DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.44352.1148

ارائه مدل ریاضی افت عقب کمباین غلات در برداشت مکانیزه محصول سویا

علی میرزازاده[۱*]، ابراهیم کلاهی[۲] و شمس‌اله عبداله‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱

۱- گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان، پارس آبادمغان، ایران
۳- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
* مسئول مکاتبه E-mail: ali.mirzazadeh@uma.ac.ir

چکیده

برداشت محصول سویا بیش‌تر به‌صورت مکانیزه با کمباین متداول غلات انجام می‌گیرد. تلفات برداشت مکانیزه این محصول یکی از مشکلات مهم در کشاورزی است. برای داشتن حداقل افت باید فرآیند عمل‌آوری محصول (برش، کوبش، جدایش و ...) بهینه گردد. بیان رفتار کمباین و بخش‌های آن به صورت ریاضی و ارایه مدل رفتاری آن، اولین قدم در عملی شدن موضوع فوق است. بدین منظور تحقیق حاضر در این راستا انجام شد. به طوری‌که تاثیر فاکتورهای سرعت پیشروی، رطوبت محصول در هنگام برداشت و تراکم محصول بر افت عقب کمباین جاندیر ۹۵۵ روی برداشت محصول سویا بررسی شده و مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی افت عقب کمباین ارایه گردید. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر سه عامل روی میزان افت عقب کمباین معنی‌دار است. به طوری که میزان افت با افزایش سرعت پیشروی کمباین، تراکم محصول و محتوای رطوبتی محصول افزایش یافت. با وجود معنی‌دار بودن برخی از اثرات متقابل عوامل، این اثرات غالباً از نوع تغییر در مقدار بودند. با توجه به معنی‌دار بودن اثر این سه عامل روی افت عقب محصول و برای بیان رابطه ریاضی متغیرهای مستقل (سرعت پیشروی، رطوبت محصول در هنگام برداشت و تراکم محصول) با متغیر وابسته (افت عقب) از رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که یک رابطه معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. همچنین بالا بودن ضریب استاندارد شده مربوط به سرعت پیشروی کمباین نسبت به‌سایر ضرایب نشان از اهمیت بالای این متغیر نسبت به دو متغیر مستقل دیگر روی میزان افت عقب کمباین داشت.

واژه‌های کلیدی: افت، سویا، کمباین غلات، مدل ریاضی

Proposing the Mathematical Model of Combine Harvester Rear Losses in Soybean Harvesting

Ali Mirzazadeh[1], Ebrahim Kolahi[2] and Shamsollah Abdollahpour[3]

Received: 30 Jan 2021 Accepted: 22 May

1- Department of Agricultural Engineering & Technology, Faculty of Agriculture & Natural Resources Moghan, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- M.S. in Engineering of Agricultural Mechanization, Moghan Agro-industrial & Livestock (MAIL) Co., Pars Abad Moghan, Iran
3- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Corresponding author: ali.mirzazadeh@uma.ac.ir

Abstract

Soybean is mostly harvesteds by conventional grain combine harvesters. Harvesting losses is one of the major issues in this way. Harvesting losses cannot be reduced to zero, but using the correct methods and proper equipments could reduce it to an acceptable level. Estimate of the losses rate in harvesting stage and recognition of effective factors in essentioal to decrease the losses. For reaching to a minimum loss, each one of harvesting processes (cutting, threshing, separation and …) must be optimized in operation. In this study the influence of forward speed, moisture content and plant density factors were used to make a mathematical model for John Deere 955 combine harvester rear losses. The experiments were conducted in soybean farms in Moghan plain, which is one of the major soybean prodcution areas in Ardabil province, Iran. For statistics a 3×3×3 factorial pattern based on randomized complete block design with 3 replications (in total 81 tests) was used. The effects of forward speed (in three levels of 1.8, 2.5 & 3.2 km h^{-1}), moisture content (15, 19 & 23%) and soybean plant density (40, 50 and 60 plant m^{-2}) were tested again combine harvester rear losses (%). ANOVA results showed that the effects of all three factors with the double and triple interactions were significant at 1% probability level on rear losses. The losses were increased with increasing forward speed, plant density and moisture content. Linear regression was used to determine the relationship between dependent and independent parameters. The results of regression analysis of the model showed that 77% of the combine harvester rear losses is justified by the three variables studied in this study. The higher standardized coefficient of combine forward speed in the model make it the greatest effect on the rate of combine harvester rear losses.

Keywords: Cobmine harvester, Mathematical model, Rear losses, Soybean

How to cite:

Mirzazadeh, A., Kolahi E., and Abdollahpour, Sh. 2021. *Proposing the Mathematical Model of Combine Harvester Rear Losses in Soybean Harvesting*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (1): 31-38.

۱- مقدمه

طبق پیش بینی‌های به عمل آمده تا سال ۲۰۵۰ میلادی، جمعیت کره زمین به ۹/۷ میلیارد نفر خواهد رسید (Anonymous, 2019). این رشد سریع جمعیت در جهان نیازمند اندیشیدن تدابیر لازم برای تامین امنیت غذای بشر در سال‌های آتی می‌باشد. در این میان محصولات صنعتی (دانه‌های روغنی) و فرآورده‌های مرتبط در زندگی بشر نقش بسیار اساسی دارد. در بین این محصولات صنعتی، سویا نقش پر رنگی دارد، به‌طوری‌که تولید بالای ۳۵۲ میلیون تن در سال نشان از اهمیت آن دارد (FAO, 2017). از طرفی هرساله مناطق وسیعی از اراضی کشاورزی کشور (بالای ۸۰ هزار هکتار) زیر کشت سویا می‌رود (Anonymous, 2015). برداشت سویا در کشور به دو روش انجام می‌شود: در روش اول (مکانیزه)، با استفاده از کمباین، عمل برداشت سویا انجام می‌گیرد، در این روش زمان کوتاه و هزینه پایین است، اما مقداری از محصول در انتهای بوته‌ها بر روی زمین می‌ماند و برداشت نمی‌گردد. لذا افت محصول در این روش بیشتر از روش برداشت دستی است. برای برداشت دانه می‌توان از کمباین معمولی غلات ریزدانه استفاده نمود. استفاده مؤثر از کمباین نیازمند کاشت ارقامی است که دارای ارتفاع متوسط تا بلند (حدود ۷۵ تا ۱۰۰سانتی‌متر) بوده، ساقه اصلی نازک، تعداد شاخه‌های جانبی در آن محدود و ارتفاع پایین‌ترین نیام‌ها از سطح خاک بیش از ۱۰ سانتی‌متر

- ✓ کمّی کردن پارامتر های فرآیند های دینامیکی غیر قابل اندازه‌گیری
- ✓ کاهش موثر هزینه‌ها و زمان آزمایش
- ✓ پیش بینی دقت عملکرد واحد در طی گستره وسیعی از تغییرات پارامترها
- ✓ کلیدهای برنامه‌ریزی برای شبیه‌سازی فرآیند دینامیکی و بهینه سازی پارامترهای طراحی و عملیاتی واحد کاری
- ✓ محاسبه اجزاء برای توسعه سیستم کنترل خودکار کمباین برای بهبود عملکرد کلی در عملیات مزرعه‌ای ابزار تحقیقاتی برای بهبود بیش‌تر طراحی و توسعه واحدهای جدید (Miu & Kutzbach, 2008).

Fazel *et al.* (2008) طی پژوهشی که در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) اجرا شد، اقدام به اندازه‌گیری افت برداشت محصول سویا در بخش‌های مختلف کمباین-های متداول داخلی نمودند. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش عبارت بودند از: ۱. برداشت مستقیم با کمباین کلاس دارای چرخ و فلک تسمه-ای؛ ۲. برداشت مستقیم با کمباین جاندیر دارای چرخ و فلک انگشتی‌دار؛ ۳.برداشت مستقیم با کمباین جاندیر مجهز به شانه برش شناور و ۴.برداشت دو مرحله‌ای شامل درو و ردیف کردن با استفاده از ابزار دستی باشد. در روش دوم که موسوم به روش دستی (نیمه مکانیزه) است، بوته‌ها به‌صورت دستی توسط کارگر با داس چیده شده و سپس به دهانه کمباین منتقل می‌شوند. در این روش، افت محصول به حداقل می‌رسد، اما هزینه کارگری افزایش پیدا می‌کند. تلفات برداشت محصول سویا یکی از مشکلات مهم کشاورزان در استفاده از روش مکانیزه می‌باشد. ریزش دانه-های رسیده در زمان برداشت محصول، توسط کمباین یا هر وسیله دیگری که برای درو استفاده می‌شود یکی از عواملی است که زیان اقتصادی بسیاری به کشاورزان وارد می‌کند (Soleimani & Kasra'ei, 2012). تلفات برداشت را نمی‌توان به صفر کاهش داد ولی با استفاده از روش صحیح و تنظیمات مناسب ماشین، امکان کاهش آن به‌سطح قابل قبول وجود دارد (Mostofi *et al.* 2014). این تلفات در اندام‌های مختلف کمباین اتفاق می‌افتد که بیش‌ترین مقدار آن در هد (دماغه) کمباین حادث می‌گردد. برآورد میزان افت‌ها در مرحله برداشت برای اطلاع از مقدار آن، شناخت عوامل مؤثر و ارایه راهکار به‌منظور کنترل و کاهش تلفات امری ضروری است. برای داشتن حداقل افت باید فرآیند عمل‌آوری محصول (برش، کوبش، جدایش و ...) بهینه گردد. بیان رفتار کمباین و بخش‌های آن به‌صورت ریاضی و ارایه مدل رفتاری آن، اولین قدم در عملی شدن موضوع فوق می‌باشد. ارائه مدل ریاضی مناسب مزیت‌های زیر را دارد:

- ✓ ایجاد درک جامع از روابط اساسی فرآیندهای فیزیکی

توسط کارگر و کوبیدن توسط کمباین جاندیر. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین تلفات در هد کمباین‌ها و به میزان ۱۰/۱۹درصد در کمباین کلاس اندازه‌گیری شد. (Razmi, 2010)، مطالعه‌ای تحت عنوان اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر برخی خصوصیات زراعی عملکرد دانه سویا و اجزای آن در ژنوتیپ‌های سویا در منطقه مغان انجام داد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد اثر جمعیت گیاهی بر ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می باشد. Charles *et al.* (1993)، میزان کل افت برداشت سویا توسط کمباین را بالای ۱۰ درصد محاسبه کردند. در این پژوهش میزان افت به تفکیک منابع آن شامل افت قبل از برداشت ۰/۵ درصد، افت هد ۸/۵ درصد، افت کوبنده ۰/۵ درصد و افت جداکننده را ۰/۵ درصد به‌دست آمد. بررسی‌های انجام شده توسط James & wills (2009) در دانشگاه کنتاکی نشان می‌دهد که افت برداشت سویا به‌طور میانگین حدود ۱۰ درصد است که این مقدار در بدترین حالت می‌تواند به بالاتر از ۲۰ درصد و در کم‌ترین مقدار خود به ۱ تا ۲ درصد برسد. در این تحقیق تنظیمات صحیح کمباین مهم‌ترین عامل در کاهش میزان افت کل شناخته شد. هم‌چنین پژوهش اخیر نشان داد که بیش از ۸۰ درصد میزان افت کل برداشت سویا مربوط به هد و مابقی به اندام‌های درونی کمباین (واحد کوبنده، واحد جداکننده و واحد تمیزکننده) مربوط می‌گردد. Hirai *et al.* (2005) به‌ارزیابی چهار نوع هِد برداشت محصول

سویا و تاثیر آن‌ها در افت پرداختند. چهار نوع هد بررسی شده در این پژوهش عبارت بودند از: ۱- هِد ثابت غلات ۲- هِد شناور ۳- هِد محصولات ردیفی و ۴- هد مجهز به میله‌های محافظ. نتایج ارزیابی انجام شده نشان داد برخلاف تحقیقات سایر پژوهشگران که در گذشته انجام شده، اختلاف معنی‌داری در بین این هدها بر روی افت وجود ندارد و همچنین میزان افت کلی، بر خلاف گزارشات سایر پژوهشگران، بین ۱ الی ۲ درصد می‌باشد. طی مطالعات انجام شده توسط Nave & (2013) Paulsen در دانشگاه ایلینویز، تلفات کمباین برداشت کننده محصول سویا تحت تاثیر رطوبت‌های متفاوت و ارتفاع‌های مختلف هد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد بیشتریت میزان افت با مقدار ۹/۴۴درصد در واحد جمع آوری کمباین برداشت‌کننده محصول اتفاق می‌افتد. بررسی پژوهش‌های مرتبط با تلفات برداشت مکانیزه محصولات کشاورزی نشان می‌دهد اغلب این تحقیقات روی محصولات غله‌ای همانند گندم و جو بوده و تحقیقات کمتری در زمینه بررسی علل افت مکانیزه محصول سویا انجام گرفته است. لذا در این تحقیق ضمن بررسی تاثیر فاکتورهای سرعت پیشروی، رطوبت محصول در هنگام برداشت و تراکم محصول سویا بر افت عقب کمباین متداول (جاندیر ۹۵۵)، مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی افت عقب کمباین با در نظر گرفتن فاکتورهای مورد مطالعه ارایه گردید.

۲- مواد و روش‌ها

در چند سال اخیر، نحوه کشت مکانیزه سویا و فاصله روی ردیف و بین ردیف‌های سویا در منطقه زرخیز مغان دستخوش آزمون و خطاهای زیادی گردیده است. به طوری که کشت این محصول در حال حاضر: ۱- با کمک دستگاه عمیق کار (دیمکار) غلات و به صورت در هم و با فاصله ۱۳/۵ سانتی متری و به‌صورت هیرم کاری ۲- با کمک دستگاه ردیفکار پنوماتیکی با فاصله ۷۵سانتی متری و روی هر پشته یک ردیف سویا ۳- با کمک دستگاه ردیفکار پنوماتیکی با فاصله ۷۵سانتی متری و روی هر پشته دو و یا سه ردیف سویا انجام می گیرد. کشت به روش های فوق باعث ایجاد تراکم های مختلف در سطح مزرعه می گردد. علی الخصوص کشت به دو روش اخیر، جدیداً در دو سه سال اخیر در مغان انجام گردیده و هنوز در بین کشاورزان از دیدگاه های مختلف (اعم از راحتی کار مکانیزه، عملکرد، کاهش مصرف بذر و . . .) مورد شبهه و بررسی قرار دارد. لذا انتخاب تراکم کشت بعنوان یک فاکتور اصلی در این پژوهش بدین سبب اختیار گردید تا پاسخی در خور به دغدغه این عزیزان به‌صورت عملیاتی داده شود. در مورد انتخاب سرعت کمباین هم به عنوان فاکتور اصلی این پژوهش، تاثیر این فاکتور بر ظرفیت کاری کمباین با توجه به این نکته مهم که زمان برداشت سویا در منطقه زرخیز مغان مصادف با شروع فصل بارانی پاییز و آماده سازی زمینهای آزاد شده سویا برای کشت آتی می باشد. همچنین فاکتور سرعت علاوه بر تاثیر بر ظرفیت کاری و افت عقب، میزان افت هد کمباین را نیز تحت تاثیر قرار می دهد به طوری که با افزایش سرعت پیشروی، امکان در رفت غلاف های سویا و برداشت ناقص محصول و در نتیجه افت هد و بالتبع کاهش ورودی دانه های سویا (علی رغم افزایش MOG ورودی به داخل کمباین) که این خود میزان محاسبه افت عقب را تحت تاثیر قرار خواهد داد، وجود دارد. لذا آزمایشات این پژوهش در مزارع سویای دشت مغان، که از نواحی عمده سویا کاری استان اردبیل و کشور می‌باشد، انجام شد. برای این منظور از یک دستگاه کمباین جاندیر مدل ۹۵۵ ساخت کارخانه کمباین-سازی اراک استفاده گردید. برای انجام آزمایشات سه مزرعه مجزا با تراکم های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در متر مربع، که قبلا با رقم ویلیامز کشت شده بود، انتخاب شدند. در این مطالعه، افت عقب کمباین که عبارت از مجموع افت‌های کوبنده، جداکننده و تمیزکننده می‌باشد، به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. جدول ۱ سطوح مختلف انتخاب شده هر تیمار در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایشات
Table 1. Different levels of factors used in experiments

فاکتور Factor	سطح Level
سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت) Forward speed (km/hr)	A1= 1.8 A2= 2.5 A3= 3.2
رطوبت محصول (درصد) Moisture content (%)	B1= 15 B2= 19 B3= 23
تراکم بوته (تعداد در واحد سطح) Plant density (N/m^2)	C1=40 C2= 50 C3= 60

به‌منظور مطمئن شدن از سرعت پیشروی تثبیت شده کمباین (۱/۸، ۲/۵ و ۳/۲) در طول برداشت، کرت‌ها به تعداد ۸۱ عدد در وسط هر نوار برداشت به طول ۱۰ متر و عرض ۴/۲ متر (عرض هد کمباین) تعیین شدند. به‌طوری‌که با شروع برداشت هر نوار، سرعت تا مقدار مد نظر افزایش داده شده و قبل از رسیدن به ابتدای کرت، در عدد مورد نظر تثبیت می‌گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت محصول نیز، از یک رطوبت-سنج دیجیتالی سیار مدل رسا ۴۰۰۰، استفاده شد. رطوبت مزارع به مدت ۱۵ روز به‌صورت ممتد یادداشت شده و آزمایشات روی هر مزرعه در رطوبت مورد نظر انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد محصول در هر مزرعه قاب چوبی به ابعاد ۱×۱ مترمربع ساخته شد و سپس در ۵ نقطه از هر مزرعه و به‌صورت تصادفی انداخته شده و کل محصول داخل قاب با قیچی درو شده و دانه‌های موجود جدا گردیده و پس از توزین و

میانگین‌گیری، به‌عنوان عملکرد مزارع در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری افت عقب کمباین که در این آزمایش مجموع افت‌های کوبنده، جداکننده و تمیز کننده به‌عنوان افت عقب در نظر گرفته شده، از یک پارچه برزنتی به ابعاد سه در چهار مترمربع استفاده شد. به‌طوری که هم‌زمان با برداشت محصول توسط کمباین که به حالت پایدار و سرعت مورد نظر رسیده بود، به مسافت ۱۰ متر، تمام خروجی کمباین از عقب در این پارچه جمع‌آوری شد. مواد جمع‌آوری شده روی پارچه از هر آزمایش تفکیک شده و دانه-های جمع‌آوری شده (دانه آزاد و دانه‌های نیم‌کوب) در کیسه‌های پلاستیکی با یک ترازوی حساس دیجیتالی توزین گردید (شکل۱).

شکل ۱- اندازه گیری افت عقب کمباین
Fig 1. Measurment of combine harvester loss

با توجه به این‌که عرض هد کمباین ۴/۲ متر بود و میزان افت در ۱۰ متر طول برداشت اندازه‌گیری می‌شد، این میزان، مطابق رابطه (۱)، به یک هکتار یا ۱۰۰۰۰ متر مربع تعمیم داده شد:

$$\text{درصد}(\%) = \frac{\frac{\text{وزن بدست آمده از هر آزمایش (گرم)}}{4.2\times10\ \text{m}^2}}{\frac{\text{عملکرد محصول(گرم)}}{10000\ m^2}} \qquad (۱)$$

سپس داده‌های به‌دست آمده پس از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها در نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس افت محصول در سطوح مختلف فاکتورهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق جدول اثرات اصلی فاکتورهای مورد مطالعه همراه با اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

جدول۲- تجزیه واریانس مربوط به میزان افت محصول
Table 2. ANOVA related to the amount of crop loss

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)	F
سرعت Speed	2	0.377	402.94*
رطوبت Moisture	2	0.365	390.22*
تراکم کاشت Plant density	2	0.297	317.96*
سرعت× رطوبت Speed×Moisture	4	0.005	5.7*
سرعت× تراکم کاشت Speed×density	4	0.009	9.64*
رطوبت× تراکم کاشت Moisture×density	4	0.007	7.74*
سرعت× رطوبت× تراکم کاشت Speed×moisture×density	8	0.018	18.99*
خطا Error	54	0.001	

*: معنی دار در سطح احتمال ۵٪

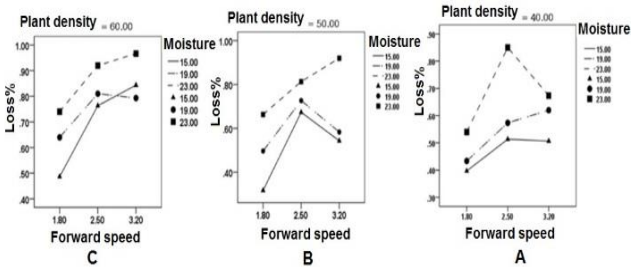
مقایسه نمودار اثرات متقابل معنی‌دار نشان می‌دهد معنی‌داری اثرات دوگانه (سرعت× رطوبت، سرعت× تراکم کاشت و رطوبت× تراکم کاشت) غالباً از نوع تغییر در مقدار می‌باشند. از این رو علاوه بر نتایج مربوط به اثرات اصلی، اثر متقابل سه گانه نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جدول ۳ مقایسه میانگین درصد افت محصول سویا در سطوح مختلف سرعت پیشروی را نشان می دهد.

جدول ۳- مقایسه میانگین میزان افت محصول سطوح مختلف عامل‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Fig 3. Comparison of the average loss of different levels of agents with Duncan test at 5% probability level

فاکتور	سطوح عامل‌ها	میانگین
سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت) Forward speed (km/hr)	A1= 1.8	0.52 a
	A2= 2.5	0.72 b
	A3= 3.2	0.74 b
رطوبت محصول (درصد) Moisture content (%)	B1= 15	0.56 a
	B2= 19	0.63 b
	B3= 23	0.77 c
تراکم بوته (تعداد در واحد سطح) Plant density (N/m^{-2})	C1= 40	0.57 a
	C2= 50	0.64 b
	C3= 60	0.77 c

جدول اخیر نشان می‌دهد میانگین افت محصول در سطح اول با دو سطح بعدی سرعت از نظر آماری در سطح احتمال ۵ در صد معنی‌دار می‌باشد به‌طوری‌که بیشترین میزان افت در سطح سوم با مقدار ۰/۷۴درصد و کمترین میزان افت در سطح اول سرعت با مقدار ۰/۵۲در صد مشاهده گردید. همان‌طور که از این جدول قابل فهم است میزان تلفات با افزایش سرعت افزایش پیدا می‌کند. از جمله دلایل افزایش تلفات در سرعت‌های بالای پیشروی کمباین می‌توان به بیش‌بار شدن بخش‌های داخلی آن در اثر افزایش سرعت پیشروی اشاره کرد که به موجب این بیش‌باری، فرصت جداشدن دانه از مواد غیردانه‌ای کمتر می شود. ضمناً افزایش سرعت پیشروی کمباین، موجب افزایش شدت تغذیه مواد دانه‌ای و غیردانه‌ای به داخل کمباین شده و این افزایش اخیر موجب می‌شود غلاف‌های بالا و پایین لایه محصول داخل فضای کوبش، ضربات بیشتری نسبت به غلاف‌های داخل لایه محصول دریافت کنند و این خود سبب افزایش افت کوبنده و به دنبال آن سبب افزایش افت عقب کمباین می‌گردد. علاوه بر این در سرعت پیشروی بالاتر، غلاف‌ها زمان کافی برای دریافت ضربات متوالی کوبنده را نداشته، لذا میزان کوبش کمتر و میزان افت عقب بیشتر می‌شود. نتایج این بخش با تحقیقات انجام یافته توسط Mirzazade*h et al.* (2011) و نیز Lamp *et al.* (1962) مطابقت دارد. همچنین از جدول ۳ قابل مشاهده است که درصد افت محصول با افزایش میزان رطوبت به‌طور معنی‌داری (در سطح آماری ۵ درصد) افزایش پیدا کرده است. از جمله دلایل احتمالی افزایش میزان افت با افزایش محتوای رطوبتی محصول می‌توان به ازدیاد محصول کوبیده نشده و در نتیجه افت در قالب دانه نیم‌کوب اشاره کرد. از طرفی با بیش‌تر شدن رطوبت محصول، جریان مواد روی جداکننده و تمیزکننده نیز آرام می‌گردد که خود منجر به بیش‌باری هردو سیستم می‌گردد، لذا افت افزایش پیدا می‌کند. نتایج این بخش با نتایج Bougarie *et al.* (2013) هم‌خوانی دارد. تحقیقات جدول ۳ بیان کننده رابطه میان تراکم کاشت و درصد افت محصول می‌باشد که با انجام مقایسه میانگین مشخص گردید بین تاثیر سطوح مختلف تراکم کاشت بر میزان افت محصول اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵درصد وجود دارد. بیشترین افت محصول در تراکم ۶۰ بوته در واحد سطح صورت گرفته است. ازجمله دلایل مهم افزایش افت محصول با ازدیاد تراکم بوته، می‌توان به افزایش مقدار دانه‌ی ورودی در واحد زمان به داخل کمباین (افزایش شدت تغذیه) اشاره داشت. هم‌چنین با در نظر گرفتن این موضوع که نسبت مواد غیردانه‌ای به مواد دانه‌ای در محصول سویا بالا می‌باشد، افزایش تراکم بوته سبب ازدیاد مواد غیردانه‌ای در داخل کمباین شده که این موضوع باعث می شود تا تلفات به صورت صعودی افزایش یابد. نتایج این بخش نیز با نتایج Mirzazadeh *et al.* (2011) و Bougarie *et al.* (2013) مطابقت دارد. نمودارهای شکل ۳ (الف، ب و ج) اثرهای متقابل سرعت و رطوبت در سطوح مختلف تراکم کاشت را به‌طور جداگانه نشان می‌دهد. در شکل ۳- الف، روند تغییرات افت محصول در سطوح رطوبتی ۱۵ و ۱۹ درصد در سطوح مختلف سرعت نشان‌دهنده تاثیر ناچیز تراکم مذکور در این سطوح رطوبتی می‌باشد و یا به‌عبارت دیگر نشان دهنده اهمیت بیشتر سطوح رطوبتی و سرعت در میزان افت می‌باشد. در سطح رطوبتی ۲۳ درصد با افزایش سرعت از ۱/۸ به ۲/۵ کیلومتر بر ساعت افت محصول به شدت افزایش پیدا می‌کند. ولی این افزایش، با انتقال سرعت به ۳/۲ کیلومتر در ساعت سیر نزولی در پیش می‌گیرد که این امر احتمالا به دلیل تاثیر تراکم کاشت می‌باشد. با این حال باید ذکر کرد که در سطح رطوبتی ۲۳ درصد حداکثر تلفات صورت می‌گیرد. در سطح تراکم کاشت ۵۰ بوته در واحد سطح برخلاف تراکم ۴۰ بوته در واحد سطح سیر نزولی در میزان افت محصول از سرعت ۲/۵ به ۳/۲ در سطوح رطوبتی ۱۵ و ۱۹ دیده می‌شود. ولی در سطح رطوبتی ۲۳ درصد روند یکنواخت افزایش افت دانه های سویا مشاهده می‌شود (شکل ۳- ب). در تراکم کاشت ۶۰ بوته در واحد سطح نیز حداکثر افت محصول در سطح رطوبتی ۲۳ درصد در سطوح مختلف سرعت اعمال شده مشاهده گردید. سیر افزایشی افت محصول سویا در دو سطح رطوبتی ۱۵ و ۱۹ درصد در سطوح مختلف سرعت کمباین وجود دارد ولی در سرعت ۳/۲ کیلومتر بر ساعت میزان افت محصول در رطوبت ۱۵ درصد از افت محصول در سطح رطوبتی ۱۹ درصد بیشتر می‌شود (شکل ۳- ج).

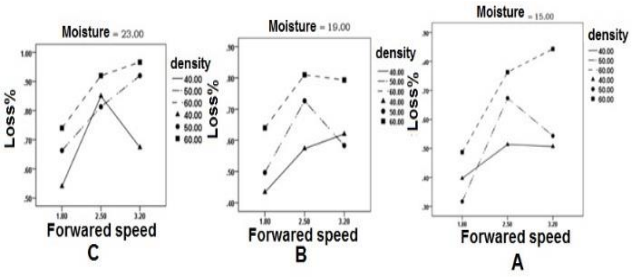


شکل ۳- اثرهای متقابل سرعت و رطوبت در سطوح مختلف تراکم کاشت

Fig 3. Interactions effects of speed and moisture content at different levels of planting density

در بررسی تکمیلی این آثار سه‌گانه، همان‌گونه که مشاهده می‌شود در دو سطح ابتدائی سرعت، اثرات متقابل از نوع تغییر در مقدار هستند. لیکن در گذران سطح دوم به سوم، هر دو نوع تقابل دیده می‌شود. یعنی هم تغییر در مقدار و هم تغییر در جهت که قضاوت و صدور رای نهایی مستلزم مطالعات تکمیلی است که با اجرای آزمایشات بیشتر محقق می-یابد. عوامل دخیل در آن عبارتند از: نسبت دانه به مواد غیردانه‌ای، اثر رطوبت به جریان یافتن مواد روی اندام‌های کاری، اثر رطوبت به چسبندگی دانه به مواد غیردانه‌ای، اثر سرعت پیشروی و تراکم بر شدت تغذیه مواد و رفتار نفوذی مواد در شدت‌های مختلف آشفتگی.

نمودارهای شکل ۴ اثرهای متقابل سرعت و تراکم کاشت در سطوح مختلف رطوبت را به‌طور جداگانه نشان می‌دهد. در شکل ۴- الف در سطح رطوبتی ۱۵ درصد با افزایش تراکم کاشت در هر سطح از سرعت اعمال شده، درصد افت سویا افزایش پیدا می‌کند و بالاترین درصد افت مربوط به تراکم ۶۰ بوته در واحد سطح می‌باشد. در تراکم کاشت ۵۰ بوته در واحد سطح با افزایش سرعت از ۱/۸ به ۲/۵ کیلومتر بر ساعت میزان افت سویا تشدید می‌شود ولی این روند در سرعت ۳/۲ کیلومتر بر ساعت معکوس می‌گردد. هم‌چنین از نمودار استباط می‌گردد که درصد افت سویا در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در سطح تراکم کاشت ۴۰ بوته در هکتار از تراکم کاشت ۵۰ بوته در هکتار بیشتر می‌باشد. در سطح رطوبتی ۱۹ درصد، در تمام سطوح سرعت کمباین بیشترین افت محصول در تراکم ۶۰ بوته در واحد سطح مشاهده گردید. در این سطح رطوبتی ثابت نیز با افزایش سطح سرعت از ۱/۸ به ۲/۵ کیلومتر بر ساعت میزان افت سویا تشدید شده و با حرکت به طرف سطح سوم سرعت، درصد افت در تراکم کاشت ۵۰ بوته در واحد سطح روند نزولی پیدا می‌کند و حتی به کمتر از میزان افت در سطح تراکم ۴۰ بوته در واحد سطح می‌رسد (شکل ۴- ب). نوسانات مربوط به سیر افزایشی و سپس کاهشی به‌ترتیب در مرحله اول و دوم افزایش سرعت، در سطح ثابت رطوبتی ۲۳ درصد در سطح تراکم کاشت ۴۰ بوته در واحد سطح مشاهده گردید که در سرعت ۲/۵ کیلومتر ساعت میزان افت محصول حتی بیشتر از تراکم کاشت ۵۰ بوته در واحد سطح در همان سرعت حرکت رسید. در این نمودار نیز روند کلی افزایش افت محصول در بالاترین سطح تراکم کاشت مشاهده می‌شود (شکل ۴- ج).



شکل ۴- اثرهای متقابل سرعت و تراکم کاشت در سطوح مختلف رطوبت

Fig 4. Interaction effects of speed and plant density at different moisture content levels

در بررسی تکمیلی این نمودارها نیز در گذر از سطح اول سرعت به سطح دوم این تیمار، غالباً روند صعودی بوده و شیب تغییرات متفاوت می‌باشد. لیکن در خصوص تغییرات افت با سرعت در حضور تراکم و رطوبت، روندهای متفاوتی مشاهده می‌شود که ترکیب تقابل‌های تغییر در شیب و جهت را داراست و نمی‌توان به‌صورت کلی به قضاوت نشست. همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، صرفاً می‌توان به دلایل محتمل اشاره کرد که علاوه از موارد عنوان شده، خطای اندازه‌گیری (خطای اپراتور همراه با خطای ابزار اندازه‌گیری) را نیز می‌توان دخیل دانست. به هر حال مشاهده رفتار واقعی با استفاده از معادلات ریاضی، نیازمند تعدد آزمایش-ها در سالیان متفاوت و مزارع متعدد همان منطقه می‌باشد.

جهت بررسی میزان تاثیر هر یک از فاکتورهای سرعت حرکت کمباین، درصد رطوبت دانه سویا و تراکم کاشت سویا بر درصد افت محصول سویا در زمان برداشت توسط کمباین، رابطه رگرسیونی چند متغیره بین فاکتورهای مورد نظر و میزان افت محصول برقرار گردید. در این معادله رگرسیونی اثرهای اصلی سطوح مختلف فاکتورهای مورد بررسی بر میزان افت محصول نشان داده شده است.

۳-۱- مدل ریاضی میزان افت عقب کمباین با متغیرهای مستقل مورد آزمایش

در گذشته مدل‌های مختلفی برای میزان افت عقب کمباین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در اکثر این مدل‌ها از یک رابطه نمایی برای نشان دادن میزان افت عقب استفاده شده است. در این پژوهش نیز مدل‌های مختلفی برای مدل‌سازی افت عقب و ارتباط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (افت عقب) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مدل ۱، مناسب‌ترین مدل

برای بیان و محاسبه درصد میزان افت عقب (y) بر اساس سرعت پیشروی کمباین، تراکم محصول و میزان محتوای رطوبت محصول تشخیص داده شد.

$$y = -0.652x_1 - 0.04x_2 - 0.027x_3 + 0.032x_1x_2 + 0.017x_1x_3 + 0.001x_2x_3 - 0.001x_1x_2x_3 \quad (۱)$$

که در آن، x_1، x_2 و x_3 به‌ترتیب سرعت پیشروی کمباین (kmh^{-1})، محتوای رطوبتی محصول (٪) و تراکم محصول (تعداد بوته در متر مربع) می‌باشد.

ضرایب رگرسیون استاندارد شده و استاندارد نشده نیز به‌ترتیب اهمیت در جدول ۵ آمده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی ارائه شده در جدول ۴ آورده شده است. بین میزان افت عقب کمباین و متغیرهای مستقل مورد مطالعه یک رابطه جبری در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۰۱ مشاهده شد. به‌عبارت دیگر می توان با استفاده از مدل فوق، میزان افت عقب کمباین مورد نظر بر اساس مقادیر متفاوت سرعت پیشروی کمباین، محتوای رطوبتی محصول و تراکم محصول پیش‌بینی نمود. هم چنین نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی مدل نشان می دهد که حدود ۷۷٪ میزان افت عقب کمباین توسط سه متغیر مورد بررسی در این پژوهش قابل توجیه است. به‌عبارت دیگر ۷۷٪ میزان افت عقب کمباین جاندیر ۹۵۵ در برداشت محصول سویا وابسته به تغییرات سه متغیر مذکور بوده و تنها ۲۳٪ باقیمانده مربوط به‌سایر عوامل می‌باشد که در این آزمایش لحاظ نشده است.

جدول۴- تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی میزان افت عقب کمباین جاندیر ۹۵۵

Table 4. Analysis of regression variance of the mathematical model of the combine harvester rear loss

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
ناشی از رگرسیون Caused by regression	7	0.259***
باقیمانده Remainings	73	0.007
کل Total	80	

***: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱

جدول ۵- ضرایب رگرسیون استاندارد نشده و استاندارد شده مدل ریاضی افت عقب کمباین جاندیر ۹۵۵

Table 5. Non-standardized and standardized regression coefficients of the mathematical model of the combine harvester rear loss

ضرایب رگرسیون Regression coefficients	ضرایب استانداردنشده Non-standardized coefficients	ضرایب استانداردشده Standardized coefficients
سرعت پیشروی Forward speed	-0.652	-2.184
تراکم بوته Plant density	-0.27	-1.285
محتوی رطوبتی Moisture content	-0.04	-0.76

۴- نتیجه‌گیری

۱- نتایج تجزیه واریانس افت محصول در سطوح مختلف فاکتورهای مورد مطالعه (سرعت پیشروی کمباین، تراکم محصول و محتوی رطوبت) نشان از معنی‌دار بودن اختلاف بین سطوح هر سه فاکتور و اهمیت این متغیرها در میزان افت داشت.

۲- میزان تلفات با افزایش سرعت پیشروی کمباین، تراکم محصول و محتوای رطوبتی آن افزایش می‌یابد.

۳- مدل خطی به عنوان مناسب‌ترین مدل برای بیان و محاسبه درصد میزان افت عقب (y) بر اساس سرعت پیشروی کمباین، تراکم محصول و میزان محتوای رطوبت محصول ارایه شد.

۴- نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی مدل نشان می‌دهد که حدود ۷۷٪ میزان افت عقب کمباین توسط سه متغیر مورد بررسی در این پژوهش قابل توجیه است.

۵- با توجه به بالا بودن ضریب استاندارد شده مربوط به سرعت پیشروی کمباین نسبت به سایر ضرایب، لذا از بین عوامل مستقل فرض شده در این پژوهش، متغیر سرعت پیشروی بیشترین تاثیر را روی میزان افت عقب کمباین داشت.

۵- منابع

Anonymous. (2015). *Harvesting statistics and crop production statistics for 36 years (1978-2013)*. Ministry of Agriculture – Jahad (In Persian).

Bougarie, I., Dizaji H. Z., and Khorasani, E. (2013). *Evaluation of some affecting Parameters on wheat harvesting losses in JD955 Combines using mathematical models for reducing combine losses (case study Ahvaz country)*. The 1st Nation Conference on Policies toward Sustainable Development (Agriculture, Natural Resourses and Environment) (In Persian).

Charles, W., Ellis S. L., and William, H. (1993). *Measuring and reducing soybean harvesting losses.* Agriculturalpublication G01280. University of Missouri extension.

FAO. (2017). *FAOSTAT data base.* FAO, Rome. www.faostate.fao.org

Fazel, N. Z., Mostofi, S. M., Adelzadeh R., and Gharib eshghi, A. (2008). *Investigation and Comparison of Combined Soybean Harvest Losses (Direct and Two-Step Harvesting)*. 5th National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization. Mashhad, Iran. (In Persian).

Hirai, Y., Schrock, M. D., Maski D., and Taylor, R. K. (2005). *Loss Evaluation of Soybean Harvesting on Four Types of Headers.* Written for presentation at the 2005 ASAE Agricultural Equipment Technology Conference Sponsored by ASAE Seelbach Hilton Louisville, Kentucky 13 - 15 February 2005.

James B., and Wills, J. (2009). *Combining Soybeans Efficiently. Soybean Production in Tennessee*. Agricultural Extension Service. The University of Tennessee.

Lamp, B. J., Johnson, W. H., Harkness K. A., and P. E. Smith, K. A. (1962). *Soybean Harvesting (approaches to improved harvesting efficiencies).* OHIO AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION Wooster, Ohio.

Mirzazadeh, A., Abdollahpour Sh., and Moghaddam, M. (2011). *Effects of Operating Parameters on Threshing Efficiency Control the Amount of Threshing Loss*. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science (In Persian).

Miu P. I., and Kutzbach, H. D. (2008). *Modeling and Simulation of Grain Threshing and Separation in Threshing Units, Part I*. Journal of Computer and Electronics in Agriculture, 60: 96-104.

Mostofi, S. M., Valiahdi M. S., and Ranjbar, I. (2014). *Field Evaluation of Grain Combine Rear Loss Equipped with a Grain Loss Monitor in JD-955 & JD-1165 Combine Models. Journal of Agricultural Machinery*. Vol. 4, No. 2. (In Persian).

Nave, W. R. and Paulsen, M. R. (2013). *Soybean Seed Quality as Affected by Planters Meters.* ASABE. University of Illinois, Champaign, Illinois.

Razmi, N. (2010). *Effect of Sowing Date and Plant Density on Some Agronomic Characteristics, Geain Yeild and Its Components in Soybean Genotypes in Moghan Region.* Seed and Plant Production Journal. Volume 26-2 (No. 4) (In Persian).

Soleimani, M. and Kasra'ei, M. (2012). *Optimum Adjustments of Grain Combine Head to Reduce Seed Loss in Colza harvesting Using a simulated device.* Journal of Agricultural Machinery. Vol. 2, No. 2. (In Persian).

United Nations, 17 June 2019, New York (www.un.org).

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)