نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۸ شماره ۱/ سال ۱۴۰۲/ صفحه‌های ۳۳-۴۲

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2023.54685.1213

ارزیابی روش‌های مکانیزه و سنتی برداشت کنجد در شمال استان خوزستان

محمد حسین نورانی[۱]، عباس عساکره[۱]* ، محمدرضا سیاهپوش[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۲/۲۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

* مسئول مکاتبه: a.asakereh@scu.ac.ir

چکیده

برداشت کنجد به دلیل استفاده از ارقام شکوفا و ریزش بسیار زیاد در برداشت مستقیم و مکانیزه، عمدتا به صورت دستی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر معرفی ارقام ناشکوفا امکان برداشت مکانیزه کنجد را فراهم کرده است. در این مطالعه روش سنتی (ارقام شکوفا) و مکانیزه (ارقام ناشکوفا) برداشت کنجد از نظر میزان تلفات دانه، هزینه، انرژی مصرفی و زمان مورد نیاز برای برداشت بررسی گردید. داده‌های برداشت سنتی از کشاورزان شهرستان دزفول، شوش و اندیمشک و داده‌های برداشت مکانیزه از کشت و صنعت شهید رجایی دزفول جمع‌آوری شد. در برداشت مکانیزه، میزان تلفات کمباین در سه مقدار کشت بذر ۵، ۱۰ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار و سه سرعت پیشروی کمباین ۱/۵، ۲ و ۲/۵ کیلومتر در ساعت اندازه‌گیری شد. میانگین تلفات دماغه ۴/۸۳ درصد به دست آمد که بیش از ۹۴ درصد آن مربوط به افت دماغه کمباین بود. یافته‌ها نشان داد با افزایش تراکم بوته میزان افت کمباین به شدت کاهش می‌یابد. میانگین نیروی انسانی در برداشت یک هکتار کنجد ناشکوفا ۳۱۵ نفر- ساعت به دست آمد که ۹۸ برابر روش مکانیزه بود. میانگین هزینه برداشت هر هکتار کنجد بر اساس سال ۱۳۹۹ در روش سنتی و مکانیزه به ترتیب ۴۹/۴ و ۲/۷ میلیون ریال محاسبه شد. میانگین کل انرژی مصرفی برداشت هر هکتار کنجد در روش سنتی و مکانیزه به ترتیب ۲۰۸۸ و ۱۵۱۰ مگاژول به دست آمد که انرژی انسانی در روش سنتی بخش عمده آن بود. نتایج نشان داد استفاده از ارقام ناشکوفا و برداشت مکانیزه امکان توسعه کشت کنجد را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی، برداشت دستی، تحلیل اقتصادی، تلفات کمباین، کنجد ناشکوفا

How to cite:
Noorani M H, Asakereh A, and, Siahpoosh M R, N. 2023. Evaluation of mechanized and traditional harvesting methods of sesame in the north of Khuzestan province. *Journal of Agricultural Mechanization* 8 (1): 33−42.

Evaluation of mechanized and traditional harvesting methods of sesame in the north of Khuzestan province

Mohamad. Hosein. Noorani[1], Abbas. Asakereh[1*], Mohamad. Reza. Siahpoosh[2]

1-Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2-Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
Received: December 30, 2022 Accepted: March 13, 2023

*Corresponding author: a.asakereh@scu.ac.ir

Abstract

Sesame harvesting is mainly done manually due to the use of dehiscence cultivars and high seed loss in available mechanized harvesting machines in Iran. In recent years, with the introduction of non-dehiscence cultivars, the mechanized harvesting of sesame has become possible. In this study, the traditional and mechanized methods of sesame harvesting were investigated in terms of seed loss, cost, energy consumption and time required for harvesting. Data of traditional system were collected from farmers in Dezful, Shush and Andimeshk counties and data of mechanized system were obtained from Shahid Rajaei agricultural production Company in Dezful. In the mechanized harvesting, the seed loss was measured in three amounts of seed planting rates (5, 10, and 12 kg/ha) and three ground speeds of the combine harvester (1.5, 2 and 2.5 km/h). The average seed loss in the combine harvester was 4.83%, of which more than 94% was related to the combine header. The findings showed that with the increase in plant density, seed loss in combine harvester is greatly reduced. The average labor requirement in traditional manual harvesting was 315 labor-hours, which was 98 times more than that in the mechanized method. The average cost of harvesting in traditional and mechanized methods was calculated as 49.4 and 2.7 million IRR/ha in 2019, respectively. The input energy in traditional and mechanized harvesting was 2088 and 1510 MJ/ha, respectively, that in the traditional method, human energy was the major part of the input energy. The results showed that the use of non-dehiscence cultivars and mechanized harvesting allows expansion of sesame cultivation.

Keywords: Energy, Manual harvesting, Economic analysis, Combine harvester losses, Non-dehiscence Sesame

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش تقاضا برای روغن خوراکی گیاهی و کنجاله غنی از پروتئین در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، باعث افزایش نرخ تولید دانه‌های روغنی نسبت به غلات شده است (Salehi and Saeidi, 2013). طبق آخرین آمارها ضریب خوداتکایی کشور ایران در تولید روغن، ۱۰ درصد اعلام شده است و ۹۰ درصد از ۱/۵ میلیون تن روغن گیاهی مورد نیاز کشور در سال از طریق واردات تأمین می‌شود (Helali, 2018). کنجد با نام علمی *Sesamum indicum L.* یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که به ملکه گیاهان روغنی معروف است. کنجد دارای طعم مطبوع است و روغن حاصل از آن به راحتی اکسید نمی‌شود (Salehi and Saeidi, 2013). از نظر کمی و کیفی، دانه‌های این گیاه در گروه دانه‌های روغنی درجه یک قرار دارند که حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد روغن هستند (Khalid et al., 2003). سطح زیر کشت کنجد در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در کشور، ۵۱۶۱۰ هکتار بوده که ۳۹۸۱۴ هکتار آن به صورت آبی و ۱۱۷۹۴ هکتار به صورت دیم بوده است. میانگین عملکرد در کشت آبی ۱۰۲۸ و در کشت دیم ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار بوده است. زراعت کنجد در ۲۳ استان کشور انجام می‌گیرد که بیشترین سطح کشت کنجد آبی کشور را استان‌های خوزستان، فارس، کرمان، بوشهر و هرمزگان به خود اختصاص داده‌اند (Anonymous, 2019).

کنجد به دلیل مقاومت به خشکی می‌تواند یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانی ایران باشد. مزیت این محصول در توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان محصول تابستانه و محصول متناوب با غلات با نیاز آبی کم است. با این وجود به دلیل استفاده از ارقام کنجد با کپسول‌های شکوفا و عدم امکان برداشت آن به صورت مستقیم (با کمباین) به دلیل ریزش بسیار زیاد، برداشت کنجد غالباً به صورت دستی انجام می‌شود. در کل جهان نیز بیشتر ارقام کنجد با کپسول‌های شکوفا کشت می‌شوند و به همین دلیل ۹۹ درصد مزارع به صورت دستی برداشت می‌شوند (Georgiev et al., 2009). در برداشت کنجد شکوفا اصل بر این است که محصول قبل

از شکوفایی کپسول‌ها، زمانی که محصول سبز است، درو می‌گردد (شکل ۱). به طور کلی برداشت سنتی کنجد شامل مراحل درو (برش)، جمع‌آوری محصول بریده‌شده و حمل و نقل آن، نشاندن (شکل ۱)، آبپاشی محصول، کوبیدن محصول، جمع‌آوری دانه‌های کنجد بعد از کوبیدن و تمیز کردن آن‌ها است. تقریباً همه این مراحل با دست انجام می‌شود و نیروی انسانی نقش تعیین‌کننده در آن دارد. برای جمع‌آوری محصول در مزرعه در برخی موارد از ماشین‌ها مانند تراکتور و کفی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از دروگر (موور) جهت برش محصول نیز افزایش یافته است. کوبیدن محصول به منظور جداکردن دانه از کپسول و بوته‌ها انجام می‌گیرد که بیشتر به صورت کوبیدن محصول بر زمین توسط نیروی انسانی است. جهت جمع آوری آسان دانه‌های کنجد و به حداقل رساندن تلفات دانه، معمولاً سطح زمین با برزنت یا پلاستیک پوشانده می‌شود. در برخی موارد کوبیدن بر روی زمین بتن‌ریزی شده یا سطوح مشابه آن انجام می‌شود. این در حالی است که برداشت مکانیزه زمانی که کنجد کاملاً رسیده و رطوبت آن جهت برداشت مستقیم با کمباین مناسب شده است، انجام می‌گیرد.

ارقام کنجدی که در کشور (تقریباً در کل دنیا) کشت می‌شوند از نوع ارقام شکوفا می‌باشند، بنابراین امکان برداشت آن به صورت مستقیم (با کمباین) به دلیل ریزش بسیار زیاد، وجود ندارد. عدم وجود رقم کنجد ناشکوفا با عملکرد مناسب و اصلاح شده موجب شده است کشاورزان ارقام شکوفا کشت کنند. تقریباً در کشور برداشت کنجد به صورت دستی و با نیروی کارگری انجام می‌شود که بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. به همین دلیل کشت این محصول با وجود پتانسیل بسیار خوب اقتصادی آن، توسعه زیادی نیافته است.

(b) (a)

شکل ۱- برش (a) و نشاندن (b) محصول کنجد در روش برداشت سنتی

Fig 1. Cutting and stooking of sesame in traditional harvesting method

برداشت دستی کنجد و در نتیجه سختی کار، هزینه و زمان بالای آن با وجود پتانسیل بسیار خوب اقتصادی آن، مانع از توسعه کشت این محصول در ایران شده است. توسعه کشت این محصول در گرو توسعه مکانیزاسیون این محصول (به ویژه عملیات برداشت) است که مستلزم استفاده از ارقام ناشکوفا است (Stamatov et al., 2018). بذر اصلاح شده جهت برداشت با کمباین، دارای کپسول‌های ناشکوفا می‌باشد که در زمان برداشت در سیستم برش و تغذیه کمباین ریزش زیادی ندارد. تحقیقات کمی در زمینه اصلاح بذر کنجد ناشکوفا و معرفی بذور ناشکوفای مناسب نسبت به سایر دانه‌های مهم روغنی انجام شده است. با این وجود تلاش‌هایی برای تبدیل کنجد از محصولی با برداشت سخت و دستی به محصولی با برداشت مکانیکی انجام شده است. اولین برداشت‌های کاملاً مکانیزه در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسعه پیدا کرد. با این وجود تاکنون برداشت مکانیزه کنجد همراه با مشکلاتی است (Roa et al., 2000). در مطالعه‌ای که در شرق کشور سودان انجام شد، افت برداشت مکانیزه بیشتر از روش دستی بیان شد ولی زمان برداشت دستی حدود پنج برابر مکانیکی گزارش گردید (Dahab and Mohamed, 2007). در مطالعه‌ای که در بلغارستان انجام شد، چهار روش مکانیزه برداشت کنجد با هم مقایسه شدند. روش اول شامل برداشت با کمباین غلات، روش دوم شامل برداشت کامل گیاه، روش سوم برداشت دو مرحله‌ای و روش چهارم برداشت تنها بذر در یک مرحله است. در روش سوم در مرحله اول کپسول‌های کنجد جمع‌آوری می‌شوند و در مرحله دوم کپسول‌ها پس از خشک شدن کوبیده می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش اول برای مزارع بزرگ و مسطح مناسب است در حالی که روش سوم مناسب‌ترین روش برای تولید کنجد بذری است. روش چهارم برای زمین‌های کوچک مناسب بود (Delibaltova and Dallev, 2017). زمانی که رطوبت دانه کنجد کمتر از ۱۰ درصد باشد، افت دانه در واحد خرمن‌کوبی کم است و با افزایش رطوبت، تلفات دانه در این واحد افزایش می‌یابد. این در حالی است که تلفات دانه کنجد در دماغه کمباین با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. کاهش رطوبت دانه به زیر ۱۰ درصد، تلفات دانه در دماغه کمباین را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (Ishpekov et al., 2015). با وجود پیشرفته‌های فنی انجام شده در برداشت کنجد، مطالعات نشان می‌دهد که هیچ راه‌حل فنی وجود ندارد که بتولند تلفات دانه کنجد ارقام شکوفا در دماغه کمباین را به طور قابل توجهی کاهش دهد. چرخ و فلک عامل مهم در افزایش ریزش کنجد در دماغه کمباین است که با استفاده از رقم‌های کم‌شاخه، می‌توان ریزش آن را تا ۱۷ درصد کاهش داد (Langham, 2014). مهم‌ترین مشکل در برداشت مکانیزه کنجد، شکوفا بودن ارقام کنجد مورد استفاده است که توسعه برداشت مکانیزه را محدود کرده است. بنابراین اصلاح بذر کنجد و تولید ارقام ناشکوفا مهم‌ترین مسئله در توسعه مکانیزاسیون برداشت کنجد است. ارقام اصلاحی کنجد برای برداشت مکانیزه و کمباین باید دارای کپسول‌های ناشکوفا باشند تا ریزش دانه در سیستم برش و تغذیه کمباین را به حداقل برسد (Stamatov and Deshev, 2014). در مطالعه‌ای که جهت تعیین پارامترهای مؤثر در طراحی و ساخت کمباین برداشت کنجد انجام شد، عوامل اقلیمی، مکانی و زراعی در طراحی و ساخت کمباین برداشت کنجد مورد بررسی قرار گرفت (KhakRangin et al., 2014). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که عوامل مختلفی بر افت کمباین تأثیر می‌گذارند که در بین همه آنها، نرخ تغذیه مهم‌ترین عامل است (Stamatov and Deshev, 2014).

در سال‌های اخیر، لاین‌های امیدبخش کنجد ناشکوفا، مناسب برای کشت در شرایط آب و هوایی خوزستان اصلاح ژنتیکی شده و ارقامی در دست معرفی و تجاری‌سازی است که هم‌اکنون در کشت و صنعت شهید رجایی و همچنین توسط برخی کشاورزان پیشرو در استان خوزستان (به‌صورت محدود) کشت می‌شود. همزمان با معرفی و کشت این رقم کنجد، عملیات کشت آن نیز نسبت به سیستم کشت مرسوم و سنتی تغییر اساسی کرده و از سیستم دستی به سیستم مکانیزه تبدیل شده است. معرفی این رقم جدید و به تبع آن تغییر در سیستم کشت، میزان نهاده‌ها را تغییر داده و منجر به ورود ماشین‌ها و تجهیزات جدید در سیستم کشت کنجد شده است. اگرچه استفاده از این رقم باعث کاهش زمان عملیات کشت (به ویژه عملیات برداشت) و امکان کشت گسترده آن شده است، اما میزان تلفات بذر این رقم و عوامل مؤثر بر آن در برداشت با کمباین و هزینه و انرژی مصرفی آن بررسی نشده است. از این رو در این مطالعه میزان ریزش دانه، انرژی مصرفی، زمان، نیروی انسانی و هزینه مورد نیاز در برداشت کنجد ناشکوفا با کمباین و همچنین در برداشت کنجد شکوفا به روش سنتی در شمال استان خوزستان بررسی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و اطلاعات مربوط به برداشت سنتی کنجد (شکوفا) از کشاورزان شهرستان اندیمشک، دزفول و شوش که تجربه کشت کنجد به مدت چندین سال را دارند، جمع‌آوری گردید. در منطقه مورد مطالعه بیشتر رقم کنجد شوین که یک رقم ناشکوفا است، کشت می‌گردد، هرچند ارقام محلی نیز کشت می‌گردند. داده‌های جمع‌آوری شده شامل عملکرد مزارع، نحوه و مراحل برداشت، زمان لازم برای مراحل مختلف برداشت، نیروی انسانی مورد نیاز در هر مرحله، هزینه برداشت در هر هکتار، ماشین‌ها و ادوات مورد استفاده و مصرف سوخت است.

داده‌های برداشت مکانیزه از شرکت کشت و صنعت شهید رجایی واقع در شهرستان دزفول در ۲۳ کیلومتری جاده صفی‌آباد جمع‌آوری گردید. میانگین ارتفاع مزارع این کشت و صنعت از سطح دریا حدود ۷۲ متر است. اراضی این کشت و صنعت دارای بافت خاک متفاوتی می‌باشند ولی به طور کلی طبق آزمون خاک دارای بافت لوم رسی است. میانگین بارندگی سالیانه در شهرستان دزفول حدود ۳۲۷ میلی‌لیتر است.

اطلاعات جمع شده از برداشت مکانیزه کنجد ناشکوفا شامل عملکرد کنجد ناشکوفا در هکتار، میزان ریزش دانه در برداشت با کمباین، هزینه، نیروی انسانی، زمان، ماشین‌ها و سوخت مورد نیاز برای برداشت بود. کنجد ناشکوفایی که در چند سال اخیر در کشت و صنعت شهید رجایی کشت و تولید می‌شود، توسط محققان داخلی، متناسب با شرایط آب‌وهوایی استان خوزستان اصلاح ژنتیکی شده که مراحل تجاری‌سازی آن در دست اقدام است. به موازات معرفی و کشت این کنجد ناشکوفا، ماشین‌ها و ادوات آن نیز در حال بررسی و مطالعه است که افت برداشت مستقیم کنجد ناشکوفا با کمباین از مهم‌ترین آن‌ها است. برای محاسبه میزان مصرف سوخت کمباین از روش باک پر استفاده گردید. از آنجایی که هیچ گونه مطالعه و بررسی در زمینه عوامل مؤثر بر ریزش کنجد ناشکوفا در برداشت کمباین انجام نشده است، در این مطالعه اثر سرعت‌های مختلف پیشروی کمباین و میزان مختلف مقدار کشت بذر بر میزان ریزش کنجد ناشکوفا در برداشت با کمباین به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گردید. مقادیر مختلف کشت بذر کنجد ناشکوفا در مزارع کشت و صنعت شهید رجایی به عنوان تیمار کرت‌های اصلی (A) و سرعت پیشروی کمباین به عنوان تیمار کرت‌های فرعی (B) در نظر گرفته شد. سه مقدار ۵ (A1)، ۱۰ (A2) و ۱۲ (A3) کیلوگرم بذر کنجد در هکتار به صورت دو ردیف با فاصله ۲۰ سانتیمتر روی پشته‌ها با فاصله ۷۵ سانتی‌متر کشت گردید. لازم به ذکر است تقریباً این مقادیر بذر در هکتار در مزارع کشت و صنعت شهید رجایی کشت می‌شوند. کشت روی پشته امکان انجام مکانیزه عملیات داشت مانند کود دهی و مبارزه مکانیکی با علف را فراهم می‌کند (شکل ۲). آبیاری مزارع کنجد در کشت و صنعت شهید رجایی به‌صورت جوی و پشته و با استفاده از سیفون انجام می‌گردد به طوری که از پیش آمدن حالت غرقابی مزارع جلوگیری می‌شود (شکل ۳).

شکل ۲- عملیات کود دهی در مزارع کنجد ناشکوفا

Fig 2. Fertilization operation in non-dehiscence sesame fields

شکل ۳- آبیاری مزارع کنجد با سیفون

Fig 3. Irrigation of sesame fields using a siphon

سرعت‌های پیشروی کمباین بر اساس تجربیات برداشت کنجد با کمباین، انتخاب شد که شامل سه سرعت پیشروی ۱/۵ (B1)، ۲ (B2) و ۲/۵ (B3) کیلومتر در ساعت بود. بر اساس اندازه‌گیری‌های اولیه، سرعت پیشروی ۱/۵ و ۲/۵ کیلومتر بر ساعت به ترتیب تقریباً حداقل و حداکثر سرعت پیشروی مورد استفاده در برداشت کنجد با کمباین بود. در این طرح از کمباین کلاس مدل توکانو ۳۲۰ جهت برداشت کنجد استفاده شد. طول و عرض کرت‌های اصلی به ترتیب ۵۰ و ۴۵ متر در نظر گرفته شد، در حالی که طول و عرض کرت فرعی به ترتیب ۵۰ و ۱۵ متر بود. ارتفاع برش حدود ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از برداشت مزارع، جهت تعیین تراکم بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و علف هرز، ۱۰ نمونه از هر سه کرت اصلی به صورت تصادفی برداشت شد. از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ جهت تجزیه آماری استفاده گردید.

۲-۲- اندازه‌گیری تلفات

افت کمباین در بخش‌های سکوی برش، کوبنده، جداکننده و تمیزکننده اتفاق می‌افتد. در بررسی فنی و آزمون اولیه کمباین مورد استفاده، افت بدنه مشاهده نشد. اندازه‌گیری افت و ریزش بخش‌های مختلف کمباین بر طبق دستورالعمل اندازه‌گیری ریزش واحدهای مختلف کمباین که توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی تهیه شده است، انجام شد.

افت پیش از برداشت (طبیعی): تلفات پیش از برداشت شامل بوته‌هایی است که روی زمین خوابیده یا کوتاه هستند و تیغه برش نتواند آن را برداشت کند. همچنین کپسول و دانه‌هایی که به دلیل شرایط جوی نامناسب و خوابیدگی محصول روی زمین ریخته و از دسترس شانه برش خارج شده‌اند، نیز جزء افت پیش از برداشت در نظر گرفته شد. عواملی مانند خوابیدگی محصول، تأخیر در برداشت، نوع واریته و حساسیت آن به ریزش، تردد حیوانات در مزرعه و وزش باد باعث افزایش افت طبیعی می‌گردد. (Langham, 2014; Rahmati et al., 2014). به منظور تعیین تلفات پیش از برداشت، قاب نمونه‌برداری با ابعاد ۱×۱ مترمربع، به‌صورت تصادفی در نقاط مختلف مزرعه به‌جز نواحی حاشیه‌ای بر روی سطح زمین انداخته شد (به‌نحوی‌که ضربه قاب باعث ریزش دانه نگردد). محصول داخل کادر با داس به دقت برداشت شد و سپس تمام‌دانه و کپسول‌هایی که درون کادر روی زمین ریخته‌اند به علاوه کپسول‌هایی غیرعادی که در ارتفاع پایین قرار دارند و در عمل، کمباین قادر به برداشت آن‌ها نیست، جمع‌آوری و وزن شدند. این عملیات چهار دفعه برای همه کرت‌های اصلی، تکرار گردید و با تعمیم میانگین آن به یک هکتار، افت پیش از برداشت بر اساس کیلوگرم بر هکتار محاسبه گردید (Rostami et al., 2018).

افت سکوی برش (دماغه کمباین): برای تعیین افت سکوی برش، بعد از برش محصول توسط کمباین، قاب به ابعاد ۱×۱ مترمربع در فضای خالی پشت شانه برش انداخته شد، طوری که مواد خارج شده از عقب کمباین با آن‌ها ترکیب نگردد. این عمل برای همه تیمارها، چهار بار تکرار شد. دانه‌ها و غلاف‌های موجود در قاب جمع‌آوری و وزن گردید و میانگین چهار تکرار به یک هکتار تعمیم داده شد و با کم کردن افت پیش از برداشت افت سکوی برش به دست آمد (Rahmati et al., 2014; Gheleshkhani, 2017).

افت کوبنده و جداکننده: برای جلوگیری از دخللت افت طبیعی و سکوی برش، به عقب کمباین در محل خروج کاه از کاه‌پران‌ها برزنت وصل گردید به طوری که کل خروجی (کاه، دانه و کپسول‌ها) در آن جمع‌آوری گردد. پس از برداشت مساحت مشخصی (حدود ۵۶ مترمربع)، کمباین متوقف و کل مواد جمع‌آوری شده خارج گردید. سپس کلیه دانه‌ها و کپسول‌های نیم‌کوب یا کوبیده نشده در برزنت از کاه جدا و وزن شدند. کپسول‌های نیم‌کوب و کوبیده نشده به عنوان افت کوبنده و دانه‌ها به عنوان افت واحد جداکننده در نظر گرفته شدند و بر اساس مساحت برداشت شده، ریزش این دو واحد بر اساس کیلوگرم بر هکتار محاسبه گردید (Amiri et al., 2022; Stamatov et al., 2018).

افت واحد تمیزکننده: شامل دانه‌هایی هستند که از عقب کمباین از قسمت الک‌ها خارج می‌شوند. در این قسمت نیز برزنتی به بخش عقب و پایین کمباین، دقیقاً در مسیر خروجی باد پروانه متصل گردید تا کل مواد خروجی در آن قرار گیرد. سپس دانه‌ها از خرده کاه‌ها جداسازی و وزن شدند و بر اساس مساحت برداشت شده، افت واحد تمیزکننده به یک هکتار تعمیم داده شد.

افت انتهای کمباین شامل مجموع افت واحدهای کوبنده، جداکننده و تمیزکننده است. افت کل کمباین از مجموع افت سکوی برش و انتهای کمباین به دست آمد.

۲-۳- محاسبه انرژی مصرفی

انرژی مصرفی در برداشت کنجد شامل انرژی سوخت (دیزل و بنزین)، انرژی ماشین‌ها (کمباین، وانت و مخزن سوخت) و انرژی انسانی است که با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه گردید (Kitani, 1999; Ghorbani et al. 2011).

$$Ef = Qi \times Eq \quad (۱)$$

$$EM=(t*Eqm*m)/T \quad (۲)$$

$$EL = WL \times EqL \quad (۳)$$

که در آن، Ef انرژی سوخت (MJ/ha)؛ Qi مقدار سوخت مصرف‌شده (L/ha)؛ Eq انرژی معادل هر واحد سوخت (MJ/L)؛ EM انرژی ماشین (MJ/ha)؛ t مدت‌زمان لازم عملیات برای هر هکتار (h/ha)؛ T عمر مفید ماشین برحسب ساعت؛ Eqm انرژی معادل هر واحد از وزن ماشین (MJ/kg)؛ m وزن ماشین (kg)؛ EL انرژی کارگری در هکتار (MJ/ha)؛ WL تعداد کارگر در هکتار و EqL انرژی معادل هر ساعت نیروی کارگر است. انرژی معادل هر ساعت نیروی کارگر برابر با ۱/۹۶ مگاژول و انرژی معادل هر لیتر سوخت گازوئیل و بنزین به ترتیب ۴۷/۸ و ۴۶/۳ مگاژول در نظر گرفته شد (Kitani, 1999).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های عملکردی مزارع

جدول ۱ تجزیه واریانس مربوط به اثر مقدار بذر کاشته شده را بر ویژگی‌های عملکردی کنجد ناشکوفا نشان می‌دهد. اثر مقادیر مختلف کاشت بذر در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد بوته و تعداد علف‌های هرز در مترمربع و در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان تولید زیست‌توده در واحد سطح و عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما بر تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول اثر معنی‌داری نداشت.

مقایسه میانگین خصوصیات عملکردی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین نشان می‌دهد، تراکم بوته و مقدار زیست‌توده تولیدی در مقدار کاشت ۵ کیلوگرم بذر کنجد در هکتار کمتر از مقادیر ۱۰ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار است ولی تفاوت معنی‌داری بین تراکم بوته و زیست‌توده بین تیمار ۱۰ کیلوگرم و ۱۲ کیلوگرم بذر کاشت شده در هکتار وجود مشاهده نشد. با این وجود تعداد بوته در مقدار کاشت ۱۰ کیلوگرم از ۱۲ کیلوگرم در هکتار کمی بیشتر بود. گیاه کنجد به دلیل ویژگی ژنتیکی، قابلیت تولید شاخه فرعی دارد، همچنین با افزایش تراکم رقابت درون جمعیتی در بین بوته‌های کنجد افزایش می‌یابد و مانع می‌شود، تراکم از مقدار مشخصی در شرایط اقلیمی مشخص بیشتر شود. همچنین با اینکه خاک‌ورزی و تهیه مزارع و کاشت به صورت یکسان و با دقت و نظارت کامل انجام گرفت، ولی به دلیل ریز بودن بذر کنجد، تقریباً همیشه مقداری از بذور به دلیل قرار گرفتن در عمق یا شرایط نامطلوب تبدیل به گیاه و بوته نمی‌شوند. این دلایل احتمالاً مهم‌ترین عوامل نتیجه به دست آمده برای تراکم به دست آمده، می‌باشند.

با وجود مبارزه شیمیایی و مکانیکی با علف‌های هرز در همه تیمارها به صورت یکسان، تعداد علف هرز در مزرعه با مقدار کاشت ۵ کیلوگرم بذر در هکتار بیش از دو تراکم دیگر بود. علف‌های هرز کمتر در میزان کاشت بیشتر بذر، ممکن است به دلیل تراکم بیشتر بوته‌های کنجد و تأثیر رقابت‌پذیری بیشتر گیاه کنجد نسبت به علف‌های هرز باشد. از نظر تعداد علف هرز بین تیمارهای A2 و A3 اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید

میانگین عملکرد کنجد ناشکوفا در سه سطح مقدار کاشت بذر ۹۱۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که بیشترین مقدار آن با ۱۰۵۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A2 بود. بر اساس آمارنامه جهاد کشاورزی، متوسط عملکرد کنجد در استان خوزستان در سال ۱۳۹۸حدود ۸۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (Anonymous, 2019). مقایسه میانگین نشان داد تیمار A2 اختلاف معنی‌داری با تیمار A3 ندارد ولی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با تیمار A1 دارد. این موضوع نشان می‌دهد انتخاب مقدار مناسب بذر کنجد ناشکوفا برای کاشت برای دستیابی به عملکرد بالاتر بسیار مهم است.

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به اثر مقدار بذر کشت شده بر ویژگی‌های عملکردی کنجد ناشکوفا

Table 1. Analysis of variance related to the effect of the amount of seed sown on the functional characteristics of the indehiscent sesame

منابع تغییرات S.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)					
		تعداد بوته در مترمربع Number of plant per m^2	تعداد کپسول در بوته Number of capsules in plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed in capsule	علف هرز Weed	زیست‌توده Biomas production	عملکرد Yield
مقدار بذر کشت شده Amount of sown seeds	2	493.6*	0.467^{ns}	8.867^{ns}	8.07*	41.77**	15212**
خطا Error	27	1261	1366	1976	31.80	32.37	6410
کل Total	29	1755	1367	1985	39.87	74.14	21622

* و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns، معنی‌دار نبودن را نشان می‌دهند

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های عملکردی کنجد تحت تأثیر مقدار بذر کشت شده ناشکوفا

Table 2. Mean comparison of functional properties of indehiscent sesame in different amounts of sown seeds with Duncan test at the 5% probability level

مقدار کاشت بذر Sown seeds	بوته در مترمربع Plant (number/m²)	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed per capsule	تعداد علف هرز در مترمربع Weeds (number/m²)	مقدار زیست‌توده (kg/m²) Biomass	عملکرد Yield (kg/ha)
A1 (5 kg/ha)	26.2[a]	24.4[a]	40.4[a]	1.9[a]	2.41[a]	758[a]
A2 (10 kg/ha)	35.9[b]	24.7[a]	40.3[a]	1[b]	4.57[b]	1058[b]
A3 (12 kg/ha)	32.9[b]	24.6[a]	39.2[a]	0.9[b]	5.15[b]	891a[b]

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند

۲-۳- تلفات برداشت دانه کنجد ناشکوفا با کمباین

میزان تلفات دانه کنجد قبل از برداشت (افت طبیعی) بسیار کم و میانگین آن برای تمامی تیمارها ۰/۲۳ درصد به دست آمد که به دلیل استفاده از رقم کنجد با کپسول‌های ناشکوفا است. اثر مقدار بذر کاشته شده بر میزان ریزش افت طبیعی معنی‌دار نشد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به اثر مقدار بذر کشت شده بر افت قبل از برداشت

Table 1. Analysis of variance related to the effect of the amount of seed sown on pre-harvest **loss**

منابع تغییرات S.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)
مقدار بذر کشت شده Amount of sown seeds	2	0.018[ns]
خطا Error	27	0.042
کل Total	29	

تجزیه واریانس مربوط به اثر میزان بذر کاشته شده و سرعت پیشروی کمباین بر تلفات بذر در واحدهای مختلف کمباین در جدول ۴ نشان داده شده است. اثر مقدار بذر کشت شده در هکتار و سرعت پیشروی کمباین بر میزان ریزش دماغه کمباین به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. در جدول ۵ مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها بر افت دماغه کمباین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد نشان داده شده است.

بیشترین میزان تلفات دماغه کمباین با ۸/۰۷ درصد مربوط به تیمار A1 بود که با دو سطح دیگر تفاوت معناداری داشت (جدول ۵). جداول ۲ و ۵ نشان می‌دهد که با افزایش تراکم بوته، تلفات بذر در دماغه کمباین کاهش یافت. این امر احتمالاً به دلیل کاهش ضخامت ساقه‌های کنجد و همچنین کاهش شاخه‌های جانبی در بوته‌های کنجد در نتیجه افزایش تراکم است. ساقه‌های ضخیم‌تر کنجد هنگام برش، لرزش بیشتری ایجاد می‌کنند و باعث افزایش ریزش بذر از کپسول‌ها می‌شوند. گزارش شده است که ورود میله‌های چرخ و فلک دماغه کمباین بین شاخه‌های گیاه کنجد باعث خم شدن شاخه‌ها به سمت خاک و ریزش دانه‌ها از کپسول‌ها می‌شود (Langham, 2014). در مطالعات، دماغه کمباین مهم‌ترین عامل ریزش در برداشت کنجد معرفی شده است که استفاده از چرخ و فلک انگشتی‌دار نیز نمی‌تواند تلفات آن را کاهش دهد (Naydenov et al., 2016).

جدول ۴- تجزیه واریانس مربوط به اثر مقدار بذر کشت شده و سرعت پیشروی بر مؤلفه‌های افت کنجد در برداشت با کمباین

Table 4. The analysis of variance related to the effect of amount of sown seeds and combine ground speed on seed losses in different units of combine harvesters

منابع تغییرات S.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)				
		افت دماغه Header losses	افت کوبنده Threshing unit losses	افت تمیزکننده Cleaning unit losses	افت انتهای کمباین End losses	افت کل Total losses
A	2	196.3**	0.008**	0.001**	0.034**	198.3**
B	2	17.87*	0.001[ns]	0.001[ns]	0.002[ns]	17.89*
A*B	4	6.21[ns]	0.002[ns]	0.003[ns]	0.010[ns]	0.010[ns]
CV (٪)		18.6	16.8	14.8	16.6	19.4

جدول ۵- مقایسه میانگین تلفات دانه در واحدهای مختلف کمباین در مقادیر مختلف کشت بذر و سرعت‌های مختلف پیشروی کمباین بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد (درصد)

Table 5. Mean comparison of sesame seed losses in combine harvester units in A and B with Duncan test at the 5% probability level (%)

کل	انتهای کمباین	تمیزکننده	کوبنده	دماغه کمباین	تیمارها
Total	End losses	Cleaning unit	Threshing unit	Header	Treatents
8.28[b]	0.213[b]	0.117[b]	0.096[a]	8.07[a]	A1 (5 kg/ha)
2.81[a]	0.163[a]	0.083[a]	0.082[a]	2.65[b]	A2 (10 kg/ha)
4.00[a]	0.237[b]	0.117[b]	0.118[b]	3.77[b]	A3 (12 kg/ha)
5.39[b]	0.200[a]	0.103[a]	0.097[a]	5.19[b]	B1 (1/5 km/h)
4.05[a]	0.198[a]	0.101[a]	0.109[a]	3.84[a]	B2 (2 km/h)
5.66[b]	0.208[a]	10.9[a]	0.091[a]	5.46[b]	B3 (3 km/h)

از نظر سرعت پیشروی کمباین، کمترین تلفات بذر در دماغه کمباین در تیمار B2 با ۳/۸۴ درصد بود که با دو سرعت پیشروی دیگر کمباین تفاوت معنی‌داری داشت. با افزایش سرعت زمینی کمباین از ۱/۵ به ۲ کیلومتر بر ساعت، میزان تلفات دانه کنجد در دماغه کمباین کاهش یافت، اما با افزایش سرعت پیشروی به ۲/۵ کیلومتر در ساعت، میزان تلفات مجدداً افزایش یافت. بیشتر بودن میزان ریزش در دماغه کمباین در سرعت پیشروی ۱/۵ نسبت به ۲ کیلومتر بر ساعت، احتمالاً به دلیل فرار کپسول‌ها از چرخ و فلک (به دلیل سرعت کم) و شانه برش کمباین و افتادن بر روی زمین است. در سرعت بالا (۲/۵ کیلومتر بر ثانیه) علاوه بر افزایش حجم محصول وردی بیش از اندازه مطلوب شانه برش که خود عامل افزایش ریزش و افتادن کپسول‌ها می‌شود، سرعت چرخ و فلک کمباین افزایش می‌یابد و موجب ضربه زدن بیشتر به بوته (با وجود استفاده از چرخ و فلک شانه‌ای،) و در نتیجه ریزش بیشتر کپسول و دانه می‌گردد.

این روند نشان می‌دهد که سرعت پیشروی ۲ کیلومتر در ساعت برای کمباین از نظر تلفات بذر در دماغه مناسب‌ترین است. میانگین تلفات دانه در دماغه کمباین در کل تیمارها ۴/۸۳ درصد بود که بیشترین و کمترین آن با ۹/۰۶ و ۲/۲۰ درصد به ترتیب مربوط به A1B3 و A2B2 بود. بنابراین از نظر میزان تلفات دماغه، کاشت ۱۰ کیلوگرم بذر کنجد در هکتار و برداشت با سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت با کمباین بهترین حالت است (جدول ۶).

جدول ۶- میانگین تلفات سکوی برش (درصد) در تیمارهای مختلف

Table 6. Average header loss in different treatments (%)

مقدار بذر کشت شده در هکتار Seed sown (kg/ha)	سرعت پیشروی کمباین برحسب کیلومتر بر ساعت Ground speed of combine (km/h)			
	1.5	**2**	**2.5**	**میانگین Average**
5	8.77	6.38	9.06	8.07
10	3.03	2.20	2.72	2.65
12	3.76	2.95	4.59	3.77
میانگین Average	5.19	3.84	5.46	4.83

میانگین تلفات واحد کوبنده در تمامی تیمارها ۰/۱۰ درصد بود که نشان می‌دهد تلفات دانه کنجد در واحد خرمن‌کوبی کمباین توکانو ۳۲۰ کم است و از این نظر کنجد ناشکوفا شرایط بسیار مناسبی جهت برداشت با کمباین دارد. تجزیه واریانس نشان داد که تنها مقدار بذر کاشته شده تأثیر معنی‌داری بر تلفات واحد کوبنده دارد (معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد).

مقایسه میانگین افت کوبنده (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تلفات کوبنده در مزرعه با تیمار A3 است. با این وجود به دلیل اندک بودن تلفات واحد کوبنده، این تفاوت تأثیر معنی‌داری بر تلفات کل کمباین ندارد. همچنین تلفات واحدهای جداکننده و تمیزکننده بسیار کم بوده که نشان دهنده راندمان بالای کمباین برای برداشت کنجد ناشکوفا است. تنها اثر مقدار بذر کاشته شده از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر تلفات بذر در واحد تمیزکننده کمباین داشت. میانگین تلفات واحد تمیزکننده ۰/۱۱ درصد به دست آمد که کمترین تلفات مربوط به A2 بود.

تلفات انتهایی کمباین که شامل تلفات واحدهای کوبنده، جداسازی و تمیزکننده کمباین است، بین ۰/۱۶۳ تا ۰/۲۳۷ درصد اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد در برداشت کنجد ناشکوفا با کمباین غلات میزان تلفات انتهای کمباین بسیار کم است.

مجموع تلفات کل کمباین شامل تلفات دماغه کمباین و تلفات انتهایی کمباین است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار A و B بر تلفات کل کمباین به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). عمده تلفات کل کمباین مربوط به تلفات دماغه کمباین بود، بنابراین، تلفات کل متأثر از تلفات دماغه کمباین است. بیشترین تلفات کل با ۸/۲۸ درصد در A1 به دست آمد که تفاوت چشمگیری با دو مقدار دیگر کاشت بذر دارد. کمترین مقدار ریزش کل کمباین در مزارع A2 به میزان ۲/۸۱ درصد به دست آمد که با مزارع A3 اختلاف معنی‌داری نداشت. این امر نشان می‌دهد کاشت کنجد در این تراکم تلفات بذر در کمباین را به شدت افزایش

می‌دهد. به ترتیب ۹۷/۴۶، ۹۴/۳۱ و ۹۴/۲۵ درصد تلفات کل کمباین در تیمار A1، A2 و A3 مربوط به تلفات دماغه کمباین بود. از آنجایی که عمده ریزش کنجد مربوط به دماغه کمباین است، اصلاح و بهینه‌سازی دماغه کمباین برای برداشت کنجد یا انتخاب مقدار مناسب کاشت بذر می‌تواند به میزان قابل‌توجهی از تلفات بذر در کمباین بکاهد. همچنین تولید ارقامی ناشکوفا با شاخه‌های جانبی کمتر و ساقه‌های نازک‌تر می‌تولند در کاهش تلفات دانه کنجد در برداشت با کمباین مؤثر باشد.

۳-۳- عملکرد، زمان و انرژی مصرفی برداشت کنجد ناشکوفا

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان، میانگین عملکرد کنجد شکوفا در شهرستان‌های دزفول، اندیمشک و شوش حدود ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این در حالی است که میانگین عملکرد کنجد ناشکوفای کشت شده (سه مقدار بذر کاشت شده) در کشت و صنعت شهید رجایی ۹۱۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. عملکرد کنجد ناشکوفا در تیمار A2، حدود ۱۰۶۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد که ۸۰ کیلوگرم از میانگین کشاورزان کنجدکار کمتر است (جدول ۲). هر چند عملکرد کنجد مبنای مقایسه روش‌های برداشت نیست ولی به دلیل اینکه این پارامتر برای کشاورزان بسیار مهم است، بر توسعه و ترویج کشت ارقام ناشکوفا و مکانیزاسیون برداشت آن تأثیرگذار است. با توجه به عملکرد کنجد ناشکوفا در تیمار A2، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد این نوع کنجد عامل محدودکننده اصلی در توسعه کشت آن نیست.

برداشت مکانیزه کنجد (با کمباین) در ایران به دلیل استفاده از ارقام شکوفا و ریزش بسیار زیاد دانه و تلفات برداشت، مقرون به‌صرفه نیست. به همین دلیل برداشت کنجد به صورت سنتی و دستی و در چند مرحله انجام می‌شود. برداشت سنتی کنجد در استان خوزستان معمولاً شامل مراحل برش، جمع‌آوری محصول بریده شده و حمل‌ونقل آن، آبپاشی محصول، نشاندن محصول، تکان دادن و کوبیدن محصول و جمع‌آوری دانه‌های کنجد است. تقریباً در کل مراحل، نیروی انسانی نقش تعیین‌کننده ایفا می‌کند. البته برای جمع‌آوری محصول در مزرعه در برخی موارد از ماشین‌ها مانند تراکتور و تریلی و در موارد معدودی برای برش از دروگر نیز استفاده می‌شود. میانگین نیروی انسانی برای برداشت یک هکتار کنجد ناشکوفا در منطقه مورد مطالعه ۳۱۵ نفر- ساعت به دست آمد (جدول ۷) که حدود ۳۹ نفر-روز با احتساب هر روز کاری ۸ ساعت است. این در حالی است که میانگین نیروی انسانی مورد نیاز در برداشت کنجد ناشکوفا با کمباین در کشت و صنعت شهید رجایی ۳/۲ نفر-ساعت اندازه‌گیری شد. سختی کار و نیاز به نیروی انسانی زیاد و ماهر در برداشت کنجد شکوفا (سنتی) از مشکلات اساسی تولید کنجد و مهم‌ترین مانع توسعه کشت آن در سطح وسیع است. از طرف دیگر استفاده نیروی انسانی زیاد، موجب افزایش هزینه برداشت سنتی کنجد شده است. کل هزینه برداشت سنتی هر هکتار کنجد در منطقه مورد مطالعه بر اساس سال پایه ۱۳۹۹ حدود ۴۹/۴ میلیون ریال به دست آمد که نیروی انسانی حدود ۹۶ درصد آن را تشکیل داد (جدول ۵). در همین سال هزینه برداشت هر هکتار کنجد ناشکوفا با کمباین ۲/۷ میلیون ریال برآورد گردید. در واقع در روش سنتی که بر نیروی کارگر استوار است علاوه بر طولانی‌تر شدن فصل برداشت، مشکلات تأمین نیروی انسانی، سختی کار، از دست دادن فصل کشت بعدی و محدودیت افزایش سطح کشت، هزینه برداشت آن نیز بسیار بیشتر از روش برداشت با کمباین است. این موضوع اهمیت توسعه روش‌های مکانیزه برداشت کنجد و کاهش نیروی انسانی مورد نیاز در برداشت کنجد را نشان می‌دهد که نیازمند استفاده از ارقام ناشکوفا است.

در جدول ۷ میانگین انرژی لازم برای برداشت یک هکتار به تفکیک مراحل برداشت و نوع انرژی مصرفی بر اساس داده‌های به دست آمده از کشاورزان نشان داده شده است. کل انرژی نیروی انسانی برابر با ۶۱۷/۴ مگاژول در هکتار به دست آمد که مرحله برش بیشترین سهم را در انرژی نیروی انسانی به خود اختصاص داده است. تقریباً تنها در حمل‌ونقل بوته‌های بریده شده کنجد از ماشین‌های کشاورزی (تراکتور و تریلی) استفاده می‌گردد. میانگین انرژی مصرفی سوخت و ماشین‌های کشاورزی به ترتیب ۲۷۶ و ۱۱۹۵ مگاژول در هر هکتار محاسبه شد. میانگین کل انرژی مصرفی برداشت کنجد در روش سنتی برابر با ۲۰۸۸/۴ مگاژول در هکتار به دست آمد.

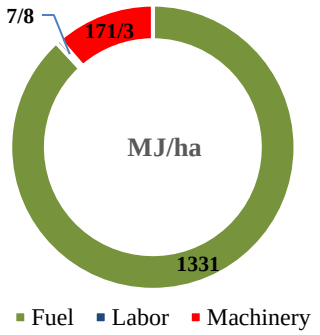
مقدار مصرف انرژی در برداشت کنجد با کمباین به تفکیک انرژی انسانی، ماشین‌ها و سوخت در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد، انرژی سوخت که عمدتاً سوخت دیزل بود، بیشترین مقدار را با ۱۳۳۱ مگاژول بر هکتار (حدود ۸۸ درصد کل انرژی برداشت) به خود اختصاص داد. انرژی غیرمستقیم ماشین در رتبه دوم قرار داشت و کمترین انرژی مصرفی در برداشت کنجد با کمباین، انرژی نیروی انسانی بود. کل انرژی مورد نیاز برای برداشت یک هکتار با کمباین حدود ۱۵۱۰ مگاژول به دست آمد که کمتر از انرژی مصرفی در برداشت سنتی بود.

جدول ۷- نیروی انسانی مورد نیاز، نهاده‌ها و هزینه‌های برداشت سنتی کنجد در هکتار

Table 5. Labor, inputs and costs of traditional sesame harvesting in one ha

عملیات Operation	نیروی انسانی Labor		ماشین‌ها Machinery		مصرف سوخت Fuel (MJ)	هزینه کل (میلیون ریال) Total cost (Million IRR)	انرژی کل Total energy (MJ)
	نفر-ساعت Labor-hour	مگاژول MJ	میلیون ریال Million IRR	مگاژول MJ	میلیون ریال Million IRR		
برش	66	129.4	10.2	0	0	10.2	129.4

Cutting جمع‌آوری و انتقال	49	96.0	7.3	276	2	1195	9.3	1567.0
Collection and Transportation نگهداری و آبپاشی	52	101.9	7.7	0	0	0	7.7	101.9
Watering نشاندن و خشک کردن	50	98.0	7.5	0	0	0	7.5	98.0
Stooking and drying تکان دادن و کوبش	51	100.0	7.6	0	0	0	7.6	100.0
Shaking and threshing جمع‌آوری و تمیز کردن	47	92.1	7.1	0	0	0	7.1	92.1
Collecting and cleaning seeds کل Total	315	617.4	47.4	276	2	1195	49.4	2088.4



شکل ۲- میانگین انرژی مصرفی در برداشت مکانیزه کنجد

Fig 2. Average energy consumption in mechanized harvesting of sesame

۴- نتیجه‌گیری نهایی

کنجد یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که به دلیل مقاومت به خشکی می‌تواند یکی از اصلی‌ترین محصولات تابستانه باشد. در تمام دنیا ارقام کنجد عمدتاً با کپسول‌های ناشکوفا کشت می‌شوند که از توسعه مکانیزه این محصول (به ویژه عملیات برداشت) جلوگیری کرده است و برداشت این محصول بیشتر به صورت دستی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر در ایران ارقامی از کنجد ناشکوفا معرفی شده است که سیستم کشت به ویژه برداشت کنجد را از سنتی به مکانیزه تغییر داده است. از این رو در این مطالعه عملیات برداشت کنجد در روش‌های سنتی و مکانیزه که مهم‌ترین مانع توسعه کشت این محصول است، مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین عملکرد کنجد ناشکوفا مهار با ۱۰۵۸ کیلوگرم در هکتار در مزارع با کاشت ۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار به دست آمد در حالی که میانگین عملکرد کنجد شکوفا ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. در برداشت کنجد ناشکوفا، تراکم بوته و سرعت پیشروی کمباین تأثیر بسزایی در تلفات بذر در کمباین دارد. یافته نشان داد کنجد ناشکوفا مناسب برداشت با کمباین است و با انتخاب تراکم مناسب کشت کنجد می‌توان تلفات برداشت با کمباین غلات را به ۲/۸۱ درصد کاهش داد. کاهش تراکم کشت به شدت تلفات دانه در برداشت با کمباین را افزایش می دهد. نتایج نشان داد توسعه کشت ارقام ناشکوفا و برداشت مستقیم کنجد با کمباین، موجب کاهش شدید نیروی انسانی مورد نیاز، هزینه، سختی کار و زمان برداشت می‌شود که می‌تواند در توسعه کشت کنجد بسیار مؤثر باشد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.MA99.330) تشکر و قدردانی می‌کنند. همین‌طور از مدیریت شرکت کشت و صنعت شهید رجایی به خاطر فراهم کردن امکانات کامل اجرایی این پروژه نهایت سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع

Amiri, H., Asakereh, A., and Soleymani, M. (2022). *Economic analysis and evaluation of grain losses of two common straw collecting combine harvester: a case study, Azna county, Lorestan, Iran*. Journal of Agricultural Machinery. 12(4): 575-588. (In Persian).

Anonymous. (2019). *Agricultural Statistical Yearbook*. Tehran: Iran Ministry of Agriculture-Jahad. (In Persian).

Dahab, M. H., and Mohamed, E. I. (2007). *Effect of partially mechanical and manual harvesting and sowing method on yield losses of sesame in eastern Sudan*. Journal of Agricultural Sciences. 15(1): 84-100.

Delibaltova, V., and Dallev, M. (2017). *Comparative testing of oil sunflower hybrids in the region of north east Bulgaria. Scientific Papers*. Series A. Agronomy. 60: 225-228.

Georgiev, S., Stamatov, S., and Deshev, M. (2009). *Requirements to sesame (Sesamum Indicum L.) cultivars breeding for mechanized harvesting*. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 15:26–30.

Gheleshkhani, A. (2017). *Wheat harvesting performance of the straw mounting compare with a usual type*. Biomedical Engineering. 6 (3): 1-9. (In Persian).

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S.,

and Aghel, H. (2011). *A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems*. Applied Energy. 88(1): 283-288.

Helali, A. (2018). *Investigating the share of domestically produced and imported oilseeds in the supply of household oil*. Institute for Planning, Agricultural Economics and Rural Development Research, Iran Ministry of Agriculture-Jahad. (In Persian).

Ishpekov, S., Petrov, P., A. Triffonov., and Kolev, B. (2015). T*echnologies for mechanized harvesting of sesame in Bulgaria.* Mechanization in Agriculture and Conserving of the Resources. 61(4): 13-15.

KhakRangin, R., Shamsi, H., Ranji, A., and PourAli, M. (2014). *Determinat of agricultural parameters influencing design and production of sesame harvesting combine*. The 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Khalid, E. K., Babiker, E. B., and Tinay, A. H. (2003). *Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration*. Food Chemistry. 82(3): 361-366.

Kitani, O. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering.* Vol, V, Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, ST Joseph, MI.

Langham, D. R. (2014). *Method for mechanical harvesting of improved non-dehiscent sesame*. United States Patent No. 8,656,692.

Naydenov, N., Ishpekov, S., and Zaykov, R. (2016). *Opportunities for mechanical feeding of sesame plants in harvesting machine*. Proceedings of University of Ruse. 55: 27-33.

Rahmati, M. H., Razdari, A. M.., Izadi, M., and Yoosefian, S. H. (2014). *Evaluation and comparison of wheat harvest losses for two common combines in Khorramabad Township*. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery: 3(4): 1-8. (In Persian).

Roa, V. P., Raikhelkarv V. D., and Sondge, S. (2000). *Evaluation of penman radiation and evaporation methods for predicting sesame evapotranspiration*. Journal of research APAU. 18:131-134.

Rostami, S., Lotfalian, M., and Hoseinzadeh-Samani, B. (2018). *Hoseinzadeh-Samani. Assessment and Comparison of Conventional and Straw Walker Combines Harvesting Losses in Fars Province*. Agricultural Mechanization and Systems Research. 19(70): 85-96. (In Persian).

Salehi, M., and Saeidi, G. (2013). *Selection Indices fo Seed Yield Improvement in Sesame (Sesamum indicum L.)*. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(4): 667-673. (In Persian).

Stamatov, S., Velcheva, N., and Deshev, M. (2018). *Introduced sesame accessions as donors of useful qualities for breeding of mechanized harvesting cultivars*. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 24:820–824.

Stamatov. S., and Deshev, M. (2014). *Selection approaches for the sesame forms suitable for mechanized harvesting*. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 20:1435–1438.