پیشنهاد مدل ریاضی عملکرد سیستم تمیزکننده کمباین غلات و بهینه سازی عملکرد با استفاده از روش پاسخ سطح

علی میرزازاده [۱*]، شمس اله عبداله پور [۲]، مهدی حکیم زاده [۳]

۱. استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی(Email: Ali.Mirzazadeh@uma.ac.ir)
۲. دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریزساده (Email: Shams@Tabrizu.ac.ir)
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تهران

چکیده

یکی از راه‌های کاهش افت در کمباین غلات، تفکیک فرآیندها و ارائه مدل ریاضی متناسب برای تک تک آنها بر پایه بررسی و اندازه‌گیری عوامل موثر در افت‌ها و بهینه سازی عملکرد آن‌هاست تا با بهره‌گیری از آن بتوان سیستم را کنترل نمود. یکی از این فرآیندهای مهم که تاثیر بسزایی در افت کمباین دارد، مربوط به سیستم تمیزکننده می‌باشد. در این پژوهش مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد سیستم تمیزکننده به روش پاسخ سطح مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای مستقل مد نظر عبارت بودند از: شدت تغذیه مواد، سرعت فن و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی. درصد دانه عبوری، درصد مواد غیردنه‌ای و کزل عبوری از الک رویی نیز به عنوان متغیر وابسته در نظرگرفته شد. نتایج نشان داد اثر هر سه پارامتر مستقل روی میزان درصد دانه آزاد عبوری از الک رویی در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار شدند ولی تمامی اثرات متقابل معنی‌دار نبودند. همچنین نتایج نشان داد اثر فاکتورهای شدت تغذیه و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی بر میزان درصد کزل (خوشه نیمکوب) عبوری از الک کمباین به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ معنی دار می‌باشد و اثر فاکتور سرعت فن و تمامی اثرات متقابل بی‌معنی‌دار می‌باشند. اثر هرسه عامل مستقل برروی میزان درصد MOG عبوری از الک رویی کمباین نیز معنی‌دار می‌باشند. برای هرسه متغیر وابسته مدل نمایی مناسب تشخیص داده شد و بر اساس مدل‌سازی به روش سطح پاسخ، شرایط بهینه جهت حداکثر عبور مواد دانه‌ای از الک رویی (حداقل افت کمّی) و حداقل عبور مواد غیردانه‌ای (حداقل افت کیفی)، شدت تغذیه مواد 3.33kg/s، سرعت فن 741rpm و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی 10mm با میانگین مطلوبیت 0.84 تعیین گردید.

کلمات کلیدی:

افت، پارامترهای کاری، کمباین و روش پاسخ سطح

*نویسنده مسئول مکاتبه

پیشنهاد مدل ریاضی عملکرد سیستم تمیزکننده کمباین غلات و بهینه سازی عملکرد با استفاده از روش پاسخ سطح

مقدمه

محصولات غله ای اکثراً بوسیله کمباین‌های مخصوص غلات برداشت می شوند. کارکرد کمباین های غلات خود با سه عامل توان کوبش، افت محصول و میزان مصرف سوخت سنجیده می شوند [۱٤]. با وجود این که میزان متوسط افت کمباین‌ها در کشورهای توسعه یافته ۲ الی ۵ درصد تخمین زده می شود، متاسفانه براساس تحقیقات برخی پژوهشگران این عرصه، این مقدار برای کشور ایران تا ۲۰٪ و حتی بیشتر نیز گزارش شده است و این موضوع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. عوامل متفاوتی مانند تنظیم نبودن کمباین، به هنگام نبودن زمان برداشت، نوع کمباین، نوع بذر، شیب مزارع و ... بر افت گندم درهنگام برداشت مؤثرند [۳]. یکی از این فرآیندهای مهم که تاثیر بسزایی در افت کل کمباین دارد، مربوط به واحد تمیزکننده می‌باشد. تمیز کردن آخرین مرحله از جداسازی دانه از مواد غیردانه‌ای می‌باشد که این مواد غیردانه‌ای اغلب از کاه و تکه‌های کوچک کلش تشکیل می-شود. عملکرد واحد تمیزکننده در سه بخش قابل پیگری است: ۱- افت کمّی دانه که شامل همه دانه‌های از دست رفته از عقب الک است. این دانه‌ها خود به دو دسته دانه آزاد و خوشه نیمکوب تقسیم می‌شود. ۲- افت کیفی که شامل همه مواد غیردانه‌ای موجود در مخزن دانه را شامل می‌شود و می‌تواند در تلفات پس از برداشت موثر باشد [۸] و ۳- ظرفیت کاری سیستم تمیز کننده [۲۰]. عوامل متعددی وجود دارند که عملکرد واحد تمیزکننده را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این عوامل در چهار بخش شامل عوامل طراحی، شرایط کاری، شرایط محصول و شرایط مزرعه‌ای قابل شناسایی و تفکیک می‌باشند. پژوهشگران در گذشته از مدل‌های مختلفی از جمله مدل‌های تجربی، فیزیکی و آماری در جهت شناسایی و نحوه‌ی تاثیرگذاری این عوامل بر عملکرد واحد تمیزکننده بهره گرفته‌اند. این مدل‌ها ابزاری برای محققین و طراحان برای شبیه سازی و بهینه کردن این فرآیند و در نتیجه کنترل اتوماتیک تنظیمات مربوط به آن است. ایراد اساسی وارد به اغلب این مدل‌ها منحصر به فرد بودن آن‌هاست به طوری که اغلب این مدل‌ها تنها در شرایط مخصوص همان آزمایشات معتبر بوده و جای خالی یک مدل جامع و کامل ریاضی برای تشریح عملکرد سیستم تمیزکننده قابل محسوس برای پژوهشگران این عرصه می‌باشد. ارائه مدل ریاضی مناسب مزیت‌های زیر را در بر دارد:

- ✓ ایجاد درک جامع از روابط اساسی فرآیندهای فیزیکی
- ✓ کمّی کردن پارامترهای فرآیندهای 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 [۱۵].

وُیس و همکاران [۱۹] در پژوهشی، با اعمال تئوری π- باکینگهام[1] و تحلیل ابعادی، مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی میزان افت در الک رویی کمباین برداشت کننده‌ی غلات و پیش‌بینی میزان درصد مواد غربال شده در الک‌های متداول ارایه کردند. در این پژوهش، برای ارایه مدل ریاضی افت در الک رویی، شش فاکتور تاثیرگذار در افت الک در نظر گرفته شد که عبارتند از: q (kg/m/s)– شدت تغذیه ویژه جریان مواد، v_a(m/s)– سرعت باد، λ– نسبت MOG به دانه، D_j (m)– میزان باز شدگی سوراخ دستگاه تمیز کننده‌ی پترسن، f (s^{-1})– فرکانس ارتعاشی الک و L_s (m)– طول الک. مدل ریاضی برای پیش‌بینی میزان افت در الک رویی کمباین توسط این محققین ارایه شد. نتایج مطالعه اخیر نشان داد که افت با کاهش فرکانس ارتعاشی الک رویی، افزایش طول الک و افزایش نسبت MOG به دانه، کاهش می‌یابد. مینِل و اسکابرت [۱۶] نیز برای جداسازی دانه از مواد غیردانه‌ای و عبور آن‌ها از سوراخ‌های الک، مدل انتشار همرفتی[2] ارایه کردند. این مدل که بعداً توسط بِک [۷] توسعه داده شد، فرآیند فیزیکی نفوذ دانه در لایه MOG و جداسازی آن را در سیستم تمیزکننده کمباین تشریح می‌کند. بر پایه این مدل، حرکت‌های احتمالی عمودی دانه در بین لایه MOG، ترکیبی از حرکت‌های نفوذ ثابت (همرفت) و پراکندگی تصادفی (انتشار) می‌باشد. بوتینگر و کوتزباخ [۹] اثر سرعت پروانه و شدت تغذیه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار این پژوهش به صورت نمودار سه بعدی ارایه گردید. مطابق نتایج این پژوهش، تلفات دانه به نسبت شدت باد و تغذیه تقریباً به صورت نمایی افزایش می‌نماید. نتایج پژوهش انجام شده توسط کوتزباخ [۱۵]، که به منظور افزایش ظرفیت کاری سیستم تمیزکننده کمباین‌های متداول انجام گرفت، نشان داد که اگر به جای حرکت نوسانی خطی الک‌ها، نوسانی دایره‌ای (شبیه آن‌چه که در حرکت غربال مورد استفاده قرار می‌گیرد) مورد استفاده قرار گیرد، ظرفیت کاری سیستم تمیزکننده افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج این پژوهش، در قالب پارامترهایی مانند نرخ جداسازی (δ_{Gi})، نحوه‌ی توزیع دانه در طول الک، توزیع تجمعی دانه‌های جداشده (S_G)، دانه‌های جدانشده (R_G) و بازده جداسازی (η_G) بیان گردید. کراسائرتس و همکاران [۱۰ و ۱۱] به منظور بررسی اثرات متقابل فاکتورهای احتمالی موثر بر کارکرد واحد تمیز کننده (همانند سرعت فن، میزان بازشدگی سوراخ‌های الک رویی و زیری، شیب دستگاه، شرایط محصول، میزان تغذیه مواد و ...) و اولویت بندی کردن این فاکتورها از حسگرهای متنوعی روی کمباین مورد آزمایش (Holland CX840 New) استفاده کرده و اقدام به ثبت آنلاین این فاکتورها و افت واحد تمیزکننده نمودند. در این پژوهش افت تمیز کننده در قالب کیفی و کمّی در نظر گرفته شد. این پژوهش، که به منظور کنترل اتوماتیک سیستم تمیزکننده با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی فازی انجام شده، در نهایت توابعی برای افت کیفی و کمّی سیستم تمیزکننده به صورت تابعی از فاکتورهای اولویت‌دار پیشنهاد کرد. بعد از شناسایی فاکتورهای موثر اولویت‌دار در افت الک، کراسائرتس و همکاران [۱۲ و ۱۳]، هم‌چنین برای پیش‌بینی افت کیفی و کمّی تمیزکننده کمباین، مدل پیش‌بینی غیر خطی با کمک تکنیک مدل‌سازی فازی ارائه کردند. این مطالعات نشان دادند که افت کیفی بیشتر متاثر از دو فاکتور سرعت بادزن و بار الک رویی و افت کمّی بیشتر متاثر از فشار سمت عقب-چپ الک رویی (بار انتهای الک) می‌باشد. آن‌ها در این مطالعات در راستای کاهش افت‌های الک و برای کنترل خودکار آن، هر کدام از مدل‌های غیر خطی مذبور را به سه زیر مدل خطی تبدیل کردند. والِس و همکاران [۲۲]، در راستای اندازه‌گیری آنلاین افت کیفی سیستم تمیزکننده کمباین و تفکیک MOG از دانه در مخزن کمباین، انتخاب باند رادیویی ماورای طیفی را بر پایه‌ی سیستم بینایی چند طیفی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، ابتدا اسکن ماورای طیفی نمونه‌های دانه گندم خالص و MOG خالص (جداگانه) برای پیدا کردن بهترین ترکیب باند موجی، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت باندهای موجی ٤٦٥nm-٤٧٥ nm،

[1]. π- Buckingham
[2]. Convection Diffusion Model

۵۲۲-۵۳۲، ۶۷۵-۷۰۵nm، ۸۴۹-۸۵۸nm و ۹۰۶-۹۴۵nm بهترین باندهای طیفی برای تفکیک دانه‌ی گندم از MOG انتخاب شدند. میرزازاده و همکاران [۱۷] نیز طی پژوهشی با پیاده سازی سیستم تمیزکننده کمباین سهند ۶۸S در کارگاه و تغذیه ترکیبی مواد دانه‌ای و غیردانه‌ای به آن، به مطالعه اثر فاکتورهای شدت تغذیه، سرعت بادزن و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی روی چولگی و کشیدگی نمودارهای توزیع دانه جدا شده در طول الک رویی پرداختند. نتایج نشان داد که میزان چولگی با افزایش شدت تغذیه و سرعت بادزن و کاهش میزان بازشدگی سوراخ الک رویی کاهش می‌یابد. هم‌چنین نتایج موید این مساله است که با افزایش میزان تغذیه مواد و سرعت بادزن و کاهش میزان بازشدگی سوراخ الک رویی، میزان کشیدگی این نمودارها کاهش می‌یابد. مصری و همکاران [۱۹] نیز با استفاده از مدل یادگیری ماشین (روش ANFIS و RBF) به پیش بینی عملکرد کمباین متداول شامل پارامترهای افت دانه‌ای کمباین، درصد مواد غیردانه‌ای و شکستگی دانه پرداختند. در این پژوهش همچنین با استفاده محدود از روش پاسخ سطح میزان فاصله کوبنده و ضد کوبنده، سرعت فن و میزان بازشدگی سوراخ الک به عنوان متغیرهای مستقل جهت بهینه کردن پارامترهای وابسته تعیین گردید. البته در این پژوهش اشاره‌ای به مدل ریاضی و نیز تفسیر پارامترهای مستقل روی متغیرهای وابسته نشده است.

از بررسی های بعمل آمده چنین بر می آید که اثر فاکتورهای شدت تغذیه مواد، سرعت فن و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی روی درصد دانه و درصد کزل عبوری از الک رویی و به دنبال آن افت دانه‌ای و نیز میزان عبور مواد غیردانه‌ای از سوراخ‌های آن و متعاقبا بیش باری الک زیری و افزایش افت کیفی عملیات برداشت مکانیزه گندم از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرف دیگربررسی پژوهش‌های سابق موید این موضوع است که به غیر ازپژوهش اخیر، از روش سطح پاسخ برای بررسی عملکرد کمباین و رائه مدل ریاضی مناسب استفاده نگردیده است. ازاین‌رو هدف اصلی این مطالعه مدل‌سازی و بهینه‌سازی متغیرهای مستقل (شدت تغذیه مواد، سرعت فن و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی) و متغیرهای وابسته (درصد دانه، درصد موادغیردانه‌ای و درصد کزل عبوری از سوراخ‌های الک رویی) به کمک روش سطح پاسخ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای اجرای آزمایشات از سیستم تمیزکننده کمباین سهند ۶۸S، ساخت شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان، استفاده گردید. بدین منظور ابتدا شاسی اصلی کمباین تهیه گردید و سپس با در نظر گرفتن اهداف این مطالعه، اندام‌های لازم از جمله سینی دانه، الک رویی و فن روی شاسی اصلی سوار شدند. برای به حرکت در آوردن سینی دانه و الک رویی و در نتیجه ایجاد ارتعاش لازم در آن‌ها، از یک دستگاه الکتروموتوراستفاده گردید. به منظور تامین توان لازم برای به گردش درآمدن فن نیز از یک دستگاه الکتروموتور مجزا استفاده گردید. نظر به این‌که ایجاد سرعت‌های مختلف فن و اثرات آن روی درصد دانه، درصد موادغیردانه‌ای و درصد کزل عبوری از سوراخ‌های الک رویی از اهداف مطالعه حاضر بود، از یک دستگاه اینورتر جهت ایجاد دورهای مختلف برای الکتروموتور و در نتیجه فن استفاده گردید. برای اندازه‌گیری متغیرهای وابسته، یک عدد سینی جمع‌آوری دانه به ابعاد ۱۰۲×۱۶۰ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد به طوری‌که این سینی به ده سلول مجزا، هرکدام با ابعاد ۱۰۲×۱۴، به منظور اندازه‌گیری درصد مواد عبوری شامل درصد دانه آزاد، درصد MOG و درصد کزل عبوری از سوراخ‌های الک رویی و سلول انتهایی با ابعاد ۱۰۲×۲۰ سانتیمترمربع، به منظور اندازه‌گیری میزان مواد عبور نکرده، تقسیم شد. برای اینکه دیواره‌های سینی تست مانعی برای حرکت آزاد باد ایجاد شده توسط فن نباشد، دیواره‌های کناری و داخلی سینی تست از توری‌ساخته شد. سپس سینی تست ساخته شده دقیقا زیر الک رویی قرار گرفت. شکل ۱ شماتیک نحوه‌ی قرار گرفتن سینی تست را زیر الک رویی و نیز نحوه کوپل شدن منابع توان به

دستگاه تست را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری آزمایشگاهی از مزارع سازمان تحقیقات دیم ایران - مراغه انجام شد. به منظور شبیه‌سازی بهینه‌ی آزمایشات با عملیات مزرعه‌ای، نمونه‌های آزمایشگاهی از همان نوع کمباین (سهند S٦٨) در حال کار برداشته شد. بدین ترتیب که ابتدا الک رویی و زیری کمباین برداشته شده و فن آن نیز به طور کامل از کار انداخته شد. سپس اندازه‌ی کرت‌های آزمایشی (به طول ١٠ متر و به تعداد ٨١) روی مزرعه تعیین گردید. قبل از انجام عملیات برداشت و نمونه‌برداری نیز تمامی تنظیمات کمباین از جمله سرعت پیشروی، سرعت کوبنده و لقی آن و سرعت چرخ فلک به صورت پیشنهاد راننده (فرد خبره) انجام گرفت. در حین برداشت، تمامی مواد منتقل شده به جایگاه الک‌ها، از طریق هلیس دانه‌بر به مخزن منتقل شده و سپس از آنجا به داخل کیسه‌های پلاستیکی، به منظور حفظ محتوی رطوبت مواد، انتقال داده شد. در نهایت مواد برداشته شده، به محل انجام آزمایشات منتقل و انبار گردید. متغیرهای مستقل مورد نظر در این آزمایش ها عبارت بودند از: شدت تغذیه (A) در سه سطح ١/٥٦، ١/٩٣ و ٢/٣٣ کیلوگرم در ثانیه، سرعت فن (B) در سه سطح ٤٥٠، ٦٠٠ و ٧٥٠ دوردردقیقه و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی (C) در سه سطح ٦، ٨ و ١٠ میلیمتر. درصد دانه آزاد عبوری (Free Grain Passing)، درصد مواد غیردانه‌ای عبوری (MOG[3] Passing) و درصد کزل عبوری از الک رویی (S.T.C[4] Passing) به عنوان متغیر وابسته از رابطه ١ الی ٣ محاسبه گردید:

$$Free\ Grain\ Passing\ (\%) = \frac{A-B}{T} \times 100\% \quad (1)$$

$$MOG\ Passing\ (\%) = \frac{C}{T} \times 100\% \quad (2)$$

$$S.T.C\ Passing\ (\%) = \frac{D-E}{T} \times 100\% \quad (3)$$

که در آن:

A: میزان کل دانه آزاد تغذیه شده به سینی دانه کمباین

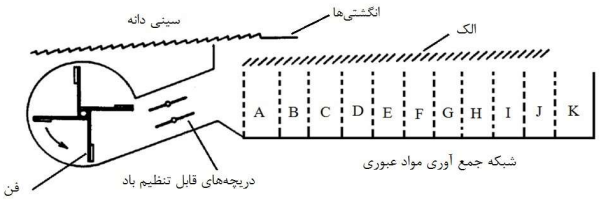
B: میزان دانه آزاد سلول آخر

C: میزان MOG عبوری از سوراخ‌های الک رویی

D: میزان کل کزل تغذیه شده به سینی دانه کمباین

E: میزان کل کزل سلول آخر

T: میزان کل مواد تغذیه شده که خود شامل مواد دانه‌ای و مواد غیردانه‌ای (MOG) می‌باشد.



شکل ١. شماتیک نمونه کارگاهی آزمایش تمیزکننده کمباین

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. جدول ١ سطوح مختلف انتخاب شده هر تیمار در این طرح را نشان می دهد. بعد از هر آزمایش، مواد عبوری از سوراخ‌های الک رویی و ریخته شده در داخل هر سلول به داخل کیسه‌های کوچک پلاستیکی خالی شدند. سپس تفکیک مواد

[3] . Material other than Grain
[4] . Semi Threshed Clusture

عبوری از سوراخ‌های الک رویی و توزین تک تک آن‌ها انجام گردید. در این مرحله مواد داخل کیسه‌ها به اجزای تشکیل دهنده‌اش یعنی دانه آزاد، کزل و مواد غیردانه‌ای تفکیک و توسط ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ گرم توزین شده و سپس یادداشت گردیدند.

تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده به منظور رسم نمودارها، تحلیل آماری، مدل‌سازی و بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ در قالب داده‌های واقعی[5] با نرم‌افزار Design Expert 12 نسخهٔ (Minneapolis, USA, Stat ease Inc.) صورت گرفت. در این روش، سطح موردنظر تحت تأثیر متغیرهای مستقل قرار دارد و هدف بهینه کردن پاسخ مزبور است. برای به دست آوردن مقدار بهینه (y_k)، از حل رابطهٔ رگرسیون (٤) استفاده شد (Chayjan et al., 2017).

$$y_k = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_j + \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} x_j^{\,2} + \sum \sum_{i<j}^{k} \beta_{ij} x_i x_j \qquad (٤)$$

در رابطه بالا $\beta 0$، βj ، βjj وβij پارامترهای ضرایب رگرسیون می‌باشند. x_j متغیرهای کد شده ورودی می‌باشد. برازش سطوح پاسخ و بهینه‌سازی فرآیند جداشدن مواد با استفاده از نرم‌افزار دیزاین- اکسپرت[6] نسخه ۱۲ با حل رابطه‌ی رگرسیون چندگانه (رابطه ٤) انجام شد و مدل‌های ریاضی برای هر پاسخ با تجزیهٔ رگرسیون خطی چندگانه، ارزیابی شدند. معنادار بودن آماری متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ، در سطح اطمینان ۹۵٪ ($P<0.05$) بررسی شد و فقط از متغیرهایی که اثر آن بر متغیر پاسخ معنی‌دار بوده در معادله رگرسیونی پیشنهاد شده مورد استفاده قرار گرفت. در انتها، نقطهٔ بهینهٔ فرآیند با توجه به شرایط مرزی و توابع هدف مطابق جدول ۱ به دست آمد. همان طوری که ملاحظه می‌گردد، در این جدول متغیرهای مستقل سرعت فن و میزان بازشدگی سوراخ الک در محدوده آزمایش تعیین شدند و با توجه به وابستگی مستقیم شدت تغذیه مواد به سرعت پیشروی و از طرفی دیگر اهمیت پارامتر اخیر در ظرفیت مزرعه‌ای (Field Capacity) کمباین، مقدار ماکزیمم ممکن آن انتخاب شد [۱]. همچنین نظر به اهمیت میزان دانه و کزل (خوشه نیمکوب) عبوری از الک رویی در میزان افت واحد تمیزکننده و عملکرد آن، مقدار ماکزیمم با ضریب اهمیت ۵ و تاثیر MOG عبوری در بیش باری الک زیری و در نتیجه آلودگی مخزن دانه تمیز و بالتبع افت کیفی محصول، مقدار مینیمم تعیین گردید و با درنظر گرفتن اهمیت کمتر آن در قیاس با دو پارامتر وابسته دیگر، ضریب اهمیت ۳ در نظر گرفته شد.

جدول ۱- شرایط مرزی متغیرهای مستقل و وابسته

متغیر	هدف	حد پایین	حد بالا	ضریب اهمیت
شدت تغذیه مواد (kg/s)	بیشترین	۱/۵٦	۳/۳۳	۵
سرعت فن (rpm)	در محدودهٔ آزمایش	٤۵۰	۷۵۰	۳
بازشدگی سوراخ الک رویی (mm)	در محدودهٔ آزمایش	٦	۸	۳
میزان دانه عبوری (%)	بیشترین			۵
میزان MOG عبوری (%)	کمترین			۳
میزان کزل عبوری (%)	بیشترین			۵

تحلیل نتایج

[5] : Historical Data
[6] : Design expert

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (ANOVA) مواد عبوری از الک رویی شامل دانه آزاد عبوری، MOG عبوری و کزل عبوری از الک رویی در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین به منظور تعیین ارتباط متغیرهای شدت تغذیه، سرعت بادزن و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی با متغیرهای وابسته، مدل‌های متفاوتی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مستقل بر متغیرهای وابسته

Source	df	Mean Square	F-value	Mean Square	F-value	Mean Square	F-value
		Free Grain Passing		S.T.C Passing		MOG Passing	
Model	9	11.71	29.07^{***}	0.44	100.89^{***}	45.30	32.65^{***}
A-Feed rate	1	25.51	63.35^{***}	0.06	14.32^{***}	14.62	10.54^{**}
B-Fan speed	1	34.64	86.00^{***}	0.003	0.67^{ns}	222.82	160.62^{***}
C-Sieve opening	1	39.01	96.87^{***}	3.84	880.3^{***}	141.18	101.77^{***}
AB	1	0.16	0.4^{ns}	0.008	1.96^{ns}	0.0217	0.016^{ns}
AC	1	0.60	1.50^{ns}	0.008	1.96^{ns}	0.1976	0.14^{ns}
BC	1	0.088	0.22^{ns}	0.005	1.20^{ns}	3.26	2.35^{ns}
A^2	1	3.54	8.79^{**}	0.011	2.45^{ns}	1.85	1.33^{ns}
B^2	1	0.003	0.007^{ns}	0.022	5.05^{*}	0.0480	0.035^{ns}
C^2	1	1.79	4.45^{*}	0.0003	0.072^{ns}	23.69	17.08^{***}
Residual	17	0.403		0.004		1.39	

جدول ۳- ارایه مدل‌های ریاضی برازش شده با استفاده از روش پاسخ سطح برای متغیرهای وابسته

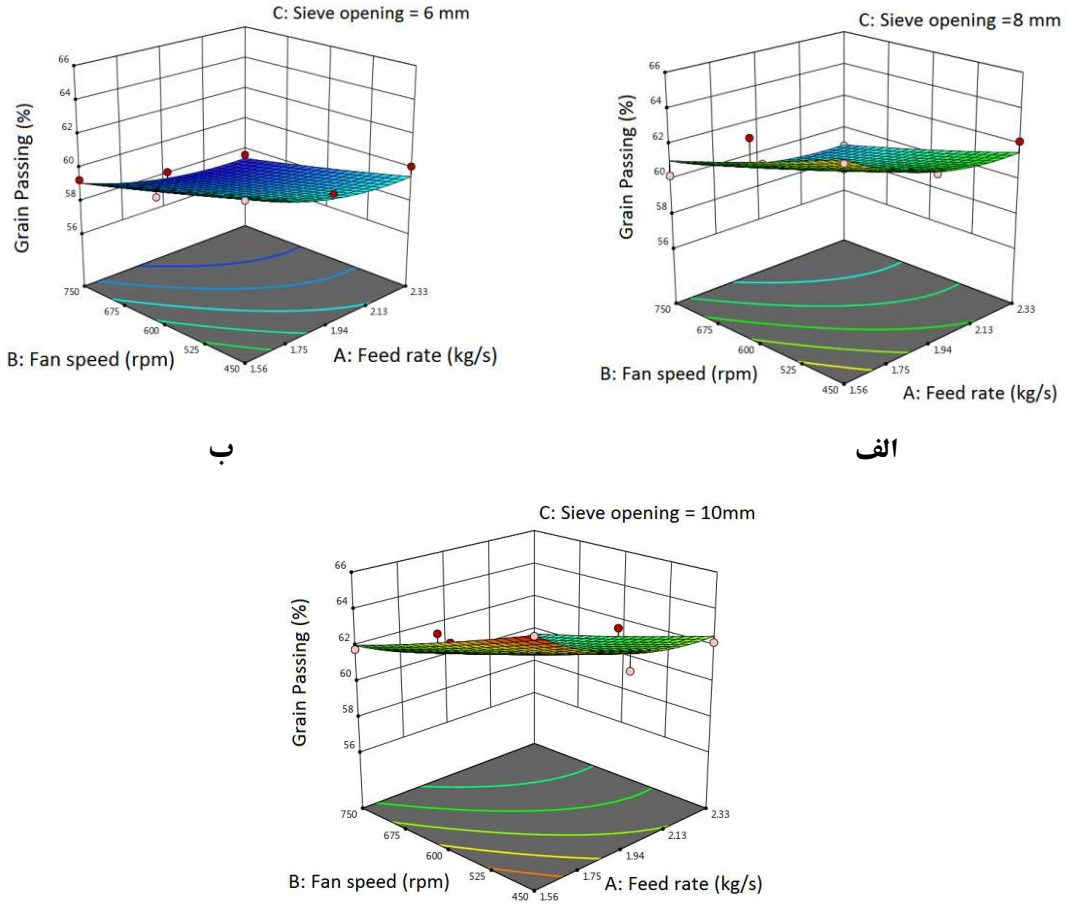
	Equation	Eq. Number	R^2	Adj R^2	Pred R^2
Grain Passing	$y_1 = 50 + 34.4e^{(-1.9A-0.0009B+0.3C+0.42A^2-0.01C^2)}$	5	0.94	0.93	0.90
S.T.C Passing	$y_2 = 1 + 0.05e^{(-.014A+0.59C-0.023C^2)}$	6	0.97	0.97	0.96
MOG Passing	$y_3 = 5 + 1.88e^{(0.15A-0.001B+0.61C-0.03C^2)}$	7	0.94	0.93	0.91

۳-۱- میزان دانه آزاد عبوری

مطابق جدول ۲ اثر هر سه پارامتر مستقل روی میزان درصد دانه آزاد عبوری از الک رویی در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار شدند ولی تمامی اثرات متقابل معنی‌دار نبودند. لذا در اینجا اثر متغیرهای مستقل روی میزان دانه آزاد عبوری بحث و بررسی می‌شود. همچنین در این پژوهش برای تعیین ارتباط متغیرهای مستقل با میزان مواد دانه‌ای عبوری، مدل‌های متفاوتی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نظر به نتایج تجزیه واریانس رگرسیونی این مدل‌ها و نیز نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) و معنی‌دار شدن تمامی متغیرهای مستقل و بی‌معنی‌دار بودن اثرات متقابل، مدل نمایی باتوان درجه ۲ (در محدوده انجام آزمایشات این پژوهش) با R^2=۰/۹٤ مناسب تشخیص داده شد (رابطه ۵). معنی‌دار شدن اثرات اصلی اهمیت و تاثیر هر سه عامل به روی درصد دانه عبوری از الک رویی کمباین سهند ٦٨S را نشان می‌دهد. به تعبیر دیگر این معنی‌دار بودن عوامل نشان از تاثیر روش‌های مکانیکی و نیوماتیکی در جداسازی دانه از سایر مواد و افزایش عبور آن از سوراخ‌های الک رویی و بالتبع کاهش افت دانه الک رویی دارد.

مطابق رابطه ۵ و تصاویر شکل ۲ میزان دانه آزاد عبوری با افزایش متغیر شدت تغذیه به صورت نمایی با توان دوم کاهش پیدا می‌کند. یکی از دلایل مهم این کاهش درصد دانه عبوری در شدت تغذیه‌های بالا، کاهش احتمال نفوذ دانه در بین لایه ضخیم‌تر شده مواد می‌باشد به طوری‌که با افزایش شدت تغذیه مواد، دانه امکان کمتری برای نفوذ و حرکت در بین سایر مواد داشته و این زمان رسیدن دانه به سطح الک و عبور از سوراخ‌های آن را افزایش

می‌دهد. فلذا درصد عبوری دانه از سوراخ‌های الک رویی کمتر شده و بالتبع افت دانه‌ای انتهای الک رویی افزایش می‌یابد. بررسی رابطه ۵ و تصاویر شکل ۳ موید این موضوع است که میزان دانه آزاد عبوری از الک رویی با افزایش سرعت فن به صورت نمایی با نمای خطی کاهش می‌یابد. یکی از علل اصلی این کاهش عبور دانه در سرعت‌های بالای بادزن، مربوط به انتقال بیشتر مواد و از جمله دانه به عقب الک در اثر افزایش سرعت هوای ناشی از بادزن می‌باشد. این موضوع سبب می‌شود که دانه زمان بیشتری نیاز داشته باشد تا از سوراخ‌های الک رویی عبور کند. در نتیجه این امر میزان درصد دانه عبوری از الک رویی کاهش و افت دانه عقب الک رویی افزایش می‌یابد. نتایج اخیر با نتایج تحقیقات انجام یافته توسط بوتینگر و کوتزباخ و نیز نتایج پژوهش‌های کراسائرتس و همکاران [۱۲ و ۱۳]، مطابقت دارد. همچنین مطابق رابطه ۵ میزان دانه آزاد عبوری از الک رویی کمباین با افزایش میزان بازشدگی سوراخ الک به صورت نمایی با توان دوم افزایش می‌یابد. این موضوع به این خاطر می‌باشد که با افزایش بازشدگی سوراخ الک رویی، دانه‌هایی که خود را به سطح الک رسانده‌اند، امکان عبور بیشتری می‌یابند. هم‌چنین با افزایش میزان بازشدگی سوراخ الک، سرعت هوا نیز کاهش می‌یابد چراکه در یک دبی ثابت سیال، با افزایش سطح مقطع عبوری، سرعت سیال کاهش می‌یابد. این یعنی این‌که با افزایش میزان بازشدگی سوراخ الک رویی انتقال مواد و از جمله دانه به عقب الک رویی کاهش و در نتیجه زمان ماند دانه روی الک افزایش می‌یابد. موضوع اخیر سبب افزایش درصد دانه عبوری از الک رویی و کاهش افت عقب آن می‌شود.



ب الف

ج

شکل۲: شکل سه‌بعدی برای بررسی اثر متقابل شدت تغذیه مواد و سرعت فن روی مواد دانه‌ای عبوری از الک رویی در میزان بازشدگی‌های متفاوت سوراخ الک رویی الف) ٦ میلیمتر ب)٨ میلیمتر و ج)١٠ میلیمتر

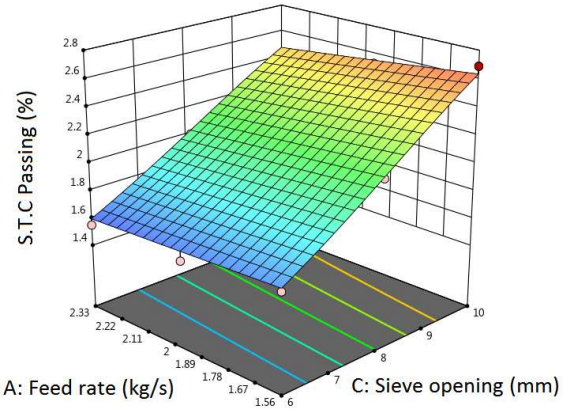
۳-۲- میزان کزل عبوری

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد اثر فاکتورهای شدت تغذیه (توان دوم شدت تغذیه) و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی بر میزان درصد کزل (خوشه نیمکوب) عبوری از الک کمباین به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد و اثر فاکتور سرعت فن و تمامی اثرات متقابل بی‌معنی‌دار می‌باشند. دلیل مهم بی معنی دار شدن سرعت فن می‌تواند در ارتباط با سرعت حد کزل باشد به طوری‌که در محدوده سرعت بادزن بررسی شده در این پژوهش، این عامل بر میزان جداسازی و عبور کزل تاثیرگذار نیست. این موضوع در قیاس با معنی‌دار شدن عامل میزان بازشدگی سوراخ الک حکایت از اهمیت عوامل مکانیکی در مقایسه با عوامل نیوماتیکی در جداسازی کزل‌ها از سایر مواد و عبور بیش‌تر آن‌ها از الک رویی دارد.

در این پژوهش برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و میزان کزل عبوری، مدل‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با توجه به تجزیه واریانس رگرسیونی این مدل‌ها، در محدوده انجام آزمایشات این پژوهش، مدل نمایی با بکارگیری متغیرهای معنی‌دار مناسب تشخیص داده شد (رابطه ٦). اضافه می گردد ضریب تبیین بالای این مدل (R^2=۰/۹۷) نیز نشان می دهد که متغیرهای مستقل مورد نظر قادر به توجیه بخش عمده‌ای از تغییرات متغیر وابسته (میزان کزل عبوری از الک رویی) می‌باشند.

همان طوری که شکل ۳ و رابطه ٦ نشان می‌دهد، با افزایش شدت تغذیه میزان کزل عبوری به صورت نامحسوسی کاهش می‌یابد. از جمله دلایل این امر می‌توان به کاهش احتمال نفوذ کزل در بین سایر مواد و جداسازی سخت آن در شدت تغذیه‌های بالا اشاره کرد. به طوری که با افزایش شدت تغذیه، ضخامت لایه مواد روی الک زیاد شده و این، کار کزل‌ها را برای نفوذ و رساندن خود به سطح الک و در نتیجه عبور از سوراخ‌های الک سخت‌تر می‌کند. شکل ٤ همچنین تاثیر بازشدگی سوراخ الک روی درصد کزل عبوری را نشان می‌دهد. نتایج تحلیلی شکل اخیر و رابطه ٦ حاکی از آن است که با افزایش میزان بازشدگی سوراخ، درصد کزل عبوری به صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. طبیعتا از جمله دلایل مهم این افزایش عبور، افزایش احتمال عبور کزل نفوذ کرده در سایر مواد و رسانده شده به سطح الک می‌باشد. به شکلی که با افزایش میزان گشادگی سوراخ الک که با افزایش سطح مقطع سوراخ الک همراه می‌باشد، احتمال عبور سریع کزل از الک رویی افزایش می‌یابد و این باعث افزایش درصد کزل عبوری شده و یا به عبارت دیگر سبب کاهش افت کزل الک رویی می‌گردد.

همان‌طوری که در ابتدای این بخش اشاره شد، جدول تجزیه واریانس اثر سه عامل مورد بررسی بر میزان کزل عبوری از الک رویی در کمباین سهند ٦٨S (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر عامل سرعت بادزن روی درصد کزل عبوری معنی‌دار نبود. دلیل مهم این امر می‌تواند در ارتباط با سرعت حد کزل باشد به طوری‌که در محدوده سرعت بادزن بررسی شده در این پژوهش، این عامل بر میزان جداسازی و عبور کزل تاثیرگذار نیست. این موضوع در قیاس با معنی‌دار شدن عامل میزان بازشدگی سوراخ الک حکایت از اهمیت عوامل مکانیکی در مقایسه با عوامل نیوماتیکی در جداسازی کزل‌ها از سایر مواد و عبور بیش‌تر آن‌ها از الک رویی دارد.



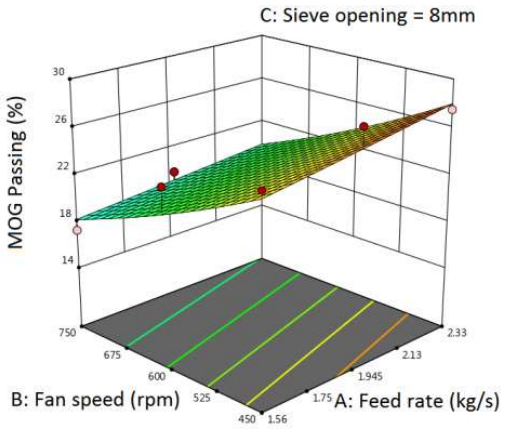
شکل۳- شکل سه‌بعدی برای بررسی اثر متقابل شدت تغذیه مواد و سرعت فن روی میزان کزل عبوری از الک رویی

۳-۳- میزان مواد غیردانه‌ای عبوری

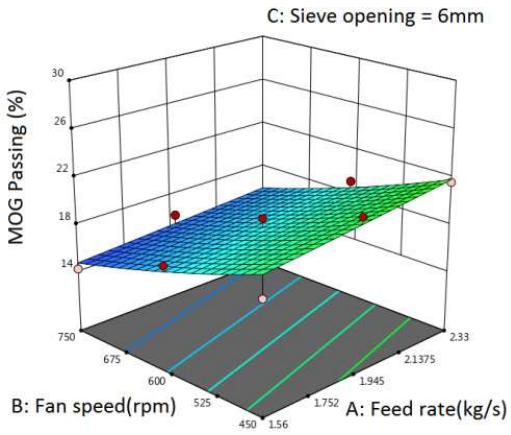
بر پایه جدول ۲ اثر هرسه عامل مستقل برروی میزان درصد MOG عبوری از الک رویی کمباین معنی‌دار می‌باشد. معنی‌دار شدن هرسه عامل نشان دهنده اهمیت عوامل مکانیکی و نیوماتیکی بررسی شده در این پژوهش بر روی میزان MOG عبوری از الک رویی و به دنبال آن بیش باری الک زیری و آلودگی مخزن دانه تمیز و در نتیجه افزایش افت کیفی برداشت دارد. لذا در این بخش نیز به منظور ارتباط متغیرهای مستقل روی میزان MOG عبوری از مدل‌های ریاضی متنوعی استفاده گردید و در نهایت مدل نمایی (رابطه ۷) مناسب تشخیص داده شد (R^2=0.94).

مطابق تصاویر شکل ٤ و رابطه ۷، میزان مواد غیردانه‌ای عبوری از الک رویی کمباین به صورت نمایی با شیب تند (شبه خطی) با افزایش شدت تغذیه مواد افزایش می‌یابد. نتایج این بخش نقطه مقابل درصد مواد دانه‌ای عبوری می‌باشد که قبلا توضیحات آن ارائه گردید. به طوریکه با افزایش شدت تغذیه، درصد مواد دانه‌ای عبوری (اعم از دانه آزاد و کزل) کاهش و عبور مواد غیردانه‌ای افزایش می‌یابد. افزایش شدت تغذیه در یک مزرعه خود متاثر از

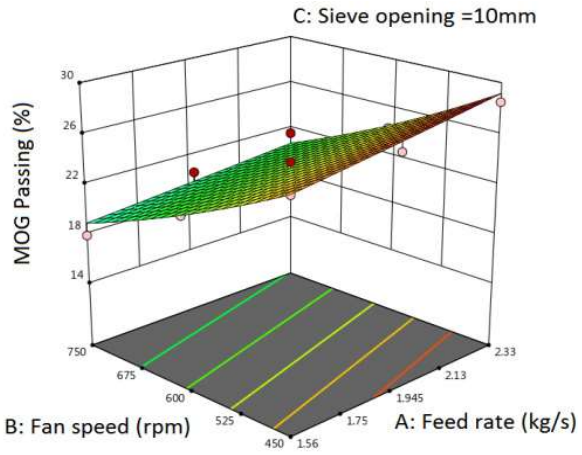
افزایش سرعت پیشروی و کاهش ارتفاع دروی محصول (کاهش ارتفاع هِد) می‌باشد [٤]. همچنین بر پایه شکل اخیر و رابطه ۷، میزان عبور مواد غیردانه‌ای از الک رویی با افزایش سرعت فن به صورت نمایی شبه خطی کاهش می‌یابد. افزایش سرعت فن منجر به افزایش مقدار هوای دمیده شده به مواد روی الک گردیده و جریان هوای ایجاد شده باعث جداسازی بهتر دانه از مواد غیردانه‌ای و بیرون پراندن مواد غیردانه‌ای (عمدتا کاه) از عقب کمباین به علت پایین بودن سرعت حد کاه و خرده کلش در قیاس با مواد دانه‌ای می‌گردد. البته ذکر این نکته خالی از لطف نمی‌باشد که مقداری از تلفات مربوط به واحد تمیزکننده معلول تنظیم ناصحیح در سایر قسمت‌های کمباین می‌باشد. این علل عبارتند از: الف) کوبیده شدن بیش از حد و مکرر که سبب خرد شدن کاه و بیش باری الک رویی و افزایش افت کیفی و کمی می‌گردد [۵]. ب) افزایش بار کمباین به سبب دروی محصول در سطحی پایین‌تر از ارتفاع لازم و ج) افزایش بار کمباین به سبب سرعت خیلی زیاد کمباین نسبت به شرایط مزرعه و محصول که این خود منجر به افزایش شدت تغذیه مواد به واحد تمیزکننده و افزایش تلفات می‌گردد [۲]. نهایت امر اینکه میزان مواد غیردانه‌ای عبوری از الک رویی با افزایش بازشدگی سوراخ الک رویی به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به طوریکه شیب این افزایش عبور با افزایش میزان بازشدگی سوراخ الک رویی رفته رفته کم می‌شود. از علل افزایش میزان این عبور، علاوه بر افزایش اندازه سوراخ الک و در نتیجه افزایش احتمال عبور مواد (دانه‌ای و غیردانه‌ای)، می توان به کاهش سرعت هوا در اثر بازشدگی بیشتر اندازه سوراخ الک رویی و در نتیجه کمتر پرانده شدن مواد غیردانه‌ای به عقب الک و بیرون کمباین و به دنبال آن افزایش احتمال نفوذ و عبور بیشتر مواد غیردانه‌ای از الک رویی علی الخصوص کاه‌های بیشتر خرد شده اشاره کرد.



الف



ب



ج

شکل ٤: شکل سه‌بعدی برای بررسی اثر متقابل شدت تغذیه مواد و سرعت فن روی مواد غیردانه‌ای عبوری از الک رویی در میزان بازشدگی‌های متفاوت سوراخ الک رویی الف) ٦ میلیمتر ب)٨ میلیمتر و ج)١٠ میلیمتر

٣-٤- بهینه سازی

به منظور حصول شرایط بهینه عملکرد واحد تمیزکننده کمباین، توابع مطلوبیت متغیرهای وابسته (روابط ٥ الی٧) به کار گرفته شد که نتایج آن در جدول ٤ ارائه شده است. مطابق جدول اخیر، ماکزیمم دانه آزاد عبوری (Free grain passing**) با مقدار** 65.5%**، ماکزیمم خوشه نیمکوب (** Semi Threshed Cluster passing**) با مقدار** 2.3% **و مینیمم مواد غیردانه‌ای عبوری با مقدار** 23.5% **در شدت تغذیه مواد** 3.33kg/s**، سرعت فن** 741rpm **و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی** 10mm **با مقدار مطلوبیت** 0.84 **بدست آمد که مقداری قابل قبول می باشد.**

جدول ٤- نقطه بهینه پیشنهادی برای عملکرد بهینه سیستم تمیزکننده کمباین

Feed rate (kg/s)	Fan speed (rpm)	Sieve opening (mm)	Grain passing (%)	S.T.C passing (%)	MOG passing (%)	Desirability
3.33	741	10	65.5	2.3	23.5	0.84

نتیجه گیری

١- **اثر هر سه فاکتور شدت تغذیه، سرعت بادزن و میزان بازشدگی سوراخ الک روی میزان درصد دانه عبوری از الک رویی معنی‌دار شدند. به طوری‌که با افزایش میزان بازشدگی سوراخ الک رویی، کاهش شدت تغذیه و سرعت فن، میزان دانه عبوری از الک رویی افزایش و در نتیجه افت دانه‌ای انتهای الک رویی کاهش پیدا کرد.**

٢- **معنی‌دار شدن اثر فاکتورهای شدت تغذیه و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی بر میزان درصد کزل (خوشه نیمکوب) عبوری از الک کمباین و غیر معنی‌دار شدن اثر فاکتور سرعت فن حکایت از اهمیت عوامل مکانیکی در مقایسه با عوامل نیوماتیکی در جداسازی کزل‌ها از سایر مواد و عبور بیش‌تر آن‌ها از الک رویی دارد.**

٣- **اثر هرسه عامل مستقل برروی میزان درصد** MOG **عبوری از الک رویی کمباین معنی‌دار شدند. معنی‌دار شدن هرسه عامل نشان دهنده اهمیت عوامل مکانیکی و نیوماتیکی بررسی شده در این پژوهش بر روی**

میزان MOG **عبوری از الک رویی و به دنبال آن بیش باری الک زیری و آلودگی مخزن دانه تمیز و در نتیجه افزایش افت کیفی برداشت دارد.**

۴- **به منظور ارتباط متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته (میزان دانه آزاد، کزل و** MOG **عبوری از الک رویی)، مدل‌های ریاضی متنوعی استفاده گردید و در نهایت برای هرسه متغیر وابسته مدل نمایی مناسب و مطلوب تشخیص داده شد.**

۵- **با بکارگیری توابع مطلوبیت متغیرهای وابسته، ماکزیمم دانه آزاد عبوری** (Free grain passing) **با مقدار** 65.5%، **ماکزیمم خوشه نیمکوب** (Semi Threshed Cluster passing) **با مقدار** 2.3% **و مینیمم مواد غیردانه‌ای عبوری با مقدار** 23.5% **در شدت تغذیه مواد** 3.33kg/s، **سرعت فن** 741rpm **و میزان بازشدگی سوراخ الک رویی** 10mm **با مقدار مطلوبیت** 0.84 **تعیین گردید.**

منابع

۱- **الماسی، م.، کیانی، ش. و لویمی، ن. ۱۳۸۰. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. موسسه انتشارات حضرت معصومه (س).**

۲- **رضوی، م. م.، ۱۳۷۸. ماشینهای برداشت غلات و سایر دانه‌های گیاهی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).**

۳- **مقدم، س. ۱۳۸۵. بررسی افت برداشت گندم در استان آذربایجان شرقی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.**

۴- **میرزازاده، ع. عبداله پور، ش. و مقدم، م. ۱۳۹۰. اثر پارامترهای طراحیبر جدا شدن مواد در کوبنده برای کمینه کردن افت جداکننده در کمباین. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار دانشگاه تبریز. جلد ۲۱/ شماره ۳.**

۵- **میرزازاده، ع. عبداله پور، ش. و مقدم، م. ۱۳۹۳. تعیین ترتیب عوامل موثر در مقدار افت کزل الک رویی. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز. دوره ۲/ شماره۲.**

۶- **ولی زاده، م. و مقدم، م. ۱۳۸٦. طرح های آزمایشی در کشاورزی، ویراست چهارم. انتشارات پریور.**

7- Beck, F. 1999. Simulation der trennprozesse im mähdrescher. Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 14(92), Dissertation Stuttgart.

8- Benaseer, S., Masilamani, P., Alex Albert, V., Govindaraj, M., Selvaraju, P. and Bhaskaran, M. 2018. Impact of harvesting and threshing methods on seed quality. Agricultural Reviews, 39(3) 2018: 183-192

9- Bottinger, S. and Kutzbach, H.D. 1987. Performance characteristic of a cleaning unit under various crop conditions. ASAE paper No. 87-1512. St. Joseph, MI., USA.

10- Craessaerts, C., Saeys, W., Missotten, B. and Baerdemaeker, J.D. 2007a. A genetic input selection methodology for identification of the cleaning process on a combine harvester, Part I: Selection of relevant input variables for identification of the sieve losses. Biosystem Engineering, 98: 166 – 175.

11- Craessaerts, C., Saeys, W., Missotten, B. and Baerdemaeker, J.D. 2007b. A genetic input selection methodology for identification of the cleaning process on a combine harvester, Part II: Selection of relevant input variables for identification of material other than grain (MOG) content in the grain bin. Biosystem Engineering, 98: 297 – 303.

12- Craessaerts, C., Saeys, W., Missotten, B. and Baerdemaeker, J.D. 2008. Identification of the cleaning process on combine harvesters. Part I: A fuzzy model for prediction of the material other than grain (MOG) content in the grain bin. Biosystem Engineering, 101: 42 – 49.

13- Craessaerts, C., Saeys, W., Missotten, B. and Baerdemaeker, J.D. 2010. Identification of the cleaning process on combine harvesters, Part II: A fuzzy model for prediction of the sieve losses. Biosystem Engineering, 106: 97 – 102.

14- Hunt D. Farm power & machinery management. (10th ed). Lowa state press; 2001.

15- Kutzbach, P.I. 2003. Approaches for mathematical modelling of grain separation.Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing, ASABE Paper No. 701P1103e. St. Joseph, Mich., USA.

16- Meinel, A. and H. Schubert. 1971. Zu den Grundlagen der Feinsiebung. Aufbereitungs-Technik 12(3): 128-133.
17- Mirzazadeh, A., Abdollahpour, SH. and Moghaddam, V. M. 2015. Incorporating Skewness and Kurtosis in Improvement of Combine Harvester Cleaning System Performance. International Journal of Agriculture Innovations and Research. Volume 3, Issue 5, ISSN (Online) 2319-1473.
18- Miu PI. and Kutzbach HD. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing unites, Part I. Journal of Computer and Electronics in Agriculture. 2008. 96-104.
19- Mesri, T.G., Ardabili, S., Mosavi, A., and Annamaria, R. and Varkonyi Koczy. 2019. Prediction of Combine Harvester Performance Using Hybrid Machine Learning Modeling and Response Surface Methodology. International Conference on Global Research and Education . https://doi.org/10.20944/preprints201908.0202.v1.
20- Srivastava, A., Goering, C., Rohrbach, R. and Buckmaster, D. 2006. Engineering principles of agricultural machines, 2nd ed., St. Joseph, Michigan, USA.
21- Voicu, G., Casandroiu, T. and Stan, G. 2007. Using the dimensional analysis for a mathematical model to prediction the seeds losses at the cleaning system of the cerials harvesting combines. Scientific Bulletin, Series D, 69(4): 29-39.
22- Wallays, C., Missotten, B., Baerdemaeker, J.D. and Saeys, W. 2009. Hyperspectral selection for on-line measurement of grain cleanness. Biosystem Engineering, 104: 1-7.

Proposing a mathematical model of grain combine cleaning system performance and its optimization using surface response method

Ali Mirzazadeh[1*], Shamsollah Abdollahpour[2] and Mehdi Hakimzadeh[3]

1. Department of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources (Moghan), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. M.S. student, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran

Abstract

The performance of grain combine harvesters is measured by three factors: threshing power, losses, and fuel consumption. In a grain combine harvester, losses can be reduced, for example, by separating processes and providing a suitable mathematical model for each of them by examining and measuring the factors influencing losses and optimizing their function. This model is then used to control the system. An important process that has a significant impact on combine waste is the cleaning system. This study modeled and optimized the function of a cleaning system using response surface methodology (RSM). Feed rate, fan speed, and upper sieve opening were considered independent variables, and the percentage of grain passage, MOG content, and s.t.c passing through the upper sieve as dependent variables. The results showed a significant effect of all three independent variables on the percentage of free grains passing through the upper sieve with a probability level of 0.001; However, not all interactions were significant. Also, it was found that feed rate and upper sieve opening had a significant effect on the percentage of s.t.c passing through the sieve of the combine harvester at probability levels of 0.05 and 0.001, respectively, while fan speed and all interactions had no significant effect. All three independent variables significantly affected the MOG content passing through the upper sieve of the combine harvester. An appropriate exponential model was found for all three dependent variables. Then, the optimal conditions were determined for the maximum passage of materials containing grain through the upper sieve (minimum quantitative losses) and the minimum MOG (minimum qualitative losses), a feed rate of

3.33 kg/s, a fan speed of 742 rpm, and an upper sieve 10 mm opening, with a desirability of 0.84, based on RSM-based modeling.
Key words: Combine harvester, Loss, Optimization, RSM methodology.

*Corresponding author
E-mail: Ali.mirzazadeh@uma.ac.ir