

Fiziksel Buhar Biriktirme(PVD) Tekniği ile Elde Edilen İnce Filmlerin Ortodontik Uygulamalardaki Etkisinin Araştırılması

Şengül Danışman^{1*}, Gülfem Işık², Feyza Holoğlu³, Hikmetnur Danışman³

¹Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, 38039, Kayseri, Turkey

²ISISAN Isı San ve Ticaret A.Ş., Industry and Trade Inc., Kayseri, Turkey;

³Gazi Osman Paşa University, Faculty of Dentistry, Department of Orthodontics, Tokat, Turkey

*(sdanisman@erciyes.edu.tr) the corresponding author

Özet–Ortodontik tedavi sırasında diş hareketini etkileyen önemli faktörlerden biri sürtünme kuvvetidir. Sürtünme kuvvetine etki eden faktörlere müdahale edilebilirse ortodontik tedavinin süresi ve başarısı ile ilgili olumlu tahminler yapmak mümkün olacaktır. Sürtünmenin; ark teli malzemesine, telin kesit yüzeyinin şekli ve boyutuna, ark teli ve braketin yüzey özelliklerine bağlı olduğu gibi her ikisinin birbirine bağlanma sırasındaki ligasyon materyali ve metoduna da bağlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada düşük sürtünme katsayılı kaplama tabakaları elde ederek ark teli ve braket arasındaki sürtünmeyi azaltmak, buna bağlı olarak ortodontik tedavinin kalitesini artırmak ve süresini kısaltmak hedeflenmiştir. Braket olarak klinik uygulamalarda tercih edilen konvansiyonel paslanmaz çelik Roth braket (0,018 inç) seçilmiştir. Kaplamanın ark teli malzemesi ve boyutuna bağlı olarak sürtünme katsayısına etkisini araştırmak için β -Ti, Ni-Ti ve paslanmaz çelik ark tellerinin dört farklı boyutu deney numuneleri olarak seçilmiş ve yüzeyleri Fiziksel Buhar Biriktirme tekniklerinden reaktif kaynaklı sıçratma metodu ile TiCN kaplama yapılmıştır. Kaplamanın ark telleri ve braket üzerindeki etkisi incelendiğinde, kaplanmış ark tellerinin kaplanmamış ark tellerine göre sürtünme katsayısı değerlerinde önemli derecede düşüşler kaydedilmiştir. Ayrıca kaplanmış β -Ti ve Ni-Ti ark tellerinin kaplanmış paslanmaz çelik ark tellerine göre daha düşük sürtünme katsayısı verdiği ortaya konmuştur. Braket-ark teli kombinasyonlarında da kaplanmış ark teli-kaplanmamış braket ikilisinin en düşük sürtünme katsayısını verdiği görülmüştür.

Keywords: PVD kaplamalar, TiCN, ortodontik ark telleri, braketler, sürtünme.

Abstract- One of the important factors affecting tooth movement during orthodontic treatment is the friction force. If the factors affecting the friction force can be intervened, it will be possible to make positive predictions about the duration and success of the orthodontic treatment. It is seen that the friction depends on the material of the archwire the shape and size of the cross-sectional surface of the wire, and the surface properties of the archwire and bracket, as well as related to the ligation material and method of bonding each other. The purpose of this study is; to reduce the friction between the archwire and bracket by obtaining low friction coefficient coating layers, thereby increasing the quality and shortening the duration of the orthodontic treatment. As a bracket, conventional stainless steel Roth brackets (0.018 inches) were chosen as preferred in clinical applications. Four different sizes of β -Ti, Ni-Ti and stainless steel archwires were selected as test specimens to investigate the effect of coating on the friction coefficient depending on the archwire material and size. With the PVD reactive magnetron sputtering method, the sample surfaces were TiCN coated. The experiment results have shown that TiCN coated archwires generally had significantly lower coefficients of friction than uncoated archwires. The friction coefficients of the TiCN coated β -Ti, Ni-Ti archwires were determined superior to the coated stainless steel. Also, the effects on the friction of coated archwires and brackets surfaces were evaluated and compared the coefficients of friction of stainless steel brackets combined with β -Ti, Ni-Ti and stainless steel archwires. The results show that the smallest friction coefficient was found for the coated archwires-uncoated brackets combination.

Keywords – PVD coatings, TiCN, orthodontic arc wires, brackets, friction

I. GİRİŞ

Sürtünme, temas halinde olan iki nesnenin arasında oluşan ve harekete karşı gösterilen dirençtir. İki cisim arasında kayma hareketi oluşabilmesi için uygulanan kuvvetin sürtünme direncinden fazla olması gerekir ve daha yüksek sürtünme direnci daha fazla ortodontik kuvvet gerektirir. Tüm mekanik sistemlerde olduğu gibi, ortodontik tedavilerde kullanılan tedavi mekaniklerinde de hareket ile beraber sürtünme oluşmaktadır. Ortodontide diş hareketini gerçekleştiren

braket ve ark teli arasındaki kayma, temas sırasında oluşan harekete ters yönde bir sürtünme direnci oluşmasına sebep olur. Bu etkileşim esnasında oluşan sürtünme kuvveti; ortodontik tedavi sırasında ortodontistin karşısına çıkan en büyük sorunlardan biri olup, sürtünme kuvvetinin miktarı, braketin ve uygulanan ark telinin malzemesi, braketin tipi, şekli, braketin üretim tekniği, ark telinin çapı, kesiti ve ark telini braket yatağına ligatürleme şekli gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Bütün bu kriterler içinde ideal olanı

bulmak, doğru materyalleri, doğru tekniklerle birleştirmek ve uygulamak ortodontist için en büyük sorun olmaktadır. Sürtünme kuvveti ortadan kaldırılamayacağı için sürtünmeyi azaltarak kontrol etmek mümkündür. Oluşan sürtünme direncinin sebepleri daha iyi belirlenir ve azaltılırsa, diş telinin etkinliği de o kadar artar. Ark teli braket arasındaki sürtünme ile ilgili çok çalışma olmasına rağmen, yüzey kaplama türü ve metotları ile ilgili yapılanlar yetersizdir. Sürtünmeyi azaltmak için uygulanan yüzey işlemlerinden iyon implantasyonu, polietilen kaplama poli(tetrafluoroetilen) kaplama gibi uygulamalar mevcuttur[1-4]. Bu alanda uygulanan elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar yüksek sertlik, yüksek kimyasal kararlılık ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir[5]. MCECR plazma sıçratma yöntemiyle DLC kaplanan NiTi ark tellerinin sürtünme katsayısı, kaplanmamış olanlar ile karşılaştırıldığında, kuru şartlarda % 79.7 ve yapay tükürükte % 70 oranında azaldığı ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar, DLC filmlerin sürtünme özelliklerini önemli derecede geliştirdiğini ve ortodontik uygulamalarda büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir[5]. Plazma iyon implantasyonu(PBIID) metoduyla DLC kaplanmış NiTi ve paslanmaz çelik tellerin sertlik değerleri artmış, 3 farklı braket tipiyle oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinde ise belirgin azalmalar görülmüştür[6]. PECVD metodu ile DLC kaplanan braket ve iki farklı boyutta çelik ark telleri(0.019×0.025 ve 0.021×0.025 inç kesitinde) arasında oluşan statik sürtünme katsayılarında belirgin düşüş tespit edilmiştir[7]. Plazma iyon implantasyonu(PBIID) metoduyla DLC kaplanmış braketlerin, kaplamasız 0.017 × 0.025 inç ve 0,018 inç boyutlarında paslanmaz çelik tellerle oluşan sürtünme kuvvetlerinde düşüş kaydedilmiştir[8].

Sürtünmeyi azaltmak, yüzey kalitesini artırmak, homojen bir son yüzey elde etmek amacıyla arktelleri üzerinde PVD (Physical vapour deposition-fiziksel buhar biriktirme) kaplama yöntemleri de kullanılmaktadır. PVD metodu ile üretilen sert seramik kaplamalar, yüksek sertlik, iyi aşınma, korozyon ve oksidasyon direnci, kimyasal kararlılık ve iyi yapışma gibi özelliklerinden dolayı endüstrinin birçok dalında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Ortodonti uygulamalarında ise çalışmalar azdır. PVD iyon kaplama yöntemi ile titanyum nitrür (TiN) kaplanan braketler ve TiAlN kaplanan β-titanyum ark telleri üzerinde farklı ortamlarda sürtünme kuvvetlerinin ölçüldüğü çalışmalar mevcuttur[9,10].

Bu çalışmada sürtünmeyi azaltmak ve çalışma performansını arttırmak amacıyla farklı boyut ve malzemeden ark telleri ve braketler seçilmiş PVD tekniklerinden reaktif kaynaklı sıçratma metodu ile TiCN kaplanarak sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır.

II. MALZEME VE METOD

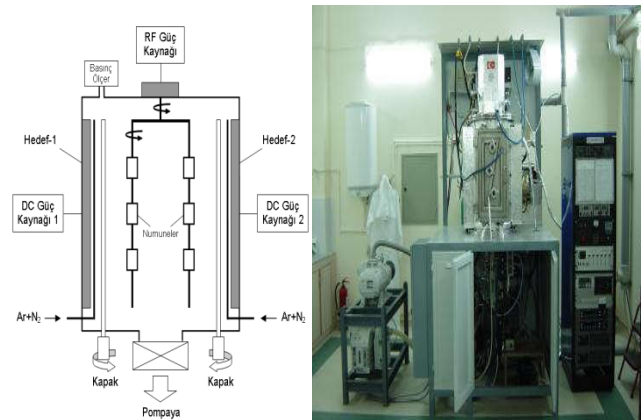
Klinik uygulamalarda tercih edilen konvansiyonel paslanmaz çelik Roth braket ile kaplamanın ark teli cinsi ve boyutuna bağlı olarak sürtünme katsayısına etkisini araştırmak için dört farklı boyutta β-Ti, Ni-Ti ve paslanmaz çelik diş telleri deney numuneleri olarak seçilmiştir. Roth braketlerde slot kanalı genişliği 0.018" olup, 2° rotasyonel, 0°

angulasyon ve -7° tork açısı değerlerine sahiptir. Bu braketlerin seçilmesindeki amaç kaplama sonrası slot yüzeylerindeki değişimlerin, braket slotu ve tel arasındaki etkileşimin sürtünmeye etkisini daha net olarak gözlemlemektir. Deney numunelerinin özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Kaplama öncesi paslanmaz çelik, BTi ve NiTi alaşımı ark telleri, braketler ve silisyum yongalar "Bandelin Sonorex RK 255-H" marka ultrasonik banyoda sırasıyla 10 dakika aseton, 10 dakika alkol ihtiva eden ortamda yıkanmış ardından saf su ile durulanıp kurularak vakum odasına yerleştirilmiştir.

Tablo.1 Deneysel çalışmada kullanılan ark teli kimyasal bileşimleri ve boyutları.

Ark Teli Malzemesi	Ark Teli Malzemesi Kimyasal Bileşimleri	Ark Teli Boyutları
NiTi Arkteli	Ni-%55Ti-%45	0.016*0.022" (0,406*0,559mm)
		0.017*0.025" (0,432*0,635mm)
		0.016" (0,406mm)
		0.014" (0,356mm)
B-Ti (TMA) Arkteli	Sn 3.75/5.25% Mo-10.00/13.00% Ti 74.25/81.75% Zr-4.50/7.50%	0.016*0.022" (0,406*0,559mm)
		0.017*0.025" (0,432*0,635mm)
		0.016" (0,406mm)
		0.014" (0,356mm)
Paslanmaz Çelik Arkteli	Mn2.00%max;Si1.00%max; Cr17.00/19.00%max; Ni8.00/10.50%max	0.016*0.022" (0,406*0,559mm)
		0.017*0.025" (0,432*0,635mm)
		0.016" (0,406mm)
		0.014" (0,356mm)

Bu çalışmada seçilen numunelerin kaplanması, çift hedefli D.C. kaynaklı manyetik kaynaklı sıçratma yöntemine dayalı kaplama sisteminde gerçekleştirilmiştir. Sistem Şekil.1'de görülmektedir. Sistemin paslanmaz çelik vakum odası 600 mm çapında ve 800 mm yüksekliğindedir. Kaplanacak parçalar devir ayarlı bir elektrik motoru yardımıyla tek ve çift eksenli olarak döndürülebilmekte olup ısıtma işlemi vakum odası içerisindeki rezistanslı ısıtıcılarla sağlanmaktadır. Sıçratma, enerjistik parçacıkların hedef (kaplama malzemesi) yüzeyini bombardıman etmesi sonucu, momentum transferine bağlı olarak hedef yüzey atomlarının koparılması ve alt tabaka üzerinde biriktirilmesi esasına dayanır. Kaplanacak numuneler, hedef olarak adlandırılan kaplama malzemesinin karşısında konumlanacak şekilde yerleştirilir[11,12].



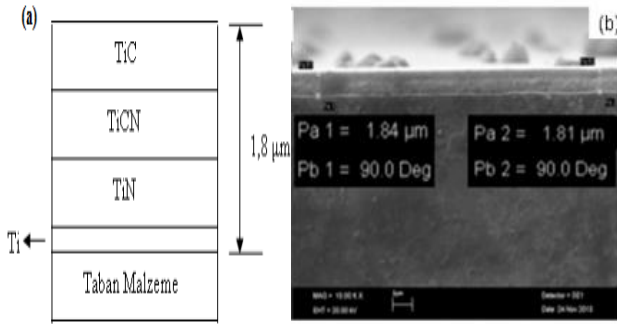
Şekil.1.a. Şematik manyetik alanda sıçratma metodu b. PVD manyetik alanda sıçratma sistemi

Sistemde kaplama öncesi, 5 mtorr argon basıncında 500 W güçte ~30 dakika deney numunelerinin RF temizliği, 5 mtorr argon basıncında 5 KW gücünde ~5 dakika hedef temizliği yapılmıştır. Kaplama aşamasında 5 KW hedef gücünde 2 mtorr argon basıncında 12 dakika Ti kaplama yapılmış ardından ~18–20 sccm argon akışında 1 saat TiN kaplama sonrasında yaklaşık 1 saat 17 dakika kadar da TiCN kaplama gerçekleştirilmiştir. En son aşamada ~15 dakika kadar TiC kaplama yapılmış olup her 5 dakikada bir azot miktarı azaltılıp yine her 5 dakikada bir asetilen miktarı artırılmıştır. Kaplama işlemi -80 volt bias voltajında yapılarak, kaplama boyunca ortam sıcaklığı 120 °C sabit tutulmuştur.

III . BULGULAR

3.1 Kaplamaların Karakterizasyonu

Kaplama kalınlıkları, silisyum yongaların kesitleri SEM'de incelenerek tespit edilmiş olup çeşitli bölgelerinden alınan toplam kaplama kalınlığının ortalaması ~1.83 µm olarak hesaplanmıştır. Sırayla Ti/TiN/TiCN/TiC kaplama tabakaları oluşturulmuş kaplama kalınlığı ve Silisyum yonga kesit SEM görüntüleri Şekil.2'de verilmektedir. Fotoğraf kaplama kalınlığının oldukça homojen ve düzgün bir yüzey yapısına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil.2 a-Şematik kaplama katmanları ve kalınlığı b- Silisyum yonga kesit SEM görüntüsünde TiCN kaplama kalınlığı.

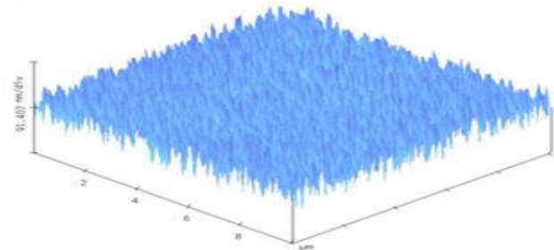
Ark tellerinin kaplama öncesi sertlik değerleri, Struers-Duramin marka mikro sertlik cihazında, 100 g yük altında ölçülmüş olup paslanmaz çelik ark teli için 556,4 HV, BTi ark teli için 403,6 HV, Ni-Ti ark teli için 470 HV değerinde olduğu görülmüştür. TiCN kaplama sonrası sertlik değerlerini ölçmek amacıyla da CSEM Instruments marka nanosertlik test cihazı kullanılmıştır. Vickers ucu kullanılarak her numunede yedi adet ölçüm yapılmış, sertlik ve elastiklik modülü değerleri Oliver-Pharr analiz metodu ile tespit edilmiştir. Ölçümlerde 15 mN yük seçilerek, 30 mN/dak yükleme ve boşaltma oranlarında çalışılmıştır. Numunelerden alınan nanosertlik değeri ortalama 1159 HV, maksimum batma derinliği 104,898 nm ve elastiklik modülü değeri ise E=130,3 GPa olarak bulunmuştur.

Yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo SurfTest-201 cihazı ile ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri bütün ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak, Tablo 2'de verilmiştir. Ortalama için her numunede 3-6 ölçüm alınması yeterli görülmüştür.

Tablo.2 TiCN kaplanmış ve kaplanmamış ark tellerinin yüzey pürüzlülükleri.

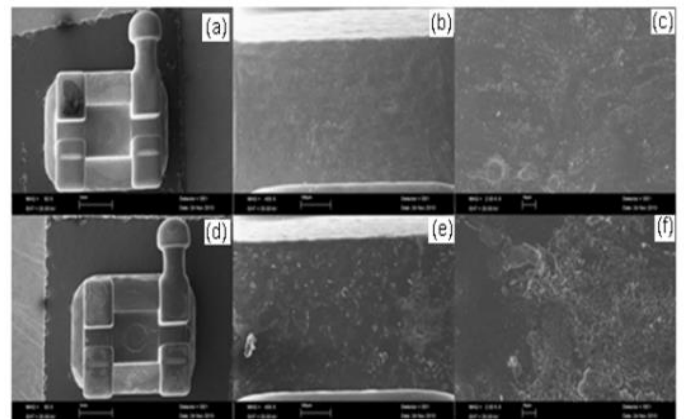
Tel malzemesi ve kesiti	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)						Ra(ort)
	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	5. ölçüm	6. ölçüm	
Kaplanmış							
NiTi (0,017x0,025)	0,39	0,23	0,32	0,22			0,29
NiTi (0,016x0,022)	0,37	0,18	0,37	0,43	0,38	0,37	0,35
SS (0,017x0,025)	0,05	0,05	0,05	0,05			0,05
SS (0,016x0,022)	0,06	0,05	0,05	0,05			0,05
BTi (0,017x0,025)	0,37	0,17	0,37	0,47	0,39	0,27	0,35
BTi (0,016x0,022)	0,08	0,14	0,15	0,16	0,18	0,12	0,15
Kaplanmamış							
NiTi (0,017x0,025)	0,07	0,19	0,21	0,19	0,15	0,23	0,17
NiTi (0,016x0,022)	0,17	0,12	0,07	0,14			0,13
SS (0,017x0,025)	0,05	0,05	0,05				0,05
SS (0,016x0,022)	0,05	0,05	0,05				0,05
BTi (0,017x0,025)	0,14	0,17	0,18	0,12	0,23		0,17
BTi (0,016x0,022)	0,05	0,05	0,12				0,07

Tablo.2'de görüldüğü gibi kaplanmış ark tellerinin yüzey pürüzlülükleri, kaplanmamış ark tellerine göre daha yüksektir. Fakat paslanmaz çelik için kaplama sonrası pürüzlülük değeri diğer ark tellerinde olduğu gibi artış göstermemiştir. AFM analizlerinde yüzey pürüzlülüğü 10 µm'lik alanda taranmış olup Şekil.3'de görüldüğü gibi TiCN kaplama için silisyum yonga yüzeyinden alınmış ve kaplama yüzeyinde homojen, kesiksiz bir görüntü oluştuğu görülmüştür.

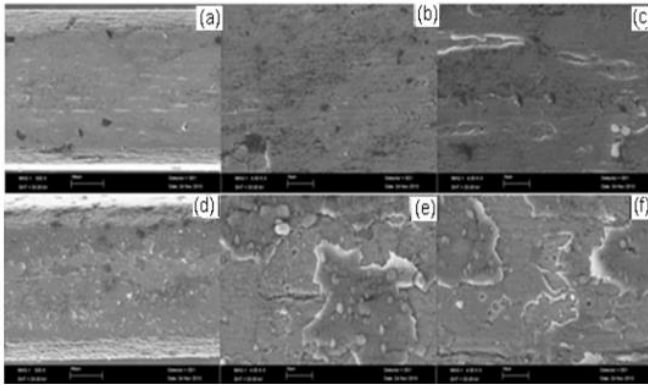


Şekil. 3. TiCN kaplamaların silisyum yongadan alınmış üç boyutlu AFM görüntüleri.

TiCN kaplama yapılmış ve yapılmamış braket ve ark tellerinin SEM görüntüleri Şekil.4 ve Şekil.5'de verilmiştir. Yapılan incelemelerde TiCN'ün braketler ve ark telleri üzerine homojen şekilde kaplandığı ve herhangi bir yapılaşma probleminin olmadığı görülmüştür (Şekil.4-5.d,e,f).



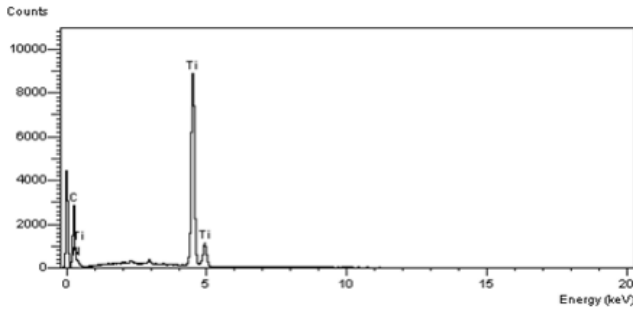
Şekil. 4 Kaplanmamışbraket a) Genel (50X), b) Slot kanalı genel (450X), c) Slot kanalı detay (2.00KX); Kaplanmışbraket d) Genel (50X), e) Slot kanalı genel (450X), f) Slot kanalı detay (2.00KX) SEM görüntüleri.



Şekil.5 Kaplanmamış BTi ark teli (0.017"x0.025") a) Genel (500X), b-c) Detay (4.00KX); Kaplanmış BTi ark teli (0.017"x0.025"), d) Genel (500X), e-f) Detay (4.00KX) SEM görüntüleri.

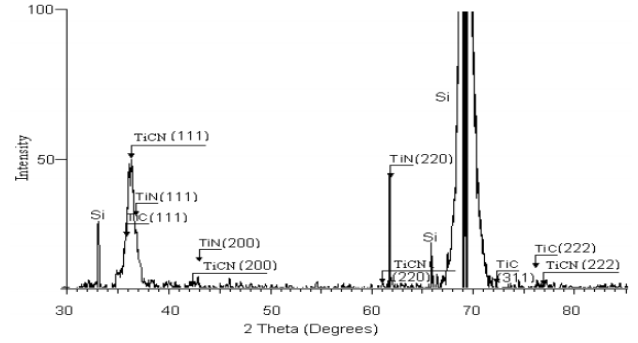
Şekil.5 a,b ve c SEM görüntülerinde kaplanmamış BTi ark telleri oldukça pürüzlü yüzeye sahip olduğu görülmekte, literatürde de yüksek sürtünme katsayısı değerleri verdiği bilinmektedir. Kaplama yapıldıktan sonra Şekil.5 d,e ve f SEM görüntülerinden yüzey özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. TiCN kaplamada büyüme ve yönlenme özelliklerine bağlı olarak pürüzlülük değerlerinde artış olduğu SEM fotoğraflarından görülmektedir. Bu artış yüzey profilometre ölçümleriyle de ortaya konulmaktadır. Paslanmaz çelik tellerde kaplama öncesi ve sonrası pürüzlülük değerlerinde fazla bir değişim gözlemlenmemiştir.

Kaplamaların iç yapılarını incelemek amacıyla EDX, XRD analizleri yapılmış olup sonuçları sırayla Şekil.6 ve 7'de görülmektedir.



Şekil.6 TiCN kaplanmış BTi (.017"x.025") kesitli ark teli, EDX analiz sonuçları (20keV).

Burada EDX sonucuna göre BTi ark telinin yüzeyinde Ti, C ve N elementlerinin varlığı ve % atomik değerleri ortaya konulmuştur.



Şekil.7. TiCN kaplanmış silisyum yonga yüzey kesitinden alınan XRD analiz sonuçları (40kV, 40mA).

Şekil.7'de kaplamaların faz yapıları XRD yöntemiyle silisyum yongalar üzerinden incelenmiştir. Silisyum yonga (100) yönlenmesine sahiptir. XRD analiz sonuçlarından kaplamaların genel olarak (111), (200) ve(220) kristal yönlenmelerine sahip TiN, (111), (311) ve (222) kristal yönlenmelerine sahip TiC, (111), (200), (220) ve (222) kristal yönlenmelerine sahip TiCN'den oluştuğu görülmektedir.

TiCN yoğun olarak (111), (200) yönlenmelerine sahip yüzey merkezli kübik kafes yapısındadır ve bu durum plastik deformasyon kabiliyetini artırır. XRD ölçümleri bakır katot tüpte, 40kV, 40mA işlem parametreleri kullanılarak yapılmış ve kafes parametreleri; TiCN için 4,29, TiN için 4,24 ve TiC için 4,32 angström olarak bulunmuştur.

3.2 Kaplanmış Ark tellerinin Sürtünme Kuvveti ve Katsayılarının Belirlenmesi

Sürtünme kuvvetini ölçmek amacıyla CSEM Revetest test cihazı kullanılmıştır. Deney sırasında ark telini cihaza yerleştirebilmek için özel tutucu ve bağlantı elemanları tasarlanmıştır. Tasarlanan ark teli numune tutucu Şekil.8.a'da görülmektedir. Sürtünme kuvvetini belirlemek için karşı eleman olarak her deney için ayrı çelik rulman kullanılmıştır. Karşı elemanı cihaza yerleştirebilmek için üst bölüme ayrı tutucu (Şekil.8b) tasarlanmıştır. Cihaz tablası üzerine yerleştirilmiş ark teli numune tutucusu, rulmanın uyguladığı yükler altında, 3 mm/dak hızla hareket ettirilerek sürtünme kuvveti diyagramları kuru şartlarda, ortam sıcaklığında elde edilmiştir. Test mesafesi yaklaşık 10 mm olup 10 N ve 5 N yükler altında sürtünme kuvvetleri dedektör vasıtasıyla belirlenmiştir. Aynı zamanda kaplamalı örnekler için akustik emisyon dedektörü ile elde edilen sinyaller kaplamamın hasar takibini ve taban malzemeye geçilip geçilmediğini göstermiştir. Belirlenen sürtünme kuvvetleri normal kuvvete bölünerek sürtünme katsayıları formül-1'den hesaplanmış ve aritmetik ortalamalarına göre Şekil 9'da görülen grafik elde edilmiştir.

$$\mu_{ort} = F_s / F_n \quad (1)$$

Burada F_s –Sürtünme kuvveti, F_n -Normal kuvvet, μ_{ort} – ortalama sürtünme katsayısını göstermektedir. Yapılan çalışmada kaplanmış ark telleri kaplanmamış ark tellerine göre düşük sürtünme katsayısı değerleri vermiştir [8]. Yani kaplama ark tellerinin yüzey özelliklerini iyileştirmiş en güçlü değişimi NiTi sonra BTi ve paslanmaz çelik ark telleri göstermiştir.

daha düşük sürtünme katsayısı vermiş olup, kaplamanın etkisi paslanmaz çelik(SS) tellere göre NiTi ark tellerinde daha fazla görülmüştür. Kaplanmamış durumdaki SS ark telleri, kaplanmamış durumdaki NiTi ark tellerinden daha düşük sürtünme katsayısı değerleri vermiştir. Her iki ark teli de kaplama yapıldıktan sonra kaplama yapılmamış durumlarına göre daha düşük sürtünme katsayısı değerleri vermiş olup, TiCN kaplamalı NiTi ark teli en düşük sürtünme katsayısı değerlerini vermiştir. Kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü artmakla birlikte bu artış önemsiz kabul edilmektedir[5,7]. Aynı zamanda bu çalışmada TiCN kaplamanın paslanmaz çelik ark tellerinin pürüzlülüğünü DLC kaplamada olduğu gibi etkilemediği görülmüştür[6]. Ark teli ve karşı eleman olarak rulman kullanılan çalışmada boyut açısından bakıldığında TiCN kaplanmış ve kaplanmamış her iki durumda da; 0.016"x0.022" kesitli ark telleri, 0.017"x0.025" kesitli ark tellerinden daha yüksek sürtünme katsayısı vermiştir. Diğer taraftan paslanmaz çelik 0.016"x0.022" ve 0.017"x0.025" kesitli ark tellerinin sürtünme katsayısındaki değişim; NiTi 0.016"x0.022" ve NiTi 0.017"x0.025" ark tellerinin sürtünme katsayısındaki değişimden daha fazla çıkmıştır. Bu grupta tel malzemesi ve boyut ilişkisinin daha etkin olduğu görülmüştür. Dairesel kesitli olup farklı çaplardaki ark telleri incelendiğinde Ø 0.016" kesitli ark tellerinde kaplama öncesi ve kaplama sonrasındaki sürtünme katsayısı değişim farkı, Ø 0.014" kesitli ark tellerindeki kaplama öncesi ve sonrasındaki sürtünme katsayısı değişim farkıyla hemen hemen aynı oranda bulunmuştur. Kaplanmış ark tellerinin kaplanmamış ark tellerine göre yüksek sertliğe sahip olması sürtünmeyi azaltmakla birlikte bağlanma(binding) ve çentikleme (notching) etkisini de azaltmaktadır. Dikdörtgen kesitli ark tellerinin sürtünme kuvvetlerinin azalmasında bunun etkisi büyüktür[6,8].

Ark teli ve braket kombinasyonları için yapılan deneylerde Şekil.11.a'da görüldüğü gibi Deney grubu-1 için birinci derecede önemli parametre kaplama iken ikinci derece öneme sahip parametrenin ark teli boyutu olduğu görülmüştür. Daire kesitli tellerin dikdörtgen kesitli tellere göre daha yüksek sürtünme katsayısı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi dikdörtgen kesitli ark telinin slot tabanına ilettiği baskı kuvvetinin ve oluşan gerilmelerin, daire kesitli ark teline göre daha geniş bir alana yayılmasından kaynaklanabilir. Braket etkisi incelendiğinde, kaplanmamış braketin-kaplanmamış paslanmaz çelik ark teliyle en düşük sürtünme katsayısı değeri verdiği görülmüş paslanmaz çelik için kaplama yapmanın anlamlı olmadığı yorumuna varılmıştır. Kaplanmış braketlerin etkisinin düşük olmasının sebeplerinden biri de braket dış yüzeylerindeki sertlik değeri yüksek iken slot kanalı içindeki sertlik değerlerinin daha düşük olmasındandır[8]. BTi ark teli için kaplama yapmanın, brakete ise kaplama yapılmamasının daha düşük sürtünme katsayısı değeri verdiği saptanmıştır. Yani BTi ark telinin yüzey özellikleri TiCN kaplama ile iyileşmiştir. Burada ark teli-braket çiftinin ikisine birden kaplama yapılması sürtünme katsayısını artırmıştır. Bunun TiCN kaplamanın pürüzlülüğü ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Genel olarak bütün kaplama türlerinde ortalama yüzey pürüzlülüklerinin artması (Ra) iki pürüzlü yüzey yani iki kaplanmış yüzeyin birbiriyle teması sürtünme

katsayısının artmasına neden olmuştur. Kaplama sonrası SS ark tellerinin pürüzlülüğü değişmediği için sürtünme katsayısı değerleri, BTi ark tellerinin sürtünme katsayısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Ayrıca 0.016"x0.022" kesitli ark tellerinin sürtünme katsayısı değerleri, Ø 0.016" kesitli ark tellerinin sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Sürtünme katsayıları için en etkili parametrenin kesit olduğu görülmüş buna göre dikdörtgen kesitli ark telleri için boyutun büyümesiyle birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak da 0,017x0,025 boyutlu ark telinin sürtünme katsayısı değerleri 0,016x0,022 boyutlu ark tellerinden fazla çıkmıştır. Literatürde, paslanmaz çelik, krom kobalt, nikel-titanyum ve beta-titanyum ark tellerinin kullanıldığı ve braket içerisinde 5.1 mm/dak hızla hareket ettirildiği çalışmada ölçülen sürtünme kuvvetlerinin tel boyutunun artması ile arttığı, beta-titanyum ve nikel-titanyum ark tellerinin, paslanmaz çelik ve krom kobalt ark tellerinden daha yüksek sürtünme kuvveti gösterdiği ifade edilmiştir[13].

Ark teli ve braket kombinasyonları için yapılan deneylerde Şekil.11.b'de görüldüğü gibi Deney grubu-2 için birinci derecede önemli parametre kaplama iken ikinci ark teli malzemesi olmuştur. Ark telinin kaplanması özellikle BTi telde yüzey özelliklerini iyileştirmiş kaplanmamış braket kombinasyonu bu çift için oldukça düşük sürtünme katsayı değerleri elde edilmiştir. Yüzey işlemleri ve kaplamaların statik sürtünme direncini azalttığı kanıtlanmıştır [14]. Paslanmaz çelik ark tellerinin sürtünme katsayısı değerleri BTi ark tellerinin sürtünme katsayısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Ayrıca 0.016"x0.022" kesitli ark tellerinin sürtünme katsayısı değerleri, 0.017"x0.025" kesitli ark tellerinin sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Bu malzemelerden hazırlanmış ark tellerine uygulanan, TiCN kaplama sonucunda, 0.05 µm olan paslanmaz çelik ark teli yüzey pürüzlülüğünün değişmediği tespit edilmiştir. NiTi ve BTi alaşımı ark tellerinin yüzey pürüzlülükleri ise paslanmaz çelik ark tellerine kıyasla kaplama öncesinde daha yüksek olup kaplama sonrasında da artış göstermiştir. Literatürde NiTi diş telleri üzerine uygulanan DLC (elmas benzeri karbon) kaplamalar Ni iyon yayılımını kaplamasız olanlara göre %80'ler oranında azaltmış ve diş tellerinin kararlılığını iyileştirmiştir[15,16]. Ayrıca ark tellerinde boyuta bağlı olarak kesit büyüdükçe sürtünme katsayısı değerleri azalmış bu da sürtünme katsayısının boyuttan bağımsız olmasına dayandırılmıştır. Braketlerle yapılan çalışmalarda daire kesitli ark tellerinin, dikdörtgen kesitli ark tellerine göre daha yüksek sürtünme katsayısı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Çünkü dikdörtgen kesitli ark telleri daha geniş bir slot alanına temas ettiği için birim alanda oluşacak gerilmeleri dengeli bir şekilde dağıtmakta zamanla kararlı hale gelmektedir. Braketlerde kaplanmış ve kaplanmamış değerler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir, bu durum DLC kaplamalar ile benzerlik göstermektedir[17]. CA PVD yöntemiyle elde edilen nitrür ve karbür esaslı kaplamalarda karbür kaplamaların daha düşük sürtünme katsayısı verdiği bilinmektedir[18]. Ancak sürtünme direncinin azaltılabilmesi malzeme yapısına bağlı olarak, braket ve ark tellerinin yapısal özelliklerinde de yapılacak iyileştirmelere bağlıdır. Bu da braket ve ark telinin üretiminde değişik malzeme

kullanılmasıyla veya yüzey bitirme işlemlerinin daha pürüzsüz bir yüzey elde etmek için değiştirilmesiyle mümkündür [19]. Bu durum ark telinin kaplanması (brakete göre) gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

V.SONUÇLAR

Ortodontik tedavide ark telleri olarak SS, Ni-Ti, BTi alaşımları ve konvansiyonel metal Roth braketler tercih edilen malzemelerdendir. PVD tekniklerinden reaktif kaynaklı sıçratma yöntemiyle TiCN kaplama başarılı bir şekilde ark teli ve braketlere uygulanmıştır. Kaplamanın ark teli ve braketlerin sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. TiCN kaplama yapılmış farklı boyut ve malzemeden ark tellerinde genel olarak kaplamanın, sürtünme katsayısını düşürdüğü gözlemlenmiş en fazla değişimin BTi ve NiTi ark tellerinde olduğu görülmüştür. Kaplanmış ve kaplanmamış braket ark teli kombinasyonları arasında paslanmaz çelik ark telleri için önemli bir değişim görülmezken, kaplanmamış braket kaplanmış BTi ark teli kombinasyonunda en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir.

REFERENCES

- [1] RP. Kusy, EJ .Tobin, JQ .Whitley, P. Sioshansi," Frictional coefficients of ion-implanted alumina against ion-implanted beta-titanium in the low load, low velocity, single pass regime", *Dent Mater*, vol.8,pp.167-172, 1992.
- [2] G. Farronato, R. Maijer , MP.Caria, L. Esposito, D. Alberzoni, G.Cacciatore, " The effect of Teflon coating on the resistance to sliding of orthodontic archwires", *Eur J Orthod* , vol.34, pp.410-417, 2012.
- [3] P. Husmann, C.Bourauel , M.Wessinger, A. Jäger, " The frictional behavior of coated guiding archwires", *J Orofac Orthop*, vol.63, pp.199-211, 2002.
- [4] CT. Kao, JU . Guo, TH . Huang, " Comparison of friction force between corroded and noncorroded titanium nitride plating of metal brackets", *Am J Orthod Dentofacial Orthop* , vol.139,pp.594-600, 2011.
- [5] S. Y. Huang, J. J. Huang, T. Kang, D. F. Diao, Y. Z. Duan , "Coating NiTi archwires with diamond-like carbon films: reducing fluoride-induced corrosion and improving frictional properties", *J.Mater.sci.,Mater.med.*, vol. 24, pp. 2287-2292 , 2013.
- [6] T. Muguruma, M. Iijima, WA. Brantley, I Mizoguchi," Effects of a diamond-like carbon coating on the frictional properties of orthodontic wires" *The Angle Orthodontist*, vol. 81(1), pp.141-148 , January 2011
- [7] S. Akaike , T.Hayakawa, D.Kobayashi ,Y.Aono , A.Hirata, M. Hiratsuka, Y.Nakamura, "Reduction in static friction by deposition of a homogeneous diamond-like carbon (DLC) coating on orthodontic brackets" , *Dent Mater J.* , vol.34(6), pp.888-895, December 2015.
- [8] T. Muguruma, M. Iijima, WA. Brantley, S. Nakagaki, K.Endo, I.Mizoguchi, "Frictional and mechanical properties of diamond-like carbon coated orthodontic brackets", *Eur J Orthod.*, vol.35(2), pp.216-222, April 2013
- [9] CT. Kao, JU. Guo and TH. Huang, "Comparison of friction force between corroded and noncorroded titanium nitride plating of metal brackets", *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*,vol.139(5), pp. 594-600May 2011
- [10] V. Krishnan, A.Krishnan,R.Remya, KK.Ravikumar, SA Nair, SM. Shibli, HK.Varma,K.Sukumaran, KJ.Kumar, " Development and evaluation of two PVD-coated B-titanium orthodontic archwires for fluoride-induced corrosion protection", *Acta Biomaterialia*, vol 7(4), pp.1913-1927, Nov 2010
- [11] K. Danisman, S. Danisman, S. Savas, İ. Dalkiran, "Modelling of the Hysteresis Effect of Target Voltage in Reactive Magnetron Sputtering Process by Using Neural Networks", *Surface and Coatings Technology*, vol.204, pp.604-614, December 2009
- [12] S.Savaş, Ş.Danışman, "Multipass Sliding Wear Behavior of TiAlN Coatings Using a Spherical Indenter: Effect of Coating Parameters and Duplex Treatment", *Tribology Transactions* , vol.57, pp.242-255 , March 2014
- [13] Angolkar, P.V., Kapila, S., Duncanson, M.G., Nanda,R.S., Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys, *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 98(6), 499-506, 1990.
- [14] Redlich, M., Katz, A., Rapoport, L., Wagner, H.D., Feldman, Y., Tene, R., Improved Orthodontic Stainless Steel Wires Coated with Inorganic Fullerene-Like Nanoparticles of WS2 Impregnated in Electroless Nickel-Phosphorous Film,Dental Materials, Article in Press, 24, 1640-1646, 2008.
- [15] Kobayashi, S., Ohgoe, Y., Ozeki, K., Sato, K., Sumiya, T., Hirakuri, K.K., H. Aoki, H., Diamond-Like Carbon Coatings On Orthodontic Archwires, *Diamond & Related Materials*, 14, 1094– 1097, 2005.
- [16] Ohgoe, Y., Kobayashi, S., Ozeki, K., Aoki, H., Nakamori, H., Hirakuri, K.K., Miyashita, O., Reduction Effect of Nickel Ion Release on a Diamond-Like Carbon Film Coated onto an Orthodontic Archwire, *Thin Solid Films* , 497, 218–222, 2006.
- [17] T. Kang, SY.Huang, JJ.Huang, QH. Li,DF.Diao, YZ. Duan, "□The Effects of Diamond-Like Carbon Films on Fretting Wear Behavior of Orthodontic Archwire-Bracket Contacts", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15, pp.4641–4647, 2015
- [18] V.Krishnan, K.K. Ravikumar, K. Sukumaran, KJ. Kumar," In vitro evaluation of physical vapor deposition coated beta titanium orthodontic archwires", *Angle Orthodontist*, vol.82(1), pp.22-29, 2012.
- [19] Arıcı, S., Gencer, Y., Tarakçı M., Reduction of Friction between Orthodontic Brackets and Arkwires: An In Vitro Study, TÜBİTAK, Project no No:105S055, Samsun , 2006.