# ارزیابی چسبندگی پرسلن به چند نمونه تجاری از آلیاژهای پایه نیکل دندانی و مقایسه فصل مشترک آن‌ها

**رحیم اصغری صلوات[۱]- دکتر احد صمدی[۲†]**

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه آموزشی مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

Evaluation of bonding strength of porcelain to some commercial nickel-base dental alloys and comparing their interface

Rahim Asghari Salavat[1], Ahad Samadi[2†]

1- M.Sc. Department of Materials Engineering, Faculty of Materials Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

2†- Associate Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Materials Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran (samadi@sut.ac.ir)

**Background and Aims:** Poor adhesion between porcelain and some of the dental alloys is one of the most challenges to select the desirable alloy in dental restorations. Therefore, the aim of this study was to evaluate the bond strength of porcelain to some of the commercial alloys. This can help in selection of desirable alloy.

**Materials and Methods:** The shear bond strength of porcelain to the three of the most widely used nickel-base dental alloys commercially named as: Verabond, Damcast and Noritake were evaluated according to standard ASTM E4. The results were analyzed based on the statistical method of independent t with the meaningful level of $P<0.05$. Then, the bonding interface of the fired samples was evaluated using SEM equipped with EDX analyzer and X-ray diffractometry.

**Results:** The average bonding strength of porcelain to each of the above mentioned alloys were determined as: 27.54±5.48, 22.46±4.99 and 26.18±4.27 MPa, respectively. Due to the existence of Be and Al in the chemical composition of Verabond and Damcast and their higher appetencies to form the different surface oxides in preference to $Cr_2O_3$, not only the bond strength of porcelain to two these alloys was increased about 20 percent (compared with the Noritake), but also the color of their porcelain was not changed.

**Conclusion:** To replace the replacing of deleterious elements from the chemical composition of dental alloys. The added new elements should control through the oxide layer and the formation of $Cr_2O_3$ in porcelain-alloy interfaces for adequate bond strength.

**Key Words:** Dental alloys, Bonding strength, Cyclic cooking heat treatment, Porcelain-alloy interface, Beryllium

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2017;30(3):164-172

† مؤلف مسؤول: نشانی: تبریز- شهر جدید سهند- دانشگاه صنعتی سهند- دانشکده مهندسی مواد- گروه آموزشی مهندسی مواد

تلفن: ۳۴۴۳۸۰۱ نشانی الکترونیک: samadi@sut.ac.ir



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

## چکیده

**زمینه و هدف:** چسبندگی ضعیف بین پرسلن و بعضی از آلیاژهای دندانی یکی از چالش‌های اصلی در انتخاب آلیاژ مناسب برای رستوریشن دندانی می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی چسبندگی چند نمونه از این آلیاژها به پرسلن بود که می‌تواند راه گشای جامعه دندانپزشکی در انتخاب درست آلیاژ باشد.

**روش بررسی:** استحکام چسبندگی برشی پرسلن به سه نمونه آلیاژ پایه نیکل دندانی پرمصرف در بازار ایران با اسامی تجاری Verabond، Damcast و Noritake مطابق استاندارد ASTM E4 اندازه‌گیری شده و بر مبنای آزمون آماری t مستقل با سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ مورد تحلیل قرار گرفتند. فصل مشترک اتصال‌ها نیز با استفاده از میکروسکوب SEM مجهز به سیستم آنالیز عنصری EDX و پراش سنجی اشعه X مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** میانگین استحکام چسبندگی پرسلن به آلیاژهای مورد مطالعه فوق الذکر به ترتیب حدود ۵/۴۸±۲۷/۵۴، ۴/۲۷±۲۶/۱۸ و ۴/۹۹±۲۲/۴۶ مگا پاسکال با P<۰/۰۰۱ تعیین شد که اختلاف آن‌ها از نظر آماری معنی‌داری بود. وجود عناصری نظیر Be و Al در ترکیب شیمیایی آلیاژهای Verabond و Damcast و ترغیب تشکیل اکسیدهای سطحی آن‌ها به جای $Cr_2O_3$ در فصل مشترک اتصال علاوه بر افزایش ۲۰ درصدی استحکام چسبندگی نسبت به آلیاژ Noritake با انجام پخت سیکلی تغییر رنگ غیر طبیعی در پرسلن نیز ایجاد گردید.

**نتیجه‌گیری:** در فرآیند توسعه آلیاژهای دندانی با رویکرد جایگزینی عناصر مضر توصیه می‌شود از عناصری استفاده شود که ضمن کنترل اکسیداسیون کروم بتوانند با ایجاد سطح ویژه بالا برای نفوذ پرسلن، باعث افزایش استحکام چسبندگی در فصل مشترک پرسلن- آلیاژ بشوند.


**کلید واژه‌ها:** آلیاژهای دندانی، استحکام چسبندگی، عملیات پخت حرارتی دوره‌ای، فصل مشترک پرسلن- آلیاژ، بریلیوم

وصول:۹۵/۱۰/۲۴ اصلاح نهایی:۹۶/۰۶/۳۱ تأیید چاپ:۹۶/۰۷/۰۵

## مقدمه

رستوریشن‌های دندانی (Dental Restorations) شامل یک پایه فلزی می‌باشند که با مواد سرامیکی پوشش داده می شوند. برای این منظور پس از ساخت مدل پایه دندان، ریخته‌گری آلیاژ با استفاده از روش حذف موم (lost-wax) انجام می‌گیرد. در این روش به منظور حذف هیدروژن جذب شده در طول فرآیند ریخته گری و اتصال بهتر آلیاژ به پرسلن، آلیاژ تحت عملیات گاز زدایی در کوره عملیات حرارتی تحت خلاء قرار می‌گیرد و سپس چندین لایه پرسلن به طور جداگانه روی آلیاژ اعمال می‌گردد. لایه‌های اولیه برای پوشش بدنه آلیاژ و لایه‌های رویی نمای رویی و طبیعی دندان را فراهم می‌کنند (۱).

روکش‌های آلیاژ- پرسلن جزو پرمصرف‌ترین پروتزهای ثابت در ترمیم‌های دندان پزشکی محسوب می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مشکلات این نوع ترمیم‌ها چسبندگی ضعیف بین پرسلن با آلیاژ است. این چسبندگی با مکانیسم‌های مختلف شیمیایی، مکانیکی و نیز نیروهای واندر والس ممکن است تأمین شود که در میان آن‌ها اتصال شیمیایی آلیاژها به پرسلن از اهمیت زیادی برخوردار است (۲).

امروزه به علت قیمت بالای آلیاژهای طلا، آلیاژهای پایه فلزی مانند نیکل- کروم و کبالت- کروم کاربرد گسترده‌ای در انواع عملیات رستوریشن‌ها همچون رستوریشن‌های دندانی (پروتز ثابت)، پروتز پارسیل و همچنین در ایمپلنت‌ها پیدا کرده‌اند (۳).

در مورد چسبندگی آلیاژهای پایه نیکل به پرسلن و مقایسه آن‌ها با آلیاژهای نجیب نظیر آلیاژهای طلا و نقره تحقیقات متعددی انجام گرفته است. گروهی استحکام چسبندگی فلزات نجیب را بیشتر از آلیاژهای پایه نیکل (۴،۵) و عده‌ای دیگر کمتر از آن‌ها گزارش کرده‌اند (۳،۶). گاز زدایی نامطلوب آلیاژهای پایه نیکل باعث افزایش ضخامت لایه اکسید کروم در سطح آلیاژ شده و منجر به کاهش استحکام چسبندگی آلیاژ به پرسلن می‌شود. برای این منظور با اضافه نمودن بریلیوم به ترکیب آلیاژهای پایه نیکل و به واسطه کاهش ضخامت لایه اکسید کروم استحکام چسبندگی پرسلن به این آلیاژها را نسبت به آلیاژهای نجیب بهبود می‌بخشند (۷).

اغلب به منظور افزایش مقاومت به خوردگی آلیاژهای پایه نیکل، به ترکیب شیمیایی آن‌ها مقادیر جزیی از عناصری نظیر Cr، Mo، Ga و غیره اضافه می‌کنند (۸،۹). در آلیاژهای پایه نیکل، عناصر آلیاژی نظیر کروم در حین پخت پرسلن همچنین با تشکیل اکسید $Cr_2O_3$ باعث چسبندگی پرسلن به آلیاژ می‌شود (۱۰). اما با پخت مکرر پرسلن، ضخامت لایه اکسیدی $Cr_2O_3$ افزایش یافته و موجب کاهش چسبندگی پرسلن به فلزات پایه می‌گردد (۲،۱۱). وجود عناصری مثل Al، Be، Nb، Si و Ti در ترکیب شیمیایی آلیاژ دندانی به واسطه تشکیل اکسیدهای $Al_2O_3$، BeO، NbO، $SiO_2$ و $TiO_2$ در حین عملیات پخت سیکلی پرسلن مانع رشد بی رویه لایه اکسید کروم



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

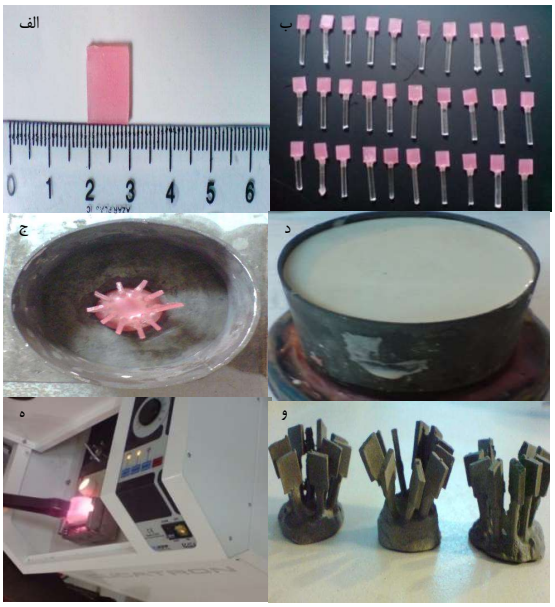
$Cr_2O_3$ شده و باعث بهتر شدن رفتار چسبندگی آلیاژ به پرسلن می‌شوند (۸،۹). به لحاظ متالورژیکی Be با Ni فاز یوتکتیکی NiBe تشکیل می‌دهد. نقطه ذوب این فاز از سایر فازها کمتر بوده و با ذوب زودرس در حین ریخته‌گری باعث کاهش دمای ذوب و افزایش سیالیت آلیاژ می‌شود (۹). برخی مطالعات افزودن بریلیوم را جهت افزایش استحکام چسبندگی مورد تأیید قرار داده‌اند (۱۲). در مقابل برخی دیگر وجود بریلیوم را برای ایجاد چسبندگی مناسب با پرسلن ضروری نمی‌دانند (۱۳،۱۴). با وجود این با توجه به سمی بودن عنصر بریلیوم و مضرات آن بر سلامتی بهداشت دهان و دندان (۱۵،۱۶)، امروزه یکی از مهم‌ترین رویکردها در روند توسعه آلیاژهای دندانی حذف بریلیوم از ترکیب این آلیاژهاست. بر این اساس در این تحقیق سعی شده است که با انتخاب سه نوع آلیاژ دندانی تجاری پر مصرف در بازار دندان پزشکی/دندان سازی ایران و بررسی رفتار آن‌ها در حین سیکل پخت پرسلن، استحکام چسبندگی پرسلن به هرکدام از آن‌ها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد.

چسبندگی ضعیف بین پرسلن و بعضی از آلیاژهای دندانی یکی از چالش‌های اصلی در انتخاب آلیاژ مناسب برای رستوریشن دندانی می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی چسبندگی چند نمونه از این آلیاژها به پرسلن بود که می‌تواند راه گشای جامعه دندانپزشکی در انتخاب درست آلیاژ باشد.

## روش بررسی

در این تحقیق به منظور بررسی استحکام چسبندگی آلیاژهای دندانی به پرسلن، سه نمونه آلیاژ پایه نیکل ریختگی تجاری و پر استفاده موجود در بازار دندان پزشکی/دندان سازی ایران با عناوین تجاری Verabond، Damcast و Noritake انتخاب شدند که ترکیب شیمیایی آن‌ها به تفکیک در جدول ۱ ارایه شده است (هیچ یک از آلیاژها در داخل ایران تولید نمی‌شوند و هر سه وارداتی هستند و هدف مقاله نیز تبلیغ یک آلیاژ و یا تخریب دیگری نیست و هیچ گونه نفع یا ضرری از تبلیغ یک محصول و یا تخریب محصول دیگر عاید نویسندگان مقاله نمی‌شود).

برای بررسی استحکام چسبندگی آلیاژها به پرسلن برای هر یک از آن‌ها تعداد ۱۰ عدد نمونه تخت مومی به ابعاد ۱×۱۰×۱۰ میلی‌متر مطابق شکل۱ (الف) تهیه شد (۱۷،۱۸). سپس اسپروی میله‌ای از جنس پلی استر به طول ۱۵ میلی‌متر و قطر ۲ میلی‌متر تهیه نموده و به مدل‌های مومی تخت چسبانده شدند (شکل ۱ (ب)). سپس برای اینوستینگ در داخل سیلندر فلزی استوانه‌ای قرار گرفتند (شکل ۱ (ج)).




**شکل ۱- مراحل تهیه نمونه‌های ریختگی از آلیاژهای مورد نظر شامل: ساخت مدل مومی با ابعاد ۱×۱۰×۱۰ میلی‌متر (الف)، راهگاه گذاری مدل‌های مومی با راهگاه پلی استر (ب)، قرار دادن مدل مومی همراه با سیستم راهگاهی و پای راهگاه در داخل سیلندر فلزی (ج)، تهیه دوغاب گچ دندان سازی برای قالب گیری (د)، ریخته گری توسط دستگاه گریز از مرکز افقی آزمایشگاه دندان سازی (ه)، شکل نهایی مدل‌های ریخته گری شده همراه با سیستم راهگاهی (و)**

**جدول ۱- ترکیب شمیایی آلیاژهای مورد استفاده در تحقیق (بر حسب درصد وزنی)**

| آلیاژ | Ni | Cr | Mo | Al | Be | Si | Ga | سایر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Verabond** | ۷۷/۹۵ | ۱۲/۶ | ۵ | ۲/۹۵ | ۱/۹۵ | – | – | <۱ |
| **Damcast** | ۷۶ | ۱۵ | ۵/۵ | ۲ | ۱/۷ | – | – | <۱ |
| **Noritake** | ۵۹/۶ | ۲۳/۵ | ۹/۲۲ | – | – | ۴/۸۷ | ۰/۴۶ | <۱ |

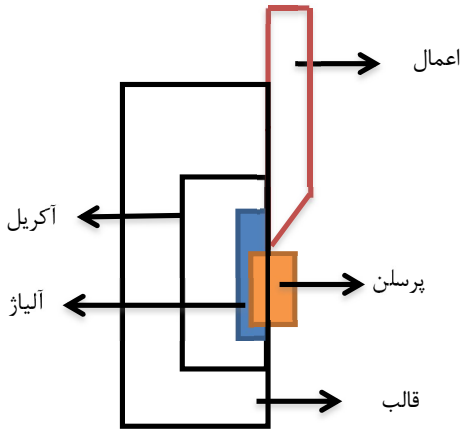


[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

سپس دوغاب ترکیب اینوستمنت متشکل از گچ پزشکی (Podent ساخت کشور آلمان) همراه با هاردنر آن مطابق شکل ۱ (د) مخلوط شده و در داخل سیلندر استوانه‌ای که مدل‌های مومی در داخل آن تعبیه شده بودند ریخته شد. بعد از سفت شدن به منظور حذف موم، انبساط قالب، جلوگیری از انقباض حین انجماد آلیاژ و همچنین نزدیک شدن دمای قالب به دمای مذاب (جهت جلوگیری از شوک حرارتی و ترک برداشتن آن) در داخل کوره مقاومتی قرار گرفته و از دمای محیط تا دمای ۹۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. برای ریخته‌گری نمونه‌ها، از دستگاه گریز از مرکز القایی عمودی اتوماتیک ویژه آزمایشگاه دندان سازی (Ducatron ساخت کشور فرانسه) استفاده شد (شکل ۱ (ه)) به طوری که در یک طرف دستگاه شمش ریختگی در داخل بوته‌ای از جنس آلومینا و در طرف دیگر آن قالب مورد نظر قرار داده شد. هر سه شمش آلیاژ Verabond، Damcast و Noritake توسط کوره القایی ذوب شده و مطابق دستور العمل کارخانه سازنده در کوره گریز از مرکز ریخته‌گری شدند و قالب‌ها بعد از ریخته‌گری، در هوا خنک شده و بعد از تخریب آن‌ها، نمونه‌های آلیاژی ریخته شده مطابق شکل ۱ (و) از قالب بیرون آورده شدند و با استفاده از دستگاه سند بلاست تمیز شدند.

پس از جدا سازی اسپروها سطوح نمونه‌ها ابتدا توسط فرز پرداخت و در نهایت توسط سنگ فرز آلومینایی (با حداکثر سایز دانه بندی ۲۵ میکرون) تمیز و پالیش شدند. در مرحله بعد، پس از گاز زدایی، نصف ابعاد نمونه‌ها (۱×۵×۱۰ میلی‌متر) پرسلن گذاری شده و تحت عملیات حرارتی پخت سیکلی مطابق جدول ۲ قرار گرفتند. تمامی عملیات گاز زدایی و عملیات حرارتی پخت سیکلی نمونه‌ها در کوره تحت خلاء (Koshafan100) انجام گرفت. عملیات حرارتی پخت سیکلی بر اساس نوع پرسلن مورد استفاده (پرسلن Noritake از نوع $A_2B$ ساخت ژاپن) و مطابق با دستورالعمل ارائه شده توسط کارخانه سازنده اعمال شد.

بعد از اتمام مراحل عملیات پخت سیکلی به منظور بررسی استحکام چسبندگی پرسلن به آلیاژها، نمونه‌ها جهت انجام آزمایش در داخل ماده‌ای از جنس آکریل مانت شدند و بعد از سفت و محکم شدن طی ۲۴ ساعت در دمای محیط مطابق استاندارد ASTM E4 تحت آزمایش استحکام چسبندگی توسط دستگاه Houns field Test Equipment مدل H5KS ساخت کشور بریتانیا قرار گرفتند. طرح واره‌ای از روش انجام آزمایش استحکام چسبندگی نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. نرخ اعمال بار در این آزمایش ۰/۵ mm/min در نظر گرفته شد و استحکام چسبندگی آلیاژ به پرسلن از روی مقدار نیروی لازم جهت شکستن پرسلن از فصل مشترک به روش ارزیابی استحکام باند برشی محاسبه شد. تحلیل آماری نتایج استحکام چسبندگی نمونه‌ها بر مبنای آزمون آماری t مستقل با سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ انجام گرفت.




**شکل ۲- طرح واره آزمایش استحکام چسبندگی برشی آلیاژ- پرسلن**

**جدول ۲- مراحل عملیات حرارتی پخت سیکلی انجام شده برای پرسلن**

| مراحل پخت سیکلی | Dry-out (Time min) | Low Temp (C°) | Start Vacuum (C°) | Heating rate (C°/min) | Vacuum Level ($KP_a$) | Release of Vacuum (C°) | Holding Time (min) | High Temp (C°) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Degassing | ۲ | ۶۰۰ | ۶۵۰ | ۶۰ | ۹۶ | ۸۵۰ | ۲ | ۱۰۰۰ |
| First Opaque | ۳ | ۶۵۰ | ۶۵۰ | ۵۵ | ۹۶ | ۹۶۰ | ۲ | ۹۶۰ |
| Second Opaque | ۵ | ۶۵۰ | ۶۵۰ | ۵۵ | ۹۶ | ۹۵۰ | ۱ | ۹۶۰ |
| First and second Porcelain | ۵ | ۶۵۰ | ۶۵۰ | ۵۵ | ۹۶ | ۹۳۵ | ۲ | ۹۴۵ |
| Glaze | ۱۰ | ۶۰۰ | ۶۵۰ | ۴۵ | ۹۶ | ۹۴۰ | ۲ | ۹۵۰ |

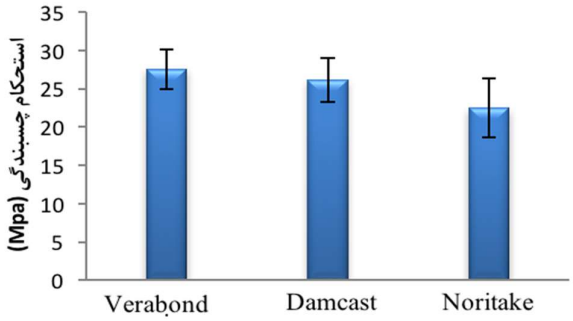


[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

به منظور بررسی تغییرات ترکیب شیمیایی و ریزساختار فصل مشترک آلیاژ- پرسلن نیز از میکروسکوب SEM مدل Cam scan MV 2300 مجهز به سیستم آنالیز عنصری EDX مدل Oxford استفاده شد. همچنین برای شناسایی فازی اکسیدهای تشکیل شده در سطوح آلیاژهای مورد مطالعه، سطوح آن‌ها پس از عملیات گاز زدایی تحت آنالیز پراش سنجی اشعه X در محدوده زاویه (20=20- $90^{o}$) قرار گرفت. برای این منظور از د ستگاه Brucker-Axs مجهز به پراش سنج مدل D8-Advance استفاده شد.

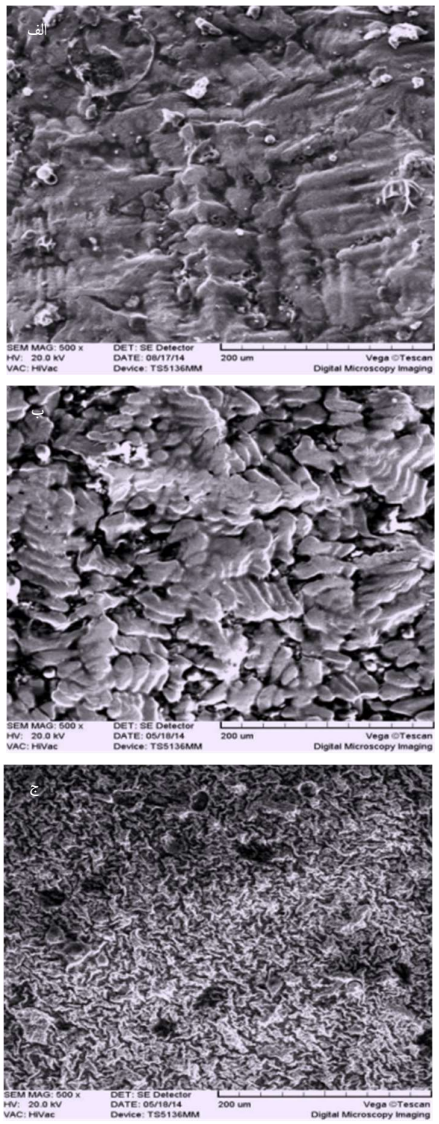
## یافته‌ها

در نمودار ۱ استحکام چسبندگی پرسلن به هر سه آلیاژ Verabond، Damcast و Noritake نشان داده شده است که بر اساس آن میانگین استحکام چسبندگی پرسلن به این آلیاژها به ترتیب حدود ۵/۴۸±۲۷/۵۴، ۴/۲۷±۲۶/۱۸ و ۴/۹۹±۲۲/۴۶ مگا پاسکال می‌باشد که از نظر تحلیل آماری با P<۰/۰۰۱ اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند.




**نمودار ۱- استحکام چسبندگی برشی پرسلن با آلیاژهای مورد بررسی**

شکل ۳ تصاویر ریزساختار SEM از شکل و مورفولوژی اکسیدهای سطحی در آلیاژهای مورد بررسی بعد از مرحله گاز زدایی ارائه شده است. با مقایسه تصاویر می‌توان گفت که شکل اکسیدهای سطحی آلیاژها با توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. بر اساس این شکل مشاهده می‌شود که مورفولوژی اکسید سطحی آلیاژهای Verabond و Damcast به ترتیب به صورت دندریتی و شبه دندریتی هستند ولی شکل اکسید سطحی در آلیاژ Noritake به صورت لایه لایه است.




**شکل ۳- موفولوژی اکسیدهای سطحی بعد از گاز زدایی در آلیاژهای Verabond (الف)، Damcast (ب) و Noritake (ج)**

در جدول ۳ نتایج آنالیز شیمیایی EDX از اکسیدهای سطحی آلیاژهای مورد بررسی ارائه شده است. با مقایسه ترکیب اکسیدها می‌توان گفت که مقدار کروم موجود در اکسید سطحی آلیاژ Noritake نسبت به آلیاژهای Verabond و Damcast بسیار بالا ا ست در حالی که مقدار نیکل آلیاژ Noritake خیلی کمتر از آلیاژهای Verabond و

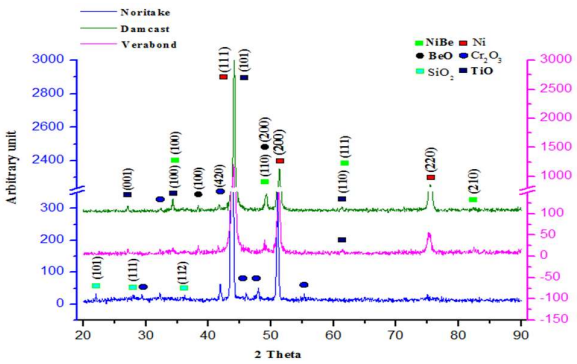


[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

**جدول ۳- ترکیب شیمیایی اکسیدهای سطحی (wt.%) در آلیاژهای Verabond، Damcast و Noritake (بر اساس نتایج آنالیز EDX)**

| آلیاژ | Ni | Cr | Mo | Al | Ti | Si | O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Verabond** | ۷۲/۴۴ | ۱۳/۴۴ | ۵/۴۰ | ۲/۵۲ | ۶/۲۰ | – | – |
| **Damcast** | ۷۴/۰۵ | ۱۳/۶۷ | ۶/۲۶ | ۲/۹۵ | ۳/۰۶ | – | – |
| **Noritake** | ۵/۸۱ | ۵۵/۹۰ | – | – | – | ۱۰/۵۴ | ۲۷/۷۶ |

Damcast است. در نمودار ۲ الگوهای پراش اشعه X به دست آمده از اکسیدهای سطحی آلیاژهای مورد بررسی نشان داده شده اند. در آلیاژهای حاوی بریلیوم Verabond و Damcast پیک اکسیدهای (TiO, BeO, $Cr_2O_3$) در زاویای مختلف مشاهده می‌شوند.




**نمودار ۲- الگوهای پراش اشعه X بدست آمده از اکسیدهای سطحی آلیاژهای مورد بررسی پس از عملیات گاز زدایی**

در شکل ۴ تغییرات رنگ پرسلن اعمال شده روی آلیاژهای مورد بررسی پس از انجام مرحله پخت نهایی (گلیز) نشان داده شده است. تغییر رنگ پرسلن اعمال شده روی آلیاژ Noritake نسبت به پرسلن اعمال شده روی دو آلیاژ دیگر کاملا مشهود است.

**شکل ۴- رنگ پرسلن اعمال شده روی آلیاژهای مورد بررسی پس از انجام مرحله پخت نهایی (گلیز)**

آنالیز EDX خطی از فصل مشترک آلیاژهای مورد بررسی با پرسلن در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نمودار تغییرات غلظت کروم در ردیف پایینی شکل مشاهده می‌شود که مقدار متوسط کروم در نزدیکی فصل مشترک آلیاژ فاقد بریلیوم و آلومینیوم Noritake با پرسلن بیشتر از آلیاژهای Verabond و Damcast است که در ترکیب خود دارای مقادیری بریلیوم و آلومینیوم هستند.

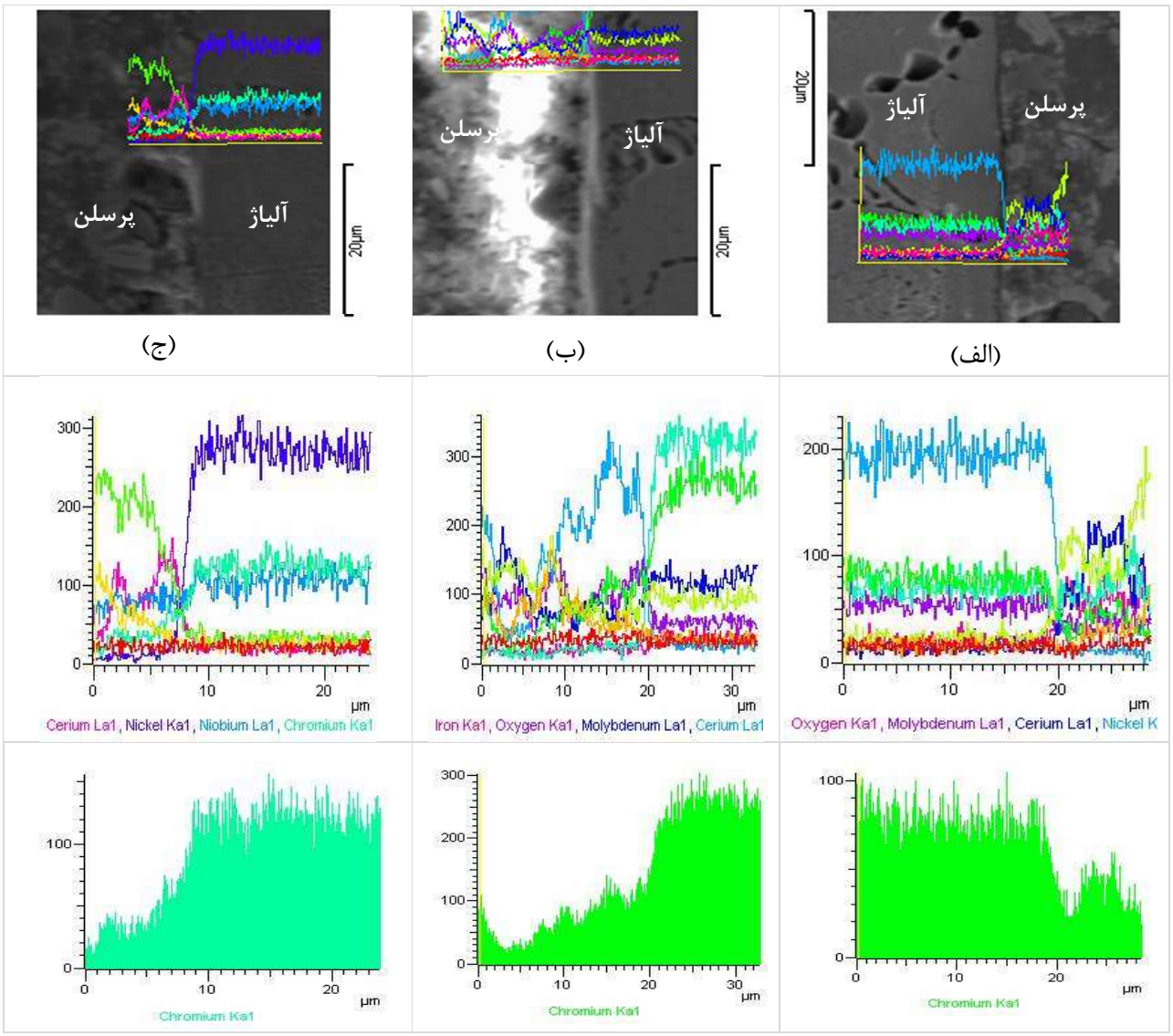
## بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که اشاره شد چسبندگی شیمیایی مؤثرترین مکانیزم اثرگذار بر استحکام چسبندگی پرسلن به آلیاژ دندانی محسوب می‌شود. این چسبندگی در اثر نفوذ عناصر از آلیاژ به پرسلن و برعکس حین سیکل پخت ایجاد می‌شود.

Haung و همکاران (۸) نشان داده‌اند که حضور عناصری همچون Al و Be در ترکیب شیمیایی آلیاژ دندانی با محدود کردن رشد لایه‌های اکسید کروم (Cr2O3) باعث افزایش استحکام چسبندگی بین پرسلن و آلیاژ می‌شوند. در تحقیق دیگری (۱۹) نشان داده شده است که آلیاژهای حاوی بریلیوم استحکام چسبندگی بیشتری به پرسلن نسبت به آلیاژهای بدون بریلیوم و نجیب دارند. Wang و Hsu (۲۰) با بررسی ضخامت لایه اکسید ایجاد شده در فصل مشترک چند آلیاژ پایه نیکل حاوی بریلیوم و بدون بریلیوم به پرسلن نشان داده‌اند که ضخامت لایه اکسید تشکیل شده در فصل مشترک آلیاژهای حاوی بریلیوم Unibond و III Rexillium نازک‌تر از ضخامت لایه اکسیدی تشکیل شده روی آلیاژ فاقد بریلیوم Wiron 88 بوده و همین امر سبب افزایش استحکام چسبندگی آلیاژهای حاوی بریلیوم به پرسلن شده است. با وجود این، بر اساس نتایج تحقیقات Anthony و همکاران (۲۱)، بریلیوم تاثیری روی استحکام چسبندگی پرسلن به آلیاژهای پایه نیکل دندانی ندارد. اما با نگاه به ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد بررسی در این مقاله (جدول ۱) و بر اساس نتایج استحکام چسبندگی برشی پرسلن به این آلیاژها



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]




**شکل ۵- آنالیز EDX خطی از فصل مشترک پرسلن با آلیاژهای Verabond (الف)، Damcast (ب) و Noritake (ج)**

در نمودار ۱ به نظر می‌رسد که مقدار بریلیوم و آلومینیوم موجود در آلیاژهای Verabond و Damcast باعث افزایش استحکام چسبندگی برشی آن‌ها به پرسلن نسبت به استحکام چسبندگی آلیاژ Noritake به پرسلن شده است. شکل و مورفولوژی اکسید سطحی آلیاژ نیز در استحکام چسبندگی فصل مشترک آلیاژ- پرسلن نقش مؤثری دارند به طوری که هرچه شکل و مورفولوژی اکسید سطحی آلیاژ به گونه‌ای باشد که سطح بیشتری را جهت نفوذ پرسلن فراهم نماید چسبندگی خوبی می‌تواند با پرسلن ایجاد نماید (۲۲). با توجه به شکل ۳ به نظر می‌رسد که مورفولوژی دندریتی اکسیدهای سطحی در آلیاژهای Verabond و Damcast به واسطه اینکه توانسته‌اند سطح بیشتری را برای نفوذ پرسلن فراهم نمایند باعث افزایش چسبندگی (هم به صورت شیمیایی و هم به صورت مکانیکی) آن دو به پرسلن نسبت به آلیاژ Noritake شده‌اند. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی EDX از اکسیدهای سطحی آلیاژهای مورد بررسی در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مقدار کروم موجود در اکسید سطحی آلیاژ Noritake نسبت به آلیاژهای Verabond و Damcast بسیار بالا و حدود ۵۵/۹٪ وزنی است و به نظر می‌رسد که حضور بریلیوم



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

و آلومینیوم در ترکیب آلیاژهای Verabond و Damcast باعث کاهش قابل ملاحظه مقدار اکسید کروم در سطح آن دو نسبت به آلیاژ بدون بریلیوم و آلومینیوم Noritake شده است. لازم به توضیح است که به خاطر جرم اتمی Be، این عنصر با آنالیز EDX قابل شناسایی و اندازه‌گیری نبوده و لذا مقدار آن در نتایج آنالیز EDX اکسیدهای سطحی آلیاژهای Verabond و Damcast در جدول ۳ آورده نشده است.

از سوی دیگر بر اساس نتایج آنالیز ارایه شده در جدول ۳ ملاحظه می شود که مقدار نیکل نیز در ترکیب اکسید سطحی آلیاژ Noritake خیلی کمتر از نیکل موجود در اکسیدهای سطحی آلیاژهای Verabond و Damcast است که دلیل آن نرخ تشکیل بالای اکسید کروم در حین عملیات گاز زدایی نمونه Noritake بوده که مانع از تشکیل اکسید نیکل در سطح آلیاژ Noritake شده است، زیرا از نظر ترمودینامیکی تمایل به اکسیداسیون کروم خیلی بیشتر از نیکل است. اما در خصوص نقش عنصر Si نیز با توجه به اینکه جاذب اکسیژن محسوب می شود نشان داده شده است که می‌تواند جزو عناصر تقویت کننده استحکام چسبندگی آلیاژ به پرسلن باشد (۲۳). با وجود این، علیرغم حضور Si در ترکیب آلیاژ Noritake (جدول ۱) ولی به خاطر بالا بودن درصد کروم این آلیاژ، همچنان مطابق جدول ۳ درصد بالایی از اکسید کروم سطحی در آلیاژ Noritake دیده می‌شود و به نظر می‌آید که عنصر Si به خوبی بریلیوم و آلومینیوم در آلیاژهای Verabond و Damcast نقش خود را در جذب اکسیژن و ممانعت از تشکیل اکسید کروم در آلیاژ Noritake بازی نکرده است.

به نظر Uusalo و Lassila بالا بودن مقدار اکسیدهای سطحی نظیر اکسید کروم در سطح آلیاژهای دندانی سبب واکنش آن با پرسلن شده و باعث کاهش انبساط حرارتی پرسلن در فصل مشترک می‌شود. این امر در حین عملیات پخت سیکلی باعث ایجاد تنش‌های باقیمانده در فصل مشترک آلیاژ- پرسلن شده و منجر به کاهش استحکام چسبندگی آلیاژ- پرسلن می‌گردد (۲۴). بر اساس الگوهای پراش اشعه X نمونه‌های Verabond و Damcast در نمودار ۲ علاوه بر پیک‌های پراش مربوط به $TiO_2$، پیک‌های پراش BeO و فاز NiBe یوتکتیکی نیز در زوایای مختلف مشاهده می‌شوند در حالی که این پیک‌ها برای نمونه فاقد بریلیوم Noritake (جدول ۱) مشاهده نمی‌شوند. همچنین مشاهده می‌شود که شدت پیک و تعداد پیک‌های $Cr_2O_3$ در اکسیدهای سطحی آلیاژ Noritake بیشتر از اکسیدهای سطحی آلیاژهای Verabond و Damcast می‌باشند که ضمن تأیید نتایج آنالیز EDX اکسیدهای سطحی آلیاژها در جدول ۳ می‌تواند دلیلی بر در صد بالای اکسید $Cr_2O_3$ تشکیل شده در سطح نمونه Noritake بعد از عملیات گاز زدایی باشد. با همه این تفاسیر به نظر می‌رسد که دلیل پایین بودن استحکام چسبندگی برشی آلیاژ Noritake به پرسلن نسبت به دو آلیاژ دیگر، بالا بودن مقدار اکسید کروم $Cr_2O_3$ سطحی تشکیل شده در سطح آلیاژ Noritake پس از عملیات گاز زدایی باشد که مانع چسبندگی خوب پرسلن به آلیاژ می‌شود.

تفاوت ترکیب شیمیایی اکسیدهای سطحی آلیاژها پس از گاز زدایی و واکنش آن‌ها با پرسلن در حین عملیات پخت سیکلی باعث تغییر رنگ پرسلن بعد از اتمام مرحله پخت (Glaze) می‌شود به طوری که در آلیاژ Noritake بعد از اتمام مرحله پخت، رنگ پرسلن مطابق شکل ۴ تغییر یافته و حال آنکه در پوشش پرسلن ایجاد شده روی آلیاژهای Verabond و Damcast هیچ گونه تغییر رنگی پس از اتمام عملیات پخت سیکلی مشاهده نمی‌شود که دلیل آن همان گونه که قبلاً نیز گفته شد تشکیل اکسید کروم زیاد در سطح آلیاژ Noritake پس از مرحله گاز زدایی است (۲۵) که ضمن آن، همانگونه که در منابع مختلف (۲،۸،۱۱) نیز ذکر شده است و در نتایج این تحقیق نیز مشاهده شد استحکام چسبندگی پرسلن به آلیاژ دندانی کاهش می‌یابد.

وجود عناصر اکسید شونده قوی نظیر Be و Al در ترکیب شیمیایی آلیاژهای پایه نیکل تجاری مورد استفاده برای رستوریشن‌های دندانی با ممانعت از اکسیداسیون گسترده کروم و کنترل نرخ رشد لایه سطحی $Cr_2O_3$ در حین عملیات گاز زدایی آلیاژ و عملیات حرارتی پخت سیکلی پرسلن اعمال شده روی آن و نیز ایجاد مورفولوژی خاصی از اکسیدهای سطحی در فصل مشترک آلیاژ- پرسلن نه تنها باعث افزایش استحکام چسبندگی برشی پرسلن به آلیاژ می شوند بلکه مانع تغییر رنگ پرسلن در خاتمه عملیات پخت سیکلی نیز می‌شوند.

با توجه به سمی بودن عنصر بریلیوم و مضرات آن بر سلامتی و بهداشت دهان و دندان توصیه می شود که در فرآیند طراحی، توسعه و اصلاح آلیاژهای دندانی با رویکرد جایگزینی عناصر سمی نظیر Be در ترکیب شیمیایی آلیاژها از عناصری به این منظور استفاده شود که بتوانند ضمن ایجاد مورفولوژی خاص اکسیدی با سطح ویژه بالا (نظیر



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]

مورفولوژی دندریتی) برای نفوذ پرسلن و ممانعت از اکسیداسیون گسترده کروم در فصل مشترک آلیاژ- پرسلن، باعث افزایش استحکام چسبندگی برشی پرسلن به آلیاژ و مانع تغییر رنگ غیر طبیعی پرسلن در حین عملیات حرارتی پخت سیکلی شوند.

## تشکر و قدردانی

نتایج و محتوای علمی این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای رحیم اصغری صلوات است که با راهنمایی آقای دکتر احد صمدی در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند تبریز انجام شده و با شماره ۹۳،۷۰۳۵۸ به شماره مدرک ۲۱۳۵ پ ثبت شده است. نویسندگان مقاله از جناب آقای مهندس بهزاد بدخشان مسئول فنی لابراتوار دندانسازی دنتیران به خاطر همکاری صمیمانه در فراهم نمودن لوازم و امکانات آزمایشگاهی لازم برای انجام عملیات ریخته گری و پخت سیکلی نمونه‌های پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع:

**1-** Craig RG, Powers JM, Restorative Dental Materials,Thirteenth Edition, Houston Texas, 2012.

**2-** Mclean JW, Sced IR. Bonding of dental porcelain to metals. I. The gold alloy/ porcelain bond. Trans J Br Cer Soc. 1973;72:229.

**3-** Moffa JP, Lugassy AA, Gucker AD, Gettleman L. An evaluation of non-precious alloys for use with porcelain veneers. Part I. Physical properties. J Prosthet Dent. 1973;30:424-31.

**4-** Uusalo EK, Lassila VP, Yli-Urpo AU. Bonding of porcelain to ceramic metal alloys. J Prosthet Dent. 1987;1;57(1):26-9.

**5-** Ding WS, Wang D, Lan J, Du ZX, Liu WX. The test of metal-ceramic bonding strength among three ceramic alloys. Shanghai Kou Qiang Yi Xue. 2004;13(3):186-8.

**6-** Anthony DH, Burnett AP, Smith DL. Shear test for measuring bonding in cast gold alloy-porcelain composites. Dent Res. 1970;49(1):27-33.

**7-** Lubovich PR, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious, and non-precious ceramic-metal alloys with two porcelains. J Prosthet Dent. 1977;1;37(3):288-99.

**8-** Huang HH, Lin MC, Lee TH, Yang HW, Chen FL, Wu SC, Hsu C. Effect of chemical composition of Ni-Cr dental casting alloys on the bonding characterization between porcelain and metal, J Oral Rehabil. 2005;1;32(3):206-12.

**9-** Cheng TP, Tsai WT, Lin JH, Lee JT. The effect of beryllium on the corrosion resistance of nickel-chromium dental alloys. J Mater Sci Mater Med. 1999;1:211-218.

**10-** Brantley WA, Laub LW. Porcelain-alloy bonding. In: Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics. 3rd ed. St. Louis: Mosby;2001:617-20.

**11-** Nitkin DA, Asgar K. Evaluation of alternative alloys to type III gold for use in fixed prosthodontics. J Am Dent Assoc. 1976;93(3):622-9.

**12-** O'Connor RP, Mackert JR Jr, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masking, and porcelain bonding of 17 porcelain-fused-to-metal alloys. J Prosthet Dent. 1996;1;75(4):367-74.

**13-** Graham JD, Johnson A, Wildgoose DG, Shareef MY, Cannavina G. The effect of surface treatments on the bond strength of a non-precious alloy-ceramic interface. Int J Prosthodont. 1999;12:330-**4**.

**14-** Bezzon OL, Riberio RF, Rollo JM, Crosara S. Castability and resistance of ceramometal bonding in Ni-Cr and Ni-Cr-Be alloys. J Prosthet Dent. 2001;31;85(3):299-304.

**15-** Kotloff RM, Richman PS, Greenacre JK, Rossman MD. Chronic beryllium disease in a dental laboratory technician. Am Rev Respir Dis. 1993;147(1):205-7.

**16-** Geurtsen W. Biocompatibility of dental casting alloy. Crit Rev Oral Biol Med. 2002;13 (1):71-84.

**17-** Goharian R, Maleknejad F, Salari T, Ghavamnasiri M, Derhami M. Effect of adhesives on bond strength of porcelain veneer to base metal alloy. Quintessence Int. 2002:1;33(8).

**18-** Külünk T, Kurt M, Ural Ç, Külünk Ş, Baba S. Effect of different air-abrasion particles on metal-ceramic bond strength. J Dent Sci. 2011;6(3):140-6.

**19-** Hsu CS, Wu YT. The shear bond strength of porcelain and base metal alloys for metal-ceramic crown (VII). Kaohsiung J Med Sci. 1997;13(12):730-7.

**20-** Wang CC, Hsu CS. The bonding mechanisms of base metals for metal-ceramic crown microstructure analysis of bonding agent and gold bond between porcelain and base metals. Kaohsiung J Med Sci. 1996;12(6):326-38.

**21-** Anthony DH, Burnett AP, Smith DL, Brooks MS. Shear test for measuring bonding in cast gold alloy-porcelain composites. J Dent Res. 1970;49(1):27-33.

**22-** Geurtsen W. Biocompatibility of dental casting alloys. Crit Rev Oral Biol Med. 2002;13(1):71-84.

**23**- Bezzon OL, de Mattos Mda G, Ribeiro RF, Rollo JM. Effect of beryllium on the castability and resistance of ceramometal bonds in nickel-chromium alloys. J Prosthet Dent. 1998;80(5):570-4.

**24-** Uusalo EK, Lassila VP, Yli-Urpo AU. Bonding of dental porcelain to ceramic-metal alloys. J Prosthet Dent. 1987;57(1):26-9.

**25-** WP Naylor, AH King. Introduction to metal-ceramic technology: Quintessence Publishing Company, 2009.



[ Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2025-02-03 ]