

## طراحی، ساخت و آزمایش متمرکزکننده نمایی به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی محصولات کشاورزی

رسول معمار دستجردی<sup>۱</sup> - سعید مینایی<sup>۲\*</sup> - محمدهادی خوش تقاضا<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

### چکیده

آزمون فراصوتی یکی از روش‌هایی است که از آن می‌توان برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی استفاده کرد. تراگذرهای مورد استفاده در آزمون‌های غیر مخرب فراصوتی، صنعتی هستند و از آنجایی که محصولات کشاورزی تضعیف کننده‌ی شدید امواج فراصوتی می‌باشند، نمی‌توان از این تراگذرها در کشاورزی استفاده کرد و باید تغییراتی در آن‌ها ایجاد نمود. این کار با استفاده از هورن یا متمرکزکننده انجام می‌گیرد که وظیفه‌ی آن تمرکز انرژی در سطح کوچک و در فاصله‌ی معینی از تراگذر است. در این مقاله طراحی هورن نمایی با دو روش نظری و رایانه‌ای انجام شد و سپس ساخت و آزمایش آن برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی محصولات کشاورزی ارائه شد. بررسی‌های اولیه نشان داد که می‌توان با استفاده از روش رایانه‌ای هورن‌های بسیار پیچیده را با دقت بالایی طراحی کرد. در تحلیل تأثیر تعداد المان‌ها بر بسامد طبیعی هورن معلوم شد که در تعداد المان‌های کم، تحلیل با خطا همراه است و تا جایی که بسامد طبیعی هورن تقریباً ثابت شود باید تعداد المان‌ها را زیاد کرد که در این تحقیق تعداد المان لازم ۳۰۰ در نظر گرفته شد. همچنین مقایسه بین روش نظری و رایانه‌ای نشان داد که روش رایانه‌ای خطای بسیار کمی (کمتر از یک درصد) دارد و نیاز به حل معادلات بسیار پیچیده ندارد. طبق بررسی‌های آماری، اثر ضخامت محصول (سیب‌زمینی و هویج) بر سرعت امواج فراصوتی در کاوشگر دارای هورن معنی‌دار نبود. در حالی که در کاوشگر بدون هورن با تغییر ضخامت نمونه، سرعت به‌طور معنی‌داری تغییر کرد که مطلوب نیست. بنابراین می‌توان گفت که تراگذر دارای هورن برای انجام آزمون‌های فراصوتی مناسب‌تر است.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون غیرمخرب، طراحی رایانه‌ای، فراصوت، هورن نمایی

### مقدمه

پزشکی و صنعت، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های میوه مناسب نیستند؛ چون میوه‌ها دارای بافتی غیر همگن بوده و همچنین تضعیف کننده بسیار قوی امواج با بسامد بالا هستند. افزون بر آن اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوت در بسامدهای کم بسیار مشکل است. از این رو در برخی تحقیقات نیاز به برش میوه به‌طور یکنواخت برای تماس آن با سطح تراگذر<sup>۴</sup> است (Zaki Dizaji *et al.*, 2009). آزمون فراصوت در محدوده‌ی بسامدی ۲۰ kHz تا ۱۰۰ MHz صورت می‌گیرد. برای آزمون فلزات از بسامد ۵۰۰ kHz تا ۲۰ MHz استفاده می‌شود که این بازه برای محصولات کشاورزی مناسب نیست. تحقیقات نشان می‌دهد محدوده‌ی ۲۰ kHz تا ۱ MHz محدوده‌ای مناسب برای مواد کشاورزی می‌باشد (Sarker and Wolfe, 1983; Mizrach *et al.*, 1989; Kim *et al.*, 2004).

نخستین تلاش‌ها در دهه ۱۹۸۰ در این زمینه انجام گرفت که

در طی سال‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران جهان به تعیین کیفیت محصولات کشاورزی با روش‌های غیرمخرب معطوف شده است که محور اصلی تحقیقات پس از برداشت میوه‌ها و محصولات زراعی شده و حجم تحقیقات در این زمینه به‌صورت نمایی رو به‌افزایش است (Butz *et al.*, 2005). روش فراصوتی روشی است که به‌طور وسیعی در تحقیقات پزشکی و مواد مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است، اما پژوهش در زمینه بکارگیری آن برای تعیین رسیدگی و کیفیت محصولات کشاورزی بسیار اندک می‌باشد (Hedric *et al.*, 2005). بسیاری از تراگذرهای فراصوتی موفق در

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران  
(Email: minae@modares.ac.ir) \* نویسنده مسئول:

مدل‌های با هندسه پیچیده را امکان‌پذیر می‌سازد که با استفاده از روش حل دقیق غالباً غیر ممکن است. روش تجربی در طراحی هورن هنگامی به کار می‌رود که دستگاه فراصوت مورد استفاده قابلیت تنظیم و تولید بسامدها و توان‌های مختلف را داشته باشد. بسامد ارتعاش از آنالیز مودال و با استفاده از روش‌های لیزری و شتاب‌سنج قابل اندازه‌گیری است. مهم‌ترین مطلب در طراحی هورن، تعیین مود ارتعاشی (طولی، خمشی و پیچشی) است که هورن می‌خواهد در آن ارتعاش کند. افزون بر آن، بسامد طبیعی، اندازه بزرگترین قطر، طول، جنس و شکل پروفیل نیز باید در طراحی هورن در نظر گرفته شود. برای ارزیابی پارامترهای فراصوتی در روش عبوری مودهای طولی هورن مهم می‌باشند (Jullian, 1965). در حقیقت مود طولی هورن باید با بسامد مرکزی تراگذر یکسان باشد تا بتوان پس از نصب روی تراگذر موج فراصوتی را از خود عبور دهد. در این پژوهش ابتدا روش تحلیل المان محدود به‌عنوان روشی مناسب انتخاب گردید، سپس هورن نمایی با روش نظری طراحی شده و مودهای طولی آن با روش اجزاء محدود استخراج شد. همچنین پس از ساخت، آزمونی روی محصولات با کاوشگرهای دارای هورن و بدون هورن به‌منظور مقایسه آن‌ها در اندازه‌گیری زمان پرواز و سرعت امواج عبوری، انجام شد.

### انتخاب روش اجزاء محدود

برای اطمینان از درستی تحلیل‌ها در مورد شکل مودهای ارتعاشی، آنالیز مودال روی هورن ساخته شده توسط ژاو و همکاران انجام گرفت. این پژوهشگران برای یافتن مودهای ارتعاشی، از روش تجربی استفاده کردند (Zhou et al., 2002). آنها از هورن مخروطی با قطر ابتدایی 30 mm و قطر انتهایی 15 mm و طول 150 mm در تحقیقشان استفاده کردند. هورن مورد نظر بعد از مدل‌سازی، مش‌بندی شده و آنالیز مودال روی آن انجام گرفت. جنس هورن مطابق با مرجع یادشده، فولاد در نظر گرفته شد. ثابت‌های ماده عبارتند از: چگالی  $\rho = 7880 \text{ kgm}^{-3}$ ، مدول الاستیسیته  $E = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$  و ضریب پواسون 0/۳۳.

برای تحلیل مودال در این قسمت از نرم‌افزار المان محدود ANSYS12 استفاده شد. در هر تحلیل FEM، مراحل انتخاب المان، مدل‌سازی هندسی، تعریف خواص ماده، شبکه‌بندی، شرایط مرزی، انتخاب نوع تحلیل و انتخاب حل‌گر انجام می‌گیرد. برای پیدا کردن مودهای طولی می‌توان از مدل‌های دو بعدی و سه بعدی استفاده کرد که در پژوهش حاضر، هر دو مورد بررسی قرار گرفت. از المان SOLID 92 با شکل TETRA برای تحلیل مودال مدل سه بعدی و المان PLANE42 برای مدل دو بعدی به‌کار برده شد. همچنین حل‌گر Block Lanczos مورد استفاده قرار گرفت ANSYS User's

مشکلاتی در نفوذ امواج فراصوت در میوه و سبزی‌ها را آشکار ساخت (Porteous et al., 1981; Upchurch et al., 1987). در تحقیقات دیگری نشان داده شد که چنانچه از بسامدهای در محدوده‌ی نیم تا یک مگاهرتز برای سیب‌زمینی و سیب استفاده شود، تضعیف بسیار زیادی رخ می‌دهد (Sarker and Wolfe, 1983). میزراک و همکاران در سال ۱۹۸۹ ابزاری فراصوت با بسامد کم و توان بالا ساختند و از آن برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوت (ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوت) بخشی از بافت میوه‌ی آووکادو استفاده کردند (Mizrach et al., 1989). بر اساس گزارش‌های ذکی دیزجی و همکاران، مشخص شد که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بسیاری از میوه‌ها نیاز به‌برش زدن آن‌ها می‌باشد (Zaki Dizaji et al., 2009). بنابراین باید تراگذرهای نوع صنعتی موجود به‌گونه‌ای تغییر داده شود که قابلیت استفاده برای میوه‌ها به‌صورت غیرمخرب را داشته باشند.

واگرایی پرتو فراصوت باعث کاهش شدت صوت (انرژی بر واحد زمان) می‌گردد. همچنین با افزایش فاصله تراگذر، واگرایی پرتو افزایش می‌یابد. در حقیقت واگرایی باعث کاهش شدت پرتوهای انتقالی و انعکاسی می‌گردد. پرتو فراصوت را می‌توان متمرکز ساخت. این کار با تمرکز انرژی در سطح کوچک و در فاصله‌ی معینی از تراگذر انجام می‌گیرد. پرتو متمرکز شده در مقایسه با پرتو متمرکز نشده، قدرت تشخیصی بالاتری دارد. هورن یا متمرکزکننده، واسط بین تراگذر و جسم مورد نظر است. هورن‌ها در صنعت برای ماشین‌کاری با فراصوت به‌کار می‌روند و وظیفه‌ی آن‌ها افزایش دامنه‌ی ارتعاشات ابزار و تطابق مرتعش‌کننده با بار صوتی است. در پزشکی نیز از متمرکز ساختن برای بهبود تفکیک‌پذیری جانبی تراگذر استفاده می‌شود. این کار با استفاده از عدسی‌های صوتی میسر می‌گردد که کاری شبیه به‌عدسی‌های نوری انجام می‌دهند. عدسی‌های صوتی از پلی استیرن، نایلون یا آلومینیوم ساخته می‌شوند و در جلوی کریستال پیزوالکتریک نصب می‌گردند (Hedrick et al., 2005). در این مقاله طراحی هورن نمایی، ساخت و آزمایش آن برای اندازه‌گیری خواص فراصوتی محصولات کشاورزی مورد بحث قرار می‌گیرد.

## مواد و روش‌ها

### تحقیق نظری

به‌طور کلی برای طراحی هورن، سه روش حل تحلیلی دقیق، حل عددی و روش تجربی وجود دارد (Graham et al., 1999). در حل دقیق همانطور که از نام آن پیداست، به‌محاسبه‌ی دقیق پارامتری معادله دیفرانسیلی حاکم بر هورن پرداخته می‌شود. در حالی که در روش عددی، حل تقریبی و عددی این مسائل مورد نظر است. روش اجزاء محدود نیز یکی از روش‌های حل عددی می‌باشد که تحلیل

(Guide).

### تحلیل با مدل‌سازی سه بعدی

نتایج حاصل از آنالیز مودال در شکل ۱ نشان داده شده است. مقایسات انجام شده با نتایج ژاو و همکاران مشخص کرد که اولین مود طولی هورن مخروطی به‌صورت آزمایشگاهی ۱۸/۱ kHz بوده و با استفاده از روش المان محدود ۱۷/۵۱۷ kHz به‌دست آمد. می‌توان گفت، تطابق خوبی میان روند داده‌های تحلیل شده با استفاده از روش اجزای محدود با نتایج تجربی آن‌ها وجود دارد و حداکثر خطا ۶/۱ درصد است و تحلیل از لحاظ مود قابل اطمینان است.

### مدل‌سازی دو بعدی

برای مدل‌سازی دو بعدی همانطور که در شکل ۲ آمده است، مخروط مورد استفاده توسط ژاو و همکاران با استفاده از المان Plane42 مش‌بندی شد و سپس آنالیز مودال انجام گرفت. در این روش فقط می‌توان مودهای متقارن (طولی) را استخراج کرد. نتایج حاصل نشان داد که اولین مود طولی ۱۷/۵۲ kHz و دومین مود

طولی ۳۳/۷۶۹ kHz است. با توجه به شکل ۱ اولین مود طولی هورن مخروطی توسط ژاو و همکاران ۱۸/۱ kHz گزارش داده شده‌است که نشان می‌دهد، استفاده از این روش نیز در مقایسه با روش تجربی خطای کمی دارد و در مقایسه با مدل سه بعدی میزان محاسبات آن نیز کمتر است. با توجه به این که برای طراحی هورن مخصوص میوه نیاز به مود طولی است، در طراحی هورن مورد نظر از این روش استفاده شد.

### طراحی نظری هورن نمایی

برای هورن نمایی ناحیه تغییرات به‌صورت زیر است:

$$A_x = A_0 e^{-2\beta x} \quad (1)$$

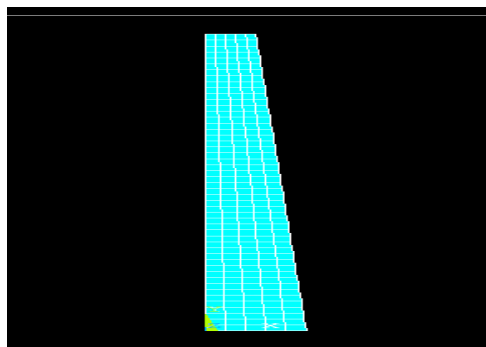
که در آن،  $A_0$ ،  $A_x$ ،  $\beta$  و  $x$  به ترتیب سطح مقطع هورن به فاصله‌ی  $x$  از سطح مقطع بزرگ، سطح مقطع بزرگ، فاصله‌ی مقطع مورد نظر از مقطع بزرگ در طول هورن و ثابت مخروطی شدن است. شکل ۳ نشان دهنده‌ی یک هورن نمایی است (Markov, 1966).

خمشی (kHz) Flexural	پیچشی (kHz) Torsional	طولی (kHz) Longitudinal
4.01	11.641	17.517
10.5	21.429	33.741
18.7	31.380	
28.2	41.553	
37		
48		
4.60		
11.2		
19.1		
28.8		
38.3		
49.1		

الف (a)

ب (b)

شکل ۱- فرکانس‌های طبیعی هورن مخروطی برای مودهای ارتعاشی مختلف، (الف) ژاو و همکاران، (ب) اجزاء محدود (پژوهش حاضر)  
**Fig. 1.** Conical horn Resonance frequencies for different vibrational modes, (a) Zhoe *et al.*, 2002, (b) finite element (This study)



شکل ۲- مش بندی هورن مخروطی با المان Plane42 (مخروط از دوران سطح فوق حول محور عمودی حاصل می‌شود).  
**Fig. 2.** Conical horn meshing with Plane42 (The cone is formed by rotation of this area around the vertical axis.)

$$\beta = \frac{\omega}{c} \left( \frac{\ln N}{\sqrt{\pi^2 + (\ln N)^2}} \right) \quad (6)$$

طول هورن  $l$  بر اساس نیم موج مقدار  $n$  برابر با یک یا تمام موج مقدار  $n$  برابر با دو از رابطه‌ی (۷) به دست می‌آید:

$$l = \frac{n}{2} \lambda \quad (7)$$

برای هورن نمایی مقدار  $l$  برابر است با:

$$l = \frac{nC}{2f} \sqrt{1 + \left( \frac{\ln N}{\pi} \right)^2} \quad (8)$$

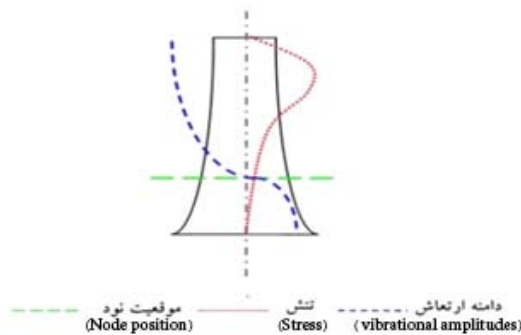
موقعیت گره ارتعاشی  $x_0$  عبارت است از:

$$u = 0 \Rightarrow x_0 = \frac{l}{\pi} \text{arc cot} \left( \frac{1}{\pi} \ln N \right) \quad (9)$$

معادله‌ی دامنه تنش در طول هورن مطابق رابطه‌ی (۱۱) می‌باشد:

$$\sigma = -Eu_0 e^{\beta x} \left( \frac{\beta^2 v_l}{\omega} + \frac{\omega}{v_l} \right) \sin \frac{\omega x}{v_l} \quad (10)$$

شکل ۴ تغییرات دامنه‌ی ارتعاش، دامنه‌ی تنش و موقعیت گره ارتعاشی در طول هورن با مقطع دایره‌ای به طول  $l$  را نشان می‌دهد.



شکل ۴- موقعیت گره، پروفیل تنش، و دامنه ارتعاش در هورن نمایی

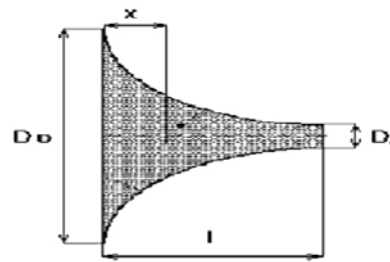
Fig. 4. Node position, stress profile, and vibrational amplitudes in the exponential horn

#### محاسبه ابعاد هورن طراحی شده برای تراگذر

هنگامی که یک موج از محیطی به محیط دیگر می‌رود، مقداری از آن گذر می‌کند، مقداری بازتابیده می‌شود و مقداری نیز جذب می‌گردد. ارتباط میان موج اولیه و موج برگشتی از معادله‌ی (۱۱) به دست می‌آید (Subramanian, 2006).

$$E_r = E_i \left[ \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right]^2 \quad (11)$$

در اینجا،  $E_r$ ، انرژی پرتو برگشتی،  $E_i$ ، انرژی پرتو اولیه،  $\rho_1$  و  $\rho_2$  به ترتیب چگالی محیط اول و دوم و  $c_1$  و  $c_2$  به ترتیب



شکل ۳- طرحواره هورن نمایی

Fig. 3. Schematic of exponential horn

بر اساس معادله‌ی حاکم بر میله‌های غیر یکنواخت می‌توان نوشت (Merkulov, 1957):

$$\frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dx} \frac{du}{dx} + k^2 u = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dA}{dx} = -2\beta A_0 \exp(-2\beta x) = -2\beta A$$

حل کلی معادله‌ی بالا با در نظر گرفتن شرایط مرزی به صورت

زیر است:

$$u = u_0 \left( \cos \frac{\omega x}{v_l} - \beta \frac{v}{\omega} \sin \frac{\omega x}{v_l} \right) e^{\beta x} \quad (3)$$

که در آن:

$$v_l = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\beta^2 c^2}{\omega^2}}} \quad (4)$$

در رابطه ۴:

$c$ : سرعت صوت در ماده‌ی بینهایت

$v_l$ : سرعت معادل انتشار صوت در هورن

وبستر در بررسی معادلات هورن نمایی به این نتیجه رسید که هنگامی که تغییر سطح مقطع ناگهانی نباشد انرژی صوتی به سمت تراگذر منعکس نشده و در سر هورن متمرکز می‌شود ولی اگر تغییر سطح مقطع ناگهانی باشد موج‌های فراصوتی به سمت تراگذر بر می‌گردند و باعث افت انرژی (افزایش دمای تراگذر) و در نتیجه کاهش سرعت ارتعاش سر هورن می‌گردد (Webster, 1919). بنابراین در طراحی هورن باید از تغییر ناگهانی سطح جلوگیری به عمل

آید و رابطه  $\beta < \frac{\omega}{c}$  باید برای ضریب مخروطی شدن برقرار باشد.

ضریب تقویت هورن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N = \sqrt{\frac{A_0}{A_1}} \quad (5)$$

اگر مقدار ضریب تقویت ( $N$ )، بسامد ارتعاشات ( $f$ )، و سرعت صوت در ماده ( $c$ ) معلوم باشد، آنگاه از رابطه‌ی (۶) به دست می‌آید:

یک جفت تراگذر ۷۵ kHz در حالت بدون هورن و دارای هورن به‌عنوان فرستنده و گیرنده امواج فراصوت استفاده شد. کاوشگرها روی سامانه نگهدارنده‌ای سوار شدند که به آن‌ها امکان حرکت افقی، عمودی و زاویه‌دار را می‌داد (شکل ۶). داده‌های خروجی با برنامه نوشته شده در محیط MATLAB 2008 تحلیل و پارامترهای سرعت و زمان عبور سیگنال از محیط (زمان پرواز<sup>۱</sup>) استخراج شد. در آزمایش نخست هورن‌ها در محیط هوا روبروی یکدیگر قرار داده شدند و شکل سیگنال‌ها بررسی شد. همچنین آزمایش دیگری به‌منظور بررسی اثر ضخامت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ میلی‌متر) بر سرعت امواج فراصوت و زمان پرواز در دو محیط سیب‌زمینی و هویج در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام گرفت. برای بررسی رابطه‌ی بین زمان پرواز و ضخامت از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. این آزمایش برای دو نوع تراگذر دارای هورن و بدون هورن به‌طور جداگانه انجام شد.

از سیگنال‌های ارسالی و دریافتی به‌منظور استخراج زمان پرواز و از رابطه‌ی (۱۲) برای محاسبه سرعت استفاده گردید:

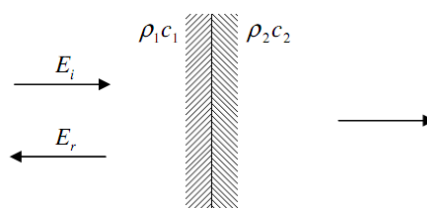
$$v = \frac{L}{TOF} \quad (12)$$

که در آن،  $v$ ، سرعت امواج فراصوت در میوه ( $m s^{-1}$ )،  $L$ ، ضخامت میوه (mm) و TOF، زمان پرواز امواج فراصوت (ms) می‌باشند (Rose, 2004).

## نتایج و بحث

برای اطمینان از اینکه هورن طراحی شده در بسامد مرکزی ۷۵ kHz دارای مود طولی است، از نرم‌افزار ANSYS12 کمک گرفته شد. همان‌گونه که گفته شد به‌دلیل شکل متقارن هورن، مدل‌سازی دو بعدی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی تأثیر تعداد المان بر جواب‌ها تعداد المان‌ها از ۵ تا ۶۰۰ انتخاب شد و با هریک از آن‌ها آنالیز انجام گرفت (شکل ۷). همان‌طور که در شکل نشان داده شده است با افزایش تعداد المان‌ها از ۳۰۰ به‌بالا تغییر چندانی در مود طولی مشاهده نمی‌شود. بنابراین تحلیل‌های بعدی برای کاهش حجم محاسبات با تعداد المان ۳۰۰ اجرا شد.

سرعت فراصوت در محیط اول و دوم می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- بازگشت موج با تغییر محیط

Fig. 5. Wave return with medium change

برای انجام آزمایشات از تراگذر با بسامد مرکزی ۷۵ kHz ساخت شرکت Airmar استفاده شد. قطر ابتدایی هورن یعنی جایی که به‌تراگذر وصل می‌شود، بایستی از قطر تراگذر، بزرگتر و یا با آن مساوی باشد تا هوا با انتهای تراگذر در تماس نباشد. زیرا در همان قسمتی که هوا با تراگذر در تماس است تمام موج باز می‌گردد و انرژی فراصوتی تبدیل به‌گرما شده و هدر می‌رود. از طرفی قطر بزرگ هورن باید کمتر یا مساوی با  $\frac{\lambda}{4}$  باشد تا ارتعاشات جانبی زیاد نشود (Markov, 1966). با توجه به‌اینکه تراگذر انتخابی دارای قطر ۳۸ mm است، قطر اولیه هورن باید از آن بزرگتر باشد. بنابراین بزرگترین قطر هورن ۴۰ mm در نظر گرفته شد. همچنین برای تماس بهتر هورن با میوه، قطر کوچک هورن ۵ mm در نظر گرفته شد. جنس متمرکزکننده از آلومینیوم در نظر گرفته شد که ویژگی‌های آن در جدول ۱ آمده است.

با استفاده از روابط (۱)، (۵)، (۶) و (۸) خواهیم داشت:

$$N = \frac{40}{5} = 8$$

$$\beta = \frac{\omega}{c} \left( \frac{\ln N}{\sqrt{\pi^2 + (\ln N)^2}} \right) = \beta = \frac{2\pi \times 75000}{5134} \left( \frac{\ln 8}{\sqrt{\pi^2 + (\ln 8)^2}} \right) = 50.6617$$

$$l = \frac{\pi c}{2f} \sqrt{1 + \left( \frac{\ln N}{\pi} \right)^2} = \frac{5134}{2 \times 75000} \sqrt{1 + \left( \frac{\ln 8}{\pi} \right)^2} = 0.0411$$

$$A_x = A_0 e^{-2\beta x} \Rightarrow A_x = 125.66 \times 10^{-2} e^{-101.32x}$$

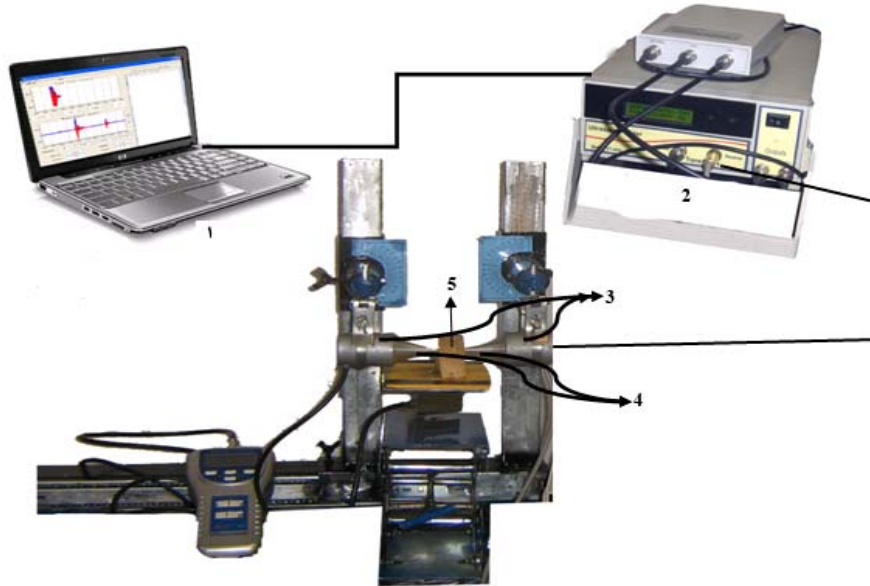
## تجهیزات و آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا دستگاه فرستنده و گیرنده امواج فراصوتی در دانشگاه تربیت مدرس تهران (سال ۱۳۹۰) ساخته شد. از

جدول ۱- مشخصات ماده استفاده شده برای ساخت هورن

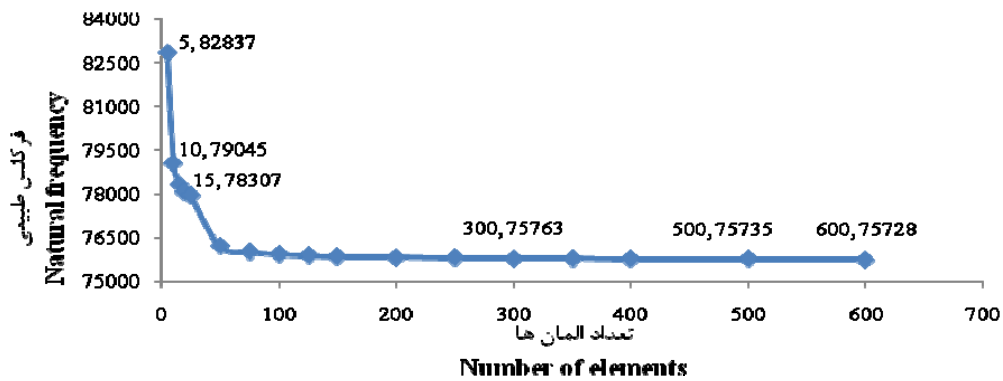
Table 1. Properties of the material used for fabricating the horn				
E (Pa)	$\rho$ ( $kg m^{-3}$ )	c ( $m s^{-1}$ )	$\lambda$ (m)	جنس (Material)
$7.3 \times 10^{10}$	2770	5133.594	0.275	آلومینیوم (Aluminum)

۱- زمان پرواز، زمانی است که پالس فراصوت از یک طرف میوه به طرف دیگر آن انتقال می‌یابد.



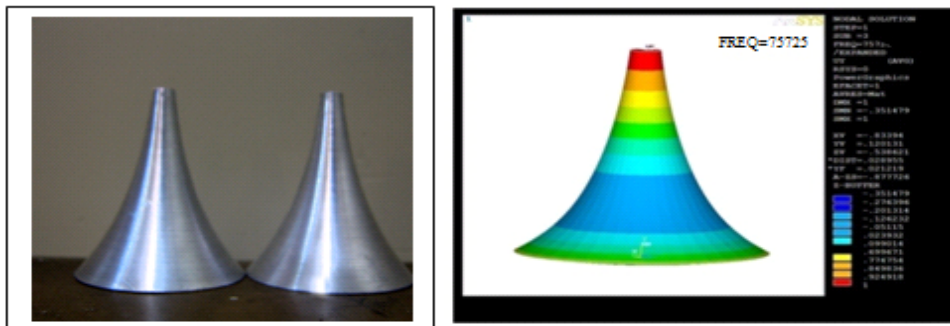
شکل ۶- سامانه اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی میوه (۱- رایانه، ۲- فرستنده و گیرنده امواج فراصوت، ۳- تراگذر، ۴- هورن، ۵- سیب زمینی)

Fig. 6. Ultrasonic system for measurement of fruit properties (1- Computer, 2- Ultrasonic pulser- receiver, 3- Transducer, 4- Horn, 5- Potato)



شکل ۷- تأثیر تعداد المان بر بسامد طبیعی هورن

Fig. 7. Effect of number of elements on the natural frequency of the horn



ب (b)

الف (a)

شکل ۸- (الف) مود طولی هورن نمایی، (ب) هورن ساخته شده

Fig. 8. (a) Longitudinal mode of the exponential horn, (b) The actual machined horn

یعنی در این حالت تمام موج بر می‌گردد و هیچ موجی وارد هوا نمی‌شود. با قرار دادن محیطی چگال (مانند هویج بین کاوشگرها سیگنال دریافتی به‌خوبی قابل مشاهده بود (شکل ۹).

### آزمون دوم: بررسی اثر ضخامت بر سرعت امواج فراصوت و زمان پرواز در حالت دارای هورن و بدون هورن

مطابق رابطه‌ی ۱۳، انتظار آن است که با تغییر ضخامت نمونه، سرعت امواج فراصوت در محیط تغییر نکند ولی زمان پرواز افزایش یابد. نتایج نشان داد که در کاوشگر دارای هورن بین ضخامت‌های مختلف از نظر سرعت امواج فراصوتی در دو محیط سیب‌زمینی و هویج اختلاف غیرمعنی‌دار ( $P < 0.01$ ) بود (شکل ۱۰ و جدول ۳). همچنین مشخص شد که در کاوشگر دارای هورن برای هر دو محصول با افزایش ضخامت، زمان پرواز به‌طور خطی افزایش می‌یابد و همبستگی خوبی ( $R^2 = 0.996$ ) بین ضخامت نمونه و زمان پرواز وجود دارد. این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی خوبی داشت. محققین طی آزمایش‌هایی روی سیب، هلو و سیب زمینی دریافتند که با افزایش ضخامت نمونه، زمان پرواز به‌طور خطی افزایش یافته و سرعت امواج تغییر چندانی نمی‌کند (Kim et al., 2004, Zaki Dizaji et al., 2009).

پس از انجام آنالیز مشخص شد که نخستین مود طولی هورن طراحی شده  $75/6$  kHz است که خطای حدود  $0/8$  درصد را نشان می‌دهد (شکل‌های ۷ و ۸). در حقیقت می‌توان گفت این روش، روشی مناسب برای هورن‌های با شکل پیچیده است و با استفاده از آن می‌توان انواع مودهای هورن را استخراج نمود که کاربردهای مختلفی دارند. بعد از طراحی، هورن مورد نظر ساخته و با استفاده از چسب روی تراگذر نصب و نتایج آن با حالت بدون هورن مقایسه شد (شکل ۸).

### آزمون نخست: بررسی تراگذر بدون هورن و دارای هورن در محیط هوا

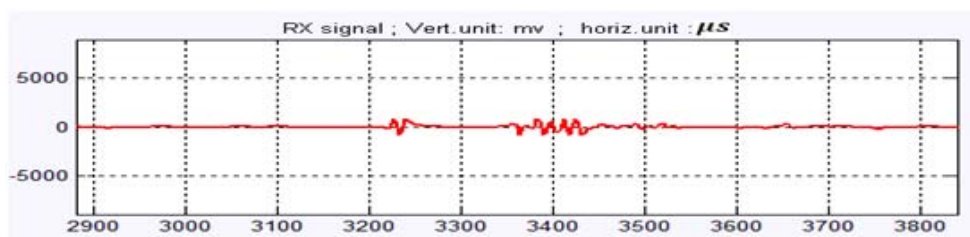
در این آزمون هورن‌های فرستنده و گیرنده در هوا روبروی یکدیگر قرار داده شدند. مشخص شد که سیگنال بسیار ضعیفی از هوا عبور می‌کند و با افزایش فاصله (تا  $2$  mm) سیگنالی مشاهده نشد. علت این امر اختلاف چگالی و سرعت امواج فراصوتی در آلومینیوم و هوا می‌باشد (جدول ۲). همانطور که پیش‌تر گفته شد با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) نسبت انرژی‌های رفتی و برگشتی به‌دست می‌آید.

$$E_r = E_i \left[ \frac{2770 \times 5134 - 334 \times 1.285}{2770 \times 5134 + 334 \times 1.285} \right]^2 \Rightarrow \frac{E_r}{E_i} \cong 1$$

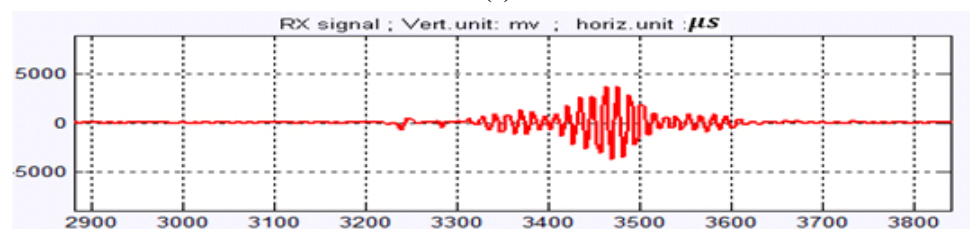
جدول ۲- خصوصیات فراصوتی آلومینیوم و هوا

Table 2. Ultrasonic properties of air and aluminum

چگالی ( $\text{kg m}^{-3}$ ) (Density)	سرعت امواج فراصوت ( $\text{m s}^{-1}$ ) (Velocity of ultrasonic wave)	محیط (Medium)
2770	5134	آلومینیوم (Aluminum)
1.285	334	هوا (Air)



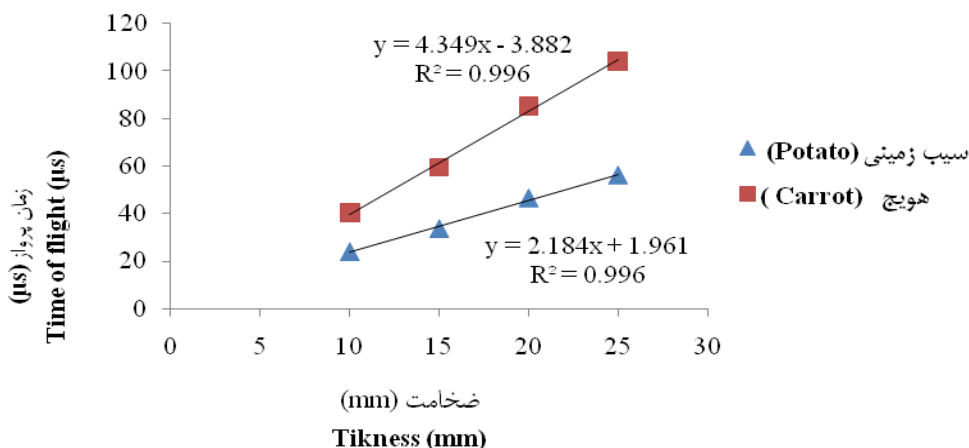
(a) الف



(b) ب

شکل ۹- سیگنال‌های عبور کرده از محیط (الف) هوا، (ب) هویج

Fig. 9. Signals transmitted through (a) Air, (b) Carrot sample



شکل ۱۰- رابطه بین ضخامت و زمان پرواز در تراگذر دارای هورن

Fig. 10. Relationship between sample thickness and time of flight using transducer with horn

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر ضخامت بر سرعت امواج فراصوت و زمان پرواز در حالت دارای هورن

Table 3. Anova table for the effect of thickness on ultrasonic velocity and time of flight in transducer with horn

(Mean of squares) میانگین مربعات				منابع تغییرات (Source of variation)
هویج (Carrot)		سیب زمینی (Potato)		
زمان پرواز (Time of flight)	سرعت امواج فراصوتی (Ultrasonic velocity)	زمان پرواز (Time of flight)	سرعت امواج فراصوتی (Ultrasonic velocity)	
33329.385**	11.335 <sup>ns</sup>	1058.83**	274.448 <sup>ns</sup>	بین گروه‌ها (Between groups)
0.296	6.722	0.584	100.265	داخل گروه‌ها (Within groups)

ns و \*\*، به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns and \*\*, non-significant and significant at 0.01 level, respectively

با توجه به این آزمایش می توان گفت حتی در آزمون های مخرب فراصوتی که برای عبور سیگنال از محصول نیاز به برش آن و تهیه نمونه می باشد، تراگذر دارای هورن بسیار مناسب تر است، چون علاوه بر سطح مقطع کمتر که امکان تهیه نمونه های بسیار کوچک و با قطر ۵mm را می دهد، ویژگی های فراصوتی را با دقت بیشتری اندازه گیری می کند. در تراگذر بدون هورن تهیه نمونه ها با قطر زیاد (برای مثال ۴۰mm در این تحقیق) و بافت یکسان از محصول ساده نیست، مانند هویج که در مرکز دارای بافت خشبی است و جداسازی سیگنال عبوری از قسمت گوشتی و مرکز مشکل است. ولی در تراگذر دارای هورن در هر نقطه از محصول می توان آزمون فراصوتی را انجام داد.

در کاوشگر بدون هورن، نتایج حاکی از اختلاف معنی دار ( $P < 0.01$ ) بین ضخامت های مختلف از نظر سرعت امواج فراصوت بود (جدول ۴). در نتیجه به جای آن که سرعت تقریباً ثابت بماند، مطابق شکل ۱۱ با افزایش ضخامت، سرعت روند صعودی داشت. از طرفی با تغییر ضخامت، تغییرات زمان پرواز نیز مطلوب نبود. یعنی در همه نمونه ها مطابق انتظار با افزایش ضخامت نمونه، زمان افزایش نیافت (شکل ۱۲). در حقیقت در نمونه های کم ضخامت، استفاده از تراگذر بدون هورن همراه با خطا بوده و پراکندگی داده ها زیاد است، که علت آن اغتشاشات امواج منتشره در جلوی تراگذر فرستنده (ناحیه مرده درون ناحیه ی نزدیک) است. می توان گفت هورن مانند یک لایه تأخیرانداز عمل نموده و اغتشاشات را فیلتر کرده است (Mizrach et al., 1989).

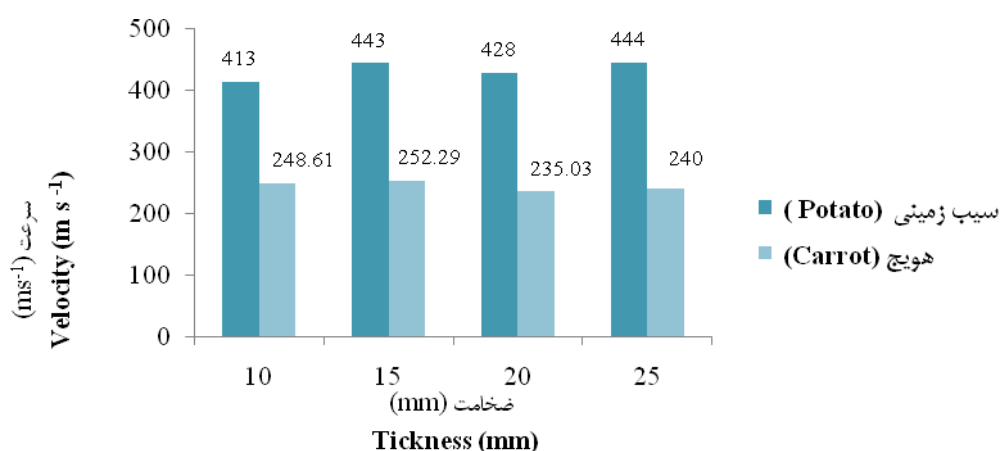


جدول ۴- تجزیه واریانس اثر ضخامت بر سرعت امواج فراصوت و زمان پرواز در حالت بدون هورن

**Table 4.** Anova table for the effect of thickness on ultrasonic velocity and time of flight in transducer without horn  
(Mean of squares) میانگین مربعات

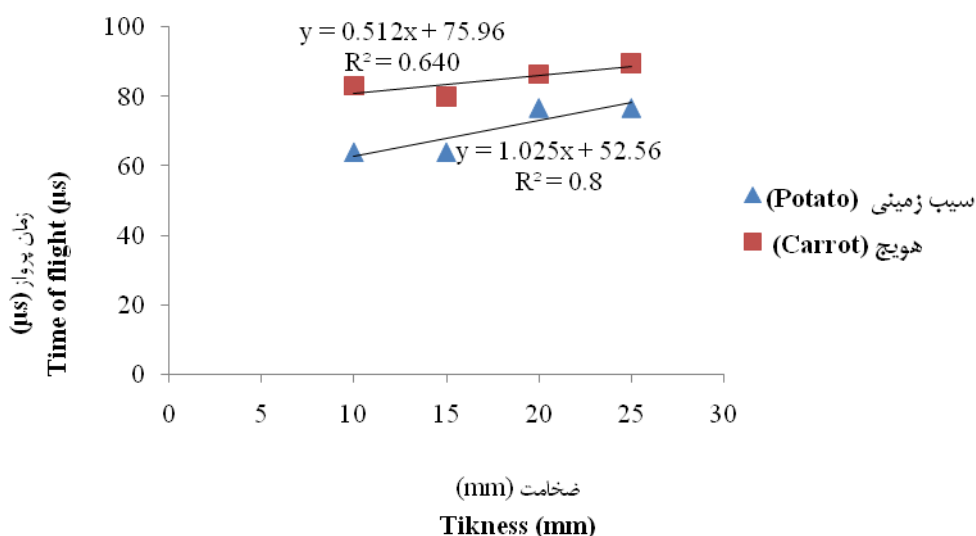
هویج (Carrot)		سیب زمینی (Potato)		منابع تغییرات (Source of variation)
زمان پرواز (Time of flight)	سرعت امواج فراصوتی (Ultrasonic velocity)	زمان پرواز (Time of flight)	سرعت امواج فراصوتی (Ultrasonic velocity)	
86.104**	22718.204**	275.29**	23878.24**	بین گروه‌ها (Between groups)
0.71	2.662	0.278	518.24	داخل گروه‌ها (Within groups)

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱  
\*\*, significant at 0.01 level



شکل ۱۱- سرعت امواج عبوری در ضخامت‌های مختلف در حالت بدون هورن

Fig. 13. Effect of sample thickness on signal velocity using transducer without horn



شکل ۱۲- رابطه بین ضخامت و زمان پرواز در تراگذر بدون هورن

Fig. 12. Relationship between sample thickness and time of flight using transducer without horn

## نتیجه‌گیری کلی

داد که در کاوش‌گر دارای هورن بین ضخامت‌های مختلف از نظر سرعت امواج فراصوتی در دو محیط سیب‌زمینی و هویج اختلاف غیرمعنی‌دار ( $P < 0.01$ ) و در کاوشگر بدون هورن این اختلاف معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر در کاوش‌گر دارای هورن در ضخامت‌های مختلف سرعت امواج ثابت است در حالی که در کاوشگر بدون هورن با تغییر ضخامت نمونه، سرعت تغییر می‌کند که مطلوب نیست. بنابراین می‌توان گفت تراگذر دارای هورن برای انجام آزمون‌های فراصوتی مناسب‌تر است.

با توجه به تحقیق انجام شده مشخص شد که با استفاده از روش رایانه‌ای می‌توان هورن‌های بسیار پیچیده را با دقت بالایی طراحی کرد. در تحلیل تأثیر تعداد المان بر بسامد طبیعی معلوم شد که در تعداد کم المان، تحلیل با خطا همراه است و تا جایی که بسامد طبیعی هورن تقریباً ثابت شود باید تعداد المان را زیاد کرد که در این تحقیق تعداد المان لازم ۳۰۰ بود. همچنین مقایسه بین روش نظری و رایانه‌ای نشان داد که روش رایانه‌ای خطای بسیار کمی (کمتر از یک درصد) داشته و نیاز به حل معادلات بسیار پیچیده ندارد. نتایج نشان

## منابع

1. Butz, P., C. Hofmann, and B. Tauscher. 2005. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. *Journal of Food Science*. 70 (9): 131-141.
2. Graham, G., J. N. Petzing, and M. Lucas. 1999. Modal analysis of ultrasonic block horns by ESPI. *Ultrasonics*, 37(2): 149-157.
3. Hedrick, R., L. Hykes, and E. Strachman. 2005. *Ultrasound physics and instrumentation*. Fourth edition. Elsevier Mosby.
4. Jullian, R. 1965. *Ultrasonic engineering*, John Willy and Sons inc, USA.
5. Kim, K. B., H. M. Jung, M. S. Kim, and G. S. Kim. 2004. Evaluation of fruit firmness by ultrasonic measurement. *Advances in Nondestructive Evaluation*, Pt 1-3. Key Engineering Materials, 270-273. Trans Tech Publications Ltd., Zurich-Uetikon. 1049-1054.
6. Markov, A. 1966. *Ultrasonic machining of intractable materials*. Iliffe Books Ltd.
7. Merkulov, L. G. 1957. Design of Ultrasonic Concentrations, *Soviet Physical Acoustics*, 3: 230-238
8. Mizrach, A., U. Flitsanov, M. Akerman, and G. Zauberman. 2000. Monitoring avocado softening in low-temperature storage using ultrasonic measurements. *Comput. Electron. Agric.* 26: 199-207.
9. Mizrach, A., U., Flitsanov, R. El-Batsri, and C. Degani. 1999. Determination of avocado maturity by ultrasonic attenuation measurements. *Sci. Hortic.* 80:73-180.
10. Mizrach, A., N., Galili, G., Rosenhouse. 1989. Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. *Trans. ASAE* 32: 2053-2058.
11. Porteous, R. L., A. Y. Muir, R. L. Wastie. 1981. The identification of diseases and defect in potato tubers from measurements of spectral reflectance. *J. Agric. Eng. Res.* 26: 151-160.
12. Rose, J. L. 2004. *Ultrasonic Waves in Solid Media*. Cambridge university press. Cambridge. K.454.
13. Sarker, N., and R. R. Wolfe. 1983. Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation. *Trans. ASAE* 26: 624-629.
14. Subramanian, C.V. 2006. *Practical Ultrasonic*, Alpha science international Ltd, Oxford, UK.
15. Upchurch, B. L., G. E. Miles, R. L. Strohshine, E. S. Furgason, F. H. Emerson. 1987. Ultrasonic measurement for detecting apple bruises. *Trans. ASAE* 30:803-809.
16. Webster, A. G. 1919. Acoustical impedance, and the theory of horns and of the phonograph, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 5 (1919), pp. 275-282; reprinted in *J. Audio Engineering Soc.*, 25(1977): 24-28.
17. Zaki Dizaji, H., S. Minaei, M. Mokhtary, and T. Tavakkoli Hashtjin. 2009. Development of an ultrasonic device for investigation of agricultural product quality. 6<sup>th</sup> International Postharvest Symposium. Antalya. Turkey.
18. Zhou G. P, Y. H, and B. F. Zhang Zhang. 2002. The complex-mode vibration of ultrasonic vibration systems. *Ultrasonics* 40: 907-911.

## بهینه سازی و تحلیل یک اهرم بندی ل- شکل خط مستقیم برای طراحی گاوآهن بشقابی دوطرفه

سید ایمان ساعدی<sup>۱\*</sup> - محمدحسین آق خانی<sup>۲</sup> - عبدالعلی فرزاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲۳

### چکیده

گاوآهن بشقابی یکی از ادوات مهم خاکورزی اولیه می باشد که بکارگیری نوع دوطرفه آن بخاطر امکان انجام شخم با الگوی پیوسته موجب صرفه جویی در وقت و هزینه و افزایش بازده فرایندهای زراعی بعدی می گردد. در این مقاله یک اهرم بندی چهار میله ای ل شکل خط مستقیم (مکانیزم دانیل) برای تبدیل گاوآهن بشقابی یکطرفه به دوطرفه استفاده گردید. در این تبدیل، طراحی مکانیزم جابجایی شاسی حامل بشقاب ها و نیز چرخ شیار عقبی در راستای افق به میزان مناسب و تثبیت حرکت گاوآهن به هنگام کار در خاک در کنار ایجاد قابلیت های جدیدی مثل مکانیزم تغییر زاویه تمایل طولی بشقاب ها و وضعیت ترابری لحاظ گردیده است. مقادیر مناسب جابجایی شاسی حامل بشقاب ها با تحلیل ابعادی مکانیزم دانیل و بدست آوردن یک رابطه ریاضی صورت پذیرفت. برای تأمین حرکت مناسب چرخ شیار عقبی یک رابط به اهرم بندی موجود اضافه گردید. مکانیزم پنج رابطی حاصل سپس از لحاظ حرکتی و نیرویی تحلیل شد و نمودارهایی برای تحلیل های مذکور ترسیم گردید. گاوآهن جدید به سبب طراحی ساده و دارا بودن حداقل قطعات مکانیکی کمکی خصوصیات شاخصی مثل کاربری آسان، هزینه ساخت پایین، حداقل نیاز به سرویس و نگهداری و امکان اجرا بر روی گاوآهن های بشقابی یک طرفه موجود را خواهد داشت که این مزایا می تواند سبب افزایش اقبال کشاورزان در استفاده از گاوآهن دوطرفه گردد. در این مقاله مدل سازی و تحلیل مکانیزم به کمک نرم افزار CATIA صورت پذیرفته است.

واژه های کلیدی: بهینه سازی مکانیزم، تحلیل حرکتی، تحلیل نیرویی، گاوآهن بشقابی دوطرفه، مکانیزم دانیل

### مقدمه

می باشد مانند گاوآهن بشقابی موتورگرد یکطرفه (Azadbakht, 1998) و هرس بشقابی دوار (Aghkhani, 1995) که مزایایی از قبیل کاهش توان کششی، کاهش سرخوردگی چرخ های تراکتور، بهبود کیفیت خاکورزی، و غیره را ارائه می دهند. رویکرد دیگر بهینه سازی عملکرد گاوآهنهای بشقابی استفاده از نوع دوطرفه آنها می باشد. این نوع گاوآهنها با داشتن تنها یک سری خیش بشقابی که به موازات افق تغییر جهت می دهند از حالت چپ ریز به راست ریز و بالعکس تبدیل می شوند. از این رو به سبب ایجاد حداقل ناهمواری ها در زمین و حداقل نیاز به ادوات خاکورزی بعدی، موجب صرفه جویی در وقت و هزینه، افزایش راندمان آبیاری، حفظ ساختمان خاک و غیره خواهند شد.

مکانیزمهای متنوعی برای تغییر جهت خاکورز از حالت چپ ریز به راست ریز در گاوآهنهای دو طرفه (با گردش افقی) بررسی و ارائه شده است. فاتحی یک مکانیزم و سیستم هیدرولیکی چرخاننده برای گاوآهن دوطرفه مرکب (بشقابی و قلمی) طراحی کرد (Fatehi, 2009). در تحقیقی دیگر کیانمهر و همکاران یک گاوآهن دوطرفه سه خیش با خیش مستطیلی را ساخته و ارزیابی نمودند (Kianmehr, et al., 2005). اما متداول ترین مکانیزم توسط ویلیام و همکاران (William et al., 1980) ارائه شده است. در این طرح

یکی از زمینه های ماشین های کشاورزی عملیات خاکورزی است که هدف نهایی آن تهیه بستر مناسب برای انجام فرایندهای زراعی بعدی می باشد. از آنجا که بیشترین هزینه تولید محصولات زراعی مربوط به عملیات خاکورزی است، از این رو بهینه سازی عملکرد ادوات مربوطه، از جمله ابزارهای بشقابی که در زمره ی مهمترین ماشین های خاکورزی اولیه می باشند، می تواند نقش اساسی در کاهش هزینه های تولید داشته باشد.

پژوهشهای فراوانی بر روی عملکرد ادوات بشقابی صورت گرفته است که بخشی از آنها معطوف به بررسی نیروهای وارد بر بشقابها در شرایط کاری متفاوت و نیز شرایط مختلف خاک می باشند (Abu-Hamdeh, 2003; Arvidsson et al., 2004; Hettiaratchi, 1997; Godwin et al., 1985; Hann et al., 1998; O'Dogherty et al., 1996). بخش دیگری از این پژوهشها تغییر در طراحی ادوات بشقابی برای بهبود عملکرد در هنگام شخم را شامل می گردد. از جمله این روشها به کارگیری انواع دوار

۱- مربی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود

(Email: i\_saedi@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

۲ و ۳- دانشیاران دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مکانیزم چهار رابطی  $\lambda$  شکل خط مستقیم دانیل انتخاب گردید (شکل ۱). این مکانیزم یک اهرم بندی ایجاد کننده حرکت مستقیم الخط بدون استفاده از کشویی و راهنما است که توسط جیمز - آ - دانیل جونیور<sup>۱</sup> اختراع شد. این نوع اهرم بندی ها با حداقل مقدار اصطکاک به وجود آمده در لولاها، در بسیاری از ماشین آلات، جایگزین قطعات لغزشی و غلتشی که نیازمند راهنماها و کشویی ها هستند، شده اند (Shirkhorshidian, 2002). این مکانیزم با داشتن ویژگی های مفید و مطلوب، نیازهای طراحی را مرتفع ساخته است.

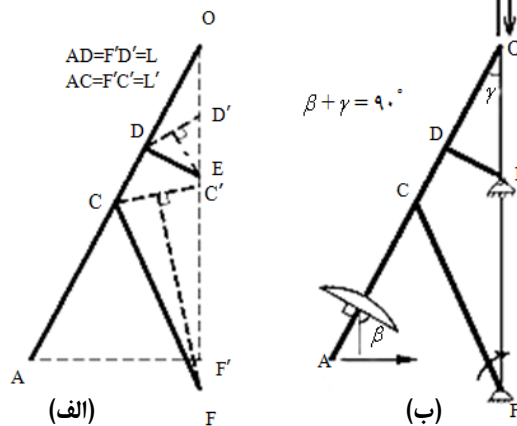
در این مکانیزم (شکل ۱ ب) رابط FE رابط زمین است و AO در امتداد یافته رابط واصل CD می باشد. بدین ترتیب برای حرکت این رابط، بازوهای FC و DE (رابط های ورودی و خروجی مکانیزم) حول مفصل های F و E گردش می کنند و در این حین نقاط A و O بر روی مسیرهای تقریباً مستقیم الخط افقی و عمودی حرکت می کنند (شکل ۱ ب). وقتی که نقطه O پس از یک رفت و برگشت به محل اول بر می گردد نقطه A از موقعیت فعلی (منتهی الیه سمت چپ) به منتهی الیه سمت راست در موقعیت متقارن قرار می گیرد (و بالعکس). این حرکت های مستقیم الخط بدون نیاز به کشویی یا راهنما و با حداقل اصطکاک در لولاها انجام می شود که از مزایای این مکانیزم محسوب می شود. ویژگی دیگر این اهرم بندی این است که می تواند وزنه ای که در نقطه متحرک این مکانیزم (A) آویزان شده است را در حالت تعادل نگه دارد. این پدیده نشان دهنده "تعادل خنثی" در این مکانیزم می باشد.

دیرک حامل بشقاب ها که حول نقطه مرکزی قاب اصلی قابلیت گردش دارد، ۳۰ تا ۴۰ درجه دوران می کند (مرحله اول) سپس به منظور تنظیم زاویه تمایل طولی، یک مکانیزم ثانویه هر بشقاب را حول ساقه خود می چرخاند (مرحله دوم). همزمان، چرخ شیار عقبی نیز با سیستم اهرم خاص خود گردش می کند و وضعیت جدید و متناسبی می یابد. عمل تغییر وضعیت اغلب به وسیله یک جک هیدرولیکی دوطرفه انجام می پذیرد.

سنگین و گران بودن گاوآهن های دو طرفه کپی سازی شده در کشور و عدم هم خوانی اکثر آنها با تراکتورهای موجود باعث شده است کشاورزان از آنها استقبال چندانی نکنند (Kianmehr, et al., 2006). از این رو، در این مقاله یک مکانیزم دوطرفه کننده بسیار ساده، براساس اهرم بندیهای مکانیکی برای گاوآهن بشقابی دوطرفه ارائه شده است. اهرم بندیهای مکانیکی قادرند بدون نیاز به بکارگیری قطعات مکانیکی مثل پاناقان، چرخ دنده، قطعات غلتشی و لغزشی، راهگاه و غیره که هم هزینه بالاتری دارند و هم سرویس و نگهداری و حتی احتمال خرابی زیادی دارند، مسیرهای حرکتی مختلفی را تولید کنند. هدف این مقاله ارائه یک مکانیزم چند میله ای دوطرفه کننده با شرایط مذکور است که با توجه به شرایط کاری مد نظر گاوآهن بشقابی دوطرفه بهینه سازی شده است و بنابراین نسبت به طرحهای موجود بسیار ساده تر، کارا تر و ارزان تر خواهد بود.

## مواد و روش ها

برای بدست آوردن حرکات مورد نیاز گاوآهن بشقابی دوطرفه،



شکل ۱- مکانیزم چهار رابطی دانیل برای تغییر جهت شاسی حامل بشقاب ها (AO) در یک مرحله، بدون نیاز به مکانیزم ثانویه تنظیم زاویه تمایل طولی بشقاب ها (β).

Fig. 1. Daniel Four-bar mechanism for displacement of disk carrying frame (AO) in one step, without the secondary disk angle adjustment mechanism (β)

نسبت طول بازوها و محل قرارگرفتن لولاها با اهمیت هستند. در حالت کلی می توان گفت که مکانیزم دانیل با رسم یک مثلث قائم الزاویه AOF' (شکل ۱ الف) به دست می آید که بر روی اضلاع AO و OF' طول های  $AD=F'D'=L$  و  $AC=F'C'=L$  جدا می شوند. نقاط C و D و نیز محل تلاقی عمود منصف پاره خط های CC' و DD' با F'O (نقاط E و F) لولاهای این مکانیزم را تشکیل خواهند داد (شکل ۱ ب).

همانطور که در شکل ۱ ب مشاهده می شود، در نظر است از رابط AO به عنوان شاسی متحرک حامل بشقابها در گاوآهن بشقابی دوطرفه استفاده شود. برای ایجاد تقارن در هر دو حالت راست و چپ ریز، لازم است که صفحه بشقاب ها به صورت ثابت و عمود بر محور حامل باشد (شکل ۱ ب). همین امر نیاز به مکانیزم ثانویه تنظیم زاویه تمایل طولی بشقابها که در طرح های متداول وجود دارد مرتفع می سازد. برای بهینه سازی این مکانیزم، شرایط کاری گاوآهن بشقابی دوطرفه مد نظر می باشند. این شرایط شامل موارد ذیل می گردد:

الف) مکانیزم چرخش یک مرحله ای شاسی حامل بشقاب ها از موقعیت راست ریز به چپ ریز (و بالعکس) در سطح افقی به صورت متقارن به طوری که زوایای تمایل طولی متعارف بشقاب ها (۴۲ تا ۴۷ درجه) قابل حصول باشد.

ب) مکانیزم چرخش چرخ شیار عقبی با داشتن مقداری تمایل طولی چرخ.

ج) مکانیزم توقف برای تثبیت گاوآهن به هنگام شخم (قفل شدن مکانیزم) که بتواند نقش یک مکانیزم ایمنی را نیز ایفا کند.

د) مکانیزم تغییر زاویه تمایل طولی بشقاب ها.

ه) حالت حمل و نقل دستگاه در خارج از مزرعه (ترابری).

موارد الف و ب مکانیزمهای اصلی و موارد ج تا ه مکانیزمهای مکمل گاوآهن بشقابی دوطرفه خواهند بود که برای عملکرد بهتر و مؤثرتر و نیز کاربری راحت تر اضافه شده اند. بنابراین، مراحل طراحی مکانیزم گاوآهن بشقابی دوطرفه به صورت زیر خواهد بود:

### الف) مکانیزم های اصلی

۱- مکانیزم شاسی حامل بشقابها: با توجه به مطالب فوق الذکر، یعنی مراحل طراحی اهرم بندی اولیه و ادغام آن با شرایط کاری گاوآهن بشقابی دوطرفه، رابطه (۱) با بررسی روابط هندسی حاکم استخراج شده است (Saedi, 2008).

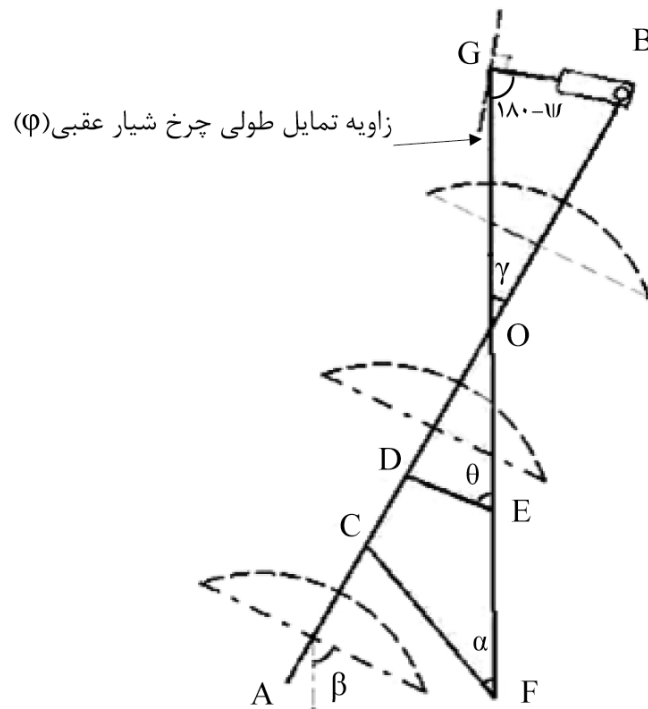
$$L = AO \left( 1 - \frac{1 - \cos \gamma_0}{1.746 - \cos \gamma_0 - \sqrt{0.2262 - \sin^2 \gamma_0}} \right) \quad (1)$$

$(\gamma_0 = AOF')$

در این رابطه  $\gamma_0$  زاویه مکانیزم در مرحله طراحی یا "زاویه طراحی" می باشد.

از آنجا که مثلث قائم الزاویه اولیه مکانیزم دانیل (AOF') را با داشتن زاویه رأس  $(\gamma_0)$  و وتر می توان ترسیم کرد، رابطه فوق بر حسب زاویه رأس نوشته شده است. این رابطه در واقع نسبتی از طول وتر AO یعنی L را (که در طراحی مکانیزم دانیل مورد نیاز است) برحسب زاویه رأس محاسبه می کند. مثلث بدست آمده از رابط فوق به گونه ای خواهد بود که با طراحی اهرم بندی به کمک آن، قابلیت باز شدن تا زاویه  $\gamma = 48^\circ$  یا  $\beta = 42^\circ$  (حداکثر زاویه تمایل طولی برای بشقابها) را داشته باشد بدون اینکه زاویه DEO (زاویه خروجی مکانیزم) از  $85^\circ$  درجه تجاوز کند (شکل ۱ ب). انتخاب این زاویه حداکثری ( $DEO_{max} = 85^\circ$ ) که در استخراج رابطه (۱) از آن استفاده شده است با توجه به این نکته صورت گرفته است که برای عملکرد صحیح مکانیزم، طول رابطها به گونه ای باید انتخاب شود که مکانیزم در بازترین موقعیت، باعث نشود یکی از رابطهای ورودی یا خروجی (FC یا DE) به حالت افقی برسد. با توجه به شرایط طراحی، رابطه DE زودتر می تواند به حالت افقی برسد. از این رو، باید نسبت طول رابطها به گونه ای انتخاب شود که زاویه DEO هرگز به  $90^\circ$  درجه نرسد. برای ایجاد اطمینان زاویه  $85^\circ$  درجه بدین منظور انتخاب شده است. این نکته در تحلیل حرکتی و فیلم تهیه شده از عملکرد مکانیزم که توسط نرم افزار CATIA P3V5R15 انجام پذیرفت نیز تأیید گردید.

در کاربردهایی که این مکانیزم در آن استفاده شده است مثل جایجا کردن فیلم در دوربین (Shirkhorshidian, 2002) عموماً حرکت مستقیم الخط کامل نقطه A مد نظر است. در این شرایط زاویه  $\gamma_0$  (شکل ۱ الف) باید بسیار کوچک انتخاب شود (۱۰ تا  $15^\circ$  درجه) و از این رو دامنه حرکتی رابط AO کوچک خواهد بود. بکارگیری این شرایط در طراحی مکانیزم برای گاوآهن بشقابی دوطرفه مناسب نیست. چراکه قرار دادن بشقابها بر روی رابط AO باعث می شود زاویه تمایل طولی بشقابها حتی در بازترین حالت مکانیزم مناسب نباشد (شکل ۱ ب)، بنابراین از آنجا که حرکت مستقیم الخط کامل خیش اول بشقابی چندان مورد نظر نیست می توان زاویه طراحی را بزرگتر انتخاب کرد (گرچه به خاطر ابعاد بزرگ گاوآهن، در عمل حرکت آن مستقیم الخط دیده می شود). با استفاده از رابطه (۱) برای زوایای مختلف و به دست آوردن طولهای مختلف اهرم بندی و بررسی عملکرد هر یک در نرم افزار CATIA، نهایتاً  $\gamma_0 = 45^\circ$  برای طراحی مکانیزم انتخاب گردید و از روی آن طول نسبی رابطها محاسبه شد. پس از محاسبه L برحسب AO به روش فوق، طول L' را می توان به صورت اختیاری لحاظ کرد. تنها محدودیت انتخاب L' زمانی است که حرکت مستقیم الخط کامل مد نظر باشد به طوری که هرچه این طول تفاوت کمتری با نصف طول AO داشته باشد حرکت نقطه A به مستقیم الخط نزدیک تر خواهد بود (Shirkhorshidian, 2002).



**شکل ۲- مکانیزم پنج رابطی گاواهن بشقابی دوطرفه و زوایای تعیین کننده طراحی ( $\psi$  زاویه رابط BG با امتداد رو به بالای OG است).**  
**Fig. 2.** Five-bar mechanism of reversible disk plow with important design angles ( $\psi$  is the angle between link BG and upward direction of link OG)

مقارن نسبت به حالت اولیه درآید.

#### ب) مکانیزم های مکمل

همانگونه که بیان گردید، در حین تغییر مسیر رابط AB مکانیزم (شاسی متحرک حامل بشقاب ها)، نقطه O در یک مسیر نسبتاً مستقیم عمودی حرکت رفت و برگشتی انجام می دهد تا دوباره به حالت اولیه برگردد. از این ویژگی سه خاصیت مهم دیگر برای طراحی گاواهن بشقابی دوطرفه به دست خواهد آمد که قابلیت های جدیدی به حساب می آیند:

- ۱- با مهار مناسب نقطه O در واقع می توان قفل مناسبی در مقابل حرکت مکانیزم دوطرفه کننده منظور نمود.
  - ۲- با بالا و پایین بردن جزئی نقطه O در حقیقت می توان زاویه تمایل طولی<sup>۱</sup> گاواهن بشقابی را تغییر داد.
  - ۳- با متوقف کردن نقطه O در موقعیت نهایی بالایی وضعیت حمل و نقل (ترابری)<sup>۲</sup> مناسب ایجاد خواهد شد.
- در شکل ۳ نمای بالایی و در شکل ۴ نماهای جانبی و پشتی گاواهن بشقابی دوطرفه مدل شده توسط نرم افزار CATIA

#### ۲- مکانیزم چرخ شیار عقبی: مرحله بعدی بهینه سازی مکانیزم

لحاظ کردن چرخ شیار عقبی می باشد. این چرخ در پشت آخرین خیش بشقابی بایستی به گونه ای قرارگیرد که با دیواره شیار تماس داشته باشد. معمولاً برای آن یک زاویه تمایل طولی هم نسبت به راستای حرکت در نظر می گیرند (Shafiei, 1992) (شکل ۲). همانگونه که در این شکل مشاهده می شود، برای استقرار چرخ شیار عقبی در موقعیت درست، طول های AO و FO مکانیزم دانبل از سمت O به اندازه کافی امتداد داده شده اند تا به ترتیب، نقاط B و G به دست آیند. رابط پنجم (BG) به طریقه نشان داده شده به مکانیزم چهار رابطی اولیه افزوده می شود. محل در نظر گرفته شده برای چرخ شیار عقبی در نقطه G انتخاب می گردد. انتخاب ابعاد مناسب برای طول های OB و OG به روش ترسیمی می باشد. با تحلیل حرکت مکانیزم در نرم افزار CATIA مشاهده شد که مکانیزم پنج رابطی به دست آمده قابلیت حرکت ندارد، یعنی درجه آزادی آن صفر است. برای رفع این مشکل، رابط جدید BG به صورت شیار دار طراحی شده است تا یک درجه آزادی به آن داده شود (شکل ۲). در این صورت با حرکت مکانیزم، نقطه B نیز با حرکتی که تلفیقی از حرکت رابط های BG و AB می باشد به گونه ای تغییر موقعیت خواهد داد که پس از اتمام حرکت در موقعیت

1- Disk angle  
2- Transport

به صورت ریلی درآمده و قطعه طراحی شده ای که به وسیله سوراخ‌هایی درجه بندی شده است در جایگاه ریلی ایجاد شده قرار خواهد گرفت. با تغییر موقعیت سوراخ‌ها و محکم کردن آن از طریق پیچ و مهره، زاویه تمایل طولی تغییر کرده و تثبیت می شود (شماره ۲ در شکل ۳). همچنین با دقت در شکل ۳ مشاهده می شود که جک هیدرولیکی دوطرفه که محرک مکانیزم است وقتی به اندازه نیمی از مسیر خود باز می شود، شاسی حامل بشقاب‌ها هم نیمی از مسیر خود را طی می کند و در حالتی قرار می گیرد که صفحه بشقاب‌ها (و چرخ شیار عقبی) عمود بر راستای حرکت واقع می شوند. این حالت برای وضعیت حمل و نقل گاواهن در خارج از مزرعه (ترابری)، مد نظر می باشد. (شکل ۴ ج).

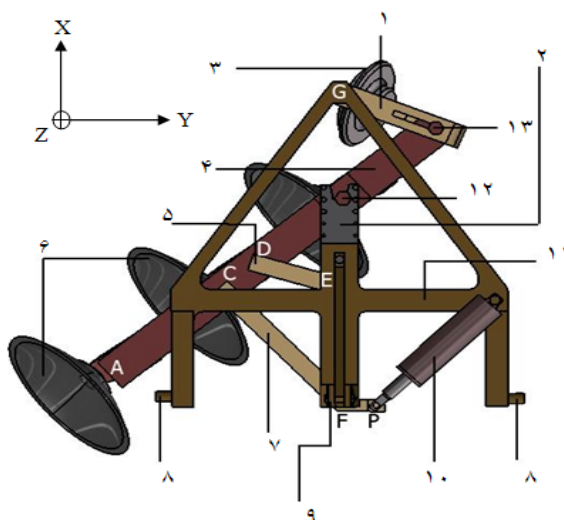
## نتایج و بحث

### تحلیل مکانیزم

تحلیل مکانیزم برای بررسی عملکرد و حصول اطمینان از کارایی اهرم بندی در شرایط مختلف امری اجتناب ناپذیر است. این تحلیل مشتمل بر تحلیل سینماتیکی (حرکتی) و تحلیل نیرویی می باشد.

P3V5R15 نشان داده شده است. مکانیزم های توقف (پین O) و تغییر زاویه تمایل طولی بشقاب‌ها را در این تصاویر می توان مشاهده نمود.

به هنگامی که گاواهن در خاک مشغول شخم است، کلیه نیروهای وارد بر شاسی متحرک حامل بشقاب‌ها از طرف خاک به گونه ای است که تمایل دارد زاویه تمایل طولی بشقاب‌ها را کم کند، به عبارت دیگر این نیروها در جهت فشار دادن نقطه O به سمت مفصل های E و F عمل می کنند. دلیل این مسئله این است که از بین نیروهای سه گانه ای که در سه راستای مختصات به بشقاب وارد می شوند، تنها نیرویی که در راستای حرکت وارد می شود (نیروی مقاومت کششی) قادر به ایجاد گشتاور فوق است (FMO, 1987). از این رو، وضعیت توقف مکانیزم با قرار دادن پینی در نقطه O مکانیزم ایجاد شده است، به طوری که با قرار دادن یک توقف در سر راه این پین، حرکت کل مکانیزم متوقف خواهد شد. این پین می تواند از نوع برشی باشد که جنبه ایمنی نیز به دستگاه بدهد (شماره ۱۲ در شکل ۳). اگر نقطه توقف مذکور به طریقی جابجا و سپس مجدداً تثبیت گردد، مکانیزم مناسبی برای تغییر زاویه تمایل طولی بشقابها حاصل خواهد گردید. برای انجام این کار، قسمتی از شاسی ثابت FG



**شکل ۳-** نمای بالایی از گاواهن بشقابی دوطرفه سوار با مکانیزم دانیل: ۱- رابط چرخ شیار عقبی BG (رابط خروجی مکانیزم پنج رابطی) ۲- مکانیزم تغییر زاویه تمایل طولی ۳- چرخ شیار عقبی ۴- شاسی متحرک حامل بشقابها (رابط AB مکانیزم) ۵- رابط ED (رابط خروجی مکانیزم چهار رابطی) ۶- بشقابهای خاکورز ۷- رابط FC (رابط ورودی مکانیزم) ۸- محل اتصال گاواهن به بازوی پایینی اتصال سه نقطه تراکتور ۹- محل اتصال گاواهن به بازوی بالایی اتصال سه نقطه تراکتور ۱۰- جک هیدرولیکی دوطرفه برای راه اندازی مکانیزم ۱۱- شاسی ثابت گاواهن (رابط تغییر شکل یافته FG، رابط زمین مکانیزم) ۱۲- پین O مکانیزم توقف (پین برشی) ۱۳- پین B.

**Fig. 3.** Top view of the mounted reversible disk plow with Daniel mechanism.

1- Rear wheel link (BG) (output link) 2- Disk angle adjustment mechanism 3- Rear wheel 4- Link AB (disk carrying frame) 5- Link ED 6- Disks 7- Link FC 8- Lower hitch point 9-Upper hitch point 10- Hydraulic cylinder 11- Fixed frame (modified link FG) 12- Pin O (Stop mechanism) 13- Pin B.

## تحلیل حرکتی

کارایی مکانیزم دانیل در طراحی گاوآهن بشقابی دوطرفه توسط فیلمی که پس از تحلیل حرکتی در محیط DMU Kinematics نرم افزار CATIA تهیه گردید بررسی شد و عملکرد درست مکانیزم تأیید گردید.

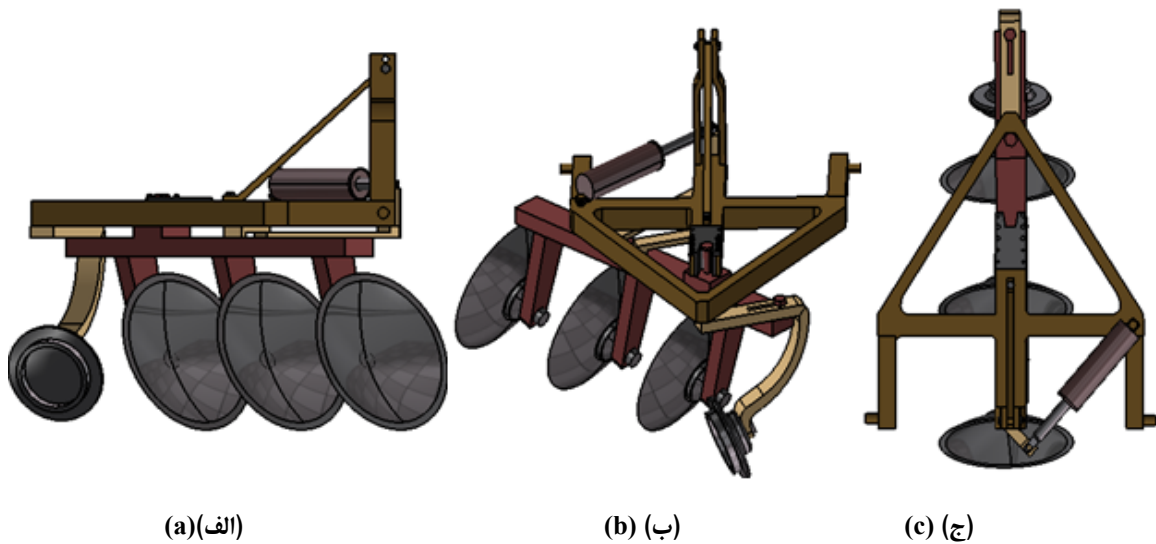
مکانیزم طراحی شده دو حرکت مستقیم الخط همزمان تولید می کند؛ یکی در نقطه A به صورت عرضی و یکی در نقطه O به صورت طولی (شکل ۱ ب و شکل ۵). اما از آنجا که مکانیزم با زاویه ای نسبتاً بزرگ (۴۵ درجه) طراحی شده است و درگستره ای بیشتر از زاویه طراحی عمل می کند ( $48^\circ < \gamma < 48^\circ$ )، مسیر حرکت نقاط مذکور، قدری با مستقیم الخط متفاوت می باشد. در کاربرد مورد نظر این تحقیق، ویژگی کامل و دقیق بودن مسیر نقطه A مد نظر نمی باشد و یک مسیر مستقیم الخط غیر دقیق هم ویژگی مفیدی برای گاوآهن بشقابی دوطرفه به حساب می آید. از این جهت که می توان بدون ایجاد فاصله طولی بین چرخ تراکتور و خیش بشقابی اول، و تنها با مقداری جابجایی عرضی خیش اول (در راستای محور چرخ عقب تراکتور)، زاویه تمایل طولی بشقاب ها را تغییر داد. اگر کمترین فاصله خیش اول از چرخ عقب پنج سانتیمتر و برای تمایل طولی ۴۲ درجه انتخاب گردد، این فاصله در بیشترین حالت خود و برای تمایل طولی ۴۷ درجه، برای یک گاوآهن با شاسی متحرک

۱۷۰ سانتیمتری بیشتر از ۱۱ سانتیمتر نخواهد شد.

در شکل ۵ مسیر حرکت نقاط مهم مکانیزم که با استفاده از نرم افزار CATIA بدست آمده است نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، نقطه B که در رابط شیار دار BG حرکت می کند یک مسیر سهمی شکل را با یک گردش ۲۱۹/۵ درجه ای می پیماید.

## تغییرات سرعت و شتاب شاسی متحرک حامل بشقاب ها

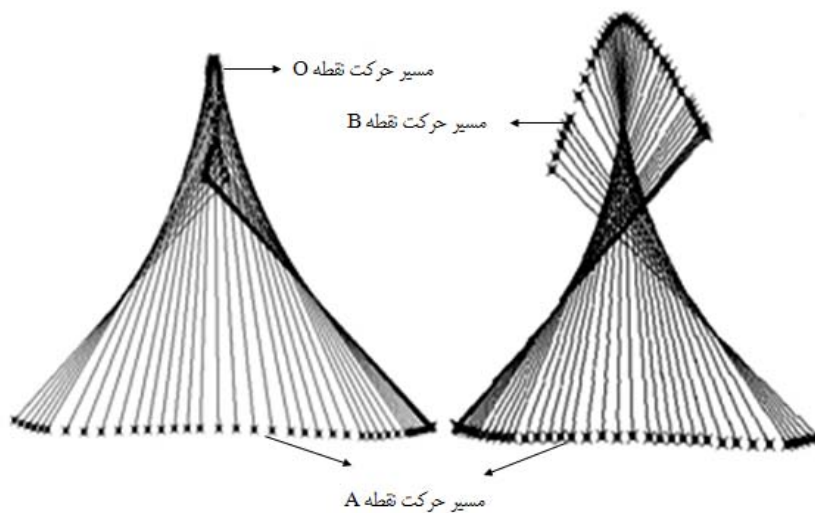
شکل ۶ نمودار تغییرات سرعت خطی شاسی متحرک در نقطه A که با استفاده از نرم افزار CATIA ترسیم شده است را نشان می دهد. در این نمودار ملاحظه می شود که شروع و خاتمه حرکت با جهش ناگهانی سرعت انجام می شود و سپس شاسی با سرعتی تقریباً ثابت مسیری را ادامه می دهد. این جهش سرعت بدین دلیل است که در ابتدای حرکت، سرعت مکانیزم دوطرفه کننده به یکباره از صفر افزایش ناگهانی می یابد. جهش کوچک نشان داده شده در وسط نمودار سرعت نشان دهنده این است که وقتی بشقابها نیمی از مسیر خود را پیموده اند (صفحه بشقابها عمود بر مسیر حرکت)، برای ادامه مسیر نیاز به افزایش جزئی سرعت دارند.



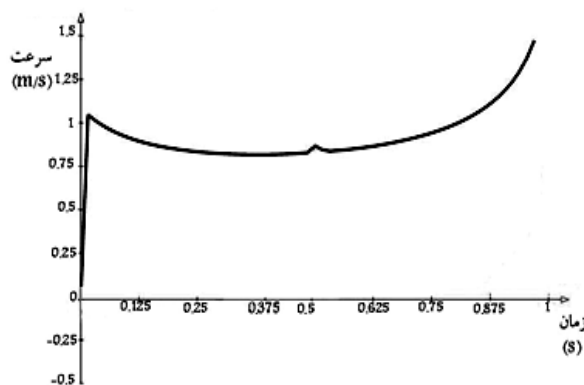
**شکل ۴-** (الف) نمای جانبی گاوآهن بشقابی طراحی شده؛ وضعیت قرار گیری رابط ها به صورت غیرهمسطح در آن مشخص می باشد. (ب) نمای پشتی گاوآهن بشقابی طراحی شده در وضعیت چپ ریز؛ شکل تغییر یافته رابط چرخ عقبی برای قرار گرفتن در موقعیت درست در پشت بشقاب ها قابل مشاهده است. (ج) نمای بالایی از وضعیت ترابری گاوآهن.

**Fig. 4.** (a) Side view of the designed disk plow; multilevel arrangement of links is shown. (b) Back view of the designed disk plow in left delivery position; modified link of the rear wheel to provide the right position relative to the last disk is shown. (c) Top view of the plow in transport position.

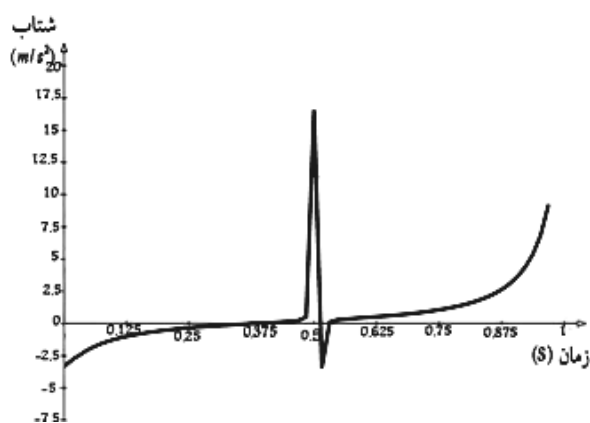




شکل ۵- مسیر حرکت نقاط A ، O و B.  
 Fig. 5. Trace of points A, O and B.



شکل ۶- نمودار تغییرات سرعت خطی شاسی حامل بشقابها در نقطه A به هنگام تغییر جهت.  
 Fig. 6. Velocity curve of disk carrying frame at point A.



شکل ۷- نمودار تغییرات شتاب خطی شاسی حامل بشقابها در نقطه A به هنگام تغییر جهت.  
 Fig. 7. Acceleration curve of disk carrying frame at point A.

می دهد. برای انجام تحلیل نیرویی در این صفحه از ابعاد و وزن یک گاوآهن بشقابی یک طرفه سه خیش موجود استفاده شده است. در این شکل، بار گسترده  $w$  وزن شاسی متحرک و بشقاب هاست که به طور یکنواخت در سرتاسر تیر در نظر گرفته شده است. بار متمرکز  $P$  و گشتاور  $M$  به ترتیب حاصل وزن و گشتاور وزن چرخ شیار عقبی در موقعیت درست خود می باشند. نیروهای عمودی  $F(D)$ ،  $F(C)$  و  $F(B)$  در واقع سهمی از وزن گاوآهن بشقابی می باشند که به ترتیب توسط هریک از مفصل های  $C$ ،  $D$  و  $B$  تحمل می شود. با به دست آوردن این نیروها در تیر نامعین نشان داده شده در نهایت می توان حداکثر نیروی مورد نیاز جک هیدرولیکی برای حرکت دادن به کل مکانیزم را به دست آورد.

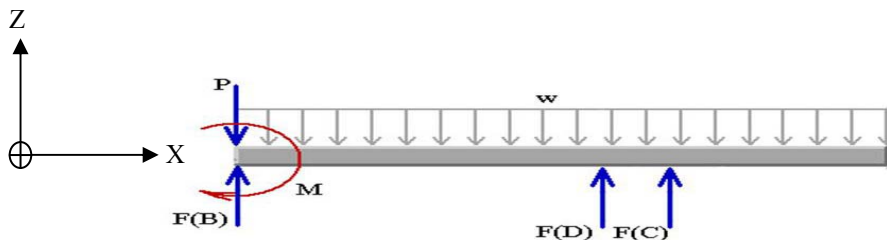
نتایج تحلیل نیرویی گاوآهن طراحی شده در صفحه  $XZ$  که با استفاده از نرم افزار Cbeam2000 صورت گرفت نشان داد که هریک از مفصل های  $C$ ،  $D$  و  $B$  به ترتیب در حدود  $۶۲$ ،  $۱۶$  و  $۲۲$  درصد از وزن گاوآهن را تحمل می کنند. برای یک گاوآهن سه خیش به وزن تقریبی  $۷۳۵۰$  نیوتن مقدار این نیروها در حدود  $۴۵۵۳/۳۷$ ،  $۱۲۲۴/۵۴$  و  $۱۸۱۶/۱۹$  نیوتن خواهد بود. اگر هریک از این نیروها در بیشترین ضریب اصطکاک فلز با فلز یعنی  $۰/۴$  (Shadravan, 2006) ضرب شده و حاصل در فاصله هر مفصل تا مفصل اعمال نیروی جک هیدرولیکی (مفصل  $F$ ) ضرب شود، گشتاور مورد نیاز برای حرکت دادن به مکانیزم به میزان  $۲۵۸۵۹۳۶/۹۵$  نیوتن میلیمتر به دست می آید. با توجه به موقعیت محل اعمال این گشتاور، حداکثر نیروی مورد نیاز جک هیدرولیکی برای به حرکت در آوردن مکانیزم برابر با  $۲۴۴۶۰/۹۵$  نیوتن به دست خواهد آمد. بدیهی است به دلیل اینکه تغییر وضعیت بشقاب ها در خارج خاک صورت می گیرد در این تحلیل، وزن خاک روی بشقاب ها به هنگام شخم لحاظ نشده است. این وزن در برابر وزن شاسی و بشقابها ناچیز است. از طرفی از آنجا که به هنگام شخم قفل مکانیزم درگیر می باشد، تأثیر این نیرو بر روی قفل مکانیزم خواهد بود که این مسئله در تعیین ابعاد قفل به عنوان یک پین برشی (مکانیزم ایمنی) لحاظ گردیده است.

شکل ۷ نمودار روند تغییرات شتاب خطی شاسی حامل بشقابها در نقطه  $A$  با به کارگیری نرم افزار CATIA را نشان می دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می شود که در اینجا نیز در شروع و خاتمه حرکت، شتاب دارای مقدار قدر مطلق زیادی می باشد. پس از آن، تغییرات شتاب به صورت ملایم صورت می پذیرد. اما در میانه مسیر (صفحه بشقابها عمود بر مسیر حرکت)، یک جهش در شتاب اتفاق می افتد. جهش هایی که در این نمودار دیده می شود بیان کننده مجانب های عمودی می باشند. یعنی اگر نمودار شتاب بدون در نظر گرفتن زمان ترسیم می شد، شکستگی وسط این نمودار نمایان نمی شد. دوطرف این مجانب، دارای نمودارهای تغییر مکان متفاوتی می باشد. در مجاورت این مجانب، مقادیر به سمت بی نهایت میل می کند (که در شکل ها نشان داده نشده است).

### تحلیل نیرویی

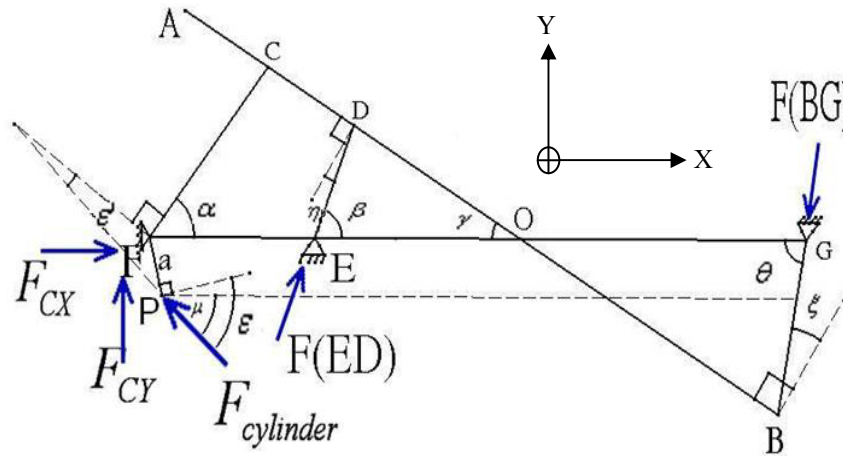
این تحلیل علاوه بر وزن زیاد شاسی بشقاب ها که توسط شاسی ثابت تحمل می شود، به سبب نیروهایی که رابط های پنج گانه مکانیزم به یکدیگر وارد می کنند و نهایتاً محاسبه نیروی مورد نیاز جک هیدرولیکی دوطرفه برای راه اندازی مکانیزم حائز اهمیت است. تحلیل نیرویی گاوآهن بشقابی دوطرفه طراحی شده در شرایط خارج خاک صورت گرفته است. یعنی از هنگامی که گاوآهن پس از یک سری شخم از خاک بیرون آورده می شود تا زمانی که پس از تغییر جهت بشقاب ها دوباره به خاک بر می گردد. روش های تحلیل نیروها و گشتاورها در اهرم بندی ها را به سه دسته می توان تقسیم کرد که به ترتیب افزایش پیچیدگی شامل روش استاتیکی، روش سینواستاتیکی و روش دینامیکی می شود (Rastgou, 1997). در این تحقیق نیروهای وارد بر بخش های مختلف مکانیزم پنج رابطی گاوآهن بشقابی دوطرفه به روش استاتیکی محاسبه شده است. از آنجا که نیروهای وارد بر گاوآهن مورد بحث در هر سه جهت فضایی واقع شده اند، تحلیل در دو صفحه  $XY$  و  $XZ$  به طور جداگانه صورت پذیرفته است. به گونه ای که صفحه  $XY$  برای تحلیل نیروی داخلی رابط ها و نیز جک هیدرولیکی، و صفحه  $XZ$  برای تحلیل وزن انتخاب شده است.

شکل ۸ نمودار جسم آزاد شاسی متحرک در صفحه  $XZ$  را نشان



شکل ۸- نمودار جسم آزاد شاسی متحرک حامل بشقاب ها در صفحه  $XZ$ .

Fig. 8. F.B.D of disk carrying frame in  $XZ$  plane.



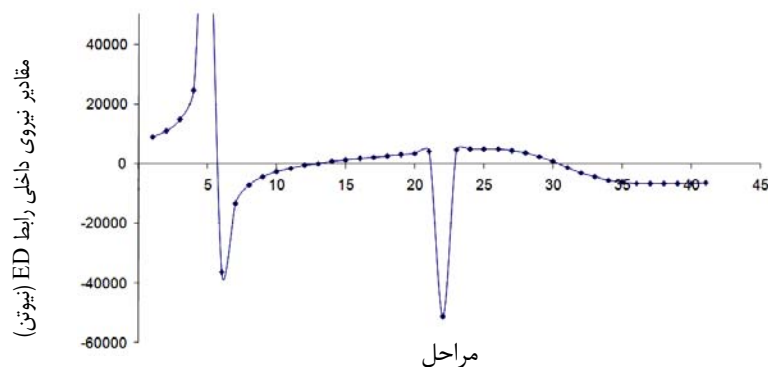
شکل ۹ - نمودار جسم آزاد شاسی متحرک حامل بشقاب ها در صفحه XY.

Fig. 9. F.B.D of disk carrying frame in XY plane.

حرکت مکانیزم تغییر می کنند، تحلیل استاتیکی در مراحل مختلف حرکتی و با استفاده از مرحله بندی حرکت مکانیزم انجام شده است. بدین منظور حرکت کامل مکانیزم گاوآهن از موقعیت راست ریز به چپ ریز (و یا بالعکس) که معادل ۹۶ درجه زاویه  $\gamma$  (شکل ۲) می باشد، به ۴۰ قسمت تقسیم شده (در مجموع ۴۱ مرحله) و کلیه زوایای مورد نیاز برای تحلیل نیرویی (اشکال ۲ و ۹) با داده برداری های مکرر ۴۱ مرتبه ثبت گردیدند. خواندن داده های زاویه ای به کمک نرم افزار CATIA و در محیط DMU Kinematics صورت پذیرفت. با استفاده از این داده ها، معادلات تعادل استاتیکی ۴۱ مرتبه حل شد. از این رو، برای مقادیر نیرویی مجهول، نمودارهایی که نشان دهنده روند تغییرات آنها در مراحل کاری مختلف مکانیزم است حاصل گردید (شکل های ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

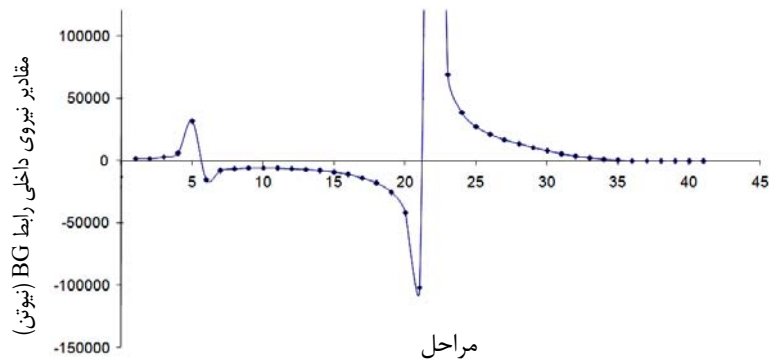
شکل ۹ نمودار جسم آزاد شاسی متحرک حامل بشقاب ها در صفحه XY را نشان می دهد. در این شکل رابط های BG (با صرفنظر از اصطکاک بین B با شیار موجود در آن) و ED، رابط های دونیروی می باشند که در آنها نیروی وارد بر رابط همواره در راستای آن است. رابط FC به دلیل اینکه نیروی جک هیدرولیکی ( $F_{cylinder}$ ) به آن وارد می شود دونیروی نخواهد بود. از این رو در شکل ۹ برای تکیه گاه F دو نیروی کاملاً مجهول عمود برهم در نظر گرفته شده است ( $F_{cy}$  و  $F_{cx}$ ).

از بین پنج پارامتر نیرویی نشان داده شده در شکل ۹ به غیر از  $F_{cylinder}$  که با استفاده از تحلیل نیرویی صفحه XZ محاسبه می شود، بقیه مجهول می باشند؛ لذا برای به دست آوردن مجهولات، به غیر از معادلات تعادل استاتیکی کل مکانیزم (شکل ۹)، از معادلات تعادل رابط AB نیز به صورت کمکی استفاده شده است. اما از آنجا که کلیه زوایای مربوط به روابط تعادل استاتیکی (شکل ۹) در حین

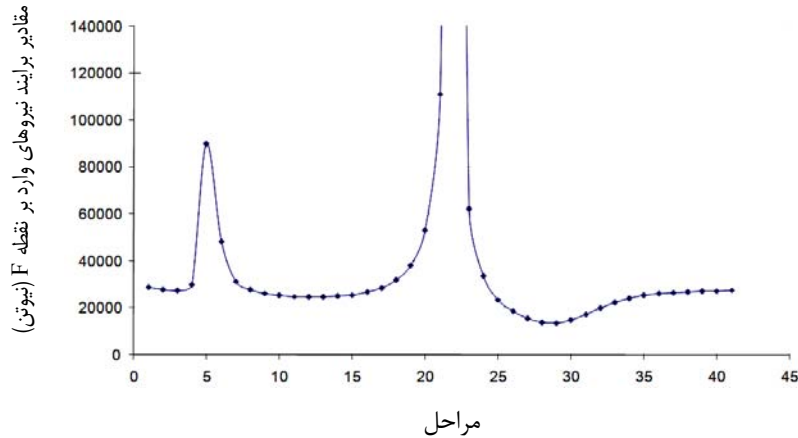


شکل ۱۰ - نمودار تغییرات نیروی F(ED) وارد بر رابط دو نیروی ED در صفحه XY و در مراحل کاری مختلف مکانیزم.

Fig. 10. Force curve of link ED in XY plane in different working steps of mechanism.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات نیروی  $F(BG)$  وارد بر رابط دو نیرویی  $BG$  در صفحه  $XY$  در مراحل کاری مختلف مکانیزم.  
**Fig. 11.** Force curve of link  $BG$  in  $XY$  plane in different working steps of mechanism.



شکل ۱۲- نمودار برآیند نیروهای وارد شده به مفصل  $F$  در صفحه  $XY$  و در مراحل کاری مختلف مکانیزم.  
**Fig. 12.** Resultant force curve of pivot  $F$  in  $XY$  plane in different working steps of mechanism.

وارد در صفحه  $XY$  با استفاده از نمودارهای اشکال ۱۰ تا ۱۲ (نیروی وارد در مرحله ۲۲، ۵ و ۵ به ترتیب برای رابطهای  $BG, ED$  و  $FC$ ).

ب) تعیین کوچکترین و ضعیف ترین مقطع رابط به خاطر تمرکز تنش.

ج) انتخاب ماده (فولاد ساختمانی  $st36$  با تنش تسلیم  $365 \text{ Mpa}$  برای رابط ها و فولادی با تنش برشی مجاز  $\tau_{all} = 85 \text{ Mpa}$  برای پین ها).

د) انتخاب ضریب اطمینان ۲.

شکستگی موجود در نمودارهای فوق نشان دهنده آن است که نمودار نیروی رابط  $ED$  در مرحله پنجم و رابطهای  $BG$  و  $FC$  در مرحله بیست و دوم دارای مجانب قائم می باشند. این مطلب نشان دهنده آن است که در مجاورت این مجانبها مقدار نیرو از یک مقدار بی نهایت مثبت به یک باره به یک مقدار بی نهایت منفی تغییر می کند. این حالت یک حالت تئوری از عملکرد مکانیزم می باشد، چراکه در عمل، بدیهی است که مقدار بی نهایت برای نیرو عملی نمی باشد. بنابراین هیچکدام از این حالات به عنوان سخت ترین شرایط نیرویی حاکم بر رابط در مرحله تعیین سطح مقطع در نظر گرفته نمی شوند.

با انجام تحلیل نیرویی می توان ابعاد مقطع عرضی بخشهای مختلف مکانیزم را با یک تحلیل ابعادی در مراحل ذیل انجام داد:

الف) رسم نمودار جسم آزاد هر رابط و لحاظ کردن نیروی وزن وارد بر مفصل رابط (در صفحه  $XZ$ ) و نیز بیشترین نیروی محوری

## نتیجه گیری

در این تحقیق یک گاواهن بشقابی دوطرفه سوار سه خیش با بکارگیری و بهینه سازی مکانیزم چهار رابطی خط مستقیم دانیل طراحی و مدل گردید. در بخشی از این مدل سازی یک رابط به مکانیزم افزوده شد تا در نهایت یک مکانیزم پنج رابطی حاصل گردد. تحلیل‌های حرکتی و نیرویی انجام شده در کنار فیلم تهیه شده از عملکرد این گاواهن در محیط CATIA عملکرد درست مکانیزم را تأیید می کند.

طرح های موجود گاواهن بشقابی دوطرفه دارای یک یاتاقان مرکزی هستند که هم مسئول تحمل وزن سنگین گاواهن بشقابی است و هم وظیفه گردش افقی این شاسی سنگین را دارد. وجود این نوع یاتاقان قوی هم هزینه بر است و هم سرویس و نگهداری زیاد و حساسی می طلبد. این شرایط همچنین وجود یک مکانیزم ثانویه برای تطبیق و تنظیم زاویه تمایل طولی بشقابها را ایجاد می کند چراکه امکان گردش یک مرحله ای بشقابها برای تولید زوایای تمایل طولی مناسب (۴۲ تا ۴۷ درجه) وجود ندارد. مکانیزم طراحی شده در این مقاله بر اساس اهرم بندی های مکانیکی است که قطعاتی ساده و معمولی است که فرآیند ساخت ساده ای دارند و نیاز به قطعات پیچیده تر مثل چرخنده، یاتاقان، قطعات غلتشی و لغزشی، راهگاه و غیره را مرتفع می سازد. ایجاد حرکت توسط این اهرم بندی ها با حداقل اصطکاک در لولاها انجام می گردد و نیروی لازم توسط یک جک هیدرولیکی دوطرفه تأمین می گردد. به طور کلی مزایای این طرح که جنبه های نو آورانه آن را روشن می سازد بدین شرح است: ۱- وزن گاواهن بجای یک نقطه در سه نقطه مختلف توزیع شده است. همچنین بجای یک لولا، سه لولا مسئول ایجاد گردش های افقی هستند. ۲- این طراحی به گونه ای است که در حین گردش افقی بشقابها برای تبدیل به حالت های چپ و راست ریز، دوران به معنی مصطلح انجام نشود و این امر از طریق حرکت های مستقیم الخط عمودی و افقی انجام گردد (شکل ۱ ب). به همین دلیل دستگاه از داشتن یک یاتاقان مرکزی قوی بی نیاز است ۳- نوع طراحی انجام

## منابع

شده به راحتی به ما اجازه تعبیه مکانیزم گردش همزمان چرخ شیار عقبی را داده است به طوری که نیازی به مکانیزم جداگانه ای نمی باشد. ۴- با طراحی انجام شده قادر گشته ایم قفلی مناسب برای تثبیت مکانیزم در حین کار در خاک ایجاد نماییم (شکل ۳ شماره ۱۲) که این قفل از این جهت که می تواند به صورت یک پین برشی انتخاب شود جنبه ایمنی نیز به دستگاه می بخشد. ۵- در این طرح حالتی نیز برای حمل و نقل خارج از مزرعه دستگاه پیش بینی شده است تا در حین نقل و انتقال، دستگاه کاملاً در پشت تراکتور قرار گرفته و حالت خارج از مرکز بودن (مانند شرایط کاری) نداشته باشد (شکل ۴ ج). ۶- در این طرح یک مکانیزم بسیار ساده برای تغییر زاویه تمایل طولی پیش بینی شده است (شکل ۳ شماره ۲) که زحمت روشهای موجود (که در آنها تک تک بشقابها بایستی از طریق پیچ اتصال جابجا شوند) را از بین برده است. موارد مذکور باعث شده اند که این گاواهن پیچیدگیهای طرح های موجود را نداشته باشد و به یک دستگاه بسیار ساده، ارزان، با کاربری راحت و با سرویس نگهداری خیلی کم تبدیل گردد. ساخت این دستگاه بسیار ساده خواهد و حتی پیاده سازی آن روی گاواهنهای بشقابی یک طرفه موجود به سادگی انجام پذیر است.

این دستگاه در مرحله طراحی می باشد. از این رو، بدیهی ترین پیشنهاد، ساخت و ارزیابی عملکرد آن می باشد. پیشنهادات زیر در حوزه ارزیابی و نیز طراحی قابل ارائه می باشند:

الف- امکان ایجاد یک قفل کامل و فراگیر به منظور خنثی نمودن ارتعاشات احتمالی وارد بر مکانیزم.

ب- تدارک مکانیزم های تنظیم موقعیت طولی، عرضی و ارتفاع چرخ شیار عقبی.

ج- تعمیم طراحی صورت گرفته برای طراحی گاواهن بشقابی دوطرفه نیمه سوار و کششی.

د- بررسی امکان استفاده از مکانیزم دانیل برای گاواهن های بشقابی عمودی و نیز گاواهن های برگرداندار دوطرفه جدید که دارای یک سری خیش می باشند (گاواهن های دوطرفه لولایی یا مربعی).

1. Abu-Hamdeh, N. H., R. C. Reeder. 2003. A nonlinear 3D finite element analysis of the soil forces acting on a disk plow. *Soil and Tillage Research* 74: 115-124.
2. Aghkhani, M. 1995. Design and fabrication of a driven disk harrow. MSc thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University. Tehran. Iran. (in Farsi).
3. Arvidsson, J., T. Keller, K. Gustafsson. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79: 221-231.
4. Azadbakht, M. 1998. Design, fabrication and evaluation of a field driven disk plow. MSc thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi).
5. Fatehi, M. 2009. Design and manufacturing of a turnover mechanism and hydraulic system for the reversible combined plough (disk+chisel). MSc thesis. Faculty of Agriculture. Shahr Kord University.

- Shahr Kord. Iran. (in Farsi).
6. Godwin, R. J., D. A. T. Seig, M. Allott. 1985. The development and evaluation of a force prediction model for agricultural discs. *Journal of Terramechanics* 22: 172-173.
  7. Hann, M. J., J. Giessibl. 1998. Force Measurements on Driven Discs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69: 149-157.
  8. Hettiaratchi, D. R. P. 1997. Prediction of Soil Forces Acting on Concave Agricultural Discs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68: 51-62.
  9. John Deere. 1987. Fundamentals of machine operation (FMO), tillage. Deere & Company.
  10. Kianmehr, M. H., J. Khazaei, and S. R. Hassanbeygi. 2005. Design, development and evaluation of a three bottom two way moldboard plow adapted for 65-75 HP tractors. Proc. International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment. Adana. Turkey: 519- 524.
  11. Kianmehr, M. H., S. R. Hassanbeygi, and J. Khazaei. 2006. Comparison of a Three-Harrow Tow-Way Square Plow with a Three-Harrow One-Way Moldboard Plow. *Journal of Agricultural Engineering Researches* 9: 1-16.
  12. O'Dogherty, M. J., R. J. Godwin, M. J. Hann, A. A. Al-Ghazal. 1996. A Geometrical Analysis of Inclined and Tilted Spherical Plough Discs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63: 205-217.
  13. Rastgou, A. 1997. Mechanism design. Tehran Univ. Press. (in Farsi).
  14. Saedi, I. 2008. Design of a reversible disk plow. MSc thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad. Iran. (in Farsi).
  15. Shadravan, A. 2006. Mechanical engineering design. Sanat gostar Press. Fifth Edition. (in Farsi).
  16. Shafiei, A. 1992. Principles of farm machinery. Tehran Univ. Press. (in Farsi).
  17. Shirshorshidian, A. 2002. Mechanisms and mechanical devices sourcebook. Tarrah Press. (in Farsi).
  18. William, S. A. 1980. Reversible disk plough. U.S Patent, No 4211286.

## بررسی اثر بسامد و زمان ارتعاش بر عملکرد تکاننده ارتعاشی برای برداشت مکانیزه پرتقال

### تامسون

حمید قربانپور<sup>۱</sup> - محمدهادی خوش تقاضا<sup>۲\*</sup> - محمدرضا مستوفی سرکاری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

### چکیده

برداشت مرکبات به صورت دستی کاری سخت، پرهزینه و زمان‌بر است. در این تحقیق به منظور امکان‌سنجی برداشت مکانیزه پرتقال با تکاننده ارتعاشی، در یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، اثر بسامد (در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ هرتز) و زمان ارتعاش (در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه) بر میزان برداشت و میوه‌های آسیب دیده پرتقال تامسون مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثر بسامد و زمان ارتعاش در سطح ۱٪ بر درصد برداشت و میوه‌های آسیب دیده معنی‌دار بوده؛ ولی اثر متقابل آن‌ها بر صفت‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. با افزایش بسامد میزان برداشت بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد که بیشترین میزان آن ۶۲/۸ درصد در بسامد ۱۰ هرتز می‌باشد. اگرچه با افزایش زمان ارتعاش میزان برداشت افزایش یافت ولی اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های ۱۵ و ۲۰ ثانیه در بسامد ۱۰ هرتز بر میزان برداشت وجود نداشت. همچنین با افزایش زمان ارتعاش میزان درصد میوه‌های آسیب دیده نیز بیشتر گردید. با توجه به دلایل مذکور، بسامد ۱۰ هرتز و زمان ارتعاش ۱۵ ثانیه به عنوان مناسب‌ترین حالت برای برداشت مکانیزه پرتقال تامسون انتخاب گردید. سرانجام یک مدل ریاضی خطی بر اساس بسامد و زمان ارتعاش برای درصد برداشت و میوه‌های آسیب دیده پرتقال تامسون تدوین گردید.

**واژه‌های کلیدی:** بسامد، تامسون، زمان ارتعاش، مدل ریاضی، برداشت، میوه‌های آسیب دیده

### مقدمه

به صرفه نیست، لذا مکانیزه نمودن سامانه‌های برداشت محصول مرکبات برای افزایش سرعت برداشت و کاهش هزینه امری لازم و ضروری است (Sanders, 2005).

ماشین‌های برداشت میوه با سامانه‌های مختلف از اواسط قرن بیستم در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از رایج‌ترین نوع ماشین‌های برداشت میوه سامانه‌های ارتعاشی می‌باشند؛ که با تولید نیروی ارتعاشی و اعمال آن به تنه یا شاخه درخت موجب ارتعاش اجزاء مختلف درخت و در نتیجه جداسازی میوه‌ها از درخت می‌گردند (Loghavi and Rahimi, 2007). دامنه، بسامد و مدت زمان ارتعاش اعمال شونده، از جمله متغیرهایی می‌باشند که در عملکرد برداشت‌کننده‌های ارتعاشی تأثیر می‌گذارند. نیروی دینامیکی وارده بر میوه، با دامنه و توان دوم بسامد ارتعاش متناسب است (Srivastava et al., 1993). زمان معمول ارتعاش درخت بستگی به‌وارپته و میزان رسیدگی میوه بین ۵ تا ۱۲ ثانیه می‌باشد. هرچه مقدار نیروی کشش بین میوه و شاخه بیشتر باشد، مدت زمان بیشتری برای تکانییدن درخت لازم است (Futch and Roka, 2005).

مرکبات از جمله محصولات باغی می‌باشد که از جایگاه بالایی در زمینه اشتغال و ارزآوری برخوردار است و علاوه بر مصارف تازه‌خوری در صنعت فرآوری و تولید آب‌میوه نیز استفاده می‌شود (Zare, 2006). در ایران برداشت مرکبات به صورت دستی یا سنتی انجام می‌پذیرد. کشور ایران با برداشت سالانه ۴ میلیون و ۵۰۷ هزار و ۷۰۰ تن مرکبات از ۲۱۵ هزار و ۱۰۵ هکتار باغ‌های بارور، هفتمین تولیدکننده مرکبات در جهان و با تولید ۲ میلیون و ۴۰۰ هزار تن پرتقال رتبه هفتم را در جهان دارا می‌باشد (Anonymous, 2007). امروزه حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد قیمت تمام شده در مرکبات، هزینه برداشت می‌باشد. با افزایش جمعیت جهان و در نتیجه نیاز به محصولات بیشتر، برداشت به‌روش دستی مقرون

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

\*- نویسنده مسئول: (Email: khoshtag@modares.ac.ir)

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور واقع در رامسر انجام گرفت (زمستان ۱۳۸۸). قطعه مورد آزمایش شامل درختانی از رقم تامسون با طول عمر متوسط ۱۵ تا ۳۰ سال و به قطر تنه ۳۰-۱۵ سانتی‌متر، که روی پایه پونیسیروس پیوند زده شده بود و دارای فواصل مناسب بین درختان (۴×۴ متر) که برای حرکت تکانه مناسب بود، شامل می‌شد. در این تحقیق سعی شد درختان به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب گردند و همچنین قطر درخت‌ها یا مکان اتصال گیره با درخت دارای قطرهای یکسان باشند. برای اجرای این پژوهش از یک دستگاه ارتعاش دهنده AUTO PICK MT مدل Arcusin ساخت کشور اسپانیا استفاده شد (شکل ۱). دستگاه ارتعاش دهنده از نوع تنه تکان بوده و بر اتصال سه نقطه تراکتور سوار شده و مورد استفاده قرار گرفت. قسمت‌های مهم دستگاه در شکل قابل مشاهده است. توان کاری ماشین از طریق PTO تراکتور و سامانه واحد هیدرولیک تأمین گردید. محدوده طول دامنه ارتعاش به دلیل محدود بودن طول جک هیدرولیکی متصل به بازوی تکانه، ثابت و حدود ۳۰ mm می‌باشد. همچنین ارتفاع محل اتصال تکانه به درخت حدود ۸۰ cm انتخاب گردید.

در این تحقیق اثر بسامد و مدت زمان ارتعاش بر میزان برداشت درصد میوه‌های آسیب دیده به‌منظور امکان سنجی برداشت مکانیزه پرتقال با تکانه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از یک آزمایش فاکتوریل (۳×۳) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه سطح بسامد ۵، ۷/۵ و ۱۰ هرتز و سه سطح زمان ارتعاش ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه با سه تکرار، استفاده گردید. چون درخت تامسون نسبت به سایر گونه‌های مرکبات حساس می‌باشد، لذا انتخاب سطوح بسامد بر اساس تحقیق انجام گرفته روی لیمو بوده، تا آسیبی به پوست و ریشه درخت نزنند. پارامترهای مستقل در این تحقیق شامل بسامد و زمان ارتعاش و پارامتر قابل اندازه‌گیری میزان برداشت و میزان درصد میوه‌های آسیب دیده می‌باشد.

با اعمال ارتعاش در بسامد و زمان‌های مختلف، تعدادی از میوه‌ها ریزش کرده و از درخت جدا می‌شوند، میوه‌های جدا شده بر روی کرباسی (چتر) که در زیر تاج درخت توسط تکانه پهن می‌گردد، ریخته و جمع‌آوری می‌گردند و تعدادی هم روی شاخه باقی می‌مانند. با جدا کردن میوه‌های باقی مانده بر روی درخت و وزن کردن هر دو گروه میزان برداشت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (Mobli, 1987).

$$P_r = \frac{X}{X+Y} \times 100 \quad (1)$$

$P_r$ : میزان برداشت (%)

X: مقدار میوه‌های ریخته شده در اثر ارتعاش (kg)

Y: مقدار میوه‌های مانده روی درخت (kg)

میزان برداشت پرتقال والنسیا طی تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش از زمان ارتعاش بین ۵ تا ۲۰ ثانیه و طول دامنه بین یک تا دو اینچ استفاده شد. میزان برداشت بین ۶۷ تا ۸۹ درصد بود (Whitney, 1998). طی تحقیقی میزان برداشت پرتقال والنسیا با دو نوع تکانه نوع سوار و تکانه دستی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش از سه سطح فرکانس ۹، ۱۵ و ۲۵ هرتز استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میزان برداشت در حالت کلی ۶۵ درصد می‌باشد. تکانه نوع سوار با ۷۲ درصد میزان برداشت نسبت به نوع دستی یا خود گردان با ۵۷ درصد میزان برداشت بازدهی بیشتری داشت. همچنین متوسط میزان نیروی جداسازی ۴۴-۴۷ نیوتن اندازه‌گیری شد. در این تحقیق بسامد ارتعاشی ۱۵ هرتز و زمان ۴-۵ ثانیه با دامنه ارتعاش ۲۸-۱۲ میلی‌متر برای جداسازی پرتقال والنسیا مناسب و پیشنهاد شده است (Torrogrossa et al., 2009).

در پژوهشی، از شاخه تکان به‌منظور برداشت سیب در سه سطح بسامد ۴، ۹ و ۲۰ هرتز و سه دامنه ارتعاش ۲۰، ۳۲ و ۴۰ میلی‌متر بر درصد جداسازی میوه بررسی گردید. نتایج نشان از معنی‌داری تأثیر سطوح مختلف دامنه و بسامد بر جداسازی میوه سیب داشت. در حالیکه تأثیر متقابل این دو فاکتور اثر معنی‌داری بر جداسازی میوه نشان نداد. مناسب‌ترین دامنه و بسامد ارتعاش برای برداشت سیب بر اساس بیشترین درصد جدایش میوه، دامنه ۴۰ میلی‌متر و بسامد ۹ هرتز بود (Kherieh, 2002).

در یک تحقیق انجام شده در ایران، مناسب‌ترین دامنه و بسامد ارتعاش شاخه جهت برداشت مکانیکی برای میوه لیموی ترش، با استفاده از ارتعاش دهنده تراکتوری انتخاب گردید. در این آزمایش تأثیر سه سطح بسامد ۵، ۷/۵ و ۱۰ هرتز و سه سطح دامنه ارتعاش ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثر بسامد ارتعاش بر جداسازی میوه معنی‌دار بوده، ولی اثر دامنه و اثرهای متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود؛ با افزایش بسامد ارتعاش درصد میوه‌های جدا شده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. ولی در مجموع ترکیب دامنه ارتعاش ۸۰ میلی‌متر با بسامد ارتعاش ۱۰ هرتز مناسب‌ترین حالت برای جداسازی میوه شناخته شد. زیرا در بسامدهای بالاتر منجر به ریزش برگ‌ها می‌گردید (Loghavi and Mohseni, 2005).

از آن‌جا که برداشت مرکبات در بیشتر کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا و استرالیا به‌صورت مکانیزه می‌باشد، اهمیت و توسعه آن در ایران با توجه به تولید و سطح زیر کشت، حائز اهمیت و مهم می‌باشد. لذا در این تحقیق امکان سنجی برداشت مکانیزه پرتقال تامسون با تکانه ارتعاشی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.





**شکل ۱- دستگاه تک‌کانده Arcusin و قسمت‌های اصلی آن: (۱) گیره (۲) ارتعاش دهنده یا لرزاننده (۳) چتر**  
**Fig. 1. Arcusin shaker machine and its main components: 1) Clamp 2) Vibrator 3) Umbrella**

مقادیر میزان برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده در سطوح مختلف بسامد است. با افزایش بسامد ارتعاش از ۵ تا ۱۰ هرتز، میزان برداشت به‌طور معنی‌داری حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که با افزایش بسامد ارتعاش، نیروهای دینامیکی و تنش‌های نوسانی وارد بر نقطه اتصال دم میوه به‌شاخه افزایش یافته و تنش خمشی به‌همراه تنش‌های کششی در سطح ساقه و دم میوه، موجب قطع ساقه یا جدا شدن دم میوه می‌گردد که باعث ریزش بیشتر میوه می‌شود (Srivastava et al., 1993). بیشترین میزان برداشت پرتقال تامسون ۶۲/۸ درصد در بسامد ۱۰ هرتز است. تاروگروسا و همکاران نیز نتایج مشابهی بر میزان برداشت پرتقال والنسیا با ۶۷ درصد در بسامد ارتعاشی ۱۵ هرتز دست یافته بودند (Torregrosa et al., 2009). اگرچه بسامد ارتعاشی بکار گرفته شده در تحقیقات آن‌ها بیشتر بود ولی افزایش چندانی در میزان برداشت دیده نمی‌شود. همچنین در تحقیق جداگانه که بر روی لیمو ترش صورت گرفت بسامد ارتعاشی ۱۰ هرتز به‌عنوان مناسب‌ترین حالت برای جداسازی میوه لیمو ترش شناخته شد. زیرا بسامدهای بالاتر منجر به ریزش برگ‌ها می‌گردد (Loghavi and Mohseni, 2005).

درصد میوه‌های آسیب دیده با افزایش بسامد ارتعاش به‌طور معنی‌داری افزایش یافته، به‌طوری‌که با افزایش بسامد ارتعاش از ۵ تا ۱۰ هرتز میزان آن حدود ۴ درصد افزایش یافت با افزایش بسامد ارتعاش، برخورد میوه‌ها به‌هم یا به‌شاخه‌های درخت افزایش یافته و میوه‌ها با شدت بیشتری از درخت جدا شده و شدت برخورد و ضربه در سطح آن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه درصد میوه‌های آسیب دیده افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های میزان برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده نسبت به سطوح مختلف زمان ارتعاش (جدول ۳)

منظور از میوه‌های آسیب دیده در اینجا؛ میوه‌های ترکیده، سوراخ شده به‌وسیله چوب و درخت و میوه‌های لهیده شده است. درصد میوه‌های آسیب دیده ( $P_{\text{damage}}$ )، نسبت میوه‌های آسیب دیده به مجموع میوه‌های درخت (میوه‌های برداشت شده در اثر ارتعاش و میوه‌های باقی مانده روی درخت که با دست برداشت شدند) است (رابطه ۲).

$$P_{\text{damage}} = \frac{Z}{X+Y} \times 100 \quad (2)$$

Z: مقدار میوه آسیب دیده (kg)

داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای SPSS و TableCurve3D مورد تجزیه و تحلیل آماری و مدل‌سازی قرار گرفته و با توجه به جدول تجزیه واریانس و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها، ویژگی‌های مورد مطالعه، مقایسه و ارزیابی شدند.

## نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای مستقل شامل اثر بسامد و زمان ارتعاش و اثرهای متقابل آن‌ها بر متغیرهای وابسته تحقیق شامل میزان برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده را در میوه پرتقال رقم تامسون نشان می‌دهد. اثر بسامد و زمان ارتعاش در سطح ۱٪ بر میزان برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل بسامد و زمان ارتعاش بر صفت‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. حال می‌بایست با مقایسه میانگین‌ها مناسب‌ترین سطح بسامد و زمان ارتعاش را برای بیشترین برداشت و کمترین میوه‌های آسیب دیده برگزید.

جدول ۲ نشان دهنده مقایسه میانگین‌های متغیرهای وابسته آزمایش، نسبت به سطوح مختلف بسامد ارتعاش است، که توسط آزمون دانکن در سطح ۱٪ انجام گرفته و حاکی از اختلاف معنی‌دار

برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده معنی‌دار نیست. ولی در مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول ۴)، نتایج قابل تمایز بود. براساس جدول، با افزایش بسامد و زمان ارتعاش میزان برداشت افزایش می‌یابد و اختلاف معنی‌داری در بعضی سطوح وجود دارد. در بسامد پایین (۵ هرتز) اختلاف معنی‌داری در زمان‌های مختلف ارتعاش مشاهده نمی‌شود؛ ولی با افزایش بسامد (۷/۵ و ۱۰ هرتز) میزان برداشت اختلاف معنی‌داری در زمان ۱۰ ثانیه با زمان‌های ۱۵ و ۲۰ ثانیه دارد ولی بین زمان‌های ۱۵ و ۲۰ ثانیه اختلاف معنی‌داری دیده نشد.

با افزایش زمان ارتعاش میزان برداشت میوه افزایش یافته که می‌تواند ناشی از افزایش تعداد سیکل‌های نوسانی میوه و تنش‌های نوسانی وارد بر نقطه اتصال دم میوه به شاخه به‌هنگام افزایش زمان اعمال ارتعاش باشد هرچند که تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های ۱۵ و ۲۰ ثانیه در میزان برداشت مشاهده نشد. مقدار میانگین‌های میزان درصد میوه‌های آسیب دیده با افزایش زمان ارتعاش به دلیل افزایش مدت زمان برخورد میوه‌ها به هم یا به شاخه‌های درخت به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که بیشترین درصد میوه‌های آسیب دیده در سطح زمانی ارتعاش ۲۰ ثانیه، ۸/۵۴ درصد است. با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل پارامترهای بسامد و زمان ارتعاش بر میزان

**جدول ۱- تجزیه واریانس صفتهای اندازه‌گیری شده**  
**Table 1. Analysis of variance of measured variables**

میانگین مربعات Mean Squares		درجه آزادی Degree of freedom df	منابع تغییر Source of variation S.O.V
میوه‌های آسیب دیده (%) Damaged fruits	میزان برداشت (%) Amount of harvesting		
38.37**	1038.48**	2	بسامد Frequency
45.85**	542.07**	2	زمان Time
2.9 <sup>ns</sup>	38.95 <sup>ns</sup>	4	بسامد × زمان Time × Frequency
1.44	22.71	18	اشتباه Error
18.20	9.62		ضریب تغییرات Coefficient of Variation

(\*) معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، (\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، (ns) در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیست.  
 \*) significant at  $\alpha=5\%$ , (\*\*) significant at  $\alpha=1\%$ , ns) not significant

**جدول ۲- مقایسه میانگین اثر بسامد بر میزان برداشت و میوه‌های آسیب دیده**  
**Table 2. Mean comparison of the effect of frequency on the amount of harvesting and damaged fruits**

بسامد (Hz) Frequency(Hz)	میزان برداشت (%) Amount of harvesting	میزان میوه‌های آسیب دیده (%) Damaged fruits
5	41.49 c*	4.9 A
7.5	54.06 b	7.03 B
10	62.86 a	8.84 C

\*میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشند.  
 \*means with the common letter are not significantly different in each column.

**جدول ۳- مقایسه میانگین اثر زمان ارتعاش بر میزان برداشت و میوه‌های آسیب دیده**

**Table 3.** Mean comparison of the effect of vibration time on the amount of harvesting and damaged fruits

میزان میوه‌های آسیب دیده (%) Damaged fruits	میزان برداشت (%) Amount of harvesting	زمان (s) Time(s)
5.35 A	44.05 b*	10
7.05 B	55.57 a	15
8.54 C	58.8 a	20

\*میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشند.

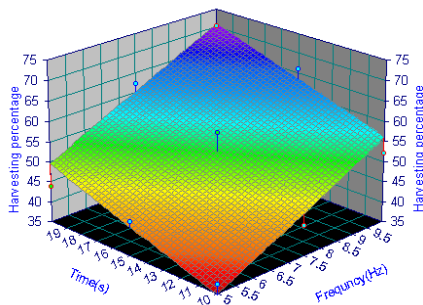
\*means with the common letter are not significantly different in each column.

**تدوین مدل ریاضی**

مدل ریاضی خطی بر اساس بسامد و زمان ارتعاش برای میزان برداشت پرتقال تامسون از روش رگرسیون چند متغیره تدوین گردید (معادله ۳). برای تدوین این مدل از نرم افزار SPSS و TableCurve3D استفاده گردید. شکل ۲ نمودار سه بعدی پارامترهای مذکور را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، با افزایش بسامد و زمان ارتعاش میزان برداشت بیشتر می‌گردد.

$$P_{\text{Removal}} = 1.44 + 4.27f + 1.47t \quad R^2 = 0.91 \quad (3)$$

در این رابطه،  $P_{\text{Removal}}$  میزان برداشت (بر حسب درصد)،  $f$  بسامد ارتعاش (هرتز) و  $t$  زمان ارتعاش (ثانیه) است. ضریب همبستگی<sup>۱</sup> بین بسامد و زمان ارتعاش با میزان برداشت به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۵۴ که نشان دهنده همبستگی مثبت بسامد و زمان ارتعاش با میزان برداشت است. همچنین از بررسی ضرایب بسامد و زمان ارتعاش در مدل نیز مشاهده می‌گردد که بسامد ارتعاش تأثیر بیشتری نسبت به زمان ارتعاش بر میزان برداشت دارد که با نتایج بدست آمده از اثر متقابل بسامد و زمان ارتعاش بر میزان برداشت مطابقت دارد.



**شکل ۲- تغییرات درصد برداشت بر حسب بسامد و زمان ارتعاش**

**Fig. 2.** Variation of harvesting percentage with frequency and vibration time

همچنین یک مدل ریاضی خطی بر اساس بسامد و زمان ارتعاش از روش رگرسیون چند متغیره برای میزان میوه‌های آسیب دیده تدوین گردید (رابطه ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش بسامد و زمان ارتعاش، درصد میوه‌های آسیب دیده نیز بیشتر می‌گردد.

میانگین درصد میوه‌های آسیب دیده با افزایش بسامد و زمان ارتعاش افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش برخوردها در بسامدهای بالاتر و مدت زمان‌های بیشتر می‌باشد (جدول ۵). در بسامد ۱۰ هرتز و زمان ارتعاش ۱۵ و ۲۰ ثانیه، از نظر میزان برداشت (جدول ۴) و میزان میوه‌های آسیب دیده (جدول ۵) اختلاف معنی داری وجود ندارد. لذا مناسب‌ترین بسامد و زمان ارتعاش به منظور بیشترین برداشت و احتمال کمتر آسیب رساندن به درخت، به ترتیب بسامد ۱۰ هرتز و زمان ارتعاش ۱۵ ثانیه برای برداشت مکانیزه پرتقال تامسون می‌توان انتخاب کرد.

**جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل بسامد و زمان ارتعاش بر میزان برداشت (%)**

**Table 4.** Mean comparison of the interactive effect frequency and vibration time on the amount of harvesting fruits (%)

زمان (s) Time(s)	بسامد (Hz) Frequency(Hz)		
	20	15	10
43.8 <sup>d</sup>	43.6 <sup>d</sup>	37.2 <sup>d</sup>	5
62.1 <sup>ab</sup>	57.3 <sup>bc</sup>	42.7 <sup>d</sup>	7.5
70.4 <sup>a</sup>	65.9 <sup>a</sup>	52.1 <sup>c</sup>	10

\* میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ردیف یا ستون از نظر آماری

معنی‌دار نمی‌باشند.

\*means with the common letter are not significantly different in each column or row.

**جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل بسامد و زمان ارتعاش بر میزان میوه‌های آسیب دیده (%)**

**Table 5.** Mean comparison of the interactive effect frequency and vibration time on damaged fruits (%)

زمان (s) Time (s)	بسامد (Hz) Frequency(Hz)		
	20	15	10
5.51 <sup>d</sup>	5.16 <sup>d</sup>	4.01 <sup>d</sup>	5
8.42 <sup>ab</sup>	6.26 <sup>bc</sup>	5.41 <sup>d</sup>	7.5
8.94 <sup>a</sup>	8.73 <sup>a</sup>	6.64 <sup>c</sup>	10

\* میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ردیف یا ستون از نظر آماری معنی‌دار

نمی‌باشند.

\*means with the common letter are not significantly different in each column or row.

1- Correlation coefficient

معنی‌داری افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار در سطح زمانی ۲۰ ثانیه به مقدار ۷/۸۳ درصد است.

با افزایش بسامد و زمان ارتعاش میزان برداشت افزایش می‌یابد هر چند بین زمان‌های ۱۵ و ۲۰ ثانیه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به افزایش مقدار میوه‌های آسیب دیده و احتمال آسیب به درخت در زمان‌های ارتعاش زیاد، زمان ۱۵ ثانیه و بسامد ۱۰ هرتز به‌عنوان مناسب‌ترین حالت برای برداشت پرتقال تامسون در این تحقیق انتخاب گردید.

مدل ریاضی خطی بر اساس بسامد و زمان ارتعاش برای میزان برداشت و میوه‌های آسیب دیده تدوین گردید. ضریب همبستگی بین بسامد و زمان ارتعاش با میزان برداشت به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۵۴ و با میوه‌های آسیب دیده به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۳۲ است. از بررسی ضرایب بسامد و زمان ارتعاش مشاهده گردید که بسامد ارتعاش تأثیر بیشتری نسبت به زمان ارتعاش بر میزان برداشت و میزان میوه‌های آسیب‌دیده دارد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تربیت مدرس به واسطه تأمین بودجه و از مرکز تحقیقات و مرکبات کشور به واسطه همکاری در اجرای این طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

ضریب همبستگی بین بسامد و زمان ارتعاش با درصد میوه‌های آسیب دیده به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۳۲ است که نشان دهنده همبستگی مثبت بسامد و زمان ارتعاش با میزان میوه‌های آسیب دیده است. همچنین با توجه به مقدار مربوطه، نشان دهنده تأثیر بیشتر بسامد نسبت به زمان ارتعاش بر میزان میوه‌های آسیب دیده می‌باشد.

$$P_{\text{Damage}} = -4 + 0.82f + 0.319t \quad R^2 = 0.91 \quad (4)$$

در این رابطه،  $P_{\text{Damage}}$  میزان میوه‌های آسیب دیده (بر حسب درصد)،  $f$  بسامد ارتعاش (هرتز) و  $t$  زمان ارتعاش (ثانیه) است.

### نتیجه‌گیری

اثر بسامد و زمان ارتعاش در سطح ۱٪ بر میزان برداشت و درصد میوه‌های آسیب دیده معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل بسامد و زمان ارتعاش بر صفت‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار نیست. با افزایش بسامد ارتعاش میزان برداشت به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که بیشترین میزان آن در بسامد ۱۰ هرتز ۶۲/۸ درصد می‌باشد.

درصد میوه‌های آسیب دیده با افزایش بسامد ارتعاش به‌طور معنی‌داری افزایش یافته که کمترین و بیشترین میزان میوه‌های آسیب دیده به ترتیب در سطح بسامد ۵ و ۱۰ هرتز به مقدار ۴/۰۲ و ۸/۴۴ درصد است همچنین مقدار آن با افزایش زمان ارتعاش به‌طور

### منابع

1. Anonymous. 2007. Ministry of Jihad-e- Agriculture. Available from: <http://jkmaz.ir/portal/index.php>. Accessed 25 May 2011.
2. Futch, S. H., and F. M. Roka. 2005. Trunk shaker mechanical harvesting systems. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Available from: <http://edis.ifas.ufl.edu>. Accessed 12 Feb. 2011.
3. Kherieh, M. 2002. Design, construction and evaluation of a shake branches tractor equipped with float arms to apple harvest. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Farsi).
4. Mobli, H. 1987. Determination of the biomechanical properties in mechanized harvesting of pistachio, Ph.D. dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. (In Farsi).
5. Loghavi, M. and H. Rahimi. 2007. Effects of shaking amplitude and frequency on two varieties of pistachio nut and cluster detachment. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11(40): 109-123. (In Farsi).
6. Loghavi, M. and Sh. Mohseni. 2005. The effects of shaking frequency and amplitude on detachment of lime fruit. Iran Agricultural Research, 24(2): 27-38.
7. Sanders, K. F. 2005. Orange harvesting systems review. Biosystems Engineering, 90 (2): 15-125.
8. Srivastava, A. K., C. E. Georing and R.P. Rohrbach. 1993. Engineering Principle of Agricultural Machines. Published by the American Society of Agricultural Engineers, 113: 88-92.
9. Torregrosa, A., E. Orti, B. Martín, J. Gil, and C. Ortiz. 2009. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain. Biosystems Engineering, 104:18-24.
10. Whitney, J. D. 1998. Field test results with mechanical harvesting equipment in Florida oranges. ASAE. 110:89-92.
11. Zare, M. 2006. Role of Mazandaran in the economy. Available from: <http://www.mazandnume.com/PNID=V5094>. Accessed 10 April 2011.

## تعیین حدود بهینه تنظیم دماغه کمباین برداشت غلات به منظور کاهش ریزش دانه در برداشت کلزا با استفاده از دستگاه شبیه‌سازی شده دماغه

مجید سلیمانی<sup>۱\*</sup> - مهدی کسرائی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۱

### چکیده

در دهه‌های اخیر، کلزا به‌عنوان مهم‌ترین دانه روغنی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. عمده‌ترین مشکل زراعت کلزا در مرحله برداشت و به‌دلیل حساس بودن غلاف‌های آن به ضربه و ارتعاش است. دماغه کمباین، به‌ویژه هنگامی که به خوبی تنظیم نشده باشد، به محصول ضربه خواهد زد و مقدار قابل توجهی از دانه‌ها بر روی زمین می‌ریزند. ضایعات محصول کلزا هنگام برداشت با کمباین غلات تا ۵۰ درصد هم گزارش شده است که با کاهش میزان ریزش، می‌توان عملکرد را بهبود بخشید. هدف از انجام این پژوهش، تعیین شرایط بهینه دماغه کمباین برای برداشت کلزا بود به نحوی که ریزش دانه کمینه شود. به این منظور یک دستگاه آزمایش شبیه دماغه کمباین در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شد و برای تعیین بهترین حالت تنظیم دماغه، عواملی که بیش‌ترین تأثیر را بر روی ریزش دانه دارند با این دستگاه مورد بررسی قرار گرفتند. این عوامل عبارت بودند از: سرعت پیش‌روی کمباین در سطوح ۱/۵، ۲ و ۲/۵ کیلومتر در ساعت، سرعت شانه‌برش در سطوح ۸۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ ضربه در دقیقه و نسبت سرعت خطی چرخ‌فلک به سرعت پیش‌روی در سطوح ۱، ۱/۳ و ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی. آزمایش‌ها بر روی رقم طلائی و در رطوبت ۱۶ درصد (بر پایه خشک) و با سه تکرار برای هر سطح انجام شد. با در نظر گرفتن اثر متقابل عوامل آزمایشی نتایج نشان داد که تأثیر این عوامل بر ریزش دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است و در حالتی که سرعت پیش‌روی کمباین ۲ کیلومتر در ساعت، سرعت شانه‌برش ۱۴۰۰ ضربه در دقیقه و سرعت خطی چرخ‌فلک ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی باشد، ریزش دانه کمینه خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** برداشت، تنظیم دماغه کمباین، دستگاه شبیه‌سازی شده، ریزش دانه، کلزا

### مقدمه

اطمینانی برای تهیه روغن خوراکی است مورد توجه قرار گرفته است (Shahidi and Forouzan, 1997). به علت سازگاری کلزا با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشورمان، کشت این گیاه برای تأمین روغن خام مورد نیاز کشور و به منظور کاهش واردات روغن توسعه یافته است به طوری که هم‌اکنون کلزا مهم‌ترین محصول در طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی محسوب می‌شود (Dehshiri, 1999).

تولید جهانی کلزا به طور میانگین در هر سال در دهه ۷۰ میلادی حدود ۱۲ میلیون تن، در دهه ۸۰ حدود ۱۷ میلیون تن و در دهه ۹۰ حدود ۲۵/۵ میلیون تن بوده است؛ به استناد آمار سازمان خواربار و کشاورزی (F.A.O) در سال ۱۹۹۸، تولید جهانی کلزا ۳۳/۵ میلیون تن از ۲۵ میلیون هکتار با میانگین ۱۳۴۳ کیلو در هکتار بوده است که این مقدار، کلزا را در مقام سوم میزان تولید محصولات کشاورزی قرار می‌دهد. در سال ۲۰۰۵ میلادی میزان تولید این محصول به ۴۸/۵ میلیون تن در ۲۷ میلیون هکتار رسید. سطح زیر کشت کلزا در سال

ریزش دانه‌های رسیده در زمان برداشت محصول، توسط کمباین یا هر وسیله دیگری که برای درو استفاده می‌شود یکی از عواملی است که زیان اقتصادی بسیاری به کشاورزان وارد می‌کند. یکی از محصولاتی که کشاورزان در برداشت آن به دلیل ریزش بسیار زیاد با مشکل مواجه می‌شوند کلزا است. این گیاه به واسطه درصد بالای روغن یکی از گیاهانی است که افزایش سطح زیر کشت آن از دهه ۵۰ به بعد با هیچ گیاه دیگری قابل مقایسه نیست؛ این افزایش در کشورهای اروپایی و کانادا بسیار زیاد بوده است و در ایران نیز به دلیل کمبود مواد اولیه روغن خوراکی، این گیاه که منبع خوب و قابل

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز

(\*- نویسنده مسئول: Email : Soleimanimajid64@gmail.com)

برخورد ضربه به محصول در حین برش توسط تیغه‌های برش و همچنین تماس مستقیم چرخ‌فلک با محصول سبب ریزش محصول در پلاتفرم برش می‌شود (Goss et al., 1958). طبق نتایج حاصل از تحقیقات بر روی پلاتفرم برش، مشخص شد که حدود ۶/۷۹ درصد از کل افت کمباین مربوط به چرخ‌فلک و تیغه‌های برش می‌باشد (Quick, 1973; Quick and Buchele, 1974). با توجه به این که بسیاری از کمباین‌های مورد استفاده در کشور فرسوده می‌باشند و اغلب کشاورزان از کمباین‌های رایج برای برداشت اکثر گیاهان زراعی استفاده می‌نمایند، اگر تنظیم‌های مربوط به دماغه برای هر گیاه به درستی انجام نشود میزان ریزش دانه در دماغه به شدت زیاد خواهد بود. بنابراین لازم است برای هر محصول تنظیم‌های ممکن بر روی دستگاه برداشت کننده را به صورت اختصاصی تعیین نمود تا کم‌ترین تلفات حاصل شود. به‌عنوان مثال برداشت کلزا به دلیل ویژگی‌های این گیاه به هیچ وجه با سایر گیاهان قابل مقایسه نیست و در صورت عدم رعایت نکات خاص، تلفات محصول زیاد خواهد بود.

### مواد و روش‌ها

برای تعیین مقدار ریزش دانه در دماغه کمباین یک سکوی آزمایش ریزش دانه در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شد تا توسط آن عوامل مؤثر بر ریزش مورد بررسی قرار گیرد (شکل‌های ۱ و ۲).

سه عاملی که امکان بررسی اثر آن‌ها توسط دستگاه مورد نظر فراهم شده بود عبارت بودند از: سرعت پیش‌روی کمباین، سرعت شانه برش و نسبت سرعت خطی چرخ‌فلک به سرعت پیش‌روی. نحوه کار به گونه‌ای بود که گیاه بر روی صفحات نگهدارنده دستگاه به صورت ایستاده قرار می‌گرفت و بعد از انجام تنظیمات با توجه به عواملی که می‌بایست بررسی شوند، صفحه نگهدارنده گیاهان را با سرعت مورد نظر به سمت دماغه برش حرکت می‌داد. استفاده از ریل‌های تغذیه کننده برای انجام آزمایش در خارج از مزرعه در سال ۱۳۸۴ توسط شهاب‌زاده و همکاران مورد استفاده قرار گرفته بود.

دماغه دستگاه شامل یک چرخ‌فلک و شانه برش بود که بر حسب آزمایش‌هایی که لازم بود انجام شوند قابلیت تنظیم برای آن‌ها در نظر گرفته شد. بعد از این که گیاهان روی صفحات نگهدارنده بریده شدند، وارد مخزن دستگاه می‌شدند. دانه‌هایی که زیر شانه برش ریخته بودند جزو تلفات محسوب می‌شدند و ریزش گیاه بر اساس میزان وزن دانه‌ای که زیر شانه برش ریخته بود به کل دانه‌ها (مجموع دانه‌های ریخته شده زیر شانه برش و عبور کرده از روی شانه برش) طبق فرمول (۱) محاسبه می‌شد:

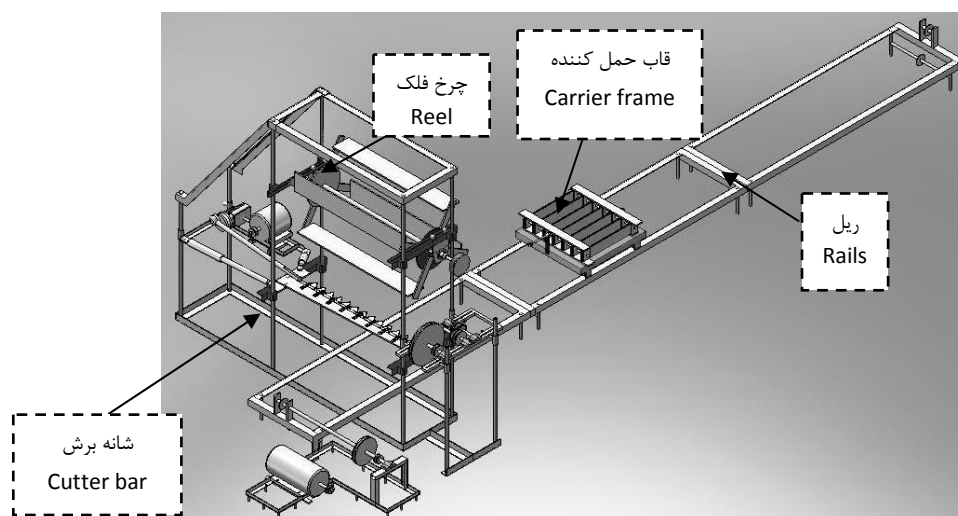
۱۳۸۶ در ایران ۲۲۰ هزار هکتار و میزان تولید دانه آن حدود ۳۲۰ هزار تن بوده است (Anonymous, 2008).

در دماغه عوامل تأثیرگذار مختلفی وجود دارد که در صورت تنظیم نبودن می‌توانند باعث ریزش شوند. برخی از این عوامل عبارتند از: سرعت حرکت شانه برش، سرعت دوران چرخ‌فلک، نسبت سرعت خطی وسیله و چرخ‌فلک، سرعت رو به جلو وسیله، ارتفاع برش ساقه، فاصله عمودی و افقی چرخ‌فلک از شانه برش، نوع چرخ‌فلک، نوع تیغه‌های شانه برش (صاف و مضرس)، زاویه تیزی تیغه‌ها، زاویه اریب بین تیغه‌های ثابت و متحرک؛ همچنین عوامل دیگری که مربوط به شرایط محصول می‌باشند مثل رطوبت ساقه، تراکم بوته‌های گیاه، الگوی کشت، ضخامت ساقه و نوع واریته نیز بر میزان ریزش دانه تأثیرگذار هستند.

در شرایط ایده‌آل تلفات دانه کلزا می‌تواند بین ۲ تا ۵ درصد از عملکرد محصول باشد. اما تلفات بین ۲۰ تا ۲۵ درصد نیز در شرایط آب و هوایی معمولی به ثبت رسیده است (Price et al., 1996).

ضایعات محصول کلزا در هنگام برداشت با کمباین غلات در استان گلستان تا ۳۵ درصد محصول گزارش شده است که با رعایت اصول فنی می‌توان این ضایعات را به مقدار قابل توجهی کاهش داد (Rahmati, 2007). طبق بررسی‌های انجام شده بیش‌ترین تلفات ریزش دانه به قسمت برش محصول اختصاص دارد. به عبارت دیگر سهم بزرگی از تلفات کل ابزار مورد استفاده برای درو مربوط به دماغه است (Shahab-zade, 2005). در برداشت کلزا بیش‌ترین افت در برخورد دماغه (هد) کمباین با محصول، حتی در زمان رطوبت مطلوب برداشت اتفاق می‌افتد و در شرایط نامطلوب و بحرانی حتی تا ۵۰ درصد افت دانه نیز وجود خواهد داشت (Diepenbrock, 2000). در پژوهشی که در سال ۱۹۹۲ تعدادی از محققین انجام دادند، علت اصلی ریزش کلزا هنگام برداشت با کمباین را تکان شدید وارده به محصول دانستند (Ogilvy et al., 1992). در تحقیقی دیگر نیز نشان داده شده است که گرچه علت اصلی تلفات شانه برش در اثر حرکت رفت و برگشتی تیغه‌ها است که به ناچار ساقه‌ها را هنگام بریدن می‌لرزاند، ولی به دلیل برخورد چرخ‌فلک با غلاف‌ها نیز ریزش وجود دارد (Hobson and Bruse, 2002).

در پژوهشی عامل اصلی ریزش دانه کلزا، خصوصیات تیغه‌برش تشخیص داده شده است. همچنین محققین بیان داشتند کندی و تیزی تیغه و سرعت رفت و برگشت تیغه بر روی مقدار ریزش دانه در هنگام برش اثر دارد (Szot et al., 1995). وارد کردن نیروی زیاد به گیاه باعث ریزش دانه‌ها و میوه‌های رسیده می‌گردد و حرکت‌های رفت و برگشتی باعث افزایش ریزش دانه‌های رسیده می‌شود (Smith et al., 1983). بنابراین تطبیق تنظیم‌های دماغه با شرایط محصول در جلوگیری از تلفات در برداشت بسیار بااهمیت است (Campbell et al., 2003).



**شکل ۱- سکوی شبیه سازی دماغه کمباین مورد استفاده رسم شده در نرم افزار Solidworks**  
**Fig. 1. Simulation platform of combine's head that drawn by solidworks software**

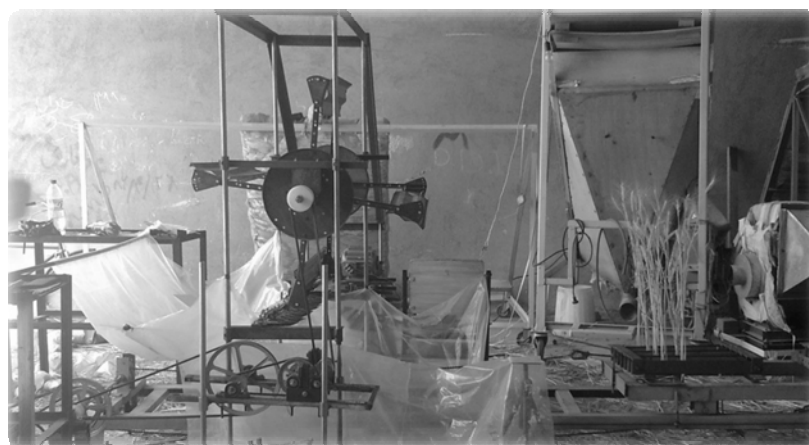
قلاف‌ها باقی بمانند. با توجه به این که همه آزمایش‌ها در شرایط یکسان انجام می‌شد این نحوه انتقال نمونه‌ها مشکلی در فرآیند پژوهش ایجاد نمی‌کرد.

به منظور تنظیم تراکم محصولات بر روی قاب حمل کننده ابتدا در شرایط مزرعه میانگین تعداد گیاهان در واحد سطح با ۳ مرتبه شمارش تعداد گیاهان موجود در یک قاب آزمایشی که به صورت تصادفی در سطح مزرعه قرار گرفته بود، به دست آمد و سعی شد در هنگام انجام آزمایش‌ها تعداد گیاهان ثابت بماند.

$$\text{درصد ریزش} = \frac{\text{دانه های ریخته شده زیر شانه}}{\text{کل دانه ها}} \times 100 \quad (1)$$

برای این که جمع‌آوری دانه‌ها راحت‌تر باشد زیر شانه برش پلاستیک پهن شد تا دانه‌ها بر روی آن بریزند و برای توزین دانه‌های جمع‌آوری شده از یک ترازو با دقت هزارم گرم استفاده شد.

برای تهیه نمونه‌های آزمایشی از مزرعه با استفاده از یک قیچی ساقه گیاهان از پایین‌ترین قسمت ممکن بریده شدند و سپس بر روی یک پلاستیک بزرگ قرار گرفتند و به نحوی به محل اجرای آزمایش منتقل شدند تا آسیبی به آن‌ها وارد نشود و تا حد ممکن دانه‌ها درون



**شکل ۲- سکوی شبیه سازی دماغه کمباین**  
**Fig. 2. Simulation platform of combine's head**

بعد از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری دانه‌هایی که زیر شانه‌برش ریخته می‌شدند و دانه‌هایی که از روی شانه برش عبور کرده بودند درصد وزنی ریزش دانه مربوط به هر تکرار مشخص شد و با استفاده از نرم افزار SPSS داده‌ها تحلیل شدند.

### نتایج و بحث

بعد از تعیین مقدار ریزش دانه مربوط به هر آزمایش و تحلیل داده‌ها، نتایج زیر حاصل شد. همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود میزان ریزش در بین سطوح عامل‌های سرعت پیش‌روی، سرعت شانه برش و سرعت چرخ‌فلک و همچنین اثرهای متقابل بین سرعت پیش‌روی و سرعت شانه‌برش، سرعت پیش‌روی و سرعت چرخ‌فلک و نیز سرعت شانه‌برش و سرعت چرخ‌فلک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است.

آزمایش‌های مربوط به گیاه فقط بر روی واریته طلائی و در رطوبت ۱۶ درصد (بر پایه خشک) انجام شد و با توجه به توصیه‌هایی که در منابع معتبر از جمله شرکت کمباین سازی ایران، برای حدود مناسب تنظیم عامل‌های مورد بحث صورت گرفته بود، دامنه تغییر هر عامل مشخص شد و به منظور انجام دقیق‌تر تنظیم‌ها، برای هر یک از این عامل‌ها سه سطح انتخاب شد. آزمایش بر روی هر سطح سه بار تکرار شد و برای هر آزمایش، میزان ریزش تعیین گردید و در نهایت مقایسه‌های لازم با استفاده از طرح فاکتوریل انجام شد تا سطح‌هایی که گیاه در آن شرایط کم‌ترین ریزش دانه را دارد انتخاب شوند. عامل‌های مورد بررسی و سطوح مربوط به هر عامل طبق جدول ۱ تعیین شدند.

برای انجام آزمایش‌ها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی استفاده شد تا بررسی کاملی بر روی نحوه تأثیر هر یک از عوامل صورت گرفته باشد. با توجه به سه تکرار که برای هر یک از سطوح انجام شد، تعداد کل آزمایش‌ها ۸۱ مورد بود.

جدول ۱- سطوح تعریف شده برای عامل‌ها

Table 1. Levels which defined for factors

عامل	سرعت پیش‌روی (کیلومتر بر ساعت)	سرعت شانه برش (ضربه در دقیقه)	سرعت چرخ فلک
Factor	Forward speed (km h <sup>-1</sup> )	Cutter bar speed (cycles per minute)	(نسبت سرعت خطی چرخ فلک به سرعت پیش‌روی) Reel speed (reel linear speed relative to forward speed)
مقدار	1.5	800	1.5
Amount	2	1100	1.3
	2.5	1400	1.1

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس عوامل سرعت بر روی درصد ریزش دانه

Table 2. ANOVA results of speed treatments on seed losses percent

شماره	منابع تغییر	میانگین مربعات	درجه آزادی	F
No.	Changing resources	Mean square	DOF	
1	سرعت پیش‌روی (A) Forward speed	120.74	2	9.84 **
2	سرعت شانه برش (B) Cutter bar speed	121.16	2	9.87 **
3	سرعت چرخ‌فلک (C) Reel speed	100.16	2	8.16 **
4	AB	54.97	4	4.48 **
5	AC	51.24	4	4.18 **
6	BC	46.91	4	3.82 **
7	ABC	13.3	8	1.08 <sup>ns</sup>
8	خطا Error	12.27	54	
9	کل All		81	

<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار    \*\* تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪

<sup>ns</sup> No significant difference    \*\* Significant difference at 1%



در ادامه اثر همه عوامل با هم مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود تنظیم های دستگاه در حالتی که اثر متقابل متغیرها در نظر گرفته شود چگونه باید باشد. نتایج این بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. کمترین درصد ریزش ۱۵/۴۲ درصد از کل دانه بود که مربوط به حالتی است که سرعت پیش‌روی ۲ کیلومتر بر ساعت، سرعت شانه برش ۱۴۰۰ ضربه در دقیقه و سرعت خطی چرخ‌فلک ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی بوده است. در صورتی که این داده‌ها با اطلاعات مرحله قبل که هر یک از عوامل جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند، مقایسه شوند مشخص می‌شود که تنها تنظیم های مربوط به سرعت چرخ‌فلک تغییر کرده است؛ با توجه به جدول ۳ سرعت خطی مطلوب برای چرخ‌فلک ۱/۱ سرعت پیش‌روی تعیین شد ولی وقتی اثر متقابل عامل‌ها در نظر گرفته شد، طبق جدول ۴ سرعت بهینه برای چرخ‌فلک ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی تعیین شد؛ چون در دماغه کمباین هر سه عامل هم‌زمان حضور دارند و نمی‌توان اثر هیچ کدام از آن‌ها را نادیده گرفت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای تعیین تنظیم های بهینه دماغه کمباین ضروری است که نتایج حاصل از اثرهای متقابل عامل‌ها را در نظر گرفت. این پژوهش نشان داد، اگر سرعت پیش‌روی کمباین ۲ کیلومتر بر ساعت باشد، شانه برش در هر دقیقه ۱۴۰۰ ضربه بزند و سرعت خطی چرخ‌فلک ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی باشد، در آن صورت ریزش دانه کلزا، رقم طلائی، در رطوبت ۱۶ درصد، در دماغه کمباین غلات به کمترین مقدار خواهد رسید.

ولی بین اثرهای متقابل ۳ عامل: سرعت پیش‌روی، سرعت شانه‌برش و سرعت چرخ‌فلک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در ابتدا سطوح هر یک از عامل‌ها بدون در نظر گرفتن اثر سایر عامل‌ها مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

**جدول ۳ -** نتایج مقایسه میانگین عوامل سرعت با استفاده از آزمون دانکن

**Table 3.** Comparison of speed treatments results by using of Duncan test

عوامل آزمایش Test factors	سطوح عامل‌ها Factor levels		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
سرعت پیش‌روی Forward speed	20.55 <sup>a</sup>	20.03 <sup>a</sup>	23.93 <sup>b</sup>
سرعت شانه برش Cutter bar speed	23.21 <sup>a</sup>	22.17 <sup>a</sup>	19.13 <sup>b</sup>
سرعت چرخ‌فلک Reel speed	19.9 <sup>a</sup>	20.98 <sup>a</sup>	23.64 <sup>b</sup>

در هر ردیف ارقامی که حرف مشترک دارند در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار نداشته اند

In each row numbers that have common letters, are not significantly different in 5%

با توجه به جدول ۳، سرعت پیش‌روی ۲ کیلومتر در ساعت، سرعت شانه‌برش ۱۴۰۰ ضربه در دقیقه و سرعت چرخ‌فلک ۱/۱ برابر پیش‌روی، کمترین ریزش دانه را نشان دادند.

**جدول ۴ -** نتایج مقایسه میانگین تیمارها

**Table 4.** Comparison of treatments

سرعت پیش‌روی (کیلومتر بر ساعت) Forward speed (km h <sup>-1</sup> )	سرعت شانه برش (ضربه در دقیقه) Cutter bar speed (cycles per minute)	سرعت چرخ فلک (نسبت سرعت خطی چرخ فلک به سرعت پیش‌روی) Reel speed (Reel linear speed relative to forward speed)		
			1.5	1.1
1.5	800	24.69 <sup>efg</sup>	21.78 <sup>abcdef</sup>	21.86 <sup>abcdef</sup>
1.5	1100	17.05 <sup>abcd</sup>	20.09 <sup>abcdef</sup>	18.3 <sup>abcdef</sup>
1.5	1400	21.43 <sup>abcdef</sup>	22.93 <sup>cdef</sup>	16.77 <sup>abcd</sup>
2	800	22.49 <sup>bcdef</sup>	17.25 <sup>abcd</sup>	22.45 <sup>bcdef</sup>
2	1100	24.45 <sup>efg</sup>	21.5 <sup>abcdef</sup>	18.38 <sup>abcdef</sup>
2	1400	15.42 <sup>a</sup>	21.92 <sup>abcdef</sup>	16.4 <sup>abc</sup>
2.5	800	33.53 <sup>h</sup>	20.42 <sup>abcdef</sup>	24.37 <sup>efg</sup>
2.5	1100	30.09 <sup>gh</sup>	24.97 <sup>fg</sup>	24.65 <sup>efg</sup>
2.5	1400	23.55 <sup>defg</sup>	17.89 <sup>abcde</sup>	15.83 <sup>ab</sup>

ارقامی که حرف مشترک دارند در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار نداشته اند  
Numbers that have common letters, are not significantly different in 5%

زیاد باشد و ۲- در هر لحظه ساقه‌های بیش‌تری در معرض تیغه قرار گیرند که هر دو عامل می‌توانند سبب افزایش ریزش دانه‌ها شوند. همچنین اگر سرعت پیش‌روی خیلی کم باشد با توجه به در هم پیچیدگی ساقه‌های کلزا، سبب می‌شود که ساقه‌ها توسط چرخ‌فلک و شانه برش کشیده شوند که این عامل باعث تکان خوردن بیش‌تر ساقه‌های کلزا و افزایش ریزش دانه‌ها خواهد شد؛ بنابراین حد متوسط سرعت پیش‌روی بهترین مقدار بوده است. در سرعت پیش‌روی متوسط، بیش‌ترین سرعت شانه برش باعث شده است که، سهم هر تیغه در هر برش تعداد ساقه‌های کم‌تری باشد و ساقه‌ها به راحتی بریده شوند و ریزش کاهش یابد و بیش‌ترین سرعت چرخ‌فلک باعث شده است که ساقه‌های بریده شده کلزا به طور کامل به داخل دماغه کشیده شوند و دانه‌های کم‌تری روی زمین بریزند.

در نهایت به‌منظور کاهش ریزش دانه، توصیه می‌شود در هنگام برداشت هر محصول با کمباین، سعی شود، تنظیم‌های دماغه کمباین به‌صورت خاص، با در نظر گرفتن اثر متقابل عوامل مؤثر بر ریزش آن محصول، انجام شود.

طبق نتایج حاصل از این پژوهش سطح بهینه سرعت پیش‌روی برای کمباین برداشت کلزا ۲ کیلومتر بر ساعت تعیین شد که این نتیجه با نتایج کار (Rahmati, 2007) مطابقت داشت.

در مورد سرعت شانه‌برش تحقیقی صورت نگرفته بود و فقط منابعی از جمله (Rahmati, 2007)، (Mansouri-Rad, 2005) و (Szot *et al.*, 1995) این مقدار را برای کلزا بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ ضربه پیشنهاد کرده بودند و با اجرای آزمایش‌های مورد نظر در این بازه مقدار ۱۴۰۰ ضربه در دقیقه به عنوان مناسب‌ترین سرعت شانه‌برش برای کلزا تعیین شد.

نسبت سرعت محیطی چرخ‌فلک به سرعت پیش‌روی کمباین برای کلزا ۱/۵ برابر سرعت پیش‌روی مشخص شد که این مقدار با منابعی که در ادامه ارائه شده‌اند مطابقت داشت: (Rahmati, 2007; Berglund *et al.*, 2007; Mansouri-Rad, 2005; Hobson and Bruse, 2002; Gardisser, 2005). با توجه به جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع کم‌ترین ریزش دانه در سرعت پیش‌روی بود که، در محدوده آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش، سرعت میانه می‌باشد دلیل آن می‌تواند چنین توجیه نمود که اگر سرعت پیش‌روی کمباین زیاد باشد باعث می‌شود که ۱- سرعت ضربه اولیه که به ساقه‌های کلزا وارد می‌شود

## منابع

1. Berglund, D. R., K. McKay, and J. Knodel. 2007. Canola production. Available from: <http://www.ag.ndsu>. Accessed 9 Aug 2007.
2. Campbell, W. P., and S. S. Alswager. 2003. Adjusting equipment now can alleviate harvest losses. *Biological Systems Engineering*. (402): 2472-3030.
3. Dehshiri, A. 1999. Canola. Promotional Programs Office Press and Promotion Technical Publications Press. (In Farsi).
4. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*brassica napus*): a review. *Field Crops Research*, (67): 35-49.
5. Gardisser, D. 2005. Harvesting grain sorghums. *Agriculture and natural resources*. 6 (16): 117-121.
6. Goss, J. R., R. A. Kepner and L. G. Jones. 1958. Performance characteristics of the grain combine in barley. *Agricultural Engineering* 39(11) (November): 697-702.
7. Hobson, R. N. and D. M. Bruce. 2002. Seed loss when cutting a standing crop of oilseed rape with two types of combine harvester header. *Biosystems Engineering* 81 (3): 281-286.
8. Masouri-Rad, D. 2005. Tractor and Agricultural Machines. Bou Ali Sina Univecity Press. (In Farsi).
9. Ogilvy, S. E., G. F. J. Milford, E. J. Evans, and J. B. S. Freer. 1992. Effects of pre-harvest treatment on the yield and quality of winter oilseed rape. *HGCA oilseeds research review*. No. 0S7.
10. Price, J. S., M. A. Neale, R. N. Hobson, and D. M. Bruce. 1996. Seed losses in commercial harvesting of oilseed rape. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65: 183-191.
11. Quick, G. R. and W. F. Buchele. 1974. Reducting combine gathering losses in soybeans.

- Transaction of the ASAE 17(6): 1123-1129.
12. Quick, G. R. 1973. Laboratory analysis of the combine header. Transaction of the ASAE 16(1): 5-12.
  13. Quick, G. R. and W. F. Buchele. 1974. Reducting combine gathering losses in soybeans. Transaction of the ASAE 17(6): 1123-1129.
  14. Rahmati, M. H. 2007. Proper canola harvesting by cereal combine. Promotion Management and Public Participation. 14-12. (In Farsi).
  15. Shahidi, A. and K. Forouzan. 1997. Canola. Oilseeds Cultivation Development Company Press. (In Farsi).
  16. Smith, E. A. and A. M. Ramsy. 1983. Force during fruit removal by a mechanical raspberry harvester. Journal of Agricultural Engineering Research, 27 (4): 35-51.
  17. Shahab-Zadeh, M. M. 2005. Design, construction and evaluation canola harvest by helping the separator. From M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Farsi).
  18. Szot, B., M. Szpryngiel and M. Grochowicz. 1995. Necessary adaptation of combine for rape harvesting. Zeszyty PPNR, 427: 27-33.

## بررسی اثرات نوع افشانک سمپاشی و زمان اختلاط علف‌کش با خاک بر کنترل علف‌های هرز ذرت (*Zea mays L.*)

کریم گرامی<sup>۱\*</sup> - محمود صفری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

### چکیده

به منظور مطالعه اثر نوع افشانک و زمان اختلاط علف‌کش با خاک بر میزان کنترل علف‌های هرز ذرت، پژوهشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در محل مؤسسه تحقیقات اصلاح و تولید نهال و بذر (کیلومتر ۲۵ غرب تهران) در سال ۲۰۰۸ به اجرا درآمد. کرت‌های اصلی زمان اختلاط علف‌کش ارادیکان با خاک در ۴ سطح بلافاصله، ۳، ۶ و ۹ ساعت بعد از سمپاشی و کرت‌های فرعی نوع افشانک در ۳ سطح افشانک تی جت استاندارد<sup>۳</sup>، افشانک شره ای<sup>۴</sup> و افشانک هوا القا<sup>۵</sup> بودند. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل: تراکم علف‌های هرز به تفکیک گونه در سه مرحله بلافاصله قبل از سمپاشی، ۱۵ روز بعد از سمپاشی و ۳۰ روز بعد از سمپاشی، وزن خشک علف‌های هرز در دو مرحله ۱۵ و ۳۰ روز بعد از سمپاشی و عملکرد ذرت بود. نتایج تحقیق نشان داد افشانک تی جت نسبت به افشانک شره ای و هوا القا از نظر ضریب کیفیت پاشش برتری داشت. افشانک شره ای در مقایسه با سایر افشانک‌ها طیف وسیعی از علف‌های هرز ذرت را کنترل نمود. صرف نظر از نوع افشانک، زمان اختلاط علف‌کش با خاک بلافاصله بعد از سمپاشی، روی عملکرد ذرت افزایش معنی داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. با توجه به واکنش متفاوت علف‌های هرز به زمان‌های اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی و نیز تأثیر تیمار فوق بر عملکرد ذرت و کاهش وزن خشک علف‌های هرز، زمان اختلاط علف‌کش با خاک از صفر تا ۴/۵ ساعت بعد از سمپاشی نسبت به سایر زمان‌ها برتری نشان داد. تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد ترکیب تیماری افشانک‌های تی جت استاندارد (زمان اختلاط علف‌کش با خاک بلافاصله و ۳ ساعت بعد از عملیات سمپاشی)، شره ای (زمان اختلاط علف‌کش با خاک بلافاصله بعد از عملیات سمپاشی) و هوا القا (زمان اختلاط علف‌کش با خاک بلافاصله، ۳ و ۶ ساعت بعد از عملیات سمپاشی) نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری دارای بیشترین عملکرد دانه بودند.

واژه‌های کلیدی: افشانک‌های AI, FJ, TS, سمپاشی ذرت، علف‌کش خاک مصرف، علف هرز

### مقدمه

از ۹۰ درصد سطح زیر کشت ذرت کشور (۴۷۰ هزار هکتار) مبارزه شیمیائی صورت می‌گیرد (Agricultural Statistics, 2007). با توجه به روند افزایشی سطح زیر کشت ذرت در کشور و وجود علف‌های هرز به‌عنوان یکی از موانع اصلی در افزایش تولید، یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت کنترل علف‌های هرز ذرت روش کنترل شیمیائی می‌باشد. لذا انتخاب صحیح سمپاش و افشانک‌های مربوطه و کالیبراسیون درست آن باعث افزایش بازده سمپاشی و کاهش خسارت به محیط زیست و کاهش بی‌رویه مصرف سم شده و تولیدکنندگان و واردکنندگان را در سازگاری سمپاش با شرایط کشت موجود کمک نموده و کاربران سمپاش را در انتخاب سمپاش و افشانک مؤثر و مناسب در کنترل معضلات گیاهپزشکی راهنمایی می‌کند (Fallah Jeddi, 2005). در این (Gerami, 2005) سه نوع سمپاش را به‌منظور مبارزه با علف‌های هرز مزرعه گندم بررسی نمود.

ذرت دانه ای به‌عنوان ماده اولیه خوراک دام، طیور، انسان و ماده خام تولیدات صنعتی و غذایی، یکی از محصولات مهم و اساسی محسوب می‌گردد که هر ساله کشاورزان هزینه زیادی را برای کنترل علف‌های هرز آن متحمل می‌شوند (Gerami, 2010). سطح زیر کشت ذرت در سال ۱۳۸۶ بالغ بر ۵۰۰ هزار هکتار می‌باشد؛ که از این مقدار ۸۰ درصد ذرت دانه ای و ۲۰ درصد ذرت علوفه ای است که در بیش

۱- پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

\* - نویسنده مسئول: (Email: kg\_gerami@yahoo.com)

۲- مربی پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

3 - Teejet Standard (TS)

4 - Floodjet (FJ)

5 - Air Induction (AI)

در این تحقیق سمپاش میکروئر (ابرپاش) دو علف هرز *Conringia orientalis* و *Convolvulus arvensis* و سمپاش فرغونی لانس دار علف‌های هرز *Taraxacum Compositae sp.*، *Eradium sp.* و *Polygonum patulum syriacum* بهتر کنترل نمود و بالاترین عملکرد دانه گندم نیز به ترتیب مربوط به سمپاش‌های میکروئر، فرغونی لانس دار و پشت تراکتوری بود. پژوهشی به منظور بررسی مناسب‌ترین زمان کاربرد علف‌کش 2، 4-D برای کنترل علف‌های هرز تاج خروس و سلمه تره در مزرعه ذرت انجام شد و نتایج نشان داد مراحل ۲ تا ۳ برگی ذرت مناسب‌ترین زمان برای کنترل انتخابی علف‌های هرز تاج خروس و سلمه تره می‌باشند (Ahari Mostafavi, 2003). به منظور بررسی کارایی چند روش شیمیایی و مکانیکی برای کنترل علف‌های هرز ذرت و دستیابی به بهترین روش کنترل، پژوهشی انجام گردید که در آن تلفیقی از علف‌کش‌های پیش کاشت به همراه دوبار وجین به نحو مؤثری علف‌های هرز را کنترل نمود. این تیمار علف‌های هرز سوروف، اویارسلام، پیچک و سایر علف‌های هرز را به ترتیب ۹۳، ۷۸/۹، ۸۸ و ۹۹ درصد کنترل نمود (Fathi, 2005). در تحقیقی (Wolf, 2005) اثر یک نوع افشانک جدید از نوع ونتوری را با سایر افشانک‌ها در مبارزه با علف‌های هرز بررسی نمود. هنگام استفاده از علف‌کش گلایفوسیت، افشانک TTI نسبت به افشانک AM علف هرز گاو پنبه را بهتر کنترل نمود. (LSD=6) و در هنگام استفاده از علف‌کش پاراکوات، افشانک ULD نسبت به افشانک‌های AM و TTI علف هرز گاو پنبه را بهتر کنترل نمود (LSD=6). بر اساس گزارش (Matthews, 2000) افشانک‌ها مهم‌ترین قسمت سمپاش هستند که به طور مستقیم کارایی سمپاش را تحت تأثیر قرار می‌دهد، انتخاب صحیح افشانک برای موفقیت در عملیات سمپاشی حائز اهمیت است. در این خصوص (Shirvani, 1999) طی تحقیقی بر روی ۶ افشانک سمپاش پشت تراکتوری (شامل افشانک‌های بادبزی استاندارد Teejet 11002، Teejet Lechler652.517، Teejet 11004، Teejet 8003، فرمز پلاستیکی و فلزی) نشان داد که تأثیر افشانک‌ها بر کنترل علف‌های هرز بسیار معنی‌دار بوده است. در تحقیقی میزان کنترل علف‌های هرز بوسیله افشانک‌های شوره ای (FJ) و بادبزی (FF)، دز، حجم‌های مختلف آب مورد استفاده (۲۵۰، ۵۰۰ یا ۷۵۰ ha<sup>-1</sup>) و علف‌کش‌های مختلف (glyphosate، MON8793 و MON8794) مورد ارزیابی قرار گرفت. بهترین تیمار از لحاظ کنترل علف‌های هرز، علف‌کش Mon8793 با دز ۳/۶ کیلوگرم در هکتار بوسیله افشانک شوره ای و ۷۵۰ لیتر آب مصرفی در هکتار مشخص گردید (Ashok et al., 2003).

همچنین کنترل علف‌های هرز تلخه، سلمه تره و تاج خروس با افزایش فشار پاشش و استفاده از افشانک AI بهبود یافته است

و وجود نداشت. (Brown et al., 2007). بیشترین کنترل علف‌های هرز ذرت را در شرایط سمپاشی با قطرات درشت حاصل از افشانک‌های پیش سوراخ دار، افشانک توأم با جریان هوا و افشانک شوره ای در فشار پایین دانست (Matthews, 1999). با استفاده از کارت‌های حساس به آب، آزمایشاتی توسط (Naseri, 2007) روی صفات VMD، NMD و کیفیت پاشش انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد مناسب‌ترین تیمار برای مبارزه با آفات از قبیل سن گندم، سمپاشی با کمترین قطر افشانک (۱/۲ میلی‌متر)، کمترین فشار (۱۵ بار) و بیشترین سرعت پیشروی (۸/۱۲ کیلومتر در ساعت) است. سموم مختلفی که بصورت پیش کاشت مصرف می‌شود توسط (Umeda, 1988) روی ذرت آزمایش گردید، این سموم شامل (ارادیکان) Eradican و Dual و Frontier بودند که توسط بوم دستی با افشانک‌های تی جت استاندارد 8004 با دبی ۱۸GPa و فاصله افشانک‌ها ۵۰cm اعمال گردید. در این آزمایش کلیه سموم در کنترل علف‌های هرز موفق بودند و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت.

تأثیر سه نوع علف‌کش تریفلورالین، اکسادیزون و ایزوپرترون و سه روش اعمال آن که شامل روش پیش رویش با استفاده از سمپاش، روش پیش رویش و اختلاط کامل با خاک و همچنین روش اختلاط آن با خاک قبل از کشت توسط (Khan, 2000) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از علف‌کش اکسادیزون به روش اختلاط با خاک قبل از مرحله کاشت دارای بیشترین عملکرد محصول می‌باشد. در بررسی انجام شده توسط کراپتری (Crabtree, 2000) با استفاده از ترافلان با غلظت‌های ۰، ۱، ۲ و ۴ لیتر در هکتار و ۳ تاخیر زمانی اختلاط صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت نشان داد که تاخیر زمانی اختلاط علف‌کش سبب کاهش اثر بخشی و همچنین کاهش عملکرد در گندم می‌شود.

با توجه به نتایج فوق، پژوهش در خصوص وضعیت پاشش افشانک سمپاش‌های رایج ضروری است تا بتوان با استناد به این نتایج در خصوص انتخاب نوع افشانک و زمان اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی جهت مبارزه با علف‌های هرز پیش کاشت برنامه ریزی نمود.

## مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه اثر زمان اختلاط علف‌کش با خاک و نیز نوع افشانک سمپاش بر میزان کنترل علف‌های هرز، منطقه ای از مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تولید نهال و بذر کرج که از نظر آلودگی به علف‌های هرز در حد قابل قبول و یکنواختی بود انتخاب گردید. این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در سه تکرار در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد که

**کیفیت پاشش:** قطرات حاصل از افشانک های هیدرولیکی دارای اندازه یکسانی نیستند و این افشانک ها طیف متنوعی از قطرات سم تولید می کنند، عبارتی این طیف قطرات از بسیار ریز تا بسیار درشت را شامل می شود. ارزیابی های کیفیت بر اساس اندازه گیری طیف قطره می باشد. طیف قطره روی مقدار پوشش پاشش اثر خواهد گذاشت. ضریب کیفیت پاشش برابرنسبت VMD/NMD است و هر قدر به عدد یک نزدیکتر باشد یکنواختی پاشش بیشتر است (Anonymouse, 2004).

اندازه قطرات با استفاده از کاغذهای حساس اندازه گیری گردید. به منظور تعیین قطر تقریبی و تعداد قطرات در یک سانتیمتر مربع از روش بزرگنمایی (Scale up) استفاده شد. سپس با استفاده از دستگاه کولونی متر تعداد و قطر ذرات تعیین گردید (Safari et al., 2010). درصد فراوانی تجمعی عددی و درصد فراوانی تجمعی حجمی قطرات برای هر دامنه گروه قطرات محاسبه و نهایتاً با توجه به تعاریف بالا به ترتیب قطر میانگین عددی و قطر میانگین حجمی محاسبه گردید (جدول ۱ و ۲).

**ب) ارزیابی بیولوژیکی:** در این روش تأثیر تیمارهای مختلف بر کنترل علف های هرز مورد ارزیابی قرار گرفت که شامل موارد زیر است:

#### تراکم و وزن خشک علف های هرز

قبل از انجام عملیات سمپاشی پیش رویشی، در قسمت سمپاشی شده و سمپاشی نشده کلیه کرت ها یک کادر ثابت  $1 \times 1/5$  متر مربع نصب گردید (ضمناً دقت شد که محل استقرار کادر از نظر حضور علف هرز نمایانگر آن علف هرز باشد). سپس ۳۰ روز پس از عملیات سمپاشی پیش رویشی در کادرهای ثابت مربوط به هر دو قسمت سمپاشی شده و سمپاشی نشده، تراکم علف های هرز به تفکیک گونه شمارش گردید. بدین ترتیب درصد کاهش تراکم علف های هرز به ترتیب گونه نسبت به قسمت سمپاشی نشده هر کرت با معادله (۱) محاسبه گردید.

$$N = (W_1 - W_2) / W_1 * 100 \quad (1)$$

$$N = \text{کنترل علف هرز } (\%)$$

$$W_1 = \text{تراکم علف های هرز در واحد سطح قبل از اعمال تیمار}$$

$$W_2 = \text{تراکم علف های هرز در واحد سطح بعد از اعمال تیمار}$$

علف های هرز صدمه دیده بعد از عملیات سمپاشی، شامل علف های هرز کاملاً ریشه کن شده یا مدفون شده در داخل خاک و علف های هرز صدمه دیده (از نظر فیزیکی) است (RNAM, 1983).

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای کاربردی روی کاهش وزن خشک علف های هرز، در ۳۰ روز پس از عملیات سمپاشی پیش رویشی یک کادر  $0/75m \times 0/5m$  در قسمت تیمار شده و یک کادر  $0/75m \times 0/5m$  در قسمت تیمار نشده هر کرت پرتاب گردید (جائیکه

در آن زمان اختلاط علف کش با خاک شامل زمان های بلافاصله، ۳، ۶ و ۹ ساعت بعد از سمپاشی، در کرت های اصلی و نوع افشانک در کرت های فرعی قرار گرفت. طول و عرض هر کرت به ترتیب ۱۰ و ۴ متر، و برای جلوگیری از اثر بادبردگی فاصله ۳ متری بین تیمارها و فاصله ۸ متری بین تکرارها در نظر گرفته شد. روش کاشت ذرت دانه ای در مزرعه مطابق الگوی کاشت منطقه (فاصله ردیف ها ۷۵ سانتی متر) و توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بوده و رقم بذر ذرت مورد استفاده سینگل کراس ۷۰۴ بود. علف کش مورد استفاده ای پی تی سی با نام تجاری ارادیکان است که به صورت انتخابی، سیستمیک عمل کرده و علیه علف های هرز باریک برگ و پهن برگ یک ساله استفاده می شود. عملیات کاشت در تاریخ ۲۵ اردیبهشت و با دستگاه ردیفکار پنوماتیکی چهار ردیفه مارک تراشکده انجام و آبیاری به طریقه نشتی و مطابق نیاز گیاه هر ۷ تا ۱۰ روز یکبار انجام شد. در مرحله داشت، کود اوره به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در دو نوبت نصف هنگام کاشت و نصف در مرحله ۷ الی ۸ برگی ذرت بصورت دستپاش در جویچه ها توزیع شد.

افشانک های مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: ۱- افشانک هوا-الفا (AI) ۲- افشانک تی جت استاندارد (TS) ۳- افشانک شره ای (FJ) (شکل ۱).

دیسک مورد استفاده برای عملیات دیسک زنی (اختلاط محلول سمی با خاک) از نوع تاشو سوار با عرض کار  $2/5$  متر و از نظر توان و ظرفیت سیستم هیدرولیک، قابل اتصال به تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و اوینورسال (U650) بود. قبل از عملیات، سمپاش از نظر سالم بودن اجزا و کارکرد بررسی و برای تنظیم پاشش یکنواخت مقدار معینی از محلول سمی در واحد سطح کالیبره گردید. شماره فنی افشانک های مورد استفاده ۱۱۰۴ انتخاب گردید. میزان حجم پاشش در هکتار برای هر کدام از افشانک ها در سرعت پیشروی  $6/8$  کیلومتر در ساعت و فشار پاشش  $2/9$  بار،  $300$  لیتر در هکتار بود.

**ارزیابی افشانک ها** به دو صورت متفاوت انجام گرفت:

**الف) ارزیابی فیزیکی:** که شامل اندازه گیری قطر میانگین حجمی و قطر میانگین عددی و ضریب کیفیت پاشش افشانک ها بود.

**قطر میانگین حجمی<sup>۱</sup>:** قطری از قطره سم است که ۵۰ درصد قطرات موجود در کل حجم محلول، کوچکتر از آن است. به عبارت دیگر در یک نمونه از سم، قطرات به نحوی به دو قسمت مساوی تقسیم می شوند که نیمی از آنها کوچکتر و نیم دیگر بزرگتر از قطر میانگین حجمی هستند.

**قطر میانگین عددی<sup>۲</sup>:** قطری از قطرات سم که ۵۰ درصد از کل قطرات سم (بدون در نظر گرفتن حجم) کوچکتر از آن باشند.

1- VMD: Volume Median Diameter

2- NMD: Number Median Diameter

شده توسط افشانک AI است که ۵۰ درصد قطرات موجود در کل حجم محلول کوچکتر از آن و طبق استاندارد اروپایی طبقه بندی کیفیت پاشش افشانک‌ها که توسط انجمن حفظ نباتات انگلستان<sup>۱</sup> ارائه شده جزو پاشش‌های متوسط تا درشت می‌باشد. قطر میانه عددی برای افشانک هوا القا ۱۰۸ میکرون می‌باشد و این قطری است که ۵۰ درصد از کل قطرات سم (بدون در نظر گرفتن حجم) کوچکتر از آن هستند. ضریب کیفیت پاشش ۳/۸۴ می‌باشد که این عدد در حالت ایده‌آل اگر کل قطرات دارای اندازه یکنواختی باشند برابر یک می‌باشد و در افشانک‌های هیدرولیکی بسته به نوع فن آوری معمولاً بین ۲ تا ۴ می‌باشد بنابراین افشانک هوا القا از نظر ضریب کیفیت پاشش نسبت به سایر افشانک‌ها در سطح پایینی قرار دارد.

عوامل و خصوصیات سایر افشانک‌ها نیز مثل افشانک هوا القا محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. قطر میانه حجمی برای افشانک شره ای که جزو افشانک‌های دارای قطرات نسبتاً درشت می‌باشد برابر ۴۱۸ میکرون، قطر میانه عددی ۱۲۹ میکرون و ضریب کیفیت پاشش برابر ۳/۲۴ می‌باشد. ضریب کیفیت این افشانک نسبت به افشانک AI بیشتر بوده عبارت بهتر کیفیت پاشش افشانک FJ نسبت به افشانک AI کمتر می‌باشد. قطر میانه حجمی برای افشانک تی جت استاندارد برابر ۳۰۲ میکرون، قطر میانه عددی برابر ۱۳۹ میکرون و ضریب کیفیت برابر ۲/۱۷ می‌باشد.

ضریب کیفیت این افشانک نسبت به افشانک‌های AI و FJ کمتر بوده عبارت بهتر کیفیت پاشش افشانک TS نسبت به هر دو افشانک AI و FJ بیشتر می‌باشد. با توجه به جدول ۲، VMD افشانک AI نسبت به افشانک TS به میزان ۳۷/۴ درصد بیشتر بوده که مؤید نظرات روبرت ولف است (Wolf, 2005). افزایش VMD افشانک هوا القا نسبت به افشانک تی جت با کاربرد سم رانداپ (فشار ۴۰psi) در مبارزه با علف‌های هرز سویا نیز توسط (Jones et al., 2002) گزارش شده است.

نمایانگر علف‌های هرز آن کرت بود) و در این کادرها علف‌های هرز باریک و پهن برگ به تفکیک گونه از سطح خاک قطع شد و پس از قرار دادن آن‌ها در آون ۷۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت توزین گردید. در این حالت درصد کاهش ماده خشک هر تیمار نسبت به شاهد همان کرت مطابق معادله (۲) محاسبه گردید (Zand, 2008).

$$DW_r = \frac{DW_1 - DW_2}{DW_1} \quad (2)$$

$DW_r$  = درصد کاهش وزن خشک علف هرز

$DW_1$  = وزن خشک علف هرز در نیمه سمپاشی نشده

$DW_2$  = وزن خشک علف هرز در نیمه سمپاشی شده

پس از جمع آوری داده‌های مربوط به پارامترهای مورد اندازه گیری، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین آن‌ها با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن انجام گرفت.

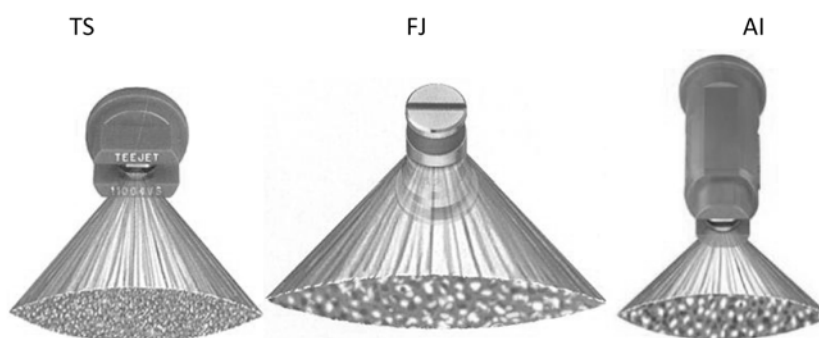
## نتایج و بحث

### شناسایی علف‌های هرز

علف‌های هرز موجود در مزرعه آزمایش عبارت بودند از: پیچک (*Convolvulus Arvensis*)، خرفه (*Protulaca Oleracea*)، تاتوره (*Datura stramonium L.*)، هفت بند، سلمه تره (*Chenopodium album*)، تنجاق خسروس (*Amaranthus retroflexus*)، اویار سلام (*Cyperus rotundus*) و آفتاب پرست (*Heliotropium spp*).

### ارزیابی فیزیکی

با توجه به جدول ۱ قطر میانه حجمی برای افشانک هوا القا که جزو افشانک‌های با بادبردگی کم می‌باشد، برابر ۴۱۵ میکرون است. عبارت بهتر ۴۱۵ میکرون اندازه قطری از قطرات محلول سم پاشیده



شکل ۱- افشانک‌های رایج مورد استفاده بر روی سمپاش بوم دار پشت تراکتوری

Fig. 1. Conventional nozzles used on the tractor boom sprayer

**جدول ۱ -** قطر میانه حجمی، قطر میانه عددی و ضریب کیفیت پاشش در افشانک هوا القا

**Table 1.** Volume median diameter, number median diameter and uniform coefficient of spraying in air Induction nozzle

فرآیند حجمی (درصد) Volumetric cumulative frequency (%)	درصد حجمی Volume percentage	حجم قطره × تعداد Droplet volume number (μ <sup>3</sup> )	حجم قطره Droplet volume (μ <sup>3</sup> )	فرآیند عددی (درصد) Numerical cumulative frequency (%)	فرآیند حجمی عددی Numerical cumulative frequency	تعداد قطره در گروه (درصد) Droplet in group (%)	تعداد قطره در گروه Droplet in group	میانگین گروه (میکرون) Group representative (μ)	دامنه گروه قطر (میکرون) Droplet range (μ)
0.003	0.003	214677.643	6708.676	4.630	32	4.630	32	25	0-50
0.563	0.560	37269190.05	207051.055	30.680	212	26.049	180	75	51-100
16.882	16.258	1081015037	2729835.952	87.988	608	57.308	396	175	101-250
43.882	27.059	1799103490	27259143.8	97.539	674	9.551	66	375	251-500
100	56.117	3731122669	219477804	100	691	2.460	17	750	501-1000
	100	6648725064	249680543.5			100	691		
NMD = 108 μ		VMD = 415 μ				SQ = 3.84			

SQ: ضریب کیفیت پاشش (Spray quality) uniform coefficient of spraying

که اثرات تیمار نوع افشانک سمپاش بر درصد کنترل علف های هرز خرفه، تاتوره، سلمه تره، تاج خروس، اویار سلام و آفتاب پرست معنی دار شده است. طبق آزمون دانکن بین افشانک های مختلف پاشش از لحاظ درصد کنترل شده علف های هرز یاد شده تفاوت معنی داری در سطح ۱٪ وجود دارد. به طوری که افشانک AI با ۲۳/۹٪ نسبت به سایر افشانک ها در کنترل علف هرز تاتوره موفق عمل نموده و افشانک FJ در کنترل علف های هرز خرفه، سلمه تره، تاج خروس، اویار سلام و آفتاب پرست به ترتیب با ۴۱/۱٪، ۵۳/۹٪، ۵۸/۶٪، ۶۱/۸٪ و ۷۳/۸٪ نسبت به سایر افشانک ها برتری نشان داد. افزایش کنترل علف های هرز بوسیله افشانک شره ای نسبت به بادبازی مسطح توسط علف کش Mon8793 با دز ۳/۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Ashok et al., 2003). افشانک شره ای (FJ) دارای VMD برابر با ۴۱۸ میکرون بوده که بیشتر از افشانک های TS و AI می باشد و بنظر می رسد این افشانک با توجه ماهیت قطرات در رسیدن به هدف مؤثرتر بوده است و دلیل آن می تواند بعلت پایین بودن بادبردگی نسبت به افشانک های دیگر باشد. در خصوص مجموع وزن خشک علف های هرز پهن برگ، اثرات نوع افشانک در سطح ۵٪ معنی دار شده است و این بیانگر اینست که تأثیر تیمار افشانک از لحاظ تغییرات میانگین مجموع وزن خشک علف های هرز پهن برگ یکسان نیست بطوریکه افشانک TS با ۴۰/۱ گرم دارای بیشترین وزن خشک بوده، عبارتی دارای ضعیفترین کنترل علف های هرز پهن برگ می باشد و افشانک های FJ و AI با هم اختلاف معنی داری نداشته و بیشترین کنترل را داشته اند.

در بررسی عملکرد ذرت در هکتار، طبق آزمون دانکن اثر نوع افشانک معنی دار نشده است. بدین معنی که تأثیر سطوح تیمار افشانک ها از لحاظ تغییرات عملکرد دانه یکسان است و نوع افشانک در افزایش یا کاهش عملکرد تأثیری نداشته است.

**جدول ۲ -** ارزیابی فیزیکی افشانک ها بر اساس استاندارد BCPC

**Table 2.** Physical evaluation of nozzles based on BCPC standards

طبقه بندی پاشش بر اساس BCPC	ضریب کیفیت پاشش SQ	قطر میانه حجمی (میکرون) VMD (μ)	عددی (میکرون) (NMD)	افشانک (μ)	Nozzle
متوسط تا درشت (محدوده پایین) medium to coarse (Low range)	2.172	302	139	TS	افشانک تی جت استاندارد
متوسط تا درشت medium to coarse	3.124	418	129	FJ	افشانک شره ای
متوسط تا درشت medium to coarse	3.84	415	108	AI	افشانک هوا القا
Teejet Standard Flood Jet					
Air Induction					

### ارزیابی بیولوژیکی

در جدول ۳ اثرات تکرار (بلوک) معنی دار نبوده ولی اثرات تیمارهای نوع افشانک از لحاظ درصد کنترل علف هرز پیچک در سطح ۵ درصد معنی دار شده است. همانگونه که از شکل ۲ مشاهده می شود بین افشانک های مختلف از نظر کنترل علف هرز پیچک تفاوت معنی داری وجود دارد بطوریکه بیشترین کنترل علف هرز پیچک مربوط به افشانک تی جت استاندارد می باشد و افشانک های شره ای و هوا القا در رده های بعدی قرار گرفته اند. برای علف هرز هفت بند اثر تیمار نوع افشانک سمپاشی معنی دار نشده است؛ یعنی افشانک های نوع هوا القا، شره ای و تی جت استاندارد در کنترل علف هرز یاد شده به یک میزان مؤثر بوده اند. جدول ۳ نشان می دهد



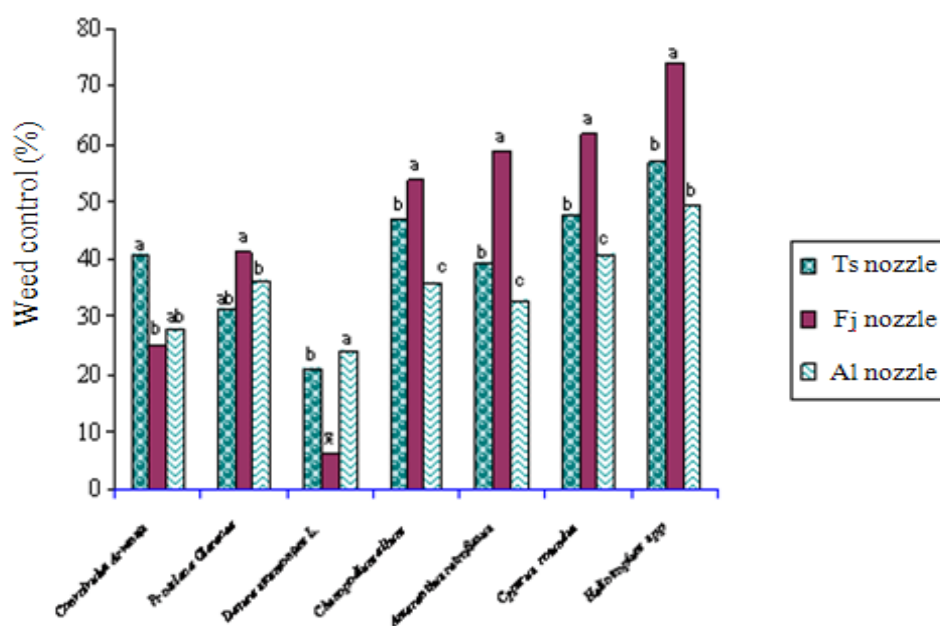
جدول ۳ - تجزیه واریانس درصد کنترل علف‌های هرز به تفکیک گونه، وزن خشک علف‌های هرز و عملکرد محصول  
 Table 3 Analysis of variance of weeds control percentage according to species, weeds dry weight and yields

عملکرد دانه‌ها در هکتار Grain yield (Ton/ha)	مقدار F										درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variations
	وزن خشک علف‌های هرز (گرم) Weeds dry weight (gr)		درصد کنترل علف هرز Weed control (%)									
	بارک برگ Fine Leaf	پهن برگ Broad Leaf	آفتاب پرست <i>Heliotropium spp</i>	اویار سلام <i>Cyperus rotundus</i>	تاج خروس <i>Amaranthus retroflexus</i>	سلمه تره <i>Chenopodium album</i>	هفت بند <i>Polygonum aviculare</i>	تاتوره <i>Datura stramonium L.</i>	خرفه <i>Portulaca Oleracea</i>	پیچک <i>Convolvulus Arvensis</i>		
4.1 <sup>ns</sup>	2.1 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0.6 <sup>ns</sup>	1.2 <sup>ns</sup>	2.2 <sup>ns</sup>	0.5 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	1.8 <sup>ns</sup>	2.3 <sup>ns</sup>	1.7 <sup>ns</sup>	2	تکرار Rep.
8.7 <sup>*</sup>	102.3 <sup>**</sup>	9.4 <sup>**</sup>	53.2 <sup>**</sup>	327.9 <sup>**</sup>	92.1 <sup>**</sup>	70.6 <sup>**</sup>	1 <sup>ns</sup>	82.7 <sup>**</sup>	217.5 <sup>**</sup>	90.3 <sup>**</sup>	3	زمان اختلاط Incorporation Time(A)
0.7 <sup>ns</sup>	49.6 <sup>**</sup>	2.8 <sup>*</sup>	10.2 <sup>**</sup>	454.0 <sup>**</sup>	54.9 <sup>**</sup>	85.5 <sup>**</sup>	1 <sup>ns</sup>	33.7 <sup>**</sup>	9.9 <sup>**</sup>	4.3 <sup>*</sup>	2	نوع افشانک Nozzle type(B)
0.5 <sup>*</sup>	47.7 <sup>**</sup>	2.2 <sup>*</sup>	15.8 <sup>**</sup>	792.0 <sup>**</sup>	28.7 <sup>**</sup>	40.1 <sup>**</sup>	1 <sup>ns</sup>	30.1 <sup>**</sup>	17.3 <sup>**</sup>	72.1 <sup>**</sup>	6	نوع افشانک + زمان اختلاط A,B

ns: no significant difference

\* and \*\*: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

\*\*\*: ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5٪ و ۱٪



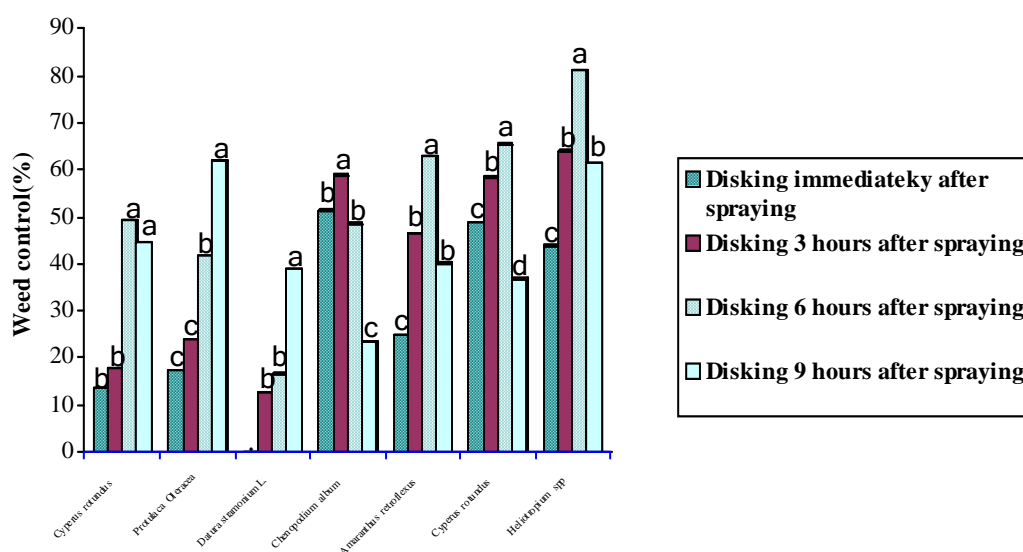
شکل ۲- اثر نوع افشانک روی درصد کنترل علف‌های هرز ذرت

(میانگین‌هایی که با حروف لاتین مشترک مشخص شده اند، در یک گروه قرار داشته و اختلاف معنی دار ندارند)

Fig. 2. The effect of nozzle types on the control of corn weeds (Columns with the same letters have not significant differences)

(شکل ۳) و دلیل آن می‌تواند بعلت زمان کافی تأثیر علف‌کش در علف‌های هرز روی زمین باشد. همچنین (Bacon, 1999) در محصول گندم، در تأیید این نتایج، سیر نزولی اثر علف‌کش تریفلورالین ناشی از تأخیر زمانی صفر تا ۲۴ و صفر تا ۴۸ ساعت اختلاط با خاک را برترتیب ۹۰ درصد و ۸۰ درصد گزارش نموده است. در مورد مجموع وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ و نازک برگ، اثرات زمان عملیات دیسک زنی در سطح ۱٪ معنی دار شده است شکل ۳ نشان می‌دهد زمان شش ساعت بعد از سمپاشی در کنترل پهن برگ‌ها و بلافاصله بعد از سمپاشی در کنترل نازک برگ‌ها موفق عمل کرد ذرت در سطح ۵٪ معنی دار شده است و می‌توان گفت که تأثیر سطوح تیمار زمان اختلاط علف‌کش با خاک از لحاظ تغییرات عملکرد دانه یکسان نیست. بطوریکه زمان‌های اختلاط علف‌کش با خاک صفر و سه ساعت بعد از سمپاشی از نظر آماری در یک رده بوده و دارای بیشترین عملکرد دانه ذرت می‌باشند. (Haghshenas, 2010) نیز در پژوهشی زمان اختلاط علف‌کش با خاک صفر ساعت پس از سمپاشی را در افزایش عملکرد دانه گلرنک اشاره نموده است.

در جدول ۳ اثرات تیمار زمان اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی از لحاظ درصد کنترل علف هرز پیچک در سطح ۱٪ معنی دار شده است. یعنی اختلاط علف‌کش با خاک شش ساعت بعد از زمان سمپاشی، این علف هرز را با ۴۱/۶ درصد بطور معنی داری نسبت به سایر زمان‌ها بهتر کنترل نمود. برای علف هرز هفت بند، اثرات تیمار زمان اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی معنی دار نشده است. بعبارت بهتر تأثیر زمان‌های مختلف اختلاط علف‌کش با خاک از لحاظ درصد کنترل برای علف هرز هفت بند یکسان است. یعنی اختلاط علف‌کش با خاک بلافاصله، ۳، ۶ و ۹ ساعت بعد از سمپاشی در کنترل علف هرز یاد شده به یک میزان مؤثر بوده اند. اثرات این تیمار در درصد کنترل علف‌های هرز خرفه، تاتوره، سلمه تره، تاج خروس، اویار سلام و آفتاب پرست معنی دار شده است. همانگونه که از شکل شماره ۳ مشاهده می‌شود، طبق آزمون دانکن بین زمان‌های اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی از لحاظ درصد کنترل علف‌های هرز یاد شده تفاوت معنی داری در سطح ۵٪ وجود دارد. بطوریکه علف‌های هرز خرفه، تاتوره در زمان نه ساعت و علف‌های هرز تاج خروس، اویار سلام و آفتاب پرست در زمان‌های شش ساعت اختلاط علف‌کش با خاک بعد از سمپاشی بالاترین کنترل را داشتند. درصد کنترل بیش از نیمی از علف‌های هرز از صفر تا شش ساعت روند صعودی و بعد از آن سیر نزولی نشان می‌دهد



شکل ۳- اثر زمان اختلاط علف کش با خاک بعد از سمپاشی روی درصد کنترل علف هرز

(میانگین‌هایی که با حروف لاتین مشترک مشخص شده اند، در یک گروه قرار داشته و اختلاف معنی دار ندارند)

Fig. 3. The effect of herbicide incorporation time with soil after spraying on the weeds control (Columns with the same letters have not significant differences)

داشته است. اثرات متقابل ترکیب‌های تیماری بین زمان اختلاط علف کش با خاک در عملکرد ذرت در سطح ۵٪ معنی دار شده است مطابق جدول شماره ۴ ترکیب‌های تیماری (TS-۳ و ۰) و ترکیب تیماری (FJ، ۰) و ترکیب‌های تیماری (AI، ۰ و ۳ و ۶) دارای بالاترین عملکرد دانه ذرت و ترکیب تیماری (AI، ۹) از عملکرد پایینی برخوردار بوده است.

### نتیجه‌گیری

در سمپاشی مزرعه ذرت قبل از کاشت (علف کش خاک مصرف)، درصد کنترل علف هرز افشانک FJ نسبت به سایر افشانک‌ها ۵۷/۸٪ بیشتر بود. این در حالیست که علی‌رغم درصد بالای کنترل علف‌های هرز توسط افشانک FJ نسبت به سایر افشانک‌ها، اثر نوع افشانک در عملکرد محصول معنی دار نبوده است. با توجه به واکنش متفاوت علف‌های هرز به زمان اختلاط علف کش با خاک، این زمان در بازه صفر تا چهار و نیم ساعت بعد از سمپاشی دارای بیشترین عملکرد (۱۱/۹ تن در هکتار) بوده است. ترکیب‌های تیماری افشانک‌های تی جت استاندارد (اختلاط علف کش با خاک در صفر و ۳ ساعت بعد از عملیات سمپاشی)، شره‌ای (اختلاط علف کش با خاک بلافاصله بعد از عملیات سمپاشی) و هوا القا (اختلاط علف کش با خاک در صفر، ۳ و ۶ ساعت بعد از عملیات سمپاشی) نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری دارای عملکرد بالاتری بودند.

اثرات متقابل ترکیب‌های تیماری (نوع افشانک و زمان اختلاط علف کش با خاک) از نظر درصد کنترل علف هرز پیچک در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳) لذا ترکیب‌های تیماری (افشانک TS - زمان ۹ ساعت) و (افشانک‌های AI و FJ - زمان ۶ ساعت) در مورد علف هرز پیچک بیشترین سطح کنترل علف هرز را دارا بودند. در حالیکه کمترین درصد کنترل علف هرز پیچک مربوط به ترکیب‌های تیماری (TS، ۰) و (FJ، ۰) و (AI، ۳) بود. که دلیل این امر ممکن است به دلیل واکنش فیزیولوژیکی پیچک به میزان زمان تأثیر سم باشد. برای علف هرز هفت بند، اثرات متقابل ترکیب‌های تیماری بین زمان دیسک زنی و نوع افشانک معنی دار نشده است. غالب علف‌های هرز مزرعه که شامل سلمه تره، تاج خروس، اویار سلام و آفتاب پرست بود به ترتیب در زمان‌های صفر، ۳ (۰ و ۳) و ۶ ساعت با افشانک FJ دارای کنترل بالایی بودند.

چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ در ترکیب تیماری افشانک FJ و زمان اختلاط علف کش با خاک صفر ساعت بعد از سمپاشی دارای کمترین وزن خشک (۲/۶ گرم) می‌باشد و این به این معنی است که در این زمان بیشترین کنترل علف هرز صورت گرفته است. (Haghshenas, 2010) نیز در پژوهش خود، کمترین وزن خشک علف هرز (۱۰/۸ گرم) را در استفاده از دیسک برای اختلاط سم با خاک و زمان اختلاط بلافاصله بعد از سمپاشی دانسته است و ترکیب‌های تیماری (TS، ۶) و (AI، ۶) از نظر آماری در یک رده قرار گرفته و دارای بیشتری وزن خشک علف‌های هرز بوده و کمترین تأثیر را روی علف‌های هرز پهن برگ

جدول ۴ - مقایسه میانگین درصد کنترل علفهای هرز به تفکیک گونه با توجه به ترکیبهای تیماری نوع افشانک و زمان اختلاط علف کش با خاک پس از سمپاشی  
 Table. 4 Comparison of weed control Percentage mean according to species with considering treatment combination; nozzle type and time of herbicide incorporation in soil after spraying

عملکرد دانه (تن در هکتار) Gram yield (Ton/ha)	وزن خشک علفهای هرز (گرم) Weeds dry weight(gr)										کنترل علف هرز (درصد) Weed control(%)				نوع افشانک Nozzle type
	باریک برگ Fine Leaf	پهن برگ Broad Leaf	هلتروتروفیوم Heliotropium spp.	اوتار سلام Cyperus rotundus	امارانتوس Amaranthus retroflexus	تاج خروس Chenopodium album	هفت بند Polysyonum aviculare	تاتوره Datura stramonium L.	خرقه Protulaca Oleracea	پیچک Comvolvulus Arvensis	زمان اختلاط Incorporation time				
12.5 <sup>a</sup>	23 <sup>cd</sup>	40.6 <sup>ab</sup>	43.9 <sup>d</sup>	67.2 <sup>b</sup>	18.6 <sup>f</sup>	50.2 <sup>b</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	13.0 <sup>ef</sup>	8.1 <sup>cd</sup>	0	TS			
12 <sup>a</sup>	16.7 <sup>d</sup>	29.5 <sup>bcd</sup>	59.3 <sup>c</sup>	36.3 <sup>g</sup>	31.0 <sup>ef</sup>	53.0 <sup>b</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	6.5 <sup>f</sup>	32.2 <sup>c</sup>	3				
10.8 <sup>ab</sup>	27.3 <sup>c</sup>	50.7 <sup>a</sup>	63.4 <sup>bc</sup>	39.8 <sup>f</sup>	58.2 <sup>a</sup>	39.3 <sup>cd</sup>	26.6 <sup>b</sup>	25.0 <sup>c</sup>	46.6 <sup>c</sup>	44.1 <sup>b</sup>	6				
8.6 <sup>ab</sup>	0 <sup>e</sup>	39.7 <sup>ab</sup>	90.0 <sup>a</sup>	47.9 <sup>d</sup>	49.7 <sup>cd</sup>	44.6 <sup>c</sup>	26.6 <sup>b</sup>	58.3 <sup>b</sup>	59.4 <sup>c</sup>	79.0 <sup>a</sup>	9	FJ			
12.1 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	2.6 <sup>d</sup>	47.5 <sup>d</sup>	24.5 <sup>b</sup>	24.8 <sup>ef</sup>	73.1 <sup>a</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	19.6 <sup>e</sup>	10.7 <sup>cd</sup>	0				
11.2 <sup>ab</sup>	44.5 <sup>b</sup>	26.4 <sup>bed</sup>	68.9 <sup>ab</sup>	90.0 <sup>a</sup>	70.6 <sup>a</sup>	72.7 <sup>a</sup>	26.6 <sup>b</sup>	25.0 <sup>c</sup>	32.6 <sup>d</sup>	18.8 <sup>c</sup>	3				
10.8 <sup>ab</sup>	0 <sup>e</sup>	39.4 <sup>ab</sup>	90.0 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	68.3 <sup>b</sup>	64.2 <sup>b</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	39.1 <sup>d</sup>	54.8 <sup>a</sup>	6	AI			
10.4 <sup>ab</sup>	0 <sup>e</sup>	35.4 <sup>ab</sup>	71.3 <sup>b</sup>	42.7 <sup>c</sup>	70.6 <sup>a</sup>	5.6 <sup>f</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	73.2 <sup>a</sup>	16.1 <sup>cd</sup>	9				
11.4 <sup>a</sup>	43 <sup>b</sup>	10.9 <sup>cd</sup>	40.4 <sup>d</sup>	54.3 <sup>c</sup>	31.0 <sup>ef</sup>	30.9 <sup>c</sup>	26.6 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	19.6 <sup>e</sup>	21.5 <sup>c</sup>	0				
12 <sup>a</sup>	31.6 <sup>c</sup>	31.3 <sup>abc</sup>	64.2 <sup>bc</sup>	49.0 <sup>d</sup>	37.2 <sup>de</sup>	50.6 <sup>c</sup>	26.6 <sup>b</sup>	12.5 <sup>cd</sup>	32.6 <sup>d</sup>	2.7 <sup>d</sup>	3				
9.9 <sup>a</sup>	69.3 <sup>a</sup>	49.7 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	39.8 <sup>f</sup>	62.1 <sup>bc</sup>	42.2 <sup>cd</sup>	26.6 <sup>b</sup>	25.0 <sup>c</sup>	39.1 <sup>d</sup>	48.3 <sup>a</sup>	6				
7.2 <sup>b</sup>	12.9 <sup>d</sup>	43.3 <sup>abc</sup>	43.8 <sup>d</sup>	19.9 <sup>i</sup>	0 <sup>g</sup>	19.7 <sup>e</sup>	28.9 <sup>a</sup>	58.3 <sup>a</sup>	52.9 <sup>c</sup>	38.7 <sup>b</sup>	9				

در هر سطر و ستون، میانگینهایی که با حروف لاتین مشترک مشخص شده اند، در یک گروه قرار داشته و اختلاف معنی دار ندارند

Columns with the same letters have not significant differences

## منابع

1. Ahari Mostafavi, H., H. Fath Elahi, B. Naserian, H. Rafee, M. Matloobi, and M. Babae. 2003. Study on selective application of 2, 4-D on corn in order to control of red root pigweed and common lambsquarters, by using of 14c labeled herbicide tracer techniques. *Journal of NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY* Summer 2003, 28:0-0.
2. Agricultural Statistics. 2007. Agricultural Ministry. Planning & Economical deputy Statistics and information technology office. Farming database. Available from: <Http://www.agri-jahad.ir> (in Farsi).
3. Anonymous. 2004. Hydraulic spray nozzles. International pesticide application research center. Guide No.1.
4. Ashok A., R. S. Malik, R. S. Banga, R. K. Malik, R. S. Balyan, S. S. Punia, and A. Yadav. 2003. Effect of different nozzles, doses and spray volumes on the efficacy of four non-selective herbicides against *Pluchea lancelet*. *Indian Journal of Weed Science*. 35: 298-301.
5. Bacon, A., and L. Burgess. 1999. Trifluralin incorporation timing. Government of Western Australia. Available from: [http://www.agric.wa.gov.au/PC\\_91455.html](http://www.agric.wa.gov.au/PC_91455.html). Accessed 19 Feb 2012.
6. Crabtree, B. 2000. Increasing trifluralin rate did not compensate for delaying incorporation. *Crop Updates*. Department of agriculture and food. Australia.
7. Fallah Jeddi, R. 2005. Calibration Sprayers Currently in IRAN. Educational Technology Services Bureau. (AREO). ISBN: 964-7908-54-7.
8. Fathi, G. 2005. Integrated weed management in corn (*Zea mays* L.). *Crop Research*. 29 (1): 40-46.
9. Brown, L., N. Solteni, C. Shropshire, H. Spieser, and P. Sikkema. 2007. Efficacy of four corn (*Zea mays* L.) herbicide when applied with flat fan and air induction nozzle. *Weed Biology and Management* 7: 55-61.
10. Gerami, k. 2005. Investigation of weed control using three of sprayers in wheat fields in Ardabil. Islamic azad University - Tehran Science and Research Branch - Master thesis. (in Farsi).
11. Gerami, k. 2010. The effect of application of different spray nozzles and secondary tillage (Disk) in controlling of corn preplant weed. Agricultural Engineering Research Institute. Project No. 2-060-000-14-0000-84046. Page 4.
12. Haghshenas, M. 2010. Investigation the effect of Trifluralin herbicide mixing with soil and time delay of mixing on population of weeds in safflower. Islamic azad University - Arak Branch - Master thesis. (in Farsi).
13. Jones, E. J., J. E. Hanks, and G. D. Wills. 2002. Effect of different nozzles types on drift an efficacy of roundup ultra. Unit of the Division of Agriculture, Forestry, and Veterinary Medicine at Mississippi State University. Bull. 1119.
14. Khan, M. A., S. M. Shah, and M. Y. Mirfa. 2000. Screening of promising herbicides with different application methods for weed control in safflower. *Sarhad Journal of Agriculture*. 16(1): 61-64.
15. Matthews, G. A. 2000. *Pesticide Application Methods*. 3<sup>th</sup> edition. Black well Science, Oxford. Uk. 432 pages. ISBN: 9780632054732.
16. Matthews, G. A. 1999. *Application of Pesticide to Crops*, Imperial College Press, London. 325 pages. ISBN: 86094 168 0.
17. Naseri, M. 2007. Investigating and evaluating effective factors on performance of field air-assisted sprayer. The 5<sup>th</sup> National conference on Agr. Machinery Eng & Mechanization. (in Farsi).
18. Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. Test codes and procedures for farm machinery. 131-149.
19. Safari, M., H. Chaji, N. Lovaimi, and F. Amirshaghghi. 2010. Technical assessment of conventional sprayers in wheat farms - Agricultural Engineering Research-Institute. 10(4), Winter 2010. (in Farsi).
20. Shirvani, F. 1999. Testing and evaluation of six types of tractor sprayer nozzle. Shahid Chamran University of Ahvaz - Master thesis. (in Farsi).
21. Skuterud, R., A. Nordby, and A. Tyldum. 1988. Effect of application methods, spray volumes, pressures and herbicide rates on weed control in spring cereals. *Crop Protection*. 7: 303-308.

22. Umeda, K. 1988. Sweet corn herbicide weed control study. University of Arizona Maricopa. page 33.
23. Wolf R. E., D. E. Peterson. 2005. The effect of a new venture nozzle on postemergence weed control. North Weed Science Society Proceedings 60:107.
24. Zand, E., S. k. Mousavi, A. Heidari. 2008. Herbicides & their Application. Jdmpress. 412-415.

## جداسازی زعفران از سایر اجزاء گل در تونل باد عمودی و بررسی آن با منطق فازی

اسلام علیشاهی<sup>۱\*</sup> - محسن شمسی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

### چکیده

در این تحقیق امکان جداسازی زعفران (کلاله) از پرچم و گلبرگ با جریان عمودی هوا جهت مکانیزه کردن این عمل بررسی شده است. برای انجام این تحقیق یک تونل باد عمودی آزمایشی که سرعت هوا در آن با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم و اندازه‌گیری است ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا آزمایش‌های تعیین سرعت شنواری اجزاء گل با قرار دادن تک تک اجزاء و سپس آزمایش‌های جداسازی با قرار دادن همه اجزاء و در رطوبت‌های ۱، ۸، ۳۲ و ۶۰ ساعت پس از برداشت انجام شدند نتایج با منطق فازی بررسی شدند. متوسط سرعت شنواری کلاله (زعفران)، پرچم و گلبرگ ۱ ساعت پس از برداشت به ترتیب ۳/۲۱، ۲/۲۴ و ۱/۴۱ متر بر ثانیه به دست آمدند. آزمایش‌ها نشان دادند که به‌خاطر تفاوت زیاد بین سرعت‌های شنواری اجزاء گل، می‌توان در یک تونل باد عمودی زعفران (کلاله) را از پرچم و گلبرگ جدا کرد. تحلیل نتایج آزمایش‌های جداسازی نشان داد که تونل باد با سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه و یک ساعت پس از برداشت بهترین راندمان جداسازی را دارد. در این سرعت ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از تونل به بیرون پرتاب شده و ۸۱ درصد کلاله‌ها جدا شده و داخل تونل باقی می‌مانند. آزمایش‌ها همچنین نشان دادند که هر چه فاصله چیدن گلها تا جداسازی کوتاه‌تر باشد جداسازی با راندمان بهتر انجام می‌شود. پیشنهادهایی برای افزایش راندمان ارائه شده اند.

**واژه‌های کلیدی:** تابع عضویت، تصمیم‌گیری فازی، سرعت شنواری، فرآوری زعفران، کلاله

### مقدمه

زعفران گرانترین ادویه جهان و به نام طلای سرخ معروف است. مهم‌ترین منطقه تولید زعفران در ایران استان خراسان جنوبی می‌باشد که به‌علت عدم توسعه علمی و صنعتی این منطقه، سالهاست که در پروسه تولید این محصول تحولی ایجاد نشده و به‌همان روش سنتی انجام می‌گیرد.

در پروسه تولید زعفران مراحل کاشت، داشت، برداشت و جداسازی وجود دارد. همه این کارها به‌صورت دستی انجام می‌شود. با توجه به‌خصوصیات ظریف گل زعفران این محصول باید در بازه زمانی کوتاه از مزرعه چیده و کلاله (زعفران) آن از بقیه اجزاء گل (گلبرگ و پرچم) جدا گردد. این عمل جداسازی نامیده می‌شود. جداسازی یکی از مهم‌ترین گلوگاه‌ها در پروسه تولید زعفران می‌باشد و بیشترین هزینه را نیز برای کشاورزان دربردارد (Atefi, 2006). روش سنتی جداسازی، عملی کند و غیر بهداشتی است. برای جداسازی مکانیزه پیشنهادهایی در حد طراحی مقدماتی از قبیل

استفاده از استوانه اصطکاکی و تونل باد ارائه شده است (Mehri and Kahani, 2003). تحقیقاتی همراه با ساخت یک دستگاه آزمایشی کوچک دمش هوا نیز توسط محققین برای جداسازی کلاله از سایر اجزاء گل زعفران در سطح آزمایشگاهی انجام شده است (Shamsi et al., 2007). استفاده از خواص آیرودینامیک و یک سیستم آبخاری یا سقوط آزاد نیز توسط محققین پیشنهاد شده است (Sama et al., 2000; Emadi and Saiedirad, 2011). دو روش سقوط آزاد و شنواری برای اندازه‌گیری سرعت شنواری در آزمایشگاه وجود دارد. روش سقوط آزاد عبارت است از سقوط دادن ذره از یک ارتفاع مناسب به‌نحوی که بعد از طی مسافتی ذره بتواند به سرعت شنواری خود برسد. در روش شنواری ذره بر روی یک توری در داخل یک کانال عمودی قرار می‌گیرد و هوا به‌آن دمیده می‌شود با افزایش سرعت هوا ذره در کانال شناور می‌شود. سرعت باد در لحظه شناور شدن سرعت شنواری ذره است (Mohsenin, 1970). در یک تحقیق سرعت شنواری دانه‌های آفتابگردان به‌عنوان تابعی از محتوای رطوبت مورد بررسی قرار گرفته است (Gupta, et al., 2007). این مطالعه نشان می‌دهد با کاهش رطوبت سرعت شنواری دانه‌ها به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. سرعت شنواری دانه‌های پنبه و کم شدن آن‌ها در اثر کاهش در

۱-۲۰ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

\* - نویسنده مسئول: (Email: alishahi1975@gmail.com)

که پایان ساعت کاری کارگران در روز اول است و ۳۲ ساعت پس از برداشت که پایان ساعت کاری روز دوم پس از برداشت است اندازه‌گیری شدند.

همچنین آخرین اندازه‌گیری‌ها در ۶۰ ساعت پس از برداشت که گلها پلاسیده و غیر قابل استفاده به‌نظر می‌آیند انجام شد. زعفران را بایستی حتی المقدور پس از برداشت جداسازی کرد اما گاهی به‌دلیل کمبود گارگر این کار تا انتهای ساعت کاری روز اول ادامه پیدا می‌کند. به‌ندرت این کار به‌روز دوم نیز می‌کشد که کیفیت زعفران به‌شدت کاهش یافته است (Atefi, 2006). این موضوع دلیل انتخاب ساعات انتخاب شده پس از برداشت برای انجام آزمایش‌ها است. میانگین اعداد مربوط به ۵۰ نمونه در هر اندازه‌گیری در محاسبات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### جداسازی در تونل باد

برای بررسی امکان جداسازی کلاله از دیگر اجزاء گل در تونل باد آزمایش‌هایی با ریختن تمامی اجزاء گل با هم به‌داخل تونل انجام پذیرفت. برای این کار ۵۰ گل زعفران با توجه به‌ظرفیت دستگاه به ۵ گروه ۱۰ تائی تقسیم شدند. در هر آزمایش ۱۰ گل زعفران که شامل ۱۰ کلاله ۳۰ پرچم و ۶۰ گلبرگ است بر روی توری دستگاه قرار داده شدند (هر گل دارای یک کلاله سه پرچم و شش گلبرگ است). در اولین آزمایش برای هر زمان پس از برداشت سرعت دمش هوا بر روی حدود ۰/۱ متر بر ثانیه بیش از سرعت شناوری پرچم که از نمونه‌های تک تک اجزاء بدست آمده بود قرار گرفت. با ۱۰ ثانیه روشن کردن تونل در هر آزمایش پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از روی توری بلند شده و به‌بیرون از تونل پرتاب می‌شدند. کلاله‌ها که دارای سرعت شناوری بیشتری هستند بر روی توری باقی می‌مانند. هر آزمایش با سه تکرار انجام و از مقادیر به‌دست آمده میانگین گرفته شد. آزمایش بعدی با سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه بیشتر از مقدار قبلی انجام می‌شد. این روند آزمایش‌ها تا سرعتی حدود ۰/۱ متر بر ثانیه کمتر از سرعت شناوری کلاله‌ها که از آزمایش‌های تعیین سرعت شناوری تک تک اجزاء بدست آمده بود انجام شدند. گاهی تعدادی از کلاله‌ها به‌دلیل چسبیدن به گلبرگ و پرچم از دستگاه خارج می‌شوند و یا تعدادی گلبرگ و پرچم در تونل باقی می‌مانند. هدف از این آزمایش‌ها بدست آوردن بهترین سرعت هوا در تونل باد و بهترین زمان پس از برداشت برای جداسازی است. مقدار ایده‌آل دو پارامتر سرعت دمش هوا و زمان پس از برداشت حالتی است که تمامی کلاله‌ها بر روی توری باقی بمانند و تمامی گلبرگ‌ها و پرچم‌ها از تونل خارج شوند. در این حالت دستگاه بهترین عملکرد را دارد.

برای قضاوت در مورد عملکرد جداسازی یا همان تعداد کلاله باقی مانده بر روی توری در تونل باد و تعداد پرچم و گلبرگ خارج شده از تونل از منطق فازی استفاده شد. بدین منظور مجموعه ۳

محتوای رطوبت نیز توسط محققین گزارش شده است (Tabak and Wolf, 1998). مشابه چنین نتیجه‌ای برای دانه و کاه گیاه تف (نوعی حبوبات) به‌دست آورده شده است (Zewdu, 2007). سرعت شناوری کتان نیز توسط محققین بررسی و گزارش شده است (Watts and Allen, 1997).

## مواد و روش‌ها

### ساخت دستگاه و اندازه‌گیری سرعت شناوری

برای اندازه‌گیری سرعت شناوری یک تونل باد عمودی با استوانه‌ای از طلق شفاف به‌قطر ۲۰ سانتیمتر برای مشاهده اجزاء در حال شناوری طراحی و ساخته شد. یک توری با مش  $0.5 \times 0.5$  در نیمه راه تونل برای قرار دادن اجزاء گل بر روی آن نصب گردید. دریچه‌ای نیز برای تغذیه طراحی شد. برای سیستم هوا دهی به‌تونل از یک فن جریان محوری با توان ۴۰۰ وات استفاده شد. چند تیغه در مسیر جریان هوا برای یکنواخت کردن هوای ورودی و جلوگیری از گردابی شدن آن در مسیر تعبیه گردید (Zewdu, 2007). سرعت هوا با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه در تونل آزمایشی قابل تنظیم است. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از بادسنج الکترونیکی مدل Therm 2285-2b با دقت ۰/۰۱ متر بر ثانیه استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه ساخته شده جهت اندازه‌گیری سرعت شناوری

Fig. 1. The experimental wind tunnel

برای آزمایش‌ها در فصل برداشت ۵۰ نمونه گل زعفران بصورت تصادفی از مزارع شهرستان نیشابور پیده و مورد استفاده قرار گرفتند. گلها با دست جداسازی شده و کلاله پرچم و گلبرگها تفکیک شدند. سپس اجزاء هر گل تک تک در تونل باد بر روی توری قرار گرفته و سرعت شناوری آنها اندازه‌گیری شد. سرعت‌های شناوری در چهار زمان مختلف یعنی ۱ ساعت پس از برداشت، ۸ ساعت پس از برداشت



- ۶- اگر بین ۶۵ تا ۷۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی ضعیف است.
- ۷- اگر کمتر از ۶۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی بد است.
- ۸- اگر بیش از ۹۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی خوب است.
- ۹- اگر بین ۸۰ تا ۹۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی قابل قبول است.
- ۱۰- اگر بین ۷۰ تا ۸۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی ضعیف است.
- ۱۱- اگر کمتر از ۷۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی بد است.

در تعاریف فوق مشاهده می شود که میزان خطائی برای خارج شدن کلاله از تونل باد و باقی ماندن پرچم و گلبرگ بر روی توری در داخل تونل باد در نظر گرفته شده است. این خطا را بعد از جداسازی در تونل می توان با کمک کارگر یا با روش‌های دیگر مانند ماشین بینایی (machine vision) برطرف کرده و محصول را تمیز کرد. بر اساس قواعد فوق مجموعه های زیر را به صورت روابط (۵) تا (۸) برای عملکرد دستگاه می توان تعریف کرد:

$$A_s^t = \begin{cases} \mu_A(K) \geq 0.9 \\ \mu_A(p) \geq 0.85 \\ \mu_A(g) \geq 0.9 \end{cases} \quad (5)$$

عملکرد قابل قبول:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.9 > \mu_A(K) \geq 0.8 \\ 0.85 > \mu_A(p) \geq 0.75 \\ 0.90 > \mu_A(g) \geq 0.80 \end{cases} \quad (6)$$

عملکرد ضعیف:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.8 > \mu_A(K) \geq 0.7 \\ 0.75 > \mu_A(p) \geq 0.65 \\ 0.8 > \mu_A(g) \geq 0.7 \end{cases} \quad (7)$$

عملکرد بد:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.7 > \mu_A(K) \\ 0.65 > \mu_A(p) \\ 0.7 > \mu_A(g) \end{cases} \quad (8)$$

برای انتخاب بهترین سرعت در بین چند سرعت پذیرفته شده از

عضوی A به نام مجموعه عملکرد تعریف شد. این مجموعه شامل تعداد کلاله مانده در تونل و پرچم و گلبرگ خارج شده از تونل است. از حروف p, k و g به ترتیب برای نمایش کلاله، پرچم و گلبرگ استفاده شده است. با در نظر گرفتن توابع عضویت مجموعه A به شکل (۱) مشخص شد (Wang, 1997).

$$A_s^t = \{(k, \mu_A(k)), (p, \mu_A(p)), (g, \mu_A(g))\} \quad (1)$$

اندیس t نمایانگر پارامتر زمان پس از برداشت که آزمایش انجام شده است و اندیس s نمایانگر پارامتر سرعت هوای تونل است. در مجموعه فوق  $\mu_A(x)$  درجه عضویت عضو x در زیر مجموعه  $A_s^t$  که عددی در بازه [0,1] است می باشد. برای تعیین درجه عضویت‌ها توابع ۲، ۳ و ۴ به شرح زیر تعریف شدند:

$$\mu_A(k) = \frac{a}{b} \quad (2) \quad , \quad \mu_A(p) = \frac{c}{d} \quad (3)$$

$$\mu_A(g) = \frac{e}{f} \quad (4)$$

در روابط فوق:

a = تعداد کلاله باقی مانده در تونل

b = تعداد کل کلاله‌ها که در آزمایش ها مقدار آن ۱۰ می باشد.

c = تعداد پرچم خارج شده از تونل

d = تعداد کل پرچم‌ها که در آزمایش ها مقدار آن ۳۰ می باشد.

e = تعداد گلبرگ‌های خارج شده از تونل

f = تعداد کل گلبرگ‌ها که در آزمایش ها مقدار آن ۶۰ می باشد.

برای تعیین محدود عملکرد قابل قبول بایستی حداکثر مقادیر قابل قبول توابع عضویت را تعیین کرد. با دمش هوا با سرعت مناسب در تونل سعی می شود حداکثر ممکن از پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند و حداکثر ممکن کلاله‌ها بر روی توری در تونل باقی بمانند. یکی از پایه‌های مهم تصمیم گیری فازی استفاده از دانش افراد خبره برای تعریف پایگاه قواعد فازی است. برای این منظور در منطقه با مصاحبه و نظرخواهی از کشاورزان خبره و بررسی امکان عملی، تنظیم‌ها و توانائی تونل باد مورد آزمایش قواعد فازی به شرح زیر برای عملکرد جداسازی تعریف شدند:

۱- اگر بیش از ۹۰ درصد کلاله‌ها در تونل بمانند کیفیت جداسازی خوب است.

۲- اگر بین ۸۰ تا ۹۰ درصد کلاله‌ها در تونل بمانند کیفیت جداسازی قابل قبول است.

۳- اگر کمتر از ۸۰ درصد از کلاله‌ها در تونل بمانند جداسازی بد است.

۴- اگر بیش از ۸۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی خوب است.

۵- اگر بین ۷۵ تا ۸۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی قابل قبول است.

گلبرگ بهتر انجام می شود. شکل ۲ اختلاف سرعت شناوری پرچم و گلبرگ را نسبت به کلاله در زمان های مختلف پس از برداشت نشان می دهد. منحنی ها نشان می دهند که با گذشت زمان اختلاف بین سرعت های شناوری کلاله با پرچم و گلبرگ کاهش می یابد. کمترین اختلاف سرعت مربوط به ۶۰ ساعت پس از برداشت است. در این زمان سرعت کلاله ۲/۰۶ و سرعت پرچم ۱/۶۹ و در نتیجه ۰/۳۷ متر بر ثانیه اختلاف سرعت بین کلاله و پرچم وجود دارد یعنی حداکثر امکان ۳ پله تنظیم در این فاصله می باشد و خطای جداسازی زیاد می شود.

منظور از خطا این است که تعدادی از کلاله ها همراه با پرچم و گلبرگ از روی توری جدا شده و همراه با این ضایعات از تونل باد خارج شوند و یا برعکس تعداد از پرچم ها و گلبرگ ها در تونل باقی می ماند. در این تحقیق بیشترین سرعت شناوری مربوط به کلاله و مقدار ۳/۲۱ متر بر ثانیه است. عمادی و سعیدی راد در اندازه گیری های خود حداکثر سرعت شناوری مربوط به کلاله را ۲/۳۸ متر بر ثانیه بدست آورده اند دلیل این اختلاف تفاوت در وارسته ها است که احتمالاً این محققین گل های سبکتر را برای آزمایش های خود انتخاب کرده اند (Emadi and Saedirad, 2011).

#### بررسی جداسازی در تونل باد

برای جداسازی، تمامی اجزاء ۱۰ گل مطابق روش توضیح داده شده داخل تونل قرار داده شدند. داده های آزمایش ثبت و تحلیل شدند و مقادیر توابع عضویت در ساعات مختلف پس از برداشت از روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند. جدول ۲ مقادیر تابع عضویت عملکرد را در ۱ ساعت پس از برداشت نشان می دهد. محدوده سرعت در جداول ۲ تا ۵ با توجه به مقادیر جدول ۱ انتخاب شده اند.

کاردینالیته یک مجموعه فازی که عبارت است از حاصل جمع مقادیر توابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در آن مجموعه فازی و با فرمول (۹) تعریف می شود استفاده شده است:

$$|A| = \sum \mu_A(x) \quad (9)$$

در فرمول فوق  $|A|$  کاردینالیته مجموعه فازی مورد نظر است (Zimmerman, 1997).

## نتایج و بحث

### بررسی و مقایسه سرعت های شناوری اجزاء گل زعفران

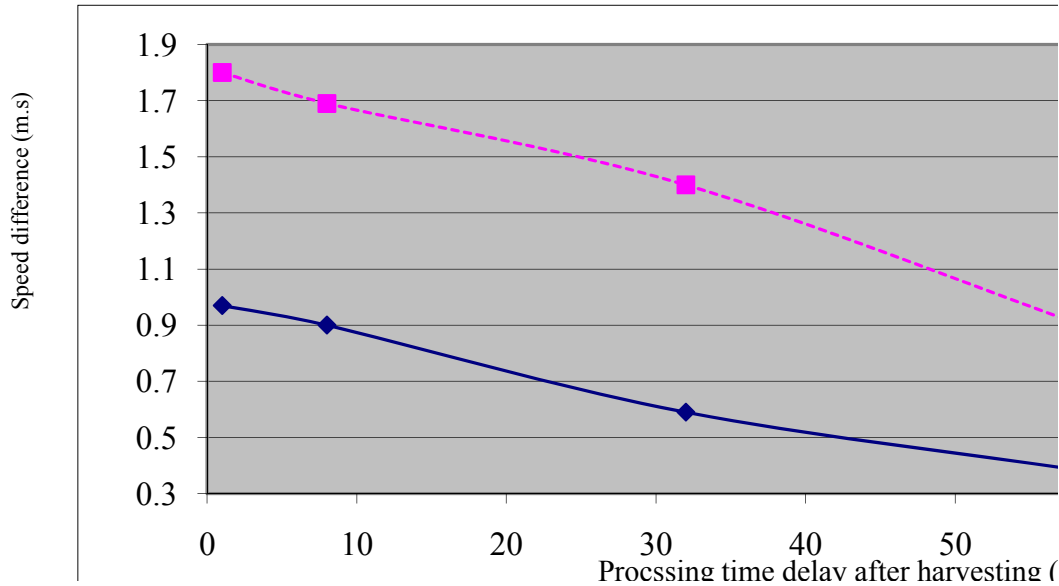
جدول ۱ نتایج حاصل از آزمایش های سرعت شناوری را نشان می دهد. همانطور که پیدا است سرعت شناوری کلاله بیشتر از مقادیر مربوط به پرچم و گلبرگ است. سرعت جریان هوا در تونل باد با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم است. یعنی اگر حتی اختلاف سرعت بین دو جزء از گل ۰/۱ متر بر ثانیه باشد و سرعت تونل بر روی سرعتی کمی بیش از سرعت شناوری جزء کمتر تنظیم شود آن جزء، از تونل به بیرون پرتاب می شود و جزء با سرعت شناوری بزرگتر در تونل باقی مانده و جداسازی انجام می شود. بیشترین اختلاف سرعت بین اجزاء گل در ستون مربوط به زمان یک ساعت پس از برداشت است. در این ستون سرعت شناوری کلاله ۳/۲۱ و سرعت پرچم ۲/۲۴ متر بر ثانیه است. اختلاف بین این دو سرعت ۱ متر بر ثانیه است بنابراین برای جداسازی کلاله از گلبرگ ۱۰ پله تنظیم سرعت در فاصله شناوری بین دو جزء وجود دارد (با دقت تنظیم ۰/۱ متر بر ثانیه).

هر چه اختلاف سرعت بین پرچم و گلبرگ با کلاله بیشتر باشد به دلیل اینکه تعداد پله های بیشتری برای تنظیم سرعت دستگاه در آن فاصله وجود دارد امکان خطا کمتر و جدایش کلاله از پرچم و

### جدول ۱- میانگین سرعت های شناوری اجزاء گل زعفران در زمان های مختلف پس از برداشت به متر بر ثانیه

Table 1. Average floating velocity of saffron flower components at different times after harvesting

cv	زمان پس از برداشت (ساعت)						اجزاء گل Flower parts	
	60		32		8			
	میانگین Mean	cv	میانگین Mean	cv	میانگین Mean	cv		
0.05	2.06	0.04	2.7	0.04	3.08	0.03	3.21	کلاله Stigma
0.06	1.69	0.05	2.11	0.05	2.18	0.06	2.24	پرچم Stamen
0.09	1.19	0.08	1.3	0.07	1.39	0.07	1.41	گلبرگ Petal



شکل ۲ - اختلاف سرعت کلاله با پرچم و گلبرگ بر حسب متر بر ثانیه

Fig. 2. Floating velocity differences between saffron stigma with stamen and petal

جدول ۲- مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد  $A_s^t$  یک ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

Table 2. Membership function values for  $A_s^t$  fuzzy set, 1 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل باد $m s^{-1}$									
3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	Wind speed in tunnel $ms^{-1}$
0.71	0.75	0.79	0.82	0.84	0.87	0.89	0.92	0.95	$\mu_A(k)$
0.93	0.87	0.85	0.84	0.82	0.78	0.76	0.73	0.96	$\mu_A(p)$
0.95	0.92	0.92	0.89	0.87	0.84	0.82	0.80	0.75	$\mu_A(g)$

تونل ۸۱ درصد، خارج شدن پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از تونل به ترتیب ۸۴ و ۸۹ درصد است.

جدول ۳ نمایشگر چگونگی عملکرد در ۸ ساعت پس از برداشت است. مشاهده می شود که مناسبترین محدوده که در آن تابع عضویت کلاله در مجموعه عملکرد بین ۰/۷ تا ۰/۸ است محدوده ۲/۴ تا ۲/۷ متر بر ثانیه است. بهترین مجموعه در این محدوده  $A_{2.7}^8$  که

بیشترین کاردینالیتی یعنی  $|A| = ۲/۲۷$  را داراست و مجموعه آن:

$$A_s^t = A_{2.7}^8 = \{(k, 0.72), (p, 0.76), (g, 0.79)\}$$

می باشد. در این حالت مجموعه عملکرد در محدوده رابطه (۶)

است و "ضعیف" ارزیابی می شود.

مطابق جدول ۴ در ۳۲ ساعت پس از برداشت که اجزاء گل پژمرده

شده اند بهترین مجموعه عملکرد با  $|A| = ۱/۸۴$  چنین است:

$$A_s^t = A_{2.4}^{32} = \{(k, 0.68), (p, 0.55), (g, 0.61)\}$$

این مجموعه در گروه مجموعه‌های قابل وصف با رابطه (۸) قرار

گرفته و عملکرد در ۳۲ ساعت پس از برداشت "بد" ارزیابی می‌شود.

لذا نایبستی زعفران تا این مدت پس از برداشت فرآوری نشده باقی بماند.

حداقل سرعت در این جداول کمی بیشتر از سرعت پرچم است تا هوا بتواند پرچم‌ها و گلبرگ‌ها را که سرعت کمتری دارند از تونل بیرون ببرد. حداکثر سرعت در این جداول کمی کمتر از سرعت شناوری کلاله است که از بیرون رفتن کلاله از تونل جلوگیری شود. طبق نتایج آزمایش‌های انجام شده محدوده سرعت مناسب در حالت قرار دادن تمامی اجزاء ۱۰ گل در تونل در یک ساعت پس از برداشت محدوده ۲/۵ تا ۲/۸ متر بر ثانیه است.

در این محدوده تابع عضویت عملکرد برای تعداد کلاله‌ها بین ۰/۸ تا ۰/۹ از آن پرچم بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ و گلبرگ بین ۰/۸ تا ۰/۹ است. در این سرعتها طبق شروط رابطه ۶ مجموعه عملکرد "قابل قبول" ارزیابی می شود. در این محدوده با توجه به رابطه (۹) عملکرد

در سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه به دلیل  $|A| = ۲/۵۵$  که بزرگتر از کاردینالیتی ۳ سرعت دیگر یعنی ۲/۵، ۲/۶ و ۲/۷ متر بر ثانیه است بهترین عملکرد را دارد و با مجموعه زیر تعریف می شود:

$$A_s^t = A_{2.8}^1 = \{(k, 0.81), (p, 0.84), (g, 0.89)\}$$

این مجموعه نشان می دهد که در یک ساعت پس از برداشت با

سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه در داخل تونل باد میزان ماندن کلاله‌ها در

**جدول ۳-** مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد  $A_s^t$  مربوط به ۸ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

**Table 3.** Membership function values for  $A_s^t$  fuzzy set, 8 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$									
3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
0.61	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.82	0.84	$\mu_A(k)$
0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.65	0.67	$\mu_A(p)$
0.85	0.83	0.80	0.79	0.78	0.76	0.74	0.71	0.69	$\mu_A(g)$

**جدول ۴-** مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد  $A_s^t$  مربوط به ۳۲ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

**Table 4.** Membership function values for  $A_s^t$  fuzzy set, 32 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$					
2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
0.58	0.63	0.68	0.71	0.73	$\mu_A(k)$
0.61	0.57	0.55	0.52	0.47	$\mu_A(p)$
0.64	0.62	0.61	0.57	0.52	$\mu_A(g)$

یک و نتوری است. این کار به جداسدن اجزاء به هم چسبیده از یکدیگر کمک می کند. سپس بایستی در ارتفاع بالاتر سرعت حرکت را با گشادتر کردن سطح مقطع تونل به حالت اولیه باز گرداند. شمسی و همکاران نیز با یک سیستم دمش هوا موفق به جداسازی ۷۶٪ از کلاله‌ها شدند (Shamsi et al., 2007). آنها نیز همزن مکانیکی که به گونه ای مخلوط اجزاء گل را بهم بزند و اجزاء به هم چسبیده را جدا کند برای افزایش عملکرد سیستم دمش هوا پیشنهاد کردند.

### نتیجه گیری کلی

بطور کلی نتایج زیر از این تحقیق حاصل می شوند:  
تفکیک اجزاء گل زعفران شامل گلبرگ، کلاله و پرچم در تونل باد با توجه به اختلاف زیاد بین سرعت‌های شناوری کلاله با سایر اجزاء گل امکان پذیر است.  
سرعت هوا در تونل باد آزمایشی با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم است. اختلاف سرعت کلاله با پرچم در یک ساعت پس از برداشت ۱ متر بر ثانیه با ضریب تغییرات ۰/۰۳ برای کلاله و ۰/۰۶ برای پرچم است لذا ۱۰ پله تنظیم سرعت هوا در این مرحله وجود دارد.

جدول ۵ مقادیر توابع عضویت عملکرد را در ۶۰ ساعت پس از برداشت نشان می دهد. در این حالت اجزاء گل خشک شده اند. در این حالت زعفران غیر قابل استفاده است و خطای بسیار به خاطر به هم چسبیدن اجزاء و کاهش سرعت شناوری اجزاء و کاهش بازه تغییر سرعت بین اجزاء اتفاق می افتد در این حالت نیز عملکرد بالاتر

مربوط به مجموعه  $A_{1.8}^{60}$  با  $|A| = 1/59$  است:

$$A_s^t = A_{1.8}^{60} = \{(k, 0.64), (p, 0.45), (g, 0.50)\}$$

در این حالت عملکرد بسیار پائین با رابطه (۸) قابل توصیف است

و عملکرد در این حالت نیز "بد" ارزیابی می شود.

بطور خلاصه در جداسازی اجزاء گل به کمک تونل باد بهترین راندمان و کمترین خطا در ساعات اولیه برداشت است. بهترین حالت مربوط به یک ساعت پس از برداشت است که تونل باد در سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه کار می کند در این حالت ۸۱ درصد از کلاله‌ها در تونل می مانند و ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از کلاله‌ها جدا شده و به بیرون تونل پرتاب می شوند. چنانچه ملاحظه می شود تونل باد عملکرد در محدوده "خوب" را ندارد. این عملکرد را با بهینه‌سازی تونل باد می توان بدست آورد. دلیل اصلی خطا چسبیدن و گیر کردن اجزاء گل به هم در هنگام شناوری یا حرکت رو به بالا در تونل برای ترک آن است. یک پیشنهاد بهینه سازی ایجاد یک منطقه سرعت گردابی و آشفته در بالای توری قرار دادن اجزاء گل با ایجاد

**جدول ۵ -** مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد  $A_s^t$  مربوط به ۶۲ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

**Table 5.** Membership function values for  $A_s^t$  fuzzy set, 60 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$				
2	1.9	1.8	1.7	
0.5	0.57	0.64	0.61	$\mu_A(k)$
0.50	0.47	0.45	0.38	$\mu_A(p)$
0.55	0.52	0.5	0.47	$\mu_A(g)$

کلاله‌ها با ماندن آنها در تونل باد و خروج ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از تونل باد می‌شود.

بر اساس آزمایش‌های انجام شده بهترین جداسازی در یک ساعت پس از برداشت قابل انجام است. در این حالت سرعت مناسب هوا در تونل ۲/۸ متر بر ثانیه است که باعث جداسازی ۸۱ درصد از

## منابع

1. Allen, A.W., and K. C. Watts. 1997. properties of cowpeas. *Journal of Agricultural Engineering research*, 68: 159-167.
2. Atefi, M. 2006. Saffron (chemistry, quality control and processing): Bein Alnahrain press; Mashhad, Iran. (In Farsi).
3. Emadi, B., M. H. Saeidirad. 2011. Moisture-dependent physical properties of saffron flower. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13(3): 387-389.
4. Gupta, R. K., G. Arora and R. Sharma. 2007. Aerodynamic properties of sun flower seeds. *Journal of Food Engineering Research*. 79: 899-904.
5. Mahdizade, R. 2001. Design and development of a wind tunnel for detecting aerodynamic properties of some agricultural seeds. Unpublished MSc Thesis, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Tarbiat Modarres University. Iran. (In Farsi).
6. Mehri, A. and M. Kahani. 2003. Design suggestions for a machine to separate stigma from petals of saffron. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> National Conference on Saffron*. Iran. (In Farsi).
7. Mohsenin, N. 1970. Physical properties of plant and animal materials, Dept. of Agricultural Engineering, Pennsylvania State University press; USA.
8. Sama, J. K., B. L. Raina, and A. K. Bhatia. 2000. Design and development of saffron (crocus Sativus L.) processing equipment. *Journal of Food Science and Technology*, 37 (4): 357-362.
9. Shamsi, M., M. Mazloomzadeh, J. Asghari, and A. Mohamadian. 2007. using air blowers to separate stigma from saffron flowers. the 3<sup>rd</sup> national student conference on agricultural machinery and mechanization. Shiraz University, Iran. (In Farsi).
10. Tabak, S., and D. Wolf. 1998. Aerodynamic properties of cotton seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70: 257-265.
11. Wang, L. X. 1997. A course in fuzzy systems and control. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, N.J. USA.
12. Zewdu, A. D. 2007. Aerodynamic properties of tef grain and straw material, *Biosystems Engineering*, 98(3): 304-309.
13. Zimmerman, H. J. 1997. Fuzzy Set Theory. Kuller Academic Publisher, UK.

## یادداشت تحقیقاتی

# انتخاب مدل ریاضی مناسب برای خشک کردن ورقه‌های گوجه فرنگی در خشک کن

## خورشیدی

هادی باقری<sup>\*۱</sup> - اکبر عرب حسینی<sup>۲</sup> - محمدحسین کیانمهر<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

## چکیده

در این تحقیق مناسب‌ترین مدل ریاضی خشک کردن ورقه‌های گوجه فرنگی، در یک خشک‌کن خورشیدی، انتخاب شد. آزمایش‌های خشک کردن بر روی ورقه گوجه فرنگی در سه سطح ضخامت 3mm، 5mm و 7mm و در دو سطح سرعت هوای  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  و  $1 \text{ m s}^{-1}$  انجام شد. به منظور پیدا کردن مناسب‌ترین مدل ریاضی خشک کردن، نتایج حاصل از آزمایش با ۹ مدل مختلف، تطبیق داده شد تا بهترین ضرایب در هر مدل بدست آید. نتایج حاصل از آزمایش با ۹ مدل متداول که برای خشک کردن محصولات کشاورزی کاربرد دارند، برآزش داده شد و ضرایب هر مدل بدست آمد. سرانجام مدل Page با  $R^2 = 0.9974$ ،  $R^2 = 0.01351$  و  $RMSE = 0.002$  به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برگزیده شد.

**واژه‌های کلیدی:** خشک کردن، خشک کن خورشیدی، مدل ریاضی، ورقه گوجه فرنگی

## مقدمه

نسبتاً مفید است، ولی این روش نمی‌تواند از مواد غذایی در برابر حمله پرندگان، حشرات، خطر باران زدگی و کپک زدگی محافظت نماید. به علاوه این روش به فضا و زمان زیادی نیاز دارد و ممکن است میزان تلفات مواد غذایی خیلی بالا برود لذا این نحوه خشک کردن اقتصادی نمی‌باشد (Koyuncu et al., 2007). یکی از انواع سبزیجات گوجه فرنگی<sup>۴</sup> می‌باشد. گوجه فرنگی یک گیاه لطیف گرمسیری است که بیشتر در قاره آمریکا رشد می‌کند. کاشت گوجه فرنگی در ایران، حدود ۱۵۰ سال سابقه دارد. گوجه فرنگی از جمله سبزیجاتی است که به دلایل فراوان کشت آن با صرفه است، زیرا این محصول در غذاهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و در شرایطی که امکان استفاده از محصول تازه وجود نداشته باشد به صورت رب، کنسرو، گوجه خشک شده و حتی به صورت پودر استفاده می‌گردد (Ekechukwu and Norton, 1999). بنابر اطلاعات سازمان خواربار و کشاورزی جهانی<sup>۵</sup> میزان سطح زراعی زیر کشت گوجه فرنگی در جهان، در سال ۲۰۰۹ برابر  $4.4 \times 10^6 \text{ ha}$  بوده است که تولیدی برابر  $153 \times 10^6 \text{ Ton}$  در سال را به خود اختصاص

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای نگهداری محصولات کشاورزی و غذایی می‌باشد. با عمل خشک کردن آب آزاد یا آبی که از نظر بیولوژیکی فعال است و موجب رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود، از ماده غذایی حذف شده و مدت نگهداری محصول بسیار طولانی‌تر می‌شود. به‌منظور خشک کردن محصولات کشاورزی روش‌های مختلفی مانند استفاده از حرارت، امواج الکترومغناطیس و سرد کردن سریع وجود دارد. اما از زمان‌های گذشته از تابش خورشید نیز برای خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده شده است. اهمیت این موضوع، از یک طرف صرفه‌جویی در مصرف سوخت و از طرف دیگر جلوگیری از تخریب محیط زیست می‌باشد. همین دلایل، طراحی سیستمی جهت خشک کردن مواد غذایی با استفاده از نور خورشید را اقتصادی و مهم جلوه می‌دهد. اگرچه خشک کردن مواد غذایی به صورت سنتی و در محوطه باز در معرض نور خورشید یک روش قدیمی و در مناطق روستایی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناس ارشد و دانشیاران گروه فنی کشاورزی،

دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

(Email: h\_b13179@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

4- Tomato (*Lycopersicon esculentum*)

5- FAO

فرنگی مدل Page بدست آمد (Doymaz, 2007). اما در زمینه استفاده از مدل های سینتیک جهت خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در خشک کن خورشیدی اطلاعات بسیار کمی در دست است که ضرورت تحقیق حاضر را بیش از پیش ایجاب می نماید. با توجه به مطالب بیان شده از طریق خشک کردن محصولات کشاورزی می توان فعالیت میکروارگانیسم ها و تغییرات شیمیایی و فیزیکی آن را بطور قابل ملاحظه ای کاهش داد، به ماندگاری بیشتر و سهولت انبارداری و حمل و نقل آسان تر محصول کمک نمود، به عبارتی خشک کردن جایگزین مناسب به منظور بهبود در دسترس بودن محصول می باشد. جهت نیل به این هدف، باید سینتیک خشک شدن، مدل سازی گردد تا بتوان روند خشک کردن را به طور صحیح پیش بینی نمود، تا از بیش خشک شدن محصولات کشاورزی که باعث کاهش کیفیت، تغییر رنگ، طعم و همچنین اتلاف زمان و انرژی می گردد، جلوگیری شود. اهداف انجام این تحقیق عبارتند از: ۱- بررسی روند خشک شدن ورقه های گوجه فرنگی توسط خشک کن خورشیدی ۲- مقایسه نتایج تجربی بدست آمده با مدل های تعریف شده برای سیستم های لایه نازک ۳- استفاده از نرم افزار مطلب و انجام روش های تجزیه و تحلیل آماری جهت انتخاب بهترین مدل روند خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی ۴- پیشنهاد یک مدل ریاضی مناسب برای پیش بینی خصوصیات خشک کردن گوجه فرنگی با دقت بالا.

### مواد و روش ها

برای انجام آزمایشات یک خشک کن خورشیدی در گروه آموزشی فنی کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران طراحی و ساخته شد (Bagheri et al., 2010). دستگاه در محوطه باز زیر نور مستقیم خورشید به صورتی قرار داده شد تا زاویه جمع کننده با افق برابر باشد. برای انجام آزمایش، گوجه فرنگی به صورت تازه از بازار تهیه شد و ابتدا در آزمایشگاه کاملاً شسته شده، سطح آن توسط دستمال خشک شده و سپس در ضخامت ورقه های 5mm، 3mm و 7mm بریده شدند (Rajkumar et al., 2007).

داده است، در حالیکه سطح زیر کشت در ایران در سال ۱۳۸۹ برابر  $1.64 \times 10^5$  ha و میزان تولید محصول برابر  $5.9 \times 10^6$  Ton بوده است (Anonymous, 2011). بطور کلی محققین زیادی در زمینه استفاده از مدل های سینتیک در خشک کردن محصولات کشاورزی نظیر خشک کردن قارچ، فندق، سیب زمینی، فلفل سبز و لوبیا سبز، فلفل قرمز، برگ نعنا، زردآلو، انبه، موز، cassava و پسته تحقیق نموده اند که در اکثر آنها مدل Page بعنوان مدل قابل قبول در زمینه خشک کردن محصولات کشاورزی معرفی شده است (Akpınar and Bicer, 2006; Midilli and Kucuk, 2003; Ozdemir and Devres, 1999; Yaldiz and Ertekin, 2001; Aghbashlo et al., 2009; Koua et al., 2009; Tunde-Akintunde, 2011; Saleh and Badran, 2009; Rafiee and Kashaninejhad, 2008; Akpınar, 2010). همچنین (Doymaz, 2004) لایه های نازک هویج به ضخامت  $0.5$  cm را در چهار دمای  $50^\circ C$ ،  $60^\circ C$ ،  $65^\circ C$  و  $70^\circ C$  با سرعت هوای  $0.5$  m s<sup>-1</sup> تا  $1$  m s<sup>-1</sup> به وسیله خشک کن آزمایشگاهی خشک کرد. مقایسه مدل ها در این تحقیق نشان داد که مدل Page نسبت به مدل Henderson and Pabis مناسبتر است (Doymaz, 2004). در سال ۲۰۰۵، Beltagy و همکاران به طراحی خشک کن خورشیدی برای خشک کردن توت فرنگی پرداختند. در این سیستم هوا به صورت اجباری توسط فن در داخل خشک کن جریان پیدا می کرد. در این تحقیق بهترین مدل برای خشک شدن توت فرنگی، مدل Newton با  $r = 97\%$  و  $\chi^2 = 0.012 - 0.0064$  (Beltagy et al., 2005) به دست آمد. در سال ۲۰۰۷، موقرنژاد و نیکزاد به مطالعه مقایسه داده های حاصل از مدل های برآزش شده جهت خشک کردن گوجه فرنگی در خشک کن و داده های حاصل از طریق شبکه عصبی پرداختند. آن ها دریافتند که به ترتیب شبکه عصبی و مدل Page بهترین برآزش را بر داده های آزمایشگاهی دارند (Movagharnjad and Nikzad, 2007). در سال ۲۰۰۷، Doymaz به آزمایش در زمینه خشک کردن و مدل نمودن گوجه فرنگی در چهار دمای  $55^\circ C$ ،  $60^\circ C$ ،  $65^\circ C$  و  $70^\circ C$  در سرعت هوای  $1.5$  m s<sup>-1</sup> در خشک کن آزمایشگاهی پرداخت. در این تحقیق بهترین مدل جهت خشک کردن گوجه

### جدول علامت ها (Nomenclature)

$\overline{MR}_{pre}$	میانگین مجموع نسبت های رطوبتی پیش بینی شده	$a, b, c, g, n$	ضرایب تجربی در مدل های خشک کن
$N$	تعداد مشاهدات	$k, k_0, k_1$	ثابت های تجربی در مدل های خشک کن
$P$	تعداد ثابت ها در مدل	$M$	محتوی رطوبت محصول (%)
$R^2$	ضریب همبستگی	$M_e$	رطوبت تعادلی محصول (%)
$RH$	رطوبت نسبی	$M_0$	رطوبت اولیه محصول (%)
$RMSE$	ریشه میانگین مربعات خطا	$MR$	نسبت رطوبتی
$t$	زمان خشک شدن (min)	$MR_{pre,i}$	$i$ امین نسبت رطوبتی پیش بینی شده
$T$	دمای هوای خشک کننده ( $^\circ C$ )	$MR_{exp,i}$	$i$ امین نسبت رطوبتی مشاهده شده
$\chi^2$	مربع کای	$\overline{MR}_{exp}$	میانگین مجموع نسبت های رطوبتی مشاهده شده

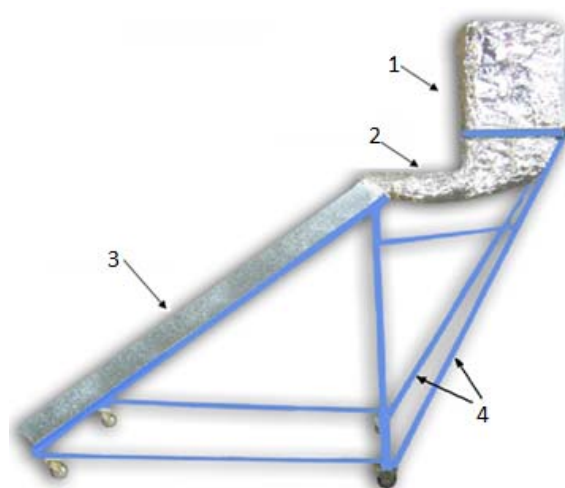
شکل ۱ نشان داده شده است. این دستگاه دارای قسمت‌های مختلف از جمله جمع‌کننده خورشیدی، محفظه اصلی خشک‌کن، کانال ارتباطی هوا، شاسی متحرک و همچنین فن الکتریکی می‌باشد.

پس از محاسبه زمان برای خشک شدن ورقه نازک گوجه فرنگی تا نسبت رطوبت ۱۰٪ برای شرایط مختلف خشک شدن، داده‌های به دست آمده بوسیله آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور سرعت هوای خشک کردن در دو سطح  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  و  $1 \text{ m s}^{-1}$  و ضخامت در سه سطح 3mm، 5mm و 7mm بر اساس طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد. برای ارزیابی سیستم خشک‌کن، بدست آوردن نرخ خشک شدن محصول ضروری است. اما گاهی اوقات انجام تمام آزمایشات برای همه محصولات اقتصادی نمی‌باشد. بنابراین استفاده از مدل‌ها به منظور شبیه‌سازی و جهت پیش‌بینی نرخ خشک شدن محصولات مختلف یک راه حل آسان و مفید است.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

نسبت رطوبتی مطابق رابطه (۱) تعریف می‌شود (Shanmugam and Natarajan, 2005)، ولی با توجه به نوسانات مداوم در رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده و با توجه به کوچک بودن مقدار  $M_e$  برای زمان‌های طولانی و صرف نظر از این پارامتر، از رابطه (۲) برای تعیین نسبت رطوبت استفاده شد (Aktaş et al., 2008; Doymaz, 2007).

در طول آزمایشات، میزان دما و رطوبت هوای محیط، دمای خروجی جمع‌کننده خورشیدی، دمای خروجی محفظه خشک‌کن و دمای صفحه جاذب، بطور جداگانه توسط ترموکوپل (مدل K با دقت  $\pm 1^\circ \text{C}$ ) و رطوبت سنج‌های (مدل Tivan, HT.3006) با دقت  $\pm 3\% \text{ RH}$  نصب شده در سیستم قرائت شد. برای قرائت دمای صفحه جاذب از دو ترموکوپل نوع K، یکی در فاصله 50cm از قسمت بالای جمع‌کننده و دیگری در فاصله 50cm از پایین جمع‌کننده استفاده گردید. مقدار متوسط داده‌های برداشت شده توسط دو ترموکوپل بعنوان دمای جمع‌کننده مورد استفاده قرار گرفت. برای قرائت میزان دمای ورودی و خروجی در محفظه اصلی خشک‌کن از ترموکوپل‌هایی استفاده شد که دقیقاً یکی در قسمت ورودی محفظه خشک‌کن بعد از کانال انتقال هوا از جمع‌کننده به خشک‌کن و دیگری در قسمت خروجی محفظه خشک‌کن قبل از فن قرار داشتند. برای قرائت میزان تابش خورشیدی در هر ساعت، از دستگاه شیدسنج (مدل PSP-EPPLY با دقت  $1 \text{ cal min cm}^{-2}$ ) استفاده شد که دستگاه مذکور در محیط باز و در راستای عمود بر راستای نور خورشید نصب شد. همچنین برای ثبت میزان دمای هوای محیط از دماسنج جیوه‌ای و برای ثبت سرعت هوای محیط نیز از سرعت سنج (مدل Taiwan, AVM-07) با دقت  $\pm 3\% + 0.1 \text{ ms}^{-1}$  استفاده شد. آزمایشات بر روی ورقه‌های گوجه فرنگی در ضخامت ورقه‌های 3mm، 5mm و 7mm و دو سرعت هوای  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  و  $1 \text{ m s}^{-1}$  انجام شد و هر آزمایش سه بار تکرار شد. دستگاه خشک‌کن خورشیدی استفاده شده در این تحقیق در



شکل ۱- خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در این تحقیق: ۱- محفظه خشک‌کن ۲- کانال ارتباطی هوا ۳- جمع‌کننده خورشیدی ۴- شاسی

Fig. 1. Schematic of solar dryer in experimental: 1- Dryer chamber 2- Air channel 3- Collector 4- Chassi



(Akpınar *et al.*, 2003)**نتایج و بحث****اثر سرعت و ضخامت روی زمان خشک شدن**

نتایج به دست آمده از آزمایشات خشک شدن ورقه گوجه فرنگی با سرعت هوای  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  و  $1 \text{ m s}^{-1}$  و ضخامت های 3mm، 5mm و 7mm در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که جدول ۲ نشان داده شده است، اثر فاکتور ضخامت بر روی مدت زمان خشک شدن در سطح ۱ درصد معنی دار بوده و اثر فاکتور سرعت هوا معنی دار نمی‌باشد. میانگین زمان خشک شدن بر اساس ضخامت ورقه‌های گوجه فرنگی در محفظه خشک کن به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و نتایج در شکل ۲ آورده شده است. حروف غیر هم نام نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح یک درصد است. بر اساس شکل ۲، با کاهش ضخامت 3mm تا 7mm زمان خشک شدن به طور معنی دار افزایش می‌یابد. بیشترین زمان خشک شدن مربوط به ضخامت 7mm و کمترین زمان مربوط به ضخامت 3mm می‌باشد.

**نتایج برآزش مدل‌ها**

پس از بدست آوردن مقادیر نسبت رطوبت حاصل از داده های آزمایشی در سرعت های مختلف خشک کردن، ۹ مدل نشان داده شده در جدول ۲ روی منحنی های خشک شدن برآزش داده شدند. سپس با توجه به مقادیر ضریب همبستگی ( $R^2$ )، مربع کای ( $\chi^2$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) مدل های مختلف خشک شدن لایه نازک ارزیابی شدند. نتایج حاصل از برآزش داده های آزمایشگاهی با مدل های ارائه شده نشان داد که تقریباً همه مدل ها مناسبند اما دو مدل Page و مدل Tow-term، فرآیند خشک شدن ورقه های گوجه فرنگی را با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل ها پیش بینی می‌کنند. با توجه به اینکه مدل Tow-term نسبت به مدل پیچ دارای ضرایب بیشتری است، مدل Page بعنوان مناسبترین مدل انتخاب شد. ضرایب و شاخص های آماری مربوط به این مدل ها در جداول ۳ الی ۵ آورده شده است.

با توجه به نتایج موجود در جداول ۳ تا ۵ برای خشک شدن ورقه‌های گوجه فرنگی در ضخامت های 3mm، 5mm و 7mm، در هر دو سطح سرعت جریان هوا، از میان مدل‌های بکار رفته در این تحقیق، مدل Page خشک شدن ورقه های گوجه فرنگی را با دقت بیشتری پیش بینی کرد.

در سرعت  $1 \text{ m s}^{-1}$  برای ضخامت 3mm مقدار ضریب همبستگی در مدل Page، برابر 0.995 و میانگین  $RMSE$  و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.008846 و 0.0006261 بود و همچنین مقدار ضریب همبستگی

$$MR = (M - M_e) / (M_o - M_e) \quad (1)$$

$$MR = M / M_o \quad (2)$$

برای مدل سازی خشک شدن لایه نازک گوجه فرنگی از نسبت رطوبت در طی خشک شدن نمونه‌ها استفاده شد. نسبت رطوبت به دست آمده در طی آزمایش‌ها با ۹ مدل از مدل‌های استاندارد خشک شدن لایه نازک محصولات کشاورزی که در جدول ۱ نشان داده شده است، مقایسه گردید.

**برآزش منحنی های خشک کردن**

مدلهای مذکور بر اساس متغیر وابسته (نسبت رطوبت ورقه های گوجه فرنگی) و دو متغیر مستقل (زمان خشک شدن و ضخامت ورقه ها) بر داده‌های آزمایشگاهی برآزش داده شدند. برای برآزش مدل های استاندارد خشک شدن لایه نازک با داده‌های آزمایشی، از محیط برآزش منحنی‌های نرم افزار MATLAB 2007 استفاده شد. برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب همبستگی  $R^2$ ، مربع کای  $\chi^2$  و ریشه میانگین مربعات خطا  $RMSE$  استفاده شد. این پارامترها از روابط (۳) الی (۵) بدست می‌آیند (Sacic and Elicin, 2006).

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{per,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{per} - MR_{exp,i})^2} \right] \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^P ((MR_{exp})_i - (MR_{pre})_i)^2}{P - z} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P ((MR_{pre})_i - (MR_{exp})_i)^2} \quad (5)$$

که در این معادلات p تعداد مشاهدات (داده‌ها) و z تعداد ثابت می‌باشند.

برای هر یک از دماهای خشک کن، معادلات جدول ۱ استخراج شده و متوسط شاخص های دقت برآزش در دماهای مختلف برای هر مدل بدست آمد و با یکدیگر مقایسه شده و مدل برتر انتخاب و برای مدل های ارائه شده ضرایب و ثابت ها به دست آمد و نمودار منحنی خشک شدن ورقه گوجه فرنگی نیز رسم شد. مدلی که  $R^2$  بالاتر،  $\chi^2$  و  $RMSE$  پایینتری را به خود اختصاص داده باشد، تغییرات نسبت رطوبت را در طی خشک شدن مناسب تر پیش بینی می‌کند

1- Curve fitting

2- Correlation coefficient

3- Chi-square

4- Root mean square error

و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.00992 و 0.00108 بود. در ضخامت 7mm مقدار ضریب همبستگی در سرعت  $1\text{ m s}^{-1}$  در مدل Page برابر 0.9991 و میانگین  $RMSE$  و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.01264 و 0.001917 بود و همچنین مقدار ضریب همبستگی در سرعت  $0.5\text{ m s}^{-1}$  برای مدل Page برابر 0.9974 و میانگین  $RMSE$  و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.02147 و 0.005529 بود.

در سرعت  $0.5\text{ m s}^{-1}$  برای مدل Page برابر 0.9999 و میانگین  $RMSE$  و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.01225 و 0.001201 بود. مقدار ضریب همبستگی در سرعت  $1\text{ m s}^{-1}$  برای ضخامت 5mm در مدل Page برابر 0.9989 و میانگین  $RMSE$  و  $\chi^2$  به ترتیب برابر 0.01351 و 0.00201 بود و همچنین مقدار ضریب همبستگی در سرعت  $0.5\text{ m s}^{-1}$  برای مدل Page برابر 0.9995 و میانگین  $RMSE$

جدول ۱- معادلات ریاضی خشک کردن بکار رفته در خشک کن خورشیدی

Table 1. Mathematical models given for the solar drying curves

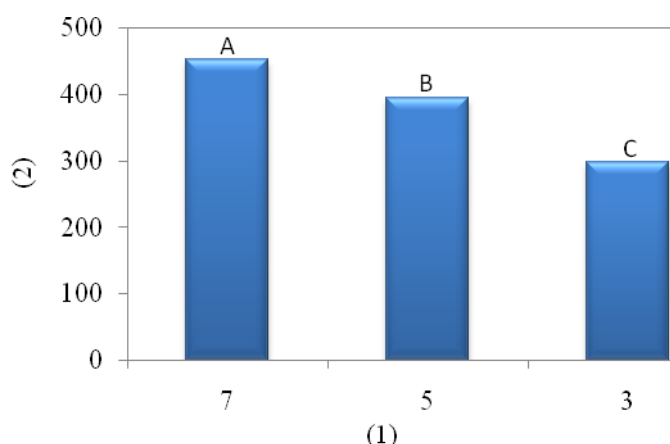
منبع	مدل	نام مدل	ردیف
(Aghbashlo et al., 2009)	$MR = \exp(-kt)$	Newton	1
(Aghbashlo et al., 2009)	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	2
(Aghbashlo et al., 2009)	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	3
(Aghbashlo et al., 2009)	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	4
(Aghbashlo et al., 2009)	$MR = a \exp(-kt) + c \exp(-gt)$	Tow-term	5
(Hayaloglu, 2007)	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Modified Page	6
(Hayaloglu, 2007)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Two-term exponential	7
(Hayaloglu, 2007)	$MR = 1 + at + ct^2$	Wang and Singh	8
(Hayaloglu, 2007)	$MR = a \exp(-kt) + ct$	Midilli et al	9

جدول ۲- نتایج واریانس متغیرها برای پارامتر زمان خشک شدن در محفظه خشک کن

Table 2. parameter variation results for drying time in the dryer chamber

مقدار F	مقادیر میانگین مربعات زمان خشک شدن (M.S)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (sov)
0.05 <sup>ns</sup>	34.7222	1	سرعت هوا
80.44 <sup>**</sup>	51616.6667	2	ضخامت
0.11 <sup>ns</sup>	72.2222	3	سرعت هوا × ضخامت
-	641.6667	12	خطا

\*\* وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱٪، <sup>ns</sup> عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪



شکل ۲- اثر ضخامت ورقه های گوجه فرنگی بر میانگین زمان خشک شدن:

۱- ضخامت (میلیمتر) ۲- میانگین زمان خشک شدن (دقیقه)

Fig. 2. Effect of thickness of tomato slice on the average drying time: 1- Thickness (mm) 2-Average of drying time (min)

جدول ۳- نتایج حاصل از برآزش کردن مدل های Newton، Henderson and Pabis، Modified Page، Two-term، Wang and Singh،

و Logarithmic، Page، Midilli *et al* و Tow-term exponential برای ورقه گوجه فرنگی با ضخامت 3mm

**Table 3.** Statistical results of 9 thin layer drying models at different drying conditions with 3 mm thickness

<i>n</i>	<i>g</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>k</i>	$\chi^2$	RMSE	$R^2$	مدل	سرعت هوا
-	-	-	-	0.01671	0.01812	0.04487	0.987	Newton	
-	-	-	1.054	0.01787	0.01287	0.04011	0.9900	Henderson and Pabis	
1.314	-	-	-	0.00480	0.00063	0.00885	0.9995	Page	
-	-	0.042	1.088	0.01663	0.00959	0.03701	0.9910	Logarithmic	
-	0.0302	5.195	-4.172	0.35710	0.00064	0.01032	0.9991	Tow-term	1 m s <sup>-1</sup>
1.402	-	-	-	0.00492	0.00065	0.00905	0.9904	Modified Page	
-	-	-	4.547	0.38090	0.00187	0.03909	0.9900	Two-term exponential	
-	-	0.152	2.410	-	0.01785	0.01425	0.9836	Wang and Singh	
1.759	-	0.054	2.025	0.00748	0.00074	0.04258	0.9899	Midilli et al	
-	-	-	-	0.01270	0.03149	0.05920	0.9770	Newton	
-	-	-	1.068	0.01390	0.02162	0.05200	0.9840	Henderson and Pabis	
1.41	-	-	-	0.00230	0.00120	0.01230	0.9990	Page	
-	-	0.094	1.145	0.01150	0.01230	0.04190	0.9910	Logarithmic	
-	0.0264	12.54	-11.6	0.02790	0.00186	0.01760	0.9980	Tow-term	0.5 m s <sup>-1</sup>
1.512	-	-	-	0.00330	0.00065	0.00179	0.9914	Modified Page	
-	-	-	11.20	0.03140	0.00187	0.02800	0.9930	Two-term exponential	
-	-	0.171	3.001	-	0.01785	0.01521	0.9801	Wang and Singh	
1.801	-	0.051	2.173	0.00728	0.00274	0.03058	0.9829	Midilli et al	

جدول ۴- نتایج حاصل از برآزش کردن مدل های Newton، Henderson and Pabis، Modified Page، Two-term، Wang and Singh،

و Logarithmic، Page، Midilli *et al* و Tow-term exponential برای ورقه گوجه فرنگی با ضخامت 5mm

**Table 4.** Statistical results of 9 thin layer drying models at different drying conditions with 5 mm thickness

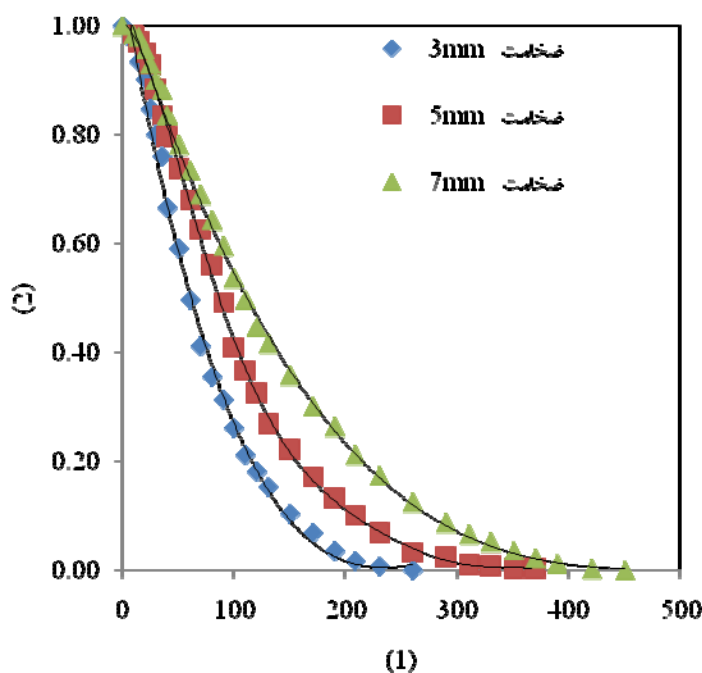
<i>n</i>	<i>g</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>k</i>	$\chi^2$	RMSE	$R^2$	مدل	سرعت هوا
-	-	-	-	0.01003	0.02429	0.04499	0.9872	Newton	
-	-	-	1.054	0.01077	0.01710	0.03943	0.9910	Henderson and Pabis	
1.304	-	-	-	0.00258	0.00201	0.01351	0.9999	Page	
-	-	-0.051	1.093	0.00955	0.00097	0.00307	0.9994	Logarithmic	
-	0.01862	6.494	-5.50	0.02122	0.01399	0.00176	0.9991	Tow-term	1 m s <sup>-1</sup>
1.112	-	-	-	0.00322	0.00315	0.01905	0.9991	Modified Page	
-	-	-	4.219	0.03109	0.01187	0.00391	0.9911	Two-term exponential	
-	-	0.242	2.201	-	0.01501	0.02405	0.9899	Wang and Singh	
1.852	-	0.049	2.321	0.0174	0.01371	0.04351	0.9889	Midilli et al	
-	-	-	-	0.00835	0.04239	0.05944	0.9788	Newton	
-	-	-	1.077	0.00921	0.02603	0.04864	0.9870	Henderson and Pabis	
1.399	-	-	-	0.00129	0.00108	0.00992	0.9995	Page	
-	-	-0.094	1.151	0.00747	0.01271	0.03565	0.9936	Logarithmic	
-	0.01645	7.433	-6.43	0.01865	0.00165	0.01354	0.9992	Tow-term	0.5 m s <sup>-1</sup>
1.714	-	-	-	0.00393	0.00185	0.00279	0.9991	Modified Page	
-	-	-	10.98	0.01314	0.00188	0.01809	0.9970	Two-term exponential	
-	-	0.169	3.201	-	0.02180	0.01624	0.9882	Wang and Singh	
1.512	-	0.062	2.071	0.04718	0.03174	0.04258	0.9899	Midilli et al	

جدول ۵- نتایج حاصل از برآزش کردن مدل های Newton, Henderson and Pabis, Modified Page, Two-term, Wang and Singh.

Page, Midilli et al, Logarithmic, Tow-term exponential برای ورقه گوجه فرنگی با ضخامت 7mm

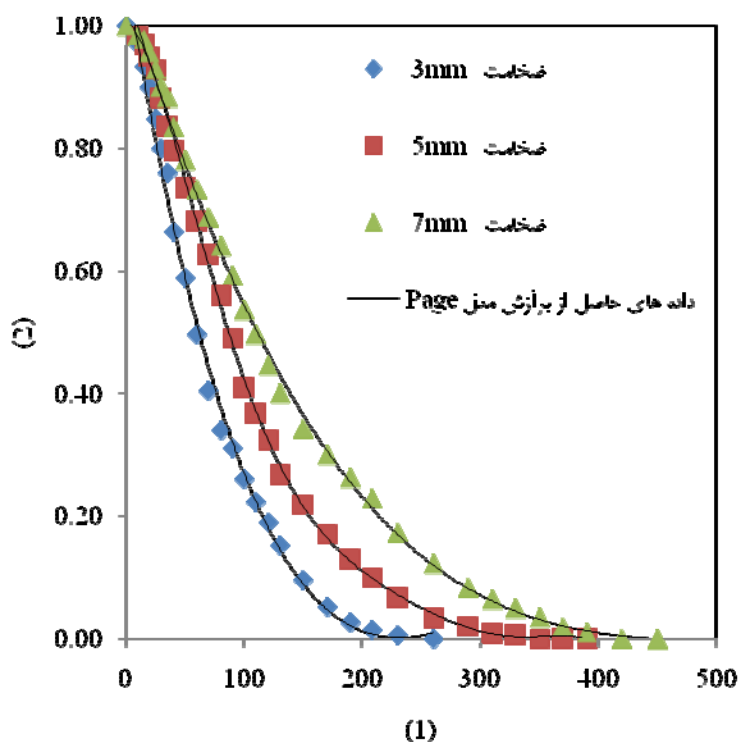
**Table 5.** Statistical results of 9 thin layer drying models at different drying conditions with 7 mm thickness

$n$	$g$	$c$	$a$	$k$	$\chi^2$	RMSE	$R^2$	مدل	سرعت هوا
-	-	-	-	0.00757	0.03002	0.04805	0.9857	Newton	$1 \text{ m s}^{-1}$
-	-	-	1.06	0.00817	0.01934	0.04014	0.9900	Henderson and Pabis	
1.289	-	-	-	0.00187	0.00192	0.01264	0.9991	Page	
-	-	-0.096	1.134	0.00625	0.00585	0.02306	0.9972	Logarithmic	
-	0.01367	7.899	-6.89	0.01512	0.00225	0.01501	0.9989	Tow-term	
1.214	-	-	-	0.00402	0.00305	0.01901	0.9991	Modified Page	
-	-	-	4.249	0.04001	0.00307	0.01391	0.9981	Two-term exponential	
-	-	0.342	3.001	-	0.02501	0.02501	0.9889	Wang and Singh	
1.383	-	0.054	2.331	0.0272	0.02331	0.04261	0.9901	Midilli et al	
-	-	-	-	0.00678	0.05972	0.04636	0.9782	Newton	$0.5 \text{ m s}^{-1}$
-	-	-	1.067	0.00736	0.03211	0.05173	0.9849	Henderson and Pabis	
1.349	-	-	-	0.00118	0.00553	0.02147	0.9974	Page	
-	-	-0.163	1.199	0.00522	0.00796	0.02691	0.9963	Logarithmic	
-	0.01645	7.433	-6.43	0.01865	0.00165	0.01354	0.9992	Tow-term	
1.624	-	-	-	0.00439	0.00185	0.02279	0.9969	Modified Page	
-	-	-	11.01	0.01712	0.00598	0.02009	0.9911	Two-term exponential	
-	-	0.157	3.302	-	0.02230	0.01824	0.9892	Wang and Singh	
1.313	-	0.052	2.172	0.04610	0.04004	0.04450	0.9888	Midilli et al	



شکل ۳- نسبت رطوبت و منحنی حاصل از برآزش مدل Page برای خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در ضخامت های 3mm, 5mm و 7mm در سرعت هوای  $1 \text{ m s}^{-1}$ : ۱- زمان (دقیقه) ۲- نسبت رطوبت (بدون بعد)

**Fig. 3.** Moisture ratio and the fitted curves to Page model for drying of tomato slices with thicknesses of 3, 5 and 7 mm and air velocity of  $1 \text{ m s}^{-1}$ : 1- Drying time (min) 2- Moisture ratio (decimal)



شکل ۴- نسبت رطوبت و منحنی حاصل از برآزش مدل Page برای خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در ضخامت های 3mm، 5mm و 7mm در سرعت هوای  $0.5 \text{ m s}^{-1}$ : ۱- زمان (دقیقه) ۲- نسبت رطوبت (بدون بعد)

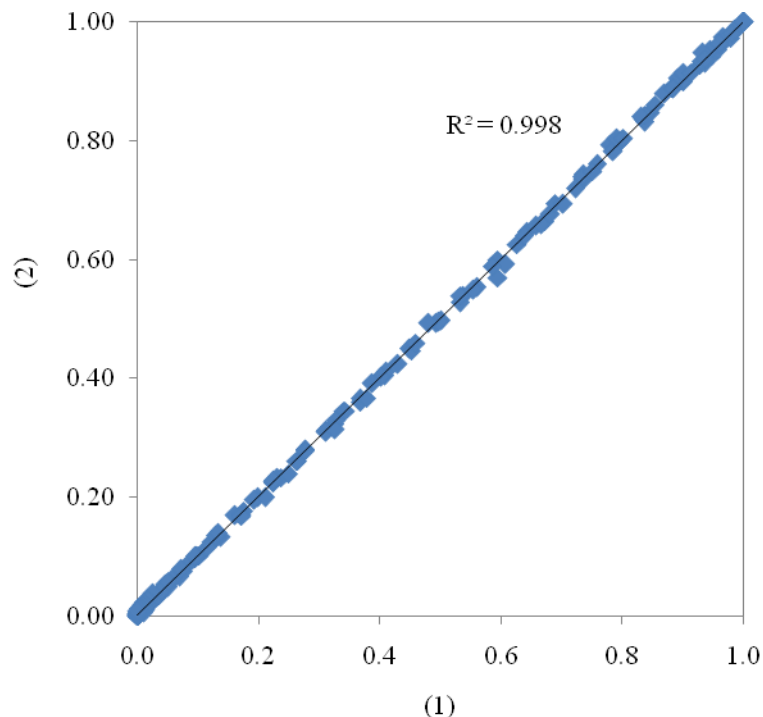
Fig. 4. Moisture ratio and the fitted curves to Page model for drying of tomato slices with thicknesses of 3, 5 and 7 mm and air velocity of  $0.5 \text{ m s}^{-1}$ : 1- Drying time (min) 2- Moisture ratio (decimal)

### نتیجه گیری کلی

به منظور تعیین نرخ خشک شدن لایه نازک گوجه فرنگی از یک دستگاه خشک کن خورشیدی استفاده شد. از طریق استفاده از این دستگاه گوجه فرنگی از حمله حشرات، پرندگان، باران و گرد و غبار در امان بود. نمونه گوجه فرنگی خشک شده رنگ قرمزتری نسبت به سایر روش های خشک کردن داشت. اثر سرعت هوای خشک کننده و ضخامت های متفاوت بر روی خشک شدن ورقه های نازک گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به برآزش داده های حاصل از آزمایشات با ۹ مدل خشک کردن استفاده شده در این تحقیق و مقادیر پارامترهای آماری، مدل Page به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

محققین دیگر نیز به نتایجی مشابه دست یافته اند (Praditwong and Janjai, 1990; Akpinar *et al.*, 2003; Aghbashlo *et al.*, 2009; Koua *et al.*, 2009; Tunde-Akintunde, 2011; Saleh and Badran, 2009; Akpinar and Bicer, 2006; Midilli and Kucuk, 2003; Rafiee and Kashaninejad, 2008; Akpinar, 2010; Doymaz, 2007; Movagharnjad and Nikzad, 2007). با توجه به اینکه مدل Page بهترین مدل در بین مدل های ارائه شده است، این مدل می تواند برای بررسی و پیش بینی روند خشک شدن لایه نازک گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گیرد. شکل های ۳ و ۴ نتایج حاصل از برآزش مدل Page بر روی منحنی خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در ضخامت های 3mm، 5mm و 7mm را در دو سرعت هوای  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  و  $1 \text{ m s}^{-1}$  نشان می دهد.

شکل ۵ مقایسه داده های آزمایشگاهی نسبت رطوبت، در مقابل داده های پیش بینی شده با استفاده از مدل Page برای خشک شدن لایه نازک ورقه های گوجه فرنگی را نشان می دهد. داده ها در نزدیکی یک خط  $45^\circ$  قرار گرفتند که نشان می دهد مدل Page قدرت تخمین خوبی دارد.



شکل ۵- مقایسه نسبت‌های رطوبتی به‌دست آمده از آزمایش و مدل کردن: ۱- نتایج حاصل از آزمایش ۲- نتایج حاصل از برآزش مدل

**Fig. 5.** Comparison of moisture ratios obtained from experiments and modeling:  
1- Experimental moisture ratio 2- Predicted moisture ratio

### منابع

1. Āghbashlo, M., M. H. Kianmehr, and A. Arabhosseini. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy Conversion and Management* 50: 1348-1355.
2. Anonymous. 2011. Available from: [www.faostat.com](http://www.faostat.com).
3. Akpınar, E. K., A. Midilli, and Y. Bicer. 2003. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management* 44: 1689-1705.
4. Akpınar, E. K., and Y. Bicer. 2006. Mathematical Modeling and Experimental Study on Thin Layer Drying of Strawberry. *Food Engineering* 2: Art 5.
5. Akpınar, E. K. 2010. Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management* 51: 2407-2418.
6. Aktaşa, M., C. İlhan, and Y. Sezayi. 2008. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination* 239: 266-275.
7. Bagheri, H., A. Arabhosseini, and M. H. Kianmehr. 2010. Design, Development and Evaluation of a Laboratory Solar Dryer. 6<sup>th</sup> national conference on agricultural machinery engineering and mechanization Conf., College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University – Karaj, Iran. (In Farsi).
8. Beltagy, A., G. R. Gamea, and A. H. Amer Essa. 2005. Solar drying characteristics of strawberry. *Food Engineering* 78: 456-464.
9. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61: 359-364.
10. Doymaz, I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *Food Engineering* 78: 1291-1297.
11. Ekechukwu, O. V., and B. Norton. 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar

- drying technology. *Energy Conversion & Management* 40: 615-655.
12. Hayaloglu, A. A., I. Karabulut, M. Alpaslan, and G. Kelbaliyev. 2007. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. *Food Engineering* 78: 109-117.
  13. Koua, K. B., W. F. Fassinou., P. Gbaha, and S. Toure. 2009. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava. *Energy* 34: 1594-1602.
  14. Koyuncu, T., Y. Pinar, and F. Lule. 2007. Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna* Jacq.) and yellow (*Crataegus aronia* Bosc.) fruits. *Food Engineering* 78: 1471-1475.
  15. Midilli, A., and H. Kucuk. 2003. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management* 44: 1111-1122.
  16. Movagharnejad, K., and M. Nikzad. 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and electronics in agriculture* 59: 78-85.
  17. Ozdemir, M., and Y.O. Devres. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Food Engineering* 42: 225-233.
  18. Praditwong, P., and S. Janjai. 1990. Performance studies of a solar drying storage system for paddy in Sayigh AAM, ed. *Proceedings of the 1st World Renewable Energy Congress*. UK.23-28.
  19. Rafiee, S., and M. Kashaninejhad. 2008. Thin Layer Drying of Corn. The 4<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Tabriz University - Tabriz, Iran. (In Farsi).
  20. Rajkumar, P., S. Kulanthaisami., G. S. V. Raghavan., Y. Garie'py, and V. Orsat. 2007. Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods *Drying Technology* 25: 1349-1357.
  21. Sacilic, K., and A. Elicin. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Food Engineering* 73: 231-238.
  22. Saleh, A., and I. Badran. 2009. Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer. *Renewable Energy* 34: 2239-2245.
  23. Shanmugam, V., and E. Natarajan. 2005. Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer. *Renewable Energy* 31: 1239-1251.
  24. Tunde-Akintunde, T. Y. 2011. Mathematical modeling of sun and solar drying of chilli pepper. *Renewable Energy* 36: 2139-2145.
  25. Yaldiz, O., and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology* 19: 583-596.

## Design, Fabrication and Testing of Exponential Horn for Measuring Ultrasonic Attributes of Agricultural Produce

R. Meamar Dastjerdi<sup>1</sup> - S. Minaiee<sup>2\*</sup> - M. H. Khoshtaghaza<sup>3</sup>

Received: 09-11-2011

Accepted: 16-04-2012

### Abstract

Non-destructive ultrasonic testing is one of the methods utilized to evaluate quality of agricultural produce. Transducers used in this method are made for basically industrial applications. Since ultrasonic attenuation of waves in agricultural produce is very high, industrial transducers cannot be used in agriculture and needs to be modified. This is done with horns that concentrate energy on a small area at a certain distance from the transducer. In this paper, an exponential horn was designed, fabricated and tested using theoretical and computer-aided methods. Results showed that highly sophisticated horns can be designed using computer-aided method with a high accuracy. Analysis of the number of elements on the natural frequency of horn proved that the analysis was not precise at the low number of elements. Therefore, the number of elements should be increased when natural frequency of horn is almost fixed. The minimum number of elements was obtained to be 300. A comparison between theoretical and computer-aided methods showed a desirable performance of the computer-aided method with an error less than 1% without solving very complicated equations. Based on statistical analysis of the data, the effect of produce thickness (potato and carrot) on the velocity of ultrasonic waves in the horned probe was not significant. However, for the un-horned probe, velocity changed significantly with the sample thickness which is not desirable. Therefore, horned probe is more suitable for non-destructive ultrasonic tests than the un-horned probe.

**Keywords:** Non-destructive test, Computer design, Ultrasound, Exponential horn

---

1, 2, 3- Ph.D. Student and Associate Professors, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, respectively

(\*\_Corresponding Author Email: [minaee@modares.ac.ir](mailto:minaee@modares.ac.ir))



## Optimization and Analysis of a $\lambda$ -Formed Straight Line Linkage for Design of Reversible Disk Plow.

S. I. Saedi<sup>1\*</sup> - M. H. Aghkhani<sup>2</sup> - A. Farzad<sup>3</sup>

Received: 15-10-2010

Accepted: 13-03-2012

### Abstract

Disk plows are one of the most important tillage tools. Two way (reversible) disk plows can perform continues plowing. So they can save time and costs and hence improve overall efficiency. In this study, a “two-way” disk plow was designed based on a  $\lambda$ -formed straight-line, four-bar linkage (Daniel mechanism). This design contains disk and rear wheel reversing mechanism, stabilization mechanism of the plow, a disk angle adjustment tool and transport condition for safe operation of the mechanism. Disk reversing mechanism was designed based on a geometrical analysis considering working condition of the disk plow. The suitable displacement of the plow's frame was achieved by dimensional analysis of Daniel mechanism and a derived mathematical equation. The rear wheel mechanism was made by means of adding a slotted link to the previous four-bar linkage. The synthesized five-bar linkage was then analyzed for its kinematical and force conditions. For each analysis, related diagrams were plotted and discussed. This innovation has the advantages of low production cost and maintenance as well as easy operation, because of its design simplicity with minimum mechanical auxiliaries. The modeling and analysis was done by the aid of CATIA software.

**Keywords:** Mechanism optimization, Kinematical analysis, Force analysis, Two-way disk plow, Daniel mechanism

---

1- Instructor, Shahrood University of Technology

(\*\_Corresponding Author Email: [i\\_saedi@yahoo.com](mailto:i_saedi@yahoo.com))

2, 3 - Associate Professors, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

## Effect of Frequency and Vibration Time on Shaker Performance for Mechanized Harvesting of Orange (Thomson cultivar)

H. Ghorbanpour<sup>1</sup> - M. H. Khoshtaghaza<sup>2\*</sup> - M. R. Mostofi Sarkari<sup>3</sup>

Received: 25-09-2011

Accepted: 16-04-2012

### Abstract

Manual citrus harvesting is commonly performing hard, expensive and time consuming. In this study, a factorial experiment with a completely randomized design in three replications was performed to find out the effect of frequency (three levels of 5, 7.5 and 10 Hz), vibration time (three levels of 10, 15 and 20 seconds) on harvesting capacity and losses of Thomson cultivar of orange. The results indicated that the effect of frequency and vibration time was significant ( $P \leq 0.01$ ) on the harvesting capacity and losses, but their interaction effects weren't significant. The harvesting capacity significantly increased by increasing frequency, and the highest harvesting capacity was 62.8 % at 10 Hz frequency. Although the harvesting capacity increased by increasing the vibration time, but there was no significant difference in vibration times between 15 and 20 seconds at 10 Hz frequency. Also the fruit loss was increased by increasing the vibration time. Due to these reasons, frequency of 10 Hz and vibration time of 15 seconds were selected as the most suitable condition for mechanized harvesting of this cultivar of orange. Finally a linear mathematical model was developed based on the frequency and vibration time for the harvesting capacity and fruit loss of Thomson cultivar of orange.

**Keywords:** Frequency, Thomson, Vibration time, Mathematical model, Harvesting, Damaged fruit

---

1, 2 - M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, respectively

(\*\_ Corresponding Author Email: [khoshtag@modares.ac.ir](mailto:khoshtag@modares.ac.ir))

3 - Assistant Prof., Karaj-Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran

## Optimum Adjustments of Cereal Combine Harvester Platform for Canola Harvesting by Using of a Simulated Platform

M. Soleimani<sup>1\*</sup> - M. Kasraei<sup>2</sup>

Received: 12-03-2011

Accepted: 10-06-2012

### Abstract

In recent decades, canola has been considered as the most important oilseed. Harvesting is the most major problem of canola cultivation, since canola pods are very sensitive to shocks and vibrations. Large amount of produce will fall on the ground especially when the combine's head is not adjusted properly. When canola harvested with a combine, the losses may reach up to 50%. The yields can be improved by decreasing seed losses during the harvesting operation. The objective of this study was to determine the optimal harvesting conditions of combine platform to minimize grain losses. In order to achieve this, a laboratory test stand platform was designed and built in the Department of Mechanics of Agricultural Machinery in Shiraz University. Three factors which are more effective on the losses were assessed to determine the best adjustments. These factors were combine forward speed at three levels; 1.5, 2 and 2.5 km h<sup>-1</sup>, cutter bar speed at three levels; 800, 1100 and 1400 cycles per minute and the relative linear speed of reel in respect of forward speed also at three levels; 1, 1.3 and 1.5. Desired experiment were accomplished on Talaie variety at 16% m.c (d.b). The grain losses were measured at each level, with three replicates. By considering the interaction of factors, results showed that the effect of these factors at 5% level was significant, and the minimum loss occurred at 2 km h<sup>-1</sup> for forward speed, 1400 cut per minute for cutter bar speed and 1.5 for relative reel speed to forward speed.

**Keywords:** Harvesting, Combine head adjustment, Simulated platform, Grain loss, Canola

---

1, 2 - M.Sc. student and Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Shiraz University  
(\* \_ Corresponding Author Email: Soleimanimajid64@gmail.com)

## The Effect of Nozzle Types and Time of Herbicide Incorporation in Soil on Corn (*Zea mays* L.) Weed Control

K. Gerami<sup>1\*</sup> - M. Safari<sup>2</sup>

Received: 19-02-2011

Accepted: 16-04-2012

### Abstract

This experiment was conducted to study the effect of nozzle types and the time of herbicide incorporation in soil on weed control, using split plot design by randomized block design. The main plots were soil and herbicide mixing time and the subplots were nozzle types with three replications. This study was performed in Karaj station of Seed and Plant Improvement Institute, located 25 km west of Tehran, in 2008. Treatments were including: T-Jet standard nozzle, Flood-Jet nozzle and Air induction nozzle as well as mixing with the soil immediately, three, six and nine hours after spraying. The parameters were measured includes: the number of weeds before spraying, 15 days and 30 days after spraying; dry weed at two stages of 15 and 30 days after the spraying; and yield of corn. The results revealed that the spraying quality coefficient was greater for T-jet nozzle compared to the other types. However Flood-jet nozzle had a wide range of corn weeds control in comparison to other treatments. Regardless of the nozzle type, the immediate incorporation of herbicide in soil after spraying significantly increased the yield. The time of herbicide incorporation in soil and poison intermixture with soil, from zero to 4.5 hours after spraying was superior to the other times. This was mainly due to different weeds reactions to the times of herbicide incorporation in soil after spraying, and also treatments effect on yield and weed dry weight. Combined data analysis showed that treatment combination of T-Jet nozzle (with time of herbicide incorporation in soil immediately and three hours after spraying), Flood-jet nozzle (with time of herbicide incorporation in soil immediately after spraying) and air induction nozzle (with time of herbicide incorporation in soil immediately, three and six hours after spraying) produced the highest yield than the other treatment combinations.

**Keywords:** TS, FJ, AI nozzles, Corn spraying, Soil incorporation herbicide, Weed

---

1- Researcher, Agricultural Engineering Research Institute (AERI) Karaj

(\* \_ Corresponding Author Email: Email: kg\_gerami@yahoo.com)

2 - Member of scientific board, Agricultural Engineering Research Institute (AERI) Karaj

## Separation of Saffron Stigma from Stamen and Petal in a Vertical Wind Tunnel and Evaluation by Fuzzy Logic

E. Alishahi<sup>1</sup> - M. Shamsi<sup>2\*</sup>

Received: 03-03-2011

Accepted: 16-04-2011

### Abstract

In this paper the separation of saffron stigma from stamen and petal in a vertical wind tunnel has been evaluated. A wind tunnel with adjustable speed of 0.1 m s<sup>-1</sup> intervals has been developed and used for the experiments. Floating velocities of flower components (petal, stigma and stamen) were measured at one, eight, 38 and 60 hours after harvesting. Subsequently, the separation was tested by putting all flower components in the tunnel. The experimental results were also analyzed by fuzzy logic. The average floating velocities of stigma, stamen and petal at one hour after harvesting were measured as 3.21, 2.20 and 1.41 m s<sup>-1</sup>, respectively. The results showed that because of the high difference among the floating velocities of flower components, it is possible to separate the components in a vertical wind tunnel. Experimental results analysis showed that at the best condition which was one hour after harvesting and wind speed of 2.8 m s<sup>-1</sup> in the tunnel, the system leaves 81% of the stigmas in the tunnel and blows out of the tunnel 84% of stamens and 89% of petals. The results also showed that as much as the time passes over the harvested flowers, the separation efficiency decreases.

**Keywords:** Membership function, Fuzzy decision making, Floating velocity, Saffron processing, Stigma

---

1, 2 - M.Sc. student and Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

(\* \_ Corresponding Author Email: [mbkshamsi@gmail.com](mailto:mbkshamsi@gmail.com) )

## Breif Report

# Selection of a Relevant Mathematical Model for Drying of Tomato Slices Using Solar Dryer

H. Bagheri<sup>1\*</sup> - A. Arabhosseini<sup>2</sup> - M. H. Kianmehr<sup>3</sup>

Received: 10-09-2011

Accepted: 16-04-2012

### Abstract

In this research, solar drying of a thin layer of tomato slices was evaluated. The experiments were carried out at the air velocities of 0.5 and 1.0 m s<sup>-1</sup> and thicknesses of 3, 5 and 7 mm. In order to find the most suitable form of thin layer drying model, nine different mathematical drying models were fitted to the experimental data to determine the pertinent coefficients of each model. The goodness of the fit was determined by calculating and comparing the values of the correlation coefficient ( $R^2$ ) Root mean square error ( $RMSE$ ) and chi-square ( $\chi^2$ ) for all models. The Page model with  $R^2 = 0.9974$ ,  $\chi^2 = 0.01351$ ,  $RMSE = 0.02$  showed the best fit.

**Keywords:** Drying, Solar dryer, Thin layer, Mathematical modeling, Tomato slice

---

1, 2, 3 - M.Sc. and Assistant Professors, Department of Agro-technology, College of Abouraihan, University of Tehran, respectively

(\*\_ Corresponding Author Email: [h\\_b13179@yahoo.com](mailto:h_b13179@yahoo.com))