



طراحی، تحلیل و ساخت میز ماشین ابزار با قابلیت جابجایی در راستای عمودی

علی قانع ارسبی^۱، مهران محبوبخواه^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز

* تبریز، صندوق پستی ۵۱۶۶۶۱۴۷۶۶، mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

چکیده

یکی از نقاط ضعف ربات های موازی محدودیت و شکل نامساعد فضای کاری آن ها می باشد. برای بهبود فضای کاری آن ها می توان با اضافه کردن محورهای تکمیلی، این مشکل را برطرف نمود. در این مقاله یک میز با قابلیت جابجایی دستی و نیمه اتوماتیک الکتریکی در راستای محور Z بعنوان درجه آزادی تکمیلی ربات ماشین ابزار جهت تنظیم میز و قطعه کار در فضای کاری یک ربات موازی، طراحی و ساخته شده است. در ابتدا، طراحی مجموعه میز با ترسیم نقشه های شماتیک، شامل رویه میز، فریم، کشویی ها و شاسی انجام شده و قطعات در نرم افزار کتیا مدل سازی سه بعدی شده است. همچنین تمامی قطعات مکانیکی مورد نیاز نظیر الکتروموتور، چرخ دنده ها و سایر قطعات با توجه به نیروهای ماشین کاری اعمال شده و وزن قسمت های متحرک و الحاقات آن، محاسبه و انتخاب شده است. سپس بمنظور بررسی سفتی، مجموعه میز در نرم افزار انسیس مدل سازی و تحلیل جابجایی و تغییر شکل های آن انجام شده است. پس از اصلاح و تقویت نکات ضعف طراحی و تحلیل مجدد مجموعه میز، مراحل ساخت میز انجام شده است. بمنظور صحت گذاری و بررسی سفتی میز ساخته شده، بارگذاری و اجرای آزمایش تجربی و اندازه گیری میزان تغییر شکل مجموعه میز انجام شده. مشاهدات حاکی از همخوانی نتایج حاصل از طراحی با نمونه ساخته شده می باشد.

کلید واژگان: طراحی میز، تحلیل سفتی، ساخت میز

Design, analysis and construction of machine tool table with capability of vertical axis movement

Ali Ghane Arasi, Mehran Mahboubkhah*

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* P.O.B. 5166614766, Tabriz, Iran, mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

One of drawbacks of parallel robot is its unsuitable form and limitation of workspace. This problem can be solved through establishing of the complementary axis for it. In this paper, a manual and semiautomatic table with capability of movement in Z axis, as the complementary degree of freedom of robot for adjusting the table and work piece in robot workspace has been designed and manufactured. Firstly, design with drawing the schematic plan of table set such as upper part, its frame, guide ways, chassis and etc. was implemented, then the parts was modeled in CATIA software. Also, all of the mechanical parts such as electro motors, gears and etc., considering machining forces and weight of parts has been computed and selected. After that, to stiffness, the table set was modeled in ANSYS software and deformations of components were determined. After improving the weakness points of design and reanalyzing of table set, the construction of table has been implemented. To approve and investigation of stiffness of constructed table set, experimental tests with applying load on table and measuring its displacements was also implemented. Comparison of the design data and experimental tests has been shown the same results.

Keywords: Table Design, Stiffness Analysis, Table Construction.

۱- مقدمه

که در اصطلاح به آن ها محورهای با نیم درجه آزادی اطلاق می شود، می باشد. در این راستا در این مقاله به طراحی و ساخت میز یک درجه آزادی که بتواند در راستای محور عمودی موقعیت قطعه کار را در موقعیت مناسب فضای کاری قرار دهد، پرداخته شده است. یکی از مهمترین شاخص در طراحی بدنه یک ماشین ابزار، سفتی سازه آن می باشد [۵، ۴]. برای ماشین ابزار موازی با توجه به محدود بودن فضای کاری، می بایست میزی طراحی گردد که ضمن صلبیت و عدم ارتعاش و تحمل وزن مناسب با الحاقات و قطعه کارهای متنوع، به لحاظ شکل و وزن، بارهای ماشین کاری ناشی از حرکت و چرخش ابزار را نیز تحمل نماید و توانایی جابجایی با دقت بالا در راستای عمودی را نیز داشته باشد. میزی که معرفی خواهد شد ضمن دارا بودن قابلیت های ذکر شده، با سفتی مناسب و حداقل لقی بین قطعات متحرک، قادر است بصورت ترکیبی به مجموعه ملحق شده و به عنوان عضو و قسمتی از دستگاه اصلی باشد.

شکی نیست که در صنعت ساخت و تولید، ماشین های چند محور و ربات های موازی با قابلیت تولید و دقت بالا، تحول شگرفی ایجاد نموده اند. علیرغم بسیاری از نکات قوت این نوع ربات ها، دارا بودن فضای کاری نامناسب و نقاط تکیه، یکی از مهمترین نکات ضعف آن ها می باشد [۲، ۱]. که این نقیصه وابسته به مهارت طراح می تواند به حداقل ممکن برسد. با این حال این اشکال بصورت کامل قابل حذف نخواهد بود، از این رو طراحان ربات و ماشین ابزار با انجام تحلیل های مختلف، شکل و کیفیت فضای کاری آن ها را مورد ارزیابی قرار می دهند و توصیه می کنند تا ماشین کاری یا سایر وظایف ربات در بهترین و قوی ترین مناطق فضای کاری ربات انجام شود [۳]. یکی از راه حل هایی که برای این منظور به ذهن می رسد، انتقال و تنظیم موقعیت قطعه کار و ابزار به مناطق مناسب فضای کاری با استفاده از ایجاد و بکارگیری محورهای کمکی

Please cite this article using:

A. Ghane Arasi, M. Mahboubkhah, Design, analysis and construction of machine tool table with capability of vertical axis movement, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 466-470, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

سیال مانند روغن با ویسکوزیته پایین بصورت مستمر به داخل سیلندر تزریق می گردد و پیستون را به عنوان قطعه متحرک آبدبندی شده در داخل سیلندر هدایت می کند. با توجه به ضریب انبساط مایعات، مانند روغن هیدرولیک دسترسی به حرکت های ریز و دقیق پیستون امکان پذیر است، ولی با توجه به مسائل اقتصادی و گرانی سیستم و واحدهای جانبی استفاده از این سیستم در ساخت نمونه حاضر مقرون به صرفه نمی باشد. سیستم های محرکه نیوماتیکی نیز از حیث تراکم پذیری بالای سیال و عدم داشتن دقت های بالا در کاربرد حاضر قابل استفاده نمی باشند. نوع دیگر سیستم محرکه، استفاده از الکتروموتور و سیستم های مکانیزم چرخنده ساده و شانه بعنوان گیربکس می باشد. لقی و پایین بودن میزان سفتی و عدم استفاده از پوسته گیربکس به دلیل طول زیاد آن، از اشکالات مهم آن است، که نمی توان به راحتی از آن صرف نظر نمود. سیستم های محرکه خطی مغناطیسی نیز که دارای دقت بالایی می باشند بخاطر قیمت بسیار زیاد مورد نظر نمی باشند.

با در نظر گرفتن انواع سیستم های محرکه، روی دستگاه های مختلف که به چند نمونه مهم آن اشاره گردید، سیستم محرکه الکتروموتور با گیربکس متشکل از چرخنده حلزونی و پیچ دوزنقه ای که دقت مناسب داشته و در بعضی از دستگاه های فرز نیز نوعی از آن استفاده شده است، در ساخت میز مورد استفاده قرار گرفته است. در این سیستم از یک گیربکس حلزونی با پیچ چهار راهه با نسبت $7/5$ که با یک شفت حمال و پیچ دوزنقه ای با گام پنج استفاده شده و در داخل محفظه قسمت متحرک میز ربات جای می گیرد.

۲-۲- انتخاب سیستم گیربکس محرکه

میز ربات کلاً از دو قسمت شاسی اصلی که ثابت و قسمت متحرک میز تشکیل شده است. پس قاعداً می بایست قسمت گیربکس و محرک آن در داخل میز متحرک قرار گیرد. نقطه اتصال گیربکس حلزونی تابع موقعیت پیچ دوزنقه ای می باشد. واضح است که بهترین نقطه از لحاظ اعمال نیروی بالا برنده، مرکز صفحه میز از قسمت زیرین آن می باشد. نقطه بالایی تلاقی پیچ دوزنقه ای با میز متحرک می باشد که باید با در نظر گرفتن نیروهای وارده یاتاق بندی گردد. برای این منظور از رولبرینگ های مخروطی برای مقاومت در برابر نیروهای عمودی در راستای محور پیچ استفاده شده است. با حرکت میز بطرف بالا پیچ حمال دوزنقه ای حالت فشاری و موقع برگشت آن تحت تنش کششی قرار می گیرد و برای هر دو جهت از دو رولبرینگ مخروطی در انتهای محور شفت و روبه روی هم استفاده شده است. برای حرکت پیچ دوزنقه ای و ایجاد کورس 200 میلی متری آن مهره برنجی- فسفری بصورت مخزن دار طراحی و ساخته شده است. مخزن پیچ بصورت بسته و محتوی روغن و دارای شاخص نمایش گر میزان کیفیت روغن است. خروجی گیربکس از مرکز چرخ حلزون در قسمت میانی شفت و پیچ دوزنقه ای توسط خار کوپل می گردد که در شکل های ساخته شده دستگاه نمایش داده خواهد شد.

۲-۳- طراحی شاسی اصلی

قطعات شاسی اصلی با همدیگر و با استفاده از اتصالات پیچ و مهره و پین های مخروطی سنگ خورده تنظیم و تثبیت می گردد. انتخاب اتصالات فوق مانع از ایجاد تنش های ناشی از برش کاری و جوش کاری در اتصالات دائم می گردد. برای برش کاری قطعات اصلی شاسی بصورت U شکل، به دلیل عرض کم و طول زیاد، امکان تغییر ابعاد بدلیل حرارت های ناشی از برش کاری با گاز اکسیژن و برق وجود دارد، برای این منظور از برش لیزر با اعمال کمترین حرارت انتخاب شده که صافی سطح مناسب و تolerانس ابعاد آن $\pm 0.5 \text{ mm}$

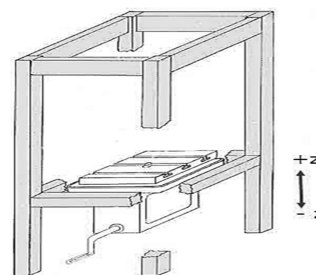
اتصال میز ربات توسط قید و بندهای طراحی شده قابل تنظیم قابل انجام می باشد، که در این نمونه، نسبت به ربات موازی پنج درجه آزادی طراحی شده است. همان طوری که گفته شد سفتی و مقاومت میز به تغییر شکل ها و جابجایی ها در مقابل نیروهای اعمال شده به آن از اصلی ترین اهداف طراحی می باشد که برای حصول به این هدف بایستی مراحل مختلفی اجرا شود. ابتدا طراحی شماتیک و اولیه قطعات اصلی میز و پس از آن مدل سازی میز در یکی از نرم افزارهای طراحی مثل کتیا^۱ انجام می شود. بررسی میزان سفتی با مدل سازی و انجام تحلیل در یکی از نرم افزارهای اجزاء محدود که در این تحقیق نرم افزار انسیس^۲ می باشد قابل انجام است. نتایج تحلیل های سفتی، نکات ضعف طراحی اولیه را نمایان می کند که با تقویت آنها می توان سفتی سازه را از جهات ذکر شده اصلاح نمود. در ادامه به جزئیات این مراحل و نحوه انتخاب و ساخت مجموعه میز اشاره شده است.

۲- طراحی و انتخاب اجزاء میز یک درجه آزادی

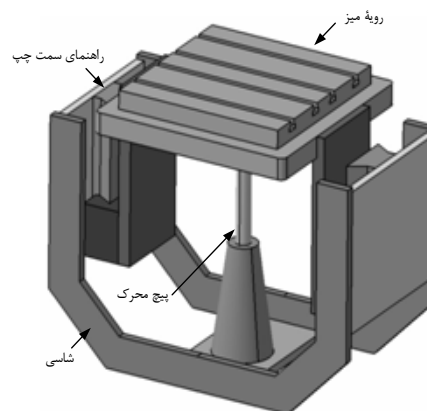
مجموعه میز ربات ارائه شده از چند قسمت اساسی شکل گرفته که در ذیل اهم آن و دلیل انتخاب هر روش در سیستم به طور خلاصه توضیح داده می شود. در شکل ۱، نقشه شماتیکی و اولیه میز که در داخل چارچوب اصلی دستگاه قرار می گیرد، نشان داده شده است. میز مور نظر قادر خواهد بود قطعه کار را در راستای محور عمودی دستگاه جابجا نماید.

۲-۱- انتخاب سیستم محرکه مناسب

برای جابجایی میز، مکانیزم های متنوعی وجود دارد که هر کدام دارای معایب و محاسنی می باشند. سیستم های محرکه هیدرولیکی توسط سیلندر و پیستون حرکت مورد نیاز را تامین می کنند و توسط پمپ هیدرولیک مایع



شکل ۱ نقشه شماتیک و اولیه میز در داخل فریم دستگاه



شکل ۲ مدل سازی میز در نرم افزار کتیا

1. Catia
2. Ansys

می‌باشد، استفاده شده است. قطعات اصلی U شکل بصورت موازی و صفحات رابط کناری و تحتانی توسط پیچ‌های آلن M10 روی هم محکم شده و پس از صحنه‌گذاری ابعاد، سیستم توسط پین‌های مخروطی تثبیت شده است.

۴-۲- طراحی و انتخاب ریل‌ها

ریل‌ها به عنوان بستر هدایت قطعات متحرک نقش مهمی در ساخت دستگاه‌های مختلف مخصوصاً ماشین‌های ابزار دارند. به‌طور کلی ریل‌های روباز عموماً برای بارهای عمود بر ریل استفاده می‌شوند. ریل‌های بسته و گیردار مانند ریل‌های با مقاطع گرد و گرد ناقص و انواع دم‌چلچله‌ها و کشویی‌های مستطیلی با توجه به قفل شدن ریل در توسط مادگی و عدم حرکت، از دقت و کیفیت بهتری برخوردار هستند. صافی سطح در ریل‌ها نیز اهمیت داشته و روی دقت حرکتی تأثیرگذار است. در نمونه ساخته شده، با توجه به شرایط دستگاه و دقت نسبتاً زیاد و وزن کم از ریل و کشویی دم‌چلچله در و مادگی استفاده شده است، که مسیر هدایت میز متحرک را با کمترین لقی تامین می‌کند. واضح است که در ریل‌های گیردار که کشویی دم‌چلچله نیز در آن محدوده قرار دارد، از صفحات با گوه‌های قابل تنظیم با استفاده از پیچ‌های تنظیم و مهره‌های تثبیت استفاده می‌گردد. بلوک کشویی مادگی دارای کانال‌های تزریق گریس جهت روان کاری بوده و با کمترین اصطکاک حرکت میز را تضمین می‌نماید. جنس کشویی از چدن خاکستری و زاویه دم‌چلچله آن 60° انتخاب شده است. به علت حجم کم فضای استقرار میز و ابعاد نسبتاً بزرگ صفحه میز و از طرف دیگر برای سفتی بیشتر، کشویی‌های در و مادگی به صورت قرینه و در دو طرف صفحه میز و شاسی U شکل در نظر گرفته شده که ضمن کاهش لقی میز متحرک، نیروهای خمشی و پیچشی را نیز خنثی نموده و میز را براحتی در راستای محور عمودی هدایت می‌کند.

۵-۲- طراحی پولی و تسمه رابط

استفاده از پولی‌ها و تسمه رابط در میز ربات به دو دلیل عمده می‌باشد. اولاً برای انتقال نیروی چرخشی از الکتروموتور به ورودی سیستم محرکه و ایجاد یک نوع سیستم ایمنی، دوماً جهت کاهش دور و ایجاد رابط حرکت سریع منطقی میز با توجه به کورس میز در حدود یک ثانیه. با در نظر گرفتن نیاز به حرکت سریع و نیمه اتوماتیک میز ربات، استفاده از یک مولد نیروی الکتریکی چرخشی با دور 1650 (rev/min) مانند پولی و تسمه که به ورودی گیربکس حلزونی مرتبط می‌گردد، لازم می‌باشد. با توجه به نسبت گیربکس حلزونی $7/5$ دور، خروجی آن کاهش یافته و به $220 = 1650 / 7.5 \text{ (rev/min)}$ می‌رسد، که حدود $3/7$ ثانیه می‌باشد، که با در نظر گرفتن گام پیچ عمودی $P=5 \text{ mm}$ مقدار جابجایی میز در یک ثانیه $18/5 = 220 \times 3/7$ میلی‌متر خواهد بود. مقدار جابجایی بدست آمده با کورس دستگاه همخوانی نداشته و اپراتور فرصت کنترل حرکت‌های ریز و منقطع را از دست می‌دهد، یعنی با فرض کورس 200 mm حدود 10 ثانیه زمان لازم است تا میز از ماکزیمم به مینیمم یا برعکس حرکت نماید که زمان کوتاهی است. برای کنترل بیشتر و دسترسی به فاصله‌های کوچکتر، می‌توان با کمتر نمودن دور الکتروموتور توسط پولی و تسمه، ضمن افزایش گشتاور، حرکت‌های سریع را نیز به صورت ریز و دقیق را ایجاد نمود. برای این منظور از دو پولی با نسبت 3 استفاده شده و روی صفحه حائل در قسمت متحرک میز ربات جای گرفته است.

۶-۲- طراحی گیربکس ثانویه

به‌طور کلی گیربکس ثانویه متشکل از دو چرخ دنده ساده ورودی و خروجی با نسبت سه و یک چرخ‌دنده هرزگرد به عنوان واسط جهت ایجاد فاصله بیشتر و هم جهت ساختن چرخش ورودی و خروجی گیربکس می‌باشد. چند علت برای استفاده از گیربکس ثانویه وجود دارد. علت اول: ایجاد دور کمتر و به همان اندازه گشتاور بیشتر، تا در حالت‌های دستی، اپراتور و بتواند با نیروی کمتر و دقت بیشتر، اندازه‌های دلخواه را توسط محرکه دستی اعمال نماید. علت دوم: به دست آوردن اندازه‌های کوچک در ورنیه یعنی با کم شدن نسبت دور، مقدار چرخش‌ها نیز کمتر شده و با مقیاس کوچکتر به اندازه یک دور چرخش شفت ورودی، میز را جابجا می‌کند. پس در این حالت محیط ورنیه به قسمت‌های کوچکتر تقسیم شده و دقت حرکت میز بالا می‌رود. علت سوم: ایجاد فاصله بین ورودی گیربکس حلزونی با محرکه دستی که شفت ورنیه نیز روی آن قرار دارد.

۷-۲- طراحی غلافی و شفت ورنیه

غلافی ورنیه بصورت فلنجی ساخته شده و روی پوسته خروجی گیربکس ثانویه نصب شده و دارای سیستم یاتاق‌بندی بلبرینگ بوده و شفت ورنیه در داخل آن جای گرفته و به محور خروجی گیربکس ثانویه توسط خار کوپل شده است. تقسیم‌بندی ورنیه به ازاء هر 360° و 2 mm می‌باشد و خطوط آن در دستگاه تقسیم حک شده و کوچکترین فاصله آن که دقت حرکت میز را نشان می‌دهد، 0.5 mm محاسبه شده است.

۸-۲- سیستم ایمنی حرکت سریع

با توجه به دو حالت بودن نحوه جابجایی میز متحرک، که یک حالت نیمه-اتوماتیک و برقی میز و توسط الکتروموتور اعمال می‌گردد و دیگری حرکت میز توسط محرکه دستی که از خروجی گیربکس ثانویه تامین می‌گردد، برای ایمنی بیشتر و عدم تلاقی دو حالت با یکدیگر از سیستم فنر پیستون استفاده گردیده است. عملکرد سیستم ایمنی باید طوری باشد که در حین درگیر بودن محرکه دستی، حرکت سریع به سمت $Z+$ یا $Z-$ حتماً قطع گردد یا بصورت خلاص درآید. برای این منظور فنری در انتهای راهگاه ورنیه و درون شفت آن کار گذاشته شده و به یک قطعه پیستونی وصل شده و قطعه پیستون داخل سوراخ شفت جای گرفته و فنر پیستون فوق همواره محرکه دستی را به عقب می‌راند و تنها با جاناندازی دسته و فشار آن به جلو، اپراتور می‌تواند محرکه دستی را درگیر کرده و شفت ورنیه یا خروجی گیربکس را بصورت دستی به چرخش درآورد. با از بین رفتن فشار دست، فنر و پیستون محرکه دستی را به عقب رانده و بصورت خلاص درمی‌آید و با اعمال حرکت سریع‌تر توسط دکمه‌های بالا و پائین، میز شتاب گرفته و جابجا می‌گردد و این در حالیست که دسته محرکه از راهنمای ورنیه با توجه به عقب راندن آن از طرف فنر و پیستون، بصورت آزاد آویز شده و هیچ نوع خطری ایجاد نخواهد کرد.

۹-۲- طراحی سایر قسمت‌های میز ربات

سایر اجزاء مجموعه میز نیز از جهت عملکرد صحیح آن طراحی و ساخته شده‌اند که به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

سیستم‌های روغن‌کاری و گریس‌کاری دستگاه شامل پنج قسمت، پایه‌های قابل تنظیم جهت هماهنگ نمودن و تراز کردن میز ربات با دستگاه اصلی، قید و بندهای واسط جهت ارتباط و اتصال میز ربات با دستگاه اصلی با قابلیت تنظیم در روی دو محور، تابلوی برق شامل کلیدها و رله‌ها و چراغ‌های فازها و

سازه در جهت محور عرضی ۷ به دلیل نداشتن حائل بین دو کشویی می‌باشد. در شکل ۵ این مشکل به خوبی مشخص است. با اعمال تغییرات و استفاده از حائل بین دو کشویی این مشکل مطابق شکل ۶ رفع شده است

۴- مرحله ساخت میز

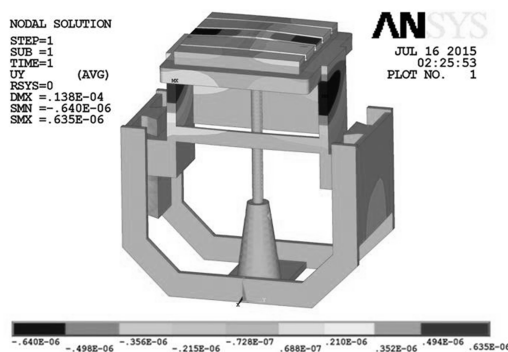
پس از طراحی مقاومت مصالحی و اجزاء میز، نوبت به ساخت آن رسیده است. فرم نهایی میز ساخته شده در شکل ۷ نمایش داده شده است. در این شکل قسمت‌های مختلف میز که در بخش ۲ توضیح داده شده در شکل نمایش داده شده است.



شکل ۴ نتایج تغییر شکل کلی ماکزیمی ۱۳ میکرون میز



شکل ۵ نتایج تغییر شکل میز به میزان ماکزیمم ۲ میکرون در جهت محور ۷



شکل ۶ نتایج تغییر شکل میز به میزان ماکزیمم ۱ میکرون در جهت محور ۷ پس از ایجاد حائل بین کشویی‌ها

مدار الکتریکی، میکروسویچ که فرمان‌ها و کنترل‌های حد بالا و پائین میز متحرک را به عهده دارند، کاورهای جلویی به صورت پیچی و پشتی میز متحرک با سیستم لولایی و پیچ فلکه، سیستم‌های روغن‌کاری و گریس‌کاری دستگاه.

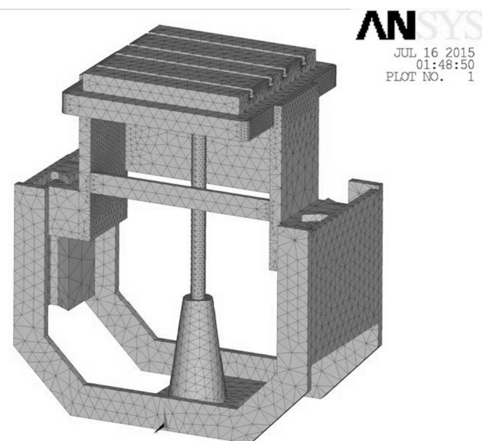
۳- تحلیل سفتی و طراحی مقاومت مصالحی میز

پس از انتخاب و طراحی قطعات مختلف میز، بایستی در مورد نحوه انتخاب ابعاد اجزاء میز بررسی‌های لازم انجام شود تا مشخص شود که سازه از حیث مقاومت در مقابل نیروها و وزن سازه دارای سفتی کافی می‌باشد.

برای این منظور، از نرم‌افزار انسیس جهت تحلیل سفتی سازه در مقابل نیروهای خارجی، که نیروهای وزن و ماشین‌کاری وارد بر میز سازه است، استفاده شده است. مدل‌سازی در نرم‌افزار کتیا انجام و به محیط انسیس منتقل شده است. شکل ۳ مدل‌سازی در انسیس را نشان می‌دهد. در این شکل میز در بالاترین موقعیت و بدترین شرایط خود قرار داده شده است.

در این مدل‌سازی اجزاء میز به دو قسمت مجزا، شامل قسمت بالایی و پائینی تقسیم‌بندی شده‌اند و نسبت به هم می‌توانند بدون اتصال جوشی حرکت داشته باشند. تماس دو قسمت در محل دو کشویی میز اتفاق می‌افتد که در نرم‌افزار انسیس با المان‌های تماسی مدل‌سازی و مشخصه عدم جدایش برای آن‌ها انتخاب شده است. مدول الاستیسیته، مدول یانگ و دانسیته مربوط به جنس فولاد جهت حل در نظر گرفته شده است. نوع المان که برای مش‌بندی در نظر گرفته شده ۱۸۷ Node ۲۰ می‌باشد. با توجه به سادگی مدل، امکان مش‌زنی بدون ریز کردن انجام گرفته است. با تعریف شرایط مرزی جابجایی و نیرویی مطابق حالت واقعی میز، که در آن میز از کف و از چهار طرف توسط پایه‌ها و ستون اصلی دستگاه مقید شده‌اند و همچنین وزن میز و نیروهای ماشین‌کاری به صورت بار گسترده بر روی میز وارد شده است. سپس تحلیل استاتیکی میز انجام و نتایج تغییر شکل‌ها و تنش‌های میز استخراج شده است. شکل ۴ نمونه‌ای از تحلیل جابجایی را در میز طراحی شده نمایش می‌دهد. به‌طوری‌که از شکل مشهود است تحت بارگذاری ۱۳۰۰ kg تنها ۲۰۰ میکرون جابجایی در ماکزیمم نقاط جابجایی دیده می‌شود. همچنین با توجه به تعریف المان‌های تماسی، بین قسمت‌های نر و مادگی ریل‌ها هیچ‌گونه اتصالی بوجود نیامده است.

تنها نقطه ضعفی که در طراحی حاضر به چشم می‌خورد تغییر شکل نسبی



شکل ۳ مدل‌سازی مورد استفاده در انسیس

1. No separation

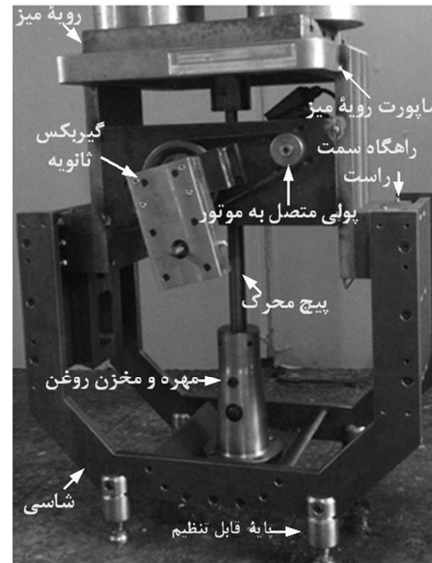
عمودی توسط ساعت اندیکاتور اندازه‌گیری شده است. مقایسه نتایج بین دو روش تعیین تغییر شکل سازه تفاوت کمی را نشان می‌دهد. اختلاف موجود به دلیل خطاهای مدل سازی که در نرم افزار انسیس اتفاق می‌افتد، می‌باشد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل کار واقعی طراحی مقاومت مصالحی و اجزاء یک میز یک درجه آزادی ربات ماشین ابزار تا ساخت و کنترل نهایی آن به صورت کاملاً عملی توضیح داده شده است. در قسمت طراحی و انتخاب قطعات، دلایل و گزینه‌های مورد نظر طراحی، تشریح و طراحی انجام شده است. در قسمت طراحی مقاومت مصالحی و تحلیل سفتی، با استفاده از نرم افزار انسیس تحلیلها انجام شده و با تشخیص نقاط ضعف سازه بهینه‌سازی مورد نظر اجرا شده و مجدداً تحلیل‌ها برای تأیید طراحی انجام شده است. پس از اطمینان از نتایج طراحی، ساخت قطعات میز و مونتاژ اجزاء آن انجام شده و در نهایت جهت اطمینان از کیفیت میز ساخته شده، آزمایش عملی با قرار دادن وزنه و اندازه‌گیری میزان جابجایی‌ها در جهات مختلف میز انجام شده است. نتایج این آزمایش در مقایسه با نتایج طراحی اختلاف بسیار ناچیز ۲ میکرونی را نشان می‌دهد که حاکی از دقت انجام تحلیل‌ها و دقت ساخت مجموعه میز می‌باشد که سازه‌ای با لقی بسیار جزئی حاصل شده است.

۷- مراجع

- [1] J. P. Merlet, *Parallel robot*, London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] C. M. Gosselin, Stiffness mapping for parallel manipulators, in *IEEE Trans. Robot and Autom*, Vol. 6, No. 3, pp. 377-382, 1990.
- [3] N. Jaafarzadeh, M. Mahboubkhah, Design and analysis of workspace and singularity of a 4 degree of freedom parallel robot, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 8, pp.28-36, 2014. (In Persian)
- [4] A. Rezaei, A. Akbarzadeh, M. R. Akbarzadeh, An investigation on stiffness of a 3-PSP spatial parallel mechanism with flexible moving platform using invariant form, *Mechanism and Machine Theory*, pp. 195-216, 2012.
- [5] M. A. Hoseini, *Design and construction of Hexapod Machine tool table based Stewart platform*, Msc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, 2006. (In Persian)



شکل ۷ میز ساخته شده

۵- آزمایش عملی میز و مقایسه آن با نتایج تحلیل اجزاء محدود

پس از انجام مراحل ساخت و مونتاژ نهایی میز، به منظور بررسی کیفیت عملکرد آن، آزمایش‌های عملی بر روی میز انجام شده است. مقایسه نتایج تغییر شکل‌ها با تحلیل اجزاء محدود و آزمایش عملی در دو حالت متفاوت در جدول ۱ نشان داده شده است. بطوری که در شکل ۸ نشان داده شده است، وزنه ۲۰۰ kg روی میز دستگاه قرار داده شده و میزان تغییر شکل در جهت



شکل ۸ آزمایش عملی تغییر شکل سازه میز در راستای محور Z به میزان ماکزیمم ۱۱ میکرون

جدول ۱ مقایسه نتایج تحلیل اجزاء محدود با نتایج عملی در تغییر شکل ماکزیمم میز

تغییر شکل در راستای محور عمودی	نتایج انسیس (μm)	نتایج آزمایش عملی (μm)
در بارگذاری ۱۰۰ kg	۱۱	۹
در بارگذاری ۲۰۰ kg	۱۳	۱۱