



## تحلیل تئوری و تجربی تأثیر شکل هندسی ابزار جرم‌گیری دندان توسط امواج فراصوتی بر روی میزان رسوب‌زدایی

امین اله محمدی<sup>۱\*</sup>، علیرضا فدائی تهرانی<sup>۲</sup>، هومن رهنما<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: amin1@iut.ac.ir

### اطلاعات مقاله

#### مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۷ دی ۱۴۰۲  
پذیرش: ۱۲ بهمن ۱۴۰۲

#### کلیدواژگان:

زیست لایه  
فراصوت  
کاویتاسیون  
کامسول  
ابزار جرم‌گیری

### چکیده

تجمع میکرو ارگانیزم‌های باکتریایی بر روی سطوح دندان باعث ایجاد زیست لایه‌ای به نام جرم دندان می‌شود و نیاز به برداشتن دوره‌ای آن‌ها است. در روش‌های جدیدتر، این کار توسط یک ابزار فراصوت انجام می‌شود که با ایجاد کاویتاسیون باعث برداشتن آن‌ها از روی سطح دندان می‌شود. شکل هندسی ابزار جرم‌گیر دندان در ایجاد کاویتاسیون در نوک ابزار نقش دارد. در این تحقیق با استفاده از روابط تئوری، ابزارهای یک نمونه دستگاه جرم‌گیر دندان پزشکی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. سپس با استفاده از نرم‌افزار المان محدود کامسول، فرکانس طبیعی مجموعه ترانسدیوسر و هر یک از ابزارها به دست آمد و با نتایج حاصل از روابط تئوری مقایسه گردید. در ادامه فرکانس طبیعی ابزارها به وسیله دستگاه تحلیل‌گر امپدانس مشخص گردید. با مقایسه تغییر شکل ابزارها تأثیر میزان تغییر شکل در ناحیه انحنا و نوک ابزارها مورد بررسی قرار گرفت. با قرار دادن ابزارها در شرایط عملی برداشت جرم از روی سطح دندان نیز مشخص شد که نتایج تئوری و عملی تطابق یکسانی دارند.

## Theoretical and experimental analysis of the dental scaling tool geometry by ultrasonic waves on the rate of descaling

Aminollah Mohammadi<sup>1\*</sup>, Alireza Fadaei Tehrani<sup>2</sup>, Hومان Rahnama<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- MSc Student, Faculty of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

\* Corresponding Author's Email: amin1@iut.ac.ir

### Article Information

#### Original Research Paper

Received: 7 January 2024

Accepted: 1 February 2024

#### Keywords:

Biofilm  
Ultrasonic  
Cavitation  
COMSOL  
Scaling Tool

### Abstract

Since the bacterial microorganism accumulation on the teeth surface causes a biofilm called dental plaque, periodical removal is essential. In novel methods, it is done by an ultrasonic tool creating cavitation; therefore, the dental plaque will be removed from the tooth surface. The dental scaling tool geometry plays an important role in the tool nose cavitation. In this study, the dental scaling tools of one device have been investigated and analyzed by the theoretical equations. Then the natural frequency of the transducer and each of the dental scaling tools were determined by the COMSOL Limited element software and were compared with the results of the theoretical equations. Also, the natural frequency of the tools was known by the impedance analyzer. The effect of the deformation on the nose and curve was investigated by the tools deformation comparison. The dental plaque performed practically displayed a desired accordance between experimental and practical findings.

### Please cite this article using:

Mohammadi A, Fadaei Tehrani A, Rahnama H. Theoretical and experimental analysis of the dental scaling tool geometry by ultrasonic waves on the rate of descaling. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 November 22;10(9):11-18. doi: 10.22034/IJME.2024.434413.1908 [In Persian]

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## ۱- مقدمه

زیست لایه‌ها<sup>۱</sup> در حضور رطوبت بر روی سطوح غیربهداشتی ایجاد می‌شوند. تشکیل زیست لایه و یا به اصطلاح جرم بر روی سطح دندان یک مشکل دائمی است. طبیعت و ساختار باکتری‌های موجود در زیست لایه‌های ایجاد شده بر روی سطح دندان به گونه‌ای است که سیستم ایمنی بدن و آنتی‌بیوتیک‌ها بر آن‌ها اثری ندارند. زیرا نفوذ آنتی‌بیوتیک در زیست لایه‌ها مشکل است و همچنین آنتی‌بیوتیک‌ها معمولاً بر روی باکتری‌های فعال تأثیر می‌گذارند. زیست لایه‌ها می‌توانند باعث بروز بیماری‌هایی در سایر نقاط بدن شوند. باکتری‌های موجود در زیست لایه‌های دندان می‌توانند از طریق عروق خونی موجود در لثه وارد خون شوند و خود را به سایر اندام‌های بدن برسانند و باعث بروز انواع بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت، بیماری‌های تنفسی و یا ایجاد نقص در جنین شوند [۱].

فوی و همکاران [۲] در تحقیقی اعلام نمودند که عملکرد متفاوت ابزارهای جرم‌گیری فراصوت موجود در بازار نشان از عدم درک نحوه کار این ابزار دارد و به این منظور با انتخاب یک دستگاه جرم‌گیری مشخص و ابزار مربوطه با فرکانس کاری ۳۰ کیلوهرتز و با استفاده از ویبرومتر لیزری تغییر شکل نوک ابزار را در طول زمان، از دو جهت مختلف و در توان‌های مختلف تنظیمی دستگاه اندازه‌گیری نمودند و متوجه شدند که نوک ابزار جرم‌گیری در جهت عمود بر محور ابزار دارای یک حرکت موجی یکنواخت و در جهت محور ابزار دارای حرکت موجی غیریکنواخت است. فلور و همکاران [۳] با انتخاب یک دستگاه جرم‌گیر با سه نمونه ابزار مختلف، به بررسی ارتباط بین تغییر شکل ابزار و میزان کاویتاسیون ایجاد شده در طول ابزار پرداختند. در این تحقیق از ویبرومتر لیزری جهت اندازه‌گیری تغییر شکل ابزار در طول ابزار استفاده شد و نشان داده شد که موقعیت نقاط دارای بیشترین تغییر شکل با افزایش توان دستگاه ثابت باقی می‌مانند. لی و همکاران [۴] به منظور درک بهتر تغییر شکل ابزار جرم‌گیر فراصوت، با استفاده از ویبرومتر لیزری به اسکن سه‌بعدی چهار نمونه ابزار با هندسه مختلف در زمان کار بر روی دو دستگاه جرم‌گیر تجاری مختلف پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که نقاط مختلف ابزار به صورت بیضوی در طول زمان تغییر شکل می‌دهند و تغییر در هندسه ابزار منجر به تغییر ابعاد این بیضی‌ها می‌شود و حتی در زمانی که ابزار تحت بارگذاری قرار می‌گیرد نیز شکل بیضوی حرکت نقاط مختلف ابزار حفظ می‌شود. همچنین در این تحقیق نشان داده شد که تغییر در توان خروجی دستگاه باعث تغییر در ابعاد بیضی‌ها می‌شود ولی رفتار کلی هر ابزار ثابت می‌ماند. مانمی و همکاران [۵] در تحقیقی اعلام نمودند که اکثر ابزارهای جرم‌گیر تجاری فراصوت موجود در بازار کاویتاسیون مناسبی ایجاد نمی‌کنند و به نظرمی‌رسد برای حل نمودن این مشکل نیاز است که درک بهتری از رفتار ویبروآکوستیک<sup>۲</sup> این ابزارها و ارتباط بین این رفتار و پدیده کاویتاسیون ایجاد شود.

بامطالعه تحقیقات مختلف انجام شده در زمینه شکل هندسی ابزار جرم‌گیر فراصوت مشاهده می‌شود که شکل هندسی ابزارهایی که ساخته می‌شوند بسیار متفاوت می‌باشند و علی‌رغم این تفاوت شکل هندسی، تمام این ابزارها کاویتاسیون ایجاد می‌کنند، ولی میزان کاویتاسیون ایجاد شده در این ابزارها متفاوت است و لزوماً این ابزارها حداکثر میزان کاویتاسیون را ایجاد نمی‌کنند. لذا شکل هندسی بهینه ابزار برای رسیدن به حداکثر میزان کاویتاسیون موضوعی است که می‌بایست مورد توجه و تحقیق قرار گیرد. هدف در تحقیق پیشرو رسیدن به یک شکل هندسی مشخص برای ابزار جرم‌گیری دندان به روش فراصوت است که در آن پدیده کاویتاسیون با بیشترین مقدار ممکن ایجاد شود و در نهایت این شکل هندسی بهترین عملکرد را در عمل جرم‌زدایی از سطح دندان داشته باشد. در این تحقیق با استفاده از روابط تئوری، ارتباط بین فرکانس طبیعی ابزار با طول کلی و میزان تغییر سطح مقطع ابزار مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به بررسی تأثیر انحنای ابزار بر روی فرکانس طبیعی محاسبه شده پرداخته خواهد شد و نتایج حاصل از تحلیل توسط نرم‌افزار المان محدود کامسول مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در این تحقیق، نتایج تئوری و تحلیل‌های حاصل از شبیه‌سازی‌ها با انتخاب سه نمونه ابزار تجاری مختلف موجود در بازار مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از محاسبات و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که یکی از این ابزارها بهترین مشخصات هندسی را دارد. در ادامه با اندازه‌گیری فرکانس طبیعی ابزارهای مختلف توسط دستگاه تحلیل‌گر فرکانس مشخص می‌شود که همین ابزار در مقایسه با ابزارهای دیگر، در عمل نیز نزدیک‌ترین فرکانس طبیعی را به فرکانس کاری دستگاه دارد. با مقایسه میزان جرم برداشته شده توسط این ابزارها از روی سطح دندان‌های واقعی نیز مشخص می‌شود که ابزاری که از نظر محاسبات تئوری و نتایج شبیه‌سازی‌ها دارای بهترین شکل هندسی بود، در عمل نیز بهترین عملکرد را دارد.

<sup>1</sup> Biofilm

<sup>2</sup> Vibroacoustic

## ۲- روش تحقیق

شکل هندسی یک ابزار جرم‌گیر التراسونیک به صورت یک مخروط است که برای دسترسی بهتر به سطوح دندان‌های مختلف علاوه بر کوچک شدن قطر در نوک ابزار، در طول خود انحنا نیز پیدا کرده است. پس در مورد شکل هندسی ابزار سه مشخصه اصلی اهمیت پیدا می‌کند که این سه مشخصه عبارت‌اند از:

۱- طول کلی

۲- میزان کاهش سطح مقطع یا مخروطی بودن

۳- میزان انحنا

وقتی ابزار جرم‌گیر التراسونیک در تماس با سطح دندان قرار می‌گیرد، به دلیل نیروی وارد از سطح دندان بر روی نوک ابزار، فرکانس تشدید ابزار تغییر می‌کند. فرکانس تشدید ابزار جرم‌گیری التراسونیک در زمانی که با سطح دندان در تماس است به کمک رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۶].

$$f_{rL} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{m+m_L}{s+s_L}}} \quad (1)$$

برای استفاده از رابطه قبل نیاز است که سختی معادل ابزار با توجه به مخروطی بودن شکل ابزار محاسبه شود. از رابطه ۲ سختی معادل یک ابزار مخروطی محاسبه می‌گردد [۷]:

$$s = \frac{\pi E D d}{4L} \quad (2)$$

سختی معادل سطح دندان از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$s_L = \frac{2aE_L}{1-\vartheta^2} \quad (3)$$

شعاع تماس ابزار با سطح دندان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$a \approx \left[ \frac{3}{4} R \frac{1-\vartheta^2}{E_L} F_N \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

جرم معادل دندان از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$m_L = \frac{0.1}{1-\vartheta} \rho S_C^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

سطح مقطع تماس ابزار با سطح دندان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_C = \pi a^2 \quad (6)$$

پارامترهای شعاع تماس و عمق نفوذ از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$a = \sqrt{t(2R-t)} \quad (7)$$

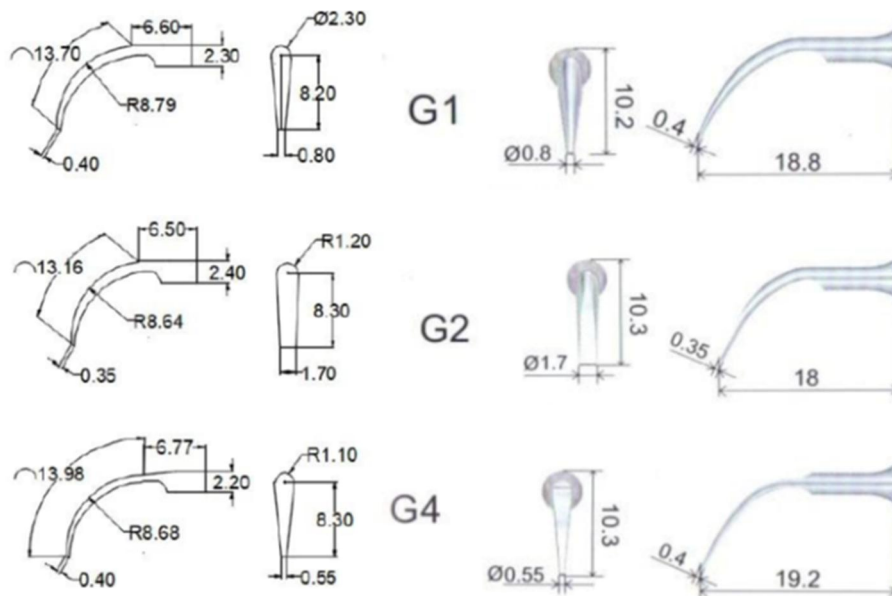
$$t = F_N^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{3}{4} \times \frac{1-\vartheta^2}{E_L} \right]^{\frac{2}{3}} R^{\frac{-1}{3}} \quad (8)$$

با در اختیار داشتن این روابط می‌توان به محاسبه طول و تغییر سطح مقطع یک ابزار در فرکانس کاری مشخص پرداخت. هدف طراحی ابزاری است که فرکانس تشدیدش برابر با ۲۸ کیلوهرتز باشد. جهت محاسبه طول ابزار با استفاده از روابط قسمت قبل نیاز به اطلاعات تکمیلی است. نخستین پارامتری که باید مشخص گردد نیروی اعمال شده توسط دست دندان‌پزشک به ابزار است. آن ۲۱۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت پواسون آن ۰.۳۱ در نظر گرفته شده است [۶]. مدول الاستیک دندان ۹۵ گیگاپاسکال، چگالی مدول الاستیک ۲۱۰ گیگاپاسکال، چگالی ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت پواسون ۰.۳ است [۵]. تغییر در شعاع انحنا می‌تواند بر فرکانس طبیعی تأثیرگذار باشد و دارای یک حد مرزی است که با عبور از این حد مرزی با کاهش شعاع انحنا فرکانس طبیعی افزایش می‌یابد [۹]. رابطه ۹ مشخص‌کننده تابع ریاضی این حد مرزی است [۱۰].

$$\omega = \frac{C}{R} \sqrt{1 + \frac{I}{AR^2}} \quad (9)$$

### ۳ - نتایج و بحث

در این تحقیق، سه نمونه ابزار تجاری G4, G1, G2 با ابعاد و هندسه متفاوت نشان داده شده در شکل ۱ انتخاب شده است. اطلاعات هندسی و ابعادی این ابزارها از کاتالوگ آن‌ها و اطلاعات تکمیلی توسط دستگاه اندازه‌گیری ویدئویی<sup>۱</sup> تهیه شده است. در جدول ۱ با توجه به ابعاد و هندسه این ابزارها و روابط فوق، فرکانس‌های تشدید محاسبه شده نشان داده شده است. با توجه به اینکه متوسط قطر بزرگ ابزارهای در حال بررسی ۲.۳ میلی‌متر است، با فرض ابزار استوانه‌ای با فرکانس کاری ۲۸ کیلوهرتز از رابطه ۹ حد مرزی شعاع انحنای در حدود ۳۶ میلی‌متر به دست می‌آید. روابط تئوری تخمین نسبتاً خوبی برای محاسبه طول و مشخصات هندسی یک ابزار مخروطی بر اساس فرکانس اسمی و تأثیر تغییر انحنای و کاهش جرم بر روی فرکانس تشدید را مشخص می‌نمایند. با توجه به پیچیدگی شکل هندسی ابزار بررسی ترکیب این پارامترهای تأثیرگذار در یک نرم‌افزار المان محدود می‌تواند به تحلیل و بررسی بیشتر موضوع کمک کند. فرکانس تشدید محاسبه شده ابزارها در نرم‌افزار المان محدود کامسول بررسی شده است. به‌طور نمونه با توجه به ابعاد ترانسدیوسر و ابعاد به‌دست آمده از قسمت قبل فرکانس تشدید برای ابزار G2 در کامسول تحلیل شده است همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود فرکانس تشدید برابر با ۲۷۷۶۴ هرتز است. بالاتر بودن فرکانس‌های تشدید ابزارها در کامسول نسبت به اعداد حاصل از محاسبه به دلیل در نظر گرفتن تغییراتی مانند انحنای در شبیه‌سازی‌ها است.

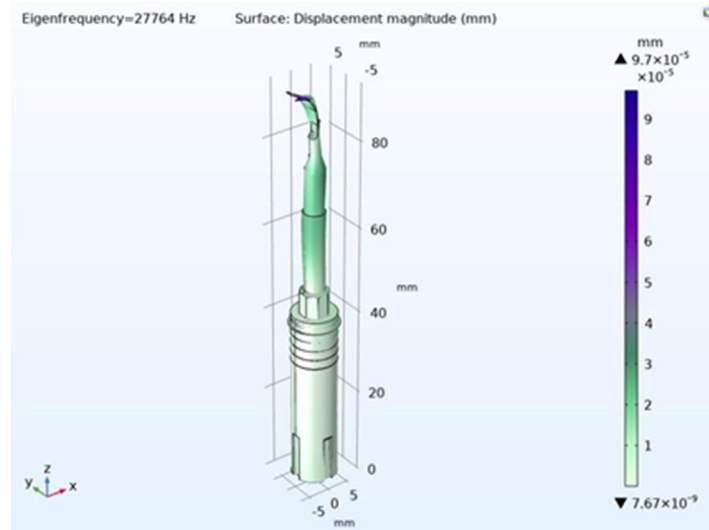


شکل ۱ ابعاد ابزارهای G1، G2 و G4

جدول ۱ خلاصه نتایج محاسبات

فرکانس محاسبه شده (Hz)	طول (mm)	ابزار
27042	20.75	G4
27125	20.3	G1
26058	19.66	G2

<sup>1</sup> Video Measuring Machine (VMM)



شکل ۲ محاسبه فرکانس تشدید ترانس‌دیوسر و ابزار G2 در کامسول

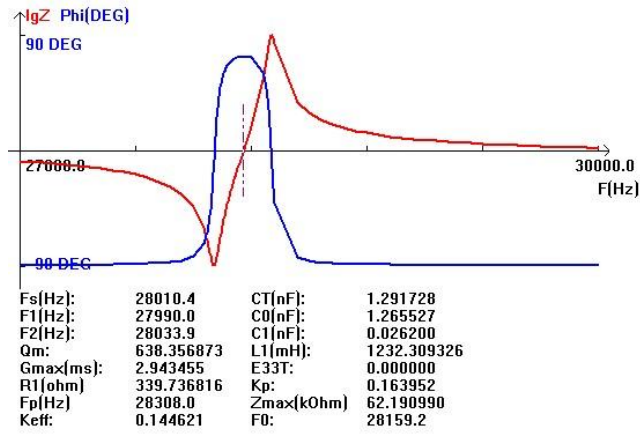
فرکانس طبیعی هرکدام از ابزارهای به همراه ترانس‌دیوسر توسط تحلیل گر امپدانس اندازه‌گیری شده است. در شکل ۳ نتایج حاصل از اندازه‌گیری فرکانس طبیعی ابزار G2 نشان داده شده و برابر با  $28010.4$  هرتز است.

شبیه‌سازی با روش اجزا محدود قابل اعتماد و روشی مناسب برای طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای شستشوی فراصوتی است. با استفاده از روش عددی اجزاء محدود میدان فشار ایجاد شده در سیال توسط میدان آکوستیک شبیه‌سازی شده و محدوده اثربخشی شستشو و رسوب‌زدایی با مقایسه فشار آکوستیک ایجاد شده مشخص می‌شود [۱۱]. در اثر ارتعاشات التراسونیک جبهه‌های موج فشاری و مکشی در سیال ایجاد می‌شود. فشار ایجاد شده در اثر انتشار امواج التراسونیک به خصوصیات موج التراسونیک و سیال بستگی دارد که با افزایش از یک حد آستانه موجب تشکیل کاویتاسیون می‌شود. همچنین جبهه‌های موج فشاری و مکشی در سیال ناشی از ارتعاش التراسونیک به دفع مواد کمک می‌کند [۱۲].

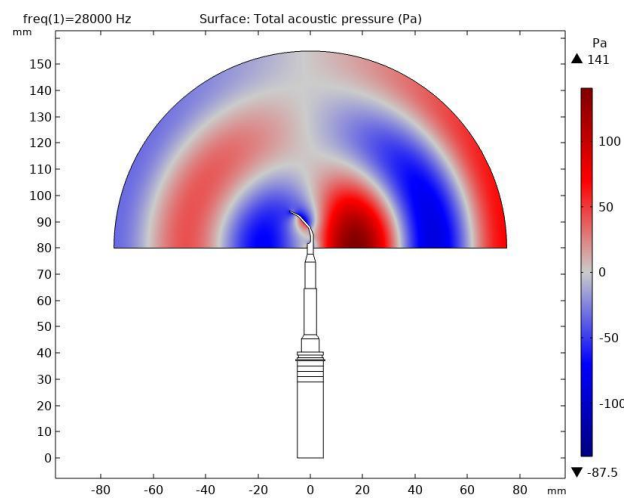
به‌منظور بررسی میزان رسوب‌زدایی هرکدام از ابزارها، میزان تغییرات فشار هریک در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل از تحلیل فشار آکوستیک در اطراف ابزار G2 در شکل ۴ نشان داده شده است. تمام شبیه‌سازی‌ها در فرکانس  $28000$  هرتز انجام شده است و نتایج حاصل نشان می‌دهد که فشار آکوستیک ایجاد شده توسط ابزار G2 بیشتر از دو ابزار دیگر است.

در این قسمت با استفاده از چند نمونه دندان دارای جرم به ارزیابی عملی عملکرد ابزارهای مختلف در جرم‌زدایی از سطح دندان پرداخته خواهد شد. ابتدا برای اینکه از نظر ضخامت و مشخصات جرم دندان هر سه ابزار با شرایط یکسانی مواجه باشند، دندان‌های انتخاب می‌شوند که دارای سطح گسترده‌ای از جرم یکنواخت باشند تا در هر مرحله از آزمایش هر سه ابزار بر روی یک نمونه جرم دندان عمل نمایند و با انجام این کار عملکرد ابزارها با اطمینان بیشتری قابل‌مقایسه است. پس از پایان عملیات ابزارها، با عکس‌برداری از سطوح دندان‌ها و انتقال این عکس‌ها به نرم‌افزار اتوکلد و تنظیم مقیاس یکسان برای تصاویر به اندازه‌گیری مساحت سطوحی از دندان که جرم‌زدایی شده‌اند می‌پردازیم.

در این ابزار نیز نوک ابزار در دو جهت مختلف نوسان می‌نماید در وضعیت اول ابزار به‌صورت افقی قرار داده می‌شود و کناره ابزار در فاصله  $0.1$  میلی‌متر از سطح دندان قرار می‌گیرد و در وضعیت دوم ابزار را در حالت افقی قرار گرفته ولی نوک ابزار را به‌صورت عمود و در فاصله  $0.1$  میلی‌متر از سطح دندان قرار می‌گیرد (شکل ۵-الف). با توجه به دو وضعیت در نظر گرفته شده و سه ابزار مورد آزمایش در مجموع عملکرد ابزارها در شش حالت مختلف ارزیابی شده است. در شکل‌های ۵-ب و ج نتایج حاصل از جرم‌گیری در شش حالت نشان داده شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها در جدول ۲ گزارش شده است.



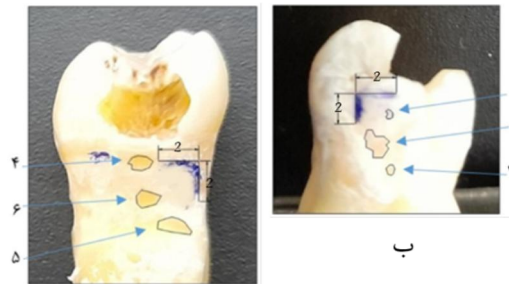
شکل ۳ اندازه‌گیری فرکانس طبیعی ترانسدیوسر و ابزار G2 توسط تحلیل گر امپدانس



شکل ۴ تحلیل فشار آکوستیک در اطراف ابزار G2



الف



ج

شکل ۵ الف) آزمایش جرم‌گیری جلوی ابزار از روی سطح دندان، ب) مساحت‌های برداشته‌شده از جرم سطح دندان توسط کنار ابزار و ج) مساحت‌های برداشته‌شده از جرم سطح دندان توسط جلوی ابزار

جدول ۲ نتایج حاصل از جرم‌گیری ابزارهای مختلف با زوایای مختلف از روی سطح دندان

شماره	ابزار	جهت ابزار	مساحت (mm <sup>2</sup> )
۱	G1	کنار	0.11
۲	G2	کنار	1.03
۳	G4	کنار	0.15
۴	G1	روبرو	0.64
۵	G2	روبرو	0.95
۶	G4	روبرو	0.72

همان‌طور که در نتایج جدول ۲ دیده می‌شود، مساحت جرم برداشته‌شده توسط ابزار G2 هم از کنار و هم از روبرو بیشتر از دو ابزار دیگر است که همین نتیجه با توجه به مطالب قبل مورد انتظار است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

ابزارهای جرم‌گیر التراسونیک فرکانس کاری مشخصی دارند و این فرکانس متناسب با فرکانس لازم برای ایجاد کاویتاسیون در آب است. از طرفی ابزار استفاده شده در هر دستگاه باید به نحوی عمل نماید که در این فرکانس کاری بیشترین تغییر شکل را داشته باشد، زیرا بیشترین تغییر شکل باعث ایجاد بیشترین فشار آکوستیک و بیشترین حجم کاویتاسیون می‌شود. لذا برای هر دستگاهی با توجه به فرکانس کاری آن، ابزار با مشخصات هندسی مناسب باید طراحی شود. از طرفی ابزار جرم‌گیر باید در محیط محدود دندان این امکان را داشته باشد که به راحتی به دندان‌های مختلف و فضاهای کم بین دندان‌ها برسد. لذا در طراحی ابزار برای ایجاد تنوع در ابزارهای قابل استفاده توسط دندان‌پزشک، در قطر نوک ابزار و شعاع انحنای آن تغییرات مختلفی ایجاد می‌کنند. اعمال هر تغییری در مشخصات هندسی ابزار باید با محدودیت حفظ فرکانس تشدید ابزار در محدوده فرکانس اسمی دستگاه انجام شود. ابزارهای جرم‌گیر با توجه به این ملاحظات عموماً به شکل یک مخروط طراحی می‌شوند که در طول خود دارای انحنا هستند و بر اساس برخی ملاحظات کاربردی تغییرات کوچکی مانند پخ نیز در آن‌ها ایجاد می‌کنند. در این تحقیق روابط لازم برای رسیدن به طول مناسب برای یک ابزار مخروطی شکل به نحوی که در محدوده فرکانس کاری دستگاه عمل نماید معرفی شد. همچنین مشخص شد که اگر انحنای ابزار از یک حد مرزی مشخص بیشتر شود، انحنای در نظر گرفته شده برای ابزار باعث زیاد شدن فرکانس تشدید آن نسبت به فرکانس محاسبه شده می‌شود و این موارد شکل هندسی ابزار را تا حدی پیچیده می‌کند که دیگر در قالب روابط تئوری صریح نمی‌توان در خصوص عملکرد ابزار قضاوت نمود. ولی نتایج شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌گیری مستقیم از فرکانس تشدید ابزارهای مختلف نشان داد که روابط تئوری نتایج خیلی دور از انتظاری ندارند و اساساً نقطه شروع طراحی این ابزارها از همین روابط تئوری است و ابتدا با کمک این روابط باید به یک ابزار با شکل هندسی استاندارد رسید و سپس با اعمال تغییرات موردنیاز بر روی این ابزار، با کمک نرم‌افزارهای المان محدود مانند کامسول این شکل هندسی را با توجه به نیازهای طراحی بهینه‌سازی نمود. در این تحقیق مشاهده شد که با کمک روابط تئوری و نرم‌افزارهای المان محدود می‌توان با دقت بالایی به طراحی ابزار پرداخت و مشاهده شد که اندازه‌گیری مستقیم فرکانس تشدید این ابزارها توسط تحلیل گر امیدانس نیز تأیید کننده نتایج قبلی بوده و انجام این کار می‌تواند به عنوان تکمیل‌کننده مراحل طراحی و ساخت یک ابزار جدید باشد.

## فهرست علائم

$f_{TL}$	فرکانس تشدید ابزار ( $s^{-1}$ )
$m$	جرم ابزار (Kg)
$s$	سختی معادل ابزار ( $Nm^{-1}$ )
$D$	قطر بزرگ ابزار (m)
$d$	قطر نوک ابزار (m)
$E$	مدول الاستیک جنس ابزار ( $Nm^{-2}$ )
$L$	طول ابزار (m)
$S_L$	سختی معادل سطح دندان ( $Nm^{-1}$ )
$E_L$	مدول یانگ سطح دندان ( $Nm^{-2}$ )
$a$	شعاع تماس ابزار (m)
$R$	شعاع نوک ابزار (m)
$F_N$	نیروی وارد از ابزار بر سطح دندان (N)
$m_L$	جرم معادل دندان (Kg)
$S_c$	سطح مقطع تماس ابزار با سطح دندان ( $m^2$ )

## علائم یونانی

$\theta$	نسبت پواسون دندان
$\rho$	چگالی دندان ( $kgm^{-3}$ )

## References

- [1] Kouidhi B, Al Qurashi YMA., Chaieb K. Drug resistance of bacterial dental biofilm and the potential use of natural compounds as alternative for prevention and treatment. *Microbial pathogenesis*. 2015 Mar;80:39-49. doi: 10.1016/j.micpath.2015.02.007
- [2] Phway TPP, Zurek S, Meydan T, Walmsley AD. Control of tip oscillation in magneto strictive dental scalers. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2006 May 24;129(1-2):167-71. doi: 10.1016/j.sna.2005.11.036
- [3] Felver B, King DC, Lea SC, Price GJ, Damien Walmsley A. Cavitation occurrence around ultrasonic dental scalers. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2009 Jun;16(5):692-7. doi: 10.1016/j.ultsonch.2008.11.002
- [4] Lea SC, Felver B, Landini G, Walmsley AD. Three dimensional analyses of ultrasonic scaler oscillations. *Journal of clinical periodontology*. 2009 Jan 15;36(1):44-50. doi: 10.1111/j.1600-051X.2008.01339.x
- [5] Manmi KMA, Wu WB, Vyas N, Smith WR, Wang QX, Walmsley AD. Numerical investigation of cavitation generated by an ultrasonic dental scaler tip vibrating in a compressible liquid. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020 May;63:1-8. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.104963
- [6] Maruyama Y, Takasaki M, Kutami T, Mizuno T. Application of ultrasonic dental scaler for diagnosis. *Journal of System Design and Dynamics*. 2007 May 31;1(2):192-9. doi: 10.1299/jsdd.1.192
- [7] Rao S S, Yap FF. *Mechanical vibrations*. Addison-Wesley New York; 1995
- [8] Zhang YR, Du W, Zhou XD, Yu HY. Review of research on the mechanical properties of the human tooth. *International journal of oral science*. 2014 Jun;6(2):61-9. doi: 10.1038/ijos.2014.21
- [9] Nicoletti R. On the natural frequencies of simply supported beams curved in mode shapes. *Journal of Sound and Vibration*. 2020 Oct 27;485:115597. doi: 10.1016/j.jsv.2020.115597
- [10] Lee SK, Mace B, Brennan M. Wave propagation, reflection and transmission in curved beams. *Journal of sound and vibration*, 2007 Oct 9;306(3-5):636-56. doi: 10.1016/j.jsv.2007.06.001
- [11] Pak A, Shirin Abadi Farahani A, Shahidi A. Design, modeling and manufacturing a novel continues ultrasonic cleaning tank by harmonic response analysis. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*. 2022 Jan 22;9(10):21-7. doi: 10.22034/IJME.2023.391622.1767 [In Persian]
- [12] Mohammadi A, Fadaei Tehrani A, Abdullah A. Analytical and experimental study of material removal mechanism in turning process by ultrasonic-assisted wire electrical discharge. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*. 2016 March 21,3(1):1-9. [In Persian]