

شبیه‌سازی سیستم کنترل فازی عصبی افت برای بهینه کردن تنظیمات هد کمباین غلات

سمیرا زارعی^{۱*} - شمس اله عبدالله پور^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹

چکیده

افت هد کمباین بیش از ۵۰ درصد از افت برداشت گندم را به خود اختصاص می‌دهد. لذا کاهش این بخش از افت به حد مجاز آن گامی مهم در کاهش ضایعات محصول است. هد کمباین یک سیستم پیچیده است که عوامل متعددی در کار آن دخیل هستند و با کنترل این عوامل تا حد زیادی از افت محصول در هنگام برداشت جلوگیری می‌شود. از بین عوامل مؤثر، شاخص جنبشی چرخ فلک، ارتفاع برش محصول، فاصله افقی و عمودی چرخ فلک از شانه برش برای بررسی در این مطالعه انتخاب شدند. آزمون‌های مزرعه‌ای برای تعیین اثر تنظیمات مختلف اجزاء هد بر افت این واحد طبق طرح آزمایشی فاکتوریل ناقص انجام شد. عوامل مورد بررسی به ترتیب اهمیت در تأثیر بر میزان افت هد شاخص جنبشی چرخ فلک، ارتفاع برش، فاصله عمودی چرخ فلک از شانه برش و فاصله افقی چرخ فلک از شانه برش تشخیص داده شدند. در ادامه یک سیستم کنترل فازی عصبی با استفاده از نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای، در محیط نرم‌افزار متلب طراحی گردید. ضریب تبیین محاسبه شده از تجزیه واریانس ۰/۷۱ بود در حالی که ضریب تبیین نتایج حاصل از کنترل کننده، برابر با ۰/۹۵ بود. کنترل کننده طراحی شده در نرم‌افزار سیمولینک شبیه‌سازی شد. کنترل کننده، تنظیمات متغیرها را به ترتیب تأثیری که بر میزان افت هد دارند، انجام می‌دهد و در هر مرحله از تغییر تنظیمات میزان افت هد را با افت مورد نظر اپراتور کنترل می‌کند که اگر افت هد بیش تر از مقدار افت مورد نظر شد، تنظیمات دیگری را اعمال کند و در غیر این صورت با همان تنظیمات به کار خود ادامه دهد.

واژه‌های کلیدی: افت، سکوی برش، شبیه‌سازی، کمباین برداشت، مدل فازی-عصبی

مقدمه

کاهش افت محصول، تنظیمات درست آن است. مطالعات دیگری افت هد کمباین را در برداشت محصولات مختلف به صورت تابعی از پارامترهایی مانند میزان رطوبت دانه، شاخص جنبشی چرخ فلک، سرعت شانه برش، عمر سرویس شانه برش، فاصله انگشتی‌های چرخ فلک، فاصله انگشتی‌های چرخ فلک از شانه برش، شعاع چرخ فلک، دوران چرخ فلک به ازای میزان پیشروی هد (شاخص سینماتیک چرخ فلک)، نسبت بدون بعد ارتفاع محصول به ارتفاع محور چرخ فلک در بالای زمین، ارتفاع ساقه و سایر ویژگی‌های محصول با استفاده از مدل‌های آماری خطی مدل‌سازی کردند (Junsiri and Chinsuwan, 2009; Oduori et al., 2008).

در ارتباط با سیستم‌های کنترل خودکار سکوی برداشت کمباین طرح‌های متعددی ارائه شده است. عمده تحقیقات انجام شده پیرامون به‌کارگیری سیستم‌های کنترل خودکار در سکوی برداشت کمباین، بر روی کنترل ارتفاع سکوی برداشت متمرکز شده‌اند (Leonard and Maki, 1990).

بخش دیگر مطالعات بر استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند متمرکز شده‌اند. هدف از کنترل هوشمند، کنترل یک سیستم بدون در دست داشتن معادلات دینامیکی حاکم بر آن سیستم با حداقل

گندم به‌عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی ایران نقش عمده‌ای در تأمین مواد غذایی مردم دارد ولی تولید آن با ضایعات بسیاری همراه است. قسمت اعظم ضایعات گندم در مرحله برداشت می‌باشد که در ایران افت برداشت به‌وسیله کمباین دو تا سه برابر مقدار مجاز آن است. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در داخل و خارج از کشور برای تعیین میزان افت غلات در مرحله برداشت صورت پذیرفته است. در این راستا افت برداشت گندم به‌وسیله کمباین در مناطق مختلف با انجام آزمایشات مزرعه‌ای تعیین شد. نتایج حاصل از تحقیقات، افت هد را به‌عنوان بالاترین میزان افت در بین قسمت‌های مختلف کمباین (بیش از ۵۰ درصد افت برداشت) معرفی کردند (Behroozi-Iar et al., 2000; Behroozi-Iar, 1995). لذا کاهش این بخش از افت به حد مجاز آن گامی مهم در راستای کاهش ضایعات محصول است. عامل مهم در افزایش بازدهی کار کمباین‌های غلات و به تبع آن

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
* - نویسنده مسئول: (Email: s.zareei@uok.ac.ir)

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(ANFIS)^۲، یک سیستم استنتاج فازی سوگنو^۳ را در یک ساختار عصبی اجرا می کند و برای فرآیند آموزش از ترکیبی از روش های آموزش پس انتشار خطا و حداقل مربعات خطا استفاده می کند و از دقت و سرعت همگرایی بالایی نیز برخوردار می باشد (Jang, 1993). مدل سیستم فازی-عصبی براساس تغییر در مقادیر مرکز و دامنه توابع عضویت در تکرارهای مختلف برای رسیدن به شبکه مناسب براساس حداقل خطای موجود عمل می کند. زمانی عمل شبیه سازی به درستی انجام می شود که تمامی پارامترهای مؤثر در ساختار مدل طوری تعیین گردند که مقدار خطای مدل به حداقل مقدار خود برسد. تعداد و نوع ورودی ها، شکل تابع عضویت همانند مدل فازی از عوامل تأثیرگذار بر مدل می باشند.

سیستم استنتاج فازی-عصبی با توجه به توانایی در ترکیب قدرت زبانی یک سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی در مدل سازی فرآیندهای پیچیده و غیرخطی بسیار قدرتمند می باشد. نبود سیستمی هوشمند برای کنترل خودکار هد کمباین برای نگهداری مقدار افت هد کمباین در حد بهینه از دلایل ضرورت انجام این پژوهش بوده است.

مواد و روش ها

آزمایش مزرعه ای در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در باجگاه در فصل برداشت سال ۱۳۹۰ انجام شد. مزرعه آزمایش با بافت خاک رسی شنی در منطقه باجگاه با ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه و عرض ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه در ۱۸ کیلومتری شمال شیراز و در اقلیم نیمه خشک واقع گردیده است. مزرعه انتخابی در سال های اخیر به وسیله سیستم لیزری تسطیح شده و بنابراین اثر شیب برطرف شده بود. کشت گیاهان به صورت آبی بوده و مزرعه به طور منظم آبیاری شده بود. واریته گندم کشت شده عبارت از رقم پاییزه شیراز با عملکرد حدود شش تن در هکتار بود. کمباینی که برای انجام آزمایش مورد استفاده قرار گرفت، ساخت شرکت CLAAS و مدل LEXION510 بود که توسط مرکز توسعه مکانیزاسیون سازمان جهاد کشاورزی استان فارس تأمین شد.

در این مطالعه آزمون های مزرعه برای اندازه گیری افت هد کمباین انجام شد. تلفات هد کمباین غلات، دانه هایی هستند که همراه با پوشال و کاه از کف هد و یا به صورت خوشه های کامل یا خوشه های همراه با ساقه از جلوی هد بیرون می ریزند.

اطلاعات است. با توجه به پیچیده بودن مدل سازی فرآیندهای کمباین برداشت، از شبکه های عصبی مصنوعی، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک برای کنترل پارامترهای عملیاتی، پیش بینی تلفات دانه و کیفیت دانه استفاده گردید (Benson et al., 2000; Ma, 2003; Jalaei et al., 2004; Mesri Gundoshmian et al., 2010).

کنترل هوشمند یک روش سودمند برای کنترل افت کمباین می باشد. در مطالعه ای، سیستم کنترل فازی برای دستیابی به افت قابل قبول در قسمت تمیزکننده کمباین ارائه شد. سیستم کنترل فازی مذکور دانش اپراتورهای ماهر را با داده های موجود ترکیب نمود تا مقدار افت واحد تمیزکننده بهینه شود و به ازای نرخ تغذیه مشخص سطح مطلوبی از مواد غیردانه ای در مخزن دانه حاصل گردد. نتایج آزمایشات مزرعه ای در برداشت گندم حاکی از سودمند بودن این سیستم کنترلی در شرایط متغیر محیطی بود (Craessaerts et al., 2010).

در مطالعه دیگری سیستم کنترل کننده فازی به دست آمده از دانش شخص خبره را برای کنترل و تنظیم خودکار کمباین برای دستیابی به حداقل تلفات دانه ای به ویژه در غربال و الک بالایی طراحی کردند. کنترل کننده منطق فازی به طور اتوماتیک سرعت کوبنده، فاصله کوبنده و ضد کوبنده، سرعت دمنده و سرعت پیشروی کمباین را متناسب با تلفات اندازه گیری شده در قسمت های غربال و الک تنظیم می کرد. نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه ای در شرایط زراعی آبی و دیم، تأثیر نصب سیستم کنترلی فوق بر روی کمباین را در کاهش افت مثبت ارزیابی کردند (Omid et al., 2010).

شبکه عصبی همانند جعبه سیاهی است که توانایی یادگیری روابط بین نمونه های ورودی و خروجی خود را دارد. به عبارتی یادگیری در این سیستم به صورت توزیع شده بوده و تعیین محل مفهوم یادگیری در آن امکان پذیر نمی باشد. لذا یکی از مشکلات این سیستم ها ذخیره دانش به صورت وزن های نامشخص بین نرونی می باشد که امکان تفسیر کلامی آن ممکن نیست. از سوی دیگر منطق فازی توانایی استنتاج روی مجموعه های نادقیق کلامی را داراست. قوانین فازی می توانند بر پایه جملات "اگر- آنگاه"، منطق زبان طبیعی را پیاده سازی نمایند. با این حال یک سیستم فازی توانایی یادگیری و یا حتی استخراج قوانین مورد نیاز خود را ندارد. با افزایش پیچیدگی سیستم های فازی، متعاقباً توسعه قوانین فازی و توابع عضویت مشکل می شود. همچنین شبکه های عصبی امکان بیان مفاهیم زبانی را ندارند. ترکیب این دو، یک سیستم ترکیبی قدرتمند فازی-عصبی ایجاد می کند که از توانایی های هر دو سیستم استفاده می نماید.

مدل سیستم فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی

جدول ۱- تیمارهای مورد آزمون و سطوح آن‌ها برای بررسی افت هد کمباین

Table 1- Factors influencing the header loss and their levels

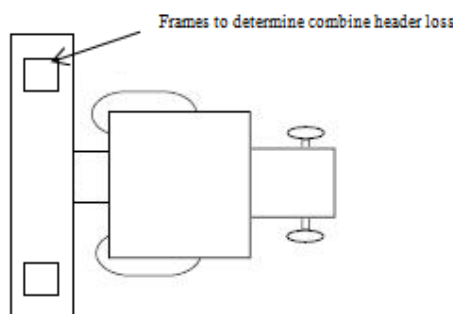
فاکتورها Factors	سطح اول Level 1	سطح دوم Level 2	سطح سوم Level 3
شاخص جنبشی چرخ‌فلک Reel index	1	1.2	1.5
ارتفاع برش (سانتی‌متر) Cutting height (cm)	25	30	35
فاصله افقی محور چرخ‌فلک از شانه برش (سانتی‌متر) Horizontal distance between reel and cutterbar (cm)	0	5	10
فاصله عمودی چرخ‌فلک از شانه برش (سانتی‌متر) Vertical distance between reel and cutterbar (cm)	5	10	15

اندازه‌گیری در شکل ۲ نشان داده شده است. که در آن Hd فاصله افقی محور چرخ‌فلک از شانه برش (cm)، Vd فاصله عمودی پایین‌ترین انگشتی چرخ‌فلک از شانه برش (cm)، Ch ارتفاع برش (cm)، V سرعت پیشروی کمباین برداشت ($m s^{-1}$) و ω سرعت دورانی چرخ‌فلک (rpm) است. شاخص جنبشی چرخ‌فلک از نسبت سرعت دورانی چرخ‌فلک به سرعت پیشروی کمباین محاسبه می‌شود. آزمایشات مزرعه‌ای با استفاده از طرح فاکتوریل ناقص در ۲۷ تیمار انجام شد. هر تیمار سه بار تکرار شد سپس مطابق با استاندارد ASAE درصد افت هد کمباین (نسبت افت هد به کل دانه ورودی به کمباین) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آزمون مزرعه‌ای به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد.

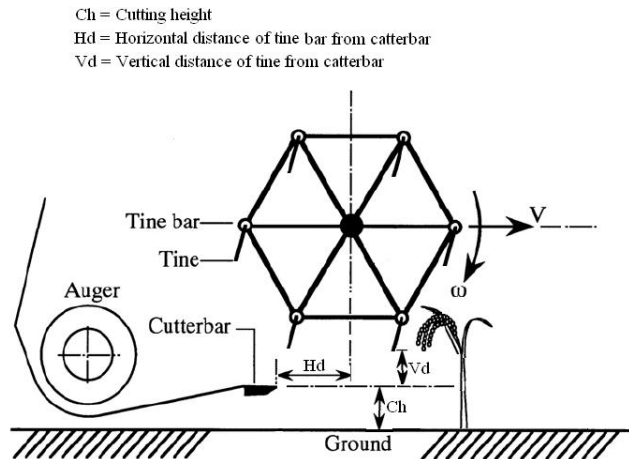
همان‌طور که قبلاً اشاره شد، به‌کارگیری سیستم کنترلی هیبرید که از ترکیب سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی ایجاد می‌شود، می‌تواند مناسب‌ترین گزینه برای مدل‌سازی و کنترل افت هد کمباین که یک فرآیند غیرخطی و پیچیده است، باشد.

برای انجام این آزمایش‌ها ابتدا عوامل مؤثر بر افت هد و سطوح مناسب آن‌ها مشخص شد و سپس مقادیر افت در شرایط مختلف حاصل از تغییر سطوح فاکتورها اندازه‌گیری شد. از بین عوامل مؤثر در افت هد کمباین، چهار عامل شاخص جنبشی چرخ‌فلک، ارتفاع برش محصول، فاصله افقی محور چرخ‌فلک از شانه برش و فاصله عمودی پایین‌ترین انگشتی چرخ‌فلک از شانه برش هر کدام در سه سطح مورد بررسی قرار گرفتند. این فاکتورها و سطوح آن‌ها در جدول ۱ درج شده‌اند.

بعد از وارد شدن کمباین به مزرعه، با سرعت مشخص حدود ۳۰ متر را برداشت نمود تا به حالت پایدار برسد. سپس برای اندازه‌گیری افت هد کمباین، قاب چوبی ($50 \times 50 \text{ cm}^2$) در چند نقطه از قسمت‌های برداشت شده که تنها هد از روی آن عبور می‌کند و مواد خارج شده از عقب کمباین به داخل آن ریخته نمی‌شود (شکل ۱)، قرار داده شد و دانه‌ها و خوشه‌های موجود در قاب جمع‌آوری و توزین گردیدند. طرح‌واره سکوی برداشت کمباین به همراه متغیرهای مورد



شکل ۱- نحوه انداختن قاب برای اندازه‌گیری افت هد کمباین
Fig.1. Frames used to determine combine header loss



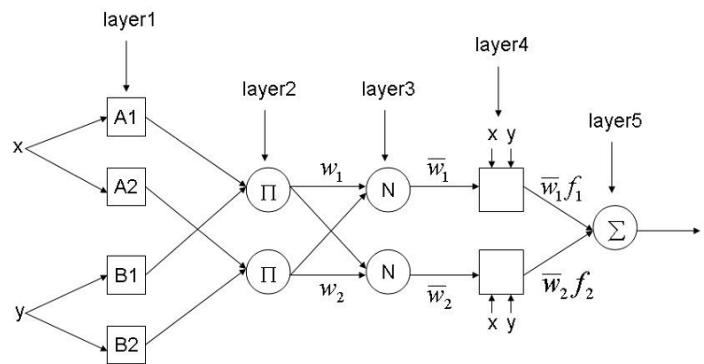
شکل ۲- طرحواره سکوی برداشت کمباین به همراه پارامترهای مورد اندازه گیری

Fig. 2. Schematic diagram of combine harvester platform with measuring parameters (Oduori et al., 2008)

$q_2y + r_2$ (۱)
 که در آن پارامترهای خطی در بخش نتیجه مدل فازی سوگنو درجه اول هستند. یک ساختار ساده از سیستم ANFIS در شکل ۳ نشان داده شده است. ساختار ANFIS شامل پنج لایه می شود که در ادامه به شرح مختصر هر لایه پرداخته می شود.

به منظور ساده سازی، فرض می شود که سیستم استنتاجی مورد نظر، دو ورودی x, y و خروجی f دارد. برای یک مدل فازی سوگنو درجه اول، می توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر- آنگاه فازی به صورت رابطه (۱) بیان کرد:

$$\begin{aligned} \text{Rule1} &= \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } f_1 \\ &= p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{Rule2} &= \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } f_2 = p_2x + \end{aligned}$$



شکل ۳- شمای ساده ای از سیستم فازی- عصبی با دو قانون فازی

Fig.3. Simple Structure of neuro- fuzzy system with two fuzzy rules

توابع عضویت هر تابع پارامتری مناسبی می تواند باشد که در اکثر موارد توابع گوسی انتخاب می شوند.
 لایه دوم (گره های قانون): هر گره در این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می کند. خروجی این لایه حاصل ضرب توابع عضویت است که در واقع معادل قسمت اگر قوانین هستند و طبق رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (۳)$$

لایه اول (گره های ورودی): در این لایه درجه عضویت گره های ورودی به بازه های مختلف فازی با استفاده از تابع عضویت مشخص می گردد. توابع عضویت می توانند به صورت تابع زنگوله ای، مثلثی، دوزنقه ای، گوسی و انواع دیگر باشند. توابع عضویت به صورت رابطه (۲) نشان داده می شود:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), & \text{for } i = 1, 2 \\ O_{1,i} &= \mu_{B_i}(x), & \text{for } i = 3, 4 \end{aligned} \quad (۲)$$

لایه پنجم (گره‌های خروجی): در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی را به صورت مجموع همه مقادیر به دست آمده از لایه چهار مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌نماید (تعداد گره‌ها برابر با تعداد خروجی‌ها است).

$$O^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (6)$$

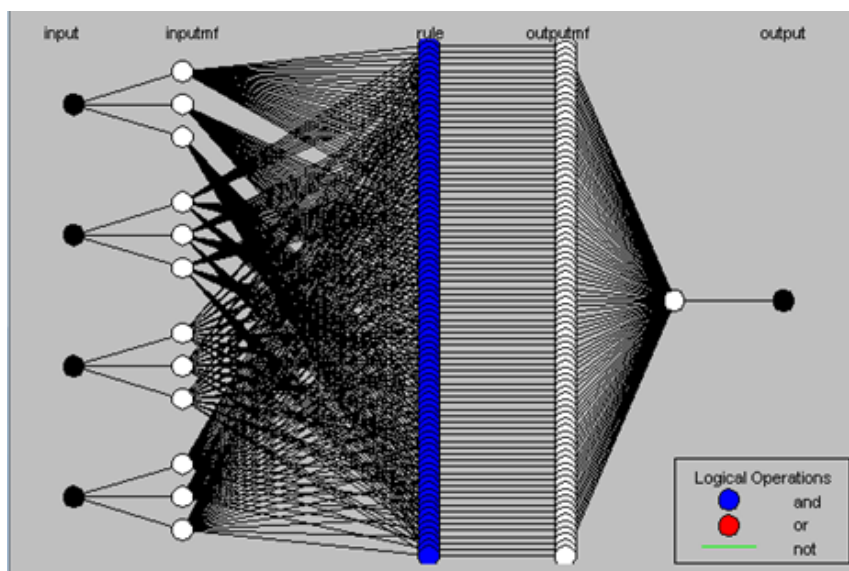
اکنون یک شبکه تولید شده است که معادل سیستم استنتاج فازی سوگنو است. ساختار شبکه‌ای سیستم استنتاج فازی برای مطالعه حاضر در شکل (۴) ارائه شده است.

لایه سوم (گره‌های متوسط): در این لایه آمین گره، نسبت درجه فعالیت قانون \bar{w}_i را به مجموع درجه فعالیت کلیه قوانین با استفاده از رابطه (۴) نرمال‌سازی می‌کند. در آن \bar{w}_i درجه فعالیت نرمال شده قانون \bar{w}_i می‌باشد.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

لایه چهارم (گره‌های نتیجه): در این لایه قوه اشتغال نرمال شده در خروجی ثابت قانون ضرب می‌شود و خروجی هر گره براساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5)$$



شکل ۴- ساختار شبکه فازی- عصبی تطبیق‌پذیر با چهار متغیر ورودی سه سطحی و یک متغیر خروجی

Fig. 4. Structure of ANFIS with four input and one output

مبتنی بر شبکه عصبی در پژوهش حاضر، چهار متغیر ورودی دارد و هر ورودی سه تابع عضویت دارد که منجر به ۸۱ قانون می‌شود. از ابزار ANFIS در نرم‌افزار متلب برای طراحی این سیستم استفاده شد. در طراحی سیستم کنترل فازی-عصبی، گام اول تعیین بهترین ساختار مدل استنتاج فازی است. برای هر یک از چهار متغیر ورودی مدل، سه تابع عضویت گوسی در نظر گرفته شد. بازه تغییرات این متغیرها براساس تجربه اپراتورهای خبره اعمال شد. در بحث تخصیص توابع عضویت، با افزایش تعداد توابع عضویت تخصیص داده شده به ورودی‌ها، اولاً زمان آموزش به طرز محسوسی افزایش پیدا می‌کند و زمان بر بودن می‌تواند نوعی نقص محسوب شود. ثانیاً میزان خطا پس از تخصیص ۳، ۴ و ۵ تابع عضویت روی هر ورودی کاهش نیافت. بنابراین، اختصاص سه تابع عضویت گوسی برای هر

سیستم‌های فازی-عصبی دارای مدل‌های مختلفی هستند که در این مطالعه از مدل فازی تطبیق‌پذیر مبتنی بر شبکه عصبی استفاده شد به عبارت دیگر، کنترل‌کننده ارائه شده در مطالعه حاضر، یک کنترل‌کننده فازی است که از قابلیت یادگیری شبکه‌های عصبی نیز در آن استفاده شده است. الگوریتم کنترلی به کار رفته برای کنترل افت هد کمباین به این صورت عمل می‌کند که اگر افت در بازه بهینه مورد نظر اپراتور نباشد، اپراتور تصمیم به تغییر یکی از پارامترهای مؤثر در میزان افت هد می‌گیرد؛ تعداد متغیرهایی که اپراتور باید تغییر دهد زیاد است و لذا تصمیم‌گیری برای این منظور بر عهده سیستم فازی است و با توجه به فعال نمودن قوانین، سیستم فازی مقادیر مربوط به اجزای عملکرد را به اپراتور پیشنهاد می‌دهد. تغییرات در هر یک از اجزا به مدل عصبی اعمال می‌شود تا نتیجه آن در میزان افت‌ها مشخص گردد و تغییراتی مورد قبول خواهد بود که در مدل شبکه عصبی به بهینه شدن افت بیانجامد. سیستم فازی تطبیق‌پذیر

خطاهای آزمایش از طریق آزمون شاپیرو-ویلک^۲ و یکنواختی واریانس درون تیمارها توسط آزمون بارتلت^۳ تایید شد. ضریب تبیین به دست آمده برای این آزمایش، ۰/۷۱ بود و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۱/۴۰۷ به دست آمد. به این معنی که اثرات اصلی مورد آزمون جمعاً ۷۱٪ از افت را توجیه می کنند. با توجه به تجزیه واریانس داده های آزمایش (جدول ۲) فاکتورهای معنی دار مورد آزمون به ترتیب اهمیت اثرگذاری در میزان افت هد کمباین عبارت از شاخص جنبشی چرخ فلک، ارتفاع برش، فاصله عمودی چرخ فلک از شانه برش و فاصله افقی چرخ فلک از شانه برش هستند و سهم تأثیر هر یک از آن ها در مقدار افت هد کمباین به ترتیب برابر است با: ۴۲/۳۶۶٪، ۴۰/۲۳٪، ۱۱/۰۱۱٪ و ۶/۳۹۱٪.

ارزیابی کنترل کننده فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی

مدل استنتاجی فازی نوع سوگنو برای تولید قوانین فازی از مجموعه داده شده ورودی- خروجی به کار برده شد و تعداد ۸۱ قانون طراحی گردید. در فاز آموزش، مدل استنتاج فازی تولید شده بعد از ۱۰۰ اپوک خطایی معادل $10^{-6} \times 2/14$ را نشان داد که خطای معقول و قابل قبولی است. در مرحله بعد یعنی آزمون شبکه، خروجی های سیستم استنتاج فازی روی داده های فاز آموزش نگاشته می شوند که انطباق بسیار خوبی بین این دو گروه داده مشاهده شد. مقایسه مقادیر پیش بینی شده افت با استفاده از مدل فازی-عصبی با مقادیر اندازه گیری شده افت سکوی برش در آزمون های مزرعه ای، انطباق خوب مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی را نشان داد و ضریب تبیین^۴ برابر با ۰/۹۵۱ برآورد گردید، که توانایی مدل فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی را در پیش بینی مقادیر افت سکوی برش کمباین نسبت به مدل های رگرسیونی که ضریب تبیین خیلی پایین تری دارند، آشکار می سازد (شکل ۵).

شبیه سازی کنترل کننده فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی

شبیه سازی کنترل کننده طراحی شده این امکان را می دهد که میزان مطلوب افت سکوی برش توسط اپراتور تعیین شود. میزان افت مطلوب توسط اپراتور در قسمت Constrain وارد می شود و کنترل کننده می تواند با استفاده از سیستم استنتاج فازی و توابعی که برای این منظور تعریف شده اند، سطح بهینه هر یک از متغیرهای ورودی برای نگهداری افت سکوی برش در میزان تعریف شده مطلوب را پیشنهاد دهد.

ورودی به عنوان حالت ایده آل منظور شد. در این مطالعه کنترل کننده فازی با ۸۱ قانون طراحی گردید. خروجی سیستم فازی اعداد مشخص برای مقدار افت هد می باشند. خروجی حاصل از بهینه ساز فازی به مدل عصبی سیستم اعمال می شود تا مقدار افت محاسبه گردد. در صورتی که میزان افت هد (خروجی سیستم فازی) بزرگ تر از مقدار افت بهینه باشد، متغیرهای ورودی طوری تغییر داده می شوند که مقدار افت در آن تنظیمات بهینه باشد.

گام بعدی، آموزش شبکه می باشد. برای آموزش هر شبکه رویه ای خاص وجود دارد که قاعده یادگیری یا الگوریتم آموزش نامیده می شود. برای آموزش شبکه عصبی- فازی دو الگوریتم یادگیری پس-انتشار خطا و روش هیبرید به کار می رود. روش آموزش هیبرید یکی از مهم ترین روش های آموزش سیستم های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی است. در این روش برای آموزش در لایه اول از روش پس انتشار خطا و در لایه چهارم از روش تخمین کم ترین مربعات استفاده می شود. از کل داده های موجود ۸۰ درصد داده ها برای فاز آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفتند و ۲۰ درصد از داده ها نیز برای فاز آزمون باقی گذاشته شد. در این مطالعه برای ارزیابی مدل ها از معیار خطا استفاده شد. همچنین به منظور مقایسه قدرت پیش بینی مدل فازی مبتنی بر شبکه عصبی با سایر روش ها از جمله روش رگرسیون، از معیار ضریب همبستگی استفاده شد. مقدار ضریب همبستگی بالا و نزدیک به یک، بیان گر ارتباط قوی خطی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی است. در نهایت، سیستم کنترل کننده فازی مبتنی بر شبکه عصبی برای تنظیم بهینه اجزای هد کمباین برداشت به صورت گرافیکی شبیه سازی شد تا چگونگی عمل قوانین طی شبیه سازی مشاهده شود. برای این کار از نرم افزار سیمولینک (نرم افزار شبیه سازی که از طریق شرکت Mathwork قابل دسترسی است) استفاده شد. برای ساخت سیستم سیمولینک که از منطق فازی استفاده می کند، در مرورگر کتابخانه سیمولینک، FuzzyLogicToolbox انتخاب گردید. در این هنگام کتابخانه ای پدیدار می شود که شامل قالب کنترل کننده منطق فازی است. این کتابخانه، زیر کتابخانه توابع عضویت را نیز در بر دارد که محتوی قالب های سیمولینک برای توابع عضویت است.

نتایج و بحث

تحلیل نتایج آزمایش افت سکوی برش کمباین به روش فاکتوریل ناقص

نمونه های تهیه شده از آزمایش های مزرعه ای برای اندازه گیری افت هد کمباین به دانشگاه تبریز منتقل و تفکیک شدند و سپس نتایج استخراج شد. قبل از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع

2- Shapiro-Wilk test

3- Bartlett's test

4-Coefficient of determination

1- Simulink

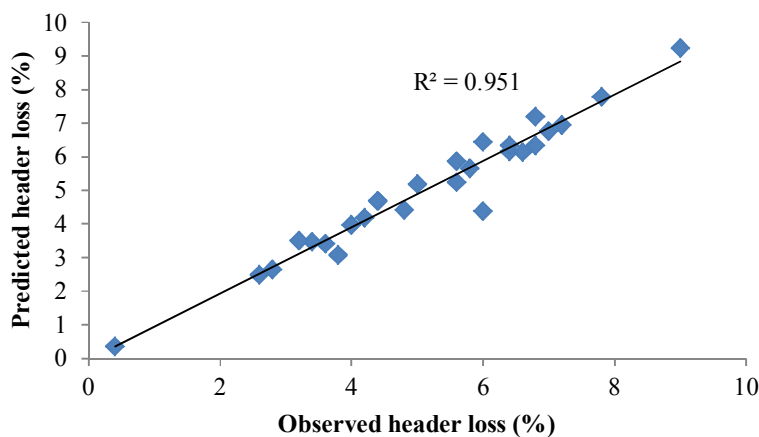
جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری افت سکوی برش کمباین

Table 2- Analysis of variance for the factors influencing gathering loss of combine header

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean Square	سطح معنی‌دار Significant level
مدل Model	26	10.492	5.298**
تیمارها: Treatments:			
شاخص جنبشی چرخ‌فلک Reel index	2	40.674	20.542**
ارتفاع برش Cutting height	2	40.474	20.441**
فاصله افقی چرخ‌فلک از شانه‌برش (Hd, Fig.1)	2	6.953	3.511*
فاصله عمودی چرخ‌فلک از شانه‌برش (Vd, Fig.1)	2	37.823	19.102**
اثرات متقابل Interaction effects	18	1.44	0.727 ^{ns}
خطا Error	54	1.980	-

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ns غیر معنی‌دار

* Significant in level of 0.05 ** Significant in level of 0.01 ns is not significant

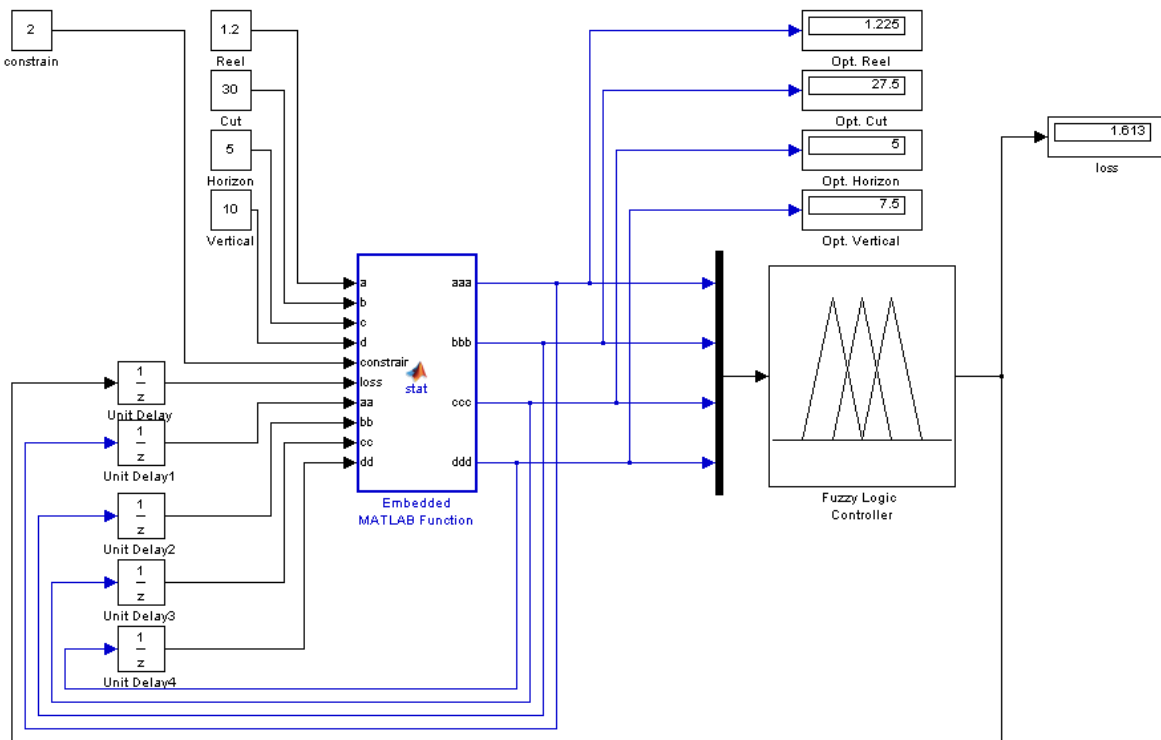


شکل ۵- مقادیر مشاهده شده افت سکوی برش کمباین و مقادیر پیش‌بینی شده افت با استفاده از مدل فازی-عصبی

Fig. 4. Observed and predicted values for combine header loss by Neuro- Fuzzy model

شده است قابل مشاهده می‌باشد. شکل ۶ شبیه‌سازی کنترل‌کننده فازی-عصبی برای کنترل افت سکوی برش کمباین را نشان می‌دهد.

توابع طوری تعریف شدند که کنترل‌کننده تنظیمات متغیرها را به ترتیب تأثیری که بر میزان افت سکوی برش دارند، انجام می‌دهد و در هر مرحله از تغییر تنظیمات میزان افت سکوی برش را با افت مورد نظر اپراتور کنترل می‌کند که اگر افت سکوی برش بیش‌تر از مقدار افت مورد نظر شد، تنظیمات دیگری را اعمال کند و در غیر این صورت با همان تنظیمات به کار خود ادامه دهد. افت سکوی برش در هر اجرای شبیه‌سازی، در بلوک Display که به این منظور قرار داده



شکل ۶- شبیه سازی کنترل کننده فازی- عصبی برای کنترل افت سکوی برش کمباین
 Fig. 6. Simulation of neuro- fuzzy system to control combine header loss

روش فاکتوریل ناقص برابر با 0.71 محاسبه شد که با توجه به آن، می توان گفت که ۲۷ تیمار مورد آزمایش جمعاً 71% از افت را توجیه می کنند. جذر میانگین مربعات خطا به میزان $1/4.07$ محاسبه گردید. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که شاخص جنبشی چرخ فلک مهم ترین عامل اثرگذار بر میزان افت سکوی برش کمباین است و ارتفاع برش با مقدار اندکی اختلاف از شاخص جنبشی در جایگاه دوم قرار دارد و فواصل عمودی و افقی چرخ فلک از شانه برش به ترتیب در رتبه های بعدی اهمیت قرار می گیرند. سطوح بهینه تعیین شده برای فاکتورها نیز به ترتیب سطح دوم برای شاخص جنبشی چرخ فلک $(1/2)$ ، سطح اول ارتفاع برش (۲۵ سانتی متر)، سطح اول فاصله عمودی چرخ فلک از شانه برش (۵ سانتی متر) و سطح سوم فاصله افقی چرخ فلک از شانه برش (۱۰ سانتی متر) بودند.

مقایسه مقادیر پیش بینی شده افت با استفاده از مدل فازی- عصبی با مقادیر اندازه گیری شده افت هد در آزمون های مزرعه ای، انطباق خوبی را نشان داد و ضریب تبیین برابر با 0.95 برآورد گردید، که توانایی مدل فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی را در پیش بینی مقادیر افت سکوی برش کمباین نسبت به مدل های

از مهم ترین مزایای کنترل کننده شبیه سازی شده مذکور، سرعت محاسباتی بالا است که در زمان یک ثانیه در مورد تنظیمات بهینه اجزای سکوی برش کمباین تصمیم گیری کرده و مقدار افت را نیز در آن شرایط حساب می کند و با مقدار مطلوب مقایسه می نماید. کنترل کننده طراحی شده را می توان با اعمال تغییراتی اندک مطابق با آزمایشات انجام شده برای هر محصول و هر نوع کمباین مورد استفاده قرار داد.

نتیجه گیری

در این مطالعه یک سیستم فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای انجام بهینه کردن تنظیمات هد کمباین به منظور کاهش افت شبیه سازی شد. از بین عوامل مؤثر بر میزان افت هد کمباین، شاخص جنبشی چرخ فلک، ارتفاع برش محصول و فاصله افقی و عمودی چرخ فلک از شانه برش برای بررسی افت انتخاب شدند. آزمون های مزرعه ای برای تعیین اثر تنظیمات مختلف اجزاء سکوی برش بر افت این واحد طبق طرح آزمایشی فاکتوریل ناقص انجام شدند. مقدار ضریب تبیین نتایج حاصل از آزمون مزرعه ای با

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس برای در اختیار قراردادن کمباین و فراهم کردن شرایط انجام آزمایشات سپاسگزاری می نمایند.

رگرسیونی که ضریب تبیین خیلی پایین تری دارند، آشکار می‌سازد. پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی تنظیمات اجزای هد کمباین علاوه بر میزان افت هد، با در نظر گرفتن عملکرد محصول نیز انجام شود.

References

1. Behrooz-Lar, M. 2000. Grain harvest: engineering principles of agricultural machines. Azad Islamic University Press. Tehran, Iran. (In Farsi).
2. Behrooz-Lar, M., M. Hassanpour, H. Sadeghnejad, A. Asadi, A. Khosravani, and M. Saati. 1995. Final research report: Combine harvesting loss. Agricultural Engineering Research institute. Karaj, Iran. (In Farsi).
3. Benson, E. R., J. F. Reid, and Q. Zhang. 2000. Development of an automated combine guidance system. ASAE Paper No. 003137.
4. Craessaerts, G., J. De Baerdemaeker, B. Missotten, and W. Saeys. 2009. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester. *Biosystems Engineering* 106: 103-111.
5. Jalaei, A., and M. Javidi. 2004. Investigation of combine cleaning shoe to implementation of a fuzzy logic controller. The 3th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization. Kerman, Iran. (In Farsi).
6. Jang, J. R. 1993. ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics* 23: 665-685.
7. Junsiri, C., and W. Cinsuwan. 2009. Prediction equations for header losses of combine harvesters when harvesting Thai Hom Mali rice. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 31: 613-620.
8. Leonard, J. J., and R. A. Maki. 1990. An automatic cutterbar height controller for grain harvesting machines. SAE Technical Paper Series No. 901560.
9. Ma, X. 2003. Harvester with intelligent hybrid control system in 6553300B2 UPN, ed.
10. Mesri Gundoshmian, T., H. R. Ghassemzadeh, S. Abdollahpour, and H. Navid. 2010. Application of artificial neural network in prediction of the combine harvester performance. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8: 721-724.
11. Oduori, M. F., O. T. Mbuya, J. Sakai, and E. Inoue. 2008. Shattered rice grain loss attributable to the combine harvester reel: Model formulation and fitting to field data. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 06013. Vol. X. March.
12. Omid, M., M. Lashgari, H. Mobli, R. Alimardani, S. Mohtasebi, and R. Hesamifard. 2010. Design of fuzzy logic control system incorporating human expert knowledge for combine harvester. *Expert Systems with Applications* 37: 7080-7085.

Simulation of neuro-fuzzy model for optimization of combine header setting

S. Zareei^{1*} - S. Abdollahpour²

Received: 04-01-2015

Accepted: 10-08-2015

Introduction

The noticeable proportion of producing wheat losses occur during production and consumption steps and the loss due to harvesting with combine harvester is regarded as one of the main factors. A grain combines harvester consists of different sets of equipment and one of the most important parts is the header which comprises more than 50% of the entire harvesting losses.

Some researchers have presented regression equation to estimate grain loss of combine harvester. The results of their study indicated that grain moisture content, reel index, cutter bar speed, service life of cutter bar, tine spacing, tine clearance over cutter bar, stem length were the major parameters affecting the losses.

On the other hand, there are several researchs which have used the variety of artificial intelligence methods in the different aspects of combine harvester.

In neuro-fuzzy control systems, membership functions and if-then rules were defined through neural networks. Sugeno-type fuzzy inference model was applied to generate fuzzy rules from a given input-output data set due to its less time-consuming and mathematically tractable defuzzification operation for sample data-based fuzzy modeling. In this study, neuro-fuzzy model was applied to develop forecasting models which can predict the combine header loss for each set of the header parameter adjustments related to site-specific information and therefore can minimize the header loss.

Materials and Methods

The field experiment was conducted during the harvesting season of 2011 at the research station of the Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. The wheat field (CV. *Shiraz*) was harvested with a Claas Lexion-510 combine harvester. The factors which were selected as main factors influenced the header performance were three levels of reel index (RI) (forward speed of combine harvester divided by peripheral speed of reel) (1, 1.2, 1.5), three levels of cutting height (CH) (25, 30, 35 cm), three levels of the horizontal distance of reel tine bar from cutter bar (Hd) (0, 5, 10 cm) and three levels of vertical distance of reel tine bar from cutter bar (Vd) (5, 10, 15 cm) which are taken as the input variables for neuro-fuzzy model and only combine header loss is output of the model.

Some frames with the dimensions of $50 \times 50 \text{ cm}^2$ were randomly used to determine the amount of header loss. In order to determine the header loss, the frame was placed on the ground in the vacant place behind the cutter bar, where output material from the back of the combine was not allowed to pour on the ground. Grains and ears found inside the frame were gathered, weighed and then the amount of pre-harvest loss was subtracted from it. A fractional factorial design based on a completely randomized design was used to determine the header loss. Each test was repeated three times and for each repetition.

The structure of neuro-fuzzy model for this study has four inputs and each input variable as mentioned and three Gaussian membership functions (mf), result in 81 rules.

Results and Discussion

A neuro-fuzzy model was developed for predicting the combine header loss based on reel index, cutting height, the horizontal distance of reel tine bar from the cutter bar and vertical distance of reel tine bar from cutter bar as input variables. The Model has three membership functions for each input. Gaussian membership functions and rules were defined for knowledge representation of header loss.

1- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

2- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(* - Corresponding Author Email: s.zareei@uok.ac.ir)

Predicting header loss is an important issue for minimizing the amount of harvest grain losses. Neuro-fuzzy model presented a satisfactory application to describe header loss of a combine harvester. It showed R^2 equal to 0.95 which is superior to multiple regression method with 0.71. In fact, the amount of coefficient of determination is a good indicator to check the prediction performance of the model. Based on developed neuro-fuzzy system model, levels of reel index, cutting height, the horizontal distance of reel tine bar from cutter bar and vertical distance of reel tine bar from cutter bar could be recommended according to minimize header loss.

Conclusions

In the final step, the designed controller was simulated in SIMULINK. The Controller can change setting of header components in order to their impact on gathering loss and in each step, compare gathering loss with optimal value and if it was more than optimum then change the settings again. The simulation results were evaluated satisfactory.

Keywords: Combine harvester, Header, Loss, Neuro-fuzzy model, Simulation