ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):145-153.

Design and Manufacturing of Chewing Simulation Machine

ARTICLE INFO

Authors
Darvish E.[1],
Mahboobkhah M.[2*]

[1, 2] Faculty of Mechanical Engineering, manufacturing and production department, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*** Correspondence**
Address: Faculty of Mechanical Engineering, manufacturing and production department, University of Tabriz, Tabriz, Iran
mahboobkhah@tabrizu.ac.ir.

How to cite this article:
Darvish E, Mahboobkhah M. Design and Manufacturing of Chewing Simulation Machine. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):145-153.

ABSTRACT

The chewing simulator is designed to perform fatigue tests and durability on a variety of dental specimens. This device, by considering the material (hard or soft) and the type of dental sample (human or animal or artificial) and by applying a specific cyclic and even static force, changes the shape of the sample microscopically and finally this periodic loading and shape change, uses the data to evaluate the fatigue and strength of the sample in the durability test. The testing process of this device will continue until the sample fails or the loading cycle is completed. At design of this device, two movement mechanisms are considered vertically and horizontally, which are responsible for chewing simulation operations, so that in both mechanisms, the movement is reciprocating, the amount and number of this movement is cyclical that is adjustable and controllable, and at the same time, considering the force measuring sensor in this device, the amount of applied force is specified and adjustable at each stage. Two specimens of teeth were placed in the machine for testing. The first priority of testing this device for the samples was their durability under the static force that was applied to the sample step by step. Also, to evaluate the function of the device in the fatigue test, dental specimens were loaded under a certain force and were affected by cyclic motion in both vertical and horizontal directions. According to studies, the refractive force of the specimens varies from 100 N to 800 N, the dental specimens, one artificial and the other natural, failed under the static force, which was in the range of 200 N, that the artificial sample was completely broken, but the natural sample was worn out and part of it was damaged. And this was a good comparison to show the strength and durability of natural teeth compared to artificial ones.

Keywords Chewing simulator, Fatigue, Life test, Durability, Cyclic force, Static force

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۴۵-۱۵۳.

طراحی و ساخت دستگاه شبیه ساز جویدن

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
احسان درویش[۱]
مهران محبوب‌خواه[۲*]

[۱ و ۲] دانشکده مهندسی مکانیک- گروه مهندسی ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*** نویسنده مسئول**
آدرس:دانشکده مهندسی مکانیک - گروه مهندسی ساخت و تولید
دانشگاه تبریز، تبریز
mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

چکیده

دستگاه شبیه ساز جویدن به این منظور طراحی شده است که بتواند آزمایش‌های مربوط به خستگی و آزمایش عمر و حد دوام را بر روی انواع نمونه‌های دندانی انجام دهد. این دستگاه با در نظر گرفتن جنس(سخت یا نرم) و نوع نمونه دندانی(انسانی یا حیوانی یا مصنوعی) و با اعمال نیروی چرخه ای و حتی استاتیک مشخص، باعث تغییر فرم نمونه به صورت میکروسکوپی شده که نهایتا این بارگذاری تناوبی و تغییر فرم، داده‌های مورد نظر را جهت بررسی خستگی و استحکام نمونه در آزمایش حد دوام، در دست عمل قرار می‌دهد. ادامه روند آزمایش در این دستگاه، تا شکست نمونه یا اتمام سیکل بارگذاری خواهد بود. در طراحی این دستگاه دو مکانیزم حرکتی به صورت عمودی و افقی در نظر گرفته شده است که عملیات شبیه سازی جویدن را بر عهده دارند. دو نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند. اولویت اول آزمایش در این دستگاه برای نمونه‌ها، حد دوام آنها تحت نیروی استاتیک که مرحله به مرحله به نمونه وارد می شد، بود. همچنین برای بررسی کارکرد دستگاه در آزمایش خستگی، نمونه‌های دندانی تحت نیروی مشخص بارگذاری شده، تحت تاثیر حرکت چرخه ای در دو راستای عمودی و افقی قرار گرفتند. با توجه به مطالعات انجام شده، نیروی شکست در نمونه ها از ۱۰۰ تا ۸۰۰ نیوتن متغیر است، نمونه‌های دندانی که یکی از آنها مصنوعی و دیگری طبیعی بود، تحت نیروی استاتیک وارد شده که در محدوده ۲۰۰ نیوتن بود، دچار شکست شدند، که نمونه مصنوعی به طور کامل شکست ولی نمونه طبیعی دچار ساییدگی و بخشی از آن لبپر شد. این یک مقایسه خوبی برای نشان دادن استحکام و حد دوام دندان طبیعی نسبت به نمونه مصنوعی بود.

کلیدواژه‌ها دستگاه شبیه‌ساز جویدن، خستگی، آزمایش عمر، حد دوام، نیروی چرخه ای، نیروی استاتیک

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

۱- مقدمه

سلامت دندان‌ها تأثیر زیادی در زیبایی چهره دارد. شکستگی دندان‌ها یکی از موارد ناخوشایندی است که موجب از بین رفتن زیبایی دندان‌ها می‌شود. در بیشتر مواقع دندان‌ها به شکل عمودی شکسته میشوند. شایع ترین دلیل شکستن دندان، فشار ناشی از جویدن است که به شکل نامناسب و غیرمتعادل بر دندان ها وارد می‌شود.

در حالت عادی، زمانی که مواد غذایی بر روی دندان های جویده می‌شوند، نیروی حاصل از جویدن بر همه دندان ها تقسیم و در نتیجه فشار کمتری بر روی یک دندان وارد می‌شود. حال زمانی که تمامی فشار بر روی یک یا دو دندان باشد، موجب شکستگی دندان می شود.

در اغلب موارد دندان شکسته شده بطور کامل مشخص و قابل مشاهده است. اما در موارد دیگری ممکن است در ابتدا دندان شکسته شده مشخص نباشد و پس از مدتی تکه‌های آن از هم جدا شوند که دیگر امکان ترمیم و بازسازی آن وجود ندارد. ضمن اینکه دندان‌هایی که عصب کشی شده‌اند، درد ندارند و بیمار شکسته شدن دندان را احساس نمی کند. پس از مدتی هم دندان دچار التهاب و عفونت می شود. در مورد دندان های دارای عصب، بیمار گرما و سرما را با شدت بیشتری احساس می کند.

با تاکید بر این موضوع که نمونه‌های دندانی ساخته شده از انواع مواد مختلف و کامپوزیت‌های جدید نیاز به آزمایش از نظر دوام و استحکام دارند، همچنین برای مقایسه نمونه‌های جدید با نمونه‌های قبلی از نظر کارکرد و کیفیت، نیاز است تا تحقیقی به عمل آورده شود، همچنین به خصوص برای جایگزین کردن یک نمونه دندانی با نمونه اصلی در صورت لزوم و در جایی که نمونه اصلی از کار افتاده و نیاز به یک نمونه مشابه در آن شرایط وجود دارد، کاربرد فراوان دارد که این مورد هم کاربرد انسانی دارد و هم کاربرد حیوانی دارد، به عنوان مثال حیواناتی که دندان خود را به هر دلیلی از دست می‌دهند، طبق اصول و علم پزشکی و دامپزشکی، باید نمونه مصنوعی جایگزین آن شود و نمونه جایگزین شده بهترین کارکرد را نخواهد داشت مگر این که توسط دستگاه‌های آزمایش و شبیه سازی جویدن، علاوه بر آزمایش نرم افزاری، آزمایش واقعی در شرایط مشابه جویدن واقعی روی آن-ها انجام شود و نمونه مصنوعی از شرایط زیستی و سازگاری با تناسب آن حیوان، بررسی و آزمایش گردد.

در مطالعاتی سانتوس و همکارانش اقدام به مقایسه میزان سایش نمونه‌های دندانی سرامیکی و نمونه‌های طبیعی انسانی کردند. که در این مقاله میزان سایش هر دو نمونه با دستگاه مشابه آزمایش و بررسی شد[1]. در این پژوهش از مواد مصنوعی مبتنی بر سرامیک به دلیل عالی بودن در ترمیم‌های دندانی و همچنین زیبایی و سازگاری زیستی استفاده شده است با این حال به دلیل نگرانی‌های مربوط به خواص مکانیکی و استفاده از مواد ساینده در برابر دندان های طبیعی انتخاب مناسب این مواد بسیار مهم است. هدف از آزمایش این است که یک سرامیک نفوذ شده در ۳ ماده دیگر تجاری مبتنی بر سرامیک تجاری- زیرکونیا- لوسیت و زیرکونیا روکش شده در برابر دندان های طبیعی آزمایش شود که در این آزمایش از دستگاه شبیه ساز جویدن آلمانی استفاده شده است نمونه های دندانی تحت بار ۴۹ نیوتن و ۳۶۰ هزار چرخه و در کنار ماده بزاق مصنوعی به عنوان روان کننده، استفاده شده است. نمونه‌های مورد بررسی شامل مقایسه نمونه طبیعی دندانی با زیرکونیا و همچنین با کامپوزیت ویتا اینامیک و لوسیت و زیرکونیا روکش داده شده بود.

در مطالعه دیگر وون فانگ سو و همکارش رفتار خستگی آلیاژ خاصی از ایمپلنت‌های دندانی را مورد بررسی قرار داد که در آن از مکانیزم نیروی مکانیکی در ۳۰ درجه از خط عمود استفاده شده بود[2]. در این آزمایش مقاومت حد تسلیم و حد خستگی دو آلیاژ معروف تیتانیوم مورد بررسی قرار گرفته است به طوریکه آلیاژ (Ti16Zr) به عنوان ماده مرجع در نظر گرفته شده و آلیاژ (Ti50Zr برای کاشت دندان اعمال می شود.

برانکو و همکارانش به بررسی رفتار و عملکرد تریبولوژیکی دندان انسان در برابر زیرکونیا ساخته شده به روش چاپ سه بعدی در دستگاه آزمایش جویدن، پرداختند[3]. در این مقاله ارزیابی عملکرد تریبولوژیکی جفت دندان انسان که که از جنس زیرکونیا است و به دو روش روبوکست شده (RC) و فشرده سازی شده (UC) بررسی شده است تمرکز ویژه‌ای روی سایش و همچنین سختی و مقاومت صورت گرفته است. اگرچه بسیاری از خصوصیات نمونه‌های (RC) (UC) مشابه است اما پس از آزمایش نمونه‌ها در دستگاه آزمایش جویدن نتیجه حاصل شد که روش(RC) یک روش امیدوار کننده برای تولید زیرکونیا است.

دستگاهی که در مقاله حاضر اشاره شده است، قادر است با انجام آزمایش‌هایی که با استانداردهای مواد دندانی مطابقت دارد مسائل ذکر شده را حل نماید و قابلیت حل مشکل در گستره انسانی و حتی حیوانی را دارد. همچنین این دستگاه قادر است آزمایش حد دوام و حد خستگی را به روی نمونه‌های غیردندانی و قطعاتی که کاربرد صنعتی دارند، انجام دهد به طوری که با قرارگیری آن بخش از قطعه در دستگاه، که تحت بار استاتیکی یا دینامیکی است، شبیه‌سازی شده و آزمایش‌های لازم طبق شرایط نزدیک به واقعیت آن قطعه صورت گیرد.

نمونه‌های دندانی جدید که از مواد جدید ساخته می‌شوند، برای این که کاربرد بهتر و به صرفه‌تری داشته باشند لازم است از نظر استحکام و حد خستگی آزمایش شوند تا در صورت لزوم جایگزین نمونه‌های از کار افتاده‌ی اصلی باشند و حتی بتوانند کارکرد مشابهی نسبت به خود دندان داشته باشند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

در این دستگاه برای این که بتوان شرایط طبیعی دهان و بزاق را شبیه‌سازی کرد و به هر چه بهتر شدن نتایج کمک کرد، در قسمتی از دستگاه جایی که نمونه‌های دندانی جای می‌گیرند از محلول بزاق مصنوعی استفاده می‌شود که در حین عملیات آزمایش، شرایط طبیعی‌تر و داده‌ها دقیق‌تر باشند که استفاده از این محلول بستگی به شرایط خاص و حساسیت آزمایش مورد نظر دارد.

این دستگاه قادر است بر روی تمامی انواع نمونه‌های دندانی اعم از نمونه‌های حساس انسانی و نمونه‌های قوی حیوانی و همچنین نمونه‌های ترد و حتی نمونه‌های نرم و انعطاف‌پذیر، آزمایش انجام دهد. داده‌های استخراج شده، بر اساس مقدار تغییر فرم نمونه‌ها در نقطه بارگذاری شده است، که آن تغییرات به نسبت نیروی بارگذاری و تعداد تناوب و سرعت بارگذاری بستگی دارد و قابل کنترل است که همگی بر اساس استاندارد مواد دندانی برای آن نمونه تعریف می‌شود.

نحوه کارکرد دستگاه جهت اعمال آزمایش خستگی و آزمایش شکست که به طور مفصل در بخش مواد و روش‌ها و بررسی نتایج اشاره خواهد شد، به گونه‌ای است که نمونه‌ها بعد از جای‌گیری و ثابت شدن در جای خود، سمبه دستگاه ، با حرکت عمودی و رفت و برگشتی شروع به بارگذاری می‌کند که در حین بارگذاری عمودی، دستگاه قادر است برای شبیه‌سازی بهتر جویدن، میز افقی را که نمونه روی آن قرار دارد، به صورت افقی و رفت و برگشتی با سرعت معین و ثابت به حرکت در آورد. مکانیزم حرکتی عمودی دستگاه توسط بال اسکرو کنترل خواهد شد که بر اساس دقت و گستره کاری مورد نظر بین این دو روش، حالت بهینه و بهترین مکانیزم در نظر گرفته خواهد شد، همچنین این دستگاه دارای کنترلر خواهد بود که قسمت‌های حرکتی دستگاه(مقدار و تنظیم آن) و پارامترهای ورودی و خروجی را کنترل می‌کند. روند آزمایش در دستگاه تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که یا تعداد سیکل تعریف شده به اتمام برسد و یا نمونه در وسط آزمایش با شکست و خستگی همراه باشد. لازم به ذکر است شرایط برای تمامی نمونه‌ها یکسان نیست و پارامترهای ورودی دستگاه(تعداد تناوب، سرعت تناوب، مقدار بارگذاری) بر اساس اندازه نمونه‌ها و سختی و نرمی و موارد خواسته شده بر اساس استاندارد تعریف شده، قابل تنظیم هستند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مکانیزم دستگاه و نحوه کارکرد آن

دستگاه شبیه ساز جویدن شامل دو مکانیزم حرکتی در دو راستای افقی و عمودی است که هر مکانیزم حرکتی به طور مجزا بر اساس سیستم کنترلی مخصوص به خود حرکت می‌کند به طوری که حرکت در راستای عمودی روی سیستم دقیق بال‌اسکرو تعبیه شده تا از لقی‌های احتمالی جلوگیری شود و همچنین، حرکت در راستای افقی که یک حرکت اختیاری در نظر گرفته شده، روی سیستم لیداسکرو تعبیه شده است. برای اینکه حرکت در دو راستای مشخص شده با دقت کافی صورت گیرد، صفحه‌ی متصل به بال اسکرو (برای حرکت عمودی) و صفحه متصل به لید اسکرو (برای حرکت افقی) توسط میله های راهنما هدایت می‌شوند.

حرکت در راستای افقی و عمودی به صورت رفت و برگشتی می باشد، به طوری که مقدار این حرکت توسط سیستم کنترلی که به روی موتورهای پله‌ای برنامه‌نویسی شده، قابل کنترل و تغییر است. لازم به ذکر است محدوده حرکتی چرخه ای برای هر دو راستا بر اساس اندازه و ابعاد نمونه آزمایش تنظیم می‌شود که در این دستگاه این محدوده حرکتی برای راستای عمودی در حدود ۱۲۰ میلیمتر و برای راستای افقی در حدود ۱۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است تا با تمامی نمونه‌های آزمایش (نمونه‌های دندانی) قابل اجرا باشد.

همچنین در این دستگاه برای اندازه گیری مقدار نیروی اعمال شده به نمونه ها از حسگر نیروسنج استفاده شده است تا در هر شرایط، مقدار ضربات برخورد شده به نمونه‌های آزمایش قابل اندازه‌گیری و کنترل باشد که مقدار این نیرو بر اساس استانداردهای مواد دندانی قابل استخراج است و این نیرو در این دستگاه قابلیت بازتولید را دارد. محدوده اعمال نیرو در این دستگاه تا ۲۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده که این محدوده در حد جویدن معمولی و یا مقداری بیشتر است، همچنین دقت حسگر اندازه‌گیری نیرو ۰/۰۱کیلوگرم است.

۲-۱-۱ مکانیزم حرکتی دستگاه

۲-۱-۱-۱ مکانیزم افقی

این حرکت که جزو حرکت های انتخابی دستگاه محسوب می شود، توسط سیستم لید اسکرو و میله‌های راهنمای مربوط آن انجام می گیرد.

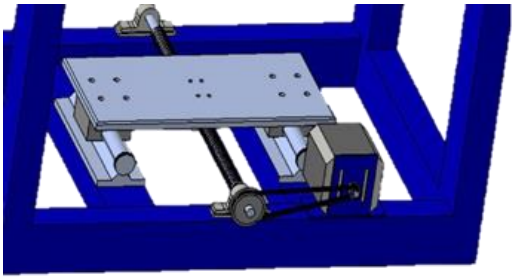
در قدم اول ریل‌های راهنما به طول هر کدام ۱۵ سانتیمتر، برای هدایت حرکت افقی نصب شد که توازی این دو ریل برای عملکرد بهتر مد نظر قرار گرفت.

سپس واگنهای ریل های راهنما که وظیفه نگهداری صفحه افقی را دارند پس از اتصال به صفحه افقی در جای خود قرار داده شدند. با در نظر گرفتن جایگیری مناسب لید اسکرو، نگهدارنده های لید اسکرو روی بدنه دستگاه نصب شد به طوری که پس از جایگیری لید اسکرو، توازی میله های راهنما و پیچ هدایت حرکت افقی در نظر گرفته شد. پس از جایگیری مناسب پیچ هدایت حرکت افقی، صفحه افقی به مهره سیستم لید اسکرو متصل گردید تا با حرکت چرخشی پیچ، حرکت افقی مورد نیاز دستگاه تأمین گردد. برای هدایت حرکت افقی دستگاه از استپ

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

موتور استفاده شده است، به طوری که با برنامه اعمال شده روی موتور میزان حرکت افقی، قابل کنترل و تنظیم می‌شود. برای اتصال موتور به پیچ هدایت حرکت افقی از سیستم انتقال قدرت تسمه و پولی استفاده شده است و با توجه به توان موتور و دقت حرکتی مورد نیاز پولی و تسمه انتخاب شد و انتقال قدرت به صورت افزاینده در نظر گرفته شد.



شکل ۱) مکانیزم افقی دستگاه

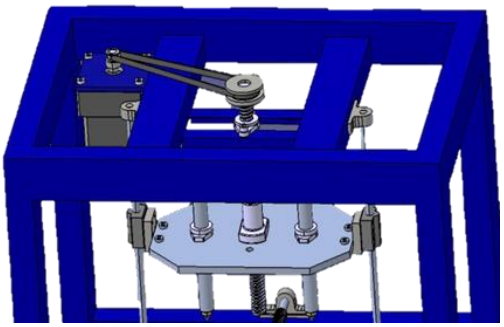
۲-۱-۱-۲ مکانیزم عمودی

این حرکت که جزو حرکتهای اصلی دستگاه محسوب می‌شود توسط سیستم بال اسکرو و میله‌های راهنمای مربوط به آن انجام می‌گیرد. در این قسمت هم مشابه مکانیزم حرکت افقی، ابتدا میله‌های راهنما که وظیفه هدایت حرکت عمودی صفحه بالایی را بر عهده دارند به روی دستگاه نصب شدند به طوری که توازی آنها نسبت به هم بررسی گردید و همچنین تعامد میله ها نسبت به مکانیزم افقی و همچنین صفحه پایینی در نظر گرفته شد. در حین اتصال میله‌های راهنما، واگن‌های مربوط به این میله ها نیز در جای خود قرار گرفتند تا با اتصال صفحه بالایی به این واگن‌ها عملیات هدایت حرکت عمودی به خوبی صورت گیرد. میله‌های ضربه زن (سمبه) که در اصل وظیفه نگهداری پروب های دستگاه را بر عهده دارند، به قطر ۱۶ میلیمتر انتخاب شده و به صورت انطباق سفت و پرسی در صفحه بالایی قرار می-گیرند و توسط نگهدارنده های شفت، در جای خود ثابت شدند. سپس با در نظر گرفتن محل قرارگیری مناسب برای بال‌اسکرو که دقیقا در وسط صفحه بالایی قرار دارد سیستم بال اسکرو نیز، به صفحه بالایی متصل گردید(از طریق اتصال مهره بال اسکرو به صفحه بالایی) به طوری که توازی بال اسکرو با میله‌های راهنمای مکانیزم عمودی در نظر گرفته شد. پس از اتصال بال اسکرو و قرارگیری در یاتاقان بالایی و اتصال صفحه افقی به میله های راهنمای حرکت عمودی برای هدایت حرکت عمودی دستگاه همانند مکانیزم افقی از استپ موتور استفاده خواهد شد. برای هدایت حرکت عمودی در دستگاه از موتور پله ای استفاده شده است به طوری که با برنامه اعمال شده روی موتور میزان حرکت رفت و برگشتی عمودی قابل کنترل و تنظیم می باشد با این تفاوت که موتور استفاده شده در این مکانیزم(مکانیزم عمودی دستگاه) به علت سنگین بودن فضای کاری در این راستا و و اعمال نیرو به نمونه ها ، دارای توان و قدرت بیشتری نسبت به موتور پایینی است و همچنین برای اتصال موتور به بال اسکرو از سیستم تسمه و پولی همانند مکانیزم افقی استفاده شده است.

لازم به ذکر است که هر دو مکانیزم حرکتی دستگاه بر اساس جابه‌جایی کنترل می‌شوند.

۲-۲ کالیبراسیون مکانیزم حرکتی

در هر مرحله از طراحی و جایگذاری مکانیزم حرکتی دستگاه، تعامد و توازی محورها مورد بررسی قرار گرفته است و خطاهای حرکتی اعم از لقی های بی مورد و عدم روان بودن سیستم حرکتی، رفع شده و بهبود یافته است.

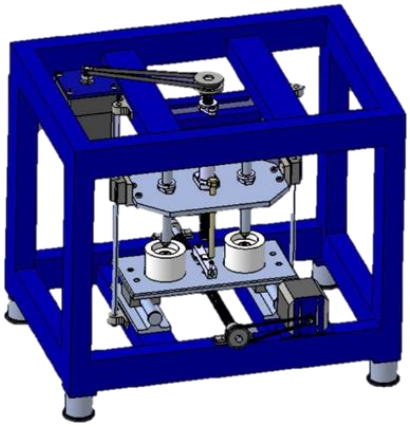


شکل ۲) مکانیزم عمودی دستگاه

۲-۳ نمونه های آزمایش

نمونه های دندانی پس از کاشت(مانت) در لثه مصنوعی در درون نگهدارنده خود فیکس می‌شوند که جنس نگهدارنده نمونه دندانی ترجیحاً از پلاستیک پلی آمید که از دسته پلاستیک های سفت و سخت است استفاده شده است. نمونه های دندانی در صفحه پایینی دستگاه با فاصله های مشخص و در زیر سمبه ها قرار می گیرند

پس از جایگیری نمونه های آزمایش در جای خود طراحی دستگاه به پایان رسید و در آخر طراحی، برای ثبات شاسی دستگاه و عدم لقی آن هنگام کار، از پایه های فلزی و قابل تنظیم برای تراز کردن دستگاه استفاده شد که طرح پایانی این دستگاه به شکل زیر است.



شکل ۳) نمای کلی دستگاه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

۲-۴ سیستم برقی و کنترلی دستگاه

پس از مونتاژ قطعات مکانیکی دستگاه، سیستم برقی و کنترلی دستگاه که شامل درایورها ، برد آردوینو ، لودسل و ماژول کنترلی آن و در نهایت منبع تغذیه است، به روی متصل و راه اندازی گردید که توضیحات آن به شرح زیر است:

۲-۴-۱ درایور

برای ایجاد حرکت در موتورها یک کنترل نمی‌تواند جریان و ولتاژ مورد نیاز را تأمین کند بنابراین برای تامین ولتاژ و جریان موتور از درایور استفاده می‌کنند

هر موتور نسبت به ولتاژ جریانی که می کشد دارای درایور سازگار با خود است درایور موتورهای پله ای معمولاً طوری طراحی میشوند که علاوه بر تامین ولتاژ و جریان موتور بتواند با اعمال هر پالس از کنترلر یک پله حرکت کنند و همچنین می تواند طوری طراحی شوند که علاوه بر دقت اسمی موتور بتوانند دقت های خیلی ریز تر از هر پله موتور را بگیرند. در این دستگاه برای موتور پله ای که در مکانیزم حرکت عمودی به کار گرفته شده از یک عدد درایور استپ موتورTB6600 و همچنین برای موتور پله ای که در مکانیزم حرکت افقی به کار گرفته شده از درایورA4988 استفاده شده است.

۲-۴-۲ برد آردوینو یونو

آردوینو ، بردی میکرو کنترلی است که به منظور تولید راحت تر پروژه هایی که با اشیا محیط تعامل داشته باشند طراحی شده است. سخت افزار آن شامل یک برد سخت افزار متن باز است که از میکروکنترلرهای AVR یا ARM استفاده می کند

برد UNO شامل کلیه امکانات مورد نیاز جهت بکارگیری میکروکنترلر موجود بر روی برد می باشد

۲-۴-۳ تغذیه برد

ولتاژ مورد نیاز آردوینو مدل یونو از طریق اتصال درگاه usb و یا یک منبع تغذیه خارجی تامین گردد که منبع تغذیه می تواند به صورت دلخواه انتخاب شود. این برد می تواند با منبع تغذیه خارجی ۶ تا ۲۰ ولت کار کند و اگر ولتاژ تغذیه پایینتر از ۷ باشد روی ولتاژ پین ها اثر خواهد گذاشت و ممکن است ولتاژ خروجی آنها کمتر از ۵ ولت باشد و باعث می گردد، همچنین بیش از ۱۲ ولت نیز می تواند موجب افزایش دمای رگلاتور و در نتیجه آسیب به برد گردد ، بنابراین ولتاژ مناسب پیشنهادی بین ۷ تا ۱۲ ولت می باشد.

۲-۴-۴ لودسل و برد hx711

یکی از پر کاربرد ترین سنسور ها در صنعت لودسل می باشد که در این دستگاه از لوسل تک پایه با ظرفیت ۲۰ کیلوگرم استفاده شده است. متاسفانه راه اندازی و درایو نمودن لودسل به دلیل تغییرات بسیار جزئی ولتاژ خروجی و نویز پذیری زیاد همیشه کاری دشوار و حساس بوده است. که میتوان بوسیله ماژول hx711 و بدون نیاز به هیچ تنظیمات و دردسری برای بخش آنالوگ مدار خود، خروجی لودسل را با دقت ۲۴ بیت به دیجیتال تبدیل کرد. در صورت استفاده از این ماژول نویز ناشی از دیگر مدارات به حداقل رسیده و می توانی با دقت بسیار بالا دستگاه را تنظیم و کالیبره کرد.چیپ hx711 دارای تقویت کننده داخلی برنامه پذیری PGA بوده و هم چنین دارای یک مبدل ADC با رزولوشن ۲۴ بیت می باشد. همچنین این ماژول دارای خروجی سریال می باشد که به راحتی توسط انواع میکروکنترلرها قابل راه اندازی است. از طرفی این چیپ توانایی پشتیبانی از دو ورودی به صورت همزمان را نیز داراست. درواقع چون لودسل ها و سنسورهای وزن سنج، خروجی بسیار کوچک است به همین دلیل مدار بسیار نویزپذیر است لذا نیاز است که قبل از پردازش، خروجی تقویت شود. ماژول hx711 هم سیگنال لودسل یا سنسور وزن را تقویت می‌کند و هم سیگنال آنالوگ را با دقت ۲۴ بیت به دیجیتال تبدیل می کند. خروجی این ماژول سریال است و به راحتی به میکروکنترلر/ آردوینو متصل می شود. هم زمان میتواند به دو سنسور وزن متصل شود(دو کانال ورودی آنالوگ دارد)

۲-۴-۴-۱ کالیبراسیون لودسل و بررسی عملکرد آن

برای استفاده از لودسل ابتدا لازم است که کالیبره شود. برای اینکار کد کالیبراسیون را برروی آردوینو آپلود شد و پس از آن یک جسم با وزن مشخص روی لودسل قرار داده شد، که با استفاده از نرم‌افزار بارگذاری روی لودسل با صحت لازم صورت گیرد.

۲-۵ آماده سازی نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش در این دستگاه دندان‌های طبیعی انسانی و همچنین دندانهای مصنوعی(کامپوزیتی) هستند که پس از مانت شدن در جای خود، برای انجام آزمایش حد دوام و خستگی در صفحه پایینی دستگاه در قسمت نگهدارنده نمونه فیکس و محکم میشوند که در صورت اعمال ضربه دچار جابجایی های ناخواسته که باعث خطا در نتیجه آزمایش میشود، نشوند به همین دلیل این نمونه‌ها پس از جایگیری در جای خود، توسط پیچ قابل تنظیم و سفت کننده محکم در جای خود نگه داشته می‌شوند.همچنین نمونه ها به گونه ای در جای خود قرار می گیرند که امکان افزودن مایع آزمایشگاهی بزاق نیز فراهم شود که در این صورت نتایج آزمایش دقیق تر و با ضریب اطمینان بالا خواهد بود.

شکل ٤) نمونه های آماده شده جهت آزمایش در دستگاه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

در آخر، پس از اتمام مونتاژ قطعات مکانیکی و برقی و آزمایش عملکرد و کارایی مربوطه، دستگاه آماده‌ی انجام آزمایش‌های مختلف نسبت به نمونه‌های مختلف دندانی، در شرایط‌های متفاوت که در بخش نتایج به آن پرداخته شده است.

۲-۶ متغیرهای دستگاه

۲-۶-۱ نیروی وارد شده به نمونه‌ها

پس از مماس کردن همزمان پیچ قابل تنظیم به روی حسگر نیرو سنج و سمبه‌های ضربه زن به روی نمونه های آزمایش، با پایین آمدن صفحه بالایی به مقدار مشخص که باعث تغییر شکل و خمش لودسل می‌شود، نیروی مورد نظر به نمونه ها از طریق سمبه ها وارد می شود که این نیرو بر اساس مقدار خمش لودسل تحت این بارگذاری قابل محاسبه بوده درواقع بر اساس حسگر نیروسنج تعبیه شده در دستگاه که دارای حداکثر ظرفیت ۲۰ کیلوگرم نیرو(تقریبا ۲۰۰ نیوتن) را دارد، نیرو محاسبه می‌شود

۲-۶-۲ تعداد سیکل حرکتی

پس از مشخص کردن مقدار نیروی وارد شده به نمونه ها، این دستگاه توانایی آن را دارد که علاوه بر اعمال نیروی استاتیک که مقدار آن کاملا مشخص و تحت کنترل است، نیروی ضربه‌ای و چرخه ای نیز به نمونه ها وارد کند که این ویژگی به خاطر حرکت رفت و برگشتی(چرخه ای) هم به صورت عمودی(مکانیزم حرکت عمودی) و هم به صورت افقی(مکانیزم حرکت افقی) می‌باشد، همچنین برای اعمال نیروی چرخه ای، تعداد چرخه‌های حرکتی برای حرکت در دو راستای عمودی و افقی قابل کنترل و تعریف شده است به طوری که با مشخص کردن میزان حرکت رفت و برگشتی موتورها، این قابلیت در این دستگاه اجرا می‌شود. پس به طور کلی تعداد سیکل‌های حرکتی در هر دو راستا قابل تنظیم و کنترل است.

۲-۶-۳ مقدار سیکل حرکتی

بر اساس انتقال قدرت به روش تسمه و پولی و در نظر گرفتن این نسبت انتقال قدرت بر اساس اندازه پولی ها و همچنین با توجه به گام پیچهای بال اسکرو(برای مکانیزم حرکتی عمودی) و لید اسکرو(برای مکانیزم حرکتی افقی)، میزان سیکل حرکتی در هر دو راستای عمودی و افقی قابل کنترل و تنظیم است.

۲-۶-۴ میزان حرکت خطی برای مکانیزم عمودی دستگاه

بر اساس مشخصات بال اسکرو استفاده شده، محدوده حرکت عمودی دستگاه حداکثر ۱۲۰ میلیمتر است.

۲-۶-۵ میزان حرکت خطی برای مکانیزم افقی دستگاه

در مکانیزم حرکتی افقی دستگاه نیز که توسط لید اسکرو کنترل می شود، با توجه به اینکه گام لید اسکرو، حداکثر میزان حرکت در راستای افقی ۱۰۰ میایمتر می‌باشد.

۳- بررسی و تحلیل نتایج

در جدول ۱ اطلاعات کلی و پارامترهای دستگاه آورده شده است:

جدول ۱) اطلاعات کلی دستگاه

مکانیزم حرکتی عمودی		مکانیزم حرکتی افقی	
محدوده حرکت خطی (mm)	۰ تا ۱۲۰	محدوده حرکت خطی (mm)	۰ تا ۱۰۰
خطا در حرکت خطی	±۰/۰۲ mm	خطا در حرکت خطی	±۰/۱mm
تعداد سیکل حرکتی	۱ تا ۲۰۰ هزار	تعداد سیکل حرکتی	۱ تا ۱۰۰ هزار
مقدار حرکت سیکلیک (mm)	۰/۰۸ تا ۱۰۰	مقدار حرکت سیکلیک (mm)	۰/۰۶ تا ۸۰
محدوده سرعت حرکت سیکلیک(mm/s)	۰/۶ تا ۲	محدوده سرعت حرکت سیکلیک(mm/s)	۰/۸ تا ۱/۵
سنسور اندازه گیری نیرو (لودسل)			
محدوده اندازه گیری نیرو (kg)	۰/۰۱ تا ۲۰/۰۰		
دقت اندازه گیری نیرو (kg)	۰/۰۱		

۳-۱ شرایط انجام آزمایش

طبق مطالعات انجام گرفته در مورد خستگی و شکست نمونه های دندانی، به طور میانگین محدوده نیروی اعمال شده در حدود ۳۰ تا ۲۵۰ نیوتن و محدوده حرکت چرخه ای در حدود ۱۰ هزار تا ۱/۲ میلیون چرخه بوده است که در اکثر مواقع نیروی اعمال شده فقط در راستای عمودی بوده و نمونه های مختلف دندانی با جنسهای متفاوت، تحت متوسط این شرایط دچار شکست یا تغییر فرم قابل ملاحظه ای شدند.با توجه به این که نیروی لازم جهت شکست (نه خستگی) در محدوده ۱۰۰ الی ۸۰۰ نیوتن است، نمونه ها جهت آزمایش استاتیک(تحت ۱۰۰ نیوتن) و حد دوام و همچنین جهت آزمایش حد خستگی با تعداد سیکل محدود (۵۰۰ سیکل) که فقط برای بررسی کارکرد صحیح دستگاه می‌باشد، قرار گرفتند.

۳-۲ آماده‌سازی دستگاه برای انجام آزمایش

پس از آماده سازی نمونه ها (نمونه های دندانی) و قرار گرفتن در جای خود در روی دستگاه(روی صفحه پایینی، در داخل قالب نگهدارنده نمونه ها) دستگاه شبیه ساز جویدن آماده انجام آزمایش به روی نمونه ها می باشد.

قبل از شروع آزمایش، ابتدا پروب متصل شده به سمبه دستگاه، به صورت حرکت دستی به روی نمونه ها مماس می شود به طوری که برای انجام آزمایش همزمان دونمونه قرار گرفته در دستگاه، پروب اتصال شده به سنبه قابل تنظیم است و می توان تک تک پروبها را به روی نمونه ها مماس کرد، سپس پیچ تنظیم برای به کارگیری حسگر نیرو سنج نیز به روی حسگر متصل شده به صفحه پایینی ، مماس می شود به طوری که در نرم افزار تعریف شده برای حسگر نیروسنج عدد صفر کیلوگرم دیده شود. در این مرحله کافیست صفحه بالایی به اندازه مورد نیاز برای ایجاد نیروی مشخص پایین بیاید که این مقدار حرکت عمودی صفحه بالایی به سمت پایین، باعث خمش لودسل و همزمان ایجاد نیرو به روی نمونه ها می‌شود به طوری که عدد نشان داده شده حاصل از خمش لودسل همان مقدار نیروی وارد شده به نمونه ها می باشد. لازم به ذکر است مقدار خمش لودسل و

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

همچنین مقدار نیروی وارد شده به نمونه ها کاملاً قابل تنظیم و تحت کنترل است و بر اساس نیاز می توان کم یا زیاد کرد.

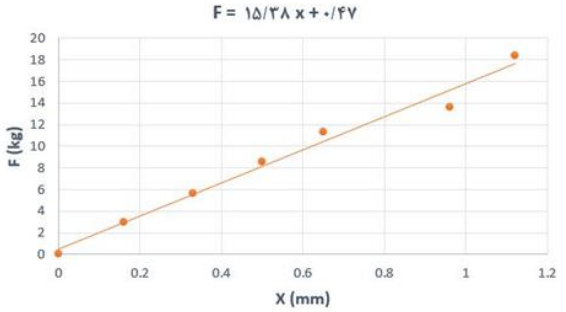
پس از اعمال نیرو مشخص به روی نمونه‌ها بر اساس شرایط مورد نیاز برای آزمایش نمونه می‌توان نیروی استاتیک و همچنین نیروی چرخه ای به روی نمونه ها وارد کرد به طوری که برای اعمال نیروی چرخه ای با نیروی مشخص و مقدار سیکل مشخص، می توان با نرم افزار تعریف شده این نیرو را وارد کرد. در مرحله ای که سمبه ها به نمونه ها نیروی استاتیک وارد کردند می توان این نیروی استاتیک را به نیروی چرخه ای تغییر داد(در صورت نیاز) که همانطور که گفته شد مقدار سیکل وارد شده نمونه ها کاملاً تحت کنترل و قابل تنظیم می باشد. برای ایجاد نیروی چرخه ای کافیست پس از ایجاد نیروی استاتیک روی نمونه ها طبق نرم افزار و برنامه تعریف شده به روی دستگاه و تعریف تعداد سیکل ها و همچنین رنج حرکتی سیکل مورد نظر در نرم افزار شاهد حرکت میز بالایی به صورت رفت و برگشتی(چرخه ای) خواهیم بود.که در صورت نیاز میز افقی نیز قابل حرکت دادن با سیکل مشخص است یعنی این دستگاه این قابلیت را دارد که همچنین در حین ایجاد نیروی استاتیک یا چرخه ای که به صورت عمودی روی نمونه ها وارد می شود، با به حرکت درآوردن میز افقی به صورت رفت و برگشتی(چرخه ای) با تعداد سیکل تعریف شده و همچنین رنج حرکتی مشخص که از طریق نرم افزار و برنامه تعریف شده بر روی دستگاه قابل اجرا است، شبیه سازی جویدن را را به شرایط واقعی نزدیکتر کرد نتایج آزمایش بازخورد واقعی خواهند داشت. پس از مشخص کردن و اعمال نیرو که، پیچ اعمال فشار بر روی سنسور لودسل بالا برده شده تا نمونه ها تحت نیروی از قبل تعیین شده،تحت نیروی استاتیک قرار گرفته اند و در صورت نیاز حرکت چرخه ای(حرکت رفت و برگشتی که حالت ضربه ی دو دندان روی هم را شبیه سازی می‌کند) سمبه‌ها که به صفحه بالایی متصل اند، با تعداد سیکل مشخص و سرعت تعیین شده به نمونه‌ها ضربه می‌زند.همان طور که گفته شد در همین حالت که نمونه ها تحت نیروی عمودی هستند، میز افقی نیز می‌تواند با تعداد سیکل مشخص و سرعت معلوم حرکت رفت و برگشتی افقی داشته باشد تا شرایط شبیه سازی و آزمایش نمونه به نزدیکترین و واقعیترین حالت ممکن انجام گیرد.

پس از مماس کردن پروبها به نمونه ها و همچنین مماس شدن پیچ قابل تنظیم به حسگر لودسل، نیروی استاتیک، مرحله به مرحله ، به نمونه ها وارد شد.

که نمودار نیرو بر حسب تغییر طول در لودسل بر اساس داده های بدست آمده به شکل زیر است همچنین مقدار نیرو بر حسب تغییر طول از رابطه زیر قابل محاسبه است :

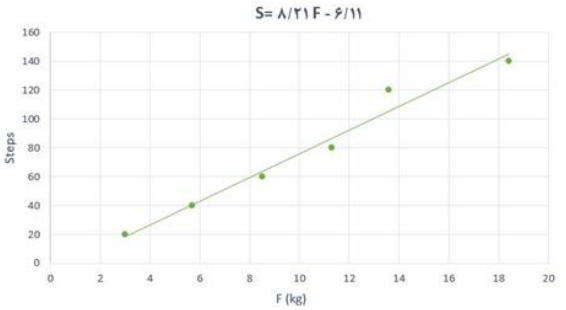
جدول ۲) تغییر طول لودسل به ازای نیروی وارد شده

تغییر طول در لودسل (بر حسب mm)	نیروی اعمال شده (Kg)
۰	۰
۰/۱۶	۳/۰۰
۰/۳۳	۵/۶۸
۰/۵	۸/۵۳
۰/۶۵	۱۱/۳۰
۰/۹۶	۱۳/۶۰
۱/۱۲	۱۸/۴۰



شکل ۵) نمودار نیرو بر حسب تغییر طول لودسل در مکانیزم عمودی

در نتیجه بر اساس مقدار حرکت خطی بر حسب تعداد استپ و همچنین بر اساس مقدار تغییر طول لودسل بر حسب نیروی اعمال شده، نمودار و رابطه نیرو بر حسب تعداد استپ به صورت زیر خواهد بود:



شکل ٦) نمودار تعداد استپ بر حسب مقدار نیروی اعمال شده در مکانیزم عمودی

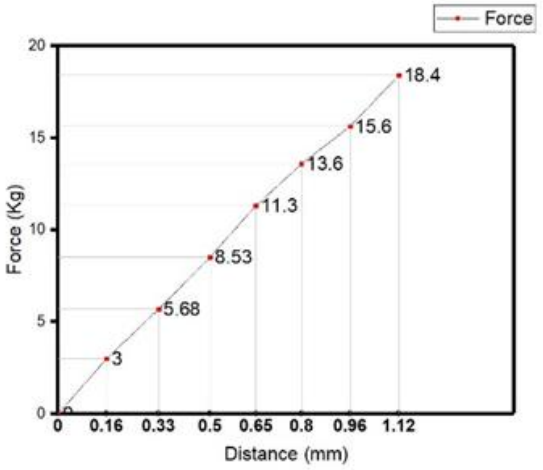
نمونه های آزمایش پس از اعمال این نیرو به صورت مرحله ای، در شکل زیر نشان داده شده اند:

شکل ۷) نمونه های دندانی بعد از بارگذاری

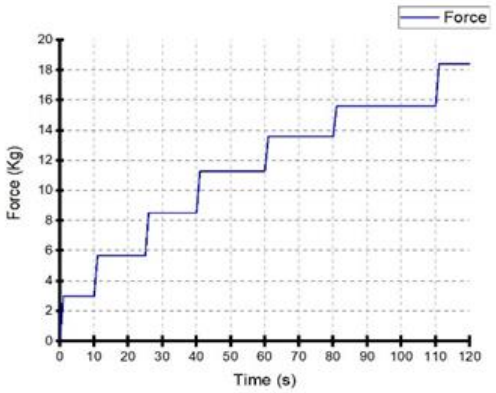
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]

نمودارهای نیرو و جابه جایی به صورت زیر است که شکل ۹ نمودار نیرو بر حسب زمان و شکل ۸ نمودار نیرو بر حسب جابه جایی (خمش) لودسل می‌باشد.



شکل ۸) نمودار نیرو بر حسب جابه‌جایی لودسل

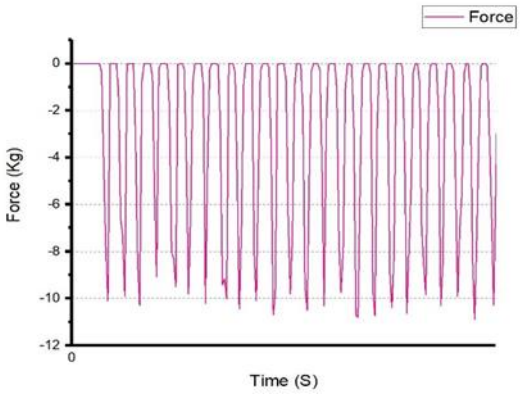


شکل ۹) نمودار نیرو بر حسب زمان

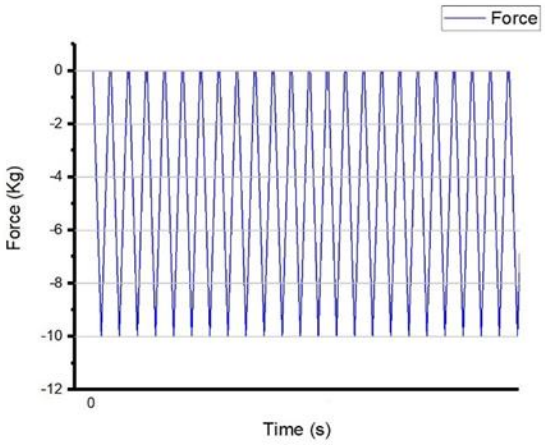
همان طور که اشاره شد، این دستگاه قابلیت اعمال نیرو به حالت چرخه ای را داراست که نمونه‌های دندانی قبل از آزمایش به حالت استاتیکی و شکست، به عنوان بررسی عملکرد درست دستگاه، تحت نیروی ۱۰۰ نیوتن و به تعداد ۵۰۰ سیکل تحت نیروی چرخه‌ای با حرکت چرخه ای در دو راستای عمودی و افقی قرار گرفتند که بر اساس مطاعات انجام شده ، جهت اعمال خستگی به روی نمونه های دندانی لازم است محدوده حرکت چرخه ای و بارگذاری در همان حالت ۱۰ هزار سیکل تا ۱/۲ میلیون سیکل، و حداکثر نیروی ۱۰۰ نیوتن است که بسته به نوع و حد خستگی نمونه متغیر است، لذا جهت بررسی نموداری و عملکرد دستگاه که نشان می‌دهد این دستگاه قابلیت آزمایش خستگی را نیز دارد نمونه ها تحت نیروی ۱۰۰ نیوتن و ۵۰۰ سیکل بررسی شد و نتایج آن به شرح زیر است:

در حالت اول :

پس از تنظیم پیچ مربوط به لودسل، آن را به حالت مماس قرار داده و بر اساس محاسبات مقدار جابه جایی لودسل نیروهای اعمال شده در هر سیکل در شکلهای زیر مشخص است که شکل۳-۱۰ مربوط به داده‌های گرفته شده از لودسل هنگام حرکت چرخه ای می‌باشد و شکل ۳-۱۱ مربوط به نمودار اصولی و بدون در نظر گرفتن خطاها است . نتیجه بدست آمده از ۵۰۰ سیکل تحت بارگزاری ۱۰۰ نیوتن و محدوده نیرویی ۱۰ تا صفر نیوتن که در ۲۴ سیکل نشان داده شده است به صورت زیر است:



شکل ۱۰) نمودار نیرو بر حسب زمان در حرکت چرخه ای دستگاه به تعداد ۲۴ سیکل در مدت ۱۵ ثانیه



شکل ۱۱) نمودار نیرو بر حسب زمان در حرکت چرخه ای بر اساس قانون هوک به تعداد ۲۴ سیکل در مدت ۱۵ ثانیه

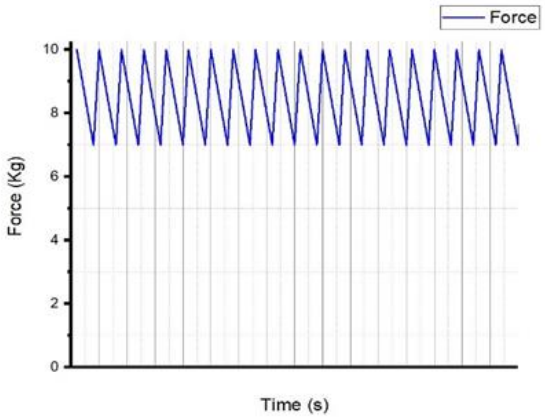
که نتایج بدست آمده همانطور که از نمودارها مشخص است نزدیک به هم بوده و فقط خطاهای احتمالی حین حرکت چرخه ای باعث این تفاوت جزئی شده است.

در حالت دوم:

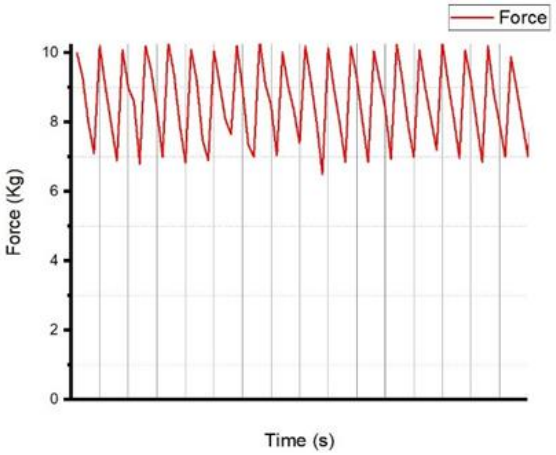
پس از مماس کردن پیچ مربوط به حسگر نیروسنج، نیروی ۱۰ کیلوگرم به آن وارد شد و پس از از آن بر اساس مقدار تغییرات جابجایی در حسگر نیروسنج کورس حرکت عمودی طوری تنظیم شد که با بالا رفتن آن مقدار نیروی اعمال شده به ۷ کیلوگرم کاهش یابد و به همین ترتیب حرکت چرخه ای ادامه خواهد داشت که در شکل۱۲ تغییرات نیرو بر حسب زمان برحسب قانون هوک و در شکل ۱۳ تغییرات نیرو بر حسب زمان که داده ها از حسگر نیروسنج گرفته شده به شرح زیر است:

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]



شکل ۱۲) نمودار نیرو بر حسب زمان در حرکت چرخه ای بر اساس قانون هوک در حالت دوم



شکل ۱۳) نمودار نیرو بر حسب زمان در حرکت چرخه ای دستگاه در حالت دوم

لازم به ذکر است، در حالت دوم سرعت سیکل نسبت به حالت اول کاهش یافت تا تاثیر پارامتر سرعت حرکت در تغییر نیرو و درستی نشان دادن آنها توسط حسگر نیروسنج بررسی شود به طوری که در حالت اول به ازای هر۰/٦ یک سیکل و در حالت دوم به ازای هر۰/۹ یک سیکل وارد می شود.

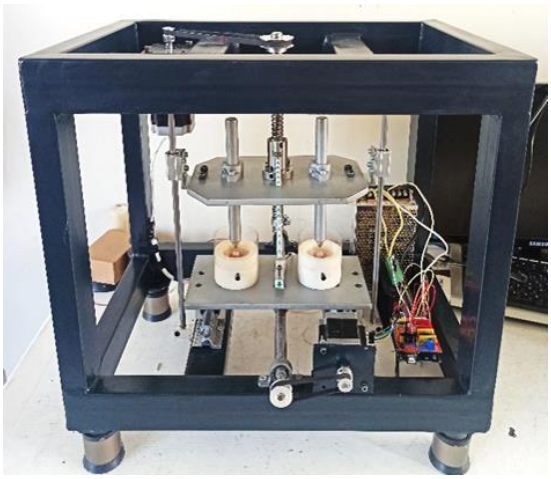
۴- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از تست دستگاه روی نمونه های دندانی، این دستگاه قادر است حد دوام و همچنین حد خستگی را در محدوده تعریف شده و در حد توانایی خود تست کند که نه تنها فقط برای نمونه های دندانی بلکه برای تمامی مواد صنعتی که تحت تنش و خستگی هستند و نیاز به شبیه سازی واقعی(نه نرم افزاری) دارند، می‌توانند این نیاز را برطرف کند و در واقع این دستگاه مقدمه‌ای برای ساخت قطعات جدید با استحکام بالا خواهد بود چرا که می توان قطعات تولید شده با هر روش را از نظر کارکرد و استحکام در این دستگاه آزمایش کرد.

همچنین این دستگاه قادر است آزمایش حد دوام و حد خستگی را به روی نمونه‌های غیردندانی و قطعاتی که کاربرد صنعتی دارند، انجام دهد به طوری که با قرارگیری آن بخش از قطعه در دستگاه، که تحت بار استاتیکی یا دینامیکی است، شبیه‌سازی شده و آزمایش‌های لازم طبق شرایط نزدیک به واقعیت آن قطعه صورت گیرد.

نمونه‌های دندانی جدید که از مواد جدید ساخته می‌شوند، برای این که کاربرد بهتر و به صرفه‌تری داشته باشند لازم است از نظر استحکام و حد خستگی آزمایش شوند تا در صورت لزوم جایگزین نمونه‌های از کار افتاده‌ی اصلی باشند و حتی بتوانند کارکرد مشابهی نسبت به خود دندان داشته باشند.

در این دستگاه برای این که بتوان شرایط طبیعی دهان و بزاق را شبیه‌سازی کرد و به هر چه بهتر شدن نتایج کمک کرد، در قسمتی از دستگاه جایی که نمونه‌های دندانی جای می‌گیرند از محلول بزاق مصنوعی استفاده می‌شود که در حین عملیات آزمایش، شرایط طبیعی‌تر و داده‌ها دقیق‌تر باشند که استفاده از این محلول بستگی به شرایط خاص و حساسیت آزمایش مورد نظر دارد.



شکل ١٤) نمای کلی و جزئیات دستگاه ساخته شده

مراجع

1- F. Santos, A. Branco, M. Polido, A.P. Serro, C.G. (2018). Comparative study of the wear of the pair human teeth/Vita Enamic® vs commonly used dental ceramics through chewing simulation. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2-6, 8-17.

2- Wenfang Cui, Yaohui Liu. (2019). Fatigue behavior of Ti50Zr alloy for dental implant application. Journal of Alloys and Compounds, 1-17.

3- A.C. Branco a,b, R. Silva a, H. Jorge c, T. Santos d, K. Lorenz e, M. Polido f, R. Colaço. (2020). Tribological performance of the pair human teeth vs 3D printed zirconia An in vitro chewing simulation study. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 1-8.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.23.6]