

بررسی و مدل‌سازی تغییرات بازده حجمی نقاله‌های ماریپیچی در دورها و شیب‌های مختلف به کمک ANFIS و روش‌های آماری

اشکان زارعی^۱ - رحمان فرخی تیمورلو^۲ - لیلا ندرلو^{۳*} - سید محمد حسن کماریزاده اصل^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرات بازده حجمی نقاله ماریپیچی به‌عنوان تابعی از قطر هلیس، سرعت دورانی هلیس و زاویه انتقال است. در این تحقیق از سه نقاله ماریپیچی با قطرهای ۱۳، ۱۷/۵ و ۲۲/۵ سانتی‌متر و ۵ سطح سرعت دورانی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ دور بر دقیقه و سه زاویه انتقال ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه برای انتقال گندم استفاده شد. سپس مدل‌سازی به کمک جعبه ابزار ANFIS در نرم‌افزار متلب انجام شد و پنج عامل مهم و مؤثر، در مدل‌سازی بهینه شد تا بهترین مدل ANFIS ممکن حاصل گردد. این پنج عامل عبارتند از: نوع مجموعه‌های فازی ورودی، تعداد مجموعه‌های فازی ورودی، نوع مجموعه فازی خروجی، نوع شیوه بهینه‌سازی و تعداد اپوک‌ها. سپس مجموعه داده‌ها در نرم‌افزار آماری SPSS براساس آزمایش فاکتوریل ۳×۵×۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با پنج تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین از مدل رگرسیون چندمتغیره خطی نیز جهت پیش‌بینی بازده حجمی استفاده شد. نتایج نشان دادند که با افزایش سرعت دورانی هلیس و شیب نقاله ماریپیچی بازده حجمی در هر سه هلیس کاهش یافت. همچنین با افزایش قطر هلیس تغییرات بازده حجمی منظم نبود و روند مشخصی را نمایان نکرد. بیشترین بازده حجمی مربوط به سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه، شیب ۱۰ درجه و قطر پره ۱۷/۷۵ سانتی‌متر بود که مقدار آن ۲۹/۱۱ درصد به‌دست آمد. در ضمن، مدل حاصل از ANFIS با ضریب همبستگی ۰/۹۸ بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده بازده حجمی دقیق‌تر از مدل رگرسیون خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۴ بود.

واژه‌های کلیدی: دورسرخ دیجیتالی نوری، زاویه انتقال، مجموعه‌های فازی، نقاله ماریپیچی

مقدمه

یا طولانی و فیزیکی استفاده می‌شود. این انتقال یا به‌صورت مستقل (مانند انتقال گندم در کارخانجات تولید آرد) و یا به‌صورت بخشی از اجزای تشکیل‌دهنده سایر ادوات و تجهیزات کشاورزی نظیر ماشین‌های برداشت و ماشین‌های مخلوط‌کن، خشک‌کن‌ها، ذخیره‌سازی و یا سیستم‌های سیلو به‌کار می‌رود. لذا مطالعه روی نقاله‌های ماریپیچی جهت اطلاع از میزان توان مصرفی، بازده حجمی و دیگر شاخص‌های مهم تحت تأثیر پارامترهای مختلف جهت به‌دست آوردن بهترین وضعیت بسیار مهم است. در این میان محققان پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام داده‌اند که به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌گردد. رگان و هندرسون (Regan and Henderson, 1959) عملکرد نقاله ماریپیچی را در پنج سطح دور نقاله یعنی، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه و شش سطح از زاویه انتقال ۰، ۲۱/۵، ۳۹/۲۵، ۵۴/۷۵، ۶۹/۵ و ۸۴/۷۵ درجه بررسی کردند؛ آن‌ها گزارش کردند که با افزایش دور نقاله، توان موردنیاز نیز افزایش می‌یابد. در ابتدا با افزایش زاویه شیب، توان نیز افزایش یافته، اما پس از گذر از یک زاویه خاص شروع به کم شدن می‌نماید. آن‌ها گزارش

نقاله‌های ماریپیچی وسیله‌های انتقال بسیار مؤثر برای جریان آزاد یا نسبتاً آزاد مواد توده‌ای جامدات می‌باشند که توان عملیاتی خوبی ایجاد کرده و برای حل مشکلات انتقال، راه حل مناسبی هستند که این امر به‌دلیل ساختار ساده، بازده بالا و هزینه نگهداری کم می‌باشد. چرخش هلیس درون پوسته (پوشش) استوانه‌ای ثابت، به‌طور گسترده‌ای برای انتقال و فشردن مواد دانه‌ای و جریان آزاد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: Email: l.naderloo@razi.ac.ir)

۴- استاد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

باعث شد راندمان حجمی نقاله‌ها ۲۵ درصد کاهش پیدا کند. دای و گرس (Dai and Grace, 2008) یک مدل نظری را با توجه به مکانیک حرکتی مواد توده‌ای برای محاسبه گشتاور مورد نیاز موزع‌های ماریچی که در داخل یک مخزن قرار گرفته بودند، ارائه دادند. آن‌ها گزارش کردند که گشتاور مورد نیاز متناسب با تنش عمودی است که در خروجی مخزن توسط مواد توده‌ای اعمال می‌شود و به قطر موزع ماریچی بستگی دارد. ذرعی‌فروش و همکاران (Zareiforouh et al., 2010) مشخصه‌های عملکردی نقاله‌های ماریچی به‌عنوان تابعی از ابعاد نقاله، سرعت دورانی هلیس و شیب انتقال مواد را بررسی کردند. آن‌ها مشخصه عملکردی نقاله را توان مصرفی در نظر گرفتند و گزارش کردند که با افزایش سرعت دورانی و شیب انتقال مواد، توان مورد نیاز برای نقاله‌ها افزایش یافت. با توجه به اهمیت بازده حجمی نقاله‌های ماریچی در انتقال محصولات کشاورزی و به‌تبع آن صرفه‌جویی در توان مصرفی و نیز بررسی عوامل مؤثر بر آن و به‌دست آوردن بهترین وضعیت ممکن، تحقیق در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از این تحقیق به‌دست آوردن مدلی مناسب از تغییرات بازده حجمی نقاله‌های ماریچی انتقال محصولات کشاورزی به‌صورت شیب‌دار بوده است که برای این منظور از سه هلیس با قطرهای مختلف، پنج سطح سرعت دورانی و سه شیب استفاده شد تا بتوان اثر تغییرات این پارامترها را بر روی بازده حجمی هلیس‌ها مورد ارزیابی قرار داد. شیوه مورد استفاده برای این منظور تاکنون در این زمینه استفاده نشده است.

مواد و روش‌ها

از دو قسمت عمده آزمایش‌های میدانی، مدل‌سازی و تحلیل تشکیل شده است.

آزمایش‌های میدانی

آزمایش‌ها جهت انجام این تحقیق در کارگاه گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی واقع در دانشگاه ارومیه انجام گرفت. در این تحقیق از گندم نوع (سایوس) SAYOS استفاده گردید که گندم مذکور دارای دانه‌های سخت و سطح رطوبتی ۱۲ درصد بر پایه تر بود. قبل از انجام آزمایشات، تمام مواد خارجی از قبیل: سنگ، گرد و خاک، کاه و کلس و دانه‌های نارس از گندم جدا شد. جرم مخصوص ظاهری 790 kg m^{-3} بود. نحوه‌ی کار این نقاله ماریچی به‌صورتی است که شافت هلیس از طریق تسمه پولی نیروی چرخشی خود را از الکتروموتور دریافت می‌کند و چرخش آن منجر به انتقال محصول به قسمت خروجی می‌گردد. به‌منظور بررسی عملکرد نقاله‌های ماریچی در شیب‌های مختلف از دستگاه نشان داده شده در شکل ۱ استفاده شد.

کردند که تغییر شیب نقاله ماریچی در انتقال مواد، تأثیر چندانی بر راندمان حجمی نمی‌گذارد. بور و همکاران (Burr et al., 1998) یک نقاله ماریچی مخروطی را به‌منظور تخلیه یکنواخت مواد توده‌ای از مخزن‌های با سطح مقطع مستطیلی طراحی کرده و آن‌را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که تخلیه مواد از مخزن با استفاده از نقاله ماریچی طراحی شده تا زمانی که ارتفاع مواد مخزن در بالای هلیس تخلیه به ۳۰ سانتی‌متر برسد، دارای حالت یکنواختی است؛ به‌طوری‌که شیب سطح مواد موجود در مخزن در حین تخلیه با چنین هلیسی تقریباً برابر صفر است. نیکولای و همکاران (Nicolai et al., 2004) تأثیر مشخصات نقاله‌های ماریچی را بر عملکردشان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ظرفیت، بازده حجمی و توان مورد نیاز برای دو هلیس به قطرهای ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و طول ۱۵/۲ متر، را نسبت به زوایای انتقال ۱۳، ۲۰ و ۳۰ درجه در گستره سرعت دورانی هلیس ۲۵۰ تا ۱۱۰۰ دور بر دقیقه در انتقال دانه‌های ذرت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که حداکثر ظرفیت انتقال نقاله‌های ماریچی بررسی شده در تمامی زوایای انتقال، در گستره سرعت دورانی ۷۸۴ تا ۸۵۳ دور بر دقیقه قرار دارد. آن‌ها دریافتند که تغییر شیب نقاله ماریچی در انتقال مواد، تأثیر چندانی بر راندمان حجمی نمی‌گذارد. توان مورد نیاز نقاله‌های ماریچی در شیب ۱۳ درجه، به‌ازای هر ۱۰۰ دور بر دقیقه افزایش در سرعت دورانی، ۰/۵ کیلووات کاهش می‌یابد. موسی و تامسون (Moysey and Thompson, 2005) یک مدل جدید سه‌بعدی را به‌منظور تشریح جریان مواد ورودی و در حال انتقال توسط نقاله‌های تخلیه‌کننده ماریچی با استفاده از روش المان گسسته ارائه کردند. آن‌ها گزارش کردند که مدل ارائه شده ابزار مناسبی برای تخمین جریان مواد دانه‌ای می‌باشد. نیکولای و همکاران (Nicolai et al., 2006) توان و بازده انتقال چهار نقاله ماریچی با قطرهای ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متری را در هنگام کار در ظرفیت کامل و سرعت مجاز بررسی کردند. این نقاله‌ها یک‌بار در وضعیت انتقال توان از پایین به بالا و بار دیگر از بالا به پایین توسط محرک راه‌اندازی شدند. طول نقاله‌ها ۱۵/۵ متر بود. مخزن‌های نوسانی به‌صورت مکانیکی به حرکت درمی‌آیند و با ذرت پر می‌شود، تا اطمینان حاصل شود که هلیس کوتاه در مخزن غوطه‌ور می‌باشد. نقاله‌های ماریچی در شیب‌های انتقال ۱۳، ۲۰ و ۳۰ درجه مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها نشان دادند که توان مورد نیاز در حالتی که مواد از قسمت پایین نقاله انتقال داده می‌شود، بیش از دو برابر وضعیتی بود که مواد از قسمت بالای نقاله انتقال می‌یافت. آن‌ها دریافتند که با افزایش شیب انتقال مواد از ۱۳ به ۲۰ درجه توان مصرفی ۲/۸۹ کیلووات و با افزایش شیب از ۲۰ به ۳۰ درجه به اندازه ۴/۴۷ کیلووات افزایش یافته است. آن‌ها گزارش کردند که بازده انتقال نقاله‌های ماریچی در وضعیت انتقال توان از پایین در اثر تغییر زاویه انتقال مواد تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد، اما در وضعیت انتقال توان از بالا، تغییرات زاویه انتقال



شکل ۱- مکانیزم انتقال محصول با قابلیت تغییر شیب: ۱- مخزن ورودی، ۲- الکتروموتور، ۳- قطاع زاویه نما، ۴- اهرم تنظیم‌کننده زاویه، ۵- دریچه خروجی

Fig.1. Crop handling mechanism with slop changing ability: 1- Input tank, 2- Electromotor, 3-Sector represents the angle, 4- Regulator lever of angle, 5- The outlet gate

جدول ۱- مشخصات فنی نقاله‌های ماریچی مورد آزمایش

Table 1- Technical specifications of tested helix conveyors

شماره نقاله	H1	H2	H3
قطر پره هلیس (سانتی‌متر) Helix blade diameter (cm)	22.5	17.5	13
قطر محفظه انتقال (سانتی‌متر) Transmission chamber diameter (cm)	25	20	15.5
قطر محور هلیس (سانتی‌متر) Helix shaft diameter (cm)	3.5	4.5	
گام هلیس (سانتی‌متر) Helix pitch (cm)	13	17.5	
ضخامت پره هلیس (میلی‌متر) Helix blade thickness (mm)	1.2	1.5	
طول نقاله (سانتی‌متر) Conveyor length (cm)	150	150	
طول قسمت ورودی (سانتی‌متر) Inlet section length (cm)	32	32	

در این تحقیق از سه نوع نقاله ماریچی با گام استاندارد استفاده شد. مشخصات فنی این نقاله‌ها در جدول ۱ آورده شده است. به منظور حصول ظرفیت انتقال وزنی در هر آزمایش، گندم در مخزن ریخته شد. با شروع آزمایش و چرخش هلیس، دانه‌ها در داخل استوانه به سمت جلو رانده و محصول از قسمت تخلیه خارج گردید. سپس مقدار گندم خارج شده در بازه زمانی یک دقیقه توزین و به عنوان ظرفیت انتقال وزنی برحسب ($m^3 \min^{-1}$) تعیین شد. پس از محاسبه ظرفیت انتقال وزنی واقعی و تقسیم آن بر جرم مخصوص ظاهری گندم، ظرفیت حجمی واقعی نقاله ماریچی برحسب

در این مکانیزم، بسته به نوع آزمایش، با استفاده از اهرم تنظیم‌کننده زاویه، چک بالابر شیب دستگاه را تنظیم می‌کند. با استفاده از قطاع زاویه نما می‌توان زاویه نقاله ماریچی را قرائت کرد. طراحی و ساخت این دستگاه مطابق با استانداردهای (ASABE APR1990; JUN1993, 2006MAR1975, 2006) انجام گرفته است. به منظور حصول سرعت‌های موردنظر در این دستگاه، الکتروموتور به یک مبدل (مدل IC5) ساخت کشور کره جنوبی متصل گردید. سپس با استفاده از یک دورسنج دیجیتالی نوری-تماسی مدل DT-2268 ساخت کشور تایوان سرعت شافت هلیس اندازه‌گیری شد.

مجموعه‌های فازی ورودی، نوع مجموعه فازی خروجی، نوع شیوه بهینه‌سازی و تعداد اپوک‌ها. مجموعه‌های فازی ورودی در انواع مختلف مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، سیگموئیدی و ترکیبی از این‌ها مورد استفاده و بررسی قرار گرفت تا بهترین آن‌ها که خطای کمتری را ایجاد می‌کند، انتخاب شود. مجموعه‌های فازی خروجی نیز در دو نوع کلی ثابت و خطی می‌باشد و دو نوع شیوه بهینه‌سازی ترکیبی و پس‌انتشار در مدل استفاده می‌گردد تا بهترین مدل به دست آید. تعداد کل داده‌های تحقیق با تکرار ۲۲۵ مجموعه داده است (برای هر وضعیت ۵ تکرار وجود دارد) که در مدل‌های فازی مجموعه داده‌ها نباید تکرار داشته باشند و لذا از میانگین تکرارها استفاده شده است و به عبارتی تعداد کل داده‌ها در مدل فازی - عصبی و رگرسیون خطی ۴۵ مجموعه داده می‌باشد که ۱۴ مجموعه داده (۳۰ درصد داده‌ها) جهت آزمون و ۳۱ مجموعه داده (حدود ۷۰ درصد داده‌ها) جهت آموزش استفاده شده است.

ساختار کلی مدل‌های ANFIS طراحی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. نوع مجموعه‌های فازی مورد استفاده در مدل ANFIS که منجر به بهترین نتیجه شد، در شکل ۳ ارائه شده است که از نوع مثلثی بوده است.

تجزیه و تحلیل آماری

مدل آماری به کمک SPSS و به شیوه رگرسیون گیری چندمتغیره انجام شد که ورودی‌های این مدل آماری، قطر پره هلیس (گام هلیس)، سرعت دورانی هلیس و زاویه شیب هلیس بودند. ضمناً بررسی اثر قطر پره هلیس، سرعت دورانی و شیب بر بازده حجمی نقاله با طرح آزمایشی فاکتوریل ۳×۵×۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با پنج تکرار با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام گرفت. قطر پره هلیس در سه سطح ۲۲/۵، ۱۷/۵ و ۱۳ سانتی‌متر، سرعت دورانی در پنج سطح ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ دور در دقیقه و شیب در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه بودند.

($m^3 \min^{-1}$) محاسبه گردید (BehroozilAr, 2006). برای محاسبه‌ی ظرفیت انتقال حجمی نظری نقاله ماریچی، با توجه به سرعت دورانی و مشخصات ابعادی هر هلیس (جدول ۱) و جای‌گذاری در رابطه (۱) می‌توان این مقدار را تعیین کرد (BehroozilAr, 2006).

$$Q_t = \frac{f}{4} (d_{sf}^2 - d_{ss}^2) I_p n \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Q_t ظرفیت حجمی نظری برحسب ($m^3 \min^{-1}$) قطر پره هلیس برحسب (m)، d_{sf} قطر محور هلیس برحسب (m)، I_p گام هلیس برحسب (m) و n سرعت دورانی هلیس برحسب (rpm) می‌باشد. با به دست آوردن ظرفیت حجمی واقعی و ظرفیت حجمی نظری می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (۲) بازده حجمی را محاسبه کرد (BehroozilAr, 2006).

$$y_v = \frac{Q_a}{Q_t} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، y_v بازده حجمی، Q_a ظرفیت حجمی واقعی برحسب ($m^3 \min^{-1}$)، Q_t ظرفیت حجمی نظری برحسب ($m^3 \min^{-1}$) می‌باشد.

مدل‌سازی و تحلیل

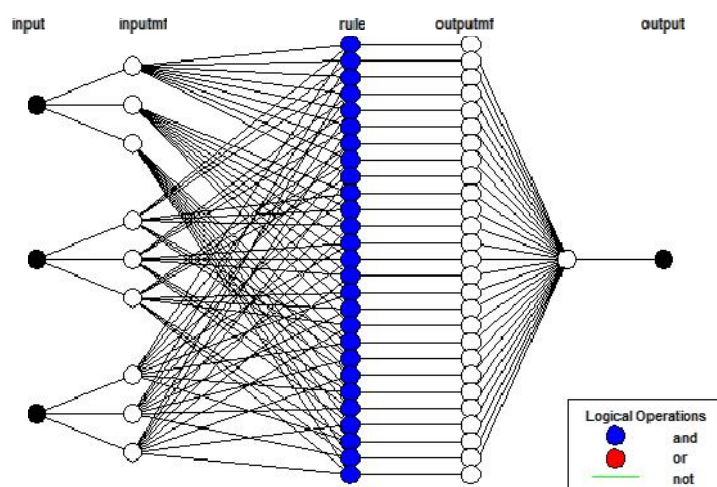
این قسمت در دو مرحله کلی انجام شده است. مرحله اول به کمک مدل‌سازی توسط سیستم استنتاج انطباقی فازی-عصبی^۱ و مرحله دوم به کمک تحلیل در نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۹.

مدل‌سازی به کمک ANFIS

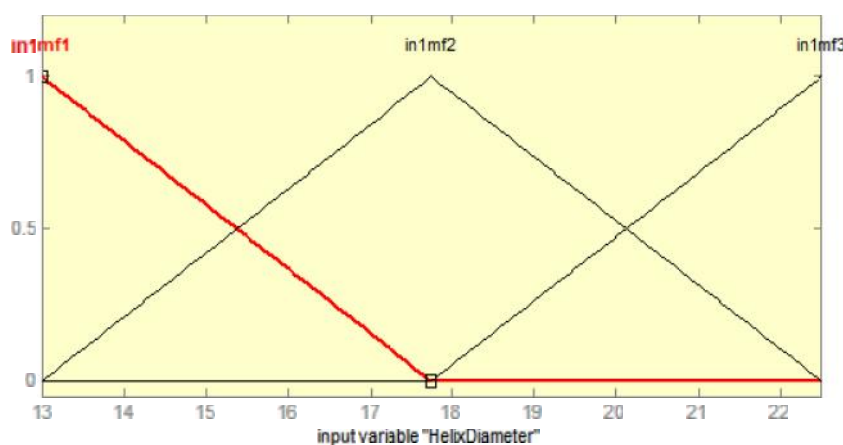
سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی یا ANFIS ترکیبی از سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی است به طوری که مزایای هر دو را دربر دارد (Metin and Murat, 2008; Buragohain and Mahanta, 2008). این سیستم برای حل مسایل غیرخطی در کاربردهای مهندسی کشاورزی مانند سیستم‌های درگیر با خاک، گیاه و هوا که بسیار پیچیده هستند مفید می‌باشد (Buragohain and Mahanta, 2008; Arkhipov et al., 2008) و ANFIS قادر است به کمک مفاهیم زبانی ارتباط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را برقرار و استنتاج نماید (Serge, 2001; Naderloo et al., 2012).

به طور کلی مدل‌سازی هم در محیط جعبه‌ابزار ANFIS و هم به کمک کدنویسی در متلب^۲ انجام شد و پنج عامل مهم و مؤثر، در مدل‌سازی بهینه شد تا بهترین مدل ANFIS ممکن حاصل گردد. این پنج عامل عبارتند از: نوع مجموعه‌های فازی ورودی، تعداد

1- ANFIS
2- MATLAB



شکل ۲- ساختار کلی مدل‌های ANFIS طراحی شده
Fig.2. General structure of developed ANFIS models



شکل ۳- تصویری از نوع مجموعه‌های فازی مورد استفاده در مدل ANFIS مربوط به هلیس شیب‌دار
Fig.3. A schematic of fuzzy input types in ANFIS model corresponding inclined helix conveyor

جدول ۲- مشخصات بهترین مدل ANFIS حاصل برای نقاله مارپیچ شیب‌دار

Table 2- Specifications of the best obtained ANFIS models corresponding to inclined helix conveyor

ورودی‌های مدل Model Inputs			تعداد مجموعه‌های فازی ورودی No. of Input MFs	مجموعه‌های فازی ورودی Type of Input MFs	مجموعه‌های فازی خروجی Type of Output MFs	شیوه بهینه‌سازی Optimization method	تعداد اپوک‌ها No. of Epochs	MSE	MAE	R
زاویه شیب نقاله Conveyor slop angle	قطر پره هلیس Conveyor blade diameter	سرعت دورانی هلیس Rotational speed of helix	3	مثلثی Triangle	خطی Linear	هیبرید Hybrid	2	0.777	0.244	0.987

نتایج و بحث

نتایج آزمون بهترین مدل ANFIS حاصل برای هلیس‌های شیب‌دار در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج بازده حجمی مربوط به هر سه هلیس در سرعت‌های دورانی و شیب‌های مختلف در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. ضمناً برای به‌دست آوردن بیشترین بازده حجمی از مدل چهاربعدی (سه ورودی و یک خروجی) فازی-عصبی به‌دلیل پیچیدگی مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. تا با تغییر دادن پارامترهای ورودی در محدوده تعریف شده به روش‌های ژنتیک بتواند بیشترین بازده حجمی را به‌دست آورد. برای این منظور از یک ژن با سه کروموزوم که هر کروموزوم مربوط به هر ورودی بود، استفاده شد و محدوده پایین و بالای هر کروموزوم مطابق محدوده پارامترهای ورودی اعمال گردید. تابع هزینه جهت محاسبه بیشترین بازده حجمی در یک منفی ضرب شد.

نتایج زیر را می‌توان از این تصاویر سه‌بعدی استنباط نمود:

در نقاله‌های مارپیچ شیب‌دار با افزایش سرعت دورانی و زاویه شیب هلیس، بازده حجمی کم می‌شود تا آن‌جا که کمترین بازده حجمی در قطر ۲۲/۵ سانتی‌متر و زاویه شیب ۳۰ درجه به‌دست می‌آید. و بیشترین بازده حجمی براساس نتایج الگوریتم ژنتیک زمانی است که قطر ۱۷/۵ سانتی‌متر و زاویه شیب ۱۰ درجه و سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه باشد.

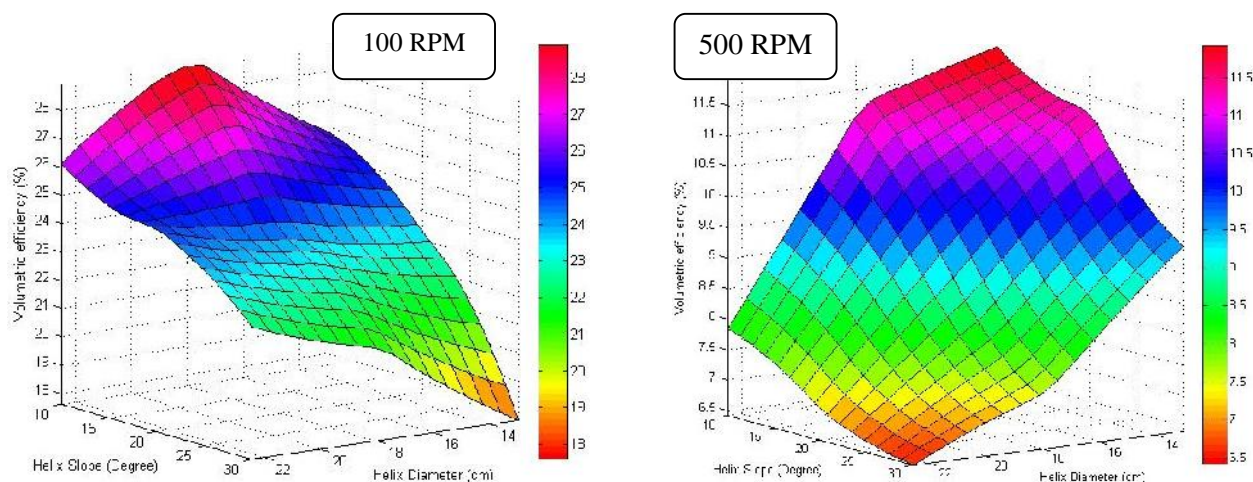
در نقاله‌های مارپیچ شیب‌دار با افزایش قطر هلیس و سرعت

دورانی آن بازده حجمی کم می‌شود تا آن‌جا که در قطر ۲۲/۵ سانتی‌متر و سرعت دورانی ۵۰۰ دور بر دقیقه بازده حجمی ۶/۴۲ درصد می‌گردد. ولی بیشترین بازده مربوط به کمترین قطر و کمترین سرعت دورانی نیست و به‌عبارتی بیشترین بازده حجمی زمانی حاصل می‌شود که قطر هلیس ۱۷/۵ سانتی‌متر و سرعت دورانی آن ۱۰۰ دور بر دقیقه باشد. اگرچه این تأثیر در سرعت‌های دورانی بیشتر برقرار نیست و به‌نظر می‌رسد در سرعت‌های دورانی کم با کاهش قطر هلیس مانند هلیس‌های افقی نیروی رو به جلوی وارده به محصول کاهش یافته و شاید این عامل بر روی بازده حجمی اثر می‌گذارد.

در نقاله‌های مارپیچ شیب‌دار با افزایش زاویه شیب و سرعت دورانی هلیس بازده حجمی کم می‌شود تا آن‌جا که در زاویه شیب ۳۰ درجه و سرعت دورانی ۵۰۰ دور بر دقیقه کمترین بازده حجمی به‌دست می‌آید. بیشترین بازده حجمی زمانی است که زاویه شیب ۱۰ درجه و سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه باشد.

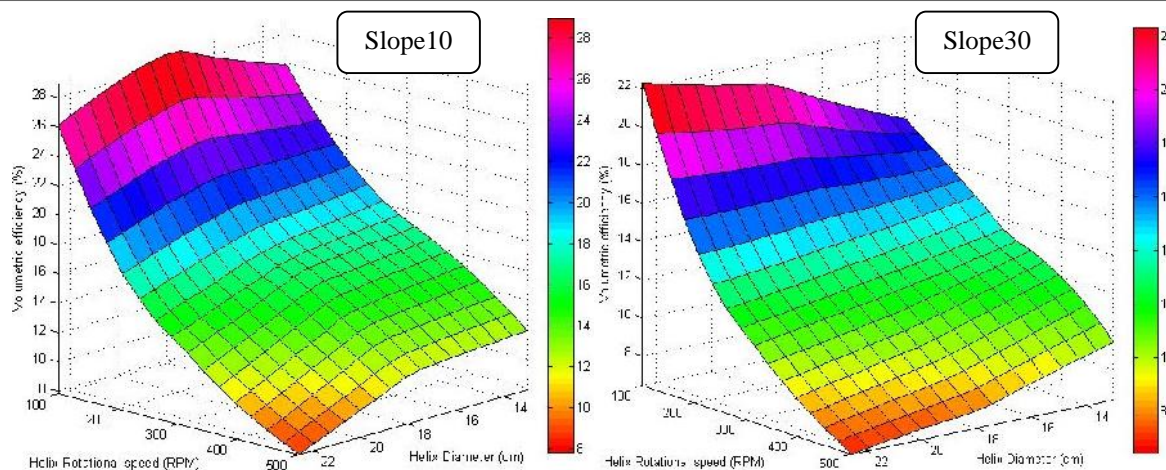
از تصاویر سه‌بعدی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین بازده حجمی در نقاله‌های مارپیچ شیب‌دار مربوط به سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه، زاویه شیب ۱۰ درجه و قطر پره ۱۷/۵ سانتی‌متر بوده و مقدار آن ۲۹/۱۱ درصد می‌باشد.

رابطه بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده بازده حجمی در مدل ANFIS در شکل ۷ نشان داده شده است. عملکرد این مدل با توجه به مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده بازده حجمی ۰/۹۸ و مقدار MSE ۰/۷۷ درصد رضایت‌بخش می‌باشد.

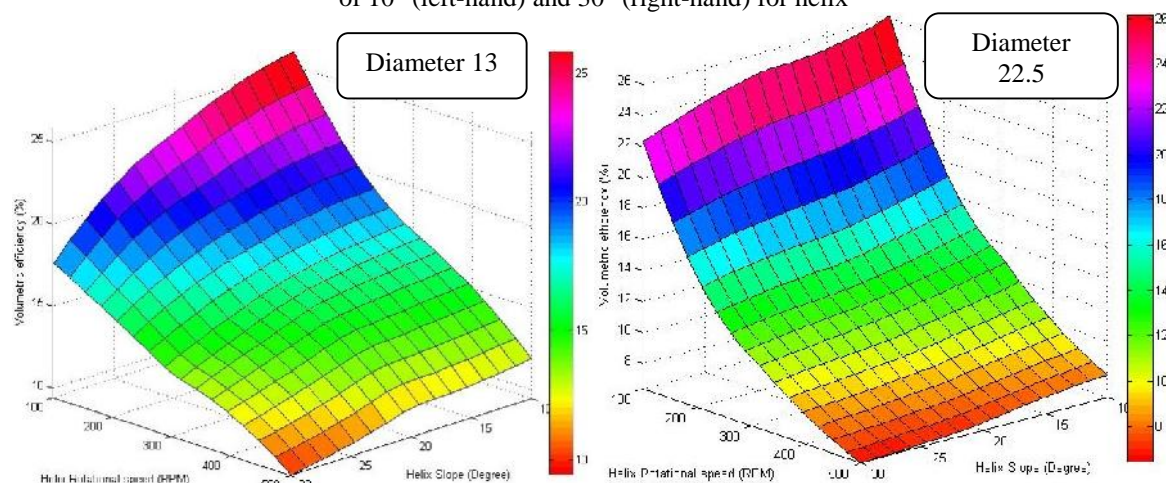


شکل ۴- اثر قطر پره هلیس و زاویه شیب نقاله بر بازده حجمی نقاله مارپیچی شیب‌دار در سرعت‌های دورانی ۱۰۰ rpm (سمت چپ) و ۵۰۰ rpm (سمت راست) هلیس

Fig.4. The effect of blade diameter and slope angle of conveyor on volumetric efficiency of inclined spiral conveyor at 100 rpm (left-hand) and 500 rpm (right-hand) of helix



شکل ۵- اثر قطر پره هلیس و سرعت دورانی هلیس بر بازده حجمی نقاله ماریچی شیب‌دار در زوایای ۱۰ درجه (سمت چپ) و ۳۰ درجه (سمت راست) نقاله
Fig.5. The effect of blade diameter and rotational speed on volumetric efficiency of inclined spiral conveyor at angles of 10° (left-hand) and 30° (right-hand) for helix



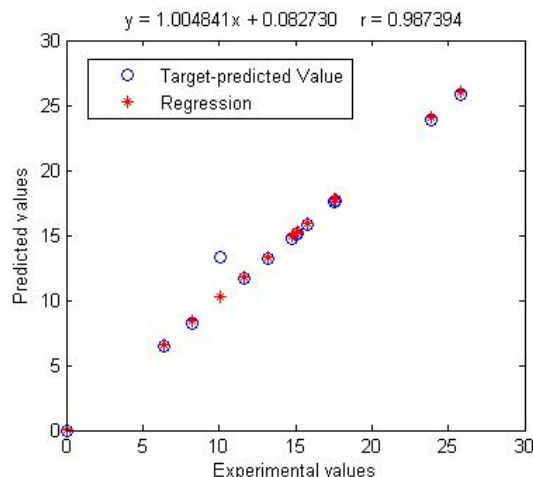
شکل ۶- اثر سرعت دورانی هلیس و زاویه شیب نقاله بر بازده حجمی نقاله ماریچی شیب‌دار در قطرهای ۱۳ cm (سمت چپ) و ۲۲/۵ cm (سمت راست)
 (راست)

Fig.6. The effect of rotational speed and slope angle of conveyor on volumetric efficiency of inclined spiral conveyor at diameters of 13 cm (left-hand) and 22.5 cm (right-hand)

جدول ۳- مشخصات مدل رگرسیون چندمتغیره خطی حاصل برای نقاله ماریچی شیب‌دار به کمک SPSS

Table 3- The specifications of multivariate linear regression model obtained by SPSS for inclined helix conveyor

وضعیت هلیس Status helix	ضرایب ورودی‌های مدل Coefficients of the model input				MSE	SSE	R	P
	قطر پره هلیس (گام هلیس) Blade diameter of helix (Helix pitch)	سرعت دورانی هلیس Rotational speed of helix	مقدار زاویه شیب نقاله The slop angle of conveyor	مقدار ثابت Constant				
شیب‌دار Inclined	-0.259	-0.035	-0.204	34.322	3.086	138.806	0.949	0

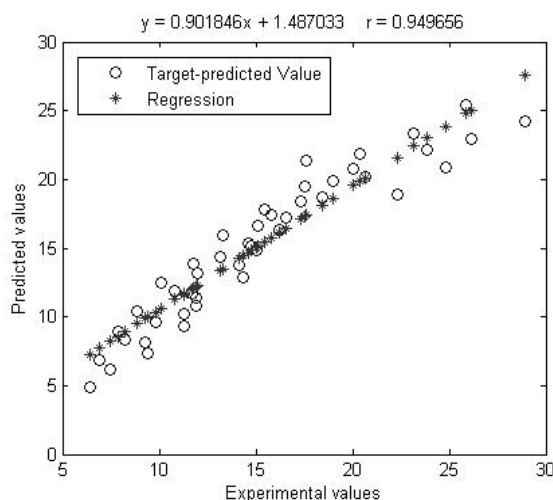


شکل ۷- نمودار مربوط به مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده بازده حجمی (درصد) در مدل ANFIS

Fig.7. The plot of actual values and predicted values of volumetric efficiency developed by ANFIS model

شده است که در آن ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده بازده حجمی ۰/۹۴ به دست آمد. با مقایسه این نتیجه با نتیجه مدل ANFIS مشخص می شود که پیش بینی بازده حجمی با مدل ANFIS می تواند دقیق تر باشد.

خصوصیات مدل آماری حاصل و نتیجه رگرسیون چندمتغیره خطی برای پیش بینی شده بازده حجمی نقاله ماریچ شیب دار به کمک SPSS در جدول ۳ و رابطه بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده بازده حجمی در مدل آماری با نرم افزار SPSS در شکل ۸ نشان داده



شکل ۸- نمودار مربوط به مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده بازده حجمی (درصد) در مدل آماری SPSS

Fig.8. The plot of actual values and predicted values of volumetric efficiency developed by SPSS statistical model

نتایج تجزیه واریانس بازده حجمی نقاله که با طرح آزمایشی فاکتوریل $3 \times 5 \times 3$ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با پنج تکرار با نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام گرفت در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج جدول ۴ در تجزیه واریانس، اثر بلوک (تکرار) معنی دار نشد. اثر قطر پره هلیس، سرعت دورانی و شیب و نیز اثرات متقابل آنها بر بازده حجمی نقاله همه در سطح یک درصد معنی دار گردید. این نتایج نشان می دهد که قطر پره هلیس، سرعت دورانی و شیب و اثرات متقابل آنها بر بازده حجمی نقاله تأثیر زیادی دارد. جدول ۵ نتیجه مقایسه میانگین های بازده حجمی را با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش قطر پره هلیس، سرعت دورانی و شیب بازده حجمی کاهش یافته است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر قطر پره هلیس، سرعت دورانی و شیب بر بازده حجمی نقاله

Table 4- Analysis of variance the effect of the diameter of the auger blades, rotational speed and slope on the volumetric efficiency

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات The sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F	معنی داری Significant
تکرار Repeat	4	2.3	0.575	2.03 ^{ns}	0.093
قطر Diameter	2	242.89	121.46	427.72 ^{**}	0.000
سرعت Speed	4	5674.46	1418.62	4996.21 ^{**}	0.000
شیب Slope	2	630.04	315.02	1109.47 ^{**}	0.000
قطر×سرعت Diameter ×Speed	8	224.14	28.02	98.67 ^{**}	0.000
سرعت × شیب Speed × Slope	8	82.30	10.29	36.23 ^{**}	0.000
قطر×شیب Diameter × Slope	4	63.29	15.82	55.73 ^{**}	0.000
قطر×سرعت×شیب Diameter × Speed × Slope	16	31.72	1.98	6.98 ^{**}	0.000
خطا Error	176	49.97	0.28		
کل Total	224	7001.12			

**معنی‌دار در سطح ۱٪، ns: عدم معنی‌داری

***: Significant at level 1%, ns: Non-significant

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های بازده حجمی با آزمون دانکن (۵٪)

Table 5- Average comparisons of volumetric efficiencies based on Duncan test (5%)

بازده حجمی The volumetric efficiency	شیب Slope	بازده حجمی The volumetric efficiency	سرعت دورانی Rotational speed	بازده حجمی The volumetric efficiency	قطر پره هلیس The diameter of the helix blades
13.006 a	30	9.111 a	500	13.705 ^a	22.5
15.304 b	20	11.615 b	400	15.556 ^b	17.5
17.094 c	10	13.987 c	300	16.142 ^c	13
		17.398 d	200		
		23.560 e	100		

سرعت دورانی هلیس، به‌طور متوسط کمتر از ۳ درصد راندمان حجمی نقاله ماریچی کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش سرعت دورانی هلیس، نیروی گریز از مرکز دانه‌ها افزایش یافته و به‌دنبال آن، قابلیت بارگیری دانه‌ها در فضای بین پره‌های هلیس کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه انتقال محصول، در هر سه نقاله ماریچی، بازده حجمی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی تأثیر افزایش شیب نقاله‌های ماریچی بر کم شدن بازده حجمی در انتقال شیب‌دار محصول، ممکن است در اثر کاهش قابلیت بارگیری هلیس از قسمت تغذیه نقاله در زاویه‌های انتقال بالاتر باشد، زیرا ثابت شده است که

چنان‌چه مشاهده می‌شود با افزایش سرعت دورانی، بازده حجمی در هر سه نقاله ماریچی کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به‌واسطه‌ی آن باشد که ظرفیت حجمی نقاله‌ها در عمل، به مقدار قابل ملاحظه‌ای کمتر از ظرفیت حجمی نظری آن است. این کاهش ظرفیت به کاهش بازده حجمی نقاله می‌انجامد (Behroozi Lar, 2006). در مجموع می‌توان گفت، به‌ازای افزایش دور هلیس، میزان انتقال وزنی و حجمی افزایش می‌یابد. ولی مقادیر افزایش‌ها (ظرفیت انتقال وزنی و حجمی)، با افزوده شدن دور کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمایش می‌توان گفت که برای هر ۱۰۰ دور بر دقیقه افزایش

نشان دادند که بیشترین بازده حجمی در هر سه نقاله‌های ماریچی مورد تحقیق در رنج سرعت ۱۰۰ تا ۲۰۰ دور بر دقیقه اتفاق افتاد. با افزایش سرعت دورانی و شیب انتقال نقاله ماریچی طی انتقال محصول در حالت شیب‌دار، بازده حجمی به‌طور معنی‌داری در هر سه نقاله ماریچی کاهش پیدا کرد. اثر قطر نقاله ماریچی بر بازده حجمی در انتقال محصول، نامنظم بود و روند مشخصی را نمایان نکرد. ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده بازده حجمی در مدل حاصل از ANFIS ۰/۹۸ و در مدل رگرسیون چندمتغیره خطی با SPSS ۰/۹۴ به‌دست آمد که نشان داد مدل ANFIS دقیق‌تر از مدل آماری بود. با مقایسه مشخصات عملکردی نقاله‌های ماریچی در انتقال دانه‌های گندم، با مقادیری که توسط محققین دیگر برای نقاله‌های ماریچی با شیب‌های مشابه، در انتقال دانه‌های ذرت گزارش شده بود، مشخص شد که اثر زاویه انتقال نقاله‌های ماریچی بر بازده حجمی در انتقال دانه‌های گندم در مقایسه با انتقال دانه‌های ذرت، کاملاً معنی‌دار بود. بنابراین، ثابت شد که عملکرد نقاله‌های ماریچی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر خصوصیات مواد انتقالی قرار دارد.

ظرفیت بارگیری هلیس نقاله ماریچی در حالت انتقال شیب‌دار، حدود یک‌سوم ظرفیت بارگیری در وضعیت انتقال افقی مواد است. محققان گزارش کردند که نقاله ماریچی با قطر بزرگتر دارای راندمان حجمی بیشتری نسبت به نقاله‌های با قطر کوچکتر است، که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت ندارد. با مقایسه جداول ۲ و ۳ و نمودارهای مربوطه در شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان این نتیجه را گرفت که با توجه به مقادیر r و MSE مربوط به مدل‌های حاصل به شیوه ANFIS (به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۷۷) نسبت به مدل‌های آماری (به ترتیب ۰/۹۴ و ۳/۰۸) از دقت بیشتری برخوردار هستند و این قدرت بسیار بالای مدل‌سازی به کمک ANFIS در این زمینه را تأیید می‌نماید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخصه عملکردی نقاله ماریچی به‌عنوان تابعی از قطر هلیس، سرعت دورانی هلیس و شیب انتقال بررسی شد. مشخصه عملکردی برحسب بازده حجمی و به کمک دو شیوه استفاده از ANFIS و مدل‌های آماری به کمک SPSS بررسی شد. نتایج

References

1. Arkhipov, M., E. Krueger, and D. Kurtener. 2008. Evaluation of ecological conditions using bioindicators: application of fuzzy modeling. Paper presented at Lecture Notes in Computer Science. Auger Flighting Design Considerations. JUN1993. ANSI/ASAE EP389.2.
2. Behrooz Lar, M. 2006. Grain Combine harvesters. Agricultural bank Publishing. Tehran. (In Farsi).
3. Buragohain, M., and C. Mahanta. 2008. A novel approach for ANFIS modelling based on full factorial design. Applied Soft Computing 8: 609-625.
4. Burr, M. S., M. F. Kocher, and D. D. Jones. 1998. Design of tapered augers for uniform unloading particulate materials from rectangular cross-section containers. Trans. of the ASAE 41: 1415-1421.
5. Cheng, C. B., C. J. Cheng, and E. S. Lee. 2002. Neuro-fuzzy and genetic algorithm in multiple response optimization. Computers and Mathematics with Applications 44: 1503-1514.
6. Dai, J., and J. R. Grace. 2008. A model for biomass screw feeding. Powder Technology 186: 40-55.
7. McFate, K.L., and R. M. George. 1971. Power-capacity relationships of nominal 8-inch screw conveyors when handling shelled corn. Trans. of the ASAE 24: 121-126.
8. Metin, E. H., and H. Murat. 2008. Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. International Journal of Refrigeration 31: 1426-1436.
9. Moysey, P. A., and M. R. Thompson. 2005. Modeling the solids in flow and solids conveying of single-screw extruders using the discrete element method. Powder Technology 153: 95-107.
10. Naderloo, L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M. Y. Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement 45: 1406-1413.
11. Nicolai, R., J. Ollerich, and J. Kelly. 2004. Screw auger power and throughput analysis. Paper presented at ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada.
12. Nicolai, R., A. Dittbenner, and S. Pasikanti. 2006. Large portable auger throughput analysis. Paper presented at ASAE Annual International Meeting, Portland, Oregon, USA.
13. Regan, W. M., and S. M. Henderson. 1959. Performance characteristics of inclined screw conveyors. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal.

14. Safety for Portable Agricultural Auger Conveying Equipment. APR1990. ASAE S361.3.
15. Serge, G. 2001. Designing fuzzy inference systems from data: Interpretability oriented review. IEEE Transaction on Fuzzy Systems 9: 426-442.
16. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. Buckmaster. 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Michigan, USA.
17. Terminology and Specification Definitions for Agricultural Auger Conveying Equipment. MAR1975. ASAE S374.
18. Zareiforoush, H., M. H. Komarizadeh, and M. R. Alizadeh. 2010. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. Biosystems Engineering 106 (3): 246-254.



Study and modeling of changes in volumetric efficiency of helix conveyors at different rotational speeds and inclination angels by ANFIS and statistical methods

A. Zareei¹- R. Farrokhi Teimourlou²- L. Naderloo^{3*}- S. M. H. Komarizade Asl⁴

Received: 04-07-2015

Accepted: 13-12-2015

Introduction

Spiral conveyors effectively carry solid masses as free or partly free flow of materials. They create good throughput and they are the perfect solution to solve the problems of transport, due to their simple structure, high efficiency and low maintenance costs.

This study aims to investigate the performance characteristics of conveyors as function of auger diameter, rotational speed and handling inclination angle. The performance characteristic was investigated according to volumetric efficiency. In another words, the purpose of this study was obtaining a suitable model for volumetric efficiency changes of steep auger to transfer agricultural products. Three different diameters of auger, five levels of rotational speed and three slope angles were used to investigate the effects of changes in these parameters on volumetric efficiency of auger. The used method is novel in this area and the results show that performance by ANFIS models is much better than common statistical models.

Materials and Methods

The experiments were conducted in Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery in Urmia University. In this study, SAYOS cultivar of wheat was used. This cultivar of wheat had hard seeds and the humidity was 12% (based on wet). Before testing, all foreign material was separated from the wheat such as stone, dust, plant residues and green seeds. Bulk density of wheat was 790 kg m^{-3} . The auger shaft of the spiral conveyor was received its rotational force through belt and electric motor and its rotation leading to transfer the product to the output. In this study, three conveyors at diameters of 13, 17.5, and 22.5 cm, five levels of rotational speed at 100, 200, 300, 400, and 500 rpm and three handling angles of 10, 20, and 30° were tested.

Adaptive Neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is the combination of fuzzy systems and artificial neural network, so it has both benefits. This system is useful to solve the complex non-linear problems in agricultural engineering applications. ANFIS by linguistic concepts can establish and inference non-linear relationship between inputs and outputs. In this research, generally modeling was performed by using toolbox of ANFIS and coding in MATLAB software. Five important and effective factors in modeling were optimized until the best ANFIS model was obtained. The five factors were: type of fuzzy sets for inputs, number of fuzzy sets for inputs, type of fuzzy set for output, method of optimization and number of epochs. The statistical model was done by using SPSS and in the multivariate regression method. In multivariate linear regression in statistical model, the independent variables were auger blade diameter, rotational speed and the angle of slope of the auger and dependent variable was volumetric efficiency. The factorial test in randomized complete block design was conducted for variance analysis of volumetric efficiency. Mean Comparison of volumetric efficiency in different levels of factors was performed using Duncan' test in 5% level.

Conclusions

In this study, volumetric efficiency of spiral conveyors was investigated as a function of auger blade diameter, auger rotational speed and slope of transfer. The performance was measured in terms of volumetric

1- M.Sc. Graduated Student, Mechanical Engineering of Agricultural Machinery Dept., Urmia University, Urmia, Iran

2- Assistant Professor, Mechanical Engineering of Agricultural Machinery Dept., Urmia University, Urmia, Iran

3- Assistant Professor, Mechanics of Biosystems Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

4- Professor, Mechanical Engineering of Agricultural Machinery Dept, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: l.naderloo@razi.ac.ir)

efficiency using ANFIS and statistical models with SPSS. The results showed that:

Volumetric efficiency almost decreased by increasing of rotational speed, for all three conveyors.

Maximum volumetric efficiency in all three spiral conveyors was in the speed range of 100 to 200 rpm.

Volumetric efficiency significantly reduced in all three spiral conveyors by increasing in rotational speed and slope of transferring in spiral conveyors.

Effect of spiral conveyor diameter on the volumetric efficiency in product transferring was irregular and no specific process is appeared.

The correlation coefficient between the actual and predicted values was obtained as 0.98 in ANFIS model and 0.94 in multivariate linear regression with SPSS which showed the ANFIS model was more accurate than statistical model.

Comparison between performances of spiral conveyor to transfer the seeds of wheat, with results by other researchers that has been reported for spiral conveyors with the same slope to transfer of corn kernels, was found that the angle effect on volumetric efficiency is quite significant. Therefore, it proves that performances of spiral conveyor are impressed by characteristics of transition material considerably.

The maximum volumetric efficiency was corresponded in rotational speed of 100 rpm, inclination angle of 10°, and blade diameter of 17.5 cm that it was approximately 29.11%.

Keywords: Angle of transfer, Fuzzy sets, Helix conveyor, Optical digital tachometer