

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

144404

KIYMETSİZ METAL ALAŞIMLARINDA METAL-PORSELEN
BAĞLANTISINA ARTIK METAL KULLANIMI, KAPLAMA
UYGULAMASI VE OKSİDASYON İSİSİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Dt. Musa Şamil AKYIL

Tez Yöneticisi
Prof. Dr. Zeynep YEŞİL DUYMUŞ

Doktora Tezi
Erzurum 2005

**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA PROGRAMI**

**KIYMETSİZ METAL ALAŞIMLARINDA METAL-PORSELEN
BAĞLANTISINA ARTIK METAL KULLANIMI, KAPLAMA
UYGULAMASI VE OKSİDASYON İSİSİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Dt. Musa Şamil AKYIL

Tezin enstitüye Verildiği Tarih : 11.04.2005

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 24.05.05

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zeynep YEŞİL DUYMUŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. M. Mutahhar ULUSOY

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Seyfettin BAYDAŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Lütfü İ. ALADAĞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Abubekir HORARLI

Enstitü Müdürü

:Doç. Dr. Adnan TEZEL

Mayıs 2005

ERZURUM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
GİRİŞ VE AMAÇ	1
GENEL BİLGİLER	3
MATERYAL METOD	40
BULGULAR	52
TARTIŞMA	63
SONUÇ	82
KAYNAKLAR	84

TEŞEKKÜR

Çalışmamın tüm aşamalarında göstermiş oldukları sınırsız ilgi ve desteklerinden dolayı sevgili eşime ve değerli hocam Prof. Dr. Zeynep YEŞİL DUYMUŞ'a sonsuz teşekkürler.

Araştırmamı 2003/156 numaralı araştırma projesi ile maddi olarak destekleyen Atatürk Üniversitesi Rektörlüğüne de teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Kıymetsiz Metal Alaşımlarında Metal-Porselen Bağlantısına Artık Metal Kullanımı,

Kaplama Uygulaması Ve Oksidasyon Isısının Etkisinin İncelenmesi

Metal-porselen restorasyonların başarısı, metal ile porselen arasında sağlam bir bağlantının oluşmasına bağlıdır. Günümüzde, metal-porselen restorasyonlarda ekonomik nedenlerden dolayı çoğunlukla kıymetsiz metal alaşımları kullanılmaktadır.

Bu araştırma; iki farklı kıymetsiz metal alaşımına değişik oranlarda artık metal ilave edilmesinin, krom ve kalay kaplama uygulamasının ve farklı ısılarda okside edilmelerinin metal-porselen bağlantı direncine etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır.

Araştırma kapsamında bir Ni-Cr (Wiron 99) ve bir de Cr-Co (Wirobond C) alaşımından %100 saf, %25 bir kez dökülmüş artık-%75 saf ve %50 artık-%50 saf metal içeren örnekler hazırlanmış, deney grubu örnekler elektroliz yöntemiyle krom ve kalay kaplanmış, tüm örnekler üç gruba ayrılarak; 850°C, 950°C ve 1050°C’de oksidasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Oksidasyon sonrası örneklerin orta bölgeleri üzerine porselen uygulaması yapılmıştır. Örnekler; üç-nokta bükme mekanizması kullanılarak, Hounsfield test cihazında, 5mm/dk başlık hızıyla test edilmiştir.

Elde edilen veriler çok yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiş, metal alaşımının türü, metal alt yapı çeşidi ve elektrolitik kaplamanın önemli olmadığı, farklı oksidasyon ısı uygulamasının çok önemli ($p<0.001$) olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

En yüksek metal-porselen bağlantı direnci alaşım türüne göre Cr-Co (Wirobond C) metal alaşımından hazırlanan örneklerde, metal alt yapı çeşidine göre saf metal içeren örneklerde, elektrolitik kaplama çeşidine göre krom kaplama uygulanan örneklerde ve oksidasyon ısısına göre değerlendirildiğinde 950°C’de okside edilen örneklerde elde edilmiştir.

SUMMARY

Evaluation Of The Effect Of Recast Metal Addition, Plating And Oxidation Temperature On Metal-Porcelain Bond Strength In Non-Precious Alloys

The success of metal-porcelain system depends upon the formation of a strong bonding between metal and porcelain. Today, non-precious metal alloys are usually preferred and used in metal-porcelain restorations due to the economic reasons.

This study is intended to examine the effect on metal-porcelain bond strength of the addition of different amounts of recast metal to two different non-precious metal alloys, of chromium and tin plating and of their oxidation at different temperatures.

In this study, samples were prepared from Ni-Cr (Wirron 99) and a Cr-Co (Wirobond C) metal alloy, as containing 100% pure, 25% once-cast recast metal-75% pure, and 50% recast-50% pure metal alloy and they were plated with chromium and tin by electrochemical plating method and all the samples were divided into three groups and oxidized at 850°C, 950°C and 1050°C. After oxidation, porcelain was applied on the midline of the metal alloy samples. The samples were tested in Hounsfield test machine at a cross-head speed of 5mm/min, using three-point bend test.

The data were evaluated by using multiple-way analysis of variance and it was found that type of metal alloy, metal substructure, and electrochemical plating was not significant, oxidation at different temperatures was statistically significant ($p < 0.001$).

It was determined that the highest metal-porcelain bond strength was obtained from Cr-Co non-precious metal alloy, from the metal substructure containing 100% pure metal alloy, from the chromium plating and from the oxidation heat treatment at 950°C.

GİRİŞ VE AMAÇ

Metal-porselen restorasyonlar, restoratif diş hekimliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu restorasyonlarda amaç; porselenin estetik özellikleri ile döküm restorasyonların direnç ve uyumunu kombine etmektir.^{1,2} Restoratif diş hekimliği uygulamalarında devrim niteliğinde değişime yol açan gelişmelerden biri metal alaşımlarına eriyerek birleşen porselen sistemleri olmuştur.³

Porselenin metal ile birleşme mekanizması, metal-porselen restorasyonlarının klinik diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmasından günümüze kadar oldukça popüler olmuştur. Sistemin ömrü; ağız içindeki yaygın streslere dayanabilecek şekilde metal ile porselen arasında sağlam bir bağlantının oluşmasına bağlıdır.⁴

Kıymetli metal alaşımları kullanıldığında başarılı seramometal restorasyonlar elde edilmektedir. Ancak altın ve diğer kıymetli metallerin fiyatlarındaki aşırı artışlar, porselen veneer alt yapı materyali olarak kıymetsiz metal alaşımlarının kullanımlarının artmasına yol açmıştır. Kıymetsiz metal alaşımları ekonomik avantajlarına ek olarak kıymetli alaşımlardan daha rijit, bükülmeye ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençlidirler. Bu materyallerin en önemli dezavantajı porselen-alaşım bağlanma başarısızlığının oluşabilmesidir.⁵

Porselenin metale bağlanma mekanizması günümüzde daha iyi anlaşılmıştır.⁶ Okside elementler (Kalay, indiyum, krom gibi) porselen bağlantısını artıran ara yüz oksidinin oluşmasından ve alaşımın sertliğinden sorumludurlar.⁷ “Oksit bağlantısı” terimi ilk kez 1960’ların sonlarında Van Der-Waals kuvvetlerine yönelik olarak bir çalışmada kullanılmış bundan sonra metal ile seramik yüzeyleri arasında önemli ve stabil bir bağlantı kuvveti olarak kabul edilmiştir.⁸ Porselen metal bağlantısında önemli bir role sahip olan oksit tabakasının daha etkili oluşturulmasına yönelik uygulamalardan

biri de metal yüzeyinin kaplanmasıdır. Kıymetsiz metal alaşımlarında oksit tabakasının kalınlığını kontrol etmek oldukça zordur. Çeşitli okside elementlerin elektro-depozisyonu, porselen bağlantısını sağlamak için yüzey oksit tabakası oluşturmada etkili bir yöntemdir. Bu uygulama, kıymetsiz metal alaşımlarında oksit tabakasının kalınlığını kontrol etme tekniğine dayanmaktadır.⁶

Günümüzdeki ekonomik koşullar protetik tedavilerde kullanılan restorasyonların yapım giderlerinin artmasına neden olmuştur. Kıymetsiz metal alaşımlarının giderek artan fiyatları, protez laboratuvarlarını değişik oranlarda artık metal kullanımına yöneltmiştir.⁹

Bu çalışmanın amacı;

-Kaide metali olarak Ni-Cr ve Cr-Co kıymetsiz metal alaşımlarının kullanılmasının,

-Porselen uygulanacak altyapı metali olarak %100 saf, %25 ve %50 oranında bir kez dökülmüş artık metal içeren alaşım kullanılmasının,

-Metal altyapı yüzeylerinin, potansiyel kontrollü olarak, elektroliz yöntemiyle krom ve kalay kaplanmasının,

-Elektrolitik olarak kaplanmış alaşımlara farklı ısılarda oksidasyon (ısıl işlem) uygulanmasının metal-porselen bağlantı direncine olan etkisinin incelenmesidir.

GENEL BİLGİLER

Genel anlamda seramik terimi; istenilen özellikleri elde etmek amacı ile yüksek ısıda pişirilerek metalik olmayan bir materyalden elde edilen herhangi bir ürünü tanımlamaktadır.² Seramik; metal oksitler, bor içeren bileşikler, karbitler, nitritler gibi materyallerin kompleks karışımları ile ortaya çıkan inorganik bir materyaldir.¹⁰

Porselen terimi ise; yüksek sıcaklıkta pişirilen feldspat, kuartz ve kaolin kompozisyonundan oluşan bir seramik materyal ailesini ifade eder. Seramik-metal restorasyonlar için kullanılan dental seramikler bu aileye aittir ve genellikle “Dental Porselen” olarak ifade edilirler.² Protetik tedavide estetik materyal olarak kullanılan porselen, dört oksijen atomu arasına sıkışan bir silisyum atomunun oluşturduğu tetra hedra yapıda bir bileşiktir.¹¹

Veneer kuronlarda estetik materyal olarak kullanılan porselenler feldspat oranı yüksek (%70), kaolin oranı düşük (%2) bileşikler olup yapılarında ayrıca alümina gibi direnç artırıcı maddeler ve renklendirici olarak çeşitli metal oksitler bulundurulur.¹¹

TARİHÇE

Seramik, Yunanca “topraktan yapılmış madde” anlamına gelen “keramikos” kelimesinden türetilmiştir.¹² Günümüzde, yakılarak veya pişirilerek elde edilen madde anlamında kullanılmaktadır.¹³ Bu kelimenin “pişmiş toprak” anlamına gelen bir Sanskrit terimiyle ilişkili olduğuna inanılmaktadır.¹⁰ Seramik insanoğlunun suni olarak yaptığı ilk materyaldir.¹⁴

Porselenin ilk örnekleri bin yıl kadar eski ise de dental materyal olarak kullanımı 1700’lü yıllara dayanır.^{2,15} Chemant ve Duchateau’ın yapmış oldukları çalışma, porselenden tam protez yapımında ilk çalışma olarak kabul edilmesine karşın, diş hekimliğinde porseleni ilk kullanmaya başlayan bu araştırmacılar olmamışlardır. Modern

diş hekimliğinin babası Fauchard 1728'de, doğal dişlere benzer renk ve şekilde pişirilmiş minenin kullanımını tanımlamıştır.¹⁵

Stockton 1830'da, Philadelphia'da beyaz Çin porseleni tipinde ilk porselen dişleri yapmıştır.¹⁵

Wildman 1838'de, doğal dişlere yakın renk ve translüenslikte porseleni formüle etmiştir.¹⁵ Orta erime ısıları porselenler ve feldspat veya alüminöz porselenden oluşan, tam-porselen kuronların ataları olarak kabul edilen porselen jaket kuronlar 1900 yılında geliştirilmiştir.² Elektrikli porselen fırın ilk kez 1905'de kullanılmıştır.¹⁵

Alman Gatzka 1949'da, "Wienond" olarak anılan çalışması sonucunda ilk vakumlu suni porselen dişleri yapmayı başarmıştır.¹⁴ Vakumla pişirme tekniğinin gelişmesi ile porselenin direnci artmış, porozitesi azalmıştır.¹⁵

1950'li yıllarda altın alaşımları, 1970'li yıllarda ise kıymetsiz metal alaşımları porselen restorasyonlarda destek olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1965 yılında McLean ve Hughes tarafından dental aluminus porselen geliştirilmiştir.¹⁶

1974'de porselen metali olarak palladium-gümüş alaşımlarının kullanımı başlamış, 1981'de büzülmeyen döküm porselenler üretilmiştir.¹⁵

PORSELENLERİN SINIFLANDIRMASI

Dental porselenler; içeriklerine, erime ısılarına,^{2,10,11} şekillendirme türlerine, uygulama alanlarına,¹¹ pişirme metodlarına¹² ve fabrikasyon tekniklerine² göre sınıflandırılabilirler.

A-İçeriklerine Göre^{6,10,11}

- 1- Feldspatik porselenler,
- 2- Alüminöz porselenler,
- 3- Metale bağlanan porselenler,

B- Erime Isılarına Göre^{2,6,10,11,17,18}

- 1- Yüksek ısı porselenleri (1315°C-1370°C),
- 2- Orta ısı porselenleri (1090°C-1260 °C),
- 3- Düşük ısı porselenleri (870°C-1065°C),
- 4- Ultra-Düşük ısı porselenleri (650-850°C),^{2,10}

C- Şekillendirme Türlerine Göre¹¹

- 1- Fırınlanan porselenler,
- 2- Dökülebilir porselenler,

D- Uygulama Alanlarına Göre²

- 1- Metal kuron ve köprü protezlerine uygulanan porselenler,
- 2-Full porselen kuronlar, inleyler, onleyler ve estetiğin öncelikli olduğu venerlerde uygulanan porselenler,
- 3- Porselen protez dişleri,

E- Pişirme Metodlarına Göre¹²

- 1- Atmosfer basıncında pişirilen porselenler,
- 2- Vakumla pişirilen porselenler,

F- Fabrikasyon Tekniklerine Göre²

- 1-Tam-porselen kuronlar için kullanılan porselenler;
 - a- Machined (Bilgisayar destekli hazırlanan porselenler),
 - b- Slip-Cast (Akışkan-Döküm porselenler),

c- Heat-Pressed (Isı-Basınç porselenler),

d- Sintered,

2-Metal-porselen restorasyonlar için kullanılan porselenler; sintered,

3-Protez dişler için kullanılan porselenler; manufactured (Üretici firmalarca hazırlanmış porselenler).

DENTAL PORSELENİN YAPISI

Feldspat (Potasyum ve Sodyum Alüminyum Silikat): Erime derecesi 1100-1300°C'dir. Eritici ve birleştirici olarak etki eder. Porselen kitlesine akıcılık kazandırır ve şeffaflık verir. Porselen kitlesindeki ısıya dirençli elemanları birbirine bağlar. Porselene %70-85 oranında katılır.¹¹ Pembe gri renktedir.^{2,14,19}

Kuartz (Silika-SiO₂): Erime derecesi 1700°C'dir. Erime ısını yükselterek porselenin sertliğini ve stabilitesini sağlar. Porselen kitlesine şeffaflık verir ve fırınlama sonrası kontraksiyonları engeller. Porselene %10-22 oranında katılır.¹¹

Kaolin (Kil-Alüminyum Hidrat Silikat (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O)): Erime ısı 1300°C'dir. Porselen hamuruna plastisite kazandıran opak yapıda dehidrate olmuş bir alüminyum silikat olup kitleye mat görüntü kazandırır, modelajı kolaylaştırır ve diğer elemanların bağlanmasına yardımcı olur. Porselene %1-3 oranında katılır.¹¹

Renklendiriciler: Renklendirici olarak metal oksitler kullanılmaktadır. Dental porselene katılan titanyum oksit sarı, manganez oksit eflatun, demir veya nikel oksit kahverengi, kobalt oksit mavi, bakır veya krom oksit yeşil renk verir.^{2,18}

Flüoresanslık vermek amacı ile uranyum oksit veya lantanit oksitler kullanılmakta, lantanit oksitler radyoaktivite miktarı daha az olduğu için tercih edilmektedir.²

Kalay, titanyum ve zirkonyum oksit opasite ayarlayıcı olarak porselene katılmaktadır.²

Diğerleri: Erime ısısı 1100°C'den düşük olan porselen tozlarında boraks, sodyum karbonat, potasyum ve kalsiyum gibi eriticilere gerek duyulmaktadır.¹⁴

Dental Porselenin Avantaj ve Dezavantajları¹¹

Avantajları:

- 1-Mekanik etkilere (baskı kuvvetlerine) karşı dirençlidir,
- 2-Kimyasal gıdalara ve ağız sıvılarına karşı dirençlidir,
- 3-Renk sabitliği mevcuttur,
- 4-Boyutsal olarak stabildir,
- 5-Isısal genleşme katsayısı diş dokusuna yakın değerdedir,
- 6-İnternal ve yüzeysel olarak boyanabilir ve etkilenebilir,
- 7-Su emme özelliği yoktur,
- 8-Glaze yapılmış porselen yüzeyi üzerinde plak birikimi minimum düzeydedir,
- 9-Doğal dişlerdekine benzer şekilde renk ve ışık geçirme özelliğine sahiptir.

Dezavantajları:

- 1-Porselen rijit bir maddedir, üzerine gelen ekstra yüklere direnç gösteremez (gerilim ve makaslama kuvvetlerine karşı dirençsizdir),
- 2-Metal alt yapı ile yeterince desteklenmediğinde kırılabilir,
- 3-Porselenin rengi değişmediğinden, komşu dişlerin zamanla renklenmesi karşısında estetik uyumu kaybolur,
- 4-Ekonomik değildir,
- 5-Klinik uyumu ve hataların düzeltilmesi risklidir,
- 6-Yeniden şekillendirilmesi gerektiğinde metal destek yapıdan ayrılması zordur.

Porselenin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları:²

- 1-Tam-porselen kuronlar, porselen lamineyt, inleyler, onleylerlerde,
- 2-Metal-porselen kuron ve köprülerde,
- 3-Porselen protez dişleri olarak.

METAL-PORSELEN RESTORASYONLAR

Önceleri “Altın veya metal ile eriyerek birleşen porselen”, “Altın veya metal üzerinde pişirilen porselen” veya “Seramo-metalik” terimi bu tür restorasyonları tanımlamak amacıyla kullanılırken,²⁰ bu karma yapıya sahip restorasyonları en iyi şekilde tanımlayacak terimin “Metal-porselen” terimi olduğu Phillips²¹ tarafından ortaya konulmuştur. Günümüzde metal-porselen restorasyonlara PFM (Porcelain Fused to Metal), metal-seramik (keramik) veya seramo-metal sistemleri de denilmektedir.^{22,23}

Anterior porselen restorasyonlar estetik olmalarına karşın yüksek gerilme veya makaslama kuvvetlerine maruz kaldıklarında kırılırlar. Full metal restorasyonlar kırılmazlar, fakat sadece posterior sahalarda uygulanabilirler. Metal-porselen restorasyonlar ise hem estetik hem de dirençlidirler. Bu nedenle, günümüzde kuron ve köprülerde çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar.^{2,19}

Metal-porselen restorasyonlar, porselenin estetiği ile döküm metalin uyumunu ve direncini kombine ederler.¹⁸ Metal üzerinde pişirilen porselen restorasyonlarda, teknik yönden birbirinden ayrı materyallerle aynı anda çalışma zorluğu vardır. Bu iki materyalin birleştirilmesi söz konusu olduğundan, her ikisinin de bazı özelliklere sahip olması ve bazı noktalardan birbirlerini tamamlaması gerekir.¹⁴ Bu özellikler şunlardır:

- 1-Porselen düşük erime ısisına sahip olmalıdır,¹⁹
- 2-Alaşıım yüksek erime ısisına sahip olmalıdır,^{13,19}

3-Porselen ve alaşımin termal genişleme katsayıları benzer^{13,19} veya metalin termal genişleme katsayısı az bir farkla porseleninkinden yüksek olmalıdır,²

4-Porselen ve alaşım arasında güçlü bir bağlantı oluşmalıdır,^{13,19}

5-Yüzey üzerinde oluşacak boşlukları önleyebilmek için, porselen bulamaç olarak uygulandığında alaşımı kolaylıkla ıslatabilmelidir,²

6-Alaşım alt yapının dayanıklılığı ve eğilmeye karşı direnci yeterli olmalıdır. Bu durum özellikle köprü protezleri ve posterior bölgede uygulanan restorasyonlar için önemlidir,²

7-Metal başlığın mümkün olduğunca ince hazırlanması gerekmektedir. Bu nedenle, restorasyonun adapte edilmesi ve seramiğin erimesi esnasında metal alt yapının distorsiyona uğramaması için alaşım yüksek eğilme direncine sahip olmalıdır,²

8-Bütün alaşımlarda metal başlık net bir şekilde dökülebilmelidir,²

9-Restorasyonun uygun bir şekilde dizayn edilmesi son derece önemlidir. Estetik bir restorasyon oluşabilmesi için alaşımın uygun kalınlıkta olması gerekmektedir.²

Metal Üzerine Uygulanan Porselen Tipleri

A-Opak Porselen: Titanyum oksit, zirkonyum oksit ve kalay oksit gibi nispeten erimeyen oksitlerin partikülleri olan toz halindeki camdan oluşmaktadır.^{6,24} Okside partiküller kullanıldığından dışarıdan gelen ışığın çoğu yansır ve alaşımın renginin maskelenmesinde etkili olur.²⁵

Metal yüzeyine uygulanan ilk tabaka opak porselendir ve 2 fonksiyonu vardır:^{17,25}

1-Alaşımın rengini maskeler,

2-Metal porselen bağlantısından sorumludur.

İlk opak tabaka çok ince, mümkünse 100 mikrometreden (0.1 mm) az olmalıdır. Bu porselenin “ıslatan tabakasıdır”, metal ile atomik kontak oluşturur ve aşırı oksit yapımını önler. Sonraki opak tabaka “maskeleyici tabaka” adını alır. Bu tabaka ilk tabakadan daha düşük ısıda pişer.²⁶ Tüm opak tabaka 0.1-0.3 mm kalınlık oluşturacak şekilde sürülür.¹¹ Opak porselen vakum altında pişirilmelidir.⁶

B-Gövde Porseleni: Yüksek translüensliğe sahip renklendirilmiş feldspatik camdır.⁶ Opak tabaka üzerinde opaktan daha düşük ısıda pişirilir.²⁵ Gövde porseleninin değişik tipleri vardır:

- 1-Dentin veya gingival porselen,
- 2-Mine veya insizal porselen,
- 3-Modifiye porselen.

Bu porselenler, çok az miktarda erimez mineral katkısı ile daha çok toz halinde cam içerirler. Translügenstirler, metal yüzeyini örtmede yetersiz kalabilmektedirler.²⁴

Gövde porselenlerinin tiplerinin kimyasal özellikleri aynıdır. Yalnız ısı genleşmesi veya erime oranlarında küçük etki oluşturan renk oksitlerinin ilavesi ile farklılaşırlar.²⁴

Bu üç tip porselen arzu edilen etkiyi oluşturmak için beraberce karıştırılıp pişirilir. Gövde porselenleri vakum altında pişirilmelidir.²⁴

Gövde veya dentin porseleni, mineye şekil verecek tabakaların oluşturulmasında önemlidir. Ortadaki dentin porseleni, mine ve dentin tozunun %50 oranında karıştırılmasıyla oluşmaktadır. Buna “Dentino-Mine” de denir. Dentino-mine kuronda translüensliğin derinliğini artırır.²⁶

Fırınlama sonrası oluşacak porselen büzülmesini kompanse etmek amacıyla dentin ve mine porseleni orijinal kuron boyutlarından 0.5-1mm daha fazla konulmalıdır. Büzülme, doğrusal olarak %10-15, hacimsel olarak %30-40 oranında gerçekleşir.¹¹

Glazür ve Renklendirici Porselen: Glazür ve renklendirici porselen opak ve gövde porselenlerinden daha düşük ısıda pişirilir. Renklendirici porselen renkli camdır, hipoplazi, mine çatlağı, sigara lekeleri gibi özel efektler vermek amacıyla porselen restorasyon üzerine ilave edilir.²⁴

Glazür, renkli porselene kimyasal olarak benzerlik gösterse de renksizdir. Tüm aşamalardan sonra cilalı yüzey yaratmak için vakumsuz olarak pişirilir.²⁴

Metal-Porselen Restorasyonlarda Kullanılan Porselenin Özellikleri

Metal-porselen sistemlerinde kullanılan porselenler aşağıdaki şartları yerine getirmelidir:²

- 1-Doğal dişlerin görünümünü taklit edebilmelidir,
- 2-Alt yapıda kullanılan metalden daha düşük ısıda eriyebilmelidir,
- 3-İyi bir porselen metal bağlantısı oluşabilmesi için, termal genleşme katsayısı kullanılan metal ile uyumlu olmalıdır,
- 4-Ağız içi ortamına dayanabilmelidir,
- 5-Karşıt dişleri aşırı derecede aşındırmamalıdır.

METAL-PORSELEN RESTORASYONLARDA KULLANILAN

ALAŞIMLAR

İki veya daha fazla sayıda metal bir araya getirilip eritildiğinde meydana gelen erimiş maddeye alaşım denir.^{20,21,27} Diş hekimliğinde kullanılan metaller, saf halleri ile yumuşak ve çiğneme kuvvetlerine karşı dirençsiz olduğundan alaşım halinde

kullanılırlar. Metal-porselen restorasyonlarda kullanılan metaller içerdikleri kıymetli metal oranlarına göre iki ana gruba ayrılır;^{6,11}

1- Kıymetli Metal Alaşımları:

A-Yüksek Altın İçerenler:

1-Altın (Au)-Platin (Pt)-Palladium (Pd) alaşımları (%84-86 Au- %4-10 Pt- %5-7 Pd)

2-Altın (Au)-Platin (Pt)-Tantalyum (Ta) alaşımları (%80-85 Au- %6-10 Pt- %5-10 Ta)

B-Düşük Altın İçerenler:

1-Altın (Au)-Gümüş (Ag) alaşımları (% 60-65 Au- %40-45 Ag)

2-Altın (Au)-Palladium (Pd)-Gümüş (Ag) alaşımları (%50-55 Au- %25-30 Pd-10-15 Ag)

C-Altın İçermeyenler:

1-Platin (Pt)-Palladium (Pd) alaşımları (%60-65 Pt- %40-45 Pd)

2-Platin (Pt)-Palladium (Pd)-Gümüş (Ag) alaşımları (%50-60 Pt- %20-30 Pd-%10-20 Ag)

3-Palladium (Pd)-Gümüş (Ag) alaşımları (%50-60 Pd- %35-45 Ag)

2- Kıymetsiz Metal Alaşımları:

A-Nikel (Ni)-Krom (Cr) alaşımları (%60-80 Ni- %10-20 Cr, %2-8 Mo)

B-Kobalt (Co)-Krom (Cr) alaşımları (%55-65 Co- %25-35 Cr, %2-8 Mo)

C-Nikel (Ni)-Kobalt (Co)-Krom (Cr) alaşımları (%40 Ni- %35-40 Co- %10-30 Cr)

D-Titanyum ve Titanyum alaşımları (Saf Titanyum, %90 Ti- %6 Al- %4 V, %85 Ti-%15 V, %80 Ti- %20 Cu ve %70 Ti- %30 Pd)

Altın fiyatlarındaki aşırı artış sebebiyle ekonomik açıdan daha ucuz olan düşük altın alaşımları ve palladium esaslı alaşımlar piyasaya sürülmüştür. Böylece bu sınıflamaya “Yarı Kıymetli Alaşımlar” olarak adlandırılan üçüncü bir grup eklenmiştir.^{2,17,21,27-29}

Dental Alaşımların Klinik Özellikleri

Maliyet, diş hekimi ve teknisyenin alaşım seçiminde karşılaştığı önemli problemlerden biridir. Özel bir klinik durum için en iyi fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip alaşımların seçimine daima öncelik verilmelidir.²⁸

1-Gren Büyüklüğü: Erimiş bir alaşım katı duruma geçtiğinde, kristaller küçük çekirdekler etrafında şekillenir. Bu nedenle, her bir kristal bir “gren” ve kristaller arasındaki sınırlar da “gren sınırları” olarak adlandırılır.^{2,21}

Grenlerin büyüklüğü; soğuma hızı, alaşımın bileşimi ve gren incelticilerin varlığı gibi özelliklere bağlıdır.^{2,21} Alaşımların gren büyüklüğü 10-1000µ arasında değişir. Diş hekimliğinde 30µ veya daha az gren büyüklüğü istenmektedir.^{21,28} Kıymetsiz metal alaşımlarının grenleri altın alaşımlarına göre daha büyüktür.^{21,30}

2-Mikroyapı: Alaşımların klinik performansı için önemli olan ikinci metalürjik kavram “evre yapısı”dır. Bu “mikroyapı” olarak da adlandırılır. Alaşımlar tek evreli veya çok evreli olabilir.^{2,27,28}

Evre yapısı; alaşımın korozyon, dayanıklılık, biyouygunluk ve dağlanma özelliklerini etkiler.^{2,27,28} Genellikle çok evreli alaşımlar, farklı bileşimlere sahip mikroskobik alanlar arasındaki galvanik etkileşimden dolayı tek evreli alaşımlara göre daha fazla korozyona uğrama eğilimindedirler.^{27,28} Bununla birlikte, alaşımın çok evreli olması yapıştırma için dağlanmasına imkan sağlar.²⁸ Döküm ısısı, baz metal döküm alaşımlarının mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini etkiler. Gereğinden fazla veya

aşırı ısıtmalar döküm örnekte poroziteye ve alaşım ile revetman arasında etkileşimlere neden olur.^{21,27}

3-Bükülme Dayanıklılığı: Bükülme dayanıklılığı, bir alaşımı daimi olarak deforme etmek için gerekli olan gerilim olarak tanımlanır. Bu tip başarısızlık en fazla çok üyeli sabit protezlerde gövdeler arasında görülür. 300 MPa'ın üzerinde çekme bükülme dayanıklılığına sahip alaşımlar çoğu klinik durumda intraoral daimi deformasyona dayanacak kadar güçlüdür.²

4-Sertlik: Diş hekimliği için çok önemli bir özellik olan sertlik, daimi yüzey çentiğine (indentation) ya da penetrasyonuna direnç olarak tanımlanır.^{2,31} Plastik deformasyona direncin bir ölçümüdür. Ayrıca sertlik, bir restorasyonun tamamlanmasının kolaylığını ve kullanım esnasında onun çizilmeye olan direncini gösterir. Bir restorasyonun tamamlanması ve cilası estetik nedenle önemlidir. Çizikler, yorulma dayanıklılığını tehlikeye sokabilir ve erken başarısızlığa yol açabilir.² Genel olarak, Vickers sertlik değeri 125 kg/mm²'den az olan alaşımlar aşınmaya karşı hassastır. Vickers sertlik değeri 340 kg/mm² (mine sertliği)'den fazla olan alaşımlar ise karşıt dişleri aşındırma riskine sahiptir.²⁸

5-Elastiklik Modülü: Elastiklik modülü bir alaşımın rijitliğinin veya sertliğinin ölçümüdür. Protetik restorasyonun bükülmeye dayanabilmesi için kullanılan alaşımın elastiklik modülünün yüksek olması gerekir. Özellikle, metal-porselen restorasyonlarda ortaya çıkan herhangi bir bükülme porselenin kırılmasına sebep olacağından, alt yapı olarak kullanılan metalin yüksek elastiklik modülüne sahip olması gerekmektedir.²⁸

Altın ya da palladium esaslı alaşımların çoğunun elastiklik modülü 90-120 GPa arasında değişir. Bu elastiklik modülü genellikle, klinikteki birçok kullanım için yeterlidir. Ancak uzun gövdeli metal-porselen restorasyonlar veya hareketli bölümlü

protezler için yetersiz kalabilir. Bu tip restorasyonlarda 180-230 GPa'lık elastiklik modülüne sahip nikel ya da kobalt esaslı alaşımların kullanımı daha uygun olabilir.²⁸

6-Korozyon: Genel anlamda korozyon terimi; metal ve alaşımların çevreleri ile kimyasal ya da elektro-kimyasal reaksiyonları sonucu bölgesel veya total anlamda yıkıma uğramalarını veya özelliklerinde istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesini tanımlar.²⁷

Korozyon zayıf estetiğe, fiziksel özelliklerin tehlikeye girmesine veya biyolojik irritasyonun artmasına yol açabilir.^{1,21,28,29}

1- KIYMETLİ METAL ALAŞIMLARI

Bu alaşımların esas elementi altındır.

A) Altın-Platin-Palladium Alaşımları:

Yaklaşık %85 oranında altın içerirler. Erime ısını yükseltmek için, %5-8 oranında palladium ve platin katılmıştır. Az miktarda demir, indiyum ve kalay ilave edilmiştir. Kalay ve indiyum iyi okside olur. Metal ile porselen arasındaki bu oksit yapı kimyasal bağlantıyı oluşturur.²⁴

B) Altın-Palladium-Gümüş Alaşımları:

Bu alaşımlar, altın-palladium alaşımlarına oranla daha az palladium içermelerine karşın yapılarına ilave edilen gümüşe bağlı olarak korozyona daha fazla direnç gösterirler. İndiyum (In) ve kalay (Sn) porselen bağlantısını oluşturmaya yönelik olarak, rutenium (Ru) dökülebilirlik, renium (Re) ise gren yapısını inceltmek amacıyla ilave edilmiştir.²

C) Palladium-Gümüş Alaşımları:

Palladium-gümüş alaşımları altın içermeyen, kıymetli alaşımlar arasında en düşük kıymetli metal içeriğine sahip olan alaşımlardır. Dökülebilirlik için rutenium

(Ru), bağlantı amacıyla indiyum (In) ve kalay (Sn) ilave edilmiştir. Yoğunluğu dışındaki özellikleri Au-Pd-Ag alaşımlarına benzerlik göstermektedir.²

Kıymetli Metal Alaşımlarının Avantajları:¹¹

- 1-Korozyona karşı dirençlidirler,
- 2-Döküm sonrası boyutsal sabitlikleri yeterlidir,
- 3-Detaylı ve uyumlu dökümler elde edilebilir. Döküm kontraksiyonları %1.5 oranındadır,
- 4-Biyolojik ortama uyumları yeterlidir,
- 5-Laboratuar ve klinik çalışmaları, polisajları kolay ve yeterlidir.

Kıymetli Metal Alaşımlarının Dezavantajları:¹¹

- 1-Ekonomik değildir,
- 2-Döküm sonrası kontraksiyon gösterirler (%1.5-3),
- 3-Palladium yüzey altı poroziteye ve gümüş görünümlü renk değişimine neden olabilir,
- 4-Kıymetsiz metallere oranla daha kalın şekillendirilirler.

Kıymetli metal alaşımlarının korozyona karşı iyi direnç göstermelerine karşın yalnızca Au-Pt-Pd alaşımları arzu edilen sarı renge sahiptir. Diğer tip alaşımlar porselen ile çok zor maskelenebilen beyaz (gri) renktedirler. Au-Pd, Au-Pd-Ag ve Pd-Ag alaşım tipleri kolaylıkla dökülebilme, lehimleme ve yüksek erime ısısı gibi mükemmel mekanik özelliklere sahip olmalarına karşın, Pd-Ag tipi alaşımlar porselende renk değişikliğine sebep olmak gibi bazı problemlere neden olabilirler. Pd-Cu tipi alaşımlarda, porselen ile maskelenirken problem oluşturabilecek koyu renkli oksidin meydana gelmesi karakteristiktir.²

2-KIYMETSİZ METAL ALAŞIMLARI

Kıymetsiz metal alaşımları günümüzde diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.¹⁹

Döküm kıymetsiz metal alaşımlarının diş hekimliğindeki uygulama alanları şunlardır:^{2,19}

1-Döküm Cr-Co Alaşımları:

- a) Parsiyel protezlerde metal iskelet yapımında,
- b) Metal-porselen restorasyonlarda.

2-Döküm Ni-Cr Alaşımları:

- a) Parsiyel protezlerde metal iskelet yapımında,
- b) Kupon ve köprülerde,
- c) Metal-porselen restorasyonlarda.

3-Döküm titanyum ve titanyum alaşımları:

- a) Kupon ve köprülerde,
- b) Parsiyel protezlerde metal iskelet yapımında,
- c) İmplantlarda.

A) Nikel-Krom (Ni-Cr) Alaşımları:

%69-77 nikel, %13-16 krom, %4-14 molibden, %0-2 berilyum içerirler. Az miktarda alüminyum, karbon, kobalt, bakır, manganez, silikon, kalay, titanyum ve zirkonyum da içermektedirler (Tablo 1).²

Krom (Cr) matlık ve korozyona karşı direnç sağlamak, molibden (Mo) termal genleşme katsayısını düşürmek, berilyum (Be) dökülebilirliği geliştirmek (erime noktasını azaltmak) ve sertliği artırmak amacı ile alaşıma ilave edilmiştir. Alaşımların

yapılarında bulunan çeşitli minör elementler de alaşıma farklı özellikler vermektedir (Tablo 2).²

Tablo 1: Metal-porselen restorasyonlarda kullanılan kıymetsiz alaşımların içerdiği metaller ve oranları.

Alaşım Türü	Ni	Cr	Co	Ti	Mo	Al	V	Fe	Be	Ga	Mn	Nb	W	B	Ru
Ni-Cr Alaşımı	69-77	13-16	-	-	4-14	0-4	-	0-1	0-2	0-2	0-1	-	-	-	-
Co-Cr Alaşımı	-	15-25	55-58	-	0-4	0-2	-	0-1	-	0-7	-	0-3	0-5	0-1	0-6
Ti	-	-	-	90-100	-	0-6	0-4	0-0.3	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 2: Kıymetsiz metal alaşımlarında yer alan minör elementler.

ELEMENT	KONSANTRASYONU	ÖZELLİKLER
Berilyum	% 0-2	. Yüksek dökülebilirlik, dövülebilirlik ve çekilebilirlik verir, erime ısısını düşürür.
Demir	% 0.2-2.5	. Alaşımı sertleştirir ve porselen bağlantısı için okside olur.
İndiyum	% 0.2-1	. Solüsyon sertleştiricidir ve bağlanma için oksitlenir.
Kalay	% 0.2-1	. Solüsyon sertleştiricidir ve bağlanma için oksitlenir.
Manganez	% 0.5-6	. Solüsyon sertleştiricidir ve korozyon direnci verir (oksidasyonu önler).
Silikon	% 0.5-3.5	. Dökülebilirliğe yardım eder ve çekilebilirliği artırır, solüsyon sertleştiricidir ve bağlanma için oksitlenir.
Alüminyum	% 1.1-6	. Solüsyon sertleştiricidir.
Titanyum	% 0.02-1	. Solüsyon sertleştiricidir ve bağlanma için oksitlenir.
Boron	% 0.5	. Erime aralığını genişletir, korozyon direnci verir (oksidasyonu önler), solüsyon sertleştiricidir.
Molibden	% 0-14	. Isısal genleşme katsayısını korozyon direncini etkiler, solüsyon sertleştiricidir.
Tungsten	% 6-7	. Isısal genleşme katsayısını korozyon direncini etkiler.
İridyum	% 0.15	. Korozyon direncini ve elastiklik modülünü etkiler.
Karbon	% 0.05-0.4	. Dayanıklılık, sertlik ve çekilebilirlik sağlar.

Bu alaşımlar, kıymetli metal alaşımlarından daha yüksek elastiklik modülüne¹⁷ ve sertliğe sahiptirler.² Elastiklik modülleri yüksek olduğundan Ni-Cr metal alaşımından yapılan çok üyeli sabit protezlerde, hassas dental porselen yapının kırılma ihtimali daha az olacak ve kıymetli metal alaşımlarından hazırlanan benzer bir protezden çok daha az bükülme görülecektir.¹⁷ Bunun yanı sıra oldukça düşük yoğunluğa (7-8 gr/cm³) ve genellikle daha yüksek döküm ısisına sahiptirler.²

B) Krom-Kobalt (Cr-Co) Alaşımları:

Nikel ve berilyum içeren alaşımlarla oluşan sağlık problemlerine alternatif olarak geliştirilmişlerdir.¹⁷ %55-58 kobalt, %15-25 krom, %0-4 molibden içerirler (Tablo 1).²

Alaşımların içinde bulunan krom diğer alaşımlarda olduğu gibi matlık ve korozyona karşı direnç sağlamaktadır. Parsiyel protezlerde kullanılan krom-kobalt alaşımlarından farklı olarak, metal-porselen restorasyonlarda kullanılan alaşımlar karbit yapısından ziyade, çözünmeye karşı katılaştırıcılarla güçlendirilmiştir. Molibden (Mo) genleşme katsayısının daha düşük olmasını sağlamakta, ruthenium (Ru) ise dökülebilirliği düzenlemektedir. Bu alaşımlar Ni-Cr ve kıymetli metal alaşımlarından daha dayanıklı ve serttir aynı zamanda Ni-Cr alaşımlarıyla aynı densite ve döküm ısisına sahiptirler.²

Ayrıca demir, silikon ve karbon içerirler. Alaşımdaki silikon, bağlantı için oksidasyon sağlar ve dökülebilmeye yardımcı olur.³² Molibden, demir, karbon ve kobalt alaşıma sertlik verir.^{19,32} Demir alaşımı oksitlendirir. Karbon direnç sağlar ve şekillendirmeye yardımcı olur. Alaşımdaki oranı %0.2'den fazla olursa alaşım çok sert ve kırılgan olur.¹⁹

Kobalt, nikelden daha fazla alaşımanın direncini, sertliğini ve elastiklik modülünü artırır.¹⁹ Co-Cr sistemlerinin elastiklik modülü, porselen-alaşım sistemleri içerisinde en yüksek olanıdır.¹⁷

Kobalt-krom alaşımları, nikel esaslı alaşımlardan daha fazla krom içerirler. Bu nedenle, nikel içeren alaşımlara göre korozyona daha dirençlidirler.³³

C) Titanyum Alaşımları:

Son yıllarda, özellikle direnci ve doku uyumu yönünden üstün özellikleri nedeni ile titan ve alaşımları kuron yapımında kullanılmaktadır.¹¹ Bileşimlerinde %0-6 oranında alüminyum (Al), %0-4 vanadyum (V) ve %0-0.3 demir (Fe) içerirler (Tablo1).²

Saf titanyum (Ti) ve Ti-6Al-4V porselen metal restorasyonlar için önem kazanmış olsa da okside olmaları ve 1760-1860°C arasında olan yüksek döküm ısıları nedeniyle çalışma zorlukları mevcuttur.²

Titan ve Alaşımlarının Avantajları:¹¹

1-Özgül ağırlığı düşüktür,

2-Çekme kuvvetlerine karşı dirençlidir,

3-Korozyona stabil bir metaldir dış ortamda yüzeyinde 17A^oluk oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka ayrıca galvanik akımı da engeller,

4-Biyolojik uyumu yeterlidir,

5-Isı iletkenliği düşüktür,

6-X ışınlarını geçirir,

7-Yüksek erime noktasına sahiptir.

Titan ve Alaşımlarının Dezavantajları:¹¹

- 1-Laboratuar ve klinik çalışması zordur,
- 2-Bükülmeye direnci diğer kıymetsiz metallere oranla zayıftır,
- 3-Şekillendirilmesi için özel alet ve gereçlere ihtiyaç vardır,
- 4-Düşük yoğunlukta olduğundan döküm defektlerine neden olmaktadır.

Kıymetsiz Metal Alaşımlarının Avantajları:¹¹

- 1-Ekonomiktir,
- 2-Daha dirençli olduklarından ince şekillendirilebilirler,
- 3-Elastik modülleri fazladır.

Kıymetsiz Metal Alaşımlarının Dezavantajları:¹¹

- 1-Lokal doku reaksiyonları ve allerji yapabilirler,
- 2-Dökümleri kıymetli metaller kadar net değildir,
- 3-Laboratuar ve klinik çalışmaları zordur,
- 4-Ağızda korozyona uğrayabilirler (titanyum hariç),
- 5-Döküm sonrası kontraksiyonları kıymetli metallerden daha fazladır (%2-2.5),
- 6-Kalın ve kontrolsüz oksit tabakası oluşturdıklarından porselen çalışmalarında problemlere neden olabilir.

Ni-Cr ve Cr-Co tip alaşımlar içerisinde bazı Ni-Cr alaşımlarının daha düşük malzeme direncine sahip olmalarına karşın yüksek sertlik ve elastiklik modülleri mevcuttur. Ayrıca, bu alaşımlar için yüksek döküm ısısı da bildirilmiştir. Genel olarak titanyum tipi alaşımlar diğer kıymetsiz metal alaşımlarına oranla daha düşük mekanik özelliklere, fakat dikkate değer şekilde düşük yoğunluk ve daha yüksek döküm ısısına sahiptirler. Alaşımla porselen arasında iyi bir bağlantı tüm alaşımlarda oluşturulabilir, ancak bazı kıymetsiz metal alaşımlarında daha fazla teknik hassasiyet gerekmektedir.²

Günümüzde alaşımlar, bileşim ve fiziksel özellikleri olmak üzere iki ayrı kritere göre sınıflandırılır.^{2,21,25,28-31} Alaşımlar, artık yalnızca altın esaslı olmadığından kullanıma yeni katılan alaşımları da eklemek amacıyla 1984 yılında ADA tarafından daha geniş bir sınıflama geliştirilmiştir (Tablo 3). Alaşımları; yüksek soy, soy ve baz metal olarak tanımlayan bu sınıflama, her bir alaşımdaki altın ve diğer soy elementlerin miktarına dayalı bir sınıflamadır.^{2,25,28,29}

Tablo 3: Bileşimlerine göre alaşım sınıflaması (ADA 1984).

Sınıf	Bileşim (% ağırlık)
Yüksek Soy Metal Alaşımları	Altın içeriği $\geq$ % 40
Soy Metal Alaşımları	Soy metal içeriği $\geq$ % 60
Baz Metal Alaşımları	Soy metal içeriği $\leq$ % 25

Tablo 4: Yüksek soy metal alaşımları, bileşim ve özellikleri.

Alaşım	Bileşim (% ağırlık)	Elastiklik Modülü (GPa)	Vickers Sertlik (kg/mm ²)	Bükülme Dayanıklılığı (MPa, % 0.2 offset)	TGK* (x10 ³ / °C)
Au-Pt	Au 85, Pt 12, Zn 1, Ag**	65-69	165-210	360-580	14.5
Au-Pd	Au 52, Pd 38, In 8.5, Ag**	105	280	385	14.3
Au-Cu-Ag-Pd	Au 72, Cu 10, Ag 14, Pd 3	100	210	450	

* TGK: Termal genleşme katsayısı

** Bazı alaşımların yapısında bulunur

Yüksek Soy Metal Alaşımları

Yüksek soy metal alaşımları, bileşimlerinde ağırlık olarak en az %40 altın ve %60 soy element içerirler. Yüksek soy sınıfında 3 yaygın alt sınıf vardır (Tablo 4).^{25,28,29}

Altın-platin alaşımları, tam döküm ve metal porselen uygulamalar için kullanılan yüksek soy alaşımlardır.^{2,28} Bunlar sertleştirici olarak çinko ya da gümüş içerirler ve sıklıkla çok evreli alaşımlardır. Bu alaşımlar ilk olarak 1990'ların başlarında palladium içermeyen alternatifler olarak geliştirilmişlerdir.^{25,28,29}

Altın-palladium alaşımları tam döküm veya metal-porselen restorasyonlar için kullanılabilir. Bu alaşımlar gümüş içerebilir veya içermeyebilir. Porselen bağlantısını geliştirmek için daima oksit şekillendirici elementler olarak kalay, indiyum veya galyum içerirler. Altın-palladium alaşımları, yaygın olarak metal-porselen restorasyonlarda kullanılırlar.^{28,29}

Altın-bakır-gümüş-palladium alaşımları, sadece tam döküm restorasyonlarda tercih edilir. Bu alaşımların katılma sıcaklıkları metal-porselen uygulamalar için çok düşüktür. Ayrıca bakır ve gümüş içeriği, porselenin uygulanması sırasında probleme sebep olur.^{28,29}

Soy Metal Alaşımları

Bu alaşımlar altın içermese bile en azından % 60 soy metal içermelidir.^{28,29} Soy metal alaşımları, altın, palladium ve gümüşten oluşan çok farklı bir alaşım grubudur (Tablo 5).^{28,29}

Altın-bakır-gümüş-palladium alaşımları, yüksek soy altın-bakır-gümüş-palladium alaşımlarının daha az altın içeren varyasyonudur. Genel olarak gümüş veya bakır, altın oranını karşılamak için ilave edilir. Bu alaşımlar daima tek evrelidir.^{28,29}

Tablo 5: Soy metal alaşımları, bileşim ve özellikleri.

Alaşım	Bileşim (% ağırlık)	Elastiklik Modülü (GPa)	Vickers Sertlik (kg/mm ²)	Bükülme Dayanıklılığı (MPa, % 0.2 offset)	TGK* (x10 ⁻⁷ /°C)
Au-Cu-Ag-Pd	Au 45,Cu 15, Ag 25, Pd 5	100	250	690	
Pd-Cu-Ga	Pd 79,Cu 7, Ga 6**	127	280	580	14.2
Pd-Ag	Pd 61,Ag 24, Sn 8**	125	275	620	14.6
Ag-Pd	Ag 66, Pd 23, Au 2**	93	230	400	

* TGK: Termal genleşme katsayısı

** Bazı alaşımların yapısında bulunur

Palladium-bakır alaşımları, tam döküm veya metal-porselen restorasyonlarda kullanılır. Genellikle sıvılaştırma sıcaklığını düşüren galyum içeren bu alaşımlar, porselenin daha iyi bağlanmasını sağlayabilir ve bağlanma dayanıklılığına katkıda bulunabilirler.^{28,29}

Palladium-gümüş alaşımları, genellikle çok evrelidir. Gümüşün kararma etkisi kontrol edilebilirse, bu alaşımlar tam döküm kuronlar veya metal-porselen restorasyonlarda kullanılabilir.^{28,29}

Baz Metal Alaşımları

Baz metal alaşımları, ADA sınıflamasına göre ağırlık olarak % 25'den daha az soy metal içerirler. Fakat pratikte çoğu hiç soy metal içermez (Tablo 6).^{28,29} Bileşimlerinde, nikel veya kobaltın temel element olarak yer aldığı alaşım tiplerine baz metal döküm alaşımları denir. Diş hekimliğindeki kullanım alanlarının dışında pek çok alanda kullanılan baz metal alaşımlarına literatürde “süper alaşımlar (superalloys)” adı altında rastlamak mümkündür. Baz metal alaşımlarına pek çok literatürde “kıymetsiz metal alaşımları” da denilmektedir.²⁸

Tablo 6: Baz metal alaşımları, bileşim ve özellikleri.

Alaşım	Bileşim (% ağırlık)	Elastiklik Modülü (GPa)	Vickers Sertlik (kg/mm ²)	Bükülme Dayanıklılığı (MPa, % 0.2 offset)	TGK* (x10 ⁻⁷ /°C)
Ni-Cr-Be	Ni 77, Cr 13, Be 2, C 0,1	192	350	825	15.0
Ni-Cr (yüksek krom)	Ni 65, Cr 23, C (yok)	205	180	330	14.0
Ni-Cr	Ni 69, Cr 16, C** (yok)	159	350	310	14.4
Co-Cr	Co 56, Cr 25, C** (yok)	159	390	310	15.2

* TGK: Termal genleşme katsayısı

** Bazı alaşımları yapısında bulunur. Hareketli bölümlü protezlerde kullanılan alaşımların yapısına eklendiğinde bükülme dayanıklılığı, sertlik ve elastiklik modülünü %20-30 oranında artırır

Alaşımlar, bileşimlerine ilaveten, mekanik özellikleri, bükülme dayanıklılıkları ve uzama yüzdelerine göre de sınıflandırılmıştır (Tablo 7).²⁸

Tablo 7: ADA'nın fiziksel özelliklere göre alaşım sınıflaması.

ADA Tipi	Sertlik	Klinik Kullanım	Bükülme Dayanıklılığı (MPa)	Uzama (%)
I	Yumuşak	Oklüzyonda olmayan az kuvvet alan inleyler	< 140	18
II	Orta	Hafif oklüzyonda olan orta derecede kuvvet alan onley ve inleyler	140-200	18
III	Sert	Tam oklüzyonda olan fazla kuvvet alan kuron, kısa gövdeli köprüler	201-340	12
IV	Ekstra Sert	Çok fazla kuvvet alan ince veneer kuronlar, uzun gövdeli köprüler, hareketli bölümlü protezler	> 340	10

METAL-PORSELEN BAĞLANTISI

Porselen ile metal arasında güçlü bir bağlantının oluşması, uzun ömürlü metal-porselen restorasyon için, belki de en önemli kuraldır ve bundan dolayı özel bir dikkat gerektirir.^{2,17} Son otuz yılda yapılan geniş araştırmalar, metal-porselen bağlantısının oluşması için önemli olan faktörlerin anlaşılmasını sağlamıştır.¹⁷

Porselen ile metal arasında iyi bir bağlantı oluşmuşsa, kırıcı stresler opak porselenin gerilme direncine yaklaşır ve kırık, porselen yapı boyunca meydana gelir.⁶

Estetik ihtiyaçları karşılayacak şekilde, metal ile porselen arasında güçlü bir bağlantının oluşması isteniyorsa metal-porselen sistemi şu şartları yerine getirmelidir:⁶

1-Porselen tarafından metalin veya metal oksidin iyi bir şekilde ıslatılması zorunludur,

2-Oksit, porselen içerisinde eriyebilir olmalıdır,

3-Metal yüzeyinde oluşan oksit porseleni boyamamalı veya cam formasyonuna karışmamalıdır,

4-Metal veya metal oksit, porselenin direncini azaltacak veya porselenin iç yüzeyinin termal genişlemesini artıracak veya azaltacak, yüksek iç stresler meydana getirecek şekilde etki göstermemelidir,

5-Metal veya metal oksit korozyona uğramamalı ve çevre dokularda toksik etkiler oluşturmamalıdır,

6-Metalin klinik olarak dökülebilirliği hem dökümün uyumu ve hem de görünüm açısından kabul edilebilir olmalıdır,

7-Metal, porselenin pişirilmesi esnasında minimum creep göstermeli, çoğul destekler ve köprü protezleri için uygun mekanik direnci sağlamalıdır,

8-Yüksek sıcaklıkta oluşabilecek kırıkları engelleyebilmek için, döküm ince grenli olmalıdır,

9-Metalin döküm, lehim öncesi ve sonrası işlemleri kolay olmalıdır.

Metal-Porselen Bağlantısının Oluşum Aşamaları:¹²

Metal-porselen kuron ve köprülerin başarısı, metal ile porselen arasındaki bağın dayanıklılığına bağlıdır. Bu bağlantının direncini anlamak için, porselenin metal üzerindeki pişirme aşamalarını incelemek gerekir:

1. Aşama: Metal yüzeyi kumla veya buharla temizlenir, daha sonra ultrasonik temizleme banyosuna konur. Kolayca ıslanabilecek yüzeyi sağlayan kumlama işlemi ile pürüzlü yüzey oluşturulur. Bu işlem porselenin mekanik tutuculuğunu sağlar.

2. Aşama: 1000°C civarında, metalin yapısında birikmiş artık gazlar uzaklaştırılır. Bu işlem sertleşmeyi de sağlar. Gazı çıkarılan metal, yavaş yavaş normal atmosferik şartlarda soğutulmalıdır. Bu işlem aynı zamanda metal atomlarının metal yüzeyine yayılarak oksit film oluşturmasını sağlar.

3. Aşama: Opak porselen metale ince tabaka halinde sürülür. Opak, fırında camlaşmaya başlar. Bu durumda porselen, metal yüzeyini ıslatmaya başlayacaktır. Islanabilirliğin etkisine bağlı olarak yüzey gerilimi ortaya çıkacaktır. Bu yapışma kuvvetlerini tanımlamak için “Van-Der Waals kuvvetleri” terimi kullanılır.

Islanma reaksiyonunun asıl yapısı yüzey gerilimidir. Islanma yeterli ise porselen, metal üzerindeki tüm pürüzlere girecek ve mekanik bağlantı oluşacaktır. Ayrıca metal atomları geniş olarak metal yüzeyine yayılacak ve oksit film ile porselen arasında oluşacak kimyasal bağlantı için ortam sağlayacaktır.

4. Aşama: Opak, pişirme ısısında büzülür. Porselenin pişirme aşamalarında glazür ısısında yüzeydeki 25µ'luk glazür film tabakası dışında, kesinlikle porselen erimemeli ve akıcı olmamalıdır.

5. Aşama: Mine ve dentin porseleni maksimum yoğunlukta uygulanır. Benzer sıkıştırıcı kuvvetler, bu aşamada da porselenin soğuması ve büzülmesi esnasında gelişecektir.

Metal ile porselen arasındaki yapışma; bağlantı oksitleriyle kimyasal bağlantıya, genleşme katsayısının uyumsuzluğu ile büzülme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğü ile mekanik tutucu kuvvetlere ve Van-Der Waals kuvvetlerine bağlı olarak oluşur.³⁴

METAL-PORSELEN BAĞLANTISININ YAPISI

A-Mekanik Bağlantı: Porselen, metal ya da metal oksit yüzeyine bu yüzeyin pürüzlendirilmesi ve uygun şekilde ıslanması ile mekanik bağlantı sağlar.¹¹

Porselen pişirilme sırasında eridiğinde, akıcı hale gelen porselen, metalin mikroskobik yarıkları içine girerek mekanik bağlantıyı meydana getirmektedir.³⁵

Porselenlerde mekanik bağlantı amacı ile; kumlama, asitlerle dağlama, elektro kimyasal yöntem ile korozyon oluşturma ve yüzeye küresel alaşım partikülleri püskürtme metodları uygulanabilir.¹¹

B-Kimyasal Bağlantı: Porselen ile bağlantı yüzeyindeki metal oksit ve cam yapının ortak elektronları arasında kimyasal bağlantı oluşmaktadır. Kimyasal bağlantının oluşabilmesi için porselenin, oksit tabakasından gelen iyonları yapısına alması gereklidir.¹¹ Okside elementlerin oksitleri, porselenin pişirilmesi sırasında porselen içinde erirler ve bağlantı oluşur.³⁵ Alaşım ve porselen arasındaki kimyasal bağlantının asıl şekli, alaşımdaki okside olabilen iyonlar ile erimiş porselenin oksijeni arasındaki direkt elektron transferidir.^{35,36}

Okside olmayan alaşımlar kimyasal bağlantı yapamazlar.³⁵ Kıymetsiz metal alaşımlarında, kimyasal birleşmeyi sağlayan oksit tabakası kendiliğinden oluşurken, kıymetli metal alaşımlarında bu amaçla alaşımın yapısına kalay, demir, çinko veya indiyum gibi metaller ilave edilmiştir.^{16,35}

C-Sıkıştırma Kuvvetleri: Bu tür bağlantının oluşabilmesi için; metal yüzeyinin uygun şekilde hazırlanması ve metal ile porselenin termal genleşme katsayılarının birbirine yakın olması gerekmektedir.¹¹

Metal ile porselen arasında ısısal genleşme katsayısı farkı $0.2-1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ veya daha az olmalıdır (metalin ısısal genleşme katsayısı porselenden daha yüksek olmalıdır). Metalin soğuması sırasındaki kontraksiyon sonucu oluşan çekme gerilimleri karşısında porselende de basma gerilimleri oluşur. Bu gerilimler kohesive bağlantının artmasını sağlamaktadır.¹¹

D-Van-Der Waals Kuvvetleri: Van-Der Waals kuvvetleri moleküler çekim ile ilgili ısılatıcı bağlar sistemi olarak bilinir. Bu bağlantı, en zayıf metal porselen bağlantı türüdür ve kimyasal bağlantının 1/20'si kadar değerdedir. Atomların, molekülleri elektrostatik olarak çekimi sonucu oluşur. İki cam plağın aralarındaki su ile bağlanma şekli olarak tanımlanan bu tür kuvvetler, opak moleküllerinin metal yüzeyini ısılatması ile doğru orantılı olarak artar.¹¹

METAL-PORSELEN BAĞLANTISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Metal-porselen restorasyonlarda, bağlantının başarılı olmasını sağlayan kritik faktörler şunlardır:^{5,24,37}

1-Porselenin pişirilme ısısı

2-Pişirilen porselenin içinde gelişen sıkıştırıcı stresin varlığı

3-Alaşımın kompozisyonu

4-Soğumanın etkisi

5-Porselenin pişirilme sayısı (Fırınlama sayısı)

6-Porselenin tipi

7-Yüzey işlemleri;

A-Metal yüzeyinin pürüzlendirilmesi

B-Bağlayıcı ajanların kullanımı

C-Alaşımların yüzeyinde oksit tabakanın oluşturulması

1-Porselenin Pişirilme Isısı:

Opağın tavsiye edilen ısıdan 80°F (27°C) daha yüksek ısıda pişirilmesinin bağlantı direncini artırdığı ifade edilmiştir.³⁸

2-Pişirilen Porselen İçerisindeki Sıkıştırıcı Stresler:

Bu stres ara yüz bağlantı direncine etki eder. Porselen ve metalin ısı genleşme katsayıları arasındaki küçük farklılıktan oluşur. Alaşımla karşılaştırıldığında, porselenin ısı genleşme katsayısı ile alaşımlarınkindi arasında çok az bir farkın olması arzu edilir.²⁵

3-Alaşımların Kompozisyonu:

Alaşımların tekrar dökülmesi yapısında değişiklikler meydana getirir. Fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Yeni alaşım ile tekrar dökülmüş alaşımların porselenle bağlantısı farklıdır. Kullanılan alaşımların kontraksiyonundaki farklılık alaşım ile porselen arasındaki termal uyumluluğu etkiler. Böylece bağlantı direnci azalır.³⁹

Kıymetli metal alaşımlarının kullanımının tercih edilmesi tüm kıymetli metallerin maliyetlerinin yükselmesine sebep olmuş, buna bağlı olarak da bu metallerin kullanımı neredeyse bırakılmıştır.⁴⁰

Diş hekimliğine sunulduğundan bu yana orijinal kıymetsiz metal alaşımları çok daha ucuz olmuşlardır. Ucuz kıymetsiz metal alaşımları kullanıldığında, önceden

eritilen külçeler ile yeni metali karıştırmak yerine, teknisyenler her bir döküm için yeni metal kullanmayı tercih etmişlerdir.⁴⁰ Kıymetsiz metallerin maliyetlerinin artması ile birlikte, ekonomik olacağı düşüncesi ile kıymetli metal alaşımlarının kullanıldığı uygulamalarda zaman zaman yapıldığı gibi yeni metal ile eski metalin karıştırılabileceği, bazı araştırmacılar tarafından tavsiye edilmektedir.^{21,41} Bazı laboratuvarlar döküm metalinin yarısını bir kez dökülmüş kıymetsiz alaşım ile kombine etmekte, daha sonra arta kalanın tamamını atmaktadırlar. Bazı laboratuvarlar ise her seferinde üçte bir veya yarı yarıya yeni metal ilave ederek birkaç kez yeniden kullanılabilmektedir.⁴²

4-Soğumanın Etkisi:

Normal şartlar altındaki havada soğuma esnasında gelişen geçici stresin, porselenin çatlamasına sebep olacak kadar yüksek olmadığı ifade edilmiştir.⁴³ Bununla birlikte en yüksek bağlanma kuvveti fırın içinde soğutulan metal-porselen sistemlerinde elde edilmiştir.⁴⁴

5-Porselenin Pişirilme Sayısı:

Tekrarlanan pişirmelerin gerek kıymetli alaşımlarda, gerekse kıymetsiz alaşımlarda metal-porselen bağlantısını etkilemediği ifade edilmiştir.⁴⁵

6-Yüzey İşlemleri:

A-Metal Yüzeyinin Pürüzlendirilmesi:

Pürüzlendirmede amaç; metal yüzeyinde estetik materyalin uygulanacağı bölgede pozitif ya da negatif eklenti ve çukurcuklar oluşturarak retantif bir yüzey elde etmektir. Porselenlerde mekanik bağlantı amacıyla; kumlama, asitle dağlama, elektro-kimyasal yöntem ile korozyon oluşturma ve yüzeye küresel alaşım partikülleri püskürtme metodları uygulanır.¹¹

Metal-porselen restorasyonların başarısında porselen uygulanan yüzeyin bitirilmesi ve planlanması çok önemlidir. Yüzey, stresi azaltacak şekilde planlanmalıdır. Küçük delikler, çentikler, çukurlar ve keskin açılar gibi lokal düzensizlikler stresi yükseltir.³⁴

Stres yükselticilerden sakınmak için metal yüzeyinin kontaminasyonsuz, hava geçirgenliği minimum, ıslanması maksimum olacak şekilde bitirilmesi gerekir. Pürüzlü yüzey hava ve kir tutma potansiyeline sahiptir, fakat aynı zamanda da ıslanmayı kolaylaştırır. Pürüzlü veya pürüzsüz metal yüzeyin bitirilmesi artık bırakmayan taşlarla tek yönde yapılmalıdır. Farklı yönlerde yapılan aşındırmalar, hava tutucu pikler oluşturarak, opak porselende hava kabarcıkları oluşmasına neden olur.³⁴

Porselen uygulamalarında kullanılan kıymetsiz ve kıymetli alaşımların düzgün yüzeyleri üzerinde yapılan kumlama işlemi şu avantajları sağlar:⁴⁶

1-Metal yapının porselenle ıslanabilmesini artırır,
2-Sıkıştırma kuvvetleri altında porselenin mekanik olarak bağlanması sonucunda bağlanma direncini artırır,

3-Porselenin kimyasal bağlantısı için yüzeyi artırır.

Kumlama işleminin dezavantajları ise şunlardır:⁴⁶

1-Basamak ve açılı kısımların tam ıslanmasına izin vermez. Bu yüzden porselen-alaşım bağlantısında boşluklar oluşur,

2-Aşırı pürüzlülük nedeni ile porselen-alaşım ara yüzeyinde stres oluşturur.

Metal yüzeyin pürüzlülüğü, kıymetsiz alaşımların bağlantı direncinde farklılık oluşturan ortak bir faktördür.⁴⁷

Metal aşındırmasında yüzey kontaminasyonunu önlemek için seramik bağlantılı taş veya karbid frezler tavsiye edilmektedir.⁴⁷ Aşındırma için en iyi taş alüminyum oksit taşıdır.³³

Kıymetsiz metal alaşımlarının yüzeyi porselen için şu şekilde hazırlanabilir:^{24,48} İlk olarak seramik bağlı taş veya karbid frezle aşındırma yapılır, bunu takiben kumlama uygulanır, artıkların giderilmesi için ultrasonik aletle, buharla veya %92'lik alkolde bekletme ile temizleme yapılır. Kıymetsiz metal alaşımlarının asitlerle reaksiyona girme özellikleri fazla olduğundan asitle temizleme işlemi yapılmamalıdır.

B-Bağlayıcı Ajanların Kullanılması:

Bağlantı ajanları;

1-Nikel, krom ve kobalt iyon difüzyonunu önleyip alüminyum difüzyonunu artırarak,

2-Ara yüz zonunda boşluk ve aralık nedeniyle oksidin yapışmasını önleyerek,

3-Alaşım ve porselenin ısı genleşme katsayısının uygunluğunu sağlayarak ve artık stresi azaltarak bağlantı direncini artırır.⁴⁹

Ni-Cr alaşımları için bağlantı ajanları düşük ısılı cam ve alüminyum tozlarından oluşur, bunlar organik taşıyıcı ile karıştırılır, döküm üzerinde pişirilir. Bağlantı ajanı, alaşımın yüzeyi üzerinde yapışık olan oksidin formasyonundan sorumludur.³³

Bağlantı için altın ve porselen tozları da uygulanabilir.²⁴

C- Alaşım Yüzeyinde Oksit Tabakanın Oluşturulması:

Metal ile porselen arasındaki kimyasal bağlantıyı sağlamak amacı ile metal yüzeyi üzerinde kontrollü bir oksit tabakası oluşturulmalıdır.¹⁷ Okside elementler porselen bağlantısını sağlayan ara yüz oksidinin oluşumundan ve alaşımın sertliğinden sorumludur.⁷ Kalay ve indiyum oksitleri kimyasal bağlantıyı artırıcı elementlerdir.⁵⁰

Kıymetli metal alaşımları için porselen yapışmasında en önemli role sahip elementler demir, kalay, indiyum ve galyumdur. Elektron mikroskop ve SEM (Scaning Electron Microscope) kullanılarak yapılan çalışmalar, bu elementlerin metal-porselen yüzeyleri arasında toplandıklarını ve bir oksit tabakası oluşturduklarını göstermiştir. Başlıca elementleri nikel ve kobalt olan bazı metal alaşımlarında krom oksit porselen yapışmasında kimyasal bağlantıyı sağlamakta, titanyum esaslı döküm alaşımlarında ise bu işlevi titanyum oksit yerine getirmektedir.¹⁶

Tipik bir oksit tabakası, restorasyonun fırın tablasına konulup, porselen fırını içerisine yerleştirilmesi ve ısıнын porselenin pişme ısını yeterli şekilde aşacak sıcaklığa yükseltilmesi ile elde edilir.¹⁶

Metal ile porselen arasındaki bağlantıyı sağlayan oksit tabakası aşağıda belirtilen şekillerde oluşturulabilir:⁶

- 1-Alaşımanın kendine ait elemanları aracılığı ile direkt oksit oluşturularak,
- 2-Kaide metali olarak kullanılan kıymetli metal alaşımlarına ısı uygulanarak oluşturulan, ince oksit zerrelere aracılığı ile,
- 3-İndiyum veya kalay gibi okside olabilen metaller ile yüzey kaplanarak oksit tabakası oluşturulabilir.

Elde edilen oksit tabakası şu gereksinimleri karşılamalıdır:²⁶

- 1-Metal oksit veya metalin porselenle iyi ıslatılmasını sağlamalıdır,
- 2-Oksit porselende çözülebilmelidir,
- 3-Metal üzerindeki oksit camsı porselen oluşumunu engellememeli veya porseleni renklendirmemelidir,
- 4-Metal veya metal oksitler ara yüzey porseleninin ısı genleşmesini değiştirecek iç stresi başlatmamalı veya porselenin direncini azaltmamalıdır,

5-Metal veya metal oksitler yumuşak doku çevresinde toksik etki yapmamalıdır.

Oksidasyon terimi yerine yanlış olan “degassing” (artık gazların uzaklaştırılması işlemi) terimi sıklıkla kullanılmaktadır.¹⁷ Döküm işlemi esnasında hidrojen gazı erimiş alaşım içerisinde birleşir. Bu gaz, alaşımın içinde kendi haline bırakılacak olursa porselen ile metal arasındaki bağlantının zayıflamasına ve porselen içerisinde hava kabarcığı oluşmasına neden olabilir. Hidrojen gazı ortamdaki artık gazların uzaklaştırılması yöntemi ile atılır.¹⁸ Gazın uzaklaştırılma işlemi sırasında üniteye, vakum altında ısı uygulanır ve soğutulur. Bu işlem, kontaminasyona neden olan ajanların ve artık gazların yakılarak uzaklaşmasını sağlar.^{6,24}

Metallerin Elektro-Depozisyonu:

Kıymetsiz metal alaşımları kullanıldığında oksidasyon çok kolay ve hızlı bir şekilde meydana geldiğinden oksit oluşumunun kontrolü bu alaşımların en önemli problemidir.⁶ Bazı imalatçılar metal yüzeyini temizledikten hemen sonra (degassing uygulamadan) opak tabakasının uygulamasını tavsiye etmektedirler.²⁵

Oksit tabakasının kalınlığının kontrolü baz metal alaşımları için kullanılan tekniğe bağlıdır. Kaplama tekniği oksit tabakasının kalınlığının kolaylıkla kontrol edilebilmesini sağlar, çünkü oksit üretimi metal yüzeyinde mevcut olan veya metal yüzeyi üzerinde biriktirilen kaide-metal iyonlarının miktarı ile sınırlandırılır.⁶

Kalay veya indiyumun elektro-depozisyonu porselen bağlantısı için yüzey oksit tabakası oluşturmada etkili bir yöntemdir. En güçlü bağlanma kalay kaplama 0.2-2µ arasında olduğunda meydana gelmektedir.⁶

ELEKTROLİZ

Elektroliz, bir elektrolit içerisine iki elektrot yerleştirilerek, bu hücreye dışarıdan bir akım uygulamak suretiyle elektrotlarda kimyasal reaksiyonlar meydana

getirilmesidir. Elektrolizin meydana gelebilmesi için hücreye anot ve katot denge potansiyellerinin toplamından daha büyük potansiyelde bir dış akımın uygulanması gerekir.⁵¹

Katotta yürüyecek indirgenme reaksiyonları için elektrona ihtiyaç vardır. Bu elektronlar dış akım kaynağından sağlanır. Elektroliz hücresinde akım yönü katottan anoda doğrudur.⁵¹

Elektroliz; sabit-akım ve potansiyel kontrollü olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir.⁵²

A-Sabit-Akım İle Elektroliz: Değişken voltaj kaynağı veya değişken rezistör kullanılarak anot ile katot arasından sabit doğru akımın geçirilmesiyle yapılır. Sistem iki adet redoks sistemi ihtiva eder ve bu redoks sistemlerinin potansiyelleri birbirine çok yakın ise elektrolizi sona erdirmek ve seçici reaksiyon yapmak mümkün olmayabilir.

B-Potansiyel Kontrollü Elektroliz: Bu yöntemde, elektrot potansiyeli sabit tutularak reaksiyon yapılır. Zamanla yüzeye gelen oksidant miktarı azalacağından akım düşecektir ve reaksiyon bitecektir. Böylece potansiyel ayarlanarak seçici bir reaksiyon gerçekleşecektir. Bu sistemde çalışma ve karşıt elektrotun yanı sıra referans elektrotta kullanılmaktadır. Zamanla elektro-aktif maddelerin konsantrasyonları değişeceğinden potansiyostat kullanılarak çalışma elektrotunun potansiyeli daima sabit tutulacaktır.

Elektroliz işlemini gerçekleştirebilmek için; elektrokimyasal hücre, elektrotlar, iletken tuz, çözücü ve potansiyostat gibi materyallere ihtiyaç vardır.⁵³

Voltametri

Mikro çalışma elektrotunun polarize olduğu şartlar altında uygulanan potansiyelin fonksiyonu olarak, akımın ölçülmesinden faydalanılarak analit hakkında bilgi veren elektro analitik metodların bir grubudur.⁵⁴

Voltametri, inorganik fiziko ve biyokimyacılar tarafından çeşitli ortamlarda meydana gelen yükseltgenme ve indirgenme işlemlerinin incelenmesi, yüzeydeki adsorbsiyon işlemlerinin araştırılması ve kimyasal olarak modifiye elektrot yüzeylerinde cereyan eden elektron aktarım mekanizmalarının aydınlatılması gibi analitik olmayan amaçlar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.⁵²

Voltametrde; çalışma, karşıt ve referans olmak üzere üç tip elektrot kullanılmaktadır. Referans elektrotun potansiyeli çalışma elektrotunun gerçek potansiyelini belirlemede potansiyostat tarafından referans potansiyel olarak alınır. Potansiyostat referans elektrota karşıt çalışma elektrotunun potansiyelini ayarlayan ve özellikle potansiyel kontrollü elektroliz için kullanılan elektronik bir aygıttır. Karşıt elektrot ise devreyi tamamlamaktadır.⁵⁴

RESTORASYONLARDA ESTETİK MATERYAL KAYIPLARI

Estetik veneer materyali olarak kullanılan rezinlerde aşınma ve kırılmalar, porselenlerde ise kırılmalar çeşitli nedenlere bağlı olarak değişik boyutlarda görülebilir. Veneer materyallerinde görülen kırıklar iki şekilde olabilir:¹¹

A- Adhesive Kırıklar: Farklı materyaller arasında oluşan ayrılmalardır.

B- Kohesive Kırıklar: Aynı materyal yapısında oluşan ayrılmalardır.

Adhesive ve/veya kohesive başarısızlıklar aşağıda belirtilen 6 muhtemel yerde veya bunların kombinasyonlarında oluşabilir:^{12,17}

1-Oksit tabakası mevcut değilse, porselen-metal ara yüzeyleri arasında,

2-Metal oksit-metal ara yüzeyleri arasında,

3-Metal oksit yapısı içinde,

4-Porselen-metal oksit ara yüzeyleri arasında,

5-Porselen yapısı içinde,

6-Metal yapısı içinde.

Genellikle kıymetli alaşımlarda porselen yapısı içerisinde kohesive başarısızlıklar, kıymetsiz alaşımlarda ise ara yüzde kopma şeklinde adhesive başarısızlıklar oluşur. Düzgün yüzey adhesive başarısızlık, orta ve pürüzlü yüzey ise porselen içinde kohesive başarısızlık yaratır.³⁹

METAL-PORSELEN BAĞLANTISININ İNCELENMESİNDE

KULLANILAN TEST METODLARI

Birçok “metal-porselen bağlantı test metodu” geliştirilmiştir. Test örnek şekillerinin hiç biri alaşım-porselen ara yüzeyi boyunca saf gerilme veya saf makaslama kuvvetleri oluşturmadiğundan test sonuçlarının yorumu oldukça zordur.³³

Bağlantı direnci ile ilgili test sonuçları karşılaştırıldığında, bir test ile elde edilen sayısal değerlerin farklı test metotları ile elde edilen değerlerle direkt olarak karşılaştırılamayacağı kabul edilmektedir.³³

Porselen-Alaşım Uyumluluk Testleri

A-Isı Genleşme Testi: Porselen ve alaşım materyallerinin linear ısı genleşme katsayısı karakteri için planlanır.^{3,25}

B-Termal Şok: Porselen kaplı sistem yüksek ısıda ısıtılır, porselende başarısızlık oluşuncaya kadar su ile soğutulur.^{3,25,32}

C-Bükme veya Üç Noktadan Yüklemenin Kullanıldığı Bağlantı Karakterizasyon Testi: İnce alaşım plaklar arasında porselen pişirilir ve bağlantıda başarısızlık meydana gelinceye kadar bükülür.^{3,25,32}

D-Uzun Gövdeli Protezin Çok Sayıda Pişirilmesi: En az 6 üyeli protez üzerinde başarısızlık oluşuncaya kadar pişirme yapılır.^{3,25,32}

Metal-Porselen Bağlantı Direncini Değerlendirmede Kullanılan Testler:

Metal-porselen bağlantı direncini değerlendirmeye yönelik olarak araştırmacılar tarafından değişik testler dizayn edilmiş ve kullanılmıştır. Bu testler, oluşan streslerin tabiatına göre şöyle sınıflandırılabilirler:⁵⁵

- 1-Makaslama (Shear) Testi; İtme-Makaslama, Çekme-Makaslama,
- 2-Gerilme (Tension) Testi,
- 3-Makaslama-Gerilme Testi Kombinasyonu,
- 4-Bükme (Bend (Flexure)) Testi; Üç-Nokta Bükme, Dört-Nokta Bükme,
- 5-Burulma (Torsion) Testi.



MATERYAL VE METOD

Araştırmada Cr-Co (Wirobond C, Bego Bremen/Germany) ve Ni-Cr (Wiron 99, Bego Bremen/Germany) olmak üzere iki kıymetsiz metal alaşımı kullanılmıştır.

Örnekler hazırlanırken standardizasyonu sağlayabilmek amacı ile boyutları 25mm x 5mm x 0.5mm olan paslanmaz çelikten bir model kullanılmıştır. Metal modelin ölçüsü astarlama (putty-wash) ölçü yöntemi ile silikon esaslı ölçü maddesi (Speedex putty-Speedex light body, Coltene Konstanz-Germany) kullanılarak alınmış, elde edilen ölçü içerisine inley döküm mumu (Ash Pinnacle, Amalgamed Dental, England) eritilip dökülerek toplam 540 mum örnek hazırlanmıştır (Resim 1).



Resim 1: Paslanmaz çelik model, mum örneklerin çoğaltılması amacı ile kullanılan elastomerik ölçü, döküm mumundan çoğaltılmış mum örnekler.

Revetmana almadan önce mum örnekler üzerine, yüzey gerilimini azaltıcı surfaktan likit (Unitek Debubblizer) sürülmüştür. Standart tij kaidesi üzerindeki döküm düğmecğine plastik tijler (Ney'in 14 gauge'lik tiji) bağlanmış, mum modeller bu tijlere sirkolanla yapıştırılmıştır. Revetmanlama işleminde fosfat bağlı (Maruvest Speed, Megadental Limeshain/Himbach Germany) revetman kullanılmıştır. Üreticinin önerdiği oranda toz ve sıvı, vakumlu revetmanlama cihazında (Auro-vac) 3.5 kg/mm^2 basınçla 20 saniye karıştırılmış, vakum altında vibrasyonla çap ve yükseklikleri aynı olan kalıplara doldurulmuş, oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılmıştır. Standart tij kaidesi uzaklaştırıldıktan sonra mum eliminasyonu fırın dışında yapılmış, daha sonra manşetler döküm fırını (Miditherm 100MP, Germany) içerisine konulmuştur. Döküm işlemleri; 540 örneğin yarısı için (270 örnek) Ni-Cr, diğer yarısı için (270 örnek) Cr-Co metal alaşımı kullanılarak, her bir alaşım grubu için; %100 saf (90 örnek), %25 (90 örnek) ve %50 (90 örnek) oranında bir kez dökülmüş artık metal ilave edilerek üç farklı alt grup oluşturacak şekilde, yarı otomatik santrifüjlü (Bego, Fornax 35E) döküm makinasında gerçekleştirilmiştir. Dökümü yapılan örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış, revetmanlar iyice soğuduktan sonra dökümler çıkarılmıştır. Oksit tabakası ve revetman artıklarını giderebilmek, döküm yüzeyini pürüzlendirebilmek amacı ile örnekler, kumlama cihazında (Minikor Bego, Minipol, Bremen) 30 saniye süreyle 90μ gren çaplı alüminyum oksit tozu ile kumlanmış, tijler separe yardımıyla kesilerek uzaklaştırılmıştır. Daha sonra dökümler, ultrasonik temizleme cihazında (Ultrasonic Cleaner, Serial Num: 2297, Biem Ultrasonic Makine San. Ltd. Şti., Türkiye) distile su içerisinde 5 dakika süreyle temizlenmiştir.

Araştırmada kullanılan kıymetsiz metal alaşımlarının içerdikleri elementler ve oranları Tablo 8'de, fiziksel özellikleri ise Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 8: Kullanılan metal alaşımlarının bileşimleri (% ağırlık olarak).

ALAŞIM	Ni	Cr	Co	Mo	Si	Fe	Ce	Nb	W	Cmax
Wirobond C	-	26.0	61.0	6.0	1.0	0.5	0.5	-	5.0	0.02
Wiron 99	65.0	22.5	-	9.5	1.0	0.5	0.5	1.0	-	0.02

Tablo 9: Kullanılan metal alaşımlarının fiziksel özellikleri.

ALAŞIM	Densite (g/cm ³)	Genleşme Katsayısı 20-600°C (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Sertlik Değeri (HV10)	Elastiklik Modülü (MPa)	Uzama Yüzdesi (MPa)	Erime Aralığı (°C)	Döküm Isısı (°C)
Wirobond C	8.5	14.2	310	210.0	390	1380-1270	1470
Wiron 99	8.2	14.0	180	205.0	330	1310-1250	1420

Örnekler, metal alt yapıların dökümünde kullanılan metal alaşımı içeriği açısından 3 temel gruba ayrılmıştır:

1. Grup; tamamen saf metal kullanılarak dökülen örnekler,
2. Grup; %25 bir kez dökülmüş artık metal ile %75 saf metal karışımı kullanılarak dökülen örnekler,
3. Grup; %50 bir kez dökülmüş artık metal ile %50 saf metal karışımı kullanılarak dökülen örnekler.

Artık metaller, üretici firma önerilerine uygun olarak saf metalden bir kez dökülerek elde edilen dökümlerden sağlanmıştır. Farklı metal altyapılar elde edilirken, artık ve saf metaller birbirleri ile ağırlık oranlarına göre elektronik terazi (S2000-10-V, Gottl Kem&Sohn-7460 Albstadt, Ebingen) kullanılarak karıştırılmışlardır.

Araştırma kapsamında kullanılan metal alaşımlarından elde edilen her bir metal altyapı grubu, örnek yüzeylerinin elektrolitik olarak kaplanmasına göre üç alt gruba ayrılmıştır:

1. Alt Grup; elektroliz yöntemiyle krom kaplanan metal altyapı örnekler,
2. Alt Grup; elektroliz yöntemiyle kalay kaplanan metal altyapı örnekler,
3. Alt Grup; herhangi bir kaplama uygulanmayan metal altyapı örnekler.

Her bir yüzey uygulaması alt grubu da kendi içinde oksidasyon uygulama ısısına göre;

a-850°C (düşük ısıda oksidasyon)

b-950°C (önerilen ısıda oksidasyon)

c-1050°C (yüksek ısıda oksidasyon) olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır.

Araştırma kapsamında oluşturulan deney grupları Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10: Araştırmada kullanılan örneklerin gruplandırılması.

Alaşım Türü	Metal Altyapı	Yüzey Uygulaması	Oksidasyon Isısı	Örnek Sayısı
Ni-Cr Metal	I.Grup (%100 Saf Metal)	Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Kalay Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
	II.Grup (%75 Saf-%25 Artık Metal)	Kaplamasız	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
Cr-Co Metal	I.Grup (%100 Saf Metal)	Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Kalay Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
	II.Grup (%75 Saf-%25 Artık Metal)	Kaplamasız	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
Wirobond C	I.Grup (%100 Saf Metal)	Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Kalay Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
	II.Grup (%75 Saf-%25 Artık Metal)	Kaplamasız	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
		Krom Kaplama	850°C	10
			950°C	10
			1050°C	10
III.Grup (%50 Saf-%50 Artık Metal)	Kalay Kaplama	850°C	10	
		950°C	10	
		1050°C	10	
	Kaplamasız	850°C	10	
		950°C	10	
		1050°C	10	
Toplam			270	

Elektroliz Yöntemiyle Örnek Yüzeylerinin Kaplanması

Elektroliz uygulamaları potansiyel kontrollü olarak, platin anot üzerinde (Resim 2), Potentioscan Wenking POS 73 cihazı (Bank Elektronik, Gerhard Bank Electronic, Serial Num.:14407, Göttingen/W. Germany) kullanılarak (Resim 3), aşağıda belirtilen şekillerde yapılmıştır:

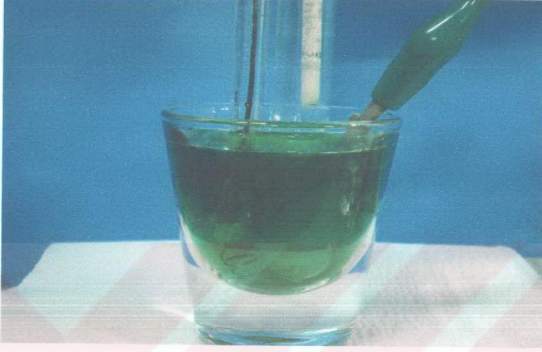


Resim 2: Elektroliz işlemi için kullanılan malzemeler (presel, elektroliz solüsyonları, platin anot ve akım düzenleyici).



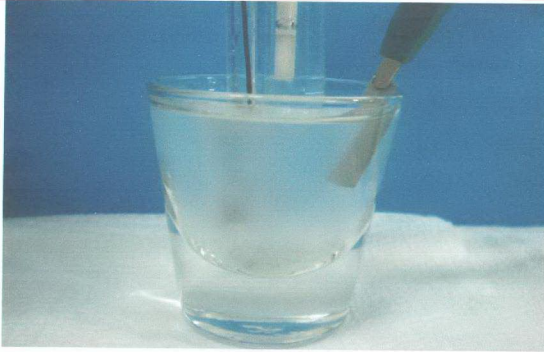
Resim 3: Elektroliz işleminin gerçekleştirildiği Potentioscan cihazı.

-Krom kaplama; 0.1 molar CrCl_3 (Krom 3 klorür) ve elektrolit olarak 1 molar KCl (Potasyum klorür) içeren sulu çözeltide (3.27gr CrCl_3 + 15.6gr KCl + 250ml distile su) gerçekleştirilmiştir (Resim 4).



Resim 4: Elektroliz ile krom kaplama uygulaması.

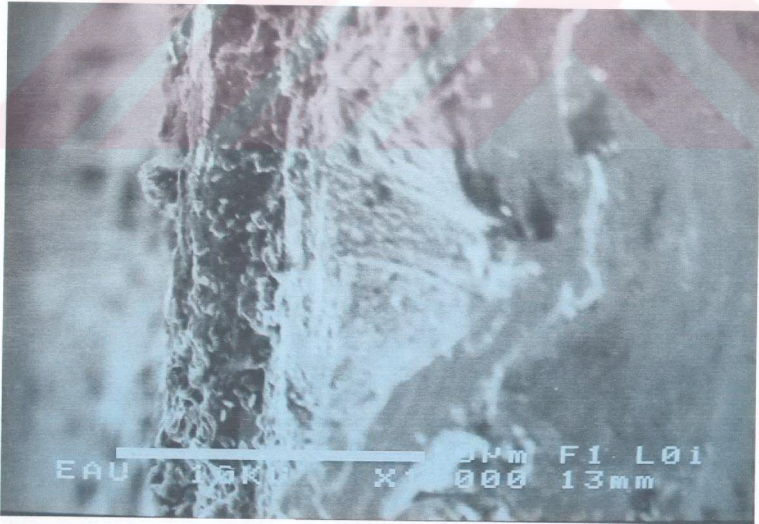
-Kalay kaplama ise; 0.1 Molar SnCl_2 (Kalay 2 klorür) ve %37'lik HCl (hidroklorik) asit çözeltisinde (4.4gr SnCl_2 + 15ml HCl + 250ml distile su) gerçekleştirilmiştir (Resim 5).



Resim 5: Elektroliz ile kalay kaplama uygulaması.

Kaplama oluşturacak en uygun potansiyel değerini tespit etmek için döntüşümlü voltametri tekniğinden yararlanılmıştır. Krom çözeltisi için; +1000/-1500mV potansiyelleri arasında voltamogram alındığında, yaklaşık -1350mV'da Cr^{+3} 'ün Cr^{0} 'a, kalay çözeltisi için ise -200/-1000mV potansiyel arasında voltamogram alındığında yaklaşık -800mV'da Sn^{+2} 'nin Sn^{0} 'a indirgenmesine karşılık gelen bir pik elde edilmiştir. Bu piklerden yararlanılarak krom kaplama solüsyonuna; -1300mV ve kalay kaplama solüsyonuna ise; -800mV potansiyel uygulanmıştır.

Krom kaplama yapılan örnekler 8 dakika, kalay kaplama yapılan örnekler ise 1 dakika süre ile elektroliz işlemine tabi tutulmuş ve 2μ kalınlığında kaplama tabakası oluşturulmuştur. Oluşturulan kaplama tabakasının kalınlığı, SEM (Scanning Electron Microscope) kullanılarak ölçülmüştür (Resim 6).



Resim 6: Elektrolitik kaplama tabakasının SEM görüntüsü.

Krom ve kalay kaplama yapılan örnekler, elektrolitik kaplama sonrası distile su ile yıkanmış ve kontaminasyondan korumak amacı ile kapalı kaplar içerisine yerleştirilmişlerdir. Elektrolitik kaplama yapılan örnekler aynı gün içerisinde oksidasyon işlemine tabi tutulmuş ve porselen uygulamaları yapılmıştır.

Oksidasyon Uygulaması:

Kaplama uygulanan ve kaplama uygulanmayan bütün örneklerin oksidasyon işlemleri; 300°C'lik sabit ısıdan başlayarak 3 dakikada 600°C'ye ulaşan ısıda 1.5 dakika bekletildikten sonra;

-2.5 dakikada 850°C'ye,

-3.5 dakikada 950°C'ye,

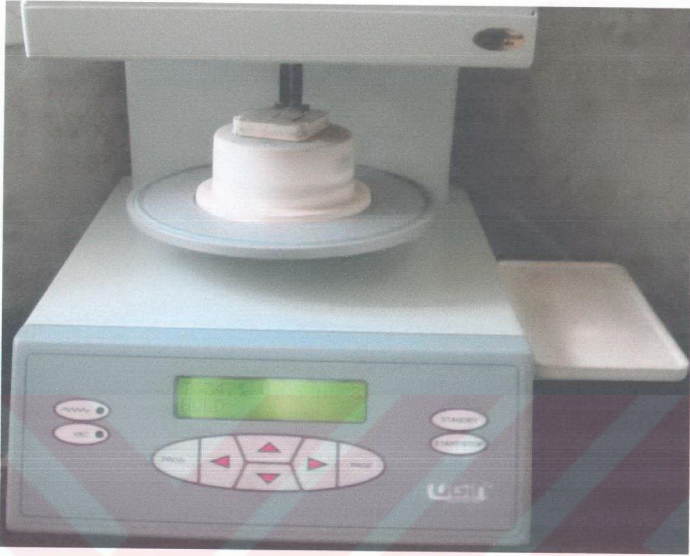
-4.5 dakikada 1050°C'ye ulaşan ısılarda 1.5 dakika vakum altında bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

Oksidasyon uygulamaları ile opak ve dentin porselen tabakalarının pişirme işlemleri, 100 programlı, elektronik ekranlı, dijital kullanımlı porselen fırını (Ellipse, Ugin Dentaire, France) kullanılarak yapılmıştır (Resim 7).

Porselen Uygulaması:

Örneklerin orta bölgeleri üzerine 8mm x 5mm boyutlarında ve 1mm kalınlığında porselen uygulaması yapılmıştır (Resim 8).

Porselen (Ceramco, Burlington NJ, Weybrite, USA), üretici firma önerilerine uygun olarak opaker (1. opaker; 970°C, 2. opaker; 960°C'de) ve dentin (940°C'de) olmak üzere iki tabaka halinde uygulanmış ve pişirilmiştir. Araştırmada kullanılan örnekler glazür uygulanmamıştır.



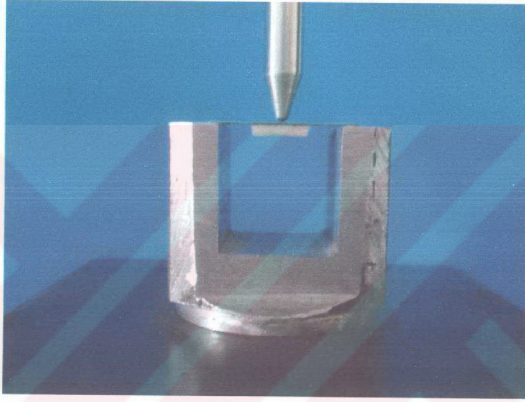
Resim 7: Porselen ve oksidasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği porselen fırını (Ellipse, Ugin Dentaire, France).



Resim 8: Porselen uygulaması yapılmış örnekler.

Örneklerin Test Edilmesi:

Örneklerin metal-porselen bağlantı dirençleri, ADA'nın Dental Malzemeler ve Aletler için önerdiği⁵⁶ Üç-Nokta Bükme mekanizması kullanılarak 5 mm/dk başlık yükleme hızında (Resim 9), Hounsfield test cihazında (Hounsfield Test Equipment Company, HTE 37 Fullerton Road, Croydon, England) ölçülmüştür (Resim 10).



Resim 9: Örneklerin üç-nokta bükme mekanizması kullanılarak test edilmesi.



Resim 10: Hounsfield test cihazı.

Kuvvet yüklemesi, örneklerin metal-porselen ara yüzeyinde adeziv ve/veya koheziv bir başarısızlık oluşuncaya kadar (porselen metalden tamamen ayrılncaya kadar) sürdürülmüştür. Başarısızlığı oluşturan maksimum kuvvet değeri Newton olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki formül⁵⁷ ile MPa'la çevrilmiştir;

$$\text{Kuvvet (MPa)} = \frac{\text{Yükleme Kuvveti (N)}}{\text{Uygulama Yüzey Alanı (mm}^2\text{)}}$$

Verilerin İstatistiksel Analizi:

Elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirmesi, SPSS 10.0 paket programında, çok yönlü varyans analizi ve çoklu karşılaştırmalar için Duncan testi kullanılarak yapılmıştır.⁵⁸

BULGULAR

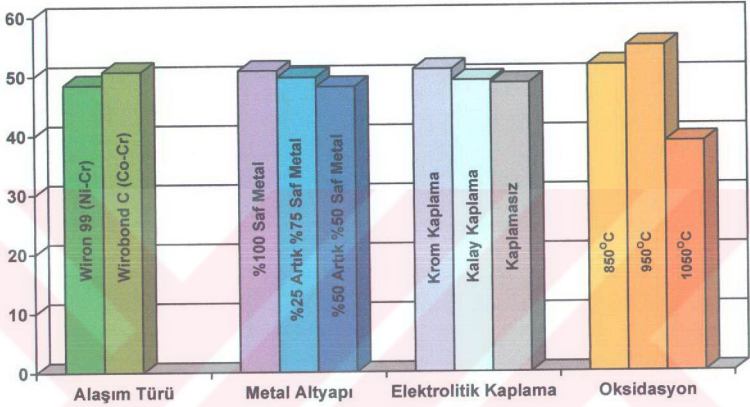
Araştırma kapsamında incelenen örneklerden elde edilen verilerin alaşım türü, metal alt yapı, elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısıları açısından ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11: Elde edilen verilerin alaşım türü, metal alt yapı, elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısıları açısından ortalama ve standart sapma değerleri.

Varyasyon Kaynağı		Ortalama (MPa)	Standart Sapma	Örnek Sayısı
Alaşım Türü	Ni-Cr Alaşımı (Wiron99)	48.53	12.15	270
	Cr-Co Alaşımı (Wirobond C)	50.77	14.32	270
Metal Alt yapı Çeşidi	Saf Metal	50.88	12.69	180
	%25 Artık %75 Saf Metal	49.76	13.37	180
	%50 Artık %50 Saf Metal	48.18	13.74	180
Elektrolitik Kaplama	Krom Kaplama	51.06	14.16	180
	Kalay Kaplama	49.17	14.19	180
	Kaplamasız	48.70	11.63	180
Oksidasyon Isısı	850°C	51.69	11.34	180
	950°C	54.89	13.34	180
	1050°C	38.76	9.38	180

Tablo 11’de görüldüğü gibi; en yüksek metal-porselen bağlantı direnci alaşım türüne göre Cr-Co (Wirobond C) metal alaşımından hazırlanan örneklerde (50.77 MPa), metal alt yapı çeşidine göre saf metal içeren örneklerde (50.88 MPa), elektrolitik kaplama çeşidine göre krom kaplama yapılan örneklerde (51.06 MPa) ve oksidasyon

ısisına göre değerdendirildiğinde ise 950°C'de okside edilen örneklerde (54.89 MPa) elde edilmiştir. Alaşım türü, metal altyapı, elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısıları açısından elde edilen değerdelerin dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Elde edilen verilerin alaşım türü, metal altyapı, elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısıları açısından dağılımlarını bir arada gösteren grafik.

İncelenen faktörlerden elde edilen verilerin değerdendirilmesinde kullanılan varyans analizi sonuçları Tablo 12'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; metal alaşımının türünün, metal alt yapı çeşidinin ve elektrolitik kaplamanın önemli olmadığı, farklı oksidasyon ısı uygulamasının ve elektrolitik kaplama-oksidasyon ısıları arasındaki etkileşiminin çok çok önemli ($p<0.001$), alaşım türü-oksidasyon ısıları arasındaki etkileşiminin çok önemli ($p<0.01$), alaşım türü-elektrolitik kaplama-oksidasyon ısıları arasındaki etkileşiminin ise önemli ($p<0.05$) olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

Tablo 12: Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde kullanılan varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Alaşım Türü	1	327.952	327.952	2.656	.104
Metal Altyapı	2	277.134	138.567	1.122	.327
Elektrolitik Kaplama	2	170.126	85.063	0.689	.503
Oksidasyon	2	14382.357	7191.179	58.247	.000***
Alaşım Türü x Metal Altyapı	2	522.939	261.469	2.118	.122
Alaşım Türü x Kaplama	2	59.844	29.922	0.242	.785
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama	4	483.315	120.829	0.979	.419
Alaşım Türü x Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama	4	68.585	17.146	0.139	.968
Alaşım Türü x Oksidasyon Isısı	2	1507.761	753.881	6.106	.002**
Metal Altyapı x Oksidasyon Isısı	4	836.049	209.012	1.693	.151
Alaşım Türü x Metal Altyapı x Oksidasyon Isısı	4	327.794	81.948	0.664	.618
Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	4	2603.139	650.785	5.271	.000***
Alaşım Türü x Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	4	1383.694	345.923	2.802	.026*
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	8	744.435	93.054	0.754	.644
Alaşım Türü x Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	8	1227.651	153.456	1.243	.273
Hata	337	41606.151	123.460		
Toplam	540	1032500.0			

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Farklı oksidasyon ısı uygulamasından kaynaklanan istatistiksel önemin kaynağını tespit etmek amacı ile yapılan çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları değerlendirildiğinde; en düşük bağlantı direncinin 1050°C'de oksidasyon uygulaması yapılan örneklerde olduğu, 850°C ve 950°C'de elde edilen bağlantı direnci ortalamalarının ise 1050°C'de elde edilenden yüksek ve birbirine benzer olduğu istatistiksel olarak saptanmıştır (Tablo 13).

Tablo 13: Ni-Cr ve Cr-Co metal alaşımlarından hazırlanan örneklerde oksidasyon ısı uygulamasına ait çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları.

Oksidasyon Isısı	Ortalama*
1050°C	39.07 ^a
850°C	51.90 ^b
950°C	54.47 ^b

*Bir ana faktörde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir a,b; $p < 0.01$

Tablo 14: Ni-Cr metal alaşımından hazırlanan örneklerle ait ortalama ve standart sapma değerleri (N=10).

Metal Altyapı	Elektrolitik Kaplama	Oksidasyon Isısı	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Saf Metal	Krom Kaplama	850°C	58.00	8.43
		950°C	61.66	9.91
		1050°C	39.00	8.90
	Kalay Kaplama	850°C	53.33	20.66
		950°C	60.00	11.55
		1050°C	42.50	12.58
	Kaplamaşız	850°C	49.00	10.00
		950°C	55.00	12.25
		1050°C	40.00	8.94
%25 Artık %75 Saf Metal	Krom Kaplama	850°C	51.00	3.16
		950°C	53.33	10.33
		1050°C	40.00	12.25
	Kalay Kaplama	850°C	53.75	9.16
		950°C	54.44	7.56
		1050°C	40.00	12.58
	Kaplamaşız	850°C	45.00	11.30
		950°C	46.25	11.88
		1050°C	42.50	8.94
%50 Artık %50 Saf Metal	Krom Kaplama	850°C	46.00	6.32
		950°C	48.75	7.53
		1050°C	42.00	15.00
	Kalay Kaplama	850°C	40.00	11.55
		950°C	56.66	10.33
		1050°C	42.50	13.89
	Kaplamaşız	850°C	43.33	9.94
		950°C	46.66	13.54
		1050°C	32.50	4.47

Ni-Cr metal alaşıımından hazırlanan örneklerden elde edilen sonuçlara ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 14'de gösterilmiştir. Bulgular değerlendirildiğinde; en yüksek bağlantı direncinin krom kaplama uygulanan, 950°C'de okside edilen saf metal içeren altyapılı örneklerde (61.66 MPa), en düşük bağlantı direncinin ise kaplama yapılmayan, 1050°C'de okside edilen %50 artık metal içeren altyapılı örneklerde (32.50 MPa) olduğu görülmüştür.

Ni-Cr metal alaşıımından hazırlanan örneklerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacı ile yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 15'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; metal altyapı çeşidinin önemli ($p < 0.05$), oksidasyon ısısının ise çok çok önemli olduğu ($p < 0.001$), elektrolitik kaplama ve interaksiyonların ise önemli olmadığı istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

Tablo 15: Ni-Cr metal alaşıımından hazırlanan örneklere ait varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Metal Altyapı	2	800.953	400.477	3.279	.040*
Elektrolitik Kaplama	2	189.452	94.726	.775	.462
Oksidasyon Isısı	2	3633.980	1816.990	14.875	.000***
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama	4	184.287	46.072	.377	.825
Metal Altyapı x Oksidasyon Isısı	4	875.717	218.929	1.792	.133
Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	4	861.766	215.442	1.764	.138
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	8	1163.415	145.427	1.191	.307
Hata	171	20888.056	122.152		
Toplam	270	495500.00			

*** $p < 0.001$, * $p < 0.05$,

İstatistiksel önemlerin nereden kaynaklandığını tespit etmek amacı ile yapılan çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları değerlendirildiğinde; metal alt yapı çeşidi açısından, en düşük bağlantı direnci ortalamasının %50 artık metal içeren örneklerde, en yüksek bağlantı direnci ortalamasının saf metal içeren örneklerde olduğu, %25 artık metal içeren örneklerin ise bu gruptaki ortalamalara benzer değerler gösterdiği, oksidasyon ısıları açısından en düşük bağlantı direncinin 1050°C'de oksidasyona tabi tutulan örneklerde elde edildiği, 850°C ve 950°C'de elde edilen bağlantı direnci ortalamalarının ise 1050°C'de elde edilenden yüksek ve birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir (Tablo 16).

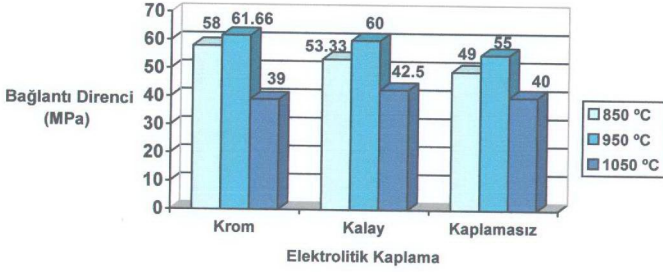
Tablo 16: Ni-Cr metal alaşımından hazırlanan örneklerle ait çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı		Ortalama	
Metal Altyapı*	%50 Artık %50 Saf Metal	45.31 ^a	
	%25 Artık %75 Saf Metal Saf Metal	48.28 ^{a,b}	48.28 ^{b,a} 51.71 ^b
Oksidasyon Isısı**	1050°C	41.04 ^a	
	850°C		50.90 ^b
	950°C		50.97 ^b

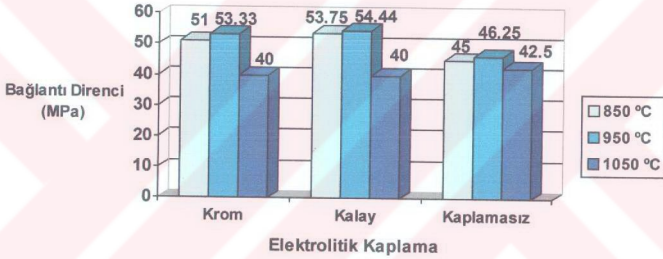
*Bir ana faktörde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir a,b; p<0.05

**a,b; p<0.001

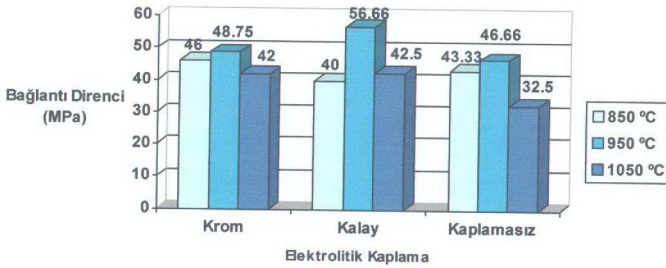
Ni-Cr metal alaşımından hazırlanan örneklerde elde edilen sonuçlar için; farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki saf metal içeren örneklerde Şekil 2'de, %25 artık metal içeren örneklerde Şekil 3'de ve %50 artık metal içeren örneklerde Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Saf metalden hazırlanan Ni-Cr örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.



Şekil 3: %25 artık %75 saf metalden hazırlanan Ni-Cr örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.



Şekil 4: %50 artık %50 saf metalden hazırlanan Ni-Cr örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.

Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklerden elde edilen sonuçlara ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 17'de gösterilmiştir. Bulgular değerlendirildiğinde; en yüksek bağlantı direncinin krom kaplama uygulanan, 950°C'de okside edilen saf metal içeren altyapılı örneklerde (72.22 MPa), en dūřuk bağlantı direncinin ise kaplama uygulanmayan, 1050°C'de okside edilen, %50 artık metal içeren altyapılı örneklerde (32.50 MPa) olduğu saptanmıştır.

Tablo 17: Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklere ait ortalama ve standart sapma değerleri (N=10).

Metal Altyapı	Elektrolitik Kaplama	Oksidasyon Isısı	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Saf Metal	Krom Kaplama	850°C	47.77	13.02
		950°C	72.22	14.81
		1050°C	34.00	8.94
	Kalay Kaplama	850°C	50.00	16.73
		950°C	56.25	14.08
		1050°C	42.00	10.95
	Kaplamasız	850°C	59.00	7.87
		950°C	57.50	11.01
		1050°C	36.66	8.94
%75 Saf %25 Artık Metal	Krom Kaplama	850°C	49.00	13.64
		950°C	63.33	12.52
		1050°C	35.00	4.47
	Kalay Kaplama	850°C	52.00	17.32
		950°C	56.25	12.82
		1050°C	40.00	5.16
	Kaplamasız	850°C	55.71	8.86
		950°C	49.00	8.76
		1050°C	40.00	6.32
%50 Saf %50 Artık Metal	Krom Kaplama	850°C	48.88	11.01
		950°C	63.00	12.11
		1050°C	38.00	5.77
	Kalay Kaplama	850°C	57.50	10.61
		950°C	60.00	13.04
		1050°C	37.50	10.35
	Kaplamasız	850°C	52.50	11.01
		950°C	51.00	8.86
		1050°C	32.50	5.00

Cr-Co metal alaşımdan hazırlanan örneklerde elde edilen bağlantı direnci verilerinin değerlendirilmesi amacı ile yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 18'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; metal alt yapı çeşidinin ve elektrolitik kaplamanın önemli olmadığı, oksidasyon ısısının ve elektrolitik kaplama-oksidasyon ısısı arasındaki interaksiyonun çok çok önemli olduğu ($p < 0.001$) istatistiksel olarak saptanmıştır.

Tablo 18: Cr-Co metal alaşımdan hazırlanan örneklerle ait varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Metal Altyapı	2	20.435	10.217	.082	.921
Elektrolitik Kaplama	2	39.835	19.917	.160	.853
Oksidasyon Isısı	2	12206.281	6103.141	48.900	.000***
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama	4	363.837	90.959	.729	.573
Metal Altyapı x Oksidasyon Isısı	4	343.263	85.816	.688	.602
Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	4	3255.746	813.936	6.522	.000***
Metal Altyapı x Elektrolitik Kaplama x Oksidasyon Isısı	8	840.882	105.110	.842	.567
Hata	166	20718.095	124.808		
Toplam	270	537000.00			

*** $p < 0.001$

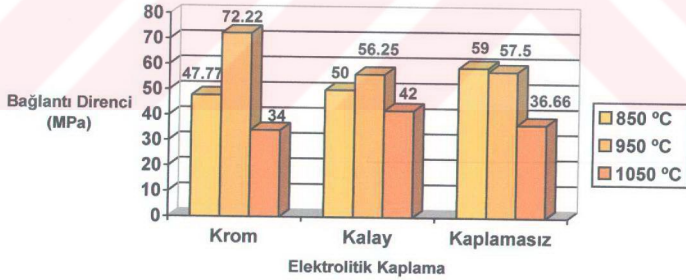
İstatistiksel önemlerin nereden kaynaklandığını tespit etmek amacı ile yapılan çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları değerlendirildiğinde; en düşük bağlantı direnci ortalamasının 1050°C 'de, en yüksek ortalamanın ise 950°C 'de oksidasyon uygulaması ile elde edildiği ve her üç ısıda elde edilen ortalamaların birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 19).

Tablo 19: Cr-Co metal alaşımdan hazırlanan örneklerle ait çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları.

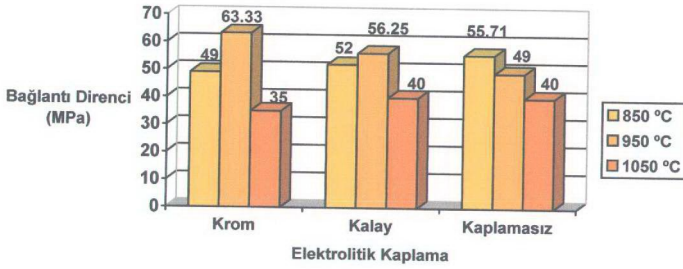
Oksidasyon Isısı	Ortalama*
1050°C	37.14 ^a
850°C	52.93 ^b
950°C	58.11 ^c

*Bir ana faktörde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir a,b; $p < 0.001$

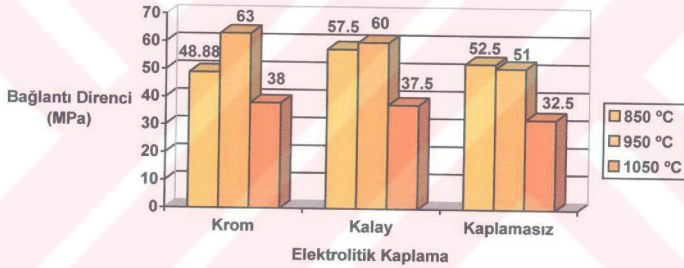
Cr-Co alaşım örneklerden elde edilen sonuçlar için, saf metal içeren örneklerin farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması açısından aralarındaki ilişki Şekil 5’de, %25 artık metal içeren örneklerin Şekil 6’da ve %50 artık metal içeren örneklerin ise Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 5: Saf metalden hazırlanan Cr-Co örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.



Şekil 6: %25 artık %75 saf metalden hazırlanan Cr-Co örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.



Şekil 7: %50 artık %50 saf metalden hazırlanan Cr-Co örneklerde farklı elektrolitik kaplama ve oksidasyon ısı uygulaması ile metal-porselen bağlantı direnci arasındaki ilişki.

TARTIŞMA

Metal-porselen çalışmalarında araştırmacıların üzerinde durduğu önemli noktalardan biri, porselen kitlesinin altyapı olarak kullanılan metalle iyi bir bağlantı oluşturmasıdır. Bu, metal-porselen çalışmalarında uzun süreli başarı elde edebilmenin ilk şartlarından biridir.⁵⁹⁻⁶¹

Kıymetli metal alaşımları kullanıldığında başarılı metal-porselen restorasyonlar elde edilmektedir. Ancak altın ve diğer değerli metallerin fiyatlarındaki aşırı artışlar, porselen restorasyonlarda altyapı materyali olarak kıymetsiz metal alaşımlarının kullanımlarının artmasına,⁵ kıymetli metal alaşımlarının kullanımlarının ise neredeyse bırakılmasına⁴⁰ yol açmıştır. Ekonomik nedenlerle artan kıymetsiz metal alaşımı kullanımı beraberinde bir takım problemler getirmiştir. Potansiyel biyolojik zararları, laboratuvar uygulamalarının zorluğu, fırınlama esnasında kontrol edilemeyen ve düşük bağlantı dayanıklılığına neden olan oksit oluşumu kıymetsiz metal alaşımlarının istenmeyen özellikleri⁶² olmasına karşın, ekonomik avantajlarına ek olarak deformasyona dirençli ve rijit olmaları gibi özellikleri nedeniyle, çok üyeli uzun köprülerde veya metal tasarımının ince olmasını gerektiren durumlarda geniş uygulama alanı bulurlar.^{33,63}

Çalışmada elde edilen veriler kullanılan kıymetsiz metal alaşımları dikkate alınarak değerlendirildiğinde; en yüksek metal-porselen bağlantı direnci (50.77 MPa) Cr-Co metal alaşımından (Wirobond C) hazırlanan örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 11).

Cr-Co metal alaşımları Ni-Cr ve kıymetli metal alaşımlarından daha güçlü ve serttir. Aynı zamanda Ni-Cr alaşımlarıyla aynı densite ve döküm ısıasına sahiptirler.² Kobalt, nikelden daha fazla alaşımın direncini, sertliğini ve elastiklik modülünü artırır.¹⁹

Cr-Co sistemlerinin elastiklik modülü, seramik alaşım sistemleri içerisinde en yüksek olanıdır.¹⁶ Elastiklik modülü rijitliğin, sertliğin bir ölçüsüdür.²⁸ Bükülme testinde, yüksek elastiklik modülüne sahip alaşımlar bükülmeye karşı daha yüksek direnç göstermektedir.⁴⁶ Bu araştırmada en yüksek metal-porselen bağlantı direncinin Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklerde elde edilmiş olması, Cr-Co metal alaşımlarının yukarıda sayılan özelliklerine bağlı olabilir.

Mc Lean,^{6,12} Moffa ve arkadaşları⁶⁴ metal porselen çalışmalarında Ni-Cr alaşımlarının yaygın olarak kullanıldığını, Cr-Co alaşımlarının ise tercih edilmediğini ifade etmişlerdir. Huget ve arkadaşları⁶⁵ da kıymetsiz metal alaşımlarından Ni-Cr alaşımlarının porselene daha iyi bağlanabilmeleri ve fiziksel özellikleri nedeniyle tercih edildiklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte Tuccilo ve Nielsen⁶⁶ yarı soy ve soy olmayan hiçbir alaşım sisteminin ihtiyaçları tam olarak karşılayamadığını belirtmişlerdir.

Baydemir ve arkadaşları⁶⁷ yaptıkları çalışma sonucunda, Cr-Co metal alaşımlarının porselene bağlantı değerlerinin, Ni-Cr metal alaşımlarının bağlantı değerlerinden fazla olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmada elde edilen bulgular Baydemir ve arkadaşlarının⁶⁷ bulguları ile uyum göstermektedir.

Bezzon ve arkadaşları,⁶⁸ üç berilyum içeren, bir berilyum içermeyen Ni-Cr metal alaşımlarını kullanarak yaptıkları çalışmada, berilyum içeren alaşımların dökülebilirliğinin ve metal-porselen bağlantı direncinin berilyum içermeyen alaşımdan daha fazla olduğunu, berilyumun farklı miktarlarda bileşimde bulunmasının bağlantı direnci açısından önemli olmadığını istatistiksel olarak tespit etmişlerdir. Yine Bezzon ve arkadaşları,⁶⁹ 2001 yılında, berilyum içeren ve içermeyen Ni-Cr metal alaşımlarında metal-porselen bağlantısına, dökülebilirlik ve sertliğin etkisini incelemişler, kullanılan

alaşımların farklı oranlarda dökülebilirlik ve sertlik değerleri göstermelerine karşın, bağlantı direnci açısından farklılık göstermediklerini ifade etmişlerdir.

O'Connor ve arkadaşları,⁷⁰ kıymetsiz metal alaşımlarının kıymetli metal alaşımlarından, berilyum içeren alaşımların içermeyenlerden daha iyi dökülebilirlik gösterdiğini gözlemlemişler, berilyum içeren Ni-Cr metal alaşımlarının metal-porselen bağlantı direncinin içermeyenlerden daha fazla olduğunu saptamışlardır.

Bu araştırmada Ni-Cr metal alaşımından (Wiron 99) hazırlanan örneklerin Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklere oranla daha düşük bağlantı direnci gösterdiği tespit edilmiş olup, bu sonuç yukarıdaki araştırmacıların bulguları dikkate alınarak değerlendirildiğinde kullanılan Ni-Cr metal alaşımının berilyum içermemesine bağlanabilir.

Metal porselen ara yüzeyindeki bağlantının ölçülmesi oldukça zordur ve halen uluslararası düzeyde kabul edilebilir ideal bir test yöntemi yoktur.⁶³ Bu tür çalışmalarda çeşitli test yöntemleri kullanılmıştır.^{62,71,72} Makaslama bağlantı direnci test yöntemi, ilk olarak Shell ve Nilsen⁷¹ tarafından geliştirilmiştir. Atsü ve Berksun⁶² çalışmalarında DIN 13927 spesifikasyonuna uygun bir test yöntemini tercih etmişlerdir. Bu çalışmada ADA'nın dental malzemeler ve aletler için önerdiği⁵⁶ üç-nokta bükme testi kullanılmıştır.

Metal-porselen sistemlerinin pek çoğunda kırıcı stres 25 MPa'lı aştığında uygun bir bağlantının oluştuğu kabul edilir. Bazı sistemlerde ise 40 ile 60 MPa bağlantı değeri yaygındır.² Metal-porselen bağlantısı için makaslama bağlantı direnci, kıymetsiz metal alaşımlarında kıymetli metal alaşımlarına oranla daha düşük olmakla birlikte,⁷³ yaklaşık olarak 90 MPa bulunmuş⁷⁰ ve itme makaslama test sonuçlarıyla elde edilen değerlerin çekme test sonuçlarıyla elde edilenlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.^{74,75}

Kıymetli metal alaşımlarında oluşan bağlantı başarısızlığı, genellikle porselen yapısı içerisinde koheziv tarzda, baz metal alaşımlarında ise metal-porselen ara yüzeyinde adeziv tarzdadır.⁷⁶ Metal-porselen bağlantısında koheziv bir başarısızlığın oluşabilmesi için direncin 28 MPa'lı aşması gerekir.¹⁷ Metal altyapılara bağlanmak üzere kullanılan porselenlerin gerilme direncinin 35 MPa, sıkışma direncinin 860 MPa, makaslama direncinin 120 MPa ve bükülme direncinin ise 60 MPa olduğu bilinmektedir.²

Metal-porselen bağlantısında yüzey işlemlerinin rolü oldukça önemlidir.^{24,25} Porselen uygulaması öncesinde yapılan metal yüzey işlemleri metal ile porselen arasındaki bağlantının artırılmasını sağlamaya yöneliktir. Bu yüzey işlemleri; yüzeyin bitirilmesi, yüzeyin temizlenmesi ve bir metal kaplama veya degassing (artık gazların uzaklaştırılması) uygulaması ile metal yüzeyinin hazırlanması olarak sıralanabilir.^{37,77,78}

Metal yüzeyinin bitirilmesine ve yüzeyin temizlenmesine yönelik olarak değişik büyüklükteki alüminyum oksit grenleri ile kumlama işlemi oldukça sık kullanılmaktadır.^{12,19,57} Alaşımın yüzeyinin kumlanması yüzeyin temizlenmesinin yanı sıra pürüzlendirilmesini sağlar. Bu işlem, porselen bağlantısı için yüzey alanının artmasına ve aynı zamanda mekanik bağlanmanın oluşmasına yardımcı olur.^{11,12} Benzer şekilde, yüzeyin mekanik olarak işlenerek (grinding) pürüzlendirilmesi de aynı etkiyi sağlayacaktır.^{46,57} Yüzey pürüzlülüğü, kıymetsiz alaşımların bağlantı direncinde büyük farklılıklar oluşturan ortak bir faktördür.⁴⁷ Alaşımın yüzeyinin asitlenmesiyle de yüzey pürüzlülüğü oluşturulabilir.^{79,80} Ancak hidroflorik asit uygulaması altın içermeyen alaşımlar için önerilmemektedir.³⁷ Hidroflorik asit porselen ve camı eritir, aynı zamanda baz metal alaşımlarını korozyona uğratar ve deri ile temas ettiğinde ciddi yanıklara neden olabilir.¹⁸ Bu çalışmada kullanılan metal altyapıların her biri, döküm sonrası artıkların temizlenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün oluşturulması amacıyla 30 sn süreyle

90µ gren çaplı alüminyum oksit tozları kullanılarak kumlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Bir dökümün temizlenmesine yönelik olarak önerilen metodlar alaşımın kompozisyonuna göre değişiklikler gösterir. Metal dökümün temizlenmesi amacıyla kullanılan teknikler; kimyasal solüsyonlar, ultrasonik temizleme uygulaması, buharla temizleme, döner enstrümanlar ve kumlama olarak sıralanabilir.^{11,81} Bu temizleme yöntemleri avantajlı yanlarına karşılık değişik dezavantajlar içerirler. Kimyasal solüsyonlar baz metal alaşımlarını korozyona uğrattır veya matlaştırır, ultrasonik temizleme ile organik veya hidrokarbon tabakalar uzaklaştırılmaz. Buharla temizleme işlemi yapıldığında yüzey yeniden kirlenebilir, bu durum kontamine bir alaşım oluşmasına sebep olabilir.⁸¹ Özellikle saf metaller ile karıştırılacak olan artık metaller mükemmel olarak temizlenmelidir.⁸² Sıkı bir bağlantının oluşması için kontaminasyonu en aza indiren temizlik uygulamasının yapılması son derece önemlidir.⁸³ Bu araştırmada kumlama işleminden sonra örnekler, metal yüzeylerinin temizlenmesi ve yüzey üzerindeki fazla alüminyum oksit tozlarının uzaklaştırılması amacıyla ultrasonik temizleme cihazında distile su içerisinde 5 dakika süreyle temizlenmişlerdir.

Yapılan araştırmalar, metal-porselen bağlantı direncinin yüzey işlemlerinin kombine edilerek uygulanmasıyla daha fazla geliştirilebildiğini göstermektedir.^{37,38,57,84}

Bu çalışmada elde edilen veriler metal altyapı çeşidi açısından değerlendirildiğinde; en yüksek metal-porselen bağlantı direncinin saf metal içeren altyapılı örneklerde (50.88 MPa) olduğu tespit edilmiş olup, alaşımların yapılarına ilave edilen artık metal oranı arttıkça metal-porselen bağlantı direncinin azaldığı gözlenmiştir (Tablo 11).

Artık metal ile yeni metalin karıştırılarak kullanılmasının veya artık metalin tekrar dökülmesinin kıymetsiz metal alaşımlarının çeşitli özellikleri üzerine etkileri ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.^{9,40,42,62,83,85-88}

Presswood⁸⁶ yapmış olduğu çalışmada, Ni-Cr-Be içeren metal alaşımından döküm örnekler hazırlamış, geriye kalan döküm konilerini kullanarak beş kez daha döküm prosedürünü tekrarlamış, eritme işlemini metan gazı ve oksijen karışımı şalome kullanarak gerçekleştirmiştir. Döküm örneklerini 900°C'de 720 mm-Hg'da 90 sn okside etmiş, alaşımın bileşimindeki farklılıkları renk ve yüzey yapısındaki değişikliklere göre değerlendirmiş, sekiz örneği ise atomik absorpsiyon yöntemi ile analiz etmiştir. Sonuçta, alaşımın stabil olduğunu, döküm için altı kez tekrar eritilebileceğini ve tekrar dökümlerin her birinin orijinal alaşımın yapısıyla aynı olduğunu saptamıştır.

Hesby ve arkadaşları,⁴⁰ Cr-Co metal alaşımını kullanarak dört kez tekrar döküm yapmışlar, tekrar dökümün alaşımın gerilme direnci, uzama yüzdesi ve sertlik değerleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Tekrar dökümün, bu fiziksel özelliklerde istatistiksel olarak farka yol açacak bir değişim oluşturmadığını saptamışlardır. Tekrar dökümlerden sonra oluşan gerilme direncinin ADA limitlerinin altında, uzama yüzdesinin ise üzerinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Nelson ve arkadaşları,⁸³ Ni-Cr metal alaşımını kullanarak %100 yeni ve %50 artık-%50 yeni alaşım karışımı örneklerin, on jenerasyon tekrar dökümlerinin fiziksel özelliklerdeki değişikliklere olan etkilerini incelemişler, kombine olarak kullanılan alaşımda dikkate değer fiziksel, mikro yapısal ve klinik bir değişim bulunmadığını tespit etmişler, alaşımların mevcut maliyetleri dikkate alındığında artık metal kullanımının zaman ve maliyeti çok fazla azaltmayacağını ifade etmişlerdir.

Rasmussen ve Doukoudakis⁸² çalışmalarında, altın-palladyum alaşımından elde ettikleri %100 yeni, %50, %75, %85 ve %100 artık metal içeren örneklerde metal-porselen bağlantısını değerlendirmişlerdir. %50 oranında artık metal kullanıldığında bağlantının güvenli sınırlarda olduğunu, %75 artık metal içeren grup içinde benzer bir durum söz konusuysa, %85 ve daha fazla oranda artık metal içeren grupta ise bağlantıda ciddi değişiklikler oluştuğunu tespit etmişlerdir. Artık metalden elde edilen örneklerin SEM analizlerinde, tüm örneklerde yarım küre şeklinde boşluklar saptamışlar, bir restorasyonun direncini ciddi şekilde etkileyen en önemli defekt olan yassı boşlukların ise yalnızca %85 ve daha fazla artık metal içeren alaşımlarda olduğunu belirtmişlerdir.

Bu araştırmalardan elde edilen bulguların aksine, bir nikel-krom alaşımının klinik karakteristikleri ve fiziksel özellikleri üzerine tekrar dökümün etkilerini belirlemek amacıyla Nelson ve arkadaşları⁸³ tarafından yapılan çalışmada, artık metal ile yeni metal %50 oranında karıştırılarak kullanılmış, hazırlanan dökümlere sertlik testi uygulanmış, elde edilen değerlerin Ni-Cr alaşımı için hesaplanan minimum spesifikasyonu aştığı tespit edilmiştir.

Berksun,⁸⁹ tekrarlanan dökümlerin ısısal uyumu değiştirdiğini buna bağlı olarak da bağlantının zayıfladığını ifade etmiştir.

Akyalçın⁹⁰ yapmış olduğu çalışmada, Cr-Co ve Ni-Cr metal alaşımlarından, şalome ve indüksiyon yöntemiyle döküm örnekler hazırlamış, saf ve artık metal içeren örneklerin sertlik ve korozyon dirençlerini karşılaştırmış, alaşıma %50 oranında artık metal ilave edilmesinin veya tamamen artık metal kullanılmasının Ni-Cr metal alaşımında sertlik değerini artırdığını, Cr-Co metal alaşımında ise azalttığını,

alaşımların şalome ile eritilmelerinin sertlik değerini artırdığını saptamış, Cr-Co metal alaşımının korozyona Ni-Cr metal alaşımdan daha dirençli olduğunu belirtmiştir.

Baydemir ve arkadaşları⁶⁷ Ni-Cr ve Cr-Co metal alaşımlarında metal-porselen bağlantı direncine tekrarlanan dökümlerin etkisini incelemek amacıyla çalışma yapmışlar, %100 yeni, %50 yeni-%50 artık ve %100 artık metal içeren üç deney grubu oluşturmuşlar, artık metal oranı arttıkça Cr-Co metal alaşımında sertlik değerinin ve çekme dayanımının arttığını, Ni-Cr metal alaşımında ise değişmediğini, en yüksek metal-porselen bağlantı direnci değerlerinin Cr-Co metal alaşımdan hazırlanan örneklerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Artık metal kullanımının, alaşımların sertlik değerlerini artırdığını bildiren başka araştırmalar da mevcuttur.^{9,88} Sertlik, metal destekli porselen restorasyonlar için önemli bir faktördür. Gerilme eğrisinin altındaki alanı gösteren sertlik, bir materyali kırmak için gerekli enerjidir.⁹¹ Sertlik değeri, alaşımın dökülmesi için indüksiyon yöntemi yerine şalome kullanıldığında da artış göstermektedir.^{9,88,90} Porselen fırınlama siklusu da sertlik değerinde artışa yol açmaktadır.^{76,77} Yapılan bu işlemler, yalnızca sertlik değerlerini değil alaşımın gerilme direnci ve uzama yüzdesi gibi diğer fiziksel özelliklerini de etkilemektedir.^{62,86}

Winkler ve arkadaşları,⁹² Ni-Cr metal alaşımdan hazırladıkları çubukları değişik ısı işlemlerine tabi tutmuşlar, ısı işleminin sertlik değeriyle birlikte uzama yüzdesi, elastiklik modülü ve gerilme direnci gibi özellikleri de değiştirdiğini saptamışlardır.

Harcourt⁴² Cr-Co metal alaşımını kullanarak yaptığı çalışmada, alaşımı oksijenasetilen karışımı gaz veren şalomeyle eritmiş, geriye kalan döküm konilerini ve tijleri tekrar eriterek yeni dökümler elde etmiş, örneklerin çekme dayanıklılığını, bükülme

dayanıklılığını, uzama yüzdesini, kimyasal bileşimini ve mikro yapılarını değerlendirmiştir. Tekrar eritme işleminin aşırı tekrarlanmasıyla alaşımın bileşiminde, fiziksel özelliklerinde ve yapısında değişikliklere yol açtığını tespit etmiş, artık alaşım kullanılması durumunda, ağırlıkça en az yarısı yeni-yarısı eski alaşım olacak şekilde karıştırmayı önermiştir. Bu çalışmada, artık metal oranı ayarlanırken literatürde önerilen maksimum değere^{6,42,87} uygun olarak en fazla %50 oranında ilave yapılmıştır.

Lewis⁹³ çalışmasında, indüksiyon, şalome ve rezistans eritme yöntemleriyle bir nikel esaslı alaşımı dökerek, alaşımın bileşiminde ortaya çıkan değişiklikleri incelemiş, alaşımın birkaç kere tekrar eritilmesinin çok sayıda elementin az ya da çok miktarda kaybına neden olduğunu, nikel miktarının şalome ile eritilen örneklerde artış gösterdiğini, diğer elementlerin ise döküm yöntemlerinden değişik oranlarda etkilendiğini tespit etmiştir.

Bu çalışmada en yüksek metal-porselen bağlantı direnci hem Ni-Cr metal alaşımından, hem de Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklerde saf metal içeren altyapılarda elde edilmiş olup, bu bulgu artık metal kullanımının, alaşımların değişik özelliklerini ve metal-porselen bağlantı direncini etkilediğini bildiren araştırma sonuçlarıyla uyum göstermektedir. %100 yeni metal alaşımı kullanılarak hazırlanan örneklerden %50 artık metal alaşımı kullanılarak hazırlanan örneklere doğru gidildikçe elde edilen metal-porselen bağlantı değerleri azalmaktadır. Bu durumun, metal alaşımının yapısındaki değişimin termal uyumu etkilemesine ve alaşımın fiziksel özelliklerini değiştirmesine bağlı olduğu düşünülebilir.⁶⁵

Bu çalışmada, Ni-Cr metal alaşımından hazırlanan örnekler için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; farklı metal altyapı kullanımının önemli ($p < 0.05$) olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir (Tablo 15). Yapılan çoklu karşılaştırma testi

(Duncan) sonucunda; en düşük bağlantı direnci ortalamasının %50 artık metal içeren örneklerde, en yüksek bağlantı direnci ortalamasının ise saf metal içeren örneklerde olduğu, %25 artık metal içeren örneklerin bu gruptaki ortalamalara benzer sonuçlar gösterdiği saptanmıştır (Tablo 16).

Bu çalışmada %25 ve %50 oranında artık metal ilave edilerek hazırlanan örneklerin hepsi kabul edilebilir en düşük metal-porselen bağlantı direnci olan 25 MPa değerini² aşmıştır. Ancak en yüksek bağlantı direnci her iki alaşımda da saf metal içeren örneklerde elde edilmiştir. Bu bulgular, metal-porselen restorasyonlar gibi oldukça hassas ve pahalı çalışmalarda hangi tür metal alaşımı tercih edilirse edilsin en uygun alt yapının tamamen saf metal kullanılarak hazırlanan alt yapı olacağını göstermiştir.

Elde edilen veriler kaplama uygulamaları açısından incelendiğinde; en yüksek metal-porselen bağlantı direncinin (51.06 MPa) krom kaplama uygulanan örneklerde olduğu görülmüştür (Tablo 11).

Çeşitli kaplama ajanları, porselen ile metal arasındaki bağlantıyı geliştirmeye yönelik olarak kullanılmakta ve bu kaplama ajanlarının bağlantı direncini artırdıkları bilinmektedir.^{5,49,94-98} Metal-porselen ara yüzeyinde uygun kalınlıkta ve yapıda bir oksit film tabakası oluşturmak için; elektrolitik olarak kalay ve krom kaplama,^{96,98} saçılma yöntemi (supputering) ile alüminyum, indiyum veya kalay oksit⁹⁹ veya altın kaplama⁹⁷ kullanılan yöntemlerdendir. Araştırmada metal-porselen bağlantı direncini artırmak amacıyla, örneklerin metal altyapılarına potansiyel kontrollü olarak, elektroliz yöntemi ile krom ve kalay kaplama uygulanmıştır.

Kıymetsiz metal alaşımlarında devamlı olarak oksit oluşmaktadır.^{6,17,20,34} Oluşan oksitin kontrol edilememesi bu alaşım sistemlerinin en önemli problemidir. Kaplama tekniği kullanıldığında oksit tabakasının kalınlığı kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.⁶

Porselen uygulanacak metal yüzeylerinin kaplanması amacı ile genellikle üç yöntem kullanılmaktadır; metal tozlarının özel likitlerle karıştırıldıktan sonra kaplanması istenen alaşımın üzerine sürülmesi ve ısıtma işlemi uygulanması, metal tozlarının ısıtma işlemi alaşımın yüzeyine püskürtülmesi ve elektroliz yöntemi ile kaplama.^{12,37,97}

Krom; yoğun bir birikim oluşturması, düşük oksijen emilimi ve ucuz olması gibi özellikleri nedeniyle özel uygulamalar için oldukça umut verici bir kaplama ajanıdır. İki temel ticari krom kaplama metodu mevcuttur. Birinci metod; saçılma yöntemidir (Sputtering) ve değişik materyaller üzerinde ince bir film tabakası oluşturmak amacı ile endüstride oldukça sık olarak kullanılmaktadır.⁹⁹ Bu yöntem; katı veya likit bir yüzeyden, enerji partiküllerinin bombardımanı ile oluşturulan momentum değişimi sonucu, metalik materyalin çıkartılarak başka bir yüzey üzerinde biriktirilmesi işlemidir.⁸⁴ Eşit kalınlıkta bir krom tabakası oluşması en önemli avantajıdır. Ancak ince bir tabaka oluşturabilmek için çok uzun süre beklenmesi ve çok karmaşık ekipmanlara ihtiyaç duyulması bu metodun dezavantajlarıdır. Daha yaygın olarak kullanılan ikinci metod; kromun elektro-depozisyonudur. Temel güç kaynağı olarak doğru akımın kullanıldığı, krom içeren solüsyondan kaplanacak yüzey üzerine krom iyonları biriktirilerek oluşturulan krom kaplama, 1900'li yılların başlarından bu güne kadar, endüstriyel, anti-korozyonel ve anti-oksidan bitirme amaçlı olarak sıkça kullanılmaktadır.⁸⁴

Bu çalışmada, krom ve kalay iyonları örnek yüzeyleri üzerine elektroliz yöntemiyle elektro-depozite edilmiştir. Örnek yüzeylerine elementlerin diğer formlarının yerine Cr^{+3} biriktirilerek krom kaplama, Sn^{+2} biriktirilerek kalay kaplama uygulanabilmesi için elektroliz işlemi, doğru akım kullanılarak potansiyel kontrollü

olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, elektro-kimyasal olarak krom kaplama uygulanan örneklerde en yüksek metal-porselen bağlantı değerleri elde edilmiş olup, bu durum krom kaplamanın anti-oksidan özelliğine⁸⁴ bağlı olarak alaşımın yüzeyinde kontrolsüz kalın bir oksit tabakasının oluşmamasına bağlanabilir.

Kalay kaplama 231°C'de eriyik haldedir ve porselenin içerisine difüze olur. Porselen bu ısıya kadar hava geçirgenliğine izin verir. Krom, kalay ve nikelden daha fazla oksidasyon eğilimindedir ($Cr > Sn > Ni$) ve gerekli oksijeni kalay kaplama tabakasından elde ederek okside olur.⁹⁶ Bu durum, kalay kaplanan örneklerde alaşımın içindeki kromunda okside olmasıyla beklenenden daha kalın bir oksit tabakasının oluşmasına neden olabilir. Oksit tabakasının kalınlığının artması bağlantı direncinin azalması anlamına gelmektedir.^{6,98} Metal seramik bağlantısının dayanıklılığı ve bütünlüğü, metal yüzeyinde ince bir bağlayıcı oksidin gelişmesine ve bu ince oksidin seramikle arasındaki kimyasal reaksiyona dayanmaktadır.^{6,94} Bununla birlikte kalay, porselenle reaksiyona girerek kimyasal bağlar oluşturmakta ve fazla miktarda kalayın reaksiyona girmesi sonucu porselenin direnci azalmaktadır. Kalay iyonlarının difüzyon hızı, porselenin vitrifikasyon hızından yüksektir. Metalik kalay porselenin içine hızla yayılarak reaksiyona girmekte ve devitrifikasyona yol açarak porselenin direncini düşürmektedir.¹⁰⁰ Bu faktörlere bağlı olarak çalışmada, kalay kaplama uygulanan örnekler krom kaplama uygulanan örneklere oranla daha düşük bağlantı direnci göstermiş olabilir.

Araştırmada; en yüksek (72.22 MPa) metal-porselen bağlantı direnci krom kaplama uygulanan, 950°C'de okside edilen, saf metal içeren, Cr-Co metal altyapılı örneklerde elde edilmiştir. En düşük bağlantı direnci (32.50 MPa) ise kaplama uygulanmayan 1050°C'de okside edilen, %50 artık metal içeren, Ni-Cr ve Cr-Co metal

alaşımından hazırlanan örneklerde tespit edilmiştir. Ni-Cr ve Cr-Co metal alaşımlarının bileşimlerinde bulunan major elementler alaşım içerisinde stabil davranışlar gösterirken, minör elementler ise porselenle olan reaksiyonlarını ve alaşımın oksidasyon oranını önemli şekilde etkileyecek olan davranışlar göstermekte^{32,33} ve alaşımın fiziksel özelliklerini Ni, Cr ve Co konsantrasyonundan daha fazla etkilemektedir.¹⁰¹

Inoue ve arkadaşları,⁹⁶ Ni-Cr metal alaşımından hazırladıkları örneklerin yüzeylerini elektrolitik yöntemle ve alkalin banyo ile, 3µ kalınlığında film tabakası oluşturacak şekilde, kalay ve krom kapladıktan sonra porselen uygulamışlar ve makaslama testine tabi tutmuşlardır. Metal-porselen bağlantısını kalay kaplamanın artırdığını, krom kaplamanın ise artırmadığını tespit etmişlerdir. Bu araştırmada elde edilen bulgular, Inoue ve arkadaşlarının⁹⁶ yapmış oldukları çalışmanın bulguları ile uyum göstermemektedir.

Bu çalışmada elde edilen veriler, Ni-Cr ve Cr-Co metal alaşımlarından artık metal kullanılarak hazırlanan örnekler üzerine elektrolitik kaplama uygulandığında metal porselen bağlantı değerlerinin arttığını göstermiştir.

Caniklioglu ve Değer¹⁰⁰ yapmış oldukları çalışmada, Ni-Cr ve Cr-Co esaslı iki farklı kıymetsiz metal alaşımında metal-porselen bağlantısına, Ni-Cr alaşımında ise metal-rezin bağlantısına, alaşımın yüzeylerine kalay kaplamanın, kalay kaplayarak 1000°C'de argon ortamında 30 dakika bekletmenin ve bonding ajan uygulamanın etkisini incelemişlerdir. Kalayın porselenle reaksiyona girerek kimyasal bağlar oluşturduğunu, fazla miktarda kalayın reaksiyona girmesi durumunda seramiğin direncinin azaldığını, kıymetsiz metal alaşımlarının yüzeyindeki kalay kaplama difüze edildiğinde bağlantı kuvvetinin arttığını, metal alaşımının oksidasyon hızının seramiğin

vitrikasyon hızına eşit olduğunu tespit etmişler, bu unsurların metallerdeki elementlerin difüzyon hızından fazla olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Değer ve Caniklioğlu,⁹⁸ bir Cr-Co ve iki Ni-Cr esaslı kıymetsiz metal alaşımını kullanarak yaptıkları çalışmalarının ilk aşamasında bu alaşımlardan elde ettikleri örnekleri elektro-kimyasal olarak yaklaşık 1µ kalınlıkta kalay kapladıktan sonra, kalayın difüzyon miktarını tespit etmek amacı ile örnekleri oda sıcaklığından başlayarak 1000°C'ye ulaşacak şekilde argon ortamında ısıtmışlar ve 15, 30, 60 dakika süreyle bu sıcaklıkta bekletmişler daha sonra EDS (Energy Dispersive Spectrometer) ile analize tabi tutmuşlardır. En derin kalay difüzyonunun, 1000°C'de argon ortamında 60 dakika süreyle bekletilen örneklerde olduğunu tespit etmişlerdir. Difüzyon miktarındaki artış kaplama tabakasının, buna bağlı olarak da oksit tabakasının kalınlığındaki azalma ile sonuçlanmıştır. İkinci aşamada kalay kaplama uygulanan örneklerde metal-porselen bağlantı direncini makaslama testi ile değerlendirmişlerdir. En yüksek bağlantı direncinin kalay kaplama uygulanan, 1000°C sıcaklıkta argon ortamında 30 dakika bekletilen Cr-Co örneklerde olduğunu saptamışlardır. Yine Atsü ve Berksun⁶² bir Ni-Cr ve iki farklı titanyum alaşımının argon ve vakum ortamında pişirilen üç değişik porselen ile bağlantı dirençlerini incelemişler, vakum ortamında argon ortamına oranla daha yüksek bağlantı direncinin olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar argon ortamı uygulaması ile alaşımın yüzeyleri üzerinde aşırı ve tutucu olmayan bir oksit tabakasının oluşmasına engel olmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada kalay kaplama, literatürde⁶ önerilen sınırlar içerisinde olacak şekilde 2µ kalınlığında oluşturulmuştur.

Çalışmada elde edilen bulgular oksidasyonun uygulandığı ısı açısından değerlendirildiğinde; en yüksek (54.89 MPa) metal-porselen bağlantı değerlerinin 950°C'de oksidasyona tabi tutulan örneklerde olduğu görülmüştür (Tablo 11).

Bağlantı için oksit tabakasının varlığı son derece önemlidir.⁷⁷ Metal ile porselenin birbirlerine bakan yüzeylerinde kimyasal bağlanma kuvveti oluşturabilmek için metal alaşımındaki okside olabilen iyonlar ile erimiş porselenin oksijen atomları arasında yaygın bir elektron transferi gereklidir.^{6,102} Bazı araştırmacılar, metal-porselen bağlantısının doğrudan ara yüz oksidasyonu sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir.^{24,70} Oksit tabakasının kalınlığı ve kompozisyonu kullanılan alaşımın içeriğine bağlı olarak değişir. Kalın oksit tabakası daha düşük bağlantı direncine neden olur.^{103,104} Bu çalışmada, iki farklı kaplama uygulanan ve herhangi bir kaplama uygulanmayan örnekler, üç farklı ısıda oksidasyona tabi tutularak artık gazlar uzaklaştırılmış ve farklı ısı uygulamalarına bağlı olarak oluşan oksidasyon potansiyellerinin metal-porselen bağlantı direncine olan etkisi incelenmiştir.

Bağ mukavemeti ile ilgili çalışmalarda, okside olmuş alaşımlarda daha yüksek bağlanma kuvveti değerleri saptanmıştır. Alaşımın yüzeyinin oksitlerden arındırılması durumunda, metal ile porselen arasında oluşan bağlanma kuvvetinin %25-30 azalacağı belirtilmiştir.^{11,105}

Dent ve arkadaşları⁷⁷ porselen ile soy metal arasındaki bağlanma dayanıklılığına oksidasyonun etkisini incelemişler, metal yüzeyinde oluşan oksit tabakasının porselen ile metal arasındaki bağlanma dayanıklılığını geliştiren önemli bir etken olduğunu saptamışlardır. Oksidasyon döngüsünün, gazın serbest bırakılması ile porselende oluşabilecek baloncukları meydana getiren tüm organik malzemeleri ortadan kaldırdığını, revetmanın düzensiz soğutulması ile oluşabilecek kuvvetleri yok ederek metalin boyutlarının sabitlenmesini sağladığını ve metal-porselen bağlantısına yardımcı olan oksit tabakasının oluşmasından sorumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Wang ve Fung⁸⁴ çalışmalarında, saf titanyum yüzeyi üzerinde farklı porselen pişirme ısılarında oksit oluşumun özelliklerini ve krom kaplama metodlarının etkisini incelemişler, krom kaplama yöntemi olarak elektrolitik kaplama ve saçılma kaplama metodlarını ve bunların kombinasyonlarını farklı zaman aralıklarında uygulamışlar, örnekleri 750°C, 850°C ve 950°C’de oksidasyon işlemine tabi tutmuşlardır. 10 dakika süreyle elektroliz ile krom kaplama uygulanan örneklerde 950°C’de oluşan oksit tabakası kalınlığının 850°C’dekinin iki katı olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar oksit tabakası kalınlığının sıcaklığın artışıyla beraber arttığını, 1050°C’de en kalın oksit tabakasının oluştuğunu, buna bağlı olarak da en düşük bağlantı direncinin elde edildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca aynı sıcaklıkta oluşan oksit tabakası kalınlığının kaplama uygulanan örneklerde, kaplama uygulanmayan örneklere oranla yaklaşık üç kat daha az olduğunu saptamışlardır. Bu araştırmada en düşük bağlantı direnci, kaplama uygulaması açısından kaplama uygulanmayan örneklerde, oksidasyon ısısı açısından ise 1050°C’de okside edilen örneklerde elde edilmiştir (Tablo 11). Bu sonuçlar, Wang ve Fung’un⁸⁴ yapmış oldukları çalışmanın bulguları ile uyum göstermektedir.

Kıymetsiz metal alaşımları üzerinde porselen pişirildiğinde seramo-metalik ara yüzeyde hızlı bir şekilde Ni ve Cr oksit tabakası oluşmakta, metalin preparasyonuna ve pişirme süresine bağlı olarak bu oksit tabakasının kalınlığı değişmektedir. Uzun süreli pişirme periyodunda tabakanın kalınlığı artmaktadır.^{6,106} Kalın oksit tabakası istenmeyen bir durumdur, çünkü porselen ile metal arasında ‘sandviç’ rolü oynayarak bağlantı başarısızlığına neden olabilmektedir.^{6,16,18,34} Oksit tabakasının bulunmaması veya minimum miktarda olması, metal üzerindeki atomik kontaklara gelecek olan porselenin metali yeteri kadar ıslatamamasına sebep olur.⁶ Oksit tabakası, metal ile porseleni atomik temasa geçirecek şekilde ince bir tabaka halinde olmalı ve metal ile

çok ince yapışma göstermelidir. Porselenin ısısal genleşmesini, direncini, renk ve opasitesini etkilemeyecek şekilde reaksiyona girmelidir.¹

Wu ve arkadaşları,⁴⁹ Ni-Cr ve Cr-Co metal alaşımlarında metal-porselen bağlantı direncine değişik süre ve basınç ortamlarında oksidasyon uygulamasının etkisini incelemişler, farklı ısılarda ve basınç ortamlarında uygulanan oksidasyonun bağlantı direncini etkilemediğini saptamışlardır.

Bu çalışmada yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; farklı ısılarda oksidasyon uygulamasının çok çok önemli ($p<0.001$) olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Karşılıklı etkileşimlerden (interaksiyonlardan) elektrolitik kaplama-oksidasyon ısısı arasındaki ilişkinin çok çok önemli ($p<0.001$), alaşım türü-oksidasyon ısısı arasındaki ilişkinin çok önemli ($p<0.01$), alaşım türü-elektrolitik kaplama-oksidasyon ısısı arasındaki ilişkinin ise önemli ($p<0.05$) olduğu istatistiksel olarak saptanmıştır (Tablo 12). Çoklu karşılaştırma için yapılan Duncan analizi sonucunda; 1050°C' de okside edilen örneklerde en düşük bağlantı (39.07 MPa) direnci değerleri elde edilmiş olup, 850°C ve 950°C'de okside edilen örneklerde elde edilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, ortalama değerler açısından incelendiklerinde en uygun oksidasyon ısısının, en yüksek bağlantı değerlerinin elde edildiği (54.47 MPa), kıymetsiz metal alaşımlarının üretici firmaları tarafından da önerilen ısı düzeyi olan 950°C olduğu tespit edilmiştir (Tablo 13).

Ni-Cr metal alaşımından hazırlanan örneklerde elde edilen metal-porselen bağlantı değerleri incelendiğinde; oksidasyon ısısının çok çok önemli ($p<0.001$) olduğu istatistiksel olarak saptanmıştır (Tablo 15). Yapılan çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonucunda; 1050°C'de oksidasyon uygulaması yapılan örneklerin en düşük bağlantı direncini gösterdikleri, 850°C ve 950°C'de oksidasyon uygulanan örneklerde tespit

edilen bağlantı direnç farklarının ise önemli olmadığı istatistiksel olarak saptanmıştır (Tablo 16). Bu beklenen bir bulgudur ve 1050°C’de daha kalın bir oksit tabakasının oluştuğunu göstermektedir.

Bu çalışmada kaplama uygulanmayan 850°C’de okside edilen Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklerde elde edilen sonuçların farklılık gösterdiği görülmüştür. Her üç metal altyapısının kaplamasız örnek grubunda, 850°C’de oksidasyon uygulaması yapılan örneklerin 950°C ve 1050°C’de oksidasyona tabi tutulan örneklerden daha yüksek metal-porselen bağlantı direnci gösterdikleri tespit edilmiştir (Tablo 17). Araştırmada herhangi bir elektrolitik kaplama uygulanmayan Cr-Co alaşım örnekler, farklı ısılarda okside edildikten sonra opaker (1. opaker 970°C, 2. opaker 960°C) ve dentin (940°C) pişirme işlemine tabi tutulmuşlardır. 950°C ve 1050°C’de okside edilen örneklerde saptanan düşük bağlantı direnci; metallerin yüksek ısılarda aşırı oksidasyona karşı koruyucu herhangi bir kaplama⁸⁴ bulundurmamasına buna bağlı olarak, oksidasyon uygulaması sırasında ve porselenin pişirme işlemleri esnasında porselen cam safhasına geçene kadar hava geçirgenliğine izin vermesine⁹⁶ ve alaşımların yeniden okside olarak beklenenden daha kalın oksit tabakasına sahip olmalarına bağlanabilir. Kaplama uygulanmayan metal alaşımlarının yüzeylerinde elektrolitik olarak kaplama uygulanan metal alaşımlarına oranla, aynı sıcaklıkta üç kat daha fazla oksit tabakası oluştuğunu gösteren bulgularla⁸⁴ uyumlu olan bu sonuçlar, kaplanmayan örneklerde oksit tabakası kalınlığının 950°C ve 1050°C’de bağlantıyı olumsuz yönde etkileyecek kadar fazla, 850°C’de ise istenilen düzeyde olduğunu göstermektedir. Kıymetsiz metal alaşımları ısıtıldıklarında içerdikleri Ni ve Cr’a bağlı olarak kendiliğinden oksit tabakası oluşturlar.¹⁰⁶ Elde edilen bu bulgular, kıymetsiz

metal alaşımlarının kullanımları sırasında oksidasyonun kolayca oluşmasına^{6,17,20,34} bağlanabilir.

Cr-Co metal alaşımından hazırlanan örneklerde elde edilen metal-porselen bağlantı değerleri incelendiğinde; farklı ısılarda oksidasyon uygulamasının çok çok önemli ($p < 0.001$) olduğu istatistiksel olarak saptanmıştır (Tablo 18). Yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda; en yüksek bağlantı değerlerinin 950°C’de okside edilen örneklerde olduğu, her üç ısı uygulamasından elde edilen ortalamaların birbirinden farklı olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir (Tablo 19).

Bu araştırmada metal-porselen bağlantısını geliştirebilmek amacıyla, artık metal ilave edilen altyapılarda oluşan aşırı ve kontrolsüz oksidasyona karşı koruyucu, krom veya kalay kaplama film tabakası oluşturularak, en uygun oksidasyon ısısı tespit edilmeye çalışılmıştır. Çünkü bağlantı metal-oksit tabakasının kalınlığının kontrol edilmesine,¹⁷ metal-seramik restorasyonların başarısı da alaşım-seramik bağlantısının bütünlüğü ve direncine bağlıdır.¹⁰⁶ Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; krom ve kalay kaplama uygulamalarının metal-porselen bağlantı direncini, kaplama uygulanmayan örneklere oranla geliştirdiği görülmüştür. Metal-porselen çalışmalarında en ideal alt yapı saf metal kullanılarak hazırlanan alt yapı olmakla birlikte, alaşımın yapısına en fazla %50 oranında olacak şekilde artık metal ilave edildiği durumlarda, elektrolitik olarak krom veya kalay kaplama uygulandıktan sonra, 950°C ısıda oksidasyona tabi tutuldukları takdirde daha güçlü bir metal-porselen bağlantısı oluşturulabilir.

SONUÇLAR

1-Cr-Co metal alaşımdan (Wirobond C) hazırlanan örnekler, Ni-Cr metal alaşımdan (Wiron 99) hazırlanan örneklerle oranla daha yüksek bağlantı direnci göstermiştir.

2-En yüksek bağlantı direnci tamamen saf metal içeren alaşım kullanılarak hazırlanan örneklerde elde edilmiştir (50.88 MPa).

3-Potansiyel kontrollü olarak, elektrolizle krom kaplama uygulanan örnekler en yüksek bağlantı direncini (51.06 MPa) göstermiş, kalay kaplama uygulaması (49.17 MPa) ise kaplanmamış örneklerle oranla bağlantı direncini geliştirmiştir.

4-En yüksek bağlantı direnci alaşımların üretici firmalarının önerdiği oksidasyon ısını temsil eden 950°C'de elde edilmiştir (54.89 MPa).

5-Cr-Co metal alaşımı için kontrol grubunu oluşturan, elektrolitik kaplama uygulanmayan örneklerin tümünde 850°C'de diğer ısı uygulamalarına oranla daha yüksek bağlantı direnci değerleri elde edilmiştir.

6-Ni-Cr alaşımı (Wiron 99) için en yüksek metal-porselen bağlantı direnci; saf metal içeren krom kaplama uygulanan ve 950°C'de okside edilen örneklerde (61.66 MPa), en düşük bağlantı direnci ise %50 artık metal içeren kaplama uygulanmayan, 1050°C'de okside edilen örneklerde (32.50 MPa) elde edilmiştir. Ayrıca Ni-Cr alaşımı için uygulanan oksidasyon ısı (p<0.001) ve metal alt yapı çeşidi (p<0.05) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

7-Cr-Co metal alaşımı (Wirobond C) için en yüksek metal-porselen bağlantı direnci; tamamen saf metal içeren krom kaplama uygulanan ve 950°C'de okside edilen örneklerde (72.22 MPa), en düşük bağlantı direnci ise %50 artık metal içeren kaplama uygulanmayan, 1050°C'de okside edilen örneklerde (32.50 MPa) elde edilmiştir. Ayrıca

Cr-Co metal alaşımı için uygulanan oksidasyon ısısı istatistiksel olarak çok çok önemli bulunmuştur ($p<0.001$).

8-Araştırmada incelenen tüm varyasyon kaynakları birlikte değerlendirildiğinde; farklı ısılarda oksidasyon uygulamasının istatistiksel olarak çok çok önemli ($p<0.001$) olduğu görülmüş olup, 1050°C’de okside edilen örneklerin diğer ısılarda okside edilen örneklerden farklı metal-porselen bağlantısı gösterdiği, 850°C ve 950°C’de okside edilen örneklerdeki bağlantı değerlerinin ise istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı tespit edilmiştir. Ortalamalar değerlendirildiğinde; en yüksek bağlantı direncinin 950°C’de, en düşük bağlantı direncinin ise 1050°C’de olduğu saptanmıştır. Alaşım türü-oksidasyon ısısı ($p<0.01$), elektrolitik kaplama-oksidasyon ısısı ($p<0.001$) ve alaşım türü-elektrolitik kaplama-oksidasyon ısısı ($p<0.05$) arasındaki etkileşimin önemli olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Morena R, Beaudreau GM, Lockwood PE, Evans AL, Fairhurst CW. Fatigue of dental ceramics in a simulated oral environment. *J Dent Res* 1986; 65: 993-997.
2. Craig GR, Powers MJ. *Restorative Dental Materials*. 11th edition, St. Louis: CV Mosby, 2002: 480, 552, 553, 556, 565-566, 576-585.
3. Association Reports. Porcelain-metal alloy compatibility: criteria and test methods. *J Am Dent Assoc* 1981; 102: 71-72.
4. Persson M, Bergman M. Metal-ceramic bond strength. *Acta Odontol Scand* 1996; 54: 160-165.
5. Bowers JE, Vermilyea SG, Griswold WH. Effect of metal conditioners on porcelain-alloy bond strength. *J Prosthet Dent* 1985; 54: 201-203.
6. McLean JW. *The Science and Art of Dental Ceramics Volum II: Bridge Design and Laboratory Procedures in Dental Ceramics*. Chicago: Quintessence Publishing, 1980: 25, 28, 31, 32, 36, 37, 189, 241, 245.
7. Barghi N, Mckeehan M, Aranda R. Comparison of fracture strength of porcelain-veneered-to-high noble and base metal alloys. *J Prosthet Dent* 1987; 57: 23-26.
8. Bagby M, Marshall SJ, Marshall GW. Metal ceramic compatibility: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 1990; 63: 21-25.
9. Aksoy G, Örgen EK, Bıçakcı A. Farklı eritme yöntemlerinin yeni baz metal alaşımları ile bunlara değişik oranlarda artık alaşım karıştırılmış olanlarının yüzey netliği ve sertlikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. *Ege Diş Hek Fak Derg* 1995; 16: 144-151.
10. Touati B, Miara P, Nathanson D. *Esthetic Dentistry And Ceramic Restorations*. London, Martin Dunitz Ltd., 1999: 25-26.

11. Yavuzylmaz H. Metal Destekli Estetik Kuronlar. Ankara, Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Basımevi, 1996: 192-196, 213, 217, 222-224, 232-234, 239, 240, 301-303.
12. Mc Lean JW. The Science and Art of Dental Ceramics Volum I: Bridge Design and Laboratory Procedures in Dental Ceramics. Chicago: Quintessence Publising, 1979: 23, 33, 43-47, 63, 71-72, 82-90, 134-136, 200, 255, 273-296.
13. Mc Cabe JF. Çeviren: Emine Nayır. Diş Hekimliği Maddeler Bilgisi. 7. Baskı. İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul, 1999: 64,70.
14. Akın E. Diş Hekimliğinde Porselen. İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul, 1983: 1-26, 207-219.
15. Jones DW. Development of dental ceramics. Dent Clin North Am 1985; 29: 621-644.
16. Mc Lean JW, Hughes H. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. Br Dent J 1965; 119: 251-267 (Kaynak 15' den alınmıştır).
17. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics. 3 th ed. St. Louis, Missouri: CV Mosby, 2001: 506, 507, 613, 614, 617, 619.
18. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett DL. Fundamentals of Fixed Prosthodontics. 2th ed. Chicago: Quintessence Publising, 1981: 419, 420, 434.
19. Craig RG. Restorative Dental Materials. 8th ed. St Louis: CV Mosby, 1989: 402, 431-481, 488, 497-499.
20. Warpeha WS, Goodkind RJ. Design and technique variables affecting fracture resistance of metal-ceramic restorations. J Prosthet Dent 1976; 35: 291-298.
21. Phillips RW. Skinner's Science of Dental Materials. 7th ed. Philadelphia, W.B. Saunders Co, 1973: 397, 547.

22. Knap FJ, Ryge G. Study of bond strength of dental porcelain fused to metal. *J Dent Res* 1966; 45: 1047-1051.
23. Nally JN. Chemico-physical analysis and mechanical tests of the ceramo-metallic complex. *Int Dent J* 1968; 18: 309-325.
24. Eissman HF, Rudd KD, Morrow RM. *Dental Laboratory Procedures: Fixed Partial Dentures*. St Louis: CV Mosby, 1980: 247-266, 288-296.
25. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. St Louis: CV Mosby, 1988:154-165, 389-411, 611.
26. Mc Lean JW. The metal-ceramic restoration. *Dent Clin North Am* 1983; 27: 747-761.
27. Doruk M. Korozyon ve Önlenmesi. Ankara, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayın No: 70, 1982: 52-97.
28. Wataha JC. Alloys for prosthodontic restorations. *J Prosthet Dent* 2002; 87: 351-363.
29. Ersoy AE. Protetik restoratif alaşımlar. *TDB Dergisi*, 2002, Sayı: 71: 86-90.
30. Blakeslee RW, Renner RP, Shiu A. *Dental Technology Theory And Practice*. USA, C.V. Mosby Company, 1980: 31-34.
31. Anderson JN. *Applied Dental Materials*. Oxford, England, Blackwell Scientific Publications, 1972: 20-2, 49-54, 65-81.
32. Kelly JR, Rose TC. Nonprecious alloys for use in fixed: A literature review. *J Prosthet Dent* 1983; 49: 363-370.
33. Baran GR. Selection criteria for base metal alloys for use with porcelains. *Dent Clin North Am* 1985; 29: 779-787.
34. Riley EJ. Ceramo-metal restoration. *Dent Clin North Am* 1977; 21: 669-682.

35. Lacy AM. The chemical nature of dental porcelain. Dent Clin North Am 1977; 21: 661-667.
36. O'Brien WJ. Dental Materials: Properties and Selection. Chicago: Quintessence Publishing, 1989: 397-399.
37. Jochen DG, Caputo AA, Matyas J. Effect of metal surface treatment on ceramic bond strength. J Prosthet Dent 1986; 55: 186-188.
38. Wight TA, Bauman JC, Pelleu GB. An evaluation of four variables affecting the bond strength of porcelain to nonprecious alloy. J Prosthet Dent 1977; 37: 570-577.
39. Ersoy AE, Berksun S, Öztaş DD, Eskitaşcıoğlu G. Üç farklı Ni-Cr alaşımı porselen bağlantısının makaslama dirençlerinin incelenmesi. A Ü Diş Hek Fak Derg 1989; 16: 249-253.
40. Hesby DA, Kobes P, Garver DG, Pelleu GB. Physical properties of a repeatedly used non-precious metal alloy. J Prosthet Dent 1980; 44: 291-293.
41. Tylman SD. Theory and Practice of Crown and Fixed Partial Prosthodontics (Fixed). 6th ed. St. Louis: CV Mosby, 1978: 383.
42. Harcourt HJ. The remelting of cobalt-chromium alloys. Br Dent J 1962; 6: 198-204.
43. Dehoff PH, Anusavice KJ, Boyce RJ. Analysis of thermally-induced stresses in porcelain-metal systems. J Dent Res 1983; 62: 593-597.
44. Guinn J.W, Griswold W.H, Varmilyea S.G. The effect of cooling rate on the apparent bond strength of porcelain-metal couples. J Prosthet Dent 1982; 48: 551-554.
45. Stannard JG, Marks L, Kanchanatawewat K. Effect of multiple firing on the bond strength of selected matched porcelain-fused-to-metal combinations. J Prosthet Dent 1990; 63: 627-629.

46. Carpenter MA, Goodkind RJ. Effect of varying surface texture on bond strength of one semiprecious and one nonprecious ceramo-alloy. J Prosthet Dent 1979; 42: 86-95.
47. Lubovich RP, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious, nonprecious ceramic-metal alloys with two porcelains. J Prosthet Dent 1977; 37: 288-299.
48. Duncanson MG. Nonprecious metal alloys for fixed restorative dentistry. Dent Clin North Am 1976; 20: 423-433.
49. Wu Y, Moser JB, Jameson LM, Malone WFP. The effect of oxidation heat treatment on porcelain bond strength in selected base metal alloys. J Prosthet Dent 1991; 66: 439-444.
50. Murakami I, Schulman A. Aspect of metal-ceramic bonding. Dent Clin North Am 1987; 31: 333-346.
51. Atasoy B. Genel Kimya. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık, Ankara, 2000: 257-268.
52. Oskay E. Genel Organik Kimya. Hacettepe Üniversitesi Yayın, Ankara 1979: 10-35.
53. Ekinci D. Fotoaktif Poli (2-Amino-3-Siyono-4-Fenil Tiyofen)'in elektrooksidasyon ile sentezi ve elektrokimyasal özelliklerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 1999: 24-28.
54. Skoog DA, Holler FJ, Nieman TA. Principles Of Instrumental Analysis. Editör: Harbor Drive, Part:IV, Orlando/Florida, 1998: 53-76.
55. Ihab A.H, Yousef F.T. Desingns of bond strength tests for metal-ceramic complexes: Review of the literature. J Prosthet Dent 1996; 75: 602-608.
56. Council on Dental Materials, Instruments and Equipment. Porcelain metal alloy compatibility criteria and test method. J Am Dent Assoc 1981; 101: 71-72.

57. Graham JD, Johnson A, Wildgoose DG, Shareef MY, Cannavina G. The effect of surface treatments on the bond strength of a nonprecious alloy-ceramic interface. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 330-334.
58. Sümbüloğlu K, Sümbüloğlu V. Biyoistatistik. 6. Baskı. Ankara, Özdemir Basım, Yayın ve Dağıtım Ltd. Şti., 1995: 76-95.
59. Gavellis JR, Lim SB, Guckes AD, Morency JD, Sozio RB. A comparison of the bond strength of two ceramometal systems. *J Prosthet Dent* 1982; 48: 424-428.
60. Lubouich RP, Goodking RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious and nonprecious ceramic metal alloys with two porcelains. *J Prosthet Dent* 1977; 37: 288-298.
61. Anthony DH, Burnett AP, Smith DL, Brooks MS. Shear test for measuring bonding cast gold alloy-porcelain composites. *J Prosthet Dent* 1970; 49: 27-33.
62. Atsü S, Berksun S. Bond strength of three porcelains to two forms of titanium using two firing atmospheres. *J Prosthet Dent* 2000; 84: 567-574.
63. Hammad IA, Stein RS. A qualitative study for the bond and color of ceramometals. *J Prosthet Dent* 1990; 68: 643-653.
64. Moffa JP, Lugasy 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: 424-431.
65. Huget EF, Vlica JM, Wall RM. Characterization of two ceramic-base metal alloys. *J Prosthet Dent* 1978; 40: 637-641.
66. Tuccillo JJ, Nielsen JP. Shear stress measurements at a dental porcelain-gold bond interface. *J Dent Res* 1973; 51: 626-633.

67. Baydemir B, Dalkız M, Eser K, Baykal F, Oruç S. Temel baz alaşımların tekrarlanan dökümlerinde metal-porselen bağlantısının incelenmesi. A Ü Diş Hek Fak Derg 1992; 19: 91-97.
68. Bezzon OL, deMattos MdaG, Ribeiro RF, Rollo JMDA. Effect of beryllium on the castability and resistance of ceramometal bonds in nickel-chromium alloys. J Prosthet Dent 1998; 80: 570-574.
69. Bezzon OL, Ribeiro RF, Rollo JM, Crosara S. Castability and resistance of ceramometal bonding in Ni-Cr and Ni-Cr-Be alloys. J Prosthet Dent 2001; 85: 299-304.
70. O'Connor RP, Mackert JR, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masking, and porcelain bonding of 17 porcelain-fused-to-metal alloys. J Prosthet Dent 1996; 75: 367-374.
71. Shell JS, Nielsen JP. Study of the bond between gold alloys and porcelain. J Dent Res 1962; 41: 1424-1437.
72. Herrmann M, Rottenegger R, Tinschert J, Marx R. The effect of corrosive environment on the porcelain-to-metal bond: A fracture mechanics investigation. Dent Mater 1992; 8: 2-6.
73. Drummond JL, Randolph RG, Jekkals VJ, Lenke JW. Shear testing of the porcelain-metal bond. J Dent Res 1984; 62:1400-1401.
74. Manohar LM, Lawrence BM. Shear bond strength in porcelain-metal restorations. J Prosthet Dent 1980; 43: 397-400.
75. Manohar LM, Lawrence BM. Shear bond strength of porcelain-fused-to-alloys of varying noble metal contents. J Prosthet Dent 1980; 44: 405-412.
76. Sced IR, McLean JW. The strength of metal/ceramic bonds with base metals containing chromium. Br Dent J 1972; 21: 232-234.

77. Dent RJ, Preston JD, Moffa JP, Caputo A. Effect of oxidation on ceramometal bond strength. *J Prosthet Dent* 1982; 44: 59-61.
78. Dinçkal N. Metal-porselen bağlantısında, metal yüzey işlemleri ve metal-porselen birleşme açılarının etkisinin değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum, 1993: 52.
79. Daftary F, Donovan T. Effect of four pretreatment techniques on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent* 1986; 56: 535-539.
80. Marinello CP, Lüthy H, Schörner P. Influence of heat treatment on the surface texture of an etched cast Ni-Cr base alloy: An evaluation by profilometric records. *J Prosthet Dent* 1986; 56: 431-435.
81. Winkler S, Wongthai P. Increasing the bond strength of metal-ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 1986; 56: 396-401.
82. Rasmussen ST, Doukoudakis AA. The effect of using recast metal on the bond between porcelain and a gold-palladium alloy. *J Prosthet Dent* 1986; 55: 447-453.
83. Nelson DR, Palik JF, Morris HF, Comella MC. Recasting a nickel-chromium alloy. *J Prosthet Dent* 1986; 55: 122-127.
84. Wang RR, Fung KK. Oxidation behavior of surface-modified titanium-ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 423-434.
85. Aksoy G, Örgen EK, Bıçakçı A. Farklı eritme yöntemlerinin yeni baz metal alaşımları ile bunlara değişik oranlarda artık alaşım karıştırılmış olanlarının dökülebilirlikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. *Selçuk Üniv Diş Hek Fak Derg* 1996; 6: 14-18.
86. Presswood RG. Multiple recast of a nickel-chromium-beryllium alloy. *J Prosthet Dent* 1983; 50: 198-199.

87. Henriques GEP, Consani S, Rollo JMDA, Silva FA. Soldering and remelting influence on fatigue strength of cobalt-chromium alloys. J Prosthet Dent 1997; 78: 146-152.
88. Lewis AJ. The effects of remelting on the mechanical properties of a nickel base partial denture casting alloy. Aust Dent J 1975; 20: 89-93.
89. Berksun S. Metal destekli porselen restorasyonlarda ısısal uyumluluk ve farklı ısısal genleşme özellikleri ile değişik tasarımların porselen kırılma direnci üzerine etkisi. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 1987: 95-105.
90. Akyalçın Ş. İki farklı eritme yöntemi ile dökülen Cr-Co ve Cr-Ni alaşımların saf ve artık metal özelliklerine göre sertlik ve korozyon dirençlerinin karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum, 2004: 101.
91. Morris HF. Veterans administration cooperative studies Project no. 147/242. Part VII: The mechanical properties of metal ceramic alloys as cast and after simulated porcelain firing. J Prosthet Dent 1989; 61: 160-169.
92. Winkler S, Morris HF, Monteiro JM. Changes in mechanical properties and microstructure following heat treatment of a Ni-Cr base metal alloy. J Prosthet Dent 1984; 52: 821-827.
93. Lewis AJ. Changes in the composition of a nickel-base partial denture casting alloy upon fusion and casting. Aust Dent J 1975; 20: 14-18.
94. Uusalo EK, Lassila VP, Yli-Urpo AU. Bonding of dental porcelain to ceramic-metal alloys. J Prosthet Dent 1987; 57: 26-29.

95. Chung KH, Duh JG, Shin D, Cagna DR, Cronin RJ. Characteristic and porcelain bond strength of (Ti,Al)N coating on dental alloys. *J Biomed Mater Res* 2002; 63: 516-521.
96. Inoue K, Murakami T, Terada Y. The bond strength of Ni-Cr alloy the influence of tin or chromium plating. *Int J Prosthodont* 1992; 5: 262-268.
97. Daftary F, Donovan T. Effect of electrodeposition of gold on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent* 1987; 57: 41-46.
98. Değer S, Caniklioğlu MB. Effect of tin plating on base metal alloy-ceramic bond strength. *Int J Prosthodont* 1998; 11: 165-172.
99. Bullard JT, Dill RE, Marker VA, Payne EV. Effect of sputtered metal oxide films on the ceramic-to-metal bond. *J Prosthet Dent* 1985; 56: 776-778.
100. Caniklioğlu MB, Değer S. Kıymetsiz metal alaşımı-seramik bağlantı sisteminde etken faktörler. *A Ü Diş Hek Fak Derg* 1997; 24: 69-77.
101. Carter JM, Al-Mudaafar J, Sorencen SE. Adherence of a nickel-chromium alloy and porcelain. *J Prosthet Dent* 1979; 41: 167-171.
102. Farah JW, Craig RG. Distribution of stresses in porcelain-fused to metal and porcelain jacket crowns. *J Dent Res* 1975; 54: 255-261.
103. Hammad IA, Goodking RJ, Gerberich WW. A shear test for the bond strength of ceramometals. *J Prosthet Dent* 1997; 58: 431-437.
104. Quinoness EE, Vermilyea SG, Griswold WH. Apparent bond strength of non-noble alloy-porcelain combinations. *J Prosthet Dent* 1985; 54: 359-361.
105. Goaller I, Meyer JM, Nally JN. Comparative study of three coating agents and their influence on bond strength porcelain fused to gold alloys. *J Prosthet Dent* 1972; 28: 504-511.

106. Zaimoğlu A, Burgaz Y, Yurdukoru B. Metal-seramik bağlantısında oksidasyonun önemi. A Ü Diş Hek Fak Derg 1984; 11: 237-245.

