تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۰/ شماره ۷۲/ بهار و تابستان ۱۳۹۸/ص ۷۲-۵۵

ارزیابی عملکرد مزرعه‌ای دروگر برنج خودگردان و موتوری پشتی و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی در استان گیلان

محمدرضا علیزاده[1*] و دیدار حق‌طلب[2]

۱ و ۲ - به‌ترتیب: دانشیار؛ و کارشناس تحقیقات ماشین‌های کشاورزی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۶

چکیده

توسعهٔ دروگرهای مناسب در برداشت مکانیزهٔ برنج به‌منظور کاهش هزینه‌ها و ضایعات، اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، عملکرد مزرعه‌ای دو نوع دروگر برنج خودگردان و موتوری پشتی با روش دستی برداشت ارزیابی شده است. آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده با عامل اصلی رقم برنج در دو سطح (هاشمی و خزر) و عامل فرعی روش برداشت در سه سطح بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر خودگردان (۰/۲۳۷ هکتار بر ساعت) و دروگر موتوری پشتی (۰/۰۴۸ هکتار بر ساعت) به‌طور معنی‌دار ($P<0.01$) بیشتر از ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر روش برداشت دستی (۰/۰۰۸۳ هکتار بر ساعت) است. مدت زمان برداشت برنج در روش دستی به‌طور میانگین ۱۱۹/۷۱ ساعت، در دروگر خودگردان ٤/۲۲ ساعت و دروگر موتوری پشتی ۲۰/۷٤ ساعت به‌ازای هر هکتار تعیین شده است. تعداد کارگر در روش دستی ۱۵۹/۷ نفر ساعت بر هکتار و در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۵۲/۲۲ و ٦۸/۷٤ نفر ساعت بر هکتار به‌دست آمده است. ضایعات برداشت در دروگر خودگردان، موتوری پشتی و روش دستی به‌ترتیب ۲/٤۲، ۲/۵۸ و ۲/۱۸ درصد برآورد شده است. صرفه‌جویی خالص ناشی از کاربرد دروگر خودگردان و موتوری پشتی، در مقایسه با روش دستی، به‌ترتیب ۷۹٤۰۷۲۸ و ٤٤٤٤۲۹۷ ریال بر هکتار ارزیابی شده است. نقطه سر به سر برای دروگر موتوری پشتی و دروگر خودگردان به‌ترتیب ۲/۰۰ و ۱۱/٤۲ هکتار بر سال تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی

برداشت مکانیزه، ضایعات برنج، هزینهٔ برداشت

مقدمه

برداشت (درو) دستی کاری زمان‌بر، سخت و پرهزینه محسوب می‌شود. تأخیر در برداشت برنج در روش دستی از یک سو منجر به افزایش ضایعات کمّی (ریزش دانه و خوشه) می‌شود و از سوی دیگر به‌واسطه تأثیر نامطلوب عوامل محیطی، افزایش ضایعات کیفی را به‌دنبال دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تأخیر در برداشت برنج، به‌ویژه در برداشت دو مرحله‌ای، سبب بند برداشتن (ترک‌خوردگی دانه‌ها) و کاهش درصد برنج سالم در مرحلهٔ تبدیل می‌شود (Alizadeh & Allameh, 2013). بنابراین برای حفظ خصوصیات کیفی و

* نگارنده مسئول: Emil:alizadeh_mohammadreza@yahoo.com
http://doi: 10.22092/erams.2018.110503.1193

کاهش ضایعات، برداشت به‌موقع محصول ضروری خواهد بود (Siebenmorgen *et al.*, 1998; Ali *et al.*, 2000).

در سال‌های اخیر، استفاده از کمباین‌های مخصوص برنج برای برداشت یک مرحله‌ای (درو و خرمن‌کوبی همزمان محصول) در مناطق برنج‌خیز کشور به‌طور چشمگیر توسعه یافته است. یکی از دلایل این کار کاهش هزینه‌های برداشت با به‌کارگیری این کمباین‌هاست. ولی استفاده از کمباین‌های مخصوص برداشت برنج در زمین‌های کوچک، به‌دلیل پایین بودن ظرفیت و بازده مزرعه‌ای، با مشکلاتی همراه است. همچنین، به‌دلیل بالا بودن رطوبت شلتوک برداشت شده با کمباین مخصوص برنج و از این رو برای جلوگیری از فساد محصول، خشک کردن شلتوک در حداقل فاصلهٔ زمانی ضروری است. با توجه به این موارد، در بسیاری از شالیزارهای شمال کشور کاربرد دروگرهای برنج از نوع خودگردان (خودکششی) وارداتی یا تولید داخل نیز متداول است.

در برخی از کشورهای برنج‌خیز و به‌ویژه در قطعات کوچک شالیزاری، از دروگرهای نفر حمل (موتوری پشتی) برای برداشت برنج استفاده می‌شود. این نوع دروگر در واقع نوعی علف‌زن[1] است که با تعویض تیغهٔ برش و نصب مقسم و ردیف‌کننده، برای درو و ردیف کردن برنج نیز به‌کار گرفته می‌شود. این ماشین متشکل از یک دستگاه موتور دو زمانه، شافت انتقال قدرت، جعبه دنده، تیغهٔ برش، پشت بند، دسته، مقسم و ردیف‌کنندهٔ است (شکل ۱). نمونه‌ای از این نوع دروگر را محمدی‌بانه و همکاران (Mohammadi-Baneh *et al.*, 2012) ساخته و عملکرد مزرعه‌ای آن را در مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور ارزیابی کرده‌اند. نتایج اولیهٔ ارزیابی مزرعه‌ای نشان داده است که با اصلاح تیغهٔ برش و نصب صفحهٔ ردیف‌کننده می‌توان از این دستگاه برای برداشت برنج در کرت‌های کوچک شالیزاری استفاده کرد. از این‌رو، در این تحقیق کارایی دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، مصرف سوخت، درصد ضایعات و هزینه‌های عملیاتی با یکدیگر و نیز با برداشت دستی مقایسه شده است.

محققانی چند عملکرد مزرعه‌ای ماشین‌های دروگر برنج را با برداشت دستی از نظر فنی و اقتصادی بررسی کرده‌اند. آونگ و همکاران (Aung *et al.*, 2014) عملکرد مزرعه‌ای دروگر نوع خودگردان با عرض کار ۱/۲ متر را با برداشت دستی مقایسه کردند و نشان دادند که ظرفیت واقعی (مؤثر) دروگر ۰/۲۴ هکتار بر ساعت و در برداشت دستی ۰/۰۵ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای دروگر ۹۲ درصد است. هزینهٔ درو با استفاده از دروگر در مقایسه با برداشت دستی ۶۷ درصد کاهش نشان می‌دهد.

علیزاده (Alizadeh, 2002) عملکرد مزرعه‌ای دو نوع دروگر برداشت برنج از نوع خودگردان و سوارشونده به تیلر را با روش دستی مقایسه کرد و به این نتیجه دست یافت که ضایعات برداشت در روش دستی کمترین و با دروگر سوارشونده به تیلر بیشترین مقدار است و هزینهٔ برداشت با دروگر به‌طور میانگین، در مقایسه با برداشت دستی، در حدود ۵۳ درصد کمتر است. حسن‌جانی و همکاران (Hasanjani *et al.*, 2007) با ارزیابی سه روش برداشت برنج شامل برداشت دستی، با دروگر و با کمباین نتیجه گرفتند که ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در برداشت با دروگر بیش‌تر است تا در روش دیگر ولی کمترین ضایعات (۱/۹۲ درصد) در روش برداشت با

1- Brusher

کمباین دیده شده است. هزینهٔ برداشت دستی ۱/۹۵ برابر هزینهٔ برداشت با کمباین و ۲/۲۴ برابر هزینه برداشت با دروگر است.

بورا و هانسن (Bora & Hansen, 2007) عملکرد مزرعه‌ای یک نوع دروگر قابل حمل[1] (موتوری پشتی) را برای برداشت برنج آزمایش و با روش برداشت دستی مقایسه اعلام کردند که ظرفیت مزرعه‌ای این نوع دروگر ۰/۱۵ هکتار در روز و مصرف سوخت آن ۰/۲۵ لیتر در ساعت است. مدت زمان برداشت با این دستگاه در مقایسه با برداشت دستی ۷/۸ برابرکاهش یافت. میزان ضایعات در برداشت با دروگر ۲/۳ درصد و در برداشت دستی حدود یک درصد به‌دست آمد. طباطبائی‌کلور (Tabatabaei-Kalor, 2009) با بررسی عملکرد مزرعه‌ای سه نوع دروگر تراکتوری، تیلری و خودگردان نشان داد که میزان تلفات دروگر تراکتوری بستگی دارد به سرعت پیشروی آن، به‌طوری‌که در سرعت‌های پیشروی ۲/۲ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، میزان تلفات در این دروگر به‌طور معنی‌دار بیشتر است تا در دروگر تیلری و خودگردان ولی در سرعت پیشروی ۵/۴ کیلومتر بر ساعت، اختلاف تلفات محصول در سه نوع دروگر معنی‌دار نیست. تعداد کارگر مورد نیاز برای برداشت یک هکتار برنج، به شرط جمع‌آوری با کمباین، با استفاده از دروگر تراکتوری چهار نفر ساعت، دروگر تیلر سوار ۹/۵ نفر ساعت و دروگر خودگردان ۸/۵ نفر ساعت بر هکتار گزارش شده است. جوارز و همکاران (Juarez *et al.*, 1989) گزارش داده‌اند که هزینه‌های برداشت با استفاده از دروگر موتوردار (خودگردان)، در مقایسه با روش سنتی، کاهش می‌یابد.

در تحقیقات علیزاده و علامه (Alizadeh & Allameh, 2013)، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر خودگردان به‌طور میانگین ۰/۲۴۰ هکتار بر ساعت و با کمباین تغذیهٔ کامل[2] و کمباین سرتغذیهٔ[3] مخصوص برداشت برنج به‌ترتیب ۰/۴۹۵ و ۰/۳۳۱ هکتار بر ساعت تعیین شده است. در برداشت یک مرحله‌ای (با استفاده از کمباین مخصوص برنج) و دو مرحله‌ای (دروگر+ خرمنکوبی)، ضایعات کمی اختلاف معنی‌داری دیده نشده است ولی ضایعات کیفی در برداشت یک مرحله‌ای (با میانگین ۰/۶۱ درصد) به‌طور معنی‌داری کمتر از ضایعات کیفی در برداشت دو مرحله‌ای (با میانگین ۲/۳۰ درصد) است. هزینهٔ برداشت با کمباین و دروگر برنج، در مقایسه با هزینهٔ برداشت دستی، به‌ترتیب ۵۱/۵ و ۲۳/۲۰ درصد کاهش نشان می‌دهد.

منجوناسا و همکاران (Manjunatha *et al.*, 2009) عملکرد مزرعه‌ای دروگر برنج انتقال عمودی با عرض برش ۱/۲ متر را با عملکرد مزرعه‌ای به‌روش دستی مقایسه کردند و نشان دادند که در سرعت پیشروی ۳/۲ کیلومتر بر ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر ۰/۳ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای آن ۷۳ درصد است. آنها همچنین نتیجه گرفتند که هزینهٔ برداشت در روش دستی دو برابر هزینهٔ برداشت برداشت با دروگر و سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت ماشین ۳۵ هکتار در سال است. عملکرد مزرعه‌ای دروگری از نوع انتقال عمودی[4] برای برداشت برنج را مورومکار و همکاران (Murumkar *et al.*, 2014) بررسی و گزارش کردند که ظرفیت مزرعه‌ای دروگر ۰/۲۹ هکتار بر ساعت، بازده مزرعه‌ای ۷۰ درصد، سرعت پیشروی متوسط در حین کار ۳/۰ کیلومتر بر ساعت و مصرف سوخت ۰/۸ لیتر بر ساعت است. در این بررسی، تعداد

1- Brusher
2- Whole-Crop Type Rice Combine Harvester
3- Head-Feeding Type Rice Combine Harvester
4- Vertical Conveyor Reaper

کارگر مورد نیاز با احتساب جمع‌آوری و بسته‌بندی شالی، در برداشت با دروگر ۱۱ نفر- روز در هکتار و در برداشت دستی ۲۲ نفر- روز در هکتار برآورد شده است.

هنداکا و پیتویو (Handaka & Pitoyo, 2011) با اصلاحاتی روی یک علف‌تراش، آن را برای برداشت برنج به‌کار بردند و گزارش دادند که ظرفیت کار ماشین ۱۸/۲۰ ساعت بر هکتار، بازده مزرعه‌ای آن ۹۵ درصد، مصرف سوخت ماشین ۱۵ لیتر بر هکتار و وزن دستگاه حدود ۱۰ کیلوگرم است. یک واحد برش دوار با قطر ۲۴۰ میلی‌متر، ضخامت ۲ میلی‌متر، ۱۳۶ دندانه، زاویهٔ حملهٔ صفر درجه، زاویهٔ خلاصی ۳۰ درجه و گام ۶ میلی‌متر را محمدی‌بانه و همکاران (Mohammadi-Baneh *et al.*, 2012) طراحی کرده و ساختند و با ارزیابی عملکرد مزرعه‌ای آن نشان دادند که بیشترین توان مصرفی ماشین (۱/۱۳۲ کیلووات) برای برنج رقم خزر و کمترین توان مصرفی آن (۰/۸۱۸ کیلووات) برای برنج رقم‌هاشمی است. در ارزیابی مزرعه‌ای نیز ضایعات درو در رقم‌هاشمی از ۰/۷۴ تا ۱/۰۲ درصد و در رقم هیبرید از ۰/۴۵ تا ۰/۹۲ درصد متغیر است. ظرفیت مزرعه‌ای ماشین ۴/۲۰ برابر ظرفیت مزرعه‌ای روش دستی اعلام شده است.

اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در خصوص عملکرد مزرعه‌ای انواع دروگرهای برنج و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی در دسترس هست اما دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی با برداشت دستی از نظر ظرفیت مزرعه‌ای، ضایعات و هزینه‌های برداشت برای ارقام برنج متداول در گیلان مقایسه نشده‌اند. از این‌رو، هدف از این تحقیق، ارزیابی ظرفیت مزرعه‌ای، ضایعات، تعداد کارگر مورد نیاز در برداشت (درو و جمع‌آوری)، صرفه‌جویی خالص و تعیین نقطهٔ سر به سر (سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت) برای دو نوع دروگر خودگردان و نفر حمل (موتوری پشتی) و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی برای دو رقم برنج متداول در استان گیلان، هاشمی و خزر است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعهٔ آزمایش‌های مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا شد. دو رقم هاشمی و خزر برای این آزمایش در نظر گرفته شدند. رقم‌هاشمی یکی از ارقام محلی و غالب استان گیلان دارای بیشترین سطح زیر کشت است و از میان ارقام پرمحصول (اصلاح شده) نیز رقم خزر در رتبه نخست قرار دارد. سه روش برداشت (درو) شامل دو روش ماشینی (دروگر خودگردان و دروگر قابل حمل یا موتوری پشتی) و یک روش برداشت دستی ارزیابی و مقایسه شدند. مشخصات فنی دو نوع دروگر خودگردان و قابل حمل مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

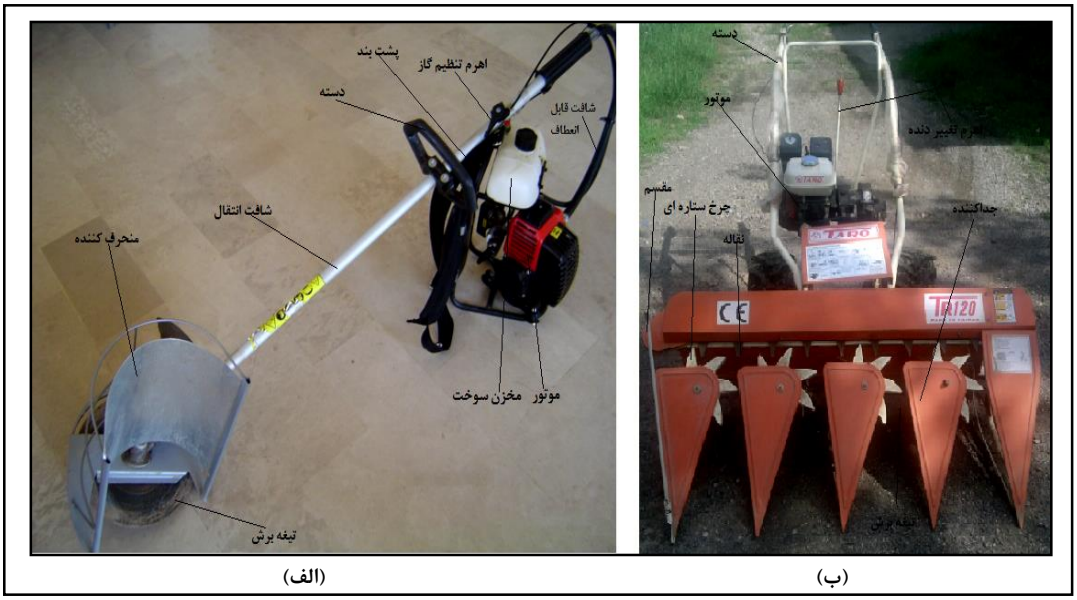
شکل ۱ تصویر دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌کار گرفته شده در آزمایش را نشان می‌دهد. شکل ۲ نحوهٔ برداشت با دروگر موتوری پشتی موتوری در حین کار را نمایان می‌سازد. برخی از خصوصیات زراعی محصول قبل از برداشت مطابق جدول ۲ اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی دو نوع دروگر به‌کار گرفته شده در آزمایش

نوع دروگر	مدل	کشور سازنده	ابعاد کلی (طول × عرض × ارتفاع) (میلی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	توان موتور (کیلووات)	نوع سوخت	عرض برش (میلی متر)	ارتفاع برش (میلی‌متر)	نوع تیغه برش
خودگردان	TR-120	تایوان	۱۰۹۰ × ۱۴۷۰ × ۲۵۰۰	۱۲۷	۲/۸	بنزینی	۱۲۰۰	۱۰-۳۵	دوبل- رفت و برگشتی
موتوری پشتی	DG430	چین	-	۱۱	۱/۲۵	بنزینی	۱۱۰۰	۵-۵۰	دوار

جدول ۲- مشخصات زراعی و شاخص مخروط خاک محل آزمایش در زمان برداشت

رقم	تاریخ نشاکاری	تاریخ برداشت	ارتفاع بوته (میلی متر)	تعداد کپه بر متر مربع	تعداد پنجه در هر کپه	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)	زاویهٔ خوابیدگی (درجه)	رطوبت شلتوک درصد، بر پایه تر)	شاخص مخروط خاک (کیلوپاسکال)
هاشمی	۹۳/۲/۲۳	۹۳/۵/۲۱	۱۳۳/۹	۲۳	۱۳/۳	۳۵۰	۱۸	۱۹/۷	۳۴۱/۲
خزر	۹۳/۲/۲۶	۹۳/۶/۴	۱۱۹/۲	۱۹	۱۵/۷	۴۸۰	۵	۱۹/۳	۳۵۷/۵



(الف) (ب)

شکل ۱- تصویر قسمت‌های مختلف دو نوع دروگر مورد آزمایش

الف) دروگر موتوری پشتی و ب) دروگر خودگردان

(الف) (ب)

شکل ۲- ماشین دروگر موتوری پشتی (الف) در حال درو با دستگاه و ب) ساقه‌های درو و ردیف شده)

در مرحلهٔ رسیدگی محصول، عملیات برداشت در هر سطح از روش برداشت و دو رقم مورد آزمایش در سه کرت به ابعاد مندرج در جدول ۳ آغاز شد. رطوبت شلتوک در زمان برداشت با استفاده از رطوبت‌سنج غلات مارک GMK-303 ساخت کره جنوبی تعیین شد. در زیر به پارامترهای مورد اندازه‌گیری در این تحقیق پرداخته می‌شود.

شاخص مخروط خاک در زمان برداشت

برای اندازه‌گیری شاخص مخروط خاک از نفوذسنج مخروطی با مارک Eijelkamp ساخت هلند استفاده شد. این وسیله دارای مخروطی استاندارد با سطح قاعده ۵/۰ سانتی مترمربع و قطر ۲۵/۲۳ میلی‌مترمربع است. در ۱۰ نقطه از هر کرت به‌طور تصادفی تا عمق ۲۵ سانتی‌متری از سطح خاک، مقدار نیروی لازم برای نفوذ مخروط در خاک تعیین گردید. شاخص مخروط خاک از رابطهٔ ۱ به‌دست آمد که شرکت سازنده در دفترچهٔ، راهنما ارائه داده است:

$$CI = \frac{F}{A} \times 10 \qquad (۱)$$

که در آن،

CI = شاخص مخروط خاک (کیلوپاسکال)؛ F = نیروی نفوذ (نیوتن)؛ و A = مساحت قاعده مخروط (سانتی‌متر مربع).

سرعت پیشروی در حین برداشت

برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی در حین برداشت، با کرونومتر مدت زمان لازم برای طی‌کردن مسافتی برابر ۱۵ متر (چهار تکرار) ثبت و سرعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت از رابطهٔ ۲ تعیین شد (Aung *et al.*, 2014):

$$S = \frac{3.6D}{T} \qquad (۲)$$

که در آن،

S = سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)؛ D = مسافت طی شده (متر)؛ و T = مدت زمان برای طی کردن مسافت (ساعت).

مصرف سوخت

برای تعیین سوخت مصرفی ماشین‌های دروگر مورد ارزیابی، از روش توصیه شده باک پر استفاده شد. بدین معنا که قبل از شروع کار در هر کرت،

باک موتور تا سطح مشخص از سوخت (بنزین) پر شد؛ پس از پایان کار برداشت در هر کرت، با استفاده از یک ظرف مدرج، مخزن سوخت دوباره تا سطح مورد نظر پر شد. میزان سوخت مصرفی (لیتر بر ساعت) از رابطه ۳ به‌دست آمد (Anon, 1995):

$$F_c = \frac{q}{t} \qquad (۳)$$

که در آن،
F_c = میزان سوخت مصرفی (لیتر بر ساعت)؛ q = مقدار سوخت مصرفی (لیتر)؛ و t = مدت زمان اجرای عملیات برداشت در هر کرت (ساعت).

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر که ظرفیت کارکرد واقعی دستگاه را نشان می‌دهد از رابطهٔ ۴ تعیین شد (Roy *et al.*, 2001):

$$EFC = \frac{A}{T_t} \qquad (۴)$$

که در آن،
EFC = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت)؛ A = سطح عملیات (هکتار)؛ و T_t = کل مدت زمان برداشت در هرکرت (ساعت)، شامل مدت زمان‌های مفید و غیر مفید (تلف شده).

برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای موثر در برداشت دستی از دو رابطهٔ ۵ و ۶ استفاده شد (Konaka, 2005):

$$MH = T \times NW \qquad (۵)$$

$$EFC = \frac{A}{MH} \qquad (۶)$$

که در آنها،
MH = تعداد کارگر مورد نیاز (نفر ساعت)؛ T = مدت زمان عملیات (ساعت)؛ NW = تعداد کارگر؛ A = مساحت کرت (هکتار)؛ و EFC = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر نفر ساعت).

ظرفیت مزرعه نظری

ظرفیت مزرعه نظری که بیانگر ظرفیت کارکرد دستگاه بدون در نظرگرفتن وقت‌های تلف شده است، از رابطهٔ ۷ به‌دست آمد (Roy *et al.*, 2001):

$$TFC = \frac{S.W}{10} \qquad (۷)$$

که در آن،
TFC = ظرفیت مزرعه‌ای نظری (هکتار بر ساعت)؛ S = سرعت پیشروی در حین کار با ماشین (کیلومتر بر ساعت)؛ و W = عرض کار دستگاه (متر).

ظرفیت کار

ظرفیت کار از رابطهٔ ۸ محاسبه شد (Konaka, 2005):

$$WC = \frac{1}{EFC} \qquad (۸)$$

که در آن،
WC = ظرفیت کار دستگاه (ساعت بر هکتار)؛ و EFC = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دستگاه (هکتار بر ساعت).

بازده مزرعه‌ای ماشین

بازده مزرعه‌ای ماشین، نسبت ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به ظرفیت مزرعه‌ای نظری یا نسبت زمان مفید

به کل زمان اجرای کار، از رابطهٔ ۹ و ۱۰ به‌دست آمد (Roy *et al.*, 2001):

$$FE = \frac{EFC}{TFC} \quad (۹)$$

$$FE = \frac{T_e}{T_t} \quad (۱۰)$$

که در آنها،

FE = بازده مزرعه‌ای (درصد)؛ EFC = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (هکتار بر ساعت)؛ TFC = ظرفیت مزرعه‌ای نظری ماشین؛ T_e = زمان مفید اجرای کار؛ و T_t = کل زمان اجرای کار.

- ضایعات برداشت

ضایعات در دو مرحله اندازه‌گیری شد: قبل و بعد از برداشت. ضایعات قبل از برداشت در اثر عوامل طبیعی (باد و باران و غیره) و ضایعات بعد از برداشت ناشی از عوامل فیزیکی و مکانیکی است. برای تعیین ضایعات، قبل و بعد از برداشت محصول، در سه نقطه از هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی کادر چوبی ۱ متر × ۱ متر انداخته و همهٔ دانه‌ها و خوشه‌های داخل کادر به دقت جمع‌آوری و وزن شد. همچنین، در هر کرت به‌طور تصادفی در سه تکرار کادر چوبی ۱ متر× ۱ متر انداخته و عملکرد دانه داخل کادر در رطوبت ۱۴ درصد تعیین گردید. درصد ضایعات برداشت از روابط ۱۱ و ۱۲ به‌دست آمد (Pradhan *et al.*, 1998):

$$W_{gt} = W_{g1} + W_{g2} + W_{g3} \quad (۱۱)$$

$$H_l = \frac{W_{gt} - W_{g1}}{Y_g} \quad (۱۲)$$

که در آنها،

W_{gt} = ضایعات کل (گرم بر متر مربع)؛ W_{g1} = ضایعات قبل از برداشت؛ W_{g2} = ضایعات در اثر ریزش (گرم بر متر مربع)؛ W_{g3} = ضایعات مربوط به خوشه‌های درو نشده (گرم بر متر مربع)؛ H_l = ضایعات برداشت (درصد)؛ و Y_g = عملکرد دانه (گرم بر متر مربع).

- هزینهٔ برداشت

هزینهٔ برداشت در روش دستی شامل دستمزد کارگر برای درو و جمع‌آوری محصول و در روش ماشینی مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است.

هزینه‌های ثابت: هزینه‌های ثابت شامل هزینه‌های استهلاک، سود سرمایه، بیمه، مالیات و سایبان (هانگار) است (Kepner *et al.*, 1982).

هزینهٔ استهلاک: هزینهٔ استهلاک از روش خطی و از رابطهٔ ۱۳ تعیین شد (Kepner *et al.*, 1982):

$$D = \frac{P - S}{L} \quad (۱۳)$$

که در آن،

D =استهلاک ماشین (ریال بر سال)؛ S = ارزش اسقاطی ماشین (ریال)؛ P = قیمت خرید ماشین (ریال)؛ و L =عمر مفید ماشین (سال).

سود سرمایه: برای تعیین سود سرمایه از رابطهٔ ۱۴ استفاده شد (Kepner et al., 1982):

$$I = (\frac{P + S}{2}) \times i \quad (۱۴)$$

که در آن،

I = نرخ بهرهٔ ماشین (ریال بر سال)؛ S = ارزش اسقاطی ماشین (ریال)؛ P = قیمت خرید ماشین (ریال)؛ و i نرخ بهرهٔ سالیانه (درصد).

بیمه، مالیات و هانگار: هزینه‌های بیمه و مالیات به‌دلیل مرسوم نبودن این نوع هزینه‌ها و هزینهٔ هانگار به‌دلیل کوچکی ماشین و نگهداری آن در انبار خانگی و اینکه به جایگاه ویژه نیاز نیست، در نظر گرفته نشده است.

هزینه ثابت (ریال بر سال) در این تحقیق مجموع هزینه‌های استهلاک و سود سرمایه است (رابطهٔ ۱۵).

$$Fc = D + I \qquad (۱۵)$$

که در آن،

FC = هزینهٔ ثابت سالیانه ماشین.

هزینه ثابت در هر هکتار از رابطهٔ ۱۶ به‌دست می‌آید (Konaka, 2005):

$$FCa = \frac{FC}{CA} \qquad (۱۶)$$

که در آن،

FCa = هزینه ثابت (ریال بر هکتار)؛ FC = هزینه ثابت سالیانه (ریال بر سال)؛ و CA = سطح عملیات سالیانه (هکتار بر سال).

هزینه‌های متغیر

هزینه‌های متغیر ماشین شامل هزینهٔ کارگر (راننده و دستیار)، تعمیرات، سوخت و روغن است که در زیر به‌نحوهٔ محاسبهٔ آنها پرداخته شده است.

هزینهٔ سوخت: با اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی در هر کرت (لیتر بر ساعت)، هزینهٔ سوخت مصرفی از رابطهٔ ۱۷ تعیین می‌شود (Konaka, 2005):

$$VFh = RFh \times Pf \qquad (۱۷)$$

که در آن،

VFh = هزینهٔ سوخت مصرفی (ریال بر ساعت)؛ RFh = میزان سوخت مصرفی (لیتر بر ساعت)؛ و Pf = قیمت سوخت (ریال بر لیتر).

هزینهٔ روغن: هزینهٔ روغن ۳۰ درصد هزینهٔ سوخت منظور می‌شود و از رابطهٔ ۱۸ به‌دست می‌آید (Konaka, 2005):

$$VLuh = 0.3VFh \qquad (۱۸)$$

که در آن،

$VLuh$ = هزینهٔ روغن (ریال بر ساعت)؛ و VFh = هزینهٔ سوخت مصرفی (ریال بر ساعت).

هزینهٔ تعمیرات و نگهداری: هزینهٔ تعمیرات و نگهداری ۳/۵ درصد قیمت خرید در هر ۱۰۰ ساعت کار دستگاه منظور و از رابطهٔ ۱۹ تعیین می‌شود (Zami *et al.*, 2014):

$$VRh = P \times \frac{3.5}{100} \qquad (۱۹)$$

که در آن،

VRh = هزینهٔ تعمیرات کل (ریال)؛ و P = قیمت اولیهٔ ماشین (ریال).

هزینهٔ کارگر: برای محاسبهٔ هزینهٔ کارگر (راننده و دستیار) از رابطهٔ ۲۰ استفاده می‌شود (Konaka, 2005):

$$VLh = VWh \times Nop \qquad (۲۰)$$

که در آن،

VLh = هزینهٔ کارگر (ریال بر ساعت)؛ VWh = دستمزد کارگر (ریال بر ساعت)؛ و Nop = تعداد کارگر مورد نیاز.

هزینهٔ متغیر مجموع هزینه‌های سوخت، روغن، تعمیرات و نگهداری و کارگر است (رابطهٔ ۲۱):

$$VCh = VFh + VLuh + VRh + VLh \qquad (۲۱)$$

هزینهٔ متغیر در هر هکتار از رابطهٔ ۲۲ محاسبه می‌شود (Konaka, 2005):

$$VCa = \frac{VCh}{EFC} \qquad (۲۲)$$

که در آن،
VCa = هزینهٔ متغیر در هر هکتار (ریال بر هکتار)؛ و EFC = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (هکتار بر ساعت).

هزینهٔ کل عملیات ماشینی در هر هکتار، مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است و از رابطهٔ ۲۳ به‌دست آمد:

$$TCa = FCa + VCa \qquad (۲۳)$$

که درآن،
TCa = هزینهٔ کل عملیات ماشینی (ریال بر هکتار).

تعیین نقطهٔ سر به سر

نقطهٔ سر به سر (سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت ماشین)، از رابطهٔ ۲۴ تعیین شد (Zami *et al.*, 2014):

$$B_e = \frac{FC}{VCa - CC} \qquad (۲۴)$$

که در آن،
B_e = نقطهٔ سر به سر ماشین (هکتار بر سال)؛ FC = هزینهٔ ثابت (ریال بر سال)؛ VCa = هزینهٔ متغیر (ریال بر هکتار)؛ و CC هزینهٔ اجارهٔ ماشین.

سطح عملیات

سطح عملیات (سطح برداشت[1]) سالیانه، توانایی ماشین برای کارکردن در یک دوره از فصل کار است و از رابطهٔ ۲۵ تعیین شد (Konaka, 2005):

$$CA = DC \times AWD \qquad (۲۵)$$

که در آن،
CA = سطح عملیات (هکتار بر سال)؛ DC = ظرفیت کار روزانه ماشین[2] (هکتار بر روز)؛ و AWD = تعداد روزهای کاری در دسترس (روز بر سال).

در این تحقیق، کار روزانه ۸ ساعت و تعداد روزهای کاری در دسترس ۲۰ روز در نظر گرفته می‌شود (از کل ۳۰ روز دورهٔ برداشت، در شرایط عملی ۱۰ روز آن به‌دلیل نامساعد بودن شرایط جوی از دست رفته محسوب می‌شود).

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق در سه بخش شامل عملکرد مزرعه ای ماشین‌های دروگر و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی، هزینه‌های برداشت (درو و جمع‌آوری شالی) در سه روش برداشت و نیز سطح توجیه‌کننده مالکیت برای دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی به شرح زیر ارائه می‌شود.

- عملکرد مزرعه‌ای دروگرهای مورد آزمایش و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی

عملکرد مزرعه‌ای دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی و مقایسهٔ آنها با برداشت دستی در جدول ۳ نشان داده شده است. دیده می‌شود که ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در روش دستی در برداشت ارقام هاشمی و خزر به‌طور میانگین به‌ترتیب

1- Covering Area
2- Daily Capacity

۰/۰۰۸۶ و ۰/۰۰۸۱ هکتار بر ساعت، دروگر خودگردان به‌ترتیب ۰/۲۴۳ و ۰/۲۳۱ هکتار بر ساعت و دروگر موتوری پشتی به‌ترتیب ۰/۰۵۲ و ۰/۰۴۵ هکتار بر ساعت تعیین گردید. بازده مزرعه‌ای دروگر خودگردان و موتوری پشتی در برداشت رقم هاشمی به‌ترتیب ۷۷/۳ و ۷۷/۶ درصد و در برداشت رقم خزر به‌ترتیب ۷۵/۷ و ۷۷/۵ درصد به‌دست آمد.

میزان مصرف سوخت در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی در رقم‌هاشمی به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۵۸ لیتر بر ساعت و در برداشت رقم خزر به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۶۲ لیتر بر ساعت تعیین شد. ظرفیت کار در برداشت دو رقم هاشمی و خزر در روش دستی (به‌ترتیب ۱۱۶/۴۰ و ۱۲۳/۰۲ ساعت بر هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دروگر خودگردان (به‌ترتیب ۴/۱۲ و ۴/۳۲ ساعت بر هکتار) و دروگر موتوری پشتی (به‌ترتیب ۱۹/۰۲ و ۲۲/۴۷ ساعت بر هکتار) به‌دست آمد. جدول ۳ همچنین نشان می‌دهد که مدت زمان لازم برای برداشت هر هکتار شالی با استفاده از دروگر خودگردان و موتوری پشتی در مقایسه با برداشت دستی به‌طور میانگین به‌ترتیب در حدود ۹۶/۵۰ و ۸۲/۶ درصد کمتر است. بین دو نوع دروگر مورد مقایسه، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر خودگردان ۴/۹۳ برابر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر موتوری پشتی است. در تحقیقات بورا و هانسن (Bora & Hansen, 2007) مدت زمان لازم در برداشت دستی (با داس) ۷/۸ برابر زمان مورد نیاز برای برداشت با دروگر قابل حمل (موتوری پشتی) اعلام شد. محمدی‌بانه و همکاران (Mohamadi-Baneh *et al.*, 2012) ظرفیت مزرعه‌ای دروگر قابل حمل در برداشت برنج را حدود ۴/۲۰ برابر ظرفیت مزرعه‌ای در روش دستی گزارش کردند. سرعت پیشروی و عرض برش دروگر خودگردان به‌طور میانگین به‌ترتیب ۲/۵۸ کیلومتر بر ساعت و ۱/۲ متر و در دروگر موتوری پشتی به‌ترتیب ۰/۵۹ کیلومتر بر ساعت و ۱/۰۶ متر اندازه‌گیری شد. بنابراین، ظرفیت مزرعه‌ای بالاتر دروگر خودگردان در مقایسه با دروگر موتوری پشتی را می‌توان به سرعت پیشروی و عرض برش بیشتر دروگر خودگردان نسبت داد.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگرهای مورد ارزیابی در این تحقیق با آنچه پژوهشگران دیگر به‌دست آورده‌اند تا حدی مشابهت دارد. در بررسی‌های مورومکار و همکاران (Murumkar *et al.*, 2014)، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر دروگر خودگردان با عرض کار ۱/۲ متر حدود ۰/۲۹ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای آن ۷۰ درصد گزارش شده است. زمی و همکاران (Zami *et al.*, 2014) ظرفیت مزرعه‌ای دروگر خودگردان را به‌طور میانگین ۰/۲۲۶ هکتار بر ساعت گزارش کرده‌اند. در تحقیق بارمن و همکاران (Barman *et al.*, 2015)، ظرفیت مزرعه‌ای دروگر دستی ۱۱/۲ برابر ظرفیت مزرعه‌ای برداشت دستی اعلام شده است. هنداکا و پیتویو (Handaka & Pitoyo, 2011) ظرفیت کار یک دستگاه علف تراش اصلاح شده برای برداشت برنج را ۱۸/۲۰ ساعت بر هکتار، بازده مزرعه‌ای را ۹۵ درصد و مصرف سوخت آن را ۰/۸۲ لیتر بر ساعت تعیین کرده‌اند.

جدول ۳- میانگین[1] عملکرد مزرعه‌ای دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی و مقایسه آنها با برداشت دستی[2]

رقم	روش	مساحت کرت (متر مربع)	کل مدت زمان اجرای کار (دقیقه)	سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)	عرض برش (متر)	ارتفاع برش (سانتی‌متر)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت)	ظرفیت مزرعه‌ای نظری (هکتار بر ساعت)	بازده مزرعه‌ای (درصد)	ظرفیت کار (ساعت بر هکتار)	مصرف سوخت (لیتر بر ساعت)
هاشمی	برداشت دستی	۱۰۰	۶۹/۵ a	ND	ND	۴۲/۳	۰/۰۰۸۶ c	ND	ND	۱۱۶/۴۰ a	ND
	دروگر خودگردان	۴۵۰	۱۱/۱ b	۲/۶۲	۱/۲	۳۲/۴	۰/۲۴۳ a	۰/۳۱۴	۷۷/۳	۴/۱۲ c	۰/۹۰
	دروگر موتوری پشتی	۶۰	۶/۸ c	۰/۶۲	۱/۰۹	۱۲/۵	۰/۰۵۲ b	۰/۰۶۷	۷۷/۶	۱۹/۰۲ b	۰/۵۸
خزر	برداشت دستی	۱۰۰	۷۳/۸ a	ND	ND	۴۰/۳	۰/۰۰۸۱ c	ND	ND	۱۲۳/۰۲ a	ND
	دروگر خودگردان	۴۰۰	۱۰/۳ b	۲/۵۵	۱/۲	۳۰/۹	۰/۲۳۱ a	۰/۳۰۵	۷۵/۷	۴/۳۲ c	۰/۹۷
	دروگر موتوری پشتی	۵۰	۶/۷ c	۰/۵۶	۱/۰۴	۱۳/۱	۰/۰۴۵ b	۰/۰۵۸	۷۷/۵	۲۲/۴۷ b	۰/۶۲

۱- در هر ستون اعداد با حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

۲- اعداد متن جدول میانگین سه اندازه‌گیری می‌باشند.

ND- تعریف نشده است (Not Defined).

- هزینه‌های برداشت

نتایج برآورد هزینه‌های ثابت و متغیر در برداشت با دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است. ظرفیت کار روزانه برای دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۱/۸۹۶ و ۰/۳۸۴ هکتار بر روز تعیین شده است. همچنین سطح برداشت در هر فصل زراعی با دروگر خودگردان ۳۸ هکتار بر سال و دروگر موتوری پشتی ۷/۶۸ هکتار بر سال تعیین گردید. هزینه‌های ثابت و متغیر دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی محاسبه شده بر اساس داده‌های جدول ۴، به‌طور خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است.

هزینه‌های ثابت در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۶۰۸۶۸۴ و ۷۳۶۳۲۸ ریال بر هکتار و هزینه‌های متغیر به‌ترتیب ۹۷۵۳۳۸ و ۴۱۷۸۱۲۵ ریال بر هکتار تعیین شده است. هزینهٔ کل عملیات ماشینی برای دروگر خودگردان ۱۵۸۴۰۲۲ و دروگر موتوری پشتی ۴۹۱۴۴۵۳ ریال بر هکتار به‌دست آمده است. از نتایج به‌دست آمده پیداست که هزینه کل عملیات ماشینی در هر هکتار در برداشت با دروگر خودگردان به‌طور قابل توجهی کمتر است تا در برداشت با دروگر موتوری پشتی. در مقایسه با دروگر موتوری پشتی، دروگر خودگردان قیمت اولیه و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر بالاتری دارد که همین امر موجب کاهش بیشتر هزینهٔ کل برداشت با دروگر خودگردان شده است.

نتایج بررسی‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد که هزینه‌های متغیر دروگر موتوری پشتی به‌طور قابل توجهی بیشتر از هزینه‌های متغیر دروگر خودگردان است؛ دلیل آن پایین بودن ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و سطح برداشت سالیانه در دروگر موتوری پشتی در مقایسه با دروگر خودگردان است. هزینهٔ سوخت و کارگر (کاربر دستگاه) دو مورد مهم از هزینه‌های متغیر دروگرهای آزمایشی هستند. در دروگر خودگردان، هزینه‌های ثابت و متغیر به‌ترتیب ۳۸/۵ و ۶۱/۵ درصد و در دروگر موتوری پشتی به‌ترتیب ۱۴/۹ و ۸۵/۱ درصد از کل هزینه‌های عملیات ماشینی را تشکیل می‌دهند.

تعداد کارگر مورد نیاز و مقدار صرفه‌جویی در سه روش برداشت در جدول ۶ نشان داده شده است. تعداد کارگر در برداشت دستی (درو و جمع‌آوری) ۱۵۹/۷ نفر ساعت بر هکتار و در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۵۲/۲۲ و ۶۸/۷۴ نفر ساعت بر هکتار تعیین شده است. بنابراین در مقایسه با برداشت دستی، در برداشت با دروگر خودگردان ۶۷/۳۰ درصد و با دروگر موتوری پشتی ۵۶/۹۵ درصد از تعداد کارگر مورد نیاز کاسته شده است.

هزینهٔ برداشت (درو و جمع‌آوری محصول) در برداشت دستی ۱۳۹۷۳۷۵۰ ریال بر هکتار و در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۵۷۸۴۰۲۲ و ۹۱۴۴۴۵۳ ریال بر هکتار تعیین شده است. بر این اساس، هزینهٔ برداشت با استفاده از دروگر خودگردان حدود ۵۸/۶ درصد و با استفاده از دروگر موتوری پشتی ۳۴/۷ درصد کاهش یافته است. مقدار صرفه‌جویی ناخالص در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی نسبت به برداشت دستی (به‌عنوان مبنا) به‌ترتیب ۸۱۸۹۷۲۸ و ۴۸۵۹۲۹۷ ریال بر هکتار به‌دست آمده است. با احتساب هزینهٔ ناشی از افزایش ضایعات برداشت در دروگر خودگردان (۲/۴۲ درصد) و موتوری پشتی (۲/۵۸ درصد) نسبت به روش دستی (۲/۱۸ درصد)، مقدار صرفه‌جویی حاصل از کاربرد دروگر خودگردان و دروگر موتوری پشتی نسبت به روش دستی

به‌ترتیب ۷۹۴۰۷۲۸ و ۴۴۴۴۲۹۷ ریال بر هکتار برآورد می‌شود. پژوهش‌های دیگر محققان نیز حاکی از کاهش هزینهٔ عملیات برداشت ماشینی در مقایسه با برداشت دستی است. منجوناسا و همکاران (Manjunatha *et al.*, 2009) اعلام کردند، هزینهٔ برداشت دستی دو برابر هزینهٔ برداشت با دروگر است. در تحقیق آنگ و همکاران (Aung *et al.*, 2014)، هزینهٔ برداشت با دروگر خودگردان ۶۷ درصد کمتر از هزینهٔ برداشت دستی گزارش شد. رنپو (Renpu, 1999) اعلام کرده است که در روش مکانیزه، نه تنها هزینهٔ برداشت ۲۳/۶ درصد نسبت به هزینهٔ برداشت دستی (سنتی) کاهش می‌یابد بلکه کیفیت محصول نهایی نیز بالاتر خواهد بود.

- سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت (نقطهٔ سر به سر)

سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت برای دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در هر دو نوع دروگر مورد آزمایش، با افزایش سطح برداشت (سطح عملیات) سالیانه، هزینهٔ کل عملیات ماشینی کاهش می‌یابد که دلیل ان کاهش هزینه‌های ثابت در واحد سطح (در هر هکتار) است. نمودارها در شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند که سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت (نقطهٔ سر به سر) برای دروگر موتوری پشتی ۲/۰۰ هکتار بر سال و برای دروگر خودگردان ۱۱/۴۲ هکتار بر سال است. با توجه به داده‌های جدول ۴، سطح عملیات ماشینی با در نظرگرفتن ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در وضعیت موجود، برای دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۳۸/۰۰ و ۷/۶۸ هکتار بر سال برآورد می‌شود که بیشتر از سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت برای دو نوع دروگر مورد آزمایش است. به‌عبارت دیگر، در شرایط موجود، خرید و کاربرد دروگرهای مورد نظر با توجه به سطح عملیات سالیانه باصرفه است. اگر سطح برداشت سالیانه در عمل کمتر از سطح توجیه‌کنندهٔ مالکیت باشد، خرید و استفاده از ماشین برای برداشت سطح مورد نظر باصرفه نیست و لزوماً به‌صورت اجاره‌ای استفاده می‌شود.

جدول ٤- مبنای محاسبات برای تعیین هزینه‌های برداشت با استفاده از دو نوع دروگر برنج مورد آزمایش

نوع دروگر	قیمت خرید (P) (ریال)	قیمت اسقاطی (S) (ریال)	عمر مفید (L) (سال)	کارکرد سالیانه (TSh) (ساعت بر سال)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (EFC) (هکتار بر ساعت)	ظرفیت کار روزانه[1] (DC) (هکتار بر روز)[2]	تعداد روزهای کاری در دسترس (AWD)[2] (روز بر سال)	سطح عملیات[4] (CA) (هکتار بر سال)
خودگردان	۹۰۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰	۵	۱۶۰	۰/۲۳۷	۱/۸۹۶	۲۰	۳۸
موتوری پشتی	۱۵۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۳	۱۶۰	۰/۰۴۸	۰/۳۸۴	۲۰	۷/۶۸

۱- حاصل ضرب ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در ساعت مفید کار روزانه.

۲ و ۳- کار روزانه ۸ ساعت و تعداد روزهای کاری مفید در فصل برداشت ۲۰ روز.

۴- حاصل ضرب ظرفیت کار روزانه در تعداد روزهای کاری در دسترس (Konaka, 2005).

جدول ۵- هزینه‌های برداشت ماشینی با استفاده از دو نوع دروگر خودگردان و موتوری پشتی

نوع دروگر	استهلاک (ریال بر سال)	سود سرمایه (ریال بر سال)	هزینهٔ ثابت (ریال بر سال)	هزینه‌های ثابت (ریال بر هکتار)	سوخت (ریال بر ساعت)	روغن (ریال بر ساعت)	تعمیرات و نگهداری (ریال بر ساعت)	کارگر (ریال بر ساعت)	هزینهٔ متغیر (ریال بر ساعت)	هزینهٔ متغیر (ریال بر هکتار)	هزینهٔ کل ماشین (ریال بر هکتار)
خودگردان	۱۶۲۰۰۰۰۰	۶۹۳۰۰۰۰	۲۳۱۳۰۰۰۰	۶۰۸۶۸۴	۹۳۵۰	۲۸۰۵	۳۱۵۰۰	۱۸۷۵۰۰	۲۳۱۱۵۵	۹۷۵۳۳۸	۱۵۸۴۰۲۲
موتوری پشتی	۴۵۰۰۰۰۰	۱۱۵۵۰۰۰	۵۶۵۵۰۰۰	۷۳۶۳۲۸	۶۰۰۰	۱۸۰۰	۵۲۵۰	۱۸۷۵۰۰	۲۰۰۵۵۰	۴۱۷۸۱۲۵	۴۹۱۴۴۵۳

جدول ٦- محاسبهٔ صرفه جویی‌ها در هزینه‌های برداشت با استفاده از ماشین‌های دروگر و مقایسهٔ آن با برداشت دستی[1]

روش برداشت	تعداد کارگر (نفر- ساعت در هکتار)		دستمزد کارگر[3] (ریال بر نفر-ساعت)		هزینهٔ کارگر (ریال در هکتار)	هزینهٔ عملیات ماشینی (ریال بر هکتار)	هزینهٔ کل برداشت (ریال بر هکتار)	صرفه جویی ناخالص (ریال بر هکتار)	عملکرد شلتوک[4] (کیلوگرم بر هکتار)	ضایعات برداشت[5] (درصد)	هزینه ناشی از ضایعات[6] (ریال بر هکتار)	صرفه جویی خالص[7] (ریال بر هکتار)
	درو[2]	جمع‌آوری	درو	جمع‌آوری								
برداشت دستی	۱۱۹/۷	۴۰	۸۷۵۰۰	۸۷۵۰۰	۱۳۹۷۳۷۵۰	-	۱۳۹۷۳۷۵۰	مبناء	۴۱۵۰	۲/۱۸	مبناء	مبناء
دروگر خودگردان	۴/۲۲	۴۸	-	۸۷۵۰۰	۴۲۰۰۰۰۰	۱۵۸۴۰۲۲	۵۷۸۴۰۲۲	۸۱۸۹۷۲۸	۴۱۵۰	۲/۴۲	۲۴۹۰۰۰	۷۹۴۰۷۲۸
دروگر موتوری پشتی	۲۰/۷۴	۴۸	-	۸۷۵۰۰	۴۲۰۰۰۰۰	۴۹۱۴۴۵۳	۹۱۱۴۴۵۳	۴۸۵۹۲۹۷	۴۱۵۰	۲/۵۸	۴۱۵۰۰۰	۴۴۴۴۲۹۷

۱- میانگین برای دو رقم هاشمی و خزر در نظر گرفته شده است.

۲- در برداشت با دروگر موتوری پشتی و خودگردان هزینهٔ کارگر برای درو در قسمت هزینه کاربر (اپراتور) دستگاه به‌عنوان هزینه متغیر در نظر گرفته شده است.

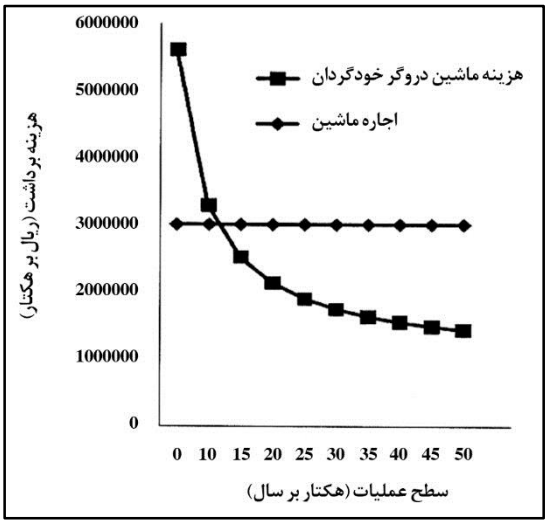
۳- دستمزد کارگر روزانه (۸ ساعت کار مفید) مبلغ ۷۰۰۰۰۰ ریال/ نفر- روز که معادل ۸۷۵۰۰ ریال/ نفر- ساعت تعیین شده است.

۴- میانگین عملکرد رقم هاشمی (۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) و خزر (۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) لحاظ شده است.

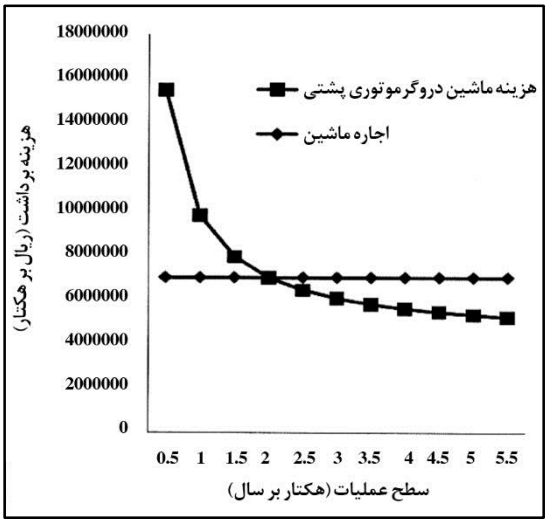
۵- مجموع ضایعات دو مرحلهٔ درو و جمع‌آوری منظور شده است.

۶- میانگین قیمت شلتوک رقم هاشمی و خزر در سال ۱۳۹۳ منظور گردید و افزایش یا کاهش ضایعات نسبت به برداشت دستی محاسبه شد.

۷- در مورد مقدار ضایعات و صرفه‌جویی خالص روش‌های ماشینی نسبت به روش دستی مد نظر قرار گرفته است.



شکل ۳- نمودار رابطه بین سطح برداشت برنج و هزینهٔ عملیات ماشینی و نقطهٔ سربه سر در دروگر خودگردان



شکل ٤- نمودار رابطه بین سطح برداشت برنج و هزینهٔ عملیات ماشینی و نقطهٔ سر به سر در دروگر موتوری پشتی

نتیجه‌گیری

نتیجهٔ کلی حاصل از این تحقیق عبارت‌اند از:

- مدت زمان لازم برای برداشت هر هکتار با استفاده از دروگر خودگردان و موتوری پشتی در مقایسه با برداشت دستی به‌ترتیب ۹۶/۵ و ۸۲/۶ درصد کاهش یافته است.
- تعداد کارگر در عملیات برداشت (درو و جمع‌آوری) در روش دستی ۱۵۹/۷ نفر- ساعت بر هکتار و در برداشت با دروگر خودگردان و موتوری پشتی به‌ترتیب ۵۲/۲۲ و ۶۸/۷۴ نفر- ساعت بر هکتار تعیین شده است.
- مقدار صرفه‌جویی خالص ناشی از به‌کارگیری دروگر خودگردان و موتوری پشتی، در مقایسه با روش دستی، به‌ترتیب ۷۹۴۰۷۲۸ و ۴۴۴۴۲۹۷ ریال بر هکتار به‌دست آمده است.
- نقطهٔ سر به سر و سطح برداشت سالیانه برای دروگر موتوری پشتی به‌ترتیب ۲/۰۰ و ۷/۶۸ هکتار بر سال و برای دروگر خودگردان به‌ترتیب ۱۱/۴۲ و ۳۸/۰۰ هکتار بر سال تعیین شده است.

مراجع

Ali, M. Y., Hossain, S. M. A., Ahmed, S. M. and Gaffer, M. A. 2000. Effect of harvesting time on seed and seed quality of transplant *aman* rice varieties. Bangladesh J. Crop Sci. 11, 31-37.

Alizadeh, M. R. 2002. Field performance evaluation of reapers in rice harvesting and comparison with manual method. J. Agric. Eng. Res. 3(13): 1-14. (in Persian)

Alizadeh, M. R. and Allameh, A. 2013. Evaluating rice losses in various harvesting practices. Int. Res. J. Appl. Basic Sci. 4(4): 894-901.

Anon. 1995. RNAM test codes and procedures for farm machinery. Technical Series No.12. Department of Census and Statistics of Sri Lanka. Available at http://www.statistics.gov.lk.

Aung, N. N., Myo, W. P. P. and Htet, Z. M. 2014. Field performance evaluation of a power reaper for rice harvesting. Int. J. Sci. Eng. Tech. Res. 3(12): 2631-2636.

Barman, R. K., Siddique, M. A. A., Rahman, M. M., Amin, M. R. and Sarker, K. U. 2015. Performance evaluation of manual reaper available in Bangladesh. Asian J. Agric. Food Sci. 3(6): 637-642.

Bora, G. C. and Hansen, G. K. 2007. Low cost mechanical aid for rice harvesting. J. Appl. Sci. 7(23): 3815-3818.

Handaka, T.M. and Pitoyo, J. 2011. Modification of a grass cutter into a small rice harvester. Indones. J. Agric. 4(1): 40-45.

Hasanjani, H., Hoseini, M., Khademalhoseini, N. A. and Alizadeh, M. R. 2007. Evaluation of different rice harvesting methods in Guilan province. Agric. J. 9(1): 23-38. (in Persian)

Juarez, F. S., Bart, D., Amanda, T. and Robert, S. 1989. Socio-economic and technical performance of mechanical reports in Philippines. AMA-Agr. Mech. Asia, AF. J. 20, 49-54.

Kepner, R. A., Bainer, R. and Barger, E. L. 1982. Principle of Farm Machinery, 3rd Ed. AVI, West Port, Connecticut.

Konaka, T. 2005. Farm Mechanization Planning. Tsukuba International Center, Japan International Cooperation Agency (JICA).

Manjunatha, M. V., Masthana-Reddy, B. G., Shashidhar, S. D. and Joshi, V. R. 2009. Field performance evaluation of vertical conveyor paddy reaper. Karnataka J. Agric. Sci. 22(1): 140-142.

Mohammadi-Baneh, N., Navid, H., Alizadeh, M. R. and Ghasemzadeh, H. R. 2012. Design and development of a cutting head for portable reaper used in rice harvesting. J. Appl. Biol. Sci. 6(3): 69-75.

Murumkar, R. P., Dongarwar, U. R., Borkar, P. A., Pislakar, P. S. and Phad, D. S. 2014. Performance evaluation of self-propelled vertical conveyor reaper. Int. J. Sci. Environ. Technol. 3(5): 1701-1705.

Pradhan, S. C., Biswajit, R., Das, D. K. and Mahapatra, M. 1998. Evaluation of various paddy harvesting methods in Orissa, India. AMA-Agr. Mech. Asia, AF. J. 29(2): 35-38.

Renpu, 1999. Mechanization and industrialization about rice production in China. Agric. Mech. China. 164, 4-9.

Roy, S. K., Jusoff, K., Ismail, W. I. W. and Ahmed, D. 2001. Performance evaluation of a combine harvester in Malaysian paddy field. Paper presented at Asia Pacific Advanced Network (APAN). Penang Meeting. Aug. 20-22. University Science Malaysia (USM). Penang, Malaysia,

Siebenmorgen, T. J., Perdon, A. A., Chen, X. and Mauromous, A. 1998. Relating rice milling quality changes during adsorption to individual kernel moisture content distribution, Cereal Chem. 75(1): 129-136.

Zami, M. A., Altaf Hossain, M. D., Sayed, M. A., Biswas, B. K. and Hossain, M. A. 2014. Performance evaluation of the BRRI reaper and Chinese repaer compared to manual harvesting of rice (*Oryza Sativa* L.). Agriculturists. 12(2): 142-150.

Tabatabaei-Kalor, R. 2009. Testing and field performance evaluating tractor front mounted rice reaper and compared to power tiller mounted and powered type reapers in the country. Agric. J. 11(1): 87-100. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.20/No.72/Spring & Summer 2019/P:55-72

Field Performance Assessment of Self-propelled and Knapsack Power Rice Reapers, and Comparison with Manual Harvesting

M. R. Alizadeh* and D. Haghtalab

* Corresponding Author: Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. Email: hzakid@scu.ac.ir
Received: 7 May 2017, Accepted: 27 May 2018

Abstract

In mechanized harvesting, it is very important to develop an appropriate rice reaper for decreasing costs and crop losses. In this study, the field performance of two rice reapers (self-propelled and knapsack power reapers) were compared with manual harvesting. The experiment was conducted in split-plot design with the rice varieties as the main factor in two levels (*Hashemi* and *Khazar*) and the harvesting method as sub-factor in three levels (three harvesting methods) based on randomized complete block design in three replications. The results revealed that the effective field capacity of a self-propelled reaper (0.237 $ha.h^{-1}$) and knapsack power reaper (0.048 $ha.h^{-1}$) was significantly higher than that of the manual harvesting (0.0083 $ha.h^{-1}$). The time required for harvesting one hectare using the self-propelled reaper, knapsack power reaper and manual method were 4.22, 20.74 and 119.71 h, respectively. The labor requirements in harvesting for manual method were 159.7 $man\text{-}h.ha^{-1}$ and those of the self-propelled and knapsack power reapers were determined 52.22 and 68.74 $man\text{-}h.ha^{-1}$, respectively. The harvesting losses when self-propelled reaper and knapsack power reaper are used and manual method is practiced, registered as 2.42% and 2.58 and 2.18 %, respectively. The net saving cost using self-propelled and knapsack power reapers were 7940728 and 4444297 $Rial.ha^{-1}$ as compared to that of manual harvesting. The break-even point for knapsack power and self-propelled reapers were determined 2.00 and 11.42 $ha.year^{-1}$, respectively.

Keywords: Harvesting Cost, Mechanized Harvesting, Rice Losses