



ارزیابی و مدل سازی برای پیش بینی گشتاور وارد بر گاوآهن قلمی دارای تیغه کامپوزیت در انباره خاک با بهره گیری از شبکه عصبی مصنوعی

محمد رحمتیان^۱؛ سید حسین کارپرور فرد^{۲*}؛ محمد امین نعمت الهی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ m.rahmatian@shirazu.ac.ir

^۲ دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ karparrvr@shirazu.ac.ir

^۳ استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ manema@shirazu.ac.ir

چکیده

امروزه بررسی و ارزیابی ماشین‌های خاک‌ورزی، برای بهتر شدن بهره‌وری محصولات کشاورزی و همچنین استفاده بهینه از منابع قدرت مانند تراکتور، از اهمیت بسزایی برخوردار هستند. به همین خاطر به طور معمول عوامل مهمی که بر روی آن‌ها تأثیر گذار است، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این پژوهش، عمق خاک‌ورزی، زاویه حمله و سرعت پیشروی به عنوان تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شدند. عامل گشتاور که بر اثر نیروهای وارد بر گاوآهن به وجود می‌آید، به عنوان عامل اندازه‌گیری، بر روی گاوآهن قلمی با تیغه کامپوزیت در انباره خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با کمک شبکه عصبی مصنوعی، مدلی برای پیش بینی گشتاور بدست آمد. نتایج حاصل نشان داد که گشتاور بیشینه در عمق خاک‌ورزی، زاویه حمله و سرعت پیشروی به ترتیب ۲۵ سانتی‌متر، ۴۰ درجه و ۷ کیلومتر بر ساعت و همچنین کمینه گشتاور به ترتیب فوق در ۱۵ سانتی‌متر، ۲۰ درجه و ۳ کیلومتر بر ساعت بدست آمد.

کلمات کلیدی: گاوآهن قلمی، گشتاور، مقاومت کششی، نیروی عمودی، انباره خاک، شبکه عصبی مصنوعی

Evaluation and modeling for prediction torque on the chisel plow mid composite blade in the soil bin using an artificial neural network

Mohammad Rahmatian¹, Seyyed Hossein Karparvar Fard², Mohammad Amin Nematollahi³

¹ Postgraduate, Biosystems Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, m.rahmatian@shirazu.ac.ir

² Associate Professor, Biosystems Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, karparrvr@shirazu.ac.ir

³ Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, manema@shirazu.ac.ir

ABSTRACT

Today, the survey and evaluation of tillage machines is important to improve the productivity of agricultural products and to optimize the use of power sources such as tractors. Therefore, as a rule, important factors affecting them are investigated. In this research, depth of tillage, rake angle and forward speed were considered as the treatments. The torque factor caused by the forces involved on the plow, as a measuring factor, was investigated on a blade plow with a composite blade in the soil bin. Also, with the help of artificial neural network, a model was developed to predict torque. The results showed that maximum torque in depth of tillage, rake angle and forward speed were 25 cm, 40 degree and 7 km.h⁻¹, respectively, and the minimum torque was 15 cm, 20 degree and 3 km.h⁻¹, respectively.

Keywords: Artificial neural network, Chisel plow, Draft force, Soil bin, Torque, Vertical force

^۱ سید حسین کارپرور فرد، شیراز، کیلومتر ۱۲ جاده شیراز به اصفهان، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش مهندسی بیوسیستم، ۰۹۱۷۳۱۶۰۴۵۷



گذار از کشاورزی سنتی به کشاورزی نوین مستلزم کاربرد فناوری‌های پیشرفته در عرصه‌های مختلف می‌باشد. امروزه خاک‌ورزی و ماشین‌های مربوط به آن به دلیل اینکه اولین مرحله از عملیات کشاورزی است و همچنین پایه و اساس سایر عملیات‌های کشاورزی نیز می‌باشد، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Rahmatian et al., 2018). در چند سال اخیر به دلیل کاهش منابع آب و همچنین اهمیت مکانیزاسیون در کشاورزی، حجم قابل توجهی از تحقیق‌ها و پژوهش‌ها مربوط به بحث خاک‌ورزی و طراحی و بهبود ماشین‌آلات به کار رفته در حوزه خاک‌ورزی می‌باشد. در این زمینه به منظور شناختی بهتر از ادوات خاک‌ورزی و همچنین پی بردن به کارایی بهتر آن‌ها در هنگام انجام عملیات خاک‌ورزی، محققان پژوهش‌هایی بر روی این ادوات انجام داده‌اند.

در پژوهشی تأثیر سرعت پیشروی و عمق کار بر مقاومت کششی و نیروی عمودی ابزار قلمی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش عمق کار و یا سرعت پیشروی، مقاومت کششی و نیروی عمودی افزایش یافت (Al-Suhaibani et al., 2010).

در پژوهش دیگری اثر عمق کار و سرعت پیشروی بر مقاومت کششی خاک‌ورز قلمی بالدار مورد بررسی قرار گرفت و به کمک شبکه عصبی مدلی ارائه گردید که به کمک آن بتوان مقاومت کششی ابزار مورد نظر را پیش بینی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر عمق کار و سرعت پیشروی بر مقاومت کششی معنی‌دار بوده و با افزایش آن‌ها، مقاومت کششی خاک‌ورز افزایش یافت (Akbarnia et al., 2014).

در تحقیقی اثر زاویه‌های حمله مختلف بر نیروی اعمالی به یک تیغه باریک بررسی گردید و بیان شد که هر چه زاویه‌ی حمله بزرگتر در نظر گرفته شود، به هم خوردن خاک افزایش می‌یابد و لایه‌های عمیق خاک سست می‌گردند ولی نیروی اعمالی به تیغه بیشتر خواهد شد و مقاومت کششی افزایش می‌یابد. در نتیجه بهترین زاویه‌ی حمله برای تیغه مورد نظر را ۳۵ درجه اعلام شد (Solhjou et al., 2012). در تحقیق دیگری گاوآهن بالدار شبیه به پنجه غازی طراحی شد و در مزرعه و با استفاده از روش المان گسسته (DEM) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاکی از آن بود که با افزایش زاویه حمله، نیروی عمودی و مقاومت کششی وارد بر گاوآهن افزایش یافت (Ucgal et al., 2014).

در پژوهشی اثر هندسه ابزار و شرایط عملیاتی بر نیروهای وارد بر گاوآهن برگردان‌دار را در انبار خاک و با استفاده از روش المان محدود (FEM) بررسی گردید و با توجه به نتایج بدست آمده بیان شد که با افزایش عمق کار و سرعت پیشروی، مقاومت کششی و نیروی عمودی وارد بر گاوآهن برگردان‌دار افزایش یافت (Ibrahmi et al., 2015). در تحقیق دیگری تأثیر سرعت پیشروی و عمق کار بر عملکرد زیر شکن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق کار، مقاومت کششی زیر شکن نیز افزایش یافت (Askari et al., 2016).

در تحقیقی که بر روی بهینه سازی گاوآهن قلمی انجام شد، بیان گردید که بهترین سرعت پیشروی، زاویه حمله و رطوبت خاک به ترتیب ۵ کیلومتر بر ساعت، ۳۶ درجه و ۰/۸۱ حد پلاستیک می‌باشد و همچنین بیان شد که با افزایش سرعت پیشروی و زاویه حمله، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (Rahmatian et al., 2018). در پژوهش مزرعه‌ای اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر مقاومت کششی چند نوع تیغه کولتیواتور بررسی گردید و بیان شد که با افزایش سرعت پیشروی و عمق کار، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (Fazeli et al., 2017). در تحقیق دیگری، گاوآهن برگردان‌دار سه خیش در انبار خاک و همچنین با استفاده از روش المان گسسته (DEM) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی و همچنین افزایش پیشروی در خاک (افزایش فاصله از مبدأ) میزان مقاومت کششی نیز افزایش یافت (Ucgal et al., 2017).

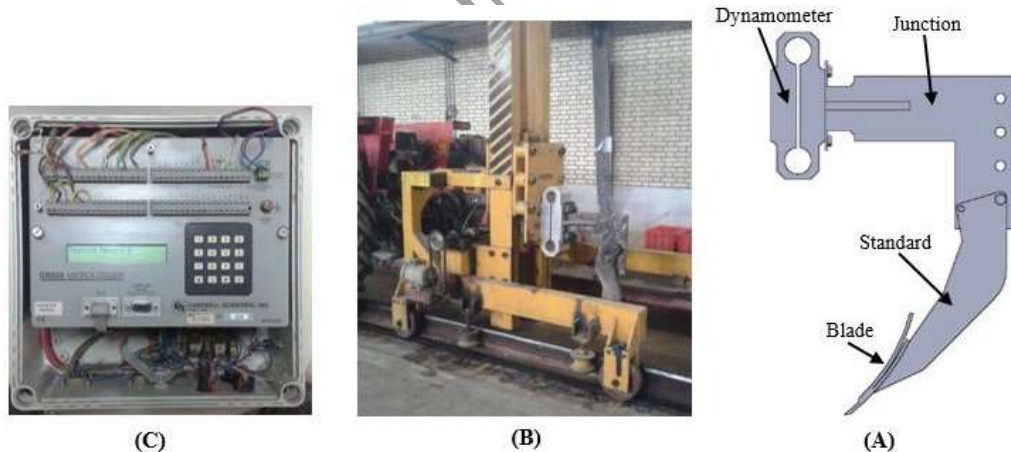
در تحقیقی ابتدا در انبار خاک مقاومت کششی تیغه قلمی بالدار مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از شبکه عصبی انتشار برگشتی چند لایه با روش آموزش کاهش گرادیان، مدلی بدست آمد که به کمک آن مقدار مقاومت کششی گاوآهن مورد نظر تخمین زده شد (Roul et al., 2009). در تحقیق دیگری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و علم مکانیک کلاسیک، ماشین حسابی مدل سازی شد تا به کمک آن بتوان میزان نیروی مقاومت کششی هر نوع گاوآهن برگردان داری را پیش بینی نمود (Ahmadi, 2013).

با توجه به پژوهش‌های پیشین، مشاهده می‌گردد که تمام محققین نیروی عمودی و مقاومت کششی را به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار داده و اثر این نیروها را بر عامل خاک‌ورز بررسی کرده‌اند. با توجه به علم ایستایی در مکانیک، نیروی عمودی و مقاومت کششی، گشتاوری پیچشی در محل اتصال ساقه به شاسی گاوآهن ایجاد می‌کنند. افزایش یا کاهش در گشتاور به دلیل ثابت بودن فاصله‌ها از نقطه گشتاور گیری (نقطه اتصال ساقه به شاسی گاوآهن) بیانگر افزایش یا کاهش در دو نیروی ذکر شده می‌باشد. به همین دلیل با استفاده از گشتاور می‌توان نتایج کلی از تأثیر سایر عوامل بر خاک و عامل خاک‌ورز بدست آورد. با توجه به دلایل فوق الذکر، در این تحقیق گشتاور پیچشی ساقه گاوآهن قلمی مجهز به تیغه کامپوزیتی مورد بررسی قرار داده خواهد شد و نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققان مقایسه می‌گردد. در این پژوهش نیز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مدلی برای پیش بینی گشتاور وارده بر گاوآهن ارائه می‌گردد.

این پژوهش از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به ارزیابی و داده برداری در انباره خاک برای بدست آوردن گشتاورهای وارد بر گاوآهن در هنگام انجام عملیات خاک‌ورزی است. بخش دوم مدل سازی و پیش بینی گشتاور وارد بر گاوآهن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

۲-۱- داده برداری در انباره خاک

این پژوهش در انباره خاک مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (AERI) واقع در کرج انجام گردید (شکل ۱، B). ساقه به کار برده شده، ساقه‌ی خاک‌ورز مرکب بود که تیغه‌ای قلمی از جنس کامپوزیت FRP بر روی آن نصب گردید. تیمارهای به کار برده شده سرعت پیشروی (۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت)، زاویه حمله (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) و عمق خاک‌ورزی (۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر) بودند. صفت اندازه‌گیری نیز گشتاور در نظر گرفته شد که از نیروی عمودی و مقاومت کششی وارد بر تیغه و ساقه گاوآهن بوجود آمد. این پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. برای آماده سازی خاک، ابتدا خاک انباره خاک دو بار با استفاده از دستگاه پردازش خاک به هم زده شد. بعد از مهیا سازی خاک با عمق مورد نظر، برای بدست آوردن فشردگی مطلوب از دو غلتک از نوع صاف و دندانه میخی استفاده گردید. از غلتک صاف بعد از هر لایه خاکریزی استفاده شد تا کوبش خاک به خوبی انجام شود. از غلتک دندانه میخی در انتهای مهیا سازی خاک استفاده شد تا رطوبت به صورت یکنواخت به تمام نقاط خاک برسد. بعد از مهیا سازی خاک، ساقه به همراه تیغه بر روی محمل انباره خاک نصب گردید (شکل ۱، A). مخزن انباره خاک به سه قسمت مساوی هم از جهت طول و هم از جهت عرض تقسیم شد و آزمایش‌ها در جهت طولی و در امتداد هم انجام گرفت. در هر بار آزمایش یک عمق و یک زاویه حمله در نظر گرفته شد و سه سطح سرعت در کنار هم در مخزن خاک انجام گرفت. محمل ادوات به اتصال سه نقطه تراکتور متصل بود و در طول انباره خاک با استفاده از تراکتور حرکت داده شد (شکل ۱، B). دینامومتری که تیغه و ساقه گاوآهن به آن متصل شد، قادر به اندازه‌گیری مقاومت کششی، نیروی عمودی و گشتاور حاصل از این دو نیرو بود. دینامومتر از نوع هشت وجهی بود که به دستگاه میکرولاگر مدل CR23X ساخت شرکت CAMPBELL آمریکا، متصل شد که به کمک آن داده‌های دریافتی از دینامومتر پردازش و ذخیره گردید (شکل ۱، C) و این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار PC208W بر روی کامپیوتر نمایش داده شد.



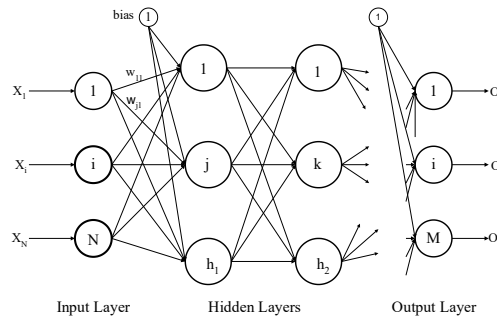
شکل ۱- (A) شماتیک و (B) نمایی از انباره خاک، رابط، ساقه و تیغه گاوآهن، (C) دستگاه میکرولاگر

Figure 1-(A) Schematic and (B) view of the soil bin, junction, standard and blade's plow, (C) Micro logger device

۲-۲- مدل سازی به کمک شبکه عصبی مصنوعی

جهت تعیین مدل بین پارامترهای ورودی (سرعت در سه سطح ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت، عمق خاک‌ورزی در سه سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و زاویه حمله نیز در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) و پارامتر خروجی (گشتاور) از دو شبکه انتشار برگشتی و تابع با مبنای شعاعی استفاده گردید.

شبکه‌های عصبی مصنوعی از اجزایی که نرون نامیده می‌شوند، ساخته شده‌اند. در این مقاله، شبکه عصبی پیشخور (شکل ۲) استفاده شده است که به اختصار توضیح داده می‌شود.



شکل ۲- شبکه‌های عصبی با معماری پیشخور
Figure 2- Neural networks with Feed forward

معماری پیشخور، شامل لایه‌های متشکل از گره‌ها می‌باشند که گره‌ها در یک لایه به هم متصل نمی‌باشند اما هر لایه به لایه بعد از خود اتصال دارد. این شبکه از متداول‌ترین شبکه‌های عصبی در کاربردهای مهندسی مانند تخمین تابع آمی باشد. ارتباط بین گره‌ها در لایه‌های مختلف با w_{ji} (وزن) و b_i (بایاس) نشان داده می‌شود. روش‌های مختلفی بکار برده می‌شود تا وزن و بایاس‌های بین لایه‌ها تنظیم و نتیجتاً خطای خروجی کمینه گردد. تابع خطا در نرون خروجی به صورت رابطه‌ی (۱) است.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (T_i - O_i)^2 \quad (1)$$

O_i و T_i به ترتیب داده‌های واقعی و محاسبه شده توسط شبکه می‌باشند و n تعداد داده‌ها هست. الگوریتم انتشار برگشتی یک روش تکراری است که مطابق رابطه‌های (۲) و (۳) جهت تنظیم وزن و بایاس‌ها استفاده می‌شود.

$$w_{ji}^m(p+1) = w_{ji}^m(p) + \Delta w_{ji}^m(p) \quad (2)$$

$$b_{ji}^m(p+1) = b_{ji}^m(p) + \Delta b_{ji}^m(p) \quad (3)$$

که p تعداد تکرار و m ، نشان دهنده شماره لایه شبکه عصبی است. توضیحات بیشتر در مراجع (Rojas, 1956)، (Maren, 1990)، (Hertz et al., 1991)، آمده است. شبکه عصبی تابع با مبنای شعاعی از نوع شبکه پیشخور است که از دو لایه تشکیل شده است و تابع تحریک (انتقال) آن تابع گوس می‌باشد (Kohonen, 1982).

۲-۲-۱- استفاده از شبکه عصبی جهت تعیین گشتاور

در این پژوهش، برای بررسی کارایی عملکرد شبکه عصبی، یک مدل‌سازی با بهره‌گیری از داده‌های حاصل از فعالیت در انباره خاک، انجام شد تا به کمک آن، رابطه‌ای برای محاسبه مقدار گشتاور با ارائه داده‌های ورودی، تخمین زده شود. جهت تعیین مدل بین پارامترهای ورودی (سرعت پیشروی در سه سطح ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت، عمق خاک‌ورزی در سه سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و زاویه حمله نیز در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۴۰ درجه) و پارامتر خروجی (گشتاور) از دو شبکه انتشار برگشتی و تابع با مبنای شعاعی استفاده گردید. آموزش شبکه در نرم‌افزار متلب، نسخه ۲۰۱۴، انجام شد. بعد از انجام محاسبات مربوط به آموزش شبکه، مقدار درصد خطای حاصل از آموزش شبکه به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$RSME = \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{(P_{est} - P_{exact})^2}{m}} \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{P_{est} - P_{exact}}{P_{exact}} \right| \times 100$$



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک

بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

ریشه میانگین مربعات خطای تخمین زده شده و $MAPE$ درصد میانگین خطای تخمین زده شده از شبکه و m تعداد داده‌های ارائه شده به شبکه است. P_{exact} و P_{est} به ترتیب مقادیر گشتاور تخمین زده شده از شبکه عصبی و واقعی (اندازه‌گیری شده در انباره خاک) می‌باشد. تحلیل رگرسیون نیز جهت نشان دادن دقت گشتاور محاسبه شده، انجام گرفت. ضریب همبستگی که شاخصی از خوب بودن برازش بین داده‌های به دست آمده از شبکه و آزمایش‌ها در انباره خاک است، به صورت رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

که \bar{x} و \bar{y} میانگین داده‌های x_i (گشتاور اندازه‌گیری شده در انباره خاک) و y_i (گشتاور محاسبه شده توسط شبکه) هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج انباره خاک

جدول (۱)، تجزیه واریانس تیمارها و متغیر اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. طبق این جدول تکرار تیمارها و همچنین اثر تیمارهای عمق کار و زاویه حمله بر گشتاور در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر تیمار سرعت پیشروی، اثر متقابل عمق کار و زاویه حمله و اثر متقابل عمق کار، زاویه حمله و سرعت پیشروی بر گشتاور نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل عمق کار و سرعت پیشروی و همچنین اثر متقابل زاویه حمله و سرعت پیشروی بر گشتاور معنی‌دار نشد.

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس متغیر اندازه‌گیری شده برای خاک‌ورز با تیغه کامپوزیت در انباره خاک

Sources of change	Degree of freedom	Sum of square of the torque	F
Replication	2	1031216.04	7.82**
Tillage depth (D)	2	1307125.35	9.92**
Rake angle (A)	2	684439.76	5.19**
Forward speed (V)	2	219910.488	1.67*
D×A	4	264804.32	1.00*
D×V	4	10956.13	0.04 ^{ns}
A×V	4	14273.17	0.05 ^{ns}
D×A×V	8	16658.85	0.03*
Error	52	3426830.918	
Coefficient of variation (%)		32.28	

** 1 percent significant, * 5 percent significant, ^{ns} non- significant

گشتاور مورد نظر در این پژوهش از مجموع تمام نیروهای مقاومت کششی و نیروی‌های عمودی وارد بر گاوآهن به وجود می‌آید. جدول (۲)، مقایسه میانگین گشتاور در سطوح مختلف تیمارها را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، با افزایش عمق کار، مقدار گشتاور نیز افزایش یافت. به دلیل اینکه در هنگام افزایش عمق کار، حجم خاک بیشتری در جلوی تیغه به وجود می‌آید و همچنین در راستای افق نیز میزان خاک سر بار بیشتر می‌گردد به همین دلیل مقاومت کششی و نیروی عمودی افزایش می‌یابند (Akbarnia et al., 2014; Ibrahim et al., 2015; Fazeli et al., 2017). با توجه به دلایل موجود با افزایش مقاومت کششی و نیروی عمودی به هنگام افزایش عمق کار، گشتاور وارده نیز افزایش یافت (جدول ۲). با توجه به افزایش زاویه حمله، تصویر افقی تیغه بر روی خاک نیز افزایش می‌یابد که این خود باعث افزایش مقاومت کششی می‌گردد (Solhjoui et al., 2012; Ucgall et al., 2014; Rahmatian et al., 2017). به همین خاطر با افزایش زاویه حمله، گشتاور نیز افزایش یافت (جدول ۲). با افزایش سرعت در هنگام عملیات خاک‌ورزی، شتاب وارده از طرف تیغه به خاک افزایش می‌یابد به همین دلیل خاکی که در جلوی تیغه قرار دارد، دورتر پرتاب می‌شود. به همین خاطر نیروی مقاومت کششی و نیروی عمودی بیشتری به تیغه گاوآهن وارد می‌گردد (Al-Suhaibani et al., 2010; Ibrahim et al., 2015; Askari et al., 2016). با توجه به این افزایش نیروهای وارده به تیغه در هنگام افزایش سرعت، گشتاور نیز افزایش یافت (جدول ۲).



جدول ۲- مقایسه میانگین گشتاور در سطوح مختلف تیمارهای اندازه گیری شده

Table 2- Average comparison of torque at different levels of measured treatments

Treatments	Level treatments	Torque (N.m)
Tillage depth (cm)	15	653.61 ^b
	20	770.18 ^b
	25	961.75 ^a
Rake angle (degree)	20	698.25 ^b
	30	768.62 ^{ab}
	40	918.67 ^a
Forward speed (km.h ⁻¹)	3	724.90 ^a
	5	811.14 ^a
	7	849.50 ^a

۲-۳- نتایج شبکه عصبی مصنوعی

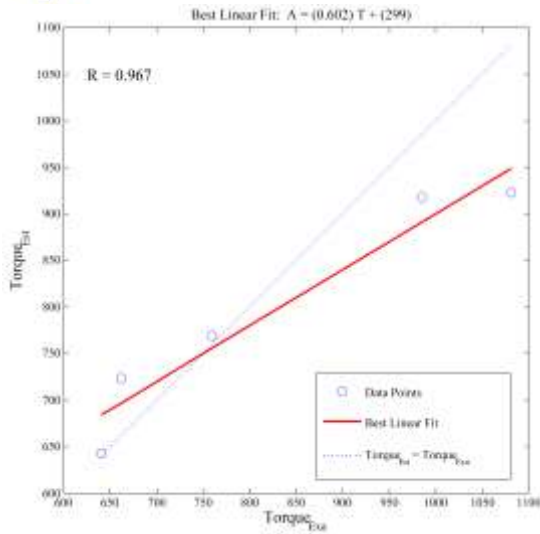
جدول (۱) نتایج حاصل از دو شبکه عصبی را نشان می‌دهد. در این تحقیق از دو نوع شبکه عصبی انتشار برگشتی و تابع با مبنای شعاعی جهت مدل‌سازی پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شد. بعد از انجام محاسبات با ساختارهای مختلف شبکه عصبی و محاسبه خطا، بهترین معماری در نظر گرفته شده برای شبکه انتشار برگشتی، شبکه‌ای با دو لایه مخفی است. تعداد نرون در لایه اول و دوم مخفی به ترتیب ۱۵ و ۱۵ می‌باشد. برای آموزش شبکه انتشار برگشتی، تابع انتقال سیگموئیدی در هر دو لایه مخفی و تابع انتقال خطی در لایه خروجی و الگوریتم آموزش شبه نیوتن بکار برده شده‌اند.

جدول ۳- نتایج حاصل از آموزش شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی و تابع با مبنای شعاعی

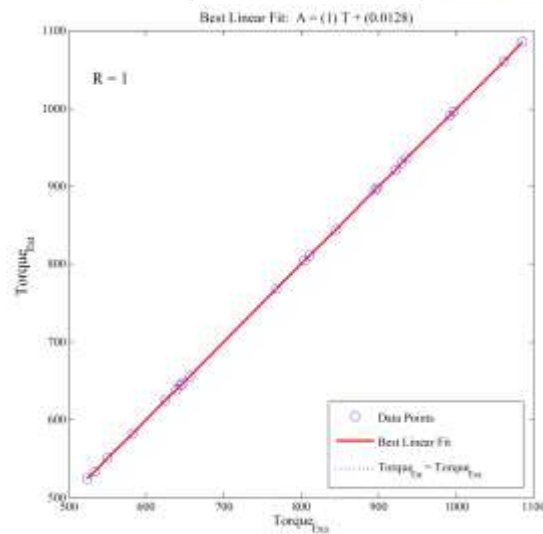
Table 3- Results of training feed forward neural networks and radial basis function

Type of networks	RSME (Training data)	MAPE (Training data)	R (Training data)	RSME (Test data)	MAPE (Test data)	R (Test data)
Radial basis function	0.0040	0.0005	1	81.7752	6.4625	0.9666
Back propagation (One layer)	0.3890	0.0419	1	12.6704	1.1321	0.9977
Back propagation (Two layer)	0.5459	0.0472	1	8.1807	0.6683	0.9990

بعد از انجام محاسبات و آموزش شبکه‌های عصبی تابع با مبنای شعاعی و انتشار برگشتی، نتایج بدست آمدند. شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون پارامتر گشتاور در شبکه تابع با مبنای شعاعی در مرحله آموزش و آزمایش را نشان می‌دهند.

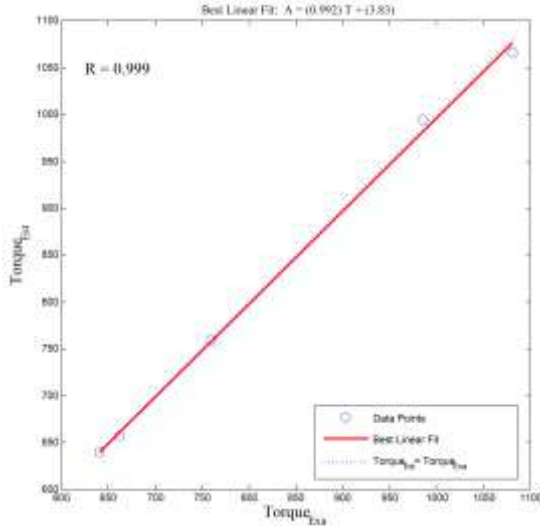


شکل ۴- تحلیل رگرسیون گشتاور تخمین زده شده و واقعی (شبکه تابع با مبنای شعاعی - داده‌های آزمایش)
Figure 4- The regression of the estimated and exact torque (Radial basis function network - Test data)

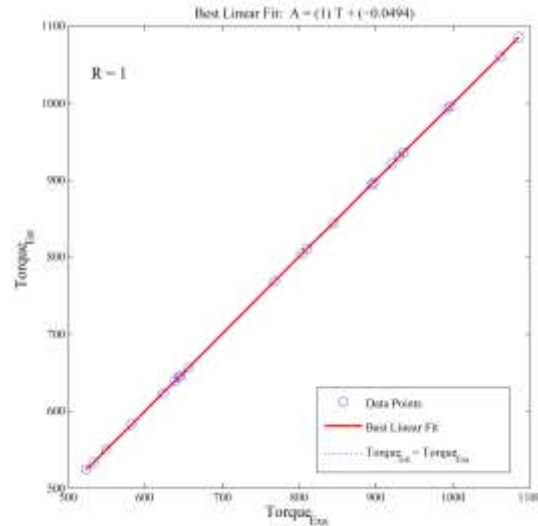


شکل ۳- تحلیل رگرسیون گشتاور تخمین زده شده و واقعی (شبکه تابع با مبنای شعاعی - داده‌های آموزش)
Figure 3- The regression of the estimated and exact torque (Radial basis function network - Training data)

در شکل‌های (۵) و (۶) به ترتیب تحلیل رگرسیون پارامتر گشتاور با استفاده از شبکه انتشار برگشتی (با دو لایه مخفی) در مرحله آموزش آمده است. ضریب همبستگی بالای بدست آمده در مرحله آزمایش تأییدی بر عملکرد خوب شبکه است.



شکل ۶- تحلیل رگرسیون گشتاور تخمین زده شده و واقعی (شبکه انتشار برگشتی - داده‌های آزمایش)
Figure 4- The regression of the estimated and exact torque (Back propagation network - Test data)



شکل ۵- تحلیل رگرسیون گشتاور تخمین زده شده و واقعی (شبکه انتشار برگشتی - داده‌های آموزش)
Figure 3- The regression of the estimated and exact torque (Back propagation network - Training data)

با مشاهده نتایج حاصل در جدول (۳) و شکل‌های (۴) و (۶)، می‌توان دریافت که شبکه انتشار برگشتی عملکرد بهتری نسبت به شبکه تابع با مبنای شعاعی جهت تعیین گشتاور را داراست، بویژه هنگامی که با داده‌های آزمایش، عملکرد شبکه بررسی می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شبکه انتشار برگشتی از توانایی بالایی جهت مدل‌سازی رابطه بین پارامترهای ورودی و خروجی برخوردار است.



با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش، مشاهده گردید که رفتار گشتاور وارد بر خاک‌ورز حین عملیات خاک‌ورزی، مانند رفتار نیروهای افقی و عمودی وارد بر خاک‌ورز در تحقیقات مشابه می‌باشد. به طوری که با افزایش یا کاهش نیروهای افقی و عمودی در شرایط مختلف، گشتاور نیز افزایش یا کاهش یافت. به همین خاطر می‌توان گشتاور را نیز به عنوان پارامتری تأثیر گذار در ارزیابی ماشین‌های خاک‌ورزی مورد استفاده قرار داد. همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی انتشاربرگشتی و تابع با مبنای شعاعی، رابطه‌ای بین داده‌های ورودی (عمق خاک‌ورزی، زاویه حمله و سرعت پیشروی) و خروجی (گشتاور) بدست آمد. از نتایج بدست آمده در این مقاله مشخص شد که شبکه انتشار برگشتی کارایی بهتری نسبت به شبکه تابع با مبنای شعاعی جهت تعیین گشتاور را داراست.

۵- مراجع

- Ahmadi, I. (2016). Development and evaluation of a draft force calculator for moldboard plow using the laws of classical mechanics. *Soil and Tillage Research*, 161, 129-134.
- Akbarnia, A., Mohammadi, A., Alimardani, R., & Farhani, F. (2014). Simulation of draft force of winged share tillage tool using artificial neural network model. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(4), 57-65.
- Al-Suhaibani, S., & Ghaly, A. E. (2010). Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. *American Journal of Agricultural and Biological Science*.
- Askari, M., Shahgholi, Gh., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Tash-Shamsabadi, H. (2016). Effect of forward speed and tillage depth on tractor-subsoiler performance. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 16 (65), 109-128. (In Persian)
- Fazeli, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Shahgoli, Gh., & Fazel-Niari, Z. (2017). Effect of forward speed and tillage depth on fuel consumption and draft Force of different types of Cultivator Blades. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 18 (68), 71-88. (In Persian)
- Hertz, J. A., Krogh, A., and Palmer, R. G. (1991) *Introduction to the theory of neural computation*: Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, California.
- Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., & Mouazen, A. (2015). Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 2. Experimental validation with soil bin test. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 268-275.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biol. Cybernet*, 43, 9-69.
- Maren, A., Harston, C., & Pap, R. (1990). *Handbook of neural computing applications*, Academic Press Inc., San Diego, California.
- Moody, J. E. & Darken, C. J. (1989). Fast learning in networks of locally tuned processing units. *Neur Comput*, 1: 281-294.
- Rahmatian, M., Karparvar Fard, S. H., & Nematollahi, M. A. (2018). Prediction for optimizing performance of chisel blade used in combined tillage to obtain suitable effectiveness. *Iranian journal of biosystem engineering*, 49(1), 73-82 (In Persian).
- Rahmatian, M., Karparvar Fard, S. H., & Moradi, M. (2018). *Principles of farm machineries*, Mardavij publishing, Esfahan, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Rojas, R. (1996). *Neural networks: a systematic introduction*, Springer-Verlag, Berlin.
- Roul, A. K., Rahman, H., Pansare, M. S., & Machavaram, R. (2009). Predicting the draught requirement of tillage implement in sandy clay loam soil using an artificial neural network. *Biosystem Engineering*, 104, 476-485.
- Solhjoui, A., Fielke, J.M. and Desbiolles, J.M. (2012). Soil translocation by narrow openers with various rake angles. *Biosystems engineering*, 112(1): 65-73.
- Ucgul, M., Fielke, J., & Saunders, Ch. (2014). 3D DEM tillage simulation: Validation of a hysteretic spring (plastic) contact model for a sweep tool operating in a cohesionless soil. *Soil and Tillage Research*, 144, 220-227.
- Ucgul, M., Saunders, Ch., & Fielke, J. (2017). Discrete element modelling of tillage forces and soil movement of a one-third scale mouldboard plough. *Biosystem Engineering*, 155, 44-54.