

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTODONTİK TELLERİN FARKLI ORTAMLARDAKİ
KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN ORTODONTİK TELLER	3
2.1 Beklenen özellikler	3
2.2 Uygun malzemeler	4
2.2.1 Östenitik paslanmaz çelikler	4
2.2.2 Kobalt-krom-nikel alaşımı	9
2.2.3 Nikel-titanyum alaşımı	11
2.2.4 Beta-titanyum alaşımı	17
2.2.5 Yeni/deneysel ortodontik teller	19
3. KOROZYON	21
3.1 Korozyon mekanizmaları	21
3.1.1 Elektrokimyasal reaksiyonlar	22
3.2 Korozyon'un sınıflandırılması	24
3.2.1 Homojen dağılımlı korozyon	24
3.2.2 Çukurcuk korozyonu	25
3.2.3 Aralık korozyonu	26
3.2.4 Seçici korozyon	26
3.2.5 Galvanik korozyon	27
3.2.6 Taneler arası korozyon	28
3.2.7 Tane içi korozyon	28
3.2.8 Kazımalı korozyon	29
3.2.9 Tabakalaşma korozyonu	29
3.2.10 Mekanik zorlamalı korozyon çeşitleri	30
4. ORTODONTİK TELLERDE KOROZYON	32
4.1 Ortodontik tellerin bulunduğu ortamlar	32
4.2 Ortodontik tellerin korozyon davranışları	32
4.3 Ortodontik Tellerde korozyondan korunma yöntemleri	34

	Sayfa
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
5.1 Malzeme	35
5.2 Uygulanan deneyler ve incelemeler	36
5.2.1 Farklı ortamlarda korozyon	36
5.2.2 Makro yapı incelemeleri	39
5.2.3 Sertlik ölçümleri	47
5.3 Tartışma	48
6. SONUÇLAR.....	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGE LİSTESİ

$\% \Delta HV$	Sertlikteki yüzdesel değişim
ΔHV	Sertlikteki değişim
ΔM	Analitik ağırlık azalması
A_f	Östenitik dönüşüm bitiş sıcaklığı
A_s	Östenitik dönüşüm başlangıç sıcaklığı
HV_0	İlk sertlik
HV_1	Son sertlik
mb	Geri kalan ağırlık (son tartım)
me	Esas ağırlık (ilk tartım)
M_f	Martenzitik dönüşüm bitiş sıcaklığı
M_s	Martenzitik dönüşüm başlangıç sıcaklığı
pH	Asitlik derecesi
s	Birim alan
t	Zaman
T_g	Cam geçiş sıcaklığı

KISALTMA LİSTESİ

HV	Hardness Vickers (Vickers Sertlik Değeri)
SEM	Scanning Electron Microscopy (Tarama Elektron Mikroskobu)
ANSI	American National Standards Institute
ADA	American Dental Association

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Sabit ortodontik tedavi	1
Şekil 1.2 Ortodontik tedavi öncesi – sonrası görüntüleri	2
Şekil 2.1 Demir-krom faz diyagramı.....	5
Şekil 2.2 Sabit %18 Cr - %8 Ni içerikli demir-krom-nikel-karbon faz diyagramının bir bölümü.	6
Şekil 2.3 Östenitik paslanmaz çelik mikro yapı görüntüsü.	6
Şekil 2.4 Kare ve dikdörtgen kesitli 18-8 paslanmaz çelik teller için eğilme momenti – açısall sapma eğrileri. (Boyutlar mm’dir)	8
Şekil 2.5 0.46mm çapta 18-8 paslanmaz çelik teller için eğilme momenti – açısall sapma eğrileri.....	9
Şekil 2.6. 0.46mm çaplı Elgiloy® telin eğilme momenti - açısall sapma grafiğı.....	11
Şekil 2.7 TiNi faz diyagramı.	12
Şekil 2.8 Tek ve çift yönlü şekil hafıza etkisi şematik gösterimi	13
Şekil 2.9 Şekil hafızalı malzeme elektrik direnci – sıcaklık diyagramı	13
Şekil 2.10 Ortodontide kullanılan NiTi tel örnekleri ve uygulaması.	14
Şekil 2.11 Paslanmaz çelik (SS), beta-titanyum (TM) ve nikel-titanyum (NT) için eğilme momenti – açısall sapma grafiğı.	16
Şekil 2.12 Paslanmaz çelik (SS), beta-titanyum (TM) ve nikel-titanyum (NT) için burulma momenti – tork açısı grafiğı.	17
Şekil 2.13 Titanyum-molibden alaşımı faz diyagramının bir bölümü.....	18
Şekil 3.1 Korozyon termodinamik döngüsü.....	21
Şekil 3.2 HCl çözeltisindeki metal ile asit arası elektrokimyasal tepkime.....	23
Şekil 3.3 Homojen dağılımlı korozyon	25
Şekil 3.4 Çukurcuk korozyonu	25
Şekil 3.5 Aralık korozyonu.....	26
Şekil 3.6 Ferritik lamel grafitli dökme demirde görülen seçici korozyon.....	26
Şekil 3.7 Galvanik korozyon	27
Şekil 3.8 Bazı metal ve alaşımlarının deniz suyu ortamındaki galvanik serisi	27
Şekil 3.9 Taneler arası korozyon	28
Şekil 3.10 Tane içi korozyon.....	28
Şekil 3.11 Kazımalı korozyon	29
Şekil 3.12 Tabakalaşma korozyonu.....	29

Şekil 3.13 Gerilmeli korozyon	30
Şekil 3.14 Erozyonlu korozyon ve kavitasyon	31
Şekil 5.1 Trueform™ I kavis formunda tel	35
Şekil 5.3 Termostat göstergesi (Max 37 °C)	37
Şekil 5.4 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x)....	39
Şekil 5.5 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)....	40
Şekil 5.6 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)....	40
Şekil 5.7 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x).	41
Şekil 5.8 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x).	42
Şekil 5.9 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)..	42
Şekil 5.10 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x)	43
Şekil 5.11 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)	44
Şekil 5.12 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)..	44
Şekil 5.13 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x).....	45
Şekil 5.14 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x).....	46
Şekil 5.15 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)	46
Şekil 5.16 Modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi	49
Şekil 5.17 NaF katkılı modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi	49
Şekil 5.18 H ₃ PO ₄ katkılı modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi	49
Şekil 5.19 28 gün sonunda modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi	50
Şekil 5.20 28 gün sonunda NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi (g/10000).....	50
Şekil 5.21 28 gün sonunda H ₃ PO ₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi (g/10000).....	50
Şekil 5.22 Korozyon testine tabi tutulmayan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x).....	51
Şekil 5.23 NaF katkılı yapay tükürük çözeltisinde korozyona uğratılan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x)	51
Şekil 5.24 H ₃ PO ₄ katkılı yapay tükürük çözeltisinde korozyona uğratılan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x)	51
Şekil 5.22 Paslanmaz çelik tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri.....	52
Şekil 5.23 Nikel-titanyum alaşımı tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri .	53
Şekil 5.24 Beta-titanyum alaşımı tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri ...	53
Şekil 5.25 Elgiloy® tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri.....	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kıymetli metal içermeyen ANSI/ADA spesifikasyonlu No:32 ortodontik teller ..	7
Çizelge 2.2: 18-8 Paslanmaz çelik tellerin mekanik özellikleri	7
Çizelge 2.3 Kobalt-krom-nikel alaşımlı (Elgiloy®) tellerin mekanik özellikleri	10
Çizelge 2.4 0.36mm ve 0.46mm çaplı tellerin 90° büküm tekrarlanabilirliği	10
Çizelge 2.5 NiTi şekil hafızalı alaşım özellikleri	14
Çizelge 2.6 NiTi ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin özelliklerinin karşılaştırılması	15
Çizelge 2.7 Ortodontik tellerin gerilim, bükme ve burulma özellikleri	16
Çizelge 2.8 Diş hekimliğinde kullanılan beta-titanyum kimyasal bileşimi.....	18
Çizelge 2.9 PC için bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	20
Çizelge 5.1 Seçilen tel malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	36
Çizelge 5.3 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli Fusuyama ortamı.....	38
Çizelge 5.4 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli Fusuyama + NaF ortamı.....	38
Çizelge 5.5 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli Fusuyama + H ₃ PO ₄ ortamı	38
Çizelge 5.6 Tellerin korozyon testleri öncesi ve sonrası ortalama sertlik değerleri (HV)	47
Çizelge 5.7 Modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi	48
Çizelge 5.8 NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi.....	48
Çizelge 5.9 H ₃ PO ₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi....	48

ÖNSÖZ

Bilim ve teknoloji dünyasında gelişmelerin sağlanabilmesi için en önemli etkenlerden biri ihtiyaçların doğru olarak belirlenmesidir. Malzemelerin özelliklerinin bilinmesi da malzeme bilimi ve ilgili mühendislik dalları için büyük önem arz etmektedir. Günümüzde, malzemelerin korozyon dirençlerinin de önemli bir özellik olduğu yapılan çalışmaların yoğunluğundan anlaşılmaktadır.

Yüksek lisans çalışmamda, her türlü olanağı sağlayarak beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

İlgimi diş hekimliği ve ortodonti konularına çeken ve yoğunlaşmamı sağlayan, motivasyon kaynağım, değerli arkadaşım Gamze ŞENOL'a, ortodonti konusunda bilgilerini paylaşan ve yol gösteren Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Bölümü Öğretim Üyeleri'nden Sayın Yrd. Doç. Dr. Toros ALCAN'a ve mezunlarından Ortodonti Uzmanı Sayın Dr. Ömer KOYUTÜRK'e, deneylerde kullandığım çözeltileri hazırlamamda emeği geçen Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Sayın Arş. Gör. Yük. Müh. Doğan KARADAĞ'a teşekkür ederim.

Yıllarca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, yoğun çalışma zamanlarımda da her türlü yardımı yaparak benim iyi bir bilim adamı ve örnek insan olmam için en büyük katkıyı sağlayan değerli aileme en içten duygularıyla teşekkür ediyorum.

ÖZET

Diş hekimliğinin bir uzmanlık dalı olan ortodonti, diş, çene ve yüz kompleksini normal yapı ve gelişim, anomaliler ve anomalilerin tedavisi yönünden ele alan bilim dalıdır. Ortodontik tedavilerde kullanılan tel, yay, braket gibi apareylerin ağız ortamına uygun malzemelerden üretilmesi ve tedavi süresince korozyona uğramadan ve mekanik özellikleri bozulmadan kullanılabilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, literatürde ismi sıkça geçen ve ortodontistler tarafından sıkça kullanılan 18-8 Cr-Ni paslanmaz çelik, nikel-titanyum, beta-titanyum ve kobalt-krom-nikel alaşımı malzemelerden seçilmiş olan tel numuneler; insan ağız içi ortamına denk sayılan 22°C-37°C ortam sıcaklık değerlerinde; modifiyeli Fusuyama, 1g/L NaF katkılı modifiyeli Fusuyama ve %1,7 H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama olmak üzere üç farklı yapay tükürük çözeltisinde bekletilerek korozyon davranışları ağırlık kaybı metodu ile gözlemlenmiş ve makro yüzey görüntüleri incelenmiştir. Son olarak alınan yüzey mikro sertlik ölçümleri ile tel yüzeyinde meydana gelen sertlik değişimleri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, NaF ve H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltilerinde bekletilen tüm tellerde korozyon hızının daha yüksek olduğu ve ortamlardan en çok etkilenen tellerin de nikel-titanyum ve beta-titanyum alaşımı teller olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ortodontik teller, korozyon, yapay tükürük.

ABSTRACT

Orthodontics is a discipline that takes up the normal structure and growth, anomalies and their treatment of tooth, jaw bone and face complex. Wires, springs and brackets used in orthodontic treatment must be produced from materials that appropriate with oral cavity and used without suffering corrosion and losing mechanical properties.

In this study, wires chosen from the materials mostly aforementioned in scientific literature and used by orthodontists which are 18-8 Cr-Ni stainless steel, nickel-titanium, beta-titanium and cobalt-chromium-nickel alloys are kept in three artificial saliva solution which are modified Fusuyama, modified Fusuyama with 1g/L NaF addition and modified Fusuyama with 1.7% H₃PO₄ addition in a situation that is equal to oral cavity temperature and corrosion behaviors observed by using weight loss method and looking through macro surface photographs. At last, changes in the value of surface hardness are investigated by taking surface mikro hardness measurements.

Consequently it is determined that corrosion rate of all wires kept in the modified Fusuyama solutions with NaF and H₃PO₄ addition are higher and the most affected wires are nickel titanium and beta titanium alloy wires.

Keywords: Orthodontic wire, corrosion, artificial saliva

1. GİRİŞ

Diş hekimliğinin bir uzmanlık dalı olan ortodonti, diş, çene ve yüz kompleksini normal yapı ve gelişim, anomaliler ve anomalilerin tedavisi yönünden ele alan bilim dalıdır.

Ortodontik tedavinin yaş yelpazesi çok geniştir. Süt dişlenme dönemi olarak adlandırılan okul öncesi yıllarda; parmak emme, dudak yeme, ağza yabancı cisim sokma gibi alışkanlıklara bağlı olarak ortaya çıkan sorunların mümkün olduğu kadar azaltılmasına yönelik uygulamalar şeklinde koruyucu tedaviye başlanır. Bu alışkanlıklar süt dişlenme döneminde ortadan kaldırılırsa iskelet yapıda kalıcı bir bozukluk oluşmadan iyileşme sağlanır. Bunun için de birtakım ağız içi veya ağız dışı aygıtlardan yararlanılır.

İlkokul çağı çocuklarını kapsayan, ağızda hem daimi hem de süt dişlerinin bulunduğu karışık dişlenme döneminde, zamanından önce veya sonra süt dişlerinin kaybedilmesi ve alttan gelen daimi dişlere rehberlik edememesi sonucunda birtakım yer darlığı problemleri oluşabilir. Oluşan çapraşıklığın giderilmesi ortodontinin ilgi alanına girer. Yine bu dönemde başlayıp ergenlik çağının sonuna kadar devam eden çeneler arası uyumsuzlukların giderilmesi de ortodontinin konusudur.

Dişeti hastalıklarına bağlı olarak meydana gelen diş düzensizlikleri veya diş kaybına bağlı olarak ya da olmayarak meydana gelen düzensizliklerin tedavileri de ortodontinin konusudur.



Şekil 1.1 Sabit ortodontik tedavi

[www.hekimim.com]

Ortodontik tedavide diş üzerine yay, tel veya özel lastiklerle bir kuvvet uygulanarak kuvvetin yönünde bir hareket oluşturulur. Hareket eden dişin önünde geçici bir süre için kemik dokusu yıkımı olurken hareketin aksi yönde ise yeni kemik dokusu yapılır ve böylece dişler, yeni bir kemik yuvasına otururlar.

Dişler düzeldikten hemen sonra etrafındaki yapılar, dişlerin yeni konumuna uyum

sağlayamamaktadır. Ayrıca kemik dokusu olgunlaşmamaktadır. Bu nedenle apareyler çıkarılırsa dişler eski yerlerine dönebilirler. Bunu önlemek için düzelmiş dişleri yapılacak başka aygıtlarla yerlerinde pekiştirmek gerekir. Tedavinin bu son aşamasına pekiştirme tedavisi denir. Ortalama 2 yıl olmakla beraber 6 aydan 3–4 seneye kadar süren ortodontik tedaviler olabilmektedir.

Ortodontik tedavilerde ortodonti uzmanının tedavide etkinlik, tedavi süresi ve hastanın ekonomik durumunu düşünerek seçeceği, sabit ve hareketli olmak üzere iki çeşit olabilen apareyler kullanılmaktadır.



Öncesi

Sonrası

Şekil 1.2 Ortodontik tedavi öncesi – sonrası görüntüleri

[www.ortodontist.com]

Korozyon, günümüzde önemli bilimsel konulardan biri haline gelmiştir. Özellikle ortodontik teller gibi tıbbi apareylerin korozyon davranışlarının incelenmesi gerek insan sağlığı gerekse aparey kullanım ömrü ve apareyin tedavideki etkinliği açısından önem arz etmektedir.

Çalışmada, ortodontistler tarafından sıkça kullanılan malzemelerden seçilmiş olan 18-8 krom nikel paslanmaz çelik tel, nikel-titanyum alaşımı tel, beta-titanyum alaşımı tel ve kobalt-krom-nikel alaşımı olan Elgiloy® tel numuneleri; insan ağız içi ortamına denk sayılan 22°C – 37°C arasındaki ortam sıcaklık değerlerinde; modifiyeli Fusuyama, NaF katkılı modifiyeli Fusuyama ve H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama olmak üzere üç farklı yapay tükürük çözeltisinde bekletilerek korozyon davranışları ağırlık kaybı metodu ile gözlemlenmiş ve makro yüzey görüntüleri incelenmiştir. Son olarak alınan yüzey sertlik ölçümleri ile tel yüzeyinde meydana gelen sertlik değişimleri incelenmiştir.

2. DİŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN ORTODONTİK TELLER

Diş hekimliğinde teller ortodontik donanımların ve parsiyel protez diye adlandırılan bölgesel protezlerin kroşelerinin yapımında kullanılır. Gerek kroşeler için gerekse ortodontik donanımlar için kullanılacak teller yuvarlak, oval veya kare kesitlerinde üretilebilirler. Tellerin kesitleri ince olduğundan tercih edilen üretim yöntemi tel çekme yöntemidir.

2.1 Beklenen özellikler

Ortodontik tedaviler esnasında teller ortodontist hekim tarafından bükülerek şekillendirilir. Bu işlem göz önünde bulundurulduğunda tellerden beklenen en önemli özelliğin kırılmadan bükülebilmesi olduğundan, tellerin bükülürken kopmayacak ve büküm tekrarlanabilirliği uygun olacak malzemeden yapılması gerekmektedir.

Ortodontik tellerin daimi deformasyona uğramadan büyük yer değiştirmelerine uğrayabilmesi yani yaylanabilme özelliğine sahip olması, tedavide kullanımı için gerekli özelliklerden biridir. Bu özellik aynı zamanda telin kırılmadan bükülebilme özelliğini de sağlamaktadır. Telin yaylanabilme özelliği bir mekanik özellik olup şu şekilde açıklanabilir:

Yaylanabilme potansiyeli = Akma dayanımı / Elastiklik modülü

Yaylanabilme özelliği telin çekilmesi esnasında oluşan, talaşsız şekillendirmeye has olan fibröz yapı yani lif dokusuna sahip yapı ile sağlanabilmektedir.

Ortodontik tedavi esnasında, diş hareketi için telin uygun kuvvet uygulaması, elastiklik modülü ile yakından alakalıdır. Uygulama farkına göre bu özellik farkından yararlanılabilir. Örneğin bazı durumlarda dayanıklı tel ile hızlı hareket gerekirken bazı durumlarda da esnek tel kullanılarak yavaş hareket sağlanabilir.

Ortodontik tellerin bazı birleştirme istenen durumlarda lehimlenebilmesi istenmektedir. Böyle bir durumda da tellerin mekanik özelliklerini yitirmemesi istenir.

Son olarak değinilmesi gereken, en önemli konulardan biri olan korozyona karşı dayanımdır. Teller, sabit veya hareketli bir ortodontik aygıtın parçası olarak ağızda uzun süre bulunabilir ve ağız sıvısı, yiyecek, içecek gibi her türlü durumla karşılaşabilir. Bu sebeple tellerin ağız sıvıları ve çokça karşılaşacakları ortamlarda korozyona karşı dirençli olmaları gerekmektedir.

2.2 Uygun malzemeler

Tel malzemelerinin seçim kriterlerinin başında yeterli çekme, bükme ve burulma dayanımlarının yanı sıra korozyon direnci de önemlidir. Ortodontik teller; başta östenitik paslanmaz çelik olmak üzere, nikel-titanyum alaşımları, kobalt-krom-nikel alaşımları ve beta-titanyum malzemelerinden yapılmaktadır.

2.2.1 Östenitik paslanmaz çelikler

%11'den fazla krom içererek paslanmazlık özelliği kazanan paslanmaz çelikler; ferritik, martenzitik, östenitik, duplex ve çökelme yoluyla sertleşen paslanmaz çelikler olmak üzere beş ana sınıfa ayrılır.

Dış hekimliği, tıp gibi sektörlerde kullanılan aygıtların yüksek korozyon direncine sahip olmaları gerekmektedir. Optimal korozyon direnci için krom oranının östenitik paslanmaz çelik için %16 ila %26 arasında bulunması gerekmektedir. Aksi takdirde yeterli krom oksit tabakası oluşmayacak ve bir koruyuculuk sağlanmayacaktır. %28'i aşan krom değerleri de krom-karbür oluşumunu gerçekleştirerek istenmeyen kırılgan bir yapı oluşmasını sağlar. Ayrıca karbon oranının kontrolü de çok önemlidir. Aksi takdirde yeniden krom-karbür oluşumu gözlenecek ve korozyona karşı hassasiyet olan kırılgan yapı tekrardan ortaya çıkacaktır. Östenitik paslanmaz çeliğin yaygın kullanımının başlıca nedeni içerisinde bulunan östenit yapıcı elementlerin etkileridir. Bu elementler ve işlevleri şu şekilde açıklanabilir:

Karbon: Krom ile birlikte tanelerarası korozyonda başrol oynayan karbürlerin oluşumuna neden olur.

Nikel: Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır. Aynı zamanda nikel oranı östenitik paslanmaz çelikler için %8 ile %24 arasında olabilir.

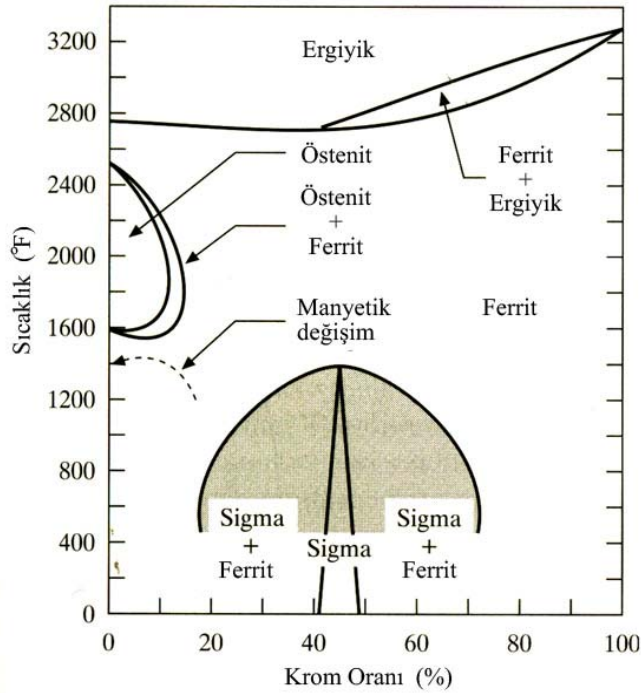
Azot: Bu konuda çoğu zaman nikel kadar etkilidir.

Bakır: Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılır. Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik eder.

Şekil 2.1'de demir-krom diyagramı görülmektedir. Bu diyagrama bakıldığında oda sıcaklığında %20'ye kadar krom içeren demir-krom alaşımı ferritik özellik göstermektedir. Nikel içeren demir-krom alaşımlarında ise oda sıcaklığında östenitik yapı oluşması söz

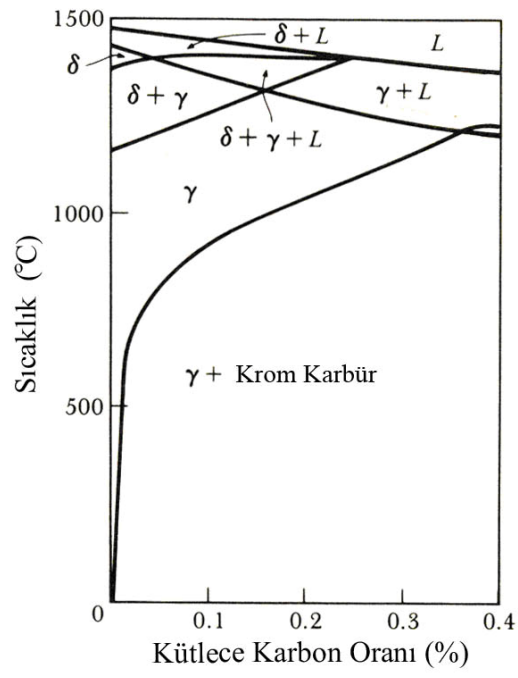
konusu olacaktır. Çizelgede göze çarpan ve %20 krom içeriğinden sonra başlayan Sigma + Ferrit fazıdır. Sigma fazı, atomik %50 demir %50 krom içerikli, sert ve gevrek yapıdır. Bu yapı, korozyon dayanımı da düşük olduğu için sakıncalıdır.

Genel kullanımda ve ortodontik tellerin malzemesi olarak, %18-8 Cr – Ni içeren östenitik paslanmaz çeliğin sıkça kullanılmasının ana nedeninin yüksek korozyon ve kararma direncine sahip olmasıdır. Şekil 2.2’de ise ortodontik tellerin yapımında sıkça kullanılan 18-8 paslanmaz çelikler için hazırlanmış demir-krom-nikel-karbon faz diyagramı görülmektedir. Östenit karar elementi nikel östenit bölgenin genişliğini artırarak ferrit içeriğini de azaltmakta, yok etmektedir. Eğer karbon miktarı da %0.03’ün altında olursa krom-karbür oluşmayacak ve çelik oda sıcaklığında tamamen östenitik yapıya sahip olacaktır. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapı görüntüsü şekil 2.3’de gösterilmiştir.

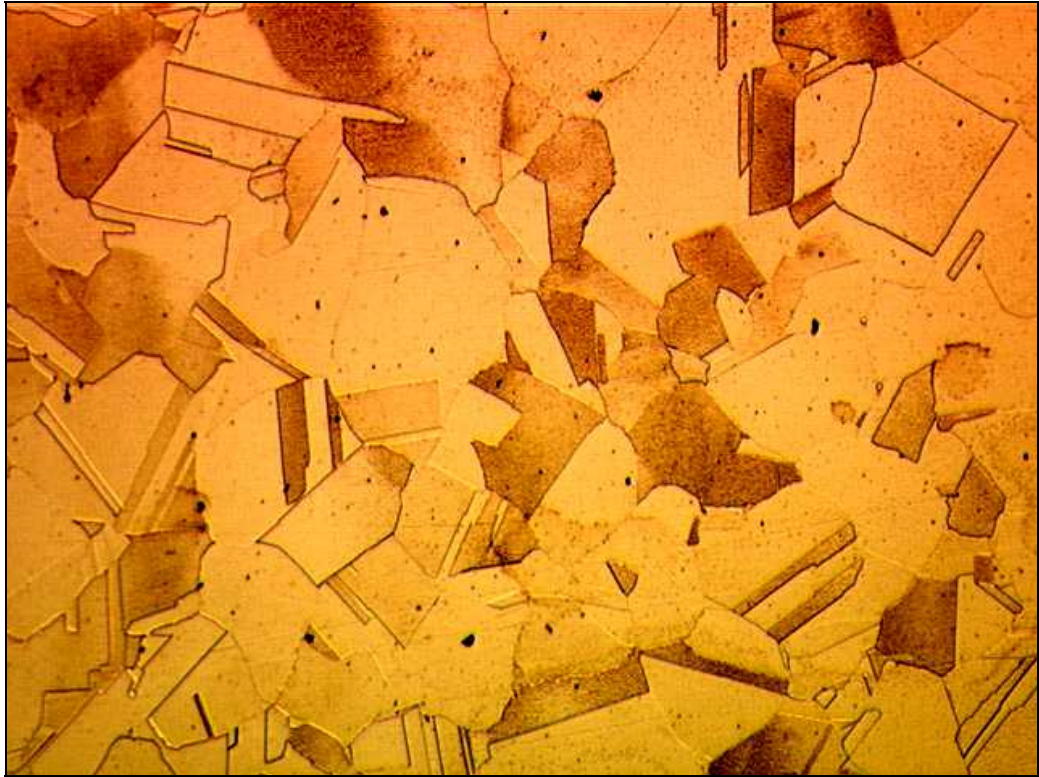


Şekil 2.1 Demir-krom faz diyagramı

[A. W. Grosvenor, Basic Metallurgy, © American Society for Metals, 1962.]



Şekil 2.2 Sabit %18 Cr - %8 Ni içerikli demir-krom-nikel-karbon faz diyagramının bir bölümü.



Şekil 2.3 Östenitik paslanmaz çelik mikro yapı görüntüsü.

Hadde ve tel çekme gibi talaşsız imalat yöntemleriyle elde edilen paslanmaz çelik teller, daha sonra kullanım haline getirilmek üzere ortodontik pensler ve cihazlar ile şekillendirilirler ve 1-10 dakika süre ile 450°C sıcaklıkta gerilim giderme tavlamasına tabi tutulurlar. Yalnız bu işlemin uygulanması için paslanmaz çelik tellerin az miktarda titanyum, niyobyum veya tantal içererek stabilize edilmiş olmaları gerekmektedir. İlave edilen alaşım elementlerinin kroma kıyasla karbona ilgisinin daha fazla olması sayesinde krom-karbür oluşumunun önüne geçilmektedir. Ayrıca, molibden ilavesi çukurcuk (pitting) korozyonu oluşumunu engellemeye yardımcı olacaktır.

Korozyon direncinin yanı sıra malzemenin akma, bükme ve burulma dayanımı gibi özelliklerinin de sağlanması gerekmektedir. Kıymetli metal içermeyen ANSI/ADA Spesifikasyonlu No:32 ortodontik tellerden I.Tip (düşük esneklik) ve II.Tip (yüksek esneklik) için akma dayanımı ve bükme tekrarlanabilirliği Çizelge 2.1.'deki gibidir.

Çizelge 2.1: Kıymetli metal içermeyen ANSI/ADA spesifikasyonlu No:32 ortodontik teller

	I.Tip Düşük Esneklik		II. Tip Yüksek Esneklik
2.9 derece ofsetli eğme	1700 (en küçük)		2500 (en küçük)
(bükme) akma dayanımı, Mpa	2400 (en büyük)		-----
90 derece bükme çevrim sayısı	0.30mm çap	0.30mm - 0.64mm çap	0.64mm çap
(minimum)	15	10	5

Çizelge 2.2: 18-8 Paslanmaz çelik tellerin mekanik özellikleri

	0.36mm Çap		0.56mm Çap	
Özellik	Isıl işlemsiz	Isıl işlemlî*	Isıl işlemsiz	Isıl işlemlî*
Akma dayanımı, %0.1 ofset, ⁺ MPa	1680	1950	1490	1640
Çekme dayanımı, MPa	2240	2180	2040	2160
Sertlik (Knoop), kg/mm ²	525	572	536	553
Soğuk-bükme(eğme)				
90 derece bükme sayısı	37	54	13	21

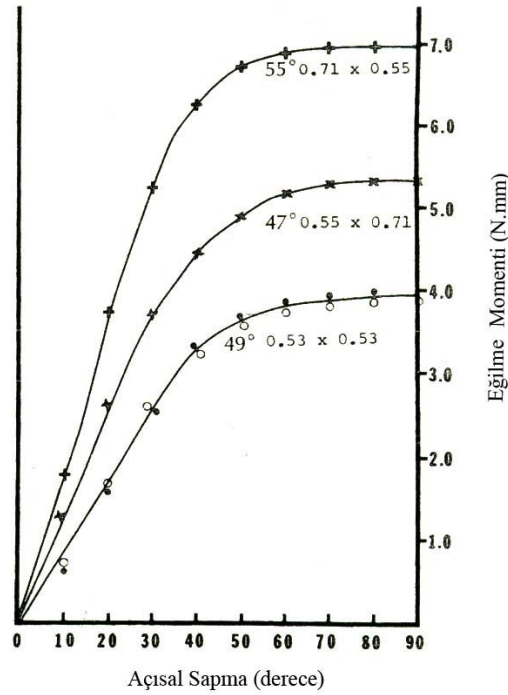
*482°C'de 3 dakika.

⁺Gerilim esnasında ölçülen.

[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]

Çizelge 2.2’de de 18-8 paslanmaz çelik tellerin iki çap değeri için mekanik özellikleri ile ilgili veriler görülmektedir. Çizelge 2.2 incelendiğinde 0.36mm çaplı telin, 0.56mm çaplı tele göre daha yüksek değerler gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunun sebebi olarak, daha yüksek oranda soğuk çekme işlemine tabi tutulması sunulabilir. Ayrıca, çekme dayanımı haricinde tüm değerlerin gerilme giderme ısı işlemi sonucunda geliştiği gözlemlenmektedir.

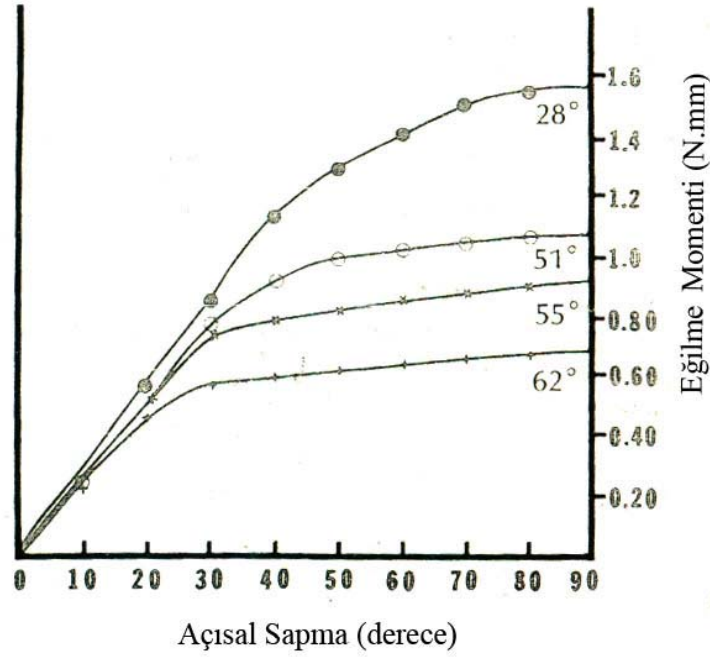
Eğilme momenti - açısall sapma eğrilerinin oluşumunda etkili üç faktör bulunmaktadır. Bunlar; telin geometrisi, tel yönelimine uygun olarak yükleme yönü ve ısı işlem süreleridir. Bir dikdörtgen kesitli telin bükümünde, geniş boyutta yapılan büküm işlemi dar olan boyuta göre daha fazla rijitlik gösterir. Kare kesitli telde, kenara veya köşegene göre büküm çok fazla değişim göstermeyecektir; çünkü boyutsal farklılık fazla değildir. Tüm bu işlemlerle ilgili veriler Şekil 2.4’de görülmektedir. Aynı zamanda, Şekil 2.5’de de ısı işlem sürelerine göre eğilme momenti – açısall sapma değişim eğrileri görülmektedir. Telin kısa süreli ısı işlem görmesi, eğme kuvvetinin düşmesini yani rijitliğin azalmasını ve telin ısı işlemsiz haline göre daha düşük bir açıda kalıcı şekil değiştirmeye başlamasını sağlamaktadır.



Şekil 2.4 Kare ve dikdörtgen kesitli 18-8 paslanmaz çelik teller için eğilme momenti – açısall sapma eğrileri. (Boyutlar mm’dir)

Isı işlemsiz (•••), 15 s. ısı işlemli (ooo), 60s. ısı işlemli (xxx) ve 120s. ısı işlemli (+++).

[Craig RG, editor: *Dental materials: a problem-oriented approach*, St Louis, 1978, Mosby.]



Şekil 2.5 0.46mm çapta 18-8 paslanmaz çelik teller için eğilme momenti – açısal sapma eğrileri.

Isıl işlemsiz (●●●), 15 s. ısıtılmış (°°°), 60s. ısıtılmış (xxx) ve 120s. ısıtılmış (+++).

[Craig RG, editor: *Dental materials: a problem-oriented approach*, St Louis, 1978, Mosby.]

2.2.2 Kobalt-krom-nikel alaşımı

Elgiloy® adıyla da bilinen krom-kobalt-nikel alaşımı; tel ve bant formunda bulunup, çeşitli alet ve aparatların yapımında kullanılmaktadır. Kimyasal bileşiminde %40 kobalt, %20 krom, %15 nikel, %7 molibden, %2 mangan, %0.4 berilyum, %0.15 karbon ve %15.4 demir bulunmaktadır. Malzemenin en ilgi çekici özelliği berilyumun etkisi ile ergime sıcaklığının düşmesi ve üretiminin kolaylaşmasıdır.

Kobalt-krom-nikel alaşımlı ortodontik teller yumuşak, sünek, yarı esnek ve esnek hallerde bulunurlar. Teller sünek halde çekilip rahatlıkla şekil verildikten sonra ısıtılmış işlem ile sertleştirilirler. Yaygın kullanılan ısıtılmış işlem, paslanmaz çeliklere uygulanan gerilme giderme işlemine benzemektedir ve 482°C'de 7 dakika süre ile gerçekleştirilmektedir.

Kobalt-krom-nikel alaşımlı tellerin özellikleri paslanmaz çelik teller ile benzerlik gösterir. Bunun yanı sıra uygulanan ısıtılmış işlemler ile tel özelliklerinde istenilen değişiklikler yapmak

mümkündür. Esnek temper Elgiloy® telin mekanik özellikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir. Ayrıca, 0.36mm. ve 0.46mm. çaplı tellerin 90° büküm tekrarlanabilirliği de Çizelge 2.4’de gösterilmiştir. Kobalt-krom-nikel tellerin lehimlenerek birleştirilmesi zor olmasına karşın gümüş lehim ve flüorür akışkan kullanılarak lehimlenebilir veya nokta kaynağı ile birleştirilebilirler. 0.46mm. çaplı Elgiloy® tel için eğilme momenti-açısal sapma eğrisi Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi; kalıcı şekil değiştirmenin gerçekleştiği açı, yumuşak temperden esnek temper tele doğru artmaktadır. 90° büküm sonrası kalıcı şekil değiştirme ise tam tersi olarak esnek temperde daha düşük yumuşak temperde daha fazladır.

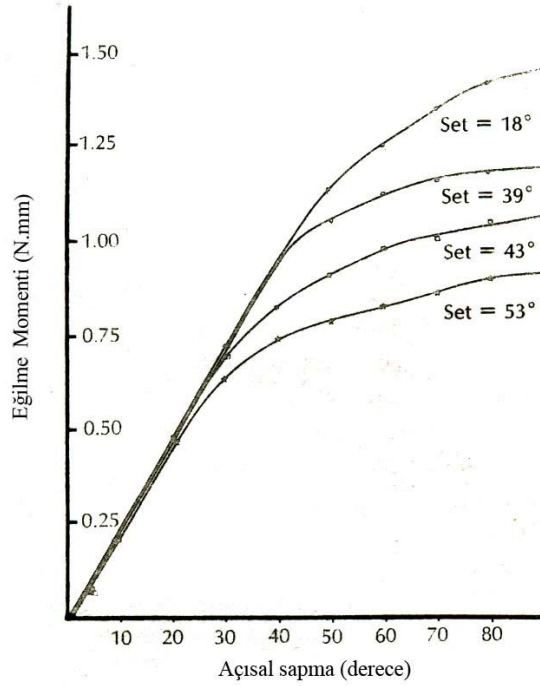
Çizelge 2.3 Kobalt-krom-nikel alaşımlı (Elgiloy®) tellerin mekanik özellikleri

Özellik	Esnek Temper Elgiloy®
Akma dayanımı, %0.1 ofset, ⁺ MPa	1930
Çekme dayanımı, MPa	2540
Sertlik (Vickers), kg/mm ²	700

Çizelge 2.4 0.36mm ve 0.46mm çaplı tellerin 90° büküm tekrarlanabilirliği

Tel tipi	0.46 mm çap		0.36 mm çap
	Isıl işlemsiz	Isıl işlemlili	Isıl işlemsiz
Yumuşak	15	12	-
Sünek	13	9	-
Yarı esnek temper	12	9	-
Esnek temper	5	<1	11

[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]



Şekil 2.6. 0.46mm çaplı Elgiloy® telin eğilme momenti - açısal sapma grafiği.

Aşağıdan yukarıya tel çeşitleri yumuşak (**), sünek (xxx), 7 min. 482°C'da ısıtılma işlem görmüş sünek (°°°) ve esnek temper (•••) tipindedir.

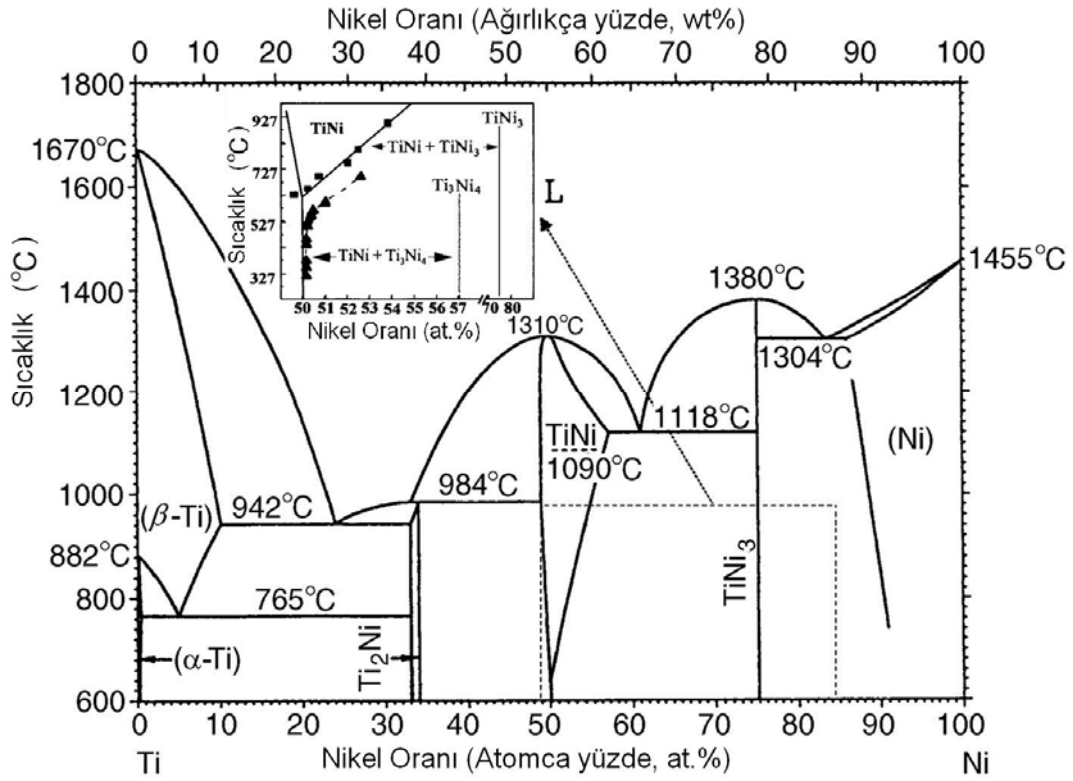
[From Craig RG, editor: *Dental materials: a problem-oriented approach*, St Louis, 1978, Mosby.]

2.2.3 Nikel-titanyum alaşımı

Ortodontik tellerin yapımında kullanılan tel alaşımlarından bir diğeri Nitinol® ismi ile de bilinen NiTi alaşımı malzemelerdir. Soğuk şekillendirilmiş Nitinol® tel ürünlerin ortodontide kullanımı 1972 yılına dayanırken, şekil hafızası da bulunan bu malzemenin şekil hafızasının keşfi 1962'de W.J.Buehler ve arkadaşları tarafından A.B.D. Deniz Savaş Araçları Laboratuvarı'nda yapılan çalışmalara dayanmaktadır. (Nitinol®: Ni-Ti Naval Ordnance Laboratory)

NiTi alaşımları, yüksek esneklik, sınırlı şekil verilebilme ve ısı hafıza özelliklerine sahip malzemelerdir. Titanyum-nikel faz diyagramı incelendiğinde, eşit oranda titanyum ve nikel atomlarından meydana gelen atomca % 50 nikel bölgesinde intermetalik NiTi oluşumu görülür. Saf titanyum ergime sıcaklığı 1670°C, saf nikel ergime sıcaklığı 1455°C olmasına

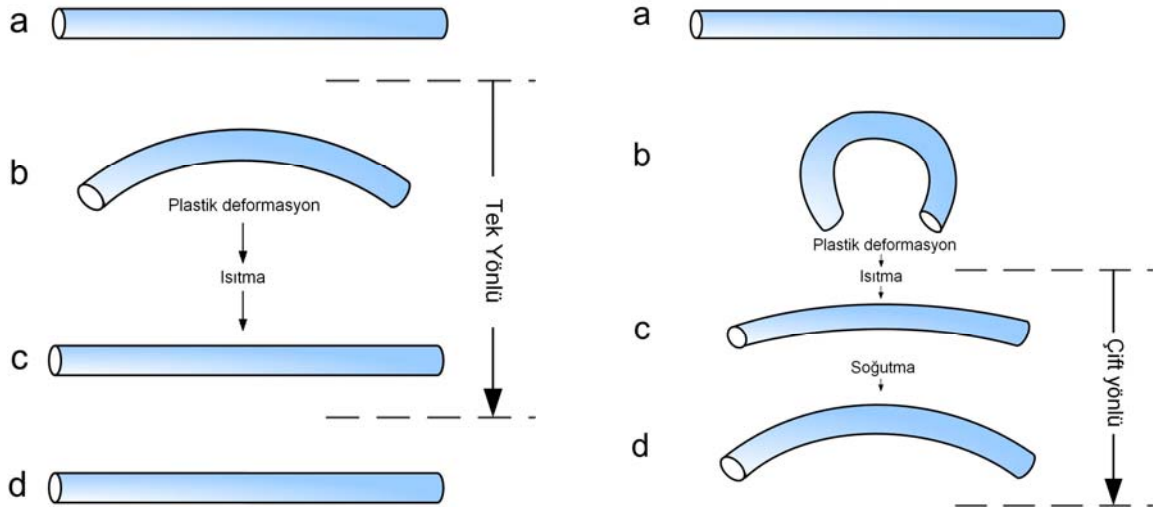
karşın eşatomlu NiTi alaşımının ergime sıcaklığı ise 1310°C'dir. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 TiNi faz diyagramı.

[DİLİBAL S., Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi Ve Şekil Bellek Eğitimi,
Doktora Tezi, 2005, İstanbul]

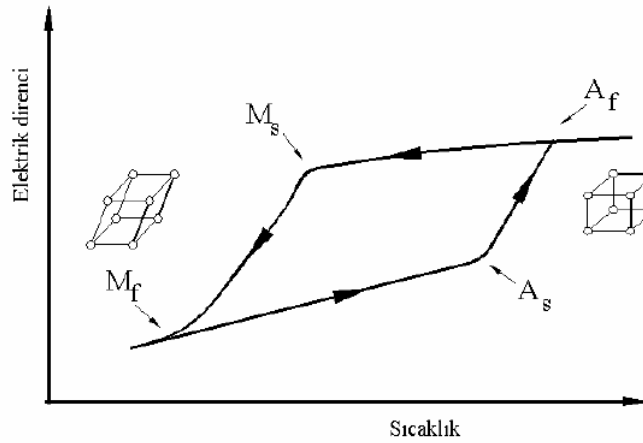
Şekil hafızalı alaşımlar, deformasyona uğratıldığında, tatbik edilen sıcaklık ve gerilmelere bağlı olarak daha önceki şekil veya boyutuna geri dönebilme özelliği gösteren metalik malzemelerdir. Şekil hafızalı alaşımların temel karakteristiği, alaşıma giren elementlerin oranlarıyla belirlenebilen bir dönüşüm sıcaklığının üzerinde ve altında farklı iki şekil ve kristal yapısına sahip olabilmeleridir. Bu belirlenebilen sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda östenitik yapı (anafaz), altındaki sıcaklıklarda ise martenzitik yapı oluşur. Alaşım martenzitik yapıda iken deformasyona uğratıldıktan sonra dönüşüm sıcaklığı üzerine ısıtıldığında ana faza dönüşürken ilk şekline geri döner. Sadece ısıtma halinde şekil değiştiren tek yönlü şekil hafızasına sahip alaşımlar değil, ısıtma ve soğutma halinde iki yönlü şekil hafızası gösteren alaşımlar da mevcuttur. Bu özellik tamamen şekil hafızası kazandırma sırasında yapılan işlemlere bağlıdır. Tek ve çift yönlü şekil hafızası özelliği Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Tek ve çift yönlü şekil hafıza etkisi şematik gösterimi

[en.wikipedia.org]

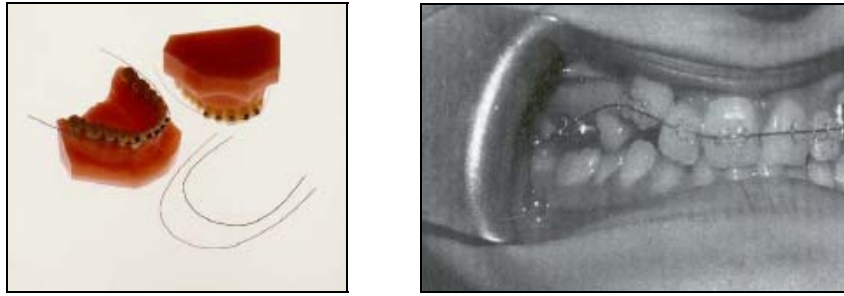
Nikel-titanyum alaşımına üçüncü bir element katkısı, alaşımın faz dönüşümlerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Kompozisyondaki bu değişimin etki ettiği nokta martenzitik dönüşüm ve östenitik dönüşüm başlama ve bitiş sıcaklıklarıdır. Ortodontik uygulamalarda ise sadece östenitik dönüşüm bitiş sıcaklığı 37°C 'nin altında olan kobalt içerikli NiTi alaşımları kullanılır. Şekil 2.9'da martenzitik ve östenitik dönüşüm sıcaklıklarını görebileceğimiz şekil hafızalı malzeme elektrik direnci – sıcaklık diyagramı örnek olarak verilmektedir.



Şekil 2.9 Şekil hafızalı malzeme elektrik direnci – sıcaklık diyagramı

[DİLİBAL S., Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi Ve Şekil Bellek Eğitimi, Doktora Tezi, 2005, İstanbul]

NiTi şekil hafızalı alaşımların genel fiziksel ve mekanik özellikleri çizelge 2.5’de gösterilmiştir. NiTi şekil hafızalı alaşımların şekil hafıza özelliği ve süperelastik özelliğinin sağladığı avantajlar, birçok alanda geleneksel kullanımı bulunan 300 serisi paslanmaz çeliklerin yerini almasını sağlamıştır. Çizelge 2.6’da NiTi ve 300 serisi Paslanmaz Çeliklerin özelliklerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Bu karşılaştırma sonucu olarak ortodontik tellerin yapımında kullanılan NiTi alaşımları, paslanmaz çeliklere göre bir adım önde yer almaktadır.



Şekil 2.10 Ortodontide kullanılan NiTi tel örnekleri ve uygulaması.

[DİLİBAL S., Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi Ve Şekil Bellek Eğitimi,
Doktora Tezi, 2005, İstanbul]

Çizelge 2.5 NiTi şekil hafızalı alaşım özellikleri

Özellik	Değer
Dönüşüm Sıcaklık Aralığı (°C)	-50 ile +100 arası
Yorulma Dayanımı (N/mm ²)	800-1000
Yorulma sınırında uygulanabilir gerilme (N/mm ²)	150
Yorulma ömrü	>100000 N
Yoğunluk (g/cm ³)	6.45
Elektrik direnci (μ.Ω.cm)	80-100
Elastisite modülü (Gpa)	50
Korozyon direnci	Çok yüksek
Şekil Hafıza gerinimi (5)	Maksimum %8.5

[DİLİBAL S., 2005, AKDOĞAN A., NURVEREN K, 2003]

Çizelge 2.6 NiTi ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	NiTi	Paslanmaz Çelik
Geri dönüşümlü uzama	%8	%0.8
Çekme Dayanımı (MPa)	Martenzit: 103-1100 Östenit: 800-1500	Yaklaşık 760
Elastisite Modülü (GPa)	Martenzit: 28-41 Östenit: 83	Yaklaşık 193
Yoğunluk (g/cm ³)	6.45	8.03
Özdirenç ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	Martenzit: 80 Östenit: 199	72
Isıl Genleşme Katsayısı	Martenzit: $6.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ Östenit: $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$17.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

[DİLİBAL S., 2005]

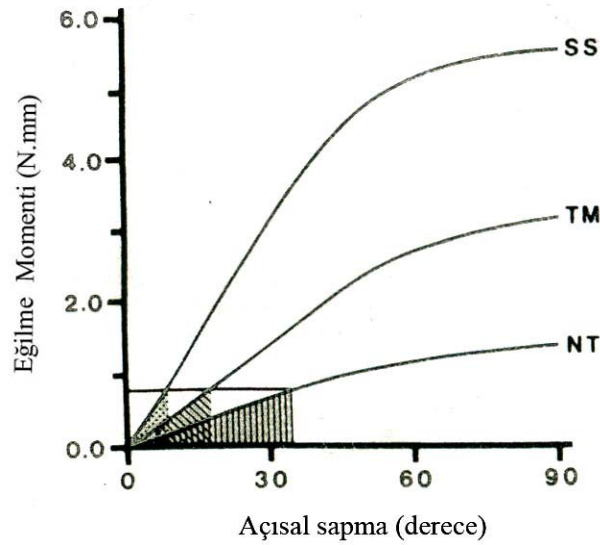
Ortodontik tellerin genel kullanımı dikkate alındığında NiTi alaşımlı tellerin, paslanmaz çelik teller ve beta-titanyum tellere göre daha düşük elastiklik modülü ve akma gerilmesine sahip olduğu Çizelge 2.7’den anlaşılmaktadır. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de de görüleceği üzere, NiTi en düşük yaylanma oranına sahip fakat en yüksek eğilme ve burulma rezilyansına sahiptir. Klinik açısından düşük elastiklik modülü ve yüksek rezilyans, genişletilmiş çalışma yüzeyinde daha düşük ve daha sabit kuvvetler ile çalışabilmek anlamına gelmektedir. Hizaya getirilmesi zor dişlere uygulanacak yüksek saptırmalar için yüksek geri yaylanma özelliği gereksinimi önem taşıdığından, en yüksek geri yaylanma özelliğine sahip olan NiTi tellerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Özel bükme teknikleri gerektiren NiTi alaşımı telleri, keskin kenarlar veya tam döngü şeklinde bükme mümkün olmadığından ön büküm uygulanmış durumda ve ön aç verilmiş braketler ile kullanımı uygundur. Lehim ve kaynak yöntemlerine uygun olmayan gevrek NiTi tellerin mekanik yollarla birleştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.7 Ortodontik tellerin gerilim, bükme ve burulma özellikleri

Özellik	18-8 Paslanmaz Çelik	Nikel- Titanyum	Beta- Titanyum
GERİLİM			
(YS) %0.1 akma dayanımı (Mpa)	1200	343	960
(E) Elastiklik modülü (GPa)	134	28.4	68.6
Geri yaylanma (YS/E), 10^{-2}	0.89	1.40	1.22
EĞİLME			
2.9 derece ofset akma dayanımı, (Mpa)	1590	490	1080
Elastiklik modülü (GPa)	122	32.3	59.8
Yaylanma oranı (Nmm/derece)	0.80	0.17	0.37
BURULMA			
Yaylanma oranı (Nmm/derece)	0.078	0.020	0.035

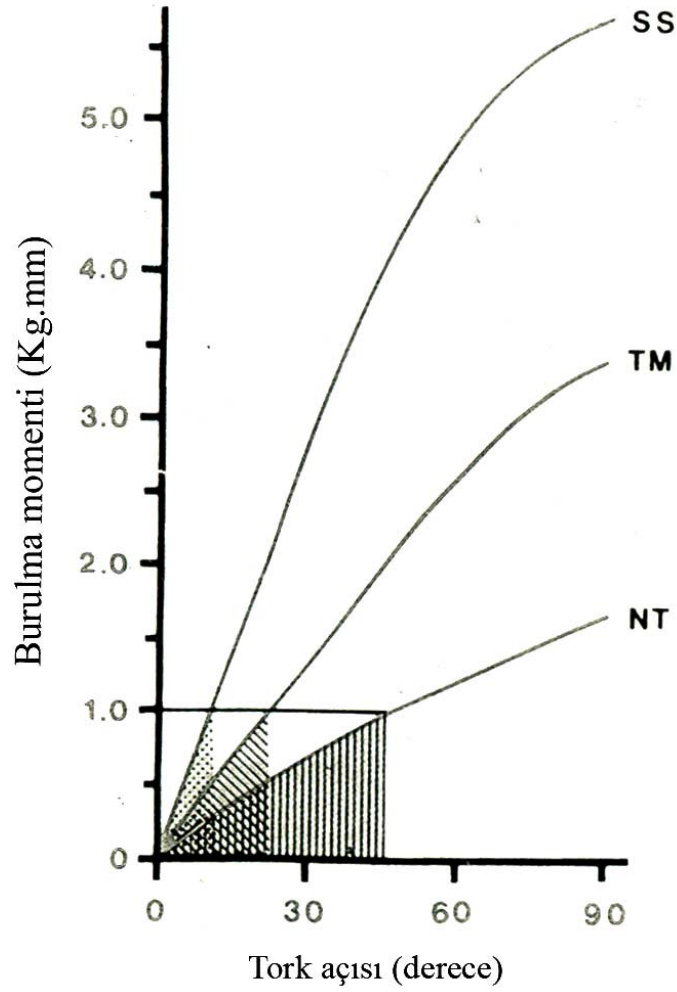
[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]



Şekil 2.11 Paslanmaz çelik (SS), beta-titanyum (TM) ve nikel-titanyum (NT) için eğilme momenti – açılal sapma grafiğı.

Aynı eğilme momenti için eğri altında kalan taralı alan yüklenmiş enerjiye eşittir.

[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]



Şekil 2.12 Paslanmaz çelik (SS), beta-titanyum (TM) ve nikel-titanyum (NT) için burulma momenti – tork açısı grafiği.

[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]

Şekil 2.12’de aynı burulma momenti için eğri altında kalan her taralı alanların yüklenmiş enerjiye eşit olduğu ve yaylanma oranının her eğri için eğim açısına eşit olduğu bilinmektedir.

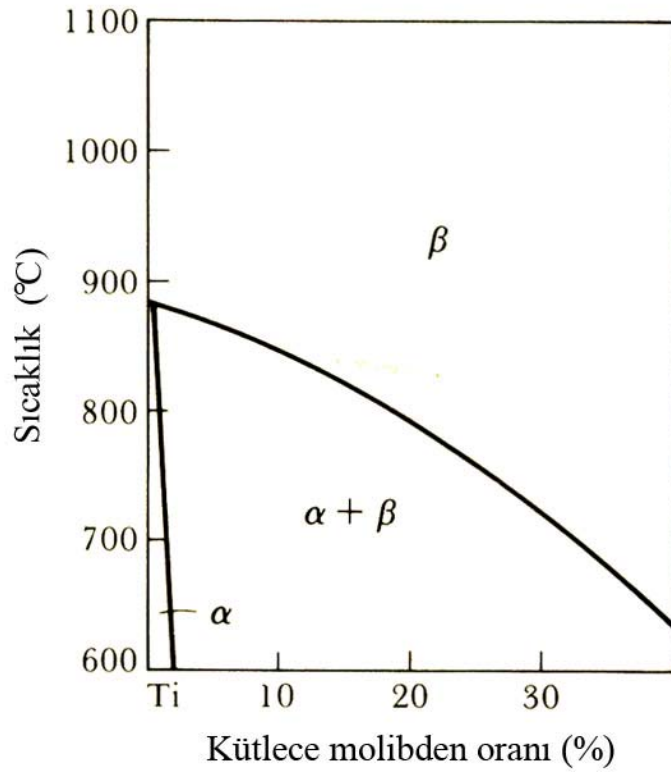
2.2.4 Beta-titanyum alaşımı

Titanyum, akma dayanımı 1390MPa değerine kadar çıkabilen ve yoğunluğu 4.505 g/cm^3 olan hafif ve yüzeyindeki TiO_2 tabakası sayesinde de korozyona karşı dayanımı yüksek bir malzemedir. Titanyum, 883°C ’nin altındaki sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal kristal yapısına yani alfa (α) fazına, 883°C ’nin üzerindeki sıcaklıklarda ise kübik yüzey merkezli

kristal yapısına yani beta (β) fazına sahiptir. Bu yapılar sırasıyla alfa-titanyum ve beta-titanyum isimlerini alır. Alaşıma yüksek miktarda vanadyum veya molibden eklemek ile oda sıcaklığında da beta-titanyum formunu sağlamak mümkündür. Alaşıma eklenen molibden oranına bağlı titanyum faz diyagramı Şekil 2.13’de görülmektedir. Faz diyagramından anlaşılabacağı üzere molibden oranındaki artış, beta fazının daha düşük sıcaklıklarda oluşmasını sağlamaktadır. Ortodontik kullanımlar açısından keşfi 1979 yılına dayanan titanyum-molibden alaşımlarından biri olan beta-titanyum alaşımının diş hekimliğinde geçerli kimyasal bileşimi Çizelge 2.8’deki gibidir.

Çizelge 2.8 Diş hekimliğinde kullanılan beta-titanyum kimyasal bileşimi.

Titanyum	Molibden	Zirkonyum	Kalay
%78	%11.5	%6	%4.5



Şekil 2.13 Titanyum-molibden alaşımı faz diyagramının bir bölümü.

[CRAIG R.G., WARD M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996]

Paslanmaz çelik ve Elgiloy® tellerle karşılaştırıldığında beta-titanyum teller, daha düşük akma dayanımına, elastiklik modülüne ve daha fazla geri yaylanma özelliğine sahiptir. Bunun yanı sıra daha sünek olması, kaynak kabiliyeti ve korozyon direnci tercih sebebi olabilecek özelliklerindendir.

Beta-titanyumun gerilim, eğilme ve burulma gibi mekanik özellikleri açısından paslanmaz çelikler ve nikel-titanyum alaşımları ile kıyaslanması Çizelge 2.7, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir. İlgili çizelge ve şekillerdeki veriler doğrultusunda; beta-titanyumun tellerin, diğer tellerin değerlerinin ortalaması seviyesinde akma dayanımı, elastiklik modülü ve geri yaylanma değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Kolaylıkla şekillendirilebilen beta-titanyum teller, elektrik direnç kaynağı ve lehim işlemleri ile birleştirilebilirler. Uygun kaynak koşulları altında distorsiyonlar en aza indirilebilir. Beta-titanyumun kolay şekil alabilmesi ve kaynak kabiliyeti NiTi alaşımına göre avantaj olmakla birlikte, paslanmaz çelik ve Elgiloy®’a göre de daha geniş çalışma alanına sahiptir.

2.2.5 Yeni/deneysel ortodontik teller

Ortodontik tel malzemelerindeki son gelişmelere bakıldığında, mekanik özellikler ve bunun yanı sıra estetik görünümün üzerinde de durulduğu görülmektedir. Üzerinde çalışılmaya başlanmış olan Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn alaşımının, akma dayanımının ve elastiklik modülünün beta-titanyuma göre daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bir diğer çalışma da fiber takviyeli termoplastik malzemelerden üretilen teller üzerinedir. (CRAIG, 1996) Takviye malzemesi olarak cam ve aramid fiberler, matris malzemesi olarak da polikarbonat (PC) ve polietilen tereftalat glikol kullanılmaktadır. Her matris/fiber kompozit sisteminde, yapıda bozulma olmaksızın şekillendirebilme gerçekleştirilebilmesi için malzemelerin cam geçiş sıcaklıklarına (T_g) bağlı olarak değişen belirli çalışma sıcaklık aralıkları bulunmaktadır. Yeterli yumuşamayı sağlamak için T_g üzerinde bir sıcaklığa çıkmak gereklidir. T_g üzerindeki yüksek sıcaklıklarda kompozit malzemede yapısal değişiklikler meydana gelebildiğinden çalışma sıcaklıkları dikkatle belirlenmelidir. PC malzemeler için gerekli bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2.9’da sunulmaktadır.

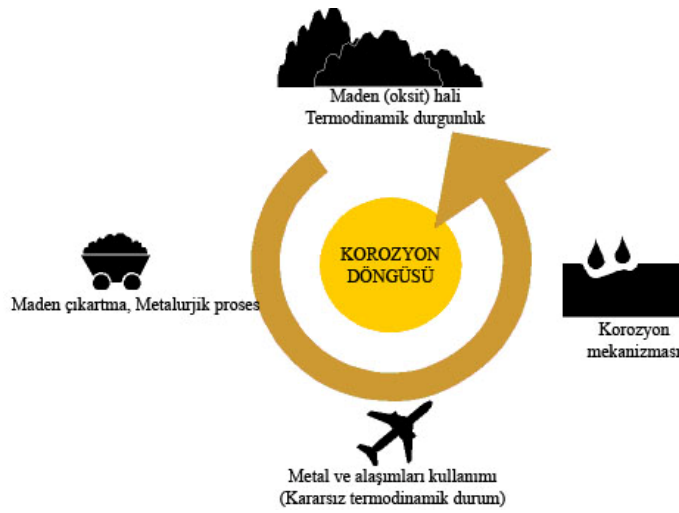
Çizelge 2.9 PC için bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	PC	
Yoğunluk	1.20	g/cm ³
Elastiklik modülü	2-2.4	GPa
Çekme dayanımı	55-75	MPa
Cam geçiş sıcaklığı(T _g)	150	°C
Erime sıcaklığı	267	°C

[<http://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>]

3. KOROZYON

Korozyon, bir metal veya metal alaşımlarının dışarıdan enerji verilmeden çevresi ile girdiği kimyasal reaksiyon sonrası bozunması olayıdır. Korozyon doğal bir proses olabileceği gibi yapar ortamlar ile de gerçekleşebilir. Metal atomları doğada hep bileşik yapma isteği içindedirler. Çıkarılan maden öncelikle fiziksel ve kimyasal yollarla mineral halinden arındırılır. Bu işlemler sırasında uygulanan bir enerji söz konusudur. Metal ise sürekli ilk haline dönmeye çalışacaktır. Bu süreç metalin korozyonu diye adlandırılan geri dönüş evresidir.



Şekil 3.1 Korozyon termodinamik döngüsü

[www.corrosion-club.com]

3.1 Korozyon mekanizmaları

Korozyon mekanizmasının oluşabilmesi için gerekli bazı şartlar bulunmaktadır. Bunlar;

- malzeme
- ortam
- ara yüzey

olarak sıralanabilir. Söz konusu şartların varlığı sağlandığında korozyon mekanizması oluşacak ve malzeme ortam ile reaksiyona girecektir.

Neredeyse tüm korozyon prosesleri sulu çözelti içinde elektrolitik etki ile gerçekleşmektedir. Bu nedenden ötürü ilk olarak elektrokimyasal reaksiyonları incelemek gerekmektedir.

3.1.1 Elektrokimyasal reaksiyonlar

Korozyon, elektrokimyasal bir reaksiyondur. Bir reaksiyonun elektrokimyasal yoldan yürüyebilmesi için;

- potansiyel farkı bulunmalı
- yük transferi reaksiyonu olmalı
- sürekli bir akım iletim yolu bulunmalıdır.

Koşullar göz önüne alınırsa en koroziv ortamın, çeşitli maddeler içeren sulu ortamlar olduğu görülür. Metalin bulunduğu ortamda su, yoğunlaşmış kalın ya da ince nem tabakası bulunuyorsa bu ortamdaki korozyona “sulu ortam korozyonu” denir. Ortam ;

- Oksijen
- Karbondioksit
- H_2S
- Oksitleyici maddeler
- Amonyak
- Asitler, bazlar ve asit tuzları

içerdiği zaman koroziv etki artar.

Elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi çok basit bir anodik ve katodik etkileşimle ilgilidir.[13,15]



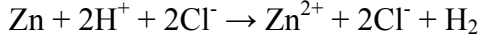
Literatürde genel olarak kullanılan çinkonun hidroklorik asitle girdiği elektrolitik korozyon mekanizmasıdır. Temelde (1) ve (2)den türeyen;



denklemleri ile açıklanırken, HCl asit ile girmiş olduğu reaksiyonlar (5)’deki gibidir:



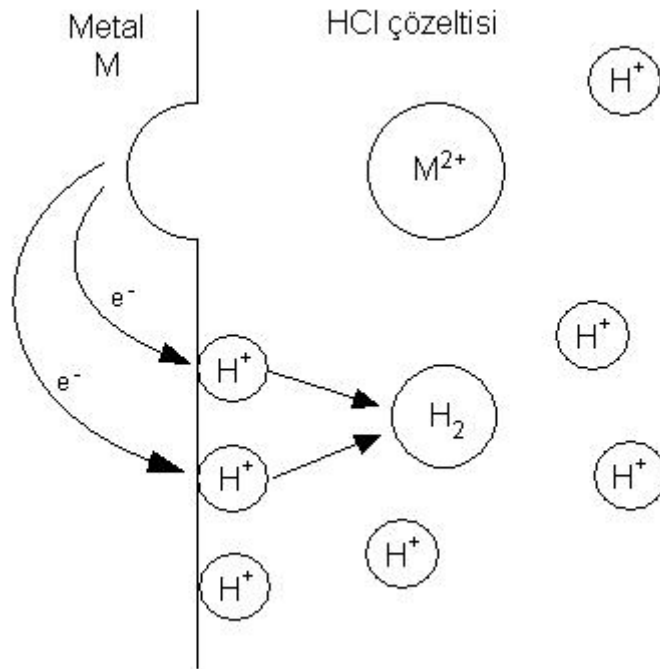
Reaksiyonun iyonik formu da anodik ve katodik iki reaksiyonun birleşimi olan formül (6)'da gösterilmiştir.



Cl^- her iki tarafta olduğundan birbirini götüreceğinden formülün son hali



şeklindedir. Bahsi geçen elektrokimyasal tepkime, Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 HCl çözeltisindeki metal ile asit arası elektrokimyasal tepkime

Katod: Anotta ortaya çıkan elektronları harcayan, reaksiyonun meydana geldiği bölgedir.

Elektrolit: Ortam diye nitelendirdiğimiz, verdiğimiz örneklerdeki sulu çözeltidir.

Ara yüzey: Korozyon reaksiyonunun meydana geldiği, metalin çözüldüğü bölgedir.

Özetle; Katod, elektrolit ve arayüzey göz önünde bulundurulduğunda, dışarıdan enerji verilmeksizin malzeme – ortam arasında ara yüzey oluşumu ve bu ara yüzeyde gerçekleşen kimyasal tepkimeye korozyon denilmektedir.

3.2 Korozyon'un sınıflandırılması

Korozyonun; korozyona uğrayan metalin türüne, korozif ortam türüne, metal ve alaşımına, korozyon mekanizmasına ve korozyondan korunma yöntemine göre farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Mühendisler için geometrik olgular önemli olduğundan, korozyonun sınıflandırması korozyon mekanizmasına göre yapılmaktadır. Bu mekanizmalar aşağıda sırasıyla verilmektedir.

- Homojen dağılımlı korozyon
- Çukurcuk korozyonu
- Aralık korozyonu
- Seçici korozyon
- Galvanik korozyon
- Taneler arası korozyon
- Tane içi korozyon
- Kazımalı korozyon
- Tabakalaşma korozyonu
- Mekanik zorlamalı korozyon çeşitleri
 - o Gerilmeli korozyon
 - o Yorulmalı korozyon
 - o Erozyonlu korozyon
 - o Kavitasyon

3.2.1 Homojen dağılımlı korozyon

Homojen dağılımlı korozyon, adından da anlaşılacağı üzere tüm yüzeyde homojen olarak gözlemlenen korozyon çeşididir. Diğer korozyon çeşitlerine göre ağırlık kaybı fazla olmasına rağmen önlemler sayesinde en zararsız korozyon haline gelmiştir. Korozyonun tüm yüzeyde oluşmasının sebebi anodik ve katodik ortamın sürekli yer değiştirmesidir. Malzeme kesiti

fazla tutularak, yüzey kaplamaları veya ortama inhibitör ilavesi ile korozyonun olumsuz etkilerine karşı önlem alınmaktadır. Bu korozyon tipinde analitik ağırlık azalması hesaplanarak (7) korozyon oranı nitelenmektedir.

$$M = \frac{\Delta m}{s \cdot t} \quad (7)$$

Δm : $m_e - m_b$

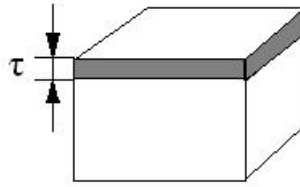
M: analitik ağırlık azalması

m_e : esas ağırlık (ilk tartım)

s: birim alan

m_b : geri kalan ağırlık (son tartım)

t: zaman

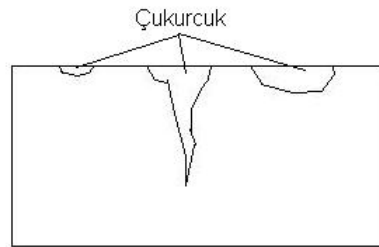


Şekil 3.3 Homojen dağılımlı korozyon

“τ” yüzeydeki azalmayı simgelemektedir.

3.2.2 Çukurcuk korozyonu

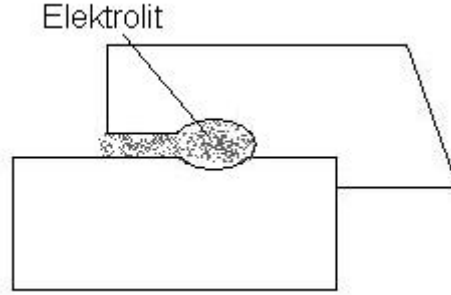
Çukurcuk korozyonu, korozyonun dar bir bölgede yoğunlaşması halinde farklı boyutlarda çukurcukların oluşması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu çukurcukların büyüklüğü değişik formlarda olabilmektedir fakat genellikle küçük çaplarda görülmektedir. Oluşan bu çukurcukların büyümesi ile malzemenin delinmesi söz konusu olabilir. Birçok metal ve alaşımında görülen bir korozyon türüdür. Çukurcuk korozyonu, Cl ve Br iyonları içeren ortamlarda sıkça görülür.



Şekil 3.4 Çukurcuk korozyonu

3.2.3 Aralık korozyonu

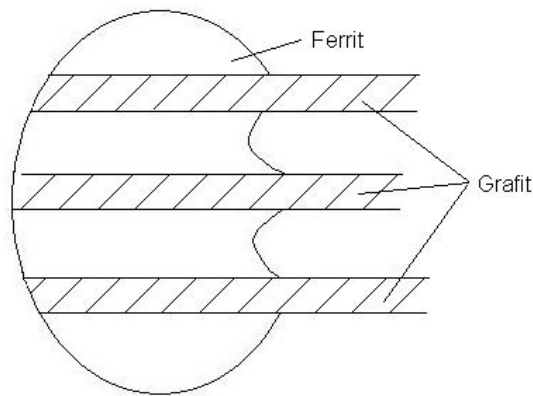
Conta, perçin ve cıvatalı bağlantılarda, gözle görülmeyecek ara yüzeylerde oluşan korozyon tipidir. Ara yüzeylerde biriken elektrolit, durgun ortam sağlandığında ve katodik ortam oluşturan O_2 'nin tükenmesi ile anodik reaksiyon gerçekleşir.



Şekil 3.5 Aralık korozyonu

3.2.4 Seçici korozyon

Lamel grafitli dökme demirler gibi potansiyel farkı olan çok elementli yapılarda gerçekleşen korozyon tipidir. Ferritik lamel grafitli dökme demirde potansiyel farktan dolayı ferrit anodik, grafit ise katodik bölge oluşturacağından ferrit korozyona uğrar ve grafit iskeleti açıkta kalır. Cu-Zn alaşımlarında Zn'nin çözeltiye geçmesi (dezinkasyon) bu korozyon tipine örnektir.



Şekil 3.6 Ferritik lamel grafitli dökme demirde görülen seçici korozyon

3.2.5 Galvanik korozyon

Galvanik korozyon, potansiyelleri farklı bir metal veya alaşımın aynı elektrolit içerisinde başka bir metal veya iletken ametal ile birlikte bulunması sebebiyle oluşur. Bahsi geçen potansiyel farkı, malzemeler arasında elektriksel bir akım oluşmasını sağlayacak ve korozyon meydana gelecektir. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olacak ve sadece anot olan malzeme korozyona uğrayacaktır. Bu durumdan korunmak için yapılarda, potansiyelleri birbirine yakın malzemeler kullanmaya dikkat edilmelidir. Bunun için galvanik seriden yararlanılabilir.



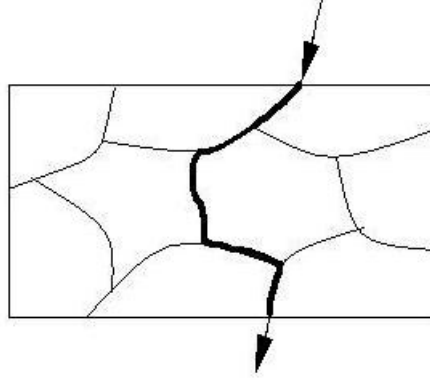
Şekil 3.7 Galvanik korozyon

SOY (katodik)	↑	Platin
		Altın
		Grafit
		Titanyum
		Gümüş
		Klorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
		Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
		18-8 paslanmaz çelik (pasif)
		18-8 paslanmaz çelik (pasif)
		Kromlu paslanmaz çelik %11-30 Cr (pasif)
		İnkonel (pasif) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
		Nikel (pasif)
		Gümüş lehim
		Monel (70 Ni, 30 Cu)
		Kupronikel (60-90 Cu, 40-10 Ni)
		Bronz (Cu-Sn)
		Bakır
		Pirinç (Cu-Zn)
		Klorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
		Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
AKTİF (anodik)		İnkonel (aktif)
		Nikel (aktif)
		Kalay
		Kurşun
		Kurşun-kalay lehim
		18-8 Mo paslanmaz çelik (aktif)
		18-8 paslanmaz çelik (aktif)
		Ni koruyucu (yüksek Ni'li dökme demir)
		Kromlu paslanmaz çelik, %13 Cr (aktif)
		Dökme demir
		Çelik veya demir
		2024 alüminyum (4,5 Cu, 1,5 Mg, 0,6 Mn)
		Kadmiyum
		1100 alüminyum
		Çinko
	↓	Magnezyum ve magnezyum alaşımları

Şekil 3.8 Bazı metal ve alaşımlarının deniz suyu ortamındaki galvanik serisi

3.2.6 Taneler arası korozyon

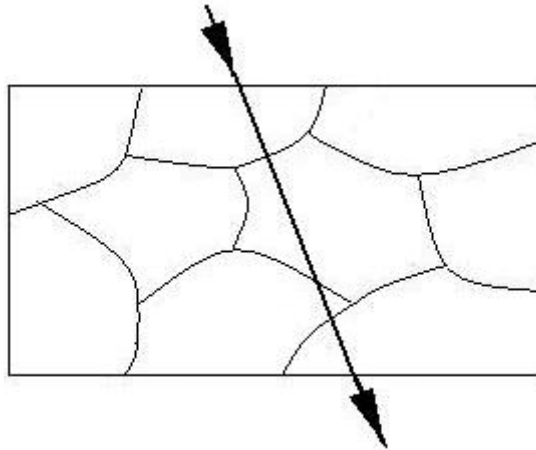
Taneler arası korozyonun temel sebebi; tane sınırlarının amorf olmasından ötürü potansiyelinin daha düşük olması ve bu potansiyel farkından dolayı element kayıplarının oluşmasıdır. Çok fazla ağırlık kaybı görülmemesine rağmen tane sınırlarında korozyon miktarı fazla olduğundan büyük hasarlarla karşılaşılabilir. Tane sınırlarında krom-karbür çökmesi bu korozyon çeşidini açıklamaktadır.



Şekil 3.9 Taneler arası korozyon

3.2.7 Tane içi korozyon

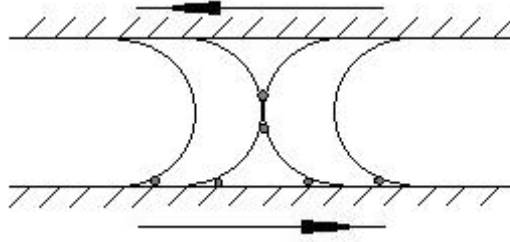
Yük altında çalışan parçalarda görülen tane içi korozyonda; tane sınırları katot, tane içi anot görevi üstlenmektedir. Anotta gerçekleşecek element kaybı, tane içi çatlamlarını ve korozyonu meydana getirmektedir.



Şekil 3.10 Tane içi korozyon

3.2.8 Kazımalı korozyon

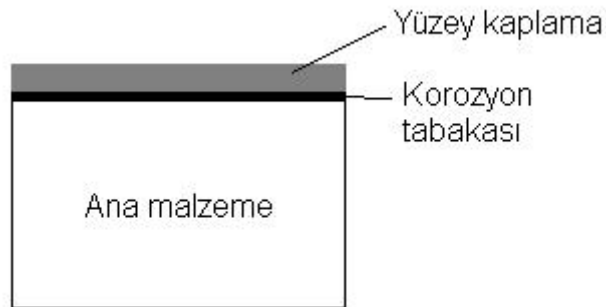
Birbirine değen ve yük altında çalışan iki metal parça arasında oluşan titreşim ve sürtünmeler sonucu kazımalı korozyon meydana gelebilmektedir. Korozyon, ortama giren O_2 'in etkisi ile oksit parçacıklarının oluşması ile başlar.



Şekil 3.11 Kazımalı korozyon

3.2.9 Tabakalaşma korozyonu

Alüminyum ve alaşımlarında oluşan taneler arası korozyonun özel hali olarak bilinen tabakalaşma korozyonu, metal kaplama ara yüzeylerinde, köşe veya benzeri düzensizliklerin olduğu yerlerde başlar. Haddelenmiş ürünlerde, haddeleme yönünde uzamış tane sınırlarında meydana gelirler. Endüstriyel atmosferde ve deniz atmosferinde sıkça karşılaşılr.



Şekil 3.12 Tabakalaşma korozyonu

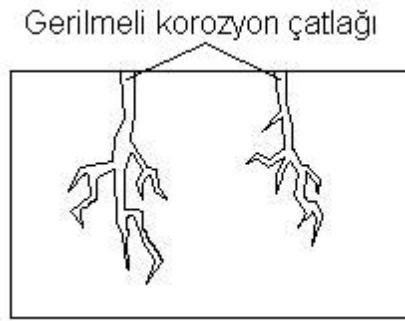
3.2.10 Mekanik zorlamalı korozyon çeşitleri

Gerilmeli korozyon:

Korozyona, gerilmeli korozyon denilebilmesi için gerilme görülen bir bölgeden çatlak başlangıcının olması ve bu bölgeden elektrokimyasal korozyonun gerçekleşmesi gerekmektedir. Gerilme nedeni ile yüzeyde veya koruyucu tabaka üzerinde meydana gelen çatlaklar süreksizlik oluşturur. Yenilenebilen koruyucu tabakalarda bu yenilenme durumu elektrolit tarafından engellenir ve korozyon bölgesi gelişir. Diş tellerinde de büküm noktalarında ve kullanım esnasında oluşan çekme gerilmeleri sonucunda oluşabilecek korozyon tiplerindendir.

Gerilmeli korozyona karşı alınabilecek önlemler arasında gerilmeleri azaltmak, korozyon akımlarını değiştirmek, katodik koruma ve uygun malzeme seçimi gelmektedir. Diş tellerinde çekme ve eğme gerilmelerine karşı kullanılan malzemeler yeterli dayanımı gösterebilmektedir yalnız büküm uygulanan bölgeler için aynı durum geçerli olmayabilmektedir.

Gerilmeli korozyonda ortam şartları çok önemli rol oynamaktadır. Potansiyel, pH, sıcaklık gibi etkenler korozyon hızına etki etmektedir.



Şekil 3.13 Gerilmeli korozyon

Hidrojen gevrekliği:

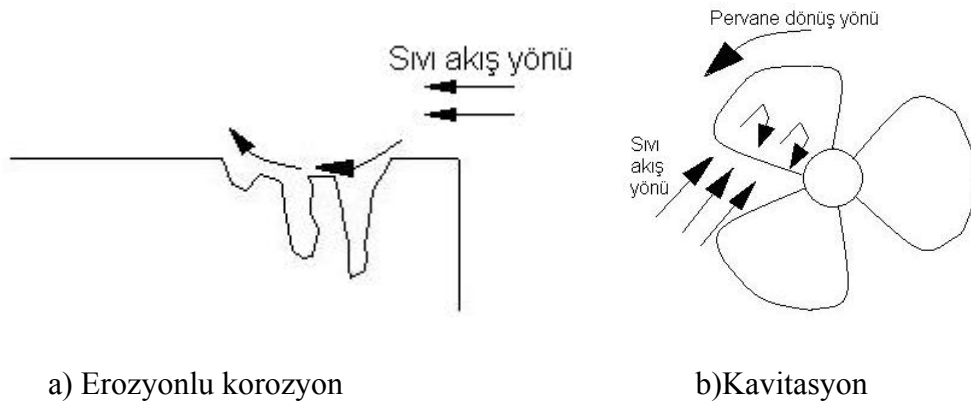
Kübik hacim merkezli malzemelerde daha yoğun görülmektedir. Katodik tepkime ile ortaya çıkan hidrojen, kafes içerisine girip molekül haline dönüşerek boşluklar oluşturur. Bu iç gerilmelere ve çatlak oluşumuna sebep olan bir durumdur.

Yorulmalı korozyon:

Periyodik olarak yükleme - boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur ve yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulmalı korozyon, dinamik yük altında çalışan malzemelerde gerçekleşen yorulma çatlağı boyunca oluşan korozyon tipidir. Dinamik zorlanmalı parçalarda görülen tane içi korozyon olarak da tanımlanabilir.

Erozyonlu korozyon:

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek olması sonucu oluşan korozyon çeşididir. Sulu çözelti, organik çözelti gibi farklı ortamlarda görülebilir. Pompa sistemleri, boru ve dirsek gibi parçalarda görülmektedir. Korozyon sonucu malzeme kaybı ve yüzey bozuklukları fazladır. Kaviteasyondan farkı sadece ortamın veya malzemenin hareketli olmasıdır.



Şekil 3.14 Erozyonlu korozyon ve kaviteasyon

Kaviteasyon:

Kaviteasyon, sıvı içerisinde malzeme yüzeyine yakın yerlerde oluşan ve parçalanmış buhar kabarcıklarının yüzeyden tabaka kaldırmasıyla veya yüksek hızda sıvı akışının ve basınç değişimlerinin olduğu malzeme yüzeylerinde görülen korozyon çeşididir. Kaviteasyonda hem ortam hem de korozyona uğrayan malzeme hareketlidir. Özellikle, gemi pervaneleri, türbin parçaları, pompa kanatları gibi parçalarda meydana gelen korozyon tipidir.

4. ORTODONTİK TELLERDE KOROZYON

Tellerin korozyonu, ortam ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir ve malzeme seçimi önem kazanmaktadır.

4.1 Ortodontik tellerin bulunduğu ortamlar

Ağız ortamında yer alan tellerin tükürük sıvısına karşı korozyon direncinin yüksek olması gerekmektedir. Tükürük sıvısı içerdiği maddeler bakımından değişiklik gösterebilir. Genel olarak KCl, NaCl ve $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ içermekte olan tükürük sıvısı; beslenme ve diş fırçalama gibi durumlar düşünülerek bazı eklentiler ile modifiye edilebilir. Bu modifiyelerden başlıcaları; deneyler esnasında da kullanılan “Modifiyeli Fusuyama Çözeltisi”, “Diş Macunu Etkili Modifiyeli Fusuyama Çözeltisi” ve “Yüksek Asitlikte Modifiyeli Fusuyama Çözeltisi”dir.

Diş macunu etkisi, korozyon açısından önem arz eden NaF eklentisi ile gözlemlenirken; asitlik etkisi de laktik asit veya H_3PO_4 katkısı ile gözlemlenmektedir.

4.2 Ortodontik tellerin korozyon davranışları

Tel malzemesinin maruz kaldığı ortamlara ve çalışma şartlarına göre gösterdikleri korozyon davranışlarının incelenmesi ile ortodontik tellerde farklı korozyon çeşitleri görülebilir. Gerilmeli korozyon, çukurcuk korozyonu, galvanik korozyon ve homojen dağılımlı korozyon en yaygın görülen korozyon çeşitleridir.

Paslanmaz çelik teller

Yaygın olarak kullanılan ortodontik östenitik paslanmaz çelik teller bileşimindeki krom nedeni ile ağız içindeki farklı ortamlarda gösterdikleri korozyon dirençleri ayrı ayrı değerlendirilir. Paslanmaz çeliklerin tüm çeşitleri, tüm doğal ve alkalın halojenür tuzlu ortamlara karşı dirençlidirler. Paslanmaz çeliklerin, fosforik asit çözeltilerine karşı dayanımları çok yüksek değildir; fakat ağız ortamında fosforik asit oranı ve ortam sıcaklığı çok düşük olduğundan ciddi bir önem arz etmez. Östenitik paslanmaz çelikler %40’lık H_3PO_4 çözeltisinde 65°C ’ye kadar yeterli korozyon direnci gösterirler. Dikkat edilmesi gereken bir başka husus da ağız ortamında asitliğin yanısıra aynı anda klor ve flor iyonlarının da bulunabilmesi, korozyon hızının daha da artmasını tetiklemektedir.

Laktik asit, ağız ortamında görülebilecek diğer bir asit çeşididir. Literatür incelemelerinde yapılan deneysel çalışmalarda, laktik asite denk ölçüde H_3PO_4 kullanılabilir. (KANEKOA, 2003) 18-8 krom-nikel paslanmaz çelikler, 40°C sıcaklığa kadar laktik asit içeren ortamda kullanılabilirler. Saflık, konsantrasyon, sıcaklık gibi etkenler ortamdaki korozyon hızını etkilemektedir.

Kobalt-krom-nikel alaşımı teller

Korozyona karşı dirençli olarak bilinen kobalt alaşımları; krom, nikel ve molibden içerirler. Molibden ilavesi, bu alaşımlara ağız içerisindeki tüm ortamlarda korozyon direnci kazandırır. Kobalt alaşımları, korozyon direncinin yanı sıra aşınma dayanımının da yüksek olması özelliği nedeniyle cerrahi malzemeler, implantlar, diş telleri gibi apareylerin yapımında yaygın olarak kullanılırlar.

Nikel-titanyum alaşımı teller

Nikel-Titanyum alaşımları genel olarak korozyona dirençli malzemelerdir. Tek tek incelendiğinde, gerek titanyum gerekse nikel, farklı ortamlarda yüksek korozyon direnci göstermelerine karşın alaşım halinde Ni ve Ti arasındaki potansiyel fark korozyon davranışını önemli oranda etkilemektedir. Galvanik seriye bakıldığında titanyumun potansiyelinin nikel kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısı ile, galvanik bir etkileşim esnasında nikel anodik olarak etkilenecek korozyona uğrayacaktır.

Nikel, insan sağlığı açısından önemli bir elementtir. NiTi alaşımlarındaki nikel iyonlarının salınarak nikel alerjisi oluşturma riski bulundurmaktadır. Bu konuyla ilgili yapılan “Farklı asitlik derecelerindeki yapay ağız sıvısı ortamında NiTi ortodontik tellerinde iyon salınımı” çalışmalarında kısa süreli kullanımlarda iyon salınımının, alerjik bir etkileşim oluşturmayacak derecede olduğu yönündedir. (CIOFFI, 2005)

Beta-titanyum alaşımı teller

Titanyum alaşımları, korozyon direnci çok yüksek olan alaşımlardır. Hidroflorik asite karşı korozyon direnci düşük olan titanyum alaşımları flor iyonu bulunan ortamlardan etkilenebilmektedir.

4.3 Ortodontik Tellerde korozyondan korunma yöntemleri

Malzeme seçimi

Malzeme seçiminde, kullanılacak ortama ve ekonomik giderlere bağlı olarak değişmekle birlikte mekanik özelliklerin de göz önünde tutulması gerekmektedir. Ortam içerisinde galvanik etkileşime uğrayabileceğinden, günümüzde kullanılan NiTi alaşımlarından yapılan tellerin seçiminde dikkatli olunmalıdır. Aynı zamanda korozyona dirençli malzemelerle ilgili çalışmalar artırılarak yeni polimer esaslı teller ortaya çıkarılabilir.

Tasarım ve üretim

Tasarım, korozyona etki eden önemli faktörlerden biridir. Özellikle, anodik etki oluşturan girinti çıkıntıların olmaması önemli bir etkindir. Gerek tellerin kullanımının esnasında braketlerin içinde hareketini engelleyerek, mekanik olarak olumsuz etki yaratacağından gerekse korozyon direncini azaltacağından, malzeme yüzeyinin olabildiğince pürüzsüz olması gerekmektedir. Aynı zamanda gerilme oluşturacak köşelerden de kaçınılmalı, büküm vb. işlemler sonunda da gerilmeleri azaltacak ısıtım işlemleri uygulanmalıdır. Her türlü gerilme, gerilmeli korozyon oluşumuna neden olmaktadır.

Koruyucu kaplamalar

Koruyucu kaplama işlemi, korozyon direncini arttırmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Günümüzde, diş tellerinde de uygulanmaya başlanan tel kaplamaları, gelecekte daha da yaygın kullanılabilir. Özellikle, korozyona karşı direnci çok yüksek polimer, seramik gibi malzemelerin kullanıma uygun bir şekilde kaplanması ile korozyona karşı daha dirençli teller oluşturulabilir.

Ortamın durumu

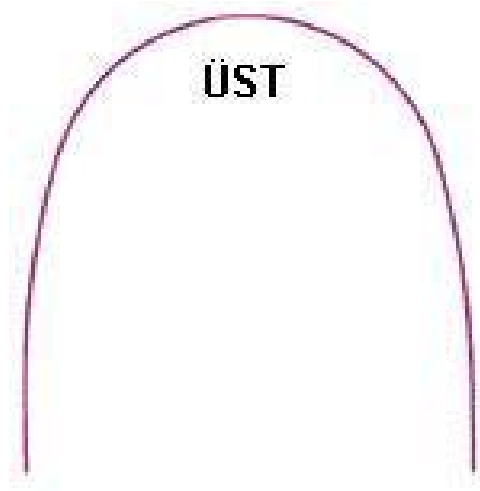
Ortam sıcaklığı, ortamdaki tuzlar, iyonlar, ortamın pH değeri korozyon hızını etkileyen faktörlerdendir. İstenilen ortamın sağlanması, ancak tel kullanıcısının bilinçlendirilmesi ile sağlanabilir. Örnek olarak sıcaklığın yükselmesine karşı önlem, hastaya sıcak içeceklerin ne şekilde kullanılması gerektiği söylenerek alınabilir. Asidik ortama karşı önlem, beslenme sonrası ağız temizliği ile ilgili bilgiler verilerek ve beslenmesine dikkat edilerek sağlanır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ortodontik teller; ağız içerisinde farklı iyonların bulunabileceği, değişik asitlik derecesine sahip ortamlarda kullanılmaktadır. Çalışmamızda, ortodontik tellerin ilgili ortamlardaki korozyon direncinin saptanması, tel yüzeylerinde gerçekleşen değişimlerin belirlenmesi ve belirli bir süre sonunda tellerin yüzey sertliklerinde oluşan değişimlerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

5.1 Malzeme

Deneylerde kullanılan ortodontik teller, literatürde ismi sıkça geçen ve ortodontistler tarafından sıkça kullanılan malzemelerden seçilmiştir. (CRAIG, 1996) Seçilen 18–8 krom-nikel paslanmaz çelik, nikel-titanyum alaşımı, β -titanyum alaşımı ve kobalt-krom-nikel alaşımı tellerin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Teller; ortodontide uygulanan sabit tedavi yöntemleri de düşünülerek, üst diş tedavisi için kullanılan ve kavis formu olarak da en çok tercih edilen 0,016”x0,016” kare kesitinde Trueform™ I çeşidi seçilmiştir.



Şekil 5.1 Trueform™ I kavis formunda tel

[G&H Wire Company, Orthodontic Products Catalog, 5th Edition, NEOdontics International, Inc., 2005, Indiana]

Çizelge 5.1 Seçilen tel malzemelerin kimyasal bileşimleri

18-8 (304v) Östenitik Paslanmaz Çelik [3,4]							
%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%P	%S	Açıklama
<0,08	2,00	1,00	18,0–20,0	8,0–10,5	<0,045	<0,03	Vakum ortamında üretilir.
			Nikel-Titanyum alaşımı				
			%Ni		%Ti		
			55%		45		
Kobalt-Krom-Nikel alaşımı							
%Co	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn	%Be	%C	%Fe
40	20	15	7	2	0.4	0.15	15.4
			Beta-Titanyum alaşımı				
			%Ti		%Mo		%Zr
			78		11.5		6
					4.5		

5.2 Uygulanan deneyler ve incelemeler

Tellerde gerçekleşen korozyonu incelemek amacıyla öncelikle dört çeşit tel, üç farklı yapay tükürük ortamında korozyona tabi tutulmuş ve ağırlık kayıpları hassas terazi ile tartılarak incelenmiştir. Ardından makro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiş ve korozyon hasarları tespit edilmiştir. Gözlemlenen korozyon bölgelerinin yüzey sertlik değerlerindeki değişim mikrosertlik ölçümü ile incelenmiştir.

5.2.1 Farklı ortamlarda korozyon

Kavis formu verilmiş ve ilk tartımları alınmış östenitik paslanmaz çelik, NiTi alaşımı, β -titanyum alaşımı ve Kobalt krom-nikel alaşımı teller, hazırlanan ve Çizelge 5.2’de kimyasal bileşimleri verilen yapay tükürük çözeltilerine, 22°C - 37°C sıcaklıklar arasında daldırılarak bırakılmış, her 7 günde bir 0,0001 hassasiyette ağırlık ölçümleri alınarak toplam 28 gün süre ile korozyona tabi tutulmuş ve ağırlık kaybı yöntemi ile korozyon hızları belirlenmiştir. Tartımlar sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 – Çizelge 5.5’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Yapay tükürük çözeltileri

I	II	III
Modifiye edilmiş Fusuyama çözeltilisi	1g/L NaF eklentili, modifiye edilmiş Fusuyama çözeltilisi	%1,7 H ₃ PO ₄ eklentili, modifiye edilmiş Fusuyama çözeltilisi
Normal ağız ortamını taklit etmektedir.	Diş macunu etkili ağız ortamını taklit etmektedir.	Asidik, besin etkili ağız ortamını taklit etmektedir.
KCl: 0,4 g/L NaCl: 0,4 g/L NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O: 0,69 g/L CaCl ₂ .2H ₂ O: 0,906 g/L Na ₂ S ₉ H ₂ O: 0,005 g/L pH 5	KCl: 0,4 g/L NaCl: 0,4 g/L NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O: 0,69 g/L CaCl ₂ .2H ₂ O: 0,906 g/L Na ₂ S ₉ H ₂ O: 0,005 g/L + NaF: 1g/L pH 4.8	KCl: 0,4 g/L NaCl: 0,4 g/L NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O: 0,69 g/L CaCl ₂ .2H ₂ O: 0,906 g/L Na ₂ S ₉ H ₂ O: 0,005 g/L + %1,7 H ₃ PO ₄ pH 2.5



a) II çözeltilisi

b) I çözeltilisi

c) III çözeltilisi

Şekil 5.2 Korozyon ortam olarak kullanılan deney çözeltileri



Şekil 5.3 Termostat göstergesi (Max 37 °C)

Çizelge 5.3 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli

Fusuyama ortamı

Çözelti:	Modifiyeli Fusuyama										
Tel malzemesi:	Paslanmaz çelik			NiTi			B-Ti			Elgiloy	
Numune sayısı:	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
Süre (Gün)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
0	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185
7	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185
14	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185
21	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185
28	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185
28 Temizlenmiş	0.2230	0.2223	0.2230	0.1607	0.1523	0.1603	0.1427	0.1441	0.1417	0.2184	0.2185

Çizelge 5.4 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli Fusuyama + NaF ortamı

Çözelti:	Modifiyeli Fusuyama + NaF										
Tel malzemesi:	Paslanmaz çelik			NiTi			B-Ti			Elgiloy	
Numune sayısı:	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
Süre (Gün)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
0	0.2229	0.2224	0.2229	0.1537	0.1638	0.1532	0.1428	0.1422	0.1398	0.2184	0.2190
7	0.2229	0.2224	0.2229	0.1533	0.1633	0.1527	0.1428	0.1422	0.1398	0.2184	0.2190
14	0.2228	0.2223	0.2229	0.1530	0.1631	0.1525	0.1427	0.1419	0.1396	0.2184	0.2190
21	0.2228	0.2222	0.2228	0.1528	0.1629	0.1523	0.1426	0.1419	0.1394	0.2184	0.2190
28	0.2228	0.2222	0.2228	0.1526	0.1626	0.1521	0.1424	0.1417	0.1393	0.2183	0.2190
28 Temizlenmiş	0.2228	0.2222	0.2228	0.1526	0.1626	0.1521	0.1424	0.1417	0.1393	0.2183	0.2190

Çizelge 5.5 Ağırlık ölçümleri - Modifiyeli Fusuyama + H₃PO₄ ortamı

Çözelti:	Modifiyeli Fusuyama + H ₃ PO ₄										
Tel malzemesi:	Paslanmaz çelik			NiTi			B-Ti			Elgiloy	
Numune sayısı:	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
Süre (Gün)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
0	0.2223	0.2236	0.2232	0.1526	0.1649	0.1648	0.1406	0.1431	0.1399	0.2214	0.2198
7	0.2223	0.2236	0.2232	0.1525	0.1647	0.1646	0.1406	0.1431	0.1399	0.2214	0.2198
14	0.2222	0.2235	0.2232	0.1525	0.1647	0.1646	0.1406	0.1431	0.1399	0.2214	0.2198
21	0.2222	0.2235	0.2232	0.1525	0.1646	0.1645	0.1406	0.1431	0.1398	0.2214	0.2198
28	0.2222	0.2235	0.2232	0.1524	0.1646	0.1645	0.1406	0.1431	0.1397	0.2214	0.2198
28 Temizlenmiş	0.2222	0.2235	0.2232	0.1524	0.1646	0.1645	0.1406	0.1431	0.1397	0.2214	0.2198

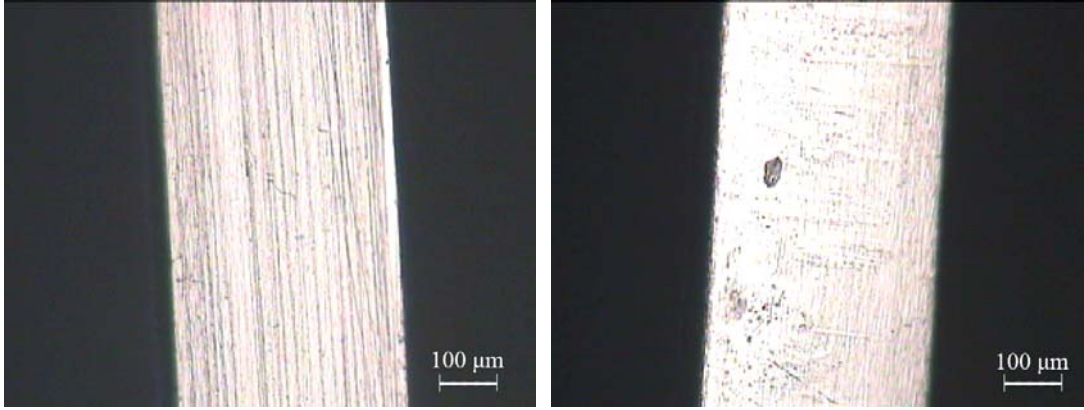
Korozyon ürünlerinin temizleme işlemleri “TS ISO 8407 , Metaller ve alaşımlarının korozyonu – Korozyon ürünlerinin korozyon deney numunelerinden uzaklaştırılması, Mart 2001” standardına göre yapılmıştır.

5.2.2 Makro yapı incelemeleri

Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan tellerin yüzeylerinde meydana gelen değişimlere ait makro yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 5.4 – Şekil 5.15’ de verilmiştir.

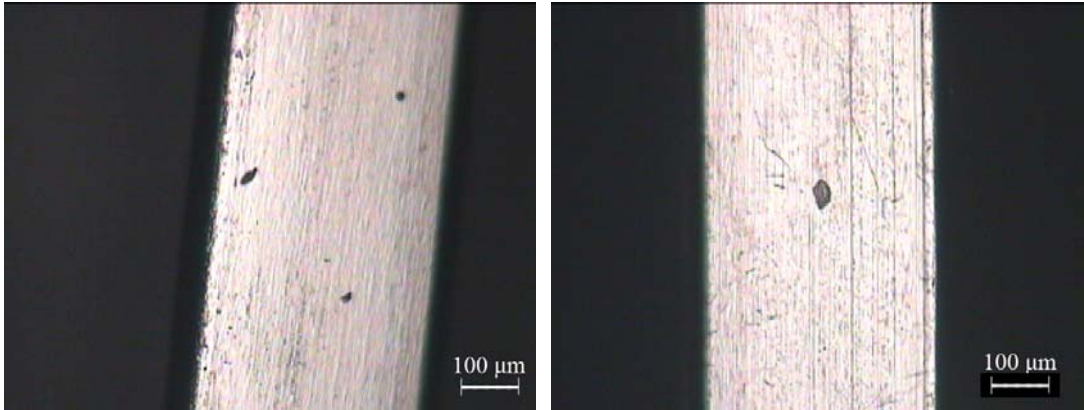
Paslanmaz çelik teller

Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan 18-8 krom-nikel paslanmaz çelik tellerin ışık mikroskopuyla alınan 100x ve 400x büyütmeli ve SEM ile alınan 500x büyütmeli yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 5.4 – Şekil 5.6’da verilmiştir.



a) İlk hali

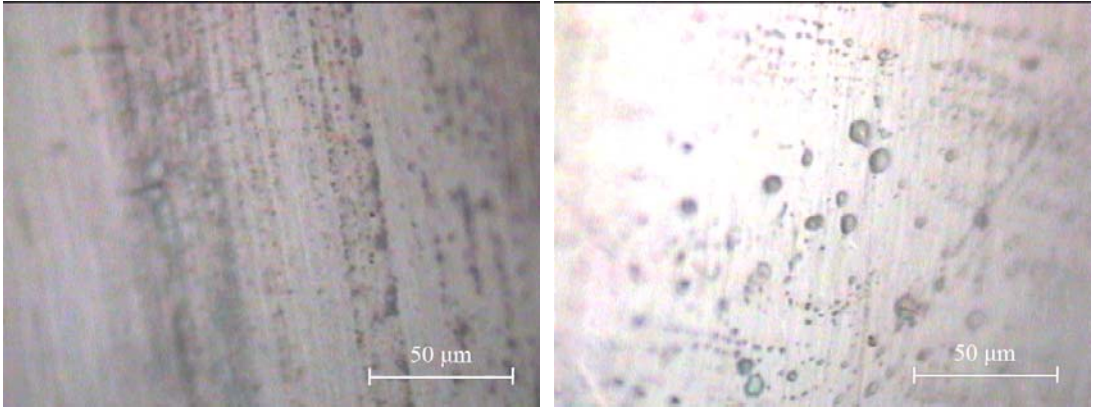
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

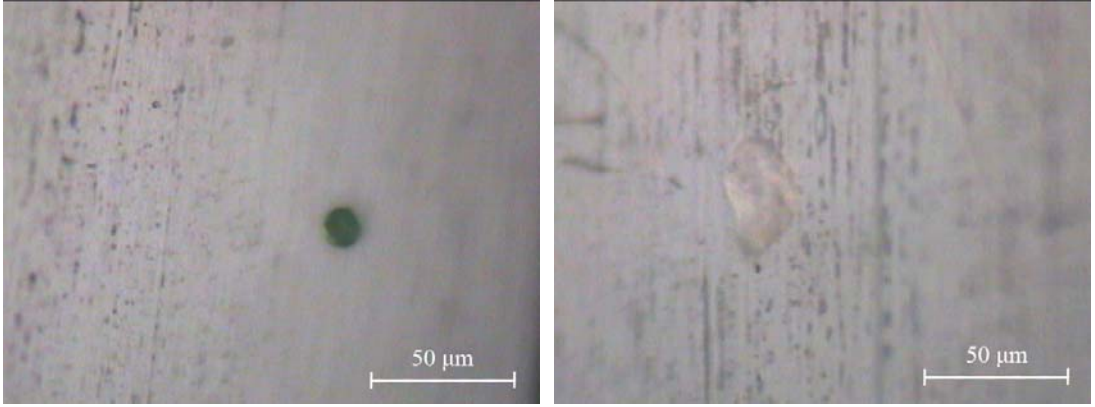
d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.4 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x)



a) İlk hali

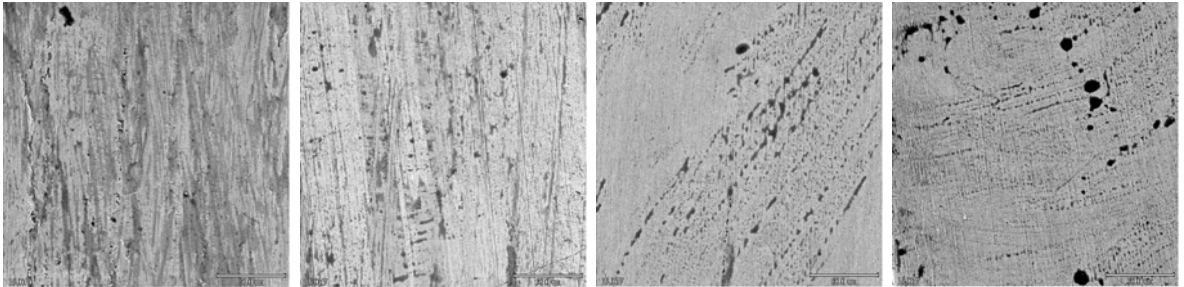
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.5 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)



a) İlk hali

b) Modifiyeli Fusuyama çöz. son.

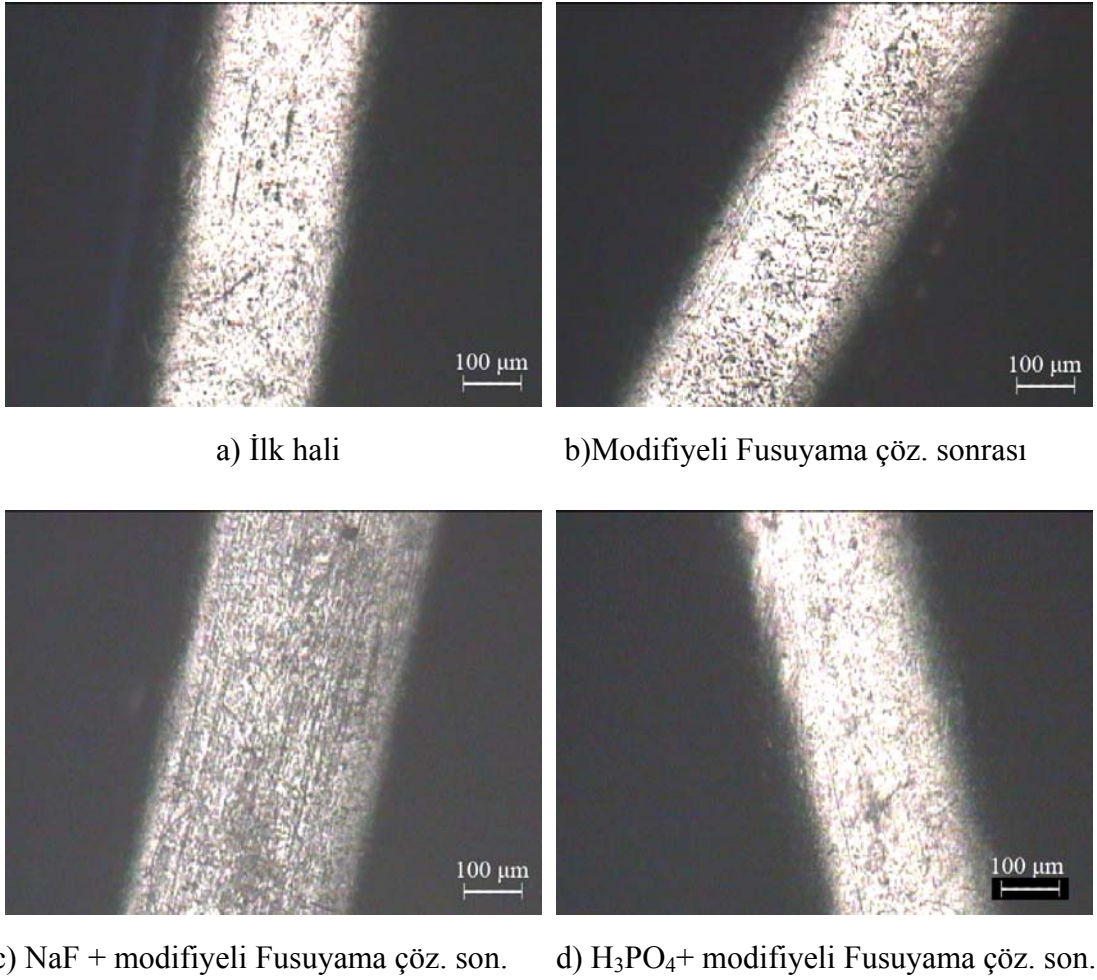
c) NaF + mod. Fus. çöz. son.

d) H₃PO₄ + mod. Fus. çöz. son.

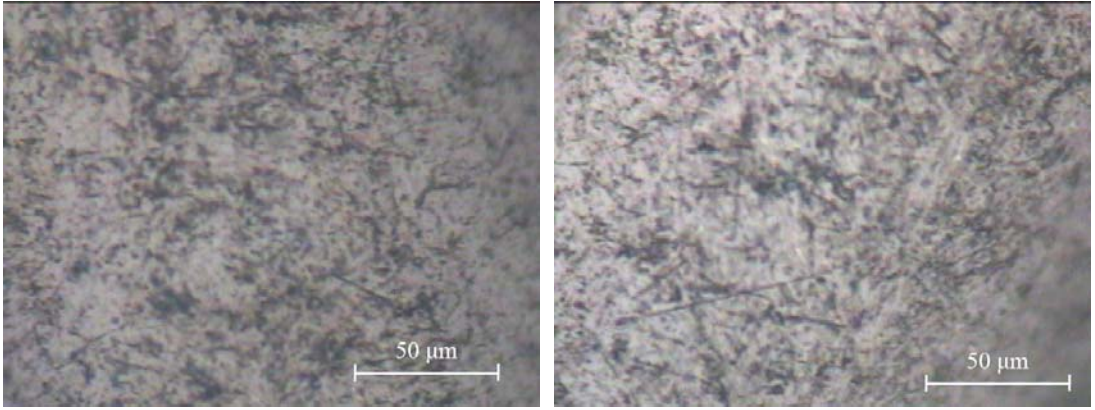
Şekil 5.6 18-8 paslanmaz çelik tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)

Nikel-titanyum alaşımı teller

Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan nikel-titanyum alaşımı tellerin ışık mikroskopuyla alınan 100x ve 400x büyötmeli ve SEM ile alınan 500x büyötmeli yüzey görüntöleri sırasıyla Şekil 5.7 – Şekil 5.9’da verilmiştir.

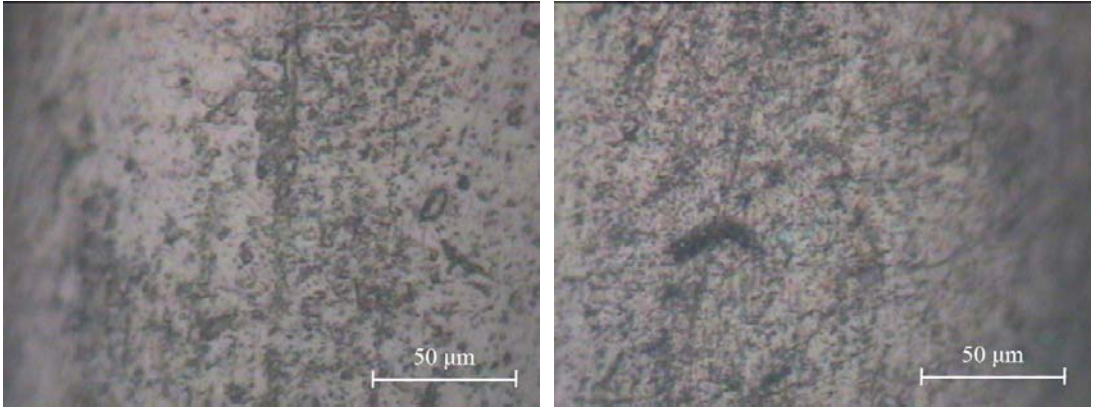


Şekil 5.7 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntöleri (100x)



a) İlk hali

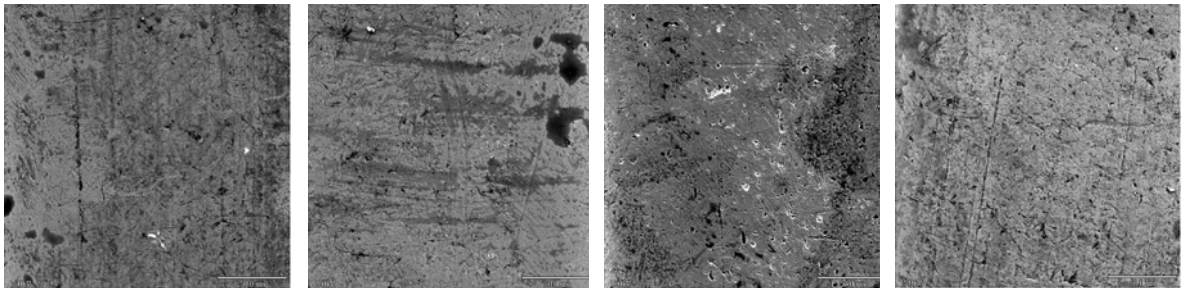
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.8 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)



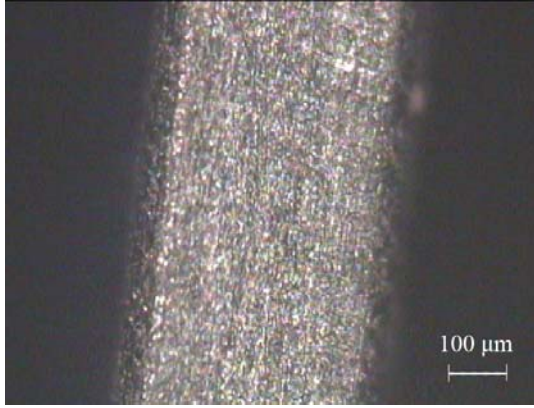
a) İlk hali

b) Modifiyeli Fusuyama
çöz. son.c) NaF + mod. Fus.
çöz. son.d) H₃PO₄ + mod. Fus.
çöz. son.

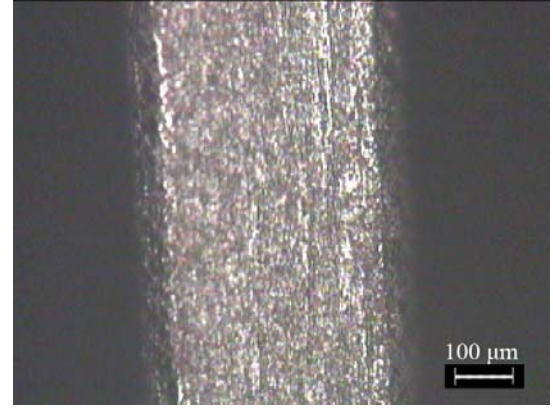
Şekil 5.9 Nikel-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)

Beta-titanyum alaşımı teller

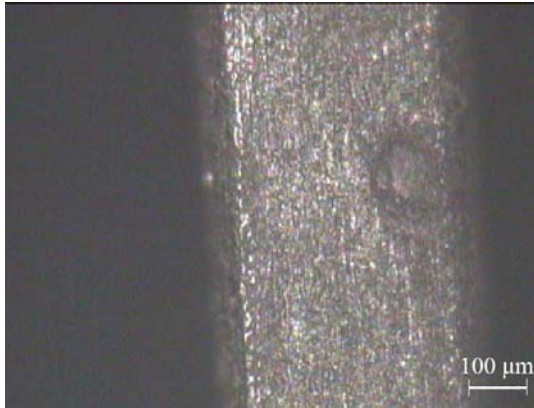
Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan beta-titanyum alaşımı tellerin ışık mikroskopuyla alınan 100x ve 400x büyötmeli ve SEM ile alınan 500x büyötmeli yüzey görüntöleri sırasıyla Şekil 5.10 – Şekil 5.12’de verilmiştir.



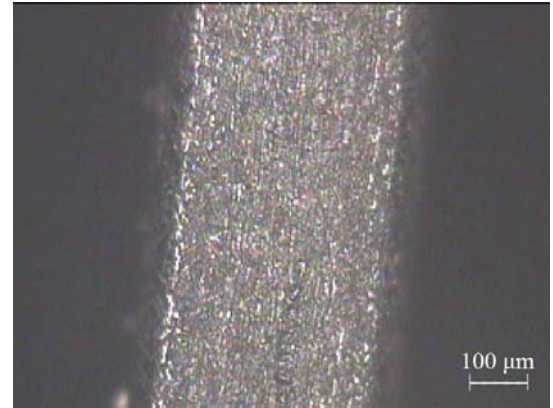
a) İlk hali



b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası

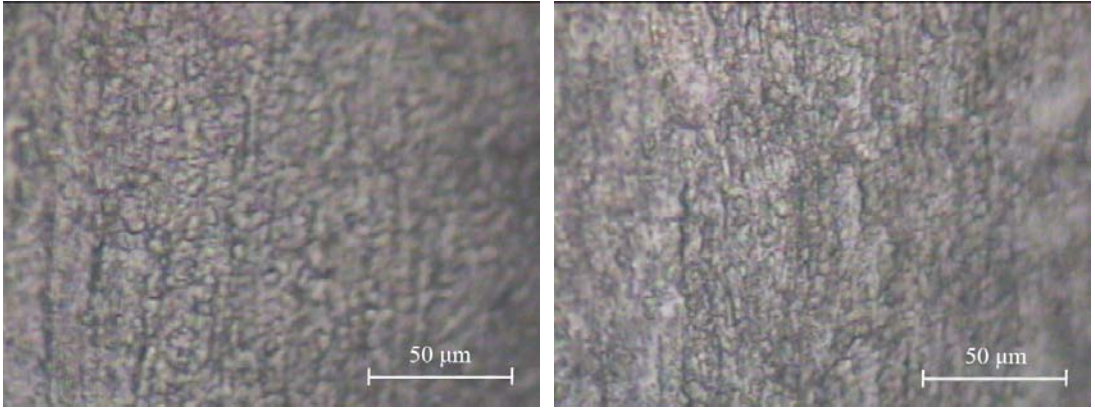


c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.



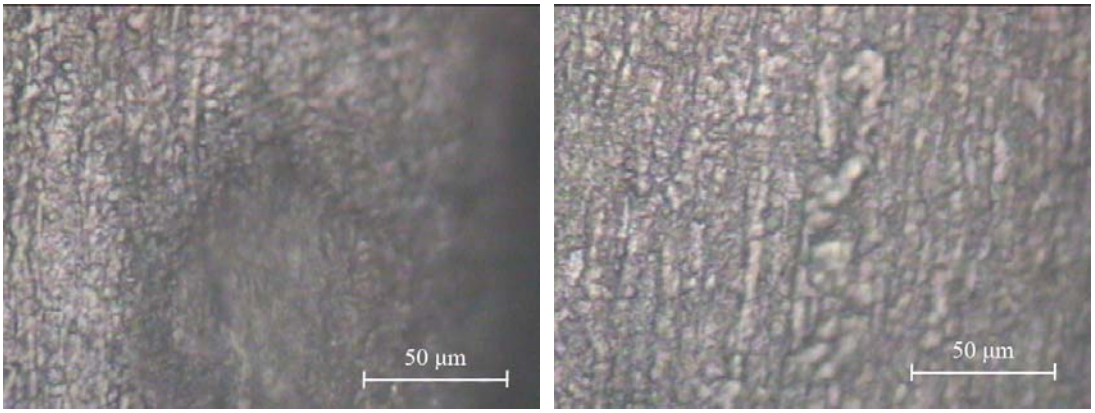
d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.10 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntöleri (100x)



a) İlk hali

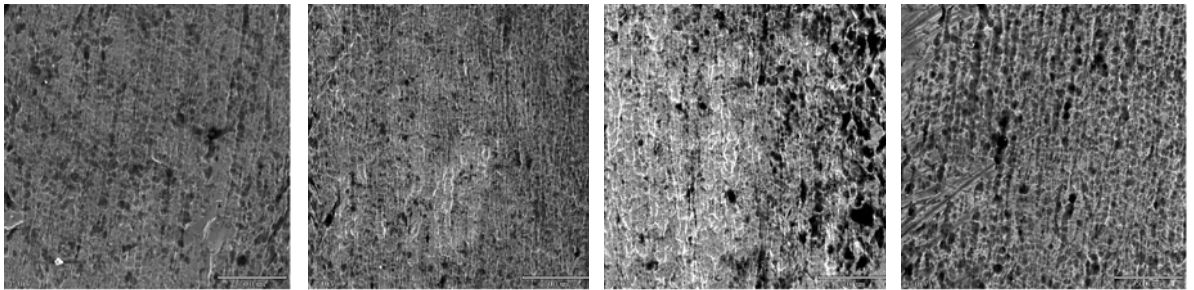
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.11 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)



a) İlk hali

b) Modifiyeli Fusuyama çöz. son.

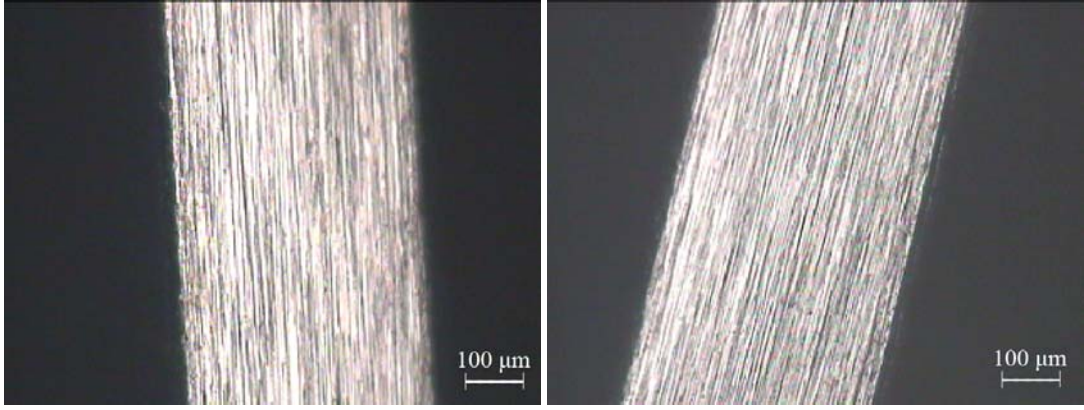
c) NaF + mod. Fus. çöz. son.

d) H₃PO₄ + mod. Fus. çöz. son.

Şekil 5.12 Beta-titanyum alaşımı tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)

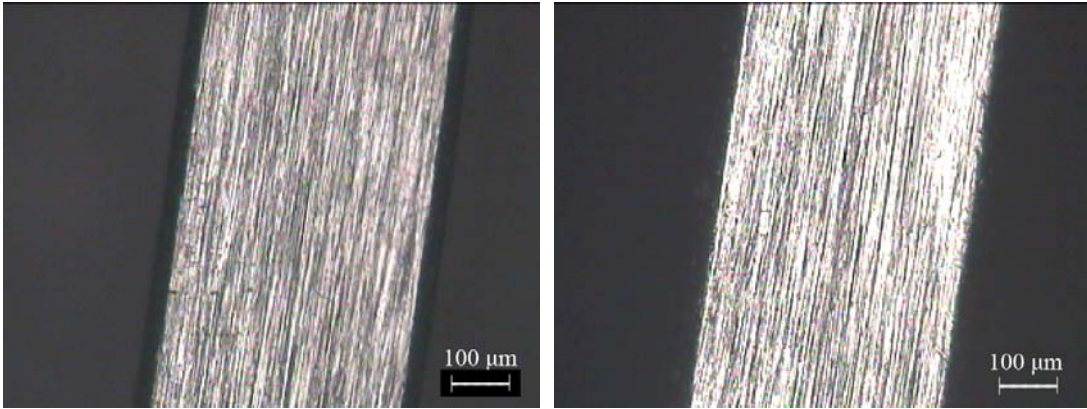
Elgiloy® teller

Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan Elgiloy® tellerin ışık mikroskopuyla alınan 100x ve 400x büyütme ve SEM ile alınan 500x büyütme yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 5.13 – Şekil 5.15’de verilmiştir.



a) İlk hali

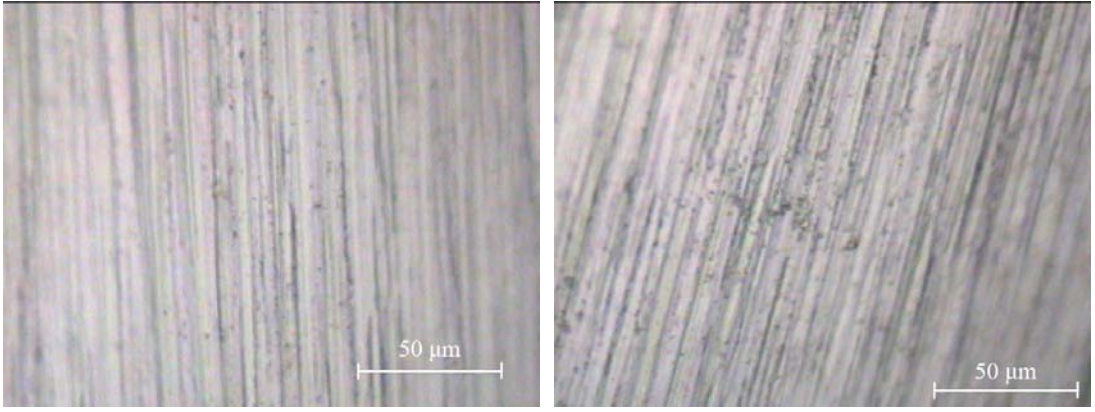
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

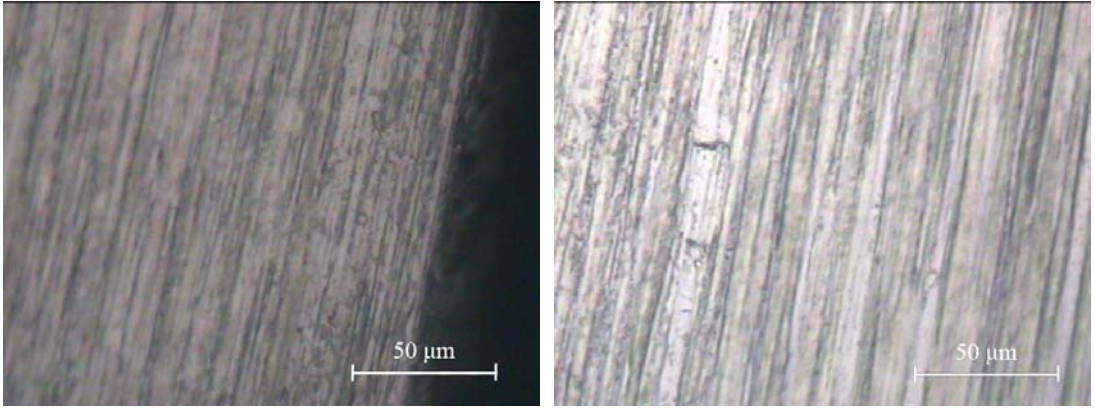
d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.13 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (100x)



a) İlk hali

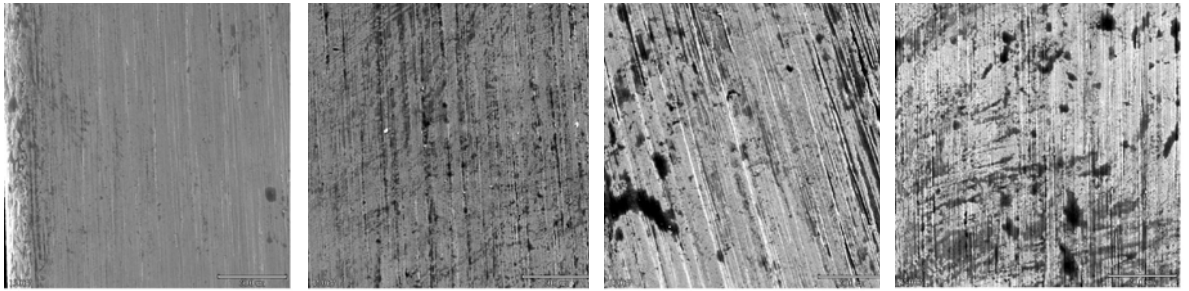
b) Modifiyeli Fusuyama çöz. sonrası



c) NaF + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

d) H₃PO₄ + modifiyeli Fusuyama çöz. son.

Şekil 5.14 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri (400x)



a) İlk hali

b) Modifiyeli Fusuyama çöz. son.

c) NaF + mod. Fus. çöz. son.

d) H₃PO₄ + mod. Fus. çöz. son.

Şekil 5.15 Elgiloy® tellerin çözelti öncesi ve sonrası SEM görüntüleri (500x)

5.2.3 Sertlik ölçümleri

Korozyon deneylerine tabi tutulmayan ve üç farklı yapay tükürük çözeltisinde korozyon deneyine tabi tutulan tellerin yüzey mikro sertlik ölçümleri 500g yük ve 10s yükleme süresi ile Vickers uç kullanılarak alınmış, sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Tellerin korozyon testleri öncesi ve sonrası ortalama sertlik değerleri (HV)

Paslanmaz Çelik				
Ortam* **	0	1	2	3
Sertlik (HV)	368.27	352.26	407.14	385.09

Nikel-titanyum				
Ortam	0	1	2	3
Sertlik (HV)	192.88	202.25	202.75	186.88

Beta-titanyum				
Ortam	0	1	2	3
Sertlik (HV)	188.19	212.29	217.69	208.13

Elgiloy				
Ortam	0	1	2	3
Sertlik (HV)	438.64	442.36	464.87	430.20

* 0: Korozyona uğratılmamış telin (0 gün), 1: Modifiyeli Fusuyama çözeltisinde 28 gün korozyona tabi tutulan telin, 2: NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde 28 gün korozyona tabi tutulan telin, 3. H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde 28 gün korozyona tabi tutulan telin yüzey mikro sertlik ölçüm değerleridir.

5.3 Tartışma

Gerçekleştirilen ağırlık kaybı deneyleri neticesinde, modifiyeli Fusuyama çözeltisi içerisinde korozyona tabi tutulan tellerin ağırlıklarında hiçbir değişim görülmezken, H_3PO_4 katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi ve NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi içerisinde bekletilen tellerin ağırlıklarında çoğu zaman lineer şekilde artan, belirgin azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 5.7 – Çizelge 5.9’da ve Şekil 5.16 – Şekil 5.21’de toplu olarak verilen sonuçlar doğrultusunda en fazla ağırlık kaybının NaF katkılı yapay tükürük çözeltisi içerisinde gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle, nikel-titanyum ve beta-titanyum alaşımlarının flor iyonu bulunan ortamlarda hidrojen gevrekliğinin artması ile korozyon direncinin iyice düştüğü anlaşılmaktadır. Ortamlardaki korozyon direnci en yüksek tel malzemesinin Elgiloy® olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7 Modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi

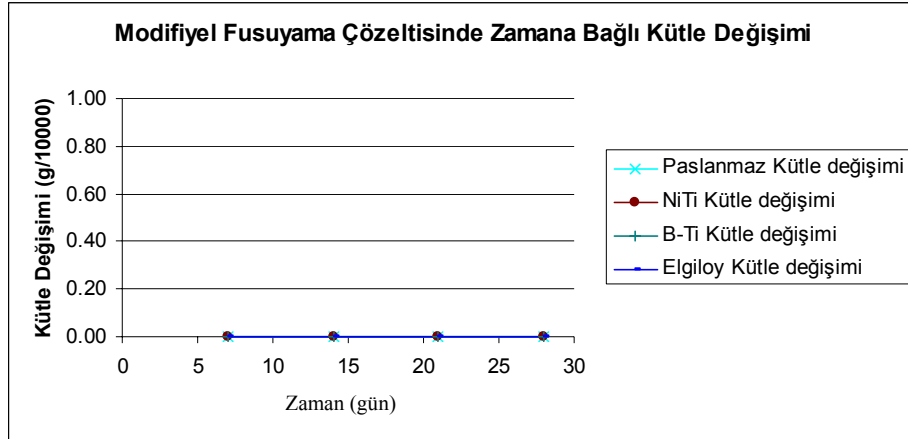
Gün	Paslanmaz çelik (g/10000)	NiTi (g/10000)	B-Ti (g/10000)	Elgiloy (g/10000)
7	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00
28 Temizlenmiş	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 5.8 NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi

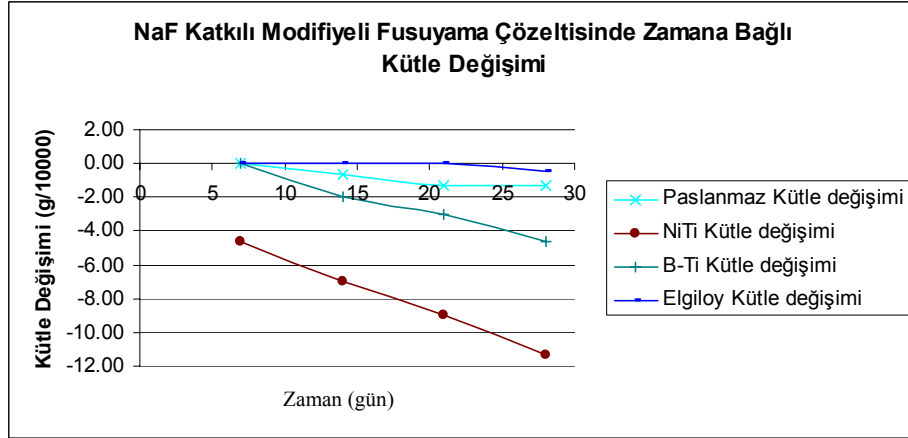
Gün	Paslanmaz çelik (g/10000)	NiTi (g/10000)	B-Ti (g/10000)	Elgiloy (g/10000)
7	0.00	-4.67	0.00	0.00
14	-0.67	-7.00	-2.00	0.00
21	-1.33	-9.00	-3.00	0.00
28	-1.33	-11.33	-4.67	-0.50
28 Temizlenmiş	-1.33	-11.33	-4.67	-0.50

Çizelge 5.9 H_3PO_4 katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleşen ağırlık değişimi

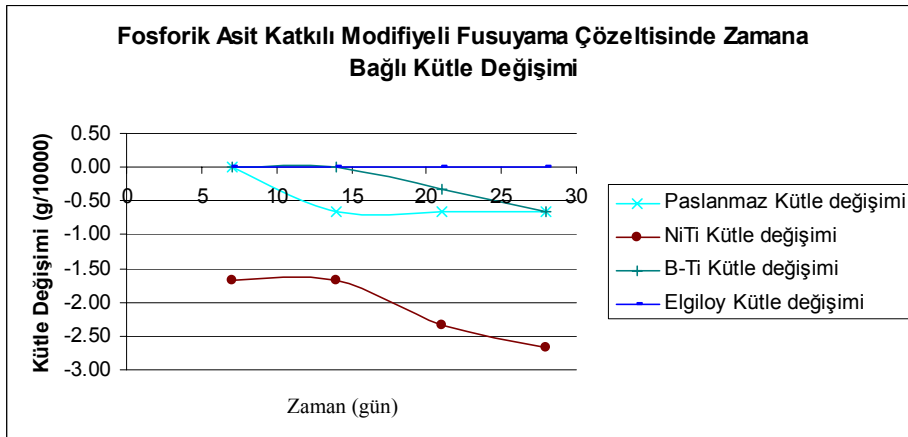
Gün	Paslanmaz çelik (g/10000)	NiTi (g/10000)	B-Ti (g/10000)	Elgiloy (g/10000)
7	0.00	-1.67	0.00	0.00
14	-0.67	-1.67	0.00	0.00
21	-0.67	-2.33	-0.33	0.00
28	-0.67	-2.67	-0.67	0.00
28 Temizlenmiş	-0.67	-2.67	-0.67	0.00



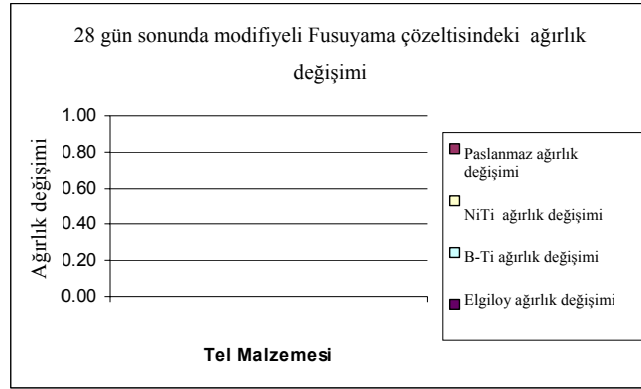
Şekil 5.16 Modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi



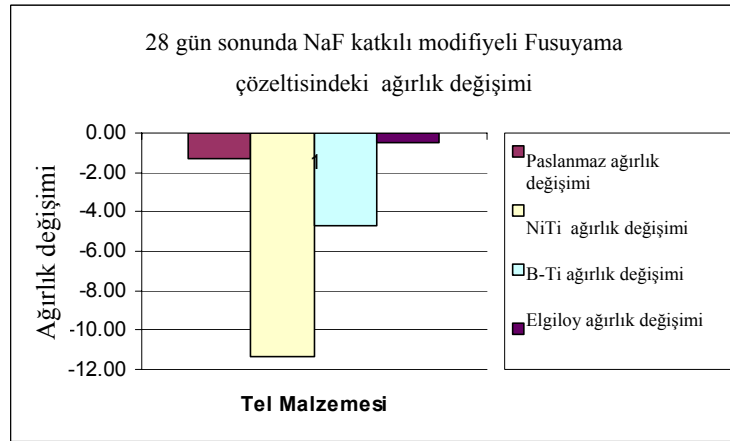
Şekil 5.17 NaF katkıli modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi



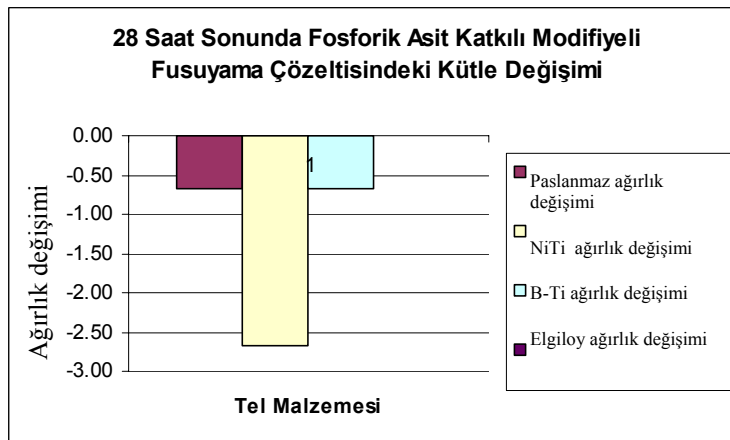
Şekil 5.18 H_3PO_4 katkıli modifiyel fusuyama çözeltisinde zamana bağlı ağırlık değişimi



Şekil 5.19 28 gün sonunda modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi

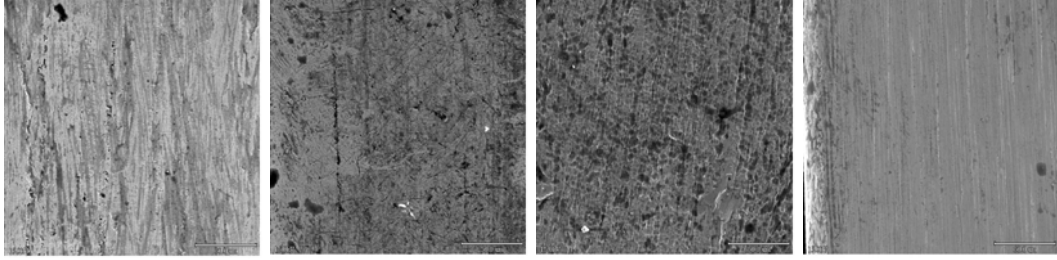


Şekil 5.20 28 gün sonunda NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi (g/10000)



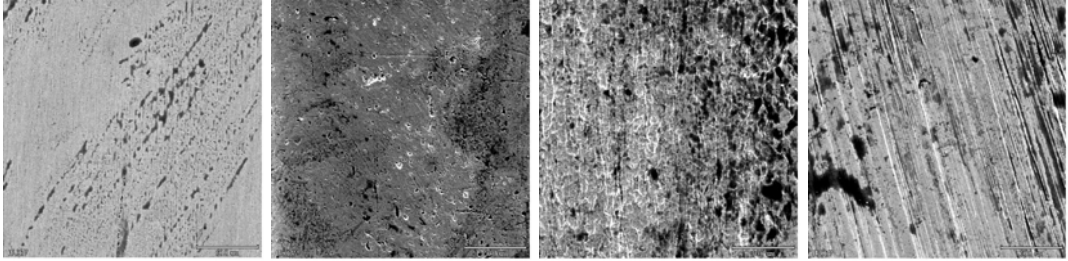
Şekil 5.21 28 gün sonunda H_3PO_4 katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisindeki ağırlık değişimi (g/10000)

Deneyler sonunda alınan yüzey görüntüleri incelendiğinde bütün tel çeşitleri için yüzey bozukluğunun sırasıyla en çok NaF ve H_3PO_4 katkılı yapay tükürük çözeltilerinde olduğu Şekil 5.22 – Şekil 5.24’de sırasıyla görülmektedir.



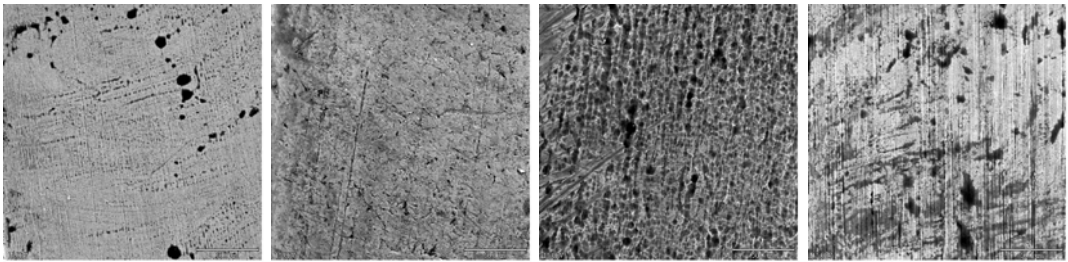
a) Paslanmaz çelik b) NiTi alaşımı c) Beta-titanyum alaşımı d) Elgiloy®

Şekil 5.22 Korozyon testine tabi tutulmayan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x)



a) Paslanmaz çelik b) NiTi alaşımı c) Beta-titanyum alaşımı d) Elgiloy®

Şekil 5.23 NaF katkılı yapay tükürük çözeltisinde korozyona uğratılan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x)



a) Paslanmaz çelik b) NiTi alaşımı c) Beta-titanyum alaşımı d) Elgiloy®

Şekil 5.24 H_3PO_4 katkılı yapay tükürük çözeltisinde korozyona uğratılan tellerin yüzey SEM görüntüleri (500x)

Ortodontik tellerin yüzeyinde oluşan korozyon hasarlarının sonucunda, yüzey sertliklerinde de değişimler gerçekleşmektedir. Yüzey sertlik değerindeki en fazla değişim, korozyon

hasarlarının da en fazla görüldüğü, NaF katkılı yapay tükürük çözeltisinde bekletilen tellerin yüzey sertliklerinin artışı şeklinde gözlemlenmektedir.

NaF katkılı yapay tükürük çözeltisinde bekletilen tellerin sertliklerinin değişimi, değerlerdeki fark olarak (7)'deki formüle göre incelendiğinde en büyük fark paslanmaz çelik tellerde görülmekteyken, yüzde değişim olarak (8)'deki formüle göre incelendiğinde beta-titanyum alaşımı tellerde görülmektedir.

$$\Delta HV = HV_1 - HV_0 \quad (7)$$

$$\Delta HV_{(\text{Paslanmaz çelik tel})} = 407,14 - 368,27 = 38,87 \text{ HV}$$

$$\% \Delta HV = \frac{\Delta HV}{HV_0} \cdot 100 \quad (8)$$

$$\% \Delta HV_{(\text{Beta-titanyum tel})} = \%15,68$$

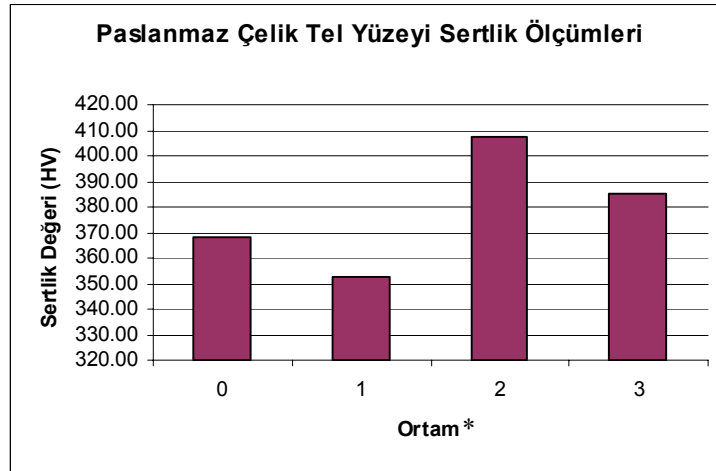
HV_0 : İlk sertlik

ΔHV : Sertlikteki değişim

HV_1 : Son sertlik

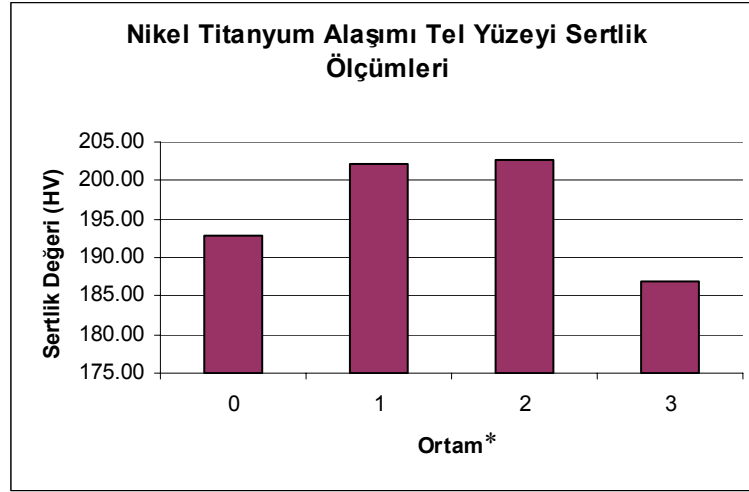
$\% \Delta HV$: Sertlikteki yüzdesel değişim

Diğer ortamlardaki sertlik değişimleri, korozyona tabi tutulan tel malzemelerinin cinsine göre değişim göstermektedir.

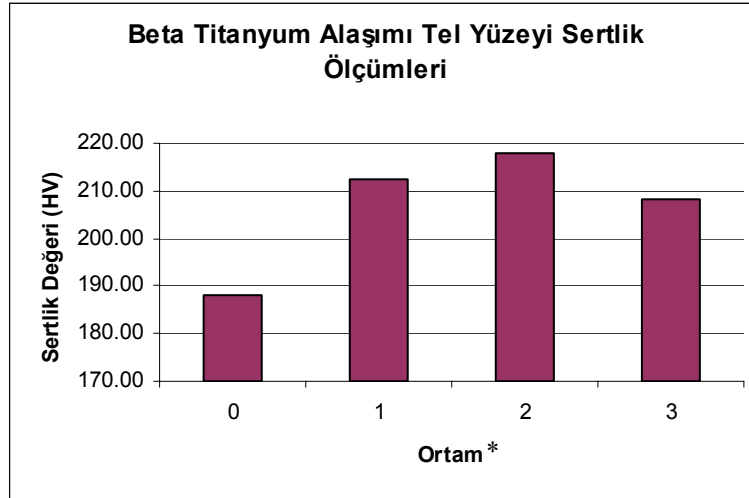


Şekil 5.22 Paslanmaz çelik tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri

* Şekil 5.22'de verilen ortamlar sırasıyla; 0: Korozyona uğratılmamış, 1: Modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 2: NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 3. H_3PO_4 katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi ortamlarıdır.

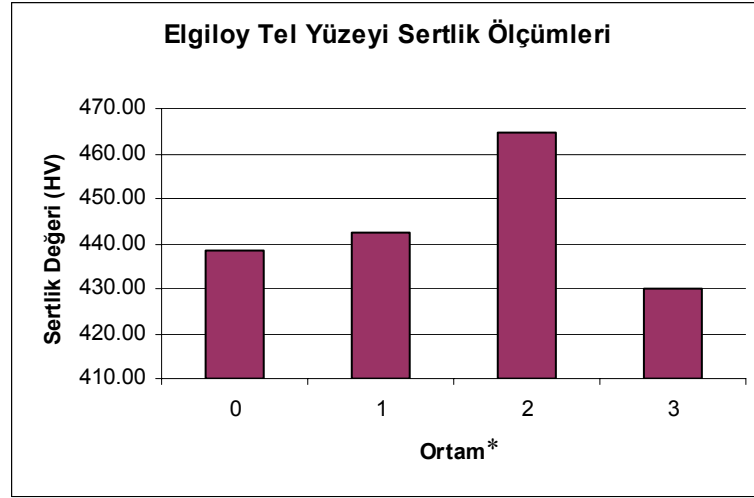


Şekil 5.23 Nikel-titanyum alaşımı tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri



Şekil 5.24 Beta-titanyum alaşımı tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri

* Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de verilen ortamlar sırasıyla; 0: Korozyona uğratılmamış, 1: Modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 2: NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 3. H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi ortamlarıdır.



Şekil 5.25 Elgiloy[®] tellerin testler öncesi ve sonrası yüzeyi sertlik ölçümleri

Şekil 5.25’de verilen ortamlar sırasıyla; 0: Korozyona uğratılmamış, 1: Modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 2: NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi, 3. H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi ortamlarıdır.

6. SONUÇLAR

Çalışmada, 18-8 krom nikel paslanmaz çelik tel, nikel-titanyum alaşımı tel, beta-titanyum alaşımı tel ve Elgiloy® tel numuneler; insan ağız içi ortamına denk sayılan 22°C – 37°C arasındaki ortam sıcaklık değerlerinde; modifiyeli Fusuyama, NaF katkılı modifiyeli Fusuyama ve H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama olmak üzere üç farklı yapay tükürük çözeltisinde bekletilerek korozyon davranışları ağırlık kaybı metodu ile gözlemlenmiş ve makro yapı görüntüleri incelenmiştir. Korozyona uğratılmış numunelerden alınan yüzey sertlik ölçümleri ile tel yüzeyinde meydana gelen sertlik değişimleri belirlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Üç farklı yapay tükürük çözeltisi ile gerçekleştirilen ağırlık kaybı metoduyla yapılan korozyon deneyleri sonucunda; en fazla ağırlık kaybının bütün teller için NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde gerçekleştiği görülmüştür. NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisi içerisindeki flor iyonlarının, hidrojenin içyapıya atomsal olarak yayınması ve titanyum ile birleşip titanyum hidrür çökeltisi oluşturması doğrultusunda hidrojen gevrekliğinin artmasına neden olması ile sözkonusu durum meydana gelmiştir. Elde edilen sonuç literatürle uyushmaktadır. (KANEKOA, 2003)
2. H₃PO₄ katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinin pH'ının, NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinin pH'ına göre çok daha düşük olmasına rağmen tel malzemelerinin asidik ortama olan dirençleri, az da olsa korozyona direncini iyileştirmektedir.
3. Modifiyeli Fusuyama çözeltisinde hiçbir kütle kaybı görünmemesine rağmen makro yüzey incelemeleri sonucunda, yüzeyde az da olsa bir miktar korozyon ürünü oluştuğu saptanmıştır.
4. En fazla ağırlık kaybının görüldüğü nikel-titanyum alaşımı tellerin, nikel salınımı nedeni ile uzun süreli tedavilerde nikel alerjisine sebebiyet verebileceği sağlık açısından önemli bir bulgu olduğu literatürde verilmiştir. (CIOFFI, 2005) Çalışmaya göre, diş sağlığı için kullanılan NaF katkılı maddelerin NiTi tellere olan etkisi önemli bulunmaktadır. Ortamın iyi taklit edilebilmesi için tellerin daha az sürelerle florlu ortamda bulundurulması gerekmektedir.
5. NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde bekletilen tellerde, hidrojenin içyapıya atomsal olarak yayınması ve titanyum ile birleşip, yüzeyde sert ve gevrek titanyum hidrür çökeltisi oluşturması sonucunda yüzey sertliklerinde artış olduğu

gözlemlenmiştir.

6. Yoğun bir ortam olan yapay tükürük çözeltilerinde gerçekleştirilen korozyon sonucu, yüzeyde oluşan korozyon ürünleri tel yüzeyinde süreksizlikler oluşturmakta ve yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü; tellerin, braketler içindeki hareketini engelleyerek ortodontik tedaviye olumsuz yönde etkilemektedir. Ortodontik teller tedavi süresine bağlı olarak dört ilâ altı hafta arasında değiştirilmekle beraber en fazla iki ay süre ile devamlı olarak ağız içerisinde kalmaktadırlar. Bu süre çerçevesinde yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkisi çok düşük olacaktır.

Ortodontik tedavide, ucuz ve yüksek eğilme dayanımına sahip olması nedeni ile paslanmaz çelik teller yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaylanabilme özelliklerinden dolayı nikel-titanyum ve beta-titanyum alaşımı teller, düşük kuvvet gerektiren belli tedavilerde, kobalt-krom-nikel alaşımı olan Elgiloy® teller ise özel tedavi amaçlı kullanım için tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

Akdoğan A., Nurveren K., Şekil Hafızalı Alaşımlar, MMO - Mühendis ve Makine, Haziran 2003, Sayı 521.

Askeland D.R., The Science and Engineering of Materials, Second SI Edition, Chapman&Hall, 1992, London

ASM Metals Handbook, Volume 13 Corrosion, ASM International, 1992

Budinski K.G., Engineering Materials – Properties and Selection, 5th. Edition, Prentice-Hall, 1996, New Jersey, U.S.A.

Cioffi Y. M., Gıllıland D., Ceccone G., Chiesa R., Cıgada A., Electrochemical release testing of nickel–titanium orthodontic wires in artificial saliva using thin layer activation, Science Direct, Acta Biomaterialia 1, (2005) 717–724

Corrosion-Club, Thermodynamic Corrosion Cycle, <http://www.corrosion-club.com/images/thermocycle.gif>

Craig R.G., Ward M.L., Restorative Dental Materials, Tenth Edition, Mosby, 1996

Dilibal S., Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi Ve Şekil Bellek Eğitimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2005, İstanbul

Diş Hekimim Diş Tedavi Merkezi, Ortodontik Tedavi, 2004, <http://www.hekimim.com/ortodonti/index.html>

Dr. Barış Ünlü, Ortodonti, Sabit Ortodonti Tedavi, <http://www.ortodontist.com/DesktopDefault.aspx?tabid=247>

Fontana M.G., Corrosion Engineering, Thirt Edition, McGraw-Hill, 1986, Singapore

G&H Wire Company, Orthodontic Products Catalog, 5th Edition, NEOdontics International, Inc., 2005, Indiana

Huang H. H., Chiu Y. H., Lee T. H., Wu S. C., Yang H. W., Su K. H., Hsu C. C., Ion release from NiTi orthodontic wires in artificial saliva with various acidities, Science Direct, Biomaterials 24, Elsevier Science Ltd., 2003, p:3585–3592.

Jones D.A., Principles and Prevention of Corrosion, Second Edition, Prentice-Hall, 1996, NJ

Kanekoa K., Yokoyamab K., Moriyamaa K., Asaokab K., Sakaic J., Naguma M., Delayed fracture of beta titanium orthodontic wire in fluoride aqueous solutions, Science Direct, Biomaterials 24, 2003, s:2113–2120

Lai, B.K., TiNi, Phase Diagram, 2003, <http://filer.case.edu/~bxl24/>

Mccabe J.F., Çeviren Nayır E., Dişhekimliği Maddeler Bilgisi, İstanbul Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi, İstanbul, 1999

ME Section-Metallurgy, EST Surface and Material Technologies Group, CERN, 2002 <http://est-div-sm.web.cern.ch/est-div-sm/me-moreinfo.htm>

Odabaş C. , Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Eczacıbaşı – Lincoln Electric, Şubat 2004, Tavaslı Matbaası, İstanbul

Schiffa N., Grosgeata B., Lissaca M., Dalardb F., Influence of fluoridated mouthwashes on corrosion resistance of orthodontics wires, Biomaterials 25, 2004, s:4535–4542

Stainless Steel Type 304 Annealed Wire, Small Parts Inc. <http://www.smallparts.com/products/descriptions/saw.cfm>

TS ISO 11845, Metallerin ve alaşımların korozyonu – Korozyon deneyleri için genel kurallar, Kasım 2000

TS ISO 8407, Metaller ve alaşımlarının korozyonu – Korozyon ürünlerinin korozyon deney numunelerinden uzaklaştırılması, Mart 2001

Wang J., Li N., Rao G., Han E, Ke W., Stress corrosion cracking of NiTi in artificial saliva, Science Direct, Dental Materials, 2006

Wikipedia – The free Encyclopedia, Polycarbonate <http://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>

Wikipedia – The free Encyclopedia, Shape memory alloy, http://en.wikipedia.org/wiki/Shape_memory_alloys

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.10.1983

Doğum yeri Şişli, İstanbul

Lise 1998-2001 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı,

Çalıştığı kurum

2005-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi