



## مدل سازی و شبیه سازی مسیر حرکت دانه گندم در کمباین های خوشه چین

ابراهیم فیروزی<sup>۱</sup>، علی ماشاءاله کرمانی<sup>۲\*</sup>، جواد خزائی<sup>۳</sup>، غلامرضا چگینی<sup>۴</sup>، شمس اله عبدالله پور<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، e.firouzi@ut.ac.ir  
<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیأت علمی گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، amkermani@ut.ac.ir  
<sup>۳</sup> دانشیار و عضو هیأت علمی گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، jkhazaei@ut.ac.ir  
<sup>۴</sup> دانشیار و عضو هیأت علمی گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، chegini@ut.ac.ir  
<sup>۵</sup> دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تبریز، shams@tabrizu.ac.ir

### چکیده

گندم به عنوان محصولی استراتژیک در مناسبات سیاسی و اقتصادی روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود. متأسفانه تلفات برداشت گندم در ایران بسیار بالا بوده به نحوی که م قدر آن در مرحله برداشت بین ۱۰ تا ۳۰ درصد گزارش شده است. یک روش مورد استفاده برای کاهش تلفات ریزش غلات و حبوبات در مرحله برداشت و کاهش هزینه برداشت در واحد سطح استفاده از فناوری خوشه چینی می باشد. در این کمباین ها با استفاده از مکانیزم خاصی فقط خوشه محصول برداشت می شود و ساقه به صورت ایستاده بر روی زمین باقی می ماند. عدم طراحی و تنظیمات صحیح این کمباین ها تلفات ریزش محصول را به شدت افزایش داده و سبب کاهش عملکرد ماشین می شود. در این تحقیق مسیر حرکت دانه گندم در هد خوشه مدل سازی شده و با استفاده از نرم افزار متلب ۲۰۱۶ شبیه سازی گردید. اثر سرعت دورانی روتور در دو سطح ۴۰۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی کمباین خوشه چین ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلومتر در ساعت بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی روتور برد افقی و عمودی دانه گندم داخل هد خوشه چین بیشتر شد. با افزایش سرعت پیشروی برد عمودی دانه داخل هد تغییری نکرد. بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت و کمترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۱۵ کیلومتر در ساعت محاسبه شد.

کلمات کلیدی: هد خوشه چین، گندم، مسیر حرکت، شبیه سازی

## Modeling and Simulation of Wheat Grain Trajectory in Stripper Header

Ibrahim Firouzi<sup>1</sup>, Ali M. Kermani<sup>2\*</sup>, Javad Khazaei<sup>3</sup>, Gholamreza Chegini<sup>4</sup>, Shamsollah Abdollahpour<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, e.firouzi@ut.ac.ir

<sup>2</sup> Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, amkermani@ut.ac.ir

<sup>3</sup> Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, jkhazaei@ut.ac.ir

<sup>4</sup> Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, chegini@ut.ac.ir

<sup>5</sup> Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, shams@tabrizu.ac.ir

### ABSTRACT

Wheat as a strategic product of in the political and economic relationships has an important role. Unfortunately, the losses of wheat harvesting in Iran is very high, so that its amount reported at a range of 10% to 30%. A method used to reduce the losses of cereals and legumes during harvesting and reduce harvest costs per unit area is the use of clustering technology. In combines, using only a specific mechanism, only the product cluster is harvested and the stem without No shearing remains on the ground. The lack of proper design of these combines dramatically increases the loss of crop losses and reduces combustion performance. In this research, the wheat grain trajectory was modelled and simulated using the 2016 Matlab Software. The effect of the rotational velocity of the rotor at two levels of 400 and 1000 rpm, and the speed of combine at three levels of 5, 10 and 15

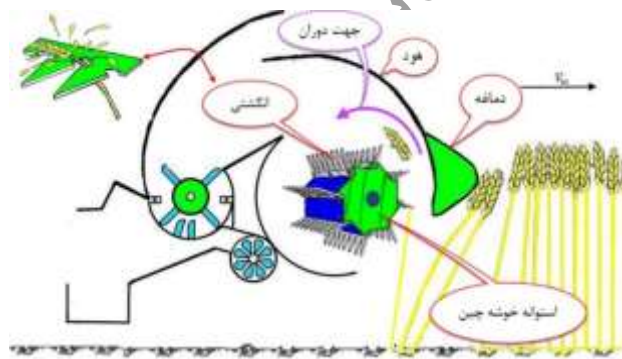
\* نویسنده مسئول: علی ماشاءاله کرمانی، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، تلفن و نمابر: ۰۲۱-۳۶۰۴۰۴۱۶

km/h investigated. The results showed that with increasing rotational velocity, the horizontal and vertical range of wheat grains into the stripper header increased. However, by increasing speed, the vertical range of grain inside the head did not change. The maximum horizontal range for rotational speed of 1000 rpm and velocity 5 km/h, and the lowest of them for rotational velocity of 400 rpm and speed of 15 km/h.

**Keywords:** Head stripper, Wheat, Trajectory, Simulation

## ۱- مقدمه

نتایج حاصل از تحقیقات افت محصول در قسمت هد را به عنوان بالاترین میزان افت (بیش از ۵۰٪) در بین قسمت‌های مختلف کمباین معرفی کرده‌اند (Srivastava et al., 2006). یک روش مورد استفاده برای کاهش تلفات ریزش غلات و حبوبات در مرحله برداشت و کاهش هزینه برداشت در واحد سطح استفاده از فناوری کمباین‌های هد‌های خوشه‌چین می‌باشد (Straksas, 2006; Chegini, 2007). در این کمباین‌ها با استفاده از مکانیزم خاصی فقط خوشه محصول برداشت می‌شود و ساقه بدون هیچ برشی بر روی زمین باقی می‌ماند (Klinner, 1991). کار اصلی برداشت محصول در هد‌های خوشه‌چین بر عهده استوانه خوشه‌چین می‌باشد که عمدتاً چهار تا هشت سری شانه به آن نصب می‌شود و بر روی هر کدام از شانه‌ها انگشتی و حفره‌هایی با طراحی یکسان قرار گرفته که عمل برداشت را انجام می‌دهند (Klinner, 1991). مطابق شکل ۱ با چرخش استوانه خوشه‌چین در خلاف جهت پیشروی خوشه‌های محصول درون حفره انگشتی‌ها گیر کرده و کنده می‌شوند (Klinner, 1990). باقی ماندن ساقه با ارتفاع زیاد بر روی خاک در حفظ رطوبت خاک و کنترل فرسایش آبی و خاکی مزرعه مؤثر می‌باشد (Wilkinis, et al., 1996). توان مصرفی این کمباین‌ها تا ۴۰ درصد (Straksas, 2006) و مصرف سوخت در حدود ۵/۸۶ L/ha کم‌تر از بکارگیری هد‌های متداول می‌باشد (Chegini & Mirnezami, 2012). در این کمباین‌ها سرعت پیشروی گاه‌ها تا ۱۲ km/h قابل افزایش است که در مقایسه با کمباین‌های معمولی (۲-۳ km/h) ظرفیت مزرعه‌ای تا ۴ برابر بیشتر و تلفات ریزش کم‌تری دارند (Klinner et al., 1987; Tado et al., 1998; Wilkins et al., 1996).



شکل ۱- اصول کار کمباین‌های خوشه‌چین.

علی‌رغم سادگی ساختمان این نوع هد‌ها در صورت عدم طراحی و تنظیم صحیح پارامترهای دستگاه تلفات محصول بشدت افزایش می‌یابد. چرخش استوانه خوشه‌چین در داخل هود مشابه یک دمنده عمل می‌کند و جریان هوایی در داخل هد ایجاد می‌کند. مطابق رابطه برنولی این جریان هوا سبب کاهش فشار در داخل هد می‌گردد که بر تلفات ریزش محصول بسیار مؤثر بوده (Jiang, 2003) و می‌تواند به مکش دانه‌ها و خوشه‌های چیده شده و همچنین مکش دانه‌های سرگردان در قسمت جلویی هد به داخل دستگاه کمک کند. بر روی منابع نشان می‌دهد که خوشه و دانه‌های گندم پس از برداشت به وسیله هد خوشه‌چین در اثر سرعت اولیه، جهت حرکت اولیه، ارتفاع برداشت و مشخصات سیال داخل هد (فشار و سرعت) با دیواره و بدنه داخلی دستگاه برخورد کرده و دوباره از داخل هد به زمین می‌ریزند. بنابراین تعیین مسیر حرکت محصول داخل هد به منظور طراحی بدنه هد بسیار لازم و ضروری می‌باشد. از این‌رو اهداف این تحقیق عبارت بودند از: ۱- مدل‌سازی و شبیه‌سازی اثر سرعت دورانی استوانه خوشه‌چین بر مسیر حرکت دانه گندم داخل هد، ۲- مدل‌سازی و شبیه‌سازی اثر سرعت پیشروی بر مسیر حرکت دانه گندم داخل هد.

## ۲- مواد و روش‌ها

کمباین‌های خوشه‌چین با وجود سادگی ساختار از نظر طراحی بسیار پیچیده بوده و پارامترهای مختلفی از جمله: ۱- قطر استوانه خوشه‌چین، ۲- تعداد، شکل انگشتی و نحوه نصب بر روی استوانه خوشه‌چین، ۳- زاویه ورود انگشتی به محصول، ۴- ظرفیت تک شانه، ۵- ساختار هندسی هود و نحوه قرارگیری آن، ۶- سرعت دورانی استوانه خوشه‌چین، ۷- سرعت پیشروی هد، ۸- نسبت سرعت دورانی استوانه خوشه‌چین به سرعت پیشروی دستگاه، ۹- ارتفاع

استوانه خوشه‌چین از سطح زمین، ۱۰- ارتفاع دماغه هود از سطح زمین، ۱۱- فشار هوا در دهانه ورودی و خروجی هد خوشه‌چین، ۱۲- فاصله افقی و عمودی نوک انگشتی‌ها تا هود به ترتیب در دهانه ورودی و خروجی هد خوشه‌چین در کارکرد کمباین‌های خوشه‌چین تأثیر می‌گذارند. در این تحقیق از مشخصات طراحی هد خوشه‌چین موجود (Nikraves, 2008) از جمله تعداد شانه، قطر استوانه خوشه‌چین، سرعت هوای در دهانه ورودی و ... استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- مدل آزمایشگاهی هد خوشه‌چین مورد بررسی (Nikraves, 2008).

برای مدل‌سازی مسیر حرکت دانه درون هد از روش (Macmillan, 2007) استفاده شد. برای این منظور نقطه‌ای که در آن خوشه از ساقه کنده می‌شود نقطه صفر حرکت و سرعت اولیه دانه در این نقطه از برآیند سرعت خطی انگشتی و سرعت هوا محاسبه شد. سپس توسط معادله‌های (۱) تا (۹) موقعیت بعدی دانه گندم با فاصله زمانی ۰/۰۱ ثانیه محاسبه و مسیر حرکت دانه در بازه ۱ ثانیه تعیین شد (شکل ۳). در کلیه معادلات مدل‌سازی شتاب گرانش زمین ۹/۸، جرم یک دانه گندم ۰/۱ گرم، چگالی دانه گندم ۱۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، چگالی هوای داخل هد ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب، سرعت ورودی هوا ۱۱ متر بر ثانیه، زاویه ورود هوا ۴۵ درجه و لزجت (ویسکوزیته) هوا  $1.825 \times 10^{-5} \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$  در نظر گرفته شد. مساحت سطح تماس دانه گندم با سیال داخل هد با فرض کروی بودن دانه مطابق رابطه (۱۰) محاسبه شد. با توجه به رابطه مستقیم شرایط مزرعه با عملکرد کمباین‌های خوشه‌چین برای رسیدن به نتیجه دقیق، اعمال مشخصات فیزیکی محصول برای شبیه‌سازی لازم و ضروری است. در این تحقیق ارتفاع بزرگ‌ترین بوته ۱۰۰ سانتی‌متر، میانگین خوشه‌ها ۸ سانتی‌متر و اختلاف ارتفاع بزرگ‌ترین بوته با کوچک‌ترین بوته ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. معادلات در نرم افزار متلب ۲۰۱۶ حل گردید و اثر پارامترهای سرعت دورانی استوانه خوشه‌چین در دو سطح ۴۰۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی در سه سطح ۵، ۱۰، ۱۵ کیلومتر بر ساعت به دو صورت (الف) حرکت پیشروی کمباین (مدل واقعی در مزرعه)، و (ب) حرکت محصول به وسیله تسمه نقاله (مزرعه شبیه‌سازی شده) بر روی مسیر حرکت دانه گندم بررسی و شبیه‌سازی شد.

$$m \frac{du_x}{dt} = D \cos \alpha \quad (1)$$

$$m \frac{du_y}{dt} = D \sin \alpha + mg \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} \quad (2)$$

$$D = \frac{CA \rho_f W^2}{2} \quad (3)$$

$$u_x(n+1) = u_x(n) + du_x(n+1) \quad (4)$$

$$u_y(n+1) = u_y(n) + du_y(n+1) \quad (5)$$

$$u_x(n+1) = \frac{u_x(n+1) + du_x(n)}{2} \quad (6)$$

$$u_y(n+1) = \frac{u_y(n+1) + du_y(n)}{2} \quad (7)$$

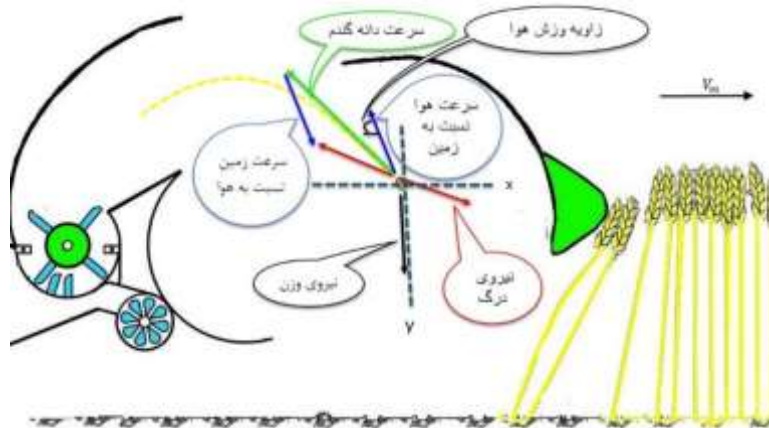
$$DS_x(n+1) = \left[ u_x(n) + \frac{du_x(n+1)}{2} \right] dt \quad (8)$$

$$DS_y(n+1) = \left[ u_y(n) + \frac{du_y(n+1)}{2} \right] dt \quad (9)$$

$$\frac{\text{جرم دانه}}{\text{چگالی دانه}} = A = \text{مساحت سطح تماس ذره با سیال داخل هد} \quad (10)$$

که در آن‌ها:

- $m$  = جرم دانه
- $du_x$  = تغییرات سرعت در جهت  $x$
- $du_y$  = تغییرات سرعت در جهت  $y$
- $D$  = نیروی درگ
- $\alpha$  = زاویه مسیر حرکت با افق
- $\rho_p$  = چگالی دانه
- $\rho_f$  = چگالی هوا
- $g$  = شتاب گرانش زمین
- $C$  = ضریب درگ
- $A$  = مساحت تماس دانه با سیال
- $W$  = سرعت دانه گندم
- $u_x$  = مؤلفه سرعت در جهت  $x$
- $u_y$  = مؤلفه سرعت در جهت  $y$
- $DS_x$  = جابجایی در جهت  $x$
- $DS_y$  = جابجایی در جهت  $y$
- $n$  = شماره آزمایش
- $dt$  = تغییرات زمان



شکل ۳- نیروهای وارده به دانه گندم داخل هد خوشه چین.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسیر حرکت دانه گندم داخل هد خوشه چین در دو حالت ورود بوته‌های گندم به وسیله تسمه نقاله (مزرعه آزمایشگاهی) و حرکت پیشروی کمباین (مدل واقعی در مزرعه) برای سرعت‌های دورانی استوانه خوشه‌چین ۴۰۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه در زیر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

#### ۳-۱- سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه

مطابق شکل‌های ۴ تا ۷ با افزایش سرعت پیشروی برد افقی دانه گندم در داخل کمباین کمتر شده علت این پدیده به این شکل قابل توجیه است که با افزایش سرعت پیشروی، مؤلفه افقی سرعت دانه گندم در جهت پیشروی کمباین کندی شده از ساقه افزایش یافته و سبب کاهش برد افقی دانه در خلاف جهت حرکت می‌شود.



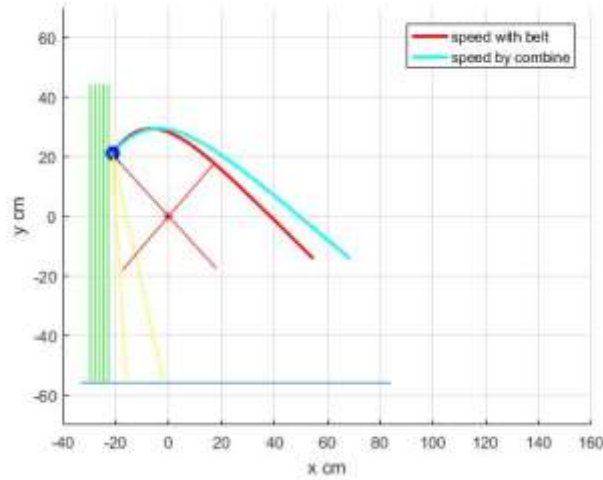
# یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



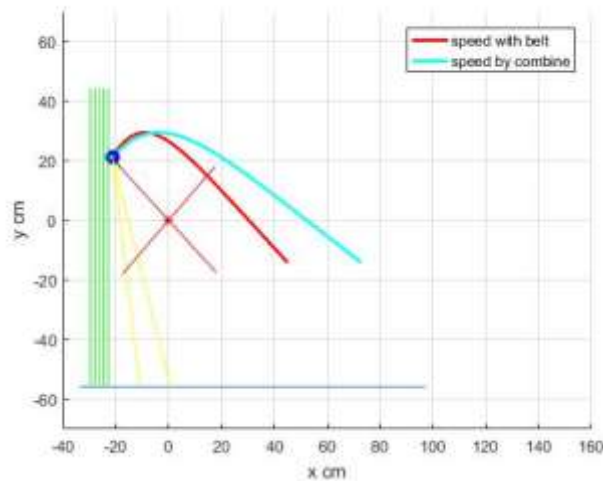
انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



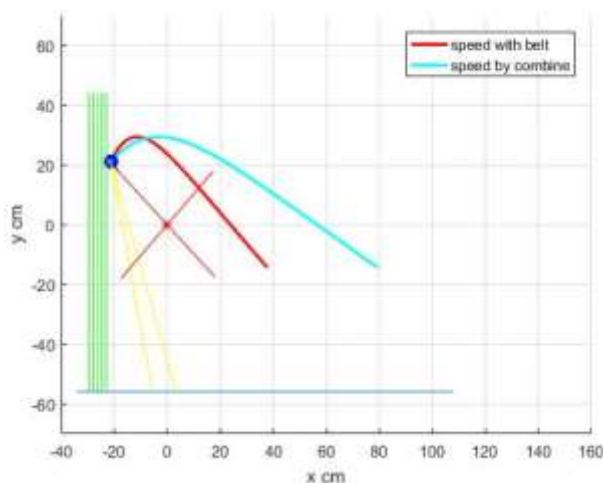
Buali Sims University



شکل ۴- سرعت دورانی روتور ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ km/h.



شکل ۵- سرعت دورانی روتور ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۰ km/h.



شکل ۶- سرعت دورانی روتور ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۵ km/h.

بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد به ترتیب برابر ۵۴ و ۶۸ سانتی متر حساب شد. بیشترین مقدار جابجایی عمودی دانه هم برای



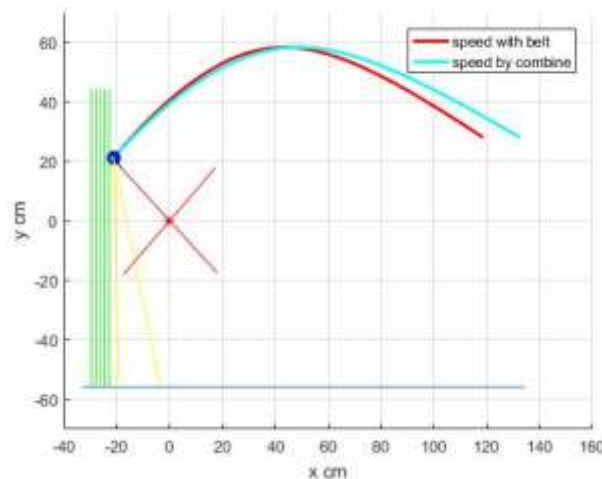
## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



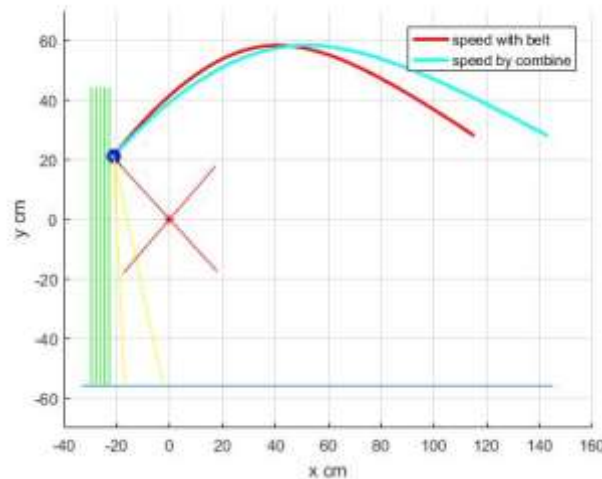
سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت برابر ۲۹/۴۴ سانتی متر بدست آمد. بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد بترتیب برابر ۴۵ و ۷۲ سانتی متر و بیشترین مقدار جابجایی عمودی برای این حالت ۲۹/۴۴ سانتی متر محاسبه گردید. همچنین بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۵ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد به ترتیب برابر ۳۷ و ۷۹ سانتی متر و بیشترین مقدار جابجایی عمودی برای این حالت همانند دو حالت قبل ۲۹/۴۴ سانتی متر حاصل شد. علت ثابت ماندن جابجایی افقی بدلیل عدم تاثیر افزایش سرعت پیشروی در مولفه عمودی سرعت اولیه دانه می باشد. علت زیاد شدن جابجایی افقی برای حالتی که جابجایی با کمباین است را هم میتوان به این شکل توجیه کرد که با توجه به مبدا مختصات بودن مرکز استوانه خوسه چین با افزایش سرعت پیشروی، فاصله بین مرکز استوانه خوسه چین و دانه گندم جدا شده هر لحظه بیش تر و بیش تر می شود.

### ۳-۲- سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه

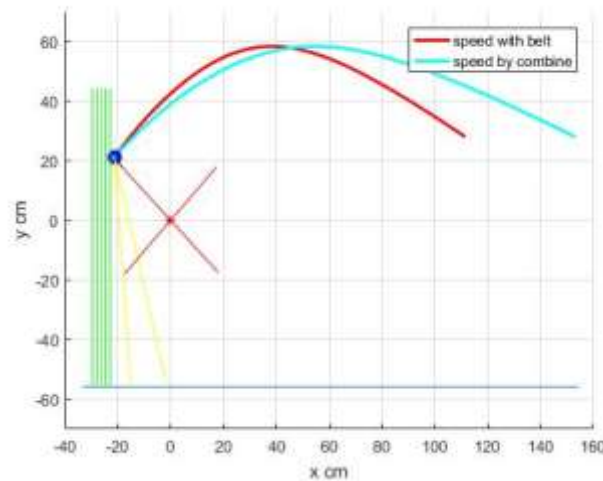
شکل های ۷ تا ۹ نشان می دهد که همانند سرعت دورانی ۴۰۰ دور در دقیقه با افزایش سرعت پیشروی برد افقی دانه گندم در داخل کمباین کمتر شده ولی با افزایش سرعت دورانی استوانه خوسه چین مقدار جابجایی افقی و جابجایی عمودی دانه گندم در بازه زمانی یک ثانیه بیشتر شده است. بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد به ترتیب برابر ۱۱۸ و ۱۳۲ سانتی متر محاسبه شد. بیشترین مقدار جابجایی عمودی دانه هم برای سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت برابر ۵۸/۳۳ سانتی متر بدست آمد. بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد بترتیب برابر ۱۱۵ و ۱۴۳ سانتی متر و بیشترین مقدار جابجایی عمودی برای این حالت ۵۸/۳۳ سانتی متر محاسبه گردید. همچنین بیشترین مقدار جابجایی افقی برای سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۵ کیلومتر در ساعت برای حالتی که سرعت پیشروی با تسمه باشد و حالتی که سرعت پیشروی بوسیله کمباین باشد به ترتیب برابر ۱۱۱ و ۱۵۳ سانتی متر و بیشترین مقدار جابجایی عمودی برای این حالت همانند دو حالت قبل ۲۹/۴۴ سانتی متر شد.



شکل ۷- سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۵ km/h.



شکل ۸- سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۰ km/h.



شکل ۹- سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی ۱۵ km/h.

دلیل افزایش جابجایی افقی و عمودی دانه گندم در سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه استوانه خوشه چین می تواند افزایش مؤلفه های افقی و عمودی سرعت اولیه برداشت به وسیله انگشتی ها باشد. گلی تلفات ریزش دانه در هدهای خوشه چین را در سه سرعت دورانی ۵۳۰، ۶۲۶ و ۷۷۰ دور در دقیقه بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در دور ۶۲۶ تلفات ریزش دانه کمترین مقدار می باشد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد تلفات ریزش زیاد در دور ۷۷۰ احتمالاً به دلیل برخورد دانه با هود دستگاه و ریزش دوباره می باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

- در این تحقیق مسیر حرکت دانه گندم در هد خوشه چین مدل سازی شده و در نرم افزار متلب شبیه سازی شده و اثر پارامترهای سرعت دورانی روتور و سرعت پیشروی مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج حاصله به شرح زیر خلاصه می شود:
- با افزایش سرعت پیشروی بُرد افقی دانه گندم در داخل کمباین کم تر شد.
  - با افزایش سرعت دورانی استوانه خوشه چین مقدار جابجایی افقی و جابجایی عمودی دانه گندم افزایش یافت.
  - به منظور کاهش تلفات ریزش گندم در کمباین های خوشه چین طراحی هود باید گونه ای انجام شود که محصول بعد از برداشت بخاطر برخورد با دیواره ها دوباره ریزش نکند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک  
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



۵- تقدیر و تشکر

از کمک‌های آقای مهندس میرسینا موسوی تشکر می‌شود.

۶- مراجع

1. Chegini, G. R. & Mirnezami, S. V. (2012). Analysis and comparison of wheat losses in two harvesting methods. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3): 91-98.
2. Chegini, G. R. (2006). *Technical and Economic Study of Stripper-Header for Cereal Harvesting in Iran Fields*. Final Report of a National Research on Rebuilding of John Deere 955 combine harvesters. Iran combine corporation (ICCO), (in Persian).
3. Goli, A. (2014). *The Study of Changes in Air Pressure in the Stripper Headers of Grain*. M.Sc. Thesis in the course of Biosystem Mechanical Engineering, Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran.
4. Jiang, Y. (2013). Crop flow on stripper harvester rotor - analysis of the adsorption effect with triangular teeth. In International Conference on Crop Harvesting and Processing, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).
5. Klinner, W. E. (1990). Crop harvesting apparatus and methods. U.S. Patent No. 4,991,385.
6. Klinner, W. E. (1991). Crop harvesting apparatus and methods. U.S. Patent No. 5,044,147.
7. Klinner, W. E., Neale, M. A., & Arnold, R. E. (1987). A new concept in combine harvester headers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 38(1): 37-45.
8. Macmillan, R. H. (2007). *The Mechanics of Fluid - Particle Systems: With Special Reference to Agriculture*.
9. Nikravesh, S. (2008). *Design and Construction of a Stripper-Header for Wheat Harvesting*. M.Sc. Thesis in the course of Biosystem Mechanical Engineering, Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran.
10. Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASAE) St Joseph, MI, USA.
11. Straksas, A. (2006). Development of a stripper-header for grain harvesting. *Agronomy Research*, 4(1): 79-89.
12. Tado, C. J. M., Wacker, P., Kutzbach, H. D., & Suministrado, D. C. (1998). Development of stripper harvesters: a review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71(2): 103-112.
13. Wilkins, D. E., Douglas, C. L., & Pikul Jr, J. L. (1996). Header loss for Shelbourne Reynolds stripper-header harvesting wheat. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(2): 159-162.