



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی

ماشین های کشاورزی



شماره ۳

جلد ۱۳

سال ۱۴۰۲

(شماره پیاپی: ۲۹)

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

۲۵۱ مدل سازی و ساخت ربات کارنده بذر در سینی نشاء (مطالعه موردی: چغندر قند) سامان آبدانان مهدی زاده

طراحی دستگاه برداشت پشت تراکتوری برای اندام هوایی گیاهان در ردیف های کشت و بررسی عملکرد آن در مزرعه نعنای فلفلی ۲۶۹ پدram قیاسی، مهناز سلاطین، رضا سون، سید محسن میر اسماعیلی، کوروش پیروندی، غلامحسین نجفی

۲۸۷ امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی به منظور تامین بار حرارتی یک سالن مرغداری منصور جلالی، احمد بناکار، بهفر فرزانه، مهدی منتظری

۳۱۱ مقایسه میزان تلفات برداشت دانه گندم دیم در انواع کمباین های کاه کوب در استان کردستان محمود صفری، محمد علی رستمی

۳۲۳ ارزیابی دو نوع ماشین پنبه چین از نظر کارکرد و کیفیت الیاف برداشتی شهرام نوروزیه

۳۳۷ اندازه گیری میزان افت در ماشین برداشت نیشکر مدل آستافت ۷۰۰۰ وحید ابراهیم خالوی سیسی، نسیم منجری، محسن سلیمانی

۳۵۱ بررسی شیب الک، دامنه حرکت الک و مکش فن بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دستگاه خرمن کوب بادام زمینی جعفر عبدی، عبدالله گل محمدی، غلامحسین شاهقلی، عادل رضوانی وند فتائی

۳۶۷ سینتیک خشک شدن انگور بی دانه سفید تحت تاثیر بلانچینگ جت برخوردی هوای داغ مرطوب حسین رضائی، مرتضی صادقی

نشریه ماشین های کشاورزی

با شماره پروانه ۸۹/۱۲۶۳۹ و درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۳۷۸۱ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۹/۳/۱۷ ۸۹/۶/۱۳

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

جلد ۱۳ شماره ۳ پاییز ۱۴۰۲

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: سید محمدرضا مدرس رضوی استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سر دبیر: محمدحسین عباسپور فرد استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین	استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)
ابونجمی، محمد	دانشیار- گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان (دانشگاه تهران)
پوررضا، علیرضا	گروه مهندسی بیولوژیک و کشاورزی (دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، آمریکا)
خوش تقاضا، محمدهادی	استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)
راجی، عبدالغنی	استاد- گروه مهندسی کشاورزی و محیط زیست، دانشکده فنی (دانشگاه ایبادان، نیجریه)
روحانی، عباس	دانشیار- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)
سعیدی راد، محمدحسین	دانشیار- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
سوپاکیت، سایاسونشن	استادیار- دانشکده کشاورزی (دانشگاه کاستسارت، تایلند)
عباسپور فرد، محمدحسین	استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)
علیمردانی، رضا	استاد- گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران- پردیس کرج)
عمادی، باقر	استاد مدعو- گروه مهندسی شیمی و بیولوژیک (دانشگاه ساسکاچوان، ساسکاتون، کانادا)
غضنفری مقدم، احمد	استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
کدخدایان، مهران	استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)
لغوی، محمد	استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شیراز)
محتسبی، سید سعید	استاد- گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران)
مدرس رضوی، محمدرضا	استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)
نصیراحمدی، ابوذر	گروه مهندسی کشاورزی (دانشگاه کاسل آلمان)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مقالات این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

Internet Archive, Google scholar, EBSCO, DOAJ, CABI, AGRIS, Scopus
اسلام (ISC)، سامانه نشریات علمی ایران، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور
(MAGIRAN)، مرجع دانش (CIVILICA)

پست الکترونیک: jame@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <http://jame.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه به تعداد ۴ شماره در سال و به صورت آنلاین منتشر می شود.

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۲۵۱ مدل سازی و ساخت ربات کارنده بذر در سینی نشاء (مطالعه موردی: چغندر قند)
سامان آبدانان مهدی زاده
- ۲۶۹ طراحی دستگاه برداشت پشت تراکتوری برای اندام هوایی گیاهان در ردیف های کشت و بررسی عملکرد آن در مزرعه نعناع
فلّلی
پدرام قیاسی، مهناز سلاطین، رضا سون، سید محسن میر اسماعیلی، کوروش پیروندی، غلامحسین نجفی
- ۲۸۷ امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی به منظور تامین بار حرارتی یک سالن مرغداری
منصور جلالی، احمد بناکار، بهفر فرزانه، مهدی منتظری
- ۳۱۱ مقایسه میزان تلفات برداشت دانه گندم دیم در انواع کمباین های کاه کوب در استان کردستان
محمود صفری، محمد علی رستمی
- ۳۲۳ ارزیابی دو نوع ماشین پنبه چین از نظر کارکرد و کیفیت الیاف برداشتی
شهرام نوروزیه
- ۳۳۷ اندازه گیری میزان افت در ماشین برداشت نیشکر مدل آستافت ۷۰۰۰
وحید ابراهیم خانلوی سیسی، نسیم منجزی، محسن سلیمانی
- ۳۵۱ بررسی شیب الک، دامنه حرکت الک و مکش فن بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دستگاه خرمن کوب بادام زمینی
جعفر عبدی، عبدالله گل محمدی، غلامحسین شاهقلی، عادل رضوانی وند فنائی
- ۳۶۷ سیتیک خشک شدن انگور بی دانه سفید تحت تاثیر بلانچینگ جت برخوردی هوای داغ مرطوب
حسین رضائی، مرتضی صادقی



Modeling and Fabrication of a Robot for Sowing in a Seedling Tray (Case Study: Sugar Beet)

S. Abdanan Mehdizadeh^{1*}

1- Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

(* - Corresponding Author Email: s.abdanan@asnrkh.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.74055.1080>

Received: 07 December 2021

Revised: 13 January 2022

Accepted: 18 January 2022

Available Online: 18 January 2022

How to cite this article:

Abdanan Mehdizadeh, S. (2023). Modeling and Fabrication of a Robot for Sowing in a Seedling Tray (Case Study: Sugar Beet). *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 249-266. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.74055.1080>

Introduction

Adopting new technologies for crop growth has the characteristics of improving disaster resistance and stress tolerance, ensuring stable yields, and improving product quality. Currently, the cultivation of seed trays relies on huge labor power, and further mechanization is needed to increase production. However, there are some problems in this operation, such as the difficulty of improving the speed of a single machine, seedling deficiency detection, automatic planting, and controlling the quality, which need to be solved urgently. To solve these problems, there are already some meaningful attempts. Si *et al.* (2012) applied a photoelectric sensor to a vegetable transplanter, which can measure the distance between seedlings and the movement speed of seedlings in a seedling guide tube, to prevent omission transplantation. Yang *et al.* (2018) designed a seedling separation device with reciprocating movement of the seedling cup for rice transplanting. Tests show that the structure of the mechanical parts of the seedling separation device meets the requirements of seed movement. The optimization of the control system can improve the positioning accuracy according to requirements and achieve the purpose of automatic seedling division. Chen *et al.* (2020) designed and tested of soft-pot-tray automatic embedding system for a light-economical pot seedling nursery machine. The experimental results showed that the embedded-hard-tray automatic lowering mechanism was reliable and stable as the tray placement success rate was greater than 99%. The successful tray embedding rate was 100% and the seed exposure rate was less than 1% with a linear velocity of the conveyor belt of 0.92 m s^{-1} . The experiment findings agreed well with the analytical results.

Despite the sharp decline in Iran's water resources and growing population, the need to produce food and agricultural products is greater than ever. In the past, most seeds were planted directly into the soil, and many water resources, especially groundwater, were used for direct seed sowing and plant germination. One way to reduce the consumption of water, fertilizers, and pesticides is to plant seedlings instead of direct seed sowing. Therefore, the purpose of this study was dynamic modeling and fabrication of seed planting systems in seedling trays.

Material and Methods

In this experiment, Flores sugar beet seeds (Maribo company, Denmark) were used. The seedling trays had dimensions of $29.5 \times 60 \text{ cm}$ with openings and holes of 5.5 and 4 cm, respectively. To plant seeds in seedling trays, first, a planter arm was modeled and its position was obtained at any time. Then, based on dynamic modeling, the arm was constructed and a capacitive proximity sensor (CR30-15AC, China) and IR infrared proximity sensor (E18-D80NK, China) were used to find the location of seedling trays on the input conveyor and position of discharging arm, respectively. To achieve a stable and effective control system, a micro-controller-based circuit was developed to signal the planting system. The seed planting operation was performed in the seedling tray according to the coordinates which were provided through the image processing method. The planting system was evaluated at two levels of forward speed (5 and 10 cm s^{-1}). Moreover, a smartphone program was implemented to monitor the operation of the planting system.

Results and Discussion

The planting system was assessed for sugar beet seeds using two levels of forward speed (5 and 10 cm s^{-1}). The nominal capacity of this planter ranged from 3579 to 4613 cells per hour, with a miss and multiple implantation indices of 0.03% and 8.17%, respectively, in 3000 cells. Due to its planting accuracy, speed, and low energy consumption (25.56 watt-hours), this system has the potential to replace manual seeding in seedling trays.

Conclusion

In the present study, a seed-sowing system for planting seedling trays was designed, constructed, and evaluated based on dynamic modeling. In the developed system, unlike previous research, planting location detection was conducted through image processing. Additionally, a smartphone program was established to monitor the operation of the planting system without interfering with its performance. This study demonstrates that image processing can successfully detect planting locations and can effectively improve efficiency over time for major producers.

Keywords: Image processing, Modeling, Planter system, Seedling tray

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۲۴۹-۲۶۶

مدل‌سازی و ساخت ربات کارنده بذر در سینی نشاء (مطالعه موردی: چغندر قند)

سامان آبدانان مهدی زاده^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

چکیده

با وجود کاهش شدید منابع آبی ایران و رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید غذا و محصولات کشاورزی بیش از گذشته است. در گذشته، اغلب کاشت گیاهان به صورت کشت مستقیم بذر صورت می‌پذیرفت و منابع آبی بسیار خصوصاً آب‌های زیرزمینی برای کشت مستقیم بذر و جوانه‌زنی گیاه مصرف می‌شد. از جمله روش‌های کاهش مصرف آب، کود و سموم کشت نشایی به جای کشت مستقیم بذر است. لذا هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی دینامیکی و ساخت سامانه کاشت بذر در سینی نشاء در نظر گرفته شد. بدین منظور ابتدا یک بازوی کارنده مدل‌سازی و موقعیت کارنده در هر لحظه به دست آمد. سپس براساس مدل‌سازی دینامیکی بازو ساخته و عملیات کشت بذر در سینی نشاء صورت پذیرفت. ارزیابی سامانه کاشت دو سطح سرعت پیشروی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه برای بذر چغندر قند انجام گرفت که ظرفیت نامی این بذرکار بین ۳۵۷۹ تا ۴۶۱۳ سلول در ساعت بود. در ضمن شاخص‌های نکاشت و چندانگی کاشت در ۳۰۰۰ سلول نیز به ترتیب ۰/۰۳ و ۸/۱۷ درصد به دست آمد. با توجه به دقت کاشت، سرعت عملکرد کارنده و همچنین مصرف اندک انرژی (۲۵/۵۶ وات‌ساعت) این سامانه توانایی جایگزینی بذرکاری دستی در سینی نشاء را دارد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، چغندر قند، سامانه کارنده، سینی نشاء، مدل‌سازی

مقدمه

بین کشورهای جهان، حدود ۸۷ هزار هکتار سطح زیرکشت و با عملکرد حدود ۵۹ تن در هکتار است (FAO, 2018). در مناطق دارای محدودیت طول دوره رشد و دارای منابع آب و خاک به نسبت شور با اطمینان ۹۹ درصد کشت نشائی بهتر از کشت مستقیم بذر است؛ لذا چغندر قند نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد (Keyvanlo & Armin, 2017). در پژوهشی کشت گلدانی چغندر قند با کشت مستقیم آن از نظر عملکرد ریشه و شکر تولیدی با یکدیگر مقایسه گردیدند. در کشت مستقیم درصد قند ۱۸/۷۹ به دست آمد در حالی که میزان قند تولیدی در کشت گلدانی ۱۷/۳۲ درصد بود. اگرچه در کشت گلدانی درصد قند تولیدی کمتر بود اما بالاتر بودن عملکرد ریشه در این روش سبب افزایش عملکرد شکر تولیدی شد (Nasri, Kashani, 2011; Sadeghian Motahar, & Habibi, 2011).

با توسعه اتوماسیون در سامانه‌های کشاورزی، سطح اقتصادی کشاورزی نیز به تدریج افزایش یافته است. عملکرد اقتصادی مناسب در محصولات زراعی و گلخانه‌ای تابع رشد رویشی مناسب در اوایل فصل رشد و توزیع و تخصیص مناسب مواد فتوسنتزی به ریشه است. در نتیجه کشت به موقع گیاهان از اهمیت به سزایی برخوردار است. تسریع در رشد گیاه را می‌توان در شرایط کنترل شده به کمک کشت

چغندر قند با نام علمی (*Beta vulgaris* L.) یکی از محصولات زراعی و استراتژیک صنعتی است که سهم عمده‌ای از تولید شکر در جهان را دارد. نیاز روزافزون کشور به تولید شکر و تأمین حدود ۷۰ درصد تولید داخلی شکر از چغندر قند، اهمیت اقتصادی این محصول را به خوبی نشان می‌دهد. این محصول به طور مستقیم (از طریق تولید قند و شکر) و به صورت غیرمستقیم (از طریق تأمین خوراک دام) بخشی از نیازهای کشور را برآورده می‌سازد. طول دوره رشد برای تولید قند ۶ تا ۹ ماه می‌باشد (Biancardi et al., 2010). افزون بر این از ملاس که از فرآورده‌های فرعی چغندر قند به شمار می‌آید در صنعت الکل‌سازی و داروسازی استفاده می‌شود. براساس آمار رسمی فائو^۲ سطح زیرکشت چغندر قند در جهان حدود ۵/۰۳ میلیون هکتار با عملکرد متوسط حدود ۴۸/۶ تن در هکتار می‌باشد که سهم ایران در

۱- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: s.abdanan@asnrukh.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.74055.1080>
2- FAO

در خزانه و انتقال آن به زمین اصلی در زمان مناسب که خطر سرمای زمستانه و همچنین مشکل کمبود آب برطرف شده، میسر نمود (Cao, 2019). لذا بسیاری از صنایع با توجه به این نیاز روزافزون تولید دستگاه‌های کشت و همچنین کاهش زمان و نیاز نیروی کار، به‌طور پیوسته اقدام به تولید سامانه‌های خودکار تولید و کاشت نشاء نموده‌اند (Tian et al., 2017). تا به امروز پژوهش عمده‌ای در زمینه ساخت و تولید دستگاه‌های خودکار تولید نشاء صورت نگرفته و فرآیند تولید نشاء به‌صورت دستی در کشور انجام می‌شود. این در حالی است که شدت کار بالاتر و راندمان پایین این عمل به‌صورت دستی، تولید در مقیاس بزرگ را دشوار می‌نماید.

بر اساس گزارش‌های موجود، توسعه دستگاه‌های مکانیزه تولید نشاء در کشورهای آمریکا و ژاپن در دهه ۱۹۸۰ شروع گردید. دستگاه‌های توسعه‌یافته شامل دستگاه‌های تولید و کشت در سینی نشاء (Si et al., 2013; Rosli et al., 2016)، سامانه کشت نشاء در گلدان (Yang et al., 2018) و دستگاه‌های کشت نشاء در مزرعه (Wang et al., 2018) می‌باشند. ازجمله پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کارنده‌ها می‌توان به بهینه‌سازی ساختار بخش کارنده نشاء که مهم‌ترین بخش دستگاه می‌باشد با روش بهینه‌سازی هدایت‌شده به‌وسیله تصحیح پارامترها^۱ برای ایجاد مدل اصلاح‌شده اشاره نمود. حاصل این کار پژوهشی، نرم‌افزاری با قابلیت مدل‌سازی انواع مختلف نشاکار و بهینه‌سازی آن‌ها با توجه به شرایط کاری مختلف دستگاه بود (Yun et al., 2011). در مطالعه‌ای، بازویی به‌منظور جمع‌آوری نشاء از سینی نشاء طراحی و ساخته شد. در این پژوهش، ابتدا مدل‌سازی دینامیکی بازوی گیرنده نشاء انجام و براساس نتایج این مدل‌سازی، بازوی گیرنده تولید گردید (Li et al., 2019). در پژوهشی دیگر از یک سامانه کنترلی بر پایه PLC به‌منظور نیمه‌خودکارسازی دستگاه کارنده نشاء استفاده گردید. سامانه توسعه‌یافته علاوه بر کنترل حرکت سینی نشاء و جداسازی نشاء‌ها به‌صورت خودکار از طریق ارسال سیگنال فرمان به شیربرقی و موتور کارنده، امکان کنترل از راه دور و به‌صورت بی‌سیم را دارا بود. براساس نتایج، موفقیت سامانه در کاشت در سرعت‌های متفاوت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ گیاه در دقیقه به‌ترتیب ۹۸/۶، ۹۷/۲ و ۹۶/۵ درصد به‌دست آمد (Yang et al., 2020). تعیین دقت کاشت نشاء نیز از مسائل مهم می‌باشد. در پژوهشی از تکنولوژی پردازش تصویر و اطلاعات فازی به‌منظور تعیین سلامت نشاء استفاده گردید. براساس نتایج، دقت تشخیص نشاء در سرعت انتقال ۷۰ نشاء در دقیقه، ۹۷/۳۳ درصد به‌دست آمد (Jin et al., 2020).

تولید نشاء، کاری زمان‌بر، طاقت‌فرسا و با کار کارگری بسیار است. بر این اساس یک کارنده نئوماتیک برای کاشت بذور ریز در سینی

نشاء طراحی و ساخته شد. بر اساس نتایج، دقت کاشت تک بذر دستگاه کارنده برای بذره‌های گوجه و فلفل دلمه‌ای ۹۰ درصد به‌دست آمد. به‌علاوه مطابق با اندازه سینی مورد استفاده، ظرفیت معادل دستگاه ۳۸۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ سلول در ساعت بود (Gaikwad & Sirohi, 2008). در پژوهشی دیگر مطالعه اولیه به‌منظور طراحی و ساخت یک ربات بذرکار دقیق برای کاشت بذر گوجه‌فرنگی در سینی‌های کاشت انجام پذیرفت. این بذرکار در فشار مکش ۳/۸۹ و ۳/۴۲ بار و قطر سوراخ‌های ۰/۴۷ و ۰/۴۹ میلی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت و بسته به اندازه سینی‌ها، ظرفیت نامی این بذرکار بین ۱۷۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ سلول در ساعت گزارش گردید (Gezavati et al., 2014). در پژوهشی به طراحی و ساخت سامانه‌ای براساس میکروکنترلر AVR برای کشت بذر در سینی- نشاء- نرم^۲ پرداختند. در سامانه توسعه‌یافته، سینی‌های نشاء به کمک موتور DC به محل کاشت منتقل می‌شدند و فرآیند کاشت به‌صورت خودکار انجام می‌گردید. مطابق با نتایج، قابلیت اعتماد سامانه -بیشتر از ۹۹ درصد (در سرعت حرکت ۰/۹۲ متر بر ثانیه) گزارش شد (Chen et al., 2020).

انرژی ورودی و هزینه کارگری تولید و کشت نشاء نسبت به کشت مستقیم بیشتر بوده و این در صورتی است که حذف کار کارگری در هر بخش می‌تواند صرفه اقتصادی این نوع کشت را به‌صورت چشمگیری افزایش دهد. لذا هدف از این پژوهش، مدل‌سازی و طراحی بازوی کشت بذر در سینی نشاء در نظر گرفته شد. بدین منظور ابتدا مدل ریاضی بازو در ابعاد مختلف و سرعت‌های حرکتی مختلف سینی نشاء به‌دست آمد؛ سپس بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته، عملیات کاشت در سینی نشاء با کمک پردازش تصاویر دیجیتال انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه و سینی کشت

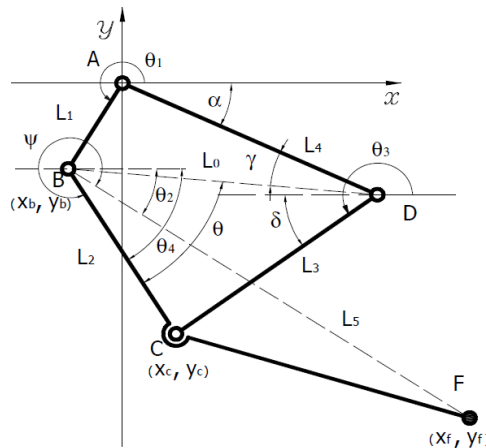
در این آزمایش از بذر چغندرقد فلورس (شرکت Maribo، کشور دانمارک) استفاده شد. سینی‌های کشت مورد استفاده از مواد تجدیدپذیر و دارای ابعاد ۲۹/۵×۶۰ سانتی‌متر و دارای ابعاد دهانه و حفره به‌ترتیب ۵/۵ و ۴ سانتی‌متر بود.

مدل‌سازی ریاضی سامانه کارنده

مکانیزم بازو کارنده بذر به‌صورت شماتیک در شکل ۱ آمده است. در این شکل AB محور لنگ، BCF میله کارنده، DC و AD میله‌های رابط هستند. طول AB، BCF، DC، AD و زاویه بین آن‌ها و محور x به‌ترتیب L_1 ، L_2 ، L_3 ، L_4 ، θ_1 ، θ_2 ، θ_3 و α می‌باشد.

موتور نیاز دارد که در بخش بعدی به نحوه انتخاب آن پرداخته می شود.

به منظور تحلیل دینامیکی حرکت محور لنگ، جهت عقربه ساعت و سرعت دورانی w_1 در نظر گرفته شدند. این سامانه بر اساس معیار کورتز-باخ دارای دو درجه آزادی است؛ در نتیجه برای حرکت، به دو



شکل ۱- شماتیک مکانیزم بازو کارنده بذر

Fig.1. Schematic of seed planting arm mechanism

طرف دیگر اگر سرعت زاویه ای محور لنگ w_1 نسبت به رابط DC و AD مشخص باشد، سرعت زاویه ای و شتاب زاویه ای آن ها با استفاده از روش بردار مختلط به دست می آید. این مکانیزم محور لنگ و میل رابط DC را می توان به عنوان یک ABCD چند ضلعی بسته در نظر گرفت؛ در نتیجه در فضای مختلط رابطه (۷) میان ۴ بازو برقرار است (Wang & Feng, 2013):

$$l_1 e^{j\theta_1} + l_2 e^{j\theta_2} + l_3 e^{j\theta_3} + l_4 e^{j\alpha} = 0 \quad (7)$$

با بسط رابطه (۷) می توان آن را به صورت توابعی مطابق روابط (۸) و (۹) تعریف نمود (Li-zhang & Yao-ming, 2007).

$$g_1 = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_2) + l_3 \cos(\theta_3) - l_4 \cos(\alpha) = 0 \quad (8)$$

$$g_2 = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2) + l_3 \sin(\theta_3) - l_4 \sin(\alpha) = 0 \quad (9)$$

دو رابطه بیان شده در بالا دو معادله غیرخطی برحسب $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ می باشند. در این پژوهش به منظور حل این دو معادله از روش نیوتن-رافسون استفاده گردید (Chapra, 2012). به منظور انجام حل عددی حالت خاصی از روابط (۹) و (۱۰) که $\alpha = 0$ و $\theta_1 = \frac{2\pi}{3}$ را برای شرایط اولیه حرکت در نظر گرفته و روابط به صورت روابط (۱۰) و (۱۱) بازنویسی گردیدند:

$$\theta_3^{i+1} - \theta_3^i = \frac{g_1 \cos(\theta_4) + g_2 \sin(\theta_4)}{l_2 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (10)$$

$$\theta_4^{i+1} - \theta_4^i = \frac{g_1 \cos(\theta_3) + g_2 \sin(\theta_3)}{l_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (11)$$

به منظور انجام مدل سازی مکانیزم کارنده هر میله در محور x و y تصویر شدند (روابط ۱-۴).

$$\begin{cases} x_f = l_1 \cos(\theta_1) + l_5 \cos(\theta_2) \\ y_f = l_1 \sin(\theta_1) + l_5 \sin(\theta_2) \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_2 = \theta - \gamma + \alpha - \psi \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{l_0^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_0 l_2} \right) \quad (3)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{l_4^2 + l_0^2 - l_1^2}{2l_0 l_4} \right) \quad (4)$$

طبق رابطه (۱) مختصات نقطه $f(x_f, y_f)$ در شرایطی که طول میله، زاویه اتصال و زاویه میله به صورت تصادفی انتخاب می شوند، قابل محاسبه است. در حالی که مقدار زاویه میله ثابت باشد، مسیر حرکت میله کارنده همان مختصات نقطه f است. در رابطه (۳) و (۴)

$l_0 = \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 l_4 \cos(\theta_1 + \alpha)}$ و اندازه محور BD می باشد. با توجه به شکل ۱ زاویه بین محور لنگ و اسبک از روابط (۵) و (۶) قابل محاسبه است.

$$\theta_3 = \pi - \alpha + \gamma + \delta \quad (5)$$

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{l_0^2 - l_2^2 + l_3^2}{2l_0 l_3} \right) \quad (6)$$

با توجه به روابط (۲) و (۵) زاویه بین محور لنگ و میل رابط DC در هر لحظه با اختیار مقدار تصادفی برای θ_1 قابل محاسبه می باشد. از

به‌علاوه با مشتق‌گیری از روابط (۱۲) و (۱۳) بر حسب زمان شتاب زاویه‌ای نیز محاسبه شد (رابطه (۱۴) و (۱۵)):

$$\alpha_2 = \frac{l_3 \omega_3^2 - l_1 \omega_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_3) - l_2 \omega_2^2 \cos(\theta_4 - \theta_3)}{l_2 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (14)$$

$$\alpha_3 = \frac{l_2 \omega_2^2 - l_1 \omega_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_4) - l_3 \omega_3^2 \cos(\theta_3 - \theta_4)}{l_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (15)$$

به‌منظور محاسبه گشتاور محرک و نیروهای دینامیکی وارد به سامانه کارنده به‌طور مستقل چرخش پیوندها کنترل شدند. سپس جمع نیروها ($\sum F = ma$) و ممان‌ها ($\sum M = I\alpha$) برای هر پیوند محاسبه گردید. با بسط روابط در مختصات x و y حالت ماتریسی نشان داده‌شده در رابطه (۱۶) حاصل شد.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & \frac{l_1 \sin(\theta_1)}{2} & \frac{-l_1 \cos(\theta_1)}{2} & \frac{l_2 \sin(\theta_4)}{2} & \frac{-l_2 \cos(\theta_4)}{2} & 0 & 0 & \frac{l_4 \sin(\alpha)}{2} & \frac{-l_4 \cos(\alpha)}{2} \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-l_2 \sin(\theta_4)}{2} & \frac{l_2 \cos(\theta_4)}{2} & \frac{l_3 \sin(\theta_3)}{2} & \frac{-l_3 \cos(\theta_3)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-l_2 \sin(\theta_4)}{2} & \frac{l_2 \cos(\theta_4)}{2} & 0 & 0 & \frac{-l_4 \sin(\alpha)}{2} & \frac{l_4 \cos(\alpha)}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T \\ F_{i,x} \\ F_{i,y} \\ F_{i,x} \\ F_{i,y} \\ F_{i,x} \\ F_{i,y} \\ F_{i,x} \\ F_{i,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_1 a_{1x} + m_4 a_{4x} \\ m_1 a_{1y} + m_4 a_{4y} \\ (I_1 + I_4) \ddot{\theta}_1 \\ m_2 a_{2x} - F_{Cx} \\ -F_{Cy} + m_2 a_{2y} \\ I_2 \ddot{\theta}_4 - F_{Cy} \frac{L_f \cos(\psi)}{2} + F_{Cx} \frac{L_f \sin(\psi)}{2} \\ m_3 a_{3x} + F_{Cx} \\ m_3 a_{3y} + F_{Cy} \\ I_3 \ddot{\theta}_3 - F_{Cy} \frac{L_f \cos(\psi)}{2} + F_{Cx} \frac{L_f \sin(\psi)}{2} \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{cases} l_2 \max = l_1 + l_3 + l_4 \\ l_2 \max \leq 50 \end{cases} \quad (17)$$

نهایتاً ترکیب‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به محل سینی نشاء و حفرة‌های آن بهترین ترکیب طول برای هر یک از اتصالات براساس مسیرهای مختلف حرکتی تعیین شد. به‌علاوه بعد از هر بار عکس‌برداری حرکت‌های مختلف مکانیزم مدل‌سازی‌شده و حرکت بهینه براساس زاویه چرخش سروو موتورها به مکانیزم کارنده منتقل می‌گردد.

ساخت بخش مکانیک ربات کارنده

نمایی از سامانه کارنده در شکل ۲ آمده است. به‌منظور طراحی و تعیین اندازه بازوها همان‌طور که پیش‌تر گفته شد ابتدا مسیر حرکت با ابعاد مختلف به‌دست آمد سپس براساس موقعیت کارنده و محل قرارگیری سینی نشاء بر روی تسمه نقاله، مناسب‌ترین طول تعیین گردید. شایان ذکر است که عرض تسمه نقاله مورد استفاده ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

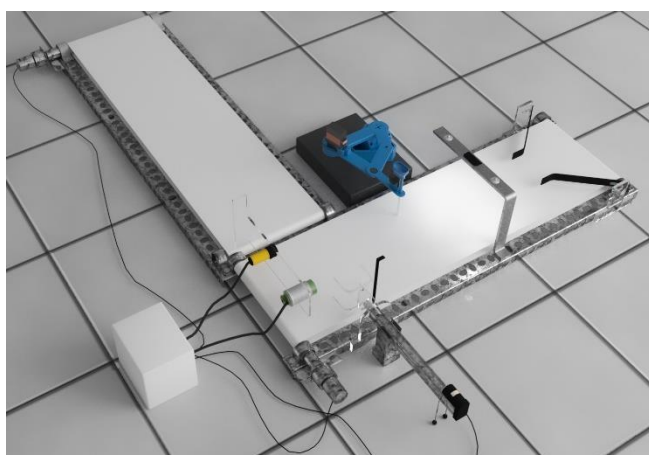
که در این رابطه‌ها اندیس‌های i و i+1 مربوط به مرتبه تکرار می‌باشد. برای حل این معادلات نیاز به مقادیر اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ می‌باشد. بدین منظور $\theta_4 = \theta$ و $\theta_3 = \theta + \pi + \delta$ در نظر گرفته شد که مقادیر θ و δ به‌ترتیب از رابطه‌های (۳) و (۶) به‌دست می‌آیند. در هر تکرار مقدار ۱ درجه به مقادیر اضافه می‌شود و مقدار به‌دست‌آمده در هر تکرار به جای زاویه قبل قرار داده می‌شود تا مسیر حرکت کارنده در ۳۶۰ درجه حرکتش به‌دست آید. بعد از تعیین موقعیت بازوها سرعت زاویه‌ای آن‌ها نیز تعیین گردید (رابطه (۱۲) و (۱۳)):

$$\omega_2 = -\omega_1 \frac{l_1 \sin(\theta_1 - \theta_3)}{l_2 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (12)$$

$$\omega_3 = \omega_1 \frac{l_1 \sin(\theta_1 - \theta_4)}{l_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (13)$$

که در این رابطه $T, F_{i,x}, F_{i,y}, m_i, I_i, a_{ix}, a_{iy}$ به‌ترتیب گشتاور محرک (N-m)، نیروی وارد به میله i ام در راستای x در محل بین (N)، نیروی وارد به میله i ام در راستای y در محل بین (N)، جرم میله i ام (kg)، ممان جرمی میله i ام (kgm^2)، شتاب وارد به میله i ام در راستای x (ms^{-2}) و نیروی وارد به میله i ام در راستای y (ms^{-2}) y.

به‌منظور مدل‌سازی و تعیین مسیر حرکت با توجه به ابعاد سینی نشاء مورد استفاده بدین شکل فرض شد که طول بلندترین اتصال نباید بیشتر از ۵۰ برابر طول کوتاه‌ترین اتصال باشد. شایان ذکر است در این طراحی طول بازوی CF نیز از ۱ تا ۲۵ واحد تغییر می‌نمود. از آن‌جا که نسبت طول اتصال در نحوه حرکت مکانیزم کارنده تأثیرگذار است طول L_1 ، ۱ واحد در نظر گرفته شد و برای طول L_3 و L_4 امکان تغییر در محدوده ۱ تا ۵۰ واحد فراهم گردید. ماکزیمم طول L_2 با توجه به ۲ شرط موجود در رابطه (۱۷) و همچنین تئوری حرکتی گراشف^۱ به‌دست می‌آید (Waldron, Kinzel, & Agrawal, 2016):



(a)



(b)

شکل ۲- سامانه کاشت بذر در سینی نشاء: (a) نمای کامل؛ (b) بازوی کارنده

Fig.2. Seed planting system in the seedling tray: a) Whole system; b) Planting arm

داده‌ها به صورت Wi-Fi و اتصال به موبایل می‌باشد. با توجه به طراحی صورت گرفته، کاربر امکان مشاهده تعداد سینی‌های کاشته شده، میزان انرژی مصرفی و تعداد بذرها کاشته شده را دارد. در این مطالعه از یک منبع تغذیه ۱۲ ولت ۳۰ آمپر برای تامین عنوان ولتاژ ورودی استفاده شد. به منظور کاهش سطح ولتاژ به ۵ و ۳/۳ ولت به ترتیب از MC33269D5 و LP2985 استفاده گردید. در ضمن اندازه‌گیری جریان مصرفی توسط حسگر ACS712 صورت پذیرفت (شکل ۳).

سروو موتورهای مدل MG995 امکان ایجاد دو حداکثر سرعت (۵/۲ و ۵/۵ رادیان بر ثانیه) و گشتاور (۱/۲۷ و ۱/۴۷ نیوتن-متر) با توجه به ولتاژ ورودی (۴/۸ و ۶ ولت) را داشتند. در ضمن طول پالسی (بر حسب میکرو ثانیه) که متناسب آن سروو را به زاویه ۰ و ۱۸۰ هدایت می‌نمود به ترتیب دارای مقدار ۵۴۴ و ۲۴۰۰ بودند. لذا در این پژوهش به منظور جلوگیری از آسیب احتمالی به سرووها و خطای چرخش در دو انتها، ولتاژ کاری ۴/۸ و طول پالس بین ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرو ثانیه در نظر گرفته شد. به علاوه سرووها در حالت بدون بار با توجه به ارسال سیگنال فرمان از میکروکنترلر در حلقه تکرار، جریانی در حدود ۱۵۰ میلی‌آمپر مصرف می‌نمودند؛ از این رو به منظور جلوگیری از داغ شدن سرووها و همچنین کاهش مصرف انرژی زمانی که نیازی به عملکرد بازوی کارنده وجود نداشت، اتصال سرووها به صورت نرم‌افزاری قطع می‌گردید.

ارزیابی سامانه کارنده

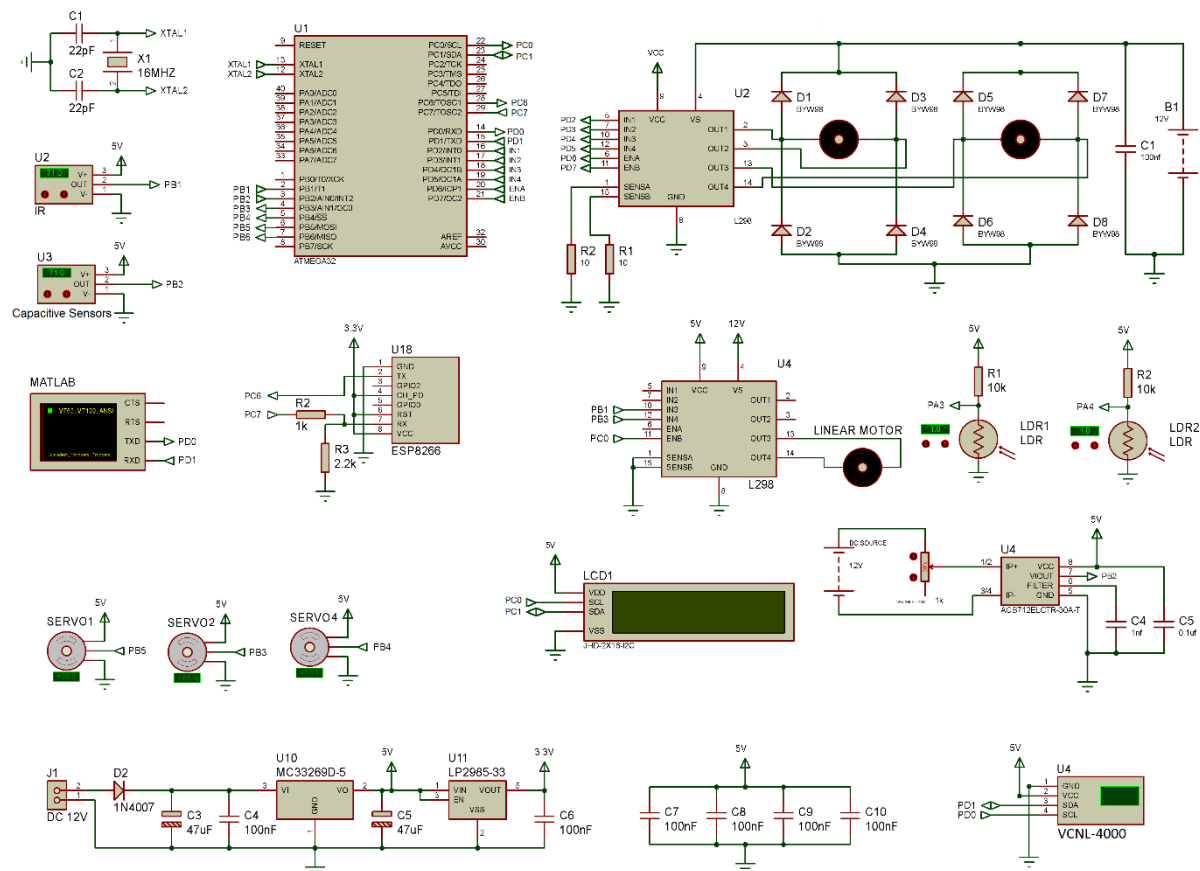
جهت ارزیابی سامانه کاشت، دو سطح سرعت پیشروی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. سرعت‌های ذکر شده حداقل و حداکثر سرعت چرخش موتور DC می‌باشد.

به منظور ساخت قطعات بعد از تعیین ابعاد مورد نظر با توجه به معیارهای طراحی نقشه طراحی استخراج و به پرنتر سه‌بعدی به صورت G-Codes جهت چاپ ارسال می‌شود. جنس مورد استفاده به منظور ساخت بازوها پلی‌لاکتیک اسید^۱ یا PLA با قطر ۱/۷۵ میلی‌متر ساخت شرکت یوسو در نظر گرفته شد. PLA یک پلیمر انعطاف‌پذیر و نرم می‌باشد که از منابع تجدیدپذیر مانند نشاسته ذرت و یا نیشکر تولید می‌شود. البته امکان استفاده از جنس ABS نیز وجود داشت اما دمای ذوب پایین فیلامنت PLA نسبت به ABS چاپ قطعات پیچیده را که نیاز به مدت زمان بیشتر دارند آسان‌تر می‌سازد. طراحی و تهیه نقشه از بخش‌های مختلف سامانه در نرم افزار 3DS MAX صورت پذیرفت.

طراحی مدار الکتریکی و کنترل‌کننده سامانه کارنده

سامانه مورد نظر شامل یک میکروکنترلر ATMEGA32 به منظور انجام عملیات کنترلی، مازول موتور درایور دو کاناله (مدل L298N، کشور چین) به منظور کنترل موتور DC تسمه نقاله و جک هیدرولیکی هدایت‌کننده سینی نشاء، سه عدد سروو موتور (دو عدد MG995، یک عدد SG90، کشور چین) برای کنترل بازوی کارنده، از سنسور مجاورتی خازنی (CR30-15AC، کشور چین) و سنسور مادون قرمز (E18-D80NK، کشور چین) به ترتیب به منظور تشخیص قرارگیری سینی در محل مناسب کاشت روی نوار نقاله ورودی و موقعیت بازوی تخلیه‌کننده، حسگر مجاورتی (مدل VCNL-4000، کشور چین) جهت شمارش تعداد بذرها، حسگر نوری جهت تشخیص پر و خالی بودن مخزن کارنده و مازول ESP8266 برای ارسال

1- Polylactic Acid



شکل ۳- مدار الکتریکی سامانه کاشت بذر در سینی نشاء
Fig.3. Electrical circuit of seed sowing system in seedling tray

به صورت زیر عمل گردید (رابطه (۲۰) و (۲۱)) (Anonymous, 2007):

$$V = \left(\frac{V_r}{1024.0} \right) * 5000 \quad (20)$$

$$\text{Amps} = \left(\frac{V}{2500} \right) * 185 \quad (21)$$

که در این روابط V ولتاژ بر حسب میلی‌ولت، V_r عدد خام ورودی به میکروکنترلر و Amps جریان مصرفی بر حسب آمپر می‌باشند. حال با داشتن پارامترهای فوق میزان انرژی (ولتاژ × جریان × زمان) مصرفی محاسبه گردید.

نحوه ارزیابی سامانه به گونه‌ای بود که در ابتدا سینی نشاء توسط کاربر بر روی تسمه نقاله قرار داده می‌شد و تسمه نقاله با سرعت‌های ثابت یاد شده، سینی نشاء را به محل کاشت هدایت می‌نمود. بعد از تشخیص سینی نشاء توسط حسگر IR عکس‌برداری به منظور تعیین مختصات سلول‌ها صورت می‌گرفت. شایان ذکر است

به منظور ایجاد سرعت‌های ذکر شده از پایه‌های PWM و مدولاسیون پهنای باند استفاده گردید. در این حالت در واقع با کنترل میزان پالس، ولتاژ خروجی نیز کنترل شده که این مسئله سبب تولید سرعت‌های مختلف می‌گردد. در ضمن شاخص‌های نکاشت (رابطه ۱۸) و چندگانه کاشت (رابطه ۱۹) نیز طی فرآیند کاشت ۳۰۰۰ سلول محاسبه شدند (Abdolazhare & Abdanan Mehdizadeh, 2018a):

$$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (18)$$

$$I_{mut} = \frac{N_2}{N} \times 100 \quad (19)$$

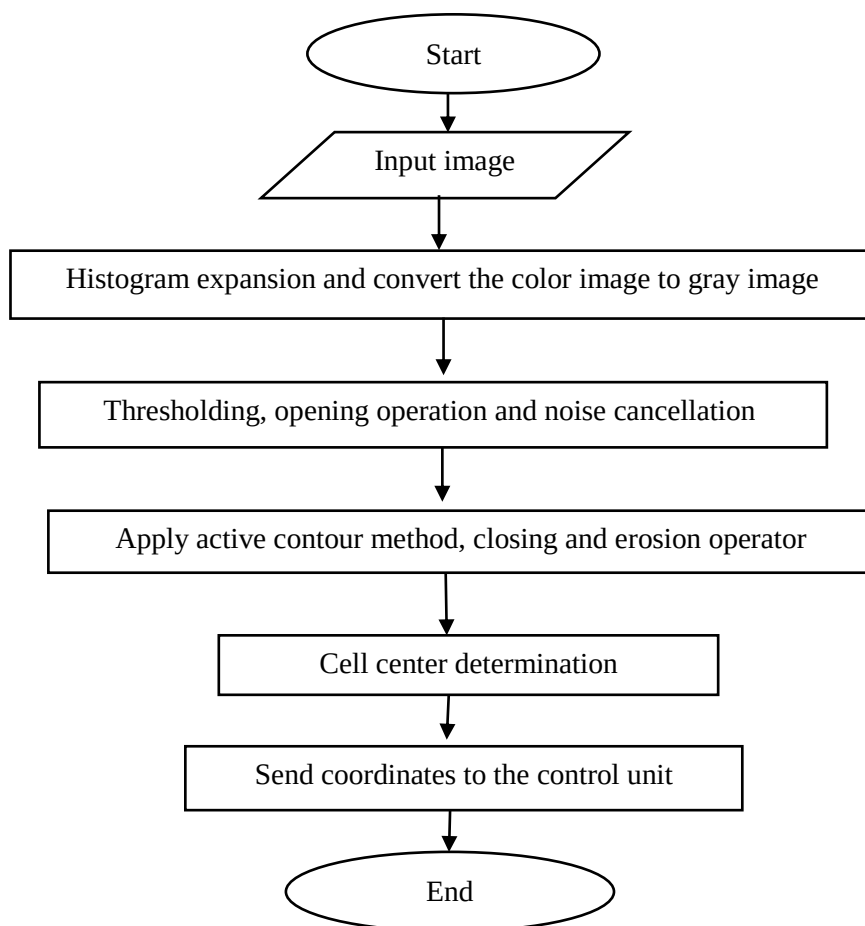
که در این روابط N_1 و N_2 به ترتیب تعداد سلول‌های خالی، تعداد سلول‌های دارای بیش از یک بذر و تعداد کل سلول‌ها است.

به علاوه به منظور محاسبه انرژی فرآیند کاشت از حسگر ACS712 برای اندازه‌گیری جریان مصرفی استفاده شد. ورودی این آی سی به صورت آنالوگ می‌باشد لذا به منظور محاسبه جریان

هدایت بازو به محل هر سلول

الگوریتم هدایت بازوی کارنده در شکل ۴ نمایش داده شده است. به منظور هدایت بازو به محل کاشت ابتدا یک تصویر از سینی نشاء با استفاده از یک وبکم لاجیتک (مدل C930e، ساخت کشور تایوان) در شرایط نوری ثابت اخذ و به کامپیوتر منتقل می‌شود. وبکم به صورت عمودی و در فاصله ثابت ۵۰ سانتی متری از محل عکسبرداری میان دو عدد ال ای دی ۵۰ وات قرار داشت.

که چگونگی قرارگیری سینی در کاشت بذر برخلاف پژوهش‌های مشابه (به عنوان مثال پژوهش (Gezavati et al., 2014) با توجه به تعیین مختصات کاشت اهمیتی نداشت. نهایتاً بازوی کارنده به محل‌های مورد نظر ارسال می‌شد و عمل کاشت صورت می‌پذیرفت. در ادامه، حرکت سینی بر روی تسمه نقاله ادامه می‌یافت تا به محل خروج (یعنی حسگر IR دوم) می‌رسید؛ در این نقطه سینی نشاء توسط بازوی هیدرولیکی به خارج هدایت می‌گردید.



شکل ۴- فلوچارت الگوریتم پردازش تصویر و تعیین مختصات مرکز سلول‌ها

Fig.4. Flowchart of image processing algorithm and determination of cell center coordinates

ناحیه بندی می‌باشد.

بعد از آستانه گذاری به منظور حذف نویز موجود در تصویر از عملگر گشودگی با آستانه ۱۵ پیکسل مربع استفاده گردید. شایان ذکر است در پژوهش حاضر اعداد آستانه با روش سعی و خطا به دست آمدند. سپس برای اتصال بخش‌های مختلف هر سلول نشاء، الگوریتم کانتور فعال^۱ بر روی بذره‌های^۲ به دست آمده پیاده سازی گردید. روش کانتور فعال پروسه‌ای است که در آن پیکسل‌های با دامنه یکسان با

به منظور حذف نویز و بهبود کیفیت تصویر بعد از اعمال فیلتر میانه، هیستوگرام تصویر گسترش می‌یافت (Nadafzadeh et al., 2018). سپس تصاویر از رنگی به سطح خاکستری تبدیل و با اعمال آستانه (رابطه ۲۲) بخش‌هایی از خاک درون هر سلول مشخص گردید.

$$i_{new}(x, y) = \begin{cases} 1 & i(x, y) \leq 25 \\ 0 & i(x, y) > 25 \end{cases} \quad (22)$$

که $i(x, y)$ تصویر اصلی و $i_{new}(x, y)$ تصویر باینری حاصل از

1- Active Contour

2- Seed

می‌شود: بخش اول شامل نتایج مربوط به پردازش تصویر؛ بخش دوم شامل نتایج طراحی بازوی کارنده و مسیر حرکت؛ بخش سوم شامل محاسبه انرژی و عملکرد بازو می‌باشد که هر بخش به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

تعیین مختصات مرکز سلول‌های سینی نشاء

شکل ۵-۵ نمونه‌ای از تصاویر اخذ شده از سینی نشاء توسط سامانه تصویربرداری را نمایش می‌دهد. بعد از اعمال آستانه، اعمال عملگر گشودگی و حذف نویزهای موجود در تصویر، بذره‌های اولیه هر سلول به‌منظور اعمال الگوریتم کانتور فعال و تشخیص سلول سینی نشاء تشکیل می‌شوند (شکل ۵-۵b).

یکدیگر گروه‌بندی می‌گردند تا یک ناحیه قطع‌بندی شده را شکل بدهند. قطع‌بندی با انتخاب یک مجموعه از نقاط به نام نقاط "بذر" آغاز می‌گردد (هسته اولیه مشخص شده با روش آستانه‌گذاری) و با الحاق نقاط مجاور هر نقطه بذری که دارای مشخصات مشابهی (دامنه مشخصی از سطح تیرگی) با آن ناحیه بذری می‌باشند، رشد ناحیه انجام می‌گردد. سپس با اعمال عملگر بستن و فرسایش ناحیه هر سلول یکنواخت گردید (Nematinia & Abdanan Mehdizadeh, 2018). نهایتاً مختصات مرکز هر سلول تعیین و به واحد کنترل جهت هدایت بازو به نقطه مورد نظر ارسال شد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بخش نتایج به سه زیر مجموعه تقسیم



شکل ۵-۵ (a) نمونه‌ای از تصاویر اخذ شده از سینی نشاء (b) آستانه‌گذاری و تشکیل بذره‌های اولیه در هر سلول
Fig.5. a) Sample image is taken from seedling tray b) Thresholding and formation of primary seeds in each cell

بینایی ماشین کارنده ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. درحالی که در پژوهش (Chen et al., 2020) خطای کاشت سامانه توسعه داده شده به‌صورت متوسط ۱/۵۴ درصد در سرعت ۷۰۰ سینی در ساعت گردید. این مسئله نشان از دقت بالای روش ارائه شده در پژوهش حاضر دارد.

بررسی نتایج مدل‌سازی دینامیکی و حرکتی بازو

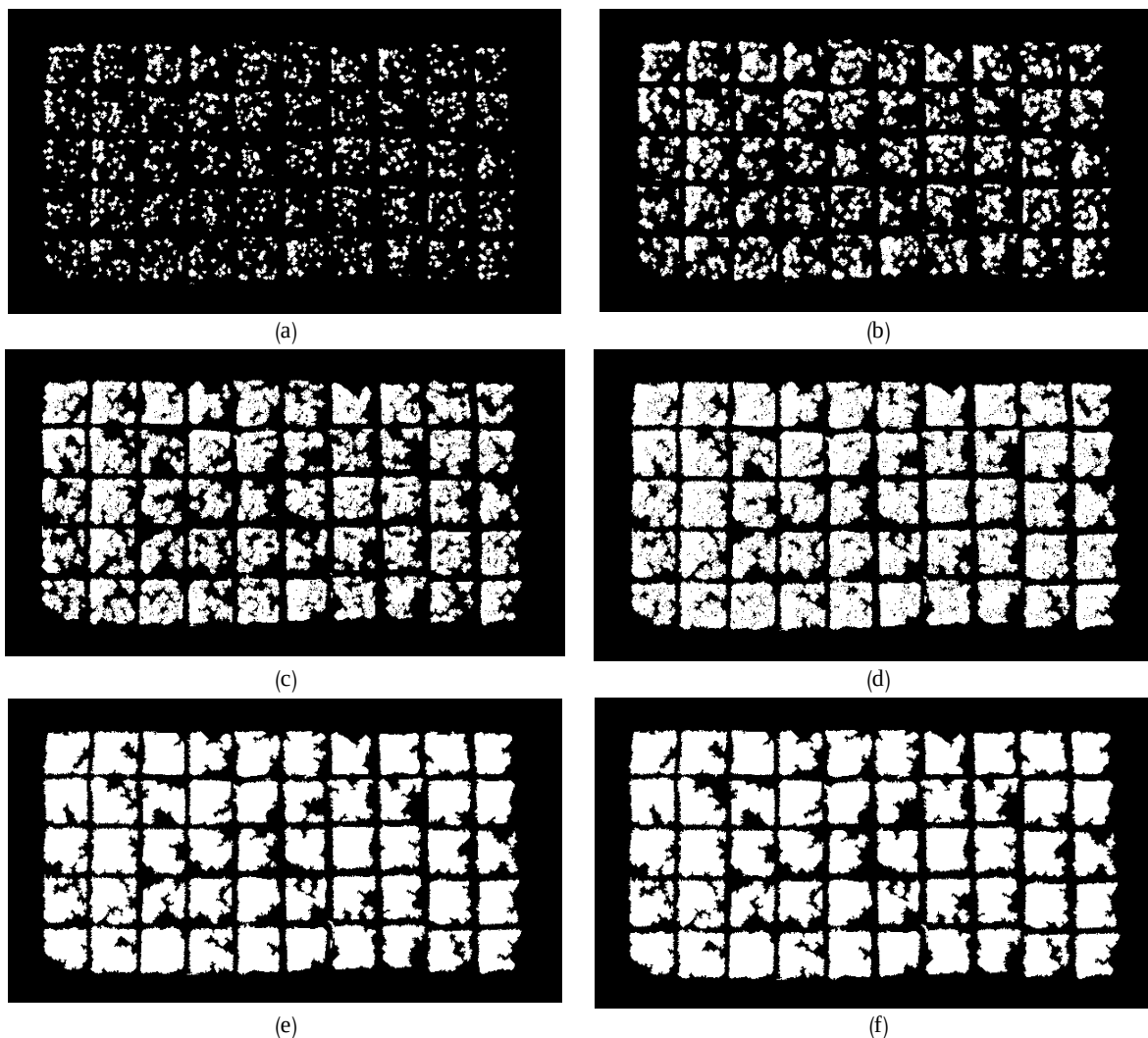
دامنه مورد استفاده برای طول اتصالات از ۱/۰۰ تا ۱۰۰/۰۰ سانتی‌متر و برای زاویه اتصال از ۰ تا ۳۶۰ درجه بود و همچنین معیار گراف به‌منظور تعیین قابلیت تحرک اتصال استفاده گردید. تعداد ترکیباتی که شرایط حرکتی گراف و دامنه تغییراتی مورد نظر را ارضا نمودند در دور اول ۸۴ حالت به‌دست آمد؛ که با ۱۰ مقدار برای طول بازوی CF (شکل ۱) و همچنین ۱۰ مقدار برای زاویه قرارگیری آن، تعداد ترکیبات برای ابعاد بازوی کارنده ۸۴۰۰ حالت گردید. سپس آنالیز مکانیزم تا ۴ مرحله به‌صورت پیوسته با ترکیب‌های دیگر ادامه یافت. شایان ذکر است که در این مراحل دقت بررسی‌ها در محدوده تعیین شده افزایش یافت و در مراحل بعدی در حد صدم اعشار صورت

بعد از تعیین بذره‌های اولیه، به‌منظور تعیین سلول‌های سینی نشاء، الگوریتم کانتور فعال بر روی تصاویر، پیاده‌سازی شد و بذره‌های گسسته به یکدیگر متصل گردیدند (شکل ۶-۶a تا ۶-۶d). معیار توقف در این پژوهش ۲۵ تکرار در نظر گرفته شد که با سعی و خطا بهترین حالت به‌دست آمد. سپس با اعمال عملگرهای بستن (شکل ۶-۶e)، گشودگی و فرسایش (شکل ۶-۶f) سلول‌های موجود در سینی نشاء تعیین شدند. همان‌طور که در شکل ۶-۶f مشخص است تمامی سلول‌ها به‌خوبی تعیین شدند و این الگوریتم عملکرد قابل‌قبولی ارائه نمود.

بعد از تشخیص سلول‌ها (شکل ۷-۷a) مرز هر ناحیه مشخص شده (شکل ۷-۷b) و کوچک‌ترین مستطیلی (خطوط سبز رنگ) که این مرزها را محاط می‌نمود تعیین و پیرامون آن‌ها قرار گرفت. نهایتاً مرکز (ستاره‌های آبی رنگ) هر یک از این مستطیل‌ها (شکل ۷-۷c) به‌عنوان مختصات کاشت به برد کنترلی جهت هدایت بازوی کاشت به این مختصات‌ها و کشت بذری در نقاط مورد نظر ارسال گردید. مطابق نتایج از ۳۰۰۰ سلول مورد بررسی، دقت تشخیص سامانه

مورد ترکیب با توجه به هزینه، ابعاد سینی های نشاء و کمترین حرکت ممکن برای دورترین نقاط انتخاب شدند.

پذیرفت. البته بسیاری از ترکیبات به دست آمده در همان مراحل اولیه در بررسی های بصری مسیر حرکت حذف شدند. نهایتاً همان طور که در جدول ۱ آمده است در مجموع تعداد ۲۳۰۲۱۲ ترکیب بررسی و ۶

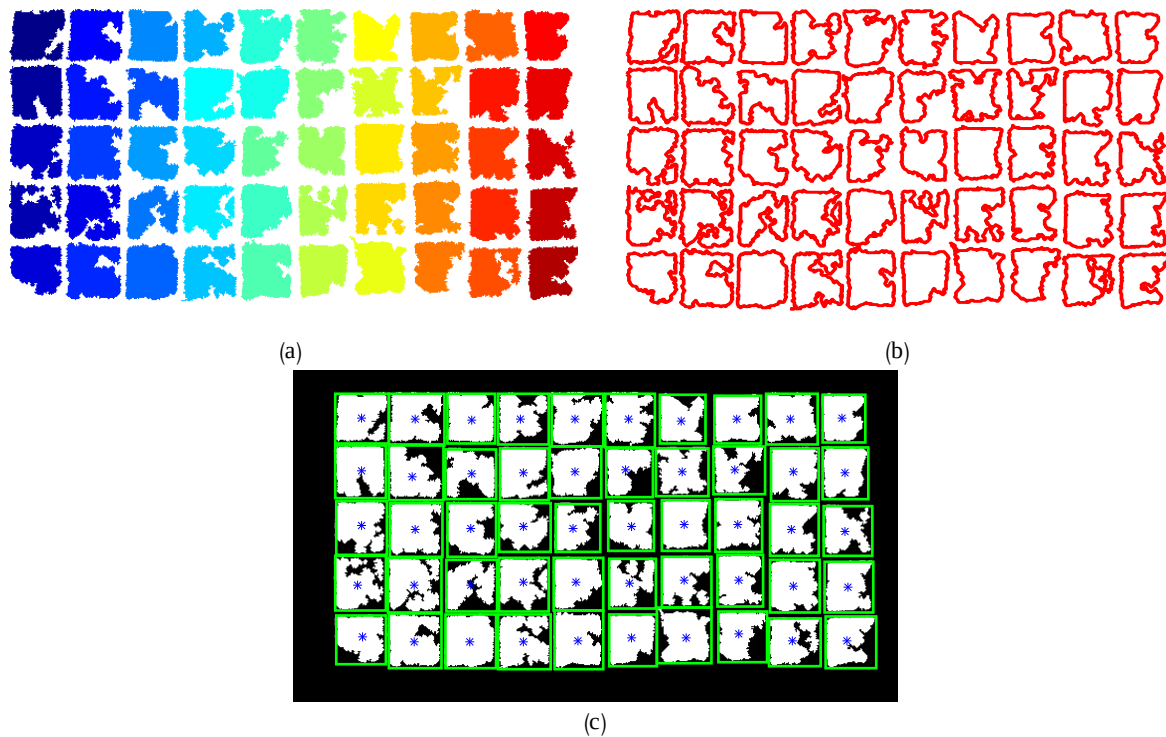


شکل ۶- پیاده سازی الگوریتم کانتور فعال (a) ۱۰ تکرار؛ (b) ۱۵ تکرار؛ (c) ۲۰ تکرار؛ (d) ۲۵ تکرار؛ (e) اعمال عملگر بستن روی تصویر خروجی از قسمت (d)؛ (f) اعمال عملگر گشودگی و فرسایش روی تصویر

Fig.6. Implementation of active contour algorithm a) 10 repetitions; b) 15 repetitions; c) 20 repetitions; d) 25 repetitions; e) apply the closing operator on the output image of part (d); f) Apply the opening and erosion operator on the image

مسیری دوبار طی نشود. مطابق شکل، کارنده در مسیرهای مشخص شده در شکل های (۸- c) تا (۸- f) و زوایای تعیین شده امکان کاشت بذر در سینی نشاء وجود دارد. در ضمن همان طور که گفته شد در این زوایا (یعنی ۳۱۵، ۳۲۰، ۳۳۰ و ۳۴۰ درجه) از مسیری مجدد عبور نکرده و علاوه بر این که انرژی مصرفی کارنده نیز صرفه جویی می گردد، امکان قفل شدن بازو نیز وجود ندارد.

به منظور تعیین زاویه قرارگیری بازوی CF حالت های مختلفی (مطابق با جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفتند. البته امکان مدل سازی هر زاویه دلخواهی در روش ارائه شده با هر ترکیب طول بازویی وجود دارد. شکل ۸ نمونه ای از اثر زاویه قرارگیری بازوی CF بر مسیر حرکت کارنده برای ۶ زاویه را نشان می دهد. در این فرآیند، مطلوب ترین حالت زمانی است که هنگام چرخش در یک مسیر، بیشترین پوشش در سلول های سینی نشاء را داشته و در ضمن



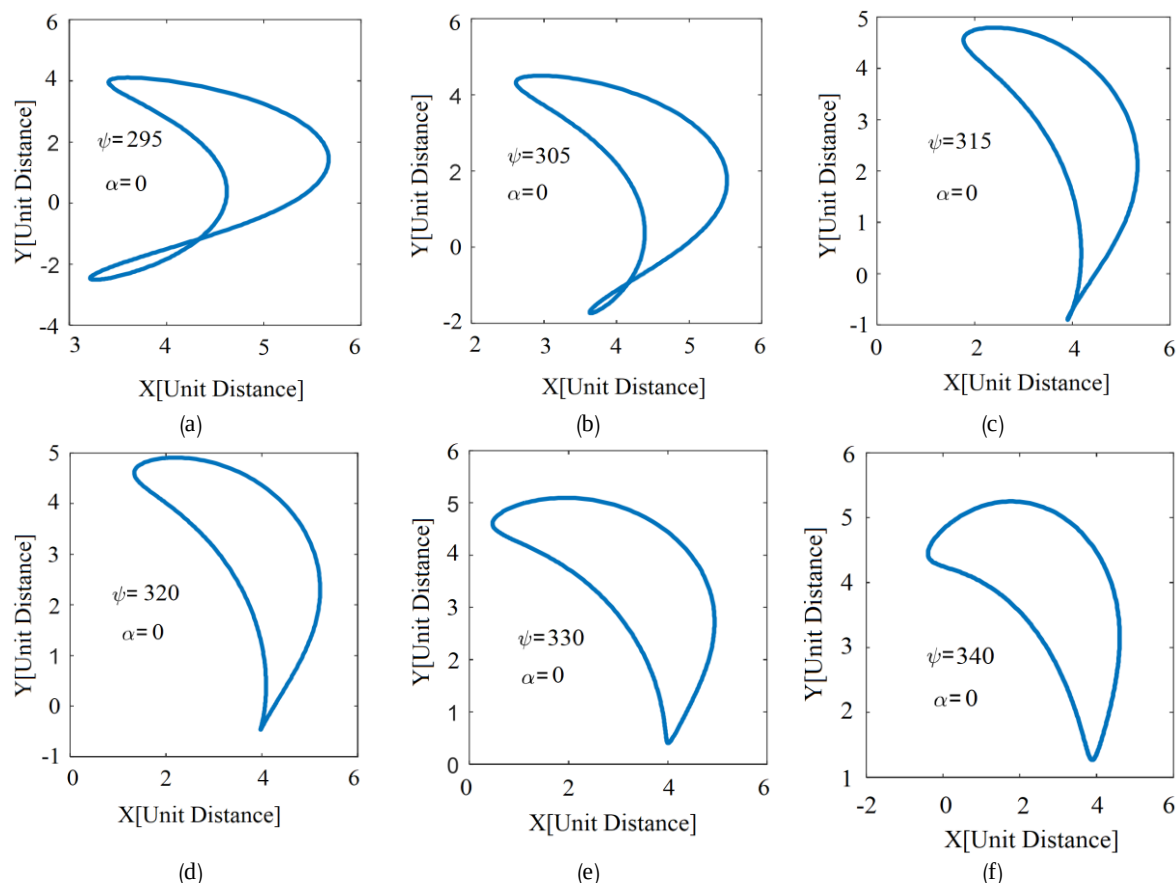
شکل ۷- (a) مرز ناحیه‌های مشخص شده در قسمت بخش‌بندی تصویر؛ (b) سلول‌های بخش‌بندی شده؛ (c) مستطیل‌های محاط شده (خطوط سبز رنگ) و مراکز هر سلول (ستاره‌های آبی رنگ)

Fig.7. a) The boundaries of the areas specified in the image segmentation; b) Segmented cells; c) Enclosed rectangles (green lines) and centers of each cell (blue stars)

جدول ۱- ابعاد اتصالات به منظور بررسی مسیر حرکت (ابعاد طولی بر حسب سانتی‌متر و زاویه بر حسب درجه می‌باشد)

Table 1- Range of the link's dimensions for path analysis (length and angel are based on centimeter and degree, respectively)

مرحله Stage	دامنه تغییرات ابعاد Range of dimensions						تعداد ترکیبات Combination No.
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L _f	ψ	
1	1-10	1-100	1-50	1-50	1-100	0-360	8400
	1-10	1-19.99	1-8.08	1-8.08	2.18-38.39	180-360	23500
	5-9	21-37.17	1-8.08	2.33-19.90	1-35.71	270-360, 0-120	36592
	5-9	17.11-20.53	1-8.08	8.08-50	18.80-100	300-360, 0-120	12350
	5-8.81	48.80-57.91	1-8.08	19.90-50	10-100	330-360, 0-120	7640
2	5.5-9	3.79-15.93	2.66-16.90	2.66-16.90	1-35.71	240-360, 0-30	45800
	6-9	12.35-20.53	2.66-16.90	8.08-50	3.16-100	30-140	28530
	6-9	12-18.7	8.08-50	8.08-50	1-21	300-360, 0-120	14900
3	5-8.6	13.7-20.1	2.99-4.88	2.99-4.88	12.81-18.8	300-340	7500
4	5-8.6	15.7-20.1	3.21-4.88	3.21-4.88	13.35-17.2	310-330	45000

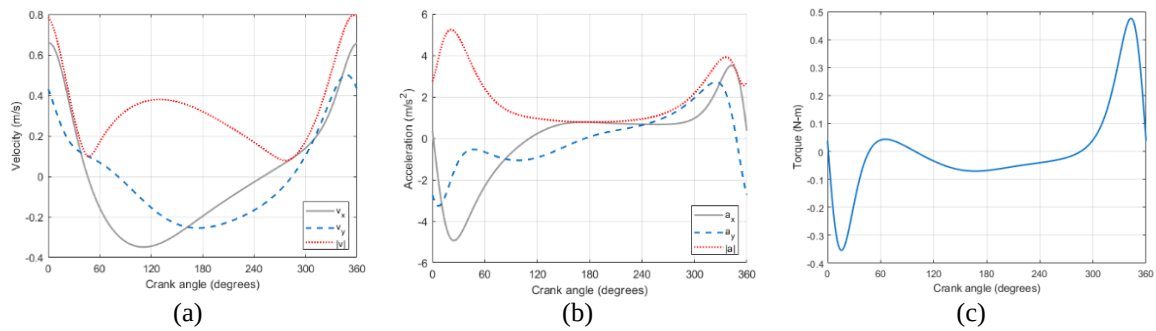


شکل ۸- مدل سازی اثر زاویه قرارگیری بازوی CF بر مسیر حرکت کارنده: زاویه قرارگیری (a) ۲۹۵؛ (b) ۳۰۵؛ (c) ۳۱۵؛ (d) ۳۲۰؛ (e) ۳۳۰؛ (f) ۳۴۰ درجه

Fig.8. Modeling of the effect of CF arm position angle on the driver's travel path: position angle a) 295; b) 305; c) 315; d) 320; e) 330; f) 340 degrees

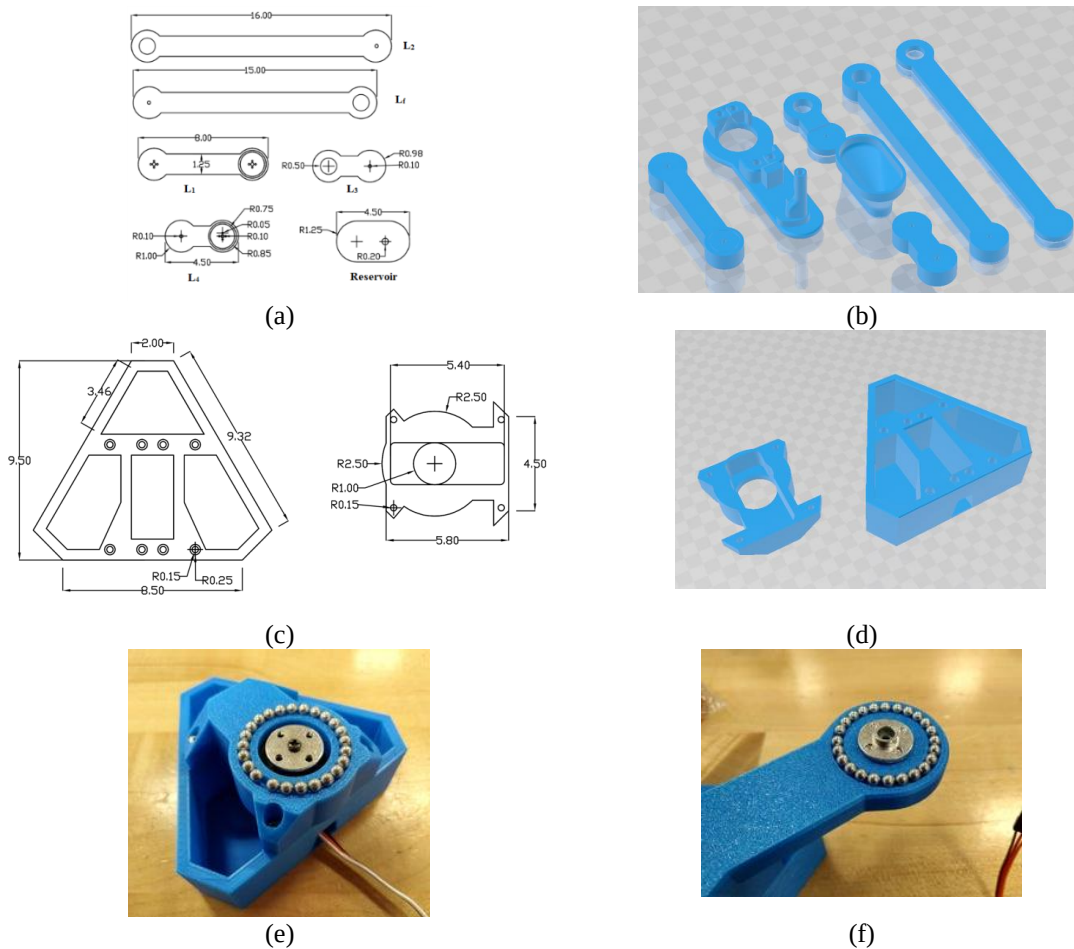
سامانه های دارای جرم، سرعت و شتاب اندک در یک راستا می باشد. شکل ۱۰-a و ۱۰-c نقشه طراحی مورد استفاده در پژوهش حاضر و ۱۰-b و ۱۰-d نقشه ارسال شده به پرینتر سه بعدی جهت چاپ قطعات را نشان می دهد. بعد از چاپ قطعات و قرار دادن اجزا اتصال در محل مورد نظر، جرم بازوهای L_1 ، L_2 ، L_3 و L_4 و L_f به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲۷، ۰/۸۳، ۰/۸۷ و ۰/۲۵ کیلوگرم گردید. در ضمن دو شیار (روی پایه و بازوی چرخنده) به منظور قرار دادن بلبرینگ ایجاد گردید؛ اما به منظور کاهش وزن سامانه از گوی های فلزی با ابعاد ۰/۴۵ میلی متر استفاده شد (شکل ۱۰-e و ۱۰-f). شایان ذکر است که مخزن سامانه کارنده توسط کاربر پر می گردید و در حالت کاملاً پر، در حدود 57 ± 4 عدد بذر را در خود جای می داد. البته امکان تغییر در طراحی و ساخت مخزنی با ابعاد بزرگ تر نیز به راحتی امکان پذیر است.

لذا پس از تعیین مختصات کاشت توسط سامانه بینایی ماشین، تمامی حالت های موجود حرکتی، مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً هدایت بازو با کمترین میزان مصرف انرژی انتخاب می شود. بر این اساس L_1 ، L_2 ، L_3 و L_4 و L_f برای ۱۵ سانتی متر به ترتیب برای CF در نظر گرفته شد. شکل ۹-a تا ۹-c نمودار سرعت، شتاب و گشتاور مکانیزم طراحی شده با ابعاد مورد نظر را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۹-b مشاهده می شود در بخش عمده ای حرکت چرخشی سامانه (۶۰-۳۱۰ درجه) شتاب حرکتی آن در حدود ۰/۹ متر بر مجذور ثانیه می باشد که نشان از نیروی اندک وارد شده به بازوی کارنده هنگام حرکت چرخشی است. به علاوه بر اساس شکل ۹-c حداکثر گشتاور محرک برای سامانه کارنده ۰/۴۸ نیوتن-متر به دست آمد که با توجه به گشتاور موتور مورد استفاده (۱/۲۷ نیوتن-متر) مشکلی برای سامانه ایجاد نخواهد شد. این یافته با نتایج پژوهش [González Mendoza et al. \(2013\)](#) در خصوص نیاز به گشتاور محرک ناچیز برای



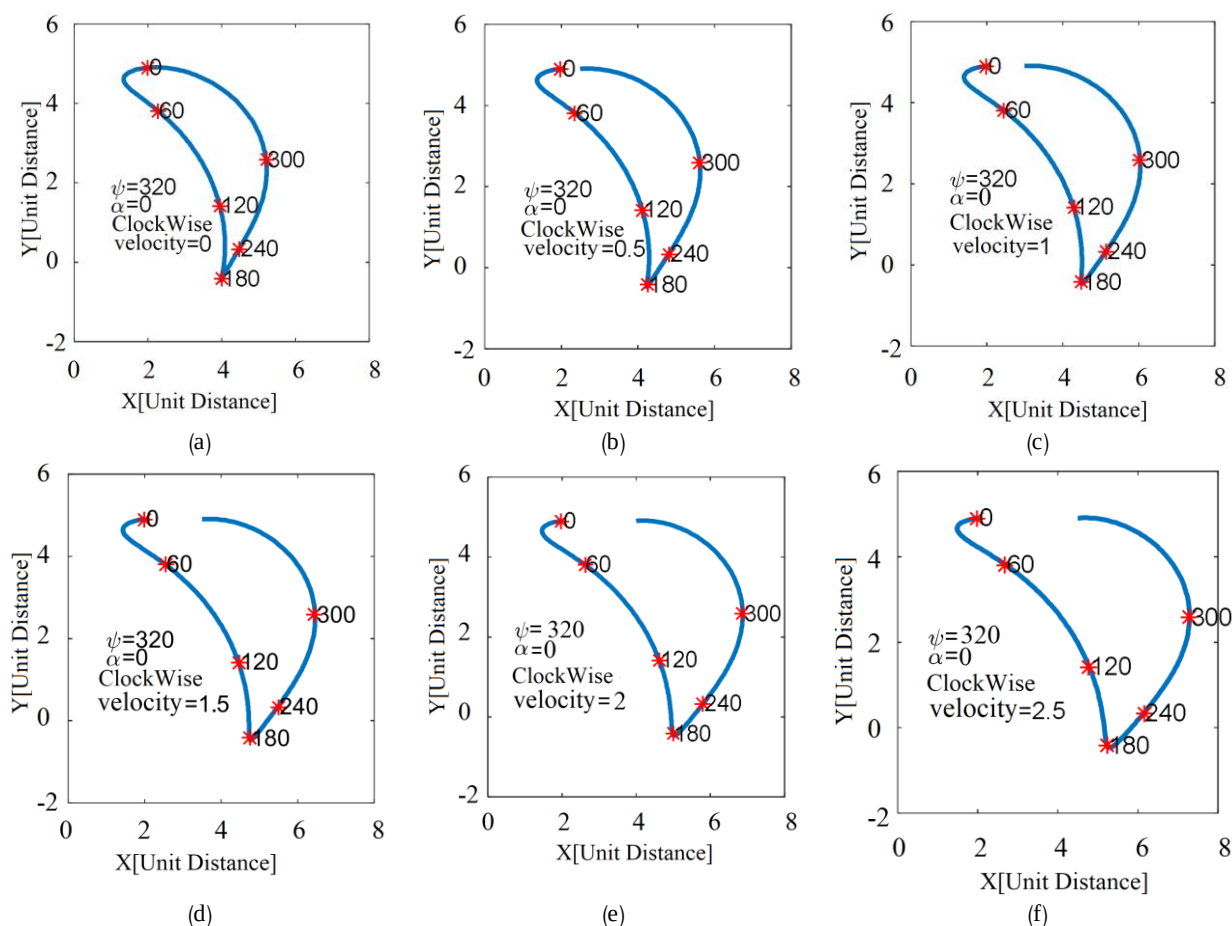
شکل ۹- مدل‌سازی (a) سرعت؛ (b) شتاب؛ (c) گشتاور محرک بازوی کارنده CF

Fig.9. Modeling of CF planter linkage; a) Velocity; b) Acceleration; c) Torque



شکل ۱۰- نقشه اجزای مکانیکی سامانه کارنده؛ (a) نقشه طراحی بازوها و مخزن؛ (b) نقشه stl بازوها و مخزن به منظور ارسال به چاپگر سه بعدی؛ (c) نقشه طراحی پایه و نگهدارنده موتور؛ (d) نقشه stl پایه و نگهدارنده موتور؛ (e) محل قرارگیری گوی‌های فلزی در پایه؛ (f) محل قرارگیری گوی‌های فلزی در بازو

Fig.10. Mechanical parts drawing; a) arms and reservoir drawing; b) stl drawing of arms and reservoir for 3D printing; c) base and motor holder; d) stl drawing of base and motor holder for 3D printing; e) ball location in based; f) ball location in arm



شکل ۱۱- مدل سازی اثر سرعت حرکت تسمه نقاله بر قرارگیری بازوی CF: سرعت حرکت تسمه نقاله (a) 0؛ (b) 0.5؛ (c) 1؛ (d) 1.5؛ (e) 2؛ (f) 2.5 واحد بر ثانیه

Fig.11. Modeling of the effect of conveyor belt speed on CF arm position: conveyor belt speed a) 0; b) 0.5; c) 1; d) 1.5; e) 2; f) 2.5 unit per second

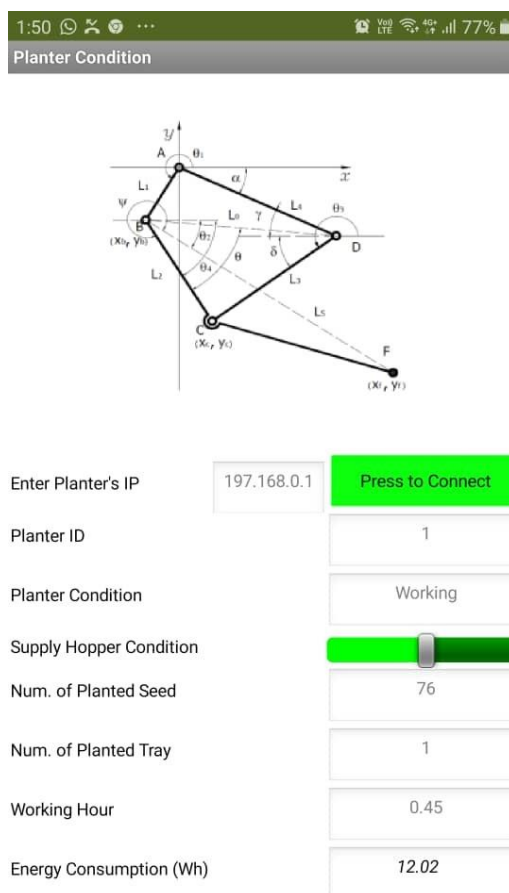
تصویربرداری، وابسته به نحوه قرارگیری (دوری و نزدیکی به کارنده) بین ۳۳-۳۶ ثانیه شد که این عدد برای یک فرد در سه تکرار 2 ± 24 ثانیه گردید. لذا ظرفیت کاشت سامانه کارنده در سرعت ۵ و ۱۰ سانتی متر بر ثانیه (به صورت متوسط در ۶ ساعت) به ترتیب ۲۰۵۸ و ۲۹۶۳ سلول در ساعت بود. در ضمن میزان انرژی مصرفی ۲۵/۵۶ وات ساعت و انرژی مصرفی برای کاشت یک بذر به طور متوسط ۰/۵۳ وات ساعت به دست آمد. در پژوهشی شاخص های نکاشت و چندگانه کاشت برای کارنده نیوماتیکی یونیسف و بذر سورگوم به ترتیب ۳/۱۷ و ۶/۳۴ درصد به دست آمد. انرژی مصرفی دستگاه فوق الذکر برای کاشت یک مسیر ۳۰ متری برای یک ردیف کارنده ۲۵۹۰ وات ساعت گزارش گردید؛ این مقدار از انرژی در حدود ۵۹ وات ساعت برای یک عدد بذر در این مسیر کاشت می باشد (Abdolhazare & Abdanan, 2018b). شکل ۱۲ صفحه نرم افزار توسعه یافته برای تلفن همراه هوشمند به منظور پایش شرایط کارنده را نمایش می دهد.

به علاوه در مدل سازی صورت گرفته در نرم افزار MatLab 2021 امکان اعمال سرعت حرکت تسمه نقاله و بررسی اثر آن در مسیر کاشت نیز وجود دارد. این بدین معنی است که دستگاه هم امکان کاشت به صورت پیوسته و هم به صورت توقف/حرکت^۱ را دارد. شکل ۱۱ اثر سرعت های مختلف (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ واحد بر ثانیه) حرکت تسمه نقاله را بر موقعیت بازو کارنده نمایش می دهد.

ارزیابی بازوی کارنده

به منظور ارزیابی عملکرد سامانه تسمه نقاله، با ۲ سرعت ثابت ۵ و ۱۰ سانتی متر در ثانیه، سینی را به محل کاشت هدایت می نمود. در این مرحله از تعداد ۳۰۰۰ سلول مورد بررسی، شاخص های نکاشت و چندگانه کاشت به ترتیب ۰/۰۳ و ۸/۱۷ درصد به دست آمد. در ضمن متوسط زمان کاشت یک سینی ۵۰ سلولی بعد از قرارگیری در محل

1- Start/stop



شکل ۱۲- صفحه نرم‌افزار توسعه‌یافته برای تلفن هوشمند به منظور پایش شرایط کارنده
 Fig.12. Software page developed for smartphones to monitor the planter's condition

می‌بایست تغییر کند؛ حال آن‌که سامانه کارنده در پژوهش حاضر با توجه به تشخیص محل کشت به‌وسیله سامانه بینایی ماشین به محل قرارگیری و ابعاد سینی نشاء وابسته نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر یک سامانه کاشت بذر در سینی نشاء براساس مدل‌سازی دینامیکی طراحی، ساخته و ارزیابی گردید. در سامانه توسعه‌یافته تشخیص محل کاشت به‌وسیله پردازش تصویر صورت پذیرفت. به‌منظور ارزیابی سامانه کاشت دو سطح سرعت برای تمسه نقاله ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد که ظرفیت این بذرکار به‌ترتیب ۳۵۷۹ تا ۴۶۱۳ سلول در ساعت به‌دست آمد. از طرف دیگر، شاخص‌های نکاشت و چندگانه کاشت در ۳۰۰۰ سلول نیز به‌ترتیب ۰/۳ و ۸/۱۷ درصد گردید که نشان از عملکرد قابل‌قبول این سامانه دارد. در ضمن میزان انرژی مصرفی ۲۵/۵۶ وات‌ساعت، سامانه را به جایگزینی مناسب برای بذرکاری دستی تبدیل می‌نماید.

نحوه عملکرد نرم‌افزار به این صورت است که ابتدا کاربر، آی‌پی مربوط به سامانه کارنده را وارد نموده و کلید اتصال را لمس می‌کند. به محض اتصال رنگ کلید سبز شده و شماره کارنده^۱ نمایش داده می‌شود. این قسمت زمانی کاربرد دارد که تعداد زیادی کارنده وجود داشته باشد. از جمله اطلاعات دیگری که در برنامه گوشی هوشمند نمایش داده می‌شود وضعیت کاری کارنده، تعداد سینی‌ها و بذرهای کاشته شده، پر و خالی بودن مخزن کارنده، ساعات کاری و میزان انرژی مصرفی است.

در پژوهشی به طراحی و ساخت یک ربات بذرکار دقیق برای سینی‌های کاشت پرداخته شد. در این پژوهش ظرفیت نامی این بذرکار بین ۱۷۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ سلول در ساعت گزارش گردید (Gezavati et al., 2014). این در حالی است که سامانه طراحی شده در این تحقیق به ابعاد سینی نشاء و چگونگی قرارگیری آن‌ها وابسته بود و در صورتی که نوع سینی نشاء تغییر کند سامانه کاشت نیز

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسنده از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می نماید.

از دیگر مزایای این سامانه امکان پایش پارامترهای آن توسط کاربر و از طریق نرم افزار طراحی شده برای گوشی هوشمند است. از جمله اطلاعاتی که در برنامه گوشی هوشمند نمایش داده می شود وضعیت کاری کارنده، تعداد سینی ها و بذرهای کاشته شده، پر و خالی بودن مخزن کارنده، ساعات کاری و میزان انرژی مصرفی است.

References

1. Abdolhazare, Z., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2018a). Real time laboratory and field monitoring of the effect of the operational parameters on seed falling speed and trajectory of pneumatic planter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.001>
2. Abdolhazare, Z., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2018b). Nonlinear mathematical modeling of seed spacing uniformity of a pneumatic planter using genetic programming and image processing. *Neural Computing and Applications*, 29(2), 363-375. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2450-1>
3. Anonymous. (2007). Allegro MicroSystems, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor, ACS712 datasheet.
4. Biancardi, E., McGrath, J. M., William Panella, L., Lewellen, R.T. & Stevanato, P. (2010). *Sugar Beet*, Springer Publishers, NY. pp. 173-219. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92765-7_6
5. Cao, J. (2019). Current situation and countermeasures of vegetable industry. *Seed Science and Technology*, 37(3), 18-21.
6. Chapra, S. C. (2012). *Applied numerical methods with MATLAB for engineers and scientists*, McGraw-Hill Publishers, NY., pp. 100-112.
7. Chen, L., Ma, X., Wang, C., Li, H., Li, Z., Chen, X., & Chen, T. (2020). Design and test of soft-pot-tray automatic embedding system for light-economical pot seedling nursery machine. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 91-100. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.4726>
8. Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
9. Gaikwad, B. B., & Sirohi, N.P.S. (2008). Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. *Biosystems Engineering*, 99(3), 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.10.017>
10. Gezavati, J., Mohammad Zamani, D., Abbasgolipour, M., Mohammadi Alasti, B., & Ranji, A. (2014). Preliminary design, construction and evaluation of robot of tomato seed planting for the trays of greenhouse. *Journal of Agricultural Machinery*, 5(2), 242-250. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v5i2.28257>
11. González Mendoza, J. M., Palacios Montufar, C., & Flores Campos, J. A. (2013). Analytical synthesis for four-bar mechanisms used in a pseudo-equatorial solar tracker. *Ingeniería e Investigación*, 33(3), 55-60. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v33n3.41045>
12. Jin, X., Yuan, Y., Ji, J., Zhao, K., Li, M., & Chen, K. (2020). Design and implementation of anti-leakage planting system for transplanting machine based on fuzzy information. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105204. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105204>
13. Keyvanlo, A. L., & Armin, M. (2017). The effect of seedlings age and date of transfer on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 291-301. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.131207.653935>
14. Li-zhang, X. U., & Yao-ming, L. I. (2007). Design and simulation of the forest trees potter. *Journal of Machinery Design & Manufacture*, 3(2), 24-25.
15. Nadafzadeh, M., Abdanan Mehdizadeh, S., & Soltanikazemi, M. (2018). Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browning using genetic programming modeling. *Scientia Horticulturae*, 231(5), 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.047>
16. Nasri, R., Kashani, A., Sadeghian Motahar, Y., & Habibi, D. (2011). Quantitative and qualitative characteristics of fall sugar beet in direct cultivation and paper pot transplanting under saline soils of Ahvaz. *Agronomy and Plant Breeding Journal*, 7(7), 25-40. (In Persian).
17. Nematinia, E., & Mehdizadeh, S. A. (2018). Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1449-1459. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9760-1>
18. Rosli, M. F. M., Mahadi, M. R., Misri, M. A., & Wayayok, A. (2016). Initial design of an automated system for paddy seedling placement in a germination tray. *Journal Technology*, 78(1-2): 119-123. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.7283>
19. Si, H. P., Sun, L., Jie, C., Wu, J. H., & Lin, K. Y. (2013). Summary of the developing status of greenhouse tray seeder and seed metering device. *In Applied Mechanics and Materials*, 387(8), 271-279.

- <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.387.271>
20. Tian, L., Xing, P. G., & Zhang, L. (2017). Design of automatic transplant device for hole disc seedlings based on PLC and photoelectric sensing control. *Journal of Agriculture Machinery Research*, 39(7), 125-129.
21. Waldron, K. J., Kinzel, G. L., & Agrawal, S. K. (2016). *Kinematics, dynamics, and design of machinery*. John Wiley & Sons Publishers. pp. 80-92. <https://worldcat.org/en/title/930875622>
22. Wang, J., Fu, Z., Zhang, B., Yang, F., Zhang, L., & Shi, B. (2018). Decomposition of influencing factors and its spatial-temporal characteristics of vegetable production: A case study of China. *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 477-489. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.004>
23. Wang, X., & Feng, Q. C. (2013). Design and Simulation for Key Components of Robotic Flower-Seedling Transplanter. *Advanced Materials Research*, 680(11), 387-391. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.680.387>
24. Yun, Zh., Xiong, Zh., Weiwei, Z., & Li, D. (2011). Modern design theory and method of rice transplanter. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 3(2), 013.
25. Yang, Q., Huang, G., Shi, X., He, M., Ahmad, I., Zhao, X., & Addy, M. (2020). Design of a control system for a mini-automatic transplanting machine of plug seedling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105226. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105226>
26. Yang2018, Q., Xu, L., Shi, X., Ibrar, A., Mao, H., Hu, J., & Han, L. (2018). Design of seedlings separation device with reciprocating movement seedling cups and its controlling system of the full-automatic plug seedling transplanter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.004>



Design of a Harvester for Harvesting of the Leaves and Stems of Plants in Cultivation Rows and Evaluation its Performance in the Peppermint Farm

P. Ghiasi^{1*}, M. Salatin², R. Soon³, S. M. Mir Esmaili⁴, K. Pirvandi⁵, Gh. Najafi¹

1- Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran

2- Research Department Manager of Agriculture and Animal husbandry Holding of Etka Organization, Tehran, Iran

3- Department Manager of Medicinal Plants, Agro-industry of Mazrae Novin Iranian Company, Tehran, Iran

4- Research Department Manager, Agro-industry of Mazrae Novin Iranian Company, Tehran, Iran

5- Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: p.ghiasi@modares.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75134.1089>

Received: 05 February 2022

Revised: 23 April 2022

Accepted: 30 May 2022

Available Online: 30 May 2022

How to cite this article:

Ghiasi, P., Salatin, M., Soon, R., Mir Esmaili, S. M., Pirvandi, K., & Najafi, Gh. (2023). Design of a Harvester for Harvesting of the Leaves and Stems of Plants in Cultivation Rows and Evaluation its Performance in the Peppermint Farm. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 267-284. (in Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75134.1089>

Introduction

The world today is facing the issue of population growth, which will result in food shortages. One way to supply food to this growing population is to facilitate the production of agricultural products to meet the growing demand. Medicinal plants are an important product of the agricultural sector. In Iran, manual harvesting reduces the productivity of these crops, and the use of manual harvesting poses challenges related to available manpower. The costs and time required for manual harvesting are additional obstacles. Given the importance of developing medicinal plants, designing and constructing a mechanized machine for harvesting them could improve the harvesting process.

Material and Methods

In designing the machine for harvesting medicinal plants in cultivation rows, different scenarios were examined regarding the position of the machine relative to the tractor. The advantages and disadvantages of each scenario were listed separately, and finally, the continuous placement of tractors, harvesters, and trailers was defined. One of the goals of designing this machine is to perform harvesting operations for two row spacing's - 80 and 160 cm. To achieve this goal, mechanisms were added to the machine that allow for changing the position of the harvesting head, as well as the cutting height. Moreover, due to the sensitivity of the harvested product to soil contact, the plants should be transferred immediately after cutting. Therefore, a transfer mechanism was designed and built to move the cut products to the trailer. Independent variables, including forward speed at two levels, type of reel in two types, and cutting blade in two types, were considered. Dependent variables also included harvesting efficiency, percentage of damaged plants, and harvesting capacity.

Results and Discussion

The results of variance analysis for different treatments show that the forward speed, type of reel, and cutting blade type have an effect on harvest efficiency. The difference in harvest efficiency is significant at a 1% probability level. A star cutting blade provides higher efficiency than a 40-teeth cutting blade. The rubber reel prevents plants from falling to the ground by creating a closed space in front of the blade. However, the inner parts of the rods reel are empty, and the plant can fall to the ground. Additionally, the plant may get wrapped around the rods, causing a decrease in harvesting efficiency. Another essential parameter when identifying and evaluating a harvesting machine is crop damage. Some plants get crushed and torn due to the impact on metal components. This situation reduces the quality of the harvested product, leading to a decline in the final product's

price. The star-cutting blade causes more leaf rupture. In contrast, the teeth in the 40-teeth blade are continuous, making it unlikely for the leaf to get caught between the two teeth. However, with the star blade, the distance between the two blades is large, allowing the plant to get stuck in between and re-cut.

Conclusion

Based on tests conducted for eight different positions of the harvester, it was observed that the G test outperformed the other tests with 85.88% harvesting efficiency, a capacity of 344.8 kg h^{-1} , and only 1.34% peppermint leaf damage. Therefore, for harvesting similar peppermint products, we recommend using a combination of a star blade, rubber carousel, and a forward speed of 1.2 meters per second. However, new tests should be conducted on other products like lavender and those with strong stems.

Keyword: Design, Field efficiency, Harvesting efficiency, Mechanization, Optimization

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۲۸۴-۲۶۷

طراحی دستگاه برداشت پشت تراکتوری برای اندام هوایی گیاهان در ردیف‌های کشت و بررسی عملکرد آن در مزرعه نعنای فلفلی

پدرام قیاسی^{۱*}، مهناز سلاطین^۲، رضا سون^۳، سید محسن میر اسماعیلی^۴، کوروش پیروندی^۵، غلامحسین نجفی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

چکیده

فرصت ادامه فعالیت بخش‌های سنتی کشاورزی در آینده نزدیک مبنی بر مکانیزه شدن است. مکانیزه شدن محصولات کشاورزی خروجی کم در دسر و ارزان را فراهم و امکان توسعه و تولید بیشتر نیز به ارمغان می‌آورد. در این پژوهش یک دستگاه برداشت‌کننده مکانیزه گیاهان دارویی طراحی و ساخته شد. اهداف طراحی این دستگاه این است که بتواند گیاهان دارویی را برداشت کند که ویژگی‌هایی نظیر: (۱) کشت به صورت ردیفی، (۲) استفاده از کل اندام هوایی گیاه و (۳) نیاز به ارتفاع برش بین ۱۰ الی ۵۰ سانتی‌متر داشته باشد. بر این اساس دستگاه در مزرعه نعنای فلفلی مورد ارزیابی قرار گرفت و ترکیب مناسب برای برداشت مناسب این محصول ارائه شد. برای ارزیابی سه پارامتر مستقل و سه پارامتر وابسته در نظر گرفته شد. پارامترهای مستقل شامل: سرعت پیشروی در دو سطح، دو نوع تیغه برش و دو نوع چرخ و فلک و پارامترهای وابسته شامل: بازده برداشت، ظرفیت مزرعه‌ای و درصد آسیب محصول برداشت‌شده می‌باشد. اثر فاکتورهای مستقل بر هر سه پارامتر وابسته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. مقایسه‌های میانگین نیز برای هر سه پارامتر انجام شد. نتایج نشان دادند که سرعت پیشروی ۱/۲ متر بر ثانیه، تیغه نوع ستاره‌ای و چرخ و فلک لاستیکی می‌تواند بازده برداشت را تا ۸۵/۸۸ درصد افزایش دهد. همچنین ظرفیت برداشت دستگاه در این شرایط ۳۴۴/۸ کیلوگرم بر ساعت و درصد برگ‌های له و پاره‌شده ۱/۳۴ درصد محاسبه شد. انتخاب این ترکیب بر اساس بیشینه کردن بازده برداشت و ظرفیت مزرعه‌ای و کمینه کردن تلفات برداشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازده برداشت، بازده مزرعه‌ای، بهینه‌سازی، طراحی، مکانیزاسیون

مقدمه

استفاده بشر قرار می‌گیرد. به طور کلی می‌توان گیاهان صنعتی را براساس نحوه استفاده، در گروه‌های گیاهان دارویی، روغنی، لیفی، قندی، نشاسته‌ای و تخدیری قرار داد (Krishnaiah, Sarbatly, & Nithyanandam, 2011). گیاهان دارویی به گیاهانی گفته می‌شود که تمام یا بخشی از آن به صورت تازه، خشک‌شده یا فراوری‌شده، جهت تشخیص، درمان یا پیشگیری بیماری یا کمک به اعمال فیزیولوژیکی و حفظ بهداشت بدن انسان به کار می‌رود. در تعریف دیگر، گیاهان دارویی به گیاهانی گفته می‌شود که دارای ماده مؤثره‌ی مشخصی باشند که این ماده مشخصه در درمان بیماری یا پیشگیری از بروز آن مورد استفاده قرار گیرد (Jassim & Naji, 2003). همچنین دسته‌بندی‌های مختلفی برای گیاهان دارویی ارائه شده است. براساس نحوه استفاده، به کشت با هدف استفاده از: غده، ریشه، گل، برگ، دانه و کل اندام هوایی دسته‌بندی می‌شوند. بر اساس نحوه کشت، به ردیفی، خطی، کرتی و جوی و پشته تقسیم‌بندی می‌شوند (Caniago & Stephen, 1998). گیاهان مختلفی نظیر نعنای فلفلی،

از تولیدات مهم بخش کشاورزی، گیاهان صنعتی است (Duque-Acevedo, Belmonte-Urena, Cortés-García, & Camacho-Ferre, 2020). منظور از گیاهان صنعتی، گیاهانی است که محصولات آن‌ها به طور وسیعی پس از طی فرآیند صنعتی مورد

۱- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- مدیر تحقیقات هلدینگ کشاورزی و دامپروری سازمان اتکا، تهران، ایران

۳- مدیر بخش گیاهان دارویی کشت و صنعت شرکت مزرعه نوین ایرانیان، تهران، ایران

۴- مدیر تحقیقات کشت و صنعت شرکت مزرعه نوین ایرانیان، تهران، ایران

۵- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: p.ghiasi@modares.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75134.1089>

بادرنجوبیه، اسطوخودوس، آویشن و غیره در دسته کشت با الگوی ردیفی قرار دارند که از کل اندام هوایی آن‌ها استفاده می‌شود. به دلیل حساسیت مصرف گیاهان دارویی عملیات برداشت باید به گونه‌ای باشد که بلافاصله پس از برش محصول به مخزن مخصوص منتقل شوند و با خاک در تماس نباشند و از طرفی به ریشه و ساقه باقی‌مانده گیاه آسیبی نرسد. برداشت این محصولات یا با دست انجام می‌شود و یا توسط دروگرهای علوفه، که هر دو روش شامل مشکلاتی است. برداشت دستی بهره‌وری زراعت این محصولات را کاهش می‌دهد و در مقیاس بزرگ محدودیت‌های تامین نیروی انسانی از دیگر مشکلات این نوع برداشت محسوب می‌شود. هزینه و زمان‌بر بودن برداشت دستی نیز از دیگر ویژگی‌های این نوع برداشت به حساب می‌آید. برداشت توسط دروگرهای علوفه‌ای نیز عملیاتی غیرتخصصی است و آسیب وارد شده به محصول و گیاه می‌تواند جبران‌ناپذیر باشد به‌طوری که محصول پس از برش بر روی زمین باقی می‌ماند و همین عامل افت کیفی آن می‌شود. از طرفی ارتفاع برش در گیاهان دارویی اشاره شده باید قابلیت تنظیم داشته باشد تا رشد مجدد گیاه دچار اختلال نشود اما در دروگرهای علوفه مورد استفاده ارتفاع برش عامل ثابتی است و معمولاً در کمترین ارتفاع نسبت به سطح زمین، عملیات برش اتفاق می‌افتد. استفاده از ماشین‌ها و ادوات مخصوص برای برداشت گیاهان دارویی، راه‌حلی مناسب جهت کاهش آسیب‌های وارده بر محصول، غلبه بر محدودیت‌های تامین نیروی انسانی و کاهش هزینه‌های مربوط به برداشت می‌باشد (Mirmajidi & Pardiskian, 2016). از طرفی با توجه به اهمیت توسعه زراعت گیاهان دارویی و فضای رقابتی ایجاد شده برای کاهش هزینه‌های تمام‌شده محصول، دستگاه مکانیزه برداشت گیاهان دارویی می‌تواند نقش کلیدی را در توسعه و رشد زراعت محصول به ارمغان آورد. تحقیقات اندک در حوزه مکانیزه کردن عملیات برداشت گیاهان دارویی در ایران، ضرورت مطالعه و بررسی در این زمینه را دوچندان می‌کند. در ادامه به مطالعات مرتبط با مکانیزاسیون و برداشت مکانیزه اشاره خواهد شد.

در تحقیقی اثر مدل برداشت بر قیمت تمام شده گیاه دارویی بابونه بررسی شد. در آن سه روش برداشت، شامل: دستی و دو مدل دروگر بررسی شد که نهایتاً نتایج نشان دادند که برداشت مکانیزه قیمت تمام‌شده محصول بابونه را تا ۱۰٪ کاهش می‌دهد (Ivanović, Pajić, & Marković, 2014). طی بررسی‌های انجام‌شده به‌کارگیری ماشین‌های مکانیزه مخصوص برداشت می‌تواند بهره‌وری اقتصادی را افزایش دهد (Quinlan & Quinlan, 2007). از مهم‌ترین متغیرهای فنی موثر در کارایی ماشین‌های برداشت غلات، مدل برش، سرعت چرخ و فلک، سرعت پیشروی و تناسب مجموعه قطعات متحرک با یکدیگر است. تناسب بین سرعت پیشروی و

سرعت چرخ و فلک از عواملی است که بر تلفات هدر برداشت (شامل گیاهان برداشت‌نشده) بسیار اثرگذار است. متغیرهای مستقل در پژوهشی، سه سطح سرعت پیشروی ۴، ۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت و سه سرعت دورانی برای چرخ و فلک برای کمباین کلاس^۱ تعریف شد. نتایج نشان داد که در صورتی که نسبت سرعت پیشروی به سرعت خطی چرخ و فلک ۰/۹۸ الی ۱/۴۷ باشد میزان تلفات هدر کاهش می‌یابد (Abdalla, Dahab, Musa, & Eltayeb, 2021). پژوهش دیگری با استفاده از تحلیل ابعادی اقدام به بررسی رنج مناسب شاخص چرخ و فلک کرد. رنج مناسب شاخص، ۱/۲۵ الی ۱/۵ می‌باشد و بهترین عملکرد در سرعت پیشروی ۴ کیلومتر بر ساعت روی داد (Chaab, Karparvarfard, Rahmanian-Koushkaki, Mortezaei, & Mohammadi, 2020). محققین دریافتند که با افزایش نسبت سرعت خطی قفسه بردارنده به سرعت پیشروی در ماشین برداشت گل همیشه بهار از ۱ به ۱/۶ عملکرد دستگاه بهبود می‌یابد (Hante, 2019).

برای برش گیاهان خشی با درصد رطوبت پایین در تحقیقی اثر دو مدل برش دوار و خطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای برش گیاهان با درصد رطوبت پایین مدل برش خطی و برای برش مناسب گیاهان با درصد رطوبت بالا مدل دوار می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد. همچنین اثر زاویه و سرعت تیغه مضرس بر انرژی مورد نیاز برای برش ساقه گیاه مورد بررسی قرار گرفت. زاویه تیغه در سه سطح ۰، ۳۰ و ۶۰ درجه می‌باشد و سرعت خطی تیغه از ۷ الی ۱۷ متر بر ثانیه قرار گرفت. نتایج نشان داد که زاویه‌ی ۰ درجه تیغه نسبت به ساقه انرژی کمتری را برای برش نیاز دارد (Mathanker, Griff, & Hansen, 2015). ماشین برداشت کاهو توسط محققین به‌صورت آفست طراحی و ساخته شد که تراکتور نقش تامین‌کننده‌ی توان آن را داشت. یکی از پارامترهای اساسی در تعیین ظرفیت مزرعه‌ای سرعت پیشروی است که طی بررسی‌های انجام شده تغییر سرعت پیشروی مجموعه از ۸/۸ تا ۹/۹ سانتی‌متر بر ثانیه بازده برداشت مزرعه‌ای را از ۷۶/۲ به ۸۴/۲ درصد تغییر داد (Hachiya, Amano, Yamagata, & Kojima, 2004). در تحقیق دیگری آسیب وارد شده به ساقه باقی‌مانده از برداشت برای محصول نیشکر عاملی برای کیفیت برش در نظر گرفته شد. پنج مدل تیغه و دیسک شامل: تیغه صاف و بدون زاویه، تیغه صاف و با زاویه جلویی، تیغه مضرس و بدون زاویه، تیغه مضرس و با زاویه جلویی و تیغه صاف با قابلیت تعویض سریع ارزیابی شدند. در مجموع شاخص آسیب به ساقه‌های گیاه در تیغه‌های مضرس بیشتر از تیغه‌های صاف و متوسط ارتفاع برش برای تیغه‌های مضرس کمتر از تیغه‌های صاف گزارش شد (Toledo, Silva, & Furlani, 2013). در پژوهش رضاحسینی

تیغه برش و نوع چرخ و فلک مورد ارزیابی قرار گرفت و اثر این سه پارامتر بر بازده برداشت، ظرفیت برداشت و آسیب وارد شده به گیاهان مورد مطالعه قرار گرفت.

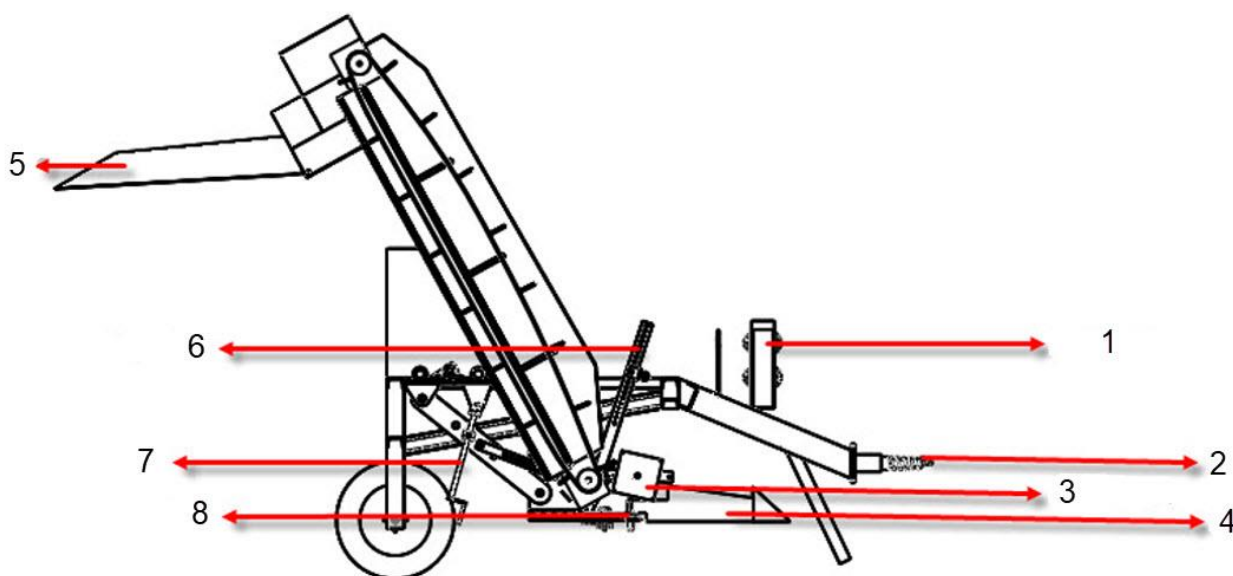
مواد و روش‌ها

طراحی دستگاه

گام نخست در طراحی یک ماشین برداشت، که تراکتور عمل تامین توان آن را انجام خواهد داد تعیین موقعیت قرارگیری وسیله است. در پژوهش حاضر پس از تعیین موقعیت دستگاه اقدام به طراحی دیگر اجزای دستگاه شامل: شاسی، مکانیزم‌های تغییر ارتفاع و فاصله عرضی، چرخ و فلک، تیغه برش، سیستم هیدرولیکی و مکانیزم انتقال مواد بریده شده به تریلر پشت تراکتور شد. شکل ۱ طرح‌واره اجزای اصلی دستگاه برداشت گیاهان دارویی در ردیف کشت را نشان می‌دهد که در ادامه به شرح طراحی این اجزا پرداخته می‌شود.

و همکاران (Rezahosseini, Jafarinaeimi, & Morteza pour, 2019)، عملکرد یک واحد بردارنده کلم پیچ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت پیشروی دستگاه بر عملکرد صحیح دستگاه بسیار اثرگذار است و بهترین نتیجه برای سرعت پیشروی ۲ الی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت حاصل شد.

از آنجایی که زراعت گیاهان دارویی در ایران از نبود و یا اندک بودن ماشین‌های مخصوص برداشت رنج می‌برد، مطالعه و بررسی در این زمینه، جزو نخستین گام‌ها به‌شمار می‌رود. طراحی یک ماشین برداشت کاملاً مکانیزه شامل بخش‌های مختلفی است که در هر یک از این بخش‌ها باید عمل ابتکاری و نوآوری لازم ایجاد شود تا کل سیستم عملکرد مناسبی داشته باشد. این مطالعه به طراحی و ساخت بخش‌های مختلف ماشین برداشت گیاهان دارویی در ردیف کشت می‌پردازد. بخش‌های مورد مطالعه شامل: برش، چرخ و فلک، مکانیزم انتقال مواد بریده شده به تریلر، مکانیزم تامین توان و قطعات لازم جهت تنظیم ارتفاع و فاصله عرضی است. جهت بررسی عملکرد دستگاه طراحی و ساخته شده سه پارامتر مستقل: سرعت پیشروی، نوع



شکل ۱ - طرح‌واره برش‌خورده از ماشین برداشت گیاهان دارویی شامل: ۱. جعبه‌دنده، ۲. مالیند، ۳. چرخ و فلک، ۴. بازوهای جمع‌کننده، ۵. محل خروج گیاه، ۶. بازوهای نگه‌دارنده، ۷. اهرم تغییر ارتفاع، ۸. تیغه برش

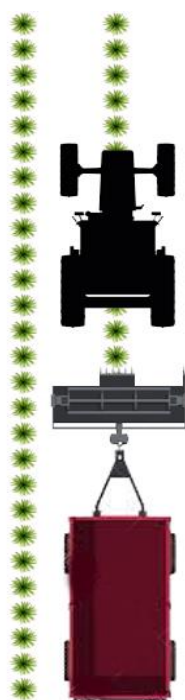
Fig.1. Section of medicinal plant harvester: 1. Gear box, 2. Hitch, 3. Reel, 4. Collector arms, 5. Transfer location to trailer, 6. Holder arm, 7. Height adjustment, 8. Cutter blade

به‌صورت پیوسته و با ترتیب ذکر شده تعیین شد. از آنجایی که عملیات داشت نیز به‌صورت مکانیزه انجام می‌شود و از طرفی زراعت محصولات به‌صورت ردیفی می‌باشد، فاصله بین ردیف‌های کشت باید به گونه‌ای باشد که تراکتور و ادوات دیگری مانند تریلر به‌راحتی در بین ردیف‌های کشت عبور کنند. بر این اساس فاصله بین ردیف‌های

موقعیت قرارگیری دستگاه

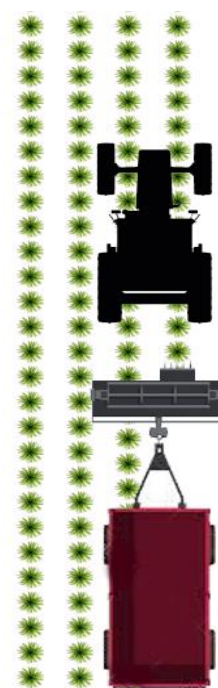
در طراحی ماشین برداشت گیاهان دارویی در ردیف‌های کشت راهکارهای متفاوتی درخصوص نحوه قرارگیری دستگاه نسبت به تراکتور مورد بررسی قرار گرفت. مزایا و معایب هر کدام به‌طور مجزا برشمرده شد و نهایتاً ترتیب قرارگیری تراکتور، دروگر و تریلر

می‌باشد. لذا مکانیزم‌های لازم جهت تغییر موقعیت قرارگیری هد برداشت نیز به دستگاه اضافه شد. علاوه بر قابلیت تغییر در فاصله عرضی، دستگاه باید قابلیت تغییر در ارتفاع برش را نیز داشته باشد. شکل ۲ و ۳ حالات مختلف را برای مجموعه تراکتور، دروگر و تریلر نشان می‌دهد که برای فاصله بین ردیف‌های کشت ۸۰ و ۱۶۰ سانتی‌متر ارائه شده است.



شکل ۳- موقعیت قرارگیری تراکتور، دروگر و تریلر در حالت فاصله بین ردیف‌های کشت ۱۶۰ سانتی‌متر

Fig.3. Position of tractor, harvester and trailer in 160 cm row distance



شکل ۲- موقعیت قرارگیری تراکتور، دروگر و تریلر در حالت فاصله بین ردیف‌های کشت ۸۰ سانتی‌متر

Fig.2. Position of tractor, harvester and trailer in 80 cm row distance

راستای نیروی وارده به ساقه از مرکز انحنای ایجادشده عبور می‌کند.
رابطه تنش-کرنش برای ساقه خمیده شده به صورت خطی فرض می‌شود.
شکل ۴ دیاگرام برخورد میله‌های چرخ و فلک با ساقه گیاه را نشان می‌دهد. بر اساس نظریه خمش الاستیک می‌توان نوشت (Hibbeler, 2005):

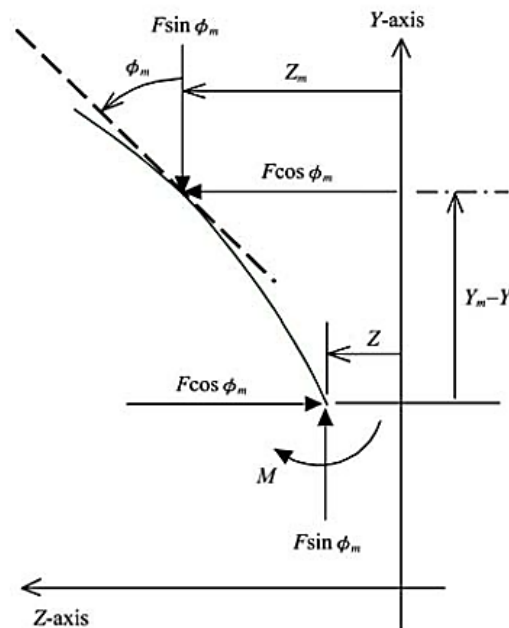
$$\frac{1}{r} = \frac{d\phi}{ds} = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

رابطه (۱) از نظریات مقدماتی خمش به دست آمد و برای به دست آوردن گشتاور حول نقطه رویش گیاه (Y, Z) می‌توان از رابطه (۲) استفاده کرد.

چرخ و فلک

یکی از اجزای اصلی در ماشین‌های برداشت، چرخ و فلک است که مستقیماً با محصول در ارتباط است و طراحی نامناسب موقعیت، سرعت و شکل کلی آن می‌تواند به محصول آسیب وارد کند و یا عملکرد دستگاه را مختل نماید. در این بخش به تئوری‌های موجود در طراحی چرخ و فلک پرداخته می‌شود. در برخورد چرخ و فلک با محصول یک تغییر شکلی در محصول رخ می‌دهد که در صورتی که فرض‌های زیر به کار برده شود، می‌توان رفتار ساقه گیاه را مدل سازی کرد (Oduori, Mbuya, Sakai, & Inoue, 2012)

ساقه گیاه در ابتدا به صورت عمودی فرض می‌شود و انحنای ایجادشده توسط چرخ و فلک به صورت یکپارچه در سرتاسر ارتفاع گیاه یکسان می‌باشد.



شکل ۴- دیاگرام برخورد میله چرخ و فلک با ساقه گیاه

Fig.4. Free body diagram of collision of the reel rod to the stem

(Oduori et al., 2012)

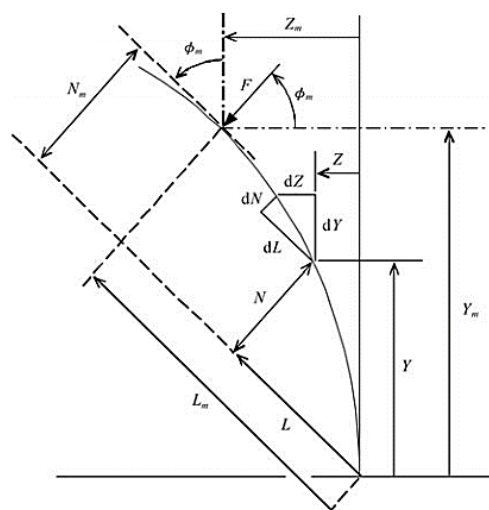
$$M = F[(Y_m - Y) \cos \phi_m + (Z_m - Z) \sin \phi_m] \quad (2)$$

$$\phi_m = 2 \tan^{-1} \left(\frac{Z_m}{Y_m} \right) \quad (3)$$

پس از ساده‌سازی رابطه (۲) و با توجه به مقادیر ارائه شده در شکل گشتاور حول نقطه رویش گیاه از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$M = F(L_m - L) \quad (4)$$

که در آن Z_m و Y_m مختصات نقطه تماس نیروی اعمالی از چرخ و فلک بر ساقه محصول است. این دو پارامتر در شکل نشان داده شده است. زاویه بین نیروی وارده به ساقه و افق به ارتفاع محل اعمال نیرو و مقدار خمیدگی ناشی از آن بستگی دارد و به خواص مکانیکی ساقه خمیده شده وابسته نیست. برای محاسبه این زاویه از رابطه (۳) استفاده شد که توسط محققین ارائه شده است



شکل ۵- مختصات منتقل شده‌ی برخورد میله‌ی چرخ و فلک با ساقه گیاه

Fig.5. Transformed coordinates of collision of the reel rod to the stem

$$\phi_m = -0.228 + 1.814 \tan^{-1} \left(\frac{Z_m}{Y_m} \right) \quad (6)$$

مقدار سرعت دورانی بر تعداد ضربات میله‌های چرخ و فلک بر ساقه گیاه اثرگذار است. برای محاسبه سرعت دورانی، فرض بر این است که جهت سرعت خطی میله چرخ و فلک در لحظه برش توسط مکانیزم برش، بر انحنای ساقه گیاه مماس باشد و یا در لحظات قبل از مماس شدن باشد. در نتیجه رابطه (۷) با این فرض اقدام به محاسبه سرعت دورانی چرخ و فلک می‌کند (Oduori, 1994).

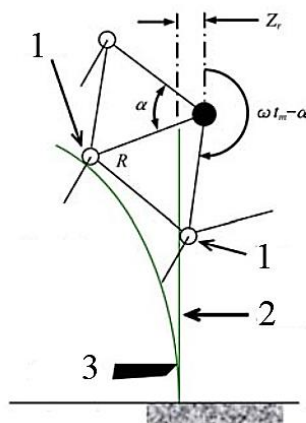
$$\omega t_m = \cos^{-1} \left(\frac{R_0}{R} \cos \phi_m \right) + \pi + \phi_m \quad (7)$$

در رابطه (۷)، R_0 مقدار پیشروی چرخ و فلک در یک سیکل چرخش است. پارامتر بعدی که در طراحی چرخ و فلک نقش مهمی دارد تعداد میله‌ها و یا زاویه قرار گرفتن هر میله و یا پره است. رابطه (۸) زاویه مناسب برای قرار گرفتن میله و پره‌های چرخ و فلک را نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد در رابطه (۳) محاسبه ϕ_m تنها به هندسه خمیدگی وابسته است و پارامترهای خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه در آن لحاظ نشده است. اودوری با ارائه رابطه (۵) اثر الاستیسیته و خواص فیزیکی ساقه گیاه نیز در محاسبه ϕ_m دخیل کردند. ضرایب رابطه ارائه‌شده به سطح مقطع ساقه و ارتفاع محل اثر نیروی چرخ و فلک بستگی دارد.

$$\sin(\phi_m) = \left[\sum_{i=0}^k B_i \right] \frac{FL^2}{2E_0 I_0} \quad (5)$$

محققین همچنین رابطه دیگری با ضریب همبستگی ۰/۹۹ برای محاسبه ϕ_m ارائه دادند. استفاده از رابطه جدید ساده‌تر است و ضرایب آن برای هر محصول می‌تواند متفاوت باشد. ضرایب ارائه‌شده در رابطه (۶) برای محصول برنج ژاپنی است و از آن جایی که هدف از انجام این محاسبات به‌دست آوردن حدود بازه مناسب سرعت دورانی و تعداد میله‌های چرخ و فلک است، لذا فرض شد که ویژگی‌های مکانیکی ساقه برنج ژاپنی شبیه به نعنای فلفلی است. مقدار ϕ_m در طراحی حاضر ۶۰/۸۸ درجه به‌دست آمد.



شکل ۶- نمایش برخورد موفق دو میله با ساقه گیاه (۱) برخورد میله با ساقه گیاه، (۲) ساقه گیاه، (۳) شانه برش

Fig.6. Relative positions of two successive tine bar 1) collision of the reel rod to the stem 2) the steam 3) cutter bar

قرارگیری چرخ و فلک، محدوده سرعت دورانی و تعداد میله‌های آن به‌ترتیب ۷۰ الی ۱۵۰ دور بر دقیقه و ۳ الی ۵ عدد به‌دست آمد. طراحی‌ها برای هندسه چرخ و فلک و قطر آن براساس عرض برش دستگاه، موقعیت قرارگیری آن و سایر ویژگی‌های مکانیکی گیاه انجام شد. از آن جایی که فرض‌های در نظر گرفته شده در محاسبات مبنی بر ساده‌سازی است لذا نتایج آن ممکن است به عملکرد مناسب ختم نشوند بر همین اساس جهت اعتبارسنجی محاسبات قبل از تعیین سرعت دورانی به‌عنوان یکی از پارامترهای مستقل، پیش‌آزمون‌هایی

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{R_0}{R} \cos \phi_m \right) + \phi_m - \sin^{-1} \left(\frac{Z_r}{R} \right) \quad (8)$$

Z_r ، پارامتری است از موقعیت قرارگیری چرخ و فلک و نقش عمده‌ای را در محاسبه تعداد میله‌ها ایفا می‌کند. پس از محاسبه زاویه بین میله‌ها تعداد مناسب میله و یا پره از رابطه (۹) به‌دست می‌آید.

$$n = \frac{2\pi}{\alpha} \quad (9)$$

با استفاده از روابط (۱) تا (۹) و با فرض وضعیت‌های مختلف

انجام شد و سطوح مورد نظر با سعی و خطا به دست آمد. دو نوع چرخ و فلک با ویژگی‌های ارائه شده در جدول ۱ طراحی و ساخته شد. شکل ۷ و ۸ تصویر دو چرخ و فلک میله‌ای و لاستیکی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های دو نوع چرخ و فلک طراحی و ساخته شده

Table 1- Features of two types of reels that was designed and built

ویژگی‌ها Features	چرخ و فلک میله‌ای Rods Reel	چرخ و فلک لاستیکی Rubber Reel
قطر Diameters	26	32
عرض Width	22	22
تعداد میله/پره Number of rod/plate	4	4
زاویه قرار گیری میله/پره Angle of rod/plate placement	90	90
جنس میله/پره Material of bod/plate	فولاد Steel	لاستیک Rubber
ارتفاع چرخ و فلک نسبت به تیغه The height of the reel relative to the blade	17.5	17.5
فاصله طولی بین چرخ و فلک و تیغه Longitudinal distance between the reel and the blade	3	3
سرعت دورانی Angular velocity	120	120



شکل ۸- چرخ و فلک لاستیکی

Fig.8. Rubber reel



شکل ۷- چرخ و فلک میله‌ای

Fig.7. Rods reel

تیغه برش

از ویژگی‌های اصلی دستگاه برداشت گیاهان دارویی، قابلیت تطبیق پذیری و تنظیم آن برای انواع گیاهان دارویی است. عملیات برش، باید متناسب با ویژگی‌های ساقه گیاه باشد. از این رو استفاده از مکانیزم برش دوار راهکار مناسبی جهت تنظیم دستگاه با گیاهان جدید می‌تواند باشد. در برش دوار می‌توان تیغه‌های مختلف را به کار برد تا نتیجه مناسب حاصل شود. در بازار تیغه‌های مختلفی با اهداف

برش متفاوت برای گیاهان وجود دارد اما در این پژوهش دونوع تیغه ستاره‌ای و ۴۰ پره مورد ارزیابی قرار گرفت. کاربرد تیغه ستاره‌ای برای گیاهان نرم و با ساختار غیرخشی است و تیغه ۴۰ پره در گیاهان خشی عملکرد بهتری دارد. انتخاب نوع تیغه‌ها بر این اساس بود که، گیاه نعنای فلفلی مورد ارزیابی شامل ترکیبی از ساقه‌های غیرخشی و خشی است. هر چند نسبت ساقه‌های نرم و غیر خشی در این گیاه بیشتر است اما آن بخش از ساقه گیاه که در چین‌های متوالی

قادر به تامین این توان می‌باشد. مقدار دبی مفید مورد نیاز برای انتخاب پمپ هیدرولیک برابر جمع دبی مصرف‌کننده‌های سامانه هیدرولیک است. با توجه به مقدار جابه‌جایی هیدروموتورها که از روی کاتالوگ آن‌ها قابل حصول است و همچنین سرعت دورانی مورد نیاز سامانه، به کمک رابطه (۱۳) می‌توان مقدار دبی مفید مورد نیاز هر هیدروموتور را به‌دست آورد.

$$Q = D.N \quad (13)$$

که دبی مورد نیاز برای هر واحد از سامانه هیدرولیکی دستگاه برداشت گیاهان دارویی، ۱۶ لیتر بر دقیقه به‌دست آمد. موتور هیدرولیکی مدل CJ1711 برای واحد انتقال و چرخ و فلک و موتور هیدرولیکی GDS12.5 برای واحد برش، در دبی به‌دست‌آمده قادر به فراهم آوردن سرعت دورانی و گشتاور مورد نیاز می‌باشند. این هیدروموتورها از کاتالوگ شرکت بلغاری M+S انتخاب شدند. از آن‌جا که پمپ فشار تولید نکرده و فقط مولد جریان سیال است و فشار به‌واسطه مانع ایجادشده بر سر راه سیال به‌وجود می‌آید، فشار کل مدار هیدرولیک نیز برابر بیشینه فشار وارده در سامانه هیدرولیک است که در این‌جا بیشینه فشار سامانه هیدرولیک دستگاه برداشت گیاهان دارویی با توجه به هیدروموتورهای انتخاب‌شده برابر ۲۰۰ بار به‌دست آمد.

اکثر پمپ‌های موجود در بازار در دور ۱۴۴۰ کارکرد بیشینه و بهینه خود را می‌دهند و در دورهای پایین سیال فرصت فرار پیدا کرده و عملکرد مفید پمپ پایین می‌آید. در بعضی از پمپ‌ها نیز مثل پمپ‌های پره‌ای (کارتریجی) در دورهای کمتر از ۱۰۰۰ دور پمپ کارایی خود را از دست می‌دهد. لذا پمپی باید انتخاب شود که در دورهای پایین نیز کار کرده و نیاز سامانه هیدرولیک را پاسخ دهد. پمپ‌هایی با نام PTO PUMP وجود دارد که مخصوص نصب بر روی تراکتور هستند و دور کاری آن‌ها در محدوده ۵۴۰ - ۶۰۰ دور بر دقیقه است. از آن‌جایی که در تهیه این نوع پمپ محدودیت وجود دارد، با انتخاب پمپ با دور بالاتر و سپس تبدیل دور محور توان‌دهی به ۱۴۰۰ دور بر دقیقه این مشکل برطرف شد. برای جلوگیری از مشکلات ناشی از تداخل دبی‌ها که منجر به تغییر در سرعت دورانی هیدروموتورها می‌شود از پمپ هیدرولیکی با دو واحد تامین دبی مجزا و محور مشترک استفاده شد. این پمپ‌ها در بازار با نام پمپ دوپل (ساخت ایران) نام برده می‌شوند. توان مورد نیاز هر یک از واحدهای پمپ هیدرولیکی از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$P_{pump} = 2Q.Pr \quad (14)$$

جهت انجام تنظیمات سرعت دورانی هیدروموتورها از فلوومتر استفاده شد که با تغییر در سطح مقطع جریان یا تغییر در دبی روغن این کار صورت می‌گرفت. جهت جلوگیری از مشکلات ناشی از داغ شدن روغن حین کار مخزن روغن هیدرولیک ۳ برابر بزرگ‌تر از مقدار

بریده‌نشده است به ساقه‌ی خشبی تبدیل خواهد شد. به‌طور کلی بالاتر بردن سرعت دورانی تیغه موجب عملکرد بهتر تیغه خواهد شد اما عامل محدودکننده سرعت دورانی توان در دسترس محور توان‌دهی PTO برای عملیات است. جهت محاسبه مقدار توان مورد نیاز برای چرخش تیغه میان گیاه از رابطه (۱۰) استفاده شد.

$$P_t = P_{cut} + P_c + P_f \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) توان کل مورد نیاز برای چرخش تیغه شامل توان لازم برای برش گیاه P_{cut} ، توان مورد نیاز جهت چرخاندن تیغه با ممان اینرسی I و توان لازم برای غلبه بر نیروی اصطکاک P_f که هر سه پارامتر با واحد وات در رابطه قرار می‌گیرند. برای محاسبه مقدار گشتاور مورد نیاز برای برش گیاه، فرض شد ۹۰ درجه از تیغه درگیر برش می‌باشد. رابطه (۱۱) مقدار توان مورد نیاز برای برش گیاه را نشان می‌دهد.

$$P_{cut} = \frac{C_f F_{XMAX} X_{bu} \omega_{cut}}{60000} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) ضریب C_f نسبت میانگین به بیشینه نیروی لازم برای برش است که در این مطالعه مقدار آن ۰/۶۴ استفاده شد که از نمودار نیرو جابجایی ارائه‌شده توسط (Srivastava, Goering, Rohrbach, & Buckmaster, 2013) استفاده شد. جزء دیگر رابطه (۱۰) شامل P_c است که مربوط به لحظات اولیه و حرکت شتاب‌دار تیغه است و از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید. جزء مربوط به توان اصطکاکی نیز به نسبت وزن تیغه و افت توان تسمه و پولی استفاده‌شده و یتاقان‌های غلتشی است.

$$P_c = I\alpha_c \quad (12)$$

با جمع مقادیر توان مورد نیاز برای تیغه برش توان ۵ کیلووات با سرعت دورانی ۲۵۰۰ دور بر دقیقه برای واحد برش در نظر گرفته شد.

سیستم هیدرولیکی

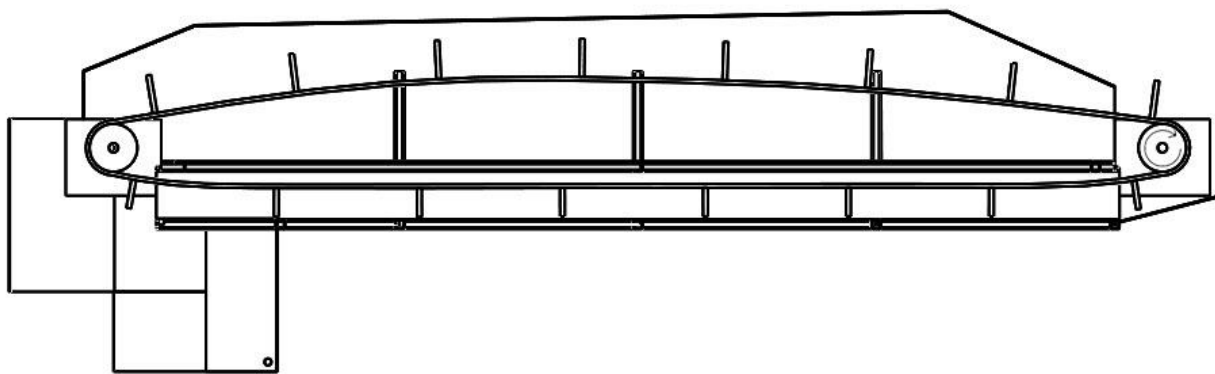
مقادیر سرعت دورانی و گشتاور لازم جهت راه‌اندازی دستگاه برداشت گیاهان دارویی طی مراحل پیش به‌دست آمد. منبع تامین توان نیز محور توان‌دهی تراکتور می‌باشد. جهت انتقال توان از محور توان‌دهی به دو موتور محرک از سیستم هیدرولیکی استفاده شد. موتور اول با دور بیشتر (۱۵۰۰-۲۵۰۰ دور بر دقیقه) و گشتاور به نسبت کمتر (۱۰-۲۰ نیوتن‌متر) برای چرخش تیغه و دومی با دور کمتر (۱۰۰-۲۵۰ دور بر دقیقه) و گشتاور بیشتر (۴۰-۸۰ نیوتن‌متر) در نظر گرفته شد. با توجه به محاسبات اولیه، تراکتوری با دور خروجی PTO آن ۵۴۰ دور بر دقیقه، با جهت چرخش ساعت‌گرد و حداقل توان خروجی ۲۵ اسب بخار، قادر به راه‌انداختن دستگاه برداشت گیاهان دارویی می‌باشد. طیف وسیعی از تراکتورهای موجود در ایران

می‌باشد. با توجه به حساسیت محصول برای عدم تماس با خاک بلافاصله پس از برش گیاهان چیده‌شده باید به تریلر منتقل شوند. مکانیزم انتقالی برای جابه‌جایی محصولات چیده‌شده به تریلر طراحی و ساخته شد. پله‌های لاستیکی قرارداده‌شده برای مکانیزم انتقال از آسیب به محصول جلوگیری می‌کند. برای انتقال مواد به تریلر ارتفاع تریلرهای عمومی موجود در ایران در نظر گرفته شد. ارتفاع، طول مالیند و عرض تریلر در نظر گرفته شده به ترتیب ۱۶۰، ۱۵۰ و ۲۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. مکانیزم انتقال مواد را تا ارتفاع ۲۲۰ سانتی‌متری از سطح زمین بالا می‌برد و پس از رهاسازی در آن ارتفاع از طریق کانال مربوطه به تریلر منتقل خواهد شد. کانال انتقال با سطح مقطع مستطیلی با ابعاد ۱۸×۱۲ سانتی‌متر و فاصله لاستیک ۳۰ سانتی‌متر و سرعت خطی ۰/۶ متر بر ثانیه ظرفیت انتقال حداکثر ۵ کیلوگرم بر ثانیه طراحی و ساخته شد. شکل ۹ شماتیک مکانیزم انتقال را نشان می‌دهد. اجزای لاستیکی توسط زنجیر لینکی سرهم‌بندی شده و بر روی شاسی مکانیزم انتقال اسمبل شده است.

مورد نیاز طراحی و ساخته شد تا روغن هیدرولیک تحت فشار فرصت خنک شدن را داشته باشد. داخل مخزن هیدرولیک ورقه‌هایی جهت افزایش انتقال حرارت و کاهش تکانه‌های موج روغن هیدرولیک در زمان حرکت، قرارداده شد.

مکانیزم انتقال و تغییر ارتفاع دستگاه

با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهان دارویی هدف برداشت، ارتفاع برش از ۱۰ الی ۵۰ سانتی‌متر متغیر است و توسط اهرم تغییر ارتفاع در دستگاه انجام می‌گیرد. ارتفاع پایین برش سبب آسیب به ساختار اصلی گیاه می‌شود. به این معنا که در صورتی که برش در ارتفاع کمتر اتفاق بیفتد طول رشد مجدد گیاه طولانی خواهد شد و بازده مزرعه افت خواهد کرد لذا در این پژوهش حداقل ارتفاع برش ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله‌ی عرضی دستگاه نیز همان‌طور که اشاره شد قابلیت تغییر و تنظیم برای دو ردیف کشت ذکر شده دارد. بازه تغییرات عرضی مکانیزم برداشت ۱۳۰ سانتی‌متر



شکل ۹- طرح‌واره مکانیزم انتقال شامل ۷ لاستیک فعال در مسیر نقطه تخلیه

Fig.9. Schematic of transmission mechanism with 7 rubbers

فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* گیاهی است از رده دولپه‌ای‌های پیوسته گلبرگ که از سبزی‌های خوراکی و دارویی است. به این گیاه سوسنبر، نعنای فلفلی، خال‌وای و آس‌بویه هم می‌گویند. نعنای فلفلی گیاهی است علفی و چند ساله، دارای ساقه‌های رونده و ساقه‌های زیرزمینی، ساقه‌اش چهارگوش به رنگ قرمز مایل به بنفش که برگ‌های بیضی‌شکلی به صورت متقابل روی آن قرار می‌گیرند. گل‌های آن به رنگ بنفش هستند و میوه‌اش کپسولی به رنگ قرمز است که دارای بذرهایی بدون توان رویشی می‌باشد. برداشت نعنای فلفلی در سال ۵ الی ۶ بار بسته به شرایط زراعت انجام می‌شود. مزرعه نعنای فلفلی به صورت ردیفی کشت شد و شرایط مزرعه‌ای برای ردیف‌ها تقریباً یکسان بود و هر تست برای هر ردیف به طول ۱۰ متر انجام می‌گرفت.

سیستم تغییر ارتفاع به صورت مکانیکی در نظر گرفته شد و پس از قرار گرفتن هد برداشت در ارتفاع مناسب توسط کارابین از چرخش اهرم تنظیم ارتفاع جلوگیری می‌شود. بازوهای جمع‌آوری گیاه با هدف برداشتن و منظم کردن شاخه‌های اضافی گیاه طراحی شدند. این بازوها قابلیت تنظیم ارتفاع و زاویه قرارگیری نسبت به خط ردیف را دارند.

ارزیابی

جهت شناخت بهتر عملکرد دستگاه در حالت واقعی اقدام به ارزیابی دستگاه تحت شرایط مختلفی شد. بازده برداشت، ظرفیت برداشت و درصد گیاهان آسیب‌دیده مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی در مزرعه نعنای فلفلی واقع در ورامین استان تهران انجام گرفت. نعنای



شکل ۱۱- تیغه برش ۴۰ دندانه‌ای

Fig.11. 40 teeth blade



شکل ۱۰- تیغه برش ستاره‌ای

Fig.10. Star blade

جدول ۲- ترکیب آزمون‌های مربوط به ماشین برداشت گیاهان دارویی

Table 2- Combination of tests related to the harvester

ردیف	نام آزمون	تیغه برش	چرخ و فلک	سرعت پیشروی	نسبت سرعت چرخ و فلک به پیشروی
Row	Tests name	Cutter blade	Reel	Forward speed (m.s ⁻¹)	
1	A	T	D	1.2	1.30
2	B	T	D	1.8	0.87
3	C	T	R	1.2	1.60
4	D	T	R	1.8	1.06
5	E	S	D	1.2	1.30
6	F	S	D	1.8	0.87
7	G	S	R	1.2	1.60
8	H	S	R	1.8	1.06

نظر گرفته شد. متغیرهای وابسته نیز شامل: بازده برداشت، درصد گیاهان آسیب‌دیده و ظرفیت برداشت تعیین شد. هر آزمون در سه تکرار انجام شد و با توجه به سطوح متغیرهای مستقل ۲۴ آزمون برای دو سرعت پیشروی، دو نوع چرخ و فلک و دو نوع تیغه برای آزمون‌ها استفاده شد. سرعت پیشروی دو سطح ۱/۸ و ۱/۲ متر بر ثانیه، تیغه برش ستاره‌ای^۱ (شکل ۱۰) و ۴۰ دندانه^۲ (شکل ۱۱) با قطر ۲۵۵ میلی‌متر و دو نوع چرخ و فلک میله‌ای^۳ و لاستیکی^۴ به ترتیب با قطر ۲۶۰ و ۳۲۰ میلی‌متر، سطوح مختلف در انجام آزمون‌ها بودند. تغییرات سرعت پیشروی و از طرفی تفاوت قطر چرخ و فلک‌ها عامل ایجاد اختلاف برای نسبت سرعت خطی چرخ و فلک به سرعت پیشروی می‌باشد. از طرح کاملاً تصادفی برای آنالیز آماری استفاده و مقایسه‌های میانگین نیز توسط مدل فیشر انجام شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها با نرم‌افزار Minitab اقدام به تحلیل شد. جدول ۲ ترکیب آزمون‌های مختلف را برای ماشین برداشت نشان می‌دهد.

برای محاسبه بازده برداشت یک ردیف به طول ۱۰ متر با قیچی مخصوص از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از سطح زمین برداشت شد و جرم آن ثبت شد. برگ و ساقه له‌شده و پاره‌شده جزو گیاهان آسیب‌دیده در خروجی ماشین برداشت جداسازی شد و جرم کل آن‌ها به‌منظور محاسبه درصد گیاهان آسیب‌دیده ثبت شد. از آنجایی که سرعت دورانی چرخ و فلک و تیغه پس از طراحی و انجام پیش‌آزمون‌هایی در مقدار مشخصی تنظیم شد لذا در تمامی آزمون‌ها سرعت چرخ و فلک و تیغه برش ثابت و به مقدار ۱۲۰ و ۲۵۰۰ دور بر دقیقه قرار گرفت. بازده برداشت و درصد گیاهان آسیب‌دیده از طریق رابطه (۱۵) و (۱۶) محاسبه شد.

$$\eta = \frac{W_h}{W_t} \times 100 \quad (15)$$

$$D_h = \frac{W_D}{W_h} \times 100 \quad (16)$$

تحلیل آماری

در این تحلیل متغیرهای مستقل شامل: سرعت پیشروی در دو سطح، نوع چرخ و فلک در دو سطح و نوع تیغه برش در دو سطح در

- 1- Star Blade (S)
- 2- 40 teeth (T)
- 3- Rod Reel (D)
- 4- Rubber Reel (R)

نتایج و بحث

بازده برداشت

بازده برداشت درصد گیاهان برش خورده و منتقل شده به انتهای دستگاه به کل گیاهان محدوده مشخص که پتانسیل برداشته شدن را دارند بیان می‌کند. به عبارتی هر قدر بازده برداشت بیشتر باشد مقدار گیاهان به جای مانده و یا تلف شده کمتر است. گیاهان به جای مانده در اثر سازوکار نامناسب دستگاه به صورت برش نخورده باقی و یا پس از برش بر روی زمین باقی می‌مانند. سرعت نامناسب پیشروی نوع چرخ و فلک و تیغه بر این متغیر اثرگذار است. بعضاً در اثر سرعت پیشروی

زیاد دستگاه فرصت گیرانداختن گیاهان مقابل تیغه را نداشته و از وی آن عبور می‌کند. نتایج تحلیل آماری برای ترکیب‌های مختلف دستگاه نشان داد که اثر سرعت پیشروی، نوع تیغه و نوع چرخ و فلک بر بازده برداشت اثرگذار است و اختلاف بازده برداشت برای این حالات مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. جدول ۳ نتایج تحلیل آماری را نشان می‌دهد. مقایسه‌های میانگین با هدف یافتن و دسته‌بندی کردن ترکیب‌های مختلف دستگاه انجام شد و نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- آنالیز آماری مربوط به بازده برداشت دستگاه برداشت گیاهان دارویی

Table 3- Variance analysis of harvesting efficiency in medicinal plant harvester

تیمار Treatment	Df	Ss	Ms	F
عامل Factor	7	2322.3	331.8	**20.84
خطا error	16	254.7	15.9	
جمع Total	23	2577		

جدول ۴- مقایسه‌های میانگین تیمارهای آزمون

Table 4- Mean comparisons of treatments

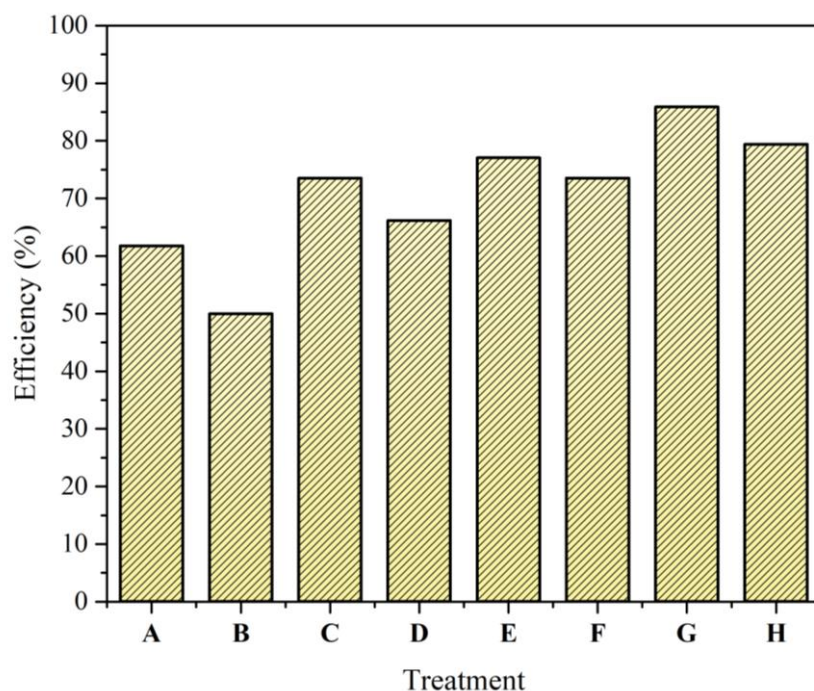
نام آزمون Test name	مقدار میانگین (%) Means amount (%)	گروه Group
G	84.51	a
H	79.804	ab
E	76.667	bc
F	72.255	bcd
C	71.569	cd
D	67.157	de
A	61.176	e
B	51.765	f

هوایی گیاه جهت برش بهره می‌برد. بر این اساس آزمون‌هایی که در آن‌ها تیغه ستاره‌ای نصب شده است از میانگین بازده برداشت بالاتری برخوردارند. از آنجایی که سرعت چرخ و فلک و تیغه در تمامی آزمون‌ها ثابت بود افزایش سرعت پیشروی تناسب بین سرعت چرخ و فلک و سرعت پیشروی را بر هم می‌زند و نتیجه آن کاهش بازده برداشت می‌شود. چرخ و فلک لاستیکی فضای امنی را در برابر تیغه ایجاد می‌کند به طوری که بعضاً در اثر برخورد تیغه با گیاه، اجزای گیاه بریده شده به سمت جلو پرتاب می‌شوند که چرخ و فلک لاستیکی به دلیل فضای بسته‌ای که در مقابل تیغه ایجاد می‌کند از افتادن گیاهان بر روی زمین جلوگیری می‌کند. اما بخش‌های داخلی چرخ و فلک میله‌ای خالی است و تیغه پس از برخورد با گیاه امکان به بیرون

در حالت کلی تیغه برش ستاره‌ای بازده بیشتری را نسبت به تیغه برش ۴۰ پر فراهم می‌آورد. دلیل آن نیز خشبی نبودن ساقه گیاه نعنای فلفلی می‌تواند باشد. فرآیند برش گیاهان به این صورت انجام می‌شود که مقاومت در برابر حرکتی از طرف گیاه باید وجود داشته باشد تا قسمت برنده تیغه بتواند در ساقه آن نفوذ کند و فرآیند برش تکمیل شود. برای تیغه ۴۰ پر این مقاومت در برابر حرکت گیاه توسط چرخ و فلک ایجاد می‌شود و قسمت‌هایی که اجزای چرخ و فلک از روی تیغه عبور می‌کنند فرآیند برش با اختلال روبه‌رو می‌شود و باعث عبور دستگاه از روی گیاه می‌شود و یا گیاه در ارتفاع بیشتری برش می‌خورد. در مقایسه با تیغه ۴۰ پر، تیغه ستاره‌ای به مقاومتی که چرخ و فلک ایجاد می‌کند وابستگی کمتری دارد و از ممان اینرسی اندام

پژوهش نیز افزایش سرعت پیشروی دستگاه برداشت موجب کاهش وزن دانه‌های جمع‌آوری شده می‌شود. به عبارتی بازده برداشت با افزایش سرعت پیشروی کاهش می‌یابد (Chaab, Karparvarfard, 2018; Edalat, & Rahmanian-Koushkaki, 2018).

پرتاب کردن گیاه را دارد. همچنین گیاه تحت شرایطی به دور میله‌ها پیچیده شده و بر روی زمین ریخته می‌شود که وضعیت‌های شرح داده شده سبب اختلاف در بازده برداشت می‌شود. شکل ۱۲ بازده برداشت را برای ۸ حالت مختلف آزمون نشان می‌دهد. در پژوهش مشابهی اثر سرعت پیشروی بر وزن دانه‌های جمع‌آوری شده بررسی شد که در آن



شکل ۱۲- بازده برداشت در وضعیت‌های مختلف دستگاه

Fig.12. Harvesting efficiency in various situations of harvester

سرعت پیشروی ۱/۲ متر بر ثانیه از آزمون B پیشی گرفته و ظرفیت برداشت بیشتری را به خود اختصاص داد. باقی آزمون‌ها به دلیل کم بودن بازده برداشت و سرعت پیشروی زمان بیشتری را صرف برداشت خواهند کرد و ظرفیت برداشت افت خواهد کرد. در تمامی آزمون‌ها روند سرعت پیشروی با ظرفیت دستگاه مستقیم است. تنها در آزمون‌های G و B این مورد نقض شده که دلیل آن بازده برداشت بالای آزمون G می‌باشد. این مورد در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود.

درصد گیاهان آسیب‌دیده

از دیگر پارامترهای مهم در شناخت و ارزیابی یک دستگاه برداشت، آسیب وارده به محصولات برداشت شده است. طی عملیات برداشت برای محصولات حساسی نظیر گیاهان دارویی، بخشی از گیاهان در اثر سایش و ضربه به اجزای فلزی دچار له‌شدگی و پارگی می‌شوند.

ظرفیت برداشت

اختلاف زمانی برای ظرفیت برداشت دستگاه، اولاً به سرعت پیشروی دستگاه و دوماً به بازده برداشت مربوط می‌شود. در صورتی که بازده برداشت و سرعت پیشروی بالا باشد زمان لازم جهت برداشت مقدار مشخصی از محصول کاهش می‌یابد. این متغیر می‌تواند در شناخت عملکرد دستگاه برداشت گیاهان دارویی مفید باشد چرا که زمان برداشت و ظرفیت دستگاه از ویژگی‌های مهم در ارزیابی یک دستگاه برداشت به‌شمار می‌رود. جدول ۵ نتایج آنالیز آماری را برای ظرفیت برداشت دستگاه نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که اختلاف تیمارها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. لذا مقایسه‌های میانگین نیز با استفاده از آزمون فیشر انجام شد و جدول ۶ نتایج آن را نشان می‌دهد. سرعت پیشروی در آزمون‌های A، B، D، E، F، G، H، I، J، K، L، M، N، O، P، Q، R، S، T، U، V، W، X، Y، Z، AA، AB، AC، AD، AE، AF، AG، AH، AI، AJ، AK، AL، AM، AN، AO، AP، AQ، AR، AS، AT، AU، AV، AW، AX، AY، AZ، BA، BB، BC، BD، BE، BF، BG، BH، BI، BJ، BK، BL، BM، BN، BO، BP، BQ، BR، BS، BT، BU، BV، BW، BX، BY، BZ، CA، CB، CC، CD، CE، CF، CG، CH، CI، CJ، CK، CL، CM، CN، CO، CP، CQ، CR، CS، CT، CU، CV، CW، CX، CY، CZ، DA، DB، DC، DD، DE، DF، DG، DH، DI، DJ، DK، DL، DM، DN، DO، DP، DQ، DR، DS، DT، DU، DV، DW، DX، DY، DZ، EA، EB، EC، ED، EE، EF، EG، EH، EI، EJ، EK، EL، EM، EN، EO، EP، EQ، ER، ES، ET، EU، EV، EW، EX، EY، EZ، FA، FB، FC، FD، FE، FF، FG، FH، FI، FJ، FK، FL، FM، FN، FO، FP، FQ، FR، FS، FT، FU، FV، FW، FX، FY، FZ، GA، GB، GC، GD، GE، GF، GG، GH، GI، GJ، GK، GL، GM، GN، GO، GP، GQ، GR، GS، GT، GU، GV، GW، GX، GY، GZ، HA، HB، HC، HD، HE، HF، HG، HH، HI، HJ، HK، HL، HM، HN، HO، HP، HQ، HR، HS، HT، HU، HV، HW، HX، HY، HZ، IA، IB، IC، ID، IE، IF، IG، IH، II، IJ، IK، IL، IM، IN، IO، IP، IQ، IR، IS، IT، IU، IV، IW، IX، IY، IZ، JA، JB، JC، JD، JE، JF، JG، JH، JI، JJ، JK، JL، JM، JN، JO، JP، JQ، JR، JS، JT، JU، JV، JW، JX، JY، JZ، KA، KB، KC، KD، KE، KF، KG، KH، KI، KJ، KK، KL، KM، KN، KO، KP، KQ، KR، KS، KT، KU، KV، KW، KX، KY، KZ، LA، LB، LC، LD، LE، LF، LG، LH، LI، LJ، LK، LL، LM، LN، LO، LP، LQ، LR، LS، LT، LU، LV، LW، LX، LY، LZ، MA، MB، MC، MD، ME، MF، MG، MH، MI، MJ، MK، ML، MM، MN، MO، MP، MQ، MR، MS، MT، MU، MV، MW، MX، MY، MZ، NA، NB، NC، ND، NE، NF، NG، NH، NI، NJ، NK، NL، NM، NO، NP، NQ، NR، NS، NT، NU، NV، NW، NX، NY، NZ، OA، OB، OC، OD، OE، OF، OG، OH، OI، OJ، OK، OL، OM، ON، OO، OP، OQ، OR، OS، OT، OU، OV، OW، OX، OY، OZ، PA، PB، PC، PD، PE، PF، PG، PH، PI، PJ، PK، PL، PM، PN، PO، PP، PQ، PR، PS، PT، PU، PV، PW، PX، PY، PZ، QA، QB، QC، QD، QE، QF، QG، QH، QI، QJ، QK، QL، QM، QN، QO، QP، QQ، QR، QS، QT، QU، QV، QW، QX، QY، QZ، RA، RB، RC، RD، RE، RF، RG، RH، RI، RJ، RK، RL، RM، RN، RO، RP، RQ، RR، RS، RT، RU، RV، RW، RX، RY، RZ، SA، SB، SC، SD، SE، SF، SG، SH، SI، SJ، SK، SL، SM، SN، SO، SP، SQ، SR، SS، ST، SU، SV، SW، SX، SY، SZ، TA، TB، TC، TD، TE، TF، TG، TH، TI، TJ، TK، TL، TM، TN، TO، TP، TQ، TR، TS، TT، TU، TV، TW، TX، TY، TZ، UA، UB، UC، UD، UE，UF，UG，UH، UI，UJ، UK، UL، UM، UN، UO، UP، UQ، UR، US، UT، UY، UZ، VA، VB، VC، VD، VE، VF، VG، VH، VI، VJ، VK، VL، VM، VN، VO، VP، VQ، VR، VS، VT، VU، VV، VW، VX، VY، VZ، WA، WB، WC، WD، WE، WF، WG، WH، WI، WJ، WK، WL، WM، WN، WO، WP، WQ، WR، WS، WT، WU، WV، WW، WX، WY، WZ، XA، XB، XC، XD، XE، XF، XG، XH، XI، XJ، XK، XL، XM، XN، XO، XP، XQ، XR، XS، XT، XU، XV، XW، XX، XY، XZ، YA، YB، YC، YD، YE، YF، YG، YH، YI، YJ، YK، YL، YM، YN، YO، YP، YQ، YR، YS، YT، YU، YV، YW، YX، YY، YZ، ZA، ZB، ZC، ZD، ZE، ZF، ZG، ZH، ZI، ZJ، ZK، ZL، ZM، ZN، ZO، ZP، ZQ، ZR، ZS، ZT، ZU، ZV، ZW، ZX، ZY، ZZ.

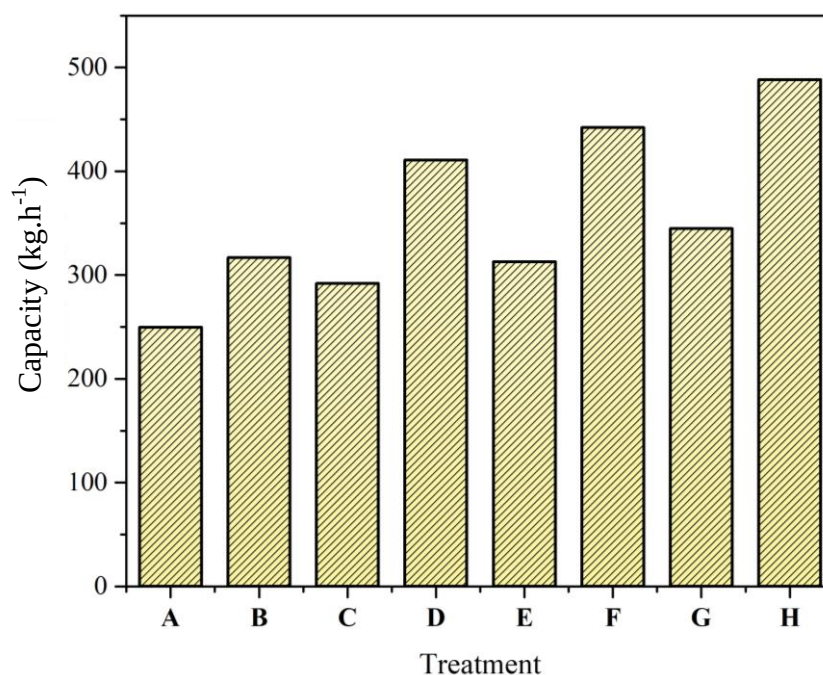
جدول ۵- آنالیز آماری مربوط به ظرفیت برداشت دستگاه

تیما Treatment	Df	Ss	Ms	F
عامل Factor	7	2945.4	420.8	**35.49
خطا error	16	189.7	11.9	
جمع Total	23	3135.1		

جدول ۶- مقایسه‌های میانگین تیمارهای آزمون

Table 6- Mean comparisons of treatments

نام آزمون Test name	مقدار میانگین Means amount (s)	گروه Group
A	249.6	a
C	292	ab
E	312.8	b
B	316.8	b
G	344.8	bc
D	411	cd
F	442.2	d
H	488.4	d



شکل ۱۳- ظرفیت برداشت دستگاه در وضعیت‌های مختلف دستگاه

Fig.13. Capacity in various situations of harvester

اثرگذار بر آسیب واردشده به گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همان‌طور که جدول ۷ نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد، در

این وضعیت کیفیت محصول برداشت‌شده را کاهش می‌دهد و سبب افت قیمت محصول نهایی می‌شود. لذا بررسی و شناخت عوامل

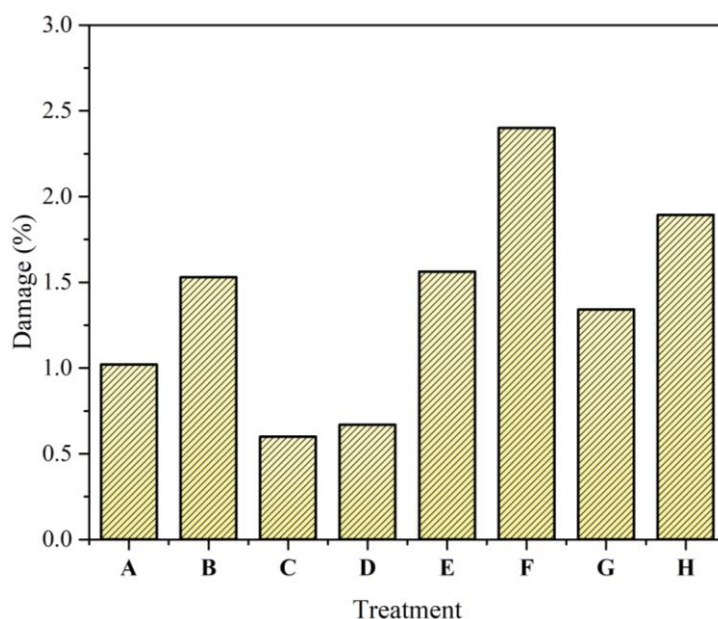
استفاده شده است آسیب وارد شده به گیاه نیز بیشتر می‌باشد (جدول ۷). بخشی از این آسیب مربوط به مکانیزم انتقال و در تمامی تیمارها ثابت است. به عبارتی می‌توان بیان کرد که له شدن برگ گیاهان دارویی ناشی از قرار گرفتن بین لاستیک و اجزای فلزی و یا گیر کردن در زنجیر و چرخ زنجیر می‌باشد که برای تمامی آزمون‌ها ثابت است و بخش عمده برگ‌های بریده شده مربوط به اجزای برنده تیغه می‌باشد. شکل ۱۴ مقدار آسیب وارد شده به گیاهان در خروجی ماشین برداشت را نشان می‌دهد. نهایتاً آسیب وارد شده به گیاه در تمامی آزمون‌ها زیر ۲/۵ درصد می‌باشد که نشان از طراحی و کارکرد مناسب دستگاه می‌باشد.

وضعیت‌های مختلف به کارگیری دستگاه، مقدار آسیب وارد شده به گیاه متفاوت است که در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. می‌توان بیان کرد که با افزایش سرعت پیشروی مقدار آسیب وارد شده به گیاهان افزایش یافته است چرا که میانگین آسیب وارد شده به گیاهان در تیمارهایی که سرعت پیشروی آن‌ها بالا بوده بیشتر است. تیغه برش ستاره‌ای موجب پارگی بیشتر برگ‌ها می‌شود. دندان‌ها در تیغه ۴۰ پر به صورت پیوسته کنارهم قرار دارند و احتمال قرار گرفتن برگ در بین دو دندان تیغه ۴۰ پر بسیار کم است اما در تیغه ستاره‌ای فاصله بین دو پره زیاد است و امکان قرار گرفتن گیاه در این بین و برش مجدد آن وجود دارد. لذا تیمارهایی که در آن‌ها از تیغه ستاره‌ای

جدول ۷- آنالیز آماری برای درصد گیاهان آسیب‌دیده در فرآیند برداشت

Table 7- Variance analysis of leaf damage in medicinal plant harvester

تیمار Treatment	Df	Ss	Ms	F
عامل Factor	7	8.557	1.222	9.85**
خطا Error	16	1.986	0.124	
جمع Total	23	10.543		



شکل ۱۴- آسیب وارد شده به محصول در وضعیت‌های مختلف

Fig.14. Leaf damage in various situations of harvester

درصد، ظرفیت ۳۴۴/۸ کیلوگرم در ساعت و تنها ۱/۳۴ درصد آسیب به برگ نعنای نسبت به سایر آزمایش‌ها مشاهده شد. بنابراین، برای برداشت محصولات مشابه نعنای، استفاده از ترکیب تیغه ستاره، چرخ

نتیجه‌گیری

براساس آزمایش‌های انجام شده برای هشت وضعیت مختلف دستگاه، بهترین عملکرد در آزمون G با راندمان برداشت ۸۵/۸۸

کشت به سفارش شرکت مزارع نوین ایرانیان انجام گرفت و تامین مالی پروژه نیز توسط شرکت مذکور صورت پذیرفت. بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت بی‌دریغ این شرکت و همکاران طرح تشکر و قدردانی دارند.

فلک لاستیکی و سرعت رو به جلو ۱/۲ متر در ثانیه توصیه می‌شود. با این حال، آزمایش‌های جدیدی باید روی محصولات دیگری مانند اسطوخودوس و آن‌هایی که ساقه‌های قوی دارند انجام شود.

سپاسگزاری

طراحی و ساخت دستگاه برداشت گیاهان دارویی در ردیف‌های

جدول ۸- مقایسه‌های میانگین تیمارهای آزمون
Table 8- Mean comparisons of treatments

نام آزمون	مقدار میانگین	گروه
Test name	Means amount (s)	Group
F	2.45	a
H	1.97	ab
E	1.54	bc
B	1.52	bc
G	1.27	cd
A	0.96	cd
D	0.65	d
C	0.63	d

معرفی نمادها

شعاع چرخ و فلک (m)	R	گشتاور خمشی حول نقطه رویش (N.m)	M
زاویه بین میله‌های چرخ و فلک (rad)	α	ضریب الاستیسیته (Pa)	E
تعداد میله‌های چرخ و فلک	n	گشتاور دوم سطح (m^4)	I
سرعت دورانی ($rad.s^{-1}$)	ω_{cut}	زاویه تغییر شکل گیاه در اثر برخورد میله چرخ و فلک (rad)	ϕ_m
حداقل طول نفوذ تیغه در ساقه گیاه برای برش (mm)	X_{bu}	پارامتر طولی مختصات نقطه برخورد (m)	Y_m
شتاب دورانی تیغه ($rad.s^{-2}$)	α_c	پارامتر ارتفاع مختصات نقطه برخورد (m)	Z_m
دبی مورد نیاز هیدروموتور ($lit.min^{-1}$)	Q	پارامتر نیرو (N)	F
نسبت حجم جابه‌جا شده روغن در یک دور چرخش محور ($lit.rev^{-1}$)	D	مقدار پیشروی چرخ و فلک در یک سیکل چرخش (m)	R_0
سرعت دورانی مورد نیاز هیدروموتور (rpm)	N	جرم گیاهان برداشت‌شده (kg)	W_h
جرم گیاهان آسیب‌دیده (kg)	W_D	جرم گیاهان قابل برداشت در یک ردیف ۱۰ متری (kg)	W_t
درصد گیاهان آسیب‌دیده (%)	D_h	بازده برداشت (%)	η

References

1. Abdalla, O. A., Dahab, M. H., Musa, M. M., & Eltayeb, S. N. (2021). Influence of Combine Harvester Forward and Reel Speeds on Wheat Harvesting Losses in Gezira Scheme (Sudan). *International Journal of Scientific Advances*, 2(2), 177-82. <https://doi.org/10.51542/ijscia.v2i2.17>
2. Caniago, I., & Stephen, F. S. (1998). Medicinal plant ecology, knowledge and conservation in Kalimantan, Indonesia. *Economic Botany*, 52, 229-250. <https://doi.org/10.1007/bf02862141>
3. Chaab, R. K., Karparvarfard, S. H., Edalat, M., & Rahmanian-Koushkaki, H. (2018). Prediction Model for Wheat Grain Losses in Header of Simulator by Using Dimensional Analysis Approach. *Journal of Agricultural Machinery*, 8(1), 43-53. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v8i1.59277>
4. Chaab, R. K., Karparvarfard, S. H., Rahmanian-Koushkaki, H., Mortezaei, A., & Mohammadi, M. (2020). Predicting Header Wheat Loss in a Combine Harvester, a New Approach. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2), 179-84. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.002>
5. Duque-Acevedo, M., Belmonte-Urena, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural Waste: Review of the Evolution, Approaches and Perspectives on Alternative Uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00902. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>

6. Hachiya, M., Amano, T., Yamagata, M., & Kojima, M. (2004). Development and Utilization of a New Mechanized Cabbage Harvesting System for Large Fields. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38(2), 97-103. <https://doi.org/10.6090/jarq.38.97>
7. Hante, M. A. (2019). Medicinal Plant. *College of Abouraihan*.
8. Hibbeler, R. C. (2005). Chapter 5: Torsion. *Mechanics of Materials*, 232-233.
9. Ivanović, S., Pajić, M., & Marković, T. (2014). Economic effectiveness of mechanized harvesting of chamomile. *Економика пољопривреде*, 61(2), 319-330. <https://cyberleninka.ru/article/n/economic-effectiveness-of-mechanized-harvesting-of-chamomile> (November 27, 2021). <https://doi.org/10.5937/ekopolj1402319i>
10. Jassim, S. A., & Naji, M. A. (2003). Novel antiviral agents: a medicinal plant perspective. *Journal of applied microbiology*, 95(3), 412-427. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02026.x>
11. Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and bioproducts processing*, 89(3), 217-233. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.04.008>
12. Mathanker, S. K., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2015). Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. *Biosystems Engineering*, 133, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.03.003>
13. Mirmajidi, A., & Pardiskian, S. (2016). Reduce Agricultural Waste by Optimizing Conversion Processes and Post-Harvest Technologies. *Research Institute of Agricultural Engineering. Tehran. Iran*.
14. Oduori, M. F. (1994). undefined Basic Principles of Combine Harvester Reel Design and Operation.
15. Oduori, M. F., Mbuya, T. O., Sakai, J., & Inoue, E. (2012). Modeling of crop stem deflection in the context of combine harvester reel design and operation. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(2), 21-28.
16. Quinlan, M. B., & Quinlan, R. J. (2007). Modernization and medicinal plant knowledge in a Caribbean horticultural village. *Medical Anthropology Quarterly*, 21(2), 169-192. <https://doi.org/10.1525/maq.2007.21.2.169>
17. Reza Hosseini, A., Jafari Naeimi, K., & Morteza Pour, H. (2019). Development and Field Evaluation of a Cabbage Harvester Unit. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.22067/jam.v9i1.62703>
18. Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2013). *Engineering Principles of Agricultural Machines*, Second Edition. Engineering Principles of Agricultural Machines, Second Edition. <https://doi.org/10.13031/epam.2013>
19. Toledo, A. D., Silva, R. P. D., & Furlani, C. E. A. (2013). Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. *Scientia Agricola*, 70, 384-389. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000600002>



Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat Load to a Poultry House

M. Jalali¹, A. Banakar^{2*}, B. Farzaneh³, M. Montazeri⁴

1- PhD Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran

4- PhD Graduated, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: ah_banakar@modares.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090>

Received: 07 February 2022

Revised: 11 April 2022

Accepted: 20 April 2022

Available Online: 20 April 2022

How to cite this article:

Jalali, M., Banakar, A., Farzaneh, B., & Montazeri, M. (2023). Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat Load to a Poultry House. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 285-307. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090>

Introduction

In the poultry industry, reducing energy consumption is essential for reducing costs. Energy requirements in the poultry industry include heating, cooling, lighting, and power line energy. Identifying factors that increase energy usage is crucial, and providing appropriate solutions to reduce costs and energy consumption is inevitable. One of the major and expensive factors in the poultry industry is the use of fossil fuels, which also causes pollution. Energy costs directly impact the cost of production and increase the per capita cost of production in the meat and egg sectors. In Iran, poultry farms are among the most widely used energy consumers, especially for heating breeding halls, making them a significant subset of the agricultural sector.

Materials and Methods

The problem under study is the thermal simulation of a meat poultry farm located in Ardestan city, Isfahan province. Ardestan city is situated in a desert region in the north of Isfahan province, at a latitude of 33 degrees and 23 minutes north, and a longitude of 52 degrees and 22 minutes east. The dimensions of the poultry hall floor are 5 meters by 8 meters, and it has a capacity of 300 poultry pieces. There are two inlet air vents (windows), each with dimensions of 1.90 by 1.6 meters. The roof has an average height of 2.5 meters and is sloping, made from a combination of plastic carton, fiberglass, and sheet metal.

To reduce energy consumption in this poultry farm, a solar heating system is designed and studied in this research. The farm is one of the functions of Isfahan province, with dimensions of 8 meters in length and 5 meters in width. The simulation is performed using TRNSYS software.

Results and Discussion

The results demonstrate that a collector surface area of 26 m² is necessary to reach the technically optimal point, where the sun's maximum production is achieved with no energy dissipation. Furthermore, the findings indicate that a balance of 16 m² is required to align the solar system with the auxiliary system.

Conclusion

By installing 2 square meters of solar collectors, 5.2% of the total energy demand can be met with solar

energy. To fully meet the energy demand using solar energy, a collector area of 30 square meters is required. As the solar fraction increases, the system's ability to extract solar energy also increases. The maximum production of solar energy without any wastage is achievable with a collector area of 26 square meters. Moreover, to maintain a balance between the use of solar energy and the auxiliary system, a collector area of 16 square meters is needed.

Keywords: Energy, Numerical modeling, Poultry, Solar collector

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۲۸۵-۳۰۷

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی به‌منظور تامین بار حرارتی یک سالن مرغداری

منصور جلالی^۱، احمد بناکار^{۲*}، بهفر فرزانه^۳، مهدی منتظری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

چکیده

در این مطالعه، به طراحی یک سیستم حرارتی خورشیدی با هدف کاهش مصرف انرژی در یک مرغداری پرداخته شد. مرغداری مورد مطالعه دارای ۸ متر طول، ۵ متر عرض و ۲/۵ متر ارتفاع است. در این راستا جمع‌کننده‌های حرارتی خورشیدی مختلف مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مساحت سطح جمع‌کننده خورشیدی برای دستیابی به بیشترین بهره از انرژی خورشیدی پیشنهاد شد. در این مطالعه جمع‌کننده خورشیدی از نوع صفحه تخت (FPC) است. علاوه بر این، برای تامین ۵۰ درصد انرژی از خورشید (و مابقی از سیستم ترکیبی) سطح مورد نیاز برای جمع‌کننده پیشنهاد می‌شود. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS انجام شد. نتایج نشان داد که برای دریافت بیشترین میزان انرژی خورشیدی (کسر خورشیدی حداکثر)، سطح جمع‌کننده‌ای معادل با ۳۰ مترمربع مورد نیاز است. اما زمانی که دیدگاه اقتصادی مد نظر قرار گیرد، سطح جمع‌کننده‌ای معادل با ۲۶ مترمربع توصیه می‌شود. علاوه بر این نتایج نشان داد که برای برقراری تعادل بین سیستم خورشیدی و سیستم کمکی، نیاز به سطح جمع‌کننده‌ای معادل ۱۶ مترمربع است. با نصب ۲ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی، می‌توان ۵/۲ درصد انرژی کل را به‌وسیله خورشید تامین کرد. همچنین با افزایش کسر خورشیدی، توانایی سیستم در استحصال از انرژی خورشیدی بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی، جمع‌کننده خورشیدی، طیور، مدل‌سازی عددی

مقدمه

سوخت‌های فسیلی است. بنابراین، با به‌کارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی می‌توان تا حدودی از این منبع انرژی استفاده کرد و تا حد بسیار زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرد (Herrando, Pantaleo, Wang, & Markides, 2019). صنعت طیور یکی از صنایع پر مصرف انرژی است که مقادیر زیادی سوخت را مصرف می‌کند، خصوصاً برای بخش جوجه‌گوشی که به‌منظور حفظ دمای مورد نیاز برای پرورش جوجه‌ها، به میزان زیادی برای سیستم‌های گرمایشی خود، سوخت دیزل، بنزین یا گاز مصرف می‌کند. دمای مورد نیاز خانه پرندگان گوشتی بسته به سن پرندگان از ۲۲ تا ۳۲ درجه سلسیوس متغیر است. با توجه به افزایش هزینه‌های انرژی و تأثیر منفی آن بر روی صنایع پر مصرف انرژی مانند مرغداری، یافتن یک منبع تجدیدپذیر انرژی برای استفاده به‌عنوان جایگزینی برای سیستم‌های پرورش طیور مبتنی بر سوخت فسیلی بسیار مهم است. هدف آن است که علاوه بر حفظ سلامت پرندگان، شرایطی برای دستیابی به سرعت رشد یکنواخت آن‌ها و حداکثر کردن تراکم گله پرندگان، حاصل شود. سیستم‌های گرمایش تکمیلی نقش

انرژی خورشیدی یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. از کل انرژی منتشرشده توسط خورشید، تنها در حدود ۴۷ درصد آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت، انرژی در حدود ۶۰ میلیون بی‌تی‌یو دریافت می‌کند، یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی‌های ناشی از احتراق کل

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران

۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: ah_banakar@modares.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090>

انرژی را در این بخش بیش از پیش روشن می‌کند (Goodarzi, Kazemi, Kashanizadeh, Bogri, & Yaghoubi, 2016). شبیه‌سازی‌های حرارتی می‌تواند مشکلات احتمالی در سامانه‌های مرغداری را به‌طور دقیق پیش‌بینی کرده و منجر به استراتژی‌های مناسب برای صرفه‌جویی در انرژی شود (Wang, Li, Liang, & Zheng, 2020). در یک پژوهش عددی، یک استراتژی ترکیبی برای پنل‌های فتوولتائیک به‌منظور افزایش انتقال حرارت پیشنهاد شد. در آن مطالعه نشان داده شد که با استفاده از یک جمع‌کننده گرمایی جدید و مواد تغییرفازدهنده می‌توان گرمایش فضا یا گرمایش آب گرم را به‌صورت سریع تامین کرد. در آن مطالعه، بهترین عملکرد سیستم در حالت زاویه پنل ۳۵ درجه و زاویه باد ۴۵ درجه گزارش شد (Jurčević, Nižetić, Marinić-Kragić, & Čoko, 2021). در یک مطالعه، یک سیستم حرارتی فتوولتائیک پیشنهاد شد که فناوری فتوکاتالیستی و سلول‌های فتوولتائیک آلی را ترکیب می‌کرد و می‌توانست برای تامین برق و حرارت یک فضا مورد استفاده قرار گیرد. در آن مطالعه یک مدل انتقال گرما و جرم برای سیستم جدید ایجاد شد و عملکرد حرارتی و الکتریکی سیستم تحت شرایط کاری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تابش خورشیدی و دمای محیط، بازده الکتریکی و حرارتی سیستم افزایش می‌یابد. همچنین نشان داده شد هرچه دمای جریان آب ورودی بیشتر باشد، بازده حرارتی سیستم کمتر است، اما راندمان الکتریکی سیستم بالاتر می‌رود (Liu, Jin, Li, Zhao, & Badiei, 2022). در مطالعه دیگر، عملکرد حرارتی یک سیستم فتوولتائیک با کانال‌های موازی مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق مذکور، دمای ماژول‌های فتوولتائیک کم و به‌طور مساوی توزیع شد و نتیجه گرفته شد که با تعداد کانال‌های کمتر از ۱۰ عدد، افت فشار کانال‌های خنک‌کننده، حداقل است. در آن تحقیق نشان داده شد که با افزایش نسبت قطر بین کانال اصلی و کانال‌های فرعی، دمای ماژول‌های فتوولتائیک کاهش می‌یابد (Shen et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک از منظر قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعه‌ای که در یکی از شهرهای چین صورت گرفت، مشخص شد که از نظر قانون اول ترمودینامیک، وقتی تابش خورشیدی نسبتاً بالا باشد، اقتصاد انرژی بدتر می‌شود. در آن تحقیق نشان داده شد که اکسرژی اقتصادی و اکسرژی خروجی با یکدیگر رابطه عکس دارند (Li & Jing, 2017). در یک مطالعه، به بررسی تاثیر استفاده از یک سیستم خورشیدی و یک سیستم کنترل اقلیمی به‌منظور افزایش بازده انرژی یک مرغداری پرداخته شد (Gad, El-Shazly, Wasfy, & Awany, 2020). در این مطالعه، عملکرد مرغداری از نظر رطوبت نسبی، غلظت آمونیاک، تولید طیور، نرخ تبدیل خوراک، توان مورد نیاز و هزینه تولید ارزیابی

مهمی در مدیریت شرایط محیطی به‌ویژه در مرحله رشد دارند (Donald, 2009). تولید برق با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک (PV) از مهم‌ترین راه‌های استفاده از انرژی خورشیدی در جهان است. فناوری فتوولتائیک به‌تدریج به دلیل پیشرفت تکنولوژی و کاهش هزینه در سال‌های اخیر به بخش کشاورزی وارد شده است. استفاده از فناوری مذکور در کشاورزی می‌تواند نه تنها صرفه‌جویی در انرژی و حفاظت از محیط زیست را تحقق بخشد، بلکه تحولی ایجاد می‌نماید که می‌تواند کشاورزی سنتی را به کشاورزی مدرن تبدیل کند (Francis, 2002). امروزه با توجه به بحران انرژی جهانی و محیط زیست، تولید برق خورشیدی دارای مزایای چشمگیر در پایداری منابع و محیط زیست است، به‌طوری‌که کشاورزی مدرن به شدت وابسته به تامین انرژی از سوخت‌هایی غیر از سوخت‌های فسیلی است. کشاورزی فتوولتائیک یعنی تولید انرژی خورشیدی برای تامین برق پایدار برای فعالیت‌های مربوط به تولید محصولات کشاورزی مانند کاشت، پرورش دام و طیور، آبیاری، گلخانه و غیره (Xue, 2017). در مناطق روستایی دورافتاده، نیروگاه برق خورشیدی به دلیل دسترسی ناچیز به کمبود برق یا نبود برق به‌عنوان یک راه‌حل مناسب مطرح است (Shyu, 2013). بسیاری از توابع در مرغداری‌های صنعتی توسط سامانه‌های اتوماتیک کنترل می‌شوند که پارامترهای آن توسط تولیدکننده تعیین می‌شود. همچنین تامین نور مناسب نقش مهمی در رشد و تغذیه پرندگان دارد. امنیت تامین برق به جهت فراهم کردن نور (که بر رشد طیور اثر می‌گذارد)، سیستم‌های خنک‌کننده برای حفظ دمای پایدار (در جهت افزایش بهره‌وری) و تهویه (برای کاهش گرد و غبار و بیماری‌ها) ضروری است (Byrne, Glover, Hegedus, & VanWicklen, 2005). پرورش‌دهندگان نیاز به دانستن میزان مصرف انرژی سالن مرغداری خود دارند و با دقت، میزان مصرف انرژی را در مورد تهویه، گرمایش و سرمایش پیش‌بینی کرده‌اند که برای برخی از سامانه‌های پرورش نمایانگر عمده مصرف انرژی است (Costantino, Fabrizio, Biglia, Cornale, & Battaglini, 2016). در کشور ایران، مرغداری‌ها به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های بخش کشاورزی از پرمصرف‌ترین بخش‌های انرژی هستند که قسمت عمده مصرف آن‌ها مربوط به گرمایش سالن‌های پرورش است (Shahini, Saadat fard, & Taki, 2018). در کنار این واقعیت، تغییر شرایط محیطی مانند دما، تاثیر به‌سزایی در میزان تولید و تلفات مرغداری می‌گذارد. از این حیث بهینه‌سازی مصرف انرژی و روش اعمال آن در این صنعت اهمیت بسیار بالایی دارد (Koochakzadeh & Tajri, 2014). وجود بیش از ۱۵۰۰۰ واحد مرغداری پرورش‌دهنده فعال مرغ گوشتی، بیش از ۳۵۰ واحد مرغ مادر، بیش از ۱۵۰۰ واحد مرغ تخم‌گذار و مصرف سرانه ۱/۹۵ لیتر نفت جهت تولید هر قطعه مرغ، اهمیت کنترل و بهینه‌سازی مصرف

مسأله مورد مطالعه، شبیه‌سازی سامانه حرارتی خورشیدی تامین حرارت سالن یک مرغداری گوشتی در شهرستان اردستان از توابع استان اصفهان است. شهرستان اردستان واقع در شمال استان اصفهان در یک منطقه کویری با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی واقع شده است. ابعاد کف سالن مرغداری ۵ متر در ۸ متر با ۲/۵ متر ارتفاع و با ظرفیت ۳۰۰ قطعه است. در شکل ۱، شماتیک سالن مرغداری نشان داده شده است. ورودی‌های هوای ورودی (پنجره) ۲ عدد به ابعاد ۱/۹۰ در ۱/۶ متر می‌باشد. میانگین ارتفاع سقف ۲/۵ متر می‌باشد و سقف به‌صورت شیروانی و به‌صورت ترکیبی از کارتن پلاست و پشم شیشه و ورق فلزی است. جدول ۱ مشخصات قسمت‌های مختلف مرغداری مورد بررسی را نمایش می‌دهد. سیستم گرمایشی موجود در مرغداری از نوع جت هیتراست که از شرکت نیرو تهویه دماوند تهیه شده است و الکتروموتور آن ساخت کشور ایران (شرکت الکتروژن) است که یک دستگاه از آن در سالن وجود دارد و مشخصات آن مطابق جدول ۲ (طبق مشخصات پلاک جت هیترا موجود) است. علاوه بر این مشخصات جمع‌کننده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

فرضیات و فیزیک مرغداری مورد مطالعه

موقعیت مکانی مرغداری، شرقی- غربی است (به علت وزش باد منطقه) و فن‌ها (هواکش‌های سالن) در جهت غربی قرار دارند. پنجره از نوع فلزی معمولی تک‌جداره است و جنس درب، فلزی است. ضخامت دیوارهای مرغداری ۲۰ سانتی‌متر است و از سیمان سیاه در دو طرف اندود شده است. همچنین کف مرغداری، سیمان‌کاری شده است. در این تحقیق فرض بر آن است که شروع کار مرغداری، ساعت اول ماه ژانویه است. بدین ترتیب هر ۵۶ روز یک‌بار، یک سیکل مرغداری صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که زمان بین هر سیکل ۱۵ الی ۲۰ روز است، لذا در این تحقیق فاصله بین دو سیکل، ۱۷ روز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ارائه اطلاعات کامل در خصوص پراکنش دمای مطلوب در سالن مرغداری نسبت به سن جوجه‌ها و همچنین فعال بودن مرغداری، پروفایل شکل ۲ که به‌صورت ساعت به ساعت در طول سال نسبت به سن جوجه و فعال بودن سالن می‌باشد، ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، دمای مطلوب برای نگهداری جوجه‌ها در سه روز اول برابر با ۳۲/۲ درجه سلسیوس است. این دما به‌صورت پله‌ای در طول روزهای بهره‌برداری کاهش می‌یابد تا در روز ۲۱ام به دمای ثابت ۲۱/۱ درجه سلسیوس می‌رسد. در فاصله زمانی بین دو بهره‌برداری از آنجایی که دمای داخل سالن کنترل نمی‌شود و سیستم گرمایش خاموش می‌شود و به‌دلیل ضدعفونی محیط داخل، درب‌های سالن باز می‌شود، لذا دمای داخل سالن با دمای بیرون برابر فرض شده است.

شد. بررسی‌ها نشان داد که بازده سیستم گرمایش خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک به‌ترتیب حدود ۷۱/۶ درصد و ۱۲/۵ درصد بودند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در شرایط بهینه برای افزایش تولید طیور، هزینه تولید معادل ۱/۱۲ دلار آمریکا بر کیلوگرم است. در یک تحقیق، تحلیل کیفی عوامل موثر بر امکان‌سنجی استفاده از فناوری خورشیدی در صنعت طیور انجام شد (Mohammadi, Mirdamadi, Farajollah Hosseini, & Lashgarara, 2021). داده‌ها با انجام مصاحبه‌های فنی ساختاریافته با ۱۳ نفر از کارشناسان کشاورزی متخصص جمع‌آوری شد. تحلیل داده‌ها را با استفاده از نرم‌افزار MAX در سه مرحله کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی برای شناسایی ابعاد، دسته‌های اصلی، زیرمجموعه‌ها و مفاهیم مرتبط با کدها انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از انرژی خورشیدی، امن‌تر و دارای چالش بسیار کمتر نسبت به سایر منابع انرژی است. در یک مطالعه یک سیستم گرمایشی جدید و تجدیدپذیر برای یک مرغداری واقع در انگلیس معرفی شد (Cui, Theo, Gurler, Su, & Saffa, 2021). هدف آن مطالعه بهبود بازده انرژی و کاهش گازهای مضر و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی بود. رویکرد مطالعه آن‌ها، استفاده از روش‌های تجربی و عددی به‌طور هم‌زمان بود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که خروجی الکتریکی و حرارتی، سالانه به‌ترتیب ۱۱۸۶۷ کیلووات ساعت و ۳۰۲۴۵ کیلووات ساعت است که نه تنها می‌تواند نیاز برق مرغداری را تامین کند، بلکه می‌تواند ۴۳/۵ درصد نیاز برق کمپرسور پمپ حرارتی را نیز تامین کند (Cui et al., 2021).

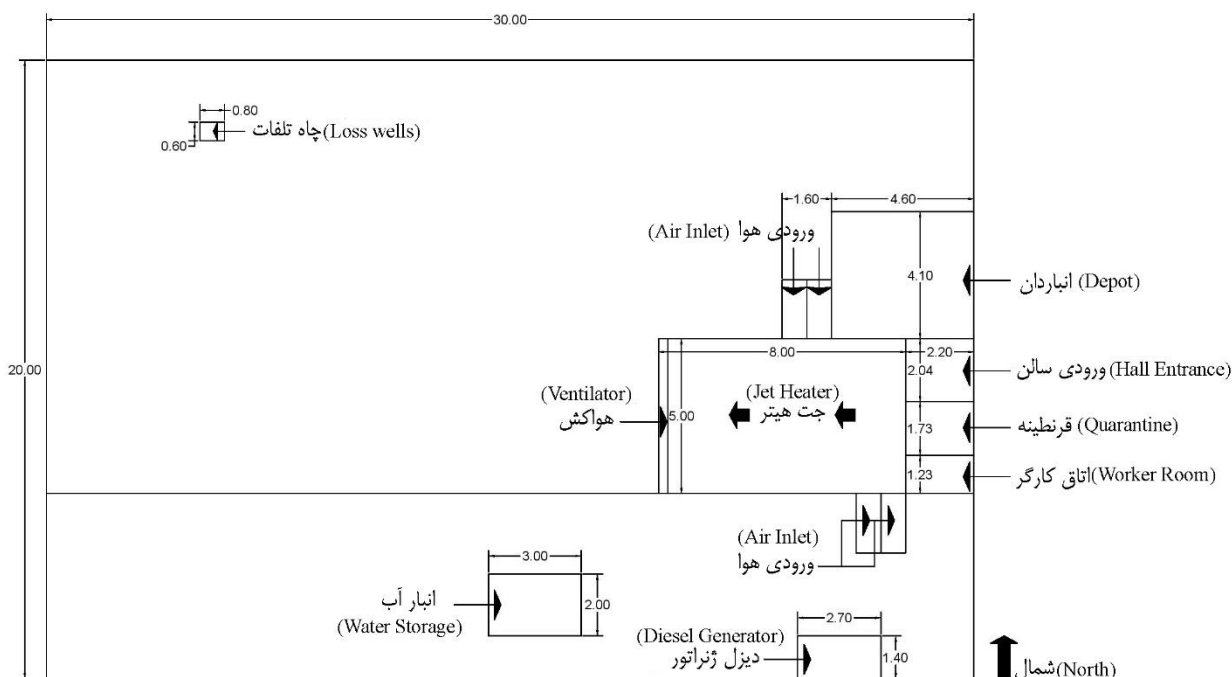
با توجه به مرور ادبیات می‌توان دریافت که بیشتر مطالعات بر روی راه‌های افزایش انتقال حرارت، افزایش بازده انرژی و هندسه سیستم است. با این وجود به نظر می‌رسد که مطالعه در مورد طراحی یک سیستم گرمایش ترکیبی (برای مرغداری) با رویکرد اقتصادی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش از یک طرح ترکیبی (متشکل از یک سیستم کمکی و یک سیستم حرارتی خورشیدی) به‌منظور تامین حرارت یک سالن مرغداری با هدف کاهش هزینه‌ها و حفظ سلامت پرندگان استفاده می‌شود. با توجه به کاهش هزینه‌ها و بررسی میزان حرارت مورد نیاز، سامانه حرارتی خورشیدی با سطح مقطع‌های متفاوت از نظر میزان انرژی تولیدشده با یکدیگر مقایسه می‌شوند و هزینه سرمایه‌گذاری و درآمد سالانه در هر بخش با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند و در انتها، حالت بهینه (با هدف تامین حرارت مورد نیاز و کاهش هزینه‌ها) مشخص می‌شود.

مواد و روش‌ها

بیان مسأله

فرایندها را به صورت ساعت به ساعت دارد، لذا فایل مربوط به شرایط آب و هوایی به صورت ساعتی شبیه‌سازی گردید. لازم به ذکر است که زمان شروع تمامی نمودارهایی که در ادامه می‌آیند از اول ژانویه می‌باشد.

ویژگی‌های آب و هوایی محل در جدول ۴ نشان داده شده است. شرایط اقلیمی شهرستان اردستان با استفاده از نرم‌افزار Metonorm به صورت سالانه شبیه‌سازی شده است. این شبیه‌سازی براساس فایل TMY2 به صورت یک فایل خارجی به نرم‌افزار TRNSYS وارد شده است. با توجه به این که نرم‌افزار TRNSYS قابلیت شبیه‌سازی کلیه



شکل ۱- شماتیک سالن مرغداری (واحد اعداد نشان داده شده در شکل متر است)

Fig.1. Schematic of the poultry hall (the unit of numbers shown in the figure is the meter)

جدول ۱ - مشخصات قسمت‌های مختلف مرغداری مورد بررسی

Table 1- Specifications of different parts of poultry

مشخصه Property	طول Length (m)	عرض Width (m)	ارتفاع Height (m)	سطح Surface (m ²)	تعداد Number	سطح کل Area (m ²)
دیوارها Walls	9	5	2.5	65	-	65
پنجره‌ها Windows	1.9	1.6	-	3.04	2	6.08
درها Doors	2	2	-	4	1	4

همچنین محاسبات سیستم فتوولتائیک.

- شدت تابش خورشیدی کل در سطح افق به منظور محاسبات بار حرارتی، آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.
- شدت تابش پراکنده در سطح افق به منظور محاسبات بار حرارتی، آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.
- زاویه تابش خورشیدی افق به منظور محاسبات آبگرمکن

اطلاعات کلی شرایط آب و هوایی که در مدل‌سازی مورد نیاز می‌باشند، عبارتند از:

- دمای هوا به منظور برآورد بار حرارتی ساختمان، شبیه‌سازی سیستم حرارتی خورشیدی و شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک.
- رطوبت نسبی به منظور برآورد میزان رطوبت داخل فضا.
- سرعت و جهت باد به عنوان دو عامل مهم در تهویه هوا و

خورشیدی و سیستم فتوولتائیک. و سیستم فتوولتائیک.
 - زاویه سمت خورشیدی به‌منظور محاسبات آبگرمکن خورشیدی ویژگی آب و هوای محل در تمامی ماه‌های سال در پیوست الف و سیستم فتوولتائیک.
 - زاویه ارتفاع خورشیدی به‌منظور محاسبات آبگرمکن خورشیدی ارائه شده است.

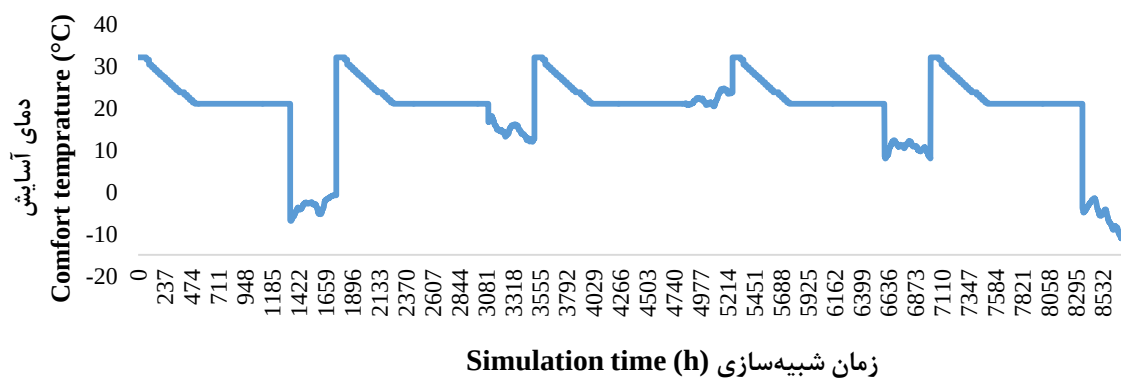
جدول ۲- مشخصه سیستم گرمایشی سالن مرغداری بر اساس پلاک روی دستگاه جت هیتر ساخت ایران (شرکت نیرو تهویه دماوند)
Table 2- Characteristics of poultry hall heating system based on license plate on jet heater made in Iran (Damavand Niroo Tahviah Co)

مشخصه Property	مقدار Value
توان حرارتی Thermal power	116.3 kW
بازدهی Efficiency	99%
سوخت مصرفی Fuel	Natural gas
نوع مشعل Torch type	Hybrid
میزان هوادهی The amount of aeration	7000 m ³ .h ⁻¹
حداکثر فضای تحت پوشش Maximum covered space	4000 m ³
قدرت الکتروموتور Electromotor power	550 W
دور الکتروموتور Electromotor speed	1450 R.P.M
جریان Electric current	2.9 A
ضریب توان Power factor	0.97
ولتاژ Voltage	220 V
فرکانس Frequency	50 Hz
فاز Phase	1
عملکرد Duty	S1
کلاس حفاظتی Enclosure	54
ظرفیت حرارتی Heat capacity	100000 kCal
حداکثر مصرف سوخت Maximum fuel consumption	12 m ³ .h ⁻¹
وزن Weight	80-90 kg
استانداردها Standards	ISO 10002-2004, CE, ISO 9001-2008

جدول ۳- مشخصات جمع‌کننده

Table 3- Collector specifications

مشخصه Property	مقدار/توضیحات Value/Description
نوع جمع‌کننده Type of collector	صفحه لوله‌ای Tube plate
جنس صفحه Plate material	آلومینیوم Aluminum
رنگ پوشش صفحه Cover color of plate	سیاه مات Matte black
ضریب صدور صفحه Emission coefficient of the plate	0.9
ضریب هدایت حرارتی صفحه Thermal conductivity of the plate	$211 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
ابعاد جمع‌کننده Collector dimensions	$2 \times 1 \text{ m}^2$ $3 \times 2 \text{ m}^2$ $3.2 \times 2.5 \text{ m}^2$
ضریب صدور پوشش Emission coefficient of the cover	0.85
ضخامت عایق اطراف Insulation thickness around	0.02 m
ضریب هدایت حرارتی عایق‌ها Thermal conductivity of insulators	$0.05 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
سیال عامل Working fluid	آب Water
جنس بازتابنده‌ها The material of the reflectors	استیل ۳۰۴ Steel 304
شیب قرارگیری جمع‌کننده Slope of the collector	45°



شکل ۲- پراکندگی دمای مطلوب در سالن مرغداری نسبت به سن جوجه‌ها

Fig.2. Distribution of the desired temperature in the poultry house in relation to the age of the chickens

جدول ۴- ویژگی‌های آب و هوا و تابش خورشید در محل براساس داده‌های نرم‌افزار Metronorm

Table 4- Characteristics of climate and solar radiation in the place based on the data of Metronorm software

	دما Temperature	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	سرعت باد Wind velocity (m.s ⁻¹)	زاویه جهت باد Wind direction angle
حداقل Minimum	-8.88	9.89	0	7.62
حداکثر Maximum	44.33	98.45	7.9	358.15
	شدت تابش خورشید در سطح افق Intensity of sunlight on the horizon	زاویه افق خورشیدی The angle of the solar horizon	زاویه ارتفاع خورشیدی Solar elevation angle	زاویه سمت خورشیدی Solar angle
حداقل Minimum	378.15	10.06	59.72	10.03
حداکثر Maximum	639.3	89.82	116.047	98.98

مدل‌سازی مسأله

معادلات مدل جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت

انرژی جذب‌شده در جمع‌کننده‌هایی که به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Hottel & Woertz, 1942)

$$\dot{Q}_U = \frac{A}{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} F_{R,j} (I_T - (\tau\alpha) - U_{L,j}(T_{i,j} - T_a)) \quad (1)$$

که در آن $F_{R,j}$ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Zelzouli, Guizani, Sebai, & Kerkeni, 2012)

$$F_{R,j} = \frac{N_s \dot{m}_c C_{pc}}{AU_{L,j}} \left(1 - \exp \left(\frac{F' U_{L,j} A}{N_s \dot{m}_c C_{pc}} \right) \right) \quad (2)$$

مقدار F' ضریب بازدهی جمع‌کننده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Zelzouli et al. 2012)

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L(D+W-D)F} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (3)$$

ضریب عبور و جذب^۲ کل نیز از رابطه (۴) به‌دست می‌آید (Duffie & Beckman, 1991)

$$(\tau\alpha) = \frac{I_{bT}(\tau\alpha)_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) (\tau\alpha)_s}{I_T} + \frac{\rho I \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) (\tau\alpha)_g}{I_T} \quad (4)$$

دمای خروجی از هر مدول جمع‌کننده خورشیدی نیز از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Zelzouli et al., 2012)

$$T_{o,j} = \frac{AF_{R,j}(I_t(\tau\alpha) - U_{L,j}(T_{i,j} - T_a))}{N_s \dot{m}_c C_{pc}} \quad (5)$$

در صورتی که هیچ جریانی از جمع‌کننده عبور نکند، دمای راکد

1- Collector Fin Efficiency Factor

2- $(\tau\alpha)$

جمع‌کننده از رابطه (۶) ارزیابی می‌شود (Zelzouli et al., 2012).

$$T_p = \frac{I_T(\tau\alpha)}{U_L} + T_a \quad (6)$$

ضریب تلفات انرژی کل جمع‌کننده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Klein et al., 2007)

$$U_{L,j} = \frac{3.6}{\frac{N_G}{T_{p,j} - \left(\frac{T_{av,j} - T_a}{N_G + f} \right)^{0.33} + \frac{1}{h_w}}} + \frac{3.6\sigma(T_{av,j}^2 + T_a^2)(T_{av,j} + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.5N_G(1-\varepsilon_p)} + \frac{2N_G + f - 1}{\varepsilon_g} - N_G} \quad (7)$$

که،

$$h_w = 5.7 + 3.8 \frac{W}{m^2 K} \quad (8)$$

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N_G)$$

$c = 365.9(I - 0.00883\beta + 0.0001298\beta^2)$
نرخ بازده داخلی (IRR)، به نرخ تنزیلی گفته می‌شود که ارزش فعلی خالص (NPV) را برای تمامی جریان‌های نقدی یک پروژه، برابر صفر می‌کند که برای محاسبه آن از فرمول NPV استفاده می‌گردد (Kim, 2018).

$$NPV = \sum_{t=1}^t \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0 \quad (9)$$

به‌منظور محاسبه IRR لازم است NPV را با صفر برابر قرار داده و نرخ تنزیل آن را به‌دست آورد. به عبارت دیگر می‌توان نوشت (Kim, 2018):

$$0 = \sum_{t=1}^t \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0 \quad (10)$$

کسر خورشیدی (solar fraction) از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (Flynn & Siren, 2013)

$$solar \ fraction = \frac{E_s}{E_T} \quad (11)$$

که E_T کل انرژی مورد نیاز برابر است با مجموع کل انرژی خورشیدی دریافت شده و انرژی کمکی است. جدول ۵ فرضیات استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۵- فرضیات حل مسئله سیستم حرارتی خورشیدی

Table 5- Assumptions to solve the solar heating system problem

مشخصه Property	مقدار Value	واحد Unit
نوع مؤلفه Component Type	Type 1b	-
نوع جمع‌کننده Collector Type	Flat Plate Collector	-
مساحت جمع‌کننده Collector area	Variable	m ²
گرمای ویژه سیال Fluid specific heat	4.19	kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
سرعت جریان تست شده Tested flow rate	40	kg.h ⁻¹ .m ⁻²
کارایی رهگیری Intercept efficiency	0.8	-
شیب بهره‌وری Efficiency slope	13	kJ.h ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻¹
انحنای بازده Efficiency curvature	0.05	kJ.h ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻²
حالت نوری ۲ Optical mode 2	2	-
مرتبه ۱ IAM 1st-order IAM	0.2	-
مرتبه ۲ IAM 2nd-order IAM	0	-
دمای ورودی Inlet temperature	Variable	°C
نرخ جریان ورودی Inlet flow rate	Variable	kg.h ⁻¹
دمای محیط Ambient temperature	Variable	°C
تابش فرودی Incident radiation	Variable	kJ.h ⁻¹ .m ⁻²
تابش کل افقی Total horizontal radiation	Variable	kJ.h ⁻¹ .m ⁻²
تابش پراکنده افقی Horizontal diffuse radiation	Variable	kJ.h ⁻¹ .m ⁻²
بازتاب زمین Ground reflectance	0.2	-
شیب جمع‌کننده Collector slope	45	degree

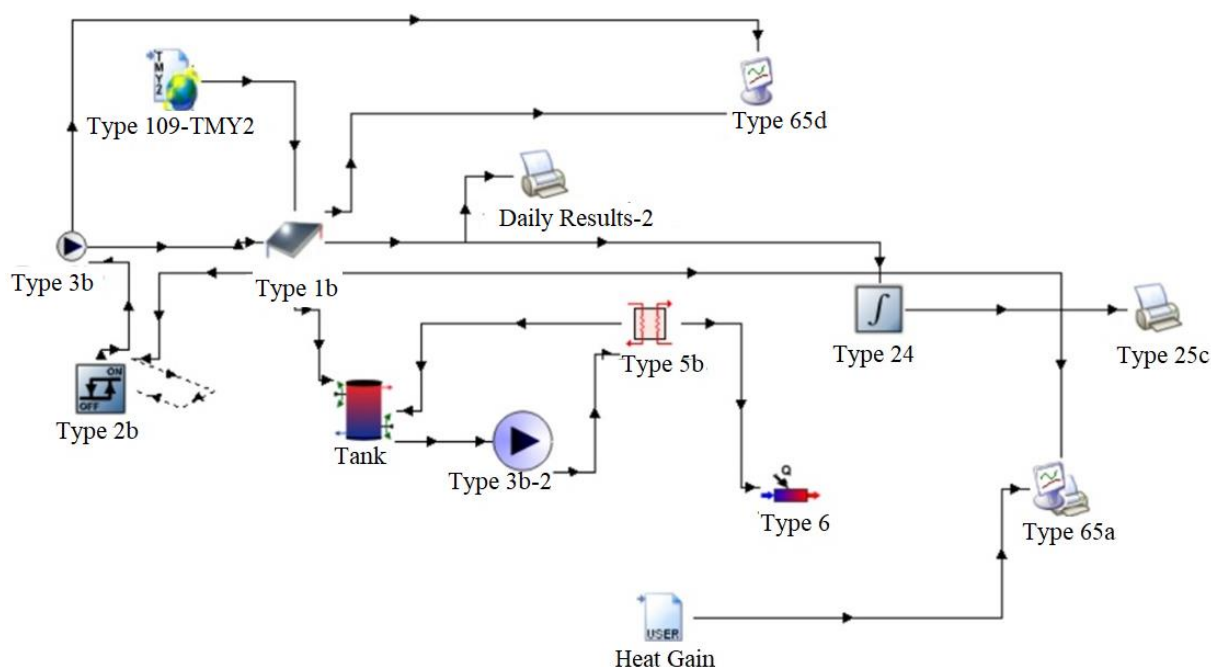
بهینه‌سازی و به‌کارگیری از سیستم خورشیدی

به‌منظور بهینه‌سازی سطح مقطع جمع‌کننده خورشیدی از روش بارلی و بالکامب (Barley & Balcomb) استفاده می‌شود (Duffie, Beckman, & Blair, 2020). ابتدا کسر خورشیدی محاسبه و نشان داده می‌شود که چند درصد از انرژی کل توسط انرژی خورشیدی

به‌دست آمده است. بدین ترتیب در طول سال به‌صورت ساعت به ساعت انرژی استحصال‌یافته از خورشید محاسبه و سپس مقدار کسر خورشیدی ارزیابی می‌شود (Duffie et al., 2020). در این بخش، به بررسی سطح مقطع جمع‌کننده‌های مختلف خورشیدی پرداخته می‌شود. شکل ۳ فرآیند شبیه‌سازی سیستم حرارتی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS را نمایش می‌دهد. در مدل مذکور،

از هر دو مدل شده است. هر زمانی که ورودی کنترل‌کننده خارجی برابر با یک شود و یا دمای خروجی هیتر کمتر از مقدار تنظیمی باشد که توسط کاربر تعریف شده است، گرم‌کن برای افزودن حرارت به جریان در نرخ طراحی شده توسط کاربر (Q_{max}) (با تعریف مقدار ثابت برای تابع کنترل و مشخص کردن مقدار به اندازه کافی بزرگ برای Q_{max}) وارد عمل خواهد شد. این روند مانند آبگرمکن جانبی خانگی با یک کنترل‌کننده داخلی برای ایجاد دمای خروجی عمل می‌کند. با اعمال یک تابع کنترل با مقدار صفر یا یک از یک ترموستات یا کنترل‌کننده، این عمل مانند یک کوره که حرارت را با نرخ Q_{max} اضافه می‌کند پیش خواهد رفت. اما حرارت تا جایی افزوده می‌شود که دمای خروجی بیشتر از مقدار تست نشود. منبع ذخیره نیز که Type 4 است به‌منظور ذخیره‌سازی آب استفاده شده است.

Type 109 به‌منظور ورودی شرایط آب و هوایی به مدل استفاده شده است. Type 3 نیز سیستم پمپاژ است که یکی به‌منظور سیرکولاسیون بین منبع ذخیره و جمع‌کننده خورشیدی و دیگری برای انتقال آب گرم تولیدی به سمت لوله‌های گرمایش از کف استفاده شده است. Type 5b مدل حرارتی با جریان ناهمسو است. مدل حرارتی با ظرفیت حرارتی آشکار صفر به‌عنوان یک وسیله با اثر ثابت مدل می‌شود که مستقل از پیکربندی سیستم عمل می‌کند. دمای ورودی جریان سمت سرد و سمت گرم و همچنین نرخ دبی جریان به‌عنوان ورودی داده می‌شود. لازم به ذکر است که اثرپذیری برای مقدار ثابت تمام ضرایب انتقال حرارت محاسبه می‌گردد. Type 6 گرم‌کن جانبی است. امان گرم‌کن جانبی به‌منظور افزایش دمای جریان سیال با استفاده از یک کنترل‌کننده داخلی، خارجی و یا ترکیبی



شکل ۳- دیاگرام فرآیندی شبیه‌سازی شده سیستم حرارتی خورشیدی در نرم‌افزار TRNSYS
Fig.3. Diagram of a process simulated by a solar thermal system in TRNSYS

مورد نیاز است. زمانی که مرغداری تعطیل است، در حقیقت فاصله بین دو سیکل که بین ۱۶ الی ۱۷ روز است، انرژی مورد نیاز برابر صفر می‌شود و مجدداً بعد از زمان تعطیلی مرغداری، انرژی مورد نیاز افزایش می‌یابد. در زمان تعطیلی، سیستم حرارتی خورشیدی در حال تولید انرژی است که این انرژی تولیدی به مصرف نمی‌رسد و در اصطلاح پرت می‌شود. این مقادیر در محاسبات باید صفر نشان داده شود. داده‌های خروجی این بخش در نرم‌افزار اکسل وارد شده و مقادیر

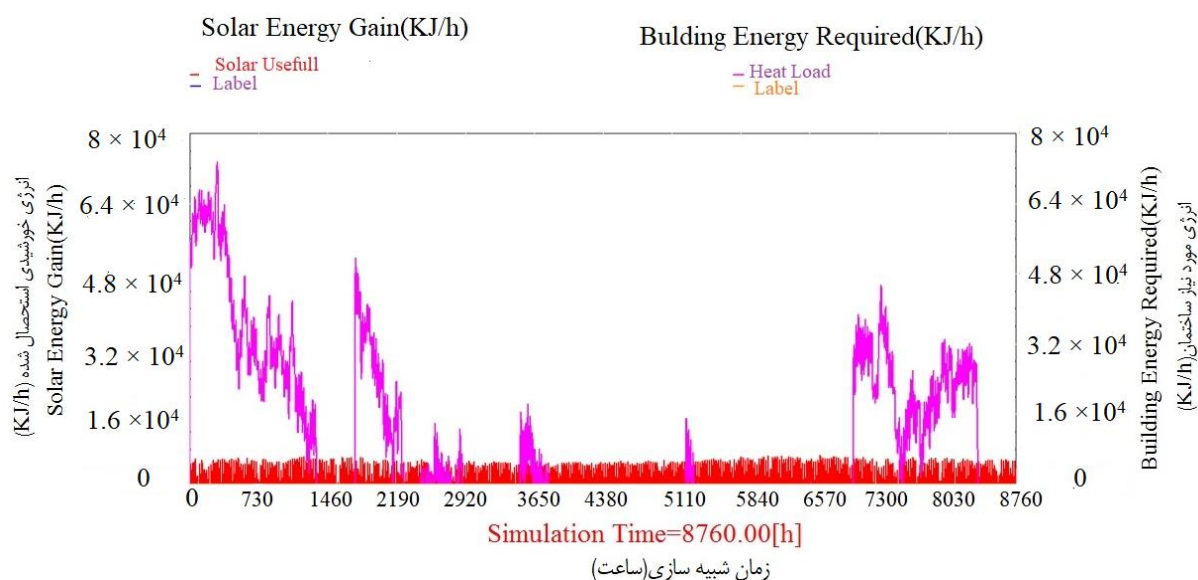
نتایج و بحث

سطح مقطع‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع

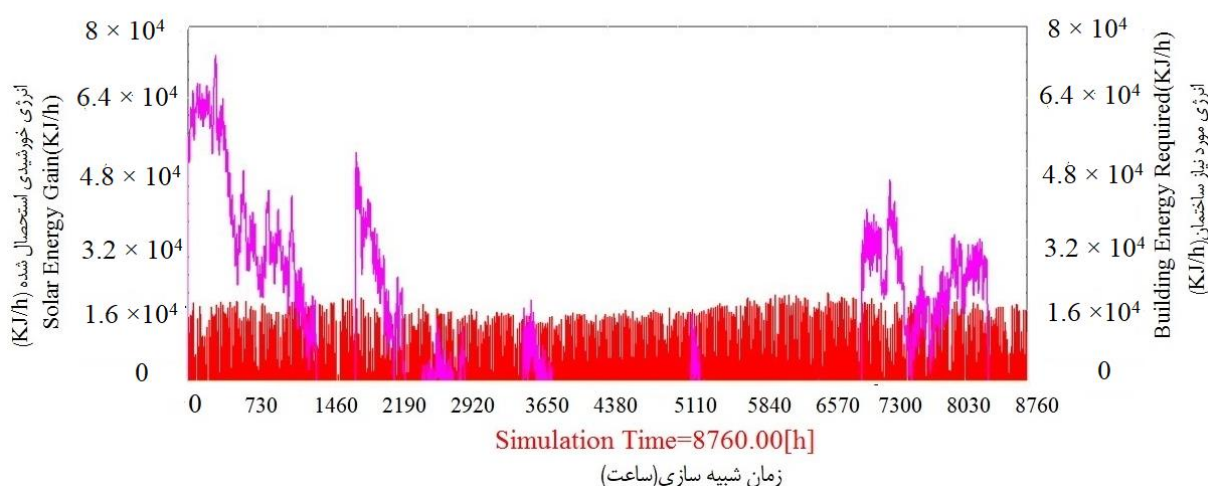
شکل‌های ۴، ۵ و ۶ میزان انرژی تولیدشده از خورشید در مقایسه با انرژی مورد نیاز را نمایش می‌دهد. خط بنفش رنگ میزان انرژی مورد نیاز و خط قرمز رنگ انرژی خورشیدی تولیدشده می‌باشد. انرژی جهت گرمایش داخل سالن در مدت ۵۶ روز که مرغداری فعال است

در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مقدار کسر خورشیدی روزانه در مخزن برای جمع‌کننده به سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشخص است. در برخی مواقع مقدار کسر خورشیدی از ۱۰۰ درصد بیشتر شده است. در این مواقع تولید بیشتر از مصرف بوده و سیستم اقدام به ذخیره‌سازی می‌نماید تا در ساعاتی که انرژی خورشیدی موجود نیست مورد مصرف قرار گیرد. جدول ۶ به ترتیب نتایج حاصل از این محاسبات را برای سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش می‌دهد.

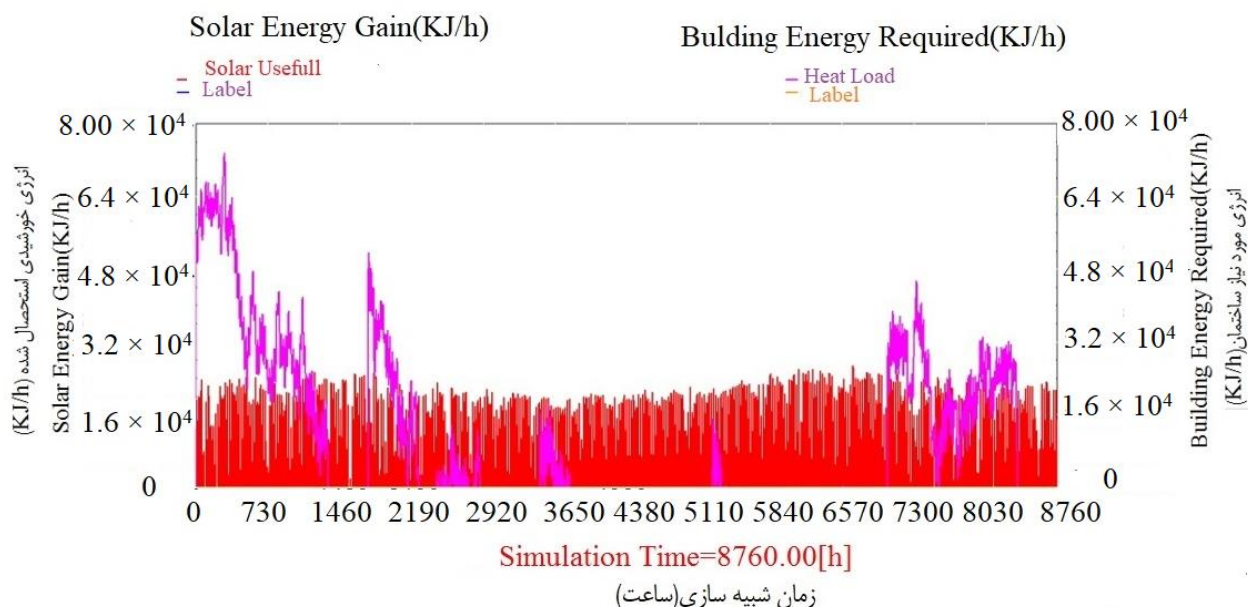
مربوطه از حاصل مجموع تولید کسر شده است. در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش داده شده است. اگر در طول زمان بهره‌برداری انرژی خورشیدی تولید بیشتر از مصرف داشته باشد، در این مخزن ذخیره می‌شود، یعنی در صورتی که تفاضل مقدار حرارت مورد نیاز برای گرمایش کل ساختمان و حرارت تولیدشده توسط انرژی خورشیدی یک عدد منفی باشد، مقدار ذخیره‌شده در مخزن ذخیره برابر منفی آن عدد است.



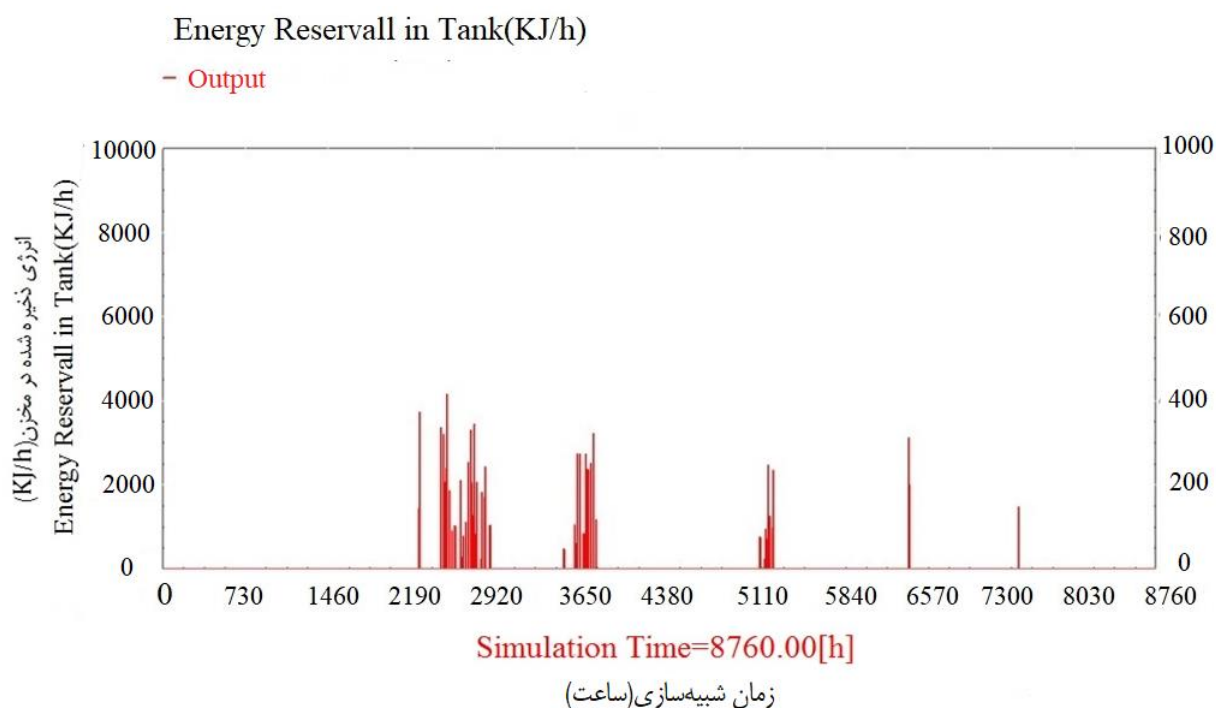
شکل ۴- انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع
Fig.4. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 2 m²



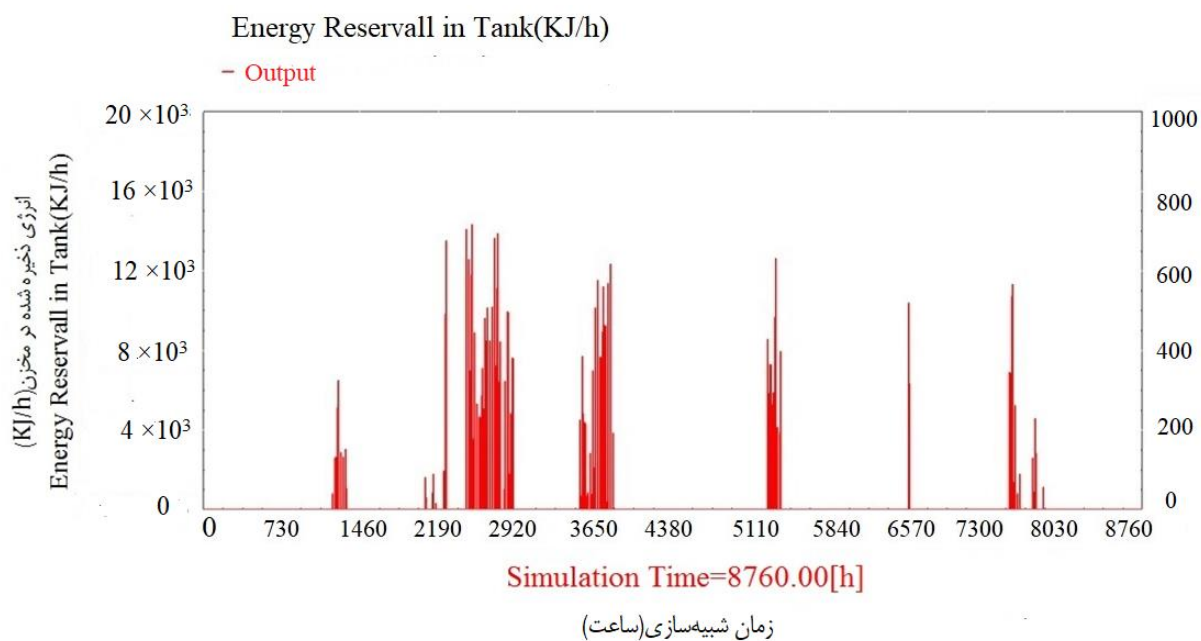
شکل ۵- انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع
Fig.5. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 6 m²



شکل ۶- انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع
Fig.6. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 8 m²

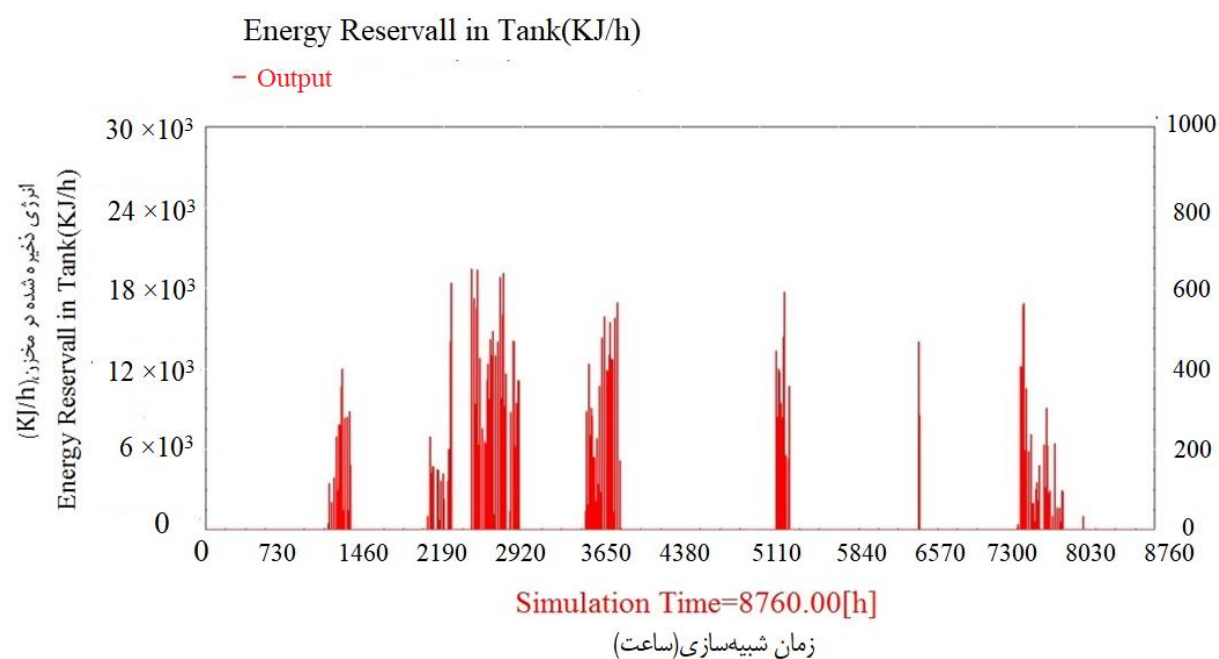


شکل ۷- مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع
Fig.7. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 2 m²



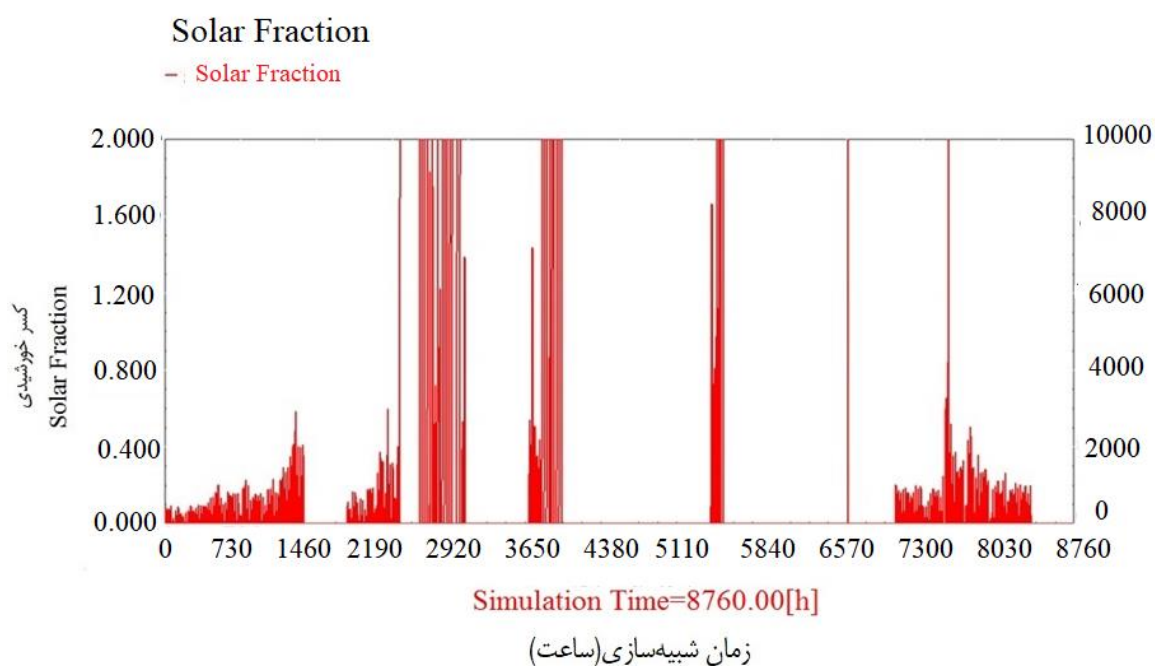
شکل ۸- مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع

Fig.8. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 6 m²

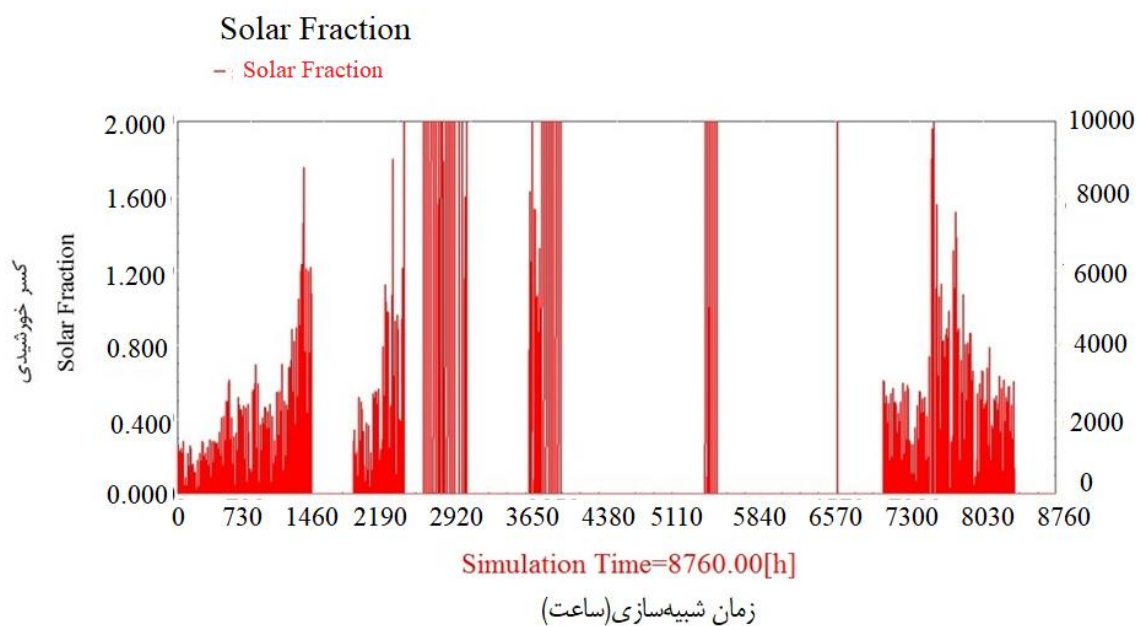


شکل ۹- مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع

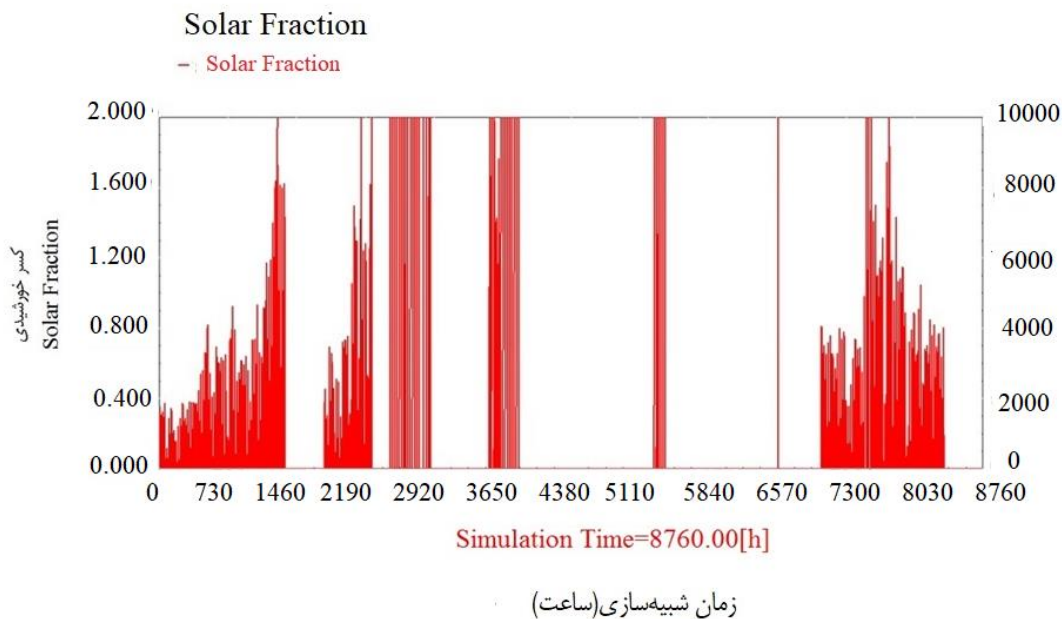
Fig.9. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 8 m²



شکل ۱۰- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع
Fig.10. Daily solar fraction for the collector to the area of 2 m²



شکل ۱۱- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع
Fig.11. Daily solar fraction for the collector to the area of 6 m²



شکل ۱۲- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع
 Fig.12. Daily solar fraction for the collector to the area of 8 m²

استحصال شده از خورشید یکنواخت است و از ۱۰ مترمربع تا ۱۶ مترمربع، یک افزایش ناگهانی دیده می‌شود. همچنین از ۱۶ مترمربع تا ۲۰ مترمربع روندی خطی وجود دارد و با افزایش سطح، جهش ناگهانی در میزان انرژی استحصال شده دیده می‌شود. به منظور انتخاب سطح بهینه، نقطه بهینه اقتصادی که سرمایه‌گذاری در آن از لحاظ اقتصاد مهندسی دارای بیشترین مقدار IRR (نرخ بازده داخلی معادل نرخ سودی که سرمایه‌گذار می‌تواند با سرمایه‌گذاری در یک طرح به دست آورد) یا NPV باشد، انتخاب شد. شکل ۱۵ مقدار عایدی سالانه بر حسب میلیون ریال به ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع را نشان می‌دهد. روند خطی تا سطح ۲۶ مترمربع دیده می‌شود و پس از آن شیب نمودار ثابت می‌شود. شکل ۱۶ سرمایه‌گذاری لازم به ازای هر کدام از سطوح انتخابی را نمایش می‌دهد. این منحنی بر حسب سطح جمع‌کننده به ازای مترمربع و هزینه سرمایه‌گذاری بر حسب میلیون ریال ترسیم شده است. با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری ترسیم شده و عایدی سالانه مقدار IRR جمع‌کننده‌های انتخابی قابل حصول است. روند خطی بیانگر آن است که افزایش سطح جمع‌کننده متناسب با افزایش هزینه است. شکل ۱۷ مقدار IRR بر حسب درصد برای سطوح مختلف جمع‌کننده را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۷ مشخص است مقدار ماکزیمم IRR در سطح مقطع ۲۶ مترمربع افتاده است.

شکل ۱۳ مقدار کسر خورشیدی را برای سطوح مختلف جمع‌کننده خورشیدی نمایش می‌دهد. نمودار یک رفتار خطی تا سطح ۲۶ مترمربع را از خود نشان می‌دهد. بر این اساس اگر ۲ مترمربع (یک جمع‌کننده خورشیدی) نصب کنیم تنها ۵/۲ درصد از انرژی کل را می‌توانیم به وسیله انرژی خورشیدی تأمین کنیم و در صورتی که ۳۰ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی نصب کنیم قادر خواهیم بود ۱۰۰ درصد انرژی مورد نیاز را به وسیله انرژی خورشیدی دریافت کنیم. از دیدگاه فنی هرچه مقدار کسر خورشیدی بیشتر باشد، سیستم توانایی استحصال بیشتری از انرژی خورشیدی را داراست. بدیهی است نقطه بهینه فنی نقطه‌ای است که تولید حداکثری از خورشید داشته باشیم یعنی نقطه‌ای که سطح ۲۶ مترمربع از خورشید را شامل می‌شود. بنابراین با افزایش سطح بیشتر از ۲۶ مترمربع، عملاً تنها افزایش هزینه صورت می‌گیرد. شکل ۱۴ میزان استحصال شده از انرژی خورشیدی در مقابل مقدار انرژی مورد نیاز در سیستم کمکی را به ازای سطوح مختلف جمع‌کننده خورشیدی نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است محل تلاقی این دو منحنی که تقریباً در ۱۶ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی قرار دارد، محلی است که نیمی از انرژی توسط خورشید تأمین می‌شود و نیمی دیگر توسط سیستم کمکی. ممکن است تصور شود که این نقطه به عنوان نقطه بهینه باشد، در صورتی که این طور نیست (نقطه بهینه واقعی، این نقطه نیست). هر دو منحنی رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهند. با این وجود مشاهده می‌شود که تا ۱۰ مترمربع سطح، روند انرژی

جدول ۶- نتایج حاصل از به‌کارگیری سطح‌های ۲، ۶ و ۸ مترمربع

Table 6- Results from the use of surface of 2, 6, 8 m²

مشخصه Property	مقدار Value	مقدار Value	مقدار Value	واحد Unit
مساحت جمع‌کننده Collector area	2	6	8	m ²
بار گرمایشی Heating load	94671628	94671628	94671628	kJ.yr ⁻¹
بهره مفید خورشیدی Solar useful gain	4786686	14360407	19147267	kJ.yr ⁻¹
گرمایش کمکی مورد نیاز Auxiliary heating required	89884942	80311221	75524361	kJ.yr ⁻¹
ذخیره انرژی در تانک Energy reservoir in tank	154847	1384689	2622029	kJ.yr ⁻¹
دمای ورودی برای گرمایش از کف Inlet temperature for under floor heating	106.4	106.4	106.4	F
دمای خروجی برای گرمایش از کف Outlet temperature for under floor heating	91.4	91.4	91.4	F
اختلاف دما Temperature difference	15	15	15	F
حجم تانک Tank volume	0.03	0.1	0.13	m ³
بهره‌وری کل خورشیدی با مخزن Total solar gain with reservoir	4941533.1	15745095.5	21769295.9	kJ.yr ⁻¹
کسر خورشیدی Solar fraction	5.2	16.6	23	%
کل مصرف NG Total NG consumption	11834	11834	11834	m ³ .yr ⁻¹
توسط خورشید NG کل ذخیره Total NG saving by solar	618	1968	2721	m ³ .yr ⁻¹
هیتر کمکی NG کل مصرف Total auxiliary heater ng consumption	11216	9866	9113	m ³ .yr ⁻¹
قیمت NG Ng price	4920	4920	4920	Rial
هزینه سالانه بدون بخاری خورشیدی Annual cost without solar heater	58223050	58223050	58223050	Rial.yr ⁻¹
هزینه سالانه هیتر کمکی Annual auxiliary heater cost	55184010	48539820	44834930	Rial.yr ⁻¹
صرفه‌جویی سالانه هیتر خورشیدی Annual solar heater saving	3039040	9683230	13388120	Rial.yr ⁻¹

نشان داد که بیشتر از ۸۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی این مرغداری به‌وسیله این سیستم تامین شده که می‌تواند بازگشت سرمایه‌ای معادل با ۳ الی ۵ سال داشته باشد. در این تحقیق درخصوص ذخیره‌سازی انرژی حرارتی هیچ‌گونه بررسی صورت نگرفته شده است. در مطالعه‌ای که درخصوص سیستم خورشیدی یک مرغداری در شهر بکا از کشور لبنان، موفق به تامین دماهای مختلف برای پرورش جوجه‌ها در زمستان ۲۰۱۹ شدند درحالی‌که دما از ۳۳

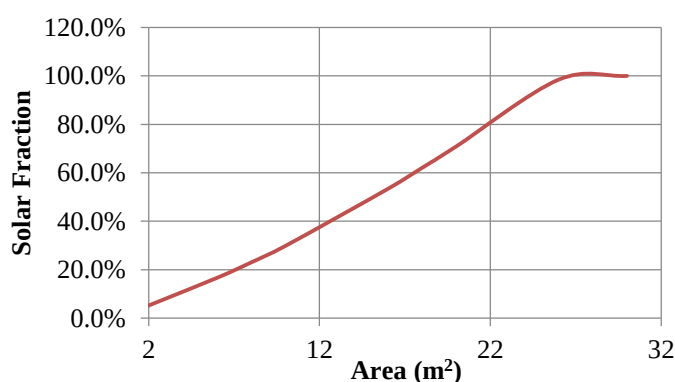
بنابراین بهینه فنی و بهینه اقتصادی دقیقاً در یک نقطه افتاده شده است. با افزایش سطح، مقدار IRR شروع به افت می‌کند. حداقل مقدار IRR به‌ازای حداقل سطح رخ می‌دهد. از ۶ مترمربع تا ۲۵ مترمربع، روند خطی برای IRR مشهود است. در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد سیستم PVT، جمع‌کننده خورشیدی، پمپ‌های حرارتی و غیره به‌منظور تامین انرژی روشنایی و گرمایش برای یک مرغداری پرداخته شد (Cui, Theo, Gurler, Su, & Saffa, 2020). مطالعه

مختلف یک سال نمایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

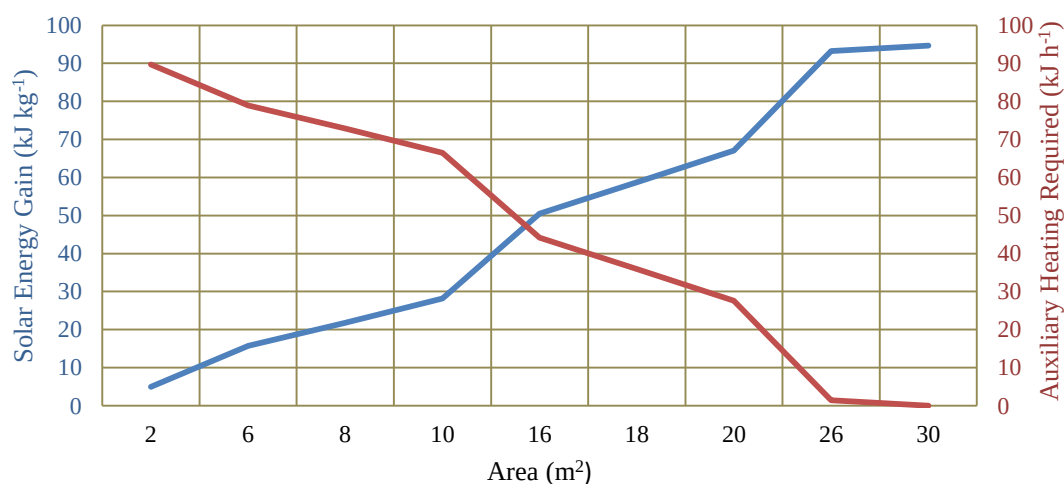
در این تحقیق به شبیه‌سازی سامانه حرارتی خورشیدی یک مرغداری گوشتی در شهرستان اردستان (از توابع استان اصفهان) به‌منظور تامین برق سالن پرداخته شد. سامانه حرارتی خورشیدی با چند سطح مقطع متفاوت شبیه‌سازی گردید و میزان انرژی تولیدشده آن‌ها با یکدیگر، هزینه سرمایه‌گذاری و درآمد سالانه آن‌ها با یکدیگر مقایسه و در انتها حالت بهینه مشخص گردید. نتایجی که می‌توان از این تحقیق دریافت کرد به شرح زیر است،

درجه سلسیوس در هفته ۱ تا ۱۸ درجه سلسیوس در هفته ۶ متغیر بود (Dbouk & Mourad, 2019). این سیستم گرمایش خورشیدی با سطح مقطع ۶ مترمربع باعث صرفه‌جویی ۶۰ درصدی در هزینه‌های گرمایش نسبت به روش‌های گرمایش سنتی شد (Dbouk & Mourad, 2019). در تحقیق پیش رو، سطح مقطع‌های ۲، ۶ و ۸ مترمربع در شهر اردستان با شرایط ذکرشده انجام شد که نتیجه آن صرفه‌جویی در هزینه‌ها بود درحالی‌که دمای اردستان عموماً سردتر می‌باشد. علاوه بر تفاوت شرایط آب و هوایی منطقه عدم استفاده از اگزاست فن به‌منظور تهویه هوا (تهویه هوا فقط به‌وسیله باز کردن پنجره صورت می‌گیرد. این مهم، باعث کاهش تلفات حرارتی و بار ناشی از نفوذ هوا شده ولی به شدت بازده تولید را کاهش می‌دهد) است. جدول ۷ مقایسه دمای شهر اردستان و شهر بکا را در ماه‌های



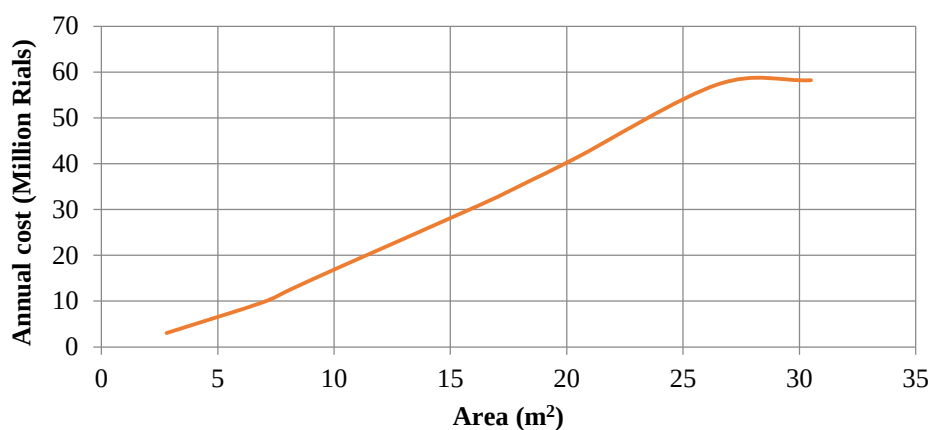
شکل ۱۳- منحنی کسر خورشیدی برای جمع‌کننده‌های مختلف

Fig.13. Solar fraction curve for different collectors

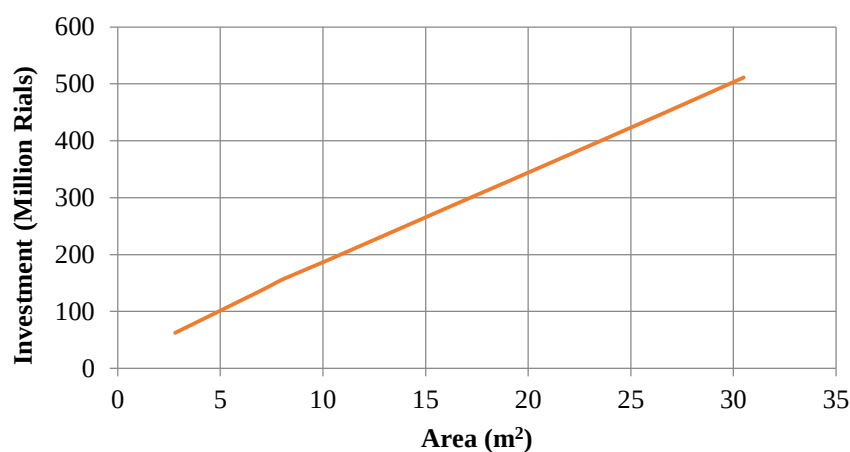


شکل ۱۴- منحنی میزان انرژی تولیدی جمع‌کننده و میزان انرژی مورد کمکی مورد نیاز برای جمع‌کننده‌های مختلف

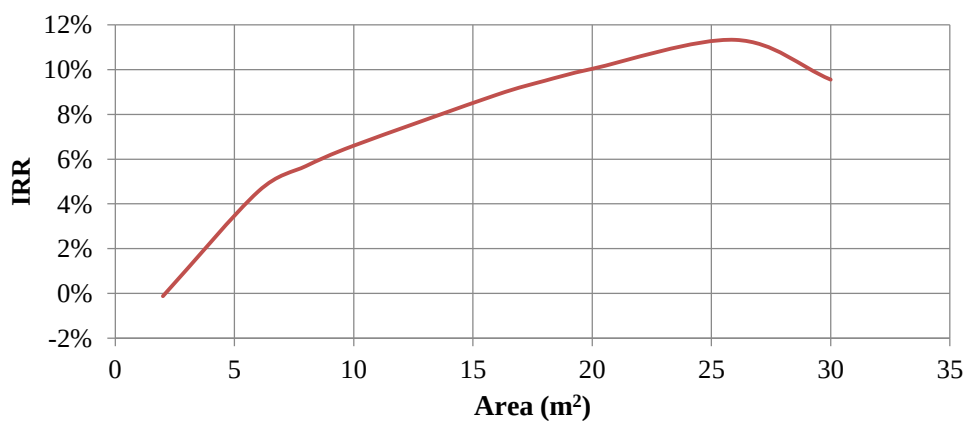
Fig.14. Amount of energy produced and the amount of auxiliary energy required for different collectors



شکل ۱۵- مقدار عایدی سالانه بر حسب میلیون ریال به‌ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع
Fig.15. Amount of annual cost (in terms of Million Rials) for different area of collectors



شکل ۱۶- منحنی سرمایه‌گذاری بر حسب میلیون ریال و سطح مقطع جمع‌کننده‌ها
Fig.16. Investment curve (in terms of Million Rials) versus various cross section of collectors



شکل ۱۷- مقدار IRR بر حسب درصد به‌ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع
Fig.17. IRR value for different area of collectors

جدول ۷- مقایسه دمای هوا شهرستان اردستان و شهر بکا در ماه‌های مختلف یک سال

Table 7- Comparison of air temperature in Ardestan and Bekaa in different months of a year

ماه Month	بکا Bekka (°C)	اردستان Ardestan (°C)	اختلاف دما Temperature difference
ژانویه January	13.3	2.1	11.2
فوریه February	13.7	4	9.7
مارس March	15.2	8.4	6.8
آوریل April	18	14.8	3.2
می May	20.7	20.5	0.2
ژوئن June	23.5	25.5	-2
جولای July	25.7	27.6	-1.9
اگوست August	26.6	26.4	0.2
سپتامبر September	25.5	22.4	3.1
اکتبر October	22.7	16.3	6.4
نوامبر November	18.7	9	9.7
دسامبر December	15.1	3	12.1

۱. با نصب ۲ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی، می‌توان ۵/۲ درصد انرژی کل را به‌وسیله انرژی خورشیدی تامین کرد.
۲. برای تامین ۱۰۰ درصدی انرژی به ۳۰ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی احتیاج است.
۳. با افزایش کسر خورشیدی، توانایی سیستم در استحصال از انرژی خورشیدی بیشتر می‌شود.
۴. حداکثر کسر خورشیدی در جمع‌کننده‌ای با مساحت ۳۰ مترمربع حاصل می‌شود. با این حال از نظر اقتصادی، سطح جمع‌کننده برابر با ۲۶ مترمربع توصیه می‌شود.
۵. برای برقراری بالانس (یعنی ۵۰ درصد انرژی از سیستم کمکی و مابقی از سیستم خورشیدی تامین شود) بین استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده از سیستم کمکی، به سطح جمع‌کننده‌ای برابر با ۱۶ مترمربع احتیاج است.

فهرست علائم

ضریب انتقال گرمای جمع‌کننده (فاکتور راندمان)	$F_{R,j}$
Collector heat transfer coefficient (Efficiency factor)	
ظرفیت حرارتی مایع سیرکولاسیون	C_{pc}
Heat capacity of circulating fluid ($kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$)	
ضریب تلفات انرژی کل جمع‌کننده	$U_{L,j}$
Total collector energy loss coefficient	
مساحت سطح صاف جمع‌کننده	A
The flat surface area of the collector (m^2)	
تعداد لایه پوشش شفاف (شیشه)	N_s
The number of layers of transparent coating (glass)	

دبی حجمی مایع سیرکولاسیون Volume flow rate of circulating liquid ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	$\dot{m}_c$
دمای سیال ورودی به جمع‌کننده The temperature of the inlet fluid to the collector ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{i,j}$
شار تشعشعی خورشیدی وارد شده به جمع‌کننده Solar radiation flux entered into the collector (W m^{-2})	I_T
دمای محیط Environment temperature ($^{\circ}\text{C}$)	T_a
ضریب بازده جمع‌کننده Collector efficiency	$F'U_{L,j}$
مقاومت هدایتی ماده اتصال‌دهنده لوله‌ها به صفحه جاذب Conductive resistance of the material connecting the pipes to the absorbent plate ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)	$\frac{1}{C_b}$
فاصله مرکز تا مرکز لوله‌ها Center-to-center distance of pipes (m)	W
قطر لوله‌ها The diameter of the pipes (m)	D
ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی سیال داخل لوله‌ها Heat transfer coefficient of fluid displacement inside pipes ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)	h_{fi}
کل انرژی خورشیدی دریافت‌شده Total solar energy received (kWh)	E_s
کل انرژی مورد نیاز Total energy required (kWh)	E_T
جریان نقدی خالص طی دوره Net cash flow during the period	C_t
مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه Total initial investment costs	C_0
نرخ تنزیل Discount rate	R
تعداد دوره‌های زمانی Number of time periods	t

پیوست الف

جدول الف- مشخصات آب و هوای محل در ماه‌های مختلف
Table A. Climate profile of the place in different months

ماه Month	دمای میانگین Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	سرعت میانگین باد Wind velocity (m.s^{-1})	زاویه میانگین افق خورشیدی The angle of the solar horizon ($^{\circ}$)	زاویه میانگین ارتفاع خورشیدی Solar elevation angle ($^{\circ}$)	زاویه سمت خورشیدی Solar Zenith angle ($^{\circ}$)
ژانویه January	3.14	62.19	2	44.16	32.61	77.1
فوریه February	8.22	57.87	2.74	44.72	39.53	69.85
مارس March	13.92	45.94	2.91	44.92	45.83	63.72
آوریل April	18.18	47.80	3.22	44.94	53.65	58.10
می May	24.60	47.26	3.95	44.40	57.41	54.91
ژوئن June	29.90	41.59	2.95	43.55	57.93	54.48

جولای July	32.73	33.82	3.46	44.61	57.66	54.75
آگوست August	30.95	29.94	2.66	44.80	54.90	57.79
سپتامبر September	26.52	32.47	2.57	44.55	42.56	62.50
اکتبر October	20.64	47.39	2.37	44.80	42.26	68.61
نوامبر November	13.06	55.88	2.09	44.20	34.73	74.13
دسامبر December	6.12	64.31	1.84	44.05	31.13	77.86

References

- Byrne, J., Glover, L., Hegedus, S., & VanWicklen, G. (2005). *The potential of solar electric applications for Delaware's poultry farms*. Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware.
- Costantino, A., Fabrizio, E., Biglia, A., Cornale, P., & Battaglini, L. (2016). Energy use for climate control of animal houses: The state of the art in Europe. *Energy Procedia*, 101, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.024>
- Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. (2020). A comprehensive review on renewable and sustainable heating systems for poultry farming. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15, 121-142. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz048>
- Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. (2021). Feasibility of hybrid renewable heating system application in poultry house: a case study of East Midlands, UK, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16, 73-88. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa037>
- Dbouk, H. M., & Mourad, R. (2019). *Solar Heated Poultry House*. In 2019 IEEE AFRICON: 1-5. IEEE. <https://doi.org/10.1109/africon46755.2019.9133832>
- Donald, J. O. (2009). Environmental Management in the Broiler House. Aviagen.
- Francis, C. A. (2002). The Next Green Revolution: Essential Steps to a Healthy, Sustainable Agriculture. *NACTA Journal*, 46, 62-68. <https://doi.org/10.5860/choice.39-4568>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edition, Wiley Interscience, New York.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*, 5th Edition, Wiley Interscience, New York. <https://doi.org/10.1002/9781119540328>
- Flynn, C., & Siren, K. (2013). Modelling the drake landing solar community with TRNSYS 17 and estimating its potential under Helsinki condition, Alto University, School of Engineering, 1-15.
- Gad, S., El-Shazly, M. A., Wasfy, K. I., & Awany, A. (2020). Utilization of solar energy and climate control systems for enhancing poultry houses productivity. *Renewable Energy*, 154, 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.088>
- Goodarzi, B., Kazemi, N., Kashanizadeh, R., Bogri, A., & Yaghoubi, M. (2016). *Electric floor heating in non-peak 8-hour cycle in poultry halls*. The Second National Conference on Mechanization and New Technologies in Agriculture, Tehran. (In Persian).
- Herrando, M., Pantaleo, A. M., Wang, K., & Markides, C. N. (2019). Solar combined cooling, heating and power systems based on hybrid PVT, PV or solar-thermal collectors for building applications. *Renewable Energy*, 143, 637-647. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.004>
- Hottel, H. C., & Woertz, B. B. (1942). The Performance of Flat Plate Solar-Heat Collectors. *Transactions of the ASME*, 64, 64-91. <https://doi.org/10.1115/1.4018980>
- Jurčević, M., Nižetić, S., Marinić-Kragić, I., & Čoko, D. (2021). Investigation of heat convection for photovoltaic panel towards efficient design of novel hybrid cooling approach with incorporated organic phase change material. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101497>
- Kim, D. S. (2018). How to decide on purchasing new medical equipment? *OBG Management*, 30(5), 34-39.
- Klein, S. A., Duffie, J. A., Mitchell, J. C., Kummer, J. P., Beckmann, W. A., & Duffie, N. A. (2007). TRNSYS16 a Transient Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, 357-359.
- Koochakzadeh, A., & Tajri, B. (2014). *Energy Consumption Control in Poultry Industry*. 4th International Conference on New Approaches to Energy Conservation, Tehran. (in Persian).
- Li, Y., & Jing, D. (2017). Investigation of the performance of photovoltaic/thermal system by a coupled TRNSYS

- and CFD simulation, *Solar Energy*, 143, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.051>
20. Liu, Z., Jin, Z., Li, G., Zhao, X., & Badiei, A. (2022). Study on the performance of a novel photovoltaic/thermal system combining photocatalytic and organic photovoltaic cells. *Energy Conversion and Management*, 251, 114967. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114967>
21. Mohammadi, Z., Mirdamadi, S. M., Farajollah Hosseini, S. J., & Lashgarara, F. (2021). Qualitative analysis of effective factors on the feasibility of utilizing solar technology in the poultry industry. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 703-710. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02870-2>
22. Shahini, H., Saadat fard, M., & Taki, M. (2018). *Construction and evaluation of underfloor heating system in poultry house*. 3th National Congress on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Sciences of Iran, Tehran. (In Persian).
23. Shen, C., Liu, F., Qiu, S., Liu, X., Yao, F., & Zhang, Y. (2021). Numerical study on the thermal performance of photovoltaic thermal (PV/T) collector with different parallel cooling channels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101101. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101101>
24. Shyu, C. W. (2013). End-users' experiences with electricity supply from stand-alone mini-grid solar PV power stations in rural areas of western China. *Energy for Sustainable Development*, 17(4), 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.02.006>
25. Wang, Y., Li, B., Liang, C., & Zheng, W. (2020). Dynamic simulation of thermal load and energy efficiency in poultry buildings in the cold zone of China. *Computers and electronics in agriculture*, 168, 105127. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105127>
26. Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture-New opportunity for photovoltaic applications in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.098>
27. Zelzouli, K., Guizani, A., Sebai, R., & Kerkeni, C. (2012). Solar Thermal Systems Performances versus Flat Plate Solar Collectors Connected in Series. *Engineering*, 4, 881-893. <https://doi.org/10.4236/eng.2012.412112>



Comparison of Dry Land Wheat Grain Harvest Losses in Different Types of Chaff Collector Combine Harvesters in Kurdistan Province

M. Safari^{1*}, M. A. Rostami²

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Resource Research and Education Center (AREEO), Shiraz, Iran

(*- Corresponding Author Email: email2safari@yahoo.com)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75175.1091>

Received: 07 February 2022

Revised: 25 April 2022

Accepted: 30 April 2022

Available Online: 30 April 2022

How to cite this article:

Safari, M., & Rostami, M. A. (2023). Comparison of Dry Land Wheat Grain Harvest Losses in Different Types of Chaff Collector Combine Harvesters in Kurdistan Province. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 309-319. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.75175.1091>

Introduction

In conventional combine harvesters, wheat chaff is typically removed from the end of the machine and deposited on the field surface. Depending on the wheat cultivar, cultivation method, and growing conditions, the amount of chaff produced can range from 0.8 to 1.5 times the amount of grain harvested per hectare (Tavakoli, 2012). On average, this translates to an annual production of approximately 14 million tons of chaff, which is valued at around \$240000000 based on regional prices in 2018-2019 (\$1000 per kilogram). If collected, these chaff residues could be used as animal feed for livestock. Additionally, the long stems protruding from the back of conventional combine harvesters can interfere with subsequent cultivation efforts. Chaff combine harvesters have a similar structure to conventional machines, but feature a modified end that includes a tank and blower for collecting and depositing crushed chaff. Apart from the threshing unit, all other components of the harvester remain unchanged.

Materials and Methods

This study was conducted in 2019 in dryland wheat fields to determine the performance of Chaff combine harvesters in Kurdistan province. The study used 15 combine harvesters, including John Deere models equipped with chaff threshers from Shiraz, Boekan, and Hamedan, as well as the Hamedan Barzegar specific chaff collector combine. These combines were evaluated and compared based on natural losses, head and chaff storage losses, field capacity, purity percentage, and yield in field conditions in Kurdistan province. The total number of combines evaluated was 15, using a completely randomized design. Among these, 33% belonged to Shiraz company (5 samples), 33% to Boekan (5 samples), 20% to Hamedan (3 samples), and 14% to Hamedan Barzegar (2 samples). Sampling included measurement of natural losses, header losses, threshing tank losses (losses of the threshing unit, separating unit, and cleaning unit), and quality losses (broken grains and impurities) in the combine tank.

Results and Discussion

The results showed that the average yield, natural loss, and combine loss were 1,698.14 kg.ha⁻¹, 2.39%, and 4.92%, respectively. In terms of the loss rates in different parts of the combine, 43.49% was related to the chaff storage of the combine, and 56.50% was related to the combine head.

The natural loss rate in this province was 2.39%. The total combine loss was 5.18%, with 40.44% of that related to chaff storage and the rest related to the combine head. The results also showed a significant difference between the treatments in terms of field capacity, chaff storage loss, and purity percentage at a probability level of 5%.

The total loss of the Hamedan Barzegar combine was 6.67%, which was higher than the other combines. The

chaff storage loss of the Shiraz, Bookan, Hamedan, and Hamedan Barzegar combines were 0.87%, 2.64%, 0.78%, and 4.28%, respectively, showing a significant difference at a 5% level. There was also a significant difference between the treatments in terms of total grain loss.

Based on these results, it is recommended to use the Hamedan, Bookan, Shiraz, and Hamedan Barzegar combines, with total losses of 4.33%, 4.33%, 4.52%, and 6.56%, respectively.

Conclusion

1. The average purity of harvested grains was 96.62%, and there was no significant difference between the combine harvesters in this regard.
2. There was a significant difference between the combines in terms of field capacity at a probability level of 5%. The field capacity of the Bookan, Hamedan Barzegar, Hamedan, and Shiraz combine harvesters were 0.83, 0.87, 0.83, and 0.73 hectares per hour, respectively.
3. In Kurdistan province, the average grain combine loss in dryland wheat harvesting with chaff combine harvesters was 4.92%, which is higher than in other provinces.
4. The loss in the chaff tank of the Shiraz, Bookan, Hamedan, and Hamedan Barzegar combine harvesters was 0.87%, 2.64%, 0.78%, and 4.28%, respectively. Regardless of head losses, the loss in the Hamedan combine was less than other combine harvesters.
5. The total losses of the Hamedan Barzegar, Bookan, Shiraz, and Hamedan combine harvesters were 6.56%, 4.32%, 4.52%, and 4.30%, respectively, with the Hamedan Barzegar and Hamedan combine harvesters having the highest and lowest losses, respectively.

Based on the results obtained from this study, using the Hamedan combine is recommended in the dryland conditions of Kurdistan due to its low losses, high purity, and field capacity.

Acknowledgement

Thanks to the Agricultural Jihad Organization of Kurdistan Province, specifically the deputy of the Plant Production and Mechanized Technologies Department, for their assistance and cooperation in the implementation of the project.

Keywords: Chaff collector combines; Combine losses, Harvesting, Losses, Wheat

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۰۹-۳۱۹

مقایسه میزان تلفات برداشت دانه گندم در انواع کمباین‌های کاه‌کوب در استان کردستان

محمود صفری^{۱*}، محمد علی رستمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

گندم یکی از محصولات مهم کشور است که در سال‌های اخیر، به دلیل بالا بودن ارزش اقتصادی کاه تولیدی برای خوراک دام، توسط کمباین‌های کاه‌کوب برداشت می‌شود. در این تحقیق میزان تلفات طبیعی، تلفات کمباینی، ظرفیت مزرعه‌ای، درجه خلوص دانه و عملکرد محصول گندم در حین برداشت، توسط کمباین‌های کاه‌کوب در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. از بین کمباین‌های فعال در برداشت گندم در منطقه، تعداد ۱۵ دستگاه کمباین کاه‌کوب در حین برداشت گندم به صورت طرح کاملاً تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. از این تعداد، ۴ دستگاه ساخت کارگاه‌های محلی شیراز، ۴ دستگاه ساخت کارگاه‌های محلی بوکان، ۴ دستگاه ساخت کارگاه‌های محلی همدان و ۳ دستگاه نیز ساخت شرکت همدان برزگر بود. نتایج نشان داد که متوسط عملکرد گندم ۱۶۹۸/۱۴ کیلوگرم بر هکتار، تلفات طبیعی ۲/۳۹ درصد و تلفات کمباینی ۴/۹۲ درصد بود. ۴۳/۵ درصد از تلفات کمباینی مربوط به عقب کمباین (مخزن کاه) و ۵۶/۵ درصد آن مربوط به هد کمباین بود. مقایسه کمباین‌ها نشان داد که تلفات دانه در کمباین همدان برزگر با ۶/۵۶ درصد از دیگر کمباین‌ها بیشتر است. تفاوت بین کمباین‌ها از نظر ظرفیت مزرعه‌ای و درصد خلوص، معنی‌دار نبود. میزان تلفات دانه در مخزن کاه کمباین‌های کاه‌کوب شیراز، بوکان، همدان و همدان برزگر در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشتند و به ترتیب ۲/۰۶۴/۸۷، ۰/۷۸، ۴/۲۸ درصد بود. از نظر تلفات کل کمباینی نیز تفاوت بین کمباین‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج به دست آمده، کمباین‌های کاه‌کوب همدان، بوکان، شیراز و همدان برزگر به ترتیب با تلفات کل ۴/۳۲، ۴/۳۳، ۴/۵۲ و ۶/۵۶ درصد در اولویت به کارگیری در مزارع گندم استان کردستان قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: برداشت، تلفات، کاه‌کوب، کمباین، گندم

مقدمه

برابر مقدار تولید دانه در هر هکتار است (Tavakoli, 2012). بنابراین (با در نظر گرفتن رقم یک)، به طور متوسط معادل با تولید دانه (۱۳/۷ میلیون تن) کاه تولید می‌شود (حدود ۱۴ میلیون تن در سال) و با توجه به قیمت کاه در منطقه (۱۰۰۰ تومان) در سال زراعی ۹۸-۹۷، سالیانه ۱۲ تریلیون تومان از دسترس خارج می‌شود. با توجه به نیاز دامداری‌های کشور، این بقایا در صورت جمع‌آوری می‌تواند به عنوان خوراک دام، مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، وجود ساقه‌های بلند بیرون ریخته شده از پشت کمباین‌های رایج، باعث ایجاد مزاحمت در کشت بعدی می‌گردد.

کمباین‌های کاه‌کوب از نظر ساختاری، مشابه کمباین‌های رایج هستند، با این تفاوت که انتهای کمباین و اجزای داخلی آن تغییر یافته است. در این کمباین‌ها مخزنی در انتهای کمباین تعبیه شده است که از طریق یک مکنده، کاه‌های خرد شده به داخل مخزن ریخته می‌شود و پس از پر شدن، در محل مناسب، تخلیه می‌گردد. در این کمباین‌ها

در سال زراعی ۹۸-۹۷، سطح زیر کشت گندم در کشور ۵/۸۶۴۵۵۴ میلیون هکتار با میزان تولید ۱۳/۷۱۵۲۵۸ میلیون تن بوده است (Ahmadi et al., 2020). عملیات برداشت گندم با کمباین‌های رایج انجام می‌گیرد. در این کمباین‌ها، کاه و کلش گندم از انتهای کمباین خارج شده و در سطح مزرعه ریخته می‌شود. مقدار تولید کاه گندم بسته به رقم آن، نوع کشت و شرایط رشد حدود ۰/۸ تا ۱/۵

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

(Email: email2safari@yahoo.com)

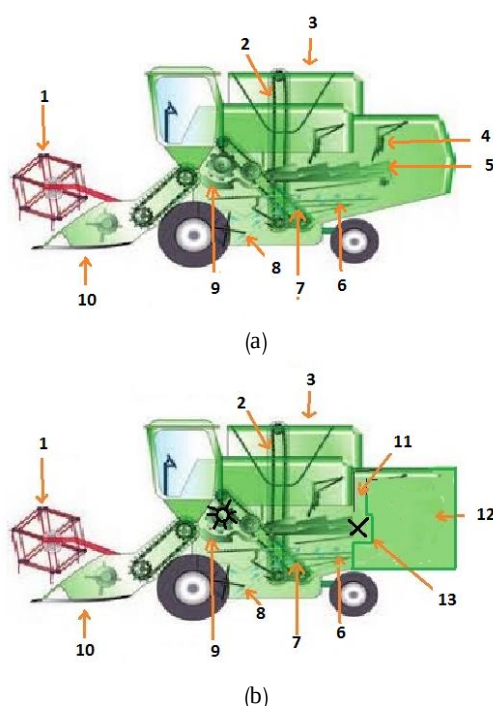
(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75175.1091>

اضافه نمودن واحد دمنده، اقدام به تغییر کمباین‌های رایج به کاه‌کوب نموده‌اند. تعدادی از شرکت‌های داخلی نظیر همدان برزگر و کردستان اقدام به ساخت کمباین کاه‌کوب نموده‌اند که از نظر ساختاری و اصول کاری (به‌جز مخزن کاه و واحد انتقال کاه به داخل مخزن) مشابه کمباین‌های رایج هستند با این تفاوت که از اول تمامی اجزای کمباین‌های کاه‌کوب نظیر هد، واحد کوبنده، واحد تمیزکننده، انتقال قدرت، موتور و غیره بازطراحی و ساخته شدند (Safari, Rostami, & Salehi, 2019).

به‌جز واحد کوبنده و بوجاری، دیگر اجزای تشکیل‌دهنده کمباین، مشابه کمباین‌های مرسوم است (شکل ۱-ا). در این کمباین‌ها، کوبنده مرسوم سوهانی به چنگکی تغییر یافته است و در قسمت بوجاری نیز یک واحد دمنده اضافی نصب شده است تا کاه را به سمت مخزن کاه هدایت کند. اجزای اصلی این کمباین‌ها شامل واحدهای برش، کوبنده، تمیزکننده و مخزن جمع‌آوری کاه می‌باشد (شکل ۱-ب).

در سال‌های اخیر کارگاه‌های محلی در شیراز، همدان و بوکان با اضافه کردن مخزن کاه، تغییر واحد کوبنده از سوهانی به چنگکی و



شکل ۱- کمباین رایج (a) و کمباین کاه‌کوب (b)، ۱- چرخ و فلک، ۲- الواتور دانه به مخزن، ۳- مخزن دانه، ۴- کاه‌بران، ۵- غربال کاه، ۶- غربال دانه، ۷- الواتور برگشت، ۸- واحد دمنده، ۹- واحد کوبش، ۱۰- واحد برش، ۱۱- کانال کاه، ۱۲- مخزن کاه، ۱۳- دمنده کاه

Fig.1. Conventional combine (a) and Chaff collector combine (b), 1- Reel, 2- Grain elevator to tank, 3- Grain tank, 4- Chaff walker, 5- Chaff sieve, 6- Grain sieve, 7- Return elevator, 8- Blower unit, 9- Threshing unit, 10- Cutting unit, 11- Chaff channel, 12- Chaff tank, 13- Chaff blower

به‌ترتیب ۲/۶ و ۱/۱ درصد بود. نتایج این تحقیق نشان داد که این کمباین‌ها قادر به برداشت گندم در رطوبت‌های بالاتر (۱۹ درصد) و با ریزش کمتر می‌باشند (Agheleskhani, 2017).

در تحقیقی در هندوستان سه سطح رطوبت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد دانه گندم و سه سرعت پیشروی ۱، ۲ و ۲/۵ کیلومتر بر ساعت برای برداشت گندم با کمباین مورد بررسی قرار گرفت، نتایج تحقیق نشان داد ترکیب سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر بر ساعت و محتوی رطوبت محصول ۹/۱۶ درصد برای برداشت گندم با کمباین آزمایشی

در تحقیقی در منطقه فارس، میزان ضایعات کمباین‌های کاه‌کوب در دو نوع کمباین جان‌دیر ۹۵۵ و کلاس بررسی شد. نتایج نشان داد که کمباین معمولی و کاه‌کوب در افت طبیعی و دماغه در هر دو رطوبت ۱۲ و ۱۹ درصد تفاوت معنی‌داری داشته است و افت انتهای کمباین در رطوبت ۱۲ و ۱۹ درصد برای کمباین‌های معمولی به‌ترتیب ۴/۰۲ و ۲۰/۴ درصد و در کمباین کاه‌کوب به‌ترتیب ۲ و ۳/۵ درصد بود. میزان دانه‌های شکسته در مخزن در رطوبت ۱۲ و ۱۹ درصد برای کمباین‌های معمولی ۷۵/۴ و ۴۶/۴ درصد و در کمباین کاه‌کوب

مناسب‌ترین بوده است (Patel & Varshney, 2014).

در تحقیقی دیگر، تلفات برداشت گندم توسط کمباین‌های کاه‌کوب و معمولی (جان‌دیر ۹۵۵ و کلاس ۷۶) اندازه‌گیری شد. آزمایش کمباین‌های کاه‌کوب و معمولی در شرایط مزرعه‌ای کاملاً یکسان و در رطوبت ۱۴ درصد دانه گندم اجرا و پارامترهای مختلف شامل تلفات در بخش‌های مختلف کمباین اعم از واحد برش، کوبش و تمیزکننده، اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که مجموع تلفات برداشت کمباین کاه‌کوب با تلفات برداشت کمباین معمولی در هر دو نوع کمباین کلاس و جان‌دیر اختلاف معنی‌داری داشتند. متوسط تلفات مخزن در کمباین‌های کاه‌کوب ۱/۱۹ درصد و در کمباین‌های معمولی ۰/۲۶ درصد بود که بین کمباین‌های کاه‌کوب و معمولی ۰/۹۳ درصد اختلاف وجود داشت. بیشترین میزان مصرف سوخت اندازه‌گیری شده در کمباین‌های کاه‌کوب کلاس به میزان ۵۵ لیتر در هکتار و در کمباین‌های کاه‌کوب جان‌دیر ۶۹/۴۴ لیتر در هکتار بود (Rostami, Lotfalian, & Hosseinzadeh Samani, 2018).

نوسازی کمباین‌ها در بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله تا سال ۱۳۸۵ موجب کاهش چشمگیر تلفات گندم از ۱۵ به ۳ درصد شد و به‌تبع آن از هدر رفتن ۱۳۶۸ هزار تن به ارزش ۲۴۶۲۴۰۰ میلیون ریال در سال در کشور جلوگیری شد (Amirnejad, Rafiee, & Atai, 2008). طبق آمار منتشرشده، مجموع سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در سال ۹۸-۹۹ برابر ۶ میلیون هکتار، میزان تولید آن ۱۳/۶ میلیون تن و میانگین عملکرد آبی و دیم به‌ترتیب ۴/۲ تن و ۱/۳ تن بوده است (Ahmadi et al., 2020). قسمت قابل‌توجهی از این محصول در زمان برداشت توسط کمباین به زمین ریخته شده و تلف می‌شوند. پروژه تحقیقاتی ملی با عنوان سنجش تلفات کمباینی برداشت دانه گندم در کشور به‌منظور ارائه راهکارهای کاهش آن در سال زراعی ۹۶-۹۷ به‌منظور تعیین نوع و سهم هرکدام از عوامل انسانی، فنی و زراعی مؤثر بر میزان تلفات دانه در برداشت مکانیزه گندم با انواع کمباین‌های جان‌دیر، نیوهلند و کلاس متداول و جدید، در ۲۴ استان کشور اجرا شد. تعداد کمباین‌های موردبررسی ۵۶۳ دستگاه بود که به روش نمونه‌گیری تصادفی و در حال کار در مزارع زارعین مورد بازدید، بررسی و نمونه‌برداری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میانگین کل تلفات برداشت گندم در کشور ۳/۷۵ درصد بود که ۱/۲۶ درصد آن تلفات طبیعی و ۲/۴۹ درصد آن تلفات کمباینی بود. میانگین کل تلفات دانه در مزارع آبی ۳/۳۴ درصد و در مزارع دیم کشور ۴/۴ درصد بود. میانگین تلفات کمباینی (بدون تلفات طبیعی) در مزارع آبی و دیم به‌ترتیب ۲/۳ و ۲/۸۶ درصد بود. میانگین تلفات طبیعی در گندم آبی و دیم نیز به‌ترتیب ۱/۰۴ و ۱/۵۴ درصد بود. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تلفات کمباینی در کشور در طی مدت ۱۳ سال گذشته ۰/۸۸ درصد کاهش یافته و به ۲/۴۹ درصد رسیده است (Dehghan et al., 2018).

در یک تحقیق، میزان تلفات کمباین‌های جان‌دیر ۱۱۶۵ و ۹۵۵ در برداشت دو رقم گندم آبی الوند و امید در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین تلفات دانه در رقم امید و توسط کمباین جان‌دیر ۹۵۵ با میزان ۶/۸۳ درصد بود که از این مقدار، ۱۰/۵ درصد آن مربوط به تمیز کردن، ۳۴ درصد در سکوی برش، ۱۶/۵ درصد در کوبنده، ۲۱ درصد ناخالصی و ۱۸ درصد دانه شکسته بود. کمترین تلفات مربوط به کمباین جان‌دیر ۱۱۶۵ و رقم الوند با ۳/۹۷ درصد بود که ۱۰ درصد آن مربوط به واحد تمیزکننده، ۳۸ درصد در سکوی برش، ۱۳ درصد در واحد کوبنده بود و میزان ناخالص و دانه شکسته نیز به‌ترتیب ۲۲ و ۱۷ درصد بود (Mirasi, Asoodar, Samadi, & Kamran, 2014).

در یک پژوهش ملی به سفارش معاونت امور زراعت وزارت جهاد کشاورزی (دفتر طرح گندم) میزان تلفات دانه در برداشت گندم (دیم و آبی) با کمباین‌های کاه‌کوب، در ۹ استان کشور اندازه‌گیری شد. در این تحقیق ۱۰۰ دستگاه کمباین کاه‌کوب، شامل ۸۸ دستگاه انواع جان‌دیر (۹۵۵، ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵)، ۶ دستگاه کردستان، ۳ دستگاه برزگر همدان و ۳ دستگاه انواع دیگر کمباین به روش نمونه‌گیری تصادفی و در حال کار در مزارع زارعین موردبررسی قرار گرفتند. از این تعداد ۹۱ دستگاه کمباین‌های معمولی بودند که به کاه‌کوب تبدیل شده بودند و ۹ دستگاه کمباین‌هایی بودند که اساساً به‌صورت کاه‌کوب طراحی و ساخته شده بودند که میانگین سن کمباین‌ها براساس نتایج به‌دست‌آمده ۱۶/۹ سال بود. ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌ها ۰/۳۸ هکتار بر ساعت؛ میانگین کل تلفات گندم در مرحله برداشت ۵/۰۵ درصد بود که سهم تلفات طبیعی و کمباینی به‌ترتیب ۱/۲۸ و ۳/۷۷ درصد بود. از این میزان تلفات کمباینی ۱/۸۶ درصد آن توسط هد و ۱/۹۱ درصد آن توسط واحدهای فرآوری کمباین ایجاد شد. بر اساس نتایج این تحقیق، به‌طورکلی استفاده از کمباین‌های کاه‌کوب به‌جای کمباین‌های معمولی موجب افزایش درآمد خالص کشاورزان و کمباین‌داران به‌ترتیب به میزان ۳۱۷۵۲۲ و ۲۴۴۸۸۴ تومان در هکتار شد. همچنین این جایگزینی موجب برداشت کاه بیشتر، افزایش ارزش ریالی کاه، حذف هزینه‌های جمع‌آوری، بسته‌بندی و خرد کردن کاه گردید (Rostami et al., 2021).

کمباین‌های کاه‌کوب فعال در برداشت گندم در استان کردستان جمعاً ۸۵۴ دستگاه بود که شامل ۳۰۳ دستگاه کمباین بوکان، ۲۰۸ دستگاه شیراز، ۳۴۰ دستگاه همدان و ۳ دستگاه برزگر همدان بود. لذا به دلیل نبود اطلاعات دقیق از میزان تلفات کمی و کیفی دانه گندم در برداشت با کمباین‌های کاه‌کوب غلات در استان کردستان و میزان تلفات دانه توسط هرکدام از انواع کمباین‌های کاه‌کوب در دسترس کشاورزان اجرای این تحقیق ضروری بود.

مواد و روش‌ها

این بررسی در سال ۱۳۹۸ در سطح مزارع گندم دیم در شرایط میدانی، برای تعیین عملکرد کمباین‌های کاه‌کوب در استان کردستان انجام شد. در این تحقیق تعداد کمباین‌های موردبررسی برای برداشت گندم آبی ۱۵ دستگاه و شامل کمباین‌های جاندیر مجهز به کاه‌کوب (شیراز، بوکان و همدان) و کمباین اختصاصی کاه‌کوب همدان برزگر بود. از این کمباین‌ها، ۴ دستگاه آن شیراز، ۴ دستگاه بوکان، ۴ دستگاه همدان و ۳ دستگاه همدان برزگر بود که در شهرستان‌های دیوان دره، سقز، بیجار، دهگلان و قروه موردبررسی قرار گرفتند. در این تحقیق کمباین‌ها از نظر شاخص‌های تلفات طبیعی، ظرفیت مزرعه‌ای، درجه خلوص دانه، میزان تلفات طبیعی و عملکرد محصول گندم در مزرعه با یکدیگر مقایسه شدند. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۴ تکرار اجرا شد. در تیمارهایی نظیر کمباین همدان برزگر که تعداد نمونه‌ها کمتر بوده است از روش کرت‌های گمشده استفاده شده است.

نمونه‌برداری‌ها شامل اندازه‌گیری تلفات طبیعی، تلفات سکوی برش، تلفات در مخزن کاه‌کوب (مجموع تلفات واحد کوبش، واحد جداکننده، واحد تمیزکننده) و تلفات کیفی (میزان دانه‌های شکسته و ناخالصی) در مخزن کمباین بود. علاوه بر این، به منظور کسب اطلاعات تکمیلی از عوامل جانبی مؤثر بر کارکرد کمباین‌ها و تلفات دانه در مزارع، شاخص‌هایی مانند سن کمباین‌ها، سرعت کوبنده، سرعت محیطی دوران چرخ‌وفلک اندازه‌گیری شده و در فرم‌هایی که به منظور ارزیابی کمی و کیفی کمباین‌ها تهیه شده بودند، ثبت گردید. همچنین کشاورزان، مالکین و رانندگان کمباین‌ها مورد مصاحبه قرار گرفته و پرسشنامه‌هایی درخصوص اطلاعات فنی و مشکلات آن‌ها در امر برداشت گندم تکمیل گردید. در پایان، میزان تلفات طبیعی و کمباینی، میزان تلفات در قسمت‌های مختلف کمباین‌ها و منشأ آن‌ها در منطقه تعیین شد.

رطوبت دانه در زمان برداشت به کمک گرفتن نمونه‌های ۱۵۰ گرمی از مخزن دانه و در آزمایشگاه تعیین شد. سرعت پیشروی با تعیین زمان طی شده برای مسافت ۱۵ متر برحسب متر بر ثانیه و در نهایت برحسب کیلومتر بر ساعت تعیین گردید. با بستن یک تکه روبان رنگی بر روی چرخ‌وفلک و قرار دادن در بالاترین نقطه چرخ‌وفلک، زمان صرف شده برای ۱۰ دور چرخ‌وفلک تعیین و میزان دور بر دقیقه محاسبه گردید. برای تعیین ارتفاع برداشت، ارتفاع بقایای (ساقه‌های) ایستاده گندم از زمین اندازه‌گیری شد. زمان لازم برای برداشت یک هکتار تعیین و ظرفیت مزرعه‌ای محاسبه شد. روش اندازه‌گیری و محاسبه انواع تلفات طبیعی و کمباینی دانه به شرح زیر بود:

تلفات طبیعی دانه و عملکرد در هکتار

تلفات طبیعی شامل دانه‌هایی است که قبل از ورود کمباین به مزرعه و در اثر وزش باد، خوابیدگی و ریزش محصول و شرایط جوی از دسترس کمباین خارج می‌شوند (FMO, 1981). در ۴ نقطه تصادفی از سطح برداشت‌نشده از مزرعه، به کمک کادر فلزی ۵۰×۵۰ سانتی‌متر و در مجاورت مسیر ارزیابی کمباین، دانه‌ها و سنبله‌های ریخته‌شده (که نمی‌توانستند توسط کمباین برداشت شوند) جمع‌آوری شد. همچنین سنبله‌های ایستاده نیز به عنوان عملکرد محصول در واحد سطح مزرعه برداشت و دانه‌های آن‌ها توزین شد. مجموع وزن دانه‌های درون سنبله‌ها و دانه‌های ریخته‌شده بر زمین به عنوان تلفات طبیعی و مجموع دانه‌های درون سنبله‌های ایستاده درون کادر به عنوان عملکرد واقعی محصول در واحد سطح در نظر گرفته شد (Dehghan, Afzali, Alizadeh, Salehi, & Dibaji, 2009).

$$P_n = \frac{W_b}{W_a + W_b} \times 100 \quad (1)$$

P_n : تلفات طبیعی دانه (%)

W_a : وزن دانه‌های موجود در بوته‌های ایستاده قابل برداشت با کمباین (gr)

W_b : وزن دانه‌هایی که قبل از ورود کمباین به مزرعه ریزش کرده‌اند (gr)

$$Y_t = \frac{10 \times (W_a + W_b)}{n \times A_k} \quad (2)$$

Y_t : کل دانه تولیدشده در واحد سطح ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

n : تعداد دفعات کادراندازی

A_k : مساحت کادر نمونه‌برداری (m^2)

تلفات سکوی برش

تلفات سکوی برش شامل سنبله‌ها و دانه‌هایی است که قبل از این که به واحد کوبنده کمباین منتقل شوند، به علت کارکرد نامناسب اجزای سکوی برش، مانند شکستگی تیغه‌های شانه برش، سرعت دوران کم یا زیاد چرخ‌وفلک، زاویه نامناسب ورود پره‌ها یا انگشتی‌های چرخ‌وفلک در بین سنبله‌ها، فاصله نامناسب عمودی یا افقی چرخ‌وفلک از تیغه برش و غیره بر روی زمین ریخته می‌شوند. در ۴ نقطه از مزرعه که توسط کمباین برداشت شده و کاه و کلش انتهای کمباین بر روی آن ریخته نشده، کادر فلزی ۵۰×۵۰ سانتی‌متر به صورت تصادفی انداخته شد و سپس دانه‌ها و سنبله‌هایی که در درون کادر قرار داشتند جمع‌آوری شد (Dehghan et al., 2009).

$$P_i = \frac{W_q \times 1000}{Y_t \times n \times A_k} - P_n \quad (3)$$

P_i : درصد تلفات دانه در سکوی برش (%)

n: تعداد دفعات کادراندازی

W_q : وزن مجموع دانه‌های جمع‌شده در کادر (gr)

دانه‌ها تعیین شد.

درصد ناخالصی

ناخالصی‌های محصول برداشت‌شده در مخزن کمباین شامل بذر علف‌های هرز، خاک، سنگریزه و کاه و کلش است که می‌بایست درصد آن‌ها محاسبه گردد. این درصد، از نسبت وزن مجموع ناخالصی‌ها (بذر علف‌های هرز، خاک، سنگریزه و کاه و کلش) به وزن کل نمونه و مطابق رابطه (۴) محاسبه گردید (Dehghan et al., 2009).

$$P_z = \frac{K + M + N + R}{T} \times 100 \quad (4)$$

P_z : درصد ناخالصی‌ها (%)

T : وزن کل نمونه (gr)

K : وزن دانه‌های شکسته موجود در نمونه (gr)

M : وزن کاه و کلش موجود در نمونه (gr)

N : وزن علف‌های هرز موجود در نمونه (gr)

R : وزن سنگ‌ریزه و خاک موجود در نمونه (gr)

با کسر میزان ناخالصی از ۱۰۰ درصد، میزان درصد خلوص دانه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

ظرفیت مزرعه‌ای

با توجه به متفاوت بودن عرض کار مؤثر و سرعت پیشروی (به علت شرایط محصول) در کمباین‌های موردبررسی، بین کمباین‌ها از نظر ظرفیت مزرعه‌ای، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. مطابق جدول ۲، ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌های بوکان، همدان، برزگر، همدان و شیراز، به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۷، ۰/۸۳ و ۰/۷۳ هکتار بر ساعت بود. با این نتایج، کمباین‌های همدان برزگر در یک ساعت سطح بیشتری را برداشت نمودند. در غالب مزارع، علی‌رغم عرض کار زیاد کمباین، به دلیل متراکم بودن محصول، خوابیدگی آن و برش محصول از قسمت‌های تحتانی (برای ورود کاه بیشتر)، راننده کمباین به ناچار برای کاهش خوراک‌دهی (جلوگیری از انسداد سامانه‌های کوبش و تمیزش)، عرض کار کمتری را برداشت می‌کرد. به‌رحال شرایط مختلف مزارع آزمایشی از نظر تراکم محصول، رطوبت دانه و ناهمواری زمین موجب تغییر عرض کار، سرعت پیشروی و در نهایت ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌ها می‌شد. قاسمی نژاد و همکاران یکی از دلایل اختلاف ظرفیت و بازده مزرعه‌ای را متفاوت بودن الگوی کشت گزارش نموده‌اند و در مزارع با کشت مسطح، ظرفیت و بازده مزرعه‌ای نسبت به جوی پشته‌ای بیشتر بوده است (Ghaseminejad, Faramehr, & Abdshahi, 2018). در این تحقیق کلیه مزارع

تلفات کاه‌کوب

تلفات واحد کوبنده شامل دانه‌های موجود در سنبله‌های سالم و نیم‌کوب است که همراه با کاه و کلش وارد مخزن کاه می‌شود. برخی از عوامل ایجاد این تلفات عبارتند از: سرعت دورانی نامناسب کوبنده، فاصله نامناسب کوبنده و ضدکوبنده، مکش زیاد فن و سرعت زیاد کمباین که باعث خوراک‌دهی بیش‌ازحد به واحد کوبنده می‌شود. تلفات کاه‌کوب و واحد تمیزکننده (الک‌ها) شامل دانه‌های سالم و شکسته‌ای است که در مخزن کاه ریخته می‌شوند. برخی عوامل ایجاد این تلفات عبارتند از: تنظیم نامناسب (زاویه کم) یا گرفتگی روزنه الک‌ها، سرعت بیش‌ازحد پنکه دمنده، زاویه و محل نامناسب برخورد باد دمنده به زیر الک‌ها.

در کمباین کاه‌کوب برای اندازه‌گیری میزان افت دانه در واحد کوبنده که به‌صورت دانه‌های سالم یا شکسته وارد مخزن کاه می‌شوند، ابتدا مخزن کاه کاملاً تخلیه‌شده و سپس کمباین به میزان ۱۵ متر اقدام به برداشت محصول نمود. پس از انجام آزمون، به‌منظور جلوگیری از خطای آزمایش، طول پیشروی مجدداً اندازه‌گیری شد. عرض کار مؤثر کمباین در حین برداشت ثبت شد. با پایان یافتن کار برداشت، کمباین متوقف‌شده و یک گونی به ابعاد ۳ متر در ۳ متر در عقب کمباین پهن شد و محتویات (کاه) داخل مخزن روی آن ریخته شد، سپس کاه و دانه توسط جریان باد و پنکه از یکدیگر جدا شدند و دانه‌های سالم و شکسته توزین شد (این کار با الک کردن در چند مرحله و در صورت نیاز مرحله نهایی جداسازی با باد انجام شد). از این آزمون دو داده اصلی به شرح ذیل به‌دست آمد:

۱- مساحت زمین برداشت‌شده حین آزمایش که با ضرب طول پیشروی در عرض کار مؤثر کمباین (عرض کار مؤثر سکوی برش) حاصل گردید.

۲- میزان دانه جداسازی شده از کاه (گرم)

پس از تعیین تلفات کمی، تلفات کل که برابر با مجموع تلفات کمباینی و طبیعی است، محاسبه گردید.

افت کیفی

در آزمایشگاه از نمونه یک کیلوگرمی که از مخزن دانه کمباین برداشته‌شده بود نمونه‌های ۱۰۰ گرمی بدون هرگونه مواد خارجی و کاه و کلش انتخاب شد. پس از توزین نمونه، دانه‌های شکسته‌شده یا ترک‌برداشته و به‌طور کلی به لحاظ ظاهری آسیب‌دیده جدا شد و افت کیفی بر اساس درصد دانه‌های خردشده محاسبه شد. نسبت درصد وزن دانه‌های آسیب‌دیده به وزن کل نمونه به‌عنوان درصد خرد شدن

به صورت مسطح کشت شده بودند بنابراین الگوی کشت بر روی ظرفیت تأثیری نداشته است و سایر عوامل نظیر عرض کار مؤثر، مهارت راننده، تراکم کشت و خوابیدگی محصول باعث اختلاف در ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌ها شده‌اند. از نظر عرض کار، با توجه به بالا بودن توان کمباین ماشین برزگر همدان، عرض کار بیشتری تحت پوشش قرار گرفت و ظرفیت مزرعه‌ای آن نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. در مزارعی که تراکم محصول زیاد بود به منظور کنترل میزان ورودی کمباین قسمتی از عرض هد کمباین در کار برداشت محصول به کار گرفته نشد.

درصد خلوص

ناخالصی‌های محصول برداشت شده شامل بذر علف‌های هرز، خاک، سنگریزه و کاه و کلش است. در جریان برداشت محصول توسط کمباین، بخشی از دانه‌ها به صورت شکسته شده به مخزن کمباین منتقل می‌شوند که به عنوان افت کیفی شناخته می‌شود. مطابق جدول ۱، بین تیمارهای آزمایشی از نظر درجه خلوص، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌های خلوص دانه در جدول ۲ نشان داد که درصد خلوص کمباین‌های همدان برزگر نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و بین کمباین‌های همدان، شیراز و بوکان اختلاف معنی‌داری وجود نداشت؛ بنابراین از نظر کیفی، مرغوبیت دانه‌های موجود در مخزن کمباین‌ها دارای شرایط یکسانی بوده و میزان خلوص از مقبولیت مناسبی برخوردار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی از نظر صفات مورد بررسی

Table 1- Analysis of variance of experimental treatments in terms of studied traits

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	خلوص دانه Seed purity (%)	سکوی برش Head losses (%)	تلفات مخزن کاه Chaff tank losses (%)	تلفات کل Total losses (%)	ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity (ha.h ⁻¹)	عملکرد محصول Crop yield (kg.ha ⁻¹)
تکرار Replication	3	6.49	1.37	4.48	4.67	0.002	7739.75
نوع کمباین Combine type	3	15.57ns	3.79*	11.03*	4.77*	0.01*	111774.14*
خطا Error	9	6.94	4.2	1.44	5.66	0.0002	5560.89
ضریب تغییرات (CV)		2.72	21.6	25.93	28.25	2.03	4.39

ns عدم معنی‌داری و * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪

ns: non-significant, * significant at 5% level

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمارها* (در سطح ۵٪)

Table 2- Comparison of average treatments* (at 5% level)

تیمار Treatment	خلوص دانه Seed purity (%)	تلفات سکوی برش Head losses (%)	تلفات مخزن کاه Chaff tank losses (%)	تلفات کل Total losses (%)	ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity (ha.h ⁻¹)	عملکرد محصول Crop yield (kg.ha ⁻¹)
بوکان Bookan	96.36 ^{ab}	1.66 ^b	2.64 ^{ab}	4.33 ^b	0.83 ^b	1673.7 ^b
شیراز Shiraz	97.49 ^{ab}	3.65 ^a	0.87 ^b	4.52 ^b	0.73 ^c	1915.7 ^a
همدان Hamedan	94.00 ^b	3.54 ^a	0.78 ^b	4.32 ^b	0.83 ^b	1695.5 ^b
همدان برزگر Hamedan Barzegar	98.62 ^a	2.28 ^b	4.28 ^a	6.56 ^a	0.87 ^a	1508.6 ^c

*: میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference.

تلفات هد (شانه برش)

با در نظر گرفتن متوسط عملکرد گندم در تیمارهای آزمایشی (۱۶۹۸/۳۷) کیلوگرم بر هکتار) و جمع‌آوری دانه‌های ریخته شده در داخل کادرهای آزمایشی، میزان تلفات در قسمت‌های مختلف کمباین

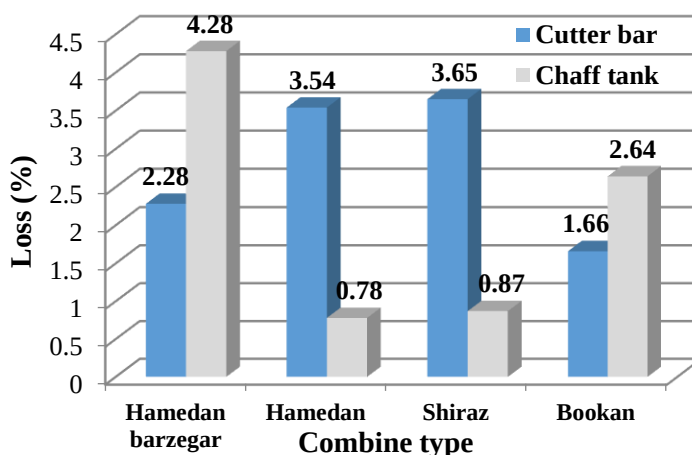
تعیین شد. بیشترین میزان تلفات در کمباین‌ها در قسمت سکوی برش آن‌ها بود و برخلاف تلفات طبیعی، این عامل تابعی از عملکرد کمباین بود. مطابق جداول ۱ و ۲، بین انواع کمباین‌های مورد بررسی از نظر تلفات در سکوی برش کمباین، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵

نشان داد که یکی از قسمت‌های مهم برای کنترل تلفات کمباین، هد برداشت است که بایستی مورد توجه قرار گیرد.

تلفات عقب کمباین (مخزن کاه)

این تلفات، شامل دانه‌های موجود در سنبله‌های سالم و نیم‌کوب و دانه‌های موجود در مخزن کاه است (با فرض این‌که هیچ دانه‌ای به‌صورت پودر همراه با باد از کمباین خارج نشوند). بین کمباین‌های موردبررسی از نظر تلفات مخزن کاه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). تلفات مخزن کاه در کمباین‌های همدان برزگر، بوکان، شیراز و همدان به‌ترتیب ۴/۲۸، ۲/۶۴، ۰/۸۷ و ۰/۷۸ درصد بود (جدول ۲).

درصد وجود داشت. تلفات کمباین‌های همدان، شیراز، بوکان و همدان برزگر به‌ترتیب ۳/۵۴، ۳/۶۵، ۱/۶۶ و ۲/۲۸ درصد بود که بیشترین تلفات مربوط به کمباین‌های شیراز و کمترین تلفات هد مربوط به کمباین‌های بوکان بود. این اختلاف می‌تواند به دلیل نامناسب بودن اجزای سکوی برش مانند شکستگی تیغه‌های شانه برش، سرعت دوران کم یا زیاد چرخ‌وفلک، زاویه نامناسب ورود انگشتی‌های چرخ‌وفلک در بین سنبله‌ها و فاصله نامناسب عمودی یا افقی چرخ‌وفلک از تیغه برش باشد. چنانچه بتوان این تلفات را به حداقل رساند، میزان تلفات کلی کمباین به نحو چشمگیری کاهش خواهد یافت. با توجه به این نتایج، مناسب‌ترین کمباین از نظر پایین بودن تلفات هد، کمباین بوکان بود (شکل ۲). این یافته با نتایج پژوهش‌های قبلی مبنی بر ایجاد بیشترین میزان تلفات کمباینی در سکوی برش مطابقت داشت (Dehghan et al., 2018). این نتیجه



شکل ۲- تلفات در شانه برش و مخزن کاه

Fig.2. Losses in the head of combine (cutter bar) and chaff tank

کاه‌کوب جاندیر، بین ۲/۶۴-۰/۷۸ درصد بود و به‌طور معنی‌داری کمتر از کمباین همدان برزگر (۴/۲۸ درصد) بود (شکل ۲).

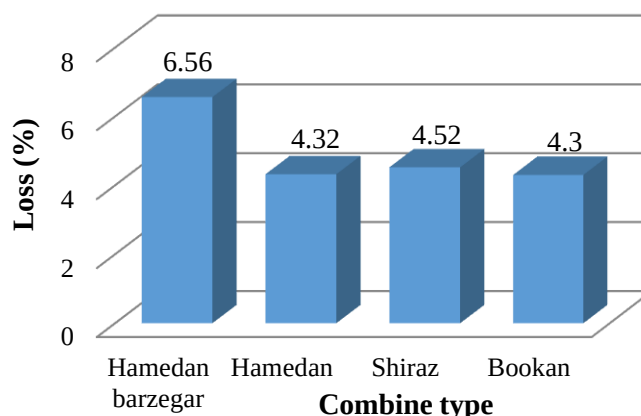
کمباین همدان برزگر به دلیل موتورقویتر (۲۴۰ اسب بخار) دارای دمنده قوی‌تری نیز می‌باشد که هرچند با کنترل دریچه‌ها می‌توان میزان بده خروجی را کنترل نمود ولی به دلیل بالا بودن میزان خروجی دمنده، کنترل کامل دانه‌ها امکان‌پذیر نیست و یکی از دلایل احتمالی بالا بودن میزان تلفات در مخزن کاه، همین عامل است. عامل دیگر بیشتر بودن عرض کار شانه برش دستگاه است که میزان خوراک‌دهی را به کوبنده با ظرفیت ثابت افزایش داده است که باعث بیش باری و افزایش تلفات شده است. کمباین‌های رایج ساخت شرکت کمباین‌سازی دارای تنظیماتی است که غالب کمباین‌داران به آن تسلط دارند ولی در کمباین محلی همدان برزگر کمباین‌داران به

از نظر میزان تلفات در مخزن کاه، بین کمباین‌های بوکان و همدان برزگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از طرفی بین کمباین‌های بوکان، شیراز و همدان نیز اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نگردید ولی بین همدان برزگر و کمباین‌های شیراز و همدان اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد. رستمی و همکاران متوسط تلفات مخزن کاه در کمباین‌های جاندیر (همدان، بوکان و شیراز) را ۴/۱۶ درصد گزارش نمودند (Rostami et al., 2018) در صورتی که در این تحقیق متوسط درصد تلفات این سه نوع کمباین ۲/۱۴ درصد بوده است. در تحقیقی، متوسط درصد تلفات در مخزن کاه کمباین جاندیر در رطوبت ۱۲ درصد ۲ درصد گزارش شد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (Agheshkhani, 2017). در این تحقیق نیز میزان تلفات کاه در قسمت مخزن کاه کمباین‌های

تنظیمات آن تسلط کافی ندارند.

تلفات کل کمباینی

بین کمباین‌های کاه‌کوب مورد آزمایش از نظر کل تلفات کمباینی (مجموع تلفات هد و عقب کمباین) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. میزان تلفات کمباین‌های همدان برزگر، بوکان، شیراز و همدان به ترتیب ۶/۵۶، ۴/۳۳، ۴/۵۲ و ۴/۳۲ درصد بود که کمباین‌های همدان برزگر و همدان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تلفات بودند (شکل ۳). متوسط تلفات کل در این استان برای برداشت دانه گندم، ۴/۹۲ درصد بود که از این میزان ۲/۱۴ درصد مربوط به محصول منتقل شده به مخزن و ۲/۷۸ درصد به سکوی برش تعلق داشت. در این منطقه متوسط ریزش طبیعی ۲/۳۹ درصد بود. بهروزی لار و همکاران، میانگین تلفات کمباین در استان‌های فارس، همدان، خراسان، اصفهان و گرگان را به ترتیب ۴/۵، ۸/۷، ۲/۳



شکل ۳- تلفات کلی (مجموع تلفات طبیعی و کمباینی) برداشت دانه گندم با کمباین‌های کاه‌کوب

Fig.3. Total losses (natural and combine losses) of wheat harvesting by chaff walker combines

نتیجه‌گیری

۱- متوسط درصد خلوص دانه‌های برداشت شده ۹۶/۶۲ درصد بود و بین ماشین‌های برداشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

۲- بین کمباین‌ها از نظر ظرفیت مزرعه‌ای، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌های بوکان، همدان برزگر، همدان و شیراز، به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۷، ۰/۸۳ و ۰/۷۳ هکتار بر ساعت بود.

۳- در استان کردستان متوسط تلفات کمباینی دانه در برداشت گندم دیم با کمباین‌های کاه‌کوب، ۴/۹۲ درصد بود که بیانگر بالا بودن آن نسبت به سایر استان‌ها است. بالا بودن تلفات کمباینی در این استان ناشی از بالا بودن تلفات در کمباین‌های کاه‌کوب طراحی شده محلی (نه اصلاح شده رایج) بوده است. در کمباین‌های

و ۷ درصد گزارش نمودند (Behrooz Lar, 1995) که مهم‌ترین عوامل مؤثر در تلفات، تنظیم نبودن کمباین، مناسب نبودن زمان برداشت، رطوبت نسبی هوا و ساعت برداشت بوده است. میزان تلفات کل (شانه برش و مخزن کاه) در کمباین‌های کاه‌کوب در مناطق فارس و زنجان به ترتیب ۷/۸۶ و ۵/۴ درصد گزارش شده است. متوسط تلفات دانه در این تحقیق (۴/۹۲ درصد) با نتایج منطقه زنجان همخوانی داشت (Rostami et al., 2018).

نتایج این تحقیق بیانگر بالا بودن میزان کل تلفات کمباینی (۲/۷۸ درصد تلفات سکوی برش و ۲/۱۴ درصد تلفات مخزن کاه) در این استان بود. هرچند در این مناطق از کمباین‌های نو استفاده شده است ولی عوامل مختلفی نظیر درصد رطوبت دانه، خوابیدگی محصول، میزان تراکم محصول، سرعت پیشروی و سرعت چرخ‌وفلک از عوامل تأثیرگذار بر تلفات کمباین بوده است.

ساخت شرکت کمباین‌سازی، به علت این که چندین سال است که توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد، کمباین‌داران با تنظیمات و اصول کار با آن آشنایی کامل دارند ولی در کمباین محلی هرچند اصول کار یکی است ولی کمباین‌دار با تنظیمات آن آشنایی کافی ندارد.

۴- میزان تلفات عقب کمباین (دانه منتقل شدن به مخزن کاه) در کمباین‌های همدان برزگر، بوکان، شیراز و همدان به ترتیب ۴/۲۸، ۲/۶۴، ۰/۸۷ و ۰/۷۸ درصد بود که نشان می‌دهد تلفات کمباین کاه‌کوب همدان برزگر از سایر کمباین‌ها بیشتر بوده است.

۵- میزان تلفات کل کمباین‌های همدان برزگر، بوکان، شیراز و همدان به ترتیب ۶/۵۶، ۴/۳۳، ۴/۵۲ و ۴/۳۰ درصد بود که کمباین‌های همدان برزگر و همدان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تلفات بودند.

سپاسگزاری

از مدیریت و همکاران سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان (معاونت تولیدات گیاهی و اداره فناوری‌های مکانیزه) به دلیل مساعدت و همکاری در اجرای پروژه صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، استفاده از کمباین همدان و در رتبه بعد استفاده از کمباین شیراز به دلیل پایین بودن تلفات، بالا بودن درصد خلوص و ظرفیت مزرعه‌ای مناسب، در شرایط کشت دیم استان کردستان قابل توصیه است.

References

1. Agheleskhani, A. R. (2017). The yield of the combine harvester compared to a typical wheat harvest. *Journal of Biosystems Engineering*, 6(3), 1-9. (in Persian).
2. Ahmadi, K., Alizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Hosseinpour, R., Abdul Shah, E., Kazemian, A., & Rafiei, M. (2020). Agricultural statistics. Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy for planning and economy, information and communication technology center. (in Persian).
3. Amirnejad, H., Rafiee, H., & Atai, K. (2009). Investigation of renovation effect of combine harvesters on wheat losses decrease in Iran. *Journal of Agriculture*, 11(1), 13-20. (in Persian).
4. Behrooz Lar, M. (1995). *Grain Combine losses*. National Project of Agricultural Education Research Organization. Agricultural Engineering Research Institute. Final report of the research project. (in Persian).
5. Dehghan, E., Afzali, M. J., Alizadeh, M., Salehi, S., & Dibaji, A. (2009). *Investigation of grain loss and causes in wheat harvesters in Khuzestan province*. Final report of Agriculture Engineering Research Institute with registration Number 88/947. (in Persian).
6. Dehghan, E., Ayvani, A., Hedayatipoor, A., Asadi, A., Taghinejad, J., Chaji, H., Omodmehr, Z., Zarifneshat, S., Abbasi, S., Afzali, J., Vahedi, A., Mahdinia, A., Gearmi, K., Shaker, M., Saeedi Rad, M. H., Mostoofi, M. R., Rostami, M. A., Safari, M., Zabolostani, M., & Sharifnasab, H. (2018). Assessing combine losses of wheat grain harvest in order to provide solutions to reduce it in Iran. Agricultural Engineering Research Institute Registration. Number 56539. (in Persian).
7. FMO. (1981). Combine harvesting. Published by John deer technical Services.
8. Ghaseminejad, M., Farammehr, M., & Abdshahi, A. (2018). Investigating the Effect of Field and Crop Conditions on Combine Performance in Wheat Harvesting. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 49(3), 513-524. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.251190.665033>
9. Mirasi, A., Asoodar, M. A., Samadi, M., & Kamran, E. (2014). The Evaluation of wheat losses harvesting in two Conventional Combine (John Deer 1165, 955) in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 1417-1425. (in Persian).
10. Patel, S. K., & Varshney, B. P. (2014). Modeling of wheat crop harvesting losses. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 16, 97-102.
11. Rostami, S., Lotfalian, M., & Hosseinzadeh Samani, B. (2018). Assessment and Comparison of Conventional and Straw Walker Combines Harvesting Losses in Fars Province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 19, 85-96. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/erams.2018.107988.1140>
12. Rostami, M. A., Asadi, A., Bakhtiari, M. R., Jafari, M., Ranjbar, F., Zabolostani, M., Sharifnasab, H., Safari, M., & Gerami, K. (2021). *Measuring the amount of wheat loss during harvesting with chaff combine harvesters in Iran*. Final Report of Agricultural Engineering Research Institute.
13. Safari, M., Rostami, M. A., & Salehi, J. (2019). Introduction of wheat chaff combine harvesters. *Journal of Agricultural Waste and Waste Management Promotion*, 1, 26-34. (in Persian).
14. Tavakoli, A. R. (2013). Effects of Sowing Date and Limited Irrigation on Yield and Yield Components of Five Rainfed Wheat Varieties in Maragheh Region. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(6), 87-97. (in Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1391.2.6.9.9>



Evaluation of Two Types of Cotton Pickers in Terms of the Functionality and Quality of the Harvested Fibers

Sh. Nowrouzieh^{1*}

1- Associate Professor, Cotton Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

(*- Corresponding Author Email: s.nowrouzieh@areeo.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75313.1092>

Received: 16 February 2022
Revised: 16 April 2022
Accepted: 18 May 2022
Available Online: 18 May 2022

How to cite this article:

Nowrouzieh, Sh. (2023). Evaluation of Two Types of Cotton Pickers in Terms of the Functionality and Quality of the Harvested Fibers. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 321-333. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.74055.1080>

Introduction

Cotton, as one of the most widely used products in various industries, has always been considered by leading countries in agriculture. The applications of this plant range from the food industry to the military industry, as well as the textile and animal nutrition industry. It is predicted that by 2025, the area under cotton cultivation in the world will reach more than 33 million hectares (FAO, 2017). Based on the growing population, it is necessary to use machines in industries and other sectors to accelerate production and increase efficiency. Cotton is no exception to this rule. The use of a machine can play an effective role in reducing harvest costs and decreasing losses from frost and early fall rainfall by enabling timely harvesting.

Material and Methods

Armaghan cultivar is an early-maturing cotton cultivar with high yield potential and good compatibility, introduced for conventional and secondary crops in Golestan, North Khorasan, Ardabil, and the central regions of Iran. The early maturity of this cultivar provides the possibility of cotton cultivation after wheat harvest in different regions of Iran. It reduces pests and diseases through the escape mechanism and completes the growth period in delayed planting. In this research, two types of picker machines were compared. One of the harvesting machines used in this study is a two-row self-propelled spindle picker machine, and the other picking machine is a two-row tractor semi-mounted dentate picker. Before harvesting with a machine, it is necessary to use a defoliator. This allows for seed cotton harvest with less trash and more cleanliness. About ten to fifteen days after spraying the defoliator, the leafless plants are ready for machine harvesting. In this study, the number of leaves was counted before spraying and before harvest, and the percentage of defoliation in each treatment was calculated and evaluated. The harvesting efficiency of machines, machine losses, and fiber qualities for each harvester was measured.

Results and Discussions

The results showed that the type of machine has a significant effect on plant residues and machine performance. However, the loss on the ground is not affected by the type of machine and remains almost the same for both machines. The mean comparisons revealed that the spindle harvesting machine leaves more than twice the amount of residues on the plant compared to the dentate harvesting machine. In terms of fiber quality, no significant difference was observed in any of the qualitative properties, and both machines perform at the same level.

Conclusion

The results of this research on the functional characteristics of picker machines and the cultivar and field conditions demonstrate that a higher percentage of leaves on the plant yields better performance from dentate

picker machines compared to spindle pickers. Spindle pickers are sensitive to leaves due to the teeth on their needles, causing reduced efficiency in such fields. In contrast, dentate picker machines work well and perform better under these conditions. Based on this study, the dentate harvesting machine is more suitable than the spindle picker machine for harvesting Armaghan cotton cultivars.

Keywords: Armaghan, Cotton harvester, Defoliator, Fiber length

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۳۳-۳۲۱

ارزیابی دو نوع ماشین پنبه‌چین از نظر کارکرد و کیفیت الیاف برداشتی

شهرام نوروزیه^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

چکیده

با توجه به روند افزایشی جمعیت به‌منظور تسریع در تولید و افزایش راندمان لزوم به‌کارگیری ماشین‌ها در صنایع و بخش‌های مختلف بر کسی پوشیده نیست. پنبه نیز از این قاعده مستثنی نیست. استفاده از ماشین می‌تواند در کاهش هزینه‌های برداشت نقش مؤثری ایفا کند و از طرف دیگر با برداشت به‌موقع محصول، خسارات ناشی از سرما و بارندگی‌های زودرس پاییزه نیز کاهش می‌یابد. در این تحقیق دو نوع ماشین وش‌چین در پنبه رقم ارمغان با یکدیگر مقایسه شدند. یکی از ماشین‌های برداشت استفاده شده در این پژوهش، ماشین وش‌چین دو ردیفه خودگردان از نوع سوزنی است و ماشین برداشت دیگری یک ماشین کششی وش‌چین دندان‌های دو ردیفه است. در این تحقیق صفات بقایای وش روی بوته و تلفات وش روی زمین پس از برداشت ماشینی و صفات کیفی الیاف برداشت شده با ماشین‌های متفاوت با همدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که نوع ماشین اثر معنی‌داری روی بقایای وش روی بوته و عملکرد ماشین دارد. اما صفات تلفات وش روی زمین تحت تأثیر نوع ماشین نبوده و در هر دو ماشین تقریباً یکسان است. مقایسه میانگین صفات نشان می‌دهد که بقایای وش روی بوته در استفاده از ماشین برداشت سوزنی ۱۲/۴۴ درصد و در ماشین دندان‌های ۵/۲۲ درصد است. از نظر کیفیت الیاف نیز تفاوت معنی‌داری در هیچ‌یک از صفات کیفی مشاهده نشد و هر دو ماشین در یک سطح قرار دارند. براساس این تحقیق برای برداشت رقم ارمغان ماشین وش‌چین دندان‌های مناسب‌تر از ماشین وش‌چین سوزنی است.

واژه‌های کلیدی: برداشت پنبه، کیفیت الیاف، برگ‌ریز، وش‌چین

مقدمه

پنبه به‌عنوان یکی از محصولات پرکاربرد در صنایع مختلف همواره مورد توجه کشورهای پیشرو در کشاورزی بوده است. کاربردهای این گیاه از صنایع غذایی گرفته تا صنایع نظامی و همچنین صنعت نساجی و تغذیه‌ی دام، گستره‌ی وسیعی را در برمی‌گیرد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ سطح زیر کشت پنبه در دنیا به بیش از ۳۳ میلیون هکتار برسد (FAO, 2017).

افزایش سطح زیر کشت این گیاه پرکاربرد، حاکی از آن است که نیاز به این گیاه در صنایع مختلف همواره در حال افزایش است. علاوه بر کشورهای پیش‌گام نظیر آمریکا که سهم بسیار زیادی در تولید محصول پنبه در جهان دارند، کشورهای در حال توسعه با درک

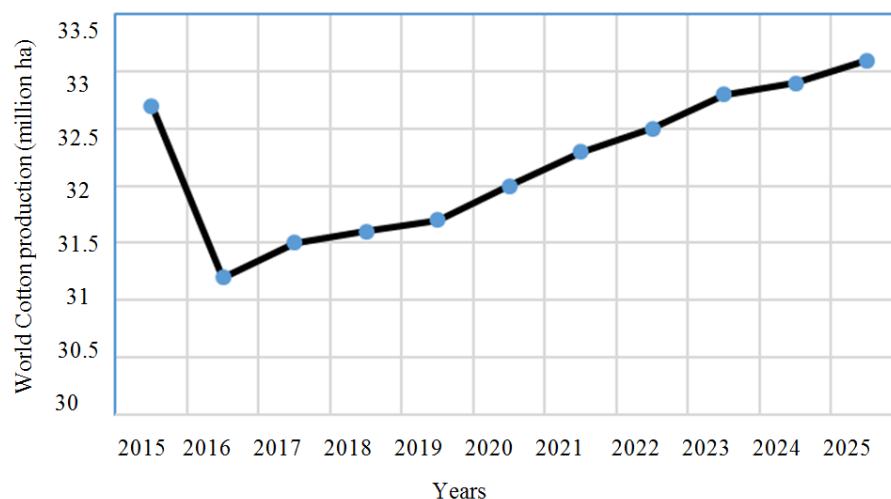
اهمیت کشت این محصول توانسته‌اند سود اقتصادی کلانی را از طریق کشت و صادرات این محصول، از بازار جهانی به‌دست آورند. در حال حاضر ۱۱ رقم پنبه اصلاح‌شده در کشور کشت می‌شود و یکی از آن‌ها رقم ارمغان بوده که در این تحقیق استفاده شده است. منشأ پنبه رقم ارمغان کشور یونان است که پس از ورود به ایران اصلاح و معرفی شد. در سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ در بین ژرم‌پلاسم‌های وارداتی پنبه به‌عنوان رقمی زودرس و پرمحصول مورد توجه قرار گرفت و برای ورود به برنامه‌های اصلاح رقم‌کندید شد. پروژه‌ی اصلاح صفات کمی و کیفی آن از سال ۱۳۸۰ آغاز و در سال ۱۳۸۳ خاتمه یافت. در طی مراحل سلکسیون برخی صفات مهم زراعی و کیفی الیاف از جمله عملکرد، زودرسی، وزن غوزه و ظرافت الیاف اصلاح گردید و پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در آن‌ها حاصل شد. رقم ارمغان یک رقم پنبه زودرس با پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری مطلوب است که برای کشت‌های متعارف و کشت دوم در استان‌های گلستان، خراسان شمالی، اردبیل و مناطق مرکزی کشور معرفی می‌شود و زودرسی این رقم ضمن فراهم کردن امکان کشت پنبه پس

۱- دانشیار موسسه تحقیقات پنبه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: s.nowrozieh@areeo.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75313.1092>

از برداشت گندم در مناطق مختلف کشور، کاهش خسارت آفات و امراض از طریق مکانیزم فرار و تکمیل دوره‌ی رشد در کشت‌های

تاخیری را فراهم می‌سازد.



شکل ۱- سطح زیر کشت پنبه در دنیا (دورنمای کشاورزی فائو، ۲۰۱۷)

Fig.1. Cotton world production (FAO, 2017)

همین مقدار پنبه با فرض برداشت هر نفر ۵۰ کیلوگرم در روز، به ۳۰۰ نفر کارگر احتیاج است. محدودیت زمان برداشت و کمبود کارگر فصلی، راهی جز استفاده از ماشین برداشت پنبه پیش روی ما نمی‌گذارد. به همین دلیل در صورتی که بخواهیم در تولید پنبه موفق باشیم و کارخانه‌های پنبه‌پاک‌کنی و به دنبال آن صنعت نساجی کشور جان تازه‌ای بگیرد، برداشت ماشینی می‌تواند چاره‌ساز مشکل پیش‌آمده باشد (Rezaei-Asl, Nowrouzieh, & Taghizadeh, 2014). بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از ماشین برداشت و ش‌چین پشت‌تراکتوری کارایی برداشت را حدود ۴۱ درصد در مقایسه با برداشت دستی بهبود بخشیده است (Ravinder & Majumdar, 2013).

در پژوهشی دیگر، بررسی سه نوع و ش‌چین سوزنی نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی درصد و ش باقی‌مانده روی بوته افزایش می‌یابد و بازده مزرعه‌ای با شیب خیلی کم کاهش می‌یابد. متوسط بازده ماشین و ش‌چین دوردیفه خودگردان در این مطالعه ۷۵٪ می‌باشد (Saidirad et al., 2018).

ماشین‌های برداشت پنبه به دو نوع غوزه‌چین (Stripper) و و ش‌چین (Picker) تقسیم‌بندی می‌گردند. غوزه‌چین‌ها ماشین‌هایی هستند که با یک بار عبور، تمام غوزه‌های باز شده و نشده را از ساقه‌های بوته پنبه می‌چینند. بنابراین چین غوزه‌ها تا زمان باز شدن اکثر غوزه‌ها به تعویق می‌افتد. ماشین‌های و ش‌چین فقط الیاف را از غوزه‌های باز شده جدا

تحقیقات نشان می‌دهد که بین میزان تولید و مصرف جهانی پنبه در سال‌های اخیر فاصله ایجاد شده است. به طوری که میزان تولید در حال حاضر جوابگوی میزان تقاضا برای این محصول نیست (FAO, 2017). از این رو می‌توان با مدیریت صحیح منابع از این فرصت برای راه‌یابی به بازار جهانی پرسود محصول پنبه استفاده کرد. سیاستی که کشورهای نظیر هند و ترکیه برای پیشرفت اقتصادی از آن بهره می‌برند.

از مهم‌ترین مشکلات پنبه، بالا بودن هزینه برداشت دستی است. برداشت دستی پنبه نزدیک به یک چهارم هزینه‌های تولید را به خود اختصاص داده و در بیشتر موارد باعث از بین رفتن قدرت رقابت پنبه با سایر محصولات گردیده است. به طوری که در سال‌های گذشته سبب کاهش سطح زیر کشت آن و در نتیجه کاهش تولید شده است. عملیات برداشت به عنوان یکی از بخش‌های مهم در افزایش هزینه‌های تولید پنبه می‌باشد (Cooker, Parvin, & Spurlock, 1991; Faulkner, Wanjura, Hequet, & Shaw, 2008). استفاده از ماشین می‌تواند در کاهش هزینه‌های برداشت نقش مؤثری ایفا کند و از طرف دیگر با برداشت به موقع محصول، خسارات ناشی از سرما و بارندگی‌های زودرس پاییزه نیز کاهش می‌یابد (Nowrouzieh, Mobli, Ghanadha, & Oghabi, 2003).

مقایسه دو شیوه برداشت ماشینی و دستی، نشان می‌دهد که، یک ماشین دوردیفه با برداشت ۵ هکتار در روز و عملکرد ۳ تن در هکتار، قادر به جمع‌آوری ۱۵ تن پنبه در روز است. برای برداشت

(Brashears, & Barker, 1994). نتایج عملکرد وش چین دو ردیفه در هند بیان نمود که متوسط سرعت پیشروی، ظرفیت موثر مزرعه‌ای، تلفات برداشت، راندمان مکانیکی وش چین، راندمان برداشت و مصرف سوخت به ترتیب برابر است با ۲/۶۲ کیلومتر بر ساعت، ۰/۲۸ هکتار بر ساعت، ۲۳/۶۳ درصد، ۷۵/۷ درصد، ۷۶/۴ درصد و ۲۲-۲۴ لیتر بر ساعت (Prasad et al., 2007).

نوع دیگر وش چین‌ها که اخیراً توسط برخی شرکت‌های ترکیه‌ای و اکرائینی توسعه داده شده است، دارای چند استوانه عمودی دوار است که روی استوانه‌ها یک نوار دنداندار به صورت مارپیچی پیچیده شده است. دوران این استوانه سبب می‌گردد که دندانهای نوار مارپیج، با الیاف درگیر شده و آن‌ها را از داخل غوزه خارج کند. این الیاف توسط برس‌های دوار سیمی از استوانه جدا شده و به مخزن ارسال می‌گردد (شکل ۲-ب).



(B)

می‌کند. بنابراین می‌توان چند بار برداشت محصول را انجام داد (Mansouri rad, 2009). مکانیزم برداشت در وش چین‌ها متفاوت است. متداول‌ترین وش چین‌ها دارای چند استوانه عمودی دوار هستند که سوزن‌هایی به نام انگشتی به صورت زیگزاگ بر روی آن قرار دارند (شکل ۲-الف). در حین چرخش استوانه‌ها، انگشتی‌ها در غوزه‌ها فرو رفته و پنبه را از داخل آن بیرون می‌آورد و سپس انگشتی‌ها از میان صفحات استوانه‌ای شکل عمودی به نام پنبه‌گیر عبور کرده و پنبه‌های گرفته شده به طرف سبد یا ظرف پنبه هدایت می‌شوند. در ادامه‌ی چرخش انگشتی‌ها، سوزن‌ها از استوانه دیگری به نام تمیزکن که صفحات آن همیشه مرطوب است گذشته و بقایای پنبه چسبیده نیز پاک می‌گردد.

مقایسه ماشین وش چین و غوزه چین نشان داد که راندمان برداشت وش در ماشین وش چین بین ۸۵ تا ۹۰ درصد و راندمان برداشت وش در غوزه چین ۹۹ درصد می‌باشد (Williford,



(A)

شکل ۲- واحد بردارنده ماشین وش چین سوزنی (الف)، واحد بردارنده ماشین وش چین دنداندار (ب)

Fig.2. Picker unit of cotton picker with spindle (A), Picker unit of dentate cotton picker (B)

الیاف برداشت شده نیز بررسی شد.

همچنین، شرایطی از قبیل رقم، آرایش ردیف‌های کاشت، تراکم بوته و میزان بیوماس گیاهی نیز می‌تواند کارایی ماشین‌های برداشت پنبه را تحت تاثیر قرار دهد. تحقیقات نشان داده است که مشخصات ارقام، خصوصیات گیاهی و شرایط مزرعه تاثیر زیادی بر کارایی ماشین‌های وش چین و غوزه چین دارد (Sandhar, 1999; EL- Sayed, El-Shazly, & El- Yamani, 2008). نتایج بررسی

ماشین‌های وش چین دنداندار سرویس و نگهداری کمتری نیاز دارد و سبک‌تر از ماشین‌های وش چین سوزنی است. ماشین وش چین دنداندار به دلیل نامعلوم بودن کارایی آن در مزارع پنبه، هنوز وارد مزارع ایران نشده است و تمام وش چین‌های مورد استفاده از نوع سوزنی می‌باشند. هدف این تحقیق بررسی کارکرد این دو ماشین در یک رقم پنبه ایرانی به نام ارمغان می‌باشد. کیفیت الیاف پنبه بر تقاضا و قیمت آن بسیار موثر است. بنابراین اثر این دو ماشین بر کیفیت

کارایی برداشت و ش چین دوردیفه پشت تراکتوری نشان داد که تلفات زمینی (وش‌های ریخته‌شده روی زمین) بین $1/4$ تا 5 درصد و بقایای وش روی بوته بین $1/7$ تا $7/8$ درصد متغیر بود (Oz, 2005). تحقیقات نشان داد که فاصله ردیف، رطوبت وش و سرعت پیشروی بر تلفات وش، کارایی ماشین، مصرف انرژی و کیفیت الیاف در دو نوع وش چین تاثیر دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که حداقل میزان تلفات در سرعت پیشروی $1/3$ کیلومتر در ساعت و محتوای رطوبتی وش $10/8$ درصد با فاصله ردیف 80 سانتی‌متر حاصل می‌شود (El-Yamani, Marey, & Sayed-Ahmed, 2017).

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی دو نوع ماشین وش چین، پنبه رقم ارمغان در سطحی حدود یک هکتار در اربیهشت ماه در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم آباد موسسه تحقیقات پنبه کشور کشت گردید. ایستگاه هاشم آباد با طول جغرافیایی 54° درجه و 16° دقیقه و عرض جغرافیایی 36° درجه و 51° دقیقه به میزان $13/3$ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد و نوع خاک آن عمدتاً رسی لومی می‌باشد. میانگین بارش سالیانه حدود 527 میلی‌متر برآورد شده است. گرم‌ترین ماه سال مرداد با میانگین $32/6$ درجه سانتی‌گراد و سردترین آن ماه بهمن با میانگین $2/4$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط رطوبت سالیانه 71 درصد و میانگین ساعات آفتابی در سال حدود 2233 ساعت گزارش شده است. مراحل تنک، وجین و کنترل آفات در دوره داشت پنبه انجام شد. صفات مورفولوژیکی پنبه توسط پنج بوته که به‌طور تصادفی انتخاب و علامت‌گذاری شده بود تعیین شد. این صفات عبارتند از: ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه‌های رويا، تعداد و طول شاخه‌های زایا و ارتفاع اولین غوزه از سطح زمین. استفاده از محلول برگ‌ریز برای برداشت ماشینی محصول پنبه امری ضروری است. پس از باز شدن 60 درصد غوزه‌های زمین آزمایش، برگ‌ریز EtrexExtra با دوز دو لیتر در هکتار با سمپاش لانس‌دار در مزرعه پاشش شد. این کار اگر با زمان‌بندی درست و به‌موقع انجام شود باعث برداشت بهتر و تمیزتر وش پنبه خواهد شد. حدود ده تا پانزده روز پس از پاشش محلول برگ‌ریز، برگ‌های بوته‌ها ریزش کرد و مزرعه آماده‌ی برداشت ماشینی شد. در این پژوهش از زمان پاشش برگ‌ریز تا زمان برداشت دوازده روز سپری شد. برگ‌ها قبل از پاشش محلول برگ‌ریز و قبل از برداشت شمارش شدند و شاخص درصد برگ‌های ریخته‌شده در هر تیمار محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

پس از آماده شدن مزرعه برای برداشت ماشینی، برداشت وش با ماشین‌های وش چین انجام شد. یکی از ماشین‌های برداشت استفاده شده در این پژوهش، ماشین وش چین دو ردیفه خودگردان، مدل ۹۹۲۰ ساخت شرکت جان‌دیر است. این ماشین برای برداشت وش از

داخل غوزه از انگشتی استفاده می‌نماید. هر واحد بردارنده‌ی این ماشین تشکیل شده است از دو استوانه‌ی برداشت که یکی در جلو و یکی دیگر کمی عقب‌تر از استوانه‌ی جلویی قرار دارد. بر روی محیط استوانه‌های جلویی 16 عدد و بر روی استوانه‌های عقبی تعداد 12 میله‌ی عمودی وجود دارد که هر میله دربرگیرنده‌ی 20 انگشتی می‌باشد. همچنین برای هر انگشتی یک پنبه‌گیر و یک مرطوب‌کننده هم وجود دارد. سرعت دوران سوزن‌ها بین 2454 تا 3274 دور بر دقیقه و سرعت دوران پنبه‌گیرها بین 1135 تا 1514 دور بر دقیقه می‌باشد. از جمله مشخصات دیگر این ماشین می‌توان به مخزن سوخت 256 لیتری، مخزن آب 417 لیتری و سید برداشت با $1/5$ تن گنجایش (17 مترمکعب) اشاره کرد. وزن کل ماشین حدود 7 تن می‌باشد. فاصله‌ی وسط به وسط چرخ‌های جلویی 2 متر و فاصله‌ی ردیف‌ها 95 و 101 سانتی‌متر است. قبل از برداشت سوزن‌های شکسته و فرسوده و تمام پنبه‌گیرها و مرطوب‌کننده‌ها تعویض و تنظیم شد (شکل ۲-الف). بهترین شرایط کاری این ماشین حرکت در دنده یک سنگین و بیشترین حالت گازدستی می‌باشد.

ماشین برداشت دیگری که در این تحقیق استفاده شد یک ماشین وش چین دندان‌ای دو ردیفه است که پشت تراکتور فرگوسن 285 سوار می‌شود. سیستم هیدرولیک فرمان تراکتور به چرخ‌های حامل ماشین برداشت متصل می‌شود و چرخ‌های جلوی تراکتور باز می‌شود. حرکت واحد برداننده از محور انتقال توان تراکتور، چک‌های هیدرولیک از خروجی هیدرولیک تراکتور و توان حرکتی در ماشین برداشت در مزرعه با کمک چرخ‌های عقب تراکتور تامین می‌شود.

سرعت کار در مزرعه $4/8$ کیلومتر در ساعت، وزن دستگاه بدون تراکتور 3500 کیلوگرم، فاصله بین ردیف‌ها 90 سانتی‌متر است. هر واحد بردارنده دارای چهار استوانه می‌باشد که دو استوانه در سمت چپ و دو استوانه در سمت راست ردیف کار می‌کند. روی هر استوانه 12 میله عمودی دندان‌دار قرار دارد که با حرکت دورانی حول محور خود (حرکت وضعی) سبب درگیر شدن دندان‌های استوانه با وش غوزه‌های باز می‌شود. حرکت دورانی استوانه (حرکت انتقالی) باعث می‌شود که استوانه‌های دندان‌دار از بوته جداشده و به قسمت بردارنده بروند (شکل ۲-ب). واحد بردارنده از 8 عدد برس سیمی عمودی دوار تشکیل شده که کار گرفتن وش استوانه‌های دندان‌دار و انتقال آن‌ها به کانال مکش هوا را به‌عهده دارند. مناسب‌ترین شرایط کاری این ماشین برداشت، حرکت در دنده یک سنگین تراکتور و بیشترین حالت گازدستی می‌باشد.



(B)



(A)

شکل ۳- ماشین‌های وش چین الف- ماشین برداشت سوزنی، ب- ماشین برداشت دندان‌های

Fig.3. Cotton picker with spindle (A), Dentate Cotton picker (B)

بعدی می‌تواند توسط ماشین برداشت گردد. برای محاسبات میزان بقایای روی بوته (Rc)، وزن اندازه‌گیری شده‌ی وش‌های روی بوته توسط رابطه (۳) به‌صورت درصدی از کل وش قابل برداشت در نظر گرفته می‌شود:

$$\%Rc = \frac{W_c}{L_T} \times 100 \quad (3)$$

میزان وش برداشت‌شده توسط ماشین برداشت (Ph) از کل وش قابل برداشت در هر تیمار را به‌عنوان عملکرد برداشت در نظر می‌گیرند. برای محاسبه‌ی این مقدار از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$\%Ph = \frac{L_T - Wg - Rc}{L_T} \times 100 \quad (4)$$

به‌منظور اندازه‌گیری تعداد بوته و غوزه قبل از برداشت دو خط کشت به طول ۵ متر علامت‌گذاری شد. داده‌های حاصل از هر دو خط میانگین‌گیری و به‌عنوان شاخص آن تیمار در نظر گرفته شد. به‌منظور کمتر شدن خطا در اندازه‌گیری این صفات، تمام اندازه‌گیری‌های مربوط به این بخش تنها چند ساعت قبل از برداشت صورت گرفت. برای بررسی اثر ماشین برداشت بر کیفیت الیاف پنبه، نمونه وش‌هایی از سبد ماشین‌های برداشت گرفته شد. این نمونه وش‌ها برای تعیین صفات کیفی الیاف با دستگاه HVI به آزمایشگاه کنترل کیفی الیاف ارسال گردید. لازم به ذکر است که تمام ارزیابی‌های مربوط به میزان وش، میزان تلفات و عملکرد برداشت نیز بر روی همین خطوط علامت‌گذاری شده و در سه تکرار انجام شد. داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم‌افزار JMP در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز شد.

برای ارزیابی کارایی ماشین‌های برداشت نیاز است تا میزان وش ردیف کاشتی به طول ۵ متر تخمین زده شود. وزن کل وش موجود در ردیف کاشتی به طول ۵ متر (L_T)، توسط اندازه‌گیری وزن وش ۳۰ غوزه و تعداد غوزه‌های باز قبل از برداشت و از طریق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$L_T = \frac{\text{وزن وش 30 غوزه}}{30} \times \text{تعداد غوزه باز آماده برداشت} \quad (1)$$

ابتدا از هر تیمار سی غوزه به‌طور تصادفی چیده شد و وش آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی توزین شد تا میانگین وزن وش یک غوزه تعیین گردد. سپس ردیف‌های ۵ متری که قبلاً به‌طور تصادفی انتخاب شده و وش ریخته شده آن‌ها جمع‌آوری شده است با ماشین برداشت مورد نظر برداشت شد.

پس از برداشت ماشین مقدار وش باقی‌مانده روی بوته و روی زمین جمع شده تا کارکرد ماشین ارزیابی گردید. میزان وش‌های ریخته شده بر روی زمین در ردیف‌های منتخب ۵ متری، بعد از برداشت ماشینی را تلفات روی زمین تلقی می‌کنند. برای محاسبات و بررسی میزان تلفات روی زمین (Wg)، وزن اندازه‌گیری شده‌ی وش‌های ریخته‌شده روی زمین را توسط رابطه (۲) به‌صورت درصدی از کل وش قابل برداشت در نظر می‌گیریم:

$$\%Wg = \frac{Wg}{L_T} \times 100 \quad (2)$$

وش‌های جداشده از غوزه و برداشت‌نشده که بعد از برداشت ماشینی روی بوته باقی می‌ماند را جزو بقایای روی بوته محاسبه می‌کنند. بدین دلیل به این وش بقایا گفته می‌شود که در برداشت

نتایج و بحث

اندازه‌گیری شد. جدول ۱ میانگین صفات اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، قبل از برداشت مزرعه تعدادی بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و صفات مرفولوژیکی پنبه رقم ارمغان

جدول ۱ - میانگین صفات مرفولوژیکی پنبه رقم ارمغان

Table 1- The average morphological properties of Armaghane variety cotton

صفت Properties	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه زایا No Sympodial	طول شاخه زایا Length of Sympodial (cm)	تعداد شاخه روی No monopodial	طول شاخه رویا Length of momopodial (cm)	پایین‌ترین غوزه از زمین The lowest boll-ground distance (cm)
مقدار Amount	103	12	19	3	73	28
ضریب تغییرات C.V	4	1.04	1.18	0.33	7.74	1.61

ارتفاع بوته در کارکرد ماشین برداشت تاثیری ندارد و در صورت بلندتر بودن ارتفاع بوته از ارتفاع دماغه بردارنده، بوته به جلو متمایل شده و وارد دماغه برداشت می‌گردد. البته این موضوع در کارکرد ماشین کششی می‌تواند ایجاد مشکل کند. زیرا به دلیل قرار گرفتن واحدهای بردارنده پشت چرخ‌های تراکتور، بوته‌ها ابتدا باید از زیر محور چرخ عبور کند و سپس وارد بردارنده‌ها گردد که این موضوع ممکن است سبب ریزش و افزایش تلفات می‌گردد. در قسمت بررسی کارکرد ماشین این موضوع بررسی خواهد شد. باتوجه به این‌که غوزه‌ها روی شاخه زایا تشکیل می‌گردد زیاد بودن تعداد و طول این شاخه‌ها سبب افزایش تعداد غوزه و در نتیجه افزایش عملکرد مزرعه‌ای وش می‌گردد. یکی از صفات مهم در کارکرد ماشین پایین‌ترین غوزه از سطح زمین است. هرچه ارتفاع غوزه اول از سطح زمین بیشتر باشد، هد بردارنده بالاتر قرار گرفته و احتمال برخورد هد با مانع کمتر شده و راننده می‌تواند با اطمینان بیشتر برداشت را انجام دهد. رقم ارمغان از این دیدگاه، از ارقام مناسب برداشت ماشینی می‌باشد.

میزان ریزش برگ در اثر پاشش برگ‌ریز

تعداد برگ‌های روی بوته قبل و بعد از برگ‌ریز نشان می‌دهد که متوسط ریزش برگ در اثر پاشش برگ‌ریز ۷۱٪ بوده است. متأسفانه این مقدار ریزش برگ مطلوب نیست و انتظار می‌رفت درصد بیشتری ریزش نماید. تنش‌های محیطی و نوع برگ‌ریز از عوامل موثر در تاثیر برگ‌ریز می‌باشد. هرچه درصد ریزش برگ بیشتر باشد کیفیت الیاف برداشت‌شده و درصد برداشت وش بیشتر خواهد بود. البته چون هر دو ماشین برداشت در مزرعه‌ای با شرایط یکسان ارزیابی شدند در مقایسه دو ماشین اخلالی ایجاد نمی‌شود.

مقایسه تلفات برداشت دو ماشین وش‌چین

همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها گفته شده پس از آماده شدن بوته‌ها هر دو ماشین وارد مزرعه شده و ردیف‌های انتخاب شده را برداشت کردند. جدول ۲ تجزیه واریانس صفات عملکردی ماشین‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد نوع ماشین اثر معنی‌داری روی بقایای روی بوته و عملکرد ماشین در سطح احتمال ۱٪ دارد. اما صفت تلفات روی زمین تحت تاثیر نوع ماشین نبوده و در هر دو ماشین تقریباً یکسان است.

در ماشین وش‌چین دندان‌های بوته‌ها ابتدا از زیر تراکتور عبور کرده و سپس وارد واحد بردارنده می‌شوند. انتظار می‌رفت که این وضعیت سبب افزایش تلفات وش روی زمین شود اما نتایج نشان داد که سرعت پایین تراکتور و مقاومت رقم ارمغان به ریزش، سبب شد که اختلاف معنی‌داری در تلفات روی زمین در دو ماشین برداشت وجود نداشته باشد.

مقایسه میانگین این صفات نشان می‌دهد که درصد بقایای روی بوته در مورد ماشین برداشت سوزنی (۱۲/۴۴) بیشتر از دو برابر ماشین دندان‌های (۵/۲۲) است (شکل ۴). منشا بقایای روی بوته در ماشین برداشت سوزنی نامناسب کارکردن سوزن‌ها می‌باشد. یکی از دلایل عمده برداشت کم سوزن‌ها در این تحقیق تعداد برگ روی بوته است. همان‌طور که ذکر شد حدود ۳۰ درصد برگ‌های بوته پس از پاشش برگ‌ریز روی بوته باقی مانده است که مانع درگیری خوب سوزن با الیاف پنبه شده و روی بوته باقی می‌ماند. تحقیقات رضایی و همکاران (Rezaei-Asl et al., 2014) نیز نشان می‌دهد که برگ روی بوته می‌تواند تا ۳۰٪ کارکرد ماشین را کاهش دهد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عملکردی ماشین‌های برداشت

Table 2- ANOVA of cotton harvester performances

منابع تغییرات	درجه آزادی	بقایای روی بوته Residue on plant (%)	تلفات روی زمین Residue on soil (%)	عملکرد ماشین Efficiency (%)
S.V	D.F			
ماشین برداشت Harvester	1	78.04**	0.026 ^{ns}	75.18**
خطا Error	4	7.73	0.891	2.92
خطای کل Total	5	85.87	0.718	17.38
ضریب تغییرات C.V		15.74	21.10	1.97

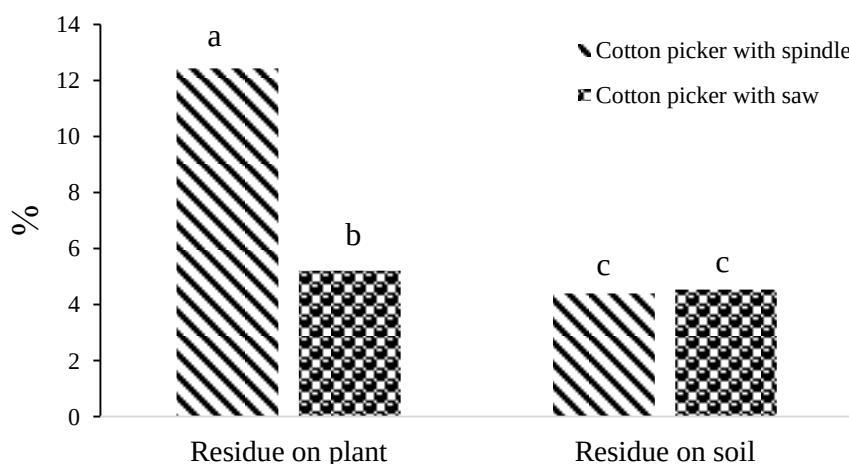
***: در سطح یک درصد معنی‌دار، ns: غیر معنی‌دار

ns: No significant difference, **: Significant difference at the level of one percent probability

حدود ۰/۸ درصد است که بسیار کمتر از میزان ماشین وش چین این تحقیق است. البته آن‌ها در مقاله خود اشاره‌ای به میزان برگ ریخته شده نموده‌اند. از آن جایی که هرچه بوته دارای برگ کمتری باشد تلفات روی زمین و روی بوته کمتر می‌گردد احتمالاً درصد ریزش برگ در تحقیق آن‌ها بیشتر از ۷۰ درصد بوده است. همچنین رقم نیز در کیفیت برداشت موثر است (Sandhar, 1999; Elsayed et al., 2008).

بنابه نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که ماشین برداشت دندانه‌ای نسبت به وجود برگ روی بوته حساسیت کمتری داشته و به همین دلیل مقدار بیشتری وش نسبت به وش چین سوزنی برداشت نموده است.

الیمنی و همکاران (El-Yamani et al., 2017) که وش چین سوزنی و دندانه‌ای را با همدیگر مقایسه کرده‌اند گزارش نمودند که تلفات روی زمین وش چین دندانه‌ای حدود ۴/۵ درصد می‌باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد اما تلفات روی زمین وش چین سوزنی



شکل ۴- مقایسه بقایای روی بوته و تلفات روی زمین دو ماشین وش چین

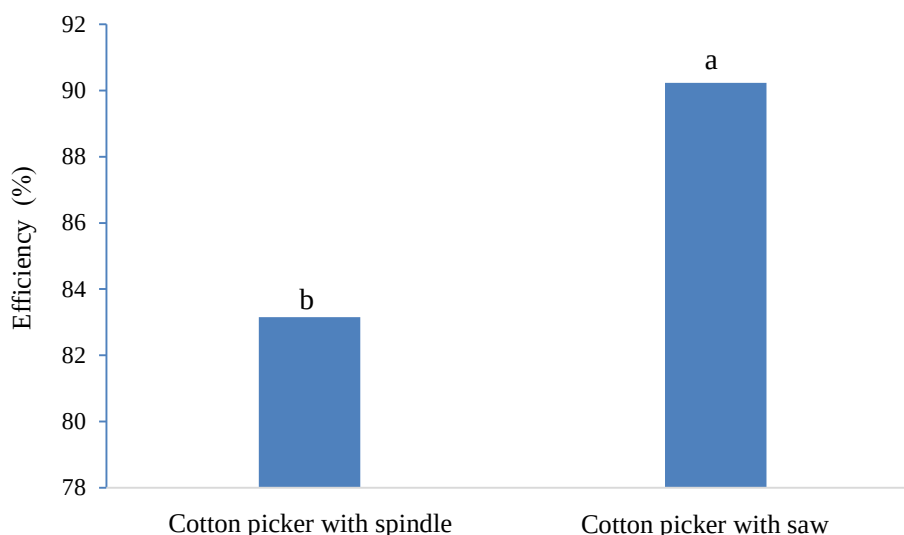
Fig.4. Comparison of residue on plant and soil in two types of cotton harvesters

میانگین اختلاف معنی‌داری بین کارکرد ماشین وش چین دندانه‌ای با ماشین وش چین سوزنی وجود دارد. علت بهتر بودن کارکرد ماشین دندانه‌ای در این تحقیق درگیری بیشتر دندانه‌ها با الیاف است. این

با توجه به یکسان بودن تلفات روی زمین در دو ماشین برداشت می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد ماشین وش چین دندانه‌ای بهتر از سوزنی باشد. شکل ۵ این مطلب را تایید می‌کند. براساس مقایسه

وش روی بوته‌ها را برداشت می‌کند و به همین دلیل است که بقایای روی بوته در این ماشین نسبت به ماشین وش‌چین دندان‌های بیشتر و عملکرد آن کمتر است. شکل ۶ وضعیت سوزن‌ها پس از کارکردن در مزرعه را نشان می‌دهد.

نوع ماشین برداشت به دلیل نوع درگیری دندان‌ها با بوته و الیاف و برس‌های سیمی تمیزکننده آن‌ها، نسبت به برگ روی بوته در زمان برداشت حساسیت کمتری دارد اما در ماشین وش‌چین سوزنی، زائده‌های سوزن‌ها به دلیل درگیری با برگ‌های باقی‌مانده روی بوته پر شده و درگیری آن‌ها با الیاف کمتر شده، در نتیجه درصد کمتری از



شکل ۵- مقایسه عملکرد ماشین‌های وش‌چین

Fig.5. Efficiency comparison of two types of cotton harvester



شکل ۶- سوزن ماشین برداشت پوشیده شده با بقایای برگ

Fig.6. Spindle covered by leaf residues

آن‌ها مربوط به میزان برگ ریخته‌شده می‌باشد. با توجه به نوع درگیری واحدهای بردارنده با وش، انتظار می‌رود که کیفیت الیاف برداشت‌شده در این دو ماشین با یکدیگر متفاوت باشد. بنابراین صفات کیفی الیاف برداشتی این دو ماشین اندازه‌گیری شد و با کیفیت الیاف برداشت‌شده با دست (شاهد) مقایسه گردید. جدول ۳ تجزیه واریانس این صفات را نشان می‌دهد. جدول ۳ نشان می‌دهد که نوع برداشت بر صفات استحکام، درصد و تعداد مواد خارجی در سطح یک درصد خطا و ظرافت در سطح پنج درصد خطا اثر معنی‌دار دارد و بر سایر صفات اثری نداشته است.

نتایج ال‌یمنی و همکاران (El-Yamani et al., 2017) در مورد عملکرد برداشت دو مدل وش‌چین کاملاً با این نتایج این تحقیق در تضاد است. آن‌ها گزارش نمودند که میزان وش برداشتی در واحد ساعت برای وش‌چین حدود ۲ تن در ساعت می‌باشد در حالی‌که وش‌چین دندان‌های نه‌ایتاً می‌تواند یک تن در ساعت برداشت نماید. البته با توجه به پایین بودن میزان تلفات روی زمین در ماشین وش‌چین سوزنی چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نیست. همان‌طور که در بالا ذکر شد در مقاله ایشان شرایط بوته پنبه و میزان برگ ریخته‌شده گزارش نشده است و احتمالاً اختلاف پیش‌آمده در این تحقیق با نتایج

درصد یکنواختی هر سه نوع برداشت است. نتایج الیمنی و همکاران (El-Yamani *et al.*, 2017) نیز موید این نتایج است.

باتوجه به این که طول الیاف در دو نوع برداشت ماشینی با برداشت دستی اختلاف معنی دار ندارد می توان نتیجه گرفت در زمان برداشت در هر دو ماشین پارگی الیاف اتفاق نمی افتد در نتیجه تغییری در طول الیاف رخ نمی دهد. موید این فرضیه نبود اختلاف معنی دار در،

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کیفی الیاف در تیمارهای مختلف برداشت

Table 3- ANOVA of fiber quality in different treatments

منابع تغییرات S.V	درجه آزادی D.F	طول الیاف UHML	درصد یکنواختی U.I	درصد کشش Elongation	استحکام Strength	ظرافت Micronary	درصد سطحی مواد خارجی Trash area	تعداد مواد خارجی Trash no.	درصد الیاف کوتاه SFI
ماشین برداشت Cotton picker	2	0.839 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.010 ^{ns}	5.02 [*]	0.43 ^{**}	0.30 [*]	150.11 [*]	0.44 ^{ns}
خطا Error	6	0.520	1.62	0.006	0.91	0.03	0.02	17.11	3.11
خطای کل Error total	8	0.489	1.22	0.007	1.93	0.13	0.09	50.36	2.44
ضریب تغییرات C.V		2.48	1.54	1.19	2.86	3.88	25	26	24.92

***: در سطح یک درصد خطا معنی دار، *: در سطح ۵ درصد خطا معنی دار، ns: غیر معنی دار
ns: No significant difference, **: Significant difference at the level of one percent probability

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کیفی الیاف در تیمارهای مختلف برداشت

Table 4- Mean comparison of fiber quality in different treatments

نوع برداشت Type of harvester	طول الیاف UHML	درصد یکنواختی U.I	درصد الیاف کوتاه SFI	درصد کشش Elongation	استحکام Strength	ظرافت Micronary	درصد سطحی مواد خارجی Trash area	تعداد مواد خارجی Trash no.
وش چین سوزنی Cotton picker with spindle	28.75 ^a	82.40 ^a	7.5 ^a	6.73 ^a	32.13 ^b	4.99 ^a	0.85 ^a	21.66 ^a
وش چین دنده ای Cotton picker with saw	29.30 ^a	82.50 ^a	6.93 ^a	6.83 ^a	33.13 ^{ab}	4.98 ^a	0.79 ^a	18 ^a
برداشت دستی Harvest by hand	29.44 ^a	82.50 ^a	6.76 ^a	6.83 ^a	34.70 ^a	4.32 ^b	0.27 ^b	8 ^b

برداشت دستی بیشترین استحکام الیاف در وش چین دندانه ای وجود دارد که اختلاف معنی داری با برداشت دستی ندارد. اما استحکام الیاف برداشتی با ماشین سوزنی کمترین استحکام را دارا است و دارای

استحکام الیاف در جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان می دهد که بیشترین مقاومت الیاف در برداشت دستی دیده می شود. دلیل این امر کمترین تنش به الیاف در این نوع برداشت است. بعد از

اختلاف معنی‌دار با برداشت دستی می‌باشد. بالا بودن استحکام الیاف از پارامترهای موثر در کیفیت نخ می‌باشد. هرچه الیاف دارای استحکام بیشتری باشند در فرآیندهای ریسندگی کمتر دچار پارگی شده و نهایتاً نخ تولیدی از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود. در مقایسه دو ماشین برداشت از نظر استحکام الیاف، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج ال‌یمنی و همکاران (El-Yamani et al., 2017) نیز موید این نتایج است.

تعداد مواد خارجی در تحقیق ال‌یمنی و همکاران (El-Yamani et al., 2017) ۵/۷۸ و ۶/۵۷ به‌ترتیب برای وش‌چین سوزنی و وش‌چین دندان‌های است که با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق بسیار متفاوت است و این نشان می‌دهد که شرایط مزرعه‌ای برداشت آن‌ها بسیار بهتر از این تحقیق بوده است، اگرچه در مقاله از شرایط مزرعه‌ای اطلاعاتی داده نشده است.

نتیجه‌گیری

نتایج صفات کارکردی ماشین‌های وش‌چین مورد مطالعه در این

تحقیق و شرایط رقم و مزرعه‌ای این تحقیق نشان می‌دهد که در صورت بالا بودن درصد برگ‌های روی بوته، ماشین وش‌چین دندان‌های کارکرد بهتری از ماشین وش‌چین سوزنی خواهد داشت. ماشین‌های وش‌چین سوزنی به‌خاطر دندان‌های سطح سوزن به برگ روی بوته حساس بوده و در چنین مزارعی عملکرد آن‌ها کاهش می‌یابد. در صورتی که ماشین‌های وش‌چین دندان‌های در چنین شرایطی به‌خوبی کار کرده و عملکرد خوبی دارند. از نظر کیفیت الیاف نیز تفاوت معنی‌داری در هیچ‌یک از صفات کیفی مشاهده نشد و هر دو ماشین در یک سطح قرار دارند. بر اساس این تحقیق برای برداشت رقم ارمغان، ماشین وش‌چین دندان‌های مناسب‌تر از ماشین وش‌چین سوزنی است.

سپاسگزاری

از کلیه همکاران ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم آباد، موسسه تحقیقات پنبه و آزمایشگاه کنترل کیفی الیاف که در اجرای این تحقیق، همکاری نموده‌اند، قدردانی می‌شود.

References

1. Cooker, F. T., Parvin, D., & Spurlock, S. (1991). *The cost of cotton harvesting systems in the Mississippi Delta*. Mississippi Agricultural Station Bulletin 972. Mississippi State University.
2. EL-Sayed, G. H., El-Shazly, A. E., & El-Yamani, A. E. (2008). Factor affecting mechanical cotton harvesting and fiber quality. *Egyptian Journal Agriculture Research*, 86(6), 2407-2323.
3. El-Yamani, A. E., Marey, S. A., & Sayed-Ahmed, I. F. (2017). Influence of Mechanical Harvesting Process on Productivity and Quality of Cotton Fiber. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(6) 301-306. <https://doi.org/10.21608/jssae.2017.37505>
4. FAO. (2017). *The future of food and Agriculture—Trends and challenges*. Rome. <https://doi.org/10.21608/JSSAE.2017.37505>
5. Faulkner, W. B., Wanjura, J. D., Hequet, E. F., & Shaw, B. W. (2008). *Effects of harvesting method on foreign matter content and yarn quality from irrigated cotton on the high plain*. Proceedings of Beltwide Cotton Conference. P. 612-619. Memphis. Tennessee. <https://doi.org/10.13031/2013.23497>
6. Mansouri rad, M. (2009). *Tractors and agricultural machinery*. Volume II. The eleventh edition. Bu-Ali Sina University Press. (in Persian).
7. Nowrouzieh, Sh., Mobli, H., Ghanadha, M., & Oghabi, H. (2003). Effect parameters for speed and height of the nose on the amount and quality of cotton picked by cotton picker on the variety of Varamin. *Journal of Agricultural Knowledge*, 1(13), 63-71. (in Persian). <https://doi.org/10.22034/jam.2022.14946>
8. Oz, E. (2005). Harvesting performance of a tractor mounted mechanical cotton picker. *Journal of Agricultural Engineering*, 3(2), 119-126.
9. Prasad, J., Kapur, T., Sandhar, N., Majumdar, S., Patil, P., Shukla, S. K., Jaiswal, B. N., & Patil, A. B. (2007). Performance evaluation of spindle type cotton picker. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(1), 38-42.
10. Rezaei-Asl, A., Nowrouzieh, Sh., & Taghizade alisarayi, A. (2014). Study and Comparison of mechanical and manual Harvesting Performance in two cotton varieties Varamin and Sahel cultivar. *Mechanical Sciences in Farm Machinery*, 1(1), 27-35. (in Persian).
11. Ravinder, R. A., & Majumdar, G. (2013). Evaluation of portable cotton picker. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2(1), ISSN 1473-2319.
12. Saeidirad, M. H., Mahdinia, A., Zarifneshat, A., Nowrouzieh, Sh., Nazarzadeh, S., & Ramazani-Moghadam, M. R. (2018). Technical and economical evaluation of self propelled and tractor mounted cotton pickers. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 18(69), 97-108. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/erams.2017.108528.1159>

13. Sandhar, N. S. (1999). Mechanized picking of cotton in Punjab. *Agricultural Engineering Today*, 23(5), 21-27.
14. Williford, J. R., Brashears, A. D., & Barker, G. L. (1994). Harvesting in Cotton Ginners Handbook. USDA Agricultural Research Service. Washington, DC.



Measurement of Losses in a Austoft Sugarcane Harvester Case 7000

V. Ebrahim Khanloo Sisi¹, N. Monjezi^{2*}, M. Soleymani²

1- MSc. Student of Agricultural Mechanization, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: n.monjezi@scu.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75517.1094>

Received: 25 February 2022
Revised: 12 April 2022
Accepted: 30 April 2022
Available Online: 01 May 2022

How to cite this article:

Ebrahim Khanloo Sisi, V., Monjezi, N., & Soleymani, M. (2023). Measurement of Losses in a Austoft Sugarcane Harvester Case 7000. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 335-348. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75517.1094>

Introduction

Sugarcane is one of the strategic products of Khuzestan province, which is cultivated in 10 active agro-industrial sites and covers an area of about 110,000 hectares of irrigated farms in the province. Sugarcane harvesting, like most crops, is done by special sugarcane harvesters. Due to the life of machines and also the amount of heavy machine operations in each season of sugarcane harvest, the loss is inevitable. On the other hand, in Khuzestan province, due to lack of studies, there is little information in this area. Therefore, the aim of this study is to investigate the extent of losses during sugarcane harvesting operations, taking into account factors such as cultivars, age of sugarcane, and reaping speed of the Astaf 7000 model. The study will be conducted at the sugarcane agro-industrial site of Dehkhoda in 2021.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial split-plot design based on randomized complete blocks (RCBD) with three replications. The first factor included four levels of cultivars (IRC-12, CP48-103, CP 73-21, and CP69-1062), the second factor included three levels of harvest age (plant, Ratoon 1, Ratoon 2), and the third factor included three levels of speed (3, 5, and 7 km h⁻¹). Sampling was carried out under the same and constant conditions with respect to soil moisture content, harvester operator, harvester characteristics, harvester settings, and crop density in each field.

Results and Discussion

The results of analysis of variance of the data obtained from measuring sugarcane losses showed that the effect of cultivar on yield, full-length sugarcane, chopped sugarcane and splinter sugarcane had a significant effect at a probability level of one percent. The effect of age had a significant effect on yield, full-length sugarcane, chopped sugarcane with a probability level of one percent, but had no significant effect on the amount of splinter sugarcane. The interaction between cultivar and age had a significant effect on yield, chopped sugarcane, and full-length sugarcane with a probability level of one percent and on splinter sugarcane with a probability level of five percent. The effect of machine speed had a significant effect on full-length sugarcane, chopped sugarcane and splinter sugarcane with a probability level of one percent, but had no significant effect on yield. The interaction of cultivar and machine speed had a significant effect on yield, full-length sugarcane, chopped sugarcane and splinter sugarcane with a probability level of one percent. The interaction effect of age and machine speed on yield had a significant effect on full-length sugarcane and splinter sugarcane with a probability level of one percent and on the amount of splinter sugarcane with a probability level of five but had no significant effect on yield. Also, the interaction of cultivar, age and machine speed had a significant effect on yield, full-length sugarcane and chopped sugarcane with a probability level of one percent, but had no significant effect on the amount of splinter sugarcane. The results showed that the highest yield in CP69-1062 variety was observed in the plant farm with average machine speed (144.33 tons per hectare). Also, the highest amount of sugarcane losses in cultivar CP48-103 in Ratoon II and with 7 km h⁻¹ machine speed (3.32 tons per hectare), the

highest amount of chopped sugarcane losses in cultivar CP48-103 in plant farm and with average speed (1.78 tons per hectare) was observed. According to the results under the interaction of cultivar and device speed, the highest amount of sugarcane losses in CP69-1062 cultivar and high speed (0.314 tons per hectare) as well as IRC-12 cultivar and high speed (0.308 tons in Hectares), and under the interaction of farm age and speed of the harvester, the highest amount of sugarcane losses was observed in Ratoon farm and the high speed of the harvester (0.300 tons per hectare).

Conclusion

Therefore, in order to reduce the amount of losses in sugarcane fields, it is recommended to use resistant and somewhat later cultivars for cultivation, because early cultivars are more fragile during harvest due to stem fragility and the rate of losses increases. Also, Harvester speed optimization reduces the amount of losses, and due to the increase in the rate of losses in reclaimed farms, it is recommended to create more resistant stem tissue by proper plant nutrition and more care to reduce the rate of losses in ratoon farms.

Keywords: Austoft 7000, Harvester, Losse, Sugarcane

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۴۸-۳۳۵

اندازه‌گیری میزان افت در ماشین برداشت نیشکر مدل آستافت ۷۰۰۰

وحید ابراهیم خانلوی سیسی^۱، نسیم منجزی^{۲*}، محسن سلیمانی^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

نیشکر با سطح زیرکشت ۱۱۰ هزار هکتار یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی- صنعتی کشور است. فرآیند تولید این محصول، ضایعات بالایی به دنبال دارد. بخشی از این ضایعات مربوط به شرایط تولید محصول در مزرعه و بخشی مربوط به فرآوری تولید شکر از نیشکر در کارخانه است. هدف این تحقیق، اندازه‌گیری میزان افت نیشکر (نی قدی، نی خرد شده و نی تراشه) در روش برداشت سوخته در مزارع شرکت کشت و صنعت دهخدا در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ بود. آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل رقم در ۴ سطح (ارقام IRC-12، CP48-103، CP73-21 و CP69-1062)، عامل دوم سن برداشت در سه سطح (کشت اول، بازروی ۱ و بازروی ۲) و عامل سوم شامل سرعت ماشین برداشت در سه سطح (سرعت کم برابر ۳ کیلومتر بر ساعت، سرعت متوسط برابر ۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت زیاد برابر ۷ کیلومتر بر ساعت) بود. نتایج تحقیق نشان داد بیشترین میزان عملکرد در رقم CP69-1062 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت متوسط دستگاه مشاهده شد (۱۴۴/۳۳ تن در هکتار). همچنین بیشترین میزان ضایعات نی قدی در رقم CP48-103 در بازروی دوم و با سرعت زیاد دستگاه و بیشترین میزان افت نی خرد شده در رقم CP48-103 در مزرعه کشت اول و با سرعت متوسط به ترتیب برابر ۳/۳۲ و ۱/۷۸ تن در هکتار مشاهده شد. با توجه به نتایج تحت اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه، بیشترین میزان افت نی تراشه در رقم CP69-1062 و سرعت زیاد دستگاه برابر ۰/۳۱۴ تن در هکتار و همچنین رقم IRC-12 و سرعت زیاد دستگاه برابر ۰/۳۰۸ تن در هکتار و تحت اثر متقابل سن مزرعه و سرعت دستگاه ماشین برداشت بیشترین میزان افت نی تراشه در مزرعه بازروی یک و سرعت زیاد دستگاه ماشین برداشت برابر ۰/۳۰۰ تن در هکتار اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: آستافت ۷۰۰۰، ضایعات، ماشین برداشت، نیشکر

مقدمه

نیشکر یکی از محصولات استراتژیک استان خوزستان است که در ۱۰ کشت و صنعت فعال و مساحتی حدود ۱۱۰ هزار هکتار از اراضی فاریاب استان کشت می‌شود (Monjezi, 2019). دما و رطوبت نسبی هوا، سبز یا سوخته بودن برداشت نیشکر، قلمه یا تمام‌قد بودن نیشکر برداشت‌شده، رقم محصول، میزان رسیدگی محصول و محتوای قند آن، مدت‌زمان تأخیر در انتقال محصول به کارخانه، میزان رطوبت ساقه و وقوع بارندگی همگی بر میزان افت قندی محصول در زمان برداشت مؤثر است (Monjezi, Zaki Dizaji, 2018; Sheikh Davoodi, Marzban, & Shamili, 2018).

نیشکر همانند بیشتر گیاهان زراعی توسط ماشین برداشت‌های مخصوص برداشت نیشکر انجام می‌شود (Monjezi, 2021). با توجه به عمر دستگاه‌های فعال در کشت و صنعت‌های استان و همچنین حجم سنگین عملیات ماشینی در هر فصل برداشت نیشکر ایجاد ضایعات اجتناب‌ناپذیر است (Ahmadi, Asudar, Jamshidi, & Shamili, 2014).

براساس یافته‌های تحقیقی، برش نامناسب، ریزش در قسمت‌های مختلف ماشین برداشت به‌خصوص زیر الواتور ماشین برداشت از مهم‌ترین ضایعات حین برداشت نیشکر می‌باشد (Adibzadeh & Zaki Dizaji, 2019). نتایج مطالعه مومین و همکاران (Momin, Wempe, Grift, & Hansen, 2017) در استرالیا نیز نشان داد که ضایعات پلیسه‌ای خارج شده از فن اولیه ماشین برداشت نیشکر می‌تواند مقدار بالا و در حد ۱۰ درصد از کل محصول باشد که باعث زیانی معادل ۵۰ میلیون دلار در سال گردد. ما و همکاران (Ma, Karkee, Scharf, & Zhang, 2014) نیز در گزارش خود اشاره می‌کنند که ضایعات نیشکر در زمان برداشت از فن اولیه می‌تواند بین

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

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

(Email: n.monjezi@scu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75517.1094>

مکانیزه نیشکر به‌عنوان تابعی از سرعت کمباین و دور موتور سکوی برداشت پرداختند. در این تحقیق سرعت ۴ و ۵/۵ کیلومتر در ساعت و سه دور ۱۸۰۰، ۱۹۵۰ و ۲۱۰۰ دور در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان سرعت کمباین میزان ضایعات برداشت افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به یافته‌های این تحقیق دور موتور تأثیر معنی‌داری بر میزان ضایعات تولیدی حین برداشت نداشت. بررسی‌های حاصل از مطالعات مشابه نیز، وجود ضایعات در طی فرآیند تولید نیشکر را تأیید می‌نماید (Shomeili, 2012; Colwick & Barker, 1975; Coats, 2001; Wiedenfeld, 2009; Schroeder et al., 2009; Meyer, 2005).

در استان خوزستان به دلیل عدم انجام مطالعات و شناسایی ضایعات در عملیات تولید نیشکر، اطلاعات اندکی در این زمینه وجود دارد و در حال حاضر به‌خاطر فقدان یک سیستم مناسب برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به ضایعات نیشکر، بی‌اطمینانی زیادی در این خصوص وجود دارد که نهایتاً قدرت تصمیم‌گیری و عملکرد مناسب را در این زمینه سلب خواهد کرد. بر همین اساس، هدف این تحقیق بررسی میزان افت حین عملیات برداشت براساس ارقام، سن نیشکر و نیز تحت سرعت‌های مختلف حرکت ماشین برداشت مدل آستافت ۷۰۰۰ نیشکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شرکت کشت و صنعت دهخدا در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. این شرکت در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. متوسط ارتفاع این شرکت از سطح دریا ۱۸/۱ متر است. در اراضی مذکور، بافت خاک به‌طور عمده، سنگین است و بادهای گرم و خشک در طول فصل بهار و تابستان جریان دارند. خالص اراضی این کشت و صنعت ۱۱۳۶۹ هکتار و ظرفیت اسمی تولید در آن به‌ترتیب ۱۰۰ هزار تن شکر خام و ۱۷۵ هزار تن شکر سفید می‌باشد.

نحوه‌ی برداشت نیشکر با ماشین برداشت مدل آستافت ۷۰۰۰

حین پیشروی ماشین برداشت در یک ردیف نیشکر ابتدا سر نی توسط تاپر^۲ یا هدایت‌کننده سر نی جدا شده و در مزرعه بر روی زمین ریخته می‌شود.

۱۰-۲۰ تن و از عدم تنظیم صحیح تیغه برش ۱۰-۲ تن در هکتار بالغ گردد. در تحقیقی اشرف و همکاران (Ashraf, Naik, & Roy, 2018) نشان دادند که افزایش دور فن به جهت کاهش فقط یک درصد از شاخ و برگ همراه ساقه‌های نیشکر، بیش از ۴ تن در هکتار ضایعات پلیسه‌ای را افزایش داد. بنابراین لازم است دور فن اولیه متناسب با حجم شاخ و برگ ورودی به ماشین برداشت و میزان چسبندگی آن‌ها به ساقه‌های نیشکر و حتی قطر ساقه‌های در حال برداشت تغییر یابد. مطالعات ما و همکاران (Ma et al., 2014) نشان می‌دهد که برش ساقه نیشکر به قطعات ۲۰-۳۰ سانتی‌متری نسبت به قطعات بلندتر ۴۰-۵۰ سانتی‌متری باعث افزایش ۳-۲ درصد ضایعات قندی ناشی از تلفات ساقه‌های پلیسه‌ای در مزرعه می‌شود. دلیل آن خروج بیشتر شربت حین عبور نیشکر از بین قسمت‌های مختلف ماشین برداشت، کاهش سریع‌تر رطوبت قطعات کوچک‌تر و آلودگی بیشتر به عوامل میکروبی حین و پس از برداشت عنوان شده است.

سر تیماجاک و پراماواجانیکی (Siritumajak & Pramuanjaroenkij, 2020) در بررسی سرعت بهینه فن تمیزکننده ماشین برداشت کیس^۱ در برداشت نیشکر رقم KK3 گزارش کردند که حداقل ضایعات در دور ۷۰۰ دور در دقیقه بود و با افزایش سرعت میزان ضایعات افزایش می‌یافت. بنابراین سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه را به‌عنوان سرعت بهینه در فرآیند برداشت نیشکر رقم KK3 برای کاهش تلفات پیشنهاد دادند. حسن (Hassan, 2019) در تحقیقی به بررسی و ارزیابی تأثیر نوع تیغه‌های برش و زاویه برش ساقه بر بهره‌وری و عملکرد دستگاه برداشت نیشکر پرداخت. در این تحقیق چهار سرعت ۲/۴، ۳/۲، ۴/۱ و ۵/۲ کیلومتر در ساعت و سه نوع تیغه برش شامل تیغه صاف، تیغه‌های دنداندار و تیغه‌های سریع‌التعویض و تیغه‌های چهاروجهی با زاویه‌های برش صفر، ۱۰، ۱۷/۵ و ۲۲/۵ درجه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر بهره‌وری، حداقل تلفات و آسیب به تیغه‌ها و نیز کارایی عملکرد در برش با تیغه‌های دنداندار با زاویه ۱۷/۵ درجه حاصل گردید. متانکر و همکاران (Mathanker et al., 2015) در تحقیقی به بررسی تأثیر نوع تیغه‌های برش (شامل تیغه مستقیم، تیغه زاویه‌دار، تیغه دنداندار و تیغه‌های لیزری) بر میزان ضایعات مزارع نیشکر پرداختند. شاخص‌های مورد بررسی شامل کیفیت برش، تکه‌تکه شدن ساقه‌ها، آسیب به سیستم ریشه‌ای ساقه‌های برداشت‌شده بود. ایشان گزارش دادند که نوع تیغه تأثیر معنی‌داری بر روی میزان افت در حین برداشت دارد و بیشترین آسیب به ساقه نیشکر و نیز تولید ضایعات در تیغه‌های مستقیم اندازه‌گیری شد. راموس و همکاران (Ramos, Lanças, de Lyra, & Millani, 2014) به بررسی کیفیت برداشت



شکل ۱- برداشت نیشکر توسط ماشین برداشت آستافت ۷۰۰۰

Fig.1. Sugarcane harvest by Austoft Sugarcane Harvester case IH 7000

دستی) و شرایط مزرعه است (Zaki Dizaji & Manjezi, 2019). به‌طور کلی عملکرد ضعیف ماشین برداشت سبب ایجاد افت نی به‌صورت نی قدی برداشت نشده (نیشکر درو نشده)، نی قلمه شده، تکه‌های نی کوچک قلمه شده، نی تراشه و ته نی می‌شود.

اجرای آزمایش

این آزمایش به‌منظور اندازه‌گیری میزان افت نیشکر در روش برداشت سوخته در کشت و صنعت نیشکر دهخدا در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل رقم در ۴ سطح (ارقام IRC-12، CP48-103، CP73-21 و CP69-1062)، عامل دوم سن برداشت در سه سطح (کشت، بازاری ۱ و بازاری ۲) و عامل سوم شامل سرعت ماشین برداشت در سه سطح (سرعت کم برابر ۳ کیلومتر بر ساعت، سرعت متوسط برابر ۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت زیاد برابر ۷ کیلومتر) بود.

این آزمایش شامل ۳ تکرار و هر تکرار شامل ۱۶ کرت بود که طول هر کرت ۲۵۰ متر و عرض آن‌ها ۳۶ متر (۲۰ فارو، هر فارو به طول ۱/۸۳ متر) بود. پس از برداشت نیشکر توسط ماشین برداشت مدل آستافت ۷۰۰۰، افت شامل نی قدی (ساقه‌های قابل برداشت نیشکر که به‌صورت کامل و به‌اصطلاح قدی و قطعه نشده در مزرعه بر جا ماندند)، نی قلمه شده (قسمتی از ساقه نی که هنگام برداشت توسط ماشین برداشت بریده شد ولی به دلایل مختلفی همچون بیش باری، عدم حرکت هماهنگ سید حمل نی و ماشین برداشت بارگیری نشده و در سطح مزرعه پراکنده گردید) و نی تراشه شده (قسمتی از ساقه که در اثر عدم تنظیم فن اولیه ماشین برداشت و برخورد به آن

سیس نیشکر توسط بیس کاتر^۱ یا تیغه‌های برش از سطح زمین برش داده شده و به داخل ماشین برداشت کشیده می‌شود. پس از آن نیشکر توسط غلتک‌ها تمیز شده و به قسمت چاپر^۲ انتقال داده می‌شود و در این قسمت ساقه نیشکر به قطعاتی به‌طور حداکثر ۳۰ سانتی‌متر برش داده شده و توسط قسمت انتقال‌دهنده (الواتور) به درون سبدهای حمل نی تخلیه می‌شود و توسط این سبدها به بیرون از مزرعه حمل می‌گردد (شکل ۱).

مشخصات ماشین برداشت مدل آستافت ۷۰۰۰

ماشین برداشت آستافت ۷۰۰۰ دارای موتور کومنز^۴ با قدرت ۳۰۰ اسب بخار است. این دستگاه شامل بخش‌های مختلفی از قبیل جداکننده، تاپر، بیس کاتر، غلتک‌های انتقال‌دهنده نی، چاپر، دمنده یا فن‌های اولیه و ثانویه است. لازم به ذکر است که انتقال قدرت در این ماشین برداشت به‌صورت هیدرولیک می‌باشد. مشخصات عمومی ماشین برداشت آستافت ۷۰۰۰ در جدول ۱ ذکر شده است.

ضایعات در مرحله‌ی برداشت نیشکر

عوامل مؤثر در ضایعات نیشکر در زمان برداشت به‌طور کلی شامل ضایعات ناشی از عملکرد ماشین برداشت، ضایعات ناشی از تأخیر در برداشت، مسائل مربوط به نیروی انسانی شامل اپراتوری و مجموعه‌ی سرپرستی، افت ناشی از عملکرد لیلیکو (مشابه برداشت

- 1- Base cutter
- 2- Chopper
- 3- Austoft Sugarcane Harvester case 7000
- 4- Cummins

یکسان و ثابت از نظر میزان رطوبت خاک، اپراتور ماشین برداشت، مشخصات ماشین برداشت، تنظیمات ماشین برداشت و تراکم محصول در مزرعه برای هر کرت انجام شد.

آسیب‌دیده و به‌صورت تکه‌تکه در سطح مزرعه باقی ماند، این افت ممکن است ناشی از عملکرد نامناسب تیغه برش، سرزن و خردکن نیز باشد) اندازه‌گیری شد. نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی به‌وسیله‌ی پلات ۵*۵ متر در سه تکرار انجام شد. همچنین نمونه‌گیری در شرایط

جدول ۱- مشخصات فنی ماشین برداشت

Table 1- Technical specifications of harvester

نام دستگاه	ماشین برداشت آستافت ۷۰۰۰
Machine name	Austoft Sugarcane Harvester case 7000
مدل دستگاه	2003
Machine model	
قدرت	300 hp
Power	
دور موتور	2000 rpm
Motor speed	
دور فن	800 rpm
Fan speed	
طول قلمه‌های خردشده	30 cm
The length of chopped cuttings	

سرعت دستگاه بر عملکرد و بر میزان افت نی قدی و نی تراشه با سطح احتمال یک درصد و بر میزان نی خرد شده با سطح احتمال پنج تأثیر معنی‌داری داشت اما بر روی میزان عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر متقابل رقم، سن مزرعه و سرعت دستگاه بر روی عملکرد، نی قدی و نی خرد شده با سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت اما بر روی میزان نی تراشه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم، اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه، و اثر متقابل رقم، سن مزرعه و سرعت دستگاه با سطح احتمال یک درصد، و اثر سن مزرعه و اثر متقابل سن مزرعه و سرعت دستگاه با سطح احتمال پنج درصد بر روی میزان عملکرد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان عملکرد در رقم CP69-1062 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت متوسط دستگاه برابر ۱۴۴/۳۳ تن در هکتار و کمترین میزان عملکرد در رقم IRC-12 در مزرعه بازرویی دو و با سرعت زیاد دستگاه برداشت برابر ۶۸ تن در هکتار مشاهده شد (شکل ۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از اندازه‌گیری متغیرهای تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌ی واریانس با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS V22 انجام شد. همچنین مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت. برای رسم شکل از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری افت نیشکر در جدول ۲ بیان شده است. بر این اساس، اثر رقم بر عملکرد (تن در هکتار)، نی قدی، نی خرد شده و نی تراشه تأثیر معنی‌داری با سطح احتمال یک درصد داشت. اثر سن مزرعه نیز بر عملکرد، نی قدی، نی خرد شده با سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت اما بر روی میزان نی تراشه تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل رقم و سن مزرعه نیز بر عملکرد، نی تراشه، نی قدی با سطح احتمال یک درصد و بر روی نی خرد شده با سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشت. اثر سرعت دستگاه نیز بر روی افت نی قدی، نی خرد شده و نی تراشه با سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت اما بر روی عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه بر روی عملکرد، نی قدی، نی خرد شده و نی تراشه با سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت. اثر متقابل سن برداشت و

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان افت نیشکر تحت تأثیر عامل سن، رقم نیشکر و سرعت ماشین برداشت

Table 2- Analysis of variance of sugarcane losses under the influence of age, sugarcane cultivar and harvester speed

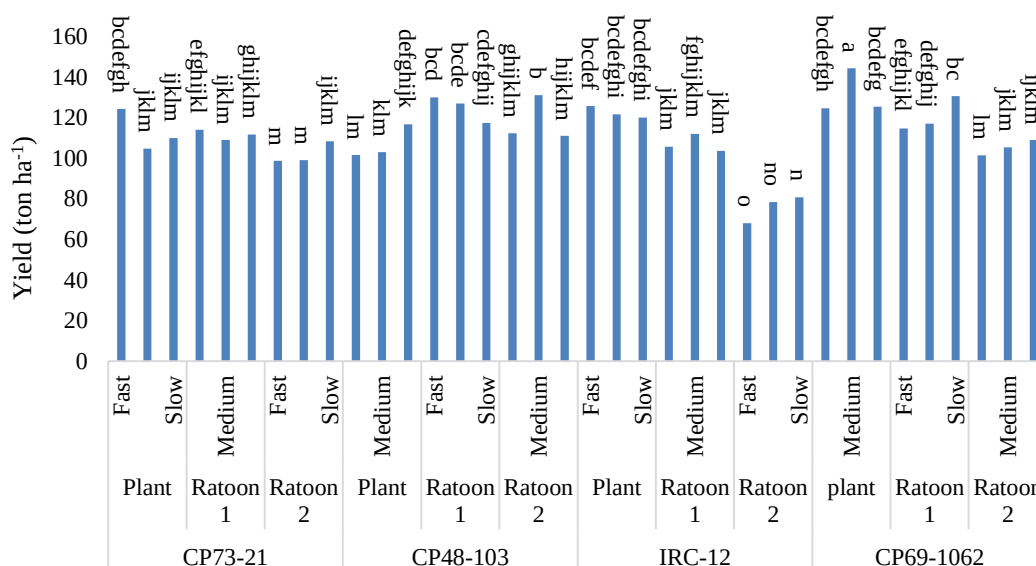
منابع تغییرات Sources	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean of squares			
		عملکرد Yield	نی قدی Full-length	نی خرد شده Chopped	نی تراشه Splinter
Replication بلوک	2	33.49 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.05 [*]	0.0004 ^{ns}
Cultivar رقم	3	1595.88 ^{**}	3.85 ^{**}	0.42 ^{**}	0.02 ^{**}
Age سن	2	3356.13 ^{**}	0.62 ^{**}	0.14 ^{**}	0.00005 ^{ns}
Cultivar*Age رقم*سن	2	1504.43 ^{**}	0.86 ^{**}	0.27 ^{**}	0.007 [*]
Main error خطای اصلی	22	53.18	0.04	0.01	0.001
Speed سرعت دستگاه	2	118.21 ^{ns}	5.59 ^{**}	1.46 ^{**}	0.02 ^{**}
Cultivar*Speed سرعت دستگاه	6	157.19 ^{**}	0.70 ^{**}	0.28 ^{**}	0.01 ^{**}
Age*Speed سن * سرعت دستگاه	4	65.91 ^{ns}	0.19 ^{**}	0.13 ^{**}	0.004 [*]
رقم*سن * سرعت دستگاه	12	233.54 ^{**}	0.60 ^{**}	0.26 ^{**}	0.003 ^{ns}
Cultivar*Age*Speed					
Total error خطای کل	107	46.85	0.03	0.01	0.0017
Coefficient of (CV) ضریب تغییرات variation	-	6.14	10.13	8.42	15.66

^{ns} تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، ^{*} تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد، ^{**} عدم معنی‌دار بودن

ns: None significant, *Significant at the probability level of 5%, **Significant at the probability level of 1%

همکاران (Volashjerdi, Hamzeh, Moghaddasi, & Shini, 2018) سن و رقم نیشکر بر میزان عملکرد آن اثرگذارند و با افزایش سن نیشکر از کشت تا بازروی عملکرد کاهش می‌یابد. در واقع کاهش عملکرد، یکی از معایب بازروی‌ها می‌باشد و با بازروی‌های بعدی میزان عملکرد مزرعه کاهش می‌یابد.

مرادی و همکاران (Moradi, Siadat, Siahpoosh, Bakhshandeh, & Moradi Talawat, 2020a) در تحقیقی نشان دادند که ارقام نیشکر بر میزان عملکرد در واحد سطح تأثیرگذار است. بالاترین عملکرد با میانگین ۹۲/۸ تن در هکتار مربوط به رقم CP69-1062 بود. همچنین براساس نتایج تحقیق ولاشجردی و



شکل ۲- اثر متقابل تیمارهای رقم، سن مزرعه و سرعت دستگاه بر عملکرد

Fig.2. Interaction of cultivar, age and machine speed treatments on yield

جانبی خوزستان نیز نشان داد که با اصلاح شرایط زراعی و تنظیمات صحیح ماشین برداشت نی، می‌توان افت را تا ۳/۹۱ تن در هکتار کاهش داد (Qasem Nejad Maleki, 2000). همچنین، راموس و همکاران (Ramos et al., 2014) به بررسی میزان افت در برداشت نیشکر به‌عنوان تابعی از سرعت ماشین برداشت پرداختند. در این تحقیق سرعت ۴ و ۵/۵ کیلومتر در ساعت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان سرعت ماشین برداشت میزان افت برداشت افزایش می‌یابد.

نی خردشده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای تحقیق و اثر متقابل آن‌ها بر روی میزان افت نی خرد شده با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان افت نی خرد شده در رقم CP48-103 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت متوسط برابر ۱/۷۸ تن در هکتار اندازه‌گیری شد که با میزان افت نی خردشده در رقم CP73-21 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت زیاد دستگاه که برابر ۱/۶۳ تن در هکتار بود، تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت (شکل ۵). همچنین کمترین میزان افت نی خرد شده نیز در رقم CP73-21 در مزرعه‌ی بازروی ۲ و با سرعت کم برابر ۰/۳۵ تن در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۶). خوپراتیپ (Khawprateep, 2019) در پژوهشی به بررسی اثر سرعت حرکت بر میزان افت نی خرد شده در ماشین برداشت نیشکر پرداختند. نتایج نشان داد که تنظیم صحیح حرکت ماشین برداشت متناسب با شرایط محصول و شرایط مزرعه می‌تواند باعث کاهش میزان افت در عملیات برداشت شود.

همان‌طور که نتایج نشان داد، حداکثر عملکرد محصول در مرحله‌ی اول رشد به‌دست می‌آید زیرا بوته‌ها توزیع فضایی بهتری داشته و از مواد غذایی آزادشده از خاک و از ساختمان و نفوذپذیری بهبودیافته خاک طی دوران آیش فصلی بهره بیشتری می‌برند. عملکرد محصول طی سال‌های بعد، علی‌رغم افزایش تعداد ساقه در واحد سطح، به‌تدریج کاهش می‌یابد و در نهایت بازدهی مزرعه غیراقتصادی می‌شود. در شرایط خوزستان، مزرعه‌ی نیشکر پس از ۵ تا ۷ بار برداشت، عملکرد غیراقتصادی شده و مجدداً شخم زده شده و کشت می‌گردد.

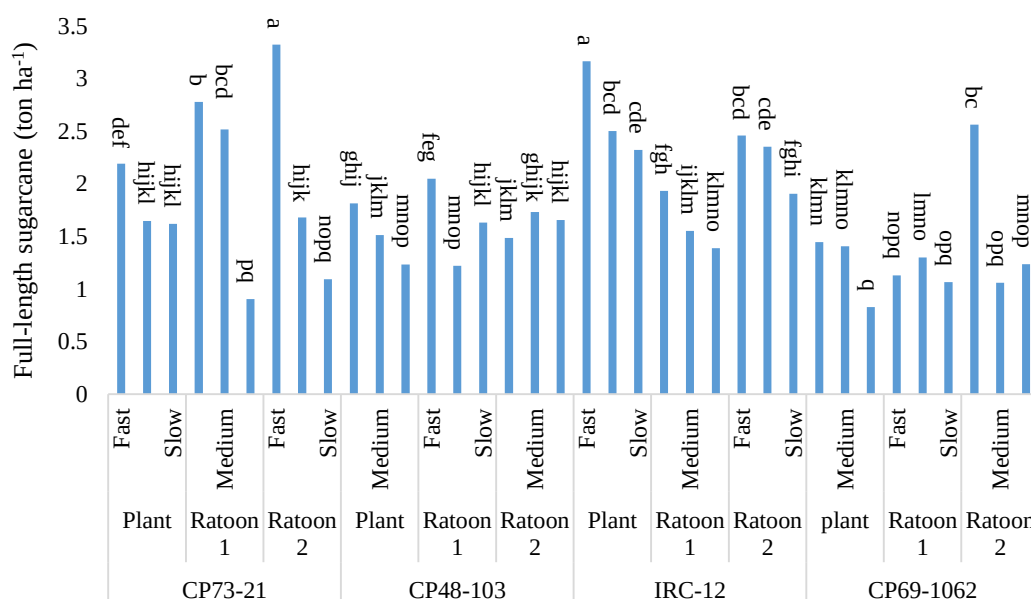
نی قدی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر تیمارهای تحقیق و اثر متقابل آن‌ها بر روی میزان افت نی قدی با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان افت نی قدی در رقم CP48-103 در بازروی دوم و با سرعت دستگاه سریع برابر ۳/۳۲ تن در هکتار اندازه‌گیری شد که البته با میزان افت نی قدی در رقم IRC-12 و مزرعه‌ی کشت اول و سرعت سریع دستگاه که برابر ۳/۱۶ تن در هکتار بود، تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳). کمترین میزان افت نی قدی نیز در CP69-1062 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت آهسته دستگاه برابر ۰/۸۳ تن در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۴). بنابراین نتایج نشان داد که با کاهش سرعت حرکت ماشین برداشت و به دنبال آن افزایش زمان لازم جهت برداشت سطح مشخصی از مزرعه، در نتیجه، دقت در عملیات برداشت افزایش می‌یابد و به دنبال آن، میزان نی‌های قدی برداشت نشده نیز کاهش می‌یابد. نتیجه مطالعات مشابه بر روی میزان افت برداشت نیشکر در واحدهای شرکت توسعه نیشکر و صنایع



شکل ۳- نی قدی برداشت نشده

Fig.3. Non-harvested full-length sugarcane



شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای رقم، سن و سرعت دستگاه بر میزان افت نی قدی

Fig.4. Interaction of cultivar, age and machine speed on the amount of losses in full-length sugarcane

اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه و همچنین اثر متقابل سن مزرعه و سرعت دستگاه با سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم و سن مزرعه با سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر روی میزان افت نی تراشه داشت (شکل ۷). همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل رقم، سن مزرعه و سرعت دستگاه بر روی میزان افت نی تراشه تأثیر معنی‌داری ندارد (جدول ۲).

همچنین سیلوا و همکاران (Silva, Neves, Correa, & Souza, 2021) نشان دادند که سرعت حرکت پایین (۱/۳۲ متر بر ثانیه) در برداشت نیشکر به خصوص در روش برداشت سبز باعث کاهش میزان افت ماشین برداشت خواهد شد.

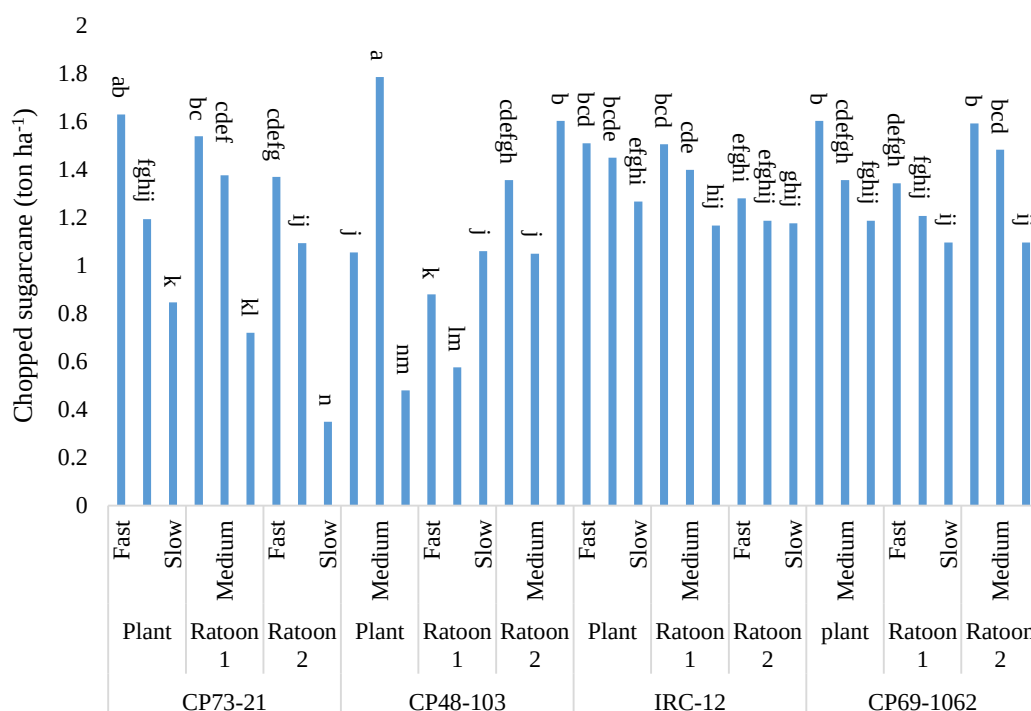
نی تراشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، سن مزرعه، سرعت دستگاه،



شکل ۵- افت قلمه‌ی نیشکر

Fig.5. Losses of chopped sugarcane



شکل ۶- اثر متقابل تیمارهای رقم، سن و سرعت دستگاه بر میزان افت نی خرد شده

Fig.6. Interaction of cultivar, age and machine speed treatments on the amount of losses in chopped sugarcane

که سرعت ماشین برداشت بر روی میزان ضایعات نیشکر تأثیر معنی‌داری نداشت اما اثر مقابل آن با سرعت فن بر روی میزان ضایعات تأثیر معنی‌داری داشت به‌طوری‌که سرعت ۴/۸ کیلومتر با سرعت اولیه فن به میزان ۱۰۵۰ دور در دقیقه بهترین عملکرد مشاهده شد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که بیشترین میزان افت نی تراشه در رقم CP73-21 در مزرعه‌ی بازروی دو برابر ۰/۳۱۹ تن در هکتار و کمترین میزان آن در رقم IRC-12 در مزرعه‌ی بازروی یک برابر ۰/۲۱۶ تن در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۸). ویاتور و همکاران (Viator et al., 2007) در بررسی تأثیر سرعت فن و ماشین برداشت بر روی عملکرد و کیفیت نیشکر گزارش کردند

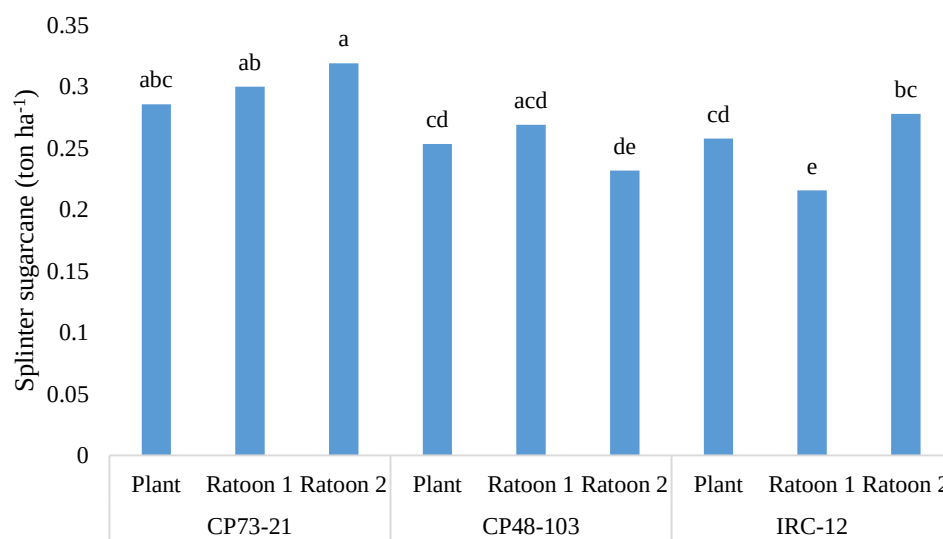


شکل ۷- افت نی تراشه

Fig.7. Losses of splinter sugarcane

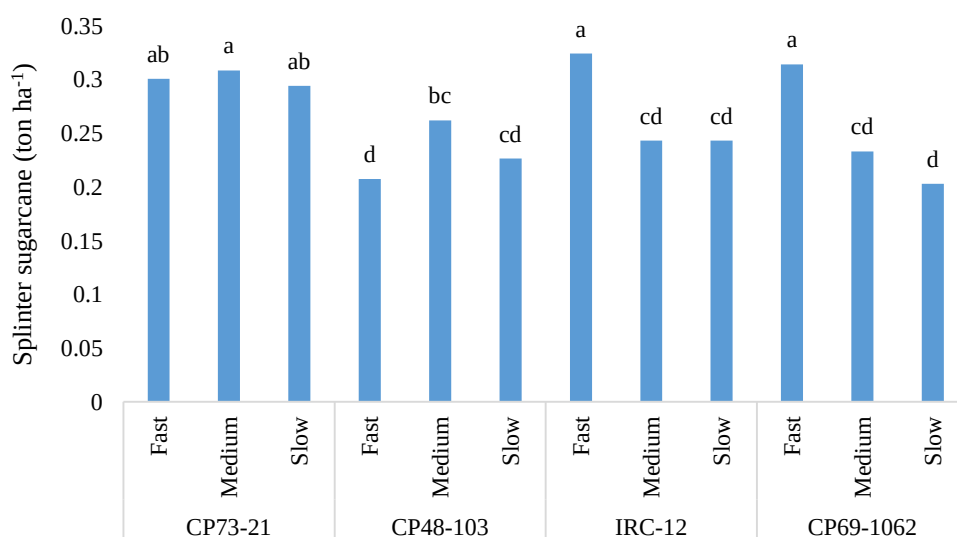
اندازه‌گیری شد (شکل ۹). تحت اثر متقابل سن مزرعه و سرعت ماشین برداشت نیز نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان افت نی تراشه در مزرعه‌ی بازروی یک و سرعت بالای ماشین برداشت برابر ۰/۳۰۰ تن در هکتار و کمترین میزان آن نیز در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت کم دستگاه برابر ۰/۲۳۲ تن در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۱۰). به‌طور کلی، یکی از دلایل ایجاد افت در فرآیند تولید نیشکر می‌تواند استفاده از ارقام ضعیف باشد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین تحت اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه نیز مشاهده شد که بیشترین میزان افت نی تراشه در رقم CP69-1062 و سرعت بالای دستگاه برابر ۰/۳۱۴ تن در هکتار و همچنین رقم IRC-12 و سرعت بالای دستگاه برابر ۰/۳۰۸ تن در هکتار اندازه‌گیری شد و کمترین میزان افت نی تراشه نیز در CP69-1062 و سرعت کم دستگاه برابر ۰/۲۰۳ تن در هکتار و رقم IRC-12 و سرعت بالای دستگاه برداشت برابر ۰/۲۰۷ تن در هکتار



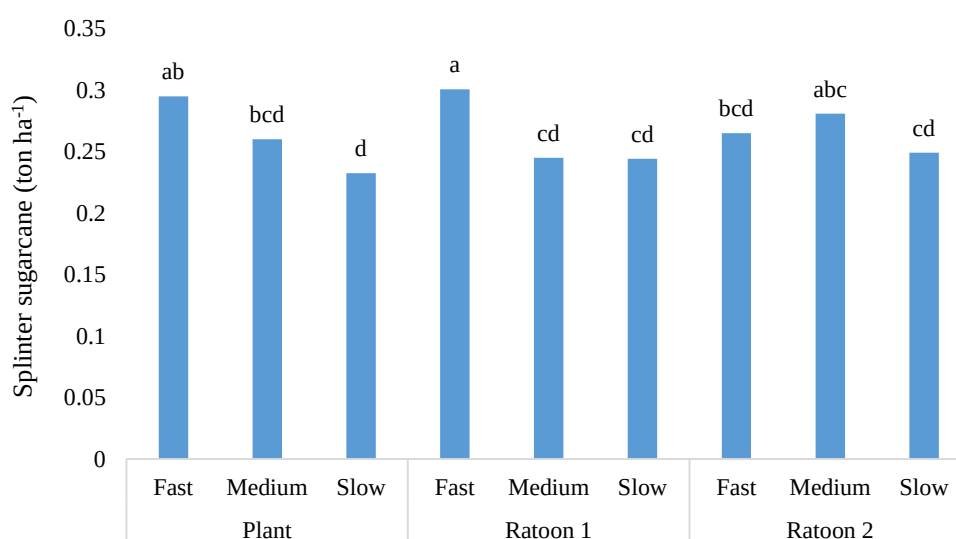
شکل ۸- اثر متقابل تیمارهای رقم و سن بر میزان افت نی تراشه

Fig.8. Interaction of cultivar and age treatments on the amount of losses in splinter sugarcane



شکل ۹- اثر متقابل تیمارهای رقم و سرعت دستگاه بر میزان افت نی تراشه

Fig.9. Interaction of cultivar and machine speed treatments on the amount of losses in splinter sugarcane



شکل ۱۰- اثر متقابل تیمارهای سن و سرعت دستگاه بر میزان نی تراشه

Fig.10. Interaction of age and machine speed treatments on the amount of losses in splinter sugarcane

نیشکر، برداشت تأخیری، افت ناشی از آتش زدن مزرعه نیشکر، افت ناشی از خاشاک همراه نیشکر و شرایط مزرعه نقش به‌سزایی در ایجاد افت طی فرآیند تولید نیشکر دارند. افت در مرحله‌ی برداشت عینی‌تر بوده و عمدتاً متوجه کارایی ماشین‌های برداشت است. نتایج تحقیق نشان داد بیشترین میزان عملکرد در رقم CP69-1062 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت متوسط دستگاه بود. همچنین بیشترین میزان افت نی قدی در رقم CP48-103 در بازروی دوم و با سرعت بالای دستگاه و بیشترین میزان افت نی خرد شده در رقم CP48-103 در مزرعه‌ی کشت اول و با سرعت متوسط اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج تحت اثر متقابل رقم و سرعت دستگاه، بیشترین میزان افت نی تراشه در رقم CP69-1062 و سرعت بالای دستگاه و همچنین رقم IRC-12 و سرعت بالای دستگاه و تحت اثر متقابل سن مزرعه و سرعت ماشین برداشت بیشترین میزان ضایعات نی تراشه در مزرعه بازروی یک و سرعت بالای ماشین برداشت بود. بنابراین جهت کاهش میزان ضایعات در مزارع نیشکر توصیه می‌شود که از ارقام مقاوم و تا حدودی دیررس‌تر جهت کشت استفاده شود چرا که ارقام زودرس به دلیل تردی ساقه، احتمال شکنندگی بیشتری در حین برداشت دارند و میزان افت افزایش می‌یابد. همچنین سرعت حرکت ماشین برداشت را جهت کاهش میزان افت، بهینه نمایند و با توجه به افزایش میزان افت در مزارع بازروی توصیه می‌شود به‌وسیله‌ی تغذیه مناسب گیاه و رسیدگی بیشتر، بافت ساقه مقاوم‌تری ایجاد نمود تا میزان افت در مزارع بازروی نیز کاهش یابد.

شمیلی (Shomeili, 2012) استفاده از قلمه‌های معیوب و آلوده، ژنوتیپ‌های حساس به سزامیا و سایر آفات را از جمله علل ایجاد افت در فرآیند تولید نیشکر برشمرده است. همچنین عدم جوانه‌زنی کامل و یکنواخت در مزارع نیز که ناشی از خلوص ژنتیکی پایین ارقام می‌باشد، یکی از علل ایجاد افت در مزارع نیشکر قلمداد شده است. مرادی و همکاران (Moradi et al., 2020b) در بررسی شاخص‌های کمی و کیفی برداشت سبز و سوخته ارقام نیشکر بیان کردند تأثیر ژنتیک و سن مزرعه بر روی میزان ضایعات نیشکر معنی‌دار بود. بر این اساس بیشترین ضایعات نی تراش شده به میزان ۲/۶۵ تن در هکتار و بیشترین ضایعات کل برداشت به میزان ۱۲/۱۴ تن در هکتار متعلق به رقم زودرس CP73-21 بود. از آنجاکه رقم‌های نیشکر از لحاظ ارتفاع ساقه و تعداد برگ دوره رسیدگی و تحمل در برابر ورس متفاوت می‌باشند، بنابراین نقش رقم در میزان ضایعات در حین برداشت بسیار مهم و تأثیرگذار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در کشت و صنعت‌های نیشکر طی مراحل تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، حمل نی، بازروی و فراوری پس از برداشت کنترل منابع ایجاد افت در افزایش عملکرد و جلوگیری از به هدر رفتن محصول نقشی اساسی دارد. عملیات برداشت به‌خاطر افت ناشی از عملکرد ماشین برداشت، مسائل مربوط به نیروی انسانی شامل اپراتوری و مجموعه‌ی سرپرستی، افت ناشی از عملکرد لیلیکو (مشابه برداشت دستی)، فشردگی خاک، انتقال بیماری، آسیب به کنده‌های

References

1. Adibzadeh, A., & Zaki Dizaji, H. (2019). Reducing straw fall losses in machine harvesting of sugarcane by correcting sugarcane harvester alvator. 11th National Congress of Mechanical Engineering, Biosystems and Mechanization of Iran, September 11-13, Hamedan, Iran. (in Persian).
2. Ahmadi, S., Asudar, M. A., Jamshidi, A. R., & Shamili, M. (2014). *Design and construction of intelligent waste detection system in the initial license of sugarcane harvesters*. The first national conference on new technologies of harvesting and post-harvest agricultural products. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center. (in Persian).
3. Ashraf, M. T., Naik, R. K., & Roy, D. K. (2018). Performance Evaluation of Small Engine Operated Sugarcane Harvester. *Trends in Biosciences*, 11(4), 517-521.
4. Coats, W. E. (2001). Reduced tillage systems for irrigated cotton: Is soil compaction a concern? *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3), 273-279. <https://doi.org/10.13031/2013.6207>
5. Colwick, R. F., & Barker, G. L. (1975). Controlled traffic and reduced inputs for cotton production. *American Society of Agricultural Engineers*, 75, 1051.
6. Hassan, M. A. (2019). Evaluation of Cutting Blades Impact on Productivity and Performance of Sugar Cane Harvesting Machine. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 10(9), 527-532. <https://doi.org/10.21608/jssae.2019.62567>
7. Khawprateep, S. (2019). *Understanding the impacts of pour rate on sugar losses from the chopper harvester*. Thesis (PhD/Research). Institute for Advanced Engineering and Space Sciences- Centre for Agricultural Engineering. <https://doi.org/10.26192/3xzs-af93>
8. Meyer, E. (2005). *Machinery systems for sugarcane production in South Africa*. MSc Eng Seminar, South African Sugarcane Research Institute. 36 p.
9. Momin, M. A., Wempe, P. A., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2017). Effects of four base cutter blade designs on sugarcane stem cut quality. *Transactions of the ASABE*, 60(5), 1551-1560. <https://doi.org/10.13031/trans.12345>
10. Ma, S., Karkee, M., Scharf, P. A., & Zhang, Q. (2014). Sugarcane harvester technology: a critical overview. *Applied Engineering in Agriculture*, 30(5): 727-739. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10696>
11. Mathanker, S. K., Gan, H., Buss, J. C., Lawson, B., Hansen, A. C., & Ting, K. C. (2015). Power requirements and field performance in harvesting energy cane and sugarcane. *Biomass and Bioenergy*, 75, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.025>
12. Moradi, R., Siadat, A., Siahpoosh, A., Bakhshandeh, A., & Moradi Talawat, M. R. (2020a). The effect of changing the harvest method on agronomic and physiological characteristics of sugarcane cultivars. *Journal of Applied Biology*, 8 (1): 19-32. (in Persian). <https://doi.org/10.29252/ijae.8.1.19>
13. Moradi, R., Siadat, A., Siahpoosh, A., Bakhshandeh, A., & Moradi Talawat, M. R. (2020b). Evaluation of syrup quality indicators in green and burnt sugarcane harvest. *Journal of Crop Production*, 12(1), 99-110. (in Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.25618.1595>
14. Monjezi, N., Zaki Dizaji, H., Sheikh Davoodi, M. J., Marzban, A., & Shamili, M. (2018). Application of fuzzy Garrett method in scheduling sugarcane production operations. *Journal of Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(1), 125-139. (in Persian).
15. Monjezi, N. (2019). Prevalence of musculoskeletal disorders and risk assessment in sugarcane workers using RULA method and provide a suitable solution. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 8(1), 99-106. (in Persian).
16. Monjezi, N. (2021). Ergonomic Evaluation Posture of Sugarcane Workers using REBA Method. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(2), 477- 489. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.78574>
17. Qasem Nejad Maleki, H. M. (2000). *Investigation of sugar wastes due to mechanical harvesting of sugarcane*. MSc Thesis in Agricultural Mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (in Persian).
18. Ramos, C. R. G., Lanças, K. P., de Lyra, G. A., & Millani, T. M. (2014). Quality of sugar cane mechanized harvest as function of the forward speed and engine rotation of the harvester. *Energia na Agricultura*, 29(2), 87-94. <https://doi.org/10.17224/energagric.2014v29n2p87-94>
19. Schroeder, B., Panitz, J., Linedale, T., Whiteing, C., Callow, B., Samson, P., & Allsopp, P. (2009). Smart Cane harvesting and ratoon management: TE09004 BSES Limited Technical Publication. BSES Limited, Brisbane.
20. Siritumajak, J., & Pramuanjaroenkij, A. (2020). The optimum speed investigation of the CASE harvester cleaning fan for KK3 sugarcane. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 10(1), 34-39.
21. Silva, J., Neves, L. O., Correa, M. H. F., & Souza, C. H. W. (2021). Quality Indexes and Performance in Mechanized Harvesting of Sugarcane at a Burnt Cane and Green Cane. *Sugar Tech.*, 23, 499-507.

- <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00957-9>
22. Shomeili, M. (2012). *Evaluation of agricultural wastes produced during operation of sugarcane production*. In CD Proceedings of the 7th conference of Iranian sugar cane technologists. February: 21-23.
 23. Viator, R. P., Richard, E. P., Viator, B. J., Jackson, W., Waguespack, H. L., & Birkett, H. S. (2007). Sugarcane chopper harvester extractor fan and ground speed effects on yield and quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(1), 31-34. <https://doi.org/10.13031/2013.22327>
 24. Volashjerdi, M. M., Hamzeh, S., Moghaddasi, M., & Shini Dashtgol, A. (2018). Modeling the yield of sugarcane using a hybrid model based on remote sensing data. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 25(6), 141-158. (in Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.12252.2676>
 25. Wiedenfeld, B. (2009). Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in South Texas. Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in South Texas, 29, 102-109.
 26. Zaki Dizaji, H., & Monjezi, N. (2019). Evaluate the sources of waste generation during the sugarcane production process and provide solutions to reduce waste. *Journal of Agricultural Machinery*, 8(1) 67-77. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v8i1.59027>



Assessment of Sieve Slope, Sieve Range and Fan Suction on Cleaning Efficiency and Loss Rate of Peanut Thresher

J. Abdi¹, A. Golmohammadi^{2*}, Gh. Shahgholi², A. Rezvanivand fanaei³

1- Ph.D. Candidate of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Assistant Professor of Biosystem Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Authors Email: Golmohammadi@uma.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75747.1097>

Received: 12 March 2022

Revised: 17 April 2022

Accepted: 19 April 2022

Available Online: 19 April 2022

How to cite this article:

Abdi, J., Golmohammadi, A., Shahgholi, Gh., & Rezvanivand fanaei, A. (2023). Assessment of Sieve Slope, Sieve Range and Fan Suction on Cleaning Efficiency and Loss Rate of Peanut Thresher. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 349-363. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.75747.1097>

Introduction

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an annual plant of the legume genus that is cultivated in 109 countries due to its high-quality oil and seed protein. In Iran, this crop is cultivated on an area of 3000 hectares, with an average yield of 4 tons per hectare. Threshing performance significantly affects seed loss and physical damage, including cracking and crushing of seeds during harvest. Therefore, over the last century, extensive research has been conducted on different types of threshing methods, as well as the design and development of various threshing machines.

Research on seed crops such as cereals and seeds suggest that factors such as the rotational speed of the thresher, threshing-concave distance, feeding rate, and shape of threshing teeth play a crucial role in determining the threshing efficiency and quality of the threshed seeds. Although limited research has been conducted on peanut threshing, there are currently no combine-machines available for this crop on global markets. Therefore, this study aims to investigate several working parameters of an experimental peanut thresher, including the effect of sieve angle, sieve range of movement, and suction speed on the separation unit.

Materials and Methods

The relevant experiments were conducted in the Parsabad Moghan region of Ardabil province (latitude 39.65 North, longitude 47.91 East). To conduct the experiments and separate the seeds from the pods, we used a peanut threshing machine cultivar Nc2, which is commonly cultivated under agricultural conditions in Ardabil and Gilan Agricultural Research Centers.

To achieve the aims of this research, we investigated several effective parameters in the performance of the machine, including sieve angle, sieve movement range, and fan suction speed, to obtain the best settings for maximum threshing performance and separation efficiency. It is worth noting that the average seed weight per kilogram of peanut plant was between 300-400 grams, and the moisture content of the seeds in the tested cultivar was 45%. Before using the machine, workers must first dig up the plants and place them on the ground in a coupe, after which another worker must feed the plants into the machine through the feeder.

Results and Discussion

The study found that changes in sieve angle, sieve movement range, and suction speed significantly affect the separation efficiency and peanut loss rate at a 1% significance level. Increasing the sieving angle leads to a higher speed of material movement on the sieve, which results in insufficient time for separating straw from the seed. Similarly, increasing the sieve movement range causes a rapid decrease in cleaning efficiency. To achieve better straw-seed separation, it is necessary to apply impact shocks to the products located on the sieve within a short period. However, as the range of movement increases, the time interval between impact shocks also increases, which disrupts the straw's separation from the seed.

The study found that increasing the sieve range and suction speed leads to a higher rate of peanut loss. This is due to the fact that when the suction speed and sieve movement range are increased, the product spends less time on the sieve, which results in insufficient time for proper separation. Additionally, high speed may exceed the limit of peanut seed and cause it to move out of the machine with the straw. Increasing the sieve movement range leads to a more uniform movement of straw and seed on the sieve; however, achieving better separation of straw from the sieve requires dynamic shocks and sudden acceleration, which decreases as the sieve movement range increases. The optimal farm capacity and material capacity were achieved with a 5-degree slope at 0.55 hectares per hour and 509 kilograms per hectare, respectively, using a sieve range of 3.5 centimeters and a fan suction speed of 8 meters per second.

Conclusion

The study concluded that the sieve movement range has the most significant impact on cleaning efficiency, while the sieve angle has the least effect. Similarly, the sieve movement range has the most significant influence on the rate of peanut loss, while the sieve angle has the least effect.

Keywords: Cleaning efficiency, Peanut, Sieve, Suction velocity

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۶۳-۳۴۹

بررسی شیب الک، دامنه حرکت الک و مکش فن بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دستگاه خرمن کوب بادام زمینی

جعفر عبدی^۱، عبدالله گل محمدی^{۲*}، غلامحسین شاهقلی^۲، عادل رضوانی وند فنائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰

چکیده

بادام زمینی با توجه به کیفیت بالای روغن استخراجی و پروتئین بالای دانه یکی از گیاهان با اهمیت تیره بقولات می باشد. در پژوهش حاضر، تاثیر تعدادی از پارامترهای کاری یک خرمن کوب بادام زمینی شامل زاویه (شیب) الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش فن مکنده برای واحد جداسازی به صورت تجربی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. زاویه یا شیب الک شامل سه زاویه ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه، دامنه حرکت الک شامل سه فاصله ۳/۵، ۵ و ۷ سانتی متر و همچنین سرعت مکش فن شامل سه سرعت ۸، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه بودند. به منظور تجزیه و تحلیل اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عامل های مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین ها، از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید. همچنین تاثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه ای و ظرفیت ماده ای مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، تاثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن بادام زمینی در سطح یک درصد معنی دار بود. با افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش، نرخ از دست دادن بادام زمینی افزایش یافت. همچنین افزایش فاکتورهای آزمایشی، تاثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه ای و ظرفیت ماده ای نشان داد. بیشترین ظرفیت مزرعه ای و ظرفیت ماده ای به ترتیب با ۰/۱۰۵ هکتار در ساعت و ۵۰۹ کیلوگرم بر ساعت به شیب ۵ درجه تعلق داشت که در دامنه حرکتی ۳/۵ سانتی متر و سرعت مکش فن ۸ متر بر ثانیه به دست آمد.

واژه های کلیدی: الک، بادام زمینی، بازده تمیز کردن، سرعت مکش

مقدمه

۵۶٪ روغن دارد و پس از سویا و کلزا، سومین گیاه دانه روغنی یک ساله جهان به شمار می آید (Dobrev et al., 2021). غلاف های بادام زمینی حاوی بذر و پوسته، در زمین رشد می کنند، در حالی که گلدهی و لقاح در بالای زمین اتفاق می افتد. بر این اساس، هنگام برداشت این محصول قسمت خوراکی آن آغشته به خاک بوده و جداسازی بهینه خاک از غلاف و سپس خارج سازی بذر از داخل غلاف آن به منظور حفظ عملکرد آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Anco et al., 2020). صدمات فیزیکی دانه شامل ترک برداشتن و همچنین خرد شدن آن در زمان برداشت و همچنین از دست دادن دانه، به صورت قابل توجهی تحت تاثیر عملکرد خرمن کوبی قرار می گیرد. بر این اساس در طول قرن گذشته تحقیقات بسیاری در مورد انواع روش های خرمن کوبی و طراحی و توسعه خرمن کوب های مختلف انجام شده است (Fu, Chen, Han, & Ren, 2018).

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) گیاهی یک ساله از تیره بقولات است که به دلیل کیفیت بالای روغن و پروتئین دانه در ۱۰۹ کشور جهان کشت می گردد. سطح زیر کشت این محصول در کشور ایران ۲۸۸۷ هکتار بوده و مقدار تولید آن ۱۰۸۳۰/۲ تن می باشد (Agricultural Jihad Statistics, 2020). بادام زمینی مخصوص مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بوده و بذر این گیاه ارزشمند ۴۴ تا

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: Golmohammadi@uma.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.75747.1097>

به دلیل این که کاهش دانه‌های آسیب‌دیده و بالا بردن عملکرد دستگاه خرم‌ن کوب نقش مهمی در توسعه پایدار آن دارد، لذا تحقیقات در این زمینه همچنان ادامه دارد. براساس مطالعات انجام شده، از دست دادن دانه مهم‌ترین پارامتر در ارزیابی فرآیند خرم‌ن کوبی می‌باشد (Karlen et al., 2014). از دست دادن دانه بیشتر به دلیل عوامل طبیعی، عملیات درو (برداشت)، جمع‌آوری، کوبیدن و جداسازی اتفاق می‌افتد (Abdi & Jalali, 2013). با در نظر گرفتن این که کنترل عوامل طبیعی تا حد زیادی از کنترل انسان خارج است، بر این اساس کاهش تلفات مکانیکی در فرآیند خرم‌ن کوبی یکی از راه‌های مناسب به منظور افزایش عملکرد برداشت دانه در خرم‌ن کوب بادام‌زمینی است (Pishgar-Komleh, Keyhani, Mostofi, Sarkari, & Jafari, 2013). آسیب مکانیکی دانه به طور معمول به دلایل مختلفی همچون برخورد دانه با سطح صلب واحد خرم‌ن کوب، فاصله کم بین کوبنده و ضدکوبنده، نرخ تغذیه محصول و سرعت نامناسب کوبنده ایجاد می‌گردد (Ali, Zong, Md-Tahir, Ma, & Yang, 2021). نکته حائز اهمیت دیگر این است که فرآیند خرم‌ن کوبی در محصول بادام‌زمینی تا حد زیادی به صورت سنتی و دستی انجام می‌گیرد. مطابق با پژوهش‌های صورت گرفته در محصولات دانه‌ای مانند غلات و حبوبات، عوامل سرعت دورانی کوبنده، فاصله کوبنده و ضدکوبنده، نرخ تغذیه و شکل دندانه‌های کوبنده مهم‌ترین عوامل در عملکرد خرم‌ن کوب و کیفیت دانه‌های کوبیده می‌باشند (Reddy, Kumar, Reddy, & Reddy, 2013). در ادامه این بخش به چند مورد از کارهای انجام شده در این حوزه پرداخته شده است.

هوین و همکاران (Huynh, Powell, & Siddal, 1981) گزارش کردند که جدا شدن دانه از ساقه و عبور دانه از دریچه‌های ضدکوبنده تابع متغیرهایی مانند نرخ تغذیه، سرعت کوبش، طول ضدکوبنده، قطر استوانه و فاصله کوبنده و ضدکوبنده است. این متغیرها بر تلفات خرم‌ن کوبی و بازده جداسازی دانه تأثیر می‌گذارند. کائول و همکاران (Kaul & Egbo, 1985) در پژوهشی نتیجه گرفتند که با افزایش سرعت استوانه و کاهش نرخ تغذیه، بازده کوبش افزایش می‌یابد. بازده کوبش در سرعت استوانه ۲۱/۲۵ متر بر ثانیه (۱۴۰۰ دور در دقیقه) و نرخ تغذیه ۱۵ کیلوگرم در دقیقه به حداکثر مقدار ۹۹/۷۶ درصد رسید. لازم به ذکر است صدمات دانه در شرایط عملیاتی ۰/۹۰ درصد دانه‌های قابل مشاهده بود. گل و همکاران (Gol & Nada, 1991) به این نتیجه رسیدند که عوامل مهم مؤثر بر کارایی، پارامترهای مکانیکی غلاف‌زدایی، سرعت عملیات و شرایط محصول است. در این پژوهش با افزایش سرعت محیطی استوانه از ۴۷۳ دور در دقیقه تا ۶۷۵ دور در دقیقه، درصد غلاف‌های پوست‌کنده شده افزایش یافت.

در یکی دیگر از پژوهش‌های انجام شده یک خرم‌ن کوب ثابت که با نیروی محور توان‌دهی تراکتور کار می‌کرد با خرم‌ن کوب دستی پدالی مقایسه شده است. طبق نتایج تحقیق مذکور، افزایش سرعت کوبنده، بازده کوبش بالاتری را ایجاد می‌کند. همچنین مشخص گردید که ظرفیت کاری خرم‌ن کوب محور توان‌دهی، ۴ برابر بیشتر از خرم‌ن کوب دستی پدالی است. اثر زاویه الک و سرعت مکش بر بازده تمیز کردن الک مورد ارزیابی قرار گرفته است. نویسندگان گزارش نمودند که با افزایش زاویه الک و سرعت مکش ظرفیت کاری دستگاه (جرم بر واحد زمان) افزایش می‌یابد، همچنین بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دانه نیز به شدت افزایش پیدا می‌کند (El-Awady, Yehia, Ebaid, & Arif, 2009). همچنین یک ماشین کوبنده اصلاح شده برای به حداقل رساندن مشکل گرفتگی در ضدکوبنده، طراحی شده است. طبق بررسی‌های انجام شده، مشکل عمده کشاورزان در استفاده از ماشین خرم‌ن کوبی چند محصول، گرفتگی کاه و کلش ضدکوبنده با افزایش نرخ تغذیه است. همان‌طور که نرخ تغذیه افزایش می‌یابد، دانه‌های کاه به طور قابل توجهی افزایش یافته و به اجبار از پایین خارج می‌شود و متعاقباً سبب گرفتگی آن می‌گردند. برای حل این مشکل، طرحی پیشنهاد گردید که شامل یک قاب ضدکوبنده برای نگه داشتن ضدکوبنده بود. مکانیزم معرفی شده برای حرکت قاب ضدکوبنده به عنوان مکانیسم ضد گرفتگی به کار گرفته شد (Mahmood, Rao, Singh, & Chaudhary, 2019). ارزیابی فنی سه روش برداشت دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه‌ی بادام‌زمینی در مغان انجام شد. در این پژوهش، بیشترین و کمترین ظرفیت مزرعه‌ای موثر به ترتیب برای کمباین کششی و روش برداشت دستی برابر با ۰/۴۶ و ۰/۰۰۶ هکتار در ساعت بود. براساس نتایج مطالعه، کمباین مخصوص کششی برای برداشت زودهنگام بادام‌زمینی و روش دستی از لحاظ کیفیت مناسب محصول به دست آمده برای منطقه توصیه گردید (Taghinazhad & Rahmani, 2022).

با در نظر گرفتن این که تحقیقات انجام گرفته بر روی خرم‌ن کوب بادام‌زمینی محدوده بوده و عملاً کمباین مخصوص این محصول در بازارهای جهانی موجود نمی‌باشد، هدف از این تحقیق بررسی تعدادی از پارامترهای کاری یک خرم‌ن کوب بادام‌زمینی رقم Nc2 شامل تأثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر روی واحد جداسازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوطه در استان اردبیل، منطقه پارس آباد مغان؛ به طول و عرض جغرافیایی ۳۹/۶۵ شمالی و ۴۷/۹۱ شرقی انجام گردید. به منظور انجام آزمایش‌ها و جداسازی دانه از غلاف، از دستگاه خرم‌ن کوب بادام‌زمینی رقم Nc2 که در مرکز تحقیقات کشاورزی

میانگین وزن دانه در ازای یک کیلوگرم بوته بادامزمینی بین ۳۰۰-۴۰۰ گرم و محتوای رطوبت دانه‌ها در رقم مورد آزمایش ۴۵ درصد بر مبنای تر بود. برای استفاده این دستگاه ابتدا بایستی بوته‌ها توسط کارگران کنده و به‌صورت کوپه روی زمین قرار داده شود، سپس یک کارگر بوته‌ها را از طریق تغذیه‌کننده وارد دستگاه نماید.

استان اردبیل و گیلان تحت شرایط به زراعی کشت می‌شود، استفاده گردید (شکل ۱). با توجه به اهداف تحقیق تعدادی از پارامترهای مؤثر در عملکرد دستگاه شامل زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش فن مورد بررسی قرار گرفتند تا بهترین تنظیم برای حداکثر عملکرد کوبش و بازده جداسازی به‌دست آید. لازم به ذکر است،



شکل ۱- دستگاه خرم‌ن کوب بادامزمینی

Fig.1. Peanut thresher machine

واحد تغذیه

قسمت تغذیه از یک باکس به طول ۱۲۰ و عرض ۸۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تشکیل شده که تماماً از ورق دو میلی‌متری برای ساخت این باکس استفاده شده است. از یک زنجیر که بر روی آن تسمه‌های ۴ سانتی‌متری برای انتقال بوته‌ها به داخل دستگاه استفاده شده است. این زنجیر نیروی خود را از پولی و تسمه متصل به آن گرفته و کل مکانیزم متصل به قسمت محرک دستگاه است (شکل ۲). با تغییر اندازه پولی سرعت تسمه‌نقاله یا زنجیر کم یا زیاد می‌شود با تغییر اندازه قطر پولی به ۱۲، ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متر، سرعت تسمه‌نقاله به‌ترتیب به ۵۰، ۷۰ و ۹۰ دور بر دقیقه تغییر می‌یابد. در این قسمت ابتدا بوته‌ی بادامزمینی را به میزان ۱-۱۰۰ کیلوگرم تهیه و به‌صورت آزمایشی وارد قسمت ورودی نموده و بعد از تست این نتیجه حاصل شد که بایستی حداقل ۲۰ و حداکثر ۷۰ کیلوگرم بوته‌ای بادامزمینی را وارد دستگاه گردد. مدت‌زمان ماندگاری بوته‌ی بادامزمینی در این قسمت ۲-۶ ثانیه بوده است که اعداد مذکور با تغییر اندازه‌ی پولی‌ها و به‌تبع آن تسمه‌ها به‌دست آمد.

براساس نتایج ذکرشده در تحقیقات گذشته دور کوبنده کمتر از ۵۰ دور بر دقیقه توانایی بالایی در جداسازی دانه از غلاف ندارد، اما با این حال تعداد دانه‌های صدمه‌دیده نیز اندک می‌باشد. در دورهای کوبنده بالاتر از ۱۰۰ دور بر دقیقه، خرم‌ن کوب توانایی بالایی در جداسازی دانه از غلاف دارد؛ اگرچه تعداد دانه‌های صدمه‌دیده نیز با افزایش دور کوبنده افزایش یافته است (Srinivasan et al., 2021; Vennela et al., 2018; Senthilkumar, Jesudas, & Asokan, 2017; Aboegela & Mourad, 2021). بنابراین در این آزمایش سرعت دورانی کوبنده ۲۰۰ دور بر دقیقه انتخاب گردید تا در ترکیب با نرخ تغذیه و فاصله کوبنده و ضدکوبنده مقدار بهینه دور کوبنده تعیین گردد.

برای اندازه‌گیری سرعت دورانی محور کوبنده و سایر محورهای محرک از دورسنج تماسی دیجیتالی مارک mar menix و مدل MTC 442 استفاده شد. همچنین برای تأمین توان موردنیاز خرم‌ن کوب از یک تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ با توان ۷۵ اسب بخار استفاده شد.

اجزای مکانیکی دستگاه خرم‌ن کوب بادامزمینی



شکل ۲- تغذیه کننده محصول به قسمت کوبنده

Fig.2. Product feeder to threshing section

واحد کوبنده

شامل یک ماریچی یا هلیس است که طول آن ۲ متر می‌باشد بنابراین دستگاه از نوع کوبنده جریان محوری محسوب می‌گردد (شکل ۳). دور کوبنده با تغییر اندازه قطر پولی به قطر ۲۰، ۲۲، ۲۵ سانتی‌متر تغییر پیدا می‌کند. در این قسمت با تغییر پولی و دور تراکتور این نتیجه حاصل شد که در دورهای کمتر از ۱۰۰ دور بر دقیقه امکان جدایش غلاف و پیله بادام‌زمینی از بوته‌ها وجود ندارد. لذا بایستی دور موردنظر با تغییر اندازه پولی‌ها و دور تراکتور به بالای ۱۰۰ دور بر دقیقه برسد. بهترین عملکرد این قسمت در دورهای ۱۰۰-۳۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. در این دور بوته‌های بادام‌زمینی به‌صورت کامل از دستگاه خرمن‌کوب بادام‌زمینی خارج و غلاف‌های آن‌ها نیز به‌صورت کامل از خوشه‌ها جدا می‌شوند.

ضدکوبنده

ضدکوبنده یک صفحه توری است که به‌صورت تاروپود در هم تنیده شده و این تار و پود توسط میل‌گرد ۱۰ میلی‌متری به هم متصل شده‌اند. این شبکه دارای سوراخ‌های مستطیلی شکل به ابعاد ۱۵ سانتی‌متر مربع می‌باشد که عبور آسان غلاف‌ها را فراهم می‌نماید. ضدکوبنده عملیات کوبیدن بادام‌زمینی یا همان جدا کردن غلاف از ریشه را انجام می‌دهد. کوبنده ثابت می‌باشد اما فاصله ضدکوبنده از طریق پیچ‌مهره کم و زیاد می‌شود و به اندازه ۴-۸ سانتی‌متر فاصله تغییر پیدا می‌کند. برای برداشت و جدایش پیله و غلاف بادام‌زمینی از ریشه و بوته‌های آن بایستی فاصله کوبنده و ضدکوبنده بین ۴-۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شود.

الک

این واحد شامل شاسی و یک توری از جنس گالوانیزه با قطر سوراخ یک سانتی‌متر مربع می‌باشد. وقتی که غلاف‌ها داخل الک به سمت جلو حرکت می‌کند تمام گل ولای چسبیده به غلاف‌ها توسط توری گرفته شده و عملیات خاک‌گیری و بوجاری در این قسمت دستگاه انجام می‌شود. شیب الک بین صفر الی ۲۵ درجه قابل تنظیم بوده و مقدار جابه‌جایی و رفت و برگشتی الک ۳ الی ۸ سانتی‌متر می‌باشد. بازوی دسته شاتون ۱۴ سانتی‌متر است و حرکت رفت و برگشتی دارد. تغییرات آن روی لنگ از طریق سه نقطه خارج از مرکز است که روی لنگ تعبیه شده است (شکل ۴). سرعت خطی این واحد از طریق پولی متصل به گیربکس تنظیم می‌گردد و قطر پولی هم روی ۱۲، ۱۴، ۱۶ تغییر پیدا می‌کند. فرمول سرعت خطی هم طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$V = R\omega \quad (1)$$

که در آن V سرعت خطی (m s^{-1})، R شعاع (m) و ω سرعت زاویه‌ای (rad s^{-1}) است.

فن

فن تأمین‌کننده حجم هوای مورد نیاز برای مکش می‌باشد. از جمله پارامترهای مهم درخصوص سرعت مکش فن می‌توان مواردی همچون (۱) زاویه پروانه یا زاویه برش، (۲) قطر دایره، (۳) زاویه دمپره‌های ورودی و خروجی و (۴) شعاع دایره فن را نام برد (شکل ۵).



شکل ۳- ترکیب کوبنده و ضدکوبنده
Fig.3. Thresher-concave arrangement



شکل ۴- الک در قسمت جداکننده
Fig.4. Sieve in the separation section

$$E_c = \frac{w_m - w_f}{w_m} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، E_c بازده تمیز کردن $(\%)$ ، w_f وزن ماده خارجی جمع‌آوری شده از خروجی اصلی (kg) و w_m وزن ماده ورودی (kg) می‌باشد.

ارزیابی عملکرد دستگاه خرمن‌کوب بادام‌زمینی
بازده تمیز کردن

بازده تمیز کردن توسط الک انجام می‌شود و بر اساس سوراخ‌های تعبیه شده روی دسته الک قابل تنظیم است. بازده تمیز کردن نمونه اولیه خرمن‌کوب بادام‌زمینی براساس رابطه (۲) محاسبه شد:



شکل ۵- فن مکند که مواد اضافی از قبیل ضایعات و شاخه و برگ‌ها را از غلاف‌های بادام‌زمینی جدا می‌کند
Fig.5. Suction fan that separates excess material such as waste and twigs from peanut pods

دادن بادام‌زمینی (E_L) طبق رابطه (۳) محاسبه شد:

$$E_L = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \times 100 \quad (3)$$

که در آن w_1 وزن بادام‌زمینی جعبه یک (kg) و w_2 وزن بادام‌زمینی جعبه دو (kg) می‌باشد.
 در ادامه پارامترهای متغیر و قابل کنترل واحد جداکننده که مربوط به قسمت تمیزکننده و الک می‌باشد، در قالب جدول ۱، ارائه شده است.

نرخ از دست دادن بادام‌زمینی

برای محاسبه نرخ از دست دادن بادام‌زمینی ابتدا دو جعبه برای آزمایش تهیه شد. یکی از جعبه‌ها شامل بوته‌ی بادام‌زمینی و کیسه دیگر خالی بود. دور کوبنده بین محدوده ۲۰۰ دور بر دقیقه بوده و از پی‌تی‌او تراکتور توان لازمه گرفته شد. ابتدا وزن بوته‌های وارد شده به دستگاه با ترازو اندازه‌گیری شد (وزن بادام‌زمینی جعبه یک) و بعد از شروع کار دستگاه بوته‌های خارج شده از قسمت اول خروجی دستگاه را جمع‌آوری و داخل جعبه دوم کرده و دوباره با ترازو وزن شد (وزن بادام‌زمینی جعبه دوم). به این ترتیب وزن بوته وارده شده به دستگاه و وزن بوته‌های خارج شده از دستگاه مشخص گردید و نرخ از دست

جدول ۱- پارامترهای متغیر و قابل کنترل واحد جداکننده

Table 1- Variable and controllable parameters of the separator unit

پارامتر Parameter	مقادیر مختلف برای پارامترها Various values for parameters		
شیب یا زاویه الک Sieve slope or angle (Degree)	5	10	15
دامنه حرکت الک Sieve movement range (cm)	3.5	5	7
سرعت مکش فن Fan suction speed ($m s^{-1}$)	8	12	16

نتایج و بحث

بررسی تأثیر عوامل آزمایشی بر بازده تمیز کردن

هدف از پژوهش حاضر تعیین تنظیمات بهینه واحد جداساز

لازم به ذکر است، برای تجزیه و تحلیل اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عامل‌های مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

با توجه به نتایج جدول ۲ مشخص شد که تأثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادامزمینی در سطح یک درصد معنی دار است.

خرمن کوب بادامزمینی می باشد. بدین منظور تأثیر عوامل زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادامزمینی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس عوامل متغیر بر معیارهای کوبش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) برای ارزیابی متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادامزمینی

Table 2- Results of analysis of variance (ANOVA) to evaluate the variables of sieve angle, sieve range and suction speed on the separation efficiency and peanut loss rate

منبع Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	
		بازده تمیز کردن Cleaning efficiency	نرخ از دست دادن Loss rate
شیب Slope	2	1409**	162.6**
دامنه Range	2	22.1**	61.2**
سرعت Speed	2	293.7**	542.2**
دامنه * شیب Slope * range	4	0.61ns	2.41**
دامنه * سرعت Slope * Speed	4	1.22ns	22.2**
سرعت * دامنه Range * Speed	4	0.08ns	0.231**
سرعت * دامنه * شیب Slope * Range * Speed	8	0.38ns	0.227**
خطا Error	54	0.92	0.020
کل Total	80		

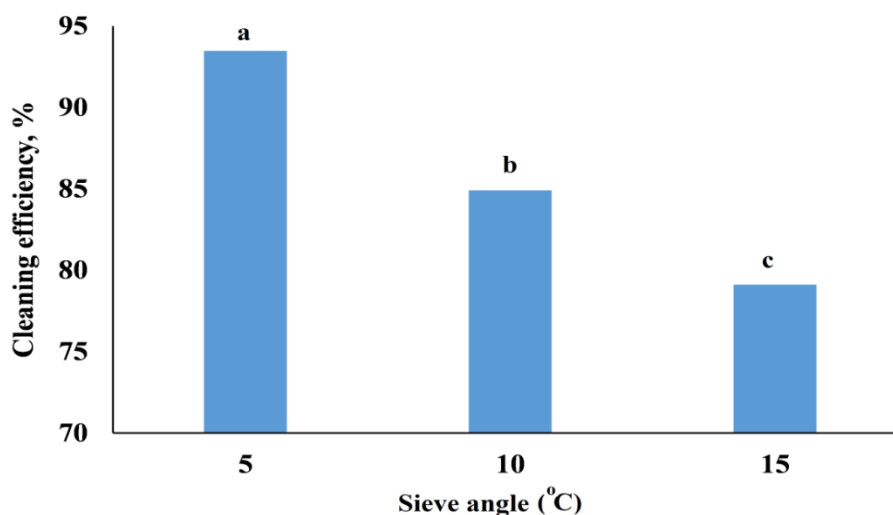
df: degrees of freedom; **: highly significant; ns: not significant.

ارائه شده است. همان طور که از شکل ۸ مشخص است با افزایش سرعت مکش بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. با افزایش سرعت مکش مواد مدت زمان کمتری روی الک می ماند و نوسانات الک به تعداد مورد نیاز برای جدا کردن دانه از کاه نمی رسد و در نتیجه بازده جدا کردن کاهش یافته است. در جدول ۳، مشخصات آماری مدل رگرسیون پیش بینی کننده بازده جدا کردن براساس متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش ارائه شده است. با توجه به ضرایب استاندارد ذکر شده در جدول ۳ می توان نتیجه گرفت که دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر بازده تمیز کردن دارند. معادله نهایی پیش بینی کننده در رابطه (۴) آورده شده است:

$$\text{Cleaning efficiency} = 116.08 - 0.5597 \text{ slope} - 0.515 \text{ range} - 0.8227 \text{ speed. } R^2 = 0.93 \quad (4)$$

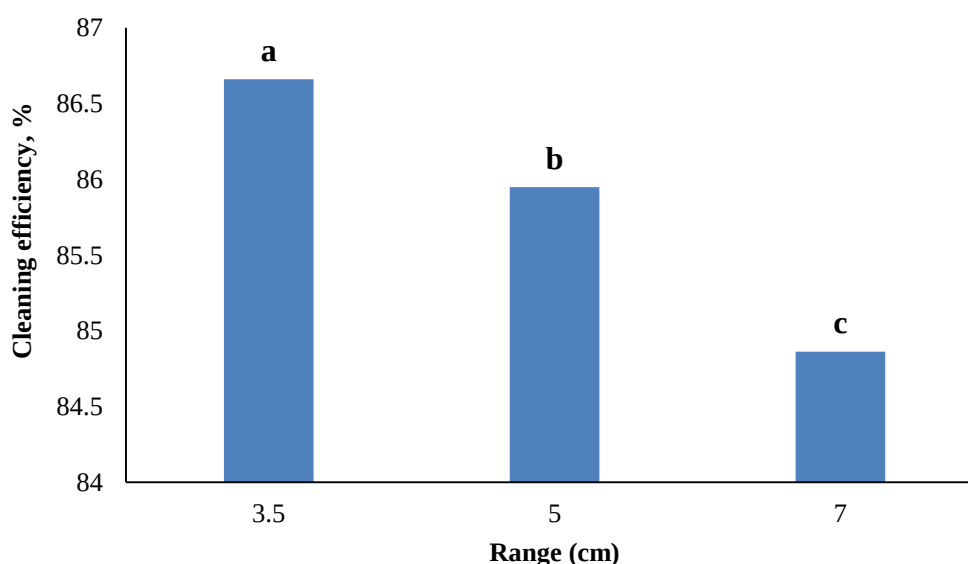
در شکل ۶ اثر زاویه الک بر بازده تمیز کردن ارائه شده است. همان طور که از شکل ۶ مشخص است با افزایش زاویه الک بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. با توجه به این که با افزایش زاویه الک سرعت جابه جایی مواد بر روی الک افزایش می یابد در نتیجه فرصت لازم برای جداسازی کاه از دانه فراهم نمی شود. در شکل ۷ اثر دامنه حرکت الک بر بازده تمیز کردن ارائه شده است. همان طور که از شکل ۷ مشخص است با افزایش دامنه حرکت الک بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. برای جداسازی بهتر کاه از دانه لازم است به مواد مستقر روی الک در فاصله زمانی کوتاه شوک های ضربه ای وارد شود با افزایش دامنه حرکت فاصله زمانی بین شوک های ضربه ای افزایش می یابد و در نتیجه جداسازی کاه از دانه مختل می شود.

در ادامه و در قالب شکل ۸ اثر سرعت مکش بر بازده تمیز کردن



شکل ۶- تأثیر زاویه الک بر بازده تمیز کردن

Fig.6. Sieve angle effect on the cleaning efficiency



شکل ۷- تأثیر دامنه حرکت الک بر بازده تمیز کردن

Fig.7. Sieve movement range effect on the cleaning efficiency

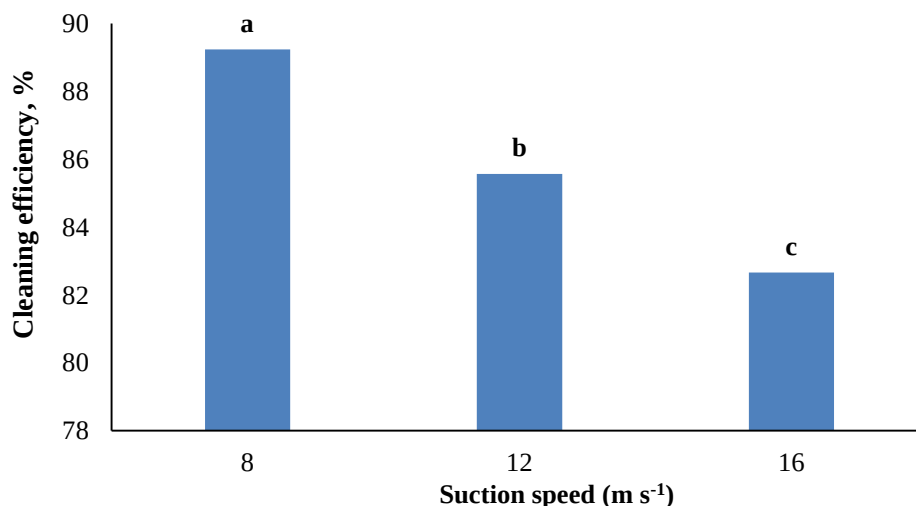
بررسی تأثیر عوامل آزمایشی بر نرخ از دست دادن بادامزمینی

چون طبق جدول ۲ اثرات سه‌گانه شیب، دامنه و سرعت مکش معنی‌دار شده است اقدام به مقایسه میانگین شده است. در شکل ۹ تأثیر اثر سه‌گانه شیب الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر نرخ از دست دادن بادامزمینی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است با افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش نرخ از

دست‌دهش دیگری که بر روی دستگاه جداکننده بادامزمینی انجام پذیرفت و دستگاه دارای ظرفیت کاری تا ۱۱۶ کیلوگرم در ساعت بود، راندمان جداسازی ۹۳٪ حاصل شد. لازم به ذکر است که میزان آسیب‌دیدگی مکانیکی غلاف‌ها نیز ۰/۴٪ به‌دست آمد (Guzman, Petingco, & Dom-oguen, 2019).

کرده و در نتیجه فرصت کافی برای جداسازی مناسب محصول فراهم نمی‌شود.

دست دادن بادام‌زمینی افزایش یافته است. علت این امر می‌تواند به این واقعیت نسبت داد شود که با افزایش سرعت مکش و دامنه حرکت الک عملاً محصول مدت‌زمان کمتری را روی الک سپری



شکل ۸- تأثیر سرعت مکش بر بازده تمیز کردن

Fig.8. Suction speed effect on the cleaning efficiency

شیب الک باعث افزایش از دست دادن بادام‌زمینی می‌شود. با افزایش شیب الک سرعت خروج محصول نیز بیشتر شده و در نتیجه زمان کافی برای جداسازی فراهم نمی‌شود؛ اما در سرعت مکش ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه افزایش زاویه الک در ابتدا باعث کاهش و سپس افزایش نرخ از دست دادن بادام‌زمینی می‌شود. از سوی دیگر افزایش دامنه حرکت الک باعث می‌شود که شیب تغییرات نرخ از دست دانه حاصل از افزایش زاویه الک نیز افزایش یابد.

همچنین سرعت بالاتر ممکن است فراتر از سرعت حد دانه بادام‌زمینی باشد و به همین دلیل خود باعث حرکت بادام‌زمینی به همراه کاه به بیرون از دستگاه شود. افزایش دامنه الک منجر به حرکت یکنواخت کاه و دانه شده بر روی الک شده درحالی‌که برای جداسازی بهتر کاه از الک نیاز به ضربات دینامیکی و شتاب ناگهانی به محصول است که با افزایش دامنه حرکت الک این موضوع کاهش می‌یابد. نکته قابل‌توجه در شکل ۹ رفتار متغیر شیب الک در وضعیت‌های مختلف است. در سرعت مکش ۸ متر بر ثانیه افزایش

جدول ۳- مشخصه‌های آماری مدل رگرسیون گام به گام برای پیش‌بینی بازده تمیز کردن بر اساس زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش

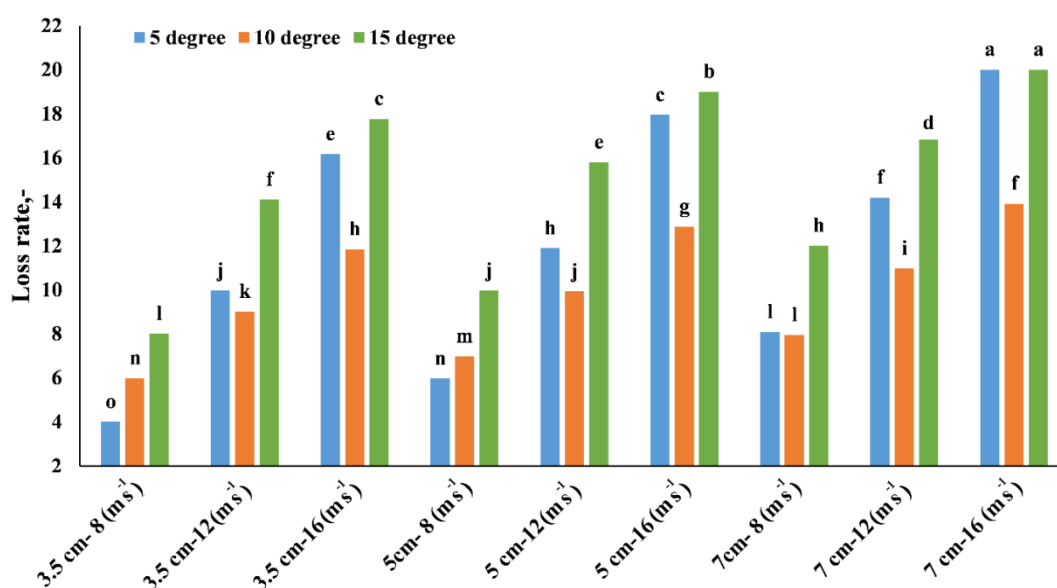
Table 3- Statistical characteristics of stepwise regression model for predicting cleaning efficiency based on sieve angle, suction speed and sieve movement range

عبارت Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	116.08	1.10	105.63	0.000	
Slope	-0.5597	0.0176	-31.82	0.000	1.00
Range	-0.515	0.126	-4.09	0.000	1.00
Speed	-0.8227	0.0553	-14.87	0.000	1.00

(Taghinazhad & Rahmani, 2022).

در قالب جدول ۴ مشخصات آماری مدل رگرسیون پیش‌بینی‌کننده نرخ از دست دادن بادام‌زمینی براساس متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش ارائه شده است.

در پژوهش انجام‌شده بر روی ارزیابی فنی سه روش برداشت دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه بادام‌زمینی برای منطقه مغان کمترین و بیشترین تلفات کل به ترتیب با ۹۵/۵٪ و ۵۸/۱۰٪ مربوط به روش دستی و برداشت با کمباین کششی مخصوص بادام‌زمینی بود



شکل ۹- اثر سه گانه شیب الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر نرخ از دست دادن بادامزمینی

Fig.9. The triple effect of sieve slope, sieve movement range and suction speed on peanut loss rate

پیش‌بینی‌کننده در رابطه (۵) آورده شده است:

$$\text{Loss rate} = -9.68 + 0.1292 \text{ slope} + 0.855 \text{ range} + 1.1190 \text{ speed. } R^2 = 0.82 \quad (5)$$

با توجه به ضرایب استاندارد ذکرشده در جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر نرخ از دست دادن بادامزمینی دارند. معادله نهایی

جدول ۴- مشخصه‌های آماری مدل رگرسیون گام به گام برای پیش‌بینی نرخ از دست دادن بادامزمینی بر اساس زاویه الک، سرعت مکش و دامنه حرکت الک

Table 4- Statistical characteristics of stepwise regression model for predicting peanut loss rate based on sieve angle, suction speed and sieve movement range

عبارت Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
ثابت Constant	-9.68	1.31	-7.40	0.000	
شیب Slope	0.1292	0.0209	6.17	0.000	1.00
محدوده Range	0.855	0.150	5.70	0.000	1.00
سرعت Speed	1.1190	0.0659	16.99	0.000	1.00

پیشروی ماشین برحسب کیلومتر بر ساعت، w عرض کار ماشین برحسب متر و e بازده مزرعه‌ای برحسب درصد می‌باشد. همچنین جرم ماده برداشت‌شده در واحد زمان را ظرفیت ماده‌ای گویند که به‌صورت کیلوگرم بر ساعت بیان می‌گردد. ظرفیت مزرعه‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طوری که از جدول مشخص است، افزایش دامنه حرکت و همچنین افزایش سرعت مکش تأثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه‌ای دارد.

تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای

در این بخش تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور محاسبه ظرفیت مزرعه‌ای از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$C = \frac{vwe}{10} \quad (6)$$

که C ظرفیت مزرعه‌ای برحسب هکتار بر ساعت، v سرعت

جدول ۵ - ظرفیت مزرعه‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک**Table 5- Farm capacity in various sieve slopes**

ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۵ درجه Material capacity in sieve angle of 5 (he.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	0.105	0.103	0.102
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	0.100	0.985	0.0975
	16	0.099	0.097	0.0965
ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۱۰ درجه Material capacity in sieve angle of 10 (he.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	0.1035	0.102	0.100
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	0.098	0.097	0.0955
	16	0.097	0.096	0.095
ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۱۵ درجه Material capacity in sieve angle of 15 (he.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	0.098	0.096	0.0935
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	0.097	0.095	0.091
	16	0.096	0.0935	0.089

جدول ۶ - ظرفیت ماده‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک**Table 6- Material capacity in various sieve slopes**

ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۵ درجه Farm capacity in sieve angle of 5 (kg.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	509	496	492
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	486	477	474
	16	473	458	447
ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۱۰ درجه Farm capacity in sieve angle of 10 (kg.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	501	492	488
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	484	476	471
	16	468	452	445
ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۱۵ درجه Farm capacity in sieve angle of 15 (kg.hr ⁻¹)				
دامنه حرکت				
Range (cm)				
		3.5	5	7
مکش فن	8	476	470	466
Fan suction (m.s ⁻¹)	12	468	463	460
	16	461	454	439

روی الک افزایش یافت. بازده تمیز کردن با افزایش زاویه الک به صورت شدیدی کاهش یافت. همچنین افزایش دامنه حرکت الک، سبب کاهش یافتن شدید بازده تمیز کردن گردید. همچنین با افزایش سرعت مکش فن، بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافت. افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش، سبب افزایش نرخ از دست دادن بادامزمینی شد. لازم به ذکر است، افزایش فاکتورهای آزمایش، تاثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای نشان داد. به عنوان نتیجه‌گیری کلی، دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر بازده تمیز کردن دارند. همچنین دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر نرخ از دست دادن بادامزمینی دارند.

همچنین ظرفیت ماده‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک در جدول ۶ ارائه شده است. در این مورد نیز افزایش دامنه حرکت و همچنین افزایش سرعت مکش، سبب کاهش ظرفیت مزرعه‌ای در شرایط مختلف شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر چند فاکتور مؤثر بخش جداسازی ماشین خرمن‌کوب شامل تأثیر شیب الک، دامنه حرکت الک و همچنین سرعت مکش بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن بادامزمینی مورد تست و ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر موارد بیان شده به بررسی تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای پرداخته شد. با افزایش شیب الک سرعت جابه‌جایی مواد بر

References

- Abdi, R., & Jalali, A. (2013). Mathematical model for prediction combine harvester header losses. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(5), 549-552.
- Aboegela, M. A., & Mourad, K. H. (2021). Development a Locale Thresher Machine for Separating Peanut Crop. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 12(3), 131-135. <https://doi.org/10.21608/jssae.2021.158665>
- Agricultural Jihad Statistics, Crop products. (2020). Iran.
- Ali, K. A. M., Zong, W., Md-Tahir, H., Ma, L., & Yang, L. (2021). Design, Simulation and Experimentation of an Axial Flow Sunflower-Threshing Machine with an Attached Screw Conveyor. *Applied Sciences*, 11(14), 6312. <https://doi.org/10.3390/app11146312>
- Anco, D. J., Thomas, J. S., Jordan, D. L., Shew, B. B., Monfort, W. S., Mehl, H. L., & Campbell, H. L. (2020). Peanut yield loss in the presence of defoliation caused by late or early leaf spot. *Plant Disease*, 104(5), 1390-1399. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2286-RE>
- Dobrev, I. D., Ruiz-Guzman, H. A., Barrios-Perez, I., Adams, T., Teare, B. L., Payton, P., & Hays, D. B. (2021). Thresholding Analysis and Feature Extraction from 3D Ground Penetrating Radar Data for Noninvasive Assessment of Peanut Yield. *Remote Sensing*, 13(10), 18-36. <https://doi.org/10.3390/rs13101896>
- El-Awady, M. N., Yehia, I., Ebaid, M. T., & Arif, E. M. (2009). Development of Rice Cleaner for Reduced Impurities and Losses. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 40(3), 15-29.
- Fu, J., Chen, Z., Han, L., & Ren, L. (2018). Review of grain threshing theory and technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 12-20. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3432>
- Gol, A. K., & Nada, S. K. (1991). Performance of power operated groundnut stripper. *AMA*, 22(3), 25-28.
- Guzman, J. D., Petingco, M. C., & Dom-oguen, A. D. (2019). *Peanut threshing and shelling machines for community-based peanut enterprises in developing countries*. American Society of Agricultural and Biological Engineers conference, Boston, Massachusetts July 7- July. <https://doi.org/10.13031/aim.201901368>
- Huynh, V. M., Powell, T., & Siddal, J. N. (1981). Threshing and separating process- A mathematical model. *Transactions of the ASAE*, 25(1), 62-73. <https://doi.org/10.13031/2013.33478>
- Karlen, D. L., Birrell, S. J., Johnson, J. M., Osborne, S. L., Schumacher, T. E., Varvel, G. E., & Nafziger, E. D. (2014). Multilocation corn stover harvest effects on crop yields and nutrient removal. *BioEnergy Research*, 7(2), 528-539. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9419-7>
- Kaul, R. N., & Egbo, C. O. (1985). *Introduction to Agricultural Mechanization*. First edition. Macmillan Education Ltd. London. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9419-7>
- Mahmood, Y., Rao, G., Singh, P., & Chaudhary, H. (2019). Design Modification for Anti-choking Mechanism in Thresher Machine. *Springer Singapore*, 585-593. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8597-0_50
- Pishgar-Komleh, S. H., Keyhani, A., Mostofi-Sarkari, M. R., & Jafari, A. (2013). Assessment and determination of seed corn combine harvesting losses and energy consumption. *Elixir Agriculture*, 54(2013), 12631-12637.
- Reddy, K. M., Kumar, D. V., Reddy, B. R., & Reddy, B. S. (2013). Performance evaluation of groundnut thresher for freshly harvested crop. *International Journal of Agricultural Engineering*, 6(1), 67-70.
- Senthilkumar, T., Jesudas, D. M., & Asokan, D. (2017). Performance Evaluation of Self-Propelled Groundnut

- Combine. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, 48(1), 76-89.
18. Srinivasan, M., Sai, S. N., Alexander, A., Prabhakaran, N., Gokul, C., & Visalaxi, G. (2021). *Development of peanut separator and thruster*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012053>
19. Taghinazhad, J., & Rahmani, S. (2023). Technical evaluation of three methods of manual, semi-mechanized and mechanized peanut harvesting in Moghan. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(2), 239-247. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.74048.1079>
20. Vennela, B., Ramana, C., Ramana, M. V., Reddy, S. J., Kalleemullah, S., & Kumari, K. L. (2018). Studies on Harvesting and Threshing Parameters of Available Tractor Operated Groundnut Digger-Shaker and Fresh Pod Thresher. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 3517-3525. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.401>



Drying Kinetics of White Seedless Grape Affected by High-Humidity Hot Air Impingement Blanching

H. Rezaei¹, M. Sadeghi^{2*}

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: sadeghimor@iut.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.78355.1122>

Received: 21 August 2022

Revised: 21 November 2022

Accepted: 28 November 2022

Available Online: 28 November 2022

How to cite this article:

Rezaei, H., & Sadeghi, M. (2023). Drying Kinetics of White Seedless Grape Affected by High-Humidity Hot Air Impingement Blanching. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(3), 365-382. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.78355.1122>

Introduction

Due to the disadvantages of using chemical materials as pretreatment before grape drying, the application of non-chemical methods that not only take the environmental issues into account but also increase the drying rate and improve the quality of the produced raisins is vitally important. The high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) is one of the non-chemical methods that can be used as a suitable alternative for chemical pretreatment in grape drying. In this research, the design, construction, and evaluation of a high-humidity hot air impingement blanching system are discussed in terms of the drying kinetics of white seedless grapes. The results are compared against the control and chemical pretreatment.

Materials and Methods

High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) system

The HHAIB system is composed of the steam generator, steam transfer pipes, side channel pump, closing and opening valves, air recycling channel, electric air heater, hot-humid air transfer channel, pretreatment chamber, hot-humid air distribution chamber, nozzles, temperature and humidity sensors and controllers. The performance of the system depends on the humid air temperature, the output fluid velocity from the nozzle, the distance of the nozzles from the product surface, as well as the diameter and arrangement of the nozzles. In order to achieve optimal design of the nozzle array, the relationships existed for the heat transfer coefficient, air mass flow, and blowing power were considered.

Application of the HHAIB pretreatment and evaluation of its effect on the grape drying process

Experiments were conducted to investigate the effect of temperature and duration of HHAIB pretreatment on the kinetics of grape drying. A two-factor completely randomized factorial design with three replications was used to analyze the data.

According to the studies, the air at temperatures of 90, 100, and 110°C, a velocity of 10 m s⁻¹, and relative humidity in the range of 40-45% was applied to the product. Pretreatment durations of 30, 60, 90, 120, and 150 s were also considered. Experiments were conducted with three replicates and control treatment and acid pretreatment were used to compare the drying process. Due to the high quality of shade-dried raisins, this method was used to study the process.

The effect of the pretreatment duration on the drying kinetics of white seedless grapes was assessed by observing variations in moisture ratio and drying rate over time, as well as determining the effective diffusivity of water.

For the color evaluation of the produced raisins, chroma (*C*), hue angle *H*^o, and total color difference (ΔE) parameters were calculated after measuring *L*^{*}, *a*^{*}, and *b*^{*} values.

Results and Discussion

The comparison of the drying process among the control, chemical, and HHAIB showed the positive efficacy

of HHAIB on the drying rate of grapes. Compared to fresh grapes, the increase in drying rate under the influence of HHAIB varied from 8% for a duration of 30 s at 90°C to 68% for a duration of 150 s at 110°C. The values of the diffusion coefficient of grapes for the HHAIB pretreatment at temperatures of 90, 100, and 110°C and durations of 30, 60, 90, 120, and 150 s, as well as for the control and chemical pretreatments were determined. The values of the coefficient changed from $2.28 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for 30 s of applying pretreatment at 90°C to $3.53 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for 150 s of applying the pretreatment at 110°C. The highest value of this coefficient ($7.46 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) was associated with the chemical pretreatment. The value of the diffusion coefficient increased with increasing temperature and duration of the HHAIB pretreatment. In general, this increase in the drying rate and the diffusion coefficient can be attributed to the effect of the HHAIB pretreatment on the texture and destruction of the cell wall, as well as the microcracks created on the skin of the grapes. Moreover, the findings reveal that, in comparison with the hot air temperature, the duration of the HHAIB pretreatment was more effective in enhancing the drying rate. Additionally, based on the color analysis, a temperature of 110°C and a duration range of 90-150 s were achieved as suitable conditions for applying pretreatment.

Conclusion

The HHAIB pretreatment, which combines the benefits of hot air blanching with jet technology, affects the texture and skin of grapes, accelerates the drying process, and increases the quality of the produced raisins. However, the correct application of this pretreatment depends on the proper design of the system and appropriate conditions, including duration, temperature, and relative humidity. The results of drying kinetics showed that the drying rate increased with an increase in the temperature and duration of the pretreatment. The findings indicate that the HHAIB pretreatment could improve the color indices of the raisins, resulting in an increase in the drying rate and acceptable quality of the final product. This provides a basis for the use of HHAIB on larger and industrial scales.

Keywords: Drying rate, Grapes, High-humidity hot air impingement blanching, Nonchemical pretreatment, Organic product

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۸۲-۳۶۵

سینتیک خشک شدن انگور بی دانه سفید تحت تاثیر بلانچینگ جت برخوردی هوای داغ مرطوب

حسین رضائی^۱، مرتضی صادقی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

چکیده

برای اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب به انگور و مطالعه چگونگی تأثیر آن بر تسریع در روند خشک کردن آن، سامانه‌ای طراحی و ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش تأثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار (دماهای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس و مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه) در سرعت جت هوای ۱۰ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی ۴۰ درصد در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل ۳×۵ بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر روند خشک شدن انگور به روش سایه خشک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش مدت خشک کردن با افزایش دما و مدت اعمال پیش تیمار بود. با افزایش مدت پیش تیمار از ۳۰ به ۱۵۰ ثانیه در دماهای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس سرعت خشک کردن به ترتیب ۳۱ درصد، ۳۷/۵ درصد و ۴۵ درصد افزایش پیدا کرد. به علاوه، مدت اعمال پیش تیمار نسبت به دما تأثیر بیشتری بر افزایش سرعت خشک کردن در محدوده‌های اعمال شده داشت. در مقایسه با انگور شاهد (بدون اعمال پیش تیمار)، افزایش سرعت خشک کردن تحت تأثیر جت برخوردی هوای داغ مرطوب از ۸ درصد برای مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس تا ۶۸ درصد برای مدت ۱۵۰ ثانیه در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس تغییر یافت. براساس آنالیز رنگ، شاخص‌های رنگی کشمش تولیدی با افزایش دما و مدت اعمال پیش تیمار بهبود پیدا کرد و دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و محدوده مدت ۹۰-۱۵۰ ثانیه به عنوان شرایط مناسب اعمال پیش تیمار به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انگور، پیش تیمار غیرشیمیایی، جت برخوردی هوای داغ مرطوب، محصول ارگانیک، نرخ خشک شدن

مقدمه

بیولوژیک سخت تر است. معمولاً پیش تیمار شیمیایی به منظور اصلاح نفوذپذیری پوست انگور برای افزایش سرعت خشک شدن استفاده می شود. در این حالت انگور برای چند دقیقه در یک امولسیون آلکالین یا تیزاب (شامل اتیل اولئات و کربنات پتاسیم) فرو برده می شود که در نتیجه لایه مومی حل شده و مقاومت به انتشار آب از پوست کاهش پیدا می کند. به هر حال، این مواد ضمن رفع مسئله طولانی بودن مدت خشک کردن، معایبی نیز دارند که از جمله آن ها بقایای مواد شیمیایی در کشمش تولیدی و مشکل چگونگی برخورد با حجم زیادی از ماده شیمیایی استفاده شده می باشد.

سالانه به طور متوسط ۲۰۰ هزار تن کشمش تیزابی در ایران تولید می شود. با توجه به روش تهیه محلول تیزاب، برای تولید این مقدار کشمش تیزابی بیش از ۲۰ میلیون لیتر محلول تیزاب نیاز است که پس از مصرف در محیط زیست رها می شود. بنابراین، باید به دنبال روش های غیر شیمیایی ایمن، مؤثرتر و قابل کنترل بود که با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی هم سرعت خشک کردن را افزایش دهند و هم باعث افزایش کیفیت کشمش تولیدی شوند.

انگور (*Vitis vinifera* L.) محصول ارزشمندی است که دارای مواد معدنی، فیبرهای مغذی و ترکیبات مختلفی مانند ویتامین C، ویتامین B6 و آنتی اکسیدان ها است (Jayaprakasha, Singh, & Sakariah, 2001). مطابق با آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) ایران از نظر سطح زیر کشت و تولید انگور در زمره ۱۰ کشور اول جهان قرار دارد.

تبدیل انگور به کشمش مهم ترین روش فرآوری انگور است. به هر جهت، حضور موم در کوتیکول پوست مانعی برای خشک کردن انگور می باشد. بنابراین، خشک کردن آن نسبت به سایر محصولات

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: sadeghimor@iut.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jam.2022.78355.1122>

نتیجه، این روش سبب میعان بر روی دیواره‌های سرد به علت اشباع بیش از حد نمی‌شود و با توجه به این مزایا برای صنعتی شدن بسیار مناسب است.

سرخ کردن چپیس سیب‌زمینی (Gao, Xiao, Liu, & Yang, 2008)، سرخ کردن اردک (Sui, Gao, Ni, & Fang, 2008)، پختن نان و کیک (Olsson, Trägårdh, & Ahnér, 2005)، پختن گوشت مرغ و گاو (Kondjoyan et al., 2010)، بلانچینگ محصولات کشاورزی با ترکیب جت هوای داغ و بخار فوق گرم شامل بلانچینگ تکه‌های میوه سیب برای غیر فعال کردن پلی‌فنل اکسیداز (Bai, Gao, Xiao, Wang, & Zhang, 2013)، بلانچینگ کاهوی برش‌خورده تازه برای افزایش عمر ماندگاری (Rico et al., 2008)، خشک کردن بذرها، سبزیجات، میوه‌ها، گیاهان دارویی و غذاها (Xiao & Mujumdar, 2014) از جمله کاربردهای جت هوا در کشاورزی و صنایع غذایی هستند.

ژیاو و همکاران (Xiao et al., 2012) تأثیر پیش‌تیمار برخورد جت هوای داغ مرطوب را بر تکه‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که علاوه بر افزایش سرعت خشک شدن تکه‌های سیب‌زمینی سفیدی آن‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند.

بای و همکاران (Bai, Sun, Xiao, Mujumdar, & Gao, 2013) از پیش‌تیمار غیرشیمیایی جت برخوردی هوای داغ مرطوب به سطح جبهه‌های انگور به‌منظور افزایش سرعت خشک کردن آن استفاده کردند. در این روش افزایش ضریب انتقال حرارت ۱۲ برابر وضعیتی بود که فقط هوای داغ خالص به سطح برخورد می‌کرد. بهترین عملکرد در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و مدت ۹۰ ثانیه به‌کارگیری پیش‌تیمار به‌دست آمد که نه تنها باعث افزایش در سرعت خشک شدن انگور شد، بلکه کیفیت کشمش تولیدی نیز افزایش پیدا کرد.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2017a) اثر جت برخوردی هوای داغ مرطوب با مدت‌های تأثیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰ و ۲۴۰ ثانیه در سرعت هوای ۱۴ متر بر ثانیه، دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۴۰-۳۵ درصد را بر کیفیت و نرخ خشک کردن فلفل قرمز مطالعه کردند. ایشان پارامترهای کیفی شامل رنگ، مقدار رنگدانه قرمز، ریز ساختار و بافت را اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که بعد از اعمال این پیش‌تیمار میکرو ترک‌هایی در سطح فلفل ایجاد می‌شد که باعث تسریع در روند خشک شدن می‌شدند. این پیش‌تیمار به‌طور مؤثری آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز را غیرفعال می‌کرد. نتایج نشان داد که بلانچینگ بیش از حد با این پیش‌تیمار اثر معکوسی بر نرخ خشک کردن و محتوای رنگ دانه قرمز و خصوصیات بافت فلفل داشت.

لی و همکاران (Liu et al., 2019) در پژوهشی اثر جت

علاوه بر مواد شیمیایی برخی پیش‌تیمارهای غیرشیمیایی (Dev, Padmini, Adedeji, Gariépy, & Raghavan, 2008) مانند امواج مایکروویو، پالس الکتریک، پیش‌تیمار فیزیکی و بلانچینگ حرارتی برای تسریع خشک کردن انگور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ماتئو و همکاران (Di Matteo, Cinquanta, Galiero, & Crescitelli, 2000) از خراش دادن پوست به‌عنوان یک پیش‌تیمار فیزیکی قبل از خشک کردن انگور استفاده کردند. نتایج نشان داد که سرعت خشک شدن تقریباً با پیش‌تیمارهای شیمیایی یکسان بود اما محصول نهایی تیره‌تر گزارش شد.

دو و همکاران (Dev et al., 2008) پیش‌تیمار مایکروویو و پالس الکتریک را از نظر تأثیر بر سرعت خشک شدن و پارامترهای کیفی کشمش تولیدی با پیش‌تیمار شیمیایی مقایسه کردند. استفاده از ماده شیمیایی بیشترین تأثیر را بر سرعت خشک شدن داشت، لیکن کشمش تولیدی با استفاده از پیش‌تیمارهای پالس الکتریک و مایکروویو به‌طور معنی‌داری مواد جامد محلول کل بیشتری داشته و از نظر ظاهر و بازاری‌پسندی نیز بهتر بود.

بلانچینگ حرارتی با حرارت دادن سریع میوه‌ها و سبزیجات در دما و مدت معین قبل از انجام فرآیندهای دیگر دارای اثراتی همچون افزایش نرخ خشک شدن و کیفیت محصول، غیرفعال کردن آنزیم‌های فاسدکننده، خارج کردن هوا از بافت گیاه، کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن، حذف بقایای سموم و آفت‌کش‌ها، کاهش بار میکروبی و برخی اثرات دیگر می‌باشد. روش‌های متداول بلانچینگ حرارتی شامل روش سنتی بلانچینگ آب داغ، بلانچینگ بخار داغ، بلانچینگ مایکروویو، بلانچینگ اهمی، بلانچینگ امواج مادون قرمز و روش جدید بلانچینگ جت هوای داغ مرطوب، هستند. در طول دو دهه گذشته فناوری جت هوا در فرآیندهای تولید محصولات کشاورزی و صنایع غذایی بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. سرعت بالای برخورد هوا به سطح محصول یک بستر شبه سیال از هوای داغ ایجاد کرده و موجب نازک‌تر شدن لایه‌های مرزی حرارتی شده و بنابراین، نرخ انتقال حرارت و جرم را افزایش می‌دهد (Xiao et al., 2010; Xiao & Mujumdar, 2014).

ضریب انتقال حرارت در روش جت برخوردی هوای داغ نسبت به سایر روش‌های تولید هوای اجباری بیشتر است. در صورت تزریق بخار به سامانه جت برخوردی هوای داغ و ایجاد جت هوای داغ مرطوب این انتقال حرارت چندین برابر نیز خواهد شد (Schabel & Martin, 2010).

جت هوای داغ مرطوب یکی از روش‌های غیر شیمیایی محسوب می‌شود که فواید بلانچینگ هوای داغ را با تکنولوژی جت برخوردی ترکیب می‌کند. ضریب انتقال حرارت در این روش نسبت به بلانچینگ با بخار بیشتر و همچنین، نیاز به بخار در آن کم‌تر است. در

انگور می تواند داشته باشد، به عنوان جایگزینی مناسب برای پیش تیمار شیمیایی قابل استفاده است. برای اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب به انگور و مطالعه چگونگی تأثیر آن بر تسریع روند خشک کردن آن، سامانه ای مورد نیاز بود که در آن علاوه بر ایجاد جت برخوردی هوای داغ، درصد رطوبت معین نیز قابل کنترل باشد. با توجه به عدم وجود چنین سامانه ای در کشور، در این پژوهش ابتدا به طراحی و ساخت آن پرداخته شده و سپس با اعمال پیش تیمار مورد نظر در شرایط مختلف، به ارزیابی روند سایه خشک شدن انگور تحت تأثیر پیش تیمار و مقایسه نتایج با پیش تیمار مرسوم پرداخته شد.

مواد و روش ها

طراحی و ساخت سامانه اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب

در شکل ۱ نمای کلی از سامانه پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب و قسمت های مختلف آن نشان داده شده است. این سامانه شامل مولد بخار، کنترل کننده تناسبی-انترال گیر-مشتق گیر، دمنده، گرمکن الکتریکی، محفظه اعمال پیش تیمار، نازل های مدور، حسگر دما، حسگر کنترل رطوبت و دما، کانال های انتقال هوا، شیرها و سینی قرارگیری محصول می باشد.

همان طور که اشاره شد سامانه جت برخوردی هوای داغ مرطوب دارای یک سری از نازل ها می باشد که سیال عامل را با سرعت بالا به سطح محصول می دمنند. عملکرد این سامانه به دمای هوا، سرعت هوای خروجی از نازل ها، قطر نازل ها و فاصله نازل ها از سطح محصول و نحوه چیدمان نازل ها وابسته است. برای طراحی و ساخت سامانه پیش تیمار جت هوای داغ از روابط مربوط به ضریب انتقال حرارت، جریان جرمی هوا و توان دمنده برای طراحی بهینه سیستم نازل ها استفاده شد. با توجه به تزریق بخار به سیستم جت برخوردی هوای داغ امکان تنظیم دمای هوای داغ و درصد رطوبت به صورت جداگانه وجود دارد. در محفظه اعمال پیش تیمار امکان تنظیم فاصله محصول از نازل ها و همچنین تغییر نوع و فاصله نازل ها از یکدیگر با تعویض صفحه نازل ها وجود دارد. به منظور مطالعه نحوه عملکرد دستگاه، قبل از ساخت، بخش هایی از آن در نرم افزار کامسول شبیه سازی شد. در ادامه به معرفی و مراحل طراحی و ساخت قسمت های مختلف سامانه پرداخته می شود.

سامانه جت برخوردی هوای داغ مرطوب را می توان به بخش ایجادکننده جت برخوردی هوای داغ مرطوب و بخش مولد بخار تقسیم بندی کرد. در شکل ۲ اصل اساسی ایجاد کردن جت هوای داغ مرطوب با استفاده از آرایه ای از نازل ها نشان داده شده است. این بخش مشابه خشک کن های جت برخوردی می باشد. هوای مرطوب با دمای اولیه T_a در یک مبدل حرارتی تا دمای T_0 گرم می شود که این

برخوردی هوای داغ مرطوب را بر ویژگی های خشک کردن و خصوصیات کیفی گل های کلم بروکلی مطالعه کردند. در این تحقیق مدت های تأثیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه، دماهای خشک کردن ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت های هوای ۶، ۹ و ۱۲ متر بر ثانیه به عنوان متغیرهای اعمال پیش تیمار در نظر گرفته شد. ایشان از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ماشین در قالب یادگیری عمیق^۱ برای توصیف رفتار خشک کردن تحت شرایط بیان شده استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از پیش تیمار به صورت مناسب نه تنها سرعت خشک کردن را به شدت افزایش داد بلکه پارامترهای کیفی و ویژگی های ظاهری محصول خشک شده نیز بهبود پیدا کرد.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2019) اثر جت برخوردی هوای داغ مرطوب با مدت های تأثیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ ثانیه و دماهای خشک کردن ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس را بر بافت، پارامترهای خشک کردن و رنگ تکه های سیب مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش مدت تأثیر پیش تیمار سفتی بافت کاهش پیدا می کند. همچنین استفاده از این پیش تیمار سرعت خشک کردن را افزایش داده و از مقدار قهوه ای شدن می کاهد.

تأثیر پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب با مدت های تأثیر ۳۰، ۹۰ و ۱۵۰ ثانیه، دماهای ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت های نسبی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد بر سینتیک خشک کردن، ویژگی های رنگ، شاخص قهوه ای شدن و محتوای فلاونوئید^۲ کل سرهای گل داوودی خزنده توسط دای و همکاران (Dai et al., 2020) مورد مطالعه قرار گرفت. استفاده از این پیش تیمار مدت خشک کردن را حدود ۵۲ درصد نسبت به تیمار دست نخورده کاهش داد. بیشترین رشد محتوای فلاونوئید در شرایط دمایی ۱۱۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۴۵ درصد و مدت تأثیر ۱۵۰ ثانیه حاصل شد.

یکی از دلایل افزایش نرخ خشک شدن محصولاتی که تحت تأثیر پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب قرار می گیرند اثر این پیش تیمار بر بافت و پلی ساکاریدهای دیواره سلولی از جمله پکتین می باشد. در این زمینه دنگ و همکاران (Deng et al., 2018) نشان دادند که پیش تیمار جت هوای داغ مرطوب باعث نرم شدن بافت و تخریب پلی ساکاریدهای پکتین دیواره سلولی زردآلو شد. زلینسکا و همکاران (Zielinska et al., 2022) در پژوهشی نشان دادند که جت برخوردی هوای داغ مرطوب تأثیر قابل توجهی بر حلالیت، ساختار و رئولوژی پکتین غلاف بامیه دارد.

براساس مطالب ذکر شده، پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب با توجه به مزایایی که در افزایش نرخ خشک کردن و کیفیت

1- Deep learning

2- Flavonoids

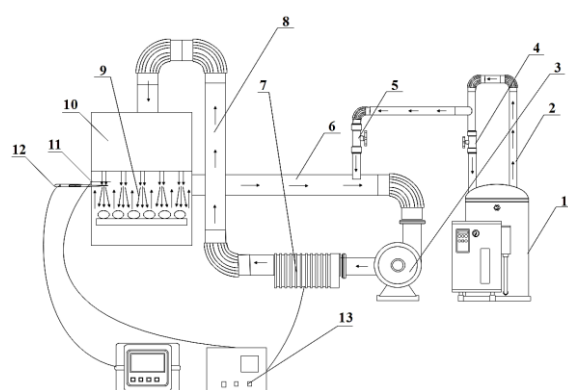
$\dot{V}$ ، (J kg⁻¹ K⁻¹) دما c_p ، ظرفیت گرمایی ویژه متوسط بین دو دما ρ_0 چگالی مخلوط (m³ s⁻¹) و $\dot{V}_0$ و $\dot{V}$ ، (kg m⁻³) بخار آب n ، تعداد نازل‌ها، d قطر نازل‌ها (m) و w سرعت تخلیه سیال از نازل‌ها (m s⁻¹) هستند. بر این اساس و با توجه به رطوبت موجود در هوای ورودی به گرم‌کن، المنت‌های مورد نیاز انتخاب و گرم‌کن طراحی و ساخته شد.

گرم شدن به انرژی $\dot{H}_0$ نیاز دارد. هوای گرم‌شده با دمنده و از طریق آرایه نازل‌ها به‌منظور اعمال پیش‌تیمار به سطح محصول دمیده می‌شود. انرژی مورد نیاز برای گرم کردن هوای مرطوب از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$H_0 = \rho_0 \dot{V}_0 c_p (T_0 - T_a) \quad (1)$$

$$\dot{V}_0 = n \frac{\pi}{4} d^2 w \quad (2)$$

که، T_0 دمای هوای داغ مرطوب (K)، T_a دمای هوای مرطوب



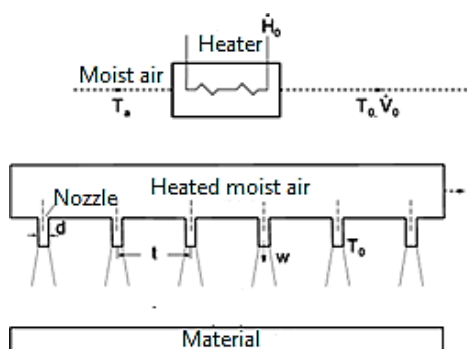
(a)



(b)

شکل ۱- الف- طرح‌واره سامانه اعمال پیش‌تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب (۱- مولد بخار، ۲-لوله‌های انتقال بخار، ۳- دمنده صنعتی کانال جانبی، ۴- شیر بستن، ۵- شیر بازکردن، ۶- کانال بازیافت هوا، ۷- گرم‌کن برقی هوا، ۸- کانال انتقال هوای داغ مرطوب، ۹- محفظه اعمال پیش‌تیمار، ۱۰- محفظه توزیع هوای داغ مرطوب و نازل‌ها، ۱۱- حسگر دما، ۱۲- حسگرهای دما و رطوبت و ۱۳- کنترل‌کننده دما) و ب- سامانه ساخته‌شده

Fig.1. a- Schematic view of high-humidity hot air impingement blanching pretreatment system (1- Steam generator, 2- Steam transfer pipes, 3- Side channel pump, 4- Closing valve, 5- Opening valve, 6- Air recycling channel, 7- Electric air heater, 8- High-humid hot air channel, 9- Pretreatment chamber, 10- High-humid hot air distribution chamber and nozzles, 11- Temperature sensor, 12- Temperature and humidity sensors, and 13- Temperature controller), and b- Fabricated system



شکل ۲- جت برخوردی هوای داغ مرطوب با استفاده از آرایه نازل‌ها

Fig. 2. High-humidity hot air impingement using array of nozzles

در محفظه توزیع بخار و در نتیجه خروجی یکسان از نازل‌ها پرداخته شد. به منظور توزیع یکنواخت جریان هوا از یک مانع و همچنین یک صفحه مشبک در فاصله مناسب قبل از صفحه نازل‌ها استفاده شد. در شکل ۳ تصویری از ساختار مورد نظر مشاهده می‌شود.

دمنده مورد نیاز برای ایجاد جت برخوردی با توجه به توان محاسبه شده انتخاب شد. حداقل توان مورد نیاز دمنده در واحد سطح انتقال حرارت از رابطه‌های (۵) تا (۷) محاسبه شد.

$$P = \frac{G \Delta P}{\rho} \quad (5)$$

$$G = \frac{\dot{m}}{A} = \rho f C_D w \quad (6)$$

$$\Delta P = \frac{\rho w^2}{2} \quad (7)$$

که، P توان دمنده (W)، G نرخ جریان جرمی هوا بر واحد سطح انتقال حرارت ($kg \ m^2 \ s^{-1}$)، ΔP اختلاف فشار دمنده (Pa) و ρ ثابت چگالی هوا ($kg \ m^{-3}$) هستند. $\dot{m}$ نرخ جریان جرمی در واحد سطح انتقال حرارت ($kg \ s^{-1}$)، A سطح انتقال حرارت (m^2)، f نسبت سطح آزاد، C_D ضریب تخلیه و w سرعت هوای خروجی از نازل ($m \ s^{-1}$) هستند.

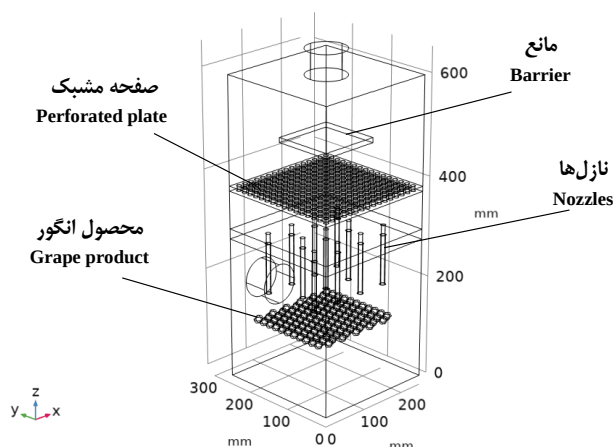
برای انتخاب دمنده، افت فشار ایجاد شده در سامانه با استفاده از نرم‌افزار کامسول برآورد شده و با توجه به سرعت سیال خروجی از نازل‌ها از یک دمنده صنعتی کانال جانبی گرینکو (GREENCO) مدل 2RB 710-7AA11 استفاده شد. جدول ۱ مدل، مشخصات فنی و کشور سازنده اجزای تشکیل‌دهنده سامانه اعمال پیش‌تیمار را نشان می‌دهد.

ایجاد ضریب انتقال حرارت یکنواخت در این روش بستگی به طراحی صحیح سامانه جت برخوردی دارد. سه متغیر هندسی قطر هیدرولیکی نازل مدور D ، فاصله نازل تا صفحه برخورد H و فاصله مرکز تا مرکز نازل‌ها L_T ابعادی هستند که باید در ارتباط مناسب با یکدیگر تعیین شوند. برای به دست آوردن مقدار بهینه یعنی یک مقدار ماکزیمم برای ضریب انتقال جرم و حرارت برای یک توان دمنده داده شده در واحد سطح انتقال حرارت یکی از طول‌ها ثابت در نظر گرفته شد و نسبت بهینه طولی دو بعد دیگر به طول در نظر گرفته شده محاسبه شد (Martin, 1977; Schabel & Martin, 2010). به دلایل ایمنی اغلب فاصله نازل تا صفحه برخورد عامل محدود کننده مسئله بهینه‌سازی می‌باشد (Schabel & Martin, 2010). به صورت تجربی محدوده‌هایی برای این فاصله در پژوهش‌های انجام شده توسط محققین گزارش شده است با در نظر گرفتن H برابر با ۸ برابر قطر نازل (Sarkar & Singh, 2004) مقادیر بهینه تقریبی قطر نازل‌ها و فاصله نازل‌ها از یکدیگر به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) برای آرایه‌ای از نازل‌های دایره‌ای به دست آمد.

$$D_{opt} \approx \frac{1}{5} H \quad (3)$$

$$L_{Topt} \approx \frac{7}{5} H \quad (4)$$

به دلیل این که توزیع همگن سیال عامل در بازده و یکنواختی فرآیند بلانچینگ محصول مورد نظر تأثیر به سزایی دارد یکنواختی توزیع جریان هوای داغ مرطوب در بلانچر بسیار با اهمیت است. توزیع مناسب سیال عامل کاملاً به ساختار محفظه توزیع سامانه اعمال جت برخوردی وابسته است. در این رابطه با استفاده از نرم‌افزار کامسول به بررسی ساختارهای ساده و مناسب برای ایجاد یکنواختی



شکل ۳- نمای محفظه نازل‌ها شامل مانع، صفحه مشبک، صفحه نازل‌ها و محصول انگور

Fig.3. View of nozzles' chamber including barrier, perforated plate, nozzles' plate, and grape product

جدول ۱- مدل، مشخصات فنی، محدوده کاری و کشور سازنده اجزای تشکیل‌دهنده سامانه اعمال پیش‌تیما
Table 1- Model, range of operation and technical specifications, and manufacturing country of the pretreatment application system of the components

اجزا Components	مدل Model	محدوده کاری و مشخصات فنی Range of operation and technical specs	کشور سازنده Manufacturing country
دمنده Blower	GREENCO Side Channel 2RB710-7AA11	توان ۲/۲ کیلووات حداکثر جریان ۳۷۶ مترمکعب بر ساعت حداکثر فشار ۲۰۰ میلی‌بار 2.2 kW Power Maximum flow of 376 m ³ h ⁻¹ Maximum pressure of 200 mbar	چین China
نازل‌ها Nozzles	نازل مدور Round nozzle	قطر ۱۴ میلی‌متر و طول ۱۲ سانتی‌متر Diameter of 14 mm and length of 12 cm	ایران Iran
حسگر دما Temperature sensor	ترموکوپل نوع K امگا Omega K type thermocouple	۰ تا ۳۷۰ درجه سلسیوس 0 to 370 °C	آمریکا USA
حسگر دما و رطوبت Temperature and humidity sensor	Hatol2015	محدوده دمای -۴۰ تا ۱۲۵ درجه سلسیوس محدوده رطوبت ۰ تا ۱۰۰ درصد Temperature range of -40 to 125 °C Humidity range of 0 to 100%	سوئیس - ایران Switzerland - Iran
کنترلر دما Temperature controller	AUTONICS TCN4S-24R	کنترلر PID با ورودی ترموکوپل و خروجی SSR و محدوده اندازه‌گیری ۱۵۰- تا ۹۹۹ درجه سلسیوس PID controller with thermocouple input and SSR output and measurement range of -150 to 999 °C	کره جنوبی South Korea
رله حالت جامد Solid state relay (SSR)	SSRFOTEK 50A	۵۰ آمپر 50A	تایوان Taiwan
مولد بخار Steam generator	مولد بخار گرم صنعتی Industrial steam generator	سه فاز و توان ۶ کیلووات Three phases and 6 kW power	ایران Iran
گرم‌کن Heater	المنت پره‌ای Finned element	المنت ۵۰۰ واتی 500 W Element	ایران Iran

با توجه به استفاده از هوای داغ با رطوبت نسبی بالا در پیش‌تیما، از یک دستگاه بخارساز گرم صنعتی استفاده شد. با تنظیم شیرهای باز و بسته کردن بخار، رطوبت نسبی در محدوده مورد نظر تنظیم شد. اجزای جانبی سامانه نیز شامل مجاری انتقال سیال، تابلو برق و کابل‌های برق سه فاز مربوط به پمپ و بخارساز می‌باشند.

اعمال پیش‌تیما و ارزیابی روند خشک شدن انگور تحت تأثیر پیش‌تیما

آزمایش‌های ارزیابی سامانه به‌منظور مطالعه اثر دما و مدت اعمال پیش‌تیما بر جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر سینتیک خشک‌کردن انگور و رنگ کشمش تولیدشده پس از فرآیند خشک شدن در سه تکرار انجام شد. از تیمار شاهد و تیمار تیزاب نیز به‌منظور مقایسه روند

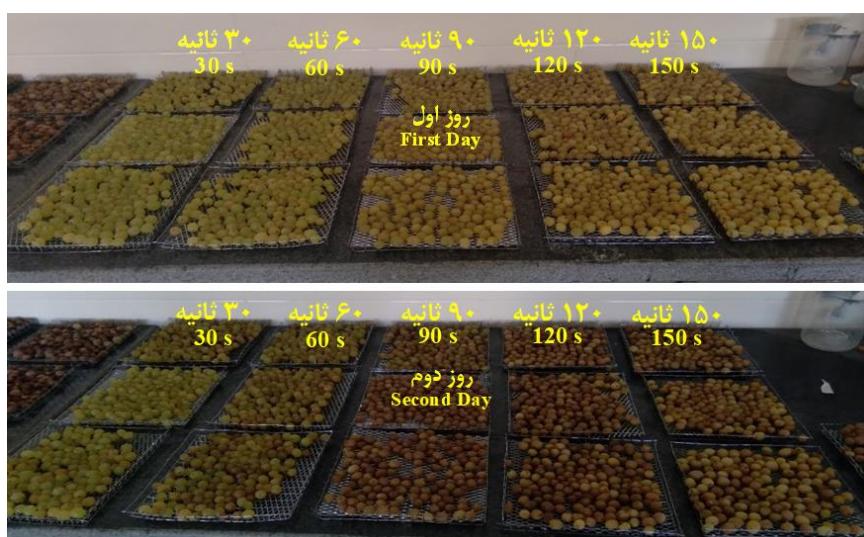
بخش کنترل شامل حسگرها، دیتالاگر، اینورتر کنترل‌کننده سرعت و کنترل‌کننده PID دما می‌باشد. در این سامانه از ترموکوپل OMEGA و دیتالاگر دما و رطوبت HATOL برای پایش دما و رطوبت نسبی هوای خروجی از نازل‌ها استفاده شد. برای کنترل دما نیز از یک کنترل‌کننده PID و رله SSR استفاده شد. PID استفاده شده با کنترل المنت‌های گرم‌کن دمای هوای مرطوب خروجی از نازل‌ها را روی دمای تنظیمی حفظ می‌کند.

سرعت سیال خروجی از نازل‌ها با استفاده از یک سرعت‌سنج بادی سیم داغ مدل BENETECH GM8903 با پراب مجزا ساخت چین اندازه‌گیری شد. با تنظیم دور دمنده با یک دستگاه اینورتر سه فاز دلتا VFD075M43 سری M سرعت سیال خروجی از نازل‌ها در محدوده تعیین شده تنظیم شد.

(De Roeck, Sila, Duvetter, Van Loey, & Hendrickx, 2008). بنابراین، با توجه به مطالب بیان شده و مطالعات صورت گرفته، هوای داغ مرطوب در دماهای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۱۰ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی در محدوده ۴۰-۴۵ درصد به محصول اعمال شد. مدت‌های اعمال پیش‌تیمار نیز برابر با مقادیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شد (Deng et al., 2018; Wang et al., 2019) اعمال محلول تیازاب به روش غوطه‌وری انجام شد. برای این کار ۲۰۰ گرم انگور به مدت ۹۰ ثانیه در محلول قرار داده شد. در روش غوطه‌وری محلول مورد نیاز برای تیازابی کردن ۱۰۰۰ کیلوگرم انگور شامل ۲ لیتر روغن سبزه، ۵ کیلوگرم کربنات پتاسیم و ۱۰۰ لیتر آب تمیز و بهداشتی می‌باشد (Doulati Baneh, 2016). در شکل ۴ تصاویری از نمونه‌ها در روزهای اول و دوم بعد از اعمال پیش‌تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب مشاهده می‌شود. در شکل ۵ نیز تصاویری از کشمش‌های تولیدی مربوط به اعمال پیش‌تیمار در مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه مشاهده می‌شود.

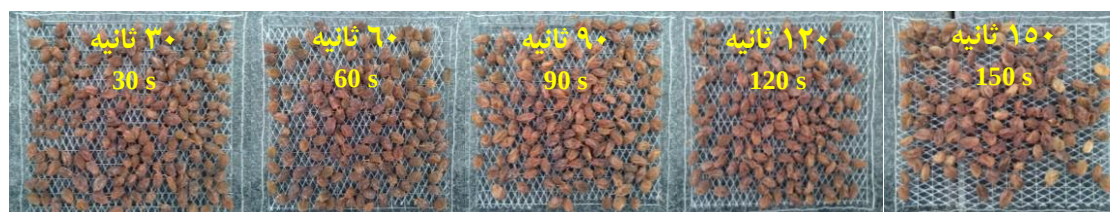
خشک شدن پیش‌تیمار جت هوای داغ مرطوب و پیش‌تیمار مرسوم استفاده شد. با توجه به کیفیت بالای کشمش سایه‌خشک، روند خشک شدن با وزن کردن روزانه هر یک از نمونه‌ها در سایه و در دمای محیط آزمایشگاه تا رسیدن رطوبت نمونه‌ها به حدود ۱۹ درصد بر پایه تر مورد مطالعه قرار گرفت.

نمونه‌های انگور از شهرستان ملایر و انگورهای یک باغ با رطوبت اولیه در حدود ۷۰ درصد بر پایه تر تهیه شدند. برای انجام آزمایش‌ها سعی شد که انگورهای هم‌اندازه با شرایط رسیدگی مشابه انتخاب شوند. به‌منظور اعمال پیش‌تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب ۲۰۰ گرم انگور بی‌دانه سفید پس از جداسازی از خوشه در سینی‌های ساخته‌شده قرار داده شد. پکتین به‌عنوان مهم‌ترین پلی‌ساکارید دیواره سلولی نقش مهمی در استحکام و چسبندگی بافت محصولات کشاورزی ایفا می‌کند (Moelants et al., 2014). تخریب و افزایش انحلال‌پذیری پکتین در اثر حرارت باعث افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی نسبت به رطوبت می‌شود (Swati & Ashim, 2014). به علاوه، تخریب حرارتی پکتین اساساً ناشی از دماهای بالاتر از ۸۰ درجه سلسیوس در فرآیندهای حرارتی می‌باشد



شکل ۴- تصویر نمونه‌ها در روزهای اول و دوم بعد از اعمال پیش‌تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب

Fig.4. The image of the samples on the first and second days after applying high-humidity hot air impingement blanching pretreatment



شکل ۵- تصویر کشمش‌های تولیدی مربوط به اعمال پیش‌تیمار به ترتیب در مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه

Fig.5. The image of the produced raisins related to durations of 30, 60, 90, 120, and 150 s of applying pretreatment, respectively

قطر طولی و قطر عرضی ۳۰ عدد حبه با استفاده از یک کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۰/۰۱۵۳۲ و ۰/۰۱۳۳۸ متر اندازه‌گیری شد. سپس قطر معادل حجمی از رابطه (۱۳) برابر با ۰/۰۱۴ متر محاسبه شد (Wang et al., 2017b).

$$d = \sqrt[3]{d_x * d_y * d_z} \quad (13)$$

که، d_z قطر طولی (m) و d_x و d_y قطرهای در راستای جانبی (m) می‌باشند.

ارزیابی رنگ کشمش‌های تولیدی

تأثیر پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر مشخصات رنگی کشمش‌های تولیدی در فضای رنگی (Lab) مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر L^* ، a^* و b^* با تهیه تصاویر رنگی از کشمش‌ها و انگور و با استفاده از نرم اندازه‌گیری شد. به این منظور با تبدیل فضای رنگی تصاویر به فضای $L^* a^* b^*$ برای هر یک از کانال‌های جدا شده مقادیر میانگین پیکسل‌های تصاویر محاسبه شد. مقدار هر شاخص رنگی، میانگین ۵ بار اندازه‌گیری بود. سپس، مقادیر کروما (C)، زاویه هیو H° و اختلاف رنگ کل (ΔE) نیز با استفاده از روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) محاسبه شدند. کروما نشان‌دهنده مقدار اشباع رنگ می‌باشد و زاویه هیو پارامتری برای تشخیص رنگ محصولات کشاورزی با شاخص‌های زاویه ۰° برای رنگ قرمز، ۶۰° برای رنگ زرد، ۱۲۰° برای رنگ قرمز و ۲۴۰° برای رنگ آبی می‌باشد. اختلاف رنگ کل ΔE نیز پارامتری است که برای ارزیابی اختلاف رنگ کل بین نمونه خشک‌شده و تازه استفاده می‌شود. شاخص‌های رنگی انگور تازه (L_0^* ، a_0^* و b_0^*) به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود و مقادیر کمتر ΔE بیانگر تغییر رنگ کمتر نمونه پس از خشک‌شدن نسبت به نمونه تازه است. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام شد.

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (14)$$

$$H^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (15)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (16)$$

آنالیز آماری

در این پژوهش، به منظور مطالعه تأثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر مدت خشک‌شدن و شاخص‌های رنگی کشمش تولیدی، آنالیز واریانس داده‌ها در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین داده‌های مدت خشک‌شدن با آزمون

مطالعه تأثیر مدت اعمال پیش تیمار بر سینتیک خشک کردن انگور با رسم نمودارهای مقادیر نسبت رطوبت و نرخ خشک کردن با زمان و اندازه‌گیری ضریب نفوذ انجام شد. نسبت رطوبت^۱ انگور (MR) از رابطه (۸) محاسبه شد (Thorat, Mohapatra, Sutar, Kapdi, & Jagtap, 2012).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (8)$$

که، M_t محتوای رطوبت نمونه‌های انگور در هر زمان از خشک کردن ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ kg}^{-1} \text{ dry matter}$)، M_o محتوای رطوبت اولیه ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ kg}^{-1} \text{ dry matter}$) و M_e محتوای رطوبت تعادلی ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ kg}^{-1} \text{ dry matter}$) هستند.

نرخ خشک کردن نمونه‌های انگور طی خشک کردن نیز با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد.

$$DR = \frac{M_{t_1} - M_{t_2}}{t_2 - t_1} \quad (9)$$

که، t_1 و t_2 مدت خشک شدن طی فرآیند خشک کردن (h) و M_{t_1} و M_{t_2} محتوای رطوبت نمونه‌های انگور در زمان‌های t_1 و t_2 ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ kg}^{-1} \text{ dry matter}$) می‌باشند.

انتقال رطوبت طی خشک کردن عمدتاً با نفوذ داخلی کنترل می‌شود. قانون دوم فیک مربوط به نفوذ (رابطه ۱۰) به‌طور گسترده برای توصیف فرآیند خشک کردن در محدوده نرخ نزولی رطوبت برای محصولات کشاورزی استفاده می‌شود.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (10)$$

معادله نفوذ برای مختصات کروی با در نظر گرفتن فرضیاتی حل شده است (Crank, 1979) و برای زمان‌های طولانی خشک کردن به‌صورت معادله لگاریتمی (۱۱) بیان می‌شود (Ah-Hen, Zambra, Agüero, Vega-Gálvez, & Lemus-Mondaca, 2013).

$$\ln MR = \ln \left(\frac{6}{\pi^2} \right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \right) t \quad (11)$$

که، D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر رطوبت ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)، r شعاع معادل حجم نمونه‌های انگور (m) و t زمان خشک کردن (s) هستند. از رابطه (۱۱) با ترسیم نمودار $\ln MR$ در برابر زمان یک خط مستقیم با شیب k به‌دست آمد که با استفاده از رابطه (۱۲) (مربوط به شیب خط) ضریب نفوذ تعیین شد (Bai et al., 2013).

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (12)$$

برای تعیین ابعاد انگور به منظور محاسبه ضریب نفوذ، میانگین

دانکن در سطح ۱ درصد و مقایسه میانگین داده‌های شاخص‌های رنگی کشمش تولیدی با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

خشک شدن انگور در جدول ۲ آورده شده است. مطابق نتایج، دما و مدت اعمال پیش تیمار تاثیر بسیار معنی داری بر مدت خشک شدن در سطح ۱ درصد داشتند، لیکن اثر متقابل دما و مدت اعمال پیش تیمار نیز بر مدت خشک شدن معنی دار نبود.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس تاثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار بر مدت

جدول ۲ - تجزیه واریانس مدت خشک شدن انگور تحت تاثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار

Table 2- Analysis of variance of grape drying duration affected by pretreatment temperature and duration

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
Sources of variation	Degree of freedom	Mean square
دما	2	41.867 ^{**}
Temperature (°C)		
مدت پیش تیمار (ثانیه)	4	128.633 ^{**}
Pretreatment duration (s)		
دما × مدت پیش تیمار	8	0.783 ^{ns}
Temperature × Pretreatment duration		
خطا	30	2.356
Error		

^{**} اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} عدم اختلاف معنی دار
^{**} Significant difference in 1% probability level, ^{ns} No significant difference

بر مدت خشک شدن (جدول ۴) نیز مشاهده شد که بیشترین تاثیر معنی دار افزایش مدت اعمال پیش تیمار بر کاهش مدت خشک شدن مربوط به مدت اعمال ۱۵۰ ثانیه بود که اختلاف معنی داری با سایر سطوح مدت اعمال پیش تیمار داشت.

جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر دمای پیش تیمار بر مدت خشک شدن انگور را نشان می دهد. مطابق انتظار با افزایش دما، مدت خشک شدن کاهش یافته است. هرچند که اختلاف معنی داری در این کاهش بین سطوح دمایی ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس مشاهده نشد و تنها بین دمای ۹۰ درجه سلسیوس و سطوح دمایی ذکر شده اختلاف معنی داری وجود داشت. از مقایسه میانگین اثر مدت اعمال پیش تیمار

جدول ۳ - مقایسه میانگین مدت خشک شدن انگور تحت تاثیر دمای پیش تیمار

Table 3- Comparison of drying duration mean affected by pretreatment temperature

دما	مدت خشک شدن (روز)
Temperature (°C)	Drying duration (day)
90	30.60a
100	28.73b
110	27.27b

مقادیر دارای حروف کوچک انگلیسی مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ براساس آزمون دانکن نیستند.
 Values followed by the common lower case letter do not differ statistically at 1% probability level.

جدول ۴ - مقایسه میانگین مدت خشک شدن انگور تحت تاثیر مدت اعمال پیش تیمار

Table 4- Comparison of drying duration mean affected by pretreatment duration

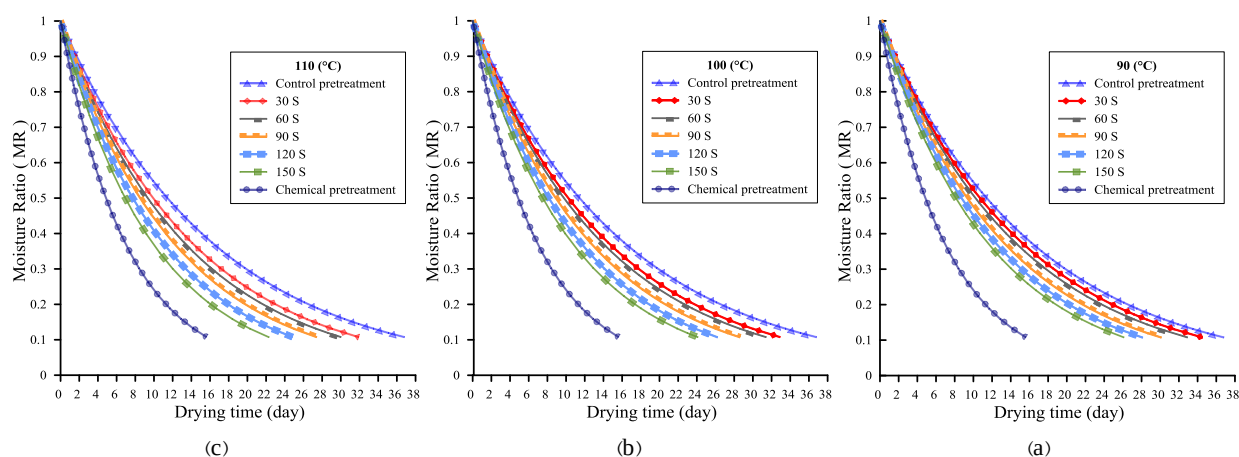
مدت اعمال پیش تیمار (ثانیه)	مدت خشک شدن (روز)
Pretreatment duration (s)	Drying duration (day)
30	33.22a
60	31.89a
90	28.67b
120	26.56c
150	24d

مقادیر دارای حروف کوچک انگلیسی مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ براساس آزمون دانکن نیستند.
 Values followed by the common lower case letter do not differ statistically at 1% probability level.

نشان‌دهنده مؤثر بودن جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر سرعت خشک کردن انگور می‌باشد. در مقایسه با انگور تازه مقدار افزایش سرعت خشک کردن تحت تأثیر جت برخوردی هوای داغ مرطوب از ۸ درصد برای شرایط ۳۰ ثانیه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس تا ۶۸ درصد برای حالت ۱۵۰ ثانیه در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. به‌طور کلی این افزایش نرخ خشک شدن حاصل از اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب را می‌توان ناشی از تأثیر این پیش تیمار بر بافت و تخریب دیواره سلول‌ها و همچنین میکروترک‌های ایجاد شد بر پوست حبه‌های انگور دانست. این نتایج مشابه با یافته‌های پژوهش‌های قبلی توسط دنگ و همکاران (Deng *et al.*, 2018) برای هویج، لی یو (Liu *et al.*, 2019) و همکاران برای گل کلم بروکلی و وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2017a) برای محصول فلفل قرمز تحت تأثیر پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب می‌باشد.

برای مقایسه تأثیر مدت و دمای پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر روند خشک کردن انگور، نمودارهای نسبت رطوبت در برابر زمان خشک شدن در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که از نمودارها مشخص است روند کلی کاهش رطوبت متأثر از دما و مدت اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب است. مطابق شکل ۶ مدت لازم برای کاهش رطوبت به مقدار مورد نظر در مدت‌های تأثیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه از اعمال پیش تیمار جت برخوردی به ترتیب برابر با ۳۵، ۳۳، ۳۰، ۲۸ و ۲۶ روز برای دمای ۹۰ درجه سلسیوس، ۳۳، ۳۱، ۲۹، ۲۶ و ۲۴ روز برای دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس و ۳۲، ۳۰، ۲۷، ۲۵ و ۲۲ روز برای دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس تعیین شد. بنابراین، با افزایش مدت اعمال پیش تیمار از ۳۰ به ۱۵۰ ثانیه، مدت خشک کردن به ترتیب در حدود ۳۷، ۳۰ و ۴۵ درصد کاهش پیدا می‌کند.

بررسی نمودارهای شکل ۶ و مقایسه روند خشک شدن بین پیش تیمارهای شاهد، شیمیایی و جت برخوردی هوای داغ مرطوب

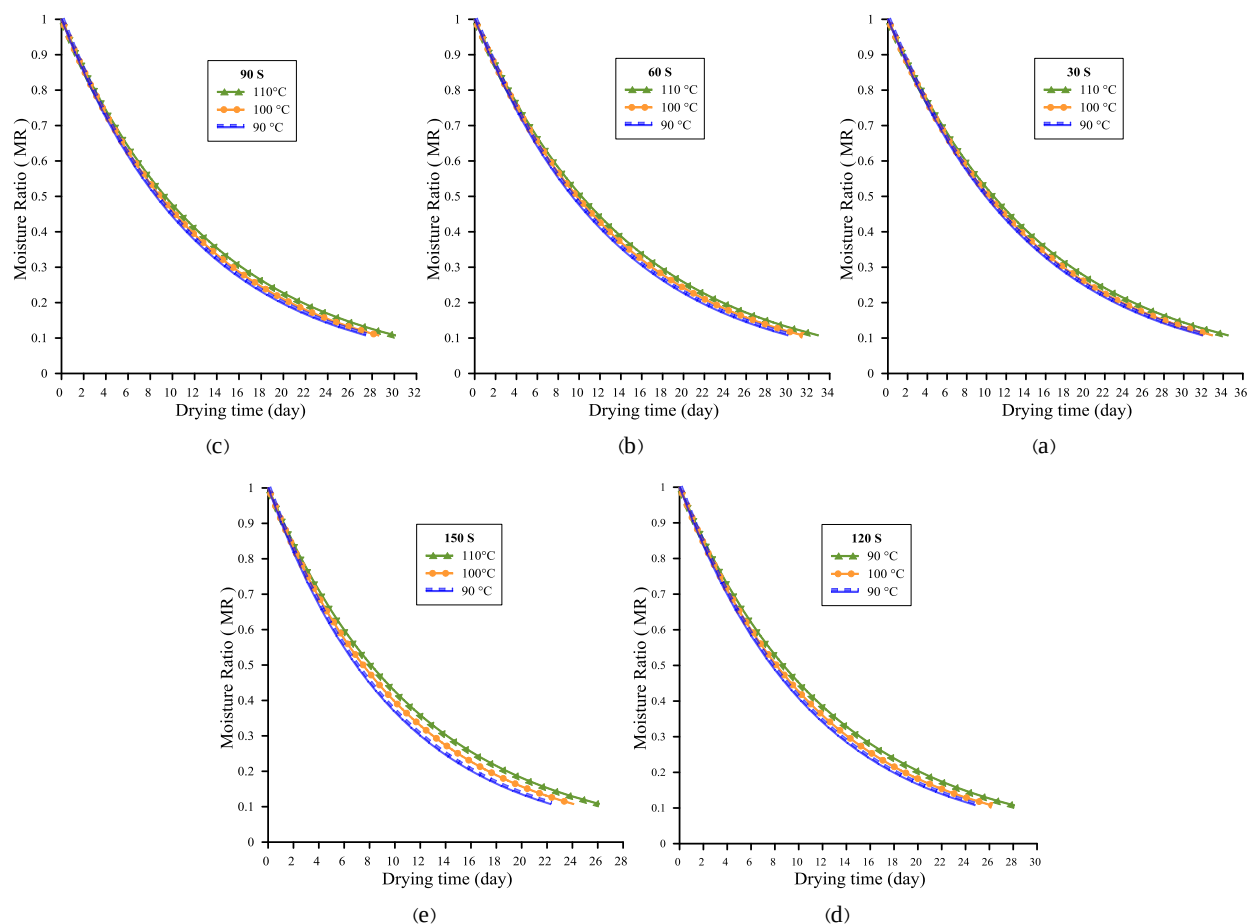


شکل ۶- تغییر نسبت رطوبت با زمان برای پیش تیمارهای شاهد، شیمیایی و جت برخوردی هوای داغ مرطوب به مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه و دماهای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس

Fig.6. Variation in moisture ratio with time for pretreatments of control, chemical, and high-humidity hot air impingement blanching at durations of 30, 60, 90, 120, and 150 s and temperatures of a) 90°C, b) 100°C, and c) 110°C

نمودارهای سینتیک خشک کردن بیانگر آن است که در بین دما و مدت اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب، مدت اعمال پیش تیمار عامل مؤثرتری بر افزایش سرعت خشک شدن می‌باشد. بنابراین، مدت اعمال پیش تیمار پارامتر مهمی است که باید برای نتیجه مطلوب‌تر به‌خوبی کنترل شود.

شکل ۷ نشان می‌دهد که نمودارهای سینتیک خشک کردن برای هر سه دمای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس در هر یک از مدت‌های اعمال پیش تیمار تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند. با بررسی نمودار مربوط به مدت ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش تیمار مشاهده می‌شود که با تغییر دما از ۹۰ به ۱۱۰ درجه سلسیوس، ثابت سرعت خشک شدن در حدود ۱۷ درصد افزایش پیدا می‌کند. یافته‌های حاصل از بررسی

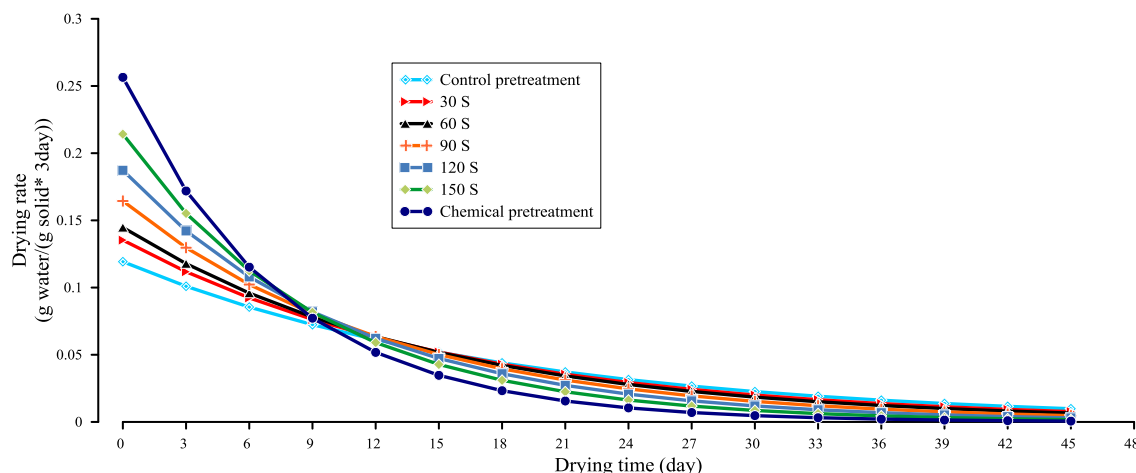


شکل ۷- تغییر نسبت رطوبت با زمان برای پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب در دماهای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس و مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه

Fig.7. Variation in moisture ratio with time for high-humidity hot air impingement blanching pretreatment at temperatures of 90, 100, and 110 °C and durations of a) 30 s, b) 60 s, c) 90 s, d) 120 s, and e) 150 s

دمایی ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس در جداول ۵ تا ۷ ارایه شده است. مقادیر این ضریب از $2/28 \times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه برای ۳۰ ثانیه اعمال پیش تیمار در دمای ۹۰ درجه سلسیوس تا $3/53 \times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه برای ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس تغییر می کند. همچنین بیشترین مقدار ضریب نفوذ (10^{-10}) در $7/46 \times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه) مربوط به پیش تیمار شیمیایی بود که در محدوده کلی 10^{-9} تا 10^{-10} مترمربع بر ثانیه برای ضریب نفوذ مواد غذایی قرار دارند (Madamba, Driscoll, & Buckle, 1996). اعمال پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب با خارج کردن هوا از بافت انگور و نرم کردن آن مقاومت به انتقال رطوبت از غشاء و دیواره سلول را کاهش می دهد (Dai et al., 2020).

در شکل ۸ نمودارهای نرخ خشک شدن در برابر زمان برای پیش تیمارهای شاهد، شیمیایی و جت برخوردی هوای داغ مرطوب در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه نشان داده شده است. نمودارها بیانگر کاهش نرخ خشک شدن متناسب با زمان هستند. همچنین، همان طور که مشخص است نرخ از دست دادن رطوبت در ابتدای زمان خشک شدن سریع تر می باشد. در ابتدای خشک شدن مقاومت به از دست دادن رطوبت کمتر است و رطوبتی که پیوندهای سست دارند راحت تر جدا می شود با کاهش محتوای رطوبت با ادامه خشک شدن، رطوبت باقی مانده بیشتر و قوی تر محدود شده و با کاهش انتقال آب از داخل به سطح محصول سرعت خشک شدن تحت تأثیر قرار می گیرد (Earle, 2013). مقادیر ضریب نفوذ انگور برای پیش تیمارهای شاهد، شیمیایی و جت برخوردی هوای داغ مرطوب در مدت‌های مختلف برای شرایط



شکل ۸- تغییر نرخ خشک شدن با زمان برای تیمار شاهد، پیش تیمار شیمیایی و همچنین پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و مدت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه

Fig. 8. Variation in drying rate with time for control treatment, chemical pretreatment, and high-humidity hot air impingement blanching pretreatment at temperature of 110 °C and durations of 30, 60, 90, 120, and 150 s

بیشترین مقدار مربوط به پیش تیمار شیمیایی بود. ژیانو و همکاران (Xiao et al., 2010) نیز با بررسی روند خشک کردن انگور بی‌دانه موناکا تحت تأثیر دماها و سرعت‌های مختلف جریان هوا در یک خشک‌کن جت برخوردی مقادیر ضریب نفوذ را در محدوده 10^{-10} تا $5/84 \times 10^{-10}$ متر مربع بر ثانیه تعیین کردند که مشابه با محدوده به‌دست‌آمده ضریب نفوذ در تحقیق حاضر می‌باشد. نوع پیش تیمار، رقم انگور و همچنین روش خشک کردن اثر معنی‌داری بر مقدار ضریب نفوذ و در نتیجه نرخ خشک شدن دارند که از این نظر محدوده‌های متفاوت ضریب نفوذ را می‌توان مورد توجه قرار داد.

بنابراین، همان‌طور که مشخص است مقدار ضریب نفوذ با افزایش دما و مدت تأثیر پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب افزایش پیدا کرده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد پیش تیمار شیمیایی با حل کردن لایه مومی پوست مقاومت به انتشار آب از آن را کاهش می‌دهد و از این رو تأثیر به‌سزایی بر افزایش ضریب نفوذ و نرخ خشک شدن دارد. ایوبی و همکاران (Ayoubi, Sedaghat, & Kashaninejad, 2015) با بررسی اثر پیش تیمارهای شیمیایی و آب داغ بر نرخ خشک کردن مقادیر ضریب نفوذ را در محدوده 10^{-10} تا $4/62 \times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه به‌دست آوردند که

جدول ۵- مقادیر ضریب نفوذ انگور برای پیش تیمارهای شاهد، شیمیایی و جت برخوردی هوای داغ مرطوب در مدت‌های مختلف و دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس

Table 5- Values of grape diffusion coefficient for control, chemical and high-humidity hot air impingement blanching pretreatments at different durations and temperature of 110 °C

مدت اعمال پیش تیمار (ثانیه) Pretreatment duration (s)	معادله Equation	ضریب تعیین R ²	ضریب نفوذ ($\times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه) Diffusion Coefficient ($\times 10^{-10}$ m ² s ⁻¹)
تیمار شاهد Control treatment	$\ln MR = -4.41 \times 10^{-5}t + 0.0824$	0.9858	2.19
30	$\ln MR = -4.95 \times 10^{-5}t + 0.0432$	0.9955	2.46
60	$\ln MR = -5.09 \times 10^{-5}t - 0.0063$	0.9985	2.53
90	$\ln MR = -5.67 \times 10^{-5}t - 0.0527$	0.9982	2.82
120	$\ln MR = -6.23 \times 10^{-5}t - 0.1145$	0.9899	3.10
150	$\ln MR = -7.11 \times 10^{-5}t - 0.1537$	0.9808	3.53
پیش تیمار شیمیایی Chemical pretreatment	$\ln MR = -15.01 \times 10^{-5}t + 0.0201$	0.9939	7.46

جدول ۶- مقادیر ضریب نفوذ انگور برای پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب در مدت‌های مختلف و دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس
Table 6- Values of grape diffusion coefficient for high-humidity hot air impingement blanching pretreatment at different durations and temperature of 100 °C

مدت اعمال پیش تیمار (ثانیه) Pretreatment duration (s)	معادله Equation	ضریب تعیین R ²	ضریب نفوذ (× ۱۰ ^{-۱۰} مترمربع بر ثانیه) Diffusion Coefficient (× 10 ⁻¹⁰ m ² s ⁻¹)
30	LnMR=-4.79×10-5t+0.0365	0.9962	2.38
60	LnMR=-4.83×10-5t+0.0042	0.9978	2.40
90	LnMR=-5.32×10-5t-0.0447	0.9974	2.64
120	LnMR=-5.79×10-5t-0.0973	0.9938	2.88
150	LnMR=-6.47×10-5t-0.1419	0.9833	3.22

جدول ۷- مقادیر ضریب نفوذ انگور برای پیش تیمار و جت برخوردی هوای داغ مرطوب در مدت‌های مختلف و دمای ۹۰ درجه سلسیوس
Table 7- Values of grape diffusion coefficient for high-humidity hot air impingement blanching pretreatment at different durations and temperature of 90 °C

مدت اعمال پیش تیمار (ثانیه) Pretreatment duration (s)	معادله Equation	R ²	ضریب نفوذ (× ۱۰ ^{-۱۰} مترمربع بر ثانیه) Diffusion Coefficient (× 10 ⁻¹⁰ m ² s ⁻¹)
30	LnMR=-4.58×10-5t+0.0432	0.9953	2.28
60	LnMR=-4.71×10-5t+0.0268	0.9960	2.34
90	LnMR=-5.16×10-5t-0.0071	0.9964	2.56
120	LnMR=-5.41×10-5t-0.0655	0.9963	2.69
150	LnMR=-5.74×10-5t-0.1402	0.9884	2.85

پیش تیمار تأثیر معنی داری بر پارامترهای رنگی L^* ، C ، H° و ΔE در سطح ۵ درصد داشتند. همچنین اثرهای متقابل دما و مدت اعمال پیش تیمار بر پارامترهای رنگی مذکور در سطح ۵ درصد معنی دار بود.

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی کشمش تولید شده (L^* ، C ، H° و ΔE) تحت تأثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار در جدول ۸ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که هر دو متغیر دما و مدت اعمال

جدول ۸ - تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی کشمش تولیدی تحت تأثیر دما و مدت اعمال پیش تیمار
Table 8- Analysis of variance of color indices of raisins affected by pretreatment temperature and duration

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square			
		C	L*	H (°)	ΔE
دما Temperature (°C)	2	817.886*	523.138*	113.375*	142.608*
مدت پیش تیمار Pretreatment duration (s)	4	82.529*	13.591*	22.189*	16.173*
دما × مدت پیش تیمار Temperature × Pretreatment duration	8	181.999*	7.248*	15.949*	2.611*
خطا Error	60	0.332	0.331	0.974	0.188

* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

*Significant difference in 5% probability level

C، L^* ، H° و ΔE به ترتیب کروما، روشنایی، زاویه هیو و اختلاف رنگ کل هستند.

C, L^* , H° , and ΔE are chroma, lightness, hue angle, and total color difference, respectively.

از روشنایی با افزایش زمان اعمال پیش تیمار در دماهای بالاتر به صورت معنی داری افزایش پیدا کرده است، به طوری که بیشترین مقدار این شاخص (۴۷/۴۱) مربوط به ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس بود. پارامتر کروما (C) به عنوان شاخصی از وضوح مطرح است و محصول با شاخص C بالاتر، واضح تر به نظر می‌رسد. شاخص C در دماهای ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس با افزایش

مقادیر میانگین پارامترهای رنگی L^* ، C ، H° و ΔE کشمش‌های تولیدی تحت تأثیر شرایط مختلف پیش تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب در جدول ۹ نشان داده شده است. به طور کلی، کشمش‌های با رنگ روشن تر، وضوح بهتر، قرمزی کمتر و داشتن رنگی متمایل به زرد مطلوب می‌باشند (Dehbooreh & Esmaili, 2009). همان طور که از جدول ۹ مشخص است، پارامتر L^* کشمش‌ها به عنوان شاخصی

۹ افزایش مدت اعمال پیش‌ تیمار در هر یک از دماها اثر معنی‌داری بر کاهش ΔE نداشت. اما در یک مدت اعمال پیش‌ تیمار ثابت، افزایش دما اثر معنی‌داری بر کاهش پارامتر نشان داد. به علاوه، کمترین مقدار شاخص ΔE (۲۱/۷۱) مربوط به ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش‌ تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس بود. به‌طور کلی براساس آنالیز رنگ انجام‌شده شاخص‌های رنگ کشمش‌های تولیدی با افزایش دما و مدت اعمال پیش‌ تیمار بهبود پیدا کرد، به‌طوری‌که می‌توان دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و محدوده مدت ۹۰-۱۵۰ ثانیه را به‌عنوان شرایط مناسب اعمال پیش‌ تیمار در نظر گرفت.

مدت اعمال پیش‌ تیمار به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است و بیشترین مقدار این پارامتر (۲۸/۱۴) طی ۹۰ ثانیه اعمال پیش‌ تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به‌دست آمد. مقادیر بیشتر زاویه هیو به‌عنوان شاخصی از رنگ بیانگر کاهش قرمزی و افزایش تمایل به زردی در کشمش‌های تولیدی است. براساس نتایج، در دماهای ۹۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس با افزایش مدت اعمال پیش‌ تیمار اختلاف معنی‌داری در مقادیر زاویه هیو مشاهده نشد. به هر جهت، نتایج بیانگر مقادیر بیشتر زاویه هیو در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین زاویه (۵۱/۱۷) مربوط به ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش‌ تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس بود. با توجه به جدول

جدول ۹- پارامترهای رنگی L^* ، C ، H° و ΔE کشمش‌های تولیدی تحت تأثیر شرایط مختلف پیش‌ تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب

Table 9- Color parameters L^* ، C ، H° and ΔE of produced raisins under influence of different conditions of high-humidity hot air impingement blanching pretreatment

دما Temperature (°C)	مدت (ثانیه) Duration (s)	L^*	C	H°	ΔE
-	-	48.48a**	35.02a	86.64a	0a
90	30	32.32h	17.15h	44.99efg	29.74i
90	60	34.20fg	16.56hi	44.28fg	29.10gh
90	90	34.25fg	16.84hi	45.93de	28.60fg
90	120	35.14ef	17.29h	43.76ghi	28.55fg
90	150	35.49de	16.85hi	43.96gh	28.47f
100	30	33.30gh	16.13i	46.01de	29.30hi
100	60	34.37fg	17.05h	42.65hi	29.26hi
100	90	35.19def	18.20g	40.78j	29.09gh
100	120	35.87de	19.27f	42.37di	28.11f
100	150	36.30d	19.87f	45.87de	26.74e
110	30	35.75de	23.24e	46.76cd	26.07d
110	60	36.08de	24.71d	48.07c	25.25c
110	90	38.89c	28.14b	45.55def	24.90c
110	120	38.10c	25.31cd	46.63d	24.84c
110	150	41.47b	25.50c	51.17b	21.71b

مقادیر دارای حروف کوچک انگلیسی مشابه در ستون‌ها دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن نیستند.

Values followed by the common lower case letter in the columns do not differ statistically at 5% probability level.

** مقادیر این سطر مربوط به انگور تازه هستند.

** Values of this row are for fresh grapes

نتیجه‌گیری

پیش‌ تیمار مشاهده شد که با افزایش دما و مدت اعمال پیش‌ تیمار مقدار این ضریب افزایش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج، این افزایش در پارامترهای مربوط به سرعت خشک کردن را می‌توان ناشی از میکروترک‌های ایجاد شده در پوست و افزایش نفوذپذیری دیواره سلول‌های انگور تحت تأثیر پیش‌ تیمار دانست. همچنین یافته‌ها نشان داد که اعمال پیش‌ تیمار می‌تواند خصوصیات رنگی کشمش تولیدی را بهبود بخشد. غیر شیمیایی بودن، سرعت بالای اعمال پیش‌ تیمار، حجم کم بخار استفاده شده، افزایش نرخ خشک کردن زمینه را برای استفاده از جت برخوردی هوای داغ مرطوب در مقیاس‌های بزرگ‌تر و صنعتی فراهم می‌کند.

در این پژوهش تأثیر دما و مدت‌های مختلف اعمال پیش‌ تیمار جت برخوردی هوای داغ مرطوب بر روند خشک شدن انگور به روش سایه خشک مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج سینتیک خشک کردن نشان داد که با افزایش دما و مدت اعمال پیش‌ تیمار، سرعت خشک کردن افزایش پیدا می‌کند و مدت به‌کارگیری پارامتر مهم‌تری در کاهش مدت خشک کردن می‌باشد. بیشترین افزایش در سرعت خشک کردن مربوط به مدت ۱۵۰ ثانیه اعمال پیش‌ تیمار در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس با افزایش ۶۸ درصد نسبت به انگور شاهد بود. با محاسبه مقادیر ضریب نفوذ برای حالت‌های مختلف اعمال

References

- Ah-Hen, K., Zambra, C. E., Aguero, J. E., Vega-Gálvez, A., & Lemus-Mondaca, R. (2013). Moisture diffusivity coefficient and convective drying modelling of murta (*Ugni molinae* Turcz): Influence of temperature and vacuum on drying kinetics. *Food and Bioprocess Technology*, 6(4), 919-930. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0758-5>
- Ayoubi, A., Sedaghat, N., & Kashaninejad, M. (2015). Study the effect of different pretreatments on thin layer drying of grape and the color of obtained raisin. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 4(1), 1-18. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2015.05.10.411>
- Bai, J. W., Sun, D. W., Xiao, H. W., Mujumdar, A., & Gao, Z. J. (2013). Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 20, 230-237. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.011>
- Bai, J. W., Gao, Z. J., Xiao, H. W., Wang, X. T., & Zhang, Q. (2013). Polyphenol oxidase inactivation and vitamin C degradation kinetics of F uji apple quarters by high humidity air impingement blanching. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(6), 1135-1141. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03193.x>
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press.
- Dai, J. W., Wang, J., Yang, S. L., Wen, M. D., Yin, P. F., Qin, W., Liu, Y. W., Liu, Q., Liu, S. X., & Xu, L. J. (2020). High humidity air-impingement blanching (HHAIB) improves drying characteristics and quality of ground-cover chrysanthemum heads. *International Journal of Food Engineering*, 16(12). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0121>
- De Roeck, A., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue. *Food Chemistry*, 107(3), 1225-1235. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.076>
- Dehbooreh, R., & Esmaili, M. (2009). Evaluation of Microwave and Convective Finish Drying Parameters and Drying Effects on Color of Dried Grapes. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 5(2). <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210614>
- Deng, L. Z., Mujumdar, A., Yang, X. H., Wang, J., Zhang, Q., Zheng, Z. A., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2018). High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification. *Food Chemistry*, 261, 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.062>
- Dev, S., Padmini, T., Adedeji, A., Gariépy, Y., & Raghavan, G. (2008). A comparative study on the effect of chemical, microwave, and pulsed electric pretreatments on convective drying and quality of raisins. *Drying Technology*, 26(10), 1238-1243. <https://doi.org/10.1080/07373930802307167>
- Di Matteo, M., Cinquanta, L., Galiero, G., & Crescitelli, S. (2000). Effect of a novel physical pretreatment process on the drying kinetics of seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 46(2), 83-89. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00071-6)
- Doulati Baneh, H. (2016). *the Grapevine Comperhensive Management of Growling, Production and Processing*: University of Kurdistan Press.
- Earle, R. L. (2013). *Unit operations in food processing*. Elsevier.
- Gao, Z., Xiao, H., Liu, B., & Yang, W. (2008). A no nutritional loss and non-fried sweet potato chips processing method. *China Patent No. ZL200810116897 9*.
- Jayaprakasha, G. K., Singh, R. P., & Sakariah, K. K. (2001). Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro. *Food Chemistry*, 73(3), 285-290. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00298-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00298-3)
- Kondjoyan, A., Chevolleau, S., Grève, E., Gatellier, P., Santé-Lhoutellier, V., Bruel, S., Touzet, C., Portanguen, S., & Debrauwer, L. (2010). Formation of heterocyclic amines in slices of Longissimus thoracis beef muscle subjected to jets of superheated steam. *Food Chemistry*, 119(1), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.081>
- Liu, Z. L., Bai, J. W., Yang, W. X., Wang, J., Deng, L. Z., Yu, X. L., Zheng, Z. A., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2019). Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) and drying parameters on drying characteristics and quality of broccoli florets. *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1494185>
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H., & Buckle, K. A. (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29(1), 75-97. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3)
- Martin, H. (1977). Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces in. *Advances in heat transfer* (vol. 13). (pp. 1-60) Elsevier.
- Moelants, K. R., Cardinaels, R., Van Buggenhout, S., Van Loey, A. M., Moldenaers, P., & Hendrickx, M. E. (2014). A review on the relationships between processing, food structure, and rheological properties of plant-tissue-based food suspensions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(3), 241-260. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12059>

21. Olsson, E., Trägårdh, A., & Ahrné, L. (2005). Effect of near-infrared radiation and jet impingement heat transfer on crust formation of bread. *Journal of Food Science*, 70(8), e484-e491. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11519.x>
22. Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barry-Ryan, C., Frías, J. M., Henehan, G. T., & Barat, J. M. (2008). Optimisation of steamer jet-injection to extend the shelflife of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 431-442. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.013>
23. Sarkar, A., & Singh, R. P. (2004). Air impingement technology for food processing: visualization studies. *LWT- Food Science and Technology*, 37(8), 873-879. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.04.005>
24. Schabel, W., & Martin, H. (2010). G10 Impinging jet flow heat transfer in. *VDI Heat Atlas*.
25. Sui, M., Gao, Z., Ni, Z., & Fang, X. (2008). Study on relationship of temperature and puffing in roasting process of Peking duck with air impingement. *Journal of Food Science and Technology (China)*, 10, 68-70.
26. Swati, K., & Ashim, D. (2014). *Modeling Mechanical Property Changes During Heating of Carrot Tissue -A Microscale Approach*. COMSOL Conference. Boston.
27. Thorat, I. D., Mohapatra, D., Sutar, R., Kapdi, S., & Jagtap, D. D. (2012). Mathematical modeling and experimental study on thin-layer vacuum drying of ginger (*Zingiber officinale* R.) slices. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1379-1383. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0429-y>
28. Wang, H., Xiao, H. W., Liu, Z. L., Yu, X. L., Zhu, G. F., & Zheng, Z. (2019). *Effect of drying and high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) parameters on drying characteristics and quality of apple slices*. Pages 1. 2019 ASABE Annual International Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.201900524>
29. Wang, J., Fang, X. M., Mujumdar, A., Qian, J. Y., Zhang, Q., Yang, X. H., Liu, Y. H., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2017a). Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 220, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.200>
30. Wang, J., Mu, W. S., Fang, X. M., Mujumdar, A., Yang, X. H., Xue, L. Y., Xie, L., Xiao, H. W., Gao, Z. J., & Zhang, Q. (2017b). Pulsed vacuum drying of Thompson seedless grape: Effects of berry ripeness on physicochemical properties and drying characteristic. *Food and Bioprocess Technology*, 106, 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.09.003>
31. Xiao, H. W., Pang, C. L., Wang, L. H., Bai, J. W., Yang, W. X., & Gao, Z. J. (2010). Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering*, 105(2), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.001>
32. Xiao, H. W., & Mujumdar, A. (2014). *Impingement Drying: Application and Future Trends*.
33. Xiao, H. W., Yao, X. D., Lin, H., Yang, W. X., Meng, J. S., & Gao, Z. J. (2012). Effect of SSB (superheated steam blanching) time and drying temperature on hot air impingement drying kinetics and quality attributes of yam slices. *Journal of Food Process Engineering*, 35(3), 370-390. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00594.x>
34. Zielinska, S., Cybulska, J., Pieczywek, P., Zdunek, A., Kurzyńska-Szklarek, M., Liu, Z. L., Staniszewska, I., Pan, Z., Xiao, H. W., & Zielinska, M. (2022). The effect of high humidity hot air impingement blanching on the changes in molecular and rheological characteristics of pectin fractions extracted from okra pods. *Food Hydrocolloids*, 123, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107199>

Contents

Research Articles

Modeling and Fabrication of a Robot for Sowing in a Seedling Tray (Case Study: Sugar Beet) S. Abdanan Mehdizadeh	249
Design of a Harvester for Harvesting of the Leaves and Stems of Plants in Cultivation Rows and Evaluation its Performance in the Peppermint Farm P. Ghiasi, M. Salatin, R. Soon, S. M. Mir Esmaeili, K. Pirvandi, Gh. Najafi	267
Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat Load to a Poultry House M. Jalali, A. Banakar, B. Farzaneh, M. Montazeri	285
Comparison of Dry Land Wheat Grain Harvest Losses in Different Types of Chaff Collector Combine Harvesters in Kurdistan Province M. Safari, M. A. Rostami	309
Evaluation of Two Types of Cotton Pickers in Terms of the Functionality and Quality of the Harvested Fibers Sh. Nowrouzieh	321
Measurement of Losses in a Austoft Sugarcane Harvester Case 7000 V. Ebrahim Khanloo Sisi, N. Monjezi, M. Soleymani	335
Assessment of Sieve Slope, Sieve Range and Fan Suction on Cleaning Efficiency and Loss Rate of Peanut Thresher J. Abdi, A. Golmohammadi, Gh. Shahgholi, A. Rezvanivand fanaei	349
Drying Kinetics of White Seedless Grape Affected by High-Humidity Hot Air Impingement Blanching H. Rezaei, M. Sadeghi	365

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 13

No. 3

2023

Published by: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Editor in charge: Prof. M. R. Modarres Razavi, Dept. of Mechanical Eng. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Prof. M. H. Abbaspour-Fard, Dept. of Biosystems Eng. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

- Abbaspour-Fard, M. H. Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- Aboonajmi, M. Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran
- Aghkhani, M. H. Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- Alimardani, R. Professor, Department of Faculty of College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- Emadi, B. Adjunct Professor, Department of Chemical and Biological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada
- Ghazanfari Moghaddam, A. Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
- Kadkhodayan, M. Professor, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- Khoshtaghaza, M. H. Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran
- Loghavi, M. Professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Iran
- Modarres Razavi, M. Professor, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- Mohtasebi, S. S. Professor, Department of Faculty of College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
- Nasirahmadi, A. Department of Agricultural Engineering University of Kassel, Nordbahnhofstrasse, Witzenhausen, Germany
- Pourreza, A. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, United States of America
- Raji, A. Professor, Department of Agricultural and Environmental Engineering, Faculty of Technology, University of Ibadan, Nigeria
- Rohani, A. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- Saiedirad, M. H. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Mashhad, Iran
- Sayasoonthorn, S. Assistant Professor, Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Thailand

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05138787430

E-Mail: jame@um.ac.ir

Web Site: <http://jame.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 13 No. 3

2023

Journal of Agricultural Machinery



Iranian Society of
Mechanical Engineers
(ISME)

ISSN: 2228-6829

Contents

Research Articles

Modeling and Fabrication of a Robot for Sowing in a Seedling Tray (Case Study: Sugar Beet).....249
S. Abdanan Mehdizadeh

**Design of a Harvester for Harvesting of the Leaves and Stems of Plants in Cultivation
Rows and Evaluation its Performance in the Peppermint Farm.....267**
P. Ghiasi, M. Salatin, R. Soon, S. M. Mir Esmaili, K. Pirvandi, Gh. Najafi

**Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat
Load to a Poultry House285**
M. Jalali, A. Banakar, B. Farzaneh, M. Montazeri

**Comparison of Dry Land Wheat Grain Harvest Losses in Different Types of Chaff
Collector Combine Harvesters in Kurdistan Province309**
M. Safari, M. A. Rostami

**Evaluation of Two Types of Cotton Pickers in Terms of the Functionality and Quality
of the Harvested Fibers321**
Sh. Nowrouzieh

Measurement of Losses in a Austoft Sugarcane Harvester Case 7000335
V. Ebrahim Khanloo Sisi, N. Monjezi, M. Soleymani

**Assessment of Sieve Slope, Sieve Range and Fan Suction on Cleaning Efficiency and
Loss Rate of Peanut Thresher349**
J. Abdi, A. Golmohammadi, Gh. Shahgholi, A. Rezvanivand fanaei

**Drying Kinetics of White Seedless Grape Affected by High-Humidity Hot Air
Impingement Blanching365**
H. Rezaei, M. Sadeghi