



**T.C.
YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**5 FARKLI ORTODONTİK BRAKET TİPİNİN
PASLANMAZ ÇELİK VE BETA TİTANYUM ARK
TELİ MATERYALLERİYLE ORTAYA
ÇIKARDIKLARI SÜRTÜNME KUVVETLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Dt. BERNA YÜZBAŞ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Tülin Arun**

İSTANBUL – 2007

TEŞEKKÜR

Ortodonti eğitimim sırasında sunmuş olduğu olanaklar ve desteği için Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı Sayın **Prof. Dr. Türker Sandallı**'ya,

Ortodonti eğitimim boyunca bana büyük emeği geçen ve her konuda destek ve yardımcı olan, değerli hocam ve tez danışmanım Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı Sayın **Prof. Dr. Tülin Arun**'a,

Tezimin hazırlanmasındaki içten yardımları ve doktora eğitimime yapmış olduğu katkılarından dolayı Sayın **Doç. Dr. Korkmaz Sayınsu**'ya,

Tezimin konusunun hazırlanmasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen ve doktora eğitimim sırasında eğitimime yaptığı katkılardan dolayı Sayın **Doç. Dr. Fulya Işık Özdemir**'e,

Doktora eğitimim sırasında bana destek ve yardımcı olan **Yrd. Doç. Dr. Didem Nalbantgil Özdemir**'e, **Yrd. Doç. Dr. Göksu Trakyalı**'ya, **Yrd. Doç. Dr. Derya Germeç Çakan**'a ve **Uzm Dr. Oğuz Öztoprak**'a,

4 yıllık doktora öğrenciliğim boyunca hep yanımda olup, yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım **Dt. Gülçin Acun**, **Dt Çiğdem Tabakoğlu**, **Dt İdil Bozkuş**, **Dt Sinan Atıcı**, **Dt Resai Aydın**, **Dt Ufuk Demir** ve diğer çalışma arkadaşlarıma,

Tüm yaşamım boyunca bana hep destek olan ve yol gösteren değerli annem **Fusun Altan** ve babam **Erdal Altan**'a,

Her zaman yanımda olan sevgili eşim **Hamit Yüzbaş** ve birtanecik kızım **Cemre Yüzbaş**'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, farklı materyallerden üretilmiş olan beş farklı ortodontik braket tipinin paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanıldıklarında ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetlerinin in vitro ortamda incelenmesidir.

Araştırmada 0.022x0.029 inç oluk çapında ve standart Roth değerlerine sahip olan dört tip estetik braket (Transcend 6000 Series™, Clarity™, Inspire Ice™ ve Brilliant™) ve bir metal braket (Victory Series™), 0.019x0.025 inç boyutlarında olan paslanmaz çelik ve beta titanyum ark teli materyalleriyle test edilmiştir. Braket ve ark telleri arasında açığa çıkan sürtünme kuvvetleri laboratuvar ortamında, Z250 model no'lu Zwick Universal test cihazı ile ölçülmüştür. Ayrıca braket ve ark teli arasında oluşan ikinci düzen angulasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkilerinin incelenmesi için braketler ve ark telleri aralarında 0°'lik (pasif konfigürasyon) ve 5°'lik (aktif konfigürasyon) açılanmalar olduğu durumlar için test edilmişlerdir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aktif ve pasif konfigürasyonlarda, hem paslanmaz çelik hem de beta titanyum telle birlikte kullanıldığında en yüksek sürtünme kuvvetlerini Transcend braketin açığa çıkardığını göstermektedir. Transcend braket benzer sürtünme özellikleri gösteren Victory ve Clarity braketlerden daha yüksek sürtünme kuvvetlerine neden olurken, Inspire Ice braketler ile arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır. Brilliant braket ise genel olarak Victory ve Clarity braketlerle benzer sürtünme özellikleri göstermiştir ve bu braket için elde edilen değerler Transcend ve Inspire Ice braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Bu araştırma sonucunda, hem pasif hem de aktif konfigürasyonlarda Brilliant braketler hariç tüm braket materyalleri için beta titanyum ark teli materyalinin paslanmaz çelik tele göre daha yüksek sürtünme kuvvetine neden olduğu tespit edilmiştir. Brilliant braketle birlikte kullanıldığında, paslanmaz çelik ve beta titanyum ark telleri benzer sürtünme özellikleri göstermişlerdir.

Tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında braket ve ark teli arasında ikinci düzen angulasyonun oluşturulmasıyla birlikte statik sürtünme kuvvetlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış olduğu ortaya koyulmuştur.

Anahtar sözcükler: Sürtünme kuvveti, braket, ark teli, angulasyon

SUMMARY

IN-VITRO EVALUATION OF FRICTIONAL FORCES RELEASED BY FIVE DIFFERENT BRACKET MATERIALS WHEN USED IN COMBINATION WITH STAINLESS STEEL AND BETA-TITANIUM ARCHWIRES

The aim of this in vitro study was to evaluate the frictional forces produced by five different orthodontic brackets when used in combination with stainless steel and beta titanium archwires.

In this study, four types of esthetic (Transcend 6000 Series™, Clarity™, Inspire Ice™ and Brilliant™) and one metal bracket (Victory Series™) with Standard Roth prescription and 0.022x0.029 inch slot size were used. The brackets were used in combination with stainless steel and beta titanium archwires of 0.019x0.025 inch dimensions. Frictional forces released were measured in vitro by a Zwick Universal testing machine (model no Z250). To evaluate the effect of second order angulation on friction, the brackets and archwires were tested for passive (0°) and active (5°) configurations.

According to the data obtained, when used in combination with stainless steel and beta titanium archwires in active and passive configurations, the Transcend bracket revealed the highest frictional forces. The frictional forces measured for the Transcend bracket were significantly higher than the Victory and Clarity brackets which revealed similar frictional forces. Transcend and Inspire Ice brackets resulted in statistically similar frictional values. The Brilliant bracket, in general, showed similar frictional behaviour to both the Victory and the Clarity brackets and the values obtained for this bracket were statistically lower than the values revealed by the Transcend and Inspire Ice brackets.

Beta titanium archwire showed higher frictional forces than the stainless steel archwire in all bracket combinations except for the Brilliant bracket. The findings with the Brilliant bracket revealed that beta titanium and stainless steel archwires have similar frictional characteristics.

For all the bracket archwire combinations, the frictional force values increased as the second order angulation between the bracket and archwire increased.

Key words: Frictional force, bracket, archwire, angulation

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	I
ÖZET	II
SUMMARY	IV
İÇİNDEKİLER	VI
KISALTMALAR VE SİMGELER	VIII
RESİM LİSTESİ	IX
TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ	X
GİRİŞ VE AMAÇ	1
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Sürtünme	3
2.1.1. Statik Sürtünme	3
2.1.2. Kinetik Sürtünme	3
2.2. Klinik açıdan Sürtünmenin Ortodontideki Önemi	4
2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler	5
2.3.1. Brakete Bağlı Faktörler	5
2.3.1.1. Ortodontik Tedavide Kullanılan Braket Materyallerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	5
2.3.1.2. Braket Oluğu Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	17
2.3.1.3. Braket Üretim Tekniğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	18
2.3.1.4. Braket Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	19
2.3.1.5. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci Düzen ve Üçüncü Düzen Angulasyonların Sürtünme Üzerine Etkileri	20
2.3.1.6. Braketin Yüzey Pürüzlülüğünün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	22
2.3.2. Ark Teline Bağlı Faktörler	24

2.3.2.1. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	24
2.3.2.2. Ark Teli Çapı ve Kesitinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	31
2.3.2.3. Ark Telinin Yüzey Pürüzlülüğünün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	32
2.3.2.4. Ark Teli Katılığının Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	35
2.3.3. Ark Telinin Brakete Ligasyonunun Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	36
2.3.3.1. Ligasyon Materyalinin ve Farklı Ligasyon Tekniklerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	37
2.3.3.2. Kendinden Bağlamalı Braketlerin Kullanılması	39
2.3.4. Intraoral Değişkenlerin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	41
2.3.4.1. Tükürüğün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	41
2.3.4.2. Oral Fonksiyonların Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	42
2.3.5. Ortodontik Aygıt Seçiminin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	43
2.3.5.1. Retraksiyon İçin Uygulanan Kuvvetin Şiddetinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	43
2.3.5.2. Kuvvet Uygulama Yerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	43
GEREÇ VE YÖNTEM	44
3.1. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Gereç	44
3.1.1. Braketler	44
3.1.2. Ark Telleri	44
3.1.3. Ligatür Materyali	44
3.1.4. Sürtünme Testi	45
3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem	48
3.3. İstatistiksel Değerlendirme	49
BULGULAR	52
TARTIŞMA	59
SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	82

KISALTMALAR ve SİMGELER

1. cm Santimetre
2. cN : Santinewton
3. dk : Dakika
4. ° : Derece
5. < : 'den küçüktür
6. > : 'den büyüktür
7. EDX : Energy dispersive X-ray analysis
8. F : Kuvvet
9. grt : Grit
10. gr : Gram
11. $\bar{\text{kg}}$: Kilogram
12. mm : Milimetre
13. μm : Mikrometre
14. N : Newton
15. NK : Normal kuvvet
16. SEM : Scanning elektron mikroskopisi
17. Θ_c : Kritik temas açısı
18. TMA : Titanyum molibdenyum alaşımı
19. % : Yüzde

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1: Çalışmada kullanılan braketler

Resim 3.2: Çalışmada kullanılan ark telleri

Resim 3.3: Deney Düzeneği; Zwick\ Roell test cihazı ve braketin yerleştirildiği metal çerçeve

Resim 3.4: Braket yapıştıma aparatı

Resim 3.5: Straight Shooter ligatür tabancası

TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ

Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan braket, ark teli ve ligatür materyalleri

Tablo 4.1. Farklı braket materyallerinin aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinin araştırıldığı Kruskal Wallis testi sonuçları.

Tablo 4.2. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik telle kullanıldıklarında gruplar arasında görölen farklılığın hangi braket materyalinden kaynaklandığını saptamak üzere yapılan Dunn's çoklu karşılaştırma testi

Tablo 4.3. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda beta titanyum telle kullanıldıklarında gruplar arasında görölen farklılığın hangi braket materyalinden kaynaklandığını saptamak üzere yapılan Dunn's çoklu karşılaştırma testi

Tablo 4.4. Paslanmaz çelik ve beta titanyum ark teli materyallerinin farklı braket materyalleri ile kullanımları sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Man-Whitney-U-testinin sonuçları

Tablo 4.5. Braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angulasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkisinin değerlendirildiği Man-Whitney-U-testinin sonuçları

Şekil 4.1. Braket materyallerinin paslanmaz çelik tel ile oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması

Şekil 4.2. Braket materyallerinin beta titanyum tel ile oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması

Şekil 4.3. Ark teli materyallerinin oluşturduğu sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Ortodontik tedavi sırasında, uygulanan mekaniklere bağılı olarak, dişlerin amaçlanan hareketlerinin yanı sıra çeşitli yan etkilerle karşılaşmaktadır. Ortodontistler, yaptıkları tedaviler boyunca bu yan etkilerle mücadele etmek zorundadırlar. Bu etkilerin başta gelenlerinden biri "sürtünme" problemidir.

Ortodontide sürtünmeye en çok, seviyeleme safhasında ve ark telinin posterior dişlerin tüpleri ya da braket oluşu içinde kaydırıldığı sliding mekanikler sırasında rastlanmaktadır (1,2,3,4). Sliding mekanik sırasında, braket ark teli boyunca kayarken, ark teli ve braket arasında sürtünme kuvveti açığa çıkmaktadır. Braket ile ark teli ara yüzünde açığa çıkan sürtünme kuvveti arttıkça dişe uygulanan toplam kuvvet miktarında düşüş meydana gelir. Bunun sonucunda, dişin istenen yöndeki hareketi gerçekleşmemekte ve sabit mekaniklerin etkinliği azalmaktadır (5,6). Sabit aygıtlar tarafından uygulanan kuvvetteki bu kayıp, daha fazla kuvvet uygulamayı gerektirebilir. Diş hareketi sağlamak için optimal ortodontik kuvvetlerin aşılması sonucunda ise destek dişlerde ankraj kaybı meydana gelir (7). Bu yüzden, diş hareketinin başlatılmasında ve devamında, çevre dokulara patolojik olmayan ve ankraji zorlamayan çok daha düşük kuvvetlerin uygulanması gerekir (1,8). Yine aynı şekilde, hafif ve devamlı kuvvetler, hasta konforunu sağlamakta ve doku hasarı riskini azaltmaktadırlar (9).

Diş hareketleri sırasında karşılaşılan sürtünme, statik sürtünme ve kinetik (dinamik) sürtünme olarak ikiye ayrılır (10). Statik sürtünme cismin harekete başlaması için gerekli olan kuvvet miktarıdır (11). Kinetik (dinamik) sürtünme ise, cismin sabit bir hızla hareketini sürdürebilmesi için aşılması gereken sürtünme kuvveti miktarıdır (10,11).

Dişlerin ark teli üzerindeki hareketi devamlı bir hareket değildir. Diş hareketi devrilme ve dikleşme hareketlerinden oluşan küçük adımlar şeklinde gerçekleşir. Bu nedenle ortodontik diş hareketi sırasında statik sürtünme

kuvveti, kinetik sürtünme kuvvetinden daha fazla önem kazanmaktadır (4,10,12).

Ortodontik tedavi sırasında ağız içinde ortaya çıkan sürtünme direncine birçok etken neden olmaktadır. Yapılan birçok araştırmada braket ve ark teli özellikleri, ligasyon materyali ve tekniği, ortodontik aygıt seçimi ve biyolojik etkenler gibi faktörlerin sürtünme kuvveti üzerinde doğrudan etkili oldukları tespit edilmiştir. Eğer bu etkiler daha iyi anlaşılır ve en aza indirilebilirse ortodontik apareylerin etkinliğinin ve diş hareketinin öngörülebilirliğinin artacağı bir gerçektir.

Özellikle farklı braket ve ark teli materyallerinin braket ve ark teli ara yüzünde ortaya çıkan sürtünme direnci üzerindeki etkileri ortodonti literatüründe uzun yıllardan beri araştırma konusu olmuştur. Paslanmaz çelik dayanıklı, hijyenik ve ucuz olması nedeniyle ortodonti pratiğinde en sık kullanılan braket materyalidir. Sabit ortodontik tedavilerde kullanılan metal braketlerin ağız ortamında estetik olmayan bir görüntü yansıtmaları gerekçesiyle araştırmacılar braket üretiminde kullanılabilecek daha estetik materyallerin arayışına girmişlerdir (13) ve ortodonti hastalarının estetik beklentilerini karşılamak amacıyla plastik ve seramik braketlerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Ancak bu braketlerin kullanımı sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin çok fazla olması nedeniyle bu braketlerin çeşitli işlemlerle güçlendirilmeleri hedeflenmiştir (11,13,14).

Bu araştırmanın amacı farklı braket ve ark teli materyali kombinasyonlarının ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetlerinin in vitro olarak karşılaştırılmasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sürtünme

Temas halindeki iki cismin birbirleri üzerinde harekete zorlanması sırasında, temas yüzeyine teğet ve bu zorlanmaya zıt yönlü olarak ortaya çıkan direnç kuvvetine sürtünme kuvveti adı verilir (11). Sürtünme kuvveti temas eden yüzeylerin pürüzlülük derecesine ve cisimlerin birbirine doğru bastırılma kuvvetlerine bağlıdır ve $F=\mu(NK)$ şeklinde formüle edilir. Formüldeki F sürtünme kuvvetini, μ sürtünme katsayısını, NK ise temas eden yüzeyler arasında oluşan ve hareket yönüne dik olarak etki eden bastırılma kuvvetini (normal kuvvet) ifade eder (15,16). Sürtünme katsayısı cismin pürüzlülük, tekstür ve sertlik gibi yüzeysel özellikleri ile ilişkilidir (17). Birbirine temas eden yüzeylerin alanından ve cisimlerin hareket hızından bağımsızdır (2,18).

Ortodontik tedavide sürtünme kuvveti kayma mekaniklerinin kullanılması sırasında ortaya çıkar. Seviyeleme, dişlerin çekim boşluklarına hareket ettirilmesi, anterior segmentin retraksiyonu gibi ark telinin braket olukları içinde kaymasını gerektiren ortodontik hareketler sırasında sürtünme kuvvetleri oluşur. Diş hareketi sırasında statik ve kinetik sürtünme kuvvetlerinin varlığı söz konusudur.

2.1.1. Statik Sürtünme

Statik sürtünme, cismin harekete başlaması için gerekli olan kuvvet miktarıdır (11). Diş hareketinin başlayabilmesi için braket ve ark teli arasında oluşan statik sürtünme direncinin aşılması gerekmektedir (7,12).

2.1.2. Kinetik Sürtünme

Kinetik (dinamik) sürtünme, cismin hareketi sırasında varolan sürtünmedir. Cismin sabit bir hızla hareketini sürdürebilmesi için yenilmesi gereken sürtünme kuvveti miktarıdır (10,11).

Diş hareketi başladıktan sonra bu hareketin devamlılığını sağlayabilmek için kinetik sürtünme direncinin aşılması gerekmektedir (12). Kinetik sürtünme kuvveti miktarı her zaman statik sürtünme kuvvetinden biraz daha düşüktür (18, 19).

Dişlerin ark teli üzerindeki hareketi devamlı bir hareket değildir. Diş hareketi devrilme ve dikleşme hareketlerinden oluşan küçük adımlar şeklinde gerçekleşir. Bu nedenle, ortodontik diş hareketi sırasında statik sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetinden daha fazla önem kazanmaktadır (4,10,12).

2.2. Klinik Açından Sürtünmenin Ortodontideki Önemi

Günümüz ortodonti pratiğinde kullanılan sabit ortodontik tedavi tekniklerinden birçoğunda, braketter bağlı oldukları dişler ile beraber ark teli üzerinde kayarak hareket etmektedirler. Bu hareket sırasında, braket ile ark teli ara yüzünde istenen diş hareketine paralel ancak ters yönde gerçekleşen bir sürtünme direnci ortaya çıkmaktadır (20,21). Bu sürtünme direncinin, ortodontik tedavinin süresi ve sonuçları üzerinde doğrudan etkili olması söz konusudur (22).

Optimum braket ve ark teli kombinasyonlarında, diş hareketinin başlayabilmesi için yaklaşık olarak 40 gr'lık bir sürtünme kuvvetinin uygulanan aktivasyon kuvvetine dahil edilmesi gerekmektedir (21). Kusy ve Whitley (6) ortodontik diş hareketi sırasında dişe uygulanan kuvvetin %40 ile %88 arasında bir kısmının dişe iletilebildiğini ve kalan yüzdenin sürtünme ile kaybolduğunu bildirmişlerdir. Optimum ortodontik kuvvet, minimum doku hasarıyla birlikte maksimum biyolojik cevap oluşturarak hızlı diş hareketine yol açan en hafif kuvvet olarak tanımlanmaktadır (23). Yüksek düzeylerde sürtünme direncinin varlığında dişlere uygulanan optimum kuvvetler diş hareketinin oluşması için yeterli olmaz. Diş hareketini başlatabilmek amacıyla kuvvet miktarının artırıldığı durumda ise destek alınan dişlerin ankraji tehlikeye girmektedir (21,24). Bu durum, özellikle kanin dişlerin retrakte edildiği ve posterior dişlerin ankrajının kritik olduğu şiddetli overjet izlenen vakalarda önem kazanmaktadır.

Ortodontik tedavi sırasında ağız içinde ortaya çıkan sürtünme direncine birçok etken neden olmaktadır. Bu etkenlerin tanımlanması ve ortodontik uygulamalar sırasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler

2.3.1 Brakete Bağlı Faktörler

2.3.1.1. Ortodontik Tedavide Kullanılan Braket Materyallerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Sabit ortodontik apareylerde kuvveti dişe ileten en önemli eleman braketlerdir. Üretildikleri materyalin cinsine göre braketler şu şekilde sınıflandırılır.

1. Paslanmaz Çelik Braketler

Paslanmaz çelik dayanıklı, hijyenik ve ucuz bir alaşım olması nedeniyle uzun yıllardır ortodonti pratiğinde en sık kullanılan braket materyalidir. Günümüzde kullanılan braketlerin büyük çoğunluğu 18-8 olarak adlandırılan ve içinde %18 krom ve % 8 nikel bulunan ostenit paslanmaz çelikten imal edilirler (11).

Paslanmaz çelik braketler 4 farklı teknikte üretilirler. Bunlar frezeleme tekniği, döküm tekniği, sinterleme tekniği ve metal enjeksiyon kalıplama tekniğidir.

a. Frezeleme Tekniği

Bu teknikte braket, üzerine önceden oluk ve kanat profilleri çekilmiş uzun çubuklardan kesilmek suretiyle üretilir. Kesilen ham gövdeye daha sonra taban lehimlenir. Braket gövdesinin çubuktan elmas disklerle kesilmesi sırasında braket oluşu hizasında ortaya çıkan küçük çapaklar parlatma sırasında oluşun içine doğru kıvrılarak keskin kenarlar oluşmasına neden olurlar (11).

b. Döküm Tekniği

Döküm braketlerin üretiminde en önemli aşama kalıpların hazırlanmasıdır. Sıvı metal, çok hassas olarak hazırlanan braket kalıpları içine enjekte edilir. Bu teknikle üretilen braketlerde de oluk kenarlarında pürüzsüz bir bitiş bulmak zordur (11,25).

c. Sinterleme Tekniği

Bu teknikte, ince metal tozları yüksek sıcaklık altında hassas kalıplara sıkıştırılır. Elde edilen parçalar vakumlu fırınlarda çok yüksek sıcaklıkta şekillendirilir. Modern braketlerin üretiminde kullanılan bu tekniğin avantajı braket olukları ve kanatlar gibi önemli bölümlerin son derece hassas ve pürüzsüz olarak elde edilebilmesine olanak vermesidir (11,25).

d. Metal Enjeksiyon Kalıplama Tekniği

Bu teknikte, erimiş metal yüksek basınç altında kalıplara enjekte edilir. Son yıllarda üretilen kaliteli braketlerin üretimleri çoğunlukla bu teknikle gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde paslanmaz çelik braket en yaygın olarak kullanılan braket tipidir. Bununla birlikte paslanmaz çelik braketlerin iki önemli dezavantajı vardır. Bunlar; estetik olmaması ve ağızda nikel ve krom serbestlemesidir. Nikelin potansiyel alerjenik bir materyal olduğu bilinmektedir. Bu nedenle nikel hassasiyeti gösteren bireylerde titanyum, altın kaplama ya da metal olmayan braket türlerinden biri tercih edilmelidir (13).

1. Titanyum Braketler

Paslanmaz çelik braketlere alternatif olarak kullanılabilecek diğer bir metal braket türüdür. Paslanmaz çelik braketler kadar sağlam ve dayanıklıdırlar, ancak çelik alaşımlar kadar bükülmeye karşı dirençli olmamaları nedeniyle saf titanyum braketlerin daha geniş üretilmeleri gerekmektedir (26). Titanyum biyoyumluluğu kanıtlanmış ve korozyona karşı son derece dirençli bir

materyaldir (13,26,27). Titanyum braketlerin üretildiği alaşımın içinde nikel bulunmamaktadır. Ağız içi ortamda paslanmaz çelik braketlerde tükürüğün etkisi altında alaşımdan nikel çözünmesi söz konusudur. Bu nedenle özellikle nikel hassasiyeti izlenen bireylerde titanyum braketler güvenle kullanılabilir (28).

2. Değerli Metal Alaşımlarından Üretilen Braketler

1950'li yıllara gelinmeden önce, ortodontik tedavilerde kullanılan ataşmanların üretiminde altın, platin, iridyum ve gümüş içeren kıymetli metal alaşımları kullanılıyordu (13). Ancak bu alaşımların karmaşık üretim işlemleri için elverişsiz olmaları ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle günümüz ortodonti pratiğinde kullanımları büyük oranda terk edilmiştir (13,26).

3. Plastik Braketler

Sabit ortodontik tedavilerde kullanılan metal braketlerin ağız ortamında estetik olmayan bir görüntü yansıtmaları gerekçesiyle araştırmacılar braket üretiminde kullanılabilecek daha estetik materyallerin arayışına girmişlerdir (13).

Plastik braketler ilk kez 1970'li yılların başlarında ortodonti pratiğinde kullanılmak üzere üretilmişlerdir. İlk zamanlarda akrilik materyalden üretilen bu braketlerin sonraları aromatik bir polimer olan polikarbonattan üretimleri gerçekleştirilmiştir (14,29). Ancak estetik bir alternatif olarak ortodontistler tarafından pek fazla tercih edilmemişlerdir, çünkü bu braketlerin klinikte kullanımları sırasında bir takım sorunlarla karşılaşmıştır. Başlangıçta şeffaf olan plastik braketlerin zamanla ağızdaki sıvıları emerek renkleşmesi ve ağız ortamında kokuya neden olması söz konusudur. Ayrıca bu braketlerin dayanıklılık, bükülmeye karşı direnç ve boyutsal stabilite gibi özellikleri son derece zayıftır. Bu nedenle özellikle tork kuvvetleri altında kolayca plastik deformasyona uğrayarak tork kuvvetlerini dişlere iletmekte yetersiz kalırlar. Bu braketlerin kullanımında karşılaşılan bir diğer sorun ise plastik braketlerle ark telleri arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin çok fazla olmasıdır (11, 13,14).

Plastik braketlerin kullanımında karşılaşılan deformasyonları ve sürtünme kuvvetlerini azaltmak amacıyla bu braketlerin çeşitli işlemlerle güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Güçlendirilmiş plastik braketlerin popüler olması, 1990'lı yıllarda seramik braketlerin mine dokusu üzerinde hasara neden olduğunun fark edilmesi ile gerçekleşmiştir (30). Sonuç olarak, plastik matriksin polimer liflerle, camla, mineral doldurucularla (filler), seramik partikülleriyle ya da metal partiküllerle güçlendirildiği polikarbonat braketler üretilmişlerdir. Bunlardan başka braket olukları metal ya da seramikle kaplanmış plastik braketler de ortodonti pratiği için kullanıma sunulmuşlardır (26). Birer mühendislik polimeri olan poliüretan ve polioksimetilen de braketleri güçlendirmek ve sürtünme kuvvetlerini azaltmak amacıyla plastik braket yapımında kullanılmaktadırlar.

4. Seramik Braketler

Seramik, estetik, hijyenik ve doku dostu olması nedeniyle braket üretimi için uygun bir materyaldir (11). 1980'li yılların sonlarına doğru ortodonti pratiği için kullanıma sunulan seramik braketler son derece dayanıklı ve renkleşmeye karşı dirençli olmaları nedeniyle kısa süre içinde plastik braketlerin yerini aldılar (13,14). Piyasada seramik braketler polikristalin alümina, monokristalin alümina ve polikristalin zirkonya olmak üzere üç farklı yapıda bulunurlar (6,13). Monokristalin alümina braketler tek bir alüminyum oksit kristalinden oluşurlar. Bu yapıdaki braketler tekli safir kristal braketler olarak da adlandırılırlar (31). Polikristalin seramik braketler sinterlenmiş alüminyum oksit partiküllerinden oluşurlar (31,32). Monokristalin alümina braketler, polikristalin alümina braketlerden daha sert yapıdadırlar ve daha yüksek gerilme direnci gösterirler (33). Monokristalin braketler ayrıca daha pürüzsüz bir yüzey topografisine ve daha şeffaf bir görünüme sahiptirler (14,31,34).

Polikristalin zirkonya materyali tüm seramikler içinde en sert yapıda olanıdır (14). Zirkonya braketlerin yapılan SEM incelemelerinde alümina braketlere göre daha pürüzsüz bir yüzey yapısına sahip oldukları bildirilmiştir (35), ancak opak olmaları nedeniyle estetik olmayan bir görüntü sergilemeleri söz konusudur (14).

Klinik uygulamalarda seramik braketlerin kullanılması sırasında bazı sorunlarla karşılaşmıştır.

- Seramik braketler metal braketlerden daha kırılığandır (36). Ark teli uygulanması ya da çiğneme fonksiyonları sırasında özellikle braket kanatlarının kırılması söz konusudur. Dişlere ark teli aracılığıyla tork kuvvetlerinin iletilmesi sırasında da seramik braketlerde kırılmalar meydana gelebilir (33, 37).
- Seramik braketlerin oluk duvarları ile ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin metal braketlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (5,19,21,33,38-43). Bu durum, özellikle diş hareketinin gecikmesine ya da ankraj alınan bölgelerde istenmeyen diş hareketlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Braket oluşu ile ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini azaltabilmek amacıyla üretici firmalar seramik yapıdaki braketlerin oluklarını paslanmaz çelik alaşımla güçlendirip metal oluklu seramik braketler üretmişlerdir.
- Seramik braketler paslanmaz çelik braketlerden 8 kat daha serttir. Bu nedenle brakete temas eden dişlerin mine yüzeylerinde atrisyon meydana geldiği tespit edilmiştir (31,33).
- Seramik braketlerin mine yüzeyine hem kimyasal hem de mekanik olarak son derece güçlü bir şekilde yapışması nedeniyle seramik braketlerin sökülmeleri sırasında mine dokusunda hasar oluşabildiği bildirilmiştir (33).

Ortodontik tedavide kullanılan çeşitli braket materyallerinin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan birçok araştırma sonucunda ortaya koyulmuştur(5,10,15,19,21,25,34,35,36,38-51).

Kusy ve ark.'nın (38) 1991 yılında yaptıkları bir çalışmada 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik ve polikristalin alümina braketlerin, paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum ark telleriyle birlikte kullanıldıklarında ortaya çıkardıkları statik ve kinetik sürtünme

kuvvetleri ölçülmüştür. Araştırma kuru ve tükürüklü ortamlarda gerçekleştirilmiştir. 0.018 inç oluk çaplı braketler 0.018x0.025 inç boyutlu tellerle, 0.022 inç oluk çaplı braketler 0.021x0.025 inç boyutlu tellerle birlikte kullanılmıştır. Teller braket olukları içine 0.010 inç kalınlığında olan paslanmaz çelik tel ligatür ile sabitlenmiştir. Araştırma sonucunda, tükürüklü ve kuru ortamlarda paslanmaz çelik braketlerin polikristalin alümina braketlere göre daha düşük statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

Ireland ve ark.'nın (44) 1991 yılında yaptıkları çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik ve polikristalin alümina braketler, 0.017x0.025 inç ve 0.019 x 0.025 inç boyutlarında olan paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerle birlikte kullanılarak bu braket materyallerinin oluşturdukları sürtünme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Araştırma sırasında, tel parçaları birinci yöntemde tek braket içinden çekilmiştir. İkinci yöntemde ise 2 braket ve 1 adet paslanmaz çelik tüpten oluşan bukal segment modeli oluşturularak tel parçaların bu model içinden çekilmesi gerçekleştirilmiştir. Teller braket olukları içine elastomerik ligatürle bağlanmıştır. Araştırma sonucunda, tellerin tek braket içinden çekildiği testlerde polikristalin alümina braketlerin paslanmaz çelik braketlere göre daha düşük sürtünme direnci oluşturduğu, bukal segment modeli içinden 0.017x0.025 inç boyutundaki tellerin çekildiği testlerde ise seramik braket içeren modelin paslanmaz çelik braket içeren modele göre daha fazla sürtünme direnci açığa çıkardığı bildirilmiştir. 0.019x0.025 inç boyutunda teller kullanıldığında iki seramik braket ile bir çelik tüp içeren ve iki paslanmaz çelik braket ile bir çelik tüp içeren bukal segment modelleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir.

Omana ve ark. (10) tarafından 1992 yılında yapılmış olan çalışmada bir çeşit monokristalin alumina, farklı firmalar tarafından üretilmiş olan beş çeşit polikristalin alumina braket ve bir çeşit paslanmaz çelik braket paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerle kombine edilerek sürtünme özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Ark telleri 0.018x0.025 inç boyutunda, braket olukları ise 0.022 inç oluk çapında seçilmiştir. Araştırma sonucunda oluk tabanı

yuvarlatılmış olan polikristalin alumina braket haricinde tüm polikristalin alumina braketlerin monokristalin braketle benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri ortaya koyulmuştur. Paslanmaz çelik braket ise araştırmada kullanılan seramik braketlerden daha düşük sürtünme kuvveti ortaya çıkarmıştır.

Saunders ve Kusy (34) 1994 yılında yaptıkları bir çalışmada monokristalin alümina ve polikristalin alümina braketlerin sürtünme özelliklerini kuru ve tükürüklü ortamlarda karşılaştırmışlardır. 0.022 inç oluk çapına sahip olan braketler, 0.021x0.025 inç boyutundaki paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılmıştır. Ark teli braket oluşu içine 0.010 inç boyutundaki paslanmaz çelik ligatür ile bağlanmıştır ve oluk içine 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 kg'lık sabit kuvvetlerle itilerek test çekişleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda monokristalin alümina ve polikristalin alümina braketlerin benzer sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

Tselepis ve ark. (39) 1994 yılında yaptıkları bir çalışmada, kuru ve tükürüklü ortamlarda 0.018 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik, polikarbonat, polikristalin alümina ve monokristalin alümina braketlerin sürtünme özelliklerini karşılaştırılmışlardır. Braketler 0.016x0.022 inç boyutundaki paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılarak test çekişleri gerçekleştirilmiştir. Testler, braket ve ark teli arasında 0° ve 10°'lik angülasyonlar olduğu durumlar için gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, polikarbonat braketin en yüksek sürtünme kuvvetini ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. En düşük sürtünme kuvveti paslanmaz çelik braketin kullanıldığı kombinasyonlarda ortaya çıkmıştır.

Keith ve ark. (35) tarafından 1994 yılında yapılmış olan bir çalışmada, polikristalin alümina ve iki ayrı firma tarafından üretilen polikristalin zirkonya braketler kuru ve tükürüklü ortamlarda, 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum, 0.017x0.025 ve 0.022x0.025 inç boyutlarında olan beta titanyum tellerle birlikte kullanılarak bu braketlerin oluşturdukları statik ve kinetik sürtünme değerleri karşılaştırılmıştır. Ark telleri braket oluşu içine 0.010 inç boyutundaki paslanmaz çelik ligatür teli ile

bağlanmıştır. Araştırma sonucunda zirkonya braketlerin polikristalin alümina braketlere göre daha yüksek ya da benzer miktarda sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Downing ve ark. (51) tarafından 1994 yılında yapılmış olan bir çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik ve polikristalin alümina braketler 0.018 inç ve 0.019x0.025 inç boyutlarındaki paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum ark telleriyle birlikte kullanıldıklarında ortaya çıkan sürtünme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda paslanmaz çelik ve seramik braketlerin sürtünme özellikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ve bu bulgudan yola çıkılarak braketin üretildiği materyalin sürtünme üzerinde çok az etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Dickson ve Jones'un (43) 1996 yılında yaptıkları bir çalışmada, 0.018 inç braket oluğu çapına sahip olan paslanmaz çelik, polikristalin alümina ve paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina braketler 0.016 inç boyutundaki tam yuvarlak paslanmaz çelik tel ile birlikte kullanıldıklarında ortaya çıkan sürtünme kuvvetleri araştırılmıştır. Test çekişleri sırasında braket ve ark teli arasındaki açı 0°, 5° ve 10° olacak şekilde braket angülasyonu değiştirilmiştir. 0° angülasyonda paslanmaz çelik oluklu seramik braket en düşük, konvansiyonel polikristalin alümina braket ise en yüksek sürtünme direncini ortaya çıkarmıştır. 5° angülasyonda paslanmaz çelik braket ile metal oluklu seramik braket arasında istatistiksel olarak anlamlı fark izlenmezken her iki braketin sürtünme değerleri polikristalin alümina braketlerden daha düşük bulunmuştur. 10° angülasyonda ise her iki seramik braket benzer sürtünme değerleri göstermişlerdir ve bu braketlerin ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetleri paslanmaz çelik braketlerden daha yüksek bulunmuştur. Araştırma sonucunda, 10°'lik angülasyonda metal oluklu seramik braketin sürtünme değerlerinde izlenen artıştan braket köşelerinde belirgin olarak izlenen düzensizliklerin sorumlu olduğu düşünülmüştür.

Bazakidou ve ark. (46) tarafından 1997 yılında yapılan bir çalışmada, paslanmaz çelik, polikristalin seramik, monokristalin seramik, seramikle

güçlendirilmiş kompozit, seramikle güçlendirilmiş metal oluklu kompozit ve metal braketlerin paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanıldıklarında ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetleri incelenmiştir. Araştırmada kullanılan braketler 0.018 inç ve 0.022 inç'lik oluk çaplarında seçilmiştir. 0.018 inç oluk çaplı braketler 0.016 inç ve 0.016x0.022 inç boyutlu tellerle , 0.022 inç oluk çaplı braketler ise 0.018 inç, 0.017x0.025 inç ve 0.019x0.025 inç boyutlu tellerle birlikte kullanılmıştır. Ark telleri braket olukları içine elastomerik ligatür veya 0.010 inç boyutundaki paslanmaz çelik tel ligatür ile bağlanmıştır. Araştırma sonucunda, seramikle güçlendirilmiş kompozit ve seramikle güçlendirilmiş metal oluklu kompozit braketlerin araştırmada kullanılan seramik ve paslanmaz çelik braketlere göre daha düşük sürtünme direncine neden oldukları ispatlanmıştır. 0.022 inç oluk çaplı braketler arasında sürtünme kuvvetleri sırasıyla polikristalin seramik > monokristalin seramik > paslanmaz çelik > seramikle güçlendirilmiş metal oluklu kompozit > seramikle güçlendirilmiş kompozit şeklinde izlenmiştir.

Loftus ve ark. (42) 1999 yılında yapmış oldukları çalışmada, çeşitli braketlerin sürtünme özelliklerini araştırmak amacıyla bir dentoalveoler model hazırlamışlardır. Akrilik bir soket içine yerleştirilen ivorin dişlerinin kök yüzeyleriyle akrilik materyal arasına periodontal ligamentin genişliğini ve elastik özelliklerini taklit edecek şekilde polivinilsiloksan ölçü materyali kaplanmıştır. Bu model klinik ortamdakine benzer şekilde dişlerin devrilmesine ve rotasyona uğramasına imkan sağlamıştır. Araştırmada dişlerin üzerine yapıştırılarak test edilmek üzere paslanmaz çelik, polikristalin seramik, paslanmaz çelik oluklu polikristalin seramik ve kendinden bağlamalı braketler kullanılmıştır. Kendinden bağlamalı braketler 0.022x0.030 inç, diğer braketler 0.022x0.028 inç oluk çapında seçilmiştir. Tüm braketler 0.019x0.025 inç boyutundaki dikdörtgen kesitli paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılmıştır. Araştırma sonucunda polikristalin alümina braketin diğer braket türlerinden daha yüksek sürtünme kuvveti ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Paslanmaz çelik, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina ve kendinden bağlamalı braketlerin tüm ark teli braket kombinasyonlarında benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri ortaya koyulmuştur.

Michelberger ve ark. (15) tarafından 2000 yılında yapılmış olan çalışmada, paslanmaz çelik ve titanyum braketler paslanmaz çelik ve iyon implante edilmiş beta titanyum ark telleriyle birlikte kullanılarak bu braketlerin ortaya çıkardıkları statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, titanyum ve paslanmaz çelik braketlerin 0.020 inç boyutundaki yuvarlak kesitli paslanmaz çelik tellerle birlikte kullanıldıklarında benzer sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir. Çalışmadaki diğer bir bulgu ise, paslanmaz çelik braketlerin dikdörtgen kesitli paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle birlikte kullanıldıklarında titanyum braketlere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkarmasıdır.

Kusy ve Whitley (52) tarafından 2001 yılında yapılmış olan bir çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan iki konvansiyonel paslanmaz çelik braket, paslanmaz çelik oluklu ve altın oluklu polikristalin alumina braketlerle karşılaştırılmışlardır. Braketler, 0.019x0.026 inç boyutundaki paslanmaz çelik telle test edilmişlerdir. Test çekişleri kuru ve tükürüklü ortamlarda, braket ve ark teli arasındaki açı 0° ile 12° arasında değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Araştırmada elde edilen bulgular, altın oluklu seramik braketin kuru ortamda araştırmada kullanılan diğer braketlerden daha düşük sürtünme kuvvetleri açığa çıkardığını ortaya koymuştur. Kuru ortamda paslanmaz çelik oluklu braket paslanmaz çelik braketlerle benzer sürtünme özellikleri göstermiştir. Tükürüklü ortamda ise paslanmaz çelik oluklu seramik braket araştırmada kullanılan diğer braketlerden daha yüksek sürtünme kuvvetleri açığa çıkarmıştır.

Cacciafesta ve ark.'nın (19) 2003 yılında yaptıkları bir çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik, polikristalin alümina ve paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina braketler, paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılarak bu braketlerin sürtünme özellikleri incelenmiştir. Araştırmada kullanılan ark telleri 0.016 inç, 0.017x0.025 inç ve 0.019x0.025 inç boyutlarında seçilmiştir. Ark teli braket oluşu içine elastomerik ligatürle bağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda, metal oluklu seramik braketin konvansiyonel seramik braketten daha düşük, paslanmaz çelik braketten daha yüksek sürtünme kuvvetleri oluşturduğu ortaya konulmuştur

Thorstenson ve Kusy (41) tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik, konvansiyonel polikarbonat, metal oluklu polikarbonat, seramikle güçlendirilmiş polikarbonat, seramikle güçlendirilmiş metal oluklu polikarbonat, konvansiyonel polikristalin alümina ve metal oluklu polikristalin alümina braketler, kuru ve tükürüklü ortamlarda sürtünme özellikleri açısından karşılaştırılmışlardır. Araştırmada incelenen braket çeşitleri 0.018x0.025 inç boyutundaki paslanmaz çelik tel ile birlikte kullanılmıştır ve ark teli braket oluğu içine 0.010 inç boyutundaki paslanmaz çelik ligatür teli ile bağlanmıştır. Ligatür teli ark telini oluk içine 300 cN'lik kuvvetle itecek şekilde bağlanmıştır. Test çekişleri sırasında braket ve ark teli arasında -12° ve 12° arasında değişecek şekilde 32 farklı angülasyon oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda pasif konfigürasyonda metal oluklu estetik braketlerin sürtünme değerleri konvansiyonel estetik braketlerden düşük paslanmaz çelik braketlerden ise yüksek bulunmuştur. Aktif konfigürasyonda braket ve ark teli arasında artan angülasyonla birlikte metal oluklu veya metal oluksuz estetik braketlerde paslanmaz çelik braketlere benzer ya da daha hızlı olacak şekilde sürtünme direncinde artış izlenmiştir. Aynı şartlar altında konvansiyonel polikarbonat braket, ikinci düzen angülasyonla birlikte elastik deformasyon gösterdiği için daha düşük sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkışına neden olmuştur.

Wadhwa ve ark.'nın (36) 2004 yılında yaptıkları çalışmada 0.022 inç oluk çapına sahip olan paslanmaz çelik, polikristalin alümina, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina ve oluk tabanı yuvarlatılmış olan polikristalin alümina braketler, 0.018x0.025 inç ve 0.021x0.025 inç boyutundaki paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılarak bu braketlerin sürtünme özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, metal oluklu seramik braket ve oluk tabanı yuvarlatılmış olan braketin paslanmaz çelik brakete benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri tespit edilmiştir. Polikristalin alümina test edilen braketler içinde en yüksek sürtünme kuvvetini ortaya çıkaran braket materyali olmuştur.

Nishio ve ark. (40) tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel polikristalin alümina ve paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina braketler sürtünme özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla 0.019x0.025 inç boyutunda olan paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılmışlardır. Ark teli braket oluşu içine çelik silindir çubuklar yardımıyla oturtulmuştur. Braket ve ark teli arasında 0° ve 10°'lik iki farklı angülasyon oluşturularak test çekişleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda polikristalin alümina braketin test edilen braketler içinde en yüksek sürtünme kuvvetini oluşturduğu tespit edilmiştir. Test edilen tüm angülasyon ve braket ark teli kombinasyonlarında metal oluklu seramik braketin konvansiyonel seramik braketten daha düşük sürtünme direncine neden olduğu ortaya koyulmuştur. Paslanmaz çelik braket, araştırmada kullanılan braketler içinde en az sürtünme kuvveti gösteren braket olmuştur.

Rajakulendran ve Jones. (50) tarafından 2006 yılında yapılmış olan çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan konvansiyonel polikristalin alümina, konvansiyonel paslanmaz çelik, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina ve altın oluklu polikristalin alümina braketler 0°, 5°, ve 10°'lik angülasyonlarda 0.019x0.025 inç boyutunda olan paslanmaz çelik tellerle birlikte kullanıldıklarında ortaya çıkan sürtünme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Pasif konfigürasyonda en yüksek sürtünme değerlerine konvansiyonel paslanmaz çelik braketlerde, en düşük sürtünme değerlerine ise konvansiyonel polikristalin alümina braketelerde rastlanmıştır. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik oluklu ve altın oluklu polikristalin alümina braketler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark izlenmemiştir. Ayrıca aktif konfigürasyonda konvansiyonel polikristalin alümina braketlerin en yüksek, konvansiyonel paslanmaz çelik braketlerin ise en düşük sürtünme dirençlerine neden oldukları bildirilmiştir.

Cha ve ark.'nın (49) 2007 yılında yaptıkları çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel polikristalin alümina, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina, monokristalin alumina ve oluk kısmı silika kaplı olan polikristalin alümina braketler, 0°,5°,10° ve 15°'lik

angülasyonlarda, 0.019x0.025 inç çapındaki paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kombine edilerek bu braketlerin sürtünme dirençleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, oluk kısmı silika kaplı olan polikristalin alümina braketlerin hem pasif hem de aktif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanımları sırasında araştırmada kullanılan diğer seramik braketler ve paslanmaz çelik braketlerden daha düşük sürtünme kuvvetlerine neden oldukları tespit edilmiştir. Pasif konfigürasyonda en yüksek sürtünme kuvvetlerine paslanmaz çelik tellerle birlikte kullanıldıklarında konvansiyonel polikristalin alümina braketlerde, beta titanyum tellerle kullanıldıklarında ise monokristalin alumina braketlerde rastlanmıştır.

2.3.1.2. Braket Oluğu Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Ortodontik tedavi sırasında yaygın olarak 0.018 inç veya 0.022 inç oluk çapına sahip olan braketler kullanılmaktadır. Köşeli ark tellerinin dikdörtgen kesitli braket olukları içinde kullanılması ilk kez 1920'li yılların sonlarına doğru Edward Angle tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla üretilen ilk mekanikler 0.022x0.028 inç oluk çaplı braketler ve aynı boyutlarda olan dikdörtgen kesitli altın ark tellerinden oluşuyordu. Paslanmaz çelik telin ortodonti pratiğinde kullanıma girmesiyle birlikte oluk çapının bu yeni tel materyalinin kullanımına uygun olarak optimize edilmesi gerekmiştir. Aynı boyuttaki altın tellere göre bükülmeye karşı daha fazla dirençli olan paslanmaz çelik tellerin tork kontrolü amacıyla veya tedavinin bitim safhasında 0.022 inç oluk çapındaki braketlerde kullanılmasının yarattığı olumsuzluklar nedeniyle braketlerin oluk çapı 0.018 inç'e indirilmiştir (13). Beta titanyum tellerin günümüz ortodonti pratiğine girmesiyle birlikte 0.022 inç oluk çaplı braketlerin kullanımında karşılaşılan sorunlar ortadan kalkmıştır.

Braketlerin oluk çapının ortodontik diş hareketi sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetine olan etkilerini araştıran çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

1989 yılında **Tidy (2)** tarafından yapılan bir çalışmada pasif konfigürasyonda braket oluk çapının sürtünme kuvvetleri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur.

Kusy ve ark. (38,53) da 1990 ve 1991 yıllarında yapmış oldukları iki ayrı çalışmayla pasif konfigürasyonda 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çaplı braketlerin benzer sürtünme özellikleri gösterdiklerini ortaya koymuşlardır. Braket ve ark teli arasında bağlanmanın olduğu angülasyonlarda ise braket genişliği, ark teli boyutu ve braket oluk çapı gibi faktörlerin sürtünme kuvvetleri üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Özellikle tedavinin seviyeleme safhasında oluk çapı daha geniş olan braketlerin kullanılmasının braket ve ark teli arasında bağlanma hadisesinin oluşma olasılığını azaltacağını ortaya koymuşlardır.

2.3.1.3. Braket Üretim Tekniğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Değişik üretim tekniklerine sahip olan paslanmaz çelik ve seramik braketlerin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan deneysel çalışmalarla ispat edilmiştir (10,25).

Vaughan ve ark.'nın (25) 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada, sinterleme tekniğiyle üretilmiş olan iki çeşit paslanmaz braketin sürtünme özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular **Kapila ve ark. (56)** tarafından 1990 yılında yapılan başka bir sürtünme çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sinterleme tekniğiyle üretilen braketlerin, döküm tekniğiyle üretilen braketlerden daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturduğu ortaya koyulmuştur. Aynı çalışmada, döküm ve sinterleme tekniğiyle üretilmiş braketlerin yüzey tekstürleri SEM ile incelenmiş ve sinterleme tekniğiyle üretilen braketlerin daha düzgün bir yüzey topografisine sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar iki ayrı teknikte üretilen braketlerin farklı sürtünme özellikleri göstermesini yüzey topografilerinin farklılık göstermesiyle ilişkilendirmişlerdir.

1994 yılında benzer bir çalışma yapan **Ogata ve ark. (55)**, döküm ve sinterleme tekniğiyle üretilmiş braketleri sürtünme özellikleri açısından karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, braket ve ark teli arasında ikinci düzen angülasyonun artmasıyla birlikte sinterleme tekniğiyle üretilmiş braketlerin döküm braketlere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

Omana ve ark. (10) tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada, enjeksiyon kalıplama tekniğiyle üretilen seramik braketlerin sinterleme tekniğiyle üretilenlerden daha düşük sürtünme direncine sebep oldukları ortaya koyulmuştur.

2.3.1.4. Braket Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Bu konuda, hem dar braketlerin (56) hem de geniş braketlerin (10, 2, 24) tel ile braket arasında daha az sürtünmeye neden olduğunu iddia eden çalışmalar bulunmaktadır.

Drescher ve ark. (24) 1989 yılında yaptıkları bir çalışmada, 0.018 inç oluk çapına sahip olan 2.2 mm, 3.3 mm ve 4.2 mm genişliğindeki paslanmaz çelik braketleri sürtünme özellikleri açısından test etmişlerdir. Araştırma sonucunda, 3.3 mm ve 4.2 mm genişliğindeki braketlerin benzer sürtünme özellikleri gösterdiği ve 2.2 mm genişliğindeki dar braketlerin diğer iki brakete göre daha yüksek sürtünme direncine neden olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu bulguyu dar braketlerin kullanıldığı olgularda bu braketlerin geniş braketlere göre daha fazla devrilmesine ve böylelikle braket köşeleri tarafından tel üzerine uygulanan normal kuvvetin daha fazla olmasına bağlamışlardır.

Tidy (2) tarafından 1989 yılında yapılan başka bir çalışmada, 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çapına sahip 2.9mm, 3.3mm ve 4.2mm genişliğindeki braketler sürtünme özellikleri açısından test edilmiştir. Araştırma sonucunda dar braketlerin daha fazla sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Kapila ve ark. (56) tarafından 1990 yılında yapılan çalışmada 0.030 inç genişliğinde tekli ve 0.130 inç ve 0.180 inç genişliğinde ikiz braketler kullanılarak braket genişliğinin sürtünme üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda 0.130 inç genişliğindeki braketlerin 0.030 inç genişliğinde olan dar braketlerden 1,5 kat, 0.180 inç genişliğinde olan braketlerin ise 0.030 inç genişliğindeki braketlerden 2 kat daha yüksek sürtünme kuvveti ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir. Araştırmacılar, geniş braketlerin daha yüksek

sürtünme direncine neden olmasını bu braketlerin üzerine uygulanan elastik ligatür materyalinin daha fazla gerilmesi ve bu gerilime bağlı olarak daha yüksek ligasyon kuvvetlerinin ortaya çıkmasına bağlamışlardır.

Omana ve ark. (10) 1992 yılında yaptıkları çalışmada, braket genişliğinin sürtünme üzerine etkilerinin araştırılabilmesi için seramik ve paslanmaz çelikten üretilmiş maksiler kanin diş ve alt keser dişlere ait olan braketleri kullanılmışlardır. Araştırma sonucunda, her iki braket materyali için geniş olan kanin dişe ait braketlerin dar olan alt kesici diş braketlerine göre daha fazla sürtünme direncine neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Braket genişliğinin interbraket mesafenin belirlenmesinde de önemli rolü vardır. Kullanılan braket ne kadar dar ise braketler arası mesafe o kadar artar. Braketler arasındaki ark telinin boyunun artması ise telin elastik deformasyon kabiliyetinin artmasına neden olur ve kanin retraksiyonu sırasında dişte daha şiddetli devrilmeye birlikte braket ile ark teli arasında bağlanma (binding) oluşma olasılığını artırır (57).

2.3.1.5. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci Düzen ve Üçüncü Düzen Angülasyonların Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkileri

Kusy ve ark. (6) braket ve ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme direncini üç bileşene ayırmışlardır. Bunlar klasik sürtünme, bağlanma (binding) ve çentiklenmedir (notching) (6). Klasik sürtünme, braket oluşu ve ark teli arasında boşluk (clearance) olduğu durumda ark telinin braketin oluk tabanı veya duvarları ile temas etmesi sonucunda ortaya çıkar. Braket ve ark teli arasındaki açı arttıkça ark teli braket duvarlarının karşı köşelerine temas eder ve klasik sürtünme kuvvetinin yanında bağlanma hadisesi de (binding) sürtünme direncinin ortaya çıkışına katkıda bulunur. Ark telinin braket duvarlarının karşı köşelerine ilk temas ettiği anda ark teli ile braket duvarı arasında ortaya çıkan açıya kritik temas açısı adı verilir (54,58). Kritik temas açısının büyüklüğü braketin genişliğine, braket oluşunun çapına ve ark telinin kalınlığına bağlıdır (54). Braket ve ark teli arasındaki açı, kritik temas açısının ötesinde arttığında braket duvarları ark teli yüzeyine fiziksel olarak zarar

vermeye başlar ve klasik sürtünme ve bağlanma olaylarına çentiklenme (notching) hadisesi de eklenir (59).

Telin brakete giriş açısı sürtünmeyi doğrudan etkileyen bir faktördür. Braket ve ark teli arasındaki açı arttıkça bu iki unsur arasında ortaya çıkan sürtünme direncinin arttığı yapılan birçok çalışmayla kanıtlanmıştır (5,39,40,41,45,49,50,60,61,62).

Tselepis ve ark. (39) tarafından 1994 yılında yapılmış olan çalışmada, hem kuru hem de tükürüklü ortamda kullanılan tüm braket ark teli kombinasyonlarında artan ikinci düzen angülasyonla birlikte sürtünme değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Thorstenson ve ark. (41) tarafından 2003 yılında yapılmış olan çalışmada, aktif konfigürasyonda, hem kuru hem de tükürüklü ortamlarda braket ve ark teli arasındaki açı arttıkça sürtünme değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Redlich ve ark. (62) tarafından 2003 yılında yapılan başka bir çalışmada, araştırmada kullanılan tüm braket ve ark teli kombinasyonları için braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen açının artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Nishio ve ark. (40) tarafından 2004 yılında yapılmış olan çalışmada, kullanılan tüm braket ark teli kombinasyonlarında braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angülasyonun artmasıyla birlikte sürtünme dirençlerinde artış meydana geldiği bildirilmiştir.

Rajakulendran ve Jones. (50) tarafından 2006 yılında yapılmış olan bir çalışmada braket ve ark teli arasında artan angülasyonla birlikte tüm braket ark teli kombinasyonları için sürtünme değerlerinin arttığı bildirilmiştir.

Cha ve ark.'nın (49) 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angülasyon arttıkça kullanılan braket ark teli

kombinasyonları arasında ortaya çıkan sürtünme direncinde hızlı ve non lineer tarzda bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Braket ve ark teli arasındaki üçüncü düzen açılanmaların sürtünme direnci üzerinde etkili olduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya koyulmuştur (45). Üçüncü düzen açılanmalarda, braket ve ark teli arasında oluşan kritik temas açısı braketin oluk çapına ve ark telinin boyutuna bağlıdır (63).

Moore ve ark. (45) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angülasyon ve üçüncü düzen tork değerlerinin sürtünme kuvvetleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda angülasyon ve tork değerlerindeki artışın braket ve ark teli arasında oluşan sürtünme direncinde istatistiksel olarak anlamlı artışa neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, ikinci düzen angülasyondaki artışın sürtünme direncini tork miktarındaki artışa göre daha fazla etkilediği tespit edilmiştir.

2.3.1.6. Braketin Yüzey Pürüzlülüğünün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Braket materyalinin sürtünme üzerine etkilerini araştıran birçok çalışmada kullanılan braketlerin oluk sahalarının yüzeyleri SEM ile incelenmiştir ve sürtünme ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki konusunda çelişkili sonuçlar elde edilmiştir (6,10,44,34,35,40,48,51,64). Bazı araştırmalar sürtünme direnci ile braket materyalinin yüzey pürüzlülüğü arasında herhangi bir bağlantı olmadığı tezini desteklerken, diğer çalışmalar braket materyalinin yüzey pürüzlülüğünün fazla olmasının braket ve ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini arttırdığını ortaya koymaktadır.

Kusy ve Whitley (64) tarafından 1990 yılında yapılan bir çalışmada yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 240 grt, 320 grt ve 1 µm olan üç çeşit paslanmaz çelik plaka yüzeyinden paslanmaz çelik, nikel titanyum ve kobalt krom tel parçaları çekilmiştir. Araştırma sonucunda her üç plakada da aynı materyalden üretilmiş tellerin benzer sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

Omana ve ark. (10) tarafından 1992 yılında yapılan başka bir çalışmada, braket oluklarının SEM ile incelenmesi sonucunda monokristalin alümina braketlerin oluk tabanlarının polikristalin alümina braketlere göre daha düzgün bir yüzey yapısı gösterdikleri tespit edilmiştir. Ancak, aynı çalışmada gerçekleştirilen sürtünme testleri, bu iki braket materyalinin benzer sürtünme özellikleri gösterdiklerini ortaya koymuştur.

Tanne ve ark. (48) tarafından 1994 yılında yapılmış olan çalışmada üç farklı seramik braket sürtünme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda SEM ile incelenmesinde daha düzgün yüzey yapısı gösteren seramik braketin daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.

Saunders ve Kusy'nin (34) 1994 yılında yaptıkları çalışmada, monokristalin alümina braketlerin SEM ile incelenmesi yapılmış ve bu braketlerin polikristalin alümina braketlerden daha düzgün bir yüzey yapısına sahip oldukları bildirilmiştir. Aynı çalışmada gerçekleştirilen sürtünme deneyi sonucunda, bu iki braket tipinin benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri bildirilmiştir.

Nishio ve ark.'nın (40) 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada SEM ile incelenmesi sonucunda daha düzgün yüzeye sahip olduğu tespit edilen braket materyallerinin pürüzlü yüzey özellikleri gösteren materyallere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

2.3.2. Ark Teline Bağlı Faktörler

2.3.2.1. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Ortodonti pratiğinde kullanılan ark tellerinin üretiminde çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Üretildikleri materyalin cinsine göre ark telleri şu şekilde sınıflandırılır.

1. Paslanmaz Çelik Teller

Paslanmaz çelik, ortodonti pratiğinde en sık kullanılan tel alaşımlarından biridir. Paslanmaz çelik teller, yüksek dayanıklılık, yüksek katılık, düşük çalışma aralığı ve düşük geri yaylanma özelliğine sahip malzemelerdir (13,65,64). Yüksek katılığa sahip olmaları nedeniyle bu teller braketler arasındaki seviye farklarının fazla olduğu seviyeleme dönemi için uygun değildir. Seviyeleme sırasında kullanılabilmesi için yük/esneme oranlarının düşürülmesi gerekir. Bu amaçla ya telin boyu uzatılır ya da çapı düşürülür. Telin boyunun uzatılması için kullanılan klasik yöntem, telin kendi üzerine çeşitli şekillerde bükülmesiyle elde edilen looplar yapmaktır (11).

2. Çok Sarımlı Paslanmaz Çelik Teller

Bu teller, birden çok sayıdaki ince çaplı telin birbiri üzerine sarılmasıyla oluşurlar ve tel uzunluklarının artması nedeniyle elastikiyetin de artmasına neden olurlar (11).

3. Kobalt – Krom Alaşımlı Teller

Kobalt krom alaşımlı tellerin fiziksel özellikleri paslanmaz çelik tellerinkine çok benzer (65). Kobalt krom tellerin paslanmaz çelik tellere üstünlüğü kırılmaya ve distorsiyona karşı daha dirençli olmalarıdır (67). Bu tellerin içerikleri %40 kobalt, %20 krom, %15 nikel , %7 molibden ve %15-20 demirden oluşmaktadır. Kobalt krom teller yumuşak halde iken loop bükümlerinin kolaylıkla yapılmasına olanak verirler ve daha sonra ısıl işleminden geçirilince katılaşırlar (11). Kobalt

krom teller reziliensine göre dört ayrı şekilde üretilir; yumuşak (mavi), ductile (sarı), yarı rezilient (yeşil) ve rezilient (kırmızı) (67).

4. Nikel Titanyum Teller

Nikel titanyum alaşımlı teller ilk olarak 1968 yılında Buehler tarafından bulunmuş ancak ortodontide kullanılması ve geliştirilmesi Andreasen tarafından gerçekleştirilmiştir. Günümüz ortodonti pratiğinde üç çeşit nikel titanyum alaşımlı tel kullanılmaktadır (68).

a. Konvansiyonel Tip

Nikel titanyum teller, içinde buldukları ısı şartlarına ve üzerlerine uygulanan mekanik gerilmelere bağlı olarak martensit ve ostenit olmak üzere iki ayrı kristal yapıda bulunurlar (13). Yüksek sıcaklık değerlerinde görülen kristal yapıya ostenit, düşük sıcaklık değerlerinde gözlenen kristal yapıya ise martensit denir (13). Ostenit kristal yapı, yüksek dirence sahip bir kafes yapısıdır. Martensit yapı ise ostenit kafes yapının soğutma ya da mekanik stresler ile esnek şekillenmeler gösterdiği biçimindedir. Ostenit yapıdan soğutmak suretiyle martensit kristal yapıya geçiş için kullanılan sıcaklık derecesine geçiş sıcaklığı adı verilir (11).

Konvansiyonel nikel titanyum tel martensit fazda stabilize edilmiş olan pasif bir teldir ve herhangi bir faz geçişi göstermez (68).

b. Psödoelastik Tip

Psödoelastik tip nikel titanyum teller ostenit yapıda bulunan aktif tellerdir (68). Bu teller mekanik gerilmelere bağlı olarak aktif ostenit fazdan martensit faza, sonra tekrar ostenit faza geçiş gösterirler (69). Aktivasyon sırasında stres belli bir düzeye eriştiğinde ostenit yapıdan martensit yapıya dönüşüm gerçekleşir. Deaktivasyon sırasında stres belli bir seviyeye indiğinde martensit yapıdan ostenit yapıya geri dönüş gerçekleşir (11). Psödoelastik teller konvansiyonel nikel titanyum tellere göre daha uzun süreli hafif ve devamlı kuvvet uygulayabilme özelliğine sahiptirler (69).

c. Termoelastik Tip

Termoelastik nikel titanyum teller martensit fazda aktif olan ve ağız ısısında faz geçişi gösteren tellerdir (68). Daha düşük ısılarda distorsiyona uğratılabilen bu teller ağız ısısında aktif ostenit faza geçerek eski şekillerine dönerler (68,69).

5. Beta-Titanyum Teller

Titanyum molibdenyum alaşımı olan bu teller içeriğinde %79 titanyum, %11 molibden, %6 zirkonyum ve %4 kalay bulundurlar (69). Beta titanyum teller oldukça yüksek dayanıklılık ve geri yaylanma özelliği gösterirler (13). Elastikiyet özellikleri itibariyle paslanmaz çelik ile nikel titanyum teller arasında yer alırlar (11). Ayrıca bu teller şekil alabilme özelliğine de sahiptirler (13). Tüm bu özellikleri sayesinde beta titanyum klinikte arzu edilen hafif ve uzun süreli kuvvet uygulama özelliklerine sahip tel materyallerinden biridir (11).

Yapılan birçok araştırma sonucunda, titanyum molibdenyum alaşımı tellerin, paslanmaz çelik ve nikel titanyum tel alaşımlarına oranla çok daha yüksek sürtünme değerlerine sahip oldukları bildirilmiştir (2,19,21,25,34,40,42,46,51,70). Bu nedenle kaydırma mekanikleri yerine sürtünmesiz çalışan bölümlü ark mekaniklerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (11). Ancak, son yıllarda bu teller üzerinde yapılan çalışmalarda, iyon implantasyonu yöntemi ile materyalin yüzey sertliği artırılmış ve yüzey pürüzleri azaltılarak sürtünme değerleri paslanmaz çelik tellerle kıyaslanabilecek değerlere ulaştırılmaya çalışılmıştır (11).

İyon implantasyonu işlemi bir vakum odası içinde hedef tel yüzeyi üzerine hızlandırılmış gaz iyonları (nitrojen ve oksijen) gönderilmesiyle gerçekleştirilir. İmplantasyon işlemi elektron demeti evaporatörünün iyonları buharlaştırdığı vakumlu bir oda içinde yapılır. Eş zamanlı olarak bir plazmadan uzaklaştırılan gaz iyonları genişleyen buhar tabakasına doğru hızlandırılırlar. İyonlar hedef tel yüzeyine penetre olduktan sonra tel yüzeyinde ve yüzeyin hemen altında orijinal tel ve kalay bileşenlerini içeren bir yapı oluştururlar. Bu

tabaka çok serttir ve materyalde atomik seviyede dikkate değer miktarda kompresif kuvvetler oluşturur. Kompresif kuvvetler ve artan yüzey sertliği telin kırılmaya karşı direncini arttırırken, sürtünme direncini azaltır (71).

Konvansiyonel kaplama işlemlerinden farklı olarak iyon implantasyonu, kaplama ve tel arasında yapışma hatasına ve ayrılmaya yol açabilecek keskin yüzeyler oluşturmaz. Yine diğer kaplama işlemlerinden farklı olarak iyon implantasyonu tel boyutunda değişiklik yaratmaz ve böylece aynı boyutta tellerin üretimine imkan tanır (71). İyonların şekli ve kalınlığı değiştirilerek düşük sürtünmeli iyonize TMA ve renkli TMA teller hazırlanabilmektedir (71).

Burstone ve Farzin-Nia. (71) tarafından 1995 yılında yapılmış olan bir çalışmada iyon implante edilmiş beta titanyum tellerin işlem görmemiş beta titanyum tellere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları ve iyon implantasyonu işleminin, beta titanyum tellerde sürtünme değerlerini paslanmaz çelik tellerinkine yaklaştırdığı bildirilmiştir.

Husmann ve ark. (72) tarafından 2001 yılında yapılmış olan başka bir çalışmada da iyon implantasyonu yönteminin tellerin sürtünme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak **Michelberger ve ark. (15)** tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada iyon implante edilmiş beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellere göre daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları tespit edilmiştir.

Kusy ve ark. (73) tarafından 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada da iyon implantasyonu yönteminin beta titanyum tellerin sürtünme dirençlerini azaltmadığı ortaya koyulmuştur

6. Fiber Optik – Plastik teller

Fiber optik plastik teller, estetik amaçlarla geliştirilmiş şeffaf yapıdaki tellerdir. Bu tellerin katılığı diğer birçok tel materyalinden çok daha düşüktür. Son derece dayanıksız ve kırılğan olmaları nedeniyle ortodonti pratiğinde kullanım alanları şimdilik sınırlıdır (11).

7. Kompozit Teller

Son yıllarda gelişmekte olan bir diğer estetik tel materyali ise kompozittir. Kompozit teller, elyaftan oluşan bir iç yapının üzerinin kompozit kaplanmasıyla elde edilirler (11). Kompozit tellerin katılığı fiberoptik plastik tellere göre daha yüksek olmakla birlikte kırılgenlığı da oldukça fazladır (11).

Ortodontik tedavide kullanılan çeşitli ark teli materyallerinin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan birçok araştırma sonucunda ortaya koyulmuştur(2,5,10,11,15,19,21,24,25,34,36,39,40,42,46,49,51,70-75).

Drescher ve ark. (24) tarafından 1989 yılında yapılmış olan bir çalışmada sürtünme değerleri açısından sırasıyla paslanmaz çelik (en düşük) < kobalt krom < nikel titanyum < beta titanyum (en yüksek) sonucuna varılmıştır.

Tidy'nin (2) 1989 yılında yaptığı bir çalışmada, paslanmaz çelik tellerle karşılaştırıldıklarında nikel titanyum tellerin 2 kat, beta titanyum tellerin ise 5 kat fazla sürtünme kuvveti ortaya çıkardıkları bildirilmiştir.

Omana ve ark. (10) tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada paslanmaz çelik ve nikel titanyum teller arasında sürtünme özellikleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Downing ve ark. (51) 1994 yılında yaptıkları bir çalışmada, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden olduklarını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerin benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri ortaya koyulmuştur.

Saunders ve Kusy (34) tarafından 1994 yılında yapılan benzer bir çalışmada, beta titanyum ve nikel titanyum tellerin paslanmaz çelik ve kobalt krom tellere göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

Burstone ve Farzin-Nia (71) 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada, iyon implante edilmiş beta titanyum tellerin işlem görmemiş beta titanyum tellere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıklarını ve iyon implantasyonu işleminin, beta titanyum alaşımı tellerde sürtünme değerlerini paslanmaz çelik tellerinkine yaklaştırdığını bildirmişlerdir.

Vaughan ve ark.'nın (25) 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada, beta titanyum tellerin en yüksek, paslanmaz çelik tellerin ise en düşük sürtünme dirençlerine neden oldukları tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, kobalt krom ve nikel titanyum teller için tespit edilen değerlerin paslanmaz çelik ve beta titanyum teller için ölçülen değerlerin arasında olduğu ispat edilmiştir. Ayrıca, nikel titanyum tellerin kobalt krom tellerle karşılaştırıldığında daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Rose ve Zernik (75) tarafından 1996 yılında yapılan bir çalışmada, nikel titanyum alaşımı tellerin paslanmaz çelik tellere göre daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir. Braketler arasında vertikal yöndeki ofset miktarı arttırıldıkça sürtünme değerleri açısından iki tel materyali arasındaki farkın büyüdüğü tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu sonucu nikel titanyum alaşımının paslanmaz çelik alaşımdan daha esnek bir yapıya sahip olmasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Bazakidou ve ark. (46) 1997 yılında yaptıkları bir çalışmada paslanmaz çelik tellerin en düşük, nikel titanyum tellerin en yüksek sürtünme direncini ortaya çıkardıklarını bildirmişlerdir. Beta titanyum tellerin ise bu iki tel alaşımı arasında bir sürtünme direnci gösterdiği tespit edilmiştir.

Loftus ve ark.'nın (42) 1999 yılında yaptıkları bir çalışmada beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları ispat edilmiştir. En düşük sürtünme kuvvetlerine nikel titanyum tellerin kullanıldığı testlerde rastlanmıştır.

Michelberger ve ark.'nın (15) 2000 yılında yaptıkları bir çalışmada iyon implante edilmiş beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha yüksek sürtünme değerleri ortaya çıkardıkları bildirilmiştir.

Husmann ve ark. (72) tarafından 2002 yılında yapılan başka bir çalışmada ise iyon implantasyonu yönteminin beta titanyum tellerde sürtünme direncini azalttığı bildirilmiştir.

Cacciafesta ve ark. (19) tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellere göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları, paslanmaz çelik ve nikel titanyum teller arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ortaya koyulmuştur.

Krishnan ve Kumar (70) 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha fazla sürtünme direncine neden olduklarını tespit etmişlerdir. Titanyum niyobyum (timolium) tellerin ise bu iki tel materyalinin arasında sürtünme değerleri ortaya çıkardıkları ispat edilmiştir.

Cash ve ark. (74) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, sadece honeydew titanyum tel ve iyon implante edilmiş tellerin işlem görmemiş beta titanyum tellerden daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir. Aqua, purple, violet titanyum tellerin ise işlem görmemiş beta titanyum tellerle benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri tespit edilmiştir.

Wadhwa ve ark. (21)'nin 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur. Nikel titanyum teller ile paslanmaz çelik teller arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Aynı araştırmacıların 2004 yılında yapmış oldukları başka bir çalışmada (36) 0.022 inç oluk çapına sahip olan braketler, 0.018x0.025 inç ve 0.021x0.025 inç boyutlarında olan paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte test edilmişlerdir. Araştırma sonucunda, 0.018x0.025 inç boyutlu tellerin kullanıldığı testlerde beta titanyum, nikel titanyum ve paslanmaz

çelik teller arasında istatistiksel olarak anlamlı fark izlenmemiştir. 0.021x0.025 inç boyutlu teller kullanıldığında, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları tespit edilmiştir. Paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerin benzer sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları ispat edilmiştir.

Nishio ve ark. (40) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, test edilen tüm braket ark teli kombinasyonlarında beta titanyum tellerin en yüksek, paslanmaz çelik tellerin de en düşük sürtünme değerlerini ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir. Nikel titanyum tellerin ise sürtünme özellikleri açısından paslanmaz çelik ve beta titanyum teller arasında yer aldıkları ortaya koyulmuştur.

Cha ve ark.'nın (49) 2007 yılında yaptıkları çalışma sonucunda aktif ve pasif konfigürasyonlarda tüm braket kombinasyonları için beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden olduğu bildirilmiştir.

2.3.2.2. Ark Teli Çapı ve Kesitin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Genel olarak aynı braket ve tel materyali için tel çapı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin de arttığı bildirilmiştir (19,21,25,36,45,47,51,55,56,60,76). Ayrıca köşeli kesite sahip olan tellerin sürtünmeye etkisinin yuvarlak tellerden daha fazla olduğunu ispat eden çalışmalar bulunmaktadır (25,55,76). Ancak bu sonuçların braket ve ark teli arasında bağlanmanın meydana geldiği ikinci düzen angülasyonlarda farklılık gösterdiği **Frank ve ark. (77)** tarafından 1980 yılında yapılan bir çalışmayla ortaya koyulmuştur. Braket ve ark teli arasında bağlanmanın gerçekleştiği ikinci düzen açılanmalarda ark teli braketin karşı köşelerine temas eder. Bu sırada braket oluşu içinde bulunan yuvarlak kesitli tel üzerinde köşelerdeki temas noktalarında çentiklenmeler oluşabilir. Oluk içinde dikdörtgen kesitli tel bulunduğu ise braket köşelerinde kuvvet daha geniş bir temas alanı üzerine dağılacığından ortaya çıkan basınç ve sürtünme direnci daha düşük olmaktadır.

Kapila ve ark. (56) tarafından 1990 yılında yapılan bir çalışmada, genel olarak tel boyutundaki bir artışın braket ile ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetinde artışa yol açtığı bildirilmiştir.

Vaughan ve ark. (25) tarafından 1995 yılında yapılan bir çalışmada, ark teli çapının arttırılmasının braket ve ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme direncinde artışa neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca köşeli ark tellerinin yuvarlak kesitli olanlara göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri çıkardıklarını ortaya koymuşlardır. **Ogata ve ark. (55)** da 1996 yılında yaptıkları çalışmada aynı bulgulara ulaşmışlardır.

Cacciafesta ve ark. (19) tarafından 2003 yılında yapılmış olan çalışmada, beta titanyum, nikel titanyum ve paslanmaz çelik tellerde artan ark teli boyutu ile birlikte sürtünme direncinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Moore ve ark. (45)'nin 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan braketler, 0.019x0.025 inç ve 0.021x0.025 inç boyutlarında olan paslanmaz çelik tel parçalarıyla birlikte test edilmiştir. Araştırma sonucunda, 0.021x0.025 inç boyutunda olan telin daha yüksek sürtünme direncine neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Kapur ve ark. (36) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, kullanılan çeşitli braket ve ark teli kombinasyonlarında ark teli boyutunun arttırılmasının sürtünme direncinde artışa neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Tecco ve ark. (76) tarafından 2005 yılında yapılan başka bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ark teli boyutundaki artışla birlikte braket ve ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin arttığı bildirilmiştir.

2.3.2.3. Ark Telinin Yüzey Pürüzlülüğünün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin sürtünmesi spesifik materyallerin fonksiyonundan ziyade temas yüzeylerindeki yüzey şartlarına bağlıdır. Pürüzlülüğün etkileri sadece yüzey pürüzlülüğünün derecesine değil

pürüzlülüğün geometrisine, oryantasyonuna ve temas eden iki yüzeyin birbirlerine göre sertliğine de bağlıdır. Genel olarak sürtünme direnci ya çok düzgün ya da çok pürüzlü yüzeyler için yüksek değerlere ulaşır. Çok düzgün yüzeyler, kayma sırasında giderek büyüme eğiliminde olan geniş adezyon alanlarının oluşmasına yol açabilmektedir. Çok pürüzlü yüzeyler ise çıkıntı ve girintilerin teması ve bağlanması sonucunda yüksek sürtünmeye yol açabilmektedir (78).

Çeşitli ark teli materyallerinin yüzey pürüzlülüklerinin sürtünme direnci üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir (24,38, 40,64,78,79).

Drescher ve ark. (24) 1989 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada braket ve ark teli arasındaki sürtünmenin yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olarak arttığını ortaya koymuşlardır. Paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tel alaşımlarını inceledikleri çalışmalarında, SEM tekniğini kullanarak bu materyallerin yüzey pürüzlülüklerini ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün beta titanyum (en pürüzlü) > nikel titanyum > kobalt krom > paslanmaz çelik sırasıyla azaldığını tespit etmişlerdir. Araştırma sonucunda, bu materyallerinin sürtünme katsayılarının yüzey pürüzlülüğüyle orantılı olarak arttığını bildirmişlerdir.

Buna karşın **Prososki ve ark. (78)** tarafından 1991 yılında yapılan çalışmada ark teli materyallerinin yüzey pürüzlülüğü ile bu materyallerin sürtünme kuvveti değerleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Aynı şekilde **Ho ve West (79)** tarafından 1991 yılında yapılan çalışmada, SEM tekniği ile yüzey pürüzlülüklerini değerlendirdikleri ark tellerinin oluşturdukları sürtünme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülükleri arasında kesin bir ilişki olmadığı rapor edilmiştir.

Kusy ve ark. (38,64) 1990 ve 1991 yıllarında yapmış oldukları çalışmalarda, paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerin SEM ve laser specular reflectance tekniklerini kullanarak yüzey pürüzlülüklerini ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüklerinin kantitatif olarak nikel

titanyum (en pürüzlü) > beta titanyum > kobalt krom > paslanmaz çelik sırasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Tükürüksüz ortamda kinetik sürtünme katsayısının tüm paslanmaz çelik tel kombinasyonları için en düşük, beta titanyum tel kombinasyonları için en yüksek değeri gösterdiğini rapor etmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme kuvvetinin özellikle beta titanyum teller için her zaman yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olmadığı ve nikel titanyum teller beta titanyum tellerden daha pürüzlü yüzey özellikleri gösterdikleri halde nikel titanyum tellerin daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir.

Kusy ve ark. (64) tarafından 1990 yılında yapılmış olan çalışmada dört farklı tel alaşımı paslanmaz çelik ve polikristalin alumina plaklar üzerinde eşit mesafede kaydırılmıştır ve tellerin plak yüzeyinde oluşturdukları değişikliklerin SEM görüntüleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum ark tellerinin temas ettiği yüzeylerin paslanmaz çelik tellerin temas ettiği yüzeylerden daha çok hasar gördüğü ve dört farklı ark teli materyali arasında en çok beta titanyum tellerin zarar verdiği tespit edilmiştir. Bunu takiben, aynı yüzeyleri EDX (energy dispersive X-ray analizi) ile tekrar değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme sonucunda, kobalt krom telin kaydırıldığı yüzeyde hiç kobalt tespit edilmezken, nikel titanyum telin kaydırıldığı sahada bir miktar titanyum debris izlenmiştir. Beta titanyum telin kaydırıldığı yüzeyde ise fazla sayıda titanyum partiküllerine rastlamışlardır. Bu X-ray elemental analizi sonucunda araştırmacılar, beta titanyum tellerin yüksek sürtünme katsayısının sebebi olarak beta titanyum ark teli materyalinin mekanik abrazyonunu ve braket yüzeyine adezyonunu göstermişlerdir.

Nishio ve ark. (40) tarafından 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada, SEM tekniğiyle ark tellerinin yüzey özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, tellerin yüzey pürüzlülüklerinin beta titanyum (en pürüzlü) > nikel titanyum > paslanmaz çelik sırasıyla azaldığını ve bu tel materyallerinin sürtünme katsayılarının da bu değerlerle orantılı olarak azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir.

2.3.2.4. Ark Teli Katılığının Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Katılık, bir telin bükülmeye karşı direncini ifade eder. Katılığı düşük olan teller yüksek elastikiyete sahiptirler ve kolayca bükülüp kuvvet etkisi ortadan kalktıktan sonra tekrar eski konumlarına dönerler. Bunlara en iyi örnek süperelastik nikel titanyum alaşımlarıdır. Yüksek katılığa sahip teller ise yüksek kuvvet düzeylerinde bile zor bükülebilirler. (11)

Tellerin katılık özelliği üç faktörden etkilenir. Bunlar;

a- Çap: Yuvarlak kesitli tellerde, telin çapı ikiye katlandığında uyguladığı kuvvet 16 kat artar. Çapları biri diğerinin iki katı olan iki tele eşit şiddette kuvvetler uygulandığında, ince çaplı olan telin kalın çaplı olana oranla 16 kat daha fazla esneme gösterdiği görülür (11).

Köşeli tellerde ise durum biraz daha farklıdır. Telin uyguladığı kuvvet birinci düzende telin genişliğiyle, ikinci düzende ise telin kalınlığının küpüyle doğru orantılıdır. İki kat geniş bir tel iki kat daha fazla kuvvet verir. İki kat kalın bir tel ise sekiz kat daha fazla kuvvet uygular (11).

b- Uzunluk: Boyları biri diğerinin iki katı olan tellere eşit kuvvetler uygulandığında uzun olan tel kısa olan tele oranla 8 kat daha fazla esner. Ortodonti pratiğinde loopların yapılma amacı da iki braket arasındaki tel uzunluğunun, dolayısıyla telin elastikiyetinin artırılmasıdır (11).

c- Materyal: Tellerin üretildikleri materyal de telin katılığını belirleyen bir faktördür. Paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerin materyal katılıkları arasındaki ilişkinin 1: 1.2: 0.26: 0.42 oranında olduğu tespit edilmiştir (67,80).

Ortodontik tedavinin seviyeleme safhasında katılığı daha düşük olan teller tercih edilmektedir. Bunun nedeni katılığı daha düşük olan tellerin seviyeleme sırasında değişik seviyelerdeki braket oluklarından kolaylıkla kayabilmesi ve daha az sürtünme direncine neden olmasıdır.

Tel boyunca yapılan diř hareketleri sırasında ise telin katılık özelliği s¼rt¼nme kuvvetlerini farklı y¼nde etkilemektedir. Örneđin kanin dişlerin, çekilmiş premolar dişlerin boşluğuna distalizasyonu sırasında interbraket mesafe ve bu mesafe içinde yer alan ark telinin uzunluğu artmıştır. Ark telindeki boyut artışı telin katılığında düş¼še neden olmaktadır. Retraksiyon kuvvetleri etkisi altında dişte meydana gelen devrilme ve rotasyon hareketleri telin katılığıyla ters orantılıdır. Yani katılığı düşük olan tellerde birim kuvvet karşılığında tel kolayca esnediğinden dişte devrilme miktarı daha fazla olur ve ortaya çıkan s¼rt¼nme kuvvetlerinin miktarı artar. Bu nedenle, kanin distalizasyonu gibi kontroll¼ kaydırma mekaniklerinde devrilmenin ve s¼rt¼nmenin en az olabilmesi için kalın köşeli paslanmaz çelik teller tercih edilmelidir (11,57).

2.3.3. Ark Telinin Brakete Ligasyonunun S¼rt¼nme Kuvveti Üzerine Etkisi

Ortodonti pratiğinde ligasyon amacıyla sıklıkla paslanmaz çelik ligat¼rler veya elastomerik mod¼ller kullanılmaktadır. Son zamanlarda teflon kaplı paslanmaz çelik ligat¼rlerin ortodonti pratiğinde özellikle seramik braketlerle birlikte kullanılmaları estetik avantaj sağlamaktadır. Bunlarla birlikte kendinden bağlamalı braketlerin gelişimi de ortodonti uygulamalarına bazı fonksiyonel avantajlar getirmiştir.

Ligasyon ideal olarak şu özellikleri göstermelidir (82);

- Emniyetli ve sağlam olmalıdır.
- Ark telinin braket oluğu içine tamamen oturmasını sağlamalıdır.
- Braket ve ark teli arasında düşük s¼rt¼nme direnci ortaya çıkmasına neden olmalıdır.
- Uygulanması kolay ve çabuk olmalıdır.
- İstenildiğinde yüksek s¼rt¼nme direnci oluşturabilmelidir.
- Oral hijyenin sağlanabilmesine izin vermelidir.
- Hasta için kullanılması rahat olmalıdır.

Ligasyon materyali, ligasyonun şekli, ligasyon materyalinin boyutu ve ligasyon kuvveti sürtünme kuvvetine etki eden faktörlerdir.

2.3.3.1. Ligasyon Materyalinin ve Farklı Ligasyon Tekniklerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Ligatürler, üretildikleri materyalin cinsine göre, 3 grupta sınıflandırılabilir: (1) paslanmaz çelik ligatürler, (2) teflon kaplı ligatürler, (3) elastomerik ligatürler.

Literatürde farklı ligasyon materyalleri ve ligasyon metotlarının farklı sürtünme değerleri ortaya çıkardığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır.

Edwards ve ark. (83) tarafından 1995 yılında yapılmış olan bir çalışmada, konvansiyonel şekilde ve 8 şeklinde bağlanmış elastomerik modüller, paslanmaz çelik ligatürler ve teflon kaplamalı ligatürler ile karşılaştırılmışlardır. Araştırma sonucunda, elastomerik modüllerin 8 şeklinde bağlanmasının diğer ligasyon tekniklerine göre daha fazla sürtünme direncine neden olduğu bildirilmiştir. Konvansiyonel yöntemle bağlanan elastomerik modüllerle paslanmaz çelik ligatürler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık izlenmezken, en düşük sürtünme değerlerine teflon kaplı ligatürlerde rastlanmıştır.

De Franco ve ark. (84) 1995 yılında, özellikle düşük sürtünmeli estetik ligatür materyali olarak ortodonti pratiğine sunulan teflon kaplı paslanmaz çelik ligatürleri incelemek ve seramik braketlerle oluşturdukları sürtünme kuvvetini tespit etmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında elastomerlerle karşılaştırıldığında teflon ligatürlerin daha az sürtünme kuvveti oluşturduklarını ortaya koymuşlardır.

Taylor ve Ison (7) 1996 yılında yaptıkları çalışmada, hazırladıkları bukkal segment modelinde braket dizaynının ve ligasyon tekniğinin farklı tel kombinasyonlarıyla oluşturdukları sürtünme kuvvetlerini incelemiştir. Çalışmalarında elastomerik ligatürlerin braketlerde yüksek sürtünme kuvvetine yol açtığını ve bu kuvvetin zamanla azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca

elastomerik modüllerin önceden esnetilmiş olmasının ve paslanmaz çelik ligatürlerin gevşek bağlanmasının sürtünme kuvvetlerinde düşüşe neden olduğunu bildirmişleridir.

Voudouris (85) 1997 yılında yaptığı çalışmada, elastomerlerin bağlama şekillerinin sürtünme üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla elastomerik modülleri O-şeklinde ve 8-şeklinde bağlamıştır. Alınan sonuçlara göre, 8-şeklinde bağlamanın daha fazla sürtünme kuvveti oluşturduğu ortaya çıkmıştır.

Bazakidou ve ark. (46) 1997 yılında yaptıkları çalışmada, paslanmaz çelik ve elastomerik ligatürlerle bağlanan estetik ve metal braketlerin oluşturdukları sürtünme kuvvetlerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, elastomerik ligatürlerin mi yoksa paslanmaz çelik ligatürlerin mi daha fazla sürtünme direncine neden olduğuna dair bir sonuca varılamayacağını, ancak elastomerik ligatürlerle karşılaştırıldığında paslanmaz çelik ligatürlerin oluşturduğu sürtünme kuvvetinde 2.7 ile 3 kat daha fazla değişkenlik görüldüğünü saptamışlardır.

Hain ve ark. (20) tarafından 2003 yılında yapılmış olan bir çalışmada, paslanmaz çelik ligatür, konvansiyonel elastomerik modül, süper slick elastomerik modül (TP Orthodontics, La Porte, Ind) ve SPEED (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada) kendinden bağlamalı braketler ortaya çıkardıkları sürtünme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, kendinden bağlamalı braketlerin konvansiyonel modüllerle test edilen diğer braketlere göre daha düşük sürtünme direncine neden olduğu, slick modüllerin konvansiyonel modüllerden daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkarırken slick modüllerle elde edilen değerlerin kendinden bağlamalı braketlerden de daha düşük düzeylerde olduğu tespit edilmiştir. En düşük sürtünme değerleri gevşek olarak bağlanmış paslanmaz çelik ligatürlerle elde edilmiştir.

Chimenti ve ark. (4) 2005 yılında yaptıkları çalışmada, farklı boyutlardaki elastomerik modülleri karşılaştırmışlardır. Küçük modüllerin iç çapı 1 mm, dış çapı 2.6 mm, kalınlığı ise 0.85 mm'dir. Orta modüllerin iç çapı 1.3 mm, dış çapı 3.1 mm kalınlığı 0.9 mm'dir. Büyük modüllerin ise iç çapı 1.6 mm,

dış çapı 3.6 mm, kalınlığı 1 mm 'dir. Araştırma sonucunda küçük ve orta modüllerin benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri ve her ikisinin de büyük modüllerden daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir. Bu sonucun küçük ve orta boyuttaki modüllerin büyük modüllerden daha ince olmalarından kaynaklandığı bildirilmiştir.

2.3.3.2. Kendinden Bağlamalı Braketlerin Kullanılması

Kendinden bağlamalı braketlerde tel ile braketi birleştiren hareketli bir kapaktır. Tel oluğa yerleştirildikten sonra kapak kapatıldığında tel brakete bağlanmış olur. Bu sistemin avantajı hasta başında geçirilen sürenin daha az olması ve bu türdeki braketlerde ark teli ile braket oluğu arasında daha düşük sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkmasıdır (86). Kendinden bağlamalı braketlerde kapak mekanizması aktif ya da pasif olabilmektedir. Aktif kapaklı braketlerde kapak kapatıldığında oluk içine yerleştirilmiş olan ark teli üzerine basınç uygulanır ve ark telinin braket oluğunun gerisine itilmesi suretiyle rotasyon ve tork kontrolü yapılması hedeflenir. Pasif kapaklı braketlerde ise kapak kapatıldığında braket oluğu ark teli üzerine herhangi bir basınç uygulamaksızın teli braket oluğu içinde tutmaktadır (86, 87).

Taylor ve Ison (7) 1996 yılında yaptıkları çalışmada, hazırladıkları bukkal segment modelinde braket dizaynının ve ligasyon tekniğinin farklı tel kombinasyonları ile oluşturdukları sürtünme kuvvetlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında pasif kapaklı Aactiva (A Company Inc, San Diego, Calif) ve aktif kapaklı Speed (Strite Industries Ltd, Cambridge, Ontario, Canada) kendinden bağlamalı braketlerin yanında, elastomerik modül ve paslanmaz çelik ligatür ile bağlanmış konvansiyonel paslanmaz çelik braketler kullanmışlardır. Tüm örnekler içinde Aactiva braketlerin en düşük sürtünme kuvvetlerini ortaya çıkardıkları bildirilmiştir.

Loftus ve ark. (42) tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada, konvansiyonel paslanmaz çelik braketler, kendinden bağlamalı paslanmaz çelik braketler, konvansiyonel seramik braketler ve paslanmaz çelik oluklu seramik

braketlerin oluşturdukları sürtünme kuvvetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır.

Thorstenson ve Kusy (61) 2002 yılında yaptıkları çalışmada, pasif kapaklı Damon II ile aktif kapaklı In-Ovation, Speed ve Time kendinden bağlamalı braketleri sürtünme değerleri açısından karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, pasif kapaklı olan Damon II braketlerin herhangi bir ligasyon kuvveti ortaya çıkarmadığı, aktif kapaklı olan Speed, In-Ovation ve Time braketlerin ise artan ark teli boyutuyla orantılı olarak sürtünme kuvvetlerinde artış gösterdikleri bildirilmiştir.

Hain ve ark. (20) tarafından 2003 yılında yapılmış olan bir çalışmada, aktif kapaklı Speed kendinden bağlamalı braketlerin elastomerik modül ile ligatrlenmiş konvansiyonel braketlerden daha düşük sürtünme direncine neden olduğu ortaya koyulmuştur. İnsan tükürüğünde lubrike edilmiş olan Super Slick modüllerde ise sürtünme değerlerinin, Speed braketlerle elde edilen değerlerden daha düşük düzeylerde olduğu bildirilmiştir. Konvansiyonel paslanmaz elik braketlere gevşek olarak bağlanmış olan paslanmaz elik ligatür tüm ligasyon metotları içinde en düşük sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Tecco ve ark. (76) tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmada, konvansiyonel paslanmaz elik braketlerin sürtünme özellikleri kendinden bağlamalı pasif kapaklı Damon SL II ve aktif kapaklı Time Plus braketleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, Damon SL II braketlerin yuvarlak kesitli tellerle test edildiklerinde konvansiyonel elik braketler ve Time Plus braketlerden daha düşük sürtünme direncine neden oldukları, köşeli tellerin kullanıldığı test ekişlerinde ise daha yüksek sürtünme değerleri gösterdikleri bildirilmiştir.

2.3.4. Intraoral Değişkenlerin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

2.3.4.1. Tükürüğün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Tükürüğün ortodontik sistemlerde karşılaşılan sürtünme kuvveti üzerine etkisi yapılan birçok çalışmada araştırılmış ve çelişkili sonuçlar elde edilmiştir (34,38,79,88,89).

Baker ve ark. (88) 1987 yılında yapmış oldukları çalışmada, kuru, yapay tükürüklü ve gliserinli ortamda paslanmaz çelik braket ve paslanmaz çelik ark tellerinin ortaya çıkardıkları sürtünme değerlerini incelemiştir. Araştırma sonucunda, yapay tükürüğün sürtünme direncinde %15-%19 oranında bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak, özellikle xerostomialı hastalarda kullanılmak üzere üretilen yapay tükürük doğal insan tükürüğünün bütün yapısal özelliklerine ve fonksiyonlarına sahip olmadığı için sürtünme çalışmalarında kullanılması önerilmemektedir (11).

Kusy ve ark. (38) 1991 yılında yaptıkları çalışmada, doğal tükürüklü ve tükürüksüz ortamlarda dört farklı tel alaşımının paslanmaz çelik ve polikristalin alümina braketlerle ortaya çıkardıkları sürtünme dirençlerini araştırmışlardır. İnsan tükürüğü ortamında test edilen paslanmaz çelik braketler ve paslanmaz çelik teller arasında ortaya çıkan sürtünme değerlerinin kuru ortamla karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada beta titanyum tellerin tükürüklü ortamdaki kinetik sürtünme değerleri kuru ortamdaki değerlere göre %50 kadar azalma göstermiştir. Bu bulgular doğal tükürüğün kullanılan tel braket kombinasyonuna bağlı olarak kayganlaştırıcı ya da adeziv özellik gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Buna karşın **Ho ve West (79)** tarafından 1991 yılında yapılmış olan başka bir çalışmada, genel olarak lubrikasyonun sürtünme kuvvetinde düşüşe yol açtığı ve **Kusy ve ark.'nın (38)** bulgularının aksine beta titanyum teller için sürtünme değerlerinde artışa neden olduğu bildirilmiştir.

Tselepis ve ark.'nın (39) 1994 yılında yaptıkları çalışmada, **Baker ve ark.'nın (88)** bulgularına paralel olarak yapay tükürükle lubrikasyonun kullanılan braket ark teli kombinasyonları arasında ortaya çıkan sürtünme değerlerinde genel olarak düşüşe neden olduğu bildirilmiştir. Lubrikasyon sonucunda sürtünme kuvvetlerinde artış yalnızca polikristalin alümina ve monokristalin alümina braketlerin kullanıldığı kombinasyonlarda ortaya çıkmıştır.

Saunders ve Kusy (34) tarafından 1994 yılında yapılmış olan başka bir çalışmada, insan tükürüğünün beta titanyum ve nikel titanyum tellerin kullanıldığı testlerde sürtünme kuvvetlerini azalttığı, paslanmaz çelik tellerin kullanıldığı testlerde ise arttırdığı ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bildirilmiştir.

Rucker ve Kusy (89) 2002 yılında yaptıkları çalışmada, hem aktif hem de pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik tel ve braket kombinasyonları için tükürüklü ve kuru ortamların sürtünme değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark göstermediklerini ortaya koymuşlardır.

2.3.4.2. Oral Fonksiyonların Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkileri

Oral kavite çiğneme, yutkunma ve konuşma gibi çeşitli fonksiyonların gerçekleştirildiği dinamik bir ortamdır. Bu fonksiyonların ortaya çıkarttığı anlık ve periyodik titreşimlerle braket ve ark teli arasında açığa çıkan sürtünme kuvvetlerinin azaldığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır (86,90).

Braun ve ark. (90) 1999 yılında yaptıkları çalışmada, paslanmaz çelik braket ve ark teli kombinasyonları üzerine uyguladıkları 20 ile 200 gr arasındaki anlık titreşimler sırasında sürtünme kuvvetlerinin %95,8 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Liew ve ark. (86) tarafından 2002 yılında yapılmış olan çalışmada da ark telinin braket oluşu içinde deplase olmasının sürtünme kuvvetlerini %60-85 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

2.3.5. Ortodontik Aygıt Seçiminin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkiler

2.3.5.1. Retraksiyon İçin Uygulanan Kuvvetin Şiddetinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Tidy (2) 1989 yılında yaptığı çalışmada, sürtünme kuvvetinin retraksiyon için uygulanan kuvvet miktarıyla orantılı olarak arttığını bildirmiştir.

Omana ve ark. (10) da 1992 yılında yaptıkları bir çalışmada, braket materyalinin, braket genişliğinin, ark teli materyalinin ve braketteki yüklenmenin sürtünme kuvveti üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Diş hareketi sırasında brakette meydana gelen yüklenmeyi simüle etmek amacıyla 50, 75, 100, 125 ve 150 gr'lık kuvvetler uygulamışlardır. Araştırmanın sonuçları sürtünme kuvveti üzerinde en büyük etkiye braketteki yüklenmenin yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca aşırı kuvvetlerin, sürtünme kuvvetinde önemli artışla birlikte posterior bölgede belirgin ankraj kaybı potansiyeli oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir.

2.3.5.2. Kuvvet Uygulama Yerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Ark teli boyunca yapılan retraksiyon hareketi sırasında, uygulanan kuvvetin etki çizgisi dişin direnç merkezinin uzağından geçtiği için ortaya çıkan moment nedeniyle dişte distal yönde bir devrilme gerçekleşir ve bunun sonucunda tel ile braket arasında hem dikey hem de yatay doğrultuda sürtünmeler ortaya çıkar. Dişteki bu devrilmeyi azaltılmasıyla tel ile braket arasındaki sürtünmenin de azalması sağlanabilir (11). Bu amaçla kuvvetin etki çizgisini direnç merkezine daha yakın bir noktaya getirmek diş üzerine etki eden moment miktarı ve devrilmeyi azaltacaktır. Böylelikle diş ile braket arasında daha düşük sürtünme kuvvetleri açığa çıkacaktır (48).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Gereç

Farklı materyallerden üretilmiş olan braket ve ark teli kombinasyonlarının oluşturduğu sürtünme kuvvetlerinin araştırıldığı çalışmamızda Ormco, 3M Unitek, American Orthodontics ve Forestadent firmalarından temin edilen toplam 200 braket ve 200 tel örneği kullanılmıştır.

3.1.1. Braketler

Araştırmada incelenen braketlerin tümü 0.022 x 0.029 inç oluk çapında ve standart Roth değerlerine sahip olan üst premolar braketleridir. Çalışmada farklı materyallerden üretilmiş plan 5 çeşit braket kullanılmıştır. Bu braketler; Victory Series™ (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), Transcend 6000 Series™ (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), Clarity™ (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), Inspire Ice™ (Ormco Corporation, Glendora, CA, USA) ve Brilliant™ (Forestadent Pforzheim, Germany) markalı ürünlerdir (Tablo 3.1, Resim 3.1).

3.1.2. Ark telleri

Çalışmada 0.019x0.025 inç boyutunda olan Resilient Rectangular Wire™ (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) ve TMA Archwires™ (Ormco Corporation, Glendora, CA, USA) markalı ark teli ürünleri kullanılmıştır (Tablo 3.1, Resim 3.2).

3.1.3. Ligatür materyali

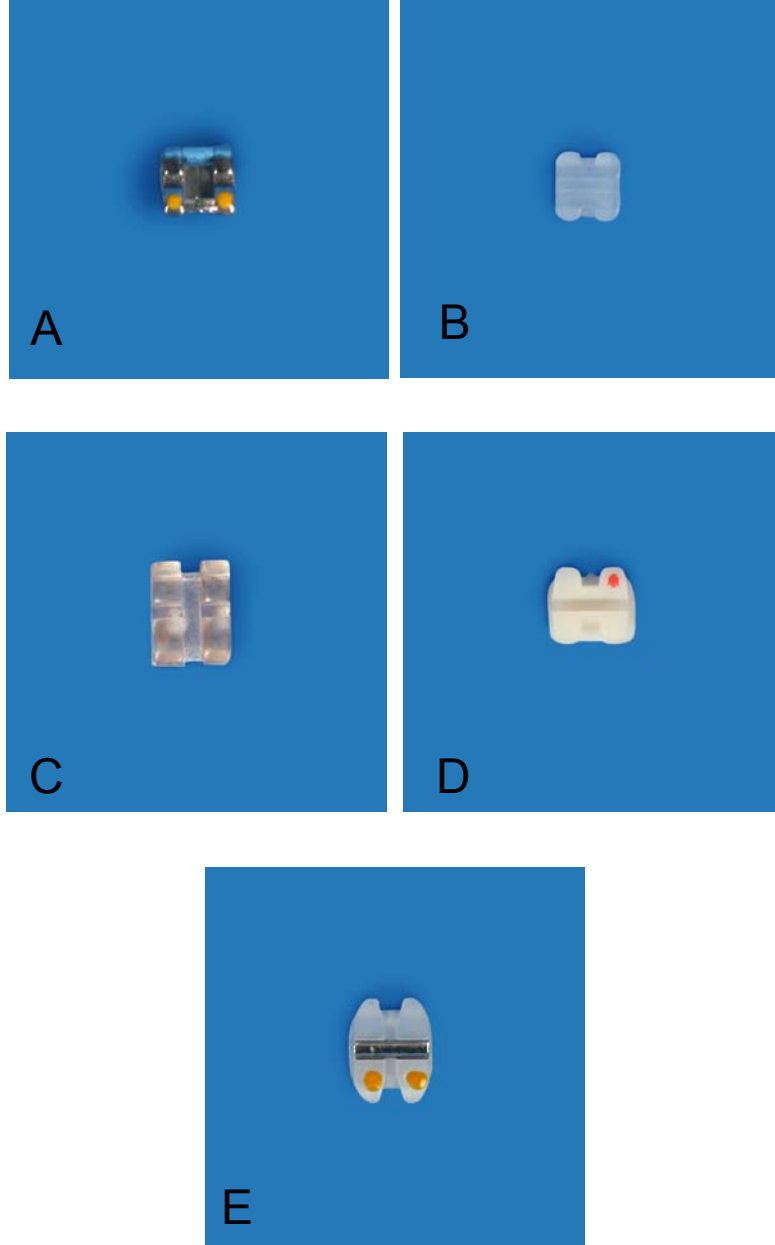
Ark tellerini braket olukları içine bağlamak amacıyla Colored Unistick Ligatures™ (American Orthodontics, Sheboygan, WI, USA) kullanılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan braket, ark teli ve ligatür materyalleri

Materyal	Ürün Adı	Dizayn	Boyut (inç)	Preskripsiyon		
				Angülasyon(°)	Tork(°)	Genişlik(mm)
Braket						
Paslanmaz çelik	Victory	Konvansiyonel	0.022x0.029	0	-7	3
Polikristalin alümina	Transcend	Konvansiyonel	0.022x0.029	0	-7	3,5
Polikristalin alümina	Clarity	Metal oluklu	0.022x0.029	0	-7	3
Monokristalin alümina	Inspire Ice	Konvansiyonel	0.022x0.029	0	-7	3
Plastik	Brilliant	Polioksimetilen	0.022x0.029	0	-7	3,5
Ark Teli						
Paslanmaz çelik	Rectangular		0.019x0.025			
Beta Titanyum	TMA		0.019x0.025			
Ligatür						
Elastik ligatür	Colored ligatures		0.115			

3.1.4. Sürtünme Testi

Sürtünme testi Tübitak UME Araştırma Bölümünde Z250 model no'lu Zwick/Roell Test cihazıyla yapılmıştır (Resim 3.3). Bu aygıtın biri sabit diğeri hareketli birbirine paralel konumda bulunan iki tablası bulunmaktadır. Hareketli olan üst parça vertikal yönde hareket edebilmektedir ve alete bağlı olan bilgisayar yardımıyla bu hareketler kaydedilmektedir. Bu şekilde her deney örneğine ait sürtünme değerleri kaydedilmiştir.



Resim 3.1. Çalışmada kullanılan braketler

A. Victory braket, **B.** Transcend braket, **C.** Inspire Ice braket, **D.** Brilliant braket, **E.** Clarity braket



Resim 3.2. Çalışmada kullanılan ark telleri **A.** TMA ark teli, **B.** Resilient Rectangular Ark Teli

3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem

Braket ve tel arasındaki sürtünmenin değerlendirilmesi için **Redlich ve ark.'nın (62)** araştırmalarında kullandıkları deney düzeneği çalışmamıza uyarlanmıştır.

Braket ve tel arasındaki sürtünmenin ölçüldüğü deney düzeneği test edilen braketleri taşıyan alüminyum metal bir çerçeveden oluşmaktadır (Resim 3.3). Braketler metal çerçeve üzerine alüminyum levhalar aracılığıyla bağlanmaktadır.

Test öncesinde braket ve ark teli örnekleri %95 'lik etanol ile temizlenip hava spreyi ile kurutulmuştur. Braketler önceden hazırlanmış olan alüminyum kaideler üzerine rezin bazlı yapıştırıcı, Pad Lock (Reliance Orthodontic Prod. Itasca, Illinois) ile yapıştırılmıştır. Braketlerin yapıştırılması sırasında braketin levhanın uzun eksenine dik olarak ve her defasında aynı şekilde yapıştırılabilmesi için özel olarak dizayn edilmiş braket yapıştırma aparatı kullanılmıştır (Resim 3.4.). Aynı aparat yardımıyla braket oluşunun yer düzlemine paralel konumlanması sağlanmış ve oluk içinde bulunan -7° 'lik tork değeri elimine edilmiştir. Bu şekilde üzerine braket yapıştırılmış olan alüminyum levha metal çerçeve üzerine vidalanmıştır. Alüminyum levhanın vidalanması sırasında, metal çerçeve üzerinde işaretlenen açı dilimleri yardımıyla braket ve ark teli arasında 0° ve 5° 'lik açılanmalar oluşturulabilmektedir. Böylece braket ve ark teli kombinasyonlarının 0° (pasif konfigürasyon) ve 5° 'lik (aktif konfigürasyon) angülasyonlarda açığa çıkardıkları sürtünme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Metal çerçeve Zwick/Roell Test cihazının sabit olan alt tablasına yerleştirilmiştir.

Değerlendirilecek olan ark teli örnekleri ise 15 cm'lik parçalar halinde kesildikten sonra bu tel parçalarının üst uçları Zwick/Roell Test cihazının tension loading cell (gerilim ölçer) hareketli üst parçasına bağlanmıştır. Tel örneğinin alt ucundan ise tel parçalarının testler sırasında eşit düzeyde gerilim göstermesi amacıyla 200 gr'lık ağırlık asılmıştır (Resim 3.3).

Ark teli örnekleri braket olukları içine elastomerik ligatürlerle bağlanmıştır. Bu işlem için ligatür tabancasından (Straight Shooter, TP Orthodontics, La Porte, Indiana, USA) faydalanılmış (Resim 3.5) ve böylelikle elastomerik ligatürlerde meydana gelebilecek muhtemel gerilim farklılıkları elimine edilmeye çalışılmıştır. Elastomerik ligatürler braketler üzerine testten hemen önce takılmıştır.

Sistem, ark telinin braket oluşu içinde 10mm/dk'lık bir hızla toplam 0.5 dakika süreyle hareket etmesine izin verecek şekilde ayarlanmıştır. Sistemin başlatılmasıyla birlikte braketin 0.5 dakika süreyle ve 5 mm'lik tel yüzeyi boyunca hareketi sırasında açığa çıkan statik sürtünme kuvveti gerilim ölçen kuvvet sensörü yardımıyla bağlı olduğu bilgisayara kaydedilmiştir. Statik sürtünme kuvveti hareketin başladığı andaki maksimum kuvvet ölçülerek kaydedilmiştir.

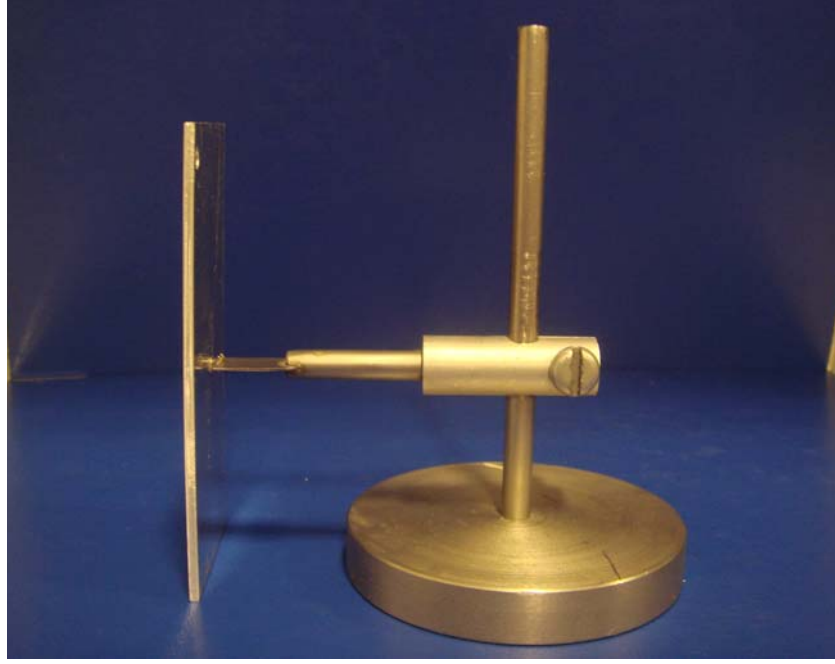
Deney süresi sona erdiğinde sistem durdurularak braket/ark teli bileşeni çıkartılıp bir sonraki test çekişi için yeni bir braket ve ark teli örneği kullanılmıştır. Her bir braket ark teli kombinasyonu için aynı işlem 10 defa tekrarlanmıştır. Tüm ölçümler oda sıcaklığında ve lubrikasyonsuz ortamda gerçekleştirilmiştir.

3.3 İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışmada istatistiksel analizler GraphPad Prisma V.3 paket programı ile yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel metotların (ortalama, standart sapma) yanı sıra gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal Wallis testi alt grup karşılaştırmalarında Dunn's çoklu karşılaştırma testi, ikili grupların karşılaştırmasında Mann-Whitney-U testi kullanılmıştır. Sonuçlar, anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.



Resim 3.3. Deney düzeneği; Zwick/Roell Test Cihazı ve braketin yerleştirildiği metal çerçeve



Resim 3.4. Braket yapıştırma aparatı



Resim 3.5. Straight Shooter ligatür tabancası

4. BULGULAR

4.1. Braket Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Farklı braket materyallerinin pasif (0° angülasyon) ve aktif (5° angülasyon) konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle oluşturduğu statik sürtünme kuvvetleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı braket materyallerinin aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle oluşturdukları statik sürtünme kuvveti farklılıklarının araştırıldığı Kruskal Wallis testi sonuçları . Değerler 'Ortalama ± Standart Sapma' olarak verilmiştir.

	Paslanmaz Çelik		TMA	
	0.Derece	5.Derece	0.Derece	5.Derece
Victory	3,2±0,23	3,76±0,48	3,63±0,19	4,72±0,28
Inspire	3,47±0,16	4,83±0,12	4,44±0,13	5,10±0,11
Clarity	3,26±0,11	3,74±0,17	3,80±0,23	4,79±0,31
Transcend	3,97±0,16	4,85±0,55	4,77±0,37	5,28±0,67
Brilliant	3,35±0,17	3,87±0,46	3,53±0,24	3,93±0,35
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Statik sürtünme açısından gruplar arasındaki farkın öneminin değerlendirildiği Kruskal Wallis testinin sonuçlarına göre (Tablo 4.1), braket materyalleri arasında hem pasif (0° angülasyon) hem de aktif (5° angülasyon) konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanıldıklarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık izlenmiştir.

Gruplar arasında görülen farklılığın hangi braket materyallerinden kaynaklandığını saptamak üzere yapılan Dunn's çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3' te görülmektedir.

Tablo 4.2. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik telle kullanıldıklarında gruplar arasında görülen farklılığın hangi braket materyalinden kaynaklandığını saptamak üzere yapılan Dunn's çoklu karşılaştırma testi.

Dunn's Çoklu Karşılaştırma Testi		
(Paslanmaz Çelik)	0.Derece	5.Derece
Victory / Inspire	P > 0.05	P < 0.01
Victory / Clarity	P > 0.05	P > 0.05
Victory / Transcend	P < 0.001	P < 0.01
Victory / Brilliant	P > 0.05	P > 0.05
Inspire / Clarity	P > 0.05	P < 0.01
Inspire / Transcend	P > 0.05	P > 0.05
Inspire / Brilliant	P > 0.05	P < 0.05
Clarity / Transcend	P < 0.001	P < 0.01
Clarity / Brilliant	P > 0.05	P > 0.05
Transcend / Brilliant	P < 0.01	P < 0.01

Tablo 4.3. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda beta titanyum telle kullanıldıklarında gruplar arasında görülen farklılığın hangi braket materyalinden kaynaklandığını saptamak üzere yapılan Dunn's çoklu karşılaştırma testi.

Dunn's Çoklu Karşılaştırma Testi		
(TMA)	0.Derece	5.Derece
Victory / Inspire	P < 0.05	P > 0.05
Victory / Clarity	P > 0.05	P > 0.05
Victory / Transcend	P < 0.001	P > 0.05
Victory / Brilliant	P > 0.05	P < 0.01
Inspire / Clarity	P < 0.05	P > 0.05
Inspire / Transcend	P > 0.05	P > 0.05
Inspire / Brilliant	P < 0.01	P < 0.01
Clarity / Transcend	P < 0.05	P > 0.05
Clarity / Brilliant	P > 0.05	P < 0.01
Transcend / Brilliant	P < 0.001	P < 0.001

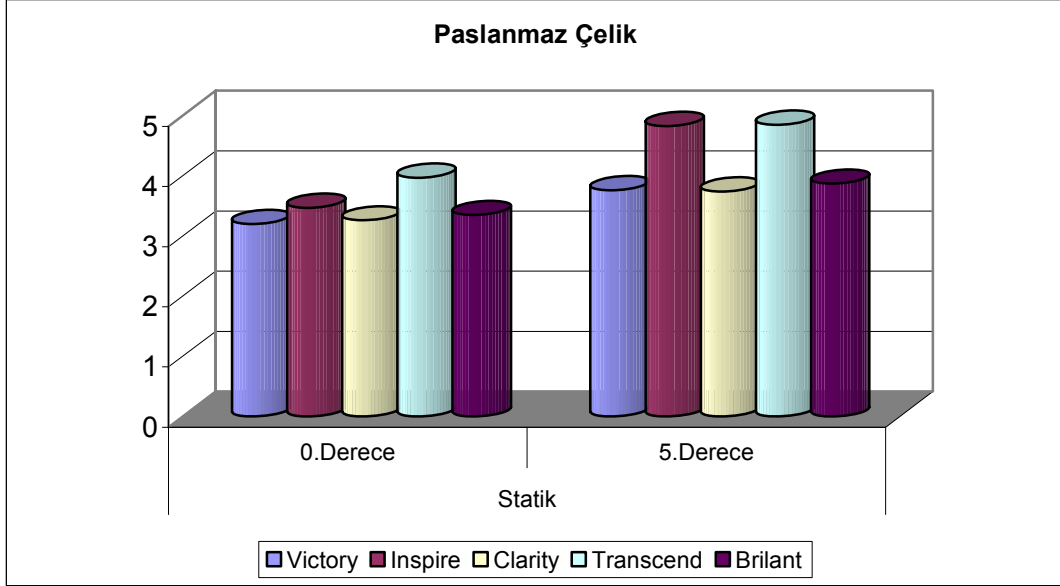
Bu sonuçlara göre paslanmaz çelik telle pasif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvveti 3,2 N ile Victory paslanmaz çelik braketlerde, en yüksek statik sürtünme kuvveti ise 3,97 N ile Transcend polikristalin alumina seramik braketlerde ortaya çıkmıştır. Victory, Clarity (paslanmaz çelik oluklu polikristalin seramik), Inspire Ice (monokristalin seramik) ve Brilliant (polioksümetilen) braketler sırasıyla 3,2 N, 3,26 N, 3,47 N, 3,35 N ile benzer sürtünme değerleri göstermişlerdir. Victory, Clarity ve Brilliant braketler Transcend braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme kuvvetlerine neden olmuşlardır. Inspire Ice ile Transcend braketler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık izlenmemiştir (Şekil 4.1).

Paslanmaz çelik telle aktif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvveti 3,74 N ile Clarity braketlerde, en yüksek statik sürtünme kuvveti ise 4,85 N ile Transcend braketlerde ortaya çıkmıştır. Clarity, Victory ve Brilliant braketler sırasıyla 3,76 N, 3,74 N ve 3,87 N' luk değerlerle benzer sürtünme kuvvetleri ortaya çıkarmışlardır. Inspire Ice ve Transcend braketler de 4,83 N ve 4,85 N' luk kuvvetlerle benzer sürtünme kuvvetleri göstermişlerdir. Inspire Ice ve Transcend braketlerin Clarity, Victory ve Brilliant braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme kuvveti ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir (Şekil 4.1).

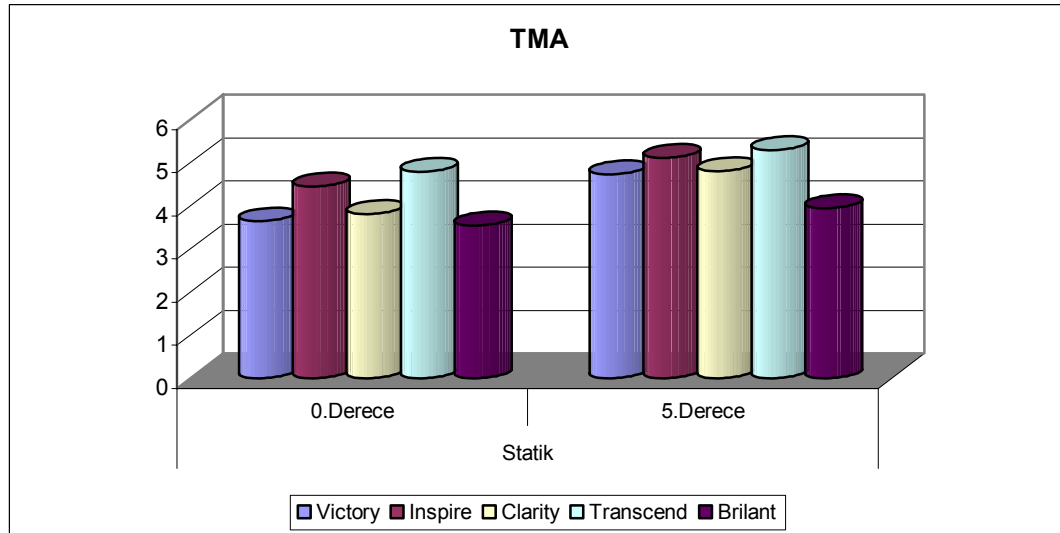
Beta titanyum telle pasif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvveti 3,53 N ile Brilliant braketlerde, en yüksek statik sürtünme kuvveti ise 4,77 N ile Transcend braketlerde ortaya çıkmıştır. Inspire Ice braket 4,44 N ile Transcend braketle benzer sürtünme kuvveti göstermiştir. Victory, Clarity ve Brilliant braketler sırasıyla 3,63 N, 3,80 N, 3,53 N ile benzer sürtünme kuvvetleri açığa çıkarmışlardır. Transcend ve Inspire Ice braketlerin Victory, Clarity ve Brilliant braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme değerlerine neden oldukları tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

Beta titanyum telle aktif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvveti 3,93 N ile Brilliant braketlerde, en yüksek statik sürtünme kuvveti ise 5,28 N ile Transcend braketlerde ortaya çıkmıştır. Victory, Inspire Ice,

Transcend ve Clarity braketler sırasıyla 4,72 N, 5,10 N, 5,28 N ve 4,79 N'lık kuvvetlerle benzer sürtünme kuvvetleri göstermişlerdir ve Brilliant braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme kuvvetleri ortaya çıkarmışlardır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Braket materyallerinin paslanmaz çelik tel ile oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması



Şekil 4.2. Braket materyallerinin beta titanyum tel ile oluşturdukları sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması

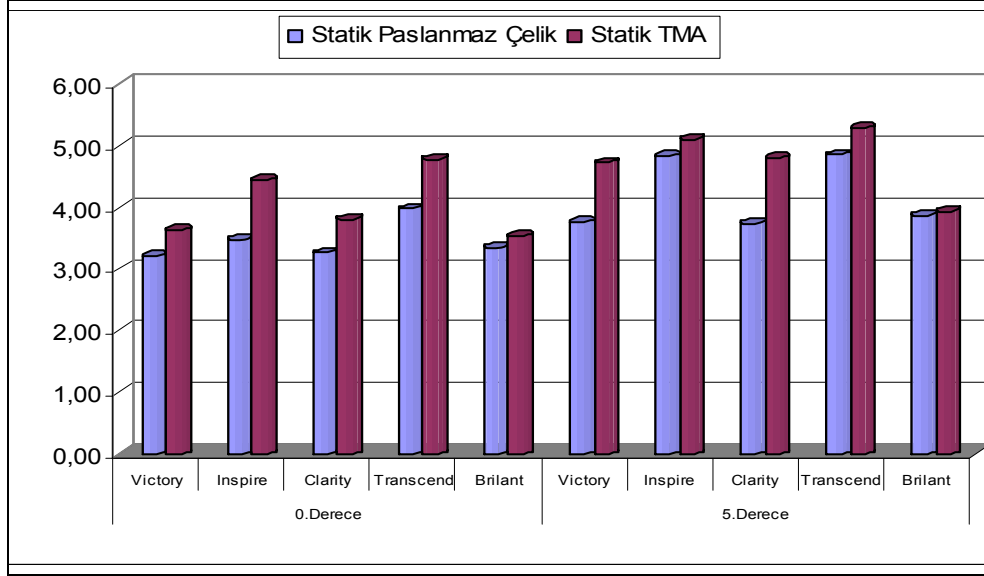
4.2. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Paslanmaz çelik ve beta titanyum tel materyallerinin farklı braket materyalleri ile ortaya çıkardıkları statik sürtünme kuvvetleri tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Paslanmaz çelik ve beta titanyum ark teli materyallerinin farklı braket materyalleri ile kullanılmaları sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Man-Whitney-U testinin sonuçları

Paslanmaz				
	Çelik	TMA	P	
	Victory	3,2±0,23	3,63±0,19	0,0001
	Inspire	3,47±0,16	4,44±0,13	0,0001
	Clarity	3,26±0,11	3,80±0,23	0,0001
	Transcend	3,97±0,16	4,77±0,37	0,0001
0.Derece	Brilliant	3,35±0,17	3,53±0,24	0,082
	Victory	3,76±0,48	4,72±0,28	0,001
	Inspire	4,83±0,12	5,10±0,11	0,049
	Clarity	3,74±0,17	4,79±0,31	0,0001
	Transcend	4,85±0,55	5,28±0,67	0,001
5.Derece	Brilliant	3,87±0,46	3,93±0,35	0,545

Bu sonuçlara göre hem pasif hem de aktif konfigürasyonlarda Brilliant braketler hariç tüm braket materyalleri için beta titanyum ark teli materyalinin paslanmaz çelik tele göre daha yüksek sürtünme kuvvetine neden olduğu tespit edilmiştir. Brilliant braketlerde ise beta titanyum telde sürtünme kuvvetinde meydana gelen artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Ark Teli materyallerinin oluşturduğu sürtünme kuvvetlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması

4.3. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci Düzen Angülasyonun Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkileri

Farklı braket ve ark teli materyalleri için braket ve ark teli arasında oluşturulan ikinci düzen angülasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkilerinin değerlendirildiği Man-Whitney-U testinin sonuçları tablo 4.5 te verilmiştir.

Tablo 4.5. Braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angülasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkisinin değerlendirildiği Man-Whitney-U testinin sonuçları.

Paslanmaz Çelik	0.Derece	5.Derece	P	TMA	0.Derece	5.Derece	p
Victory	3,2±0,23	3,76±0,48	0,013	Victory	3,63±0,19	4,72±0,28	0,0001
Inspire	3,47±0,16	4,83±0,12	0,0001	Inspire	4,44±0,13	5,10±0,11	0,001
Clarity	3,26±0,11	3,74±0,17	0,0001	Clarity	3,80±0,23	4,79±0,31	0,0001
Transcend	3,97±0,16	4,85±0,55	0,001	Transcend	4,77±0,37	5,28±0,67	0,049
Brilliant	3,35±0,17	3,87±0,46	0,006	Brilliant	3,53±0,24	3,93±0,35	0,013

Bu sonuçlara göre tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında braket ve ark teli arasında ikinci düzen angülasyonun oluşturulmasıyla birlikte statik sürtünme kuvvetlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış olduğu tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Ortodontik diş hareketi biyolojik ve mekanik birçok faktörlerin etkileşmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Hareketin başlaması ve devam etmesinde etkili olan en önemli faktör ise kuvvet unsurudur. Ortodontik diş hareketi sırasında dişe optimum ortodontik kuvvet uygulanmalıdır. Optimum ortodontik kuvvet minimum doku hasarıyla birlikte maksimum biyolojik cevap oluşturan en hafif kuvvet olarak tanımlanmaktadır (23).

Ortodontik tedavi sırasında diş hareketinin gerçekleştirilebilmesi için sürtünmeli (sliding mekanikler) ya da sürtünmesiz mekanikler kullanılmaktadır. Özellikle sliding mekaniklerin kullanıldığı klinik şartlarda açığa çıkan sürtünme kuvveti multifaktöryel bir olaydır. Sürtünme kuvveti ve bu kuvveti etkileyen faktörler hakkında klinisyenin bilgi sahibi olması son derece önemlidir; çünkü ortodontik tedavi sırasında ark telinin braketten ya da braketin ark telinden kaydığı tüm durumlarda sürtünme kuvveti açığa çıkar ve bu kuvvet dişe uygulanan kuvvet miktarını düşürerek dişin istenen yöndeki hareketine engel olur.

Braket ve ark teli özellikleri, ligasyon materyali ve tekniği, ortodontik aygıt seçimi ve bazı biyolojik değişkenler ortodontik diş hareketi sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetini etkileyen başlıca faktörlerdir. Eğer bu etkiler daha iyi anlaşılır ve en aza indirilebilirse ortodontik apareylerin etkinliğinin ve diş hareketinin öngörülebilirliğinin artacağı bir gerçektir. Bu artış ise hasta başında geçirilen süreyi ve toplam tedavi süresini azaltarak klinik başarıyı arttıracaktır.

Günümüzde ortodonti pratiğinde gelişen ortodontik materyal teknolojisi sayesinde artık çeşitli braket, ark teli ve ligasyon materyali alternatifleri bulunabilmektedir. Özellikle kozmetik arayış içinde olan hastalar için üretilen estetik braketlere hergün bir yenisı eklenmektedir. Ancak bugün mevcut olan geniş materyal yelpazesi klinik kullanım sırasında birçok kombinasyonun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu çeşitlilik ise sliding mekanikler sırasında açığa

çıkan sürtünme direnci düzeyinde değişkenlikleri de beraberinde getirmektedir.

Bu araştırmada biri konvansiyonel paslanmaz çelik diğer dördü ise estetik olmak üzere toplam beş braketin paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanıldıklarında ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca braket ve ark teli arasında ikinci düzen açılanmanın olduğu durumların değerlendirilmesi amacıyla braket ve ark teli numuneleri 0 ve 5 derecelik angülasyonlarda test edilmişlerdir.

Ortodonti literatürü incelendiğinde, sürtünme üzerine yapılan araştırmalarda önemli bir konu dikkat çekmektedir. Kullanılan deneysel teknikler birçok değişken içermektedir. Bunlar arasında;

1) Farklı üretici firmalardan elde edilen, yapısal olarak farklı yüzey bitirme özelliği, farklı sertlik ve katılık gösteren ark teli ve braketlerin kullanılmış olması

2) Farklı kayma hızları

3) Farklı ligasyon şekli

4) Braketler yerine levhaların kullanılmış olması

5) Tipodont modellerin kullanılmış olması

6) Braketin sabit bir parçaya veya iki ya da daha fazla düzlemde hareket edebilen bir parça üzerine bağlanması yer alır

Farklı braket ve ark teli materyallerinin ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetlerinin ölçüldüğü bu in vitro çalışmada metodoloji, **Redlich ve ark. (62)** tarafından 2003 yılında yapılmış olan sürtünme çalışmasına benzer şekilde planlanmıştır. Sürtünme deneyinde kullanılacak olan test düzeneğinde aranan en önemli özellik, braket ve ark teli numunelerinin düzenek üzerine her defasında hassas olarak ve aynı şekilde yerleştirilebilir olmasıdır. Redlich ve ark. tarafından dizayn edilmiş olan test düzeneğinin bu gereksinimlere en iyi şekilde cevap vermesi nedeniyle aynı düzenek çalışmamıza uyarlanmıştır.

Braketlerin daha hassas şekilde konumlandırılmasına imkan sağlamak amacıyla bu çalışma için özel olarak dizayn edilmiş olan braket yapıştırma aparatı kullanılmıştır. Bu düzenek, braketin yapıştırılması sırasında braket olukları içinde yer alan - 7° 'lik tork miktarının da elimine edilmesine yardımcı olmuştur.

Test örneklerinin hazırlanması sırasında, ark tellerinin braketlere ligasyonu elastomerik ligatürler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sırada ligasyon kuvvetinin standardize edilmesi elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, daha önce literatürde belirtildiği şekilde elastomerik ligatürlerin braketler etrafına uygulanması sırasında ligatürlerin her defasında eşit miktarda gerilmesini sağlayan ligatür tabancası kullanılmıştır (36,47). Daha önce yapılmış bazı çalışmalarda olduğu gibi elastomerik ligatürler braketler üzerine testten hemen önce takılmıştır (44,62). Böylelikle elastomerik ligatürde meydana gelebilecek gerilim farklılıkları önlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada deney hızı **Redlich ve ark.'nın (62)** çalışmalarına benzer şekilde 10mm/dk olarak belirlenmiştir. Bu hız standart olarak seçilmiştir çünkü; **Ireland ve ark. (44)** 1991 yılında yapmış oldukları pilot çalışmada 0.5, 1, 5, 10, 20 ve 50 mm/dk'lık hızlar kullanılarak yapılan sürtünme ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamışlardır.

Araştırmada sürtünme kuvvetleri, braket ve ark teli arasında 0° (pasif konfigürasyon) ve 5°'lik açılanmalarının (aktif konfigürasyon) olduğu durumlar için ölçülmüştür. Literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarda aktif konfigürasyonda braket ve ark tellerinin daha yüksek angülasyonlarda da test edildiği göze çarpmaktadır. **Cha ve ark. (49)** yaptıkları sürtünme deneyinde braket ve ark tellerini 0°, 5°, 10° ve 15°'de test etmişlerdir. **Rajakulendran ve ark. (50)** da deneylerinde 0°, 5° ve 10°'lik açılanmalar kullanmışlardır. **Thorstenson (41)** ve ark. ise -12° ile 12°'ler arasında değişen 32 farklı açıda testlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, aktif konfigürasyonda test edilecek olan ikinci düzen angülasyon şu şekilde tespit edilmiştir; öncelikle araştırmada

kullanılan braket tipleri için kritik temas açısı hesaplanmıştır. Bu amaçla **Kusy ve ark. (54)** tarafından oluşturulan formül kullanılmıştır:

$$\Theta_c = \frac{57.32[1-(\text{ark teli boyutu/oluk çapı})]}{(\text{Braket genişliği/braket oluk çapı})}$$

Bu formül yardımıyla braket ve ark teline ait olan geometrik parametreler kullanılarak farklı braket ve ark teli kombinasyonları için kritik temas açısı (Θ_c) hesaplanabilir. Sonuç olarak, çalışmamızda kullanılan braketler için ortalama kritik temas açısı değeri 2° olarak tespit edilmiştir. Bu durumda pasif konfigürasyonda 0° 'lik açıyla test edilen braketlerin aktif konfigürasyonda 5° 'lik açıda test edilmelerine karar verilmiştir. 5° 'den yüksek olan açı değerlerinin, 2° 'lik kritik temas açısına sahip olan braketler ve teller arasında oluşturulmasının tel yüzeyinde şiddetli çentiklenme ve fiziksel hasar ortaya çıkartabilecekleri düşüncesiyle bu açı değerleriyle sürtünme testleri gerçekleştirilmemiştir.

Bu araştırmada braket ve ark teli arasında ortaya çıkan statik sürtünme kuvveti değerleri incelenmiştir. Kinetik sürtünme kuvvetleri ise dikkate alınmamıştır; çünkü ortodontik diş hareketi sırasında braketin ark teli üzerinde kayması sürekli bir hareket değildir ve bir cismin diğer bir cisim üzerinde kinetik sürtünme kuvvetini yenmek suretiyle kayması şeklinde gerçekleşmez. Diş hareketi devrilme ve dikleşme hareketlerinden oluşan küçük adımlar şeklinde gerçekleşir ve her adımda diş hareketinin tekrar başlayabilmesi için statik sürtünme kuvvetinin yenilmesi gerekmektedir (4,10,12,62).

5.1. Braket Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Ortodontik braketler ortodontik apareylerin en önemli unsurudur. Tedavi sırasında, sliding mekaniklerin kullanıldığı durumlarda ya braketin ark teli boyunca ya da ark telinin braket oluşu içinde kayması sonucunda diş hareketi gerçekleşir. Bu kayma hareketi sırasında açığa çıkan sürtünme kuvvetini etkileyen en önemli faktörlerden biri braket materyalidir.

Paslanmaz çelik, günümüzde hala en yaygın olarak kullanılan braket materyalidir. Bunun yanında, hastaların artan estetik beklentilerinin karşılanması amacıyla firmalar her gün yeni bir estetik braket türü üretmektedirler. Bu çalışmada, farklı materyallerden üretilmiş olan dört çeşit estetik ve bir çeşit paslanmaz çelik olmak üzere toplam beş tip braket kullanılmıştır.

Victory braket, paslanmaz çelikten üretilen konvansiyonel bir metal braket türüdür. Transcend, polikristalin alumina yapısında olan konvansiyonel bir seramik braket tipidir. Clarity ise yine polikristalin aluminadan üretilen ancak oluk kısmı paslanmaz çelik materyal ile kaplanmış olan diğer bir estetik braket türüdür. Inspire Ice monokristalin alumina yapıdaki seramik braketdir. Brilliant ise polioksümetilenden üretilmiş olan plastik braket çeşitidir.

Bu çalışmanın sonuçları braket materyalinin sürtünme kuvveti üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda, paslanmaz çelik telle birlikte kullanıldığında en yüksek sürtünme kuvvetlerini Transcend braket açığa çıkarmıştır. Transcend braket, 0° ve 5°'lik angülasyonlarda benzer sürtünme özellikleri gösteren Victory, Clarity ve Brilliant braketlerden daha yüksek sürtünme kuvvetlerine neden olurken, Inspire Ice braketler ile arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Inspire Ice braket pasif konfigürasyonda Victory, Clarity ve Brilliant braketlerle benzer sürtünme kuvvetleri açığa çıkarmıştır. Ancak aktif konfigürasyona geçildiğinde Inspire Ice braket ile paslanmaz çelik ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvveti değerleri ani ve hızlı bir artış göstererek Inspire Ice braketin Victory, Clarity ve Brilliant braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme değerleri ortaya çıkarmasına neden olmuştur.

Braketlerin beta titanyum telle test edildiği deneylerin sonuçları ise gene Transcend braketin aktif ve pasif konfigürasyonlarda en yüksek sürtünme değerlerini ortaya çıkardığını göstermektedir. Beta titanyum telle en düşük sürtünme kuvvetleri ise Brilliant braketlerde ortaya çıkmıştır. Pasif

konfigürasyonda beta titanyum telle Transcend için elde edilen değerler Victory, Clarity ve Brilliant braketlerden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunurken, Inspire Ice braket ile Transcend braket benzer sürtünme değerleri göstermişlerdir. Aktif konfigürasyonda ise Transcend gene en yüksek sürtünme değerlerini açığa çıkarmıştır, ancak Transcend, Inspire Ice , Victory ve Clarity braketler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak bu bulgu incelendiğinde Transcend braket için elde edilmiş olan ortalama sürtünme kuvveti değerinin Victory ve Clarity braket tipi için elde edilmiş olan değerlerden %10 daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Dunn's çoklu karşılaştırma testi Transcend braketin sürtünme değerindeki %10 'luk bu artışın istatistiksel olarak anlamsız olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte bu artışın klinik olarak anlamlılık taşıyabileceği düşünülmektedir.

Bu araştırmada elde edilen bulgularla uyumlu olarak **Tselepis ve ark. (39)**, **Dickson ve ark. (43)**, **Wadhwa ve ark. (36)**, **Loftus ve ark. (42)**, **Kusy ve ark. (38)**, **Thorstenson ve ark. (41)**, **Cacciafesta ve ark. (19)** ve **Nishio ve ark. (40)** da polikristalin alumina braketin paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle birlikte kullanıldığında, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alumina ve paslanmaz çelik braket çeşitlerinden daha yüksek sürtünme değerlerine neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Ireland ve ark. (44), **Downing ve ark. (51)** ve **Rajakulendran ve ark. (50)** ise çalışmamızda tespit edilen sonuçların aksine pasif konfigürasyonda polikristalin alumina braketin paslanmaz çelik braketten daha düşük sürtünme değerleri ortaya çıkardığını bildirmişlerdir. Bu araştırmalarda çalışmamızda test edilen polikristalin alumina braketle aynı braket kullanılmıştır, ancak test edilen paslanmaz çelik braketler başka firmalar tarafından üretilmiştir. Ayrı firmaların ürettikleri paslanmaz çelik braketlerin birbirlerinden farklı yüzey sertliği ve konfigürasyonu gösterme olasılığı nedeniyle bu çalışmada elde edilen bulguların araştırmamızda elde edilen sonuçlardan farklı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan birçok araştırmada, polikristalin seramik braketlerin sürtünme kuvvetindeki artış büyük oranda bu braketlerin artmış yüzey pürüzlülüğüne ve porzitesine bağlanmıştır (19,36,40,42). Otrler SEM ile değerlendirilmeleri sonucunda polikristalin alumina braketlerin paslanmaz elik braketlerden daha pürüzlü bir yüzey yapısı sergilediklerini belirtmişler ve bunu polikristalin alumina braketlerde izlenen sürtünme değerlerindeki artışın bir sebebi olarak göstermişlerdir.

Ancak, bazı araştırmacılar seramik braketlerin daha yüksek sürtünme direncine neden olmasında bu braketlerin yüzey pürüzlülüğünden daha başka etkenlerin de rol oynayabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Omana ve ark. (10) SEM ile incelenmesi sonucunda polikristalin alumina braketten daha düzgün yüzey özellikleri gösteren Starfire (A Company) monokristalin braketinin beklenenin aksine araştırmada kullanılan polikristalin braketle benzer sürtünme kuvveti değerleri gösterdiğinin altını çizmişlerdir.

Keith ve ark. (35) polikristalin alumina braketlerle zirkonya braketleri karşılaştırdıkları çalışmalarında, daha düzgün yüzey özellikleri göstermelerine rağmen zirkonya braketlerin polikristalin braketlerle benzer sürtünme özellikleri gösterdiklerini rapor etmişlerdir.

Kusy (91) de seramik braketlerde açığa çıkan yüksek sürtünme kuvvetlerinin seramiğin yüzey yapısından ziyade bu materyalin kimyasal yapısıyla açıklanabileceğini vurgulamıştır. Seramik materyaller metal ve ametal atomların belli şekillerde bir araya gelmesiyle oluşurlar. Bağların iyonik ve kovalent doğası nedeniyle kayma hareketinin gerçekleşmesi güçtür çünkü pozitif ve negatif yüklü iyonlar deformasyona karşı ilave bir enerji bariyeri oluştururlar. Kusy seramiğin bu intrinsik kimyasal yapısı nedeniyle yüksek sürtünme değerleri açığa çıkardığını belirtmiştir. Bu görüş çalışmamızda kullandığımız ve polikristalin alumina yapısındaki Transcend brakete göre daha homojen ve saf bir kristal yapısı olan Inspire Ice monokristalin braketin neden Transcend braketle benzer sürtünme özellikleri gösterdiğini açıklamaktadır.

Araştırmamız polikristalin alumina ve monokristalin alumina yapısındaki braketlerin hem aktif hem de pasif konfigürasyonlarda her iki tel materyali ile birlikte test edildiklerinde benzer sürtünme özellikleri gösterdiklerini ortaya koymuştur. Transcend brakete göre daha homojen ve saf bir yüzey yapısı olan Inspire Ice braketin Transcend braketle benzer sürtünme özellikleri göstermesi gene yüzey pürüzlülüğünün braket ve ark teli arasında açığa çıkan sürtünme kuvvetleri üzerinde etkili olmadığına işaret etmektedir. Bu bulgu çalışmalarında polikristalin alumina ve monokristalin alumina braketleri kullanan **Omana ve ark. (10)**, **Tselepis ve ark. (39)** ve **Saunders ve Kusy'nin (34)** bulgularıyla uyumlu bulunmuştur.

Cha ve ark. (49) ise bulgularımızdan farklı olarak paslanmaz çelik telle aktif konfigürasyonda polikristalin alumina braketin monokristalin alumina braketten daha yüksek sürtünme değerleri açığa çıkardığını bildirmişlerdir. Beta titanyum telle pasif konfigürasyonda da bulgularımızdan farklı olarak monokristalin alumina braketin polikristalin alumina braketten istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek sürtünme direncine neden olduğunu ve 5°lik aktif konfigürasyona geçildiğinde, polikristalin braketin sürtünme kuvvetlerinde şiddetli bir artış göstermesi sonucunda monokristalin braketten daha yüksek değerlere ulaştığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar çalışmalarında elastomerik ligatürle gerçekleştirdikleri ligasyon işlemi sırasında, ligatür materyali braketlerin çevresine bağlandığı sırada modüllerin farklı gerilim göstermesini engellemek için nasıl bir metot uyguladıklarını bildirmemişlerdir. Sürtünme deneyi sırasında ligasyon tekniğinin standardize edilmemiş olması braket oluşu üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin değişkenlik göstermesine neden olacaktır ve sürtünme deneyi sonuçlarını etkileyecektir. Bu durum, **Cha ve ark.'nın** elde ettikleri sonucun araştırmamızdaki bulgularla neden uyumlu olmadığını açıklayabilir.

Bazakidou ve ark. (46) da 0.022 inç oluk çaplı braketlerde genel olarak polikristalin alumina braketlerin monokristalin yapıdaki braketlere göre daha yüksek sürtünme direncine neden olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlar arasındaki bu uyumsuzluk büyük oranda deneysel modellerdeki farklılıklardan

kaynaklanıyor olabilir. Bazakidou ve ark. çalışmalarında braketin linear ve rotasyonel hareketlerine izin veren ve böylelikle her test çekişi öncesinde braket ve telin kendi aralarında hizalanmalarını sağlayan bir düzenek kullanmışlardır. Burada telin braket içinde pasif olarak konumlandırılması gözle tayin edilmiş olup telin braket oluşu içine açılı olarak yerleşmesi engellenmeye çalışılmıştır. Bu düzenekte braket ve telin her defasında aynı şekilde konumlandırılmış olması pratikte mümkün değildir. Bazakidou ve ark.'nın araştırma sonuçları çalışmamızın sonuçlarıyla bu metot farklılığı nedeniyle uyum göstermemiş olabilir.

Çalışmamızda kullanılan paslanmaz çelik oluklu seramik braket (Clarity) genel olarak polikristalin alumina (Transcend) braketten daha düşük sürtünme değerleri açığa çıkarmıştır ve paslanmaz çelik braketle istatistiksel olarak benzer sürtünme değerleri göstermiştir. Bu bulgu araştırmalarında aynı tip braketleri karşılaştırmış olan **Thorstenson ve ark. (41)**, **Kusy ve ark. (52)**, **Wadhwa ve ark. (36)**, **Dickson ve ark. (43)**, **Loftus ve ark. (42)**, **Cacciafesta ve ark. (19)** ve **Nishio ve ark. (40)**'nın elde ettikleri sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Bu durumda Clarity braketin yapısında bulunan metal oluk sayesinde konvansiyonel seramik braketten çok paslanmaz çelik bir braket gibi davrandığı sonucuna varılabilmektedir.

Araştırmamızda kullanılan polioksümetilen yapısındaki braket (Brilliant) genel olarak paslanmaz çelik braketle benzer sürtünme değerleri açığa çıkarmıştır ve beta titanyum telle aktif konfigürasyonda test edildiğinde araştırmada kullanılan diğer tüm braket çeşitlerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük sürtünme değerleri göstermiştir. Forestadent firması termoplastik bir mühendislik polimeri olan polioksümetileni braket üretiminde kullanmıştır ve bu materyalin renkleşme ve aşınmaya karşı direnç gösterirken aynı zamanda sürtünme kuvvetlerini de düşürdüğünü ileri sürmüştür. Araştırmamız polioksümetilen polimerinin plastik braketlerde sürtünme kuvvetlerini azalttığını ve bu materyalden üretilmiş olan Brilliant braketin genel olarak paslanmaz çelik braketlerle benzer sürtünme özellikleri gösterdiğini ortaya koymuştur.

5.2. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Paslanmaz çelik ve beta titanyum ark teli materyallerinin sürtünme kuvveti üzerine etkilerinin değerlendirildiği çalışmamızın sonuçları beta titanyum telin genel olarak en yüksek sürtünme değerlerini açığa çıkardığını göstermektedir. Ancak beta titanyum ark teli pasif ve aktif konfigürasyonlarda Brilliant braketlerle kullanıldığında paslanmaz çelik tel ile istatistiksel olarak benzer sürtünme değerleri açığa çıkarmıştır.

Araştırmamızda elde edilen bu bulgu ile uyumlu olarak en yüksek sürtünme kuvvetinin beta titanyum tellerde izlendiğini destekleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (10,15,19,21,24,25,34,36,40,70,71,74).

Bu çalışmalardan bazılarında (24,36,40) araştırmacılar beta titanyum telde açığa çıkan yüksek sürtünme kuvvetini bu tel materyalinin yüzey pürüzlülüğünün paslanmaz çelik tele göre daha fazla olmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Ancak bugün artık ark tellerinin oluşturduğu sürtünme kuvvetleri arasındaki farkın sadece ark teli materyallerinin yüzey tekstürlerindeki farkla açıklanamayacağı bilinmekte ve konuyla ilgili yapılmış çalışmalar tarafından desteklenmektedir (38,64,78).

Kusy ve ark. (38,64) 1990 ve 1991 yıllarında yapmış oldukları çalışmalarda paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerin SEM ve laser spekülömlü yansıtma tekniklerini kullanarak yüzey pürüzlülüklerini ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüklerinin nicelik olarak nikel titanyum (en pürüzlü) > beta titanyum > kobalt krom > paslanmaz çelik sırasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Tükürüksüz ortamda kinetik sürtünme katsayısının, tüm paslanmaz çelik tel kombinasyonları için en düşük, beta titanyum tel kombinasyonları için en yüksek değerleri gösterdiğini rapor etmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme kuvvetinin özellikle beta titanyum teller için her zaman yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olmadığı ve nikel titanyum teller beta titanyum tellerden daha pürüzlü oldukları halde nikel titanyum tellerin daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir.

Prososki ve ark. (78) tarafından 1991 yılında yapılmış olan bir çalışmada, yüzey profilometresi ile dokuz farklı nikel titanyum, bir paslanmaz çelik , bir krom kobalt ve bir beta titanyum telin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Araştırmacılar bu ölçümleri tellerin sürtünme değerleriyle karşılaştırdıklarında, nikel titanyum telin paslanmaz çelik tele göre daha pürüzlü bir yüzey yapısı olduğu halde daha düşük sürtünme kuvveti oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca nikel titanyum teller arasında en düzgün yüzeye sahip olanın en yüksek sürtünme kuvvetine yol açtığına dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, dokuz farklı nikel titanyum telin yüzey pürüzlülükleri ve sürtünme özellikleri arasında istatistiksel olarak fark bulunduğunu fakat bu iki parametre arasında anlamlı bir korelasyon olmadığını çizmişlerdir.

Çalışmamızda beta titanyum tel için elde edilen yüksek sürtünme değerleri **Kusy ve ark. (64) tarafından** 1990 yılında yapılmış olan araştırma sonuçları ile açıklanabilmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında dört farklı tel alaşımını paslanmaz çelik ve polikristalin alumina plaklar üzerinde eşit mesafede kaydırmışlar ve tellerin plak yüzeyinde oluşturdukları değişiklikleri EDX (energy dispersive X-ray analizi) ile değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme sonucunda, kobalt krom telin kaydırıldığı yüzeyde hiç kobalt tespit edilmezken, nikel titanyum telin kaydırıldığı sahada bir miktar titanyum debris izlenmiştir. Beta titanyum telin kaydırıldığı yüzeyde ise fazla sayıda titanyum partiküllerine rastlamışlardır. Bu X-ray elemental analizi sonucunda araştırmacılar beta titanyum tellerin yüksek sürtünme katsayısının sebebi olarak beta titanyum ark teli materyalinin mekanik abrazyonunu ve braket yüzeyine adezyonunu göstermişlerdir.

Araştırmamızın sonuçları beta titanyum telin pasif ve aktif konfigürasyonlarda, Brilliant braket ile test edildiğinde paslanmaz çelik tel ile benzer sürtünme değerleri açığa çıkardığını ortaya koymaktadır. Brilliant braket polioksümetilen yapısında olan estetik bir braket türüdür. Seramikler genellikle braket üretiminde kullanılan metallere göre daha serttirler. Metaller ise plastikten daha fazla sertlik gösterirler (6). **Zinelis ve ark. (92)** tarafından 2005 yılında yapılmış olan bir çalışmada da braket üretiminde kullanılan polikristalin alumina,

polikarbonat, polietilen ve polioksümetilen materyalleri yüzey sertlikleri açısından karşılaştırılmışlardır. Bu çalışmada yapılan Vicker's mikrosertlik testi sonuçları polioksümetilenin araştırmada kullanılan diğer polimerlerden daha fazla yüzey sertliği gösterdiğini, ancak polikristalin alüminanın polioksümetilenden 100 misli daha sert olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu polioksümetilen braketle kullanıldıklarında araştırmada kullanılan seramik ve paslanmaz çelik braketlerle kullanımları sonucunda elde edilen bulguların aksine beta titanyum ve paslanmaz çelik tellerin neden benzer sürtünme özellikleri gösterdiğini açıklayabilir. **Kusy ve ark. (53) 1990** yılında yaptıkları bir çalışmada, beta titanyum teli seramik ve paslanmaz çelik braketlerle kullanıldığında paslanmaz çelik tel materyalinden daha yüksek sürtünme kuvveti açığa çıkardığını tespit etmişlerdir. Seramik ve paslanmaz çelik braket yüzeyleri üzerinde deney sonrasında gerçekleştirdikleri EDX analizinde bu yüzeylerde beta titanyum teli yapısında bulunan titanyum, molibden, zirkonyum ve kalay kalıntıları tespit etmişlerdir ve beta titanyum ark teli materyali için paslanmaz çelikten yüksek olan sürtünme değerlerini bu materyalin braket yüzeyleriyle sürtünmesi sırasında mekanik abrazyona uğramasıyla ilişkilendirmişlerdir. Araştırmamızda kullanılan polioksümetilen yapısındaki Brilliant braket, paslanmaz çelik ve seramik braketlerden daha düşük yüzey sertliği gösterdiği için beta titanyum teli mekanik abrazyona yol açmamış ve bunun sonucu olarak beta titanyum ve paslanmaz çelik tellerde benzer sürtünme kuvvetleri açığa çıkarmış olabilir.

5.3. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci Düzen Angülasyonun Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Araştırmamızın sonuçları tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında pasif konfigürasyondan (0°) aktif konfigürasyona (5°) geçildiğinde sürtünme kuvveti değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir artış olduğunu göstermektedir. Bu bulgu araştırmalarında ikinci düzen angülasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkilerini incelemiş olan **Redlich ve ark. (62)**, **Tselepis ve ark. (39)**, **Thorstenson ve ark. (41)**, **Nishio ve ark. (40)** ve **Moore ve ark.'nın (45)** bulgularıyla uyumlu bulunmuştur.

Kusy ve ark. (54) braket ve ark teli arasında kritik temas açısından küçük angölasyonların varolduğu durumlarda sliding mekaniklerde sadece klasik sürtünmenin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumda sürtünme kuvveti ark telinin braket tabanı, braket duvarları ve ligatür materyaline temas etmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Braket ve ark teli arasında kritik temas açısı oluştuğunda ise bu kez ark teli braket duvarlarının karşı köşelerine temas eder ve klasik sürtünmenin yanında binding (bağlanma) fenomeni de sürtünme kuvvetlerine katılır. Angölasyonun daha da arttığı durumlarda ise artık braket köşeleri ark teli yüzeyine fiziksel zarar vermeye başlar ve klasik sürtünme ve bağlanma olaylarına çentiklenme (notching) hadisesi de eklenir (59).

Araştırmamızda da braket ve ark telleri 5°'lik aktif konfigürasyonda incelenirken bu materyaller için tespit edilmiş olan kritik temas açısı değerleri (ortalama 2°) aşılıştır ve elde edilen bulgular aktif konfigürasyonda klasik sürtünme kuvvetinin yanında bağlanma ve çentiklenme hadiselerinin de devreye girdiğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

1. Araştırmamız braket materyali, ark teli materyali ve ikinci düzen angülasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur.
2. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanıldığında polikristalin alumina yapısında olan Transcend braket Victory, Clarity ve Brilliant braketlerden daha yüksek sürtünme kuvvetleri açığa çıkarmıştır.
3. Transcend braket, monokristalin alumina yapısında olan Inspire Ice braket ile benzer sürtünme özellikleri göstermiştir.
4. Metal oluklu seramik braket olan Clarity, Victory braketle benzer sürtünme özellikleri göstermiştir.
5. Polioksümetilen yapısında olan Brilliant braket araştırmada kullanılan Victory ve Clarity braketlerle benzer sürtünme özellikleri göstermiştir.
6. Beta titanyum ark teli Victory, Clarity, Transcend ve Inspire Ice braketlerle kullanıldığında paslanmaz çelik telden daha yüksek sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.
7. Brilliant braketlerle kullanıldıklarında, beta titanyum ve paslanmaz çelik ark telleri benzer sürtünme değerleri göstermişlerdir.
8. Tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında pasif konfigürasyondan aktif konfigürasyona geçildiğinde sürtünme kuvvetlerinde artışla karşılaşmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Onur SÖ. Ortodontik braketler ve ark telleri arasındaki sürtünme kuvvetlerinin deneysel olarak karşılaştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara, 2001.
2. Tidy DC. Frictional forces in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 96:249-254, 1989.
3. Keith O, Jones SP, Davies EH. The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets. Br J Orthod. 20:109-115, 1993.
4. Chimenti C, Franchi L, Giuseppe MG, Lucci M. Friction of orthodontic elastomeric ligatures with different dimensions. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 75:421-425, 2005.
5. Articolo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orhop. 115:39-51, 1999.
6. Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different bracket wire configurations and materials. Semin Orthod. 3:166-177, 1997.
7. Taylor NG, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. Angle Orthod. 66:215-222, 1996.
8. Quinn RS, Yoshikawa DK. A reassessment of force magnitude in orthodontics. Am J Orthod Dentofacial Orhop. 85:252-260, 1985.
9. Rygh P, Periodontal response to tooth-moving force: Is trauma necessary in orthodontics? Graber LW (ed.) State of the art, essence of the science. C V Mosby, St Louis, pp. 100-115
10. Omana HM, Moore RN, Bagby MD. Frictional properties of metal and ceramic brackets. J Clinic Orthod. 26:425-432, 1992.

- 11.** Tosun Y. Sabit Ortodontik Apareylerin Biyomekanik Prensipleri, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1999.
- 12.** Jones SP, Tan CC, Davies EH. The effects of reconditioning on the slot dimensions and static frictional resistance of stainless steel brackets. *Eur J Orthod.* 24:183-190, 2002.
- 13.** Proffit WR, Fields HW, Ackerman JL, Bailey TJ, Tulloch C. Contemporary orthodontics. Saint Louis: C. V. Mosby; 2000.
- 14.** Russel JS. Current products and practice aesthetic orthodontic brackets. *J Orthod.* 32:146-163, 2005.
- 15.** Michelberger DJ, Eadie RL, Faulkner GM, Glover KE, Prasad NG, Major PW. The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 118:662-674, 2000.
- 16.** Khambay B, Millett D, McHugh S. Archwire seating forces produced by different ligation methods and their effect on frictional resistance. *Eur J Orthod* 27:302-308, 2005.
- 17.** Willems G, Clocheret K, Celis JP, Verbeke G, Chatzicharalampous E, Carels C. Frictional behavior of stainless steel bracket-wire combinations subjected to small oscillating displacements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 120:371-377, 2001.
- 18.** Clocheret K, Willems G, Carels C, Celis JP. Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets. *Eur J Orthod.* 26:163-170, 2004.
- 19.** Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 124:403-409, 2003.
- 20.** Hain M, Dhopatkar A, Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 123:416-422, 2003.

- 21.** Kapur Wadhwa R, Kwon HK, Sciote JJ, Close JM. Frictional resistance in ceramic and metal brackets. *J Clin Orthod.* 38:35-38, 2004.
- 22.** Baccetti T, Franchi L. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. *Angle Orthod.* 76:211-216, 2006.
- 23.** Nikolai RJ. An optimum force theory as applied to canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 96:397-404, 1989.
- 24.** Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 96:397-404, 1989.
- 25.** Vaughan JL, Duncanson MG, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 107:20-27, 1995.
- 26.** Graber RM, Swain BF. *Orthodontics: current principles and techniques.* St Louis: CV Mosby, 1985.
- 27.** Schroeder A, Van der Zypen E, Stich H, Sutter F. The reaction of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants within titanium sprayed surfaces. *J Maxillofac Surg.* 9:15-25, 1981.
- 28.** Hamula DW, Hamula W, Sernetz F. Pure titanium orthodontic brackets. *J Clin Orthod.* 3:140-144, 1996.
- 29.** Dobrin RJ, Kamel IL, Musich DR. Load-deformation characteristics of polycarbonate orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 67:24-33, 1975.
- 30.** Eliades T, Gioka C, Zinelis S, Eliades G, Makou M. Plastic brackets: hardness and associated clinical implications. *World J Orthod.* 5:62-66, 2004.
- 31.** Swartz ML. Ceramic brackets. *J Clin Orthod.* 22:82-88, 1988.
- 32.** Scott GE. Ceramic brackets. *J Clin Orthod.* 21:872, 1987.

- 33.** Ghafari J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. *Angle Orthod.* 62:145-152, 1992.
- 34.** Saunders CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 106:76-87, 1994.
- 35.** Keith O, Kusy R, Whitley JQ. Zirconia brackets: An evaluation of morphology and coefficients of friction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 106:605-614, 1994.
- 36.** Kapur Wadhwa R, Kwon HK, Close JM. Frictional resistances of different bracket-wire combinations. *Aust Orthod J.* 20:25-30, 2004.
- 37.** Flores DA, Caruso JM, Scott GE, Jeiroudi MT. The fractures strength of ceramic brackets: A comparative study. *Angle Orthod.* 60:269-276, 1990.
- 38.** Kusy RP, Whitley JQ, Prewitt MJ. Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet state. *Angle Orthod.* 61:293-302 , 1991.
- 39.** Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*106:131-138, 1994.
- 40.** Nishio C, da Motta AF, Elias CN, Mucha JN. In vitro evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 125:56-64, 2004.
- 41.** Thorstenson GA, Kusy RP. Influence of stainless steel inserts on the resistance to sliding of esthetic brackets with second order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod.* 73:167-175, 2003.
- 42.** Loftus BP, Artun J, Nicholls JI, Alonzo TA, Stoner JA. Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 116:336-345, 1999.

- 43.** Dickson J, Jones S. Frictional characteristics of a modified ceramic bracket. *J Clin Orthod.* 30:516-518, 1996.
- 44.** Ireland AJ, Sherrif M, McDonald F. Effect of bracket and wire composition on frictional forces. *Eur J Orthod* 13:322-328, 1991.
- 45.** Moore MM, Harrington E, Rock WP. Factors affecting friction in the pre-adjusted appliance. *Eur J Orthod.* 26:163-170, 2004.
- 46.** Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson Jr MG, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 112:138-144, 1997.
- 47.** Kapur R, Sinna PK, Nanda RS. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 116:271-274, 1999.
- 48.** Tanne K, Matsubara S, Hotei Y, Sakuda M, Yoshida M. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 106:273-278, 1994.
- 49.** Cha JY, Kim KS, Hwang CJ. Friction of conventional and silica-insert ceramic brackets in various bracket-wire combinations. *Angle Orthod.* 77:100-107, 2007.
- 50.** Rajakulendran J, Jones S. Static frictional resistances of polycrystalline ceramic brackets with metal slot inserts. *Aust Orthod J.* 22(2): 147-152, 2006.
- 51.** Downing A, McCabe J, Gordon P. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. *Br J Orthod.* 21:349-357, 1994.
- 52.** Kusy RP, Whitley JQ. Frictional resistances of metal-lined ceramic brackets versus conventional stainless steel brackets and development of 3-d friction maps. *Angle Orthod.* 71:364-374, 2001.

- 53.** Kusy RP, Whitley JQ. Coefficients of friction for archwires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots: I. Dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 98:300-312, 1990.
- 54.** Kusy RP, Whitley JQ. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. *Eur J Orthod.* 21:199-208, 1999.
- 55.** Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG, Sinha PK, Currier GF. Frictional resistance in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 109:535-542, 1996.
- 56.** Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 98:117-126, 1990.
- 57.** Nanda RS. *Biomechanics in clinical orthodontics.* W.B. Saunders company, 1996.
- 58.** Kusy RP, Whitley JQ. Assessment of second order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. *Angle Orthod.* 69:71-80, 1999.
- 59.** Articulo LC, Kusy K, Saunders CR, Kusy RP. Influence of ceramic and stainless steel brackets on the notching of archwires during clinical treatment. *Eur J Orthod.* 22:409-424, 2000.
- 60.** Read-Ward GE, Jones SP, Davies EH. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. *Br J Orthod.* 24:309-317, 1997.
- 61.** Thorstenson GA, Kusy RP. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 122:295-305, 2002.

- 62.** Redlich M, Mayer Y, Harari D, Lewinstein I. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 124:69-73, 2003.
- 63.** Kusy RP. Influence on binding of third-order torque to second-order angulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 125:726-732, 2004.
- 64.** Kusy RP, Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech.* 23:913-925, 1990.
- 65.** Kusy RP, Greenberg AR. Effects of composition and cross section on the elastic properties of orthodontic wires. *Angle Orthod.* 51:325-341, 1981.
- 66.** Kusy RP, Dilley GJ, Whitley QJ. Mechanical properties of stainless steel orthodontic arch wires. *Clinical Materials.* 3:41-49, 1988.
- 67.** Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical application of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 96:100-109, 1989.
- 68.** Kusy RP. A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics. *Angle Orthod.* 67:197-208, 1997.
- 69.** Bishara S. Textbook of orthodontics. W.B. Saunders company, 2001.
- 70.** Krishnan V, Kumar KJ. Mechanical properties and surface characteristics of three archwire alloys. *Angle Orthod.* 74:825-831, 2004.
- 71.** Burstone CJ, Farzin-Nia F. Production of low friction and colored TMA by ion implantation. *J Clin Orthod.* 29:453-461, 1995.
- 72.** Husmann P, Bourauel C, Wessinger M, Jager A. The frictional behaviour of coated guiding archwires. *J Orofac Orthop.* 63:199-211, 2002.
- 73.** Kusy RP, Whitley JQ, Gurgel JA. Comparison of surface roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 126:589-603, 2004.

- 74.** Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistances of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *Eur J Orthod.* 26:105-111, 2004.
- 75.** Rose CM, Zernik JH. Reduced resistance to sliding in ceramic brackets. *J Clin Orthod.* 30:78-84, 1996.
- 76.** Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, Di Iorio D, D'Attilio M. Friction of conventional and self-ligating brackets using a 10 bracket model. *Angle Orthod.* 75:1041-1045, 2005.
- 77.** Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistance between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 78:593-609, 1980.
- 78.** Prosocki RR, Bagby MD, Leslie CE. Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 100:341-348, 1991.
- 79.** Ho KS, West VC. Frictional resistance between edgewise brackets and archwires. *Aust Orthod.* 12:95-99, 1991.
- 80.** Burstone CJ. Variable modulus orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 80:1-16, 1981.
- 81.** Kusy RP, Whitley JQ. Resistance to sliding of orthodontic appliances in the dry and wet states: Influence of archwire alloy, interbracket distance, and bracket engagement.
- 82.** Harradine NW. Self-ligating brackets: where are we now? *J Orthod.* 30:262-273, 2003.
- 83.** . Edwards GD, Davies EH, Jones SP. The ex vivo effect of ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel brackets and archwires. *Br J Orthod.* 22:145-153, 1995.

- 84.** De Franco D, Spiller RE, von Fraunhofer JA. Frictional resistances using Teflon-coated ligatures with various bracket-archwire combinations. *Angle Orthod.* 65:63-72, 1995.
- 85.** Voudouris JC. Interactive edgewise mechanisms: Form and function comparison with conventional edgewise brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 111:119-140, 1997.
- 86.** Liew CF, Brockhurst P, Freer TJ. Frictional resistance to sliding archwires with repeated displacement. *Aust Orthod J.* 18:71-75, 2002.
- 87.** Damon DH. The Damon low-friction bracket: a biologically compatible straight-wire system. *J Clin Orthod.* 32:670-680, 1998.
- 88.** Baker KL, Nieberg LG, Weimer AD, Hanna M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 91:316-320, 1987.
- 89.** Rucker B, Kusy RP. Resistance to sliding of stainless steel multistranded archwires and comparison with single-stranded leveling wires. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 122:73-83, 2002.
- 90.** Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G. Friction in perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 115:619-627, 1999.
- 91.** Kusy RP. Commentary: Ceramic brackets. *Angle Orthod.* 61:291-292, 1991.
- 92.** Zinelis S, Eliades T, Eliades G, Makou M, Silikas N. Comparative assesment of the roughness, hardness, and wear resistance of aesthetic bracket materials. *Dent Mater.* 21:890-894, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İstanbul'da Özel Sezin İlkokulu'nda tamamladı. 1993 yılında Üsküdar Amerikan Kız Lisesi'nden, 1998 yılında Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldu. 2003 yılında Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Evli ve bir çocuk annesidir.