

طراحی، ساخت و ارزیابی دماغه انگشتی دار برداشت نخود و بررسی اثر متغیرهای دماغه روی تلفات

وحید رستم‌پور^{۱*} و اسعد مدرس مطلق^۲

چکیده

برداشت دستی نخود پر هزینه و طاقت فرسا می‌باشد. بنابراین در این تحقیق دماغه برداشت نخود طراحی، ساخته و ارزیابی گردید. این دماغه دارای انگشتی‌های بلند و ثابت بوده و با پیشروی دماغه، غلاف‌ها در بین انگشتی‌ها قرار گرفته و از بوته‌ها جدا می‌شوند. در طراحی دماغه چهار ویژگی هندسه انگشتی‌ها، زاویه انگشتی‌ها با افق (A)، طول انگشتی‌ها (L) و فاصله بین انگشتی‌ها (S) مورد توجه قرار گرفت. در ارزیابی‌های مزرعه‌ای اثر دو متغیر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله بین انگشتی‌ها (S) به ترتیب در سه سطح 15° ، 20° و 25° و دو سطح ۷ mm و ۱۰ mm، روی بر تلفات مربوط به غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها (Lp) و تلفات مربوط به غلاف‌های ریخته شده روی زمین (Lf) بررسی شد. همچنین مقدار تلفات کل ($LT = Lf + Lp$) در ترکیب‌های مختلف زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S)، بررسی شد و بهترین ترکیب مشخص گردید. نتایج نشان داد اثر افزایش مقدار متغیرهای زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) روی هر دو نوع تلفات Lf و Lp معنی‌دار ($P < 0.1$) و افزایشی است، با این تفاوت که تأثیرگذاری متغیر زاویه انگشتی‌ها (A) روی تلفات Lf بیشتر و تأثیرگذاری متغیر فاصله انگشتی‌ها (S) روی تلفات Lp بیشتر است. کمترین مقدار تلفات کل (LT) ($P < 0.5$) مربوط به ترکیب زاویه انگشتی و فاصله انگشتی شماره ۱ (15° و ۷mm) و شماره ۲ (20° و ۷mm) و به ترتیب برابر با $4/57\%$ و $7/24\%$ بود.

واژه‌های کلیدی: انگشتی، تلفات برداشت، دماغه، نخود.

ارجاع: رستم‌پور و مدرس مطلق ا. ۱۳۹۸. طراحی، ساخت و ارزیابی دماغه انگشتی‌دار برداشت نخود و بررسی اثر متغیرهای دماغه روی تلفات. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸(۱): ۱۱۷-۱۲۷.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه.

* نویسنده مسئول: v.rostampour@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

مقدمه

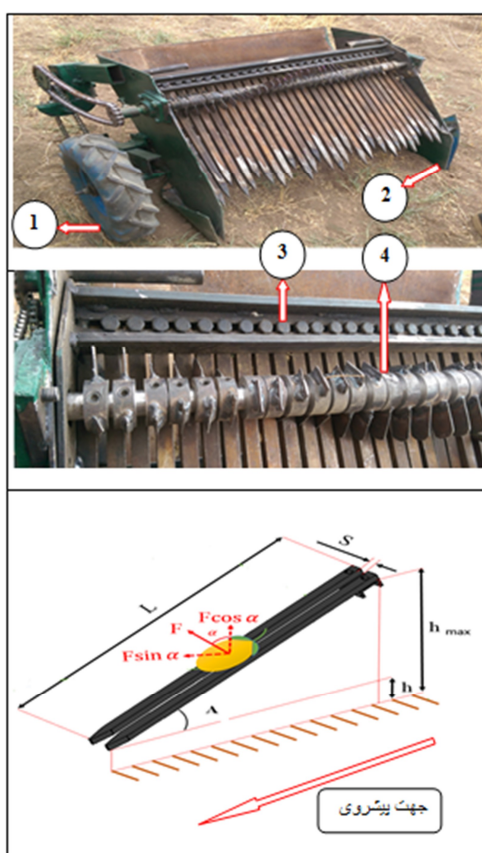
گیاه نخود با نام علمی *Cicerarietinum L.* شناخته شده و بلندی بوته‌ی آن بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است (Behroozi-Lar & Huang, 2002). ایران با تولید ۲۷۱۴۸۷ تن نخود، هشتمین تولید کننده بزرگ این محصول در دنیا است (FAO, 2017). در ایران $\frac{۶۲}{۸}$ ٪ سطح زیر کشت حبوبات مربوط به نخود می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2018). برداشت نخود دیم در ایران به صورت دستی انجام می‌گیرد، از این رو در یک دهه اخیر محققین تلاش‌هایی را برای ساخت دماغه مخصوص برداشت نخود پا کوتاه انجام داده‌اند (Bansal & Sakr, 1992; Behroozi-Lar & Huang, 2002; Konak *et al.*, 2002; Siemens, 2006; Golpira & Golpira, 2017). نیروی اتصال بسیار کم غلاف‌ها به ساقه گیاه ($\frac{۷}{۵}N$) در رطوبت ۱۲٪ و در نتیجه تلفات بالای ریزش، مهمترین چالش برداشت مکانیزه نخود دیم با دماغه‌های شانه برشی می‌باشد (Kamgar, Diekmann, 2011; Mostafavand & Kamgar, 2013; Golpira *et al.*, 2013; Kamgar *et al.*, 2016). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از دماغه کمباین مرسوم برای برداشت مکانیزه نخود پا کوتاه باعث ایجاد تلفات بیشتر از ۲۵٪ در دماغه می‌گردد (Haffar *et al.*, 1991; Siemens, 2006)، در حالی که مقدار تلفات قابل قبول در برداشت مکانیزه نخود ۵/۵٪ پیشنهاد شده است (Chakraverty *et al.*, 2003).

نتایج تحقیقات نشان داده است که مکانیزم غلاف‌چینی می‌تواند نسبت به مکانیزم‌هایی که غلاف‌ها و بوته‌های نخود را یکجا برداشت می‌کنند کارایی بهتری داشته باشد و از نقطه ضعف اتصال ضعیف غلاف‌ها به بوته‌ها می‌توان به عنوان یک نقطه قوت در طراحی دماغه برداشت این محصول استفاده کرد (Hanna & Quick, 2007; Kalsirisilp & Singh, 2001; Golpira, 2013). برداشت به روش غلاف‌چینی، ریشه و غده‌های تولید کننده نیتروژن در خاک باقی مانده و باعث حاصلخیزی خاک می‌گردند (Golpira, 2015). همچنین امکان انجام عملیات برداشت با سرعت پیشروی بالا از مزیت‌های روش غلاف چینی می‌باشد (Wilkins *et al.*, 2010)، بنابراین در دماغه ارائه شده در این مقاله از مکانیزم غلاف‌چینی برای طراحی و ساخت دماغه برداشت استفاده شده است.

مکانیزم شلبورن رینولدز^۱ از نوع مکانیزم‌های غلاف‌چینی می‌باشد که کارایی آن در برداشت غلاف‌های نخود مورد ارزیابی قرار گرفته و تلفات بالای برداشت را ایجاد کرده است (Behroozi-Lar & Huang, 2002). در مکانیزم شلبورن رینولدز از انگشتی‌های دوار برای جدا نمودن غلاف‌ها از بوته‌ها استفاده می‌شود. مکانیزم‌های دوار (انگشتی‌های دوار یا چرخ و فلک هدایت بوته) باعث وارد شدن ضربه به بوته‌ها و افزایش تلفات ریزش می‌شوند. همچنین در این مکانیزم‌ها، افزایش سرعت پیشروی مستلزم داشتن سرعت دورانی زیاد بخش‌های دوار دستگاه بوده که این افزایش دور می‌تواند باعث افزایش شدت ضربات وارده بر بوته‌ها و افزایش تلفات ریزش گردد. بنابراین محدودیت سرعت پیشروی از معایب استفاده از مکانیزم‌های دوار خوشه چین می‌باشد. در دماغه ارائه شده در این مقاله از بکار بردن بخش‌های دوار در دماغه اجتناب شده است. (Golpira *et al.*, 2013). از انگشتی‌های V شکل حفره دار و مجهز به چرخ و فلک هدایت محصول برای برداشت نخود پا کوتاه استفاده کردند و تلفات ۱۶/۴٪ را گزارش نمودند. در مکانیزم انگشتی‌های V شکل، جدا شدن غلاف‌ها از بوته‌ها در فضای حفره‌های کوچک انتهای انگشتی‌ها اتفاق می‌افتد و افزایش سرعت پیشروی می‌تواند باعث تراکم بوته‌ها و افزایش تلفات مربوط به غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها گردد. بنابراین طراحی دماغه مطلوب باید به شکلی انجام شود که محدودیتی در فضای جدا شدن غلاف‌ها از بوته‌ها وجود نداشته باشد. بعد از طراحی هر سیستم، برای بهینه نمودن آن می‌توان از روش‌های ریاضی یا عددی استفاده نمود، اما در بعضی از مواقع استفاده از این روش‌ها به دلیل شرایط محیطی متغیر و پارامترهای زیاد تأثیر گذار، پیچیده و غیره عملی بوده و با ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط کار واقعی مزرعه‌ای و تغییر دادن برخی از متغیرهای مهم می‌توان به بهینه‌سازی سیستم پرداخت (Golpira, 2013).

دماغه‌های ساخته شده در تحقیقات قبلی یا مجهز به انگشتی‌های دوار ضربه‌زن به بوته بودند و یا اینکه مجهز به انگشتی‌های ثابت کوتاه حفره‌دار بودند که نیاز به سیستم چرخ و فلک داشتند. این امر می‌توانست باعث وارد شدن ضربه به بوته‌ها و ریزش غلاف‌ها و همچنین تراکم بوته‌ها در حفره‌های جدا کننده و ایجاد محدودیت‌هایی در

سطح افق (A)، طول انگشتی‌ها (L) و فاصله بین انگشتی‌ها (S) مورد توجه قرار گرفت. در بین انگشتی‌ها از چرخنده‌های دوار تمیز کننده علف هرز استفاده گردید تا مانع از تراکم تدریجی علف‌های هرز در بین انگشتی‌ها و در نتیجه مسدود شدن این فواصل گردند. فاصله بین انگشتی‌ها توسط پیچ و مهره‌های اتصال انگشتی به دماغه قابل تنظیم بود. برای اینکه این دماغه بتواند در شرایط ناهموار مزرعه‌ای قابلیت کار و پیشروی داشته باشد، از یک چرخ برای حمل شاسی اصلی دماغه و از دو کفشک برای شناور ساختن بخش جلویی دماغه استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- دماغه برداشت و اجزاء آن: چرخ (۱)، کفشک (۲)، تنظیم کننده فاصله بین انگشتی‌ها (۳)، چرخنده‌های دوار تمیز کننده علف هرز (۴)، زاویه انگشتی‌ها با افق (A)، طول انگشتی‌ها (L)، فاصله بین انگشتی‌ها (S)

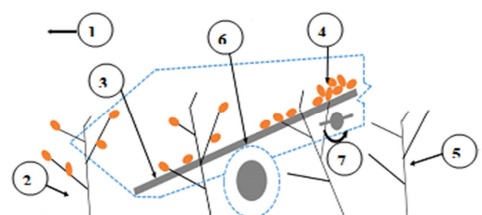
هندسه سطح مقطع انگشتی‌ها:

برای انتخاب هندسه مناسب سطح مقطع انگشتی‌ها، در یک پیش تحقیق جداگانه، اثر سه نوع هندسه متفاوت دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی (با زاویه رو به بالا) روی مقدار

افزایش سرعت برداشت گردد. ولی در این تحقیق برای برداشت نخود پا کوتاه یک دماغه ساده غلاف‌چین مجهز به انگشتی‌های ثابت بلند طراحی و ساخته شد. بر خلاف دماغه‌های قبلی، در این دماغه جدایی غلاف‌ها از بوته‌ها در طول انگشتی‌ها انجام می‌گیرد و به دلیل عدم تراکم بوته‌ها و غلاف‌ها، سرعت پیشروی می‌تواند بالا باشد. همچنین انگشتی‌های بلند این دماغه می‌توانند به راحتی در بین غلاف‌ها نفوذ کنند و نیازی به استفاده از مکانیزم دوار چرخ و فلکی در آن نمی‌باشد. در ارزیابی‌های مزرعه‌ای مقدار تلفات کل ($L_T = L_f + L_p$) در ترکیب‌بندی‌های مختلف دماغه (زاویه و فاصله انگشتی‌ها) اندازه‌گیری شد و اثر متغیرهای دماغه شامل زاویه انگشتی‌ها و فاصله انگشتی‌ها روی مقدار و نوع تلفات بررسی شد.

مواد و روش‌ها

فرآیند کلی این تحقیق شامل طراحی، ساخت و ارزیابی دماغه، با هدف یافتن بهترین ترکیب زاویه و فاصله انگشتی‌ها، بررسی اثر زاویه و فاصله انگشتی‌ها روی انواع تلفات و مشخص نمودن مسیرهای اصلی بهینه‌سازی می‌باشد. در این دماغه از یک سری انگشتی‌های لخت کننده طولیل استفاده شده است که به صورت زیگزاگی به شاسی دماغه متصل شده‌اند. با پیشروی دماغه در داخل مزرعه، بوته‌ها به صورت پیوسته وارد فضای بین انگشتی‌ها شده و به دلیل نیروی اتصال بسیار کم غلاف‌ها به ساقه‌ها که برابر با ۷ نیوتن اندازه‌گیری شده است (Golpira et al., 2009)، غلاف‌ها به راحتی از بوته‌ها جدا می‌گردند (شکل ۱).



شکل ۱- مکانیزم عملکرد انگشتی‌ها: جهت پیشروی (۱)، بوته (۲)، انگشتی (۳)، غلاف برداشت شده (۴)، بوته لخت شده (۵)، چرخ تنظیم ارتفاع (۶)، چرخنده تمیز کننده (۷)

طراحی و ساخت دماغه

در طراحی و ساخت انگشتی‌های لخت کننده دماغه چهار ویژگی هندسه سطح مقطع انگشتی‌ها، زاویه انگشتی‌ها با

معنی دار آماری بین مقادیر میانگین تلفات کل انگشتی-های مثلثی ($L_T = \sqrt{8/52}$) و مستطیلی ($L_T = \sqrt{8/7}$) وجود نداشت، ولی با توجه به اینکه انگشتی‌های مثلثی تا حدودی با مشکل تراکم بوته‌ها در بین انگشتی‌ها مواجه می‌شدند و این مشکل در انگشتی‌های نوع مستطیلی محسوس نبود و دماغه راحت‌تر می‌توانست در داخل مزرعه حرکت کند، در نهایت هندسه مستطیلی به عنوان مناسب‌ترین هندسه انگشتی‌ها تشخیص داده شد.

زاویه انگشتی‌ها با افق (A)

برای تعیین زاویه قرارگیری انگشتی‌ها نسبت به افق (A)، مقدار زاویه غلتش غلاف‌های نخود روی انگشتی‌ها اندازه‌گیری شد و برابر با $20/1^\circ$ بدست آمد. در نهایت برای جلوگیری از غلتش غلاف‌های نخود به پایین و همچنین جلوگیری از بالا آمدن احتمالی کلوخه‌ها روی انگشتی‌ها (در زاویه‌های کم انگشتی می‌توانست اتفاق بیفتد) انگشتی‌ها با زاویه 20° نسبت به افق روی شاسی دماغه بسته شدند. روش استفاده شده برای اتصال شاسی انگشتی‌ها به شاسی اصلی دماغه، امکان ایجاد زوایای مختلف انگشتی‌ها و بررسی اثر زاویه روی تلفات را فراهم کرد.

طول انگشتی‌ها (L)

طول انگشتی‌ها (L) باید طوری تعیین می‌شد که جدا شدن بالاترین غلاف‌های روی بوته‌ها، بدون خم شدن ساقه‌ها امکان‌پذیر گشته و پایین‌ترین غلاف‌ها نیز از دسترس انگشتی‌ها خارج نشوند. بنابراین از معادله (۱) برای محاسبه این طول استفاده شد (شکل ۲):

$$L = \frac{h_{\max} - h}{\sin A} \quad (1)$$

در این معادله h_{\max} بیشترین ارتفاع غلاف‌ها از سطح زمین (۲۸cm)، h ارتفاع نوک انگشتی‌ها از سطح زمین و A زاویه انگشتی‌ها با سطح افق (20°) می‌باشد. با توجه به اینکه کمترین ارتفاع غلاف‌ها از زمین ۶cm بود (جدول ۱)، مقدار h برابر با ۵cm در نظر گرفته شد و در نهایت طول انگشتی‌ها برابر با ۶۶cm محاسبه شد. انگشتی‌ها به صورت یک در میان با طول‌های عملیاتی ۶۶cm و ۷۰cm روی شاسی بسته شدند تا اولاً نفوذ بوته‌های نخود در بین انگشتی‌ها راحت‌تر انجام شود و ثانیاً قبل از ورود

تلفات کل (L_T) ارزیابی شد و با توجه به نتیجه این تحقیق، هندسه مناسب انگشتی‌ها مشخص گردید. برای این منظور ۸ ردیف از انگشتی‌های نوع دایره‌ای (قطر ۲۵mm)، مستطیلی (تسمه به عرض ۲۵mm و ضخامت ۵mm) و مثلثی رو به بالا (نبشی بال مساوی نوع ۳ با طول بال ۳۰mm و ضخامت بال ۳mm)، از جنس فولاد ST52 به صورت جداگانه روی یک شاسی اولیه مجهز به چرخ‌های حامل بسته شدند. با توجه به ابعاد غلاف‌های نخود و این ملاحظه که غلاف‌ها نباید از بین انگشتی‌ها عبور کنند و در عین حال ساقه‌ها باید بتوانند به راحتی در بین انگشتی‌ها وارد شوند، فاصله دو انگشتی مجاور از یکدیگر در هر سه نوع انگشتی برابر با ۷mm قرار داده شد. برای تعیین زاویه استقرار هر کدام از این انگشتی‌های دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی نسبت به سطح افق (A)، 30° عدد غلاف نخود بر روی ردیفی از انگشتی‌ها قرار داده شد و با افزایش تدریجی زاویه انگشتی‌ها، مقدار زاویه غلتش غلاف‌ها روی هر سه نوع انگشتی اندازه‌گیری گردید. این زاویه غلتش به ترتیب برای انگشتی‌های دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی برابر با $15/6^\circ$ ، 24° و $22/1^\circ$ بدست آمد و برای جلوگیری از غلتش راحت غلاف‌ها به پایین، انگشتی‌های دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی به ترتیب با زاویه‌های $13/6^\circ$ ، 22° و $20/1^\circ$ به شاسی اولیه بسته شدند (2° کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده). اما در همان مراحل اولیه آزمون مشاهده گردید که انگشتی‌های دایره‌ای به دلیل زاویه کم نسبت به افق، با مشکل بالا آمدن کلوخه‌ها روی انگشتی‌ها مواجه می‌شوند، بنابراین در نهایت هر سه نوع انگشتی با زاویه 20° به دماغه موقت تهیه شده بسته شدند. طول انگشتی‌ها با در نظر گرفتن زاویه انگشتی‌ها و اختلاف ارتفاع نقاط ابتدایی و انتهایی انگشتی‌ها برابر با ۶۶cm محاسبه گردید تا زاویه مورد نظر انگشتی‌ها ایجاد گردد. تلفات کل هر کدام از انگشتی‌ها (ریخته شده روی زمین و باقی مانده روی بوته‌ها)، در عرض کار ۲۰cm و طول ۱۰۰cm، در ۴ تکرار و در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی اندازه‌گیری شد. از آزمون مقایسه میانگین دانکن و نرم‌افزار آماری SAS برای مقایسه میانگین تلفات استفاده گردید. مقدار میانگین تلفات کل انگشتی‌های نوع دایره‌ای $14/37\%$ (بیشتر ناشی از تلفات ریزش بود) و به صورت معنی‌داری ($P < 5\%$) بیشتر از مقدار میانگین تلفات انگشتی‌های مثلثی و مستطیلی بود. اختلاف

در ارزیابی‌ها، ابتدا درصد تلفات کل ($L_T = L_f + L_p$) در شش ترکیب مختلف از زاویه انگشتی‌ها و فاصله انگشتی‌ها اندازه‌گیری شد و بهترین ترکیب عملیاتی دماغه، برای داشتن کمترین مقدار تلفات کل مشخص گردید. سپس اثر زاویه انگشتی‌ها در سه سطح 15° ، 20° و 25° و اثر فاصله بین انگشتی‌ها در دو سطح ۷mm و ۱۰mm روی تلفات مربوط به غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها (L_p) و تلفات مربوط به غلاف‌های ریخته شده روی زمین (L_f) بررسی شد. برخی از محققین اندازه‌گیری مقدار تلفات دماغه‌های برداشت نخود را در مساحت‌های 50×50 سانتی‌متر انجام داده‌اند (Golpira et al., 2013)، ولی در این تحقیق با توجه به عرض کار دماغه (۸۰cm) و برای جلوگیری از دخالت اثر احتمالی متغیر جانبی تراکم محصول، در نتایج بدست آمده و در نتیجه افزایش دقت، اندازه‌گیری تلفات در مساحت‌هایی به عرض ۸۰cm و طول ۲۰۰cm انجام شد (شکل ۳). سرعت پیشروی مطلوب برای دستگاه برداشت نخود مجهز به این دماغه انگشتی‌دار لخت‌کننده بلند، برابر با $4/5 \text{ km hr}^{-1}$ اندازه‌گیری شده بود (Mardani et al., 2016)، بنابراین ارزیابی‌ها در این سرعت ($4/5 \text{ km hr}^{-1}$) انجام شد. با جمع نمودن غلاف‌های ریخته شده روی زمین، خطای مربوط به تلفات قبل از برداشت حذف گردید. برای جلوگیری از فرو رفتن انگشتی‌ها در داخل خاک، نوک انگشتی‌ها در فاصله ۵cm از سطح خاک قرار گرفت. برای محاسبه تلفات از معادلات (۲)، (۳) و (۴) استفاده شد (Golpira & Golpîra, 2017).

$$L_p (\%) = \frac{P_p}{P_p + P_f + P_c} \times 100 \quad (2)$$

$$L_f (\%) = \frac{P_f}{P_p + P_f + P_c} \times 100 \quad (3)$$

$$L_T (\%) = \frac{P_p + P_f}{P_p + P_f + P_c} \times 100 \quad (4)$$

که در آن P_f تعداد غلاف‌های ریخته شده روی زمین، P_p تعداد غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها، P_c تعداد غلاف‌های برداشت شده توسط دماغه و P_T تلفات کل می‌باشد.

کامل یک بوته در فضای بین انگشتی‌ها، نیروی افقی خم‌کننده، به‌صورت هم‌زمان و از طرف چند انگشتی به آن وارد نشود.

فاصله بین انگشتی‌ها (S)

برای تعیین فاصله بین انگشتی‌های مجاور (S)، ابعاد غلاف‌های نخود اندازه‌گیری شد (جدول ۱) و این فاصله برابر با ۷mm لحاظ شد. طوری که غلاف‌ها نتوانند از بین انگشتی‌ها عبور کنند و در عین حال ساقه‌ها بتوانند به راحتی در بین انگشتی‌ها وارد شوند. اتصال پیچی انگشتی‌ها به شاسی، امکان حذف تعدادی از انگشتی‌ها، افزایش فاصله بین آنها و بررسی اثر فاصله انگشتی‌ها روی تلفات را ممکن ساخت.

ارزیابی دماغه

ارزیابی‌های مزرعه‌ای دماغه در یکی از مزارع معمولی و مسطح نخود دیم اطراف شهرستان ارومیه انجام گرفت. مزرعه توسط کشاورزان منطقه کشت شده و تمامی مراحل کاشت و داشت توسط کشاورز و طبق روش مرسوم منطقه انجام شده بود. رقم نخود کاشته شده کابلی و دارای عملکرد 55 kg ha^{-1} بود. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این رقم اندازه‌گیری گردید و در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی و مکانیکی نخود (کابلی) در زمان برداشت

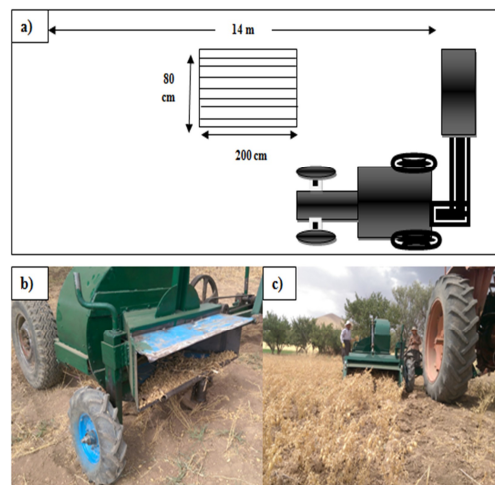
طول غلاف (میلی‌متر)	عرض غلاف (میلی‌متر)	وزن غلاف (گرم)	محتوای رطوبتی (تر)	ارتفاع بوته (میلی‌متر)	کمترین ارتفاع غلاف (میلی‌متر)	نیروی جدایی غلاف از بوته * (نیوتن)
۱۲/۲۰	۲/۴۴	۲۰	۰/۳۵	۲۲/۸۶	۲۳۰	۲۲/۸۰
۱۳/۱	۱/۳۱	۱۰	۰/۰۸	۸/۴۳	۱۴	۱/۷۱
				۲۴/۳۵	۵۶	
				۱۱/۷۸	۶۰	
				۷/۰۷		
				۷/۵		

* (Golpira et al., 2009)

دماغه (شش ترکیب زاویه و فاصله انگشتی) و مقدار میانگین تلفات L_p و L_f استفاده شد. همچنین بررسی اثر متغیرهای زاویه انگشتی (در سه سطح) و فاصله بین انگشتی‌ها (در دو سطح) روی دو نوع تلفات L_p و L_f در قالب طرح آماری فاکتوریل کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. آنالیزها به کمک نرم‌افزار آماری SAS و بر اساس تعداد غلاف‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ تعداد غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها (P_p)، تعداد غلاف‌های ریخته شده روی زمین (P_f) و تعداد غلاف‌های برداشت شده توسط دماغه (P_c) در $1/6m^2$ از مساحت مزرعه آورده شده است. این نتایج در قالب شش ترکیب مختلف زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) ارائه گردیده است.



شکل ۳- الف) موقعیت‌های نمونه برداری، ب) غلاف‌های برداشت شده توسط دماغه ج) عملیات برداشت

آنالیزهای آماری

از آزمون چند دامنه دانکن، در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ برای مقایسه میانگین تلفات کل (L_T) ترکیب‌های مختلف

جدول ۲- تعداد غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها (P_p)، ریخته شده روی زمین (P_f) و برداشت شده توسط دماغه (P_c)

غلاف‌های برداشت شده (P_c)		غلاف‌های ریزش کرده (P_f)		غلاف‌های باقی مانده (P_p)		زاویه انگشتی (درجه)	فاصله انگشتی (میلی‌متر)	وضعیت ترکیب‌بندی دماغه
تعداد	انحراف معیار	تعداد	انحراف معیار	تعداد	انحراف معیار			
۳۳۲	۱/۴۱	۱۱	۲/۲۳	۶	۱/۴۱	۱۵	۷	۱
۳۰۷	۲/۶۴	۱۷	۲/۲۳	۷	۱	۲۰	۷	۲
۳۲۴	۳/۳۱	۴۱	۵/۷۲	۸	۱/۶۶	۲۵	۷	۳
۲۶۷	۱۳/۷۴	۱۹	۱	۲۲	۲/۵۹	۱۵	۱۰	۴
۳۰۲	۸/۱۲	۴۶	۳/۱۶	۳۱	۲/۵۹	۲۰	۱۰	۵
۲۵۷	۸/۳۱	۶۴	۳/۷۴	۲۸	۱/۶۶	۲۵	۱۰	۶

دستی این محصول حدود ۱۳/۶٪ و در برداشت با کم‌باین غلات حدود ۲۵٪ گزارش شده است (Mostafavand & Kamgar, 2013). می‌توان نتیجه گرفت که این دماغه کارایی لازم را برای برداشت مکانیزه محصول نخود پا کوتاه دارا می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ می‌توان ترکیب‌بندی شماره ۱ دماغه (فاصله ۷mm و زاویه 15°) را به عنوان بهترین ترکیب‌بندی عملیاتی آن در زمین‌های بدون کلوخه و سنگ معرفی نمود، زیرا ارزیابی‌ها نشان داد که در زاویه انگشتی 15° ، در قسمت‌های کلوخه‌دار مزرعه بعضاً مشکل بالا آمدن کلوخه‌هایی با حداکثر قطر متوسط ۸۰mm اتفاق می‌افتد.

ارزیابی کارایی دماغه و تعیین بهترین ترکیب‌بندی

در جدول (۳) مقدار تلفات کل (L_T) در ترکیب‌بندی‌های مختلف دماغه ارائه شده است. همان‌طوریکه مشاهده می‌گردد مقدار متوسط تلفات کل (L_T) در ترکیب‌بندی شماره ۱ دماغه (فاصله ۷mm و زاویه 15°) و ترکیب‌بندی شماره ۲ دماغه (فاصله ۷mm و زاویه 20°) به ترتیب برابر با ۴/۵۷٪ و ۷/۲۴٪ محصول تولیدی مزرعه بوده و به صورت معنی‌داری ($P < 0.05$) کمتر از سایر ترکیب‌بندی‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه محققین (Chakraverty et al., 2003) مقدار تلفات مجاز برداشت مکانیزه نخود را ۵/۵٪ پیشنهاد کرده‌اند و از طرفی مقدار تلفات، در برداشت

جدول ۵- آنالیز واریانس اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) روی تلفات LF

ت	زاویه انگشتی (درجه)	فاصله انگشتی (mm)	تلفات LF	خطا
۱	۲۰	۷	۲۲۷/۲۷	۱۸
۲	۲۰	۱۰	۲۲۷/۲۷	۱۹
۳	۲۵	۷	۱۲/۱۹	۱۸
۴	۲۵	۱۰	۱۲/۱۹	۱۹
۵	۱۵	۷	۱۸۰/۶۵	۱۸
۶	۱۵	۱۰	۱۸۰/۶۵	۱۹

** و * : به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

اثر زاویه انگشتی‌ها (A)

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۴ و ۵) نشان داد که اثر زاویه انگشتی‌ها (A)، در سطح احتمال ۱٪ روی هر دو نوع تلفات L_p (غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها) و L_F (غلاف‌های ریخته شده روی زمین) معنی‌دار می‌باشد. ولی چون مقدار شاخص F جدول ۵ ($F=165$) (مربوط به تلفات L_F) ۳ برابر مقدار شاخص F جدول ۴ ($F=49$) (مربوط به تلفات L_p) است، بنابراین تأثیرگذاری زاویه انگشتی (A) روی تلفات L_F نسبت به تلفات L_p بیشتر می‌باشد.

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد، کمترین مقدار تلفات L_p در زاویه انگشتی 15° ایجاد شده است (در هر دو فاصله انگشتی ۷mm و ۱۰mm) و با افزایش زاویه انگشتی‌ها از 15° به 20° مقدار متوسط این تلفات ۳۱٪ افزایش یافته است (در هر دو فاصله انگشتی). این افزایش تلفات از خم شدن برخی از ساقه‌های کوتاه‌تر و از دسترس خارج شدن آنها ناشی شده است. خم شدن ساقه‌ها به دلیل افزایش مؤلفه افقی ($F_x = F \sin A$) نیروی وارده از طرف انگشتی‌ها بر ساقه‌ها می‌باشد. مؤلفه‌های نیرو در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مطابق شکل ۴ افزایش زاویه انگشتی‌ها از 20° به 25° تأثیر معنی‌داری روی تلفات L_p نداشت.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، کمترین مقدار تلفات L_F در زاویه انگشتی 15° ایجاد شده است (در هر دو فاصله انگشتی ۷mm و ۱۰mm) و با افزایش زاویه انگشتی‌ها از 15° به 20° و از 20° به 25° مقدار این نوع از تلفات (در هر دو فاصله انگشتی) افزایش یافته است. این

بنابراین توصیه می‌شود، در مزارع دارای کلوخه یا سنگ، از ترکیب‌بندی شماره ۲ دماغه (زاویه انگشتی 20°) برای برداشت محصول استفاده گردد، البته به شرط اینکه مزرعه زیاد ناهموار نباشد و یا قبل از کاشت محصول، هموار کردن سطح مزرعه مورد توجه قرار گیرد. زیرا در مزارع ناهموار زاویه 20° باعث درگیری بیشتر نوک انگشتی‌ها با خاک و ایجاد انباشتگی در جلوی دماغه می‌شود. در صورت توصیه ترکیب‌بندی شماره ۱ دماغه برای زمین‌های کلوخه‌ای، باید مکانیزم‌هایی در دستگاه برداشت ایجاد شود که بتواند کلوخه‌های بالا آمده را از غلاف‌ها جدا کند.

جدول ۳- تلفات کل (L_T) در ترکیب‌های مختلف دماغه

ترکیب‌بندی یا شماره دماغه	فاصله انگشتی (میلی‌متر)	زاویه انگشتی (درجه)	تلفات کل (L_T) درصد
۱	۷	۱۵	۴/۵۷ ^a
۲	۷	۲۰	۷/۲۴ ^b
۳	۷	۲۵	۱۲/۸۶ ^c
۴	۱۰	۱۵	۱۳/۱۴ ^c
۵	۱۰	۲۰	۲۰/۱۹ ^d
۶	۱۰	۲۵	۲۶/۲۷ ^e

^{a,b,c} حروف متفاوت به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) روی نوع

تلفات و تعیین مسیرهای بهینه‌سازی

در جدول ۴ و ۵ نتایج آنالیز واریانس اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) و اثر متقابل آنها، به ترتیب روی تلفات L_p و L_F نشان داده شده است.

جدول ۴- آنالیز واریانس اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله

انگشتی‌ها (S) روی تلفات L_p

ت	زاویه انگشتی (درجه)	فاصله انگشتی (mm)	تلفات L_p	خطا
۱	۲۰	۷	۳/۳۹	۱۸
۲	۲۰	۱۰	۳/۳۹	۱۹
۳	۲۵	۷	۰/۱۴	۱۸
۴	۲۵	۱۰	۰/۱۴	۱۹
۵	۱۵	۷	۱/۶۹	۱۸
۶	۱۵	۱۰	۱/۶۹	۱۹

** و ^{ns} به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار

افزایش به علت غلتش راحت‌تر غلاف‌ها از روی انگشتی‌ها، در زاویه‌های بیشتر است.

اثر فاصله انگشتی‌ها (S)

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۴ و ۵) نشان داد که اثر فاصله انگشتی‌ها از یکدیگر (S) در سطح احتمال ۰.۱/ روی هر دو نوع تلفات L_p (غلاف‌های باقی مانده روی بوته‌ها) و L_F (غلاف‌های ریخته شده روی زمین) معنی‌دار می‌باشد ولی مقادیر شاخص F جداول (۴ و ۵) تأثیرگذاری شدیدتر فاصله انگشتی را روی تلفات L_p نسبت به تلفات L_F نشان می‌دهد، چرا که مقدار شاخص F جدول ۴ ($F=58.12$) ۲۶ برابر بیشتر از مقدار شاخص F جدول ۵ ($F=2.07$) است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد کمترین مقدار تلفات L_p (در هر سه زاویه 15° ، 20° و 25°) در فاصله انگشتی ۷mm بوده و افزایش این فاصله به ۱۰mm باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.1$) و تقریباً ۳ برابری مقدار متوسط تلفات L_p گردیده است. زیرا با افزایش فاصله انگشتی‌ها، تعدادی از غلاف‌های کوچکتر از بین انگشتی‌ها عبور کرده و روی بوته‌ها باقی می‌مانند. بنابراین برای کاهش تلفات L_p فاصله انگشتی‌ها (S) باید تا جایی که سایر ملاحظات اجازه می‌دهند کاهش یابد و بیشتر از قطر غلاف‌ها نباشد ($S > 5mm$). ارزیابی‌ها نشان داد که فاصله کمتر از ۷mm باعث جمع شدن ساقه‌های نخود و علف‌های هرز در بین انگشتی‌ها، گرفتگی دماغه و برداشت بیشتر مواد زائد می‌شود. محققین قطر مناسب حفره‌های لخت کننده بوته‌های نخود را که در انتهای انگشتی‌های V شکل کوتاه قرار داشتند، برابر با ۱۰mm بدست آوردند (Golpira et al., 2013). این اختلاف مشاهده شده (بین ۷mm این تحقیق و ۱۰mm تحقیق اشاره شده) به این دلیل است که در مکانیزم انگشتی‌های V شکل حفره‌دار، جدایی تمامی غلاف‌ها از بوته‌ها در داخل حفره‌های کوچک انتهای انگشتی‌ها اتفاق می‌افتاد، و کم بودن قطر این حفره‌ها می‌توانست باعث تراکم ساقه‌ها در این فضای کوچک و در نتیجه گرفتگی حفره، خم شدن ساقه‌ها به جلو و افزایش تلفات گردد. اما در مکانیزم استفاده شده در این تحقیق، جدایی غلاف‌ها از بوته‌ها در طول انگشتی‌های بلند اتفاق می‌افتد و پدیده تراکم بوته‌ها و خم شدن ساقه‌ها به سمت جلو اتفاق نخواهد افتاد.

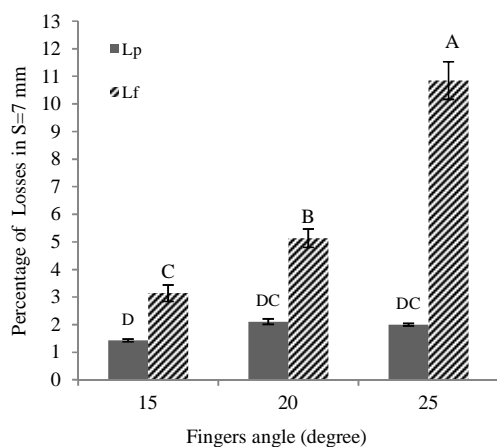
مطابق شکل ۵، کمترین مقدار تلفات L_F در فاصله انگشتی ۷mm ایجاد شده (در هر سه زاویه انگشتی) و با افزایش این فاصله به ۱۰mm مقدار تلفات به صورت معنی‌داری ($P < 0.1$) افزایش یافته است. زیرا افزایش فاصله انگشتی‌ها، اولاً باعث ریزش غلاف‌های کوچکتر از بین انگشتی‌ها روی زمین می‌گردد و ثانیاً با کاهش سطح تماس غلاف‌ها با انگشتی‌ها (کاهش اصطکاک) باعث غلتش راحت‌تر غلاف‌ها روی انگشتی‌ها و افزایش ریزش می‌گردد.

اثر متقابل زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S)

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل متغیرهای زاویه انگشتی و فاصله انگشتی روی یکدیگر، نسبت به تلفات نوع L_p معنی‌دار نیست (جدول ۴). روند تغییرات نمودارهای شکل ۴ نیز این نتیجه را تأیید می‌کند، چرا که با تغییر زاویه انگشتی نمودار تلفات L_p مربوط به هر دو فاصله انگشتی دارای الگوی تغییرات مشابهی هستند.

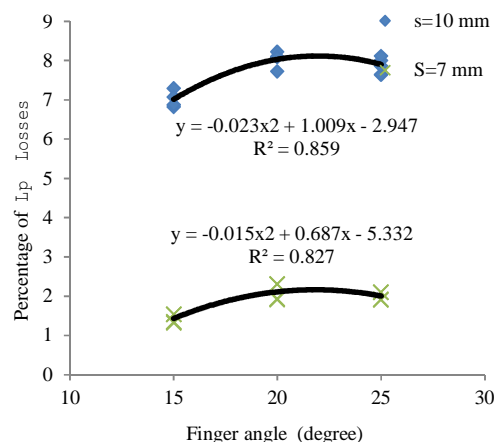
نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل متغیرهای زاویه انگشتی و فاصله انگشتی روی یکدیگر، نسبت به تلفات نوع L_F در سطح احتمال ۰.۵/ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۵). در شکل ۵ یکی از نمودارها منحنی درجه دو (مربوط به فاصله انگشتی ۷mm) و یکی از نمودارها تقریباً خطی (مربوط به فاصله انگشتی ۱۰mm) می‌باشد و این رفتار متفاوت تأیید کننده این اثر متقابل است. در فاصله انگشتی ۱۰mm، به علت سطح تماس کمتر مجموعه غلاف‌ها با انگشتی‌ها، اصطکاک مجموعه غلاف‌ها با مجموع سطح انگشتی‌ها کمتر بوده و در نتیجه زاویه غلتش مجموعه غلاف‌ها نیز کمتر از 20° و احتمالاً نزدیک به 15° خواهد بود. بنابراین وقتی زاویه انگشتی‌ها زیاد می‌شود (از 15° به 20°) مقدار تلفات ریزش زیاد می‌شود و وقتی زاویه باز هم زیادتر شود (از 20° به 25°)، افزایش تلفات ریزش با همان آهنگ قبلی ادامه پیدا می‌کند و نمودار به شکل خطی صعودی (شیب ثابت) در می‌آید. ولی در فاصله انگشتی ۷mm، به علت سطح تماس بیشتر مجموعه غلاف‌ها با انگشتی‌ها (نسبت به فاصله ۱۰mm)، اصطکاک مجموعه غلاف‌ها با مجموع سطح انگشتی‌ها بیشتر بوده و زاویه غلتش نیز نسبت به حالت

زاویه و فاصله انگشتی‌ها مقدار تلفات L_F به صورت معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از تلفات L_P می‌باشد و حتی با افزایش زاویه انگشتی این اختلاف افزایش یافته است ($P < 0.05$). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تلفات نوع L_F همواره بخش بزرگی از تلفات کل ($L_T = L_F + L_P$) را تشکیل می‌دهد و برای بهینه‌سازی دماغه، باید روی عوامل موثر در ایجاد این نوع از تلفات تمرکز کرد. همان‌طور که از بحث بررسی اثر فاصله انگشتی‌ها و زاویه انگشتی‌ها روی تلفات L_P و L_F نتیجه گرفته شد، تأثیر متغیر فاصله انگشتی روی تلفات L_P بیشتر از تلفات L_F است و تأثیر متغیر زاویه انگشتی روی تلفات L_F بیشتر از تلفات L_P است. بنابراین برای کاهش مقدار تلفات L_F می‌بایست زاویه انگشتی‌ها مورد توجه قرار گیرد. همچنین غلتش غلاف‌ها روی انگشتی‌ها، یکی از عوامل مهم ایجاد تلفات L_F است. اما این پدیده تنها عامل ایجاد کننده این نوع از تلفات نیست و نتیجه تحقیقات (Yavari, 2007; Golpira *et al.*, 2013) نشان داده است که ضربات وارده از دماغه به بوته، از عوامل مهم ایجاد تلفات L_F است. بنابراین در مجموع، راهکارهایی مانند افزایش اصطکاک غلاف‌ها با انگشتی‌ها (کاهش غلتش غلاف‌ها)، تغییر در وضعیت اتصال انگشتی‌ها به شاسی دماغه، بهینه کردن هندسه نوک و لبه‌ی انگشتی‌ها یا ایجاد تغییر در شکل سازه انگشتی‌ها (کاهش ضربه وارده بر بوته‌ها) می‌تواند جهت بهینه‌سازی دماغه و کاهش تلفات L_F مورد توجه قرار گیرد.

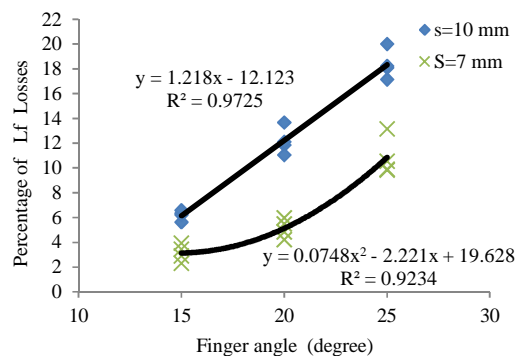


شکل ۶- مقایسه تلفات L_P و L_F در فاصله انگشتی ۷mm (حروف متفاوت به مفهوم اختلاف معنی‌دار ۵٪)

قبل (فاصله ۱۰mm) بیشتر بوده و به عدد 20° نزدیکتر است. در نتیجه با بیشتر شدن زاویه انگشتی‌ها (از 15° به 20°) ریزش با یک آهنگ خاصی افزایش پیدا می‌کند، ولی وقتی زاویه از 20° به 25° می‌رسد، و یا به عبارت دیگر از زاویه غلتش فراتر می‌رود، آهنگ افزایش ریزش تغییر کرده و بسیار بیشتر از حالت قبل (از 15° به 20°) می‌شود. این تغییر در آهنگ افزایش تلفات، نمودار را از حالت خطی خارج کرده و به شکل منحنی درجه دو در می‌آورد.



شکل ۴- اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) روی تلفات L_P

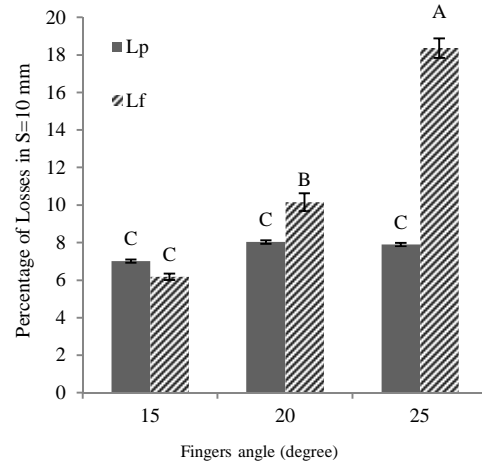


شکل ۵- اثر زاویه انگشتی‌ها (A) و فاصله انگشتی‌ها (S) روی تلفات L_F

تعیین مسیرهای بهینه‌سازی

در شکل ۶ مقدار تلفات L_P و L_F در سه زاویه 15° ، 20° و 25° (در فاصله انگشتی ۷mm) و در شکل ۷ مقدار تلفات L_P و L_F در سه زاویه 15° ، 20° و 25° (در فاصله انگشتی ۱۰mm) در کنار یکدیگر آورده شده است. همان‌طوری‌که در هر دو شکل مشاهده می‌گردد، در تمامی ترکیب‌های

کلوخه‌دار مزرعه) و درگیری بیشتر نوک انگشتی‌ها با خاک در زاویه 20° (در قسمت‌های ناهموار مزرعه) و در نتیجه ایجاد انباشتگی در جلوی دماغه، از نقاط ضعف این دماغه برای کار در مزارع کلوخه‌دار و ناهموار بود. در تمامی ترکیب‌بندی‌های دماغه مقدار تلفات L_F بیشتر از تلفات L_P بود، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که تحقیقات آینده روی پارامترها و راهکارهای موثر در کاهش تلفات L_F متمرکز گردد. برخی از این راهکارها می‌تواند شامل افزایش اصطکاک غلاف‌ها با انگشتی‌ها، تغییر در وضعیت اتصال انگشتی‌ها به دماغه و بهینه کردن هندسه نوک و لبه‌ی انگشتی‌ها باشد.



شکل ۷- مقایسه تلفات L_P و L_F در فاصله انگشتی 10mm (حروف متفاوت به مفهوم اختلاف معنی‌دار 5%)

منابع

- Ahmadi, K. Ebadzadeh, H. Abdshah, H. Kazemian, A. and Rafiei, M. 2018. Agricultural Statistics of Iran. Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, Iran, 1: 21-22. (In Farsi).
- Bansal, R. K. and Sakr, B. 1992. Development of a vertical conveyor reaper for harvesting chickpeas and lentils in Morocco. Applied Engineering In Agriculture, 8(4): 425-428.
- Behroozi-Lar, M. and Huang, B. K. 2002. Design and development of chickpea combine. Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America, 33(1): 35-38.
- Chakraverty, A. Mujumdar, A. S. Raghavan, G. S. V. and Ramaswamy, H. S. 2003. Hand book of postharvest technology cereals, fruits, vegetables, tea, and spices. Marcel Dekker Inc, New York.
- Diekmann, J. 2011. Personal communication. International Centre for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. 56 p.
- Golpira, H. 2013. Conceptual design of a chickpea harvesting header. Spanish Journal of Agricultural Research, 11(3): 635-641.
- Golpira, H. 2015. Redesign and evaluation of a chickpea harvester. Journal of Biosystems Engineering, 40(2):102-109.
- Golpira, H. and Golpîra, H. 2017. Soft simulator for redesigning of a chickpea harvester header. Computers and Electronics in Agriculture, 135: 252-259.
- Golpira, H. Tavakoli, T. and Baerdamaeker, J. D. 2013. The Design and development of a chickpea harvester. Spanish Journal of Agricultural Research, 11(4): 929-934.
- Golpira, H. Tavakoli, T. Khoshtagaza, M. H. and Minaei, S. 2009. Determining some mechanical properties of chickpea to use in

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دماغه مخصوص برداشت نخود پاکوتاه طراحی شده و عملکرد مزرعه‌ای آن در ترکیب‌بندی‌های مختلف زاویه انگشتی‌ها و فاصله انگشتی‌ها بررسی گردید. این دماغه مجهز به انگشتی‌های ثابت بلند می‌باشد، در نتیجه با مشکل تراکم بوته‌ها در بین انگشتی‌ها مواجه نمی‌شود و سرعت پیشروی آن می‌تواند بالا باشد. همچنین نیازی به استفاده از مکانیزم دوار چرخ و فلکی در آن نیست. ارزیابی‌ها نشان داد که ترکیب‌بندی‌های شماره یک (15° و 7mm) و شماره دو (20° و 7mm) دماغه به ترتیب با $47/5\%$ و $24/7\%$ ، کمترین مقدار تلفات کل (L_T) را ایجاد نموده‌اند. مقایسه این تلفات، با مقدار تلفات گزارش شده توسط Mostafavand & Kamgar (2013) در روش برداشت دستی ($13/6\%$) و تلفات گزارش شده توسط Haffar *et al.* (1991) و Siemens (2006) در روش برداشت با کمباین غلات (بیشتر از 25%) و همچنین تلفات گزارش شده توسط Golpira *et al.* (2013) در برداشت با دماغه مجهز به انگشتی‌های V شکل حفره‌دار و چرخ و فلک هدایت محصول ($16/4\%$) نشان دهنده کارایی بالای این مکانیزم برای برداشت نخود پا کوتاه است. همچنین مشاهده شد که درصد‌های تلفات ایجاد شده در این مکانیزم بسیار نزدیک به مقدار تلفات قابل قبول در برداشت مکانیزه نخود، یعنی عدد $5/5\%$ می‌باشد که توسط Chakraverty *et al.* (2003) پیشنهاد شده است. بالا آمدن کلوخه‌ها در زاویه دماغه 15° (در قسمت‌های

- the design of its harvesting machines. *Agricultural Science*, 19: 24-33. (In Farsi).
11. Haffar, L. Singh, K. B. and Birbari, W. 1991. Assessment of chickpea grain quality and losses in direct combine harvesting, *ASABE*, 34(1): 9-13.
 12. Hanna, H. M. and Quick, G. R. 2007. Grain harvesting machinery design. In: *Handbook of farm, dairy and food machinery* (Kutz M, ed). William Andrew Inc, Delmar, Y. pp. 93-111.
 13. Kalsirisilp, R. and Singh, G. 2001. Adoption of a stripper header for a Thaimade rice combine harvester. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 80:163-172.
 14. Kamgar, S. Noori Gushki, F. and Mostafavand, H. 2016. Field evaluation of cutter and feeder mechanism of chickpea harvester for lentil harvesting. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(2): 396-405. (In Farsi).
 15. Konak, M. Carman, K. and Aydin, C. 2002. Physical properties of chickpea seeds. *Biosystem Engineering*, 82(1): 73-78.
 16. Mardani, K. Modarres Motlagh, A. and Rostampour, V. 2016. Investigation of the effect of forward speed on the losses of iranian dwarf pea harvesting machine. *Mechanical sciences in agricultural machines*, 3(1): 12-19. (In Farsi).
 17. Mostafavand, H. and Kamgar, S. 2013. Comparison between feeder and cutter mechanism, conventionally combine and hand pulling method on chickpea harvest at different grain moisture contents. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(9): 2174-2178.
 18. Siemens, M. C. 2006. Effect of guard spacing, guard attachments and reel type on chickpea harvesting losses. *Applied Engineering In Agriculture*, 22(5): 651-657.
 19. Wilkins, D. E. Douglas, C. L. and Pikul, J. L. 2010. Header loss for Shelbourne Reynolds stripper header harvesting wheat. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 12(2): 159-162.
 20. Yavari, I. 2007. Legumes combine harvester. I. R. Patent, No. 28969. (In Farsi).

