

اندازه گیری ارتعاشات در میز های هوایی ماشین های فوق دقیق با تعداد حوضچه های متفاوت

مهرداد وحدتی^۱، سید علیرضا رسولی^۲
Vahdati@kntu.ac.ir

چکیده

ارتعاشات در میز های هوایی ماشین های فوق دقیق مانع تحقق دقت های در حد نانو می گردد. انواع ارتعاشات داخلی ، ریز لرزه ها و چکش هوایی ، و عوامل بوجود آورنده آنها در مقاله حاضر بررسی می شوند. و برای کاهش تاثیر آنها پیشنهاد هایی ارائه می گردد. در این مقاله همچنین به آزمایشات ارتعاشی بر روی میز های هوایی ساخته شده با تعداد حوضچه های هوایی متفاوت نیز پرداخته شده است. فشار های بحرانی، تحلیل ارتعاشات خود تحریک و پیش بینی رفتار نقاط مختلف میز (که ممکن است بر آن ابزار یا قطعه کار بسته شود) توسط داده های مختلف ارتعاشی، از نتایج آزمایشات است.

کلیدواژه:

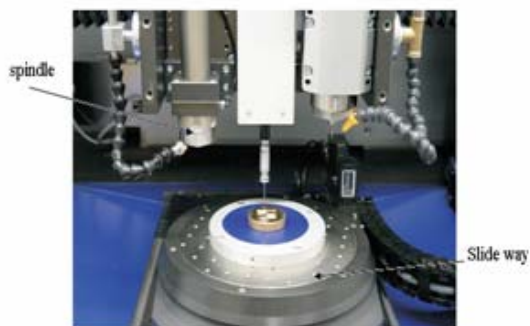
ماشین های فوق دقیق- میز هوایی- ارتعاشات- آزمایشات ارتعاشی- حوضچه هوایی

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی seyedalirezarasouli@gmail.com

۱- مقدمه

هوا، این ماشینها دارای کمترین نیروی اصطکاک هستند. در شکل (۱) تصویر نوعی ماشین UPM دیده می شود [۱].



شکل (۱) دستگاه UPM (کله گی و میز هوایی) [۱]

۱-۲- میز هوایی

مهم ترین وظیفه میز در ماشین ابزار فوق دقیق، ایجاد حرکت های دقیق برای قطعه کار یا ابزار برشی و هدایت آنها میباشد. به همین دلیل معمولاً از کشویی های آئرواستاتیک یا هیدرواستاتیک بعنوان میز استفاده میشود. میز شامل دو بخش اصلی راهنما^۵ و لغزنده^۶ می باشد که در شکل (۲) مشخص شده است. صلبیت میز متاثر از مقدار بار روی آن می باشد و معمولاً سعی می شود که بار گذاری در محدوده پایدار آن صورت گیرد.



شکل (۲): میز هوایی

میز ماشین فوق دقیق دارای تعدادی بالشتک هوا می باشد که تعداد آنها بستگی به طراحی میز دارد. در برخی مدلها، هوای فشرده قبل از داخل شدن به بالشتک ها از محدود کننده ها عبور کرده تا بین دو یا چند سلول هوا تعادل برقرار گردد. در این حالت لایه فشرده ای از سیال بین دو سطح میز ایجاد شده و روی بالشتک های هوا و یا روغن به صورت شناور قرار می گیرد. و دو سطح به آسانی بر روی

رشد صنایع همواره با تولد تکنولوژیهای نو و نیاز به سیستم های دقیق و حساس همراه بوده است. در ساخت تجهیزات بسیار ریز مثل میکروروباتها، هارد دیسک های کامپیوتر یا قالب های دیسک های CD، تولید و تراش آینه های چند وجهی و سیستم های نوری ... احتیاج به بکارگیری تکنولوژیهای نوین و دستگاههای بسیار دقیق می باشد. یکی از این دستگاهها که برای تولید و تراش قالب لنز های چشمی و عدسیهای نوری نیز بکار میروند، دستگاه^۱ UPM می باشد. این ماشین ها دارای مکانیزم های حرکتی بسیار دقیق هستند. کله گی و میز این ماشینها روی بالشتک هوا شناور می باشد. حرکت هوای فشرده در فضای کوچک و موازی میز های هوایی باعث ایجاد دقت های بالا در حد نانو میشود. یکی از عوامل کاهش دقت در این گونه وسایل ارتعاش می باشد. هوای فشرده از جمله عوامل تولید ارتعاش می باشد که از طریق ایجاد جریان های گردابی^۲ باعث ایجاد ریز لرزه می شود. همچنین پدیده چکش هوایی^۳ ناشی از هوای فشرده تغذیه شده به میز، نیز باعث ایجاد ارتعاشاتی با مقدار دامنه بیشتر می گردد.

در مقاله فوق ابتدا عوامل تولید ارتعاش بررسی می شوند. ریز لرزه ها و چکش هوایی و عوامل بوجود آورنده آنها تحلیل می شوند. سپس اندازه گیری ارتعاش روی دو میز هوایی با تعداد حوضچه متفاوت انجام می گیرد.

هدف آزمایشات بدین صورت بوده است که رفتار میزهای هوایی ساخته شده با تعداد نازل های متفاوت در فشارهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. همچنین تاثیر تعداد حوضچه های هوایی بر روی پدیده چکش هوایی بررسی شده است. میزهای هوایی که بر روی آنها آزمایشات صورت گرفته است، شامل دو میز با تعداد حوضچه های مختلف می باشد.

۲- ماشین های فوق دقیق

ساختمان ماشین های UPM تفاوت چندانی با دیگر ماشین های ابزار ندارد. ولی عمدتاً در ابعاد کوچکتر ساخته میشوند. تنها تفاوت در سیستم های حرکتی آنها میباشد. در کله گی و میز این ماشین ها به جای استفاده از یاتاقانهای معمولی، عموماً از یاتاقانهای هوایی به صورت آئرواستاتیک^۴ استفاده میشود. سطوح متحرک در روی بالشتکی از هوا شناور هستند. به دلیل ضریب اصطکاک بسیار ناچیز

1 - Ultra precision machine

2- Vortex flow

3- Pneumatic hammer

4- Aerostatic

5- Guide way

6- Slider

نیز در لقی در نزدیکی های اریفیس دیده میشود. این جدایی^{۱۳} هوا و تغییر جهت ناگهانی آن باعث کاهش فشار یا همان شکستگی^{۱۴} و انقباض و کاهش فشار در نزدیکی های خروجی اریفیس گشته و باعث بوجود آمدن جریان گردابی می شود. موقعیت و مقدار جریان گردابی به صورت دینامیکی در فضای لقی تغییر می کند. تکرار سریع این پدیده باعث ارتعاشاتی در حد میکرومتر و نانومتر به نام ریز لرزه در یاتاقان های آئرواستاتیکی می گردد. ماهیت جریان خروجی هوا نیز خود می تواند باعث ایجاد ریز لرزه ها در میز هوایی شود. جریان هوا خود به دو نوع آرام و مغشوش طبقه بندی می شود. در جریان مغشوش، گرداب های کوچک باعث ریز لرزه ها می شوند [۳].

۲-۴- ارتعاشات خود تحریک

علاوه بر ریز لرزه ها در میز های هوایی امکان وقوع ارتعاشاتی از نوع خود تحریک نیز وجود دارد. در این قسمت به شرح این نوع ارتعاشات و علل وقوع آن پرداخته شده است. صلبیت سیستم از نکات مهم در طراحی یاتاقان های هوایی می باشد. تا زمانی که صلبیت مشخص و معین نشود پرداختن به سایر پارامتر های طراحی از اهمیت کمی برخوردار است. اگر یاتاقانی بدون توجه به پارامتر صلبیت طراحی شود، احتمال ارتعاشات خود تحریک بسیار زیاد خواهد بود. به دلیل آنکه ارتعاش حتی در زمان توقف ماشین کاری وجود دارد [۴].

این نوع ارتعاشات اغلب با صدای زیر و فرکانس بالا همراه است و به راحتی میتوان با تغییر جرم میز آن را متوقف نمود. این نوع ارتعاش با اسم های مختلفی از قبیل چکش هوایی^{۱۵}، چکش پنوماتیکی^{۱۶} و تشدید خود تحریک، نامیده می شود [۵].

لایه گاز یا مایع بین سطوح یاتاقان خود دارای خواص صلبیتی مشخصی است. در عین حال به دلیل جاری بودن سیال، خواص صلبیت ثابت نبوده و با گذشت زمان تغییر میکند. مکانیسم یاتاقان را به صورت شماتیک میتوان در شکل (۳) ملاحظه نمود. این شکل در واقع مقطعی از یاتاقان کف گرد استوانه ای با نازل و حوضچه مرکزی می باشد. در شرایط ثابت جریانی که به حوضچه وارد میشود M_1 و جریانی که از حوضچه خارج میشود M_2 می باشد. این دو در حالت معمول با هم مساوی هستند. اگر بر یکی از صفحات باری وارد شود، لقی یاتاقان کاهش خواهد یافت. در واقع M_1 و M_2 کاهش پیدا کرده و باعث بالا رفتن فشار حوضچه، P_d ، و جبران بار اضافی می شود.

هم می لغزند. در این حال اصطکاک بسیار ناچیز بوده و تقریباً می توان ضریب اصطکاک را نزدیک به صفر در نظر گرفت.

۲-۲- ارتعاشات در میز هوایی ماشین های فوق دقیق

راهنماهای آئرواستاتیک امروزه در بسیاری از تکنولوژی ها مانند تولید نیمه هادی ها^۷ و یا صنایع هسته ای^۸ کاربرد دارند. این کشویی ها عنصر ضروری ماشین های فوق دقیق می باشند. با افزایش ضرورت رسیدن به دقت هایی در حد نانومتر در علوم و صنایع، راهنماهای آئرو استاتیک در ماشین های فوق دقیق نقش مهمی در این راستا بر عهده دارند. در میز های هوایی یکی از عوامل ارتعاش که جزء عوامل درونی محسوب میشود، لایه هوای موجود در لقی، حوضچه و اریفیس^۹ می باشد [۲]. که با توجه به میزان فشار هوا باعث رفتار های ارتعاشی متفاوت میگردد. لایه هوا باعث عدم تماس فلز با فلز شده و در نتیجه اصطکاک و گرمای ناشی از آن را کاهش داده و عاملی جهت رسیدن به دقت های بالا می گردد. اگر در طراحی میز رفتار آن با دقت بررسی نشود باعث ارتعاش و در نتیجه عدم صلبیت میز هوایی می گردد. در اینجا از پرداختن به عوامل بیرونی مانند نیرو های برش و یا ارتعاشات ماشین های مجاور صرف نظر شده و فقط ارتعاشات ناشی از لایه هوای موجود در لقی و اریفیس بررسی می گردد.

۲-۳- ریز لرزه ها^{۱۰}

یکی از ناپایداری هایی که در میز های هوایی اتفاق می افتد ریز لرزه می باشد، که باید سعی در حداقل نمودن آن شود. تاکنون روابط بین جریان هوا و ارتعاشات در یاتاقان های آئرواستاتیک بصورت دقیق و کمی آنالیز نشده است [۲]. همواره در طراحی راهنماهای آئرواستاتیک بر روی صلابت و اصطکاک مطالعه کمی صورت گرفته و به ریز لرزه ها اهمیت کمی داده شده است. اما از آنجا که این ریز لرزه ها مانع رسیدن به دقت های نانومتری میشوند بررسی عوامل بوجود آورنده، و ارائه راه حل برای کاهش آنها ضروری است. جریان هوای موجود در لقی و اریفیس از طریق ایجاد حرکت مغشوش^{۱۱} و جریان های گردابی^{۱۲} ریز لرزه ها را بوجود می آورد. جریان ورودی هوا با سرعت بالا از طریق اریفیس به سمت لقی بسیار کوچک حرکت می کند. سپس به سطح مقابل با شدت برخورد کرده و مجبور است که تغییر جهت ۹۰ درجه ای بدهد و موازی با فضای لقی یاتاقان از محیط خارج شود. به علت تغییر ناگهانی جهت، جریان مغشوش در خروجی اریفیس اتفاق می افتد. جریان گردابی

7- Semiconductor

8- Nuclear power

9- Orifice

10- Small vibration

11- Turbulence air flow

12- Vortex flow

13- Separation

14- Flow contraction

15- Air hammer

16- Pneumatic hammer

۲-۵- عوامل موثر بر ارتعاشات خود تحریک

براساس مطالعات انجام گرفته عوامل موثر بر ارتعاشات در میزهای ماشینهای ابزار فوق دقیق متنوع می باشند. از جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد [۱۴]:

۱- عمق حوضچه

۲- تفاوت بین فشار ورودی و فشار حوضچه

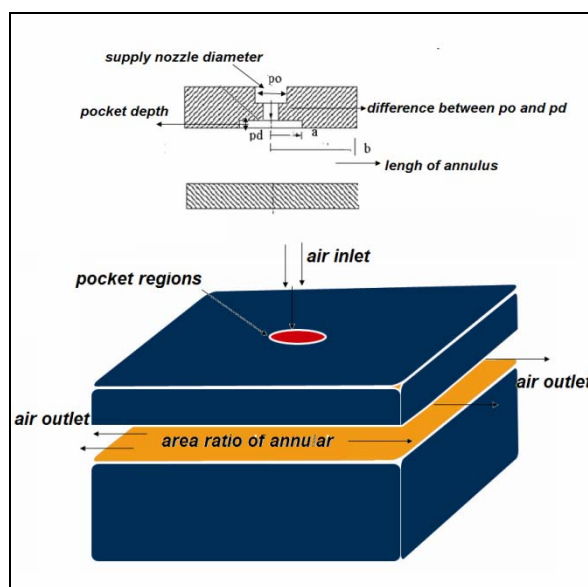
۳- جرم سیستم

۴- قطر نازل ورودی

۵- طول (شعاع) مسیر خروجی هوا

۶- نسبت مساحت خروج هوا نسبت به ناحیه حوضچه.

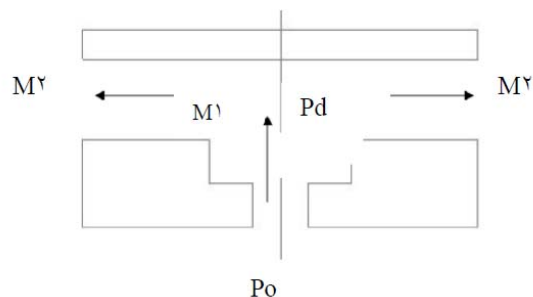
شکل (۴) پارامترهای ذکر شده را نشان می دهد. در طراحی میزهای هوایی جهت کاهش ارتعاشات خود تحریک عمق حوضچه، تفاوت بین فشار ورودی و فشار حوضچه، و جرم سیستم باید در حداقل مقدار خود در نظر گرفته شوند. همچنین قطر نازل، طول شعاع خروجی هوا، و نسبت مساحت خروج هوا به مساحت ناحیه حوضچه باید بصورت حداکثر در نظر گرفته شوند [۷].



شکل (۴): عوامل موثر بر ارتعاشات خود تحریک [۱۴]

تغییرات گفته شده منتهی به کاهش تاثیر حجم حوضچه و یا افزایش تاثیر لایه فشرده و یا هردو میشود. تاثیر تفاوت بین فشار ورودی و خروجی فورا قابل مشاهده نیست. همچنین هرچه جرم سیستم کمتر باشد فرکانس طبیعی مجموعه بیشتر بوده و پدیده تشدید کمتر رخ می دهد. در شرایطی که جریان ورودی به حوضچه، سریع به تغییرات فشار حوضچه پاسخ می دهد، حداقل کردن این اختلاف ضروری به نظر میرسد. تفاوت فشار زیاد باعث خفگی و

با توجه به شکل (۳) و مقدار جریان های ورودی و خروجی می توان ارتعاشات پنوماتیکی را توضیح داد. دو عامل اساسی در این پدیده موثرند. در اثر این دو عامل جریان ورودی در هر لحظه با جریان خروجی برابر نمی شود. یک عامل فشردگی لایه هوا^{۱۷} می باشد که بر میزان جریان خروجی تاثیر گذاشته و باعث کاهش آن می گردد. فشار متناسب با کاهش مقدار M_2 و پائین آمدن صفحه بالایی افزایش پیدا می کند. میزان افزایش فشار متناسب با سرعت پایین آمدن صفحه بالایی می باشد. در واقع تغییرات فشار در برابر جابجایی صفحه بالایی مقاومت می کند، هنگامی که صفحه پایین می آید فشار افزایش پیدا کرده و در هنگام بالا رفتن فشار افت می کند. اگر فشردگی لایه هوا تنها عامل موثر بر یاتاقان باشد، همیشه یاتاقان یا میز هوایی از صلابت بالایی برخوردار است. در واقع فشردگی لایه هوا مانند یک میرا کننده و ضربه گیر خالص عمل می کند [۶].



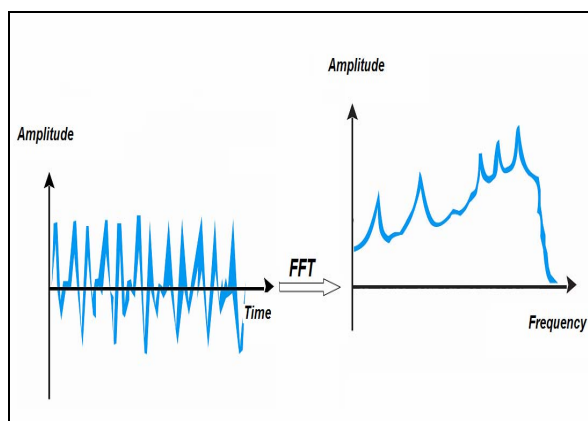
شکل (۳): مدل میز هوایی به همراه ورودی و خروجی

اما عامل دوم با نابرابر کردن جریان ورودی و خروجی باعث کاهش میرایی و در نتیجه عدم صلابت میز می گردد. حجم محدود حوضچه^{۱۸} باعث میشود تا زمانی برای پر و خالی شدن آن صرف گردد. تغییرات فشار حوضچه سعی می کند تا این عقب افتادگی را جبران کند. این تغییرات فشار خود باعث ایجاد ارتعاش می گردد. یعنی زمانی که صفحه بالا میرود فشار نیز افزایش پیدا کرده و زمانی که صفحه پایین می آید فشار کاهش پیدا می کند. در واقع این عامل نقطه مقابل عامل فشردگی لایه هوا است و نقش میرایی منفی را بازی می کند. اگر تاثیر حجم حوضچه از تاثیر فشردگی فیلم هوا بیشتر باشد، میرایی منفی بوده و یاتاقان دارای صلبیت کافی نمی باشد. تنها به یک مقدار اختلال در تعادل برای شروع ارتعاش نیاز می باشد. و همیشه نیز جریان مغشوش در خروجی اریفیس و خروجی حوضچه وجود دارد. که اینها در واقع منابع ارتعاشات خود تحریک در میز هوایی می باشند. در ادامه پارامترهای موثر بر این نوع ارتعاش معرفی شده است.

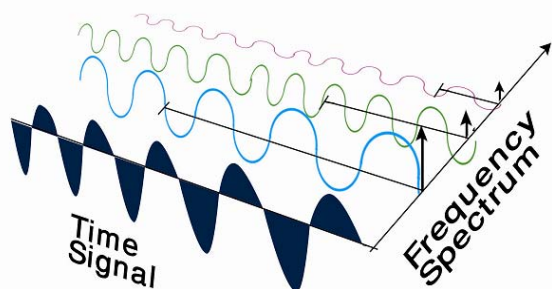
17- Squeeze film, damping effect

18- Pocket volume

نمودارهای خروجی یک سیستم اندازه گیری ارتعاشات معمولاً در حوزه زمانی^{۱۹} است. یعنی محور عمودی دامنه و محور افقی زمان می باشد. از آنجا که در گستره زمان موج ها با فرکانس های مختلف بوجود می آیند می توان رفتار موج را برحسب حوزه فرکانسی^{۲۰} نیز نشان داد. در این حالت محور عمودی دامنه و محور افقی فرکانس می باشد. نمودارهای فرکانس- دامنه در تحلیل ماشین ها و سیستم ها بسیار مفید و سود مند می باشند. برای این تبدیل از سری فوریه استفاده می شود [۱۱]. به طور کلی توابع تصادفی زمانی شامل نوسانها با چندین فرکانس هستند، که به یک طیف پیوسته میل می کنند. اگرچه در حالت کلی توابع تصادفی زمانی تناوبی نیستند، ولی نمایش آنها با سری فوریه^{۲۱} و دوره های تناوب تا حدودی بسیار بزرگ (میل داده شده به سمت بی نهایت) روشی منطقی است [۱۲]. در شکل های (۶) و (۷) این تبدیل نشان داده شده است.



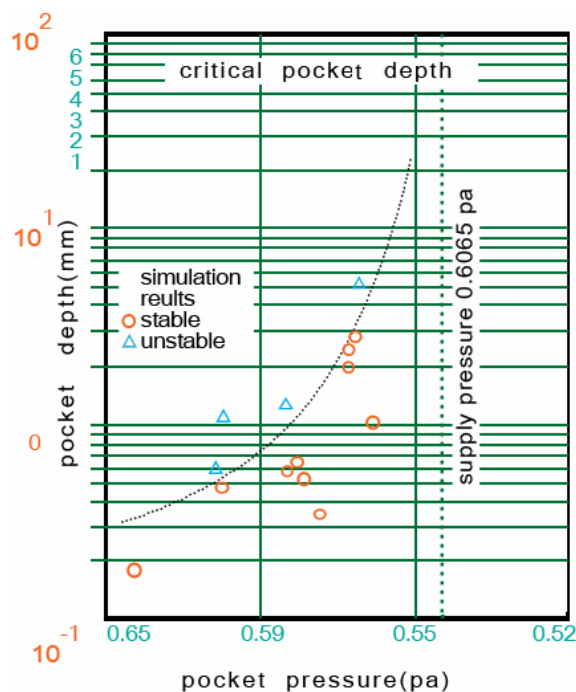
شکل (۶): تبدیل حوزه زمانی به فرکانسی توسط تبدیل فوریه [۱۱]



شکل (۷): نمودار دامنه - زمان به همراه دامنه فرکانس [۱۱]

توسط تبدیل سریع فوریه^{۲۲} (FFT) که در واقع تابعی برای تبدیل موجها از گستره زمانی به فرکانسی می باشد نمودارهای FFT یا

انسداد نازل شده و در این شرایط جریان ورودی به حوضچه مستقل از فشار حوضچه میشود. در واقع حوضچه هوایی برای صلابت بیشتر طراحی می شود اما اگر عمق آن از مقدار خاصی بیشتر شود باعث ارتعاشات پنوماتیکی می گردد. میزان فشار ورودی هوا نیز نقش مهمی در این نوع ارتعاش دارد. در واقع با افزایش فشار میزان نیروی متراکم کننده نیز افزایش پیدا کرده و باعث تراکم لایه روانکاری می گردد که در ناپایداری نقش مثبتی دارد. میزان عمق حوضچه و فشار ورودی دو پارامتری می باشند که در آزمایشات و شبیه سازی ها بر آنها تاکید شده است [۷]. در شکل (۵) تاثیر هر دو پارامتر فشار ورودی و عمق حوضچه نشان داده شده است. در واقع مناطق صلب و یا عدم صلب، مقدار بحرانی عمق حوضچه و فشار ورودی را معین می کنند [۸].



شکل (۵): تاثیر فشار ورودی و عمق حوضچه [۸]

۲-۶- اندازه گیری ارتعاش

معمولاً در اندازه گیری ارتعاشات از حسگرهای شتاب سنج استفاده میشود. و از آنجا که شتاب مشتق دوم جابجایی است، سیستم های اندازه گیری با دو بار انتگرال گیری شتاب را به جابجایی و یا با یک بار انتگرال گیری شتاب را به سرعت تبدیل می کنند. جذر مجموع مربعات داده دیگری است که برای معرفی یک سیستم ارتعاشی استفاده میشود. به طور نسبی RMS از ضرب دامنه در 0.707 حاصل می شود (البته برای ارتعاشات با موج های سینوسی) [۹ و ۱۰].

19- Time domain
20- Frequency domain
21- Fourier series
22- Fast Fourier transfer

برای اندازه گیری کمیت های ارتعاشی در میز های فوق از دستگاههای Vibrotest60 و Vibrotest41 استفاده شده است. دستگاههای فوق قابل حمل بوده و توسط حسگرهای شتاب سنج^{۲۳} (AS-06X/07X) و جابجایی سنج^{۲۴} (IN-085) عمل اندازه گیری را انجام می دهند. در شکل های (۱۰) و (۱۱) دستگاه های فوق به همراه حسگرهای های مربوطه نشان داده شده است.



شکل (۱۰): دستگاه Vibrotest 41 به همراه حسگر جابجایی سنج IN-085 (الف) حسگر جابجایی سنج (ب) دستگاه vibrotest41



شکل (۱۱): دستگاه vibrotest 60 به همراه حسگر شتاب سنج (AS-06X/07X)

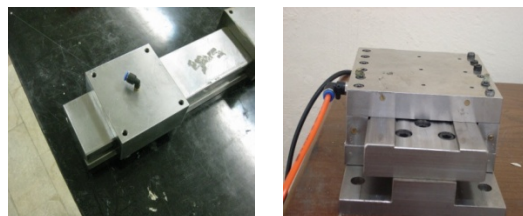
دستگاه Vibrotest 41 با حسگر جابجایی همراه بوده و مستقیماً جابجایی ارتعاش را در واحد μm اندازه گیری می کند. اما دستگاه Vibrotest 60 دارای حسگر شتاب بوده و نرم افزار موجود در دستگاه دارای قابلیت است که با دو بار انتگرال گیری شتاب را به سرعت و سرعت را به جابجایی تبدیل می نماید. در واقع با تنظیم دستگاه بر واحد μm ، که واحد جابجایی است، خروجی دستگاه از جنس کمیت جابجایی خواهد بود. کمیت های ارتعاشی که توسط هر دو دستگاه قابل اندازه گیری می باشد شامل شتاب، سرعت و جابجایی ارتعاش می باشد. در آزمایش های فوق چون حرکت میز فقط خطی می باشد تنها به اندازه گیری جابجایی ارتعاش بسنده شده است. با

فرکانس- جابجایی حاصل میشود. البته در مورد توابع گسسته و پیوسته هر کدام دارای روش و مکانیزم خاصی می باشند.

۳- آزمایشات

۳-۱- مقدمه

هدف از آزمایشات بررسی رفتار میزهای هوایی ساخته شده با تعداد نازل های متفاوت در فشارهای مختلف بوده است. همچنین تاثیر تعداد حوضچه های هوایی بر روی پدیده چکش هوایی بررسی شده است. میزهای هوایی که بر روی آنها آزمایشات صورت گرفته است، شامل دو میز با تعداد حوضچه های مختلف می باشد. میز هوایی شماره ۱ دارای ۱۴ حوضچه است، که ۱۰ حوضچه در قسمت فوقانی لغزنده (در هر سمت ۵ عدد) و ۴ حوضچه نیز در قسمت جانبی (هر طرف ۲ عدد) تعبیه شده است. بر خلاف میز شماره ۱ میز شماره ۲ فقط دارای ۱ حوضچه هوایی و آن هم در قسمت مرکزی لغزنده می باشد. حوضچه های هوایی میز شماره ۱ همگی دایروی و با عمق بسیار کم می باشند ولی در میز شماره ۲ حوضچه هوایی به صورت مربعی و با عمق در حدود ۴mm می باشد. میز های هوایی شماره ۱ و ۲ در شکل (۸) نشان داده شده اند، همان طور که در شکل مزبور دیده میشود محل تغذیه هوای فشرده در سمت چپ میز شماره ۱ می باشد. در شکل (۹) نیز حوضچه های هوایی هر دو میز نشان داده شده است. سایر پارامترهای دو میز یکسان هستند.



شکل (۸): میز های هوایی شماره ۱ و ۲ (الف) میز شماره ۱ (ب) میز شماره ۲



شکل (۹): حوضچه های هوایی میز شماره ۱ و ۲ (الف) حوضچه هوایی ۱ (ب) حوضچه هوایی میز شماره ۲

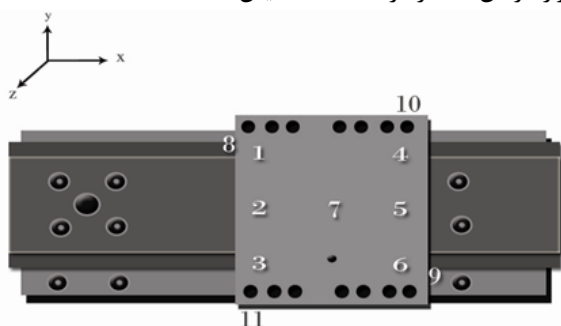
23- Vibration acceleration sensor

24- Displacement sensor

که تولید ارتعاش می کند، آزمایش ها در زمان خاموشی کمپرسور صورت گرفت. جهت بالا بردن دقت و اطمینان از عدم تاثیر قابل توجه عوامل بیرونی اندازه گیری در بعضی نقاط تکرار شده است. همچنین از آنجا که ارتعاشات ناشی از سیال از گروه ارتعاشات تصادفی بوده و در زمان های بعدی به طور منظم تکرار نمی گردد، مدت زمان اندازه گیری برای هر نقطه و هر حالت ۴۰s بوده و تمامی اعداد و نتایج در این مدت استخراج گردیده است.

۳-۲- آزمایشات مربوط به میز شماره ۱

آزمایشات بر روی میز شماره ۱ توسط هر دو دستگاه و هر دو حسگر صورت گرفته است. در این میز با قرار دادن حسگر در ۱۱ نقطه مختلف (۷ نقطه در قسمت فوقانی لغزنده و ۴ نقطه در قسمت جانبی) اندازه گیری ارتعاش انجام گرفته است. در شکل (۱۲) محل قرار گرفتن حسگر در ۱۱ نقطه نمایش داده شده است.



شکل (۱۲): مکان های قرار گرفتن حسگر در میز شماره ۱

حرکت در جهت عمود بر صفحه لغزنده راستای Y است. با اندازه گیری ارتعاش در نقاط ۱ تا ۷ ارتعاشات در جهت Y بدست می آید. جابجایی در مسیر راهنما راستای X خواهد بود. اعداد مربوط به نقاط ۸ و ۹ جابجایی در راستای X را نشان می دهند. دو نقطه ۱۰ و ۱۱ جابجایی در راستای عمود بر X در صفحه لغزنده را نشان می دهند که راستای Z می باشد. در شکل (۱۲) این جهات نیز نشان داده شده است.

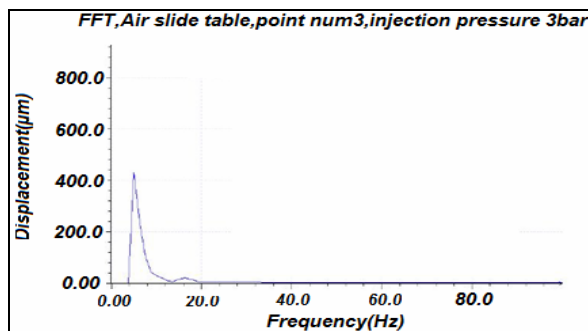


شکل (۱۳): آزمایش بر روی میز شماره ۱ به همراه تجهیزات

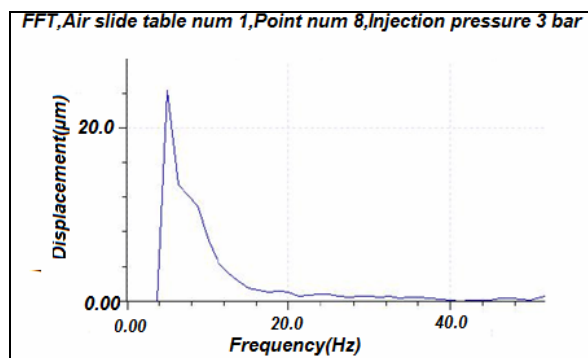
بدست آوردن میزان جابجایی به ازاء فشار های مختلف، می توان رفتار میز را دقیقتر بررسی کرده و در تفرانس های طراحی مدنظر قرار داد. البته لازم به ذکر است جابجایی حاصل از ارتعاش با خطای جابجایی ناشی از حرکت متمایز می باشد. همچنین تاثیر فشار هوا در هر دو نوع ارتعاشات سیال، ریز لرزه (small vibration) و چکش هوایی (pneumatic hammer) قابل مشاهده بوده و می توان این دو پدیده را از هم متمایز کرد. محدوده فشار بحرانی برای ارتعاشات خود تحریک (چکش هوایی) در این آزمایشات قابل تعیین است. رفتار نقاط مختلف میز (از بابت دوری و نزدیکی به محل تغذیه هوا و حوضچه های هوایی) و نقاط موجود بر سطوح جانبی را نیز در ازای فشار های مختلف میتوان پیش بینی کرد. آزمایش های صورت گرفته در راستای رسیدن به اهداف فوق می باشد که در قسمت های بعدی به تفصیل آورده می شود.

دستگاههای فوق کمیت جابجایی را در قالب معیارهای مختلفی مانند حداکثر دامنه ارتعاش^{۲۵}، حداکثر-حداقل دامنه^{۲۶} و مقدار موثر^{۲۷} نشان می دهند. داده های فوق در قسمت تئوری توضیح داده شده است. همچنین آزمایشات مربوطه در دو حالت مختلف انجام گرفته است. (۱) اندازه گیری ارتعاشات^{۲۸}، که در آن خروجی دستگاه یک سری اعداد در واحد μm می باشد و بیانگر جابجایی می باشد. (۲) در حالت طیف^{۲۹}، که خروجی دستگاه نمودارهای فرکانس-جابجایی می باشد که توسط تبدیل سریع فوری بدست آمده است. تعداد محدودی از نمودارها بدون تحلیل استخراج گردیده است. همچنین با استفاده از حافظه ارتعاش سنج ها و صفحه نمایش، جابجایی مربوط به فرکانس های مختلف بدست آمده است، که در قسمت های بعدی آورده شده است. لازم به ذکر است در هر دو حالت فوق هم در حالت عادی و هم میانگین^{۳۰} اندازه گیری انجام شده است. همچنین توابع مختلفی چون Uniform و Flat top و Hanning در دقت اعداد بدست آمده در دو کمیت فرکانس و جابجایی تاثیر گذارند. تابع Flat top باعث دقت بیشتری در اعداد دامنه (جابجایی) می گردد [۱۳]. به همین علت در آزمایشات از آنجا که میزان جابجایی از اهمیت بیشتری برخوردار است از این تابع استفاده شده است. در مورد محیط آزمایش لازم به توضیح است که حتی الامکان سعی شده است که از عوامل بوجود آورنده خارجی ارتعاشات نظیر ارتعاشات ماشین های مجاور جلوگیری شود، به طور مثال از آنجا که تامین هوای فشرده توسط کمپرسور صورت میگیرد

- 25- Peak
- 26- Peak to Peak
- 27- RMS
- 28- Vibration measurement
- 29- Spectrum
- 30- Average



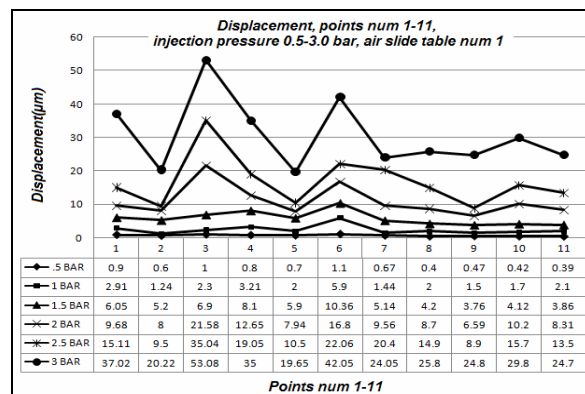
شکل (۱۵): نمودار جابجایی ارتعاش (FFT) میز شماره ۱ در فشار ۳bar حاصل از نرم افزار XML در نقطه شماره ۳



شکل (۱۶): نمودار جابجایی ارتعاش (FFT) میز شماره ۱ در فشار ۳bar حاصل از نرم افزار XML در نقطه شماره ۸

بزرگ بودن جابجایی در فرکانسهای اولیه نشان از پدیده ارتعاشات خود تحریک می باشد. با توجه به اینکه ارتعاشات خود تحریک معمولاً با فرکانسی نزدیک به فرکانس طبیعی اتفاق می افتد، این فرکانسها همان نقاط حداکثری هستند که در شکل‌های اشاره شده دیده میشود. با استفاده از نتایج شبیه سازی وابسته و همچنین مستقل از زمان مشخص میشود که در ابتدای ورود هوا تا لحظه رسیدن به تعادل، یعنی در واقع در فرکانس های اولیه رفتار ارتعاشی بیتر با تغییر دامنه تغییر می کند. و با گذشت زمان این حالت کاهش می یابد. در نمودار های تبدیل فوریه و نمودار هایی که جابجایی-زمان را به جابجایی-فرکانس تبدیل می کند این مطلب دیده می شود. لذا انتساب اینگونه ارتعاشات به نوع خود تحریک میتواند توجیه کننده مناسبی باشد. در نمودار های فوق محور افقی فرکانس و محور عمودی جابجایی را نشان می دهند. شکل (۱۷) نمودار Fast Fourier Transformer, FFT را در شرایطی که میز در حال حرکت می باشد، نشان می دهد. این شکل بیانگر این موضوع است که میز در طول حرکت در بعضی از نقاط دچار ارتعاشات از نوع چکش هوایی می شود. زیرا بصورت پیوسته نبوده و اتفاقی بوجود

۳-۳- نتایج مربوط به اندازه گیری ارتعاشات در میز شماره ۱ ابتدا حسگر در محل خود ثابت شده و فشارهای هوای ورودی از ۰/۵ bar تا ۳ bar بصورت منظم افزایش پیدا کرده است. نتایج مربوط به هر نقطه در مدت چهار ثانیه استخراج شده و از بین اعداد بدست آمده به ازاء هر ثانیه میانگین گرفته شده است.



شکل (۱۴): نمودار ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشار های مختلف

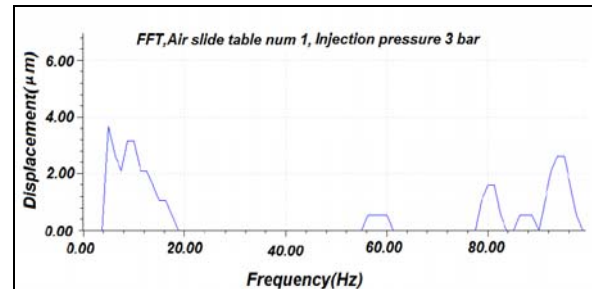
همانطور که در شکل (۱۴) دیده می شود با افزایش فشار در تمامی نقاط میزان ارتعاش افزایش پیدا می کند. همچنین از نمودار فوق قابل برداشت است که ارتعاش در راستای Y بیشتر از راستای X و Z است. در راستای Y نقاطی که در نزدیکی حوضچه های هوایی هستند در مقایسه با نقاط مرکزی بیشتر دچار ارتعاش میشوند. افزایش ارتعاش در فشار های ۲/۵ bar و ۳ bar ناشی از پدیده چکش هوایی (ارتعاشات خود تحریک) می باشد. این امر از مقایسه دامنه این ارتعاشات با دامنه معمول در چکش هوایی استنباط می شود. بطوریکه در میز های هوایی فشار های بحرانی تعریف می شود که در این فشار ها رفتار میز بسیار نامنظم می گردد. محدوده ارتعاشات در این فشار ها از ریز لرزه ها گذشته و مقادیر دامنه ارتعاشات چند برابر حالت معمولی می گردد. در عین حال اینگونه ارتعاشات را میتوان از طریق صدای خاص آنها استنباط نمود. در میز شماره ۱ با افزایش فشار ورودی از ۲/۵ bar صلبیت میز بسیار کاهش یافته و ارتعاشات شدیدی به همراه صدا بوجود می آید. در شکل های (۱۵) و (۱۶) نمودارهای فرکانس-جابجایی نشان داده شده است. این شکل ها خروجی نرم افزار XML دستگاه Vibrotest 60 می باشد که بیانگر رابطه فرکانس-جابجایی ارتعاشات در میز های هوایی می باشد. محور افقی فرکانس و محور عمودی بیانگر جابجایی (دامنه) در میز هوایی می باشد.

شماره ۲ فقط دارای ۱ حوضچه هوایی است. تجهیزات استفاده شده در شکل (۱۹) نشان داده شده است.



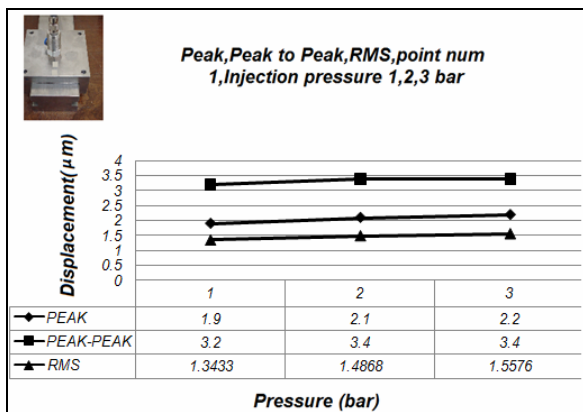
شکل (۱۹): آزمایش بر روی میز شماره ۱ به همراه تجهیزات

میاید. در این نقاط علایم چکش هوایی یعنی صدای بلند، ارتعاشات محسوس با دامنه بلند خود را نشان می دهد.



شکل (۱۷): نمودار جابجایی ارتعاش (FFT) میز شماره ۱ در فشار ۳bar حاصل از نرم افزار XML در طول حرکت

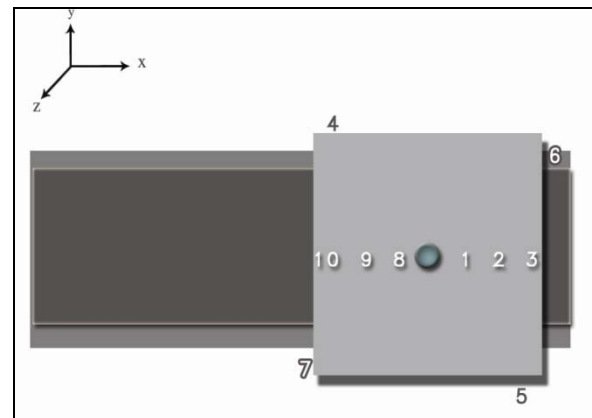
۳-۴- نتایج مربوط به اندازه گیری ارتعاشات در میز شماره ۲
از آنجا که جنس میز شماره ۲ فولاد ضد زنگ بوده و دارای خصوصیت مغناطیسی است از حسگر مغناطیسی استفاده شده است. فشار ورودی از ۱ bar تا ۳ bar بطور منظم افزایش پیدا می کند. اندازه گیری در هر نقطه به مدت ۴۰ ثانیه انجام می گیرد و از بین اعداد بدست آمده به ازاء هر ثانیه میانگین گرفته می شود. شکل های (۲۰) و (۲۱) تاثیر فشارهای ۱bar و ۲bar و ۳bar را در نقاط ۱ و ۴ نشان می دهند. موقعیت هر نقطه در کنار نمودار مربوط نمایش داده شده است.



شکل (۲۰): نمودار ارتعاش در نقطه ۱ به ازای فشارهای مختلف

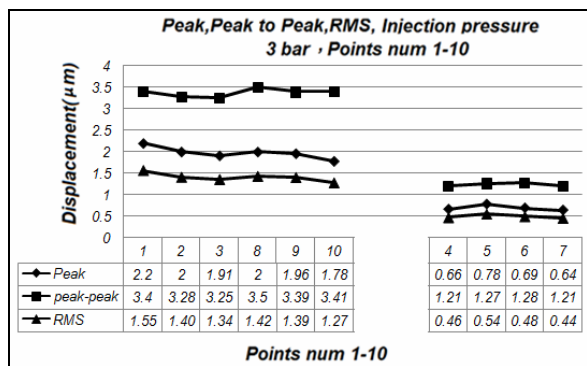
۳-۴- آزمایشات مربوط به میز شماره ۲

در میز شماره ۲ نیز مانند شماره ۱، با قرار دادن حسگر در ۱۰ نقطه (۶ نقطه از سطح فوقانی و ۴ نقطه سطح جانبی) رفتار میز در فشار های مختلف بررسی می شود. در شکل (۱۸) نقاط گفته شده نشان داده شده است. در این شکل (۶) نقطه جابجایی در راستای Y، ۲ نقطه جابجایی در راستای X و ۲ نقطه دیگر جابجایی در جهت Z را نشان می دهند. جابجایی های حاصل از ارتعاش به علت فشار سیال ورودی است، به همین علت فشار هوا به عنوان متغیری مهم تغییر می کند.



شکل (۱۸): مکان های قرار گرفتن حسگر در میز شماره ۲

در میز شماره ۲ هوا پس از عبور از رطوبت گیر و روغن گیر وارد شیر تنظیم فشار شده و از آنجا به محل تغذیه وارد می شود. میز



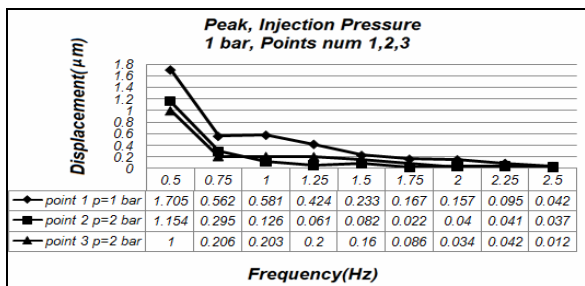
شکل (۲۴): نمودار ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشار ۳ bar

۳-۵-۲- نمودار های FFT (فرکانس-جابجایی)

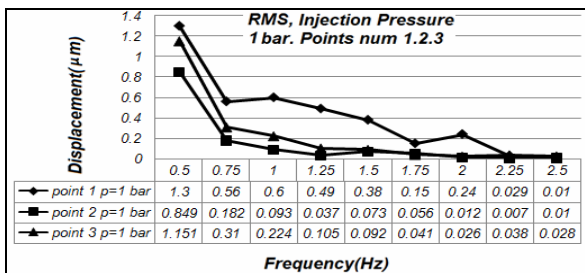
نقاطی که در آنها اندازه گیری ارتعاش در حالت طیف انجام می گیرد، در شکل (۲۵) نشان داده شده اند. شکل های (۲۶) تا (۲۸) نمودارهای فرکانس- ارتعاش حداکثر را در فشارهای مختلف در نقاط فوقانی و جانبی نشان می دهند.



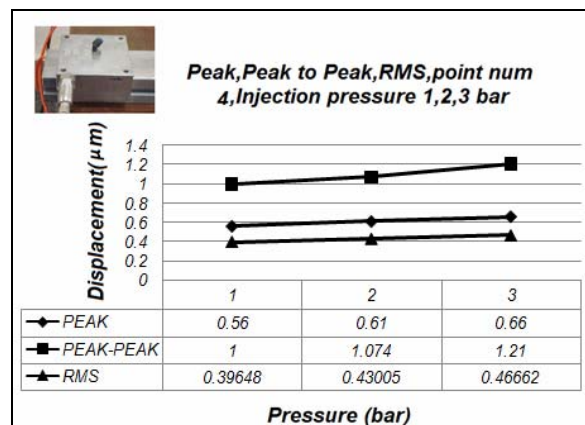
شکل (۲۵): نقاط موجود در میز شماره ۲ برای آنالیز طیف
 الف) نقطه شماره ۱ ب) نقطه شماره ۲ ج) نقطه شماره ۳



شکل (۲۶): نمودار فرکانس-حداکثر ارتعاش در نقاط مختلف در فشار ۱ bar



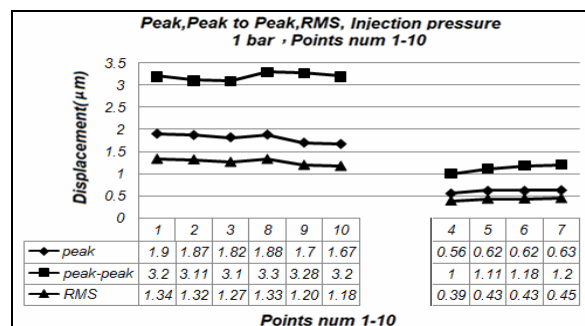
شکل (۲۷): نمودار فرکانس-جابجایی (RMS) در نقاط مختلف در فشار ۱ bar



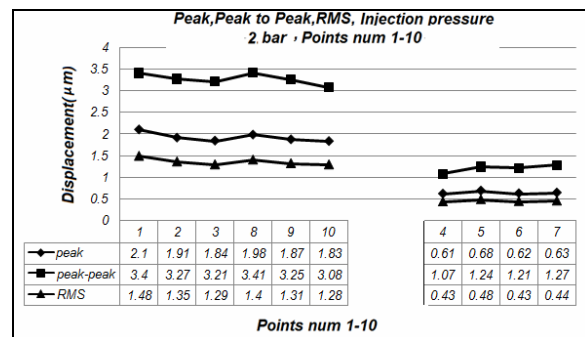
شکل (۲۱): نمودار ارتعاش در نقطه ۴ به ازای فشارهای مختلف

۳-۵-۱- تاثیر فشار ثابت بر نقاط مختلف

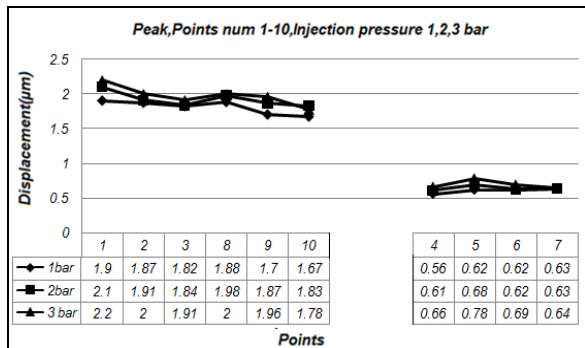
در نمودار های (۲۲) تا (۲۴) تاثیر فشار ثابت هوا در نقاط مختلف میز نشان داده شده است. در آزمایش فوق شرایط اندازه گیری مانند آزمایش قبل است.



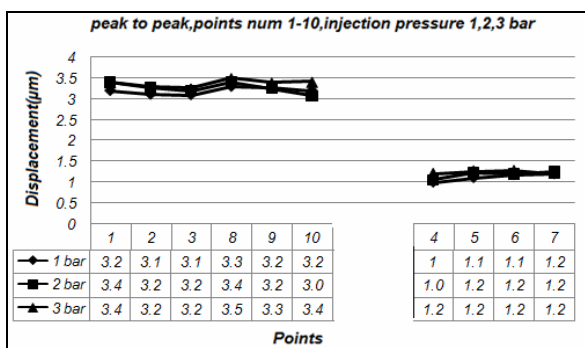
شکل (۲۲): نمودار ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشار ۱ bar



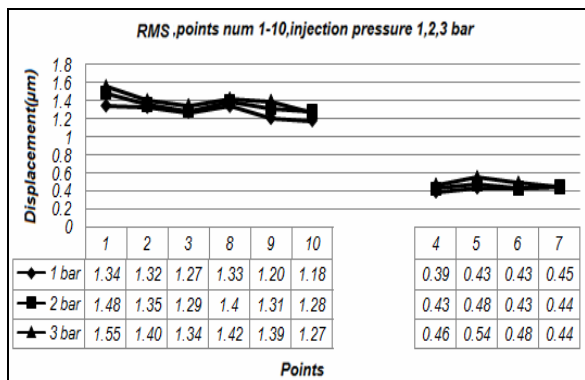
شکل (۲۳): نمودار ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشار ۲ bar



شکل (۳۱): نمودار حداکثر ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشارهای مختلف

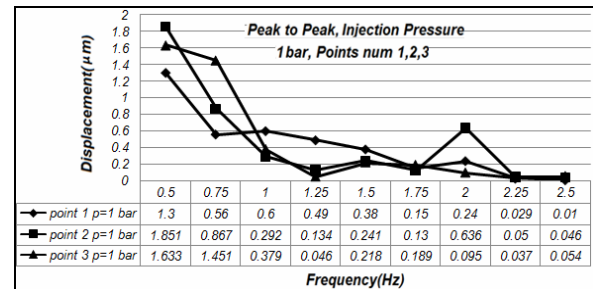


شکل (۳۲): نمودار حداکثر-حداقل ارتعاش در تمامی نقاط به ازای فشارهای مختلف



شکل (۳۳): نمودار جابجایی حاصل از ارتعاش (RMS) در تمامی نقاط به ازای فشارهای مختلف

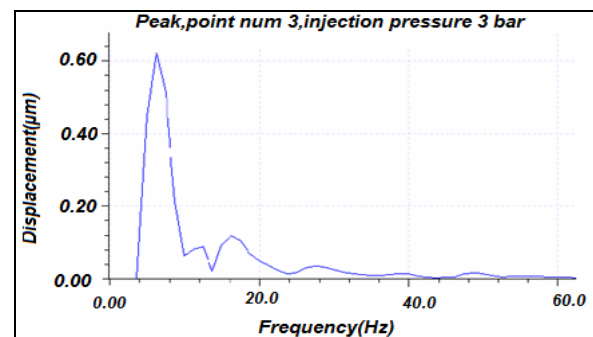
از نمودارهای فوق می توان نتیجه گرفت که جابجایی ناشی از ارتعاش در سطح فوقانی از جانبی بیشتر است. همچنین میزان جابجایی در مقایسه با میز شماره ۲ بسیار کمتر است و با افزایش فشار تغییر چندانی نمی کند. شیب نزولی نقاط ۱، ۲، ۳ و همچنین ۸، ۷، ۶ بیانگر این موضوع است که با دور شدن از حوضچه هوایی میزان جابجایی ناشی از ارتعاش کاهش پیدا می کند. نمودارهای فرکانس-جابجایی ۳، ۴، ۵، ۶ و ۳۶ بیانگر جابجایی ناشی از ارتعاش در نقاط ثابت در فشارهای مختلف می باشند.



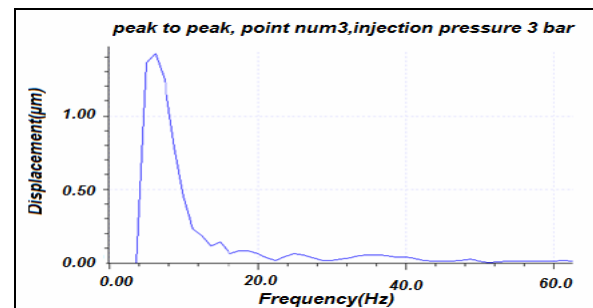
شکل (۲۸): نمودار فرکانس-جابجایی (حداکثر-حداقل) در نقاط مختلف در فشار ۱ bar

۳-۵-۳- نمودارهای FFT نرم افزار XML مربوط به میز شماره ۲

در شکل های (۲۹) و (۳۰) نمونه هایی از نمودار فرکانس-جابجایی حاصل از نرم افزار FFT نشان داده شده است.



شکل (۲۹): نمودار FFT حداکثر ارتعاش نقطه ۳ به ازای فشار ۳ bar تابع Flat (top)



شکل (۳۰): نمودار FFT حداکثر-حداقل ارتعاش نقطه ۳ به ازای فشار ۳ bar تابع (Flat top)

اشکال (۳۱) تا (۳۳) داده های معرف جابجایی ارتعاش یعنی حداکثر ارتعاش، حداکثر-حداقل ارتعاش و RMS را در فشارهای مختلف برای تمامی نقاط نشان می دهند.

۴- نتیجه گیری

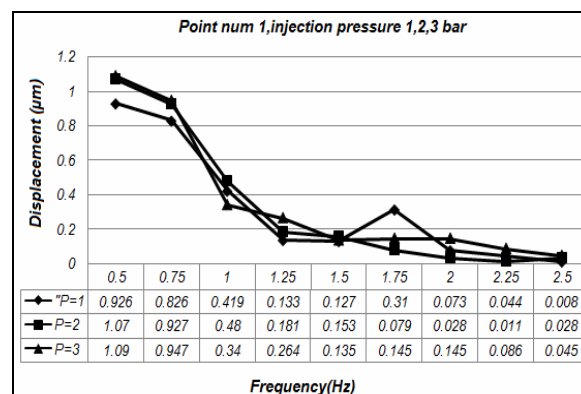
۱. در آزمایشات مربوط به میز شماره ۱ با افزایش فشار در تمامی نقاط افزایش جابجایی وجود دارد. معمولاً با افزایش فشار از ۱ bar به بالا میزان جابجایی نسبت به حالت های قبل از رشد بیشتری برخوردار است. میزان رشد جابجایی در تمامی ۱۱ نقطه قابل ملاحظه است.

۲. میزان جابجایی های حاصل از آزمایشات در محدوده میکرون می باشد که مشابه با مقادیر بدست آمده در شبیه سازی می باشد که در تحقیقات موازی انجام شده است. و نتایج تشابه مناسبی دارند(مقاله مربوط به شبیه سازی در دست چاپ میباشد).

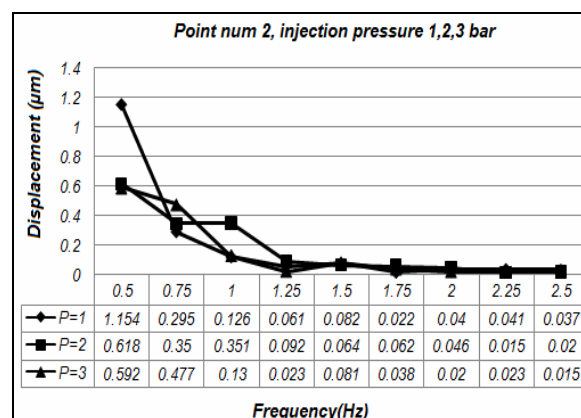
۳. در فشار ثابت نقاط موجود بر سطح بالایی نسبت به نقاط موجود بر سطوح جانبی از جابجایی بیشتری برخوردار هستند. در نقاط موجود بر سطح بالایی، نقاطی که به حوضچه های هوایی نزدیک تر هستند از جابجایی بیشتری برخوردار هستند. نقاط وسط صفحه بالایی از ارتعاش کمتری برخوردار هستند. با افزایش فشار در تمامی نقاط میزان جابجایی افزایش پیدا می کند. جابجایی در راستای Y از راستاهای X و Z بیشتر است. افزایش ارتعاش در فشارهای ۲/۵ bar و ۳ bar که ناشی از پدیده چکش هوایی(ارتعاشات خود تحریک) می باشد. در میز شماره ۱ قابل مشاهده است.

۴. از نمودار های FFT این نتیجه حاصل میشود که در فرکانس های اولیه، حداکثر جابجایی وجود دارد که ناشی از پدیده چکش هوایی است. در نمودار های XML به وضوح پدیده چکش هوایی در میز شماره ۱ دیده میشود. میزان جابجایی در بعضی موارد تا ۲۰۰ μm نیز می رسد که ناشی از پدیده عدم صلبیت است.

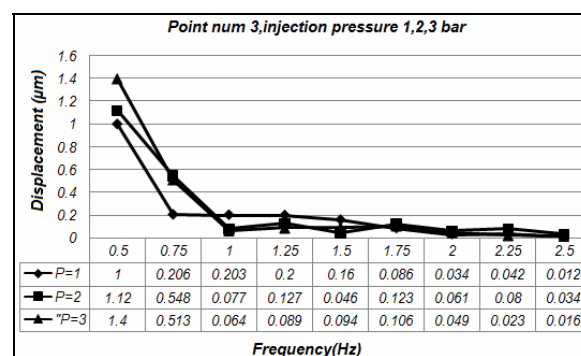
۵. در میز شماره ۲ پدیده چکش هوایی وجود ندارد. در این میز با افزایش فشار تمامی داده های ارتعاشی از قبیل حداکثر ارتعاش، حداکثر-حداقل ارتعاش و مقدار متوسط(RMS) افزایش پیدا می کنند. نقاط موجود بر سطوح جانبی از جابجایی کمتری نسبت به سطوح فوقانی برخوردار می باشند. با دور شدن از نازل میزان جابجایی ها کاهش پیدا می کند. با افزایش فشار ورودی در میزان افزایش جابجایی در میز شماره ۲ تفاوت چندانی دیده نمیشود. در نمودار های FFT مربوط به میز شماره ۲ نیز این نتیجه حاصل میشود که در فرکانس های اولیه، حداکثر جابجایی دیده شده و با افزایش فرکانس میزان جابجایی کاهش پیدا می کند. این حالت برای تمامی داده های



شکل(۳۴): نمودار فرکانس-جابجایی در نقطه شماره ۱ در فشار های مختلف



شکل(۳۵): نمودار فرکانس-جابجایی در نقطه شماره ۲ در فشار های مختلف



شکل(۳۶): نمودار فرکانس-جابجایی در نقطه شماره ۳ در فشار های مختلف

از نمودار های بالا این نتیجه بدست می آید که بیشترین جابجایی در فرکانسهای اولیه بوجود می آید و با افزایش فرکانس از میزان جابجایی کاسته می شود. همچنین همانطور که در قبل نیز گفته شد افزایش فشار تاثیر چندانی در میزان ارتعاشات در میز شماره ۲ ندارد. از نمودار های FFT نرم افزار XML نیز قابل برداشت است که در میز شماره ۲ پدیده چکش هوایی بوجود نمی آید.

- [6] Powell, J. W., "Design of Aerostatic Bearing", The Machinery Publishing Co.LTD, 1970.
- [7] Shires, G. L., "Gas Lubricate Bearing", Butterworth, London, 1964.
- [8] Lin, G. and Aoyama, T., "A Computer Simulation Method for Dynamic and Stability Analysis of Air Bearing", Journal of Wear, Vol. 126, 1988, pp. 307-319.
- [۹] ملاباشی، م. "ارتعاشات و امواج"، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۵.
- [۱۰] میروویچ، ل. و فرشچی، ف. "مبانی تحلیل ارتعاشات"، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۹.
- [11] Wictor, W., "Machinery Vibration Measurement and Analysis", Limited Publishers, McGraw-Hill, 1991.
- [12] Jackson, M. J. and Hyde, L. J., "Dynamic Response of a Tetrahedral Nano Machining Machine Tool Structure". Journal of Nanomanufacturing, Vol. 1, 2006, pp. 26-46.
- [13] Bruel and Kjar, Schenck Co. "Vibrotest 60 Manual", 2000.

ارتعاشی دیده می شود. همچنین میزان ارتعاشات در میز شماره ۲ بسیار کمتر از میز شماره ۱ می باشد.

۵- مراجع

- [1] Hashizume, "An Ultra Precision Machine Tool for Micro-machining", Precision and Intelligence Laboratory. Tokyo Institute of Technology, 2002.
- [2] Aoyama, T. and Kakinuma Y., "Numerical and Experimental Analysis for the Small Vibration of Aerostatic Guide-ways", Annals of the CIRP, Vol. 55, No. 1, 2006, pp. 419-423.
- [3] Xichun, L., Kai, C., "Design of Ultra Precision Machine Tools with Applications to Manufacture of Miniature and Micro Components", Journal of Materials Processing Technology, 2005, pp. 515-528.
- [4] Mishra, A. K., "Analysis of Pneumatic Instability of an Aerostatic Rectangular Thrust Bearing with Offset Load", Journal of Wear, Vol. 122, 1988, pp. 1-12.
- [5] Talukder, H. M. and Stowell, T. B., "Pneumatic Hammer in an Externally Pressurized Orifice Compensated Air Journal bearing", Tribology International, Vol. 36, 2003, pp. 585-591.