



ارزیابی دقت مدل‌های هوشمند در تخمین ضریب اصطکاک دینامیکی بذر اسفرزه

سید مجتبی شفاعی^۱، آرش نورمحمدی مقدمی^{۱*} و سید مهدی نصیری^۲

او ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شیراز. کد پستی: ۷۱۴۴۱-۶۵۱۸۶

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.nourmohamadi@shirazu.ac.ir

چکیده

ضریب اصطکاک دینامیکی دانه گیاه دارویی اسفرزه بر صفحات اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی در پنج سطح محتوای رطوبتی و پنج سطح سرعت حرکت بذر با استفاده از دستگاه سطح شیبدار انجام گردید. به منظور کاهش خطا آزمایش‌ها با پنج تکرار انجام شد. از مدل‌های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، منطق فازی (FIS) و سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) برای مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های اسفرزه بهره گرفته شد. متغیرهای مستقل محتوای رطوبت، سرعت حرکت و نوع صفحه اصطکاکی به عنوان ورودی‌های مدل هوشمند و متغیر وابسته ضریب اصطکاک دینامیکی به عنوان خروجی مدل تنظیم گردیدند. مناسب‌ترین مدل هوشمند با بالاترین توان مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی بر اساس بیشترین ضریب تبیین و کمترین میانگین مربعات خطا، قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف و پراکنش داده‌های مدل در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده انتخاب گردید. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی بذر اسفرزه، سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی با ضریب تبیین بالای ۰/۹۸ بود.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی، سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی، سرعت حرکت بذر.

۱- مقدمه

نیروی اصطکاک به عنوان یک نیروی مقاوم در برابر حرکت نسبی بین دو جسم جامد که در تماس با یکدیگر هستند عمل می‌کند. نیروهای اصطکاکی به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شوند. نیروی اصطکاکی که بین سطوح در حال سکون قرار دارد، نیرویی را که برای شروع حرکت مورد نیاز است، نیروی اصطکاک استاتیکی می‌نامند. این در حالی است که نیروی اصطکاک دینامیکی به نیروی بین سطوح در حال حرکت نسبت به یکدیگر اطلاق می‌شود.

طبق نتایج بدست آمده توسط گروهی از محققین، تاثیر جنس سطوح بکار رفته بر ضریب اصطکاک دینامیکی



بیشتر از ضریب اصطکاک استاتیکی می‌باشد و به طور کلی در اکثر آزمایش‌های انجام شده بر روی سطوح مختلف، مشاهده شد که ضرایب اصطکاک محصولات بر روی سطوح بتونی، چوبی و لاستیکی نسبت به سطوح فلزی و شیشه‌ای بیشتر می‌باشد (Gupta and Das, 1998).

ضریب اصطکاک دینامیکی سیب زمینی روی نه سطح مختلف اندازه‌گیری شده است (Schaper and Yaeger, 1992). این نتایج مشابه نتایج سایر محققین (Kalkan and Kara, 2011) در رابطه با ضریب اصطکاک دینامیکی گندم بر سطوح مختلف گزارش گردید.

پژوهشگران ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های عدس را بر روی سطوح بتون صاف، آهن گالوانیزه، شیشه و یک نوع کامپوزیت چوب-پلاستیک (پلی وود) در سطوح مختلف رطوبتی اندازه‌گیری نمودند. بیشترین مقدار برای اصطکاک دینامیکی مربوط به سطح بتونی و کمترین مقدار مربوط به سطح شیشه‌ای گزارش شد (Amin et al., 2004).

در تحقیقات گذشته در رابطه با ضریب اصطکاک دینامیکی محصولات کشاورزی مشاهده شده است که این ضریب با افزایش میزان محتوای رطوبتی محصول مورد نظر به طور خطی افزایش می‌یابد (Chung and Verma, 1989; Altuntas and Yildiz, 2007).

در تحقیقی دیگر نشان داده شد که بیشترین مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی میوه کپر روی سطح چوب و بعد از آن به ترتیب مربوط به سطوح فولاد معمولی، آهن گالوانیزه و لاستیک بوده است (Sessiz et al., 2007).

در پژوهشی، ضریب اصطکاک دینامیکی بعضی دانه‌های غلات بر سطوح مختلف تماسی آزمایش شدند. نتایج نشان می‌داد که نوع سطح تماسی بر مقرر این ضریب به صورت معنی داری موثر است (Kaliniewicz, 2013). گزارشات تحقیق مذکور با مشاهدات تجربی سایر محققین همخوانی دارد (Aviara et al., 2013).

اسفرزه یکی از گیاهان دارویی با ارزش متعلق به خانواده بارهنگ (*Plantaginaceae*) می‌باشد. این گیاه بومی در هند و ایران یافت می‌شود ولی اخیراً در مناطق بیابانی مجاور از جمله نواحی غرب آسیا، کشورهای مدیترانه و عراق گسترش یافته است (Lindow and Leveau, 2002). این گیاه به طور طبیعی از طریق بذر تکثیر می‌شود و ارزش بذر-های آن ناشی از کمیت و کیفیت موسیلاژ موجود در لایه‌های سطحی پوست دانه آن می‌باشد (Naghd Abadi et al., 2004).

مصرف اسفرزه به عنوان یک روش ایمن و مؤثر برای کاهش کلسترول و کنترل قند خون در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌باشد (Raaijmakers et al., 2002). دانه اسفرزه به عنوان داروی ملین به کار می‌رود و در معالجه یبوست به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. همچنین در معالجه کوتاه مدت اسهال با علل مختلف کاربرد دارد (Orhan et al., 2006).

در طول دهه گذشته ابزار هوش مصنوعی رشد شتابانی داشته است. این روش‌ها به عنوان روش‌های مبتنی بر داده، دارای قابلیت کار با شمار زیادی داده‌های مغشوش از سامانه‌های پویا و غیرخطی می‌باشند، به ویژه زمانی که رابطه‌های فیزیکی مربوطه به خوبی شناخته نشده باشند و سرعت بالای مدل‌سازی مورد نیاز باشد (Dayhoff, 1990).



از روش‌های مدل‌سازی هوشمند فرآیندهای کشاورزی می‌توان به شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی اشاره نمود.

نتایج بررسی‌ها نشان داده است که تحقیقات انجام گرفته در زمینه اصطکاک حبوبات، غلات، میوه‌ها، سبزیجات و سایر محصولات کشاورزی در حد قابل قبولی صورت گرفته است. اما اطلاعات کافی درباره مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی محصولات معطر و دارویی ارائه نگردیده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر مدل‌سازی هوشمند ضریب اصطکاک دینامیکی دانه گیاه دارویی اسفرزه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- انجام آزمایش‌ها

۲-۱-۱- تهیه بذر اسفرزه

بذر اسفرزه از مرکز تحقیقات کشاورزی استان فارس، واحد گیاهان دارویی و معطر تهیه شد. پس از تمیز نمودن دانه‌ها از هر گونه مواد اضافی مانند خاک، سنگ و دانه‌های له شده، دانه‌ها کاملاً تمیز و آماده انجام آزمایش‌ها شدند.

۲-۱-۲- تعیین رطوبت اولیه نمونه‌ها

برای تعیین رطوبت اولیه دانه‌های اسفرزه مطابق با روش وزن‌کشی، نمونه‌های آزمایشی درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد با تغییرات حداکثر دمای ۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (AOAC, 1990). پس از توزین متوالی نمونه‌ها در زمان‌های مشخص، آزمایش‌ها پس از تغییرات وزن کمتر از ۱ درصد متوقف و رطوبت اولیه نمونه‌ها بر پایه خشک مشخص گردید. به منظور کاهش خطا، آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. رطوبت اولیه دانه‌های اسفرزه کمتر از ۲ درصد بر پایه وزن خشک اندازه‌گیری شد.

۲-۱-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

از پنج سطح رطوبتی برای ارزیابی اثر محتوای رطوبت بذر بر ضریب اصطکاک دینامیکی استفاده شد. به منظور دستیابی به رطوبت‌های مطلوب، با استفاده از رابطه (۱)، از آب مقطر استفاده گردید (Kalkan and Kara, 2011). نمونه‌ها به همراه آب مقطر اضافه شده، در کیسه‌های پلاستیکی (زیپ کیپ) در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز جهت توزیع یکنواخت رطوبت، نگهداری شدند (Kashaninejad et al., 2008).

$$W_w = W_t (M_f - M_i) / (100 - M_f) \quad (1)$$

که W_w مقدار آب مقطر اضافه شده، W_t مجموع جرم دانه‌ها، M_i رطوبت اولیه دانه‌ها و M_f رطوبت نهایی مجموع دانه‌ها می‌باشد. دو ساعت قبل از هر آزمایش، نمونه‌های مربوطه در هوای محیط قرار دادند (Kashaninejad et al., 2006).



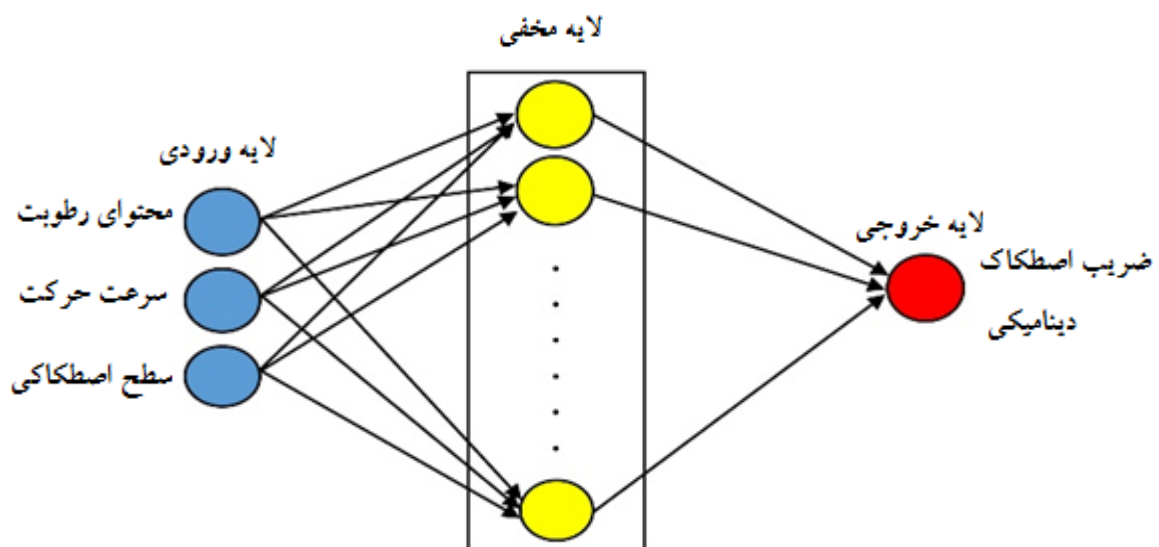
۲-۱-۴- آزمایش‌های اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی

غلافی مکعبی به ضلع ۲ سانتی‌متر تهیه و نمونه آزمایشی درون آن ریخته می‌شد، به طوری که غلاف، نمونه را احاطه کرده و هیچ‌گونه تماسی با صفحه اصطکاکی نداشته باشد. آزمایش‌ها با سطوح اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک در ۵ سطح محتوای رطوبتی (۸/۸، ۱۴/۲، ۱۹/۷، ۲۳/۹ و ۲۹/۷) و ۵ سرعت متفاوت حرکت بذر (۱، ۴/۵، ۷/۳، ۱۰/۶ و ۱۳/۲ سانتی‌متر بر ثانیه) در ۵ تکرار با استفاده از دستگاه سطح شیبدار، برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی محصولات کشاورزی، انجام شدند.

۲-۲- مدل‌سازی هوشمند ضریب اصطکاک دینامیکی

۲-۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی

از داده‌های آزمایشی، به منظور آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با سه لایه نرون برای پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی اسفرزه استفاده شد. برای پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی، لایه اول، لایه ورودی که متغیرهای مستقل نوع صفحه اصطکاکی، محتوای رطوبت و سرعت حرکت بذر، لایه دوم، لایه‌های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته ضریب اصطکاک دینامیکی می‌باشد، انتخاب گردید. از داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها، ۷۰ درصد برای آموزش، ۱۵ درصد برای ارزیابی و ۱۵ درصد برای آزمون شبکه استفاده شد. به منظور افزایش دقت مدل و جلوگیری از بیش‌برازش داده‌ها، پارامترهای ترکیبی مانند نوع الگوریتم یادگیری، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، تعداد چرخه آموزش و ضریب یادگیری در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی به روش آزمون و خطا تعیین گشت (Fletcher, 2000). طرح‌واره شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه طراحی شده در این تحقیق در شکل (۱) نمایان شده است.

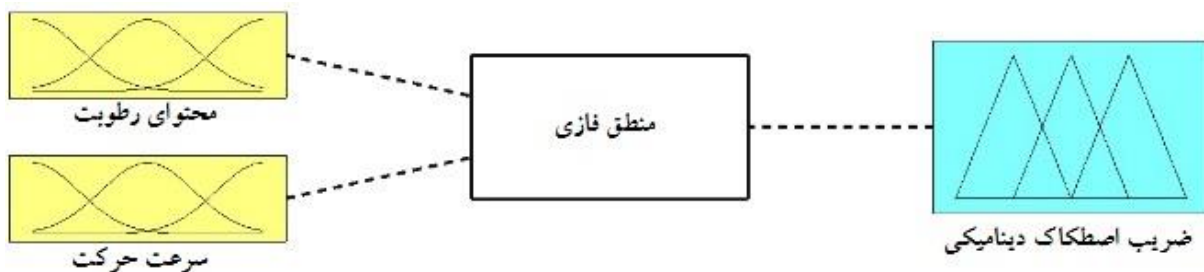


شکل ۱- طرح‌واره شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه طراحی شده جهت مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی اسفرزه



در منطق فازی قوانین به وسیله کاربر با قواعد اگر- آنگاه برای مدل بیان می‌شود. به همین دلیل عدم توانایی در مدل نمودن پارامترهای کیفی (صفحه اصطکاکی) از معایب این مدل می‌باشد. در این تحقیق از منطق فازی فقط برای مدل‌سازی دو متغیره ضریب اصطکاک دینامیکی بذر اسفرزه با هر صفحه اصطکاکی می‌توان استفاده نمود. در نتیجه ۵ مدل منطق فازی تعریف گردید. مطابق با شکل (۲)، از یک مدل ممدانی یا سوگنو با دو متغیر ورودی (محتوای رطوبت و سرعت حرکت) و یک متغیر خروجی (ضریب اصطکاک دینامیکی) استفاده گردید. متغیرهای ورودی و خروجی در محدوده تغییرات خود به پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شدند. قواعد طراحی شده در به شرح زیر ارائه می‌گردند:

- ۱- اگر رطوبت بذر کم و سرعت حرکت بذر کم باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر خیلی کم است.
- ۲- اگر رطوبت بذر کم و سرعت حرکت بذر متوسط باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر کم است.
- ۳- اگر رطوبت بذر کم و سرعت حرکت بذر زیاد باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر متوسط است.
- ۴- اگر رطوبت بذر زیاد و سرعت حرکت بذر متوسط باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر متوسط است.
- ۵- اگر رطوبت بذر زیاد و سرعت حرکت بذر متوسط باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر زیاد است.
- ۶- اگر رطوبت بذر زیاد و سرعت حرکت بذر زیاد باشد، ضریب اصطکاک دینامیکی بذر خیلی زیاد است.



شکل ۲- طرح‌واره مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی با منطق فازی

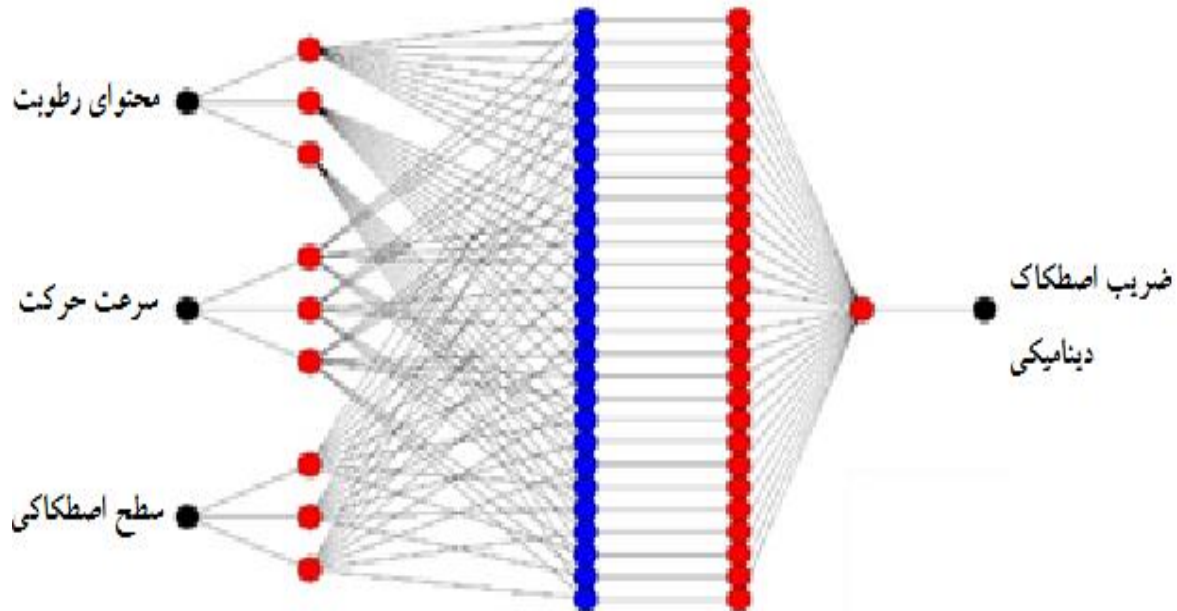
۲-۲-۳- سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی

برای آموزش، ارزیابی و آزمایش مدل‌های سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی، داده‌ها به طور تصادفی به سه گروه داده‌های آموزشی (۷۰ درصد داده‌ها)، ارزیابی (۱۵ درصد داده‌ها) و آزمون (۱۵ درصد داده‌ها) تقسیم شدند (Lertworasirikul, 2008). برای پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی، متغیرهای مستقل نوع صفحه اصطکاکی، محتوای رطوبت و سرعت حرکت بذر به عنوان متغیرهای ورودی و متغیر وابسته ضریب اصطکاک دینامیکی به عنوان خروجی مدل انتخاب گردید.

به دلیل اینکه در سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی نحوه عملکرد داخلی شبکه مشخص نیست، برای تعیین معماری شبکه از فرآیند سعی و خطا استفاده شد. بنابراین تعدادی از مدل‌های متفاوت استنتاج فازی عصبی تطبیقی،



با معماری‌های مختلف ارزیابی تا بتوان به بهترین مدل دست یافت. طرح‌واره سامانه طراحی شده برای مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳- طرح‌واره سامانه مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی طراحی شده بر اساس سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی

۲-۳-۴- مقایسه توان‌مندی پیش‌بینی مدل‌های هوشمند

به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل هوشمند، مطابق با بیشترین توانایی پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی بر اساس شاخص‌های آماری ضریب تبیین بر اساس معادله (۱)، ریشه میانگین مربعات خطا بر اساس معادله (۲)، قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف مطابق با معادله (۳) و چگونگی پراکنش داده‌های مدل در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده، مدل‌های منتخب هوشمند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. مناسب‌ترین مدل با بالاترین توان مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی بر اساس بیشترین ضریب تبیین و کمترین میانگین مربعات خطا، قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف و پراکنش داده‌های مدل در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده انتخاب گردید.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (DFC_{exp,i} - DFC_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (DFC_{exp,i} - DFC_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (DFC_{exp,i} - DFC_{exp,ave})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (DFC_{pre,i} - DFC_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{DFC_{exp,i} - DFC_{pre,i}}{DFC_{exp,i}} \right| \quad (3)$$



در روابط (۱) تا (۳)، $DFC_{pre,i}$ ضریب اصطکاک دینامیکی مدل شده، $DFC_{exp,i}$ ضریب اصطکاک دینامیکی اندازه‌گیری شده، $DFC_{exp,ave}$ متوسط ضریب اصطکاک دینامیکی اندازه‌گیری شده و N تعداد داده‌های آزمایشی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- منطق فازی

در جدول (۱) ساختار برگزیده مدل منطق فازی طراحی شده برای بذر اسفرزه و صفحه اصطکاکی به همراه پارامتر-های آماری توصیف کننده مدل گزارش گردیده است. به علت دو متغیره بودن مدل سازی ضریب اصطکاک دینامیکی بر پایه محتوای رطوبت و سرعت حرکت، در مجموع برای بذر اسفرزه ۵ مدل منطق فازی استخراج گردید. مدل منطق فازی دارای دقت پیش‌بینی کافی ($R^2 > 0.9$) نبوده است و مقدار قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف بیش از ۵ درصد بوده که حاکی از خطای معنی دار مدل سازی می‌باشد ($P > 0.05$). بیشترین و کمترین ضریب تبیین ۰/۸۹۱ و ۰/۸۶۲ به ترتیب مربوط به سطح تماس آلومینیوم و لاستیک مشاهده گردید.

جدول ۱- ساختار منطق فازی به همراه پارامترهای آماری مدل سازی ضریب اصطکاک دینامیکی دانه اسفرزه

صفحه اصطکاکی	ساختار مدل	R^2	RMSE	P (%)
شیشه	ممدانی	۰/۸۷۸	۰/۰۳۱۶۷	۶/۳۵۶
آلومینیوم	سوگنو	۰/۸۹۱	۰/۰۱۳۵۷	۵/۲۳۶
چوب	ممدانی	۰/۸۸۷	۰/۰۲۳۶۰	۷/۱۲۳
فولاد گالوانیزه	ممدانی	۰/۸۷۳	۰/۰۳۵۶۴	۸/۱۲۵
لاستیک	ممدانی	۰/۸۶۲	۰/۰۲۳۲۷	۹/۲۳۸

۳-۲- شبکه عصبی مصنوعی

در جدول (۲) بهترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده به همراه ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف مدل گزارش شده است. شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب مقادیر مدل شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک دینامیکی و پراکنش داده‌های مدل در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده را برای مناسب‌ترین مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده نشان می‌دهد. شکل (۴) همبستگی نامناسب داده‌های اصلی و مدل شده را نشان می‌دهد. در شکل (۵) متوسط اختلاف مطلق مقادیر ضریب اصطکاک دینامیکی مدل شده با مقدار حقیقی ۰/۰۵۹۸۲۸ با انحراف معیار ۰/۰۴۸۱۱۶ می‌باشد.

با اینکه با مدل سازی ضریب اصطکاک دینامیکی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌توان ۵ مدل منطق فازی را به یک مدل هوشمند تبدیل نمود، اما با توجه به پارامترهای آماری گزارش گردیده مدل منتخب شبکه عصبی مصنوعی دقت کافی برای مدل سازی ضریب اصطکاک دینامیکی دانه اسفرزه بر پایه متغیرهای محتوای رطوبت، سرعت حرکت و نوع سطح تماس در این تحقیق را نداشته است.

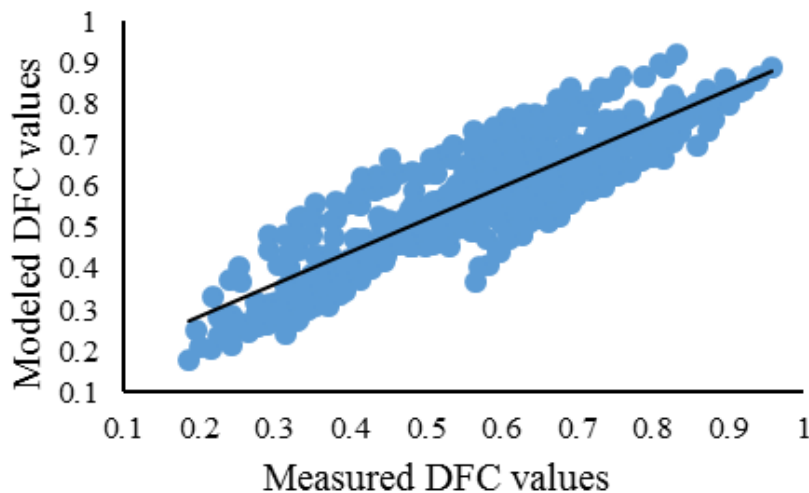


از دلایل عدم تطابق مدل شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها را می‌توان به توزیع گسسته متغیر صفحه اصطکاکی و همچنین غیره قاعده‌مند بودن ضرایب اصطکاکی دینامیکی بدست آمده با صفحه اصطکاکی اشاره نمود.

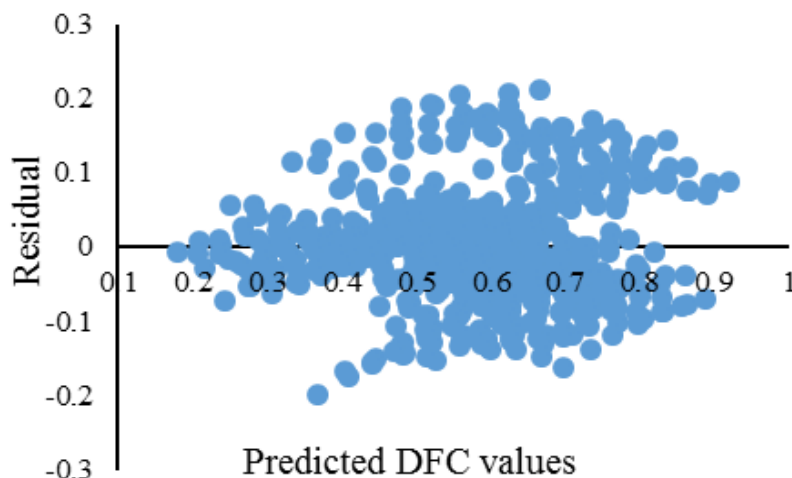
جدول ۲- ساختار برگزیده شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده به همراه پارامترهای آماری مدل‌سازی ضریب اصطکاک

دینامیکی اسفرزه

ساختار شبکه	R^2	RMSE	P (%)
۳-۱۰-۱	۰/۷۶۹	۰/۰۶۵۵۴	۱۲/۰۰۴



شکل ۴- مقایسه مقادیر مدل‌سازی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک دینامیکی دانه اسفرزه توسط شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده



شکل ۵- توزیع اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده ضریب اصطکاک دینامیکی اسفرزه توسط شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده

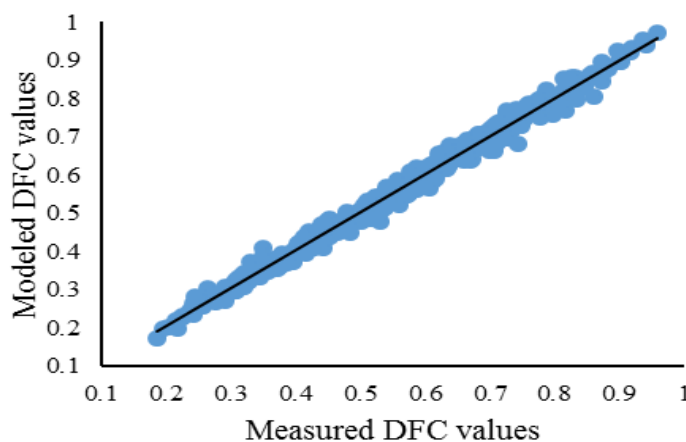


۳-۳- سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی

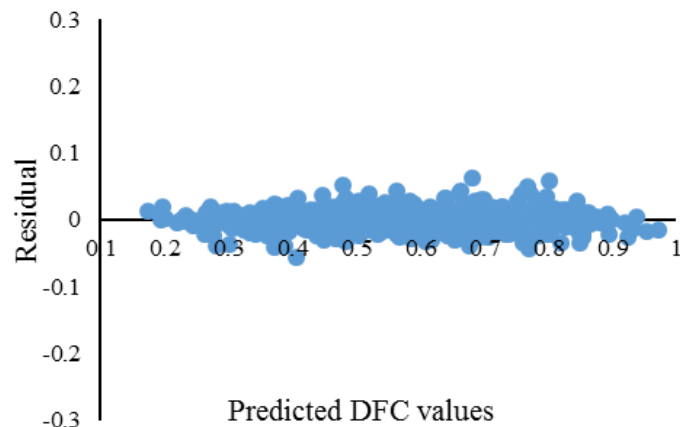
در جدول (۳) بهترین ساختار مدل سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی طراحی شده به همراه ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف مدل منتخب گزارش شده است. شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب مقادیر مدل‌شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک دینامیکی و پراکنش داده‌های مدل در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده را برای مناسب‌ترین مدل سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی طراحی شده نشان می‌دهد. شکل (۶) بیانگر همبستگی مناسب داده‌های اصلی و مدل شده می‌باشد. در شکل (۷) متوسط اختلاف مطلق مقادیر ضریب اصطکاک دینامیکی مدل شده با مقدار حقیقی 0.11770 با انحراف معیار 0.09791 نشان داده شده است.

مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی بذور آزمایشی با استفاده از سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی، نه تنها ۵ مدل خطی منطقی فازی را به یک مدل هوشمند جامع تبدیل می‌کند، بلکه با توجه به پارامترهای آماری گزارش شده مدل منتخب سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی دقت کافی برای مدل‌سازی ضریب اصطکاک دینامیکی بذور آزمایشی بر پایه متغیرهای محتوای رطوبت، سرعت حرکت و نوع سطح تماس در این تحقیق را دارا بوده است. سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی، ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی است که امکان ترسیم دانش شبکه‌های عصبی مصنوعی را با استفاده از منطق فازی به طور کامل می‌دهد. یک سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی در حقیقت شبکه‌ای عصبی مصنوعی است که از لحاظ ساختار مشابه با سامانه فازی است. به همین دلیل در اکثر موارد دقت مدل‌سازی سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی بالاتر از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد (Oh and Pradhan, 2011).

نتایج مشابه در زمینه مدل‌سازی پارامترهای مهندسی کشاورزی مبنی بر ارجحیت استفاده از مدل هوشمند سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی بر شبکه عصبی مصنوعی گزارش گردیده است (Ganjeh et al., 2013; Shafaei et al., 2015).



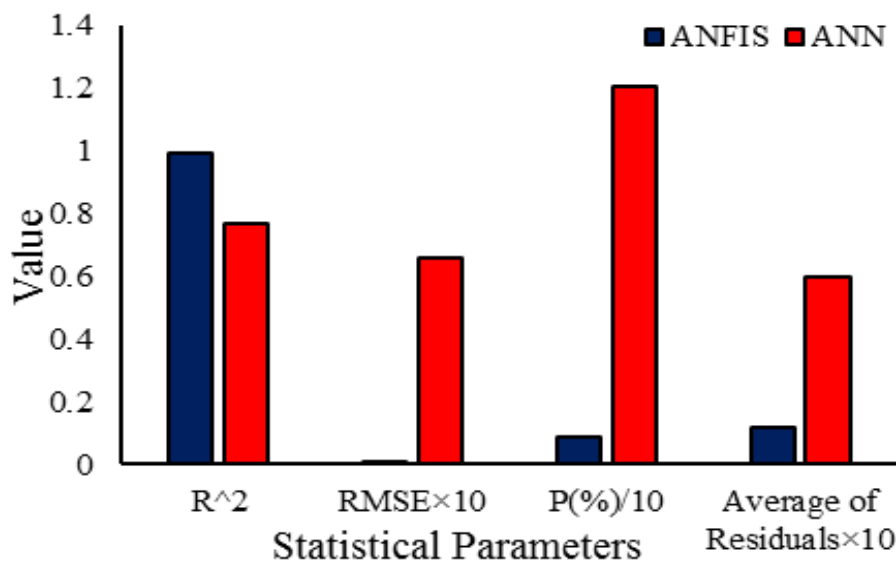
شکل ۶- مقایسه مقادیر مدل‌سازی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های اسفرزه توسط مناسب‌ترین سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی طراحی شده



شکل ۷- توزیع اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های اسفرزه توسط مناسب‌ترین سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی طراحی شده

۳-۴- مقایسه دقت مدل‌ها در تخمین ضریب اصطکاک دینامیکی

با توجه به توسعه ۵ مدل منطق فازی برای هر سطح اصطکاکی، استفاده از مدل‌های منطق فازی در پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی در این تحقیق توصیه نمی‌شود. از سوی دیگر با مقایسه ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا، قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف و متوسط مقادیر اختلاف پیش‌بینی شده با اندازه‌گیری شده مدل‌های هوشمند (شکل ۸)، به‌کارگیری مدل هوشمند سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) بر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به خاطر دقت بیشتر و خطای کمتر مدل‌سازی در تخمین ضریب اصطکاک دینامیکی ارجحیت داشته است.



شکل ۸- مقایسه پارامترهای آماری مدل‌های هوشمند در پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی دانه اسفرزه



۴- نتیجه‌گیری

استفاده از یک مدل سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی در مقابل ۵ مدل منطق فازی و یک مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل دقت بالا، خطای مدل‌سازی ناچیز و جامع بودن مدل در پیش‌بینی ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های اسفرزه ارجحیت داشته است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از مدیریت امور علمی دانشجویان دانشگاه شیراز به منظور تامین هزینه‌های این طرح پژوهشی به شماره ۹۳-۱۳ و دکتر محمد اقتصاد، استاد بخش طراحی جامدات دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، به عنوان ناظر طرح، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع و مآخذ

- 1- Altuntas, E. and Yildiz, M. 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. Journal of Food Engineering, 78(1): 174-183.
- 2- Amin, M. N., Hossain, M. A. and Roy, K. C. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engineering, 65(1): 83-87.
- 3- AOAC.1990. Official methods of analysis of the AOAC (15th Edition.). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- 4- Aviara, N. A., Power, P. P. and Abbas, T. 2013. Moisture-dependent physical properties of *Moringa oleifera* seed relevant in bulk handling and mechanical processing. Industrial Crops and Products, 42(1): 96-104.
- 5- Chung, J. H. and Verma, L. R. 1989. Determination of friction coefficients of beans and peanuts. Transactions of the ASABE, 32(2): 745-750.
- 6- Dayhoff, J. E. 1990. Neural Network Principles. Prentice-Hall International, U.S.A.
- 7- Fletcher, R. 2000. Practical Methods of Optimization (2nd Edition). Wiley, New York.
- 8- Ganjeh, M., Jafari, S. M., Ghanbari, V., Dezyani, M., Ezzati, R. and Soleimani, M. 2013. Modeling the drying kinetics of onion in a fluidized bed drier equipped with a moisture controller using regression, fuzzy logic and artificial neural networks methods (in Farsi). Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 7(5): 399-407.
- 9- Gupta, R. K. and Das .S. K. 1998. Friction coefficients of sunflower seed and kernel on various structural surfaces. Journal of Agricultural Engineering Research, 71(2): 175-180.
- 10- Kaliniewicz, Z. 2013. Analysis of frictional properties of cereal seeds. African Journal of Agricultural Research, 8(45): 5611-5621.
- 11- Kalkan, F. and Kara, M. 2011. Handling, frictional and technological properties of wheat as affected by moisture content and cultivar. Powder Technology, 213(1-3): 116-122.
- 12- Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A. and Chabra, D. 2008. Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. Powder Technology, 188(1): 1-8.
- 13- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. Journal of Food Engineering, 72(1): 30-38.



- 14- Lertworasirikul, S. 2008. Drying kinetics of semi-finished cassava crackers: A comparative study. *LWT - Food Science and Technology*, 41(8):1360-1371.
- 15- Lindow, S. E. and Leveau, J. H. J. 2002. Phyllosphere microbiology. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3): 238-243.
- 16- Naghdi Abadi, H., Dastpak, A. and Ziai, S. A. 2004. A review of *Psyllium* plant (*Plantago ovata forsk.* and *Plantago psyllium L.*) (in Farsi). *Journal of Medicinal Plants*, 1(9):1-14.
- 17- Oh, H. J. and Pradhan, B. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers and Geosciences*, 37(9): 1264-1276.
- 18- Orhan, E., Esitken, A., Ercisili, S., Turan, M. and Sahin, F. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae*, 111(1): 38-43.
- 19- Raaijmakers, J. M., Vlami, M. and Souza, J. T. D. 2002. Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81(1-4): 537-547.
- 20- Schaper, L. A. and Yaeger, E. C. 1992. Coefficients of friction of Irish potatoes. *Transactions of the ASABE*, 35(5): 1647-1651.
- 21- Sessiz, A., Esgici, R., and Kizil, S. 2007. Moisture-dependent physical properties of caper (*Capparis ssp.*) fruit. *Journal of Food Engineering*, 79(4): 1426-1431.
- 22- Shafaei, S. M., Heydari, A. R., Masoumi, A. A. and Sadeghi, M. 2015. Determining and modeling of static friction coefficient of some agricultural seeds. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, in Press.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Assessment of intelligent models accuracy to estimate dynamic friction coefficient of sand plantain seed

Abstract

Dynamic friction coefficient (DFC) of medicine sand plantain seed was measured at different types of friction surfaces, glass, rubber, galvanized steel, wood and aluminum. The experiments were carried out at five moisture content and velocity of seed using a DFC measuring instrument. In order to reduce error, the tests were done in five replications. The intelligent models, artificial neural network (ANN), fuzzy inference system (FIS) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), were employed in modeling of the DFC of plantain seed. The dependent variables, moisture content, velocity and contact surface, were adjusted as inputs of intelligent models. The independent variable, DFC, was regulated as output of intelligent models. The most appropriate intelligent model was selected for predicting the DFC based on maximum value of coefficient of determination (R^2) and minimum value of root mean square error (RMSE), mean relative deviation modulus (P%) and distribution of residual errors. The results indicated that the best model was ANFIS ($R^2 > 0.98$) for predicting the DFC of plantain seed.

Keywords: ANN, FIS, ANFIS, Seed velocity.