

مطالعه‌ی مقایسه‌ای ریزساختار و خواص مکانیکی چهار نوع آمالگام دندان

کامران امینی^۱محمد خدائی^۲پریناز مهدویان^۳

۱. گروه مهندسی مکانیک، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲. نویسنده مسئول: دانشکده‌ی مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی گلپایگان، اصفهان، ایران.
Email: khodai1358@gmail.com

۳. دندان پزشکی، اصفهان، ایران.

چکیده

مقدمه: آمالگام، یکی از رایج‌ترین مواد پرکننده‌ی عیوب دندان می‌باشد که همچنان، به واسطه‌ی محتوی جیوه و خطرات ناشی از رهائش آن و مقاومت به خوردگی محدود در محیط بدن، استفاده‌ی کلینیکی آن مورد بحث محققین می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است با مقایسه‌ی چهار نوع آمالگام تجاری موجود (در ایران)، خواص مکانیکی، ریزساختاری و مقاومت به خوردگی آنها مقایسه شود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه‌ی آزمایشگاهی، تعداد ۲۰ نمونه آمالگام از چهار نوع شرکت تجاری (Cinalux: Owzan)، (SDI (GS-80)، Australia و Honghai Tech. China، ARDENT Amalgam، Sweden، Company، Iran) موجود تهیه شد و سپس در آمالگاماتور با جیوه مخلوط شدند. سپس از هر برند، یک نمونه‌ی سخت شده به قطر و ارتفاع ۶ میلی‌متر، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مورد ارزیابی ریزساختاری قرار گرفتند. همچنین توسط دستگاه آزمون فشار تک محوره، خواص مکانیکی ۳ نمونه از هر برند آمالگام‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقاومت به خوردگی یک نمونه از هر برند، به روش پولاریزاسیون در محلول نمکی نیز مورد مطالعه قرار گرفت. برای مقایسه‌ی دقیق داده‌های کمی، از تحلیل آماری آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار 6 Graph Pad prism استفاده شد. اختلافات در مقادیر $p \text{ value} < 0/05$ به صورت معنی‌دار اعلام شدند.

یافته‌ها: هر چند هر چهار نوع آمالگام مورد بررسی، عاری از فاز مضر گاما ۲ بوده‌اند، اما به خاطر اختلاف در مورفولوژی فازها، مقاومت به خوردگی متفاوتی در محلول نمکی از خود نشان دادند. همچنین خواص مکانیکی آمالگام‌ها نیز به واسطه‌ی اختلاف در مورفولوژی فازها، متفاوت بوده است و هر چهار مورد، رفتار ترد و استحکام بالای ۳۰۰ مگاپاسکال از خود نشان داده‌اند. به طور کلی، آمالگام نوع ۲ (Honghai Tech. China) دارای برترین خواص نسبت به سایرین بوده است.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج به دست آمده، ریزساختار آمالگام پس از سخت شدن، تأثیر قابل توجهی بر استحکام و مقاومت به خوردگی آن داشت. همچنین همه‌ی آمالگام‌های مورد استفاده در این مطالعه، از فازهای یکسانی تشکیل شده بودند.

کلید واژه‌ها: آمالگام، خواص مکانیکی، ریزساختار، فاز.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۰/۵

استناد به مقاله: امینی کامران، خدائی محمد، مهدویان پریناز. مطالعه‌ی مقایسه‌ای ریزساختار و خواص مکانیکی چهار نوع آمالگام دندان. مجله دانشکده دندان پزشکی اصفهان. ۱۳۹۸؛ ۱۵ (۳): ۱۸۲-۱۸۹.

مقدمه

آمالگام، ملغمه‌ای قدیمی (آلیاژی) از پودر فلزات مس، قلع، نقره و جیوه می‌باشد که برای پر کردن نواقص دندانی مورد استفاده‌ی کلینیکی قرار گرفته است (۱). این آلیاژ فلزی، به علت هزینه‌ی پایین، فرایندپذیری و سهولت استفاده برای حجم‌های نسبتاً بزرگ عیوب دندانی، خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب (۲) و قابلیت فرآوری و استفاده‌ی راحت (۳)، کاربرد وسیعی در دندان پزشکی داشته است و با وجود محدودیت‌هایی نظیر احتمال خوردگی و آزاد شدن جیوه (به عنوان یک یون سمی) (۴)، احتمال ایجاد حساسیت در بافت مجاور، همچنان کاربردهای کلینیکی خود را حفظ نموده است (۳)، اما در سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA Food and Drug Administration) نیز جزء مواد کلاس ۲ (موادی با سطح تماس متوسط با بافت زنده) رده‌بندی می‌گردد و استفاده‌ی آن برای افراد حساس مانند زنان باردار توصیه نمی‌گردد (۵، ۶)، به گونه‌ای که برخی محققین اعتقاد بر توقف استفاده از آمالگام برای ترمیم نواقص دندانی دارند (۷) و برخی دیگر، استفاده‌ی آن را خطرناک ندانسته‌اند (۸). همچنین برخی محققین استفاده‌ی بدون خطر آمالگام را منوط به داشتن سطح آزاد صیقلی و پالیش شده و همچنین بهداشت فردی دهان (۹) دانسته‌اند. مواد اولیه‌ی این آلیاژ، با ترکیب‌های شیمیایی متفاوت و همچنین شکل (کروی، تراشه‌ای یا مخلوطی از آنها) (۹) توسط شرکت‌های گوناگونی ارائه شده است و اندازه‌ی ذرات پودر اجزای تشکیل دهنده بر رفتار خوردگی آن مؤثر می‌باشد. طبق تحقیقات برت و همکاران (۹) با کاهش اندازه‌ی ذرات، مقاومت به خوردگی آمالگام افزایش می‌یابد.

در مطالعه‌ی حاضر، خواص مکانیکی، ریزساختاری و فازی

چهار نوع آمالگام تجاری، مورد مقایسه قرار گرفته است. فرضیه‌ی صفر این بود، که با توجه به احتمال تفاوت در اندازه و مورفولوژی ذرات پودر برندهای مختلف آمالگام، خواص نهایی آنها نیز متفاوت باشد که باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی از نوع تحلیلی بود که تعداد ۲۰ نمونه‌ی آمالگام (هر برند ۵ نمونه: ۱ نمونه برای آزمون SEM و XRD، یک نمونه برای آزمون خوردگی و ۳ نمونه برای آزمون فشار) از چهار شرکت تجاری مختلف تهیه شد و پس از کوبش در قالب فولادی استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۶ میلی‌متر و گذر زمان ۲۴ ساعت برای سخت شدن، ویژگی و خواص آنها بررسی و مقایسه شده است. برای مقایسه‌ی دقیق داده‌های کمی، از تحلیل آماری آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار Graph Pad prism 6 استفاده شد.

ساخت نمونه‌های آمالگام

آمالگام‌های مورد استفاده با ترکیب شیمیایی اسمی، طبق جدول ۱ و طبق دستورالعمل شرکت سازنده‌ی آمالگام، در آمالگاماتور (Tac UltraMix, Ats Detal, Italy) در دمای محیط 30°C به مدت زمان ۲۰ ثانیه با فرکانس ۴۶۰۰ هرتز مخلوط گردیدند، ملغمه‌های حاصل، در قالب فولادی استوانه‌ای به قطر و ارتفاع 6×6 میلی‌متر در فشار ۵۰ مگاپاسکال فشرده شدند. نمونه‌ها به منظور تکمیل فرایند سخت شدن، به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شده و سپس برای ارزیابی‌های بعدی ارسال شدند (۲).

جدول ۱: نام تجاری و ترکیب شیمیایی آمالگام‌های مورد استفاده

نام گذاری	نام شرکت / محصول	ترکیب شیمیایی wt. %			
		Cu	Sn	Ag	Hg/metal powder ratio
نوع ۱	Cinalux: Owzan Company, Iran	۲۶	۳۱	۴۳	۱:۱
نوع ۲	Honghai Tech. China	۲۵	۳۲	۴۳	۱:۱
نوع ۳	ARDENT Amalgam, Sweden	۲۵/۵	۳۰	۴۴/۵	۱:۱
نوع ۴	SDI (GS-80), Australia	۲۹	۳۱	۴۰	۱:۱

ارزیابی و مطالعه‌ی مواد:

- مطالعه‌ی میکروسکوپی

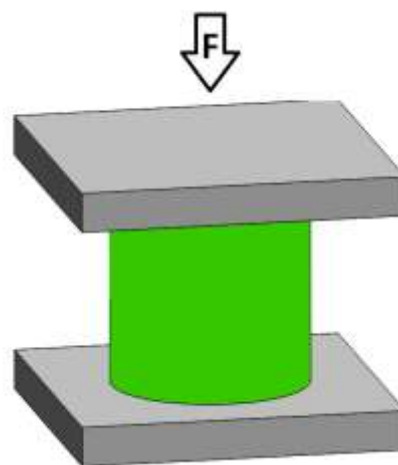
نمونه‌های دیسکی شکل تا سنباده‌ی شماره P3000 در مجاورت با آب، پالیش شدند، سپس توسط آب مقطر شستشو داده شد و توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM: Philips XL-30) و طیف‌سنجی پراش پرتوی ایکس (X-Ray spectroscopy) EDS، مورد مطالعه ریزساختاری و آنالیز شیمیایی قرار گرفتند (۱۰).

- فاز یابی توسط پراش پرتوی ایکس (XRD)

آنالیز فازی نمونه‌های آمالگام ساخته شده، به روش پراش اشعه‌ی ایکس (XRD: PANalytical, Netherland) با منبع تابش پرتوی ایکس $CuK\alpha$ با طول موج $1.5418 \text{ \AA}$ آنکستروم در ولتاژ 40 kV انجام شد (۱۰) و نتایج آنالیز پراش پرتوی ایکس به کمک نرم‌افزار X'Pert مورد بررسی قرار گرفت.

- ارزیابی خواص مکانیکی

خواص مکانیکی کامپوزیت‌های حاصل، با آزمون فشار طبق استاندارد ASTM E9، توسط دستگاه (UTM: Shimadzu AGS Xplus HS, Japan) با نرخ کرنش 0.1 mm/sec در دمای محیط مطابق طرحواره‌ی شکل ۱ انجام شد (۱۱)، اطلاعات نیرو-جابجایی ذخیره و مورد تحلیل قرار گرفتند. این آزمون برای هر نمونه، ۳ بار تکرار و مقادیر میانگین گزارش شدند.



شکل ۱: طرحواره‌ی آزمون فشار بر نمونه‌ی استوانه‌ای آمالگام

- مطالعه‌ی مقاومت به خوردگی به روش پولاریزاسیون

آزمون‌های خوردگی الکتروشیمیایی، به وسیله‌ی دستگاه پتانسیواستات- گالوانواستات EG&G مدل PARSTAT 2273 با استفاده از یک سل استاندارد سه الکترودی شامل الکترود مرجع کالومل، الکترود کمکی از جنس گرافیت و الکترود کاری و در محلول $3/5\%$ NaCl انجام شد (۱۰). پس از قرارگیری نمونه‌ها در محلول به مدت ۲ ساعت و به ثبات رسیدن پتانسیل و اندازه‌گیری پتانسیل مدار باز (Open-circuit potential) OCP، آزمون پولاریزاسیون پتانسیودینامیک بر اساس استاندارد ASTM G59-97 انجام شد. منحنی‌های پولاریزاسیون تافلی نسبت به پتانسیل مدار باز و با سرعت روبشی 1 mV/s بر ثانیه رسم گردیدند.

یافته‌ها

ریزساختار

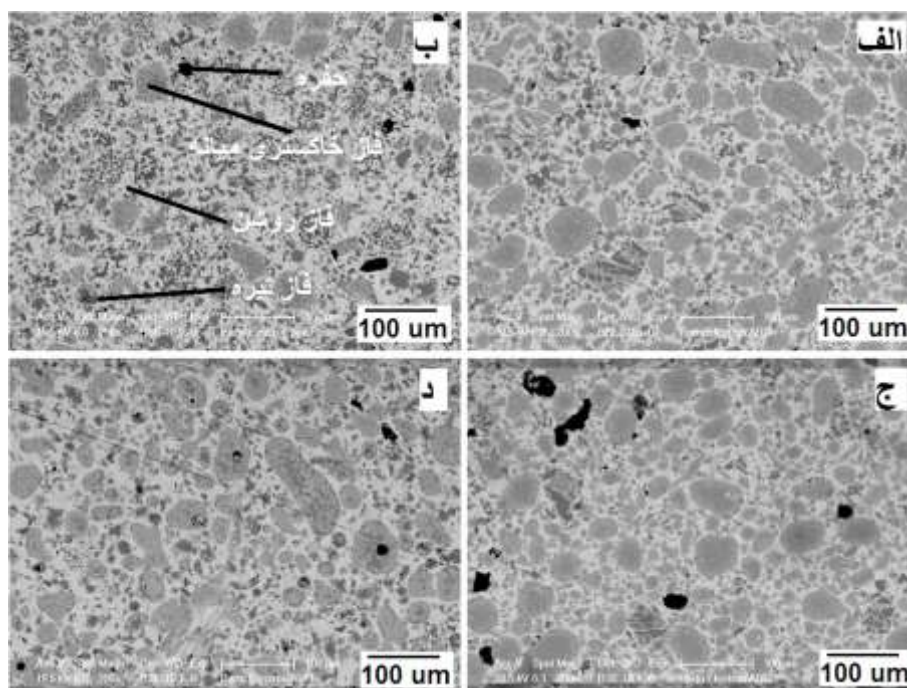
ریزساختار سطح مقطع چهار نوع آمالگام پس از سخت شدن با آشکارساز الکترون برگشتی (BSE Back scattered electron) در شکل ۲ ارائه شده است.

طبق نتایج شکل ۲، مشاهده می‌گردد که در آمالگام نوع ۲، فازهای خاکستری میانه ($Cu_6Sn_5 + Ag_2Hg_3$) ریزتر و مقدار فاز تیره‌ی (Cu_6Sn_5) بیشتری نسبت به آمالگام نوع ۱ ایجاد شده است. همچنین آمالگام نوع ۳، دارای فاز تیره‌ی کمتری نسبت به سایر انواع است. البته حفرات انقباضی بزرگتری در آمالگام نوع ۳ شکل گرفته است. فاز روشن، دارای ترکیب (Ag_2Hg_3) می‌باشد و به صورت زمینه‌ی آمالگام است.

برای تشخیص دقیق این فازها، از آنالیز عنصری پراش انرژی پرتوی ایکس (EDS) استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: آنالیز شیمیایی فازهای آمالگام نوع ۱.

فاز/ عنصر wt. %	نقره	جیوه	مس	قلع
تیره	۰	۰	۶۸	۳۲
خاکستری میانه	۱۲	۳۶	۲۹	۲۳
روشن	۲۲	۷۸	۰	۰

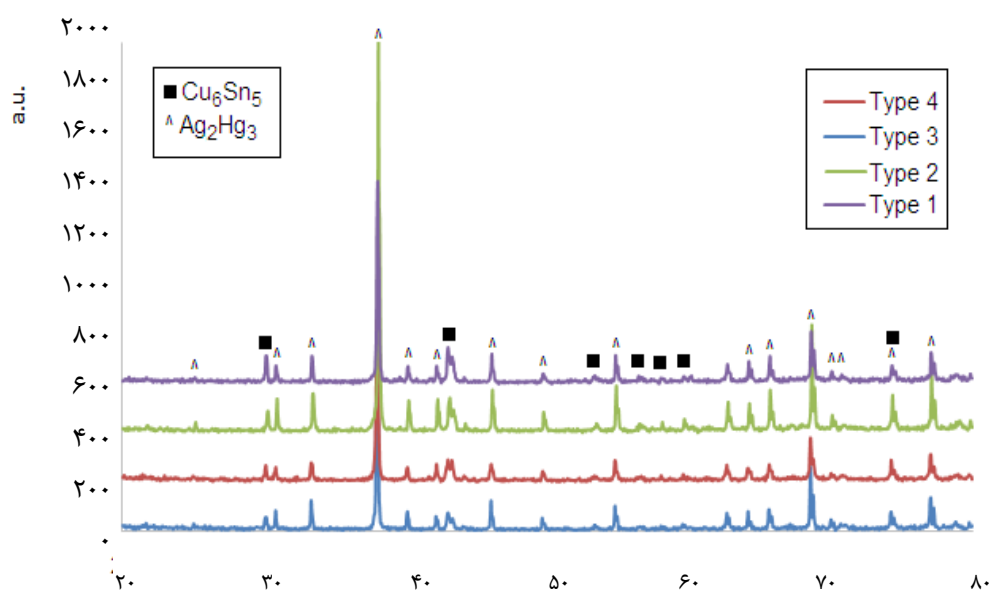


شکل ۲: ریزساختار آمالگام‌های (الف) نوع ۱، (ب) نوع ۲، (ج) نوع ۳، (د) نوع ۴.

مطالعه نوع فازها

الگوی پراش پرتوی ایکس چهار نوع آمالگام مورد مطالعه، در شکل ۳ ارائه شده‌اند. طبق این شکل مشاهده می‌شود، هر چهار نوع آمالگام سخت شده، عاری از فاز نامطلوب گاما ۲ (Sn_7Hg ; γ_2) بوده و لذا هیچ یک از نمونه‌ها به خوردگی در محیط دهان حساسیت شدید نخواهند داشت، زیرا فاز

گاما ۲، سبب خوردگی زودهنگام آمالگام می‌گردد (۱۲). همچنین تمامی آمالگام‌ها از فاز η (Cu_6Sn_5) و فاز γ_1 (Ag_2Hg_3) تشکیل شده‌اند که هر دو فاز، مستحکم و مقاوم به خوردگی هستند. محل پیک‌های هر چهار نمونه، کاملاً منطبق و یکسان بوده و هیچ کدام حاوی فاز اضافه نبوده‌اند.



شکل ۳: الگوی پراش پرتوی ایکس از چهار نمونه‌ی آمالگام سخت شده

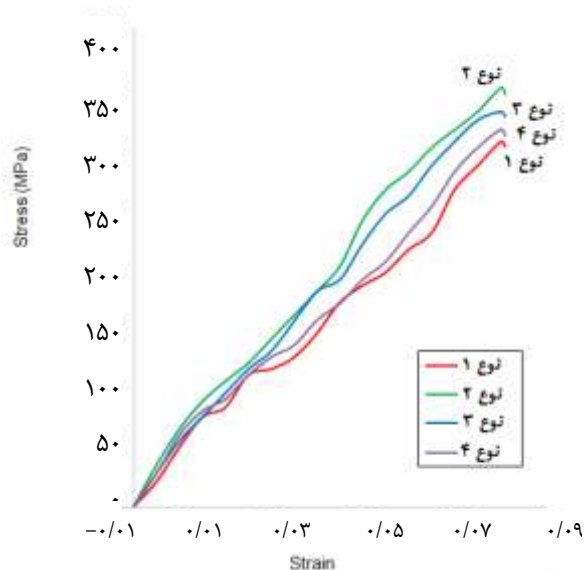
خواص مکانیکی

نمودارهای حاصل از آزمون تنش-کرنش مهندسی نمونه‌ها، در شکل ۴ ارائه شده‌اند. رفتار شکست تمام نمونه‌ها ترد و بدون کرنش، قابل ملاحظه بوده است. بر اساس نتایج الگوی پراش پرتوی ایکس، آمالگام‌های سخت شده، فقط از دو ترکیب بین فلزی تشکیل شده است و ترکیبات بین فلزی عموماً ترد و سخت هستند (۱۰). لذا رفتار مکانیکی آمالگام‌ها نیز به صورت سخت و ترد خواهد بود. استحکام فشاری نمونه‌های آمالگام نوع ۱ تا ۴ به ترتیب ۳۵۰، ۳۳۰ و ۳۱۵ و ۳۳۰ مگاپاسکال اندازه‌گیری شده که بیانگر برتری رفتار مکانیکی آمالگام نوع ۲ می‌باشد، که ناشی از توزیع یکنواخت فازها در زمینه است.

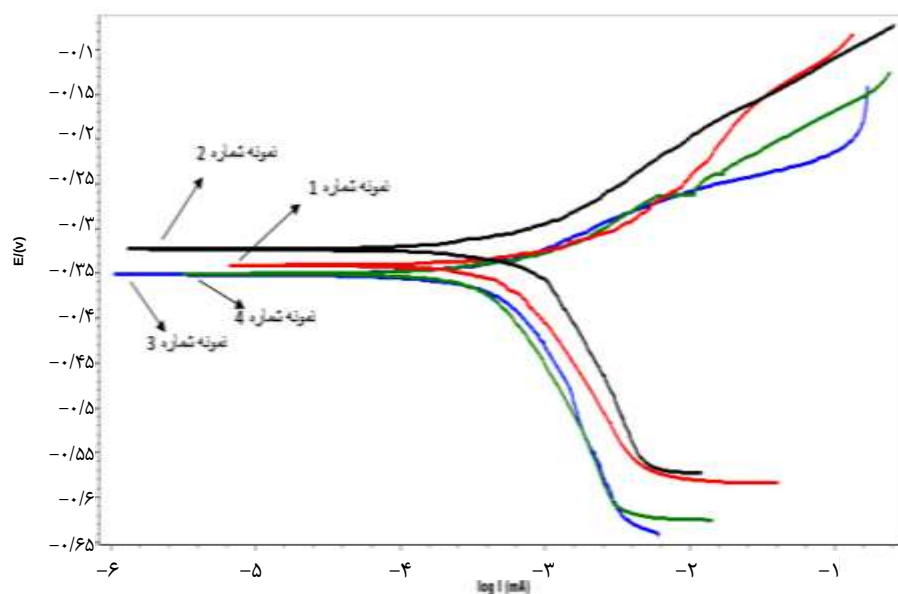
رفتار خوردگی

در شکل ۵ و جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون پلاریزاسیون آورده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد، نمونه‌ی شماره ۲، دارای بالاترین مقاومت خوردگی است. دلیل این آن است که در این نمونه، شدت جریان خوردگی به اعداد کوچک‌تر و اختلاف پتانسیل خوردگی، دارای مقادیر

مثبت‌تری در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌باشد. بعد از نمونه‌ی شماره‌ی ۲، نمونه‌های شماره ۳، ۴ و ۱ به ترتیب قرار دارند. دلیل بهبود مقاومت خوردگی در نمونه‌ی شماره‌ی ۲، می‌تواند در ارتباط با ساختار یکنواخت‌تر، توزیع بهتر فازها و افزایش فازهای بین فلزی در این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها باشد (مقایسه‌ی تصویر ۱ب با تصاویر ۱الف، ۱ج و ۱د).



شکل ۴: نمودار تنش-کرنش مهندسی چهار نمونه‌ی آمالگام سخت شده



شکل ۵: منحنی‌های پلاریزاسیون در نمونه‌های مختلف تجاری آمالگام

نتایج عددی مستخرج از منحنی‌های شکل ۵، در جدول ۳ ارائه شده‌اند. طبق نتایج این جدول، کم‌ترین پتانسیل و جریان خوردگی مربوط به نمونه‌ی شماره‌ی ۲ و بیش‌ترین مقادیر مربوط به نمونه‌ی شماره‌ی ۴ هستند.

جدول ۳: نتایج پتانسیل خوردگی و دانسیته‌ی خوردگی مستخرج از نتایج پلاریزاسیون.

شماره‌ی نمونه	پتانسیل خوردگی E_{Corr} (V)	دانسیته‌ی خوردگی I_{corr} (mA)
۱	-۰/۳۴	۰/۰۲۸
۲	-۰/۳۲	۰/۰۲۳
۳	-۰/۳۵	۰/۰۲۵
۴	-۰/۳۵	۰/۰۳۳

بحث

فرضیه‌ی صفر این مطالعه، صحیح بوده و با توجه به تفاوت در مورفولوژی فازهای برندهای مختلف آمالگام، خواص نهایی آنها نیز متفاوت بود.

طبق نتایج حاصل از مطالعه‌ی میکروسکوپی، مشاهده شد، فاز تیره رنگ از عناصر مس و قلع تشکیل شده که با فاز η (Cu₆Sn₅) آنالیز پراش پرتوی ایکس همخوانی دارد. فاز خاکستری میانه از عناصر نقره، جیوه، قلع و مس تشکیل شده که به نظر می‌رسد مخلوطی از دو فاز η (Cu₆Sn₅) و فاز γ_1 (Ag₂Hg₃) آنالیز پراش پرتوی ایکس می‌باشد که این دو فاز، در اثر یک استحاله در کنار هم قرار گرفته‌اند، و فاز روشن از عناصر نقره و جیوه تشکیل شده که ترکیب آن با فاز γ_1 (Ag₂Hg₃) آنالیز پراش پرتوی ایکس و نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققین انطباق خوبی دارد (۱۰، ۱۲).

فاز نامطلوب γ_2 (Sn₇Hg) در زمینه‌ی آمالگام، سبب کاهش مقاومت به خوردگی در محیط دهان خواهند شد (۱۲)، در حالی که بررسی‌های آنالیز فازی توسط پراش پرتوی ایکس (XRD) در این مطالعه، بیانگر عدم تشکیل این فاز مضر در هر چهار نمونه‌ی آمالگام هستند.

طبق نتایج برت و همکاران (۹)، اندازه‌ی ذرات مواد

اولیه (پور فلزات) آمالگام، بر رفتار خوردگی آن مؤثر هستند، نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که مورفولوژی فازها در زمینه‌ی آمالگام، بر رفتار خوردگی آن مؤثر است. هرچند که این نتیجه ناقص نتایج محققین قبلی (۹) نمی‌باشد، اما به نظر می‌رسد از دیدگاه جامع‌تری به مسأله پرداخته شده است. زیرا پس از مخلوط پودر فلز و جیوه، اثری از ذرات اولیه باقی نمانده و آنها به فازهایی در زمینه تبدیل می‌گردند. لذا بهتر است اثر مورفولوژی فاز بر رفتار خوردگی بیان گردد.

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد، با وجود اینکه نوع فازهای موجود در هر چهار نمونه آمالگام تجاری، یکسان است، اما اختلاف در مورفولوژی فازها، سبب ایجاد اختلاف در خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی آنها شده است. هرچند رفتار مکانیکی و خوردگی آمالگام توسط افزودن نانو ذرات سرامیک به زمینه قابل تنظیم و اصلاح است (۱۰)، اما طبق نتایج این مطالعه، مشاهده می‌گردد با تغییر مورفولوژی فازهای زمینه‌ی آمالگام نیز می‌توان تا حدی خواص آن را بهینه نمود.

از محدودیت‌های این مطالعه، عدم انجام آزمون‌های درون‌تنی (in vivo) می‌باشد، که پیشنهاد می‌گردد آزمون‌های درون‌تنی نیز برای بررسی دقیق رهایش یون مضر جیوه از برندهای مختلف انجام گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد، با توجه به عدم تشابه ریزساختار آمالگام‌های مورد استفاده، خواص مکانیکی و رفتار خوردگی آنها متفاوت خواهد بود، هرچند که همه‌ی نمونه‌ها از فازهای مشابهی تشکیل شده‌اند و فاز مضر گاما ۲ در هیچ یک مشاهده نشد. در واقع مورفولوژی فازها، تأثیر قابل توجهی بر رفتار مکانیکی و خوردگی آمالگام‌ها داشته است. نتایج آزمون مکانیکی، بیانگر برتری مکانیکی آمالگام نوع ۲ بود، این نوع آمالگام دارای یکنواخت‌ترین توزیع فاز می‌باشد. همچنین آمالگام نوع ۲، دارای بالاترین مقاومت به خوردگی نیز بود.

References

1. Bjorklund G, Lindh U, Aaseth J, Chirumbolo S. Mercury in dental amalgams: A great concern for clinical toxicology in developing countries? *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 2019; 51: 9-11.
2. Zardiackas LD, Bayne SC. Fatigue characterization of nine dental amalgams. *Biomaterials* 1985; 6(1): 49-54.
3. Anderson MH, McCoy RB. Dental amalgam. The state of the art and science. *Denta Clin North Am* 1993; 37(3): 419-31.
4. Acciari HA, Guastaldi AC, Brett CMA. Corrosion of dental amalgams: electrochemical study of Ag-Hg, Ag-Sn and Sn-Hg phases. *Electrochimica Acta* 2001; 46(24-25): 3887-93.
5. Guerra M, Ferreira C, Carvalho ML, Santos JP, Pessanha S. Distribution of toxic elements in teeth treated with amalgam using μ - energy dispersive X-ray fluorescence, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 2016; 122: 114-7.
6. Al-Saleh I, Al-Sedairi AA. Mercury (Hg) burden in children: The impact of dental amalgam. *Sci Total Environ* 2011; 409(16): 3003-15.
7. Mitchell M, Warren R, Bellinger D, Browne D. Is dental amalgam toxic to children of color? *J Natl Med Assoc* 2018; 110(4): 414-6.
8. Dodes JE. The amalgam controversy. An evidence-based analysis. *J Am Dent Assoc* 2001; 132(3): 348-56.
9. CMA, Ioanitescu I, Trandafir F. Influence of the biological fluid on the corrosion of dental amalgam. *Corrosion Science* 2004; 46(11): 2803-16.
10. Khodaei M, Amini K, Mahdavian P. Fabrication and evaluation of amalgam/ nano hydroxyapatite composites for dental restoration. *Materials Research Express* 2018; 5(10): 105403.
11. Darvell BW. Development of strength in dental silver amalgam. *Dent Mater* 2012; 28(10): e207-17.
12. Chowdhury ND, Ghosh KS. Electrochemical behaviour of dental amalgam in natural, artificial saliva and in 0.90 wt.% NaCl solution. *Corrosion Science* 2018; 133: 217-30.

Comparative Study on Microstructure and Mechanical Properties of Four Different Types of Amalgam

Kamran Amini¹
Mohammad Khodaei²
Parinaz Mahdavian³

1. Department of Mechanical Engineering, Tiran Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. **Corresponding Author:** Department of Materials Science and Engineering, Golpayegan University of Technology, Golpayegan, Iran. Email: khodai1358@gmail.com
3. Dentist, Isfahan, Iran.

Abstract

Introduction: Amalgam is one of the most commonly used dental restorative material; however, because of its mercury content, risks of mercury release and its low resistance to corrosion, its clinical use is still a matter of debate among researchers. In this research four different commercially available amalgam products in Iran were studied and their mechanical, microstructural and corrosion resistance were studied and compared.

Materials & Methods: In this study, four different samples of commercially available amalgam (Cinalux, Owzan Company, Iran; Honghai Tech., China; ARDENT Amalgam, Sweden; and SDI [GS-80], Australia) were prepared and mixed with mercury in an amalgamator. Then a hardened sample, measuring 6 mm in diameter and height, from each brand was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) for ultrastructural characteristics. In addition, 3 samples from each brand underwent a compressive test in a one-axis compression test device. Resistance to corrosion of 3 samples from each brand was tested by polarization method in saline solution. To exactly compare the quantitative data, one-way ANOVA was performed using Graph Pad Prism 6 software program ($\alpha = 0.05$).

Results: The results showed that although none of the samples had Gama-2 harmful phase, because of differences in the morphology of phases, they exhibited differences in corrosion resistance in the saline solution. Furthermore, their mechanical properties were different due to differences in the morphology of phases and all of them had brittle behavior and their compression strength was >300 MPa.

Conclusion: According to the results, the microstructure of amalgam significantly affects its mechanical properties and corrosion resistance. In addition, all the samples evaluated in the present study formed identical phases.

Key words: Amalgam, Mechanical properties, Microstructure, Phase.

Received: 26. 12.2018

Revised: 9.3.2019

Accepted: 19.4.2019

How to cite: Amini K, Khodaei M, Mahdavian P. Comparative Study on Microstructure and Mechanical Properties of Four Different Types of Amalgam. J Isfahan Dent Sch 2019; 15(2): 182-189.