آنالیز دینامیکی چرخ و فلک و هلیس کمباین CLAAS-MERCATOR 75 در برداشت گندم

مهدی جهان تیغ

دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
mahdijahantigh937@yahoo.com

چکیده

کمباین ماشینی است که عمل برداشت محصول را انجام می دهد. به منظور برداشت محصول و بدست آوردن دانه، تمام کمباین ها پنج عمل اصلی را انجام می دهند: ۱-برش و تغذیه ۲-کوبیدن ۳-جداکردن ۴-تمیز کردن ۵-جابجا کردن. در این راستا لازم است که کلیه اعمال کمباین بر اساس وظایف اصلی این ماشین بررسی شود، که در اینجا به بررسی مورد اول (برش و تغذیه) در کمباین CLAAS-MERCATOR 75 پرداختیم. با توجه به اینکه ماکزیمم نیروی عکس العمل افقی هر بوته گندم، در خمش برابر N3.1 و مقدار ماکزیمم آن در راستای عمودی ۰.۸N می باشد (Hirai *et al.*, 2004)، بنابراین نیروی وارده به میله های چرخ و فلک، هلیس و انگشتی ها را با این مقادیر و با توجه به الگوی کشت مورد نظر، بدست آوردیم. در آنالیز چرخ و فلک به منظور ساده سازی و افزایش سرعت حل با نرم افزار ANSYS ابتدا چرخ و فلک را بدون انگشتی و با اعمال اثر انگشتی ها تحلیل نموده، سپس یک انگشتی را به طور مجزا تحلیل نمودیم و به این نتیجه رسیدیم که برای عملکرد بهینه ی چرخ و فلک، بهتر است از چرخ و فلک های شش میله ای استفاده کنیم، تا ضمن کمتر شدن تنش به میله ها و انگشتی ها، عمل بالا کردن گندم های خوابیده نیز بهتر انجام می شود. جابجایی نوک انگشتی ها نیز ۳ میلیمتر بدست آمد، که این جابجایی برای جلوگیری از ضربه به محصول و ریزش آن می باشد.

واژه‌های کلیدی: انگشتی، چرخ و فلک، کمباین و ماکزیمم تنش

مقدمه

کمباین ماشینی است که عمل برداشت محصول را انجام می دهد. در این ماشین عملیاتی که در مراحل مختلف و حتی توسط دستگاه های مختلف انجام می شود به صورت توام و همزمان صورت می گیرد می گیرد، که به منظور برداشت محصول و بدست آوردن دانه، تمام کمباین ها پنج عمل اصلی را انجام می دهند: ۱- برش و تغذیه (چیدن محصول سرپا) ۲- کوبیدن (جدا کردن دانه ها از کاه و کلشی که دانه ها را در بر گرفته اند.)، ۳- جداکردن (جدا کردن دانه و خرده کاه از کاه و کلش)، ۴-تمیز کردن (تمیز کردن دانه از خرده کاه و سایر بقایای گیاهی) و ۵- جابجا کردن (انتقال دانه های تمیز و پسمانده ها).

در این راستا لازم است که کلیه اعمال کمباین بر اساس وظایف اصلی این ماشین بررسی شود، که در اینجا به بررسی مورد اول (برش و تغذیه) در کمباین CLAAS-MERCATOR 75 می پردازیم. موتور این کمباین از نوع دیزلی ۶ سیلندر، ۱۰۵HP، ۷۵KW، با سیستم خنک کننده با آب و سیستم خنک کننده با هوا می باشد. ۳۰ تا ۴۰ درصد توان موتور صرف حرکت پیشروی کمباین می گردد.

هدف از این تحقیق بررسی عکس العمل نیروهای وارده به اجزای هد کمباین از طرف محصول در حال برداشت می باشد که به بهینه سازی و طراحی بهتر هد کمباین برای کاهش ضایعات ناشی از ریزش محصول کمک خواهد نمود، تا علاوه بر بازده بالاتر برداشت، عمر مفید اجزای هد نیز افزایش یابد. نتایج حاصل از این آنالیز نرم افزاری می تواند در یافتن ایده های نو، ساخت نمونه های جدید و همچنین پیدا کردن شرایط بهینه طراحی هد کمباین مورد استفاده قرار گیرد.

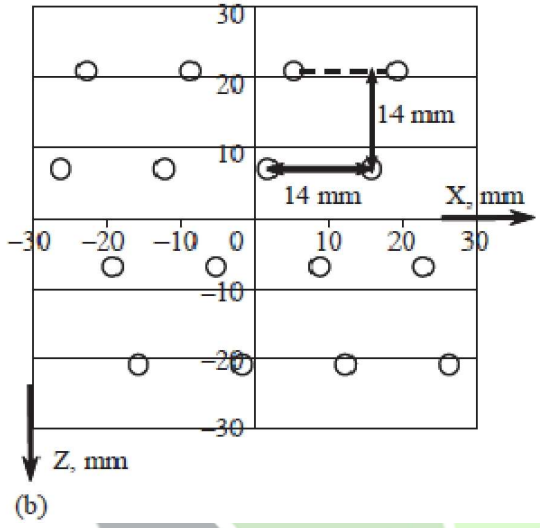
شکل ۱. کمباین CLAAS-MERCATOR 75

مطالعات مختلفی در مورد آنالیز هد کمباین صورت گرفته است، هیرای و همکاران به آنالیز عددی نیروی عکس العمل ساقه برنج به صورت تکی تحت نیروی جابجایی پرداختند، آنها عکس العمل ساقه برنج در برابر نیروی جابجایی که باعث خمش آن می شود، را بررسی نمودند. این نیرو ها در پارامتر های دستگاه های برداشت اهمیت دارند (Hirai *et al.*, 2003). در تحقیقی دیگر هیرای و همکاران به آنالیز خمشی و پاسخ دینامیکی ساقه ی برنج و گندم در برابر چرخ و فلک یک کمباین برداشت غلات پرداختند. آنها این آزمایش را برای نیرو های افقی و عمودی در دو حالت آزمایشگاهی و شبیه سازی بررسی نمودند (Hirai *et al.*, 2004).

مواد و روش ها

نیروی عکس العمل بوته ی گندم در برابر میله های چرخ و فلک

با توجه به الگوی کشت گندم که در شکل ۲ آورده شده است، گندم ها در فاصله ی مربعی ۶۰mm از هم کاشته شده اند، که در این مربع ۶۰ ×۶۰، ۱۶ ساقه ی گندم با فاصله ۱۴mm از هم وجود دارد، حال با توجه به عرض کار هد کمباین، که برابر ۴۱۵۰mm است و فاصله ی بین میله های چرخ و فلک (۴۱۲.۵mm)، بنابراین هر میله ی چرخ و فلک در راستای حرکت، ۷ بوته و در راستای عرضی ۶۹ بوته را در بر می گیرد، با استفاده از این مقادیر، هر میله ی افقی ۴۸۳ بوته را در بر می گیرد.



شکل ۲. الگوی کلی ساقه های گندم در بوته ها (Hirai *et al.*, 2004)

از آنجایی که ماکزیمم نیروی عکس العمل افقی هر بوته گندم در برابر خمش برابر ۳.۱N و مقدار ماکزیمم آن در راستای عمودی ۰.۸N می باشد (Hirai *et al.*, 2004)، بنابراین نیروی وارده به هر میله چرخ و فلک برابر با مقادیر ذیل می باشد.

جدول ۱. نیرو های وارده به میله های افقی چرخ و فلک.

راستای نیرو	مقدار نیرو (N)
نیروی وارده به میله در راستای افقی	۱۴۹۷.۳
نیروی وارده به میله در راستای عمودی	۳۸۶.۴
نیروی کلی وارده به میله ها	۱۵۴۶.۳۵

نیروی وارده به هر انگشتی

با توجه به اینکه انگشتی ها در نزدیکی شانه برش بشترین تماس را با گندم ها داشته باشند و با توجه به اینکه طول میله ی انگشتی ها برابر ۱۹۵mm می باشد، بنابراین هر انگشتی تعداد ۳ خوشه گندم را در بر می گیرد، که نیروی معادل آن به شرح ذیل می باشد:

جدول ۲. نیرو های وارده به انگشتی های چرخ و فلک.

راستای نیرو	مقدار نیرو (N)
نیروی وارده به انگشتی در راستای افقی	۹.۳
نیروی وارده به انگشتی در راستای عمودی	۲.۴
نیروی کلی وارده به انگشتی ها	۹.۶

نیروی وارده بر هلیس

تعداد خوشه ی بریده شده در فاصله ی بین دو میله ی چرخ و فلک برابر ۴۸۳ بوده و وزن هر بوته درو شده به همراه ساقه و برگ آن به طور میانگین ۲۵ گرم می باشد، بنابراین وزن خوشه های ریخته شده به سمت هلیس در فاصله ی چرخش بین دو میله ی چرخ و فلک برابر ۱۲.۰۷۵Kgو نیروی عمودی وزن برابر ۱۱۸.۴۶Nمی باشد و با توجه به اینکه هلیس با خط عمود زاویه ی ۱۵ درجه می سازد، بنابراین نیرو عمودی وارد به سطح هلیس برابر با ۳۰.۶۶N می باشد.

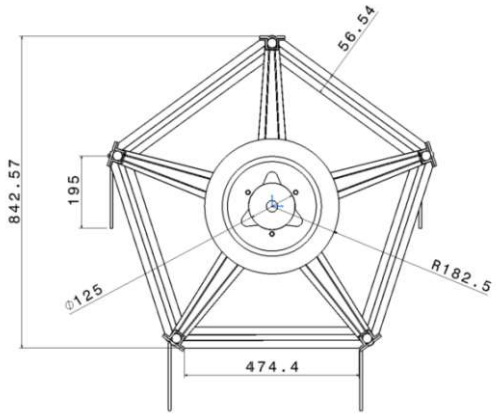
انتقال تسمه ای توان در طرف راست کمباین

چرخ تسمه های طرف راست کمباین، حرکت را از موتور به کلش کش و از آنجا به استوانه ی کوبنده، زنجیر یا نقاله ی تغذیه، استوانه ی کوبنده و اجزاء دماغه می رسانند. سرعت دورانی محور چرخ و فلک ۴۰–۸ دور بر دقیقه می باشد (بهروزی لار و همکاران.، ۱۳۸۵).

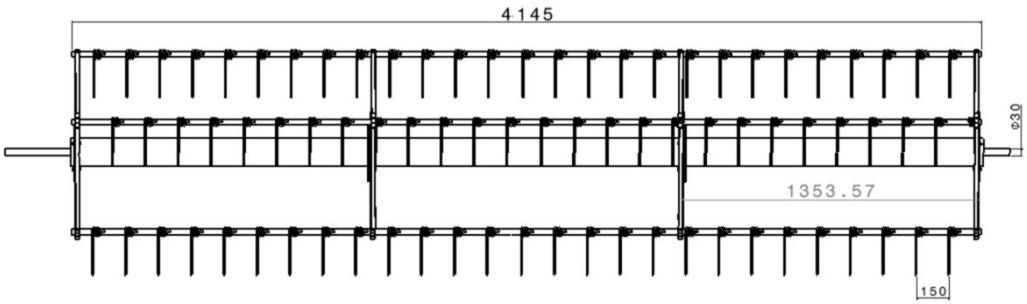
انتقال زنجیری توان در طرف چپ کمباین

چرخ زنجیر های طرف چپ کمباین، حرکت را به مارپیچ دماغه و چرخ و فلک می برند. دلیل استفاده از چرخ زنجیر به جای تسمه برقراری نسبت درست سرعت ها بین اندام های درگیر می باشد. سرعت محور هلیس دماغه برابر ۲۱۷ دور بر دقیقه می باشد (بهروزی لار و همکاران.، ۱۳۸۵).

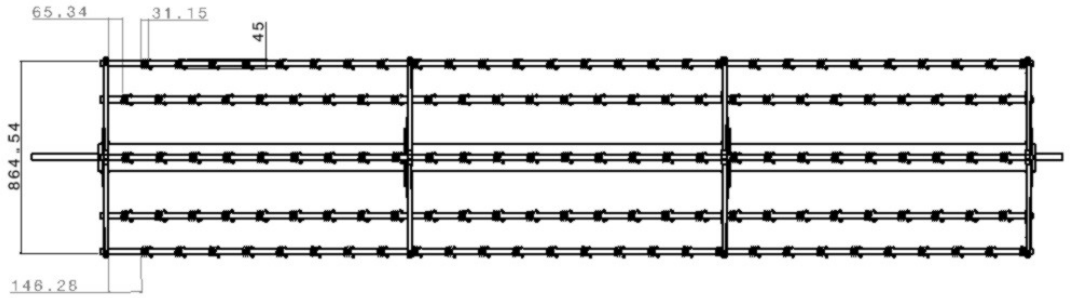
ابعاد چرخ و فلک و انگشتی ها



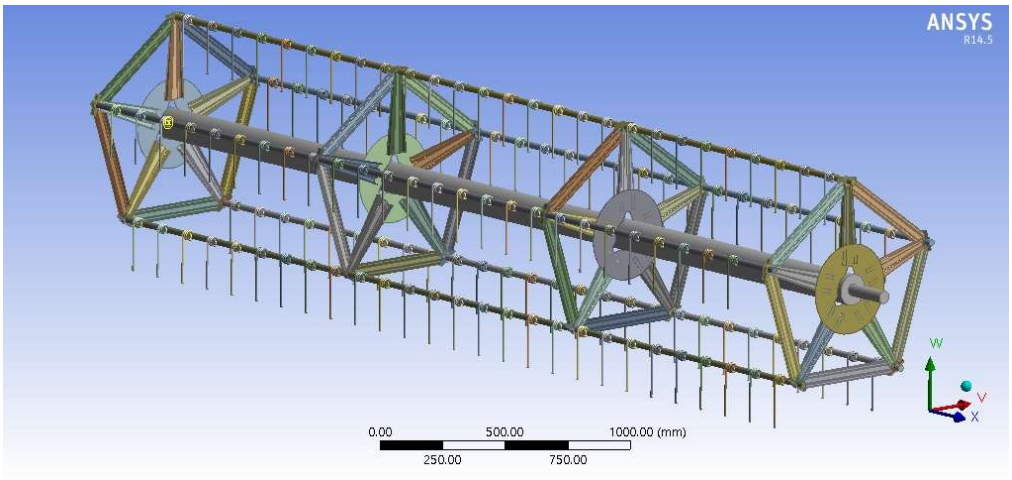
شکل ۳. نمای جانبی چرخ و فلک با ابعاد آن بر حسب (mm)



شکل ۴. نمای جلوی چرخ و فلک با ابعاد آن بر حسب (mm)



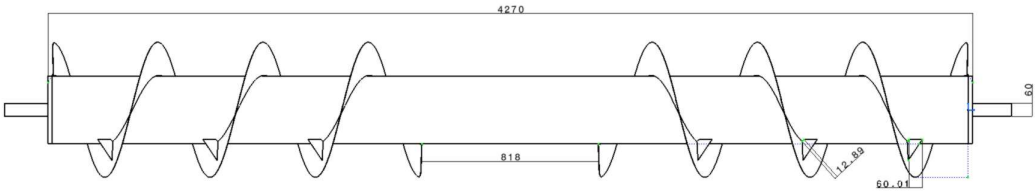
شکل ۵. نمای بالای چرخ و فلک با ابعاد آن بر حسب (mm)



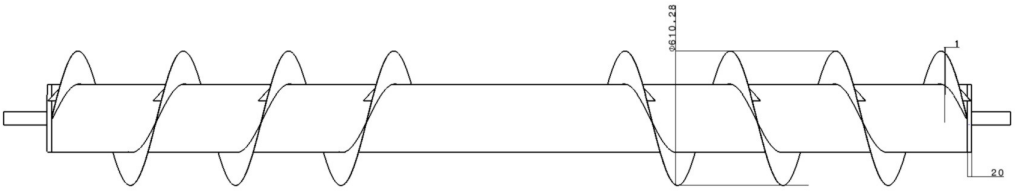
شکل ۶. نمای سه بعدی چرخ و فلک

ابعاد هلیس

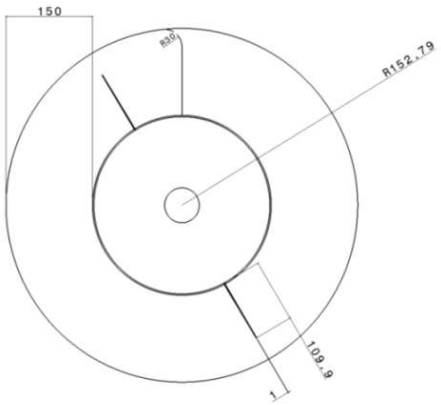
در طراحی هلیس به منظور ساده سازی و با توجه به اهمیت بررسی تنش و تغییر شکل بر روی تیغه ی هلیس از طراحی انگشتی های وسط خودداری نمودیم. اما زائده های پشت هلیس را که در میزان تنش در هلیس موثر بوده، طراحی نمودیم.



شکل ۷. نمای جلوی هلیس دماغه ی کمباین



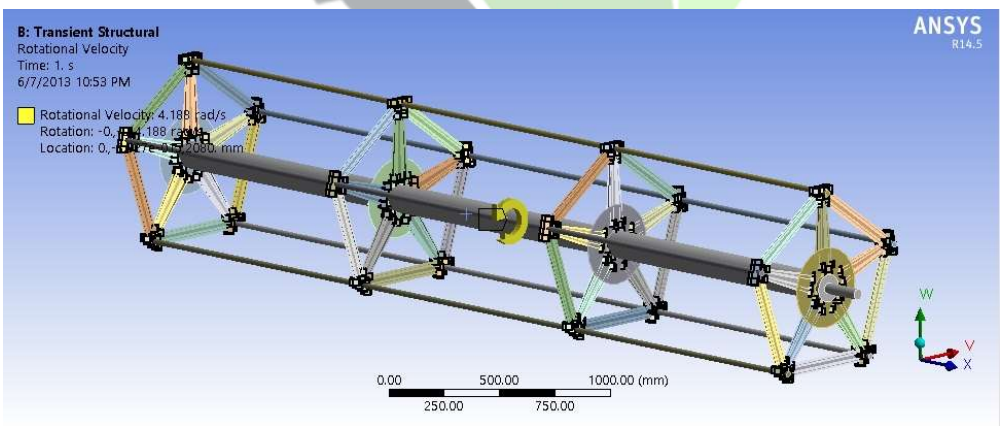
شکل ۸. نمای بالای هلیس دماغه ی کمباین



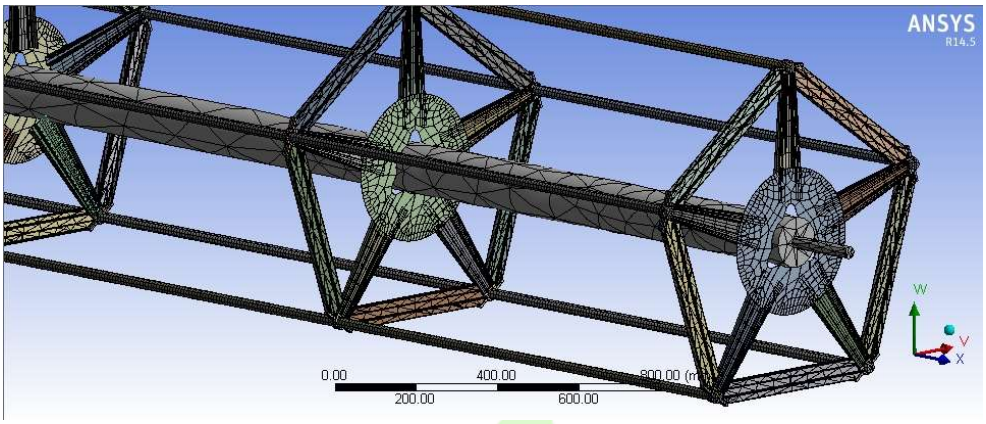
شکل ۹. نمای چپ هلیس دماغه ی کمباین

آنالیز چرخ و فلک بدون انگشتی ها

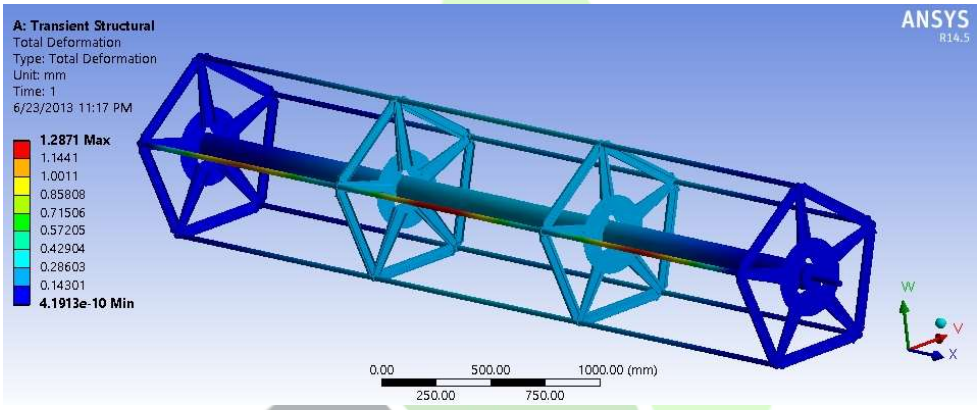
در آنالیز چرخ و فلک به منظور ساده سازی و افزایش سرعت حل با نرم افزار ANSYS ابتدا چرخ و فلک را بدون انگشتی و با اعمال اثر انگشتی ها تحلیل نموده، سپس یک انگشتی را به طور مجزا تحلیل نمودیم. برای آنالیز چرخ و فلک در حالت دینامیکی، در نرم افزار ANSYS، پس از مش بندی اجزای هلیس، در دو طرف آن از قید تکیه گاه استوانه ای (Cylindrical Support) داده که با این قید چرخ و فلک تنها می تواند در جهت شعاعی دوران داشته باشد. سپس توسط دستور Rotational Velocity سرعت دورانی چرخ و فلک را حسب rad/s می دهیم. سرعت دورانی چرخ و فلک در حالت ماکزیمم برابر ۴۰rpm می باشد، که مقدار آن بر حسب rad/s برابر با ۴.۱۸۸ می باشد.



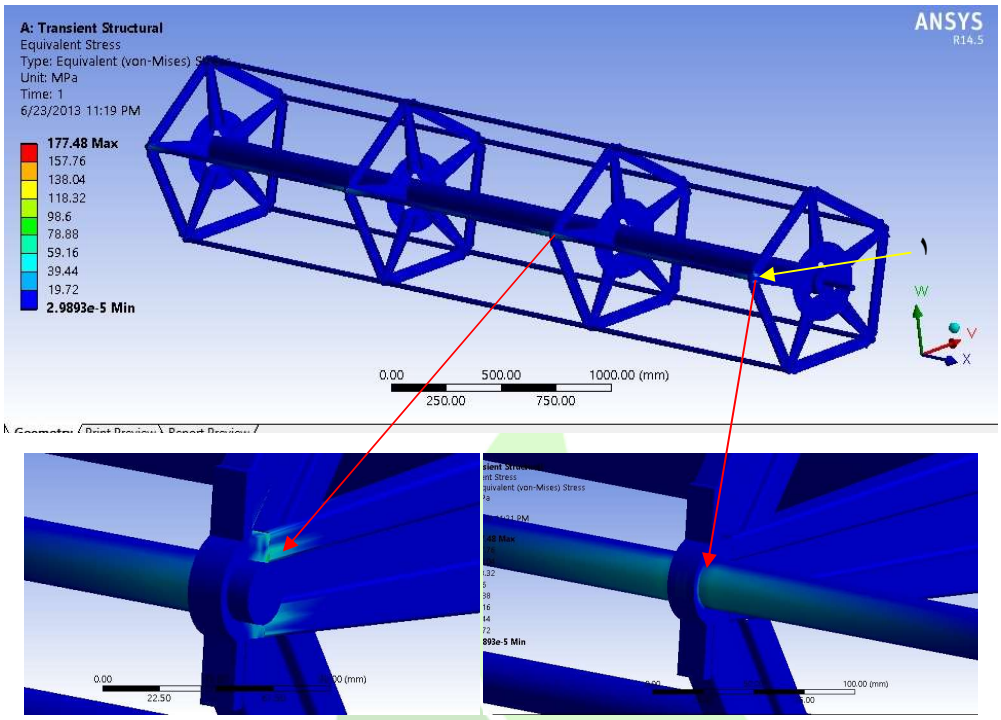
شکل ۱۰. جهت چرخش چرخ و فلک با سرعت rad/s ۴.۱۸۸ در آنالیز دینامیکی



شکل ۱۱. نحوه ی مش بندی چرخ و فلک



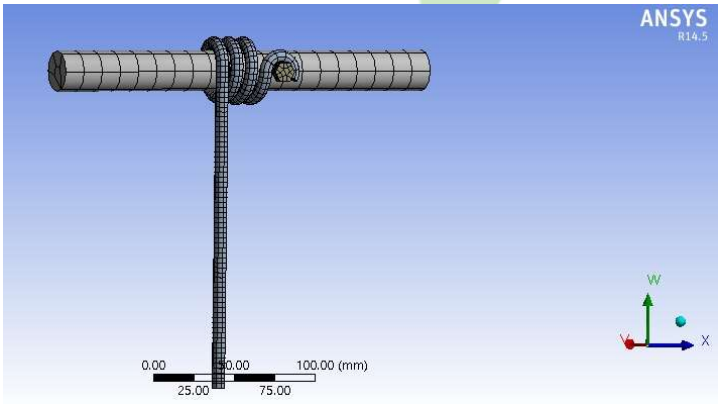
شکل ۱۲. تغییر طول در چرخ و فلک بر اثر اعمال نیروی ۱۵۰ نیوتونی



شکل ۱۳. توزیع تنش در چرخ و فلک، ۱- بیشترین تنش

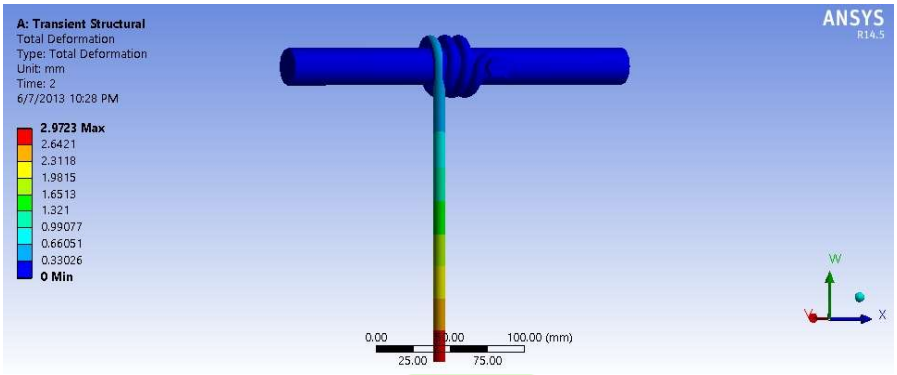
آنالیز انگشتی های چرخ و فلک

برای آنالیز چرخ و فلک، قسمتی از یک میله ی جانبی را طراحی کرده و یک انگشتی به همراه پیچ نگه دارنده را بر روی آن طراحی نمودیم، تماس بین فنر با میله و پیچ را از نوع No Separation به معنای عدم نفوذ در یکدیگر و قید بین میله و پیچ را از نوع Bonded به معنای اتصال ثابت قرار دادیم، سپس به میله ی انگشتی نیرویی معادل خم کردن ساقه ها و کشیدن آنها به سمت هد کمباین که مقدار آن برابر ۹.۶N می باشد، را وارد کردیم. میزان تغییر شکل و تنش های وارد شده در ادامه آورده شده است.



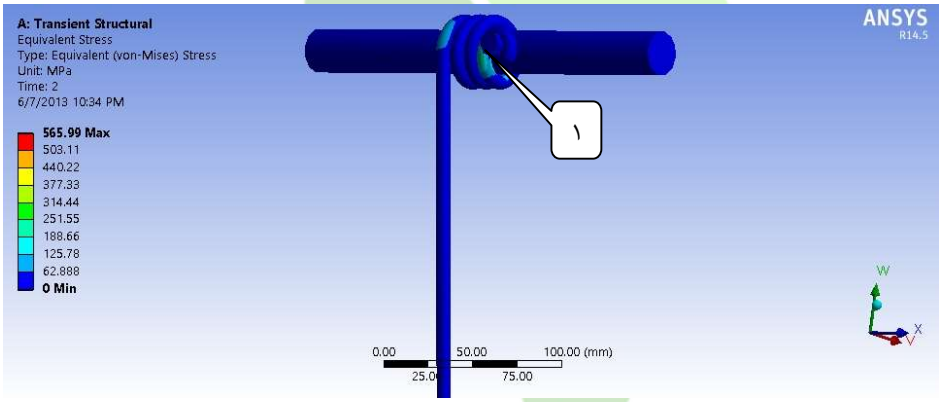
شکل ۱۴. نحوه ی مش بندی انگشتی های چرخ و فلک

در این قسمت تغییر طول انگشتی های هلیس بر اثر نیروی اعمالی را مشاهده می کنیم، همانطور که در شکل ۱۵ دیده می شود، بیشترین تغییر طول مربوط به نوک انگشتی بوده که تقریباً برابر با ۳mm می باشد.



شکل ۱۵. تغییر طول انگشتی های چرخ و فلک

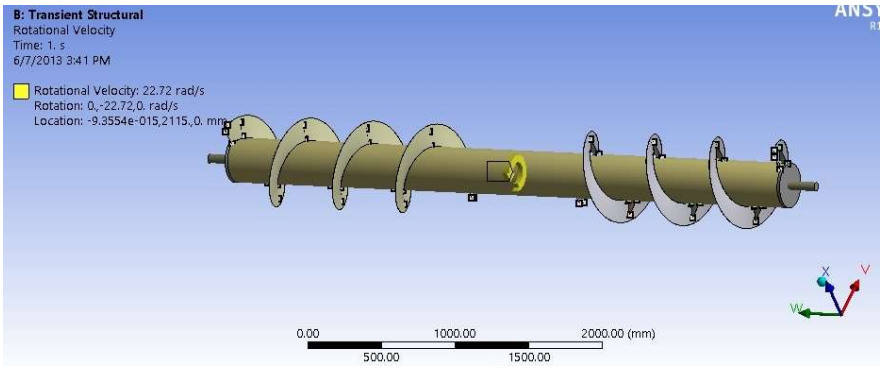
در شکل ۱۶ میزان تنش ون–میسز را مشاهده می کنیم، که بیشترین مقدار آن مربوط به قسمت داخلی فنر در نزدیکی پیچ نگه دارنده می باشد.



شکل ۱۶. توزیع تنش در انگشتی های چرخ و فلک، ۱– ماکزیمم تنش

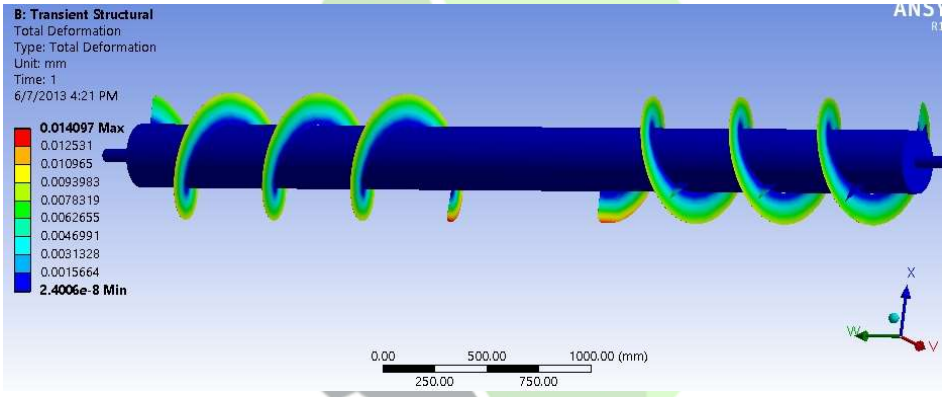
آنالیز هلیس

برای آنالیز هلیس در حالت دینامیکی، پس از مش بندی اجزای هلیس، در دو طرف آن از قید Cylindrical Support استفاده شد، که با این قید هلیس تنها می تواند در جهت شعاعی دوران داشته باشد. سپس توسط دستور Rotational Velocity سرعت دورانی هلیس را حسب rad/s دادیم. سرعت دورانی هلیس برابر ۲۱۷rpm می باشد، که مقدار آن بر حسب rad/s برابر با ۲۲.۷۲ می باشد.



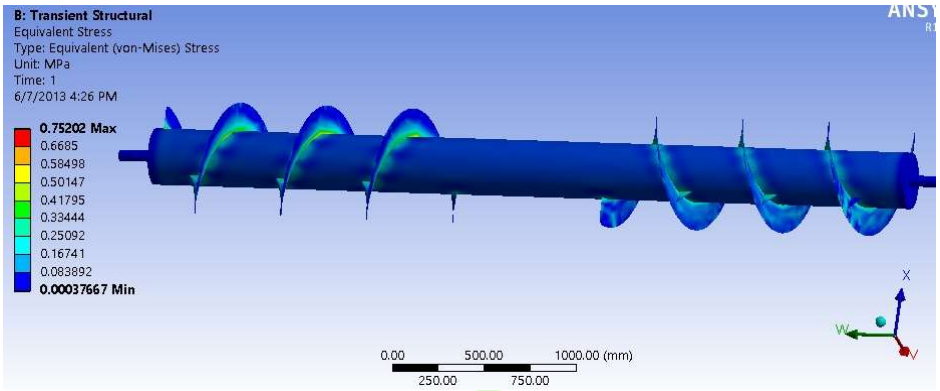
شکل ۱۷. جهت دوران هلیس

جهت دوران هلیس در شکل ۱۷ دیده می شود. حال نیرو های اعمالی به سطح هلیس ها را وارد می کنیم، که ماکزیمم آن برابر است با ۳۰.۶۶N در جهت محوری بر روی هر هلیس می باشد. نتایج تحلیل شامل تغییر شکل ها، تنش ها و کرنش ها در ادامه آورده شده است.



شکل ۱۸. تغییر طول در هلیس

همانطور که از شکل ۱۸ مشاهده می گردد، بیشترین تغییر طول مربوط به لبه های تیغه بوده و مقدار آن در انتهای داخلی هلیس بیشتر می باشد، که برابر ۰.۰۱۴mm می باشد.



شکل ۱۹. تنش در هلیس

بیشترین تغییر تنش در محل جوش خوردن هلیس به استوانه می باشد که مقدار آن برابر ۰.۷۵۲MPa می باشد. همانطور که مشاهده می شود، زائده های پشت هلیس نیز در معرض تنش قرار می گیرند.

نتایج و بحث

یکی از عوامل مهم در ریزش محصول، نیروی اعمالی زیاد بین محصول و اجزاء هد کمباین از جمله چرخ و فلک و هلیس آن می باشد، از مهمترین قسمت هایی که با محصول در تماس می باشد، میله های عرضی چرخ و فلک و انگشتی ها می باشد، در این میان اولین قسمتی که با محصول در تماس می باشد، انگشتی ها بوده که محصول را به طرف هد می کشد و در صورت رسیدگی بیش از حد محصول و اعمال نیروی زیاد از طرف انگشتی ها باعث ریزش محصول می شود.

در آنالیز چرخ و فلک با سرعت دورانی ۴۰rpm تغییر طول بر اثر اعمال نیروی ۱۵۰ نیوتونی، برابر ۱.۲۸۷۱mm است که با توجه به ضخامت میله های انگشتی و نیروی اعمالی، مناسب می باشد و بیشترین تنش اعمالی در محل تماس میله های انگشتی با میله های شعاعی چرخ و فلک بوده که برابر با ۱۷۷.۴۸Mpa می باشد. در آنالیز دینامیکی هلیس، ماکزیمم نیروی اعمالی بر هلیس برابر با ۳۰.۶۶N در جهت شعاعی بر روی هر هلیس می باشد. بر اثر اعمال این نیروها، بیشترین تغییر طول مربوط به لبه های تیغه بوده انتهای داخلی هلیس ها و به مقدار ۰.۰۱۴mm می باشد. بیشترین تغییر تنش در محل جوش خوردن هلیس به استوانه است که مقدار آن برابر ۰.۷۵۲MPa می باشد. در قسمت آنالیز انگشتی های چرخ و فلک به طور مجزا، یکی از پنج میله ی جانبی و یک انگشتی به همراه پیچ نگه دارنده ی آن را طراحی نمودیم، به میله ی انگشتی نیرویی معادل خم کردن ساقه ها و کشیدن آنها به سمت هد کمباین که مقدار آن برابر ۹.۶N می باشد، را وارد کردیم، بیشترین جابجایی در قسمت نوک انگشتی به مقدار ۲.۹۷۸۳mm بود. اندکی جابجایی برای جلوگیری از ضربه به محصول و ریزش آن لازم می باشد، اما بالا بودن این مقدار نشان دهنده نیروی زیاد اعمالی از طرف انگشتی ها به محصول بوده، که می تواند باعث ریزش بیشتر محصول شود، در نتیجه نیاز

به اصلاح در طراحی اجزای هد می باشد، که این کار با افزایش تعداد میله های چرخ و فلک یا افزایش تعداد انگشتی قابل حصول می باشد، این عوامل باعث کمتر شدن نیروی متقابل بین محصول و انگشتی ها شده و از ریزش و آسیب رسیدن به محصول جلوگیری می کند. نتایج حاصل از این آنالیز نرم افزاری می تواند در یافتن ایده های نو، ساخت نمونه های جدید و همچنین پیدا کردن شرایط بهینه طراحی هد کمباین مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

برای عملکرد بهتر چرخ و فلک مطلوب است از چرخ و فلک های با تعداد میله ی عرضی بیشتر استفاده کنیم، تا ضمن کمتر شدن تنش به میله ها و انگشتی ها (به دلیل کاهش فاصله بین میله ها و در نتیجه کاهش بار وارده به هر میله)، عمل بالا کردن گندم های خوابیده نیز بهتر انجام می شود.

بیشترین جابجایی در قسمت نوک انگشتی به مقدار ۲.۹۷۸۳mm بود، که این مقدار زیاد بوده و نشان دهنده نیروی اعمالی زیاد بین انگشتی ها و محصول بوده که باعث ریزش بیشتر محصول می شود. در صورت افزایش تعداد انگشتی ها به همراه افزایش تعداد میله های عرضی چرخ و فلک، به دلیل کمتر شدن نیروی متقابل بین محصول و انگشتی ها این مقدار کاهش می یابد و از ریزش محصول و آسیب رسیدن به آن جلوگیری می کند.

منابع

۱- بهروزی لار، م.، جعفری، ع.، مبلی، ح.، و شهیدزاده، م. ۱۳۸۵. شناخت و کاربرد کمباین های غلات. انتشارات بانک کشاورزی.

۲- یاوری، ا.، و شاه پسند، م. ر. ۱۳۸۵. شناخت، کاربرد و نگهداری کمباین. انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

۳- مدرس رضوی، م. ۱۳۸۷. ماشینهای برداشت غلات و سایر دانه های گیاهی شامل دروگرها خرمنکوب ها و کمباین ها. انتشارات آستان قدس رضوی.

4- Hirai, Y., E. Inoue, and K. Mori. 2003. Numerical Analysis of the Reaction Force of a Single Rice Stalk undergoing Forced Displacement. Biosystems Engineering 86: 179-189.

5- Hirai, Y., E. Inoue, and K. Mori. 2004. Application of a Quasi-static Stalk Bending Analysis to the Dynamic Response of Rice and Wheat Stalks gathered by a Combine Harvester Reel. Biosystems Engineering 88: 281-294.

Dynamic Analysis of Reel and Helix in CLAAS-MERCATOR 75 Combine in Wheat Harvest

Mahdi Jahantigh

MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
mahdijahantigh937@yahoo.com

Abstract

Combine is a machine used to harvest the crop. In order to harvest crop and extract the grain, all combines do five main functions: 1- cutting and feeding, 2- crushing, 3– threshing, 4– cleaning and, 5– discharging. In this regard, it is necessary to survey all operations done by a combine on the basis of their main functions. Here we investigated the first Item (cutting and feeding) in the CLAAS-MERCATOR 75 Combine. Given that the maximum force of horizontal reaction from each wheat plant, against bending, is equal to 3.1N and its maximum value in vertical direction is equal to 0.8N (Hirai *et al.*, 2004), thus the force exerted on the reel bars, helix and fingers can be obtained using these values and according to the crop pattern. In the reel analysis, we first analyzed the reel without the fingers and by applying the impact of fingers to simplify and speed up the solution via ANSYS Software, then analyzed a single finger. It was concluded that we should use the six-bar reels to achieve the optimal performance of reel. Therefore while lowering the stress on bars and fingers, we would be able to raise the lying wheat plants much more easily. The calculation on displacement of fingertips suggested a 3mm space, thereby avoiding any damage to the crop and the grain loss.

Keywords: Combine, Finger, Maximum Stress and Reel.