

## بررسی تأثیر پخت های مکرر پرسلن بر مقاومت به کروژن و خصوصیات سطحی آلیاژهای بیس متال

نقیسه اسدزاده عقدائی<sup>۱</sup>، فوزان قربانیان فرد<sup>۲</sup>، دلارام قائمی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، مشهد، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۹۸/۱/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۶

### Effect of Repeated Porcelain Firings on Corrosion Resistance and Surface Properties of Base Metal Alloys

Nafiseh Asadzadeh Aghdaee<sup>1</sup>, Foojan Ghorbanian Fard<sup>2</sup>, Delaram Ghaemi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Associated Professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Received: 4 April 2019; Accepted: 17 July 2019

**Introduction:** Regarding the use of nickel-chromium (Ni-Cr) alloy in porcelain-fused to metal-restorations and the need for high temperature for porcelain firing, there are probable alterations in the microstructure of the alloy, the corrosion resistance, and the rate of ion release. The aim of the present study was to evaluate the effect of multiple firings on the corrosion resistance and surface characteristics of two Ni-Cr alloys.

**Materials and Methods:** In total, 24 discs were made from each Ni-Cr alloys without beryllium (Dam Cast) and with beryllium (Super Cast). They were then assigned into four subgroups based on the number of firings: (1) without firing, (2) four times firing, (3) four times firing and a correctional firing, and (4) four times firing and two correctional firings. The corrosion resistance was evaluated using an electrochemical potentiostat device. The ions release was measured after immersing samples in Fusayama artificial saliva (pH of 5, at 37 °C) for 30 days by ICP-AES technique. The surface of the alloys was evaluated with a metallurgical light microscope and scanning electron microscope. Data were analyzed in SPSS software .P-value less than 0.05 was considered statistically significant.

**Results:** According to the results, the impedance of both alloys decreased significantly with increasing the frequency of firings. A significant decrease was observed in the impedance and corrosion resistance of Super Cast alloy using correctional firings (the third and fourth firings), compared to Porcelain firing samples. However, no significant decrease was observed in Dam Cast. In addition, the number of released ions was significantly increased with an increase in the number of firings in both alloys. Nevertheless, there was no difference between the alloys regarding the released ions. The concentration of released ions was higher in Super Cast alloy, compared to that in DAM Cast. Increased levels of corrosion were observed on the surface of Super Cast alloys using a microscopic evaluation.

**Conclusion:** Multiple firings had lower effects on the corrosion resistance of Dam Cast alloy without beryllium, compared to Super Cast alloy with beryllium.

**Key words:** Beryllium ion, Corrosion resistance, Nickel-chromium alloy, Porcelain firing.

**Corresponding Author:** ghaemid@mums.ac.ir , ghaemi\_delaram@yahoo.com

*J Mash Dent Sch 2019; 43(3): 227-41.*

### چکیده

**مقدمه:** با توجه به استفاده از آلیاژ نیکل-کروم در رستوریشن های PFM (Porcelain Fused to Metal) و نیاز به دمای بالا جهت پخت پرسلن، محتمل است ریزساختار آلیاژ، مقاومت به کروژن و میزان آزادسازی یون ها تغییر کند. هدف این مطالعه تعیین تأثیر پخت های مکرر پرسلن بر مقاومت به کروژن و خصوصیات سطحی دو نوع آلیاژ نیکل-کروم بود.

**مواد و روش ها:** از هریک از آلیاژهای نیکل-کروم فاقد برلیوم (Dam Cast) و حاوی برلیوم (Super Cast) ۲۴ عدد دیسک تهیه و براساس دفعات پخت پرسلن به چهار زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار پخت)، سوم (چهار پخت و یک پخت اصلاحی) و چهارم (چهار پخت و دو پخت اصلاحی) تقسیم شد. با دستگاه پتانسیواستات الکتروشیمیایی، مقاومت به کروژن اندازه گیری شد. نمونه ها ۳۰ روز در بزاق مصنوعی

فوزایاما با pH 5 و دمای °C ۳۷ قرار گرفتند و با روش ICP-AES آزادسازی یونها اندازه گیری شد. بررسی سطح با میکروسکوپ نوری متالورژیک و الکترونی روبشی انجام گردید. آنالیز داده ها در نرم افزار SPSS با سطح معناداری ۰/۰۵ صورت گرفت.

**یافته ها:** امپدانس دو آلیاژ با افزایش تعداد پخت ها به صورت معناداری کاهش یافت. پخت های اصلاحی (زیرگروه سوم و چهارم) باعث کاهش معناداری در امپدانس و مقاومت به کروژن در آلیاژ Super Cast نسبت به نمونه های پخت پرسلن گردید اما در آلیاژ Dam Cast این کاهش معنادار نبود. میزان یون های آزاد شده در هر دو آلیاژ با افزایش تعداد پخت به صورت معناداری افزایش یافت؛ اما میان دو آلیاژ تفاوت، معنادار نبود. غلظت یون های آزاد شده آلیاژ Super Cast بیشتر از Dam Cast بود. با بررسی میکروسکوپی، نواحی کروژن بیشتری در سطح آلیاژ Super Cast مشاهده گردید.

**نتیجه گیری:** پخت های مکرر تأثیر کمتری بر مقاومت به کروژن آلیاژ فاقد برلیوم Dam Cast نسبت به آلیاژ دارای برلیوم Super Cast داشته است.

**کلمات کلیدی:** پخت پرسلن، آلیاژ نیکل-کروم، یون برلیوم، مقاومت به کروژن. مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۳۹۸ دوره ۴۳ / شماره ۳: ۴۱-۲۲۷.

## مقدمه

از آلیاژ نیکل-کروم در ساخت رستوریشن های PFM (Porcelain Fused Metal) استفاده می شود که اغلب تنها قسمت فاسیال این آلیاژها توسط پرسلن به طور کامل پوشیده می شود و سطوح لینگوال، اکلوزال و مارژین زیرلته ای به صورت فلزی باقی می ماند. در گزارش های ارائه شده مشخص شده است که این آلیاژها در صورت قرارگیری در محیط دهان می توانند دچار کروژن شوند و یون های موجود در ساختار آنها رها شود. این یون ها پتانسیل ایجاد حساسیت و واکنش های دیگر بافتی را دارند. ارزیابی خصوصیات آلیاژهای مورد استفاده در پروتزهای ثابت دارای اهمیت بیولوژیک و بالینی می باشد. عناصر تشکیل دهنده این آلیاژها و درصد آن ها می تواند بر خصوصیات آنها تأثیر گذار باشد.<sup>(۱)</sup>

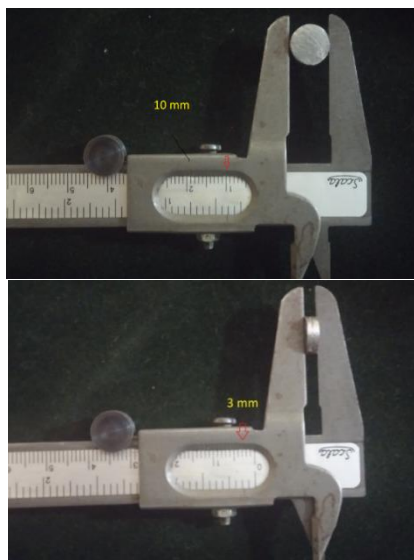
درک مناسب از رفتار کروژن آلیاژهای مورد استفاده در ساخت پروتز های دندانی نقش مهمی در برآورد میزان سازگاری بافتی این آلیاژها دارد. گفتنی است که پروسه پخت پرسلن نیاز به چرخه های دمایی بالای ۳ تا ۴ مرحله از ۹۵۰°C تا ۱۰۱۰°C دارد که ریزساختار آلیاژهای ریختگی را به روش های مختلف هموزنیاسیون، تغییر فاز و اکسیداسیون تغییر می دهد.<sup>(۲)</sup> آلیاژهای Ni-Cr که در

معرض دماهای پخت پرسلن قرار می گیرند دچار خشونت سطحی و کاهش در سختی و استحکام می شوند. این تغییرات در ریزساختار ممکن است در تشکیل لایه اکسید محافظ اثر بگذارد که خود باعث تغییر ساختار آلیاژ و در نتیجه مقاومت آن در برابر کروژن و میزان آزادسازی یون های فلزی شده و در نهایت بر سازگاری بافتی آلیاژ تأثیر داشته باشد.<sup>(۳-۵)</sup>

با وجود آن که اضافه نمودن برلیوم به ترکیب آلیاژهای نیکل-کروم موجب سهولت بیشتر در کستینگ و ریختگی شده است، اثر منفی این عنصر بر میزان کروژن آلیاژ از یک سو و احتمال ایجاد تغییرات بدخیمی و تغییرات سلولی از سوی دیگر باعث شده است که تحقیقات گوناگونی در خصوص اثرات اضافه نمودن برلیوم به آلیاژهای نیکل-کروم صورت پذیرد.<sup>(۶،۷)</sup> بنابراین پیشگیری از کروژن این آلیاژها و کنترل میزان آزادسازی یون های فلزی از این آلیاژها دارای اهمیت بالایی است.

مطالعات محدودی به بررسی تأثیر پروسه های پخت پرسلن بر خصوصیات سطحی و کروژن آلیاژهای بیس متال نظیر نیکل-کروم پرداخته اند. Tunçdemir و همکارانش<sup>(۳)</sup> به بررسی تأثیر پخت های مکرر پرسلن بر مقاومت به کروژن آلیاژهای نیکل-کروم، کروم-کبالت و پالادیوم-نقره

بررسی قرار گرفتند. به منظور تهیه این دیسک های فلزی ابتدا دیسک های مومی (موم رز Cavex, Holland) با قطر و ضخامت مورد نظر تهیه شدند. نیمی از دیسک ها با آلیاژ نیکل-کروم حاوی درصد بالای کروم و مولیبدن و بدون برلیوم (حاوی ۶۱ درصد نیکل، ۲۵ درصد کروم، ۱۱ درصد مولیبدن و ۱/۵ درصد سیلیس) (Damcast NP, LA, USA) و نیمی دیگر با آلیاژ حاوی درصد پایین کروم و مولیبدن دارای برلیوم (حاوی ۷۵ درصد نیکل، ۱۴ درصد کروم، ۵ درصد مولیبدن و ۱/۶ درصد برلیوم) (Supercast NP, LA, USA) ریخته شدند. پرداخت با استفاده از سیلیکون کارباید P1500 صورت گرفت. در نهایت به منظور بر طرف ساختن آلودگی های سطحی دیسک ها، اولتراسونیک با استفاده از الکل سفید به مدت ۵ دقیقه و سپس با آب مقطر به مدت ۵ دقیقه صورت گرفت.<sup>(۸)</sup> پس از آماده سازی ۲۴ دیسک در هر گروه، به منظور اطمینان از ابعاد، تمامی دیسک ها با استفاده از کولیس مورد ارزیابی قرار گرفتند. (تصویر ۱)



تصویر ۱: اطمینان از قطر و ضخامت دیسک ها با استفاده از کولیس

پرداختند و نتیجه گیری کردند که پخت های مکرر پرسنل باعث کاهش مقاومت به کروژن آلیاژهای نیکل-کروم، کروم-کبالت و پالادیوم-نقره می شود. آلیاژ پالادیوم-نقره کمترین میزان کروژن و آلیاژ نیکل-کروم میزان کروژن بیشتری از کروم-کبالت را نشان داد. Qiu و همکارانش گزارش نمودند که میزان مقاومت به کروژن در آلیاژ نیکل-کروم فاقد برلیوم در هر دو زمان پیش و پس از پخت پرسنل به صورت معناداری بیشتر از آلیاژ حاوی برلیوم بود. همچنین مشاهده کردند که پس از پخت پرسنل، مقاومت به کروژن و سازگاری زیستی آلیاژ نیکل-کروم بدون برلیوم بعد از پخت پرسنل کاهش می یابد در حالی که پروسه پخت تأثیر کمی روی همین خصوصیات آلیاژ نیکل-کروم حاوی Be داشت. Lin و همکارانش<sup>(۵)</sup> به بررسی خصوصیات سطحی و رفتار کروژن آلیاژهای نیکل کروم با و بدون برلیوم پیش و پس از پخت پرسنل پرداختند. آنها مشاهده نمودند که پخت پرسنل بر سختی، ریز ساختار و ترکیب سطحی آلیاژها تأثیر داشته است. اما پخت پرسنل تأثیر معناداری بر رفتار کروژن آلیاژها نداشت.

از این رو در مطالعه حاضر تأثیر پخت های مکرر پرسنل بر میزان آزادسازی یون های فلزی و نیز مقاومت به کروژن در دو آلیاژ نیکل-کروم (یکی حاوی برلیوم و دیگری فاقد آن) که در لابراتوارها به صورت رایج استفاده می شوند، مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش ها

این مطالعه به صورت بررسی نیمه تجربی و به منظور بررسی تأثیر پخت های مکرر پرسنل بر مقاومت به کروژن و خصوصیات سطحی دو نوع آلیاژ نیکل-کروم (یکی حاوی برلیوم و دیگری فاقد آن) صورت گرفت. از هر یک از آلیاژهای مذکور، ۲۴ عدد دیسک با قطر ۱۰ و ضخامت ۳ میلی متر تهیه گردید که در چهار گروه شش تایی مورد

جدول ۱: مراحل مختلف پخت در کوره و دمای هر مرحله

مرحله	دمای کوره (درجه سانتی گراد)
اکسیداسیون	۹۸۰
لایه اول اوپک	۹۳۰
لایه دوم اوپک	۹۲۰
لایه پرسن اصلی	۹۱۰
اصلاح اول	۹۰۵
اصلاح دوم	۹۰۰
گلینز	۹۳۰

برای ارزیابی میزان مقاومت به کروژن آلیاژها در هر یک از دیسک ها از تست کروژن الکتروشیمیایی استفاده شد. تمامی آزمون های کروژن در محلول شبیه سازی بزاق مصنوعی فوزایاما با ترکیب مشخص شده در جدول ۲ و با pH کلی ۵ انجام شد.<sup>(۸)</sup>

جدول ۲: ترکیب شیمیایی بزاق مصنوعی فوزایاما

نام ماده	مقدار (g/l)
NaCl	۰/۴
KCl	۰/۴
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	۰/۷۹۵
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	۰/۶۹۰
Na <sub>2</sub> S.9H <sub>2</sub> O	۰/۰۰۵
Urea	۱

آزمون های کروژن مورد استفاده، آزمون پلاریزاسیون و آزمون امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) بود. به منظور بررسی خصوصیات سطحی، ابتدا هر دیسک طبق پروتکل مشخص آماده سازی شد و سپس با استفاده از دو نوع میکروسکوپ نوری متالورژیکی (Struers/Olympus) و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل SEM Philips XL20 مورد بررسی قرار گرفته شد.

دیسک ها به صورت تصادفی در ۴ زیرگروه (هر زیرگروه شامل ۶ دیسک) مورد مطالعه قرار گرفتند:

زیرگروه اول: گروه کنترل منفی که هیچ گونه پختی در آن انجام نشد.

زیرگروه دوم: دیسک ها ابتدا در دمای ۹۸۰ درجه سانتی گراد (به مدت ۵ دقیقه) به منظور اکسیداسیون داخل کوره قرار گرفتند. سپس به منظور پخت لایه های اپک در دو مرحله و پخت اصلی به ترتیب در دماهای ۹۱۰، ۹۲۰ و ۹۳۰ درجه سانتی گراد در داخل کوره قرار گرفتند. در نهایت مرحله گلینز در دمای ۹۳۰ درجه سانتی گراد صورت گرفت.

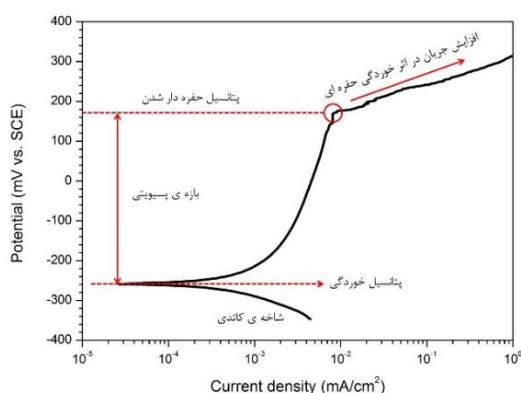
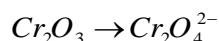
زیرگروه سوم: دیسک های این گروه علاوه بر ۴ مرحله ذکر شده در گروه دوم، یک مرتبه دیگر به منظور اصلاح چینی داخل کوره قرار گرفتند (دمای ۹۰۵ درجه سانتی گراد).

زیرگروه چهارم: دیسک های این گروه مانند گروه سوم، پنج مرتبه داخل کوره قرار گرفتند. سپس یک مرتبه دیگر به منظور اصلاح چینی مجدداً داخل کوره (دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد) قرار داده شدند.

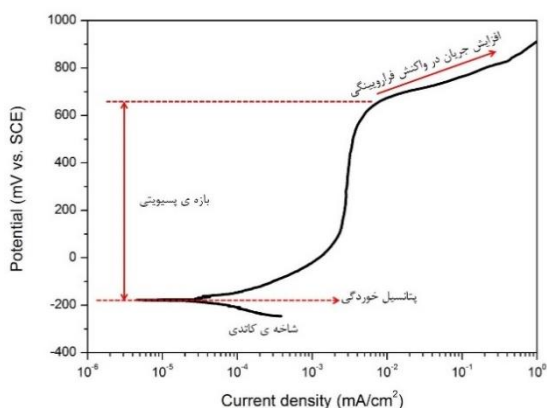
گفتنی است که اکسیداسیون و مراحل پرسن گذاری دیسک ها به صورت یک طرفه (با یک رویه) با استفاده از پودر پرسن (Vita VMK 95, USA) مطابق دستور کارخانه در داخل کوره صورت گرفت که مراحل مختلف آن و دمای مورد استفاده در جدول ۱ خلاصه شده است.

در نهایت پس از پایان پخت دیسک ها با استفاده از لاستیک پرداخت، پرداخت شدند و ۴۸ دیسک آماده سازی شده، به منظور ارزیابی تغییرات ایجاد شده در مقاومت به کروژن، خصوصیات سطحی و میزان آزادسازی یون مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مقاومت بالایی دارد و در نتیجه دچار خوردگی حفره‌ای نمی‌شود. در عوض در پتانسیل‌های حدود ۷۰۰ میلی‌ولت نسبت به الکتروود مرجع کالومل به منطقه‌ی فراروینگی<sup>۱</sup> وارد می‌شود. منطقه‌ی فراروینگی منطقه‌ای است که اکسید کروم، پایداری ترمودینامیکی خود را از دست می‌دهد و طبق واکنش زیر انحلال می‌یابد.



تصویر ۲: نمایش رفتار پلاریزاسیون آلیاژ Super Cast در بزاق مصنوعی



تصویر ۳: نمایش رفتار پلاریزاسیون آلیاژ Dam Cast در بزاق مصنوعی

میزان آزاد سازی یون با قرار دادن دیسک‌ها درون بزاق مصنوعی فوزایاما صورت گرفت. برای این منظور دیسک‌ها به مدت ۳۰ روز در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد درون استوانه‌ای دارای ۷/۵ میلی‌لیتر بزاق مصنوعی با pH برابر ۵ قرار داده شدند.<sup>(۱)</sup> پس از سپری شدن این زمان، آزاد شدن یون‌ها با استفاده از روش (ICP-AES) Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (Vista AX, Varion, CA, USA) مورد ارزیابی قرار گرفت.<sup>(۸)</sup> داده‌ها با آزمون فریدمن، من ویتنی، ویلکاکسون و اندازه‌گیری‌های مکرر با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل گردیدند.

### یافته‌ها

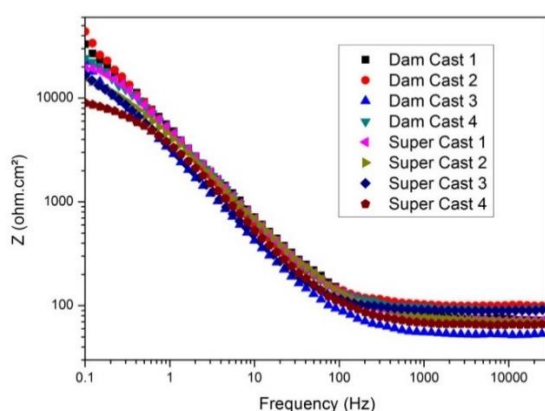
در مطالعه حاضر به منظور بررسی کروژن، میزان پتانسیل الکتریکی حفره دار شدن اندازه‌گیری شد. با توجه به مقاومت بالای آلیاژهای بدون برلیوم (Dam Cast) و عدم حفره دار شدن آنها در شرایط آزمایش، پتانسیلی برای این نمونه‌ها ثبت نگردید. این در حالی است که پتانسیل حفره دار شدن برای آلیاژ دارای برلیوم (Super Cast) ثبت گردید. پتانسیل حفره دار شدن پیش از پخت پرسنل بیشترین بود و در نتیجه پخت‌های مکرر، پتانسیل آن کاهش یافته بود. (جدول ۳)

بر اساس آزمون اندازه‌گیری‌های مکرر (Repeated Measures) مشخص گردید پخت‌های مکرر آلیاژ موجب تغییر معناداری در پتانسیل حفره دار شدن نشده است. ( $P=0/873$ )

نتیجه آزمون پلاریزاسیون برای هر یک از آلیاژهای مورد بررسی نشان داده شده است (تصویر ۲ و ۳). بر اساس این آزمون می‌توان بیان نمود که به علت آن که مقدار کروم در این آلیاژ زیاد است، لایه پسیو شکل گرفته در آن نیز

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار پتانسیل حفره دار شدن آلیاژ حاوی برلیوم (Super Cast) در زیرگروه های مختلف

آلیاژ	زیرگروه	تعداد نمونه	پتانسیل حفره دار شدن (vs.SCEmV)	
			میانگین	انحراف معیار
نیکل - کروم حاوی برلیوم (Super Cast)	۱	۶	۱۶۷/۵	۱۲/۴
	۲	۶	۱۵۳/۲	۱۴/۷
	۳	۶	۱۴۸/۳	۹/۵
	۴	۶	۱۴۳/۹	۱۰/۶



تصویر ۴: نمایش امپدانس الکتروشیمیایی برای نمونه های مورد مطالعه

برای بررسی مقاومت به کروژن از آزمون EIS استفاده گردید که در آن امپدانس الکتروشیمیایی محاسبه می شود.

(تصویر ۴)

میانگین امپدانس الکتروشیمیایی در جدول ۴ خلاصه شده است.

بر اساس آزمون ناپارامتری فریدمن، امپدانس زیرگروه های مختلف در هر دو آلیاژ دارای تفاوت معناداری بوده است. (جدول ۵)

جدول ۴: میانگین و انحراف معیار امپدانس الکتروشیمیایی دو آلیاژ مورد مطالعه در زیرگروه های مختلف بر اساس آزمون EIS

آلیاژ	زیرگروه	تعداد نمونه	امپدانس الکتروشیمیایی (mA)	
			میانگین	انحراف معیار
نیکل - کروم فاقد برلیوم (Dam Cast)	۱	۶	۵۳۳۳۳/۳۳	۲۳۳۸۰
	۲	۶	۲۰۰۰۰	۸۹۴۴
	۳	۶	۱۸۰۰۰	۸۰۰۰
	۴	۶	۱۷۸۳۳/۳	۷۴۶۷
نیکل - کروم حاوی برلیوم (Super Cast)	۱	۶	۲۵۰۰۰	۵۴۷۷
	۲	۶	۲۱۶۶۶/۷	۷۵۲۷
	۳	۶	۱۳۳۳۳/۳۳	۸۱۶۴
	۴	۶	۸۱۶۶/۷	۳۵۴۴

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)

جدول ۵: نتیجه آزمون ناپارامتری فریدمن برای بررسی تغییرات امیدانس هر آلیاژ در نتیجه پخت های مکرر

آلیاژ	زیرگروه	تعداد نمونه	میانگین رتبه	نتیجه آزمون Friedman	
				Chi-square	P-value
نیکل - کروم فاقد برلیوم (Dam Cast)	۱	۶	۳/۹۲	۱۱/۶۲	۰/۰۰۹
	۲	۶	۲/۰۰		
	۳	۶	۱/۶۷		
	۴	۶	۱/۴۲		
نیکل - کروم حاوی برلیوم (Super Cast)	۱	۶	۳/۵۸	۱۵/۴۲	۰/۰۰۱
	۲	۶	۳/۱۷		
	۳	۶	۲/۰۸		
	۴	۶	۱/۱۷		

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)

در بین دو آلیاژ تفاوت آماری معناداری از نظر امیدانس نداشتند.

میزان آزادسازی یون نیکل از دو نوع آلیاژ در جدول ۶ آورده شده است.

بر اساس آزمون اندازه گیری های مکرر (Repeated Measures)، میزان آزادسازی نیکل در دو گروه در پخت های مکرر تغییر معناداری داشته است ( $P=0/009$ ). در بررسی تفاوت میان روند تغییرات میزان آزادسازی یون نیکل در پخت های مختلف در دو آلیاژ مشخص گردید تفاوت معناداری میان روند تغییرات بین دو گروه وجود نداشتند است ( $P=0/566$ ).

به منظور مقایسه دو آلیاژ با یکدیگر از نظر میزان آزادسازی یون نیکل در پخت های مختلف از آزمون Independent sample t-test استفاده گردید. نتیجه این آزمون نشان داد که تفاوت معناداری میان دو آلیاژ در پخت های مختلف وجود نداشته است. (جدول ۷)

میزان آزادسازی یون کروم از دو نوع آلیاژ در جدول ۸ آورده شده است.

سپس به منظور بررسی و مقایسه دو به دو گروه های مورد مطالعه از آزمون تعقیبی Wilcoxon Signed Ranks استفاده گردید. بر اساس این آزمون تفاوت معناداری میان میانگین رتبه امیدانس زیرگروه اول با زیرگروه های دوم ( $P=0/026$ )، سوم ( $P=0/026$ ) و چهارم ( $P=0/023$ ) در گروه آلیاژ Dam Cast مشاهده شد. این در حالی است که تفاوت آماری معناداری میان سایر زیرگروه های این آلیاژ با یکدیگر مشاهده نشد ( $P>0/05$ ). در بررسی آلیاژ Super Cast تفاوت معناداری میان زیرگروه های اول با سوم ( $P=0/038$ )، اول با چهارم ( $P=0/026$ )، دوم با سوم ( $P=0/049$ ) و دوم با چهارم ( $P=0/027$ ) مشاهده گردید. در حالی که تفاوت آماری میان دو زیرگروه اول با دوم و سوم با چهارم معنادار نبود ( $P>0/05$ ).

به منظور مقایسه امیدانس دو آلیاژ در زیرگروه های مختلف از آزمون من-ویتنی استفاده شد که نتایج این آزمون نشان داد که تنها تفاوت میان زیرگروه اول از نظر آماری معنادار بوده است ( $P=0/002$ ). در حالی که زیرگروه های دوم ( $P=0/818$ )، سوم ( $P=0/485$ ) و چهارم ( $P=0/065$ )

جدول ۶: آزادسازی یون نیکل به داخل بزاغ مصنوعی از دو آلیاژ مورد مطالعه در زیرگروه های مختلف

نتیجه آزمون	آزادسازی یون نیکل (ppm)		تعداد نمونه	زیرگروه	آلیاژ
	انحراف معیار	میانگین			
	۰/۲۶	۰/۴۰۵	۶	۱	نیکل - کروم فاقد برلیوم
	۰/۲۵	۰/۴۱۲۷	۶	۲	(Dam Cast)
	۰/۲۷	۰/۴۱۷۳	۶	۳	
	۰/۲۵	۰/۴۱۹۸	۶	۴	
	۰/۳۶	۰/۷۱۷۷	۶	۱	نیکل - کروم حاوی
	۰/۳۷	۰/۷۲۳۰	۶	۲	برلیوم
	۰/۳۵	۰/۷۳۴۳	۶	۳	(Super Cast)
	۰/۳۳	۰/۷۴۵۸	۶	۴	

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)

جدول ۷: مقایسه دو به دو آلیاژها از نظر آزاد سازی یون نیکل در پخت های مختلف

نتیجه آزمون Independent sample t-test		زیرگروه
P-value	t	
۰/۱۱۷	۱/۷۱۸	اول
۰/۱۲۰	۱/۷۰۰	دوم
۰/۱۰۹	۱/۷۵۷	سوم
۰/۱۰۱	۱/۸۰۴	چهارم

جدول ۸: آزادسازی یون کروم به داخل بزاغ مصنوعی از دو آلیاژ مورد مطالعه در زیرگروه های مختلف

نتیجه آزمون	آزادسازی یون کروم (ppm)		تعداد نمونه	زیرگروه	آلیاژ
	انحراف معیار	میانگین			
	۰/۰۳۹	۰/۰۴۶۸	۶	۱	نیکل - کروم فاقد برلیوم
	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰۴	۶	۲	(Dam Cast)
	۰/۰۲۱	۰/۰۵۴۵	۶	۳	
	۰/۰۲۳	۰/۰۵۸۲	۶	۴	
	۰/۰۲۷	۰/۰۴۷۸	۶	۱	نیکل - کروم حاوی برلیوم
	۰/۰۲۶	۰/۰۵۲۰	۶	۲	(Super Cast)
	۰/۰۴۱	۰/۰۶۱۷	۶	۳	
	۰/۰۳۸	۰/۰۶۷۰	۶	۴	

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)



به منظور مقایسه دو آلیاژ با یکدیگر از نظر میزان آزادسازی یون کروم در پخت های مختلف از آزمون Independent sample t-test استفاده گردید. نتیجه این آزمون نشان داد که تفاوت معناداری میان دو آلیاژ در پخت های مختلف وجود نداشته است (جدول ۹).  
میزان آزاد سازی یون مولیبدن از دو نوع آلیاژ در جدول ۱۰ آورده شده است.

بر اساس آزمون اندازه گیری های مکرر ( Repeated Measures) میزان آزادسازی یون کروم در دو گروه در پخت های مکرر تغییر معناداری داشته است ( $P=0/007$ ). در بررسی تفاوت میان روند تغییرات میزان آزادسازی یون کروم در زیرگروه های مختلف در دو آلیاژ مشخص گردید تفاوت معناداری میان روند تغییرات بین دو گروه وجود نداشته است ( $P=0/110$ ).

جدول ۹ : مقایسه دو به دو آلیاژها از نظر آزاد سازی یون کروم در زیرگروه های مختلف

نتیجه آزمون Independent sample t-test	زیرگروه	
	<i>t</i>	<i>P-value</i>
اول	۰/۰۵۱	۰/۹۶۰
دوم	۰/۱۰۴	۰/۹۱۹
سوم	۰/۳۷۷	۰/۷۱۴
چهارم	۰/۲۴۶	۰/۸۱۱

جدول ۱۰ : آزادسازی یون مولیبدن به داخل یزاق مصنوعی از دو آلیاژ مورد مطالعه در زیرگروه های مختلف

آلیاژ	زیرگروه	تعداد نمونه	آزادسازی یون مولیبدن (ppm)	
			میانگین	انحراف معیار
نیکل - کروم فاقد برلیوم (Dam Cast)	۱	۶	۰/۰۹۸۵	۰/۰۸۳
	۲	۶	۰/۱۰۸۸	۰/۰۸۸
	۳	۶	۰/۱۱۲۳	۰/۰۸۶
	۴	۶	۰/۱۱۱۵	۰/۰۷۳
نیکل - کروم حاوی برلیوم (Super Cast)	۱	۶	۰/۱۶۴۷	۰/۰۹۵
	۲	۶	۰/۱۷۱۰	۰/۱۰۱
	۳	۶	۰/۱۷۶۵	۰/۰۹۴
	۴	۶	۰/۱۸۱۸	۰/۰۹۹

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)

میزان آزادسازی یون برلیوم از آلیاژ حاوی برلیوم در جدول ۱۲ آورده شده است.

بر اساس آزمون اندازه گیری های مکرر (Repeated Measures) میزان آزادسازی برلیوم در پخت های مکرر تغییر معناداری نداشته است ( $P=0/258$ ).

در بررسی سطح آلیاژها با استفاده از میکروسکوپ نوری متالورژیک تغییر چندانی در ریزساختار آلیاژ در نتیجه پخت های مکرر وجود نداشته است (تصویر ۵). در تصاویر بدست آمده از آلیاژ Dam Cast مقدار کمتری رسوبات نسبت به آلیاژ Super Cast مشاهده شد که نشان دهنده کروژن کمتر این آلیاژ در اثر پخت می باشد. (تصویر ۶)

بر اساس آزمون اندازه گیری های مکرر (Repeated Measures) میزان آزادسازی یون مولیبدن در دو گروه در پخت های مکرر تغییر معناداری داشته است ( $P=0/010$ ). در بررسی تفاوت میان روند تغییرات میزان آزادسازی یون مولیبدن در زیرگروه های مختلف در دو آلیاژ مشخص گردید تفاوت معناداری میان روند تغییرات بین دو گروه وجود نداشته است ( $P=0/760$ ). به منظور مقایسه دو آلیاژ با یکدیگر از نظر میزان آزادسازی یون مولیبدن در پخت های مختلف از آزمون Independent sample t-test استفاده گردید. نتیجه این آزمون نشان داد که تفاوت معناداری میان دو آلیاژ در پخت های مختلف وجود نداشته است (جدول ۱۱).

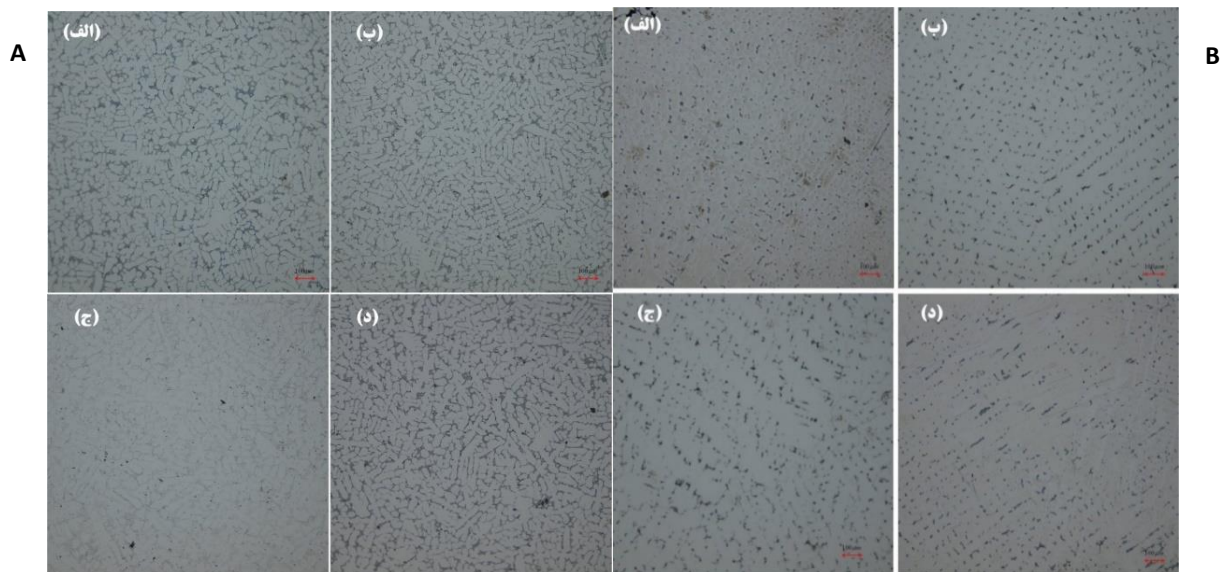
جدول ۱۱ : مقایسه دو به دو آلیاژها از نظر آزاد سازی یون مولیبدن در زیرگروه های مختلف

نتیجه آزمون		زیرگروه
Independent sample t-test		
P-value	t	
0/230	1/278	اول
0/283	1/135	دوم
0/248	1/228	سوم
0/195	1/390	چهارم

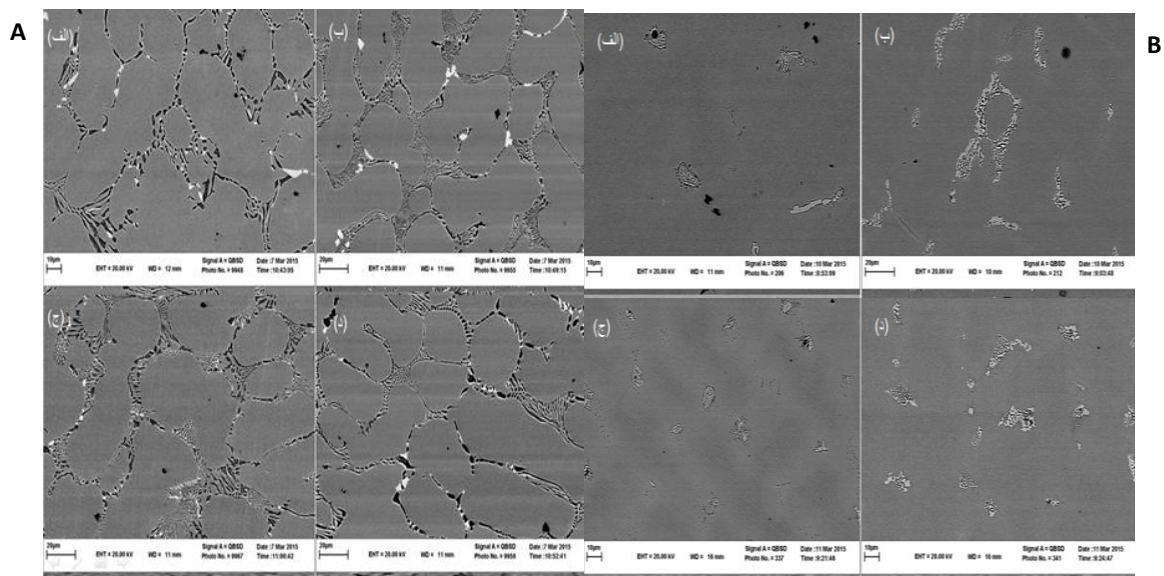
جدول ۱۲ : میزان آزادسازی یون برلیوم در محلول بزاق مصنوعی از آلیاژ نیکل-کروم حاوی برلیوم (Super Cast) در پخت های مکرر

آلیاژ		تعداد نمونه	زیرگروه	نیکل - کروم حاوی برلیوم (Super Cast)
میانگین	انحراف معیار			
0/0478	0/021	6	1	
0/0515	0/016	6	2	
0/0530	0/016	6	3	
0/0533	0/053	6	4	

زیرگروه اول (بدون پخت)، دوم (چهار مرتبه پخت پرسلن)، سوم (چهار مرتبه پخت پرسلن و یک مرتبه پخت اصلاحی) و چهارم (چهار مرتبه پخت پرسلن و دو مرتبه پخت اصلاحی)



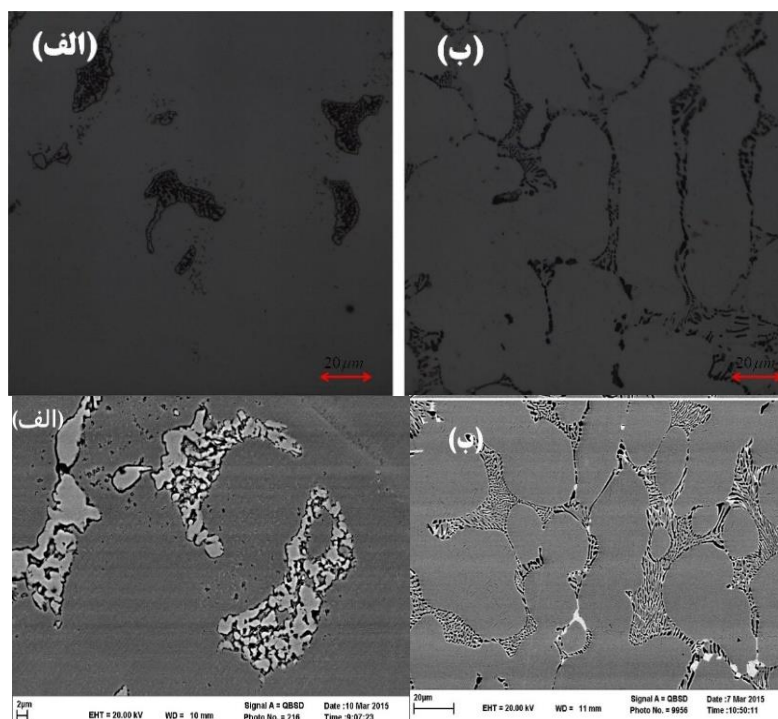
تصویر ۵: ریزساختار نمونه های (A Super Cast (B Dam cast؛  
 (الف) زیرگروه اول، (ب) زیرگروه دوم، (ج) زیرگروه سوم، (د) زیرگروه چهارم



تصویر ۶: ریزساختار نمونه های (A Super Cast (B Dam cast؛ در بررسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی؛  
 (الف) زیرگروه اول، (ب) زیرگروه دوم، (ج) زیرگروه سوم، (د) زیرگروه چهارم

دو آلیاژ می توان بیان نمود که در نمونه های Super Cast این رسوبات به صورت پیوسته تشکیل شده اند اما در Dam Cast به صورت جزایری جداگانه اند. (تصویر ۷)

در بررسی دقیق تر رسوبات مشخص گردید که رسوبات به صورت دندردیتی و شاخه شاخه می باشند که می توان یوتکتیک اطراف آن را مشاهده نمود. در مقایسه



تصویر ۷: شکل رسوبات تشکیل شده در نمونه های Dam Cast (الف) و Super Cast (ب)

## بحث

تأثیر معناداری بر مقاومت به کروژن آلیاژ حاوی برلیوم نداشت. Roach و همکارانش<sup>(۱۲)</sup> تأثیر کمتر پروسه پخت بر آلیاژ حاوی برلیوم را ناشی از حذف برلیوم مهاجرت کرده به سطح به دنبال پرداخت نهایی آلیاژ دانستند؛ زیرا پرداخت، موجب کاهش میزان برلیوم موجود در سطح این آلیاژها شده و در نتیجه مقاومت به کروژن آن ها به دنبال پخت پرسن کمتر کاهش یافته بود.

با این حال، نتایج حاصل از مطالعه کنونی نشان داد که پخت های اصلاحی (زیرگروه سوم و چهارم) موجب کاهش معناداری در میزان امپدانس آلیاژ Dam Cast نشده بود. این در حالی است که در آلیاژ Super Cast پخت های اصلاحی موجب کاهش معناداری در میزان امپدانس در مقایسه با پخت پرسن بدون اصلاح (زیرگروه دوم) شده بود. از این رو می توان نتیجه گرفت که پخت های اصلاحی تأثیر کمتری بر میزان مقاومت به کروژن آلیاژ نیکل-کروم

در مطالعه کنونی به منظور بررسی تأثیر پخت پرسن بر مقاومت به کروژن آلیاژهای مورد استفاده از آزمون های سنجش امپدانس، پتانسیل حفره دار شدن و میزان آزادسازی یون های فلزی استفاده گردید. در بررسی میزان امپدانس دو آلیاژ، نتایج مطالعه نشان داد که امپدانس آلیاژ فاقد برلیوم (Dam Cast) پس از مراحل پخت پرسن به صورت معناداری کمتر از میزان آن پیش از پخت بود. در حالی که در آلیاژ Super Cast (حاوی برلیوم) با وجود کاهش امپدانس پس از مراحل پخت (گروه دوم نسبت به گروه اول)، تفاوت از نظر آماری معنادار نبود. مشابه مطالعه کنونی، برخی مطالعات<sup>(۱۹)</sup> مشاهده نمودند که با وجود کمتر بودن میزان مقاومت به کروژن آلیاژهای حاوی برلیوم نسبت به آلیاژهای فاقد آن، فرایند پخت موجب کاهش معناداری در مقاومت به کروژن آلیاژ فاقد برلیوم شده اما

به عنوان محل هایی برای آغاز جوانه زنی حفرات عمل می کند و موجب کاهش مقاومت به خوردگی می شود.<sup>(۵و۶)</sup>

در مطالعات مشخص شده است که آلیاژهایی که دارای ۱۶ الی ۲۷ درصد کروم و ۶ الی ۱۷ درصد مولیبدن و فاقد برلیوم باشند، میزان کروژن کمتر، لایه اکسید محافظ هموژن و مقاومت بالاتری نسبت به حفره دار شدن دارند.<sup>(۱۱-۱۴)</sup> در مطالعه حاضر آلیاژ Dam Cast دارای ۲۵ درصد کروم و ۱۱ درصد مولیبدن و فاقد برلیوم بود. در همین راستا مشاهده گردید که به دلیل عدم توانایی اچ نمودن این آلیاژ با اسیدهای مختلف نتوانستیم پتانسیل حفره دار شدن آن را اندازه گیری کنیم. همچنین میزان مقاومت به کروژن این آلیاژ در مقایسه با آلیاژ Super Cast (حاوی ۱۴ درصد کروم، ۵ درصد مولیبدن و ۱/۶ درصد برلیوم) بالاتر بود که همسو با نتایج سایر مطالعات بود.<sup>(۱۸-۱۵و۹)</sup> می توان بیان نمود که آلیاژ Dam Cast در محیط دهان پایداری مناسبی خواهد داشت و در حالت پسیو باقی می ماند.

در مطالعه حاضر میزان آزادسازی یون های مختلف در داخل بزاق مصنوعی و دمای مشابه با دمای بدن (۳۷ درجه سانتی گراد) نیز بررسی شد. میزان یون برلیوم پس از پخت های مکرر در بزاق مصنوعی افزایش یافت که با نتایج مقاومت در برابر حفره دار شدن آلیاژ Super Cast همسو می باشد. مشابه مطالعه کنونی، Qiu و همکارانش<sup>(۱)</sup> مشاهده کردند که پس از قرار دادن آلیاژ نیکل-کروم در داخل کوره، میزان آزادسازی یون برلیوم افزایش یافته بود.

میزان آزادسازی یون نیکل در هر دو آلیاژ در پخت های مکرر به صورت معناداری افزایش یافته بود. مشابه مطالعه حاضر Qiu و همکارانش<sup>(۱)</sup> و نیز Lin و همکاران<sup>(۵)</sup> مشاهده نمودند که میزان آزادسازی یون نیکل پس از پخت پرسنل به صورت معناداری افزایش یافته بود. با این حال میزان

بدون برلیوم نسبت به آلیاژ حاوی این عنصر داشته است. به عبارت دیگر حضور برلیوم موجب افزایش تأثیر پخت های مکرر به منظور اصلاح پرسنل بر مقاومت به کروژن شده بود.

این تأثیر برلیوم بر امپدانس الکتروشیمیایی و مقاومت به کروژن می تواند به دلیل خواص اتمی آن باشد؛ Huang<sup>(۱۱)</sup> گزارش کرد برلیوم دارای شعاع اتمی کوچکتری نسبت به سایر عناصر موجود در آلیاژ می باشد و تحریک آلیاژ موجب می گردد که برلیوم با سهولت بیشتری وارد لایه سطحی شود که می تواند توجه کننده بیشتر شدن میزان کروژن در آلیاژهای نیکل-کروم حاوی آن باشد.

در بررسی میکروسکوپ نوری متالورژیک و میکروسکوپ الکترونی مشخص گردید که آلیاژ Super Cast که حاوی برلیوم می باشد دارای نواحی بیشتری از کروژن بر روی سطح خود بوده و الگوی این نواحی به صورت به هم پیوسته بودند. در حالی که در آلیاژ Dam Cast نواحی کمتری از رسوب دیده می شد و به تبع آن الگوی این رسوبات به صورت جزایر جدا از هم بود. با این حال تفاوتی میان ریزساختار آلیاژها در نتیجه پخت های مکرر مشاهده نشد. این در حالی است که Tunçdemir و همکارانش<sup>(۳)</sup> در مطالعه خود تغییرات محسوسی در سطح آلیاژها پس از ۱۱ مرتبه پخت مشاهده کردند که می تواند به دلیل تعداد پخت بیشتر در مطالعه آنها نسبت به مطالعه کنونی باشد؛ که در نتیجه موجب ایجاد تغییرات واضح شده بود.

برلیوم موجب ایجاد فازهای یونکتیک نیکل-برلیوم می شود که یکپارچگی اکسیدهای کروم و مولیبدن سطح آلیاژ را از بین برده و با توجه به مقاومت کمتر فازهای نیکل-برلیوم نسبت به فازهای حاوی اکسیدهای کروم و مولیبدن در برابر کروژن، برلیوم موجود در آلیاژ Super Cast

استفاده از محلول هایی که بتوانند شرایط حفره دهان را دقیق تر بازسازی نمایند می تواند قابلیت پیش بینی و تعمیم نتایج به شرایط حفره دهان را ارتقا بخشد.

### نتیجه گیری

پخت های اصلاحی موجب کاهش معناداری در مقاومت در برابر کروژن و افزایش معنادار آزادسازی یون های فلزی از آلیاژهای نیکل-کروم استفاده شده در ساخت روکش های PFM می گردد. تاثیر پخت های مکرر بر مقاومت به کروژن آلیاژ نیکل-کروم فاقد برلیوم کمتر از آلیاژ حاوی برلیوم میباشد. از سوی دیگر آلیاژ نیکل-کروم فاقد برلیوم مقاومت در برابر کروژن بالاتر و میزان آزادسازی یون های فلزی کمتری نسبت به آلیاژ نیکل-کروم دارای برلیوم داشت. استفاده از آلیاژ فاقد برلیوم نسبت به آلیاژ حاوی آن برای ساخت روکش های دندانی می تواند موجب ارتقای سازگاری بافتی و کاهش احتمال ایجاد واکنش های بافتی در نتیجه روکش های دندانی گردد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه با شماره ۵۶۹ از دانشکده دندانپزشکی مشهد می باشد. با تقدیر و تشکر از دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند.

آزاد سازی یون نیکل در آلیاژ Super Cast بیشتر از آلیاژ Dam Cast بود. در همین راستا Bumgardner و همکاران<sup>(۱۷و۲۳)</sup> مشاهده نمودند که میزان آزادسازی یون نیکل از آلیاژ حاوی برلیوم بیشتر از آلیاژ بدون برلیوم بوده است. نیکل، بیشترین میزان واکنش های آلرژیک را در بین فلزات، نیکل ایجاد می نماید و می تواند آزادسازی منوسیت ها و سایتوکاین های پیش التهابی را تحریک نماید<sup>(۲۲-۲۱و۱۹)</sup> و موجب کاهش تکثیر سلولی و میزان متابولیسم داخل سلولی و تداخل در رشد بافتی گردد.<sup>(۲۰و۲۱)</sup> یکی دیگر از عوامل موثر در آزادسازی یون از آلیاژ، pH محیط می باشد. در صورت کاهش pH، میزان آزادسازی یون افزایش می یابد. در مطالعه کنونی مشابه مطالعه Qiu و همکارانش<sup>(۱)</sup> و نیز Tuncdemir و همکارانش<sup>(۳)</sup> تمامی نمونه ها درون بزاق مصنوعی با pH برابر ۵ قرار داده شدند. مشابه مطالعه Tuncdemir و همکارانش<sup>(۳)</sup>، به منظور شبیه سازی بهتر شرایط روکش های PFM، یک سمت دیسک ها پرسن گذاری صورت گرفت.

یکی از محدودیت های مطالعه کنونی تعداد نمونه های مورد بررسی بود. همچنین استفاده از بزاق مصنوعی فوژایاما با توجه به اینکه تنها دارای ترکیبات معدنی بوده و فاقد مواد آلی می باشد موجب می گردد که الگوی کاملاً ایده آلی برای شرایط موجود در حفره دهان نباشد.<sup>(۲۴)</sup> از این رو

### منابع

1. Qiu J, Yu WQ, Zhang FQ, Smales RJ, Zhang YL, Lu CH. Corrosion behaviour and surface analysis of a Co-Cr and two Ni-Cr dental alloys before and after simulated porcelain firing. *European journal of oral sciences*. 2011 Feb;119(1):93-101.
2. Wataha JC, Lewis JB, Volkman KR, Lockwood PE, Messer RL, Bouillaguet S. Sublethal concentrations of Au (III), Pd (II), and Ni (II) differentially alter inflammatory cytokine secretion from activated monocytes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2004 Apr 15;69(1):11-7.
3. Tuncdemir AR, Karahan I, Polat S, Malkoc MA, Dalkiz M. The effect of repeated porcelain firings on corrosion resistance of different dental alloys. *The journal of advanced prosthodontics*. 2013 Feb 1;5(1):44-50.

4. Qiu J, Tang CB, Zhu ZJ, Zhou GX, Wang J, Yang Y, Wang GP. XPS and electrochemical impedance spectroscopy studies on effects of the porcelain firing process on surface and corrosion properties of two nickel–chromium dental alloys. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2013 Nov 1;24(11):2519-28
5. Lin HY, Bowers B, Wolan JT, Cai Z, Bumgardner JD. Metallurgical, surface, and corrosion analysis of Ni–Cr dental casting alloys before and after porcelain firing. *Dental materials*. 2008 Mar 1;24(3):378-85.
6. Gil FJ, Sanchez LA, Espias A, Planell JA. In vitro corrosion behaviour and metallic ion release of different prosthodontic alloys. *International dental journal*. 1999 Dec;49(6):361-7.
7. Cooper RG, Harrison AP. The uses and adverse effects of beryllium on health. *Indian journal of occupational and environmental medicine*. 2009 Aug;13(2):65.
8. Ma Q, Wu FM. Corrosion property and oxide film of dental casting alloys before and after porcelain firing. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi= Zhonghua kouqiang yixue zazhi= Chinese journal of stomatology*. 2011 Mar;46(3):172-6.
9. Wataha JC, Khajotia SS. Effect of pH on element release from dental casting alloys. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1998 Dec 1;80(6):691-8.
10. Geis-Gerstorfer J, Pässler K. Studies on the influence of Be content on the corrosion behavior and mechanical properties of Ni-25Cr-10Mo alloys. *Dental Materials*. 1993 May 1;9(3):177-81.
11. Huang HH. Effect of chemical composition on the corrosion behavior of Ni-Cr-Mo dental casting alloys. *Journal of Biomedical Materials Research*. 2002 Jun 5;60(3):458-65.
12. Roach MD, Wolan JT, Parsell DE, Bumgardner JD. Use of x-ray photoelectron spectroscopy and cyclic polarization to evaluate the corrosion behavior of six nickel-chromium alloys before and after porcelain-fused-to-metal firing. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2000 Dec 1;84(6):623-34.
13. Bumgardner JD, Lucas LC. Surface analysis of nickel-chromium dental alloys. *Dental Materials*. 1993 Jul 1;9(4):252-9.
14. Bumgardner JD, Lucas LC. Corrosion and cell culture evaluations of nickel-chromium dental casting alloys. *Journal of Applied Biomaterials*. 1994 Sep;5(3):203-13.
15. Li L, Wataha JC, Cate C, Zhang H, DiJulio D, Chung WO. Ni (II) alters the NFκB signaling pathway in monocytic cells. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2012 May;100(4):934-9.
16. Lin HY, Bowers B, Wolan JT, Cai Z, Bumgardner JD. Metallurgical, surface, and corrosion analysis of Ni–Cr dental casting alloys before and after porcelain firing. *Dental materials*. 2008 Mar 1;24(3):378-85.
17. Bumgardner JD, Lucas LC. Cellular response to metallic ions released from nickel-chromium dental alloys. *Journal of dental research*. 1995 Aug;74(8):1521-7.
18. Al-Hity RR, Kappert HF, Viennot S, Dalard F, Grosogoeat B. Corrosion resistance measurements of dental alloys, are they correlated?. *Dental Materials*. 2007 Jun 1;23(6):679-87.
19. Setcos JC, Babaei-Mahani A, Di Silvio L, Mjör IA, Wilson NH. The safety of nickel containing dental alloys. *Dental materials*. 2006 Dec 1;22(12):1163-8.
20. Lewis JB, Messer RL, McCloud VV, Lockwood PE, Hsu SD, Wataha JC. Ni (II) activates the Nrf2 signaling pathway in human monocytic cells. *Biomaterials*. 2006 Nov 1;27(31):5348-56.
21. Lewis JB, Wataha JC, McCloud V, Lockwood PE, Messer RL, Tseng WY. Au (III), Pd (II), Ni (II), and Hg (II) alter NFκB signaling in THP1 monocytic cells. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2005 Sep 1;74(3):474-81.
22. Lewis JB, Messer RL, Pitts L, Hsu SD, Hansen JM, Wataha JC. Ni (II) ions dysregulate cytokine secretion from human monocytes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2009 Feb;88(2):358-65.
23. Bumgardner JD, Doeller J, Lucas LC. Effect of nickel-based dental casting alloys on fibroblast metabolism and ultrastructural organization. *Journal of biomedical materials research*. 1995 May;29(5):611-7.
24. Leung VH, Darvell BW. Artificial salivas for in vitro studies of dental materials. *Journal of dentistry*. 1997 Nov 1;25(6):475-84.