

## تحلیل دینامیکی مجموعه میل گاردان در زوایای مختلف نصب یوک فلنچی ورودی، یوک فلنچی خروجی و محور گاردان

مصطفی اسلامیان  
مرتضی صادقی  
حمیرا پیره

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز  
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز  
دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه تبریز

### چکیده

تجربه نشان داده است که عکس‌العمل میل گاردان در زوایای مختلف نصب محور، متفاوت خواهد بود. در این تحقیق سعی شده است که علاوه بر اثر این زوایا، اثر زوایای مختلف یوک فلنچی ورودی (زاویه محور خروجی گیربکس) و یوک فلنچی خروجی (زاویه محور ورودی دیفرانسیل) روی نیروی وارده بر قسمت‌های مختلف میل گاردان مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از این تحلیل و همچنین بررسی نحوه حرکت مجموعه میل گاردان تحت این حالت‌های نصب، نشان می‌دهد که به حداقل ممکن رساندن زوایای نصب محور گاردان تأثیر بسزایی در کاهش تعداد سیکل نیروهای وارده بر قسمت‌های مختلف خواهد داشت و نیز صفر بودن زوایای یوک فلنچی ورودی و یوک فلنچی خروجی، باعث یکسان شدن سرعت زوایای یوک‌های فلنچی خروجی و ورودی و کاهش دامنه نوسان نیرو در قسمت‌های مختلف خواهد شد. همچنین مقایسه دو مدل مختلف نصب (مدل اول: زاویه انحراف صلیبی ماکزیمم، مدل دوم: زاویه انحراف صلیبی مینیمم) نشان می‌دهد که منحنی نیروها در مدل دوم یکنواخت‌تر از مدل اول است و نوسانات کمتری دارد و دامنه نوسانات نیرو در مدل دوم کمتر از مدل اول است.

کلمات کلیدی: تحلیل دینامیکی، زاویه نصب، میل گاردان، یوک فلنچی، تحلیل حرکتی.

## Dynamic analysis of Cardan joint in Different angels of Output axle of transmission, entrance axle of differential and Cardan shaft axle

M. Eslameian, M. Sadeghi and H. Pireh  
Mechanical Engineering Department, University of Tabriz

### Abstract

The experience has shown that the reaction of cardan joint in different angles of axis installation is different. Cardan joint fails more due to yoke bending and the failure of cross trunnion is more in the form of galling of end surfaces, the spalling and brinelling of trunnion. In this research we have tried to study the effect of different angles of input flange yoke (the angle of output axle of transmission), output flange yoke (the angle of input axle of differential) and cardan shaft axle subject to the forces of cardan connective parts. Considering all analysis we conclude that reducing the installation angle of driveshaft, will cause in reducing of number of cycles of forces developed in cardan elements. Comparison of the results between two models (in the first model, the cross element and the input flange yoke have the same angle of setting that in the second model, the setting angle of cross element is the same as that of output flange yoke) shows that the curves of forces in the second model are more uniform with less fluctuations.

**Key words:** Dynamic analysis, Joint angle, Driveline, Flange angle, Movement analysis.

## ۱- مقدمه

از مجموع اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف که همگی در رابطه با گاردان و اتصالات یونیورسال بوده‌اند در زمینه تحلیل نیرویی گاردان و بخصوص نیرو و تنش در یوک و صلیبی اطلاعات بسیار کمی به دست آمده است. بیشتر تحقیقاتی که انجام گرفته و یا بعضاً در جریان است در رابطه با بررسی مسائل ارتعاشی میل گاردان و روش‌های کاهش آن و طرح جایگزینی میل گاردان‌های فولادی دو تکه با میل گاردان‌های یکپارچه کامپوزیت بوده است.

به عنوان مثال Birkett و Tecco [۱] در سال ۱۹۹۱ با بهره‌گیری از نرم‌افزاری بنام TORVIB (که بر مبنای مدل‌سازی ماتریسی اعضا عمل می‌نماید) یک مدل نسبتاً کامل از زنجیر قدرت خودرو از موتور تا اکسل را تهیه کرده و ارتعاشات مجموعه را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند.

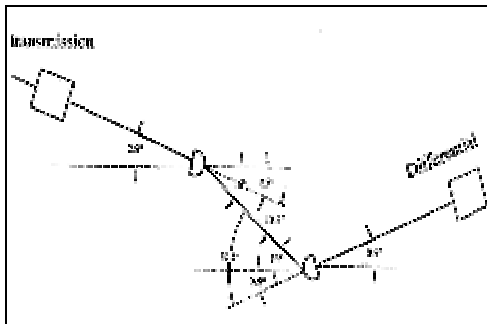
Brutti و همکارانش [۲] در سال ۱۹۹۷ به کمک نرم‌افزار Working Model با در نظر گرفتن مدل‌های صلب و الاستیک برای گاردان به بررسی رفتار دینامیکی و ارتعاشی آن پرداختند و خطای ناشی از فرض صلب بودن گاردان را در سرعت‌های بالا و پائین خودرو بررسی نمودند.

## ۲- میل گاردان

سیستم انتقال قدرت دیفرانسیل عقب شامل موتور، کلاچ، گیربکس (جعبه دنده)، میل گاردان، دیفرانسیل، اکسل‌های عقب و چرخ‌ها می‌باشد. میل گاردان مکانیزمی است که توسط آن انتقال حرکت در تغییر زاویه و تغییر طول صورت می‌گیرد. در این مجموعه، مفصل یونیورسال امکان انتقال حرکت در زوایای متغیر را فراهم می‌کند و مفصل لغزشی (Slip) امکان حرکت در تغییر طول را مهیا می‌سازد.

## ۲-۱- بررسی زوایای نصب مجموعه میل گاردان نمونه

میل گاردان نمونه، یک میل گاردان ساخت کشور اسلوانی است که در سری‌های اول ساخت کامیونت آذرخش تبریز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. مشخصات موتور و نسبت دنده‌های گیربکس کامیونت مذکور در ضمیمه آمده است. شکل ۱ نحوه نصب این میل گاردان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نحوه نصب میل گاردان نمونه

با توجه به این شکل اصطلاحات زیر را تعریف می‌کنیم:

- ۱- زاویه یوک فلنجی ورودی (زاویه محور خروجی گیربکس): زاویه‌ای است که یوک فلنجی ورودی میل گاردان بدلیل اتصال به محور خروجی گیربکس مجبور است با سطح افق بسازد. این زاویه به نحوه نصب گیربکس مرتبط است. بدیهی است در صورتی که محور خروجی گیربکس با سطح افق هم‌راستا باشد. این زاویه نیز صفر خواهد شد. در این مثال  $2/5^\circ$  است.
- ۲- زاویه یوک فلنجی خروجی (زاویه محور ورودی دیفرانسیل): زاویه‌ای است که یوک فلنجی خروجی میل گاردان بدلیل اتصال به محور ورودی دیفرانسیل مجبور است با سطح افق بسازد. این زاویه به موقعیت دیفرانسیل وابسته است. بدیهی است در صورتی که محور ورودی دیفرانسیل با سطح افق هم‌راستا باشد این زاویه نیز صفر خواهد شد. در این مثال  $0/5^\circ$  است.
- ۳- زاویه محور: زاویه‌ای است که محور انتقال حرکت (شامل یوک لغزشی، هزار خار و لوله گاردان) با سطح افق می‌سازد. در این مثال  $16^\circ$  است.
- ۴- زاویه اتصال ورودی: زاویه‌ای است که امتداد محور یوک فلنجی ورودی با محور گاردان می‌سازد در این مثال  $13/5^\circ$  است.
- ۵- زاویه اتصال خروجی: زاویه‌ای است که امتداد محور یوک فلنجی خروجی با محور گاردان می‌سازد در این مثال  $16/5^\circ$  است.
- ۶- زاویه میل گاردان: در مورد میل گاردان‌های یک تکه، زاویه اتصال اول و دوم به عنوان زاویه میل گاردان شناخته می‌شود. بنابراین در این مثال زاویه میل گاردان  $16/5^\circ - 13/5^\circ$  خواهد بود.

جهت استفاده در بخش‌های بعدی می‌باشد.

جدول ۱- حالات مختلف نصب میل گاردان

مدل	زاویه یوک فلنچی خروجی	زاویه محور	زاویه یوک فلنچی ورودی	زاویه میل گاردان	پارامتر جایگزین
مدل ۱	$0^0$	$3^0$	$0^0$	$3^0-3^0$	$B_1$
	$-1^0$	$3^0$	$0^0$	$3^0-4^0$	$C_1$
	$-1.5^0$	$3^0$	$2.5^0$	$0.5^0-4.5^0$	$D_1$
	$0^0$	$8^0$	$0^0$	$8^0-8^0$	$E_1$
	$-4^0$	$8^0$	$0^0$	$8^0-12^0$	$F_1$
	$-4.5^0$	$8^0$	$2.5^0$	$5.5^0-12.5^0$	$G_1$
	$0^0$	$16^0$	$0^0$	$16^0-16^0$	$H_1$
	$-0.5^0$	$16^0$	$2.5^0$	$13.5^0-16.5^0$	$I_1$
	$0^0$	$0^0$	$0^0$	$0^0-0^0$	$A$
مدل ۲	$0$	$3$	$0$	$3^0-3^0$	$B_2$
	$-1$	$3$	$0$	$3^0-4^0$	$C_2$
	$-1.5^0$	$3^0$	$2.5^0$	$0.5^0-4.5^0$	$D_2$
	$0^0$	$8^0$	$0^0$	$8^0-8^0$	$E_2$
	$-4^0$	$8^0$	$0^0$	$8^0-12^0$	$F_2$
	$-4.5^0$	$8^0$	$2.5^0$	$5.5^0-12.5^0$	$G_2$
	$0^0$	$16^0$	$0^0$	$16^0-16^0$	$H_2$
	$-0.5^0$	$16^0$	$2.5^0$	$13.5^0-16.5^0$	$I_2$
	$0^0$	$0^0$	$0^0$	$0^0-0^0$	$A$

شکل‌های ۲ و ۳ میل گاردان را برای دو مورد از حالت‌های مختلف نصب عنوان شده در جدول نشان می‌دهند. از آنجا که در محیط نرم‌افزار MSC. Visual Nastran نیروها برای قیود<sup>(۱)</sup> بکار رفته در مونتاژ، محاسبه می‌شوند، لذا لازم است قبل از محاسبه، قیدهای صلب و چرخشی استفاده شده در مونتاژ میل گاردان

1- constraints

آنچه که از زاویه  $(16/5^0 - 13/5^0)$  برداشت می‌شود، این است که در میل گاردان نمونه اتصال دوم نمی‌تواند بطور کامل حرکت غیر یکنواخت اتصال اول را یکنواخت گرداند چرا که لازمه این کار تساوی دو زاویه اتصال می‌باشد که در این مثال برقرار نیست. موردی که با توجه به شکل نمی‌توان تشخیص داد، زاویه صلیبی‌های دو اتصال نسبت به یوک‌های ورودی و خروجی است. بطور کلی هنگامی که گشتاور توسط اتصال یونیورسال منتقل می‌شود، بسته به این که صلیبی نسبت به یوک ورودی و خروجی چه زاویه‌ای داشته باشد، روی یوک‌ها گشتاور خمشی متفاوتی اعمال خواهد شد [۳].

### ۳- مدل سازی

ابتدا باید تک تک قطعات میل گاردان نمونه، مدل‌سازی و سپس مونتاژ شوند. این کار در نرم‌افزار catia انجام خواهد شد. تحلیل نیرویی و حرکتی میل گاردان را می‌توان با نرم‌افزار MSC. Visual Nastran انجام داد.

قبل از هر چیز می‌بایست از میزان اعتبار این نرم‌افزار مطمئن شد. در مرجع [۴] چندین مساله معروف مکانیک به دو صورت تحلیلی و نرم‌افزاری آورده شده که جواب‌های بدست آمده از MSC. Visual Nastran با دقت بسیار قابل قبولی با جواب‌های تحلیلی مطابقت دارد. بنابراین می‌توان گفت که جواب‌های حاصل از این نرم‌افزار قابل استناد هستند.

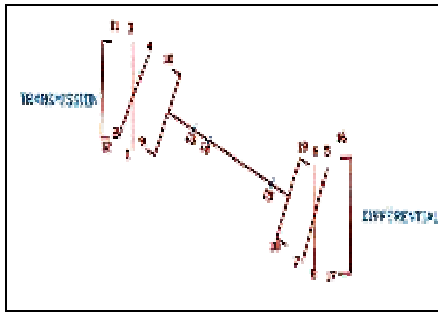
### ۴- تحلیل نیرویی

در این بخش اثر تغییر زوایای یوک فلنچی ورودی، یوک فلنچی خروجی و زاویه محوری روی نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف گاردان مورد بررسی قرار می‌گیرد و این بررسی در دو مدل ذیل انجام می‌شود:

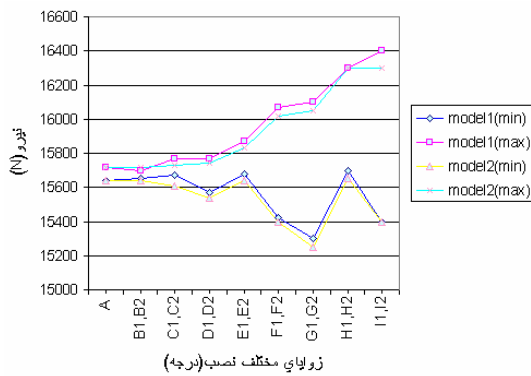
مدل اول: صلیبی هم زاویه با یوک خروجی

مدل دوم: صلیبی هم‌زاویه با یوک ورودی

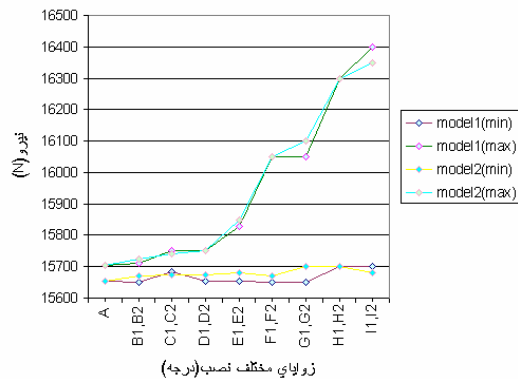
می‌توان گفت مدل اول و دوم نصب، دو نوع شرط مرزی مختلف به ترتیب برای زاویه انحراف ماکزیمم صلیبی (برابر با زاویه نصب) و زاویه انحراف صلیبی برابر با صفر درجه می‌باشد. جدول ۱ حالت‌های نصب مختلفی را که میل گاردان نمونه تحت آن تحلیل نیرویی و حرکتی شده است، نشان می‌دهد. پارامترهای ذکر شده در ستون آخر جدول، اسامی جایگزین برای این حالات



شکل ۵- شماره قیدها در میل گاردان (مدل دوم)



شکل ۶- نیروی مماسی قید ۱ مدل اول، قید ۳ مدل دوم

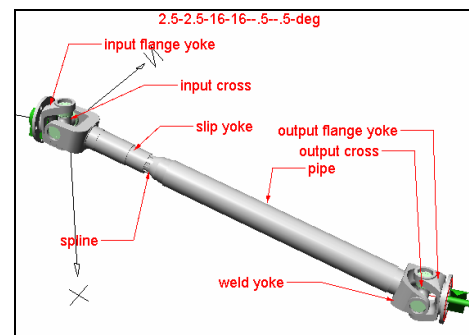


شکل ۷- نیروی مماسی قید ۵ مدل اول، قید ۵ مدل دوم

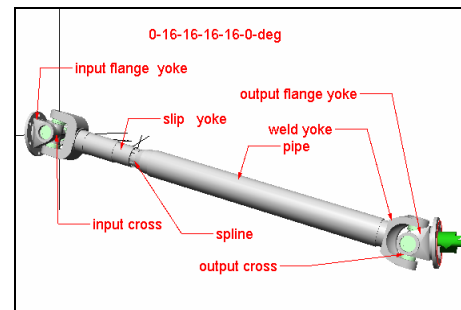
### ۵- تحلیل حرکتی

با استفاده از مدل‌های مونتاژی مورد استفاده در تحلیل نیرویی، سرعت دورانی یوک فلنچی ورودی، محور گاردان و یوک فلنچی خروجی برای تمام حالت‌ها بدست می‌آید.

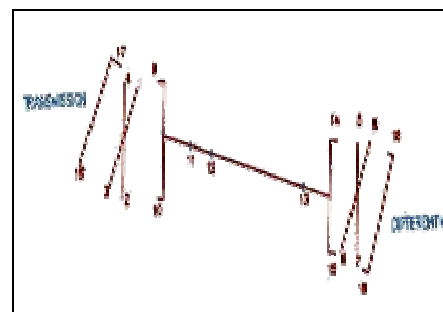
نمونه شماره‌گذاری شوند تا درک صحیحی از محل و موقعیت نیروها بدست آید. شکل‌های ۴ و ۵ شماره‌گذاری قیدها را برای مدل اول و دوم تحلیل، نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها قیدهای جدول ۲ در یک موقعیت مشترک قرار دارند. نیروی بدست آمده برای دو قید نمونه در حالات مختلف جدول ۱، جهت مقایسه در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است.



شکل ۲- میل گاردان نمونه در حالت I2



شکل ۳- میل گاردان نمونه در حالت H1



شکل ۴- شماره قیدها در میل گاردان (مدل اول)

جدول ۲- قیدهای هم موقعیت در دو مدل

مدل ۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
مدل ۲	۳	۲	۱	۴	۵	۸	۷	۶	۱۹	۱۸	۱۲	۱۱	۱۶	۱۷

۶- نتیجه گیری

نتایج تحلیل نیرویی با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ و سایر نیروهای به دست آمده برای قیدهای اشکال ۵ و ۶ به قرار زیر است:

۱- مقدار بیشینه نیروی میانگین با افزایش زاویه محور از ۰° تا ۱۶°، ۴/۵٪ افزایش دارد.

۲- مقدار کمینه نیروی میانگین با افزایش زاویه محور از ۰° تا ۱۶°، ۲/۵٪ کاهش دارد.

۳- مقدار دامنه نوسان نیروی میانگین با افزایش زاویه محور از ۰° تا ۱۶°، ۹٪ افزایش دارد.

۴- با افزایش زاویه محور از ۳۰° به ۶۰° تعداد سیکل‌های نیروی میانگین دو برابر شده است.

۵- افزایش زاویه یوک‌های فلنجی ورودی و خروجی تأثیری روی تعداد سیکل‌های نیروی میانگین ندارد و آن را افزایش نمی‌دهد. فقط کمینه و بیشینه نیرو را در این سیکل‌ها به ترتیب کاهش و افزایش می‌دهد. در واقع دامنه نوسان نیرو را افزایش خواهد داد.

۶- مقدار نیروهای اصلی در جهت مماسی اعمال می‌شوند (عمود بر گوش یوک). مقدار نیرو در جهت محوری حدوداً ۱۰٪ مقدار نیرو در جهت مماسی است.

۷- منحنی نیروهای میانگین در مدل دوم یکنواخت‌تر از مدل اول است و نوسان‌های کمتری دارد.

۸- دامنه نوسان‌های نیرو در مدل دوم کمتر از مدل اول است.

۹- کمینه و بیشینه نیرو در مدل دوم نسبت به مدل اول به ترتیب بالاتر و پایین‌تر است.

نتایج تحلیل حرکتی با توجه به سرعت‌های بدست آمده از حالات مختلف به صورت زیر است:

۱- افزایش زاویه محور گاردان، باعث افزایش دامنه نوسان سرعت محور می‌شود که در بیشینه حالت، این افزایش دامنه نوسان به ۸/۵٪ سرعت محور می‌رسد.

۲- دیاگرام سرعت محور گاردان در تمامی حالت‌ها نشان می‌دهد که به ازای یک دور چرخش موتور، محور گاردان دو سیکل می‌زند.

۳- در صورت عدم تساوی زاویه اتصال ورودی و خروجی، دیاگرام

سرعت یوک فلنجی خروجی نوسانی است و ثابت نخواهد بود.  
۴- مقایسه مدل اول و دوم در دیاگرام‌های سرعت نشان می‌دهد منحنی مدل دوم نسبت به مدل اول ۱۸۰° تقدیم فاز دارد و مقدار دامنه نوسان‌های سرعت تغییر محسوسی نکرده است.

مراجع

[1] Birkett, Craig A. Tecco, Thomas C.; 1991, "Computer Simulation of driveline vibration Due to universal joint in Heavy and Medium Duty Trucks", SAE 912700.  
[2] Brutti, carlo; pennestri, Ettore; Biancolin, Marco Evangelos; , june 20 1999, "on the Dynamics of the transmission with a Double cardan joint" Tenth world Congress on the theory of Machines & Mechanisms, oulu, finland.  
[3] GKN Automotive Catalogue, available in www.gwb.essen.de/fahrzeugbau/english  
[4] Mitiguy, Paul c.; Saval, Angela M. "Demonstration and Validation of Msc.visual nastran"  
[۵] شکروی، حسین، ۱۳۸۱، راهنمای کاربردی کتیا، انتشارات روزنه، چاپ اول.

ضمیمه

مشخصات موتور:

ساخت: موتورسازان تبریز (پرکینز)

تیپ: چهارزمانه- دیزل

حداکثر قدرت: ۸۲ اسب بخار (انگلیسی) در ۲۸۰۰ دور در دقیقه

حداکثر گشتاور: ۲۵۶ نیوتن متر در ۱۳۰۰ الی ۱۴۰۰ دور در

دقیقه

مشخصات گیربکس:

کارخانه سازنده: شرکت چرخشگر تبریز

تیپ: ۵ دنده جلو و یک دنده عقب سنکرونیزه

نسبت دنده‌ها

دنده ۵	دنده ۴	دنده ۳	دنده ۲	دنده ۱	دنده عقب
۱	۱/۴۱	۲/۱۴	۳/۶۰	۶/۳۴	۵/۸۲