

تجزیه و تحلیل نرم افزاری ارتعاشات آزاد و اجباری دستگاه دریل به روش المان محدود

یوسف آقائی پور^۱، مسعود پیرداستان^{۲*}

۱- دکترای مهندسی صنایع، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، مدرس دانشگاه و شرکت ایران خودرو کنشگر حوزه خودرو سازی سبز

۲- دکترای مهندسی صنایع، عضو باشگاه دانش پژوهان جوان ونخبگان، مدرس دانشگاه

ma.pirdastan@yahoo.com

ارسال: تیر ماه ۱۴۰۱ پذیرش: مرداد ماه ۱۴۰۱

چکیده

در این مقاله تجزیه و تحلیل نرم افزاری ارتعاشات آزاد و اجباری دستگاه دریل به روش المان محدود بررسی شده است. دستگاه دریل برای سوراخکاری انواع قطعات با ابعاد مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. قطعه کار روی میز ثابت ماشین دریل قرار گرفته و ابزار که همان مته می باشد با حرکت به داخل قطعه باعث سوراخ شدن آن می گردد. در این نوع دستگاه می توان سوراخ های با تلورانس بسته و دقت ابعادی بسیار بالا تولید نمود. بنابراین محاسبه نیروهای سوراخکاری و تحلیل ارتعاشات دستگاه و بهینه سازی آن به ایجاد سطوح و سوراخ های با کیفیت و با دقت بالا کمک می کند. هر چند در کارهای قبلی میزان نیروهای سوراخکاری و تاثیر پارامترهای مختلف بر روی دقت و کیفیت سوراخ بررسی شده است اما ارتعاشات آن بررسی نشده است. در این تحقیق ابتدا معادلات ارتعاشی اجزای مختلف دستگاه نوشته شده و سپس ارتعاشات آزاد و اجباری به دو روش تحلیلی و نرم افزاری (ANSYS) بررسی شد. فرکانس های تحریک در ماشین مورد نظر بدست آمد و هنگام آنالیز هارمونیک، فرکانس های طبیعیای مورد بررسی قرار گرفت که نزدیک به فرکانس های بالا بودند. مقادیر جابجایی ماشین دریل در محدوده فرکانسی فوق بررسی شد و جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس تشدید نمایش داده شد.

واژگان کلیدی: ارتعاشات آزاد و اجباری، دستگاه دریل، تحلیل نرم افزاری، المان محدود.

۱- مقدمه

موضوع علم ارتعاشات، بررسی حرکات سیستم های دینامیکی است. به هر قطعه فیزیکی که قابلیت کسب و از دست دادن انرژی پتانسیل (در اثر تغییر مکان های نسبی) و همچنین انرژی جنبشی را دارا باشد سیستم دینامیکی گویند. معتکف ایمانی و همکاران (۲۰۰۹) دینامیک فرایند داخل تراشی را شبیه سازی نمودند آنها با استفاده از منحنی های B-Spline ابزارهایی با هندسه مختلف را بررسی نمودند. چرن^۱ و همکاران (۲۰۰۷) اثر ارتعاشات بر فرایند داخل تراشی را با بررسی زبری سطح قطعه کار به کمک تاگوشی

¹ Chern

و تحلیل واریانس بررسی نمودند. رویو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) برای کاهش ابزار لرزه در فرایند داخل تراشی میرا کننده های ارتعاش گذرا را با انتخاب بهینه پارامترهای آنها بهینه نمودند آنها ابزار دستگاه را بصورت تیر اوپلر برنولی در نظر گرفته اند. هنریک آکسون^۲ و همکاران (۲۰۰۹) مشخصات دینامیکی ابزار داخل تراشی را با استفاده از شرایط قیدهای مختلف بررسی نمودند. با توجه به اهمیت اثر ارتعاشات بر قطعات تولیدی و اینکه در مورد تحلیل استاتیکی و ارتعاشی این دستگاه تحقیقی صورت نگرفته است، در این مقاله به بررسی آن پرداخته خواهد شد [۲-۳].

الهامی و حیدری (۱۳۸۷) در پژوهشی در مورد تحلیل ارتعاشی و طراحی جاذب دینامیکی برای یک دستگاه دریل عمودی به این نتیجه رسیدند که تغییر جنس مواد در ساختمان ماشین به دلیل کمیاب بودن موادی با آن کیفیت ویژه و اقتصادی نبودن آن نمی تواند شرایط مطلوب را برآورده کند اما اتصال یک جاذب دینامیکی به سر دستگاه با هزینه کمتر شرایط مطلوب را برآورده می کند. دانکان^۳ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی اثر جاذب دینامیکی را بر ماشین کاری سرعت بالا بررسی کردند و آنها با این کار حد پایداری دستگاه را بالا بردند. ناتراجان^۴ (۱۹۷۶) از موسسه تکنولوژی هند، رفتار سازه دستگاه دریل رادیال را نسبت به بارهای استاتیکی با استفاده از نرم افزار المان محدود تحلیل نموده است. وی در محاسبه سختی المان تیر اثر پیچش سطح را نیز بررسی کرده است. هیروکی اندو^۵ و همکاران (۲۰۰۶) تخمین دقت سوراخ ها با قطر کوچک و تاثیر پارامترهای سوراخکاری بر دقت ماشین کاری حین سوراخ کاری ورق فولاد ملایم را مورد بررسی قرار داده اند. وی در تخمین خود از آنالیز سری فوریه برای تخمین دقت سوراخ هایی با قطر یک میلیمتر استفاده کرده است و سختی خمشی دستگاه را عامل مهمی در دقت سوراخ معرفی نموده است [۴-۵].

در مطالعه حاضر تجزیه و تحلیل نرم افزاری ارتعاشات آزاد و اجباری دستگاه دریل به روش المان محدود مورد بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق ابتدا معادلات ارتعاشی اجزای مختلف دستگاه نوشته می شود و سپس ارتعاشات آزاد و اجباری به دور روش تحلیلی و نرم افزاری (ANSYS) بررسی می شود. فرکانس های تحریک در ماشین مورد نظر بدست می آید و هنگام آنالیز هارمونیک، فرکانس های طبیعی مورد بررسی قرار می گیرد. مقادیر جابجایی ماشین دریل در محدوده فرکانسی فوق بررسی می شود [۶].

۱-۱- مواد و روش حل

در مقاله حاضر جهت بررسی ارتعاشات آزاد ماشین دریل، از دستگاه دریل مدل ۲۰MS ساخت شرکت ماشین سازی تبریز استفاده شده است. مدل ۲۰MS یک ماشین سوراخکاری قوی و از نظر اندازه متوسط می باشد و برای سوراخکاری ساخته شده است. با استفاده از تجهیزات اضافی همراه با ماشین می توان انواع قطعات را بطور ایده آل با ماشین دریل ۲۰MS در کارگاه های ابزارسازی، کارخانه های تولیدی، آزمایشگاه های صنعتی و تعمیرگاه ها سوراخکاری کرد. ظرفیت زیاد سوراخکاری، سادگی کار، بی خطر بودن و قیمت مناسب، ماشین را از نظر اقتصادی در اهمیت ویژه ای قرار می دهد. جهت تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری به کمک نرم افزار المان محدود، ساده سازی هایی در مدل سازی دستگاه صورت گرفته است. شکل ۱ دستگاه دریل ۲۰MS را نشان میدهد.

¹ Rubio

² Akesson

³ Duncan

⁴ Natarajan

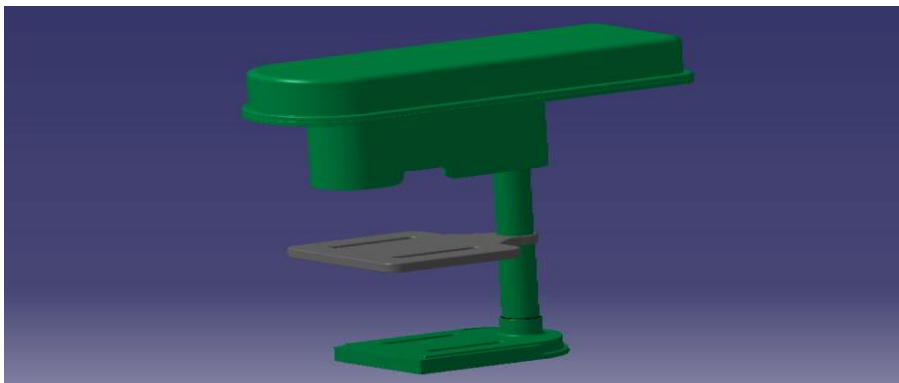
⁵ Endo



شکل ۱- دستگاه دریل ۲۰MS ساخت شرکت ماشین سازی تبریز (www.mst.ir)

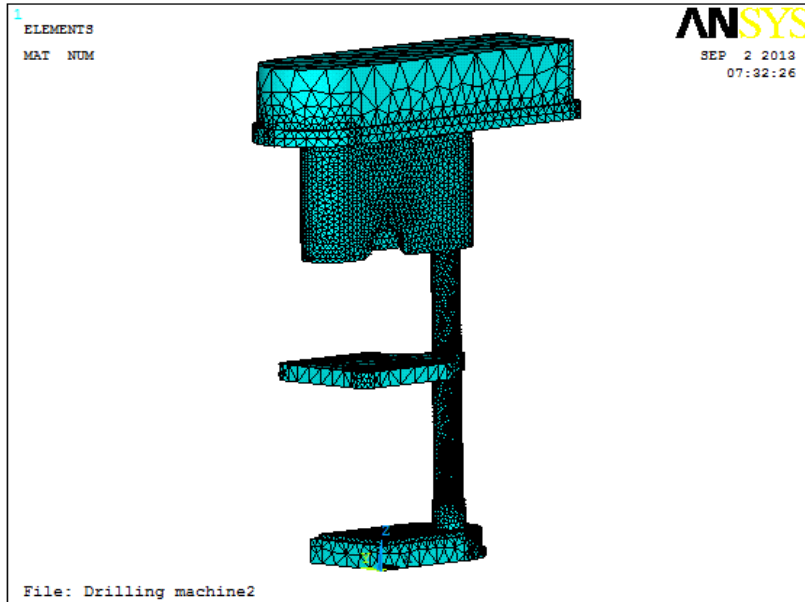
۲-۱- روند ایجاد مدل ساختار ماشین دریل ۲۰MS در نرم‌افزار CATIA

برای ایجاد مدل اجزای مختلف ساختار ماشین دریل ۲۰MS ابعاد قسمتهای مختلف به صورت مستقیم از روی ماشین دریل اندازه گیری و برداشته شده است. کلیه ابعاد بر حسب میلی متر ثبت شده است. در مرحله بعد با استفاده از مقادیر ثبت شده، اجزای مختلف ماشین دریل به صورت جداگانه در محیط Part Design مدل‌سازی شده است. در قسمت بعد مونتاژ اجزای مدل‌سازی شده و ایجاد ساختار ماشین دریل انجام شده است. به این منظور وارد محیط Assembly Design شده و با فراخوانی مدل‌های ایجاد شده در مرحله قبل و ایجاد قیود مناسب و متناسب با وضعیت اجزای مختلف ماشین دریل نسبت به یکدیگر، ساختار ماشین فرز مونتاژ گردید. برای وارد کردن مدل ایجاد شده ماشین دریل از نرم افزار CATIA به نرم افزار ANSYS فایل مورد نظر بایستی دارای فرمت IGS، Catpart و ... باشد.



شکل ۲- ماشین دریل مدل سازی شده در نرم افزار CATIA

پس از انتخاب المان، میتوان مدل مورد تحلیل را مش بندی کرد. در شکل ۳ مدل مش بندی شده نشان داده شده است.



شکل ۳- مدل مش بندی شده دستگاه دریل

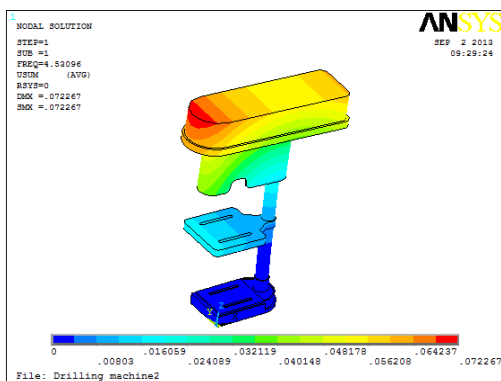
جنس انتخابی برای ماشین دریل، فولاد با مدول الاستیسیته ۲۰۰ GPa، ضریب پواسون ۰/۳ و چگالی ۷۸۷۰ Kg/m³ می باشد.

۳-۱- نتایج

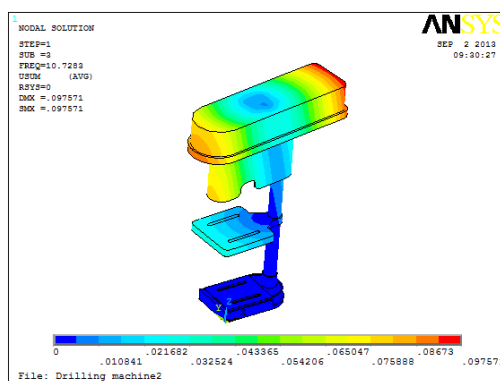
نتایج مربوط به تحلیل مودال دستگاه دریل در جدول ۱ و شکل ۴ (الف) تا (ی) آورده شده است.

جدول ۱- نتایج تحلیل مودال دستگاه دریل

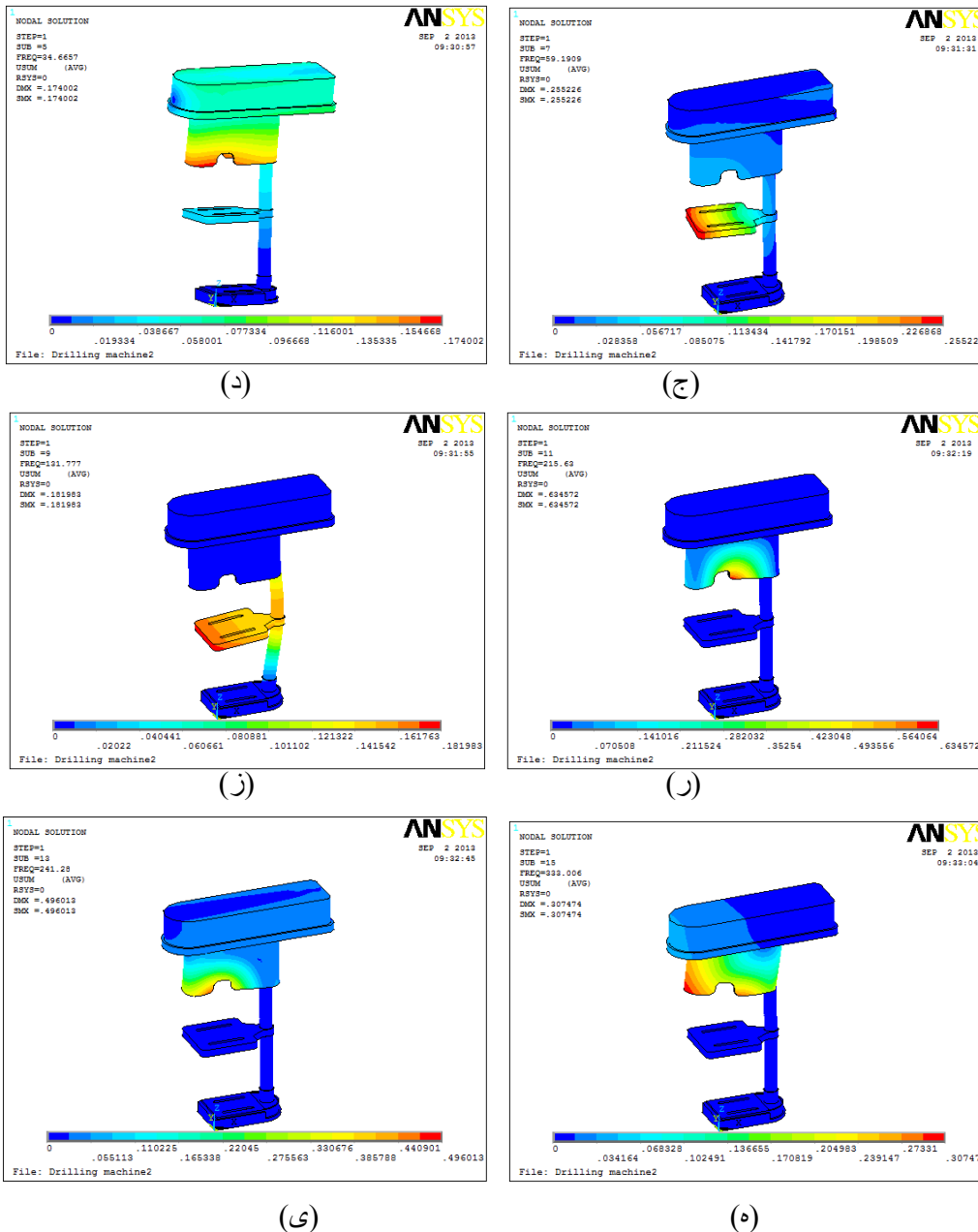
فرکانس طبیعی	ردیف
53/4	1
72/10	2
66/34	3
19/59	4
77/131	5
63/215	6
28/241	7
333	8



(ب)



(الف)



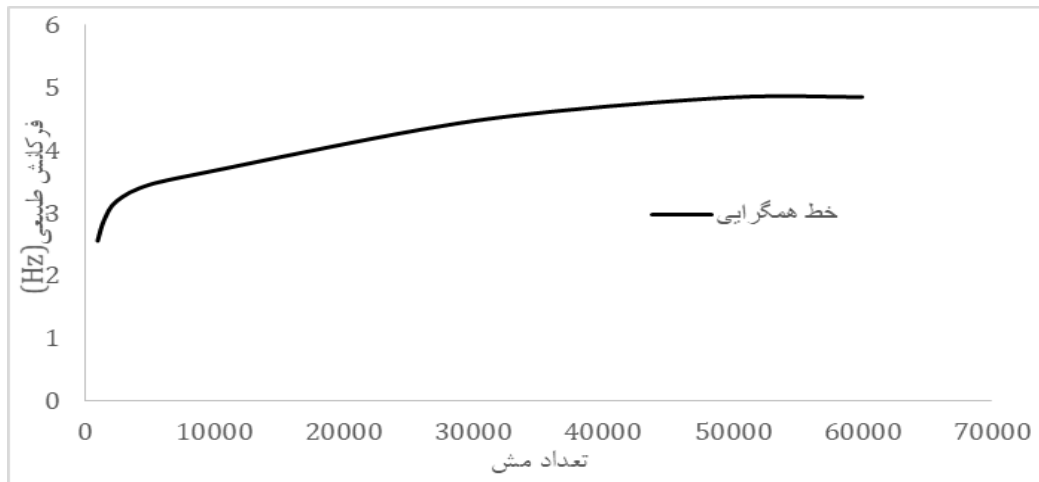
شکل ۴- جابجایی کلی دستگاه در فرکانسهای (الف) ۴/۵۳ (ب) ۱۰/۷۲ (ج) ۳۴/۶۶ (د) ۵۹/۱۹ (ر) ۱۳۱/۷۷ (ز) ۲۱۵/۶۳ (ه) ۲۴۱/۲۸ (ی) ۳۳۳

در این قسمت از مقاله ابتدا نتایج مربوط به فرکانسهای طبیعی اول به روش محاسباتی و با استفاده از تحلیل مودال با نرم افزار المان محدود در جدول ۲ مقایسه گردیده است.

جدول ۲- مقادیر فرکانسهای طبیعی سازه در بازه ۰-۵۰۰ هرتز

فرکانس طبیعی اول		
ANSYS	با سختی حاصل از روش المان محدود	با سختی حاصل از روش محاسباتی
53/4	28/4	9499/3

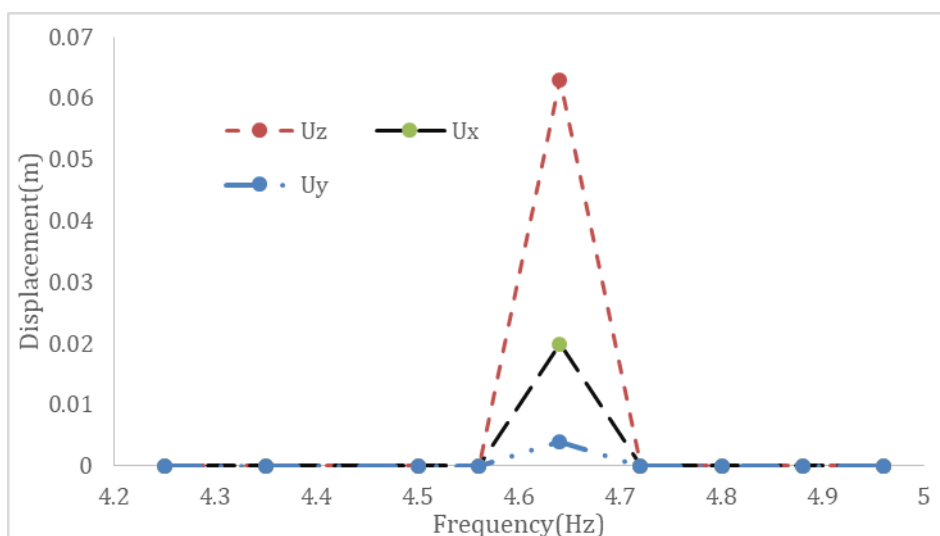
برای اینکه از صحت جوابهای بدست آمده از روش اجزاء محدود اطمینان خاطر بدست آید، برای تعداد مختلف مش بندی جوابهای فرکانس طبیعی بدست آمده است. چون روش اجزاء محدود همواره سختی سازه را بیش از اندازه واقعی تخمین میزند پس با افزایش تعداد المانهای میتوان سختی سازه را در حد قابل قبولی کاهش داد. همواره جوابهای بدست آمده باید به صورت یکنواخت به جواب دقیق همگرا شوند. برای این منظور همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است استقلال از مش بندی کاملاً مشهود می باشد. در این مقاله از المان سه بعدی ۴ وجهی ۶ گرهی که در هر گره سه درجه آزادی جابجایی را دارد استفاده شده است.



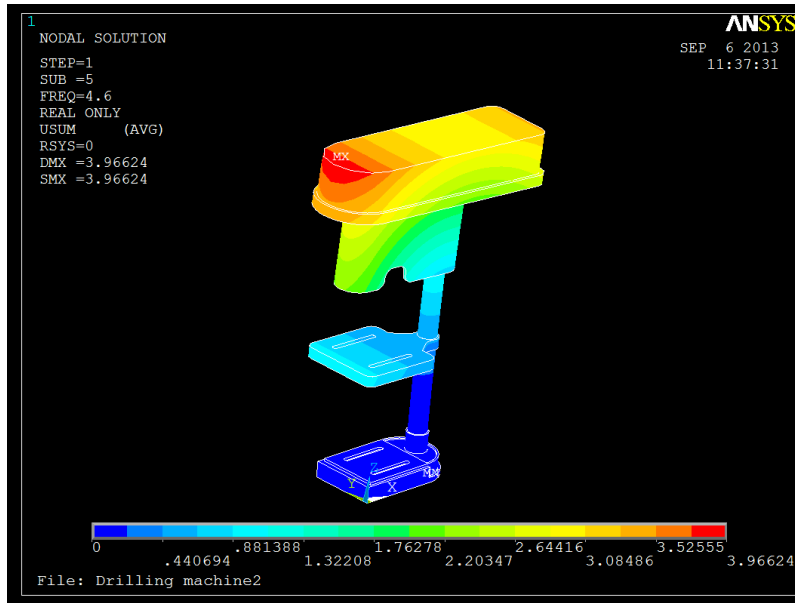
شکل ۵- خط همگرایی - استقلال از مش

با توجه به نتایج تحلیل مودال که در جدول ۱، تعداد فرکانس های طبیعی سازه در محدوده ۰ تا ۵۰۰ هرتز، ۱۲ تا می باشد اما فقط آن فرکانس هایی مورد تحلیل هارمونیک قرار می گیرند که نزدیک به فرکانس های اجباری باشند. این فرکانس ها عبارتند از: ۴/۵۳، ۱۰/۷۲، ۳۴/۶۶، ۵۹/۱۹ هرتز.

برای فرکانس های ۴/۵۳ هرتز، محدوده ۴/۲-۵ هرتز در نظر گرفته شده و تحلیل هارمونیک روی ماشین دریل انجام شده است. در شکل ۴ مقادیر جابجایی ماشین دریل در این محدوده در جهات x ، y ، z نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می شود که در فرکانس ۴/۶۴ هرتز تشدید روی می دهد. در شکل ۶ جابجایی کلی ماشین دریل در این فرکانس نمایش داده شده است.



شکل ۶- مقادیر جابجایی (بر حسب متر) در جهات x ، y ، z در محدوده فرکانسی ۴/۲ - ۵ هرتز

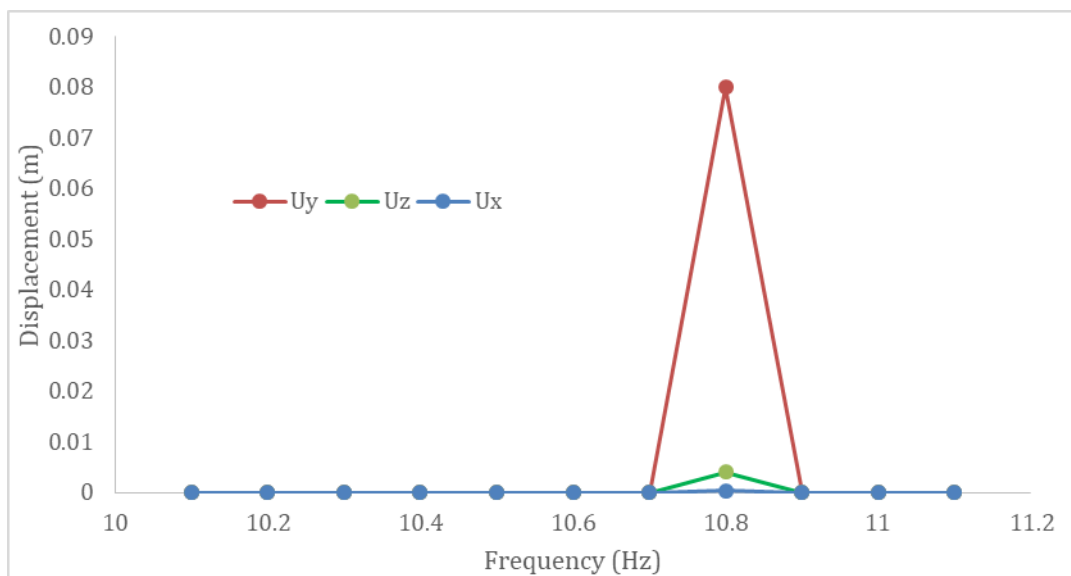


شکل ۷- نمایش جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس تشدید ۴/۶۴ هرتز

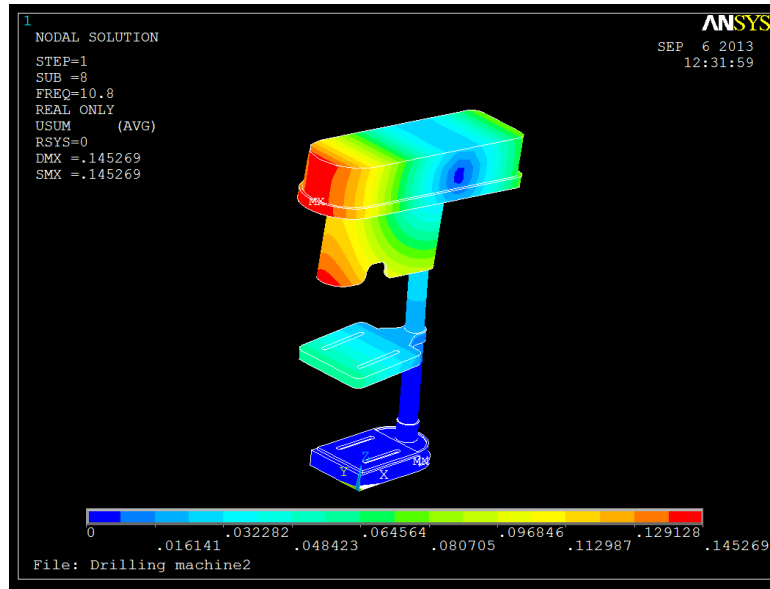
برای فرکانس ۱۰/۷۲ هرتز، محدوده ۱۰-۱۱ هرتز در نظر گرفته شده و تحلیل هارمونیک روی ماشین دریل انجام شده است. در شکل ۷ مقادیر جابجایی ماشین دریل در این محدوده در جهات X, Y, Z بصورت جداگانه نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می شود که در فرکانس ۱۰/۸ هرتز تشدید روی می دهد. در شکل ۸ جابجایی کلی ماشین دریل در این فرکانس نمایش داده شده است.

برای فرکانس ۳۴/۶۶ هرتز، محدوده ۳۴-۳۷ هرتز در نظر گرفته شده و تحلیل هارمونیک روی ماشین دریل انجام شده است. در شکل ۹ مقادیر جابجایی ماشین دریل در این محدوده در جهات X, Y, Z بصورت جداگانه نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می شود که در فرکانس ۳۵/۰۵ هرتز تشدید روی می دهد. در شکل ۱۰ جابجایی کلی ماشین دریل در این فرکانس نمایش داده شده است.

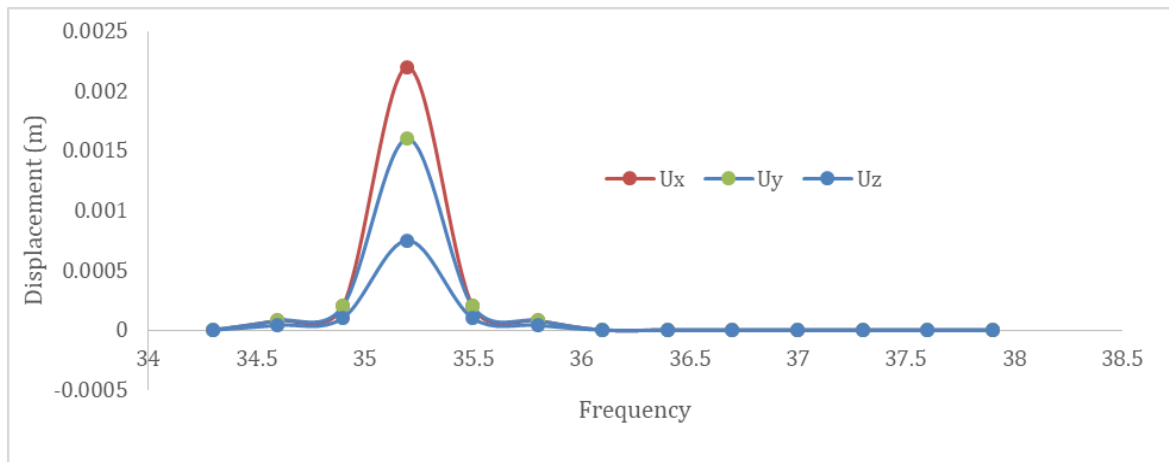
برای فرکانس ۵۹/۱۹ هرتز، محدوده ۵۰-۶۰ هرتز در نظر گرفته شده و تحلیل هارمونیک روی ماشین دریل انجام شده است. در شکل ۱۱ مقادیر جابجایی ماشین دریل در این محدوده در جهات X, Y, Z بصورت جداگانه نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می شود که در فرکانس ۵۹ هرتز تشدید روی می دهد. در شکل ۱۲ جابجایی کلی ماشین دریل در این فرکانس نمایش داده شده است.



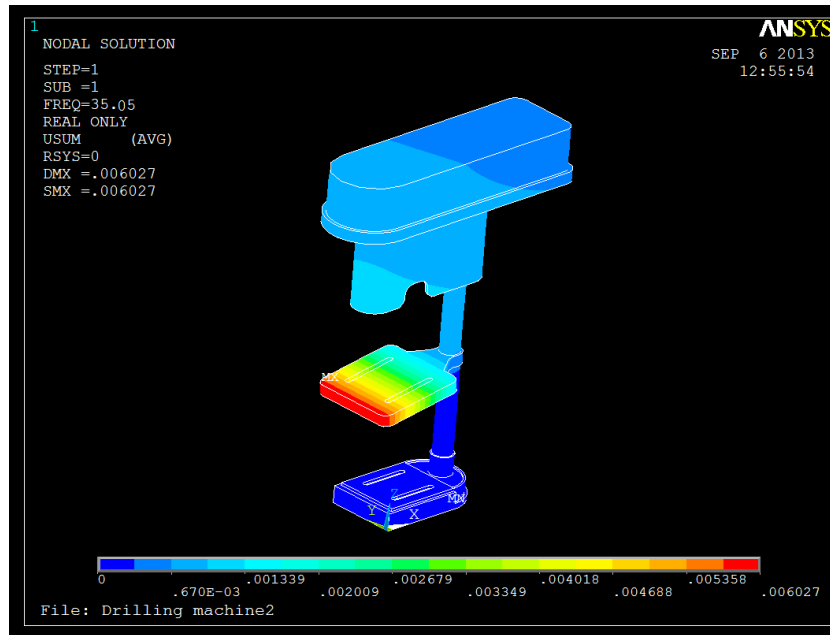
شکل ۸- مقادیر جابجایی (بر حسب متر) در جهات X, Y, Z در محدوده فرکانسی ۱۰-۱۱ تحریک



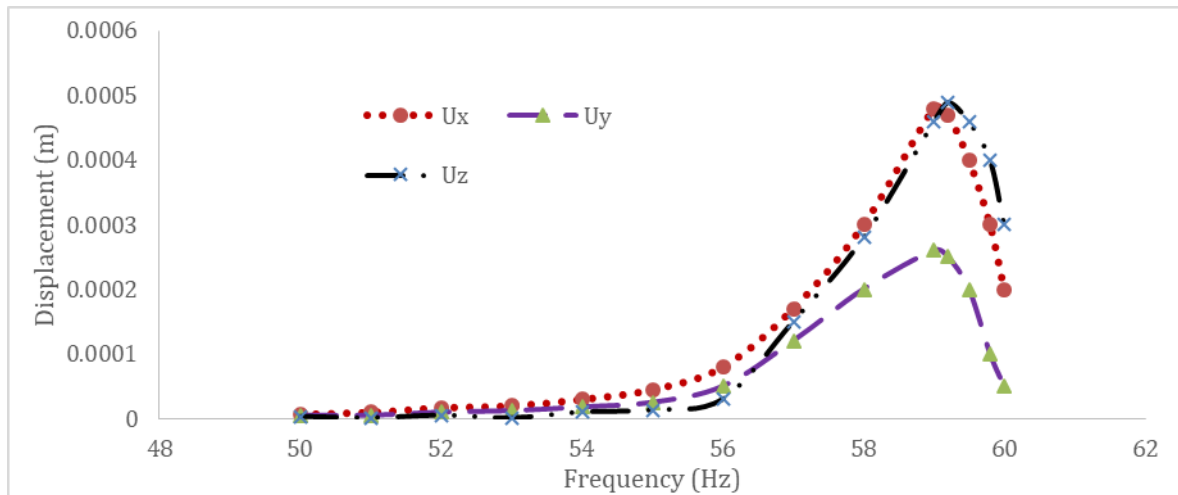
شکل ۹- نمایش جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس تشدید ۱۰/۸ هرتز



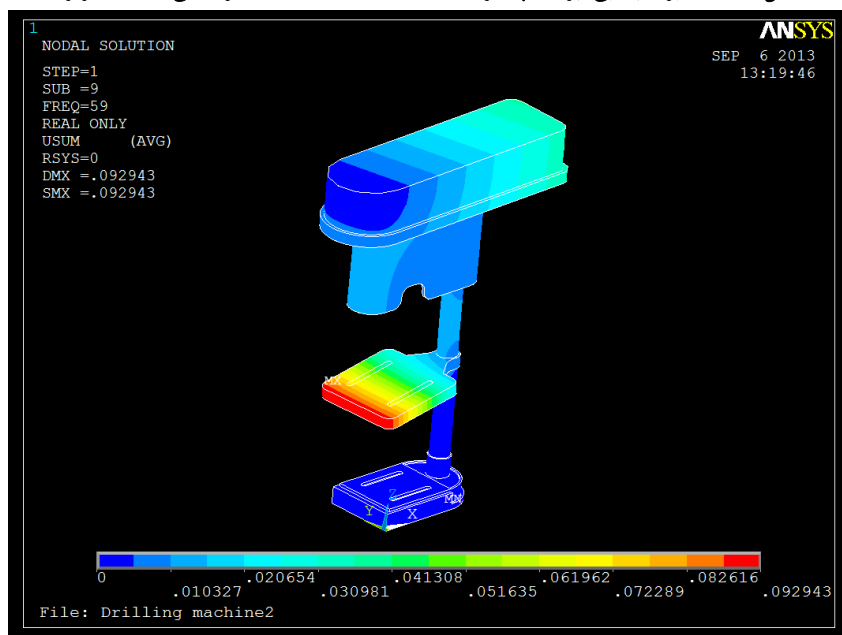
شکل ۱۰- مقادیر جابجایی (بر حسب متر) در جهات X، Y و Z در محدوده فرکانسی ۳۴-۳۷ هرتز



شکل ۱۱- نمایش جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس تشدید ۳۵/۰۵ هرتز

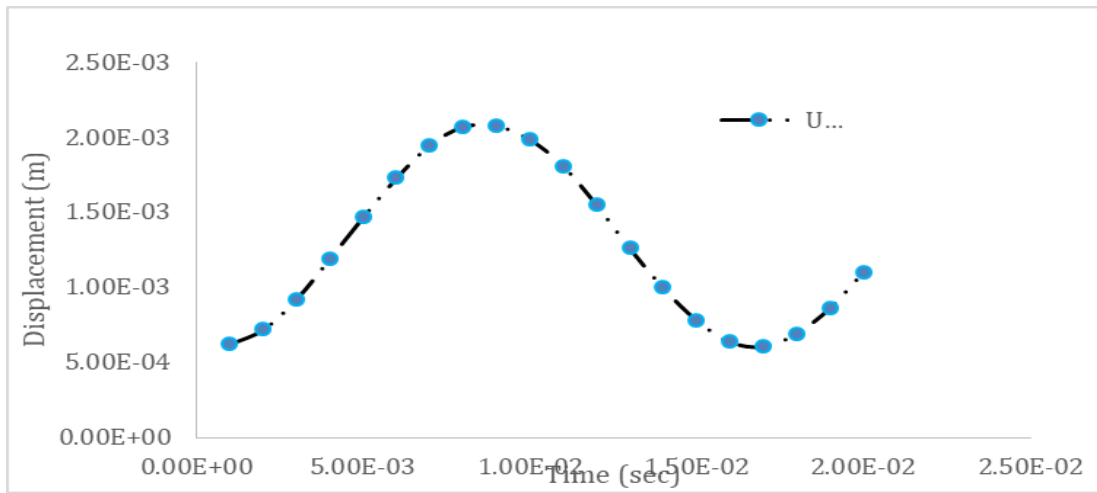


شکل ۱۲- مقادیر جابجایی (بر حسب متر) در جهات X، Y و Z در محدوده فرکانسی ۵۰-۶۰ هرتز

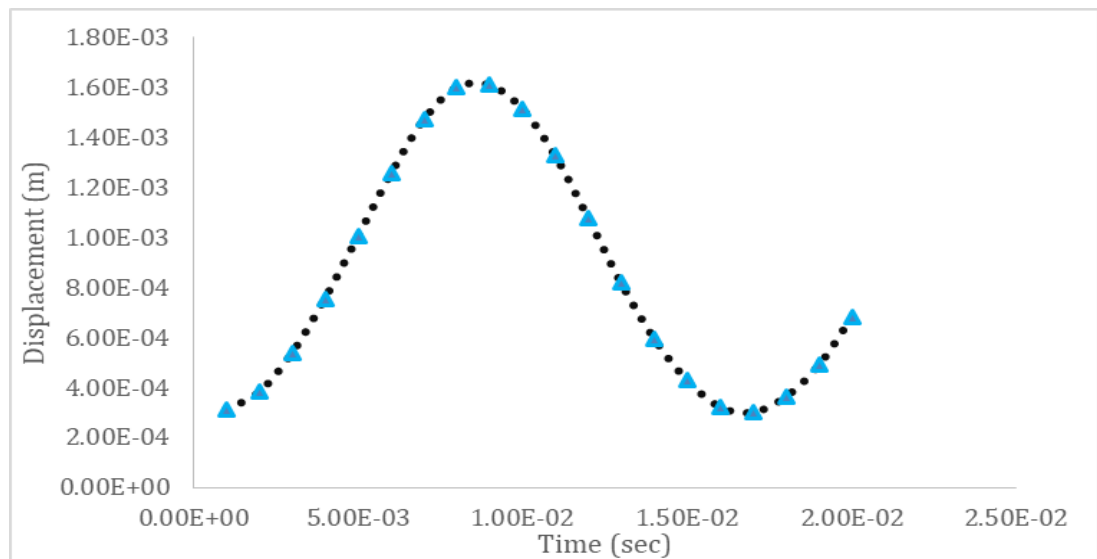


شکل ۱۳- نمایش جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس شدید ۵۹ هرتز

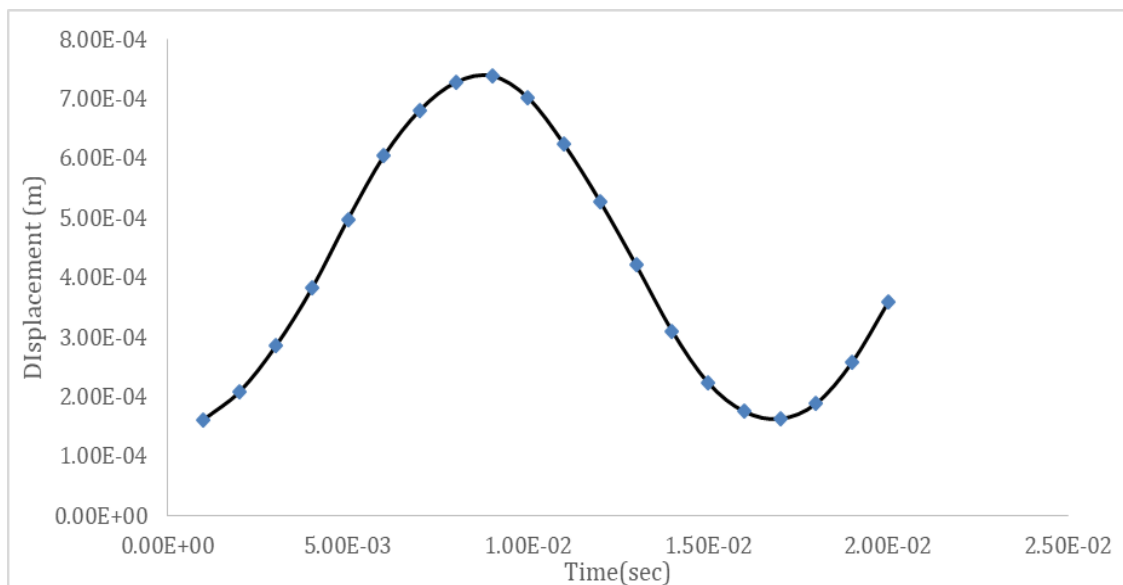
همانطور که از شکل های فوق پیداست در فرکانسهای ۴/۶۴ هرتز و ۱۰/۸ هرتز، بیشترین جابجایی مربوط به کلگی و در فرکانس های ۳۵/۰۵ هرتز و ۵۹ هرتز، بیشترین جابجایی مربوط به میز دستگاه می باشد. طراح می تواند با داشتن داده هایی همچون نیروها و یا گشتاورهای براده برداری، مقدار و فرکانس نیروهای آشفته سازی و ... ماشین ابزار را چنان طراحی کند که فرکانس های طبیعی بخشهای مختلف سازه به فرکانس های اجباری نرسند. به منظور اینکه جوابهای بدست آمده از تحلیل هارمونیک اثرات غیر خطی را منظور نمیکنند به خاطر اینکه جوابهای بدست آمده با دقت بیشتری محاسبه گردند از تحلیل گذرا که اثرات غیر خطی نیز در تحلیل منظور گردند استفاده شده است و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحلیل هارمونیک مقایسه و صحت سنجی شده است. در شکل ۱۴ مقدار جابجایی در راستای X در فرکانس ۳۴ الی ۳۷ هرتز نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۵ و شکل ۱۶ جابجایی های در راستای Y و Z نشان داده شده است. مشاهده می شود که نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از تحلیل هارمونیک همخوانی خوبی دارند.



شکل ۱۴- مقادیر جابجایی در راستای X (بر حسب متر) در محدوده فرکانسی ۳۴-۳۷ هرتز با آنالیز گذرا

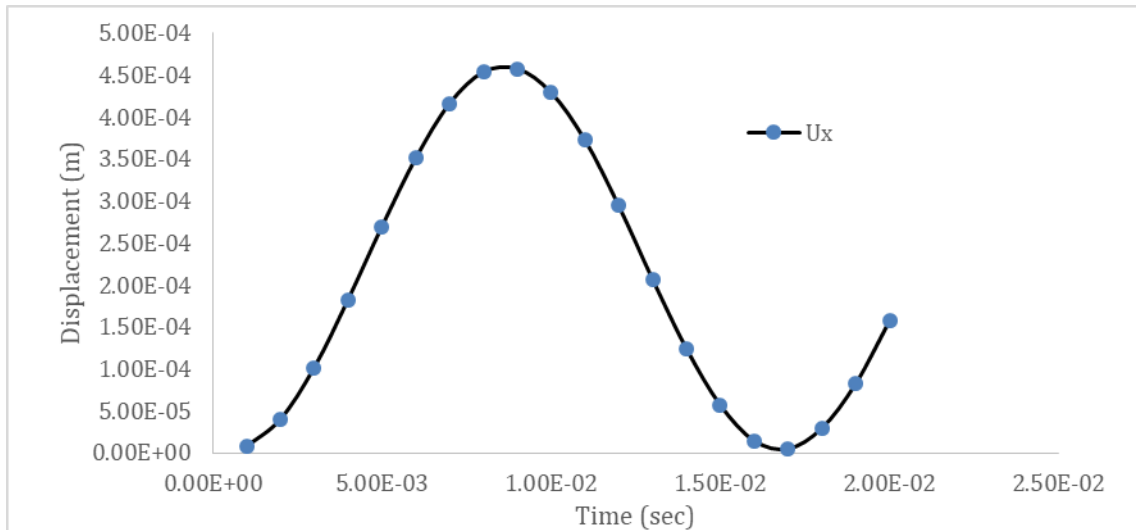


شکل ۱۵- مقادیر جابجایی در راستای Y (بر حسب متر) در محدوده فرکانسی ۳۴-۳۷ هرتز با آنالیز گذرا

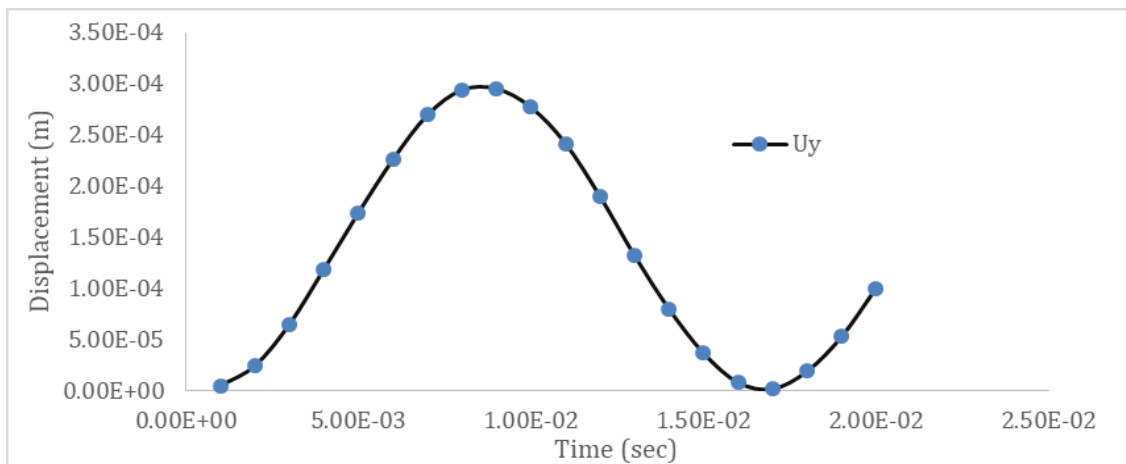


شکل ۱۶- مقادیر جابجایی در راستای Z (بر حسب متر) در محدوده فرکانسی ۳۴-۳۷ هرتز با آنالیز گذرا

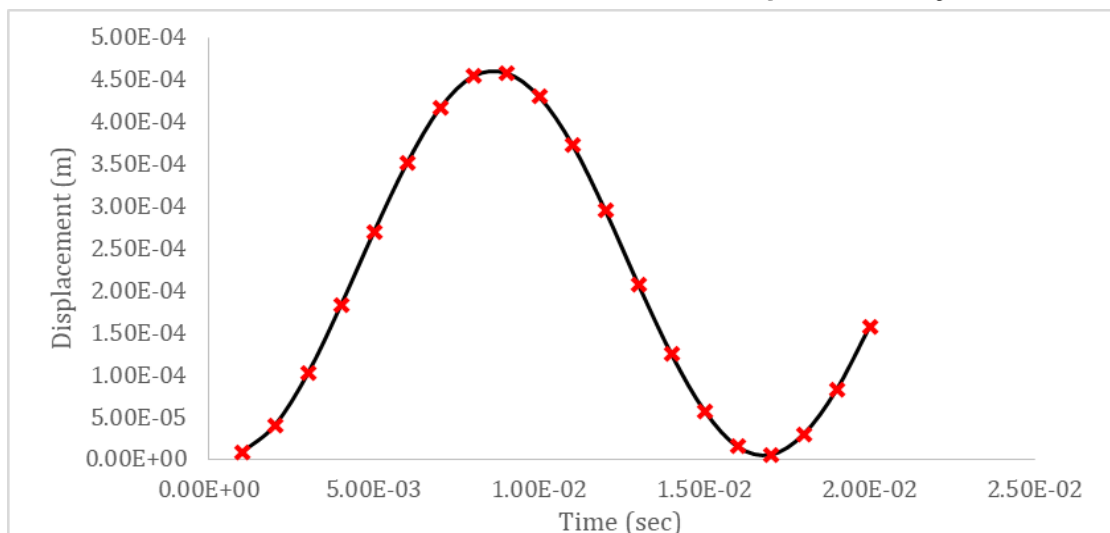
در اشکال ۱۷، ۱۸ و ۱۹ جابجایی در راستاهای X و Y و Z برای فرکانس در محدوده ۵۰ الی ۶۰ هرتز نشان داده شده است. جابجایی های بدست آمده از هر دو تحلیل دارای همخوانی نسبتاً خوبی می باشند.



شکل ۱۷ - مقادیر جابجایی در راستای X (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۵۰-۶۰ هرتز با آنالیز گذرا

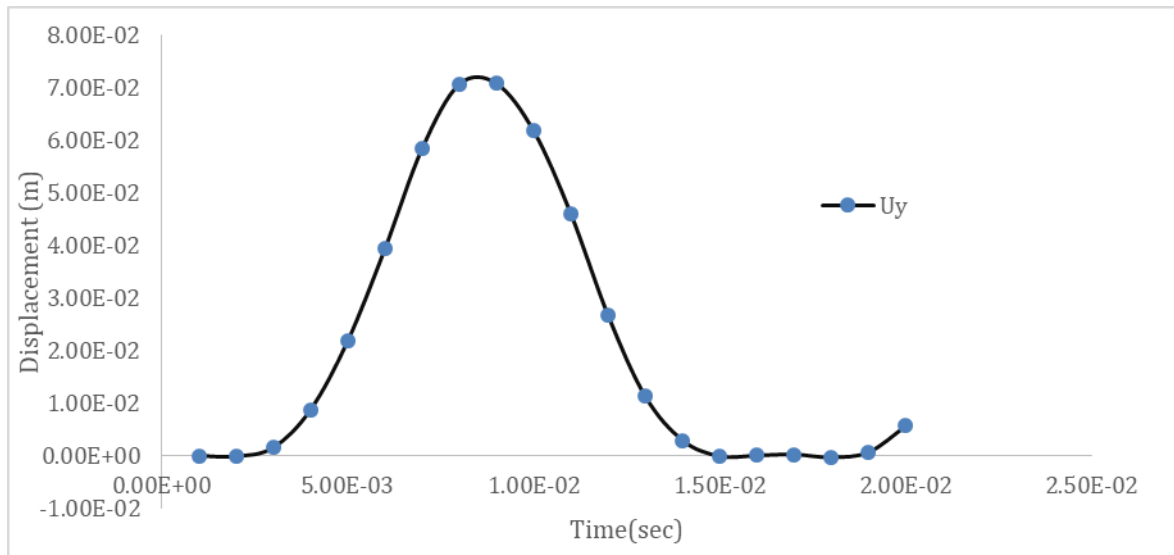


شکل ۱۸ - مقادیر جابجایی در راستای Y (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۵۰-۶۰ هرتز با آنالیز گذرا

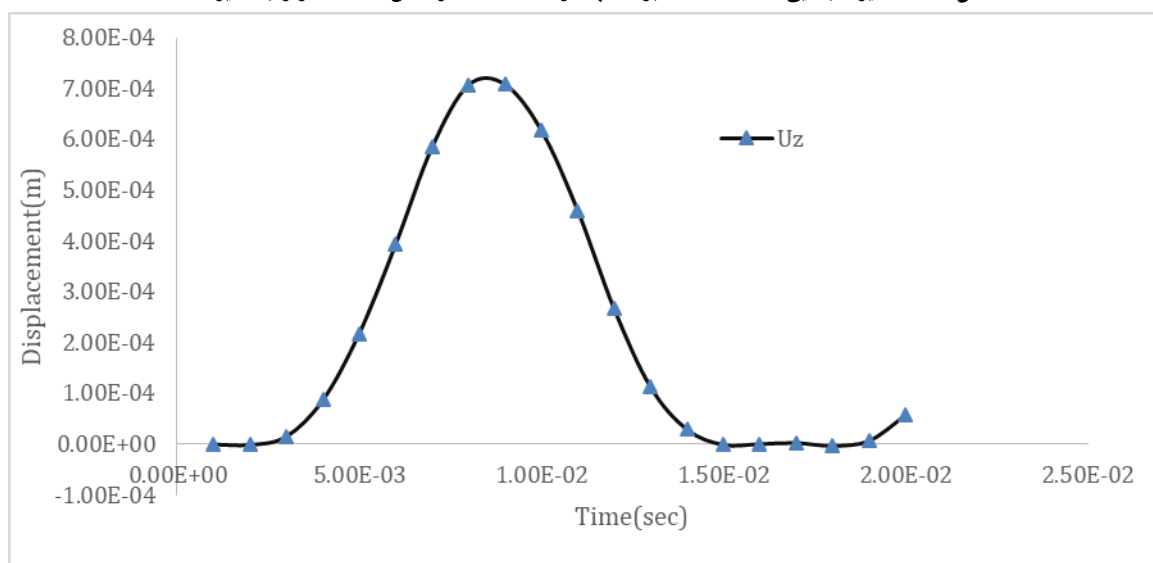


شکل ۱۹ - مقادیر جابجایی در راستای Z (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۵۰-۶۰ هرتز با آنالیز گذرا

در نهایت در شکل ۲۰ و ۲۱ جابجاییهای در راستای Y و Z در محدوده فرکانسی ۱۰ الی ۱۱ هرتز نشان داده شده است. بدلیل جابجایی بسیار کم در راستای X از ترسیم این نمودار صرف نظر شده است.

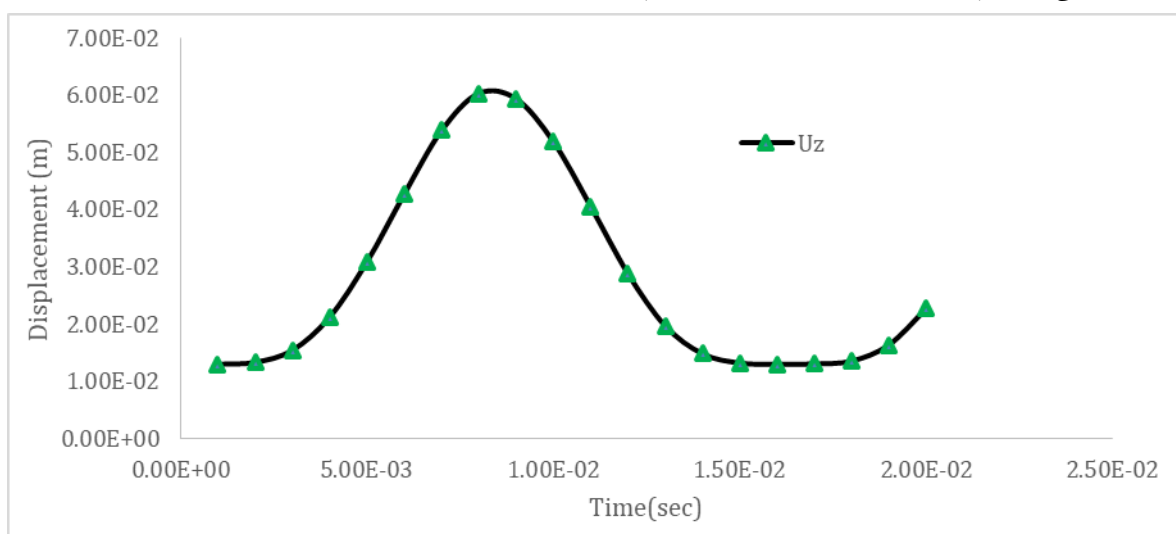


شکل ۲۰- مقادیر جابجایی در راستای Y (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۱۱-۱۰ هرتز با آنالیز گذرا

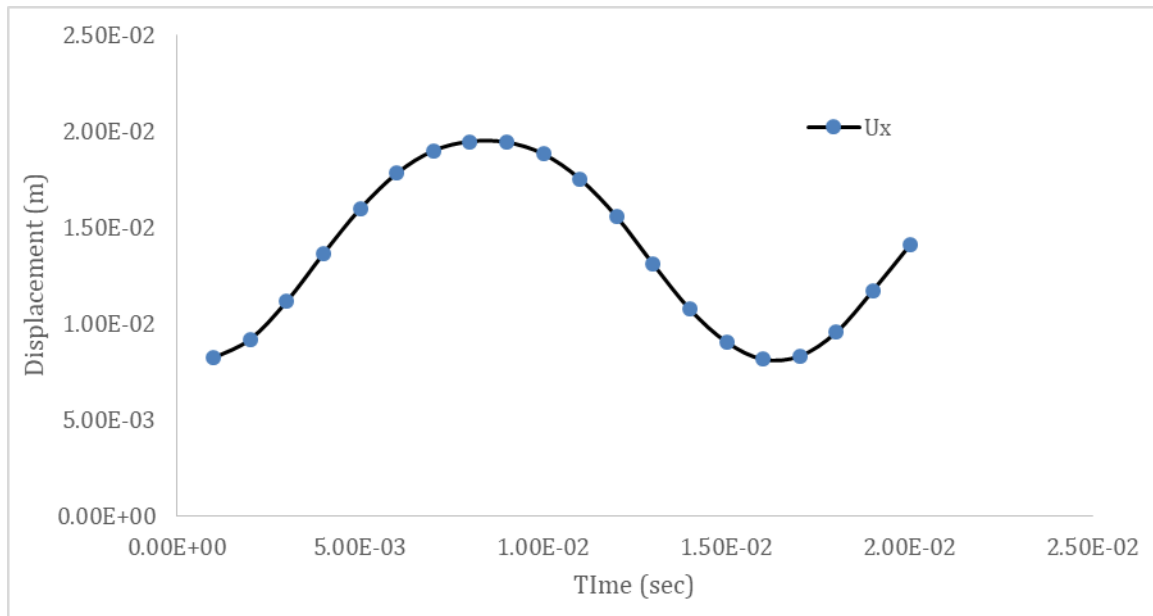


شکل ۲۱- مقادیر جابجایی در راستای Z (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۱۱-۱۰ هرتز با آنالیز گذرا

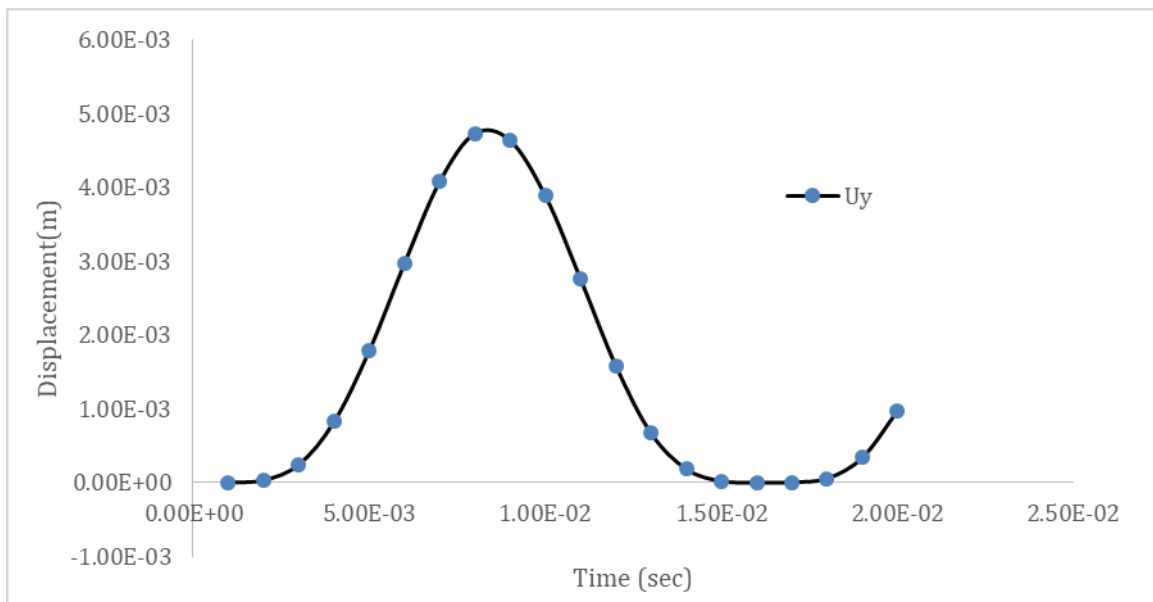
در شکل ۲۲ مقدار جابجایی در راستای Z برای محدوده فرکانسی ۴.۲ الی ۵ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۲۳ و ۲۴ مقادیر جابجایی بر حسب زمان در راستاهای X و Y به ترتیب نشان داده شده است.



شکل ۲۲- مقادیر جابجایی در راستای Z (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۴.۲-۵ هرتز با آنالیز گذرا



شکل ۲۳- مقادیر جابجایی در راستای X (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۴.۲-۵ هرتز با آنالیز گذرا



شکل ۲۴- مقادیر جابجایی در راستای Y (بر حسب متر) در محدوده فرکانس ۴.۲-۵ هرتز با آنالیز گذرا

جدول ۳ نشان دهنده مقایسه دو روش هارمونیک و گذرا برای حالت‌های مختلف محدوده فرکانسی می باشد. لازم به ذکر است که بارگذاری در آنالیز گذرا در محدوده ذکر شده در بخش قبل می باشد.

جدول ۳- مقایسه دو روش هارمونیک و گذرا برای حالت‌های مختلف محدوده فرکانسی

نوع تحلیل	محدوده فرکانسی	جابجایی در راستای X	جابجایی در راستای Y	جابجایی در راستای Z
هارمونیک	4.2-5	0.019	0.004	0.06
گذرا	4.2-5	0.0195	0.0047	0.0603
هارمونیک	10-11	-	0.079	0.004
گذرا	10-11	-	0.0707	0.003
هارمونیک	34-37	0.0022	0.0016	0.00075
گذرا	37-34	0.002	0.00161	0.00077
هارمونیک	50-60	0.00046	0.00026	0.00047
گذرا	50-60	0.00047	0.00029	0.00458

با مشاهده نتایج بدست آمده از تحلیل های مودال که فرکانس طبیعی سیستم در مدهای ارتعاشی را می دهد و با تحلیل هارمونیک که بدون در نظر گرفتن اثرات خطی، جابجایی دستگاه دریل نشان داده شد و در نهایت با استفاده از تحلیل گذرا نتایج جابجایی دستگاه دریل با نتایج بدست آمده از تحلیل هارمونیک مشاهده و صحت سنجی گردید. با مطالعه جدول ۳ می توان مشاهده کرد که نتایج همخوانی خوبی با یکدیگر دارند. در رابطه با اینکه چگونه می توان اثرات ارتعاش دستگاه دریل را کاهش داد، استفاده از جاذبه های ارتعاشی و انرژی و همچنین با بررسی تکیه گاهها و تعداد آنها اثرات ارتعاش را کاهش داد. در این مقاله فرکانس های طبیعی دستگاه دریل محاسبه گردید و با استفاده از این فرکانس های طبیعی می توان به نحوی ارتعاش دستگاه را کنترل کرد که فرکانس ایجاد شده از ارتعاش هنگام کار با دستگاه روی فرکانس طبیعی سازه نیافتد و باعث اثر تشدید یا رزونانس نشود.

۲- نتیجه گیری

در این مقاله تجزیه و تحلیل نرم افزاری ارتعاشات آزاد و اجباری دستگاه دریل به روش المان محدود بررسی شد. تحقیق حاضر بر روی دستگاه دریل مدل ۲۰MS ساخت شرکت ماشین سازی تبریز انجام شد. محاسبه نیروهای سوراخکاری و تحلیل ارتعاشات دستگاه و بهینه سازی آن به ایجاد سطوح با کیفیت و با دقت بالا کمک میکند. با توجه به محاسبات انجام شده مقدار حداکثر و حداقل نیروی براده برداری ۲۹۷۵۰ و ۵/۸ نیوتن بدست آمد. معادلات ارتعاشی اجزای مختلف دستگاه بررسی شد و سپس ارتعاشات آزاد و اجباری دستگاه به دو روش تحلیل معادلات ارتعاشی نوشته شده و تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار المان محدود (ANSYS) بررسی شد. در تحلیل ارتعاشات با توجه به ساده سازی های انجام شده، اجزای دستگاه به صورت جرم متمرکز و خطی در نظر گرفته شد. بررسی نتایج نشان می دهد درصد خطای کمی بین نتایج تحلیل ارتعاشات دستگاه به روش المان محدود و حل معادلات ارتعاشی به صورت تئوری وجود دارد، اما با صرف نظر از این خطا تقریباً نتایج یکسانی در مورد فرکانسهای طبیعی اول دستگاه به دست می آید. ملاحظه می شود نتایج مربوط به روش حل معادلات ارتعاشی با استفاده از سختی به دست آمده از روش اجزای محدود به نتایج تحلیل ارتعاشات آزاد با استفاده از نرم افزار ANSYS نزدیک تر است زیرا در روش سختی حاصل از محاسبات تحلیلی و دستی از بسیاری از جزئیات صرف نظر شده است بنابراین نتایج حاصل از روش اجزای محدود دقیقتر است. ارتعاشات اجباری ماشین دریل حاصل از نیروهای تناوبی درون سیستم، از قبیل جرمهای چرخان نامتوازن و یا درگیری منقطع لبه های برش مته است. در این حالت ماشین، با فرکانس اجباری نوسان می کند و اگر این فرکانس با یکی از فرکانسهای طبیعی سازه متناظر باشد، پدیده تشدید اتفاق می افتد. مطابق محاسبات، فرکانسهای تحریک در ماشین مورد نظر برابر ۶/۶۷، ۱۱/۶۷، ۱۹/۱۷، ۲۹/۱۷ هرتز میباشد، بدین ترتیب هنگام آنالیز هارمونیک، فرکانس های طبیعی مورد بررسی قرار گرفت که نزدیک به فرکانس های بالا بودند. سپس مقادیر جابجایی ماشین دریل در جهات X, Y, Z در محدوده فرکانسی فوق بررسی شد و جابجایی کلی ماشین دریل در فرکانس تشدید نمایش داده شد. در نهایت به منظور مقایسه دو تحلیل هارمونیک و گذرا که اثرات غیرخطی منظور گردیده است. محاسبه و نتایج مقایسه گردید. برای دستگاه دریل مذکور نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی گذرا دقیقتر و صحیح تر می باشند.

۳- مراجع

۱. لهامی، م.، و حیدری، م.، ۱۳۸۷. تحلیل ارتعاشی و طراحی جاذب دینامیکی برای یک دستگاه دریل عمودی. مجله علمی پژوهشی مکانیکی مجلسی، سال دوم، شماره دوم.

2. Akesson, H., Smirnova, T., Håkansson, L., 2009. Analysis of dynamic properties of
3. Chern, G. L., Liang, J., 2007. Study on boring and drilling with vibration cutting. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 47, Issue 1, Pages 133-140.
4. Duncan, G. S., Tummond, M. F., Schmitz, T. L., 2005. An investigation of the dynamic absorber effect in high-speed machining. Int. J. Machine Tools & Manufacture 45, 497-507.
5. Endo, H., Murahashi, T., Marui, E., 2007. Accuracy estimation of drilled holes with small diameter and influence of drill parameter on the machining accuracy when drilling in mild steel sheet. International Journal of Machine Tools and Manufacture, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.02.001.

6. Moetakef-Imani, B., N.Z., Yussefian, 2009. Dynamic simulation of boring process, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 49, Issue 14, Pages 1096–1103.
7. Natarajan, R., 1976. Analysis of a radial drilling machine structure using finite element method. Computers & Structures; 6(1):55-60. DOI: 10.1016/0045-7949(76)90073-0.
8. Rubio, L., Loya, J.A., Miguélez, M.H., Fernández-Sáez, J., 2013. Optimization of passive vibration absorbers to reduce chatter in boring. Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 41, Issues 1–2, Pages 691–704.