

ارزیابی تأثیر رطوبت و نوع کمباین برداشت بر افت‌های کمی و کیفی برنج رقم چمپا

نعیم لویمی^{۱*}، محسن سلیمانی^۲ و محمد جواد به‌وندی^۳

چکیده

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانه است که طی چند سال اخیر توسط کمباین‌هایی با مکانیزم‌های متفاوت برداشت می‌شود. در این تحقیق میزان تلفات کمی و کیفی برنج رقم چمپا در شهرستان رامهرمز به وسیله کمباین‌های مختلف در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به روش کرت‌های یک بار خرد شده مورد ارزیابی قرار گرفت. کرت‌های اصلی شامل مقادیر رطوبت محصول در هنگام برداشت در سه سطح ۱۹-۲۱، ۲۱-۲۳ و ۲۳-۲۵ درصد، و کرت‌های فرعی شامل نوع کمباین در چهار سطح کمباین غلات دارای کوبنده سوهانی، کمباین غلات دارای کوبنده دندان‌میخی، کمباین برنج مدل ورلد دارای کوبنده دندان‌میخی و کمباین برنج مدل چری دارای کوبنده دندان‌میخی بودند. نتایج نشان داد که تلفات کمی و کیفی تحت تأثیر معنی‌دار رطوبت قرار گرفت. از نظر رطوبتی، کمترین و بیشترین تلفات کمی به ترتیب با مقدار ۳/۶۰ درصد در رطوبت ۲۱-۲۳ و مقدار ۳/۸۷ درصد در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد اتفاق افتاد. همچنین کمترین و بیشترین تلفات کیفی به ترتیب با مقدار ۱/۳۷ درصد در رطوبت ۲۳-۲۵ درصد و ۳/۰۱ درصد در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد مشاهده شد. طبق نتایج، تمام اجزای مختلف تلفات کمی، به جز قسمت هد کمباین و نیز تمام اجزای مختلف تلفات کیفی، تحت تأثیر معنی‌دار نوع کمباین‌ها قرار گرفت. کمترین و بیشترین مقادیر افت کمی به ترتیب متعلق به کمباین برنج مدل ورلد با ۲/۹۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۴/۸۳ درصد بود. همچنین از نظر افت کیفی، کمترین و بیشترین مقادیر به ترتیب به کمباین برنج مدل چری با ۱/۳۲ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۳/۹۹ درصد تعلق داشت.

واژه‌های کلیدی: افت کمی، افت کیفی، برنج رقم چمپا، کوبنده سوهانی، کوبنده میخی.

ارجاع: لویمی ن. سلیمانی م. و به‌وندی م. ج. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر رطوبت و نوع کمباین برداشت بر افت‌های کمی و کیفی برنج رقم چمپا. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷۷-۹۰. ۲۵: ۱۰۲۱۹-۵۶۸. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10219.568>

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: n1584m@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

مقدمه

غذای اصلی دو میلیارد انسان از برنج تأمین می‌شود. همچنین پروتئین مورد نیاز ۴۰ تا ۷۰ درصد کل مردم قاره آسیا از محصول برنج است (Datta, 2004). یکی از مهم‌ترین مسائل تولید محصول برنج، تلفات در هنگام برداشت آن است. افت برداشت برنج با توجه به سطح زیر کشت آن می‌تواند خسارات زیادی به کشاورزان و اقتصاد هر کشور وارد نماید. مطالعات مختلفی در نواحی و کشورهای مختلف، مخصوصاً در کشورهای آسیایی بر روی میزان افت برداشت دانه برنج انجام شده است و با توجه به نواحی جغرافیایی، نوع واریته و روش‌های برداشت، میزان افت نیز متفاوت بوده است. حتی در یک ناحیه، در فصول مختلف نیز، میزان افت متفاوت بوده است. برای مثال، در مصر، افت برداشت به وسیله کمباین بین ۱/۳۵ تا ۲/۴۹ درصد و در هند بین ۲/۸۸ تا ۳/۶ متغیر است. همچنین حداقل افت بوسیله کمباین در چین ۱/۲۳ و در بنگلادش این مقدار برابر با ۱/۶۱ بوده، در حالی که افت برداشت به وسیله دست همراه با کوبش سنتی آن در این دو کشور به ترتیب ۵/۵ و ۶/۹۵ درصد گزارش شده است (Qu et al., 2021).

امروزه در کشور ما برداشت محصولات و خصوصاً برنج به دلیل مشقتها و نیز وجود فناوری، از حالت سنتی و غیرمکانیزه با دست، و یا نیمه‌مکانیزه به شکل برداشت با دست و جدایش با ماشین، به شکل کاملاً مکانیزه تغییر یافته است. علاوه بر استفاده از کمباین‌های رایج غلات، کمباین‌های مخصوص برداشت برنج نیز چندین سال است که در مزارع برنج کشور به کار گرفته می‌شوند. قسمت کوبنده در کمباین‌های غلات به دو شکل دندان میخی و سوهانی است، در حالی که همه کمباین‌های برنج دارای کوبنده میخی هستند.

افت دانه در برداشت با کمباین به عوامل زیادی وابسته است. این عوامل شامل سرعت پیشروی کمباین، نسبت مواد غیر از دانه (کاه و کلش) به دانه، محتوی رطوبتی، سرعت دورانی کوبنده و فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده است (Hasan et al., 2019; Andrews et al., 1993). در یک مطالعه روی کمباین برداشت برنج، نرخ تغذیه مواد مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان افت بیان شد (Andrews et al., 1993). همچنین نسبت مواد غیر از دانه (کاه و کلش) به دانه، دومین عامل تأثیرگذار بود. در مورد

اجزای افت، هد کمباین بیش از ۵۰ درصد از کل تلفات را به خود اختصاص داد (Zareei & Abdollahpour, 2016). شاخص سرعت چرخ‌فلک (نسبت سرعت محیطی چرخ فلک به سرعت پیشروی کمباین برداشت)، ارتفاع برش محصول و فاصله افقی و عمودی چرخ و فلک از شانه برش از عوامل مؤثر در افت هد کمباین بیان شده است (Zareei & Abdollahpour, 2016). میزان افت دانه همچنین با طول عمر کمباین و همچنین تنظیمات قسمت‌های مختلف نیز در ارتباط است. طبق نتایج مطالعه (Reşat et al., 2016)، افت محصول در طول عمرهای مختلف کمباین از ۶/۶۷ درصد تا ۹/۲۳ درصد متغیر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که عمر کمباین مستقیماً بر افت مؤثر نیست، بلکه عواملی مانند تنظیم و نگهداری کمباین، مهارت اپراتور، عملکرد محصول و شرایط مزرعه بر میزان افت تأثیر می‌گذارد.

مطالعه‌ای با هدف بررسی سرعت واقعی کمباین برنج و تأثیر آن بر دانه از دست رفته در سطح مزرعه در مالزی انجام شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که سرعت پیشروی کمباین در برداشت برنج در شرایط شالیزارهای مالزی از ۳/۸۷ تا ۶/۱۱ کیلومتر در ساعت متغیر است. در حالی که بهترین سرعت مزرعه ۳/۸۷ کیلومتر در ساعت بود، چرا که افت دانه در این سرعت تنها ۰/۶۷ درصد و معادل ۱/۹۶ دلار در هکتار بود. همچنین افت دانه یک رابطه خطی را با سرعت مزرعه‌ای نشان داد (Mokhtor et al., 2020).

عملکرد مزرعه‌ای پنج روش مختلف برداشت برنج شامل سه روش برداشت غیرمستقیم از جمله برداشت دستی + کوبیدن توسط خرمن‌کوب، درو با دروگر برنج + خرمن‌کوبی با خرمن‌کوب متصل به تراکتور، درو با دروگر برنج + خرمن‌کوبی توسط کمباین متداول مجهز به هد بردارنده و دو روش برداشت مستقیم بوسیله کمباین برنج تغذیه شونده (فقط عمل کوبش) و کمباین کامل برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر و حداقل ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ترتیب مربوط به کمباین کامل با ۰/۳۶۱ هکتار در ساعت، و برش دستی با ۰/۰۰۹ هکتار در ساعت بود. متوسط تلفات کمی در برداشت غیرمستقیم و برداشت مستقیم به ترتیب ۲/۵۸ درصد و ۲/۳۳ درصد اندازه‌گیری شد که از نظر آماری معنی‌دار نبودند. همچنین میانگین تلفات کیفی (دانه‌های شکسته،

در نهایت محققین مؤسسه ملی آزمون ماشین‌های کشاورزی ژاپن حداکثر مجاز شکستگی دانه برنج برای تأیید مراحل آزمون یک ماشین برداشت را ۱ درصد اعلام کرده‌اند (Masato, 1980).

رطوبت موجود در محصول از جمله عوامل مؤثر بر عملکرد کوبش محصول است. نتایج یک تحقیق نشان داد که عمل کوبش برنج باید در شرایط مناسب رطوبتی انجام گیرد، در غیر این صورت تلفات حاصل ممکن است تا ۵ درصد افزایش یابد (Araullo *et al.*, 1976). این تلفات هم در زمان برداشت و هم در عملیات تبدیل شلتوک به برنج در کارخانه‌های شالیکوبی اثر می‌گذارد. به عبارتی نارس و سبز بودن محصول در مقابل خشک و رسیده بودن بیش از حد آن در راندمان برداشت و نیز شالیکوبی تأثیر مستقیمی دارد.

به نظر می‌رسد با توجه به اختلاف مکانیزم کوبنده‌ها در مرحله کوبش محصول و نوع ضربه‌های وارده به شلتوک و نیز تفاوت میزان رطوبت محصول در هنگام برداشت، میزان افت برداشت در روش‌های مختلف برداشت متفاوت باشد. لذا ارزیابی دقیق مکانیزم‌های برداشت خصوصاً کوبش در کمباین‌ها می‌تواند بطور مؤثری در انتخاب روش مناسب با حداقل افت برداشت محصولات کمک نماید. این مطالعه با هدف بررسی میزان تلفات کمی و کیفی در کمباین‌های سنتی غلات با کوبنده‌های متفاوت (کوبنده‌های سوهانی و میخی) و نیز کمباین‌های مخصوص برنج، در رطوبت‌های مختلف محصول، پایه‌ریزی شده تا مناسب‌ترین روش و رطوبت برای برداشت برنج ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و به روش کرت‌های یک بار خرد شده و در سه تکرار، در پاییز سال ۱۳۹۹ در شهرستان رامهرمز اجرا شد. در واقع به دلیل نیاز به زمین آزمایش نسبتاً بزرگ برای انجام عملیات برداشت توسط کمباین‌ها و نیز کوچک بودن قطعات زراعی منطقه، از سه مزرعه کنار هم برای اجرای این تحقیق استفاده گردید و هر یک از مزارع به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد. تمام عملیات تهیه زمین، آبیاری، تغذیه و کنترل علف‌های هرز سه مزرعه مشترک بود. روش کشت به صورت نشاء کاری، و با توجه به شرایط

پوسته پوسته و ترک خورده) برای برداشت غیرمستقیم ۲/۳۰ درصد و برای برداشت مستقیم ۰/۶۱ درصد بود. روش برداشت به طور معنی‌داری بر درصد برنج شکسته تأثیر گذاشت و از نظر کاهش تلفات، استفاده از کمباین برنج نسبت به روش‌های برداشت غیرمستقیم اولویت داشت (Alizadeh & Allameh, 2013).

در مطالعه دیگر کیفیت برداشت در کشور مالزی با کمباین‌هایی با اندازه معمولی، کمباین نیوهلند مرسوم منطقه با عرض کار ۵ متر، اندازه متوسط، کمباین ورلد استار با عرض ۲/۲ متر، براساس میزان ریزش در هنگام برداشت و نیز کیفیت دانه جمع‌آوری شده در مخزن دانه، دانه تمیز و کوبیده نشده، پس از عملیات برداشت برنج ارزیابی شد (Mairghany *et al.*, 2018). عملیات برداشت برنج در زمین‌های زراعی کشاورزان با مساحت تقریباً ۳۰ هکتار برای کمباین معمولی و حدود ۱۷ هکتار برای کمباین متوسط انجام شد. کیفیت دانه‌های کوبیده شده با توجه به درصد و وزن کل دانه‌های سالم، دانه‌های شکسته یا آسیب دیده، مواد خارجی و دانه‌های پوک بیان شد. براساس مخزن دانه، در کمباین اندازه متوسط، میانگین دانه‌های کوبیده نشده، ۰/۴۹ درصد بیشتر و میزان دانه‌های شکسته، مواد خارجی و دانه‌های پوک به ترتیب به میزان ۶۳، ۸۹ و ۴۶ درصد کمتر از کمباین اندازه معمولی بود. از نظر ریزش پس از برداشت، نتایج نشان داد که میانگین کل افت دانه در کمباین اندازه متوسط ۶۷ درصد کمتر و میانگین تلفات دانه و خوسه افتاده به ترتیب ۷۴ و ۵۰ درصد کمتر از کمباین معمولی بود.

نتایج یک تحقیق نشان داد اختلاف میزان ضایعات ارقام مختلف برنج متأثر از مرحله برداشت و خرمن‌کوبی است و اختلاف معنی‌داری بین ضایعات ارقام در زمان خشک کردن و تمیزکردن وجود نداشت (Hou, 1989). نتایج یک تحقیق دیگر نشان داد که متوسط تلفات کوبش برنج در بنگلادش چیزی حدود ۴ درصد و ارزشی برابر ۳۰۰ میلیون دلار داشت که این میزان می‌تواند ۵ میلیون نفر را در طول یک سال تغذیه کند (Miah, 1994). همچنین طبق نتایج تحقیقات دیگر حداکثر تلفات مجاز کوبنده‌ها، ۱ درصد اعلام شده (Hunt, 1983; Srivastava *et al.*, 1993) و برای کل قسمت‌های مختلف کمباین غلات مقدار مجاز افت، ۳ الی ۵ درصد است (Mansouri-Rad, 1993).

استاندارد و نیز انجام صحیح و بدون مشکل عملیات برداشت صورت گرفت. به عبارت دقیق‌تر کلیه تنظیمات مربوط به سرعت محیطی چرخ و فلک، سرعت کوبنده، فاصله کوبنده و ضد کوبنده، فاصله هلیس و کف، سرعت پیشروی و سایر تنظیمات، براساس برگه اطلاعات و راهنمای هر دستگاه انجام گرفت و با توجه به شرایط برداشت در رطوبت‌های مختلف، هر یک از تنظیمات مذکور براساس نظر رانندگان خبره کمباین‌ها مقداری تغییر داده شد تا محصول در بخش‌های مختلف کمباین‌ها گیر نکند و عملیات برداشت بدون مشکل صورت گیرد.

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت دانه از دستگاه رطوبت‌سنج قابل حمل دانه استفاده گردید. برای اطمینان از صحت کار دستگاه رطوبت‌سنج طبق روش استاندارد (Chen, 2003) نمونه‌ای از محصول پس از توزین، به آزمایشگاه منتقل شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آن نگه داشته شد و سپس دوباره وزن گردید. تفاوت این دو وزن بر حسب وزن اولیه، درصد رطوبت بر پایه تر را نشان می‌دهد.

بعد از رسیدن فصل برداشت برنج در منطقه، در آبان ماه، رطوبت دانه محصول با آزمایش روزانه به وسیله دستگاه رطوبت‌سنج در حداقل ۱۰ تکرار و محاسبه میانگین آنها محاسبه شد. عملیات برداشت هر سطح رطوبتی نیز در صورت قرار گرفتن میانگین رطوبت در محدوده رطوبتی آن سطح بلافاصله در همان روز به وسیله کمباین‌های مختلف آزمایش، انجام گردید. فاصله زمانی برداشت بین سطوح رطوبتی با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت بود. در این آزمایش با توجه به عدم وقوع بارندگی و شرایط دمایی، فاصله برداشت بین سطح رطوبت ۲۳-۲۵ و ۲۱-۲۳ درصد، سه روز، و فاصله برداشت بین سطح رطوبت ۲۱-۲۳ و ۱۹-۲۱ درصد، دو روز بود.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده میزان تلفات کمی شامل ریزش دانه و خوشه در جلوی کمباین‌ها (افت هد)، تلفات مربوط به افت دانه جدا نشده از کاه (واحد کوبنده) و ریزش دانه (واحد جدایش: کاه‌پران، الک‌ها و پنکه باد) و نیز تلفات کیفی شامل درصد شکستگی و لب‌پر شدن دانه شلتوک پس از برداشت بودند. همچنین ظرفیت مزرعه‌ای

مرسوم منطقه بدون عمیات پادلینگ انجام شد. رقم انتخابی برنج، رقم چمپا بود که کشت آن در منطقه رایج است. کرت‌های اصلی میزان رطوبت محصول در هنگام برداشت شامل رطوبت ۲۱-۱۹ درصد، رطوبت ۲۳-۲۱ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد و کرت‌های فرعی نوع کمباین شامل کمباین غلات جان‌دیر ۹۵۵ مجهز به کوبنده سوهانی^۱، کمباین غلات جان‌دیر ۹۵۵ مجهز به کوبنده دندان‌میخی^۲، کمباین برنج مدل ورلد^۳ با کوبنده دندان‌میخی و کمباین برنج مدل چری^۴ با کوبنده دندان‌میخی بودند (شکل ۱). رطوبت مناسب برداشت برنج بین ۲۰ تا ۲۵ درصد توصیه شده که محدوده دقیق‌تر آن براساس منطقه و رقم متفاوت است (IRRI, 2013). برای مثال میزان قابل قبول رطوبت در هنگام برداشت، برای ارقام دانه بلند، ۱۹-۲۲ و برای ارقام دانه متوسط ۲۲-۲۴ درصد، ذکر گردیده است (Siebenmorgen et al., 2006). لذا با توجه به رقم چمپای مورد ارزیابی که رقم دانه متوسط بوده و لزوم برداشت برنج در محدوده حداقل و حداکثر توصیه شده، سه محدوده رطوبتی مذکور مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت به ابعاد ۵ در ۳۰ متر در نظر گرفته شد. عرض هر کرت با توجه به عرض کمباین و با لحاظ حاشیه جانبی، و طول آن به دلیل به ثبات رسیدن کمباین از نظر ورودی محصول انتخاب شد. نمونه‌گیری‌ها نیز از قسمت نزدیک به انتهای هر کرت انجام گردید. در این تحقیق از کمباین‌هایی که طول عمر کمتر از ۵ سال داشته و از نظر فنی سالم بوده استفاده شد. اختلاف عمده کمباین‌ها از نظر مشخصات فنی در این پروژه در بخش کوبنده آنها است. کمباین‌های سنتی غلات در دو نوع کوبنده سوهانی و میخی بوده که در این تحقیق از هر دوی آنها استفاده شد. کمباین‌های برنج هر یک دارای دو کوبنده دندان‌میخی (پیش‌کوبنده و کوبنده اصلی) بوده و علت انتخاب دو مدل ورلد و چری به دلیل گستردگی استفاده از این دو مدل در منطقه و نیز تفاوت آنها از نظر قدرت موتور و مشخصات ابعادی کوبنده‌های آنها بود (جدول ۱).

ارتفاع برش هنگام برداشت ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و تنظیمات کمباین‌ها براساس دو عامل توصیه

1- Raspbar
2- Spike type
3- World model
4- Chery

کمباین‌ها نیز اندازه‌گیری شد. در نهایت مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در محیط نرم‌افزار

MSTATC نسخه ۴ انجام شد.



ب- کمباین برنج



الف- کمباین غلات



د- کوبنده میخی کمباین غلات



ج- کوبنده سوهانی کمباین غلات



و- کوبنده میخی کمباین برنج مدل چری



ه- کوبنده میخی کمباین برنج مدل ورد

شکل ۱- کمباین‌ها و کوبنده‌های مختلف مورد ارزیابی

محصول نگردد.

مجدداً عمل انداختن قاب این بار در پشت کمباین (بعد از انجام عملیات برداشت) و در کناره‌هایی از پشت کمباین که بقایا وجود ندارد، تکرار گردید و میزان دانه و خوشه‌های قرار گرفته درون قاب وزن گردید. این عمل همانند قبل برای هر کرت سه بار تکرار و میانگین آنها محاسبه شد. با توجه به این، افت هد کمباین براساس معادله (۱) محاسبه گردید (Alizadeh & Allameh, 2013).

$$L_H = \frac{W_2 - W_1}{Y} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله L_H افت هد کمباین (درصد)، W_1 وزن دانه و خوشه‌های درون قاب قبل از برداشت (کیلوگرم در هکتار)، W_2 وزن دانه و خوشه‌های درون قاب بعد از برداشت (کیلوگرم در هکتار) و Y عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

روش اندازه‌گیری شاخص‌ها

افت کمی:

الف- افت هد کمباین

در همه اندازه‌گیری‌های مربوط به افت‌های کمی ابتدا عملکرد دانه هر کرت براساس انداختن تصادفی سه بار قاب یک متر در یک متری به صورت تصادفی برآورد شد. افت هد کمباین از تفاوت میزان دانه و خوشه‌های افتاده در زیر یک قاب یک در یک متری در بعد و قبل از برداشت محاسبه می‌شود. بدین صورت که دانه و خوشه‌های ریخته شده روی زمین، قبل از برداشت محصول، با انداختن قاب جمع‌آوری و وزن شد. این عمل در سه تکرار و به صورت تصادفی انجام گردید و میانگین وزن هر سه بار، در هر کرت، به عنوان تلفات طبیعی آن کرت در نظر گرفته شد. در این مرحله دقت شد که انداختن قاب به گونه‌ای باشد که خود باعث ریزش

جدول ۱- مشخصات کمباین‌های مورد استفاده در تحقیق

مشخصات کوبنده اصلی	مشخصات پیش کوبنده	تعداد و نوع کوبنده	عرض کار مفید (متر)	توان موتور (اسب بخار)	نوع کمباین
طول ۱۰۲ سانتی‌متر، ۸ ردیف نبشی سوهانی در محیط کوبنده، عرض هر نبشی ۱۲ سانتی‌متر	-	یک واحد کوبنده سوهانی	۳/۲	۱۲۰	غلات جان‌دیر ۹۵۵
طول ۱۰۲ سانتی‌متر، ۸ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۶ انگشت در هر ردیف	-	یک واحد کوبنده میخی	۳/۲	۱۲۰	غلات جان‌دیر ۹۵۵
طول ۱۳۵ سانتی‌متر، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۸ انگشت در هر ردیف	طول ۹۴ cm، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۲ انگشت در هر ردیف	یک واحد پیش کوبنده میخی و یک واحد کوبنده میخی	۲/۲	۱۱۰	برنج مدل ورلد
طول ۱۳۰ سانتی‌متر، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۶ انگشت در هر ردیف	طول ۶۰ cm، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۸ انگشت در هر ردیف	یک واحد پیش کوبنده میخی و یک واحد کوبنده میخی	۲/۲	۱۰۰	برنج مدل چری

ب- افت دانه‌های جدا شده (ریزش دانه)

برای اندازه‌گیری افت دانه جدا شده یا ریزش، از روش سینی سر پوشیده استفاده شد. بدین ترتیب که طول سینی، یک متر (طول در راستای مسیر برداشت محصول)، و عرض آن کمی بیشتر از عرض خروجی کمباین (۱/۲ متر) بوده به نحوی که تمام بقایای خارج شده از پشت کمباین در داخل سینی بریزد، در نظر گرفته شد. این سینی در عین حرکت کمباین و انجام عملیات برداشت، در پشت کمباین و قبل از افتادن بقایا، به زیر کمباین انداخته می‌شود بطوری که بقایا کاملاً روی آن بریزد. در واقع افت دانه جدا شده هر کمباین مربوط به دانه‌های کوبیده شده و جدا شده از خوشه است که عمل جدایش آنها توسط کاه‌پران صورت نگرفته و در میان بقایا مانده‌اند. همچنین بخش کوچکی از این ریزش ناشی باد پنکه کمباین است که با توجه به تنظیمات مداوم جهت و مقدار باد، این مقدار به حداقل رسیده است. لذا با تکان دادن بقایای افتاده روی سینی و جدا کردن دانه‌ها از بقایا، این دانه‌ها وزن گردیده و براساس معادله (۲) محاسبه شد (Loveimi et al., 2008).

$$L_C = \frac{W_3}{Y} \times 100 \quad (2)$$

در این معادله L_C افت دانه‌های جدا شده (درصد)، W_3 وزن دانه‌های درون بقایای روی سینی (کیلوگرم در هکتار) و Y عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

ج- افت دانه جدا نشده

افت دانه جدا نشده (کوبیده نشده) و چسبیده به خوشه هر کمباین همانند دانه‌های جدا شده و به وسیله سینی سر پوشیده محاسبه شد. افت دانه جدا نشده هر کمباین مربوط به دانه‌های کوبیده نشده و چسبیده به خوشه است که عمل کوبش روی آنها صورت نگرفته و با بقایا از کمباین خارج شدند. لذا با جدا کردن خوشه‌های کوبیده نشده و نیم‌کوب شده درون بقایای افتاده روی سینی و کوبیدن و توزین آنها، براساس معادله (۳)، این افت محاسبه گردید (Loveimi et al., 2008).

$$L_D = \frac{W_4}{Y} \times 100 \quad (3)$$

در این معادله L_D افت دانه‌های جدا نشده هر کمباین (درصد)، W_4 وزن دانه‌های مربوط به خوشه‌های کوبیده نشده و نیم‌کوب‌شده در بین بقایای ریخته‌شده روی سینی (کیلوگرم در هکتار) و Y عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

د- افت کمتی کل

از مجموع افت هد کمباین، افت دانه جدا شده و افت دانه جدا نشده، افت کمتی کل هر کمباین طبق معادله (۴) محاسبه شد (Loveimi et al., 2008).

$$L = L_H + L_C + L_D \quad (4)$$

در این معادله L افت کمتی کل کمباین (درصد) است.

افت کیفی

دانه‌های شکسته و افت دانه‌های لب‌پر شده براساس معادله (۷) به دست آمد (Loveimi *et al.*, 2008).

$$S = Sa + Sb \quad (۷)$$

در این معادله S: افت کل کیفی (درصد)، Sa: افت دانه‌های شکسته (درصد) و Sb: افت دانه‌های لب‌پر شده (درصد) است.

ظرفیت زراعی

برای محاسبه ظرفیت زراعی، زمان انجام عملیات برداشت برای مساحت مشخصی خارج از زمین آزمایش (مساحت حداقل یک هکتار) توسط هر کمباین یادداشت شد و ظرفیت زراعی هر کمباین براساس معادله (۸) محاسبه گردید (Almassi *et al.*, 2015).

$$C = \frac{A}{T} \quad (۸)$$

در این معادله C ظرفیت زراعی هر کمباین (هکتار در ساعت)، A مساحت مشخص برداشت شده (هکتار) و T کل زمان صرف شده برای برداشت مساحت مشخص شده (ساعت) است.

نتایج و بحث**افت کمی****افت هد برداشت**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به هد کمباین‌های مورد ارزیابی در اثر رطوبت معنی‌دار بود ولی نوع کمباین برداشت و نیز اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت هد، اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت هد کمباین به ترتیب به رطوبت ۲۵-۲۳ درصد با ۱/۱۷ درصد و رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۲/۴۴ درصد تعلق داشت. همچنین کمباین‌ها از نظر افت هد در یک سطح قرار گرفتند اما بطور نسبی، کمباین غلات با کوبنده دندان میخی با ۱/۷۷ درصد، کمترین، و کمباین برنج مدل ورلد با ۱/۸۴ درصد، بیشترین مقادیر را داشتند (جدول ۳). تأثیر رطوبت بر افت هد موضوعی است که به میزان قدرت اتصال خوشه به ساقه و نیز دانه به خوشه مرتبط است. در عموم محصولات کشاورزی در رطوبت بالا این اتصال قوی بوده و با روند خشک شدن این اتصال کم می‌شود (Boz *et al.*, 2012; Yaoming *et al.*, 2007) و به عبارتی زمان برداشت فرا

افت کیفی برداشت توسط کمباین‌ها مربوط به میزان شکستگی دانه در هنگام برداشت است و منابع (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi *et al.*, 2008) مقادیر شکستگی، چه شکسته کامل و چه صدمه جزئی از کناره‌ها را جزو افت کیفی حساب نموده‌اند. در این تحقیق برای بررسی بیشتر، این دو به صورت جدا در نظر گرفته شده‌اند، اما روش کلی محاسبه آنها به یک شکل و براساس همان روش به کار برده در منابع مذکور است.

الف - افت دانه‌های شکسته

برای محاسبه افت دانه‌های شکسته، از محصول دانه هر کرت سه نمونه یک کیلوگرمی از مخزن کمباین در هنگام رسیدن کمباین برداشت به میانه دوم هر کرت و جهت عدم اختلاط محصول هر کرت با کرت قبلی، اخذ شده و سپس میزان دانه‌های شکسته کامل، جدا و توزین شدند. براساس وزن کل نمونه‌های هر کرت، میزان تلفات مربوط به درصد شکستگی از معادله (۵) به دست آمد (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi *et al.*, 2008).

$$Sa = \frac{W_a}{W} \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه S_a: افت دانه‌های شکسته (درصد)، W_a: وزن دانه‌های شکسته کامل شلتوک در نمونه (گرم) و W: وزن کل دانه‌های هر نمونه (گرم) است.

ب - افت دانه‌های لب‌پر

با جدا کردن دانه‌های شکسته جزئی از کناره‌ها در نمونه‌های مذکور هر کرت و بر اساس وزن کل نمونه‌های هر کرت، تلفات مربوط به درصد لب‌پر شده از معادله (۶) به دست آمد (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi *et al.*, 2008).

$$Sb = \frac{W_b}{W} \times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه Sb: افت دانه‌های لب‌پر شده (درصد)، W_b: وزن دانه‌های شکسته جزئی از کناره‌های شلتوک در نمونه (گرم) و W: وزن کل دانه‌های هر نمونه (گرم) است.

ج - افت کل کیفی

افت کل کیفی مربوط به مجموع تمام دانه‌های شکسته کامل و جزئی است. لذا این افت از حاصل جمع افت

در واقع افت دانه جدا نشده از خوشه به دو عامل میزان اتصال دانه به خوشه و نوع مکانیزم کوبش و قدرت آن بستگی دارد. بدین ترتیب وجود افت بیشتر دانه جدا نشده در رطوبت‌های بالاتر به دلیل اتصال محکم‌تر دانه به خوشه قابل توجیه است (Wang *et al.*, 2021; Boz *et al.*, 2007). با وجود دو سازوکار متفاوت سوهانی و میخی در کمباین‌های مورد ارزیابی، معنی‌دار شدن افت دانه جدا نشده قابل انتظار بود. در واقع یکی از دلایل مهم افت دانه جدا نشده، تراکم محصول و نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای است (Modarres-Razavi, 1996; Srivastava *et al.*, 1993). در شرایط تراکم محصول و افزایش ورودی در کمباین، بخشی از خوشه‌ها در لابلای محصول از دسترس اجزای کوبش کوبنده خارج می‌شوند. همچنین مکانیزم کوبش و ساختار کوبنده‌ها نقش اساسی در این افت دارند. کوبنده سوهانی مخصوص گندم بوده که هر کدام از دانه‌ها در پوشینه قرار گرفته و از طریق این پوشینه به سنبله اصلی وصل هستند. لذا عمل کوبش باید علاوه بر جدا کردن پوشینه از سنبله، بوسیله سایش عمل خارج کردن دانه از پوشینه را هم انجام دهد. بدین ترتیب کوبنده سوهانی برای برداشت گندم دارای مزیت ویژه است اما برای برداشت برنج که پوشینه وجود ندارد احتیاجی به سایش نیست. از طرف دیگر هر کدام از میخ‌های کوبنده میخی با نفوذ در بین محصول، باعث می‌شود که خوشه‌های بسیار کمتری بدون کوبیده شدن، از کوبنده خارج شوند. به این ترتیب تراکم محصول (حجم مواد ورودی کمباین) و نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای در این کوبنده در میزان این افت کمتر اثر دارد و به عبارت صحیح‌تر کوبنده میخی در حجم مواد ورودی مساوی، افت دانه جدا نشده کمتری دارد. همچنین کمباین‌های برنج ورلد و چری علاوه بر داشتن کوبنده میخی اصلی، یک پیش‌کوبنده نیز دارند و نیز نسبت توان موتور به عرض کار آنها بیشتر بوده (جدول ۱) و لذا با توجه به شدت بیشتر کوبش، افت دانه جدا نشده کمتری داشتند. علاوه بر این مدل ورلد کمباین برنج علاوه بر داشتن پیش‌کوبنده عریض‌تر، نسبت توان موتور به عرض کار آن از مدل چری بیشتر بوده (جدول ۱) و لذا کمترین افت دانه جدا نشده از این کمباین به دست آمد.

می‌رسد. با این توصیف، افت کمتر در رطوبت بیشتر قابل تحلیل است. افت هد در کمباین‌های مورد ارزیابی نیز با مکانیزم هد و چگونگی جمع‌آوری محصول جهت برداشت توسط آنها مرتبط است که در چهار نوع کمباین مورد ارزیابی همه هدها از نوع انگشتی بوده و با توجه به انجام تنظیمات استاندارد از جمله سرعت پیشروی، نسبت سرعت چرخ و فلک به سرعت پیشروی، ارتفاع هد و موارد دیگر مرتبط با اجزاء هد در همه کمباین‌ها، عدم معنی‌دار شدن این افت در کمباین‌های مورد ارزیابی توجیه می‌شود. به همین شکل و با توجه به عدم تفاوت در مکانیزم و تنظیمات هدها در انواع کمباین‌های مورد ارزیابی، عدم معنی‌دار شدن افت هد در اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین قابل تحلیل می‌شود. بدین ترتیب با مکانیزم مشترک و تنظیمات استاندارد هد انواع کمباین‌ها، روند تغییرات افت آنها در هر دامنه رطوبتی نزدیک به هم است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که افت هد بیشترین میزان از افت در بین بخش‌های مختلف کمباین (بیشتر از ۵۰ درصد کل افت) را دارا است (Taghinazhad & Dehghan, 2020; Zareei & Abdollahpour, 2016; Behroozi-lar, 2000; Behroozi-lar *et al.*, 1995). در این تحقیق نیز افت هد در کمباین‌های برنج بیش از ۵۰ درصد افت کمتی کل بوده و در کمباین‌های غلات نیز حدود ۴۰ درصد بود. همچنین این افت بجز در کمباین غلات با کوبنده سوهانی، بیشترین سهم از اجزای افت را دارا بود.

افت دانه جدا نشده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه جدا نشده در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه جدا نشده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه جدا نشده به ترتیب به رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۰/۷۵ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۱/۶۸ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه جدا نشده به ترتیب از کمباین برنج مدل ورلد با ۰/۶۴ درصد (بدون اختلاف معنی‌دار با کمباین برنج مدل چری) و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۱/۹۷ درصد به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات (MS) میزان تلفات کمی برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	افت هد برداشت	افت دانه جدا نشده	افت دانه جدا شده	افت کمی کل
بلوک	۲	۰/۰۵۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۱۵۴
میزان رطوبت (M)	۲	۴/۷۷۰ **	۳/۰۴۸ **	۰/۰۳۹ **	۰/۷۸۱ **
خطای a	۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳۹
نوع کمباین (C)	۳	۰/۰۰۱	۲/۹۳۳ **	۱/۳۱۵ **	۷/۷۰۶ **
اثر متقابل (M*C)	۶	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴
خطای b	۱۸	۰/۱۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات (رصد)		۷/۹۵	۹/۵۲	۱۱/۶۶	۱۱/۷۵

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین تلفات کمی در روش‌های مختلف برداشت*

تیمار	افت هد برداشت (درصد)	افت دانه جدا نشده (درصد)	افت دانه جدا شده (درصد)	افت کمی کل (درصد)
میزان رطوبت				
رطوبت ۱۹ تا ۲۱ درصد (M1)	۲/۴۴ a	۰/۷۵ c	۰/۶۸ c	۳/۸۷ a
رطوبت ۲۱ تا ۲۳ درصد (M2)	۱/۷۹ b	۱/۰۲ b	۰/۷۹ b	۳/۶۰ b
رطوبت ۲۳ تا ۲۵ درصد (M3)	۱/۱۷ c	۱/۶۸ a	۰/۸۶ a	۳/۷۱ b
نوع کمباین				
کمباین غلات با کوبنده سوهانی (C ₁)	۱/۷۸ a	۱/۹۷ a	۱/۰۸ a	۴/۸۳ a
کمباین غلات با کوبنده دندان میخی (C ₂)	۱/۷۷ a	۱/۱۶ b	۱/۱۲ a	۴/۰۵ b
کمباین برنج مدل ورلد (C ₃)	۱/۸۴ a	۰/۶۴ c	۰/۴۹ b	۲/۹۷ c
کمباین برنج مدل چری (C ₄)	۱/۸۱ a	۰/۷۳ c	۰/۵۱ b	۳/۰۵ c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد احتمال تفاوت معنی‌داری ندارند.

افت دانه جدا شده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه جدا شده در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر این افت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه جدا شده به ترتیب به رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۰/۶۸ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۸۶ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه جدا شده به ترتیب در کمباین‌های برنج (مدل ورلد ۰/۴۹ درصد و چری ۰/۵۱ درصد) و کمباین غلات (کوبنده میخی ۱/۱۲ درصد و کوبنده سوهانی ۱/۰۸ درصد) به دست آمد (جدول ۳).

در واقع افت دانه جدا شده مرتبط به واحدهای تمیز کننده و جدایش هر کمباین است. این افت مربوط به واحد جداکننده (کاه‌پران) و تا حدودی نیز ناشی از تنظیم جهت و مقدار باد (فن کمباین) قسمت تمیز کننده است. این افت همانند افت دانه جدا نشده متأثر از حجم ورودی مواد و نیز نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای است (Modarres-Razavi,

1996; Mansouri-Rad, 1993). به عبارتی میزان حجم ورودی مواد و تراکم محصول، از نظر افت دانه جدا شده، کوبنده و عملیات کوبش را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از جنبه افت دانه جدا شده، کاه‌پران‌ها و بخش جدایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بطور مشخص از نظر رطوبتی، در رطوبت بیشتر وزن مواد ورودی بیشتر می‌شود و جدایش توسط کاه‌پران‌ها نسبتاً کندتر و افت دانه جدا شده بیشتر می‌شود و در مقابل در رطوبت کمتر با کار روان کاه‌پران‌ها، افت دانه جدا شده کمتر می‌گردد. در بین کمباین‌ها نیز دو کمباین برنج در سطح افت دانه جدا شده کمتر نسبت به دو کمباین غلات قرار گرفتند و به صورت تحلیلی عامل اصلی در این زمینه، نسبت بیشتر توان موتور به عرض این کمباین‌ها بوده که در بالا بحث شد و از این نظر کمباین‌های برنج با توان نسبی بیشتر عمل جدایش را بهتر انجام دادند. همچنین مدل ورلد این کمباین‌ها با بیشترین توان نسبی، کمترین افت دانه جدا شده را کسب نمود.

افت کمتی کل

دلیل مجهز بودن به کوبنده و پیش‌کوبنده میخی و از طرف دیگر با داشتن توان موتور بیشتر نسبت به عرض، توانایی کوبش و جدایش بیشتر داشته و از هر دو نوع کمباین غلات با کوبنده سوهانی و میخی افت کمتی کل کمتری داشتند. به‌طور مشخص در اینجا مزیت اصلی به کارگیری کمباین‌های برنج نسبت به غلات برای برداشت برنج با توجه به افت کمتی کل کمتر آنها روشن می‌شود. در بین کمباین‌های مخصوص برنج، هر دو مدل ورلد و چری از نظر افت کلی تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین افت کمتی کل کمتر ورلد نسبت به چری با توجه به توان بیشتر ورلد نسبت به چری تحلیل می‌شود.

افت کیفی

افت دانه‌های شکسته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه‌های شکسته در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه‌های شکسته اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه‌های شکسته به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۷۴ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۱/۸۲ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه‌های شکسته به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۰/۷۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۲/۳۹ درصد به دست آمد (جدول ۵).

شکستگی و صدمه فیزیکی به دانه در هنگام برداشت رابطه معکوسی با میزان رطوبت دارد. به عبارتی هر چه محصول مرطوب‌تر باشد از حالت شکنندگی خارج شده و میزان رطوبت مانع شکستگی می‌شود. لذا وجود افت دانه شکسته کمتر در رطوبت بیشتر که در این تحقیق به دست آمده بر این اساس قابل درک است. از نظر نوع کمباین، شکستگی بیشتر متأثر از کوبش است که در کوبنده‌های کمباین‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به این که کوبنده سوهانی عمدتاً از طریق سایش دانه‌های شلتوک، در محل اتصال به محور اصلی خوشه، باعث جداسازی می‌شود، انتظار شکستگی بیشتر در اثر سایش مستقیم وجود دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت کمتی کل در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت کمتی کل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت کمتی کل به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۱ درصد با ۳/۶۰ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۳/۸۷ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت کمتی کل به ترتیب از کمباین برنج مدل ورلد با ۲/۹۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۴/۸۳ درصد به دست آمد (جدول ۳). افت کمتی کل متأثر از اجزای افت آن شامل افت هد، افت دانه جدا نشده و افت دانه جدا شده است. داشتن بیشترین افت کل در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با توجه به افت بالای هد و سهم بالای آن نسبت به سایر افت‌ها در این رطوبت، قابل توجیه است. احراز کمترین افت کل در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد متأثر از روند متفاوت افزایش و کاهش افت‌ها در رطوبت‌های مختلف است. رطوبت بیشتر در عین این که باعث کاهش افت هد شده، منجر به افزایش افت دانه جدا نشده و تا حدودی افزایش افت دانه جدا شده گردیده است، و در مقابل رطوبت کمتر با وجود اینکه باعث کاهش افت‌هایی دانه جدا شده و دانه جدا نشده گردیده، بیشترین افت هد را داشته است. لذا در مجموع در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد کمترین افت کمتی کل به دست آمد (از نظر افت کمتی کل، رطوبت‌های ۲۳-۲۱ و ۲۵-۲۳ درصد در یک سطح و پایین‌تر از سطح رطوبت ۲۱-۱۹ درصد قرار گرفتند و به طور نسبی رطوبت ۲۳-۲۱ درصد از رطوبت ۲۵-۲۳ درصد افت کمتی کل کمتری داشت). تحقیقات صورت گرفته (Siebenmorgen *et al.*, 2006) میزان رطوبت مناسب برداشت برنج را که افت کمتری داشته باشد برای ارقام دانه بلند، ۱۹-۲۲ درصد و برای ارقام دانه متوسط، ۲۲-۲۴ درصد توصیه کرده است. در این تحقیق با توجه به رقم چمپای این آزمایش که دانه متوسط است، کمترین افت کمتی کل در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد به دست آمد. در بین کمباین‌های رایج غلات، کمباین با کوبنده میخی نسبت به کمباین با کوبنده سوهانی به دلیل افت دانه جدا نشده کمتر، افت کمتی کل کمتری داشت. همچنین کمباین‌های برنج از یک طرف به

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات میزان تلفات کیفی برنج و ظرفیت مزرعه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	افت دانه‌های شکسته	افت دانه‌های لب‌پر	افت کل کیفی	ظرفیت مزرعه‌ای
بلوک	۲	۰/۰۲۱	۰/۰۹۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۲
میزان رطوبت (M)	۲	۳/۳۳۶ **	۰/۹۳۲ **	۷/۷۷۸ **	۰/۱۹۱ **
خطای a	۴	۰/۰۶۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۳
نوع کمباین (C)	۳	۱۴/۱۸۱ **	۱/۹۴۱ **	۲۲/۴۱ **	۰/۰۸۱ **
اثر متقابل (M*C)	۶	۰/۵۳۴	۰/۰۴۱	۰/۵۰۲	۰/۰۰۲ **
خطای b	۱۸	۰/۳۲۷	۰/۰۳۳	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۴۵	۱۹/۵۶	۱۸/۱۷	۳/۲۲

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین تلفات کیفی در روش‌های مختلف برداشت*

تیمار	افت دانه‌های شکسته (درصد)	افت دانه‌های لب‌پر (درصد)	افت کل کیفی (درصد)
میزان رطوبت			
رطوبت ۱۹ تا ۲۱ درصد (M1)	۱/۸۲ a	۱/۱۹ a	۳/۰۱ a
رطوبت ۲۱ تا ۲۳ درصد (M2)	۱/۲۵ b	۰/۹۵ ab	۲/۲۰ b
رطوبت ۲۳ تا ۲۵ درصد (M3)	۰/۷۴ c	۰/۶۳ b	۱/۳۷ c
نوع کمباین			
کمباین غلات با کوبنده سوهانی (C1)	۲/۳۹ a	۱/۶۰ a	۳/۹۹ a
کمباین غلات با کوبنده دندان‌میخی (C2)	۱/۰۳ b	۰/۷۴ bc	۱/۷۷ b
کمباین برنج مدل ورلد (C3)	۰/۸۸ bc	۰/۸۱ b	۱/۶۹ b
کمباین برنج مدل چری (C4)	۰/۷۷ c	۰/۵۵ c	۱/۳۲ c

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد احتمال تفاوت معنی‌داری ندارند.

تحلیل افت دانه‌های لب‌پر شده همانند افت دانه‌های شکسته بوده و به عبارتی همان‌طور که بخشی از دانه‌ها از میانه و نزدیک میانه دانه‌ها شکسته می‌شوند، بخشی دیگر در فرآیند عمل کوبش، دچار صدمه جزئی از کناره‌ها می‌شوند.

افت کل کیفی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به کل کیفی در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت کل کیفی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت کل کیفی به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۱/۳۷ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۳/۰۱ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت کل کیفی به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۱/۳۲ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۳/۹۹ درصد به دست آمد (جدول ۵). افت کل کیفی حاصل جمع افت دانه‌های شکسته و لب‌پر شده است و همان‌طور که بحث شد در هر دو جزء ی (افت دانه‌های شکسته و

اما کوبنده میخی، در کمباین‌های دیگر مورد بررسی، با ضربه و تکان دادن محصول، عمل جدایش را انجام می‌دهد که احتمال ضربه مستقیم و قوی به دانه‌های شلتوک کمتر است. لذا بیشترین افت دانه‌های شکسته از کمباین غلات با کوبنده سوهانی اتفاق افتاد. کمباین غلات با کوبنده میخی از نظر این افت کیفی در رده دوم، و دو نوع کمباین برنج ورلد و چری در رده‌های بعد قرار گرفتند.

افت دانه‌های لب‌پر

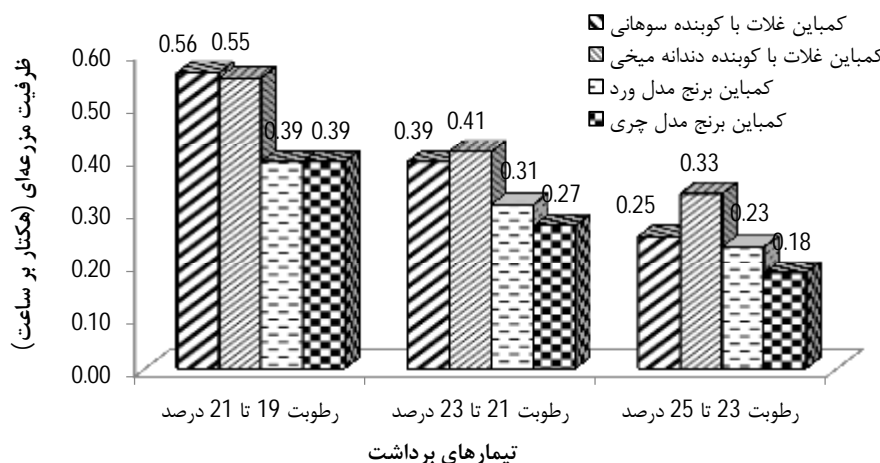
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه‌های لب‌پر در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه‌های لب‌پر تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه‌های لب‌پر به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۶۳ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۱/۱۹ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه‌های لب‌پر به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۰/۵۵ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۱/۶ درصد به دست آمد (جدول ۵).

بیشتری کسب کردند. اگر چه در همه سطوح رطوبتی به دلیل توان بیشتر، ظرفیت کمباین برنج ورلد مساوی و یا بهتر از چری بود ولی در بین کمباین‌های غلات، در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد، کمباین سوهانی ظرفیت مزرعه‌ای بیشتری از میخی داشت. اما در دو رطوبت ۲۱-۲۳ درصد و ۲۳-۲۵ درصد روند برعکس شده و کمباین میخی دارای ظرفیت مزرعه‌ای بیشتری گردید و لذا از این لحاظ اثر متقابل میزان رطوبت و نوع کمباین معنی‌دار گردید. نکته دیگر در مورد ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به شرایط محصول است. در این تحقیق محصول در کرت‌های آزمایشی اکثراً سرپا بود و خوابیدگی بسیار محدودی داشت. اما اگر به دلیل دیر برداشت کردن و یا وجود باد در زمان آبیاری‌های آخر، محصول ورس نماید (خوابیدگی)، با وجود این که ظرفیت مزرعه‌ای در هر دو نوع کمباین‌های غلات و برنج دچار کاهش می‌شود ولی براساس مشاهدات و تجربه، این کاهش در کمباین‌های برنج با توجه به عرض کمتر و در نتیجه مانور بهتر آنها برای برداشت محصول خوابیده و خصوصاً لزوم برداشت از سمت خوابیده بودن محصول جهت کاهش افت، کمتر بوده و ظرفیت مزرعه‌ای این دو نوع کمباین به یکدیگر نزدیک‌تر می‌گردد.

لب‌پر شده) در رطوبت بیشتر محصول، این افت‌ها کمتر می‌شود و نیز کمباین غلات با کوبنده سوهانی دارای بیشترین مقدار و کمباین برنج مدل چری دارای کمترین مقدار بودند.

ظرفیت مزرعه‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به کمباین‌های مورد ارزیابی در اثر رطوبت، نوع کمباین برداشت و نیز اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین معنی‌داری بود (جدول ۴). بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای توسط کمباین غلات با کوبنده سوهانی و در رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۰/۵۶ هکتار در ساعت و کمترین آن توسط کمباین برنج مدل چری در رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۱۸ هکتار در ساعت به دست آمد (شکل ۲). ظرفیت مزرعه‌ای همه کمباین‌های مورد ارزیابی با افزایش رطوبت محصول کم می‌شود و این می‌تواند ناشی از افزایش وزن ورودی با توجه به رطوبت محصول و در نتیجه کاهش سرعت پیشروی توسط اپراتور کمباین جهت انجام بهینه عمل انتقال، کوبش و جدایش باشد. بین کمباین‌ها، کمباین‌های غلات با توجه به عرض کار بیشتر، ظرفیت مزرعه‌ای



شکل ۲- مقایسه ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به تیمارهای مختلف

افت کمی کل بدست آمد. همچنین افت کل کیفی در رطوبت حداکثر، کمترین بود. بین کمباین‌ها و در بخش افت کمی، کمباین‌های برنج افت کمی کل کمتری نسبت به کمباین‌های غلات داشتند. در بخش افت کیفی، با توجه به سایش و تماس بیشتر کوبنده سوهانی با دانه‌های شلتوک، بیشترین افت کیفی در دانه‌های شکسته و نیز در

نتیجه‌گیری

برنج در اکثر مناطق با کمباین‌هایی متفاوت از نظر نوع کمباین، کمباین غلات و کمباین برنج، و نوع کوبنده، سوهانی و میخی، برداشت می‌شود. در این تحقیق افت کمی و کیفی این نوع کمباین‌ها در رطوبت‌های مختلف ارزیابی گردید. نتایج نشان داد در رطوبت میانی، کمترین

- IRRI. (2013). Standard Evaluation System for Rice. *International Rice Research Institute*, 1: 56.
- Loveimi, N., Gilani, A., & Alizadeh, M. R. (2008). The Effect of Harvesting Method on Losses for Two Rice Varieties in Khouzestan Province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(3): 89-106. (In Farsi).
- Mairghany, M., Yahya, A. Adam, N. M., Suhaizi, A., Su, M., & Elsoragaby, S. (2018). Quality of Performance and Grain Losses of Two Type of Rice Combine Harvesters. *Agric. Res. Technol*, 19: 556085.
- Mansouri-Rad, D. (1993). *Farm machinery and tractors*. Bou-Ali Sina Pub. (In Persian).
- Masato, S. (1980). Performance of rice combine harvesters as evaluated by national test in Japan. *JARQ*, 14(1).
- Miah, A. K. (1994). *Improving the quality of quality of parboiled rice in Bangladesh and its Potential for export*. A technical report submitted to NRI in the month of December. Chatham. Kent. ME44TB. UK (Unpublished).
- Modarres-Razavi, M. (1996). *Grain harvesting equipment binders, threshers, combine harvesters*. Emam Reza Pub. (In Persian).
- Mokhtor, S. A., El Pebrian, D., & Johari, N. A. A. (2020). Actual field speed of rice combine harvester and its influence on grain loss in Malaysian paddy field. *Journal of Saudi Social Agriculture Science*, 19: 422-425.
- Qu, X., Kojima, D., Wu, L., & Ando, M. (2021). The Losses in the Rice Harvest Process: A Review. *Sustainability*, 13: 1-25.
- Reşat, E., Abdulla, S., & Yilmaz, B. (2016). The relationship between the age of combine harvester and grain losses. *International Science Journal Mechanization Agriculture*, 2: 49-52.
- Siebenmorgen, T. J., Bautista, R. C., & Meullenet, J. F. (2006). Predicting rice physicochemical properties using thickness fraction properties. *Cereal Chem*, 83(3): 275-283.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE Pub.
- Taghinazhad, J., & Dehghan, E. (2020). Assessment of Wheat Harvesting Losses with Different Combines and Provide the Necessary Solutions in Ardabil Province. *Journal of Agricultural Mechanization*, 5(1): 1-10.
- Wang, J., Sun, X., Xu, Y., Zhou, W., Tang, H., & Wang, Q. (2021). Timeliness Harvesting Loss of Rice in Cold Region under Different
- دانه‌های لب‌پر شده متعلق به کمباین غلات با کوبنده سوهانی بود.
- منابع**
- Alizadeh, M. R., & Allameh, A. (2013). Evaluating rice losses in various harvesting practices. *International Research Journal, Applied Basic Science*, 4: 894-901.
- Almassi, M., Kiani, S., & Loveimi, N. (2015). *Principles of agricultural mechanization*. Gofteman Andishieh Maaser Press. Iran. (In Farsi).
- Andrews, S. B., Siebenmorgen, T. J., Vories, E. D., Loewer, D. H., & Mauromoustakos, A. (1993). Effects of combine operating parameters on harvest loss and quality in rice. *Transaction American Social Agriculture Engineering*, 36:1599-1607.
- Araullo, E., Depandua, B., & Graham, M. (1976). Rice post harvesting technology. International Development Research center, Ottawa, 85-67.
- Behrooz-Lar, M. (2000). *Grain harvest: engineering principles of agricultural machines*. Azad Islamic University Press. Tehran, Iran. (In Persian).
- Behrooz-Lar, M., Hassanpour, M., Sadeghnejad, H., Asadi, A., Khosravani, A., & Saati, M. (1995). *Final research report: Combine harvesting loss*. Agricultural Engineering Research institute. Karaj, Iran. (In Persian).
- Boz, H., Gerçekaslan, K. E., Karaoglu, M. M., & Kotancilar, H. I. G. (2012). Differences in some physical and chemical properties of wheat grains from different parts within the spike. *Turk. J. Agric.*, 36: 309-316.
- Chen, C. (2003). Evaluation of air oven moisture content determination methods for rough rice. *Biosystem Engineering*, 86: 447-457.
- Datta, S. K. (2004). Rice biotechnology: A need for developing countries. *Journal of Agro biotechnoly Management & Economics*, 7(1&2): 31-35.
- Hasan, M. K., Ali, M. R., Saha, C. K., Alam, M. M., & Haque, M. E. (2019). Combine Harvester: Impact on Paddy Production in Bangladesh. *J. Bangladesh Agric. Univ.*, 17: 583-591.
- Hou, F. F. (1989). Estimation of field losses. In post harvest prevention of paddy/ rice loss. *Rice abstracts*, 12(2): 22.
- Hunt, D. R. (1983). *Farm power and Machinery management*. Translated by Behrooz Lar. 1991. Tehran University Pub. (In Persian).

- Mechanical Harvesting Methods. *Sustainability*, 13: 6345.
- Zareei, S., & Abdollahpour, S. (2016). Simulation of neuro-fuzzy model for optimization of combine header setting. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(2): 406-416. (In Persian).
- Yaoming, L., Lizhang, X., & Xilong, S. (2007). Analysis of factors affecting performance of petiolate seeds in threshing. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.*, 23: 131-134.