

## Assessment and Modeling of Energy Consumption, Yield and Greenhouse Gas Emissions of Irrigated Chickpea Production in Isfahan Province

BEHZAD ELHAMI<sup>1</sup>, ASADOLLAH AKRAM<sup>2</sup>, MAJID KHANALI<sup>3\*</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
(Received: Oct. 3, 2017- Revised: Jan. 11, 2018- Accepted: Feb. 3, 2018)

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate and model the energy consumption and greenhouse gas emissions of irrigated chickpea cultivation in Isfahan province using multilayer perceptron artificial neural network (ANN). The amount of each consumed inputs in production were collected from 110 producers of chickpea randomly by a questionnaire. The total energy consumption, product yield and energy ratio in chickpea production were calculated as 33211.18 MJ/ha, 2276.36 kg/ha, and 1.02, respectively. Nitrogen fertilizer with 9808 MJ/ha had the highest amount of consumed energy. Total greenhouse gas (GHG) emissions were calculated 965.20 kg CO<sub>2</sub>eq. ha<sup>-1</sup>, in which, electricity and diesel fuel had the highest amount of total GHG emissions with 36% and 34%, respectively. An ANN model with 13-7-2 topology was recognized as the best model for prediction of yield and total GHG emissions. Based on this ANN model, the values of determination coefficient in prediction of yield and total GHG emissions were determined as 0.929 and 0.979, respectively. The results of sensitivity analysis of the model showed that agricultural machinery inputs had the highest impact on yield and total GHG emissions.

**Keywords:** Electricity, Greenhouse emissions, Sensitivity analysis, Diesel fuel, Nitrogen fertilizer

## ارزیابی و مدل سازی روند مصرف انرژی، عملکرد و میزان انتشارات گلخانه‌ای در تولید نخودآبی استان اصفهان

بهزاد الهامی<sup>۱</sup>، اسداله اکرم<sup>۲</sup>، مجید خانعلی<sup>۳\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع

طبیعی رامین، اهواز، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴)

## چکیده

این مطالعه به منظور بررسی و مدل‌سازی میزان انرژی مصرفی و انتشارات گازهای گلخانه‌ای در کشت نخود آبی در استان اصفهان توسط مدل پرسپترون چند لایه‌ای شبکه‌ی عصبی مصنوعی اجرا گردید. میزان هر یک از نهاده‌های مصرفی در تولید محصول، از ۱۱۰ تولیدکننده‌ی نخود آبی به شکل تصادفی توسط پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید. کل انرژی مصرفی، عملکرد محصول و نسبت انرژی در تولید نخود آبی به ترتیب برابر با ۳۳۲۱۱/۱۸ مگاژول بر هکتار، ۲۲۷۶/۳۶ کیلوگرم بر هکتار و ۱/۰۲ محاسبه گردید. کود نیتروژن با ۹۸۰۸ مگاژول بر هکتار بیشترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد. کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای برابر ۹۶۵/۲۰ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه گردید که الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب با ۳۶٪ و ۳۴٪ بیشترین سهم را از کل انتشارات گلخانه‌ای داشتند. مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی با آرایش ۲-۷-۱۳ به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد و کل انتشارات گلخانه‌ای شناخته شد. بر اساس این مدل، مقدار ضریب تبیین در پیش‌بینی عملکرد محصول و کل انتشارات گلخانه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۹۲۹ و ۰/۹۷۹ تعیین شد. نتایج تحلیل حساسیت مدل نیز نشان داد که نهاده‌ی ماشین‌های کشاورزی بیشترین اثر را بر عملکرد و میزان انتشارات گلخانه‌ای داشته است.

واژه‌های کلیدی: الکتریسیته، انتشارات گلخانه‌ای، تحلیل حساسیت، سوخت دیزل، کود نیتروژن

## مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum L.*) از خانواده‌ی بقولات، دارای ریشه‌ای قوی و با انشعابات زیاد می‌باشد. از ارقام نخود زراعی که در ایران کشت می‌شود می‌توان به ارقام نیتو<sup>۱</sup> (*Desi*) و ارقام مدیترانه‌ای<sup>۲</sup> (*Kaboli*) اشاره نمود (Sohrabi et al., 2008).

بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۴ ایران با تولید سالانه‌ی ۱۷۶۰۰۰ تن در زمره‌ی بزرگترین تولیدکنندگان نخود جهان قرار دارد (FAO, 2014). استان اصفهان نیز حدود ۳۰ درصد از تولید نخود ایران را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2014).

انرژی یکی از مهمترین عناصر کشاورزی مدرن بوده که وابستگی فراوانی به منابع فسیلی و دیگر منابع تجدیدناپذیر نظیر کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی دارد. مصرف بی‌رویه‌ی منابع تجدیدناپذیر در کشاورزی، منجر به پیدایش مشکلات متعدد زیست‌محیطی از قبیل پدیده‌ی گرمایش جهانی<sup>۳</sup> (GW) و انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۴</sup> (GHG) گردیده است. در این بین، تولیدات کشاورزی با انتشار ۱۴٪ کربن دی‌اکسید خالص در مقیاس جهانی، به عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل آلوده‌کننده‌ی جو شناسایی شده است (IPCC, 2007).

ساختار شبکه‌ی پرسپترون چندلایه‌ای<sup>۵</sup> (MLP) از سه لایه‌ی ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده است. طی فرایند آموزش شبکه، وزن‌ها و مقادیر ثابتی که با آن‌ها جمع می‌شوند و اصطلاحاً بایاس<sup>۶</sup> نامیده می‌شوند، به طور پی‌درپی تغییر می‌کنند تا اینکه مجموع مربعات خطا<sup>۷</sup> (RMSE) به حداقل برسد. تغییرات وزن‌ها و بایاس بر اساس الگوریتم یادگیری می‌باشد. به منظور انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه بعدی، از توابع محرک<sup>۸</sup> (فعال‌سازی) استفاده می‌شود.

در مطالعه‌ای که به آنالیز انرژی سیستم تولیدی در حبوبات از قبیل لوبیا، عدس، نخود آبی و نخود دیم در استان خراسان رضوی پرداخت، نسبت انرژی برای محصولات مذکور به ترتیب برابر با ۱/۸۱، ۱/۷۹، ۱/۲۱ و ۲/۷۸ برآورد گردید (Koocheki et al., 2011). همچنین طبق نتایج به‌دست آمده از

پژوهش (Salami & Ahmadi (2010)، انرژی ورودی و خروجی در کشت نخود استان کردستان به ترتیب ۵۸۸۰ و ۶۱۳۰ مگاژول بر هکتار اعلام گردید و سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به ترتیب ۳۷/۶ و ۲۹/۶ درصد از کل انرژی ورودی در تولید نخود زراعی این استان را به خود اختصاص دادند. در تجزیه و تحلیل انرژی و مدل‌سازی عملکرد نخود دیم با استفاده از سامانه استنتاج عصبی- فازی تطبیقی<sup>۹</sup> (ANFIS) در شهرستان بوکان، کل انرژی مصرفی، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی را به‌ترتیب برابر با ۱۵۳۰۶ مگاژول بر هکتار، ۱/۰۷ و ۰/۰۷۳ کیلوگرم بر مگاژول گزارش نمودند. همچنین مقادیر آماری بهترین مدل پیشنهادی برای عملکرد محصول با ۷ انفیس انتخابی، دارای ضریب تبیین<sup>۱۰</sup> ( $R^2$ ) با ۰/۹۰ و ریشه میانگین مربعات خطا با ۲۱/۵۸ کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید (Ghaderpour & Rafiee, 2016). در پژوهشی در آذربایجان غربی به تخمین عملکرد و شاخص‌های زیست‌محیطی محصول نخود به کمک روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی<sup>۱۱</sup> (ANN) چند لایه‌ای با الگوریتم آموزشی لوبنبرگ- مارکوات<sup>۱۲</sup> (LM) پرداخته شد. نتایج نشان داد که مدلی با ساختار ۱۱-۵-۷ که شامل ۷ ورودی، یک لایه‌ی مخفی با ۱۵ نرون و ۱۱ پارامتر خروجی (عملکرد و ده شاخص زیست‌محیطی)، به عنوان بهترین مدل شناسایی گردید (Rahimyan, 2015).

در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی عملکرد و اثرات گلخانه-ای در کشت گندم استان اصفهان گزارش گردید که مدلی با ساختار ۲-۳-۱۱، به عنوان بهترین مدل شبکه‌ی عصبی با بالاترین دقت و کمترین خطا گزارش گردید (Khoshnevisan et al., 2013). همچنین نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان داد که به ترتیب نهاده‌های کود دامی، نیروی کارگری و ماشین‌های کشاورزی بیشترین تأثیر را بر روی هر دو شاخص عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای داشته‌اند. (Taghavifar & Mardani (2015) به مدل‌سازی انرژی مصرفی و انتشارات گلخانه‌ای محصول سیب با استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای در استان آذربایجان غربی پرداختند. طبق نتایج میزان کل انتشارات گلخانه‌ای برابر با ۱۱۹۵/۸ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار برآورد گردید که از این مقدار سموم شیمیایی با سهم ۷۰ درصدی بیشترین میزان انتشارات را به خود اختصاص دادند. بهترین

1. Native
2. Mediterranean
3. Global Warming
4. Greenhouse Gas
5. Multi Layer Perception
6. Bios
7. Root Mean Square Error
8. Activation functions

9. Adaptive neuro-fuzzy inference system  
10. Coefficients of determination  
11. Artificial neural network  
12. Levenberg-Marquardt

(رابطه‌ی ۱) برآورد گردید (Ghasemi-Mobtaker et al., 2012):

$$n = \frac{N \times S^2 \times t^2}{(N-1)d^2 + (S^2 \times t^2)} \quad (\text{رابطه‌ی ۱})$$

در این رابطه  $N$ ، تعداد زارعین مناطق مورد مطالعه به تعداد ۸۵۰ نفر،  $t$  ضریب اطمینان قابل قبول (با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول تی-استیودنت<sup>۱</sup>) برابر با ۱/۹۶ در سطح پنج درصد؛  $S^2$  برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه برابر با ۰/۰۱،  $d$  دقت احتمالی مطلوب که نصف فاصله اطمینان موجود یعنی برابر با ۱/۰۲۵، و  $n$  حجم نمونه برابر با ۱۱۰ به دست آمد.

میزان نهاده‌های مصرفی در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی (نیتروژن، پتاسیم و فسفات)، کود دامی، سموم شیمیایی (علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش)، ماشین‌های کشاورزی، سوخت دیزل، نیروی کارگری، آب آبیاری و الکتریسیته و ستانده در حکم عملکرد محصول نخود بر حسب هکتار محاسبه شد. انرژی نهاده‌های آب آبیاری و ماشین‌های کشاورزی با استفاده از روابط موجود در مطالعات پیشین (Elhami et al., 2016a; Pishgar-Komleh et al., 2012) برآورد شد و سایر انرژی نهاده‌های مصرفی از ضرب میزان مصرف آن نهاده بر هکتار در هم‌ارز انرژی موجود در مطالعه‌ی انجام شده در خصوص بهینه‌سازی انرژی مصرفی و اثرات زیست محیطی در کشت نخود (Elhami et al., 2016a) محاسبه گردید.

### شاخص‌های انرژی

شاخص‌های انرژی به عنوان ابزاری هستند که امکان مطالعه و مقایسه‌ی سامانه‌های تولیدی با یکدیگر را ارائه می‌دهند. این شاخص‌ها شامل نسبت انرژی (ER)، بهره‌وری انرژی (EP)، شدت انرژی (SE) و افزوده خالص انرژی (NEG) می‌باشند که در روابط زیر ارائه شده‌اند (Ghasemi-Mobtaker et al., 2012):

$$ER = \frac{EO (MJha^{-1})}{EI (MJha^{-1})} \quad (\text{رابطه‌ی ۲})$$

$$EP = \frac{Y (kg ha^{-1})}{EI (MJha^{-1})} \quad (\text{رابطه‌ی ۳})$$

$$SE = \frac{EI (MJha^{-1})}{Y (kg ha^{-1})} \quad (\text{رابطه‌ی ۴})$$

$$NEG = EO (MJha^{-1}) - EI (MJha^{-1}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

در روابط بالا  $EO$  انرژی خروجی،  $EI$  انرژی ورودی و  $Y$  عملکرد محصول می‌باشد.

### اثرات گلخانه‌ای

کربن دی‌اکسید عامل اصلی گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به

ساختار برای مدل‌سازی نیز مدلی با آرایش ۲-۱۶-۸ بوده که مقادیر  $R^2$  برای انرژی مصرفی و انتشارات گلخانه‌ای در این ساختار، به ترتیب برابر با ۹۸/۷۹ و ۹۸/۲۷ گزارش شد. در مطالعه‌ی دیگری که با هدف مدل‌سازی عملکرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط مدل چندلایه‌ای شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تولید کیوی در شهرستان لنگرود صورت پذیرفت، مقادیر انرژی ورودی و کل انتشارات گلخانه‌ای به ترتیب ۳۷۳۲۰ مگاژول بر هکتار و ۱۳۱۰ کیلوگرم معادل کربن‌دی‌اکسید بر هکتار محاسبه گردید. همچنین مقدار مربوط به شاخص آماری ضریب تبیین در بهترین مدل پیشنهادی برای دو شاخص عملکرد و اثرات گلخانه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۹۹ برآورد گردید (Nabavi-Pelesaraei et al., 2016b).

مرور منابع مرتبط نشان داد که با وجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی انرژی مصرفی حبوبات در کشاورزی ایران، مطالعات اندکی در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های مرتبط با آن، انجام گردیده است. از طرف دیگر با توجه به این مهم که استان اصفهان یکی از تولیدکنندگان عمده‌ی نخود آبی در سطح کشوری می‌باشد، انجام این مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه مدل‌سازی همزمان انرژی مصرفی و میزان اثرات گلخانه‌ای در سامانه‌ی تولیدی محصول نخود با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در استان اصفهان می‌باشد. به منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه، شبکه‌های متنوعی از تعداد نرون و توابع محرک در لایه‌ی پنهان و خروجی، مورد آموزش، اعتبارسنجی و آزمون قرار گرفت و با استفاده از پارامترهای آماری، بهترین مدل ممکن با کمترین خطا و بالاترین دقت معرفی گردید. در انتها نیز با استفاده از تحلیل حساسیت، تأثیرگذارترین نهاده‌ی مصرفی بر روی دو عنصر عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای در تولید محصول نخود، معرفی گردید.

### مواد و روش‌ها

#### نحوه‌ی جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه از تولیدکنندگان نخود آبی در پنج شهرستان فریدن، فریدون‌شهر، چادگان، تیران و سمیرم واقع در استان اصفهان با استفاده از پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید. پرسش‌نامه‌ها شامل اطلاعاتی مربوط به تولیدکننده (منطقه، سواد، تجربه، سطح زیرکشت و ...)، میزان مصرف نهاده و هزینه‌ها، تعداد کارگران مورد استفاده در هر بخش، نوع و میزان مصرف ماشین‌های به کار رفته و ... را در بر می‌گرفت.

حجم نمونه (تعداد کشاورزان) در این مطالعه از رابطه‌ی کوکران

جو می باشد. میزان انتشار گازهای گلخانه ای از نهاده های سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، ماشین های کشاورزی و الکتریسیته در تولید نخود آبی بر حسب هکتار با استفاده از ضریب ضرایب انتشار کربن دی اکسید هر نهاده (جدول ۱) در مقادیر مصرف شده ی مربوط به آن نهاده (جدول ۲) محاسبه گردید.

جدول ۱. مقادیر و ضرایب نهاده های مصرفی در تولید محصول نخود در استان اصفهان

نهاده (واحد)	ضریب انتشار گلخانه ای (کیلوگرم مرجع انتشارات کربن دی اکسید بر هکتار)	
سوخت دیزل (لیتر)	۲/۷۶	(Nabavi-Pelesaraei et al., 2016a)
کودهای شیمیایی (کیلوگرم)		
الف) نیتروژن	۱/۳	(Lai, 2004)
ب) فسفات	۰/۲	(Khoshnevisan et al., 2014)
ج) پتاسیم	۰/۲	(Nabavi-Pelesaraei et al., 2016b)
سموم شیمیایی (کیلوگرم)		
الف) حشره کش	۵/۱	(Lai, 2004)
ب) علف کش	۶/۳	(Lai, 2004)
ج) قارچ کش	۳/۹	(Lai, 2004)
ماشین ها (مگاژول)	۰/۰۷۱	(Dyer and Desjardins, 2006)
الکتریسیته (کیلو وات ساعت)	۰/۶۰۸	(Khoshnevisan et al., 2013)

#### مدل پرسپترون چندلایه ای شبکه ی عصبی

به منظور پیش بینی عملکرد نخود و همچنین کل اثرات گلخانه ای موجود توسط مدل پرسپترون چندلایه ای، از کدنویسی در محیط نرم افزار متلب (MATLAB V7.14 - R2012a) استفاده گردید. در شکل (۱) طرحواره ای از این نوع مدل نشان داده شده است. در شکل مورد نظر، علائم زیرنویس  $i, h, o$  به ترتیب نشان دهنده ی نرون های لایه ی ورودی، لایه ی مخفی و لایه ی خروجی می باشند. پارامترهای  $X, S, N, \emptyset$  و  $W_{kl}$  به ترتیب ورودی های شبکه، سیگنال ورودی به نرون، سیگنال خروجی از نرون، تابع محرک (در این مطالعه توابع  $\emptyset_1 = \emptyset_2 = \dots = \emptyset_h$ ) و وزن بین نرون  $l$  به نرون  $k$  در دو لایه متوالی می باشد.

در این مطالعه، نهاده های بذر مصرفی، کودهای شیمیایی (نیتروژن، پتاسیم و فسفات)، کود دامی، سموم شیمیایی (علف-کش، حشره کش و قارچ کش)، ماشین های کشاورزی، سوخت دیزل، نیروی کارگری، آب آبیاری و الکتریسیته به عنوان ورودی های مدل و عملکرد محصول و کل اثرات گلخانه ای به عنوان خروجی های مدل به صورت همزمان مدل گردید. در این پژوهش از الگوریتم های آموزشی متفاوتی نظیر؛ لوبنرگ-مارکوات، برویدن-فلچر-گلفارب-شانو<sup>۱</sup> (BFGS)، و مومنتوم<sup>۲</sup> استفاده گردید. از ۱۱۰ واحد نمونه گیری شده در محصول نخود،

۶۰ واحد برای آموزش (۵۵ درصد)، ۲۰ واحد برای اعتبارسنجی (۱۸ درصد) و ۳۰ واحد برای آزمون (۲۷ درصد) انتخاب گردید. با استفاده از داده های تجربی موجود، چندین ساختار شبکه ای به منظور پیش بینی بهترین مدل شبکه در نظر گرفته شد. تعداد نرون های مورد نظر برای لایه های ورودی و خروجی بر اساس تعداد نهاده ها و ستانده های موجود در تولید نخود در نظر گرفته شد. همچنین یک لایه ی مخفی با تغییر تعداد نرون ها از ۱ تا ۳۰ برای مدل سازی شبکه استفاده شده و یکی از آن ها بر اساس پارامترهای آماری به عنوان بهترین نتیجه برای پیش بینی عملکرد و اثرات گلخانه ای انتخاب گردید.

به منظور انتقال خروجی های هر لایه به لایه ی بعدی، از توابع محرک  $(\emptyset_0, \emptyset_1, \emptyset_2, \dots, \emptyset_h)$  استفاده می شود. این توابع در نرون های پردازش هستند و بر اساس نیاز مسئله به صورت خطی و غیر خطی انتخاب می شوند. در این مطالعه از توابع محرک گوناگونی برای یافتن بهترین پیش بینی استفاده گردید و در نهایت از تابع سیگموئید<sup>۳</sup> (رابطه ی ۶)  $(\emptyset_1, \emptyset_2, \dots, \emptyset_h)$  برای لایه های پنهان و از تابع خطی<sup>۴</sup> (رابطه ی ۷)  $(\emptyset_0)$  برای لایه ی خروجی استفاده گردید (Khanna, 1990):

$$\emptyset_1(S) = \emptyset_2(S) = \dots = \emptyset_h(S) = \frac{1}{1 + \exp(-S)} \quad \text{(رابطه ی ۶)}$$

$$\emptyset_0(S) = S \quad \text{(رابطه ی ۷)}$$

3.Logsig  
4.Purelin

1. Broyden- Fletcher- Golfarb- Shano  
2. Momentum

سیگنال ورودی  $S$  با نرون  $h$  موجود در لایه مخفی، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

در این روابط،  $S$  سیگنال ورودی به نرون‌های لایه مخفی یا لایه خروجی یا به عبارتی مجموع ورودی‌های وزن‌دار هر یک از نرون‌های آن لایه است.

پارامترهای آماری شامل، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین درصد خطای مطلق<sup>۱</sup> (MAPE) می‌باشد که با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند (Pahlavan et al., 2012; Safa and Samarasinghe, 2011):

$$S_h = \sum_{i \neq p} N_i W_{hi} + N_p W_{hp} \quad (\text{رابطه ۸})$$

رابطه ۹

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^n t_i^2} \right] \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - z_i)^2} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{t_i - z_i}{t_i} \right| \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که  $t_i$  و  $z_i$ ، به ترتیب مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای بردارهای آموزش و  $n$ ، تعداد کل بردارهای آموزش می‌باشد.

در این مطالعه به منظور بررسی حساسیت دو پارامتر خروجی یعنی عملکرد نخود و همچنین کل اثرات گلخانه‌ای نسبت به ورودی‌های مدل، از روش مشتق جزئی<sup>۲</sup> (PaD) استفاده گردید. در مدل‌سازی بر اساس شبکه‌ی عصبی مصنوعی مشابه مدل‌سازی رگرسیون، آنالیز حساسیت شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان به صورت مشتق جزئی مرتبه‌ی یک بین پارامتر خروجی و پارامتر ورودی انجام داد. بر این اساس،

1. Mean Absolute Percentage Error  
2. Partial Derivation Method

رابطه ۱۲

$$\frac{\partial N_o}{\partial X_p} = \sum_{h=1}^{nh} \phi'_o(S_o) W_{oh} \phi'_h(S_h) W_{hp} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

با توجه به تابع محرک در لایه خروجی،  $\phi'_o(S_o)$  برابر ۱ می‌باشد. همچنین با توجه به تابع محرک سیگموئیدی در لایه مخفی، مقدار  $\phi'(S)$  با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود:

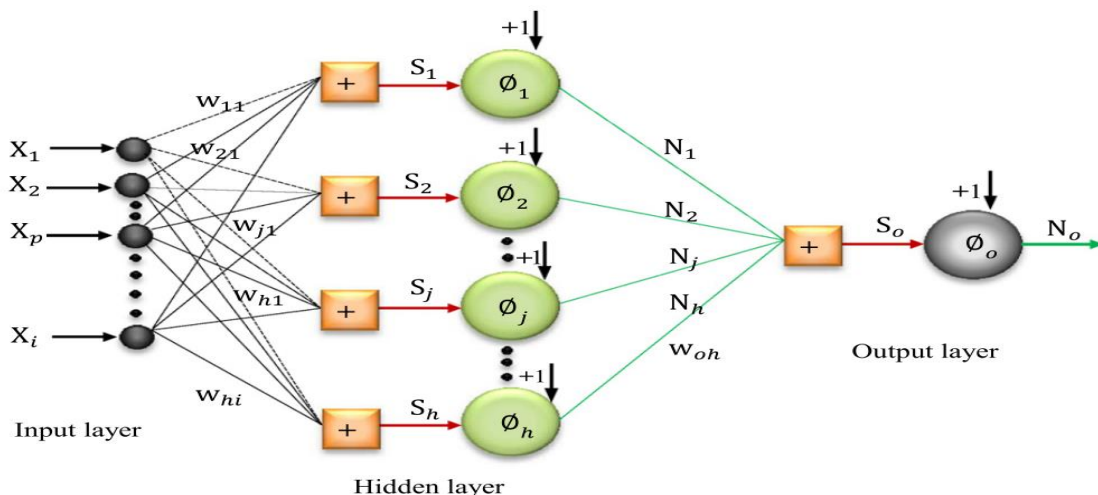
$$\phi'(S) = \phi(S) (1 - \phi(S)) = N(1 - N) = N - N^2$$

رابطه‌ی نهایی تحلیل حساسیت برای شبکه‌ی پرسپترون چندلایه‌ای با یک لایه‌ی پنهان، به صورت رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$\frac{\partial N_o}{\partial X_p} = \sum_{h=1}^{nh} W_{oh} (N_h - N_h^2) W_{hp} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

محاسبات مرتبط با تحلیل حساسیت، توسط کدنویسی استخراج شده از رابطه‌ی ۱۴ در نرم افزار متلب، و با در نظر گرفتن مقادیر وزن‌ها و سیگنال‌های خروجی لایه‌ی مخفی شبکه انجام شد.

مقادیر مربوط به انرژی نهاده‌های مصرفی، عملکرد محصول و کل انتشارات گلخانه‌ای برای ۱۱۰ تولیدکننده‌ی نخود آبی به صورت یک کاربرد در نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ آماده شد و سپس با استفاده از فرآیند کدنویسی در نرم افزار متلب به مدل‌سازی آن‌ها پرداخته شد.



شکل ۱. طرح‌واره‌ی مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه‌ای (Nourani and Sayyah Fard, 2012)

## نتایج و بحث

### تحلیل انرژی ورودی و خروجی در تولید نخود آبی

مقدار متوسط مصرف، انرژی نهاده‌ها، ستانده و سهم هر نهاده در میزان مصرف انرژی برای یک هکتار از مزارع نخود آبی در استان اصفهان در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول کل انرژی ورودی و خروجی به ترتیب برابر با ۳۳۲۱۱/۱۸ و ۳۳۴۶۲/۵۴ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. از بین نهاده‌های مصرفی، کود نیتروژن با ۹۸۰۸/۶۵ مگاژول بر هکتار (۲۹/۵۳ درصد) و پس از آن الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب با ۶۸۱۸/۷۲ مگاژول بر هکتار (۲۰/۵۳ درصد) و ۵۴۶۵/۱۸ مگاژول بر هکتار (۱۶/۹۹ درصد) بیشترین سهم را در انرژی ورودی به خود اختصاص داده‌اند. به منظور رسیدن به پایداری

در کاهش مصرف نهاده‌های به کار رفته و افزایش عملکرد محصول مورد مطالعه، استفاده از اصول کشاورزی حفاظتی به جای کشاورزی مرسوم توصیه می‌گردد. در این راستا، اقدام جهت حذف خاکورزی مرسوم (گاواهن برگردان‌دار و دیسک)، کشت در بقایای محصول قبلی، کشت کود سبز در مزارع قبل از کشت محصول اصلی و استفاده از تناوب زراعی مناسب، باعث کاهش میزان سوخت مصرفی در مرحله خاک‌ورزی به میزان ۵۰ لیتر در هر هکتار، کاهش کودهای شیمیایی به میزان ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هر هکتار، حفظ رطوبت خاک و کاهش نیاز به آبیاری و از بعد زیست‌محیطی باعث عدم انتشار کربن دی‌اکسید موجود در خاک به جو، کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای و کاهش فرسایش خاک و آب می‌گردد.

جدول ۲. انرژی نهاده‌ها و ستانده در کشت نخود زراعی در استان اصفهان

عنوان (واحد)	میزان نهاده‌ها و ستانده در هکتار	انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)	سهم هر نهاده (درصد)	انحراف معیار
نهاده‌ها				
نیروی انسانی (ساعت)	۲۴۱/۸۰	۴۷۳/۶۴	۱/۴۲	۲۶/۱۴
ادوات و ماشین‌ها (ساعت)	۱۹/۷۰	۷۹۹/۲۴	۲/۴۰	۳۸۲/۶۱
سوخت دیزل (لیتر)	۱۱۸/۱۰	۵۶۴۵/۱۸	۱۶/۹۹	۱۳۷۷/۴
کود شیمیایی (کیلوگرم)				
الف) نیتروژن (N)	۱۲۵/۵۹	۹۸۰۸/۶۵	۲۹/۵۳	۸۸۹/۴۲
ب) فسفات (P2O5)	۱۳۴/۲۷	۲۳۳۶/۳۴	۷/۰۳	۳۱۴/۸۶
ج) پتاس (K2O)	۸۱	۱۱۰۹/۷۰	۳/۳۴	۲۲۸/۳۷
کود دامی (کیلوگرم)	۱۶۳۶/۳۶	۴۹۰/۹۰	۱/۴۷	۷۰۷/۰۴
سموم شیمیایی (کیلوگرم)				
الف) علف کش	۱/۳۷	۳۲۸/۳۰	۰/۹۸	۷۶/۹۱
ب) حشره کش	۱/۹۱	۱۹۳/۵۰	۰/۵۸	۵۱/۴۲
ج) قارچ کش	۳/۱۴	۶۷۸/۶۸	۲/۴۰	۱۵۸/۸۵
آب آبیاری (مترمکعب)	۲۸۹/۲۷	۳۵۵۷/۹۲	۱۰/۷۱	۴۱۳/۲۹
الکتریسیته (کیلو وات ساعت)	۵۶۸/۲۴	۶۸۱۸/۷۲	۲۰/۵۳	۳۶۳/۹۷
بذر (کیلوگرم)	۶۵/۹۹	۹۷۰/۰۶	۲/۹۲	۷۷/۶۷
انرژی ورودی کل (مگاژول بر هکتار)		۳۳۲۱۱/۱۸	۱۰۰	
ستانده				
محصول (کیلوگرم)	۲۲۷۶/۳۶	۳۳۴۶۲/۵۴		

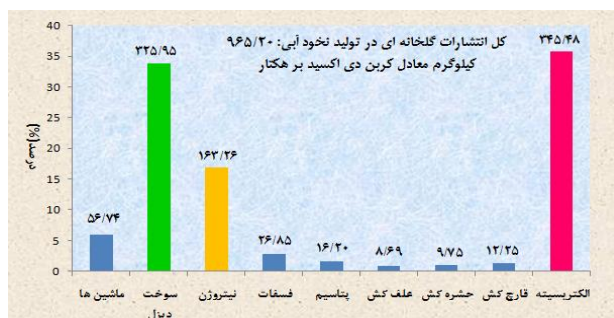
جدول ۳ شاخص‌های انرژی شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده‌ی خالص انرژی در کشت نخود آبی را نشان می‌دهد. مقدار نسبت انرژی برابر با ۱/۰۲ محاسبه گردید. مقدار افزوده‌ی خالص انرژی در این مطالعه عددی مثبت و برابر با ۲۵۱/۳۶ مگاژول بر هکتار محاسبه گردید که دلالت بر میزان

بالای عملکرد نخود و در نتیجه انرژی خروجی بیشتر نسبت به مطالعات مشابه مذکور دارد. با حذف عملیات خاک‌ورزی مرسوم، جایگزینی کودهای سبز با کودهای شیمیایی، حفظ پوشش زمین به منظور کاهش تبخیر برای جلوگیری از آبیاری‌های مکرر می‌توان میزان افزوده‌ی خالص انرژی را افزایش داد.



جدول ۳. شاخص‌های انرژی در تولید نخود آبی در استان اصفهان

عنوان	واحد	میزان	انحراف معیار
نسبت انرژی	-	۱/۰۲	۰/۱۰۳
بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۰/۰۶۹	۰/۰۰۷
شدت انرژی	MJ/kg	۱۴/۵۴	۱/۵۱۲
افزوده خالص انرژی	MJ/ha	۲۵۱/۳۶	۳۴۶۱/۹۹۷



شکل ۲. سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در کل انتشارات گلخانه‌ای نخود آبی

مقایسه‌ای از مطالعات انجام شده در رابطه با روند مصرف انرژی و انتشارات گازهای گلخانه‌ای در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

### میزان انتشارات گلخانه‌ای در تولید نخود آبی

نتایج مربوط به میزان انتشارات گلخانه‌ای از هر نهاده و سهم هر یک از آن‌ها در میزان کل انتشارات محصول نخود آبی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس کل انتشارات گلخانه‌ای برابر با ۹۶۵/۲۰ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه گردید. اثرات گلخانه‌ای منتشر شده از الکتریسیته‌ی مصرفی، سوخت دیزل و کود نیتروژن به ترتیب با ۳۴۵/۴۸ (۳۶٪)، ۱۶۳/۲۶ (۱۷٪) و ۲۶/۸۵ (۳٪) کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار بیشترین سهم را از کل انتشارات گلخانه‌ای منتشر شده به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۴. برخی نتایج مهم تحقیقات مرتبط با کاربرد انرژی مصرفی و انتشارات گلخانه‌ای

انتشارات گلخانه‌ای	انرژی	محل	منطقه	نویسنده			
میزان کل انتشارات بیشترین انتشار (kg CO <sub>2</sub> eq. ha <sup>-1</sup> )	نسبت انرژی سهم بیشترین نهاد (MJha <sup>-1</sup> )	انرژی ورودی	محصول				
سوخت دیزل (۳۳٪)	۷۶۴	۱/۸۴	کود نیتروژن (۳۶٪)	۲۵۵۸۲	پرتقال	لنگرود	Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> , 2014
کود نیتروژن (۵۴٪)	۱۰۱۵	۱/۲۹	کود نیتروژن (۶۹٪)	۴۰۲۲۹	هندوانه	لنگرود	Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> , 2016a
کود نیتروژن (۲۶٪)	۱۳۱۰	۱/۱۶	کود نیتروژن (۴۵٪)	۳۷۳۲۰	کیوی	لنگرود	Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> , 2016b
علف‌کش (۳۸٪)	۱۱۹۵	۱۰/۴۱	آب آبیاری (۳۶٪)	۷۷۰۶۴	سیب	ارومیه	Taghavifar <i>et al.</i> , 2015
الکتریسیته (۷۴٪)	۲۷۱۱	۰/۴۵	الکتریسته (۴۹٪)	۸۰۱۰۰	گندم	فریدون‌شهر	Khoshnevisan <i>et al.</i> , 2013
الکتریسیته (۶۵٪)	۱۱۶	۱/۰۳	الکتریسته (۳۷٪)	۸۳۷۲۳	سیب‌زمینی	فریدون‌شهر	Khoshnevisan <i>et al.</i> , 2014
سوزاندن شاخ و برگ (۶۴٪)	۴۹۳۷	۰/۶	الکتریسته (۵۴٪)	۱۴۵۱۱۸	نیشکر	اهواز	Harouni <i>et al.</i> , 2015

(MATLAB V7.14 (R2012a)) آموزش، آزمون و اعتبارسنجی گردیدند و مقادیر مربوط به بهترین نتایج موجود از بین ساختارهای مختلف برای داده‌های آموزش و تست در جدول ۵ نشان داده شده‌است. بر اساس نتایج این جدول، مدل با آرایش ۲-۷-۱۳؛ شامل یک لایه‌ی ورودی با ۱۳ نرون، یک لایه‌ی

### نتایج شبکه‌ی عصبی برای مدل‌سازی عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای

برای دستیابی به بهترین ساختار شبکه، تعداد مختلفی از ساختارها با تغییر در تعداد نرون‌ها لایه‌ی مخفی (از ۱ تا ۳۰ نرون) و تغییر در نوع الگوریتم یادگیری، توسط نرم افزار متلب



ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین درصد خطای مطلق به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۰/۰۲۶، ۰/۰۱۴ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۷/۸۸٪ برای عملکرد و ۰/۹۷، ۰/۰۱۴ کیلوگرم معادل کربن دی اکسید بر هکتار و ۱/۹۲٪ برای انتشارات گلخانه‌ای (جدول ۵) محاسبه گردید.

پنهان شامل ۷ نرون و یک لایه‌ی خروجی با ۲ نرون (شکل ۳)، توسط الگوریتم یادگیری لونبرگ- مارکوات عنوان بهترین ساختار شبکه را به خود اختصاص داد. دلیل برتری این الگوریتم نسبت به دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده، تسریع در آموزش و در نتیجه کاهش در سطح خطای موجود می‌باشد. برای این ساختار و با ۳۰ داده‌ی آزمون شده، مقادیر

جدول ۵. مقایسه‌ی مدل‌های شبکه‌ی عصبی ایجاد شده برای عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای در محصول نخود آبی

مدل الگوریتم	نوع الگوریتم	تعداد نرون	پارامتر آماری	عملکرد		انتشارات گلخانه‌ای	
				آزمون	آموزش	آزمون	آموزش
۱	LM	۵	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۹۲
				۰/۰۲۱	۰/۰۴۷	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵
*۲	LM	۷	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۷
				۰/۰۱۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴
۳	LM	۹	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۵
				۰/۰۱۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳
۴	LM	۱۰	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۹۸	۰/۹۳
				۰/۰۴۲	۰/۰۵۳	۰/۰۱۴	۰/۰۳۳
۵	BFGS	۷	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۱
				۰/۹۲۵	۱/۱۵۷	۱/۲۲۴	۱/۵۶۹
۶	BFGS	۱۳	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۸۶
				۱/۲۵۵	۲/۱۸۸	۰/۶۱۲	۰/۸۵۴
۷	M	۹	R <sup>2</sup> RMSE (Kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup> ) MAPE(%)	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۸۷
				۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۶۵
				۶/۶۵	۱۰/۸۸	۸/۹۵	۱۴/۳۳

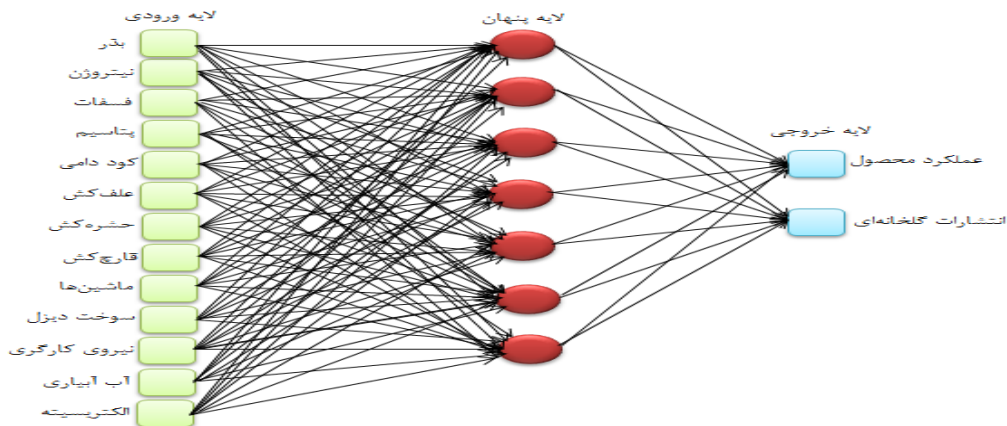
\* بهترین شبکه‌ی ایجاد شده

گلخانه‌ای را در مقایسه با مقادیر واقعی آن‌ها برای داده‌های آزمون در بهترین مدل مذکور نشان می‌دهد. بر این اساس مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در هر دو مدل عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای با آرایش خوبی مدل شده‌اند. بر اساس نتایج، میزان ضریب تبیین برای عملکرد نخود آبی و انتشارات گلخانه‌ای در داده‌های آزمون (۲۷ درصد داده‌ها) به ترتیب برابر با ۰/۹۲۸ و ۰/۹۷۸ محاسبه شد. شکل ۵ نمودار تغییرات پیش‌بینی شده و واقعی برای عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای در تولید محصول نخود آبی (برای داده‌های آزمون) را نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می-

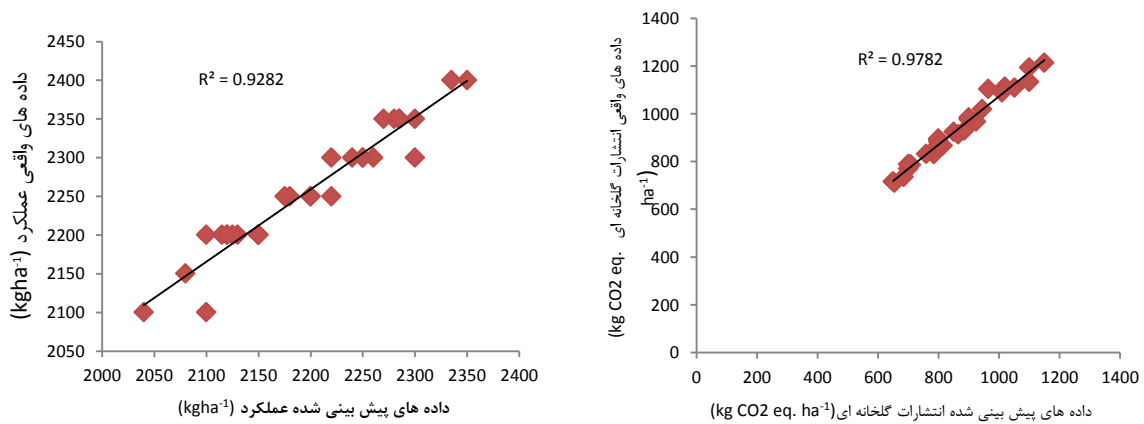
در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای محصول گندم در استان اصفهان، مدلی با آرایش ۲-۱۱-۳؛ شامل ۱۱ نرون در لایه ورودی، یک لایه مخفی با سه نرون و یک لایه‌ی خروجی با دو نرون، به عنوان بهترین مدل ممکن شناخته شد. برای این آرایش مقادیر ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا برای عملکرد به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۰/۱۰۵ کیلوگرم بر هکتار و برای انتشارات گلخانه‌ای به ترتیب برابر ۰/۹۹۸ و ۰/۰۳۲ کیلوگرم معادل کربن دی اکسید بر هکتار برآورد گردید (Khoshnevisan et al., 2013). شکل ۴ نمودار پراکنش پیش‌بینی عملکرد و کل انتشارات

ظاهر می‌گردد. بر این اساس، جدول ۶ که وزن‌ها و بایاس‌ها برای لایه‌ی ورودی به لایه‌ی پنهان اول می‌باشد، دارای ماتریسی با ۷ سطر و ۱۳ ستون برای وزن‌های لایه‌ی ورودی به لایه‌ی پنهان و ۷ سطر و یک ستون برای بایاس لایه‌ی ورودی به لایه‌ی پنهان می‌باشد. جدول ۷ نیز معرف وزن‌ها و بایاس‌ها برای لایه‌ی پنهان اول به لایه خروجی می‌باشد.

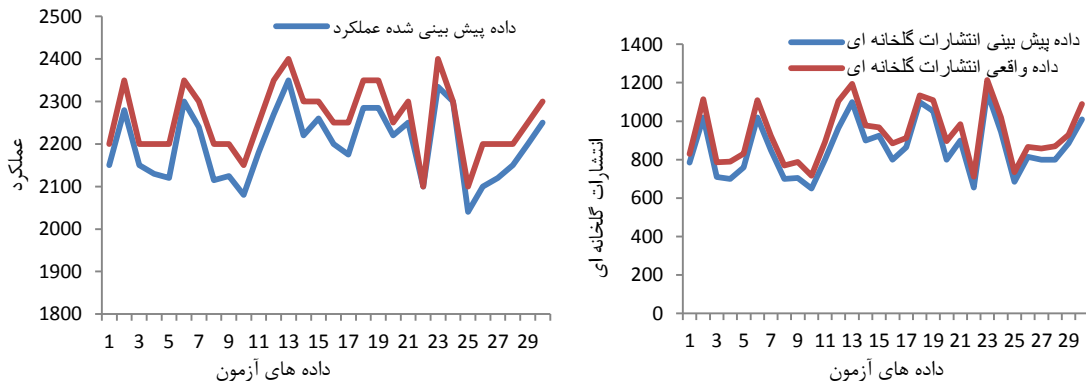
شود داده‌های پیش‌بینی شده و واقعی انتشارات گلخانه‌ای نوسانات کمتری در نتیجه خطای کمتری نسبت به داده‌های پیش‌بینی و واقعی عملکرد محصول دارد. وزن‌ها و بایاس برای توپولوژی بهینه (۲-۷-۱۳) در پیش‌بینی عملکرد محصول و انتشارات گلخانه‌ای، پس از کدنویسی در نرم افزار متلب به صورت آرایشی ماتریسی شکل



شکل ۳. توپولوژی بهترین آرایش شبکه‌ی عصبی (۲-۷-۱۳) به منظور مدل‌سازی عملکرد و انتشارات گلخانه‌ای در تولید نخود



شکل ۴. پراکنش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده‌ی عملکرد محصول (سمت چپ) و انتشارات گلخانه‌ای (سمت راست) بر اساس بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۵. تغییرات عملکرد محصول (سمت چپ) و انتشارات گلخانه‌ای (سمت راست) برای داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده در داده‌های آزمون

جدول ۶. وزن ها و بایاس ها برای لایه ی ورودی به لایه ی پنهان در پیش بینی عملکرد و انتشارات گلخانه ای نخود آبی

وزن ها													بایاس
1.80	3.25	0.23	-1.89	-0.28	1.82	-0.62	1.96	-0.91	0.51	0.61	-0.71	-0.40	-1.55
-2.98	-0.89	1.16	0.72	-0.39	0.00	-1.16	-1.00	0.52	-0.60	-0.01	-0.85	0.40	0.48
-0.15	1.62	1.04	-1.09	-0.14	1.52	0.57	1.27	-0.64	-0.05	-0.21	0.38	0.30	-0.22
1.65	-1.20	-3.19	2.15	0.09	-2.83	0.28	-0.42	2.84	1.47	-0.83	1.65	1.52	-0.99
-1.15	2.89	-2.26	-0.22	1.09	-4.07	0.86	1.75	3.20	0.52	-0.22	-0.47	0.04	-2.00
0.31	-0.29	-1.29	-0.62	1.04	-0.19	-0.33	0.15	-1.14	-0.05	-0.48	-0.19	-0.42	۱,۳۵
-1.06	0.54	1.30	0.78	0.15	1.22	-0.10	-0.98	-0.87	-0.20	0.31	1.26	-0.32	-۱,۶۵

جدول ۷. وزن ها و بایاس ها برای لایه ی پنهان به لایه خروجی در پیش بینی عملکرد و انتشارات گلخانه ای نخود آبی

وزن ها								بایاس
-1.07	-0.031	0.82	1.34	-1.39	1.87	3.89	1.32	
2.18	-1.04	3.16	-4.07	-0.69	-2.75	-1.32	0.60	

### تحلیل حساسیت

۳/۷۷ و ۰/۲۵ داشته است. بدیهی است که شخم بی رویه ی خاک با استفاده از گاواهن های برگردان دار و در نتیجه آزاد شدن کربن دی اکسید موجود در خاک سبب تأثیر چشمگیر این نهاد بر انتشارات گازهای گلخانه ای گردیده است. نیروی کارگری نیز پس از نهاده ی ماشین های کشاورزی به علت برداشت دستی محصول نخود در مناطق مورد مطالعه، بیشترین میزان حساسیت را بر روی عملکرد از خود نشان داده است. در مطالعه ای بر روی انرژی مصرفی و اثرات گازهای گلخانه ای در تولید کیوی، سوخت دیزل و کود شیمیایی فسفات به ترتیب با ۰/۱۱۴ و ۰/۰۷۲ بیشترین اثر را بر روی عملکرد محصول، و کودهای شیمیایی نیتروژن و پتاسیم با ۰/۰۸۷ و ۰/۰۵۲ بیشترین میزان تأثیر را بر انتشارات گازهای گلخانه ای داشتند (Nabavi-pelesaraei et al., 2016b).

هدف از تحلیل حساسیت، آزمون سنجی نتایج بهترین مدل مطرح شده (۲-۷-۱۳) و شناسایی میزان عدم قطعیت در مقادیر انرژی مصرفی نهاده ها می باشد. تحلیل حساسیت کمیتی بدون واحد می باشد و پارامتری برای نمایش میزان حساسیت هر یک از پارامترهای ورودی بر متغیرهای وابسته قلمداد می شود. در جدول ۸، تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی در مدل توسعه یافته ی پرسپترون چندلایه ای، بر متغیرهای خروجی (عملکرد و انتشارات گلخانه ای) مشخص شده است. این مقادیر با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب برآورد می گردد. نتایج نشان داد که نهاده ی ماشین های کشاورزی بیشترین میزان حساسیت را بر روی عملکرد نخود آبی و انتشارات گلخانه ای به ترتیب با مقادیر

جدول ۸. ضرایب حساسیت انرژی نهاده های مصرفی

انتشارات گلخانه ای	عملکرد محصول	نهاده ی مصرفی
۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۶۸	بذر
۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱۵	نیتروژن
۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱۱	فسفات
۰/۰۱۷	۰/۱۲۳	پتاسیم
۰/۰۰۰۰۰۰۴۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲۵	کود دامی
۰/۰۴۳	۰/۳۴۸	علف کش
۰/۱۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۶۱	حشره کش
۰/۰۳۰	۰/۰۰۳	قارچ کش
۰/۲۵۸	۳/۷۷۲	ماشین ها
۰/۱۰۱	۰/۰۲۴	سوخت دیزل
۰/۰۰۰۰۰۰۲۱	۰/۸۶۶	نیروی کارگری
۰/۰۰۰۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۹۹	آب آبیاری
۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	الکتریسیته

## نتیجه گیری

هکتار و ۷/۸۸٪ برای عملکرد محصول و ۰/۹۷، ۰/۱۴ کیلوگرم معادل کربن دی اکسید بر هکتار و ۱/۹۲٪ برای انتشارات گلخانه‌ای محاسبه گردید. استفاده از روش‌های بیولوژیک و کودهای سبز و تحقیقات کاربردی به منظور تعیین میزان نیاز گیاه به مواد غذایی در مراحل مختلف رشد باعث کاهش انرژی مصرفی این نهاده می‌گردد. به منظور کاهش مصرف سوخت دیزل توصیه می‌شود تا در حد امکان از تردد بیش از حد ماشین‌ها در مزرعه جلوگیری شود و این کار از طریق استفاده از کمینات‌ها و تغییر در روش شخم در عملیات مختلف زراعی میسر خواهد بود. شایان ذکر است که بر اساس تحقیقات صورت گرفته در نقاط مختلف جهان، استفاده از روش کشت در بقایای قبلی (کشت بی‌خاک‌ورزی) نه تنها باعث کاهش عملکرد محصول نشده‌است، بلکه از طریق حفظ رطوبت کافی خاک نیاز به آبیاری‌های سیلابی را نیز کاهش داده‌است. همچنین اقدامات حمایتی و تشویقی دولت در جهت ایجاد زیر ساخت‌ها و استفاده از انرژی‌های پاک می‌تواند سبب توجه بیشتر کشاورزان به این فناوری شود.

در این مطالعه برای پیش‌بینی عملکرد و کل انتشارات گلخانه‌ای در سیستم تولیدی نخود آبی در استان اصفهان از مدل پرسپترون چند لایه‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی و خروجی در تولید نخود آبی به ترتیب برابر با ۳۳۲۱۱/۱۸ و ۳۳۴۶۲/۵۴ مگاژول بر هکتار و کل انتشارات گلخانه‌ای ۹۶۵/۲۰ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده کود شیمیایی نیتروژن، الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب با ۲۹/۵٪، ۲۰/۵۳٪ و ۱۷٪ بیشترین سهم را از کل انرژی مصرف شده و همین سه نهاده به ترتیب ۱۷٪، ۳۶٪ و ۳۴٪ از سهم کل انتشارات گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند. مدل شبکه‌ی عصبی با ساختار ۲-۷-۱۳ بهترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد محصول و انتشارات گلخانه‌ای شناخته شد. برای این ساختار مقادیر ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین درصد خطای مطلق به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۰/۲۶ کیلوگرم بر

## REFERENCES

- Anonymous (2013). Annual agricultural statistics, Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran ([www.maj.ir](http://www.maj.ir)) [In Persian].
- Dyer, J.A. and Desjardins, R.L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering*, 93(1), 107-118.
- Elhami, B., Akram, A. and Khanali, M. (2016a). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agriculture*, 3(3), 190-205.
- Elhami, B., Akram, A., Khanali, M. and Mousavi-Avval, S.H. (2016b). Application of ANFIS and Cobb-Douglas models to predict the output energy and benefit to cost ratio of lentil and chickpea production (a case study in Iran). *Energy Equipment and System*, 4(2), 255-270.
- FAO (2014). ([www.fao.org](http://www.fao.org)).
- Ghaderpour, O. and Rafiee, S. (2016). Analysis and Modeling of Energy and yield of reinfed Chickpea Production in Bokan County. *Iranian Journal of Biosystems engineering*, 47(4), 7011-720 [In Farsi].
- Ghasemi-Mobtaker, H., Akram, A., Keyhani, A. and Mohammadi, A. (2012). Optimization of energy required for alfalfa production using data envelopment analysis approach. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 242-248.
- Hashem, S (1993). Sensitivity analysis for feed forward artificial neural networks with differentiable activity functions. *International conference on neural network, Baltimore: IEEE*, 1, p. 419-429.
- Harouni, S., Sheikh Davoudi, M.J. and Kiani, M. (2015). Modeling of energy consumption and amount of green house emissions in the process of sugar cane production in Raton field using artificial neural networks (a case study: Debal KHAZAEI, agro-industry in Khuzestan province). *Journal of Agricultural Machinery Mechanics* 4(2), 11-19. [in Persian].
- IPCC. (2007). IPCC Assessment Report 4. ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).
- Khanna, T. (1990). Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M. and Movahedi M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333-338.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. and Rajaeifar M.A. (2014). Application of artificial neural networks for prediction of output energy and GHG emissions in potato production in Iran. *Agricultural System*, 123, 120-127.
- Koocheki, A., Ghorbani, R., Monadi, F., Alizadeh, Y., and Moradi R. (2011). Pulses Production Systems in Term of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy* 4(1), 95-106.
- Lai, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981-990
- Lu, M., AbouRizk, S. and Herman ([www.SID.ir](http://www.SID.ir))

- Sensitivity analysis of neural networks in spool fabrication productivity studies. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15, 299–308.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S. and Ghasemi-Mobtaker, H. (2014). Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 65, 311-317.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, A. and Rafiee, S. (2016a). Neural network modeling of energy use and greenhouse gas emissions of watermelon production systems. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 38-47.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. and Shamshirband, S. (2016b). Modeling energy consumption and greenhouse gas emissions for kiwifruit production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 133, 924–931.
- Nourani, V. and Sayyah Fard, M. (2012) Sensitivity analysis of the artificial neural network outputs in simulation of the evaporation process at different climatologic regimes. *Advances in Engineering Software*, 47, 127–146.
- Pahlavan, R., Omid, M., and Akram, A. (2012). Energy input-output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. *Energy*, 37(1), 171-176.
- Pishgar-Komleh, S.H., Keyhani, A., Mostofi-Sarkari, M.R. and Jafari, A. (2012). Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. *Energy*, 43(1), 469-476.
- Rahimyan, B. (2015). Determination of economic, energy and environmental indicators of some crops (sugar beet, wheat and pea) in West Azarbaijan Province (Boukan Region) using computational intelligence techniques. Msc. dissertation, Unevercity of Tehran [In Farsi].
- Safa, M. and Samarasinghe, S. (2011). Determination and modeling of energy consumption in wheat production using neural networks: "A case study in Canter bury province, New Zealand". *Energy*, 36(8), 5140-5147.
- Salami, P. and Ahmadi, H. (2010). Energy inputs and outputs in a chickpea production system in Kurdistan, Iran. *African Crop Science Journal*, 18(2), 51-57.
- Sohrabi, Y., Heidari, G. and Esmailpoor, B. (2008). Effect of salinity on growth and yield of Desi and Kabuli Chickpea cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(4), 664-667.
- Taghavifar, H. and Mardani, A. (2015). Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using artificial neural network. *Journal of Cleaner Production*, 87, 159-167.