

## کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد محصول کلزا

سید جواد سجادی\* و حسین صبوری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۴)

### چکیده

پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی نقش مهمی در سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی ایفا می‌کند. آشکارترین کاربرد پیش‌بینی عملکرد، تعیین اعتبار لازم توسط دولت جهت خرید محصول و قیمت‌گذاری آن برای سال آینده می‌باشد. تحقیقات مربوط به پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی بیشتر بر پایه استفاده از تحلیل رگرسیونی استوار بوده است. در این پژوهش عملکرد محصول کلزای دیم در منطقه گنبد استان گلستان توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۱ سال زراعی (۱۳۷۷-۱۳۸۸) پیش‌بینی شد. ورودی‌های شبکه‌های عصبی میانگین بارندگی هفتگی، میانگین درجه حرارت هفتگی، میانگین رطوبت نسبی هفتگی و میانگین تعداد ساعات آفتابی هفتگی و خروجی آنها میزان عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد. از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با الگوریتم آموزش پس‌انتشار لونیگ-مارکواردت (Levenberg-Marquardt) (LM) برای پیش‌بینی عملکرد استفاده شد و معیارهای ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) (Root Mean Square Error) و مجذور ضریب هم‌بستگی ( $R^2$ ) (Correlation Coefficient) جهت ارزیابی کارایی شبکه استفاده شده به کار گرفته شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با ساختار ۱-۲۰-۱۳ دارای کمترین مقدار RMSE برابر با ۱۰۱/۲۳۵ و بیشترین مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۹۷ در میان ساختارهای مختلف شبکه عصبی به کار گرفته شده می‌باشد. این نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای شبکه عصبی آموزش‌دیده در پیش‌بینی عملکرد محصول کلزاست.

واژه‌های کلیدی: کلزا، شبکه عصبی مصنوعی، عملکرد

۱. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: javad.sajadi@ghc.ac.ir

## مقدمه

محصول گندم دیم بر اساس داده‌های هواشناسی در منطقه قروه استان کردستان استفاده کردند. شبکه عصبی مورد استفاده دارای یک لایه مخفی، ۴ نرون در لایه مخفی، تابع آستانه سیگموئید، آهنگ یادگیری برابر با ۰/۲ و تعداد تکرار محاسباتی برابر با ۱۶ بود. ضریب تبیین بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی عملکرد برابر با ۰/۹۹۹ و شیب خط رگرسیون بین متغیرها برابر با ۱/۰۰۸ بوده است. کائل و همکاران (۶) با استفاده از داده‌های هفتگی بارندگی بر اساس شبکه‌های عصبی عملکرد محصول ذرت را با دقت ۷۷ درصد با RMSE برابر با ۱۰۳۶ و عملکرد محصول سویا را با دقت ۸۱ درصد با RMSE برابر با ۲۱۴ پیش‌بینی کردند. رحمانی و همکاران (۱۱) با استفاده از پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی و استفاده از شبکه عصبی MLP چهار لایه با دقت ۹۳ و ۹۱ درصد در نقاط مختلف استان آذربایجان شرقی عملکرد جو را پیش‌بینی کردند. در تمامی مطالعات اشاره شده مدل‌های شبکه عصبی نتایج بهتری نسبت به تحلیل رگرسیونی نشان داده‌اند.

تحقیقات در زمینه استفاده از شبکه عصبی در کلزا اغلب در زمینه پیش‌بینی میزان روغن به‌دست آمده از دانه‌های کلزا بوده است (۳). در مورد پیش‌بینی عملکرد کلزا تاکنون تحقیقی گزارش نشده است. لذا با توجه به سیاست‌گذاری وزارت جهاد کشاورزی در جهت توسعه زراعت کلزا انجام تحقیقات در زمینه استفاده از تکنولوژی‌های جدید در زمینه برآورد عملکرد کلزا ضروری می‌باشد.

در این پژوهش که جنبه کاربردی دارد انتظار می‌رود توانایی شبکه عصبی در پیش‌بینی محصول کلزای دیم با استفاده از متغیرهای هواشناسی به اثبات رسیده و متغیرهای بهینه جهت برآورد عملکرد محصول به‌دست آیند.

## مواد و روش‌ها

## داده‌های هواشناسی و عملکرد محصول کلزا

در این مطالعه از داده‌های هواشناسی شهرستان گنبد گردآوری

کلزا گیاهی یک ساله و دگرگشن از خانواده شب بو (Brassicaceae) از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) (Food and Agriculture Organization) کلزا از نظر کمیت سومین منبع تولید روغن نباتی در جهان به‌شمار می‌رود (۸). کلزا در اغلب مناطق ایران کشت می‌شود و کشت آن در اکثر خاک‌ها امکان‌پذیر است. مقدار روغن دانه کلزا در حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد وزن کل دانه‌هاست. روغن حاصله به مصرف تولید مارگارین یا کره نباتی و تفاله حاصله که در حدود ۲۵ درصد پروتئین و ۱۰ درصد روغن دارد به مصرف خوراک دام می‌رسد (۱۲). با توجه به مصارف خوراکی و صنعتی و افزایش سطح زیر کشت آن در ایران و نقش مهمی که این محصول می‌تواند در کاهش وابستگی به خارج از کشور در زمینه واردات روغن گیاهی داشته باشد، افزایش میزان عملکرد این محصول مورد توجه قرار گرفته است.

میزان تولید محصولات دیم صرف‌نظر از وابستگی به خصوصیات ژنتیکی رقم، شرایط خاک و فن‌آوری کاشت، داشت و برداشت به شدت تحت تأثیر روند وقوع عوامل اقلیمی است و در این میان کیفیت نزول بارش و چگونگی هم‌زمانی آن با دما، نوسانات درجه حرارت در طول دوره رشد گیاه، رطوبت نسبی هوا و تعداد ساعات آفتابی در طول دوره رشد گیاه از اهمیت بسزایی برخوردار هستند.

تحقیقات مربوط به پیش‌بینی محصولات کشاورزی با استفاده از متغیرهای آب و هوایی بیشتر بر پایه استفاده از تحلیل رگرسیونی استوار بوده است. این تحقیقات محاسبه تأثیر آب‌وهوا را بر اساس انحراف عملکرد در سال‌های مورد نظر از خط رگرسیون که حاصل نتایج درازمدت سال‌های گذشته (حداقل ۱۰ سال) می‌باشد ممکن می‌سازد. در سال‌های گذشته شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان روشی بهتر در برآورد عملکرد محصولات کشاورزی به‌کار رفته‌اند. حسینی و همکاران (۵) از شبکه‌های عصبی به منظور پیش‌بینی عملکرد

$$a = \tan \operatorname{sig}(n) = \frac{2}{1 + \exp(-2n)} - 1 \quad [1]$$

$$a = \operatorname{purelin}(n) = n \quad [2]$$

در این روابط  $n$  ورودی نرون و  $a$  خروجی آن است.

برای آموزش شبکه الگوریتم‌های مختلف آموزش پس‌انتشار مورد بررسی قرار گرفتند که عبارت اند از: الگوریتم آموزش پس انتشار گرادیان شیب با ممنتوم (Gradient descent with momentum)، الگوریتم آموزش پس انتشار ارتجاعی (backpropagation Resilient)، الگوریتم آموزش پس انتشار گرادیان شیب با نرخ یادگیری تطابقی (Gradient descent with adaptive learning rate backpropagation)، الگوریتم آموزش پس انتشار گرادیان شیب با ممنتوم و با نرخ یادگیری تطابقی (Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation) و الگوریتم آموزش پس انتشار لونبرگ-مارکواردت (LM) (Levenberg-Marquardt)، در نهایت مشخص شد که الگوریتم آموزش پس انتشار لونبرگ-مارکواردت (LM) نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم‌ها به دست می‌دهد. این الگوریتم هم‌چنین از سرعت بسیار بالاتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار می‌باشد. سپس تمامی شبکه‌ها با این الگوریتم آموزش داده شدند. برنامه ایجاد و آموزش شبکه عصبی در محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB 7.12.0 نوشته شد.

شبکه پس‌انتشار انتخاب شده دارای پارامترهای مختلفی می‌باشد که باید در به‌کارگیری شبکه مورد توجه قرار گیرد. این پارامترها عبارت اند از: تعداد تکرارهای شبکه (Epoch)، هدف (Goa)، زمان آموزش شبکه، حداقل مقدار تابع گرادیان و ... که در نمونه مورد استفاده تعداد تکرارهای شبکه ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. هدف شبکه در حقیقت مقدار تابع MSE می‌باشد که شبکه با رسیدن به آن آموزش را متوقف می‌کند. برای رسیدن به بهترین نتیجه این مقدار برابر با صفر در نظر گرفته شد. برای محاسبه خروجی شبکه از داده‌هایی که برای شبکه ناشناخته بوده و در جریان آموزش شبکه به آن

شده طی سال‌های زراعی ۷۷-۷۸ تا ۸۷-۸۸ شامل بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر، حداقل و حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی روزانه و میزان روزانه تشعشع خورشید بر حسب تعداد ساعات آفتابی استفاده شد. داده‌های عملکرد محصول کلزای دیم از داده‌های آمارنامه عملکرد محصولات کشاورزی استان گلستان مربوط به سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۷۷ تا ۸۸-۱۳۸۷ استخراج شدند. این داده‌ها به عنوان خروجی مطلوب شبکه عصبی در نظر گرفته شدند.

### استخراج مشخصه

از آنالیز رگرسیون چند مرحله‌ای پیش‌رو (Stepwise Forward Regression) برای انتخاب مشخصات بهینه جهت پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده شد. در این آنالیز متغیر وابسته عملکرد محصول و متغیر مستقل میانگین هفتگی پارامترهای آب و هوایی ذکر شده در تمامی هفته‌های طول دوره رشد کلزا می‌باشد. نتایج این آنالیز در جداول ۱ تا ۴ ذکر شده‌اند. خروجی این مرحله به عنوان ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شد.

### ایجاد و آموزش شبکه عصبی

از شبکه عصبی چند لایه (MLP) برای مدل‌سازی استفاده شد (شکل ۳). این شبکه دارای سه لایه نرون است. تعداد نرون در لایه اول برابر با تعداد عناصر بردار مشخصات ورودی به شبکه در نظر گرفته شد. در لایه خروجی از یک نرون استفاده شد. ورودی‌های شبکه به صورت دسته‌ای به شبکه اعمال شدند. در این روش تمامی ورودی‌ها به صورت هم‌زمان به شبکه اعمال می‌شوند و تنظیم وزن‌ها و مقادیر آستانه شبکه پس از آن‌که تمامی ورودی‌ها به شبکه اعمال شدند انجام می‌گیرد. از تابع انتقال سیگموئید (۱) در نرون‌های لایه میانی و تابع انتقال خطی (۲) در لایه خروجی استفاده شد. نمودار این توابع مطابق شکل‌های ۱ و ۲ می‌باشد.

جدول ۱. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه کلزا به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی بارندگی در طول دوره رشد کلزا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹

مرحله	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	F	R <sup>2</sup> مدل
۱	میانگین هفتگی بارندگی از ۲۹ آبان تا ۵ آذر	۱۳۷/۶۳۸	۲۷/۱۹۵	۱۴/۳۸۴***	۰/۶۱۵
۲	میانگین هفتگی بارندگی از ۱۵ تا ۲۱ آبان	۱۹/۵۹۰	۱۹/۵۹۰	۱۴/۲۶۲***	۰/۷۲۶

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد عرض از مبدا=۱۳۷۱/۱۳

جدول ۲. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه کلزا به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درجه حرارت در طول دوره رشد کلزا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹

مرحله	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	F	R <sup>2</sup> مدل
۱	میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه از ۱۳ تا ۱۹ فروردین	-۸۶/۹۶۹	۲۲/۹۷۰	۶/۴۳۹*	۰/۴۱۷
۲	میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه از ۳۰ بهمن تا ۶ اسفند	-۸۱/۸۶۷	۲۸/۴۴۱	۹/۹۶۹**	۰/۷۰۴

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد عرض از مبدا=۴۸۷/۸۴۲

جدول ۳. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه کلزا به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا در طول دوره رشد کلزا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹

مرحله	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	F	R <sup>2</sup> مدل
۱	میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا از ۱۰ تا ۱۶ اردیبهشت	۵۳/۳۶۳	۳/۴۵۴	۱۶/۷۲۹**	۰/۶۵۰
۲	میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا از ۱۸ تا ۲۴ دی	-۲۵/۳۷۸	۲/۸۴۷	۱۵/۸۰۷**	۰/۷۹۸
۳	میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا از ۲۰ تا ۲۶ آذر	-۹/۷۶۱	۱/۶۹۵	۲۶/۷۹۳**	۰/۹۲۰
۴	میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا از ۱۷ تا ۲۳ اردیبهشت	۸/۶۰۹	۲/۰۶۳	۷۱/۵۳۸**	۰/۹۷۹

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد عرض از مبدا=۷۷/۱۷۰

شبکه عصبی در پیش بینی عملکرد محصول از معیارهای ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و مجذور ضریب هم‌بستگی (R<sup>2</sup>) استفاده شد (۴):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad [3]$$

عرضه نشده‌اند استفاده شد. ۵۵ درصد داده‌ها جهت آموزش شبکه عصبی و ۴۵ درصد داده‌ها جهت آزمایش شبکه عصبی به کار گرفته شدند.

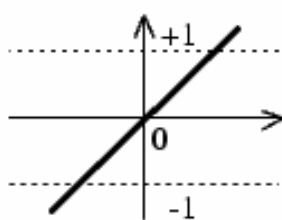
معیار ارزیابی کارایی شبکه عصبی: به منظور بررسی کارایی

جدول ۴. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه کلزا (متغیر وابسته) و میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی در

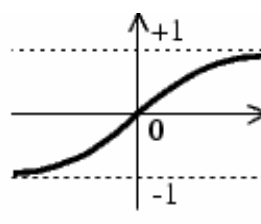
طول دوره رشد کلزا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹

مرحله	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	F	R <sup>2</sup> مدل
۱	میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۱۰ تا ۱۶ اردیبهشت	-۱۳۵/۲۴۴	۲۱/۶۴۷	۳/۹۶۵	۰/۳۰۶
۲	میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۸ تا ۱۴ آبان	۱۰۰/۶۸۱	۱۸/۳۸۱	۴/۶۳۷*	۰/۵۳۷
۳	میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۱۴ تا ۲۰ خرداد	۷۶/۹۷۱	۲۴/۰۲۳	۶/۴۷۷**	۰/۷۳۵
۴	میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۲۸ اسفند تا ۵ فروردین	-۷۶/۴۲۳	۲۳/۹۵۴	۹/۷۱۲**	۰/۸۶۶
۵	میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۱۴ تا ۲۰ اسفند	-۴۵/۹۶۵	۲۰/۷۸۲	۱۳/۷۸۸**	۰/۹۳۲

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد عرض از مبداء = ۱۳۵/۰۵۶-



شکل ۲. تابع انتقال خطی

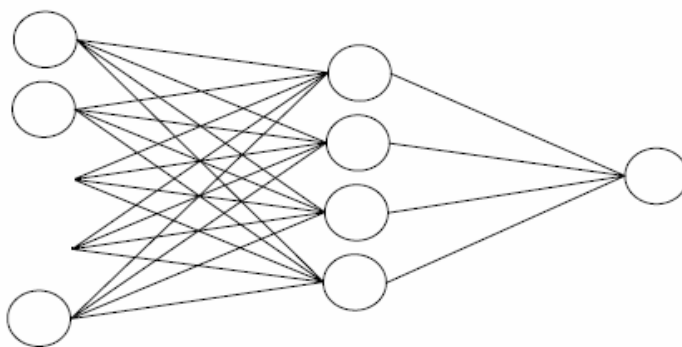


شکل ۱. تابع انتقال سیگموئید

لایه ورودی

لایه میانی (لایه مخفی)

لایه خروجی



شکل ۳. ساختار شبکه عصبی آموزش دیده

### نتایج، بحث و نتیجه‌گیری

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد محصول به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی بارندگی در طول دوره رشد کلزا به مدت ۳۴ هفته به عنوان متغیر مستقل (مجموعاً ۳۴ متغیر مستقل) نشان داد که میانگین هفتگی بارندگی از ۲۹ آبان تا ۵ آذر و ۱۵ آبان تا ۲۱ آبان به ترتیب وارد مدل شده و

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum \hat{y}_t^2} \quad [4]$$

در این روابط  $y_t$ ،  $\hat{y}_t$  و  $n$  به ترتیب مقدار مشاهده واقعی (مقدار واقعی عملکرد محصول)، مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (شبکه عصبی) و تعداد مشاهدات (تعداد سال‌های مربوط به گروه آزمایش) می‌باشد.

از ۲۹ آبان تا ۵ آذر و میانگین هفتگی بارندگی از ۱۵ تا ۲۱ (آبان) به دلیل هم‌زمان بودن با مراحل رشد رویشی گیاه کلزا تأثیر زیادی در عملکرد کلزا دارند. چرا که تنش خشکی در این مرحله از رشد گیاه می‌تواند باعث از بین رفتن گیاهچه‌های سبز شده شود. مؤلفه‌های ۳ و ۴ بردار ورودی (میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه از ۱۳ فروردین تا ۱۹ فروردین و ۳۰ بهمن تا ۶ اسفند) در زمان گلدهی و در طول زمستان (بعد از تشکیل روزت) بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارند. مؤلفه‌های ۵ تا ۸ بردار ورودی (میانگین هفتگی درصد رطوبت نسبی هوا از ۱۰ تا ۱۶ اردیبهشت، ۱۸ دی تا ۲۱ دی، ۲۰ آذر تا ۲۶ آذر و ۱۷ اردیبهشت تا ۲۳ اردیبهشت) در زمان گلدهی و رشد رویشی گیاه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارند. از آنجا که کلزا یک گیاه روز بلند است و برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی نیاز به روزهای بلند دارد و با افزایش طول روز گلدهی تسریع می‌شود، در این مرحله تعداد ساعات آفتابی اهمیت فراوان دارد. بنابراین مؤلفه‌های ۹ تا ۱۳ بردار ورودی (میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۱۰ اردیبهشت تا ۱۶ اردیبهشت و ۸ آبان تا ۱۴ آبان، ۱۴ تا ۲۰ خرداد، ۲۸ اسفند تا ۵ فروردین و ۱۴ تا ۲۰ اسفند) بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارند.

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با تحقیقات قبلی انجام شده در این زمینه هماهنگی نزدیکی دارد. دقت پیش‌بینی عملکرد محصول گندم توسط حسینی و همکاران (۵) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برابر با ۰/۹۹ بوده است اما در خصوص ساختار شبکه عصبی مورد استفاده اطلاعاتی گزارش نشده است. ساختار شبکه و دقت پیش‌بینی در مطالعه کائل و همکاران (۶) با نتایج به‌دست آمده در این مقاله همخوانی بیشتری دارد. رحمانی و همکاران (۱۱) از شبکه عصبی با ساختار ۴ لایه استفاده کردند. نتایج استفاده از شبکه عصبی با تعداد لایه مخفی بیشتر تفاوت معنی‌داری با نتایج حاصله از به‌کارگیری شبکه با یک لایه مخفی نداشت. دقت به‌دست آمده در این تحقیق از تمامی مطالعات ذکر شده بیشتر بوده است.

توانستند بیش از ۷۲ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۱).

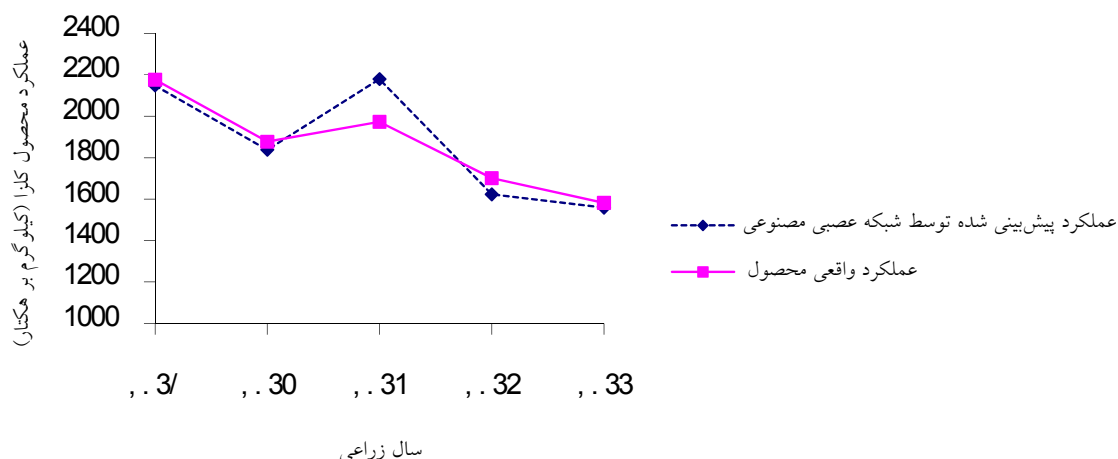
نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه در طول دوره رشد کلزا به مدت ۳۴ هفته به عنوان متغیر مستقل نشان داد که میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه از ۱۳ فروردین تا ۱۹ فروردین و ۳۰ بهمن تا ۶ اسفند به ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۷۰ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۲).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درصد رطوبت نسبی هوا در طول دوره رشد کلزا به مدت ۳۴ هفته به عنوان متغیر مستقل نشان داد که میانگین هفتگی درصد رطوبت نسبی هوا از ۱۰ تا ۱۶ اردیبهشت، ۱۸ دی تا ۲۱ دی، ۲۰ آذر تا ۲۶ آذر و ۱۷ اردیبهشت تا ۲۳ اردیبهشت به ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۰ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۳).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی در طول دوره رشد کلزا به مدت ۳۴ هفته به عنوان متغیر مستقل نشان داد که میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی از ۱۰ اردیبهشت تا ۱۶ اردیبهشت و ۸ آبان تا ۱۴ آبان، ۱۴ تا ۲۰ خرداد، ۲۸ اسفند تا ۵ فروردین و ۱۴ تا ۲۰ اسفند به ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۳ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۴).

۱۳ متغیر استخراج شده که در جدول‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده‌اند بیشترین تغییرات عملکرد محصول را توجیه می‌کنند. نتایج به‌دست آمده از آموزش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که از میان ساختارهای مختلف بررسی شده، شبکه عصبی با ساختار ۱-۲۰-۱۳ دارای کمترین مقدار  $RMSE$  برابر با ۰/۲۳۵/۱۰۱ و بیشترین مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۹۷ می‌باشد. در شکل ۴ عملکرد پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی مذکور و عملکرد واقعی محصول کلزای دیم نشان داده شده است.

مؤلفه‌های ۱ و ۲ بردار ورودی (میانگین هفتگی بارندگی



شکل ۴. مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و عملکرد واقعی

کاووس انجام گردیده است. لذا از حمایت های مدیریت پژوهشی و فناوری دانشگاه گنبد کاووس و کلیه همکاران گروه تولیدات گیاهی آن دانشگاه سپاسگزاری به عمل می‌آید.

لازم به ذکر است که در زمینه پیش‌بینی عملکرد کلزای دیم گزارشی به دست نیامد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه گنبد

### منابع مورد استفاده

- Alvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *European Journal of Agronomy* 30:70-77
- Beale, R. and T. Jackson. 1990. *Neural Computing, An Introduction*. Adam Hilger, IOP Pub. Ltd, Bristol.
- Dehghani, A. A., Z. B. Mohammadi, Y. Maghsoudlou and A.S. Mahoonak. 2012. Intelligent Estimation of the Canola Oil Stability Using Artificial Neural Networks. *Food Bioprocess Technology* 5(2): 533-540
- Haykin, S. (1994), *Neural Networks A Comprehensive Foundation*. Macmillan, New York.
- Hosaini, M. T., A. Siosemarde, P. Fathi and M. Siosemarde. 2007. Application of artificial neural network (ANN) and multiple regressions for estimating assessing the performance of dry farming wheat yield in Ghorveh region, Kurdistan province. *Agricultural Research* 7(1) :41-54 (in Farsi)
- Kaul, M., R. L. Hill and C. Waithall. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems* 85:1-18
- Menhaj, M. B. 2010. *Fundamentals of Neural Networks*. Amirkabir University Press., Tehran, Iran. (in Farsi)
- Nazardad, A. 2001. *Canola Mechanization*. IAERI Pub., Center for Development of Agricultural Mechanization. (in Farsi)
- Neural Network Toolbox User's Guide. 2006. Math Works Inc., Natick, Massachusetts, USA.
- Petr, J. 1991. *Weather and Yield*. Elsevier Pub., Amsterdam and New York.
- Rahmani, A., A. Liyaqat and A. Khalili. 2009. Predicting barely yield in eastern Azarbayejan province using climate parameters and Drought indexes with neural networks. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 39(1):47-56 (in Farsi)
- Saadat Lajevardi, N. 1980. *Oil Seeds*. Tehran University Pub., Tehran, Iran. (In Farsi)