییرپذیری عملکرد چهار محصول دیم در مشهد و بیرجند"، **نشریه‌ی دانش آب و خاک**، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۳۹-۵۶.

سبحانی ن، عرب‌اسدی ز، (۱۳۹۲)، "پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با استفاده از سیستم شبکه‌ی عصبی (استان خراسان شمالی)"، **همایش ملی الکترونیکی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه**.

ستاری مت، نهرین ف، عظیمی و، (۱۳۹۲) "پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مدل درختی M5 (مطالعه موردی: ایستگاه بناب)"، نشریه‌ی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۷، ص ۱۱۳-۱۰۴.

سجادی س ج، صبوری ح، (۱۳۹۲)، "کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد محصول کلزا"، مجله‌ی تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، سال ۳، شماره ۱۰.

شاهنوشی ن، ژاله رجبی م، صالحی ف، (۱۳۸۸)، "پیش‌بینی عملکرد نیشکر و واردات شکر در ایران با استفاده از مدل ARIMA و شبکه‌ی عصبی"، همایش تخصصی بررسی مسائل اقتصادی نیشکر و صنایع وابسته به آن.

شایگانی سلطان‌پور ع، سید شریفی ر، عباسی ه، ویسانی و، (۱۳۸۹)، "ارزیابی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم دیم منطقه‌ی اردبیل با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مقایسه‌ی آن با مدل رگرسیون خطی"، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شعبانی ا، حق‌نیا غ ح، کریمی ع، احمدی م م، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه سیسب استان خراسان شمالی"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، فن‌آوری‌های نوین در علوم خاک.

شیردلی ع، توسلی ا، (۱۳۹۴)، "پیش‌بینی عملکرد و کارایی مصرف آب زعفران با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی بر مبنای فاکتورهای اقلیمی و آب"، نشریه‌ی زراعت و فناوری زعفران، جلد ۳، شماره ۲، ص ۱۳۱-۱۲۱.

علیجانی ف، کرباسی ع، مظفری مسن م، (۱۳۹۰)، "بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران"، اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۱۹، شماره ۷۶.

فولادمند ح، (۱۳۸۹) "پیش‌بینی ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در استان فارس"، **مجله دانش آب و خاک**، جلد ۱، شماره ۲.

گلابی م، کرمی ب، الباجی م، (۱۳۹۲)، "آنالیز حساسیت عملکرد نیشکر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۸-۶ اسفند ماه.

منهاج م، (۱۳۷۹)، مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

ملاعزای ع ج، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه ارشد: "پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با استفاده از رگرسیون چند متغیره و شبکه‌ی عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان گلستان)، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

نوروزی م، ایوبی ش، جلالیان ا، خادمی ح و دهقانی ا، (۷ الی ۹ آبان ماه ۱۳۸۷)، "ارزیابی کارایی شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی مؤلفه‌های عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل رقوم پستی و بلندی زمین"، دومین کنگره‌ی مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند ایران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

نورانی و، سیاح‌فرد م، (۱۳۹۰)، "آنالیز حساسیت داده‌های ورودی به شبکه‌ی عصبی مصنوعی به منظور برآورد مقدار تبخیر روزانه".

هاشمی نسب خبیصی ف، موسوی بایگی م، بختیاری ب، بنایان اول م، (۱۳۹۳) "اثر بارش بر عملکرد گندم دیم و شاخص رضایت‌مندی نیاز آبی در مقیاس زمانی" **فصل‌نامه علمی پژوهشی آبیاری و آب**، سال ۵، شماره ۱۷.

یزدان‌پناه ح، موحدی س، سلیمانی‌تبار م، صالحی م، (۱۳۸۹) "تعیین میزان اثر عناصر اقلیمی بر عملکرد گندم دیم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند" **جغرافیا و توسعه**، شماره ۲۰، ص ۱۴۴-۱۳۳.

Alvarez, R., (2009), "Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach", **Europ. J. Agronomy.**, **30**. pp 70 –77.

Drummond ST, Suduth KA, Joshi A, Birrell SJ and Kitchen NR, (2003), "Statistical and neural methods for site-specific yield prediction", **Transations of the ASAE.**, **46**. pp 5-14.

Emamgholizadeh, S., Parsaeian, M., Baradaran, M., (2015), "Seed yield prediction of sesame using artificial neural network", **Europ. J. Agronomy.**, **68**. pp 89–96.

Kaul, M., L.Hill, R., Walthall, C., (2005), "Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction", **Agricultural System.**, **85**.pp 1-18.

Miao, Y., Mulla DJ and Robert PC., (2006), "Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks", **Precision Agric.**, **7**. pp 117-135.

Park, S.J. and C.S. Hwang., (2005), "Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management condition", **Agricultural Systems.**, **85**. pp 59-88.

Sarker, R.P., (1988), "A New approach to agroclimatic classification to find out crop potential", **Mousam.**, **39:4**. pp 343-358.

Wu, F.Y. and Yen, K.K. (1992), "Application of neural network in regression analysis", **Computers and Industrial Engineering.**, **23**. pp 93-95.

Abstract

The realization of sustainable agriculture in each region requires the observance of management issues. That is, in order to achieve optimal performance, it is essential to know all the factors affecting crop production. Estimates of the performance of strategic products such as wheat, due to the importance of economic planning it is very important. The main objective of this study was to determine the effective parameters in estimating the yield of irrigated wheat an artificial neural network model was used to predict the yield of irrigated wheat with the help of climatic parameters in Shahrood and between 1996 and 2014. In order to apply the neural network, was used Qnet 2000 software, which is able to determine the percentage of input parameters input on the output. Model inputs include minimum absolute temperature, mean of minimum temperature, maximum absolute temperature, average maximum temperature and average temperature, absolute absolute humidity, average relative humidity, absolute

maximum relative humidity, average relative humidity and average relative humidity, rainfall, Maximum wind speed, maximum sunshine, number of freezing days, irrigation water depth and evapotranspiration. The results of this study showed that the minimum absolute parameters of water temperature and depth of irrigation water were the most and the wind speed parameter had the least effect on the estimation of yield in the study area. Also, based on the results, the neural network with sigmoid transfer function and structure 7-15-15-1 (7 input neurons, 2 intermediate layers and 1 output) yielded the best results so that was obtained root mean square error of RMSE = 167 kg / ha. Although the number of years in which wheat yields are less than their actual value is lower, however, the largest estimate error is related to the 8th and 10th years (increase 19.88% and 17% respectively, Relative to the real mode) , Which are part of the over the years. The results of this study showed that by removing the minimum absolute of temperature and depth of irrigation water components , root mean square error of 167 kg / ha would increase to 548 and 352 kg / ha respectively. The results of this research showed that artificial neural network could be a suitable alternative for plant simulator models in case of proper training and the use of reliable data.

Key words: Artificial Neural Network, Performance, Wheat, Meteorological Parameters.



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Evaluation the Performance of Artificial Neural Networks in Predicting
Irrigated Wheat Crop Yield (Case Study: Shahrood Area)

Mahnaz Kosari

Supervisor(s):

Dr. Khalil Azhdary

Dr. Ruzbeh Moazen zadeh

Advisor:

Dr. Manoochehr Gholipoor

July 2017

