استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی انرژی اتلاف شده در چرخ در پارامترهای متغیر خاک

فاطمه قشلاقی[1]، عارف مرداری[2]، سید محمد حسن کمارئزاده[3]

1- کارشناسی ارشد 2- استادیار 3- استاد

دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

f.gheshlaghi@gmail.com

چکیده

یکی از عمده ترین افت های انرژی زمانی که چرخ روی خاک نرم حرکت می کند، مقاومت غلتشی می‌باشد که یکی از عوامل موثر در تغییرات آن، عدم ثبات پارامترهای خاک بوده است که به طور خاص می توان به مقدار زاویه اصطکاک داخلی و همچسبی خاک اشاره نمود. پارامترهای سختی مرتبط با چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک بیانگر خصوصیات مکانیکی خاک می‌باشند که با توجه به پیچیدگی این متغیرها ایجاد شرایط مشابه به منظور تکرار آزمون ها و بررسی اثر آنها بر مقاومت غلتشی چرخ دشوار است. فرآوری خاک، خصوصیات خاک را تغییر داده و با توجه به اینکه غالب روش های آماری متداول، مبتنی بر داده های مربوط به تکرار آزمایش ها می باشد از اینرو دسترسی به این داده ها دشوار به نظر می‌رسد. یکی از قابلیت های شبکه های عصبی، خلاصی از همین محدودیت است به گونه ای که داده های ورودی، حتما لازم نیست دارای تکرارهایی با یک سری سطوح معین باشند. در این تحقیق آزمایش‌هایی با آزمونگر تک چرخ در سه سطح سرعت پیشروی، سه سطح فشار باد تایر و سه سطح بار عمودی روی انباره خاک پرشده از خاک لومی رسی، انجام شده است که البته سطوح بار در طول حرکت تایر متغیر بوده و مقادیر آن و مقاومت غلتشی متناظر در هر لحظه ثبت شده است . آزمون صفحات مدل بکر نیز قبل هر آزمایش صورت گرفته و تمامی داده های حاصل از آزمایشات جهت آموزش به شبکه عصبی داده شده است . شبکه پس انتشار برگشتی با 35 نورون در لایه مخفی و 1 نورون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوارت بهترین عملکرد را نشان داد. ضریب همبستگی آزمون شبکه مزبور 0/92 بوده است . پیش بینی شبکه عصبی تایید کرد که با افزایش پارامترهای سختی مربوط به چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک مقاومت غلتشی چرخ کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: آزمونگر تک چرخ، پارامترهای سختی مربوط به چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک، شبکه عصبی، مقاومت غلتشی.

مقدمه

مقاومت غلتشی یک عامل موثر در مصرف بخشی از قدرت انتقالی به چرخ ها است . بنابراین نقش مهمی را در افزایش مصرف سوخت وسیله ی نقلیه بازی می کند. از اینرو در دهه تلاش های زیادی برای ساخت تایر با مقاومت غلتشی کم صورت گرفته است.

این عامل در ارتباط مستقیم با تغییر شکل های به وجود آمده در تایر و سطح زیرین آن است و بر همین اساس، در شرایط حرکت روی سطح خاک، از پیچیدگی بیشتری برخوردار می باشد این نیروی مقاوم تحت تاثیر طراحی تایر و پارامترهای سیستم و ویژگی های زمین می باشد. پارامترهای طراحی تایر شامل قطر، پهنای مقطع، ارتفاع مقطع، فشار باد و رابطه بارگذاری خمشی می باشد. خصوصیات زمین شامل نوع خاک، رطوبت و مقدار تراکم آن بوده در حالی که پارامترهای سیستم شامل بارگذاری عمودی روی چرخ ها و سرعت حرکت آنها و یا فشار باد تایر می‌باشد(Keshaw and Tiwari, 2006).

بخش عمده‌ی مقاومت غلتشی یک چرخ مربوط به انرژی مصرف شده برای تغییر شکل خاک در اثر حرکت چرخ می‌باشد و بر همین اساس، مدل هایی بر مبنای انرژی تغییر شکل خاک زیر چرخ شکل گرفته‌اند. اغلب این مدل ها بر اساس معادله‌ی تغییر شکل بکر پایه‌ریزی شده‌اند به طوری که انرژی لازم برای فشرده‌شدن خاک زیر چرخ در حین حرکت و در یک مسافت معین، برابر با حاصلضرب یک نیروی مخالف حرکت در همین مسافت در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، کار انجام‌شده برای ایجاد تراکم خاک، معادل کار یک نیروی فرضی مخالف حرکت قرار داده شده و بدین ترتیب مقدار نیروی فرضی مزبور به عنوان مقاومت ناشی از تراکم و تغییر فرم خاک به دست آمده است (مردانی، 1389).

از جمله تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته است می توان اشاره کرد به پیتر کیس[1] که مولفه های مختلف مقاومت غلتشی چرخ را دراثر بار دینامیکی بررسی کرده و سهم هر بخش از عوامل ایجاد مقاومت غلتشی را تعیین نمود. طبق نتایج تحقیق وی در حدود 44٪ از انرژی کل مصرفی چرخ در قالب مقاومت غلتشی صرف تغییر شکل چرخ و در حدود 56٪ آن نیز صرف تغییر شکل در خاک شده است(Kiss and Laib, 2005).

ایاگنما و دابوفسکی[2] نیز طی بررسی دینامیک حرکت ربات ها به این نکته اشاره کرده اند که یکی از عوامل متغیر بودن مقاومت غلتشی یک چرخ در وضعیت حرکت بر روی خاک، عدم ثبات پارامترهای خاک است که به طور خاص، به مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک و همچسبی خاک اشاره نم وده اند (Iagnemma and Dubowsky, 2005).

استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی مقاومت غلتشی چرخ ها بر روی خاک علیرغم اینکه سابقه چندانی در منابع علمی نداشته است اما با توجه به اینکه تقابل چرخ و خاک دربرگیرنده متغیرهای عدیده ای است رویکرد قابل توجهی به نظر می‌رسد. شبکه های عصبی مصنوعی یکی از بهترین روش های محاسباتی می‌باشد که قابلیت های این روش در تخمین رگرسیون های پیچیده را می توان به عنوان امتیازی برای این روش در مقایسه با روش های تحلیلی و آماری برشمرد(Rahimi-Ajdadi and Abbaspour-Gilandeh, 2011).

[1] - Peter Kiss.

[2] - Iagnemma & Dubowsky.

تحقیقات پیشین، غالبا به یک یا دو متغیر محدود بوده و تحلیل های نسبتا پیچیده ای را در رابطه با متغیرها ی زیادتر پیشنهاد می‌کنند. فرایند حرکت چرخ بر روی خاک با متغیرهای عدیده ای روبرو است که با وجود سع ی برای تشریح برخی از این پارامترها، به ناچار تعدادی از این متغیرها قابل تشریح در سطوح معین نخواهند بود. علاوه بر این، پارامتر سختی خاک متغیر پیچیده ای است و ایجاد شرایط مشابه به منظور تکرار آزمون ها بس یار دشوار است. فرآوری خاک، خصوصیات خاک را تغییر داده و با توجه به اینکه غالب روش های آماری متداول، مبتن ی بر داده ه‌ای مربوط به تکرار آزمایش ها می‌باشد از اینرو دسترسی به این داده ها دشوار به نظر می‌رسد. یکی از قابلیت های شبکه های عصبی، خلاصی از همین محدودیت است به گونه ای که داده های ورودی، حتما لازم نیست دارای تکرارهایی با یک سری سطوح معین باشند. بر این اساس، داده ها را م ی توان بدون محدود یت، به شبکه ها ی عصبی سپرده و فرآیند آموزش شبکه و نیز ارزیابی آن را به انجام رساند و این انتظار م ی‌رود که شبکه عصب ی مصنوعی بتواند مقاومت غلتشی را با استفاده از پارامترهای موثر پیش بینی نماید.

مواد و روشها

جهت انجام آزمایشات از یک آزمونگر تک چرخ در محیط انباره خاک دارای عرض مفید 2 متر و طول 24 متر با توان موتور محرک 30 اسب بخار که با خاک لومی شنی پر شده است در آزمایشگاه گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ارومیه استفاده شده است. شکل 1 آزمونگر تک چرخ تعبیه شده در انباره خاک را نشان می‌دهد.

شکل 1- آزمونگر تک چرخ با چهار بازوی افقی و یک بازوی عمودی

این آزمونگر شامل چهار بازوی موازی افقی و یک بازوی عمودی جهت اعمال بار عمودی می باشد که مقادیر نیروها به صورت لحظه ای در هنگام حرکت آزمونگر در نمایشگره‌ای متصل به لودسل هایی که در بازوهای آزمونگر تعبیه شده است، نشان داده می شود و با استفاده از سیستم داده برداری در کامپیوتر ثبت می شوند تا بتوان نیروی مقاومت غلتشی را که نیرویی مخالف جهت حرکت می باشد، به دست آورد.

در این تحقیق جهت اندازه گیری برخی از خصوصیات خاک، از آزمون صفحات مدل بکر استفاده شد . برای انجام این آزمایش ها از سه صفحه مستطیلی شکل استفاده شده است که دارای طول یکسان 30 سانتی متر و عرض

های متفاوت 15، 20 و 25 سانتی متر می‌باشند و در نهایت مشخصه مکانیکی خاک بر اساس روش بکر که دارای سه مشخصه پارامتر سختی مربوط به چسبندگی (k_c)، پارامتر سختی مربوط به اصطکاک داخلی ($k_ø$) و نمای نشست (n) برای توصیف وضعیت خاک می‌باشد برای هر آزمایش محاسبه گردید. به طور کلی آزمایشات در سه سطح سرعت 0/9، 1/6 و 2/3 کیلومتر بر ساعت، سه سطح فشار باد تایر 100، 200 و300 کیلوپاسکال و سه سطح بار عمودی 1، 2 و 3 کیلونیوتن صورت گرفت که هر آزمایش با سطوح ثابت سرعت، فشار باد تایر و بار عمودی در 3 شرایط متفاوت از نظر خصوصیات و پارامترهای سختی خاک انجام شد و در نهایت 81 آزمایش به انجام رسید. هر آزمایش در طول 6 متری از کانال خاک صورت می گرفت به طوریکه در ابتدا به منظور کاهش هر گونه اثرات در بستر خاک، چرخ دو متر حرکت داده می‌شد و در 4 متر باقیمانده داده برداری صورت می‌گرفت.

یک شبکه عصبی متشکل از پردازنده های بسیار ساده و به شدت به هم پیوسته ای به نام نورون می باشد که ساختار محاسباتی آن از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده است (Akdag et al., 2009). به طور کلی ، ساختار یک شبکه پس انتشار به طور معمول از سه دسته لایه های ورودی ، پنهان و خروجی تشکیل شده است . داده های ورودی برای اولین بار در لایه ورودی جمع آوری شده ، و سپس به واحد پردازش (نورون ها)، که تشکیل لایه پنهان شبکه را می‌دهند فرستاده می‌شوند (Corani, 2005).

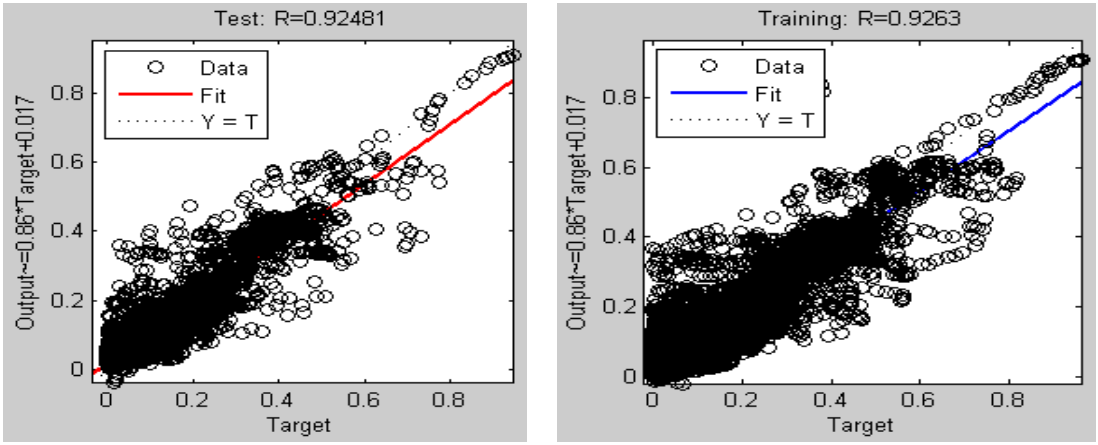
روش مدلسازی برای شبکه عصبی بر اساس اصول الگوریتم پس انتشار ارتجاعی بوده است . به منظور پیدا کردن پیکربندی بهینه از مدل شبکه عصبی بسیاری از نمونه های مختلف ش بکه عصبی ترکیب شدند و در نهایت با استفاده از روش آزمون و خطا الگوریتم آموزشی، تابع انتقال، تعداد لایه های پنهان و تعداد نورون ها در لایه های پنهان در نظر گرفته شد. مقایسه عملکرد مدل های شبکه عصبی بر اساس مقیاس های میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی صورت گرف ت. مدل های شبکه عصبی ازسیستم عامل ویندوز Vista ™ و راه اندازی متلب R2008a به اجرا درآمدند.

شش پارامتر ورودی فشار باد تایر، بار عمودی، سرعت پیشروی، پارامتر سختی مربوط به چسبندگی، پارامتر سختی مربوط به اصطکاک داخلی و نمای نشست که اثرات مهمی بر روی مقاومت غلتشی دارند به عنوان پارامترهای موثر انتخاب شدند. این پارامترها به عنوان بردار ورودی و به طور تصادفی به 3 بخش که 60٪ از نمونه ها به مجموعه های آموزشی و 20٪ به مجموعه آزمایش و 20٪ به اعتبار اختصاص داده شدند و پارامتر خروجی در مدل شبکه عصبی مقاومت غلتشی بوده است. در نهایت با استفاده از شبیه سازی شبکه عصبی طراحی شده اثر پارامترها ی خاک که شامل kc و kø می باشد برروی مقاومت غلتشی بررسی شدند.

نتایج و بحث

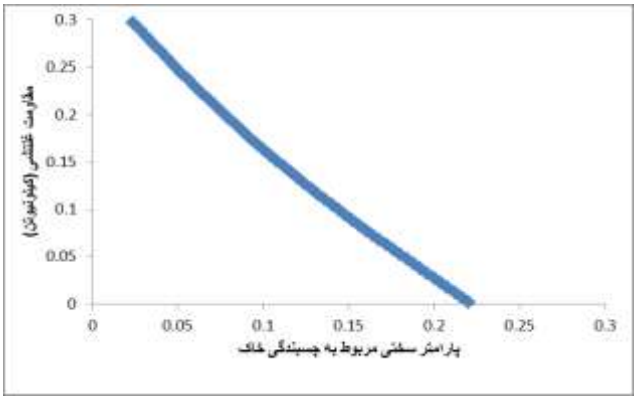
30 mm

داده های شش گانه فشار باد تایر، سرعت پیشروی حامل سویل بین، بار روی چرخ و پارامترهای سه گانه خاک که شامل n، kc و kø می باشند به عنوان ورودی های شبکه عصبی در نظر گرفته شده اند و مقاومت غلتشی در قالب مجموع نیروی چهار لودسل افقی به عنوان خروجی شبکه تعریف شده است. شبکه مورد استفاده در این تحلیل، یک شبکه Feedforward با الگوریتم آموزشی BP (Backpropagation) بوده است که برای تحلیل مسائل مشابه این آنالیز نیز مورد استفاده قرار گرفته است و از طرف دیگر به واسطه ارزیابی شبکه بر مبنای سعی و خطا و دقت به دست آمده در هر انتخاب اختیار شده است. در این شبکه تعداد نورون ها و توابع مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته اند و بهترین جواب با ضریب رگرسیون در حدود 0/92 به دست آمده است. نتایج رگرسیون مربوط به آموزش و تست شبکه عصبی در شکل 2 نشان داده شده است.

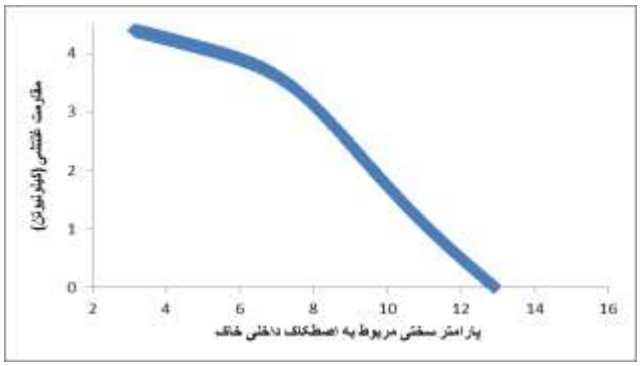


شکل 2- نتایج رگرسیون مربوط به آموزش و تست شبکه طراحی شده

ورودی های شبکه عصبی آموزش یافته جهت پیش بینی با فرض ثابت نگه داشتن سای ر پارامترهای ورودی، شامل 2 پارامتر سختی مربوط به چسبندگی خاک (k_c) و سختی مربوط به اصطکاک داخلی خاک (k_φ) می باشند که در صورت تغییر یک پارامتر خاک، پارامترهای ورودی دیگر به صورت ثابت به عنوان ورودی شبکه عصبی تعریف شده اند. شکل های 3 و 4 خروجی های شبکه عصبی آموزش یافته را در برابر ورودی متناظر خود نشان می دهد.



شکل 3- تغییرات مقاومت غلتشی بر حسب پارامتر سختی مربوط به چسبندگی خاک با استفاده از شبکه عصبی آموزش یافته



شکل 4- تغییرات مقاومت غلتشی بر حسب پارامتر سختی مربوط به اصطکاک داخلی خاک با استفاده از شبکه عصبی آموزش یافته

همانطور که از نمودارها پیداست با افزایش k_c و k_φ مقاومت غلتشی کاهش یافته است . مقادیر k_c و k_φ بیانگر خصوصیات مکانیکی خاک هستند. k_c مربوط به چسبندگی و k_φ مربوط به اصطکاک داخلی خاک می باشد. به طور کلی تر می توان گفت که با افزایش رطوبت خاک مقادیر k_c و k_φ کاهش خواهند یافت. ایاگنما و دابوفسکی عدم ثبات پارامترهای خاک و به طور خاص، زاویه اصطکاک داخلی و همچسبی خاک را دلیل متغیر بودن کشش چرخ در هنگام حرکت دانسته اند که می تواند به عنوان دلیلی برای تغییرات مدام مقاومت غلتشی چرخ به شمار آورد.

منابع

30 mm
مردانی، ع: (1389)، «بررسی اثر سرعت پیشروی و بار دینامیکی بر مقاومت غلتشی چرخ غیر-محرک در شرایط انبارهی خاک و آزمونگر تک- چرخ طراحی شده»، پایان‌نامهی دکتری، دانشگاه ارومیه

Akdag, U., M.A. Komur, and A.F. Feridun Ozguc. (2009). Estimation of heat transfer in oscillating annular flow using artifical neural networks, Adv. Eng. Softw. 40 : 864–870.

Corani, G. (2005). Air quality prediction in Milan: feed-forward neural networks, pruned neural networks and lazy learning, Ecol. Model. 185 : 513–529.

Iagnemma, K., and S. Dubowsky. (2005). An equivalent soil mechanics formulation for rigid wheels in deformable terrain, with application to planetary exploration rovers Journal of Terramechanics 42: 1- 13.

Keshaw, P. and Tiwari, G. (2006). Rolling resistance of automobile discarded tyres for use in camel carts in sand. ASAE Paper No. 061097, ASAE, St. Joseph, MI.

Kiss, P. and L. Laib.(2005). Energy determination of vertical soil deformation in case of tractor wheels and soft soil. In: Proceeding of the 15th international conference of the ISTVS p. 3B03/8, Hayama, Japan.

Rahimi-Ajdadi, F., and Y. Abbaspour-Gilandeh . (2011). Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption / Measurement 44 : 2104–2111.