



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

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

DOKTORA TEZİ

Dt. ÖZGÜR UFUK DEMİR

**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 değerli katkılarından dolayı Sayın **Doç. Dr. Fulya Işık Özdemir**'e,

Doktora eğitimim sırasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen ve eğitimime yaptığı değerli katkılardan dolayı Sayın **Doç. Dr. Korkmaz Sayınsu**'ya,

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

Hayatımın en güzel dört yılını geçirdiğim dönem arkadaşlarım sevgili **Dt. Berna Yüzbaş**, **Dt. Çiğdem Tabakoğlu**, **Dt. Gülçin Acun**, **Dt. İdil Bozkuş**, **Dt. Sinan Atıcı**, **Dt. Resai Aydın** ve diğer çalışma arkadaşlarıma,

Tüm yaşamım boyunca bana hep destek olan ve yol gösteren canımdan çok sevdiğim değerli annem **Gülsüm Demir** ve babam **Muzaffer Demir**'e,

Desteklerini ve içten sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili yengem **Hülya Olguner** ve biricik dayım **Yüksel Olguner**'e

Teşekkürler...

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, dört farklı braket tipinin ve iki farklı ark telinin statik sürtünme değerlerinin, 0° ve 5° angulasyonlarda in vitro olarak incelenmesidir.

Çalışmada 0.022 x 0.028 inç oluk çapında dört tip maksiller birinci premolar braketi (Damon SL, Smart Clip, Quick, Victory) 0.019 x 0.025 inç boyutlarında paslanmaz çelik ve beta titanyum ark telleriyle 0° (pasif konfigürasyon) ve 5° (aktif konfigürasyon) angulasyonlarda kombine edilmiştir. Çalışmada toplam 100 adet braket ve ark teli örneği kullanılmıştır. Her ark teli, braket tipi ve angulasyon için 10 örnekten oluşan gruplar oluşturulmuştur. Tüm ölçümler oda sıcaklığında ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kuvvetleri Zwick\Roel test cihazıyla ölçülmüştür.

Çalışma sonucunda, 0° derece angulasyonda, paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerin kullanıldığı numunelerde en düşük sürtünme kuvvetini Damon ve Smart Clip braketleri oluştururken onları sırasıyla Quick, paslanmaz çelik ligatürle bağlanan Victory ve elastik ligatürle bağlanan Victory braketleri izlemiştir. Beş derece angulasyonda, paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerin kullanıldığı numunelerde, Smart Clip, Damon ve Quick braketleri benzer sürtünme kuvvetleri oluştururken, paslanmaz çelik ligatürle bağlanan Victory ve elastik ligatürle bağlanan Victory braketleri sırasıyla daha yüksek sürtünme kuvvetleri oluşturmuştur.

Aktif ve pasif konfigürasyonlarda ve tüm ark tellerinde kendinden bağlamalı braketler konvansiyonel braketlerden daha düşük sürtünme kuvveti oluşturmuş, angulasyonun artmasıyla birlikte tüm braketlerde sürtünme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Sıfır derece angulasyonda pasif kendinden bağlamalı braketler aktif olanlara göre daha düşük sürtünme kuvvetleri oluştururken, 5° angulasyonda aktif ve pasif braketler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Beta titanyum teller bütün braketlerde ve angulasyon değerlerinde paslanmaz çelik tellere oranla daha yüksek sürtünme kuvvetleri oluşturmuştur.

Anahtar sözcükler: Kendinden bağlamalı braketler, sürtünme

SUMMARY

IN VITRO EVALUATION OF STATIC FRICTIONAL FORCES OF 4 DIFFERENT TYPES ORTHODONTIC BRACKETS COMBINED WITH STAINLESS STEEL AND BETA TITANIUM ARCH WIRES

The aim of this present in vitro study was to evaluate the static friction force of four different types of brackets and two different arch wire materials in different arch wire bracket angulations.

Four different types of maxillary first premolar brackets (Damon, Smart Clip, Quick, Victory) with a slot size 0.022 inç were coupled with 0.019 x 0.025 inç stainless steel and beta titanium arch wires in 0° (active configuration) and second 5° (passive configuration) angulations. A total number of hundred arch wires and brackets were used, and ten tests were carried out in each group of bracket-wire combination at room temperature and in dry state. Frictional forces were measured by Zwick/Roel testing machine.

The results showed that, in zero degree angulation, Damon and Smart Clip brackets produced the lowest friction force followed by Quick and Victory brackets which were ligated with stainless steel ligatures and Victory brackets which were ligated with elastomeric ligatures in combination with stainless steel and beta titanium arch wires. In five degree angulation, Damon, Smart Clip and Quick brackets produced the lowest friction force followed by Victory brackets which were ligated with stainless steel ligatures and Victory brackets which were ligated with elastomeric ligatures tested in combination with stainless steel and beta titanium arch wires.

In active and passive configurations, resistance to sliding of self ligating brackets was lower than the conventional brackets. All brackets exhibited increased resistance to sliding as the angulation increased. In zero degree angulation, passive self ligating brackets had lower resistance to sliding than active ones; whereas, in five degree angulation, there was no difference

between active and passive self ligating brackets. Beta titanium arch wires showed significantly more friction than stainless steel wires with all bracket and angulation combinations.

Key words: Self-ligating brackets, friction

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	2
ÖZET	3
SUMMARY	5
İÇİNDEKİLER	7
KISALTMALAR VE SİMGELER	9
RESİM LİSTESİ	10
TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ	11
GİRİŞ VE AMAÇ	13
GENEL BİLGİLER	15
2.1. Sürtünme	15
2.1.1. Statik Sürtünme	15
2.1.2. Kinetik Sürtünme	15
2.2. Sürtünmenin Ortodontideki Önemi	16
2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler	17
2.3.1. Brakete Bağlı Faktörler	17
2.3.1.1. Braket Materyali	17
2.3.1.2. Braket Oluk Çapı	19
2.3.1.3. Braket Üretim Tekniği	20
2.3.1.4. Braket Genişliği	20
2.3.1.5. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci ve Üçüncü Düzen Angulasyonlar	22
2.3.1.6. Braket Yüzey Pürüzlülüğü	24
2.3.2. Ark Teline Bağlı Faktörler	24
2.3.2.1. Ark Teli Materyali	24
2.3.2.2. Ark Teli Çapı ve Kesiti	29
2.3.2.3. Ark Telinin Yüzey Pürüzlülüğü	30
2.3.2.4. Ark Telinin Katılığı	31
2.3.3. Ligasyona Bağlı Faktörler	33

2.3.3.1. Paslanmaz Çelik Ligatürler	34
2.3.3.2. Teflon Kaplı Ligatürler	34
2.3.3.3. Elastomerik Ligatürler	34
2.3.3.4. Kendinden Bağlamalı Braketler	38
2.3.3.4.1. Aktif Kapaklı	40
2.3.3.4.2. Pasif Kapalı	41
2.3.3.4.3. Kendinden Bağlamalı Braketlerle İlgili Çalışmalar	42
2.3.4. İntra Oral Değişkenlerin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	48
2.3.4.1. Tükürüğün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	48
2.3.4.2. Oral Fonksiyonların Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	50
2.3.5. Ortodontik Aygıt Seçiminin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	51
2.3.5.1. Retraksiyon İçin Uygulanan Kuvvetin Şiddetinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	50
2.3.5.2. Kuvvet Uygulama Yerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	51
GEREÇ VE YÖNTEM	
3.1. Gereç	52
3.1.1. Braketler	52
3.1.2. Ark Telleri	52
3.1.3. Ligatür Materyali	52
3.1.4. Sürtünme Testi	56
3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem	56
3.3. İstatistiksel Değerlendirme	61
BULGULAR	62
TARTIŞMA	70
SONUÇLAR	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	94

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. gr : Gram
10. $\bar{\text{kg}}$: Kilogram
11. mm : Milimetre
12. μm : Mikrometre
13. N : Newton
14. % : Yüzde
15. SEM : Scanning elektron mikroskopisi
16. Θ_c : Kritik temas açısı
17. TMA : Titanyum molibdenyum alaşımı

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 yapıştırma aparatı

Resim 3.5. Straight Shooter ligatür tabancası

Resim 3.6 Preforme Paslanmaz Çelik Ligatür

Resim 3.7 Elastomerik Ligatür

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 statik sürtünme kuvveti farklılıklarının araştırıldığı Kruskal Wallis testi sonuçları

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.

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.

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

Tablo 4.5. Braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angulasyonun

sürtünme kuvveti üzerine etkisinin değerlendirildiği Man-Whitney-U testinin sonuçlar

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 tedavi mekaniklerine bağılı olarak dişlerin amaçlanan hareketlerinin beraberinde istenmeyen yan etkiler de oluşmaktadır. Ortodontistler tedavi sırasında istenmeyen bu yan etkilerle de mücadele etmek zorundadır. Sürtünme ortodontik tedavi mekaniklerine bağılı oluşan bu yan etkilerin başında gelmektedir.

Ortodontik tedavi sırasında sürtünmeye, dental ark üzerinde yer açma ve kapatma işlemleri sırasında (1), aktif tork uygulamalarında (2), ark dışında konumlanan bir dişin ark içerisine alınmasında, anterior segmentin retraksiyonunda (3), ayrıca ark telinin posterior dişlerin braketleri ya da tüpleri içinde kaydırıldığı *sliding* mekanikler sırasında rastlanmaktadır(1,4).

Sliding mekanikler sırasında, braket ark teli boyunca kayarken, ark teli ile braket arasında sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Optimum braket ve ark teli kombinasyonlarında, diş hareketinin başlayabilmesi için uygulanan kuvvetin neredeyse %60'a kadar olan kısmı sürtünme sonucu kaybedilmektedir (5). Böyle bir durumda diş hareketi başlatılabilmek için uygulanan kuvvet azalmakta ve artan sürtünme kuvvetiyle birlikte orantılı olarak daha yüksek kuvvetlere ihtiyaç duyulmakta ve böylece sabit ortodontik mekaniklerin etkinliği azalmaktadır (6,7). Diş hareketini sağlayabilmek için optimal ortodontik kuvvetin aşıldığı durumlarda ise destek dişlerde ankraj kaybı meydana gelir (5,8). Bu yüzden diş hareketinin başlatılmasında ve devamında çevre dokulara patolojik olmayan ve ankrajı zorlamayan çok daha hafif kuvvetlerin uygulanması gerekmektedir (1,9). Hafif ve devamlı kuvvetler, hasta konforunu sağlarken doku hasarı riskini de azaltmaktadır (10,11).

Diş hareketi sırasında, statik ve kinetik (dinamik) olmak üzere iki tip sürtünmeyle karşılaşılır (12). Statik sürtünme cismin hareke başlayabilmesi için gereken kuvvet miktarıdır (13). Kinetik(dinamik) sürtünme ise cismin sabit bir hızla hareketini sürdürebilmesi için aşılması gereken kuvvet miktarıdır (12,13).

Ark teli boyunca oluşan diş hareketi, devamlı bir hareketten daha çok devrilme ve dikleşmelerden oluşan kısa adımlar şeklinde meydana geldiğinden, statik sũrtũnme kuvvetinin ortodonti mekaniklerine etkisi kinetik sũrtũnmeden daha fazladır (4,12,14).

Ortodontik tedavi sırasında ağız içerisinde meydana gelen sũrtũnme direncinde biręok etken rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalarda, braket ve ark telinin ۆzellikleri, ligasyon materyali ve tekniği, ortodontik aygıt seğimi ve biyolojik etkenler gibi faktörlerin sũrtũnme kuvveti üzerinde doğrudan etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler daha iyi anlaşılır ve en aza indirilebilirse sabit ortodontik apareylerin etkinliği ve diş hareketinin kontrolũ daha da artacaktır.

Özellikle farklı braket ve ark teli materyallerinin braket ve ark teli ara yüzeyinde oluşan sũrtũnme kuvveti üzerindeki etkileri uzun yıllardır ortodonti literatũründe incelenmektedir. Paslanmaz ęelik dayanıklı, hijyenik ve ucuz olması nedeniyle ortodonti pratiğinde en sık kullanılan braket materyalidir. Güncel ortodonti pratiğinde gelişen materyal teknolojisi sayesinde artık biręok braket, ark teli ve ligasyon materyali alternatifini bulunmaktadır.

Konvansiyonel braket sistemlerine alternatif olarak ortaya ęıkan kendinden bağlamalı braketler, hasta açısından daha pũrũzsũz, daha rahat ve ligatũr bulundurmadığından daha hijyeniktir. Klinikte harcanan zamanı azaltmaları ve sũrtũnme direnęlerinin az olmaları günümüzde daha ęok tercih edilmelerini sağlamaktadır (15,16,17).

Kendinden bağlamalı braketler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif braketlerde ark telini hapsedebilmek için, ark teline baskı uygulayan esnek bir unsur bulunur. Pasif olanlarda ise rijit hareketli bir paręa ark telini baskı uygulamadan braket oluğu içerisinde hapseder (17). Biręok araştırma, kendinden bağlamalı braketlerin konvansiyonel braket tasarımlarıyla karşılaştırıldığında, sũrtũnme direnęlerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir (15,16,17,18,19,20,21,22,23). ęalıřmamızın amacı farklı braket ve ark teli materyali kombinasyonlarının ortaya ęıkardıkları sũrtũnme kuvvetlerinin in vitro olarak karşılaştırılmasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sürtünme

Temas halindeki iki cismin birbirleri üzerinde harekete zorlanması sırasında, temas yüzeyine teğet ve zorlanmaya zıt yönlü ortaya çıkan direnç kuvvetine sürtünme kuvveti denir (13). Sürtünme kuvveti cisimlerin temas eden yüzeylerinin pürüzlülük derecesine ve birbirlerine doğru bastırılma kuvvetlerine bağlıdır ve $F=\mu N$ şeklinde formüle edilir. Formüldeki F sürtünme kuvvetini, μ sürtünme katsayısını, N ise temas eden yüzeyler arasında oluşan ve hareket yönüne dik etki eden bastırılma kuvvetini (normal kuvvet) ifade etmektedir (24,25). Sürtünme katsayısı, cismin pürüzlülüğüne ve yüzey yapısının sert veya yumuşak olmasına bağlıdır (26). Cisimlerin temas halindeki yüzey alanlarından ve hareket hızlarından bağımsızdır (2,27).

Ortodontik tedavide sürtünme kuvveti *sliding* mekanikler kullanıldığı zaman ortaya çıkar. Seviyeleme ve çekim boşluklarının kapatılması gibi ark telinin braket olukları içinde kaymasını gerektiren ortodontik hareketler sırasında sürtünme kuvvetleri oluşur. Hareket sırasında statik ve kinetik olmak üzere iki farklı sürtünme kuvveti oluşur.

2.1.1. Statik Sürtünme

Statik sürtünme cismin harekete başlaması için gereken kuvvettir (13). Başka bir ifadeyle diş hareketinin başlamasını engelleyen kuvvettir (28).

2.1.2. Kinetik (dinamik) Sürtünme

Kinetik (dinamik) sürtünme, cismin hareketi sırasında oluşur (28). Cismin sabit bir hızla hareketini sürdürebilmesi için aşılması gereken sürtünme kuvvetidir (12,13). Kinetik sürtünme miktarı her zaman statik sürtünme miktarından daha düşüktür (27,29). Ark teli boyunca oluşan diş hareketi, devamlı bir hareketten daha çok kısa adımlar şeklinde meydana geldiğinden,

statik sürtünme kuvvetinin ortodonti mekaniklerine etkisi kinetik sürtünmeden daha fazladır (30).

2.2. Sürtünmenin Ortodontideki nemi

Günümüz ortodonti pratiğinde kullanılan sabit mekaniklerin çoğunda, dişler ve braketler bağlı oldukları ark telleri üzerinde kayarak hareket etmektedir. Bu kayma hareketi sırasında, braket ve ark teli ara yüzeyinde istenen diş hareketine paralel ancak zıt yönlü bir sürtünme direnci ortaya çıkmaktadır (8,28). Ortaya çıkan bu sürtünme direnci, ortodontik tedavinin süresini ve sonuçlarını doğrudan etkilemektedir (31).

Optimum braket ve ark teli kombinasyonlarında, uygulanan kuvvetin neredeyse %60'a kadar olan kısmı sürtünme sonucu kaybedilmektedir (5). Böyle bir durumda diş hareketini başlatabilmek için uygulanan kuvvet azalmakta ve artan sürtünme kuvvetiyle birlikte orantılı olarak daha yüksek kuvvetlere ihtiyaç duyulmaktadır (32).

Optimum ortodontik kuvvet, minimum doku hasarıyla birlikte maksimum biyolojik cevap oluşturarak hızlı diş hareketini sağlayan en hafif kuvvet olarak tanımlanmaktadır (33). Sürtünme direncindeki artış, dişlere uygulanan düşük kuvvetlerde, diş hareketinin başlamasını engeller. Diş hareketini başlatabilmek için, uygulanan kuvvet arttırılırsa destek dişlerde ankraj kaybı oluşabilir (5,8).

Ortodontik tedavi mekanikleri sonucunda oluşan sürtünme direncinde birçok etken rol oynamaktadır. Bu etkenler tanımlanmalı ve ortodontik tedavi sırasında dikkat edilmelidir.

2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler

2.3.1. Brakete Bağlı Faktörler

2.3.1.1. Braket Materyali

Sabit ortodontik apareylerde kuvveti dişe ileten en önemli eleman brakettir. Üretildikleri materyale göre braketter paslanmaz çelik, titanyum, kompozit ve seramik olarak sınıflandırılır.

Paslanmaz çelik, dayanıklı, hijyenik ve ucuz bir alaşım olması nedeniyle uzun yıllardır ortodonti pratiğinde en sık kullanılan braket materyalidir. Günümüzde kullanılan braketterin büyük çoğunluğu 18-8 olarak adlandırılan ve alaşımında %18 krom ve %8 nikel bulunan ostenit paslanmaz çelikten üretilmektedir (13)

Titanyum braketter, paslanmaz çelik brakettere alternatif olarak kullanılabilen diğer bir metal braket türüdür. Paslanmaz çelik braketter kadar sağlam ve dayanıklı olmalarına rağmen, bükülmeye karşı dirençleri düşük olduğu için saf titanyum braketterin daha geniş üretilmeleri gerekmektedir (34). Titanyum, biyouyumlu ve korozyona karşı dirençli bir materyaldir (34,35,36). Titanyum braketterin alaşımında nikel bulunmadığı için, nikel hassasiyeti bulunan bireylerde, güvenle kullanılabilir (37).

Kompozit braketter, metal braketterin estetik olmayan görüntüsüne alternatif oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. İlk kez 1970'li yılların başlarında akrilik materyalden üretilen bu braketter, daha sonra aromatik bir polimer olan polikarbonattan üretilmiştir (29,38). Klinik kullanımlarında bazı sorunlarla karşılaşıldığından ortodontistler tarafından pek fazla tercih edilmemişlerdir. Özellikle tedavi sırasında, zaman içerisinde ağızdaki sıvıları emerek renkleşmeleri ve ağız ortamında kokuya neden olmaları söz konusudur. Ayrıca dayanıklılık, boyutsal stabilite ve bükülmeye direnç gibi özellikleri oldukça zayıftır. Kompozit braketterin kullanımında karşılaşılan bir diğer sorun da, ark telleriyle birlikte oluşan sürtünme kuvvetlerinin yüksek olmasıdır (13,35,39).

Kompozit braketlerin kullanımında karşılaşılan deformasyonları ve sürtünme kuvvetlerini azaltmak amacıyla, polimer lifler, cam, mineral doldurucular, seramik partiküller ya da metal partiküllerle güçlendirilen kompozit braketler üretilmiştir. Bunların dışında, braket olukları metal ya da seramikle kaplanmış kompozit braketler de ortodonti pratiğinde kullanıma sunulmuştur (34).

Seramik, estetik, hijyenik ve doku dostu olması nedeniyle braket üretimi için uygun bir materyaldir (13). Seramik braketler dayanıklı ve renkleşmeye karşı dirençli olmaları nedeniyle kısa sürede kompozit braketlerin yerini almışlardır (35,39). Seramik braketler polikristalin alümina, monokristalin alümina ve polikristalin zirkonya olmak üzere üç farklı yapıda bulunurlar. Monokristalin alümina braketler, polikristalin alümina braketlerden daha sert ve daha yüksek gerilme direncine sahiptir, ayrıca yüzeyleri daha pürüzsüz ve görünümleri daha şeffaftır (13,39,40,41,42,). Polikristalin zirkonya materyali tüm seramikler içinde en sert yapıya sahip olanıdır, ayrıca polikristalin alümina braketlere oranla daha pürüzsüz ancak daha opaktır (39,43).

Klinik uygulamalar sırasında seramik braketlerin kullanılması bazı sorunlara yol açmıştır.

Seramik braketler metal braketlerden daha kırılıgandır (44). Çiğneme fonksiyonları ve ark teli aracılığıyla tork kuvvetlerinin iletilmesi sırasında braket kenarlarında kırılmalar meydana gelebilir (40,45)

Seramik braketler paslanmaz çelik braketlerin aksine diş minesinden daha serttir. Bu yüzden çiğneme sırasında braketle temas eden dişlerin mine yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmektedir (40,42)

Seramik braketlerin mine dokusuna kimyasal ve mekanik olarak çok güçlü yapışmalarından ötürü, bu braketlerin sökülmesi sırasında mine dokusunda hasarlar oluşabilmektedir (40).

Seramik braketlerin oluk duvarlarıyla ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvveti metal braketlere oranla daha fazladır (6,8,29,40,46,47,48,49,50,51). Sürtünme kuvvetini azaltmak için üretici firmalar seramik yapıdaki braket oluklarını, paslanmaz çelik alaşımla güçlendirip metal oluklu seramik braketler üretmişlerdir.

2.3.1.2. Braketin Oluk Çapı

Ortodontik tedavi sırasında genel olarak 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çapına sahip braketler kullanılmaktadır. Köşeli ark tellerinin dikdörtgen kesitli braket olukları içerisinde kullanılması ilk kez Edward Angle tarafından 1920'lerin sonlarında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla üretilen ilk braketler 0.022 x 0.028 inç oluk çapına sahipti ve dikdörtgen kesitli altın teller kullanılmaktaydı. Paslanmaz çelik telin ortodonti pratiğinde kullanılmaya başlanmasıyla, braket oluk çaplarının değiştirilmesi gerekmiştir. Paslanmaz çelik telin aynı boyutlardaki altın tellere oranla, bükülmeye karşı direncinin fazla olması ve tel elastikiyetinin daha az oluşu tork kontrolünü zorlaştırmıştır. Bu nedenle braket oluk çapı 0.018'e indirilmiştir (35). Günümüzde beta titanyum tellerin kullanılmaya başlanmasıyla 0.022 oluk çapına sahip braketlerin olumsuzlukları ortadan kalkmıştır.

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

Tidy ve ark. (2) 1989 yılında yaptıkları çalışmada, 0.018 x 0.025 çapındaki tellerin diş üzerine net 100 gr kuvvet uygulayabilmesi için gereken kuvveti paslanmaz çelik braketler üzerinde araştırmışlardır. 0.018 oluk çapına sahip braketlerde kuvvet 188 gr iken 0.022 oluk çapına sahip braketlerde kuvvet 181 gr'a düşmüştür. Ancak iki braket arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Kapilla ve ark. (52) 1990 yılında yaptıkları çalışmada, 0.018 ve 0.022 oluk çapına sahip paslanmaz çelik braketlerde paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum telleri kullanmışlardır. Aynı ark teli boyutlarında

0.022 inç oluk çapına sahip braketlerin daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardığını tespit etmişlerdir.

2.3.1.3. Braket retim Tekniği

Değişik retim tekniklerine sahip braketlerin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan çalışmalarda belirtilmiştir.

Vaughan ve ark. (53) 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada sinterleme tekniğiyle üretilmiş olan iki çeşit paslanmaz elik braketin sürtünme özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular **Kapila ve ark. (52)** 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 zellikleri SEM ile incelenmiş ve sinterleme tekniğiyle üretilen braketlerin daha düzgün bir yüzey yapısına sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar iki ayrı teknikte üretilen braketlerin farklı sürtünme özellikleri göstermesinin yüzey yapılarının farklı özellikler göstermesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

1994 yılında benzer bir çalışma yapan **Ogata ve ark. (54)**, döküm ve sinterleme tekniğiyle üretilmiş braketleri sürtünme özellikleri açısından karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, braket ve ark teli arasında ikinci düzen angulasyonun artmasıyla birlikte sinterleme tekniğiyle üretilmiş braketlerin döküm braketlere oranla daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıklarını tespit edilmiştir.

2.3.1.4. Braket Genişliği

Bu konuda, hem dar braketlerin (12,52) hem de geniş braketlerin (2,5) tel ile braket arasında daha az sürtünmeye neden olduğunu iddia eden çalışmalar bulunmaktadır.

Drescher ve ark. (5) 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 braketler sürtünme özellikleri açısından test edilmiştir. 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 ve ark. (2) tarafından 1989 yılında yapılan başka bir çalışmada 0.018 inç ve 0.022 inç oluk çapına sahip 2,9 mm, 3,3 mm ve 4,2 mm genişliğindeki braketler sürtünme özellikleri açısından test edilmiştir. Araştırma sonucunda dar braketlerin daha fazla sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Kapila ve ark. (52) 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 2 kat daha yüksek sürtünme kuvveti ortaya çıkarttıkları tespit edilmiştir. Araştırmacılar, geniş braketlerin daha yüksek sürtünme direncine neden olmasını bu braketlerin üzerine uygulanan elastomerik ligatür materyalinin daha fazla gerilmesi ve bu gerilime bağlı olarak daha yüksek ligasyon kuvvetlerinin ortaya çıkmasına bağlamışlardır.

Omana ve ark. (12) 1992 yılında yaptıkları çalışmada braket genişliğinin sürtünme üzerine etkilerini araştırmak için seramik ve paslanmaz çelikten üretilmiş üst çene kanin dişe ve alt keser dişlere ait braketler kullanılmışlardır. Araştırmacılar, her iki braket materyali için geniş olan kanin dişe ait braketlerin daha dar olan alt kesici diş braketlerine göre daha fazla sürtünme direncine neden olduğu ortaya koymuşlardır.

Braket genişliğinin braketler arası mesafenin belirlenmesinde de önemli rolü vardır. Kullanılan braket ne kadar dar ise braketler arası mesafe de o kadar artar. Braketler arası ark teli uzunluğunun artması telin elastik deformasyon yeteneğinin artmasına neden olur. (55).

2.3.1.5. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci ve Üçüncü Düzen Angulasyonlar

Ark teli braket çiftinin sürtünme direnci üç farklı unsurun birleşiminden oluşmaktadır. Bunlar klasik sürtünme, bağlanma (*binding*) ve çentiklenmedir (*notching*). Klasik sürtünme, ark teliyle, braket oluşu tabanı veya duvarlarının temas etmesi sonucu oluşur. Braketle ark teli arasında açı oluşmaya başlarsa, ark teli braket oluşu duvarlarının kenarlarına temas etmeye başlar ve bu durumda bağlanma, klasik sürtünmeye katkıda bulunur. Ark teli braket oluşu duvarlarının kenarlarına ilk temas ettiği anda bir açı oluşur ve bu açığa bağlanma için kritik temas açısı denmektedir. Kritik temas açısı, braket genişliğine, braket oluk çapına ve ark teli kalınlığına bağlıdır. Bu açı arttıkça, yani kritik temas açısının üzerine çıkılırsa braket ark telini deforme edebilir böylelikle ark telinde ortaya çıkan çentiklenme, sürtünme direncine katkıda bulunur (22).

Read Ward ve ark. (19), değişik braket ark teli braket kombinasyonlarını 0° , 5° , 10° derece angulasyonlarda incelemişlerdir. Çalışma sonucu angulasyon artışıyla birlikte sürtünme değerleri de artmıştır.

Pizzoni ve ark. (23) çalışmalarında farkı ark teli braket kombinasyonlarını beş farklı angulasyonda (0° , 3° , 6° , 9° , 12°) kuru ortamda incelemişlerdir. Angulasyon arttıkça, braketlerdeki sürtünme değeri anlamlı olarak artmıştır.

Thorstenson ve Kusy (22), yaptıkları çalışmada ikinci düzen angulasyonda (-9° to $+9^\circ$), farklı ark teli braket kombinasyonlarını incelemişlerdir. Sonuçta, kritik temas açısının üzerindeki değerlerde, bütün braketlerde sürtünme direnci açıyla birlikte artmıştır.

Thorstenson ve Kusy (56), dört farklı braketin farklı ark tellerine karşı sürtünme direncini ikinci düzen angulasyonlarda ($-9^{\circ}+9^{\circ}$) incelemiştir. Sonuç olarak, braketle ark teli arasındaki serbestlik ortadan kalktıktan sonra, artan ikinci düzen angulasyonla beraber sürtünme dirençleri de artmıştır.

Redlich ve ark. (57) tarafından 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.

Cha ve ark. (58) 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada braket ve ark teli arasındaki ikinci düzen angulasyon 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 angulasyonların sürtünme direnci üzerinde etkili olduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya koyulmuştur (10). Üçüncü düzen açılanmalarda braket ve ark teli arasında oluşan kritik temas açısı braket oluşunun çapına ve ark telinin boyutuna bağlıdır (59).

Moore ve ark. (10) tarafından yapılan bir çalışmada braket ve ark teli arasında ikinci düzen ve üçüncü düzen angulasyonların sürtünme kuvvetleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda angulasyon değerlerindeki artışın braket ve ark teli arasında oluşan sürtünme direncinde istatistiksel olarak anlamlı artışa neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, ikinci düzen angulasyondaki artışın sürtünme direncini üçüncü düzen angulasyondaki artışa göre daha fazla etkilediği tespit edilmiştir.

2.3.1.6. Braket Yüzey Pürüzlülüğü

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 (12,41,43,48,60,61,62,63). Bazı araştırmalar sürtünme direnci ile braket materyalinin yüzey pürüzlülüğü arasında herhangi bir bağlantı olmadığını savunurken bazı çalışmalarda braket materyalinin yüzey pürüzlülüğünün fazla olmasının sürtünme kuvvetlerini arttırdığı yönünde sonuçlar bulunmuştur.

2.3.2. Ark Teline Bağlı Faktörler

2.3.2.1. Ark Teli Materyali

Ortodonti pratiğinde ark telleri birçok farklı materyalden üretilmektedir. Üretildikleri materyallere göre ark telleri şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Paslanmaz Çelik Teller

Paslanmaz çelik teller ortodonti pratiğinde en sık kullanılan tel alaşımlarından biridir. Paslanmaz çelik teller yüksek dayanıklılık, yüksek katılık, düşük çalışma aralığı, düşük geri yaylanma özelliğine sahiptir (35,64,65). Yüksek katılığa sahip olmaları nedeniyle bu teller, braketler arası seviye farkının fazla olduğu seviyeleme dönemi için uygun değildir. Bu dönemde kullanılabilmesi için tel boyu uzatılıp çapı düşürülmelidir. Tel boyunu uzatabilmek için, tel üzerine farklı şekillerde loop bükümleri yapılmalıdır (13).

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 (13).

3. Kobalt – Krom Alaşımli Teller

Kobalt krom alaşımli tellerin fiziksel özellikleri, paslanmaz çelik tellere çok benzer (64) Kobalt krom tellerin paslanmaz çelik tellere üstünlüğü kırılmaya ve distorsiyona karşı daha dirençli olmalarıdır (66). 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 ısı işleminden geçirilince katılaşırlar (13). Kobalt krom teller reziliensine göre dört ayrı şekilde üretilir; yumuşak (mavi), *ductile* (sarı), yarı rezilient (yeşil) ve rezilient (kırmızı) (66).

4. Nikel Titanyum Alaşımli Teller

Ortodonti için kullanılması ve geliştirilmesi ilk kez Andreasen tarafından sağlanmıştır. Üç çeşit nikel titanyum alaşımli tel bulunmaktadır (67).

Nikel titanyum alaşımların şekil hafızası ve süper elastisite denilen benzersiz özellikleri vardır. Nikel titanyum teller birden fazla kristal yapıya sahiptir. Martensit yapı düşük sıcaklıklarda, ostenit yapı ise yüksek sıcaklıklarda görülen yapıdır. Şekil hafızası ve süper elastisite nikel titanyum alaşımında martensitik ve ostenitik yapılar arasında görülen ve göreceli olarak düşük geçiş sıcaklıklarında oluşan faz geçişlerine bağlıdır (35).

Şekil hafızası, materyal martensitik yapıdayken plastik deformasyona uğratıldığında, orijinal şeklini hatırlama yeteneğidir (35).

Süper elastisite, telin belirli bir deformasyon noktasına kadar oldukça sabit bir stres değeri göstermesi ve eski haline geri dönerken bu değerin sabit kalması olayıdır. Başka bir ifadeyle, bir telin, aktivasyon derecesinden bağımsız olarak aynı miktarda kuvvet vermesi demektir (13).

Konvansiyonel nikel titanyum tel martensitik fazda stabilize edilmiş olan pasif bir teldir ve herhangi bir faz geçişi göstermez (67).

Psödoelastik tip nikel titanyum teller ostenit yapıda bulunan aktif tellerdir (67). Bu teller mekanik gerilmelere bağlı olarak aktif ostenit fazdan martensit faza, sonra tekrar ostenit faza geçiş gösterirler (68). 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 (13). Psödoelastik teller konvansiyonel nikel titanyum tellere göre daha uzun süreli hafif ve devamlı kuvvet uygulayabilme özelliğine sahiptirler (68).

Termoelastik nikel titanyum teller martensit fazda aktif olan ve ağız ısısında faz geçişi gösteren tellerdir. Daha düşük ısılarda distorsiyona uğratılabilen bu teller ağız ısısında aktif ostenit faza geçerek eski şekillerine dönerler (67).

5. Beta-Titanyum Teller

Titanyum molibden alaşımı bu teller içeriğinde %79 titanyum, %11 molibden, %6 zirkonyum ve %4 kalay bulundurlar (68). Bu teller oldukça yüksek dayanıklılığa, geri yaylanma ve şekil alabilme özelliğine sahiptir (35). Elastikiyet özellikleri ise paslanmaz çelik ve nikel titanyum teller arasındadır(13).

Yapılan birçok çalışmada, titanyum molibden alaşımı tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellere oranla daha fazla yüzey pürüzlülüğüne dolayısıyla daha yüksek sürtünme değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda iyon implantasyon yöntemiyle materyalin yüzey sertliği artırılmış ve yüzeyindeki pürüzleri azaltılarak düşük sürtünmeli iyonize TMA ve renkli TMA teller üretilmiştir (13,69).

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 (13).

7. Kompozit Teller

Son yıllarda gelişmekte olan bir diğer estetik tel materyali ise kompozittir. Kompozit teller, elyaftan oluşan bir içyapının üzerine kompozit kaplanmasıyla elde edilirler. Kompozit tellerin katılığı fiber optik plastik tellere göre daha yüksek olmakla birlikte kırılgenlığı da oldukça fazladır (13).

Ortodontik tedavide kullanılan çeşitli ark teli materyallerinin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan birçok araştırma sonucunda ortaya koyulmuştur.

Downing ve ark. (62) 1994 yılında yaptıkları bir çalışma sonucunda, beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir. Paslanmaz çelik ve nikel titanyum tellerin benzer sürtünme özellikleri gösterdikleri ortaya koyulmuştur

Burstone ve ark. (69) 1995 yılında yaptıkları 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 alaşımı tellerin sürtünme değerlerini paslanmaz çelik tellerinkine yaklaştırdığı bildirilmiştir.

Vaughan ve ark. (53), 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada beta titanyum tellerin en yüksek, paslanmaz çelik tellerin ise en düşük sürtünme dirençlerine neden oldukları tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan kobalt krom ve nikel titanyum teller için tespit edilen değerlerin paslanmaz çelik ve beta titanyum teller için ölçülen değerlerin arasında olduğu ispat edilmiştir. Nikel titanyum tellerin kobalt krom tellerle karşılaştırıldığında daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Pizzoni ve ark. (23), 1998 yılında yaptıkları çalışmada, beta titanyum tellerin aynı boyutlardaki paslanmaz çelik tellerden daha yüksek sürtünme değerleri verdiğini belirtmişlerdir.

Loftus ve ark. (50) 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. Paslanmaz çelik teller ile beta titanyum teller ve paslanmaz çelik teller ile nikel titanyum teller arasında sürtünme özellikleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Articolo ve ark. (6), 1999 yılında yaptıkları bir çalışmada bükülmeye karşı direnci yüksek olan ark teli materyallerinin, braket ile ark teli arasındaki ikinci düzen angulasyonun artmasıyla birlikte daha yüksek sürtünme kuvvetleri ortaya çıkaracaklarını ortaya koymuşlardır. Pasif konfigürasyonda paslanmaz çelik teller en düşük, beta titanyum teller ise en yüksek sürtünme kuvvetlerini ortaya çıkartırken, aktif konfigürasyonda bükülmeye karşı daha dirençli olan paslanmaz çelik tellerin nikel titanyum ve beta titanyum tellerden daha yüksek sürtünme direncine neden oldukları ortaya koyulmuştur.

Michelberger ve ark. (24) 2000 yılında yaptıkları bir çalışmada, iyon implante edilmiş beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha yüksek sürtünme değerleri ortaya çıkardıkları bildirilmiştir.

Thorstenson ve Kusy (22) 2002 yılında yaptıkları çalışmada, pasif konfigürasyonda, aynı boyuttaki ark tellerinde, paslanmaz çelik telin sürtünme direncinin nikel titanyum alaşımına göre daha düşük, aktif konfigürasyonda ise paslanmaz çelik tellerin sürtünme direncinin daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Cacciafesta ve ark. (16) 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.

Nishio ve ark. (48) 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 konmuştur.

Cha ve ark. (58) 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 Kesiti

Aynı braket ve ark teli materyalinde tel çapı arttıkça sürtünme genellikle artmaktadır. Ayrıca bazı çalışmalarda, köşeli kesitlere sahip tellerin sürtünmeye etkilerinin yuvarlak kesitli tellerden daha fazla olduğu bildirilmiştir. Ancak Frank ve arkadaşları (70), 1980 yılında yaptıkları çalışmada braket ve ark teli arasında bağlanmanın meydana geldiği ikinci düzen angulasyonlarda yuvarlak tellerin daha yüksek sürtünmeye neden olduğunu belirtmişlerdir.

Vaughan ve ark. (53) 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 tellerin yuvarlak kesitli olanlara göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri oluşturduklarını ortaya koymuşlardır.

Taylor ve Ison (71) 1996 yılında yaptıkları çalışmada, ark teli boyutlarındaki artışın sürtünme kuvvetlerini arttırdığını belirtmişlerdir.

Thomas ve Sherriff (17) 1998 yılında yaptıkları çalışmalarında, artan ark teli çapının sürtünmeyi arttırdığını belirtmişlerdir.

Cacciafesta ve ark. (29) 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.

Tecco ve ark. (72) 2005 yılında yaptıkları çalışmada, yuvarlak tellerde daha düşük ancak köşeli tellerde daha yüksek sürtünme değerlerine ulaşmışlardır.

2.3.2.3. Ark Telinin Yüzey Pürüzlülüğü

Birbiri üzerinden kayan iki yüzey arasındaki sürtünme temas eden bölgelerinin yüzey şartına bağlıdır. Pürüzlülüğün etkisi sadece yüzey pürüzlülüğünün miktarına değil, aynı zamanda bu pürüzlülüğün geometrisi, uyumu ve temas yüzeylerinin birbirlerine göre sertliğine de bağlıdır. Genel olarak sürtünme direnci, çok düzgün ya da çok pürüzlü yüzeyler için yüksek değerlere ulaşır. Çok düzgün yüzeyler, kayma sırasında giderek büyüme gösteren geniş adezyon alanlarının oluşmasına yol açarken, çok pürüzlü yüzeylerde girinti ve çıkıntıların teması ve bağlanması yüksek sürtünmeye yol açabilmektedir (73).

Drescher ve ark. (5) 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 sırasıyla en fazla beta titanyum daha sonra, nikel titanyum, kobalt krom, paslanmaz çelik tel alaşımlarında görüldüğü tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, bu materyallerinin sürtünme katsayılarının yüzey pürüzlülüğüyle orantılı olarak arttığını bildirmişlerdir.

Prososki ve ark. (73) tarafından 1991 yılında yapılan çalışmada, ark teli materyallerinin yüzey pürüzlülüğü ile bu materyallerin sürtünme kuvveti değerleri arasında anlamlı bir uyum bulunamamıştır.

Ho ve ark. (74) 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 arkadaşları (46,63) 1990 ve 1991 yıllarında yapmış oldukları çalışmalarda paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerin yüzey pürüzlülüklerini ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüklerinin sırasıyla en fazla nikel titanyum daha sonra beta titanyum, kobalt krom, paslanmaz çelik tellerde olduğunu tespit etmişlerdir. Tükürüksüz ortamda sürtünme katsayılarının tüm paslanmaz çelik tel kombinasyonları için en düşük, beta titanyum tel kombinasyonları için en yüksek değeri gösterdiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme kuvvetinin özellikle beta titanyum teller için her zaman yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olmadığını ve nikel titanyum tellerin beta titanyum tellerden daha pürüzlü oldukları halde daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir.

Nishio ve ark. (48) tarafından 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada SEM tekniğiyle ark tellerinin yüzey pürüzlülüğünün en fazla beta titanyum daha sonra sırasıyla nikel titanyum ve paslanmaz çelik olarak azaldığını ve bu tel materyallerinin sürtünme katsayılarının da bu değerlerle orantılı olarak azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir.

2.3.2.4. Ark Telinin Katılığı

Katılık bir telin bükülmeye karşı olan direncidir. Telin katılığı azaldıkça, elastikiyeti artar ve kolaylıkla bükülüp kuvvet etkisi ortada kalktıktan sonra eski durumuna geri döner. Bu tel alaşımlarına en iyi örnek nikel titanyum tel alaşımlarıdır. Katılığı yüksek olan teller ise kuvvet düzeyi arttığında dahi zor bükülürler.

Tellerin katılığı üç faktöre bağlıdır;

1. Çap: Yuvarlak kesitli tellerde, telin çapı iki katına çıkartıldığında uyguladığı kuvvet 16 kat artar. Çapları biri diğerinin iki katı olan iki tele eşit miktarda kuvvet uygulandığında ince çaplı olan tel, kalın çaplı olana oranla on altı kat daha fazla esner (13).

Köşeli teller içinse, telin uyguladığı kuvvet birinci düzende telin genişliğiyle, ikinci düzende ise telin kalınlığının küpüyle doğru orantılıdır. Bu demektir ki, iki kat geniş bir tel iki kat daha fazla kuvvet verirken, iki kat kalın bir tel sekiz kat daha fazla kuvvet verir (13).

2. Uzunluk: Boyları biri diğerinin iki katı olan tellere eşit kuvvetler uygulandığında uzun olan tel kısa olan tele oranla 8 kat daha fazla esner.

3. 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 (66,75).

Kusy ve ark. (76) tarafından 2000 yılında yapılmış olan bir çalışmada, braket ve ark teli arasında bağlanma oluşturacak kadar büyük açılanma olduğu durumda paslanmaz çelik, krom kobalt, nikel titanyum ve beta titanyum telleri incelemiştir. Sonuçta paslanmaz çelik ve krom kobalt alaşımı tellerin katılığı daha düşük olan nikel titanyum ve beta titanyum tellere oranla bağlanmayı daha fazla arttırdığını ve bu durumda da sürtünme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Tel boyunca yapılan diş hareketleri sırasında ise telin katılık özelliği sürtünme kuvvetlerini farklı yönde etkilemektedir. Örneğin kanin dişlerin, çekilmiş premolar dişlerin boşluğuna distalizasyonu sırasında braketler arası mesafe ve bu mesafe içinde yer alan ark telinin uzunluğu artmıştır. Ark telindeki boyut artışı telin katılığında düşüşe neden olmaktadır. Retraksiyon kuvvetleri etkisi altında dişte meydana gelen devrilme ve rotasyon hareketleri telin katılığıyla ters orantılıdır. Yani katılığı düşük olan tellerde, tel kolayca esnediğinden dişte devrilme miktarı daha fazla olur ve ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin miktarı artar. Bu nedenle, kanin distalizasyonu gibi kontrollü *sliding* mekaniklerde devrilmenin ve sürtünmenin en az olabilmesi için kalın köşeli paslanmaz çelik teller tercih edilmelidir (13,55).

2.3.3. Ligasyona Bağlı Faktörler

Ortodonti pratiğinde ark telini brakete bağlamak amacıyla sıklıkla paslanmaz çelik ligatürler veya elastomerik ligatürler kullanılmaktadır. Son zamanlarda teflon kaplı ligatürlerin ortodonti pratiğinde özellikle seramik braketlerle birlikte kullanılmaları estetik avantaj sağlamaktadır. Bunlarla birlikte kendinden bağlamalı braketlerin gelişimi de ortodonti uygulamalarına birçok avantaj getirmiştir.

Ligasyon ideal olarak şu özellikleri göstermelidir; (77)

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

Ortodonti pratiğinde ark telinin brakete bağlanması için kullanılan ligatürlerin yapıldığı materyalin cinsinin, bağlama şeklinin, boyutunun ve ligasyon kuvvetinin sürtünme üzerinde etkisi olduğu yapılan birçok çalışmada ortaya koyulmuştur. **Iwasaki ve ark. (78)**, ağız içi bir düzenek üzerinde yaptıkları çalışmada, 0.019 × 0.025 paslanmaz çelik ark teli üzerinde kaydırılan bir premolar braketinde meydana gelen sürtünme kuvvetinin, 31% ile 54%lük kısmının ligasyondan kaynaklandığına belirtmişlerdir.

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

2.3.3.1. Paslanmaz Çelik Ligatürler

Paslanmaz çelik, dayanıklı, hijyenik ve ucuz bir alaşım olması nedeniyle uzun yıllardır ortodonti pratiğinde en sık tercih edilen ligatür materyalidir. Çeşitli kalınlıklarda piyasaya sunulan paslanmaz çelik teller, 0.009 inç, 0.010 inç, 0.012 inç ve 0.014 inç olmak üzere farklı kalınlıklarda bulunmaktadır. Bunlardan 0.009 inç, 0.010 inç ve 0.012 inç olanlar ligatür teli materyali olarak tercih edilmektedir. Klinik kullanım bakımından, hasta başında geçen zamanı azaltmak için firmalar tarafından, çeşitli kalınlıklarda “preforme” paslanmaz çelik ligatürler üretilmiştir.

Riley (79) paslanmaz çelik ligatürlerin, plastik braketlerin oluşuna baskı yapabileceğini ve bunun da sürtünmeye neden olabileceğini belirtmiştir. Literatürde, ark telini braket oluşuna bağlayan ligatür telinin sıklığının, sistemdeki sürtünmeyi etkilediğine dair çalışmalar vardır. **Andreasen ve Quevedo (32), Nicolls (80), Paulson ve ark. (81), Halderson (82) ve Farrant (83)** ligatürlerin sıklığı arttıkça, sürtünmenin de artacağını savunmuşlardır.

2.3.3.2. Teflon Kaplı Ligatürler

Paslanmaz çelik ligatürlerle kıyaslandığında daha az sürtünmeye neden olması ve estetik braketlerle kullanımının getirdiği avantajlardan dolayı, teflon kaplı ligatürlerin klinik kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (84).

2.3.3.3. Elastomerik Ligatürler

Elastomerik ligatürler, hasta başında geçen zamanı azaltmaları, kolay ve hızlı uygulanabilmeleri, hasta için konforlu olmaları ve çeşitli renk seçeneklerinin olması açısından paslanmaz çelik ligatürlere alternatif olarak üretilen ‘poliüretan’lardır. Poliüretanlar, poliüretan zinciri içeren elastik polimerlere verilen genel bir isimdir. Poliüretanlar, direk olarak üretilen polimerleri değildir. Polyester ya da poliüretanların, karmaşık bir yapıya sahip olan üretilen zinciri oluşturmak için izokinlerle yaptığı bir dizi reaksiyon sonucu oluşurlar (85).

Elastomerik ligatürler, kalıcı deformasyona uğrarlar (86) ve aynı zamanda poliüretan polimerlerin yavaş hidrolize olması sonucu, nemli ortamlarda bozulurlar (87) .

Kuru ve nemli ortamda yapılan in vitro çalışmalar sonucunda, elastomerik ligatürler tarafından uygulanan kuvvetin, 3 ila 4 haftalık zaman sonunda azaldığı ortaya çıkmıştır (71,88).

Elastomerik ligatürlerin bir başka dezavantajı ise, diş yüzeylerinde ve elastomerik ligatürlerin kullanıldığı braketlerde meydana gelen mikrobiyal birikintilerden dolayı, dentisyon ve yumuşak dokuları olumsuz yönde etkilemeleridir.

Forsberg ve ark. (89), 1991 yılında, sabit ortodontik mekaniklerin uygulandığı 12 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada, ligatür teli ve elastomerik ligatürler tarafından oluşturulan mikrobiyal kolonizasyona bakmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, elastomerik ligatürlerin kullanıldığı diş yüzeylerinde, paslanmaz çelik ligatürlerin kullanıldığı diş yüzeylerine oranla daha fazla mikroorganizma biriktiği ortaya çıkmıştır.

Elastomerik ligatürlerin dezavantajlarından bir diğeri ise, tork ve rotasyon hareketlerinde, ark telinin braket oluşuna tam olarak yerleşmemesi nedeniyle, gerekli düzeltmelerin sağlanamamasıdır (89,90).

Echols (90), 1975 yılında yaptığı çalışmada, elastomerik ligatürlerin *sliding* mekanikler sırasında diş hareketini durdurduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, elastomerik ligatürlerin, ark teli boyutunun artmasıyla, nikel titanyum ve beta titanyum gibi ark tellerinin kullanımıyla daha da artan yüksek sürtünme kuvvetleri meydana getirdiklerini göstermiştir.

Piyasada, farklı yöntemlerle üretilen elastomerik ligatürler, gri, şeffaf ya da farklı renk seçenekleriyle sunulmaktadır. Son zamanlarda sürtünmeyi azaltmak için elastomerik ligatürlerin silikon kaplı olanları üretilmiştir. Silikon kaplı elastomerik ligatürlerin, konvansiyonel elastomerik ligatürlere kıyasla daha

az sürtünme oluşturduğu yapılan birçok çalışmada ortaya koyulmuştur (4,28,31,91,92).

Chimenti ve ark. (4), 2005 yılında yaptıkları çalışmada, gri ve şeffaf renkli silikon kaplı elastomerik ligatürlerin, sürtünme üzerindeki etkilerini konvansiyonel ligatürlerle kıyaslamışlardır. Çalışmanın sonuçları, her iki ligatür çeşidi arasında sürtünme açısından fark olmadığını ortaya çıkarmıştır.

Berger (20), 1990 yılında yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre, paslanmaz elik ligatürlerle bağlanan metal ve seramik braketlerin elastomerik ligatürlerle bağlanana kıyasla, daha az sürtünme oluşturdukları ortaya çıkmıştır.

Bednar ve ark. (93), 1991 yılında yaptıkları çalışmada, tel boyutlarının ve braket-ligatür kombinasyonlarının, sürtünme üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, telin kalınlığı göz ardı edildiğinde, paslanmaz elik ligatürlerle gevşek bağlanan elik braketlerin, elastomerik ligatürlerle bağlanan elik braketlerden çok daha düşük miktarda sürtünme oluşturdukları ortaya çıkmıştır.

Voudouris (94), 1997 yılında yaptığı çalışmada paslanmaz elik ligatürlerin, elastomerik ligatürlere göre daha az sürtünme oluşturduklarını bulmuştur.

Khambay ve ark. (25), 2005 yılında yaptıkları çalışmada, 0.09 in paslanmaz elik ligatürler (3M Unitek, Monrovia, California, USA) ile gri ve mor renkteki Alastik (3M Unitek, Monrovia, California, USA) ve SuperSlick (TP Orthodontics) elastomerik ligatürlerin sürtünme üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, paslanmaz elik ligatürlerin en az sürtünme oluşturan ligatür çeşidi olduğunu belirtmişlerdir.

Fortini ark. (95), 2005 yılında yaptıkları in vivo çalışmada, kendinden bağlamalı braketlere alternatif olup, sürtünmeyi azalttığı iddia edilen poliüretan kaplı Slide (Leone Orthodontic Products) elastomerik ligatürleri incelemişlerdir.

Araştırma sonuçlarına göre, Slide ligatürlerin seviyeleme aşamasında sürtünmeyi azalttığı ve tedavi süresini kısalttığı ortaya çıkmıştır.

Yine aynı şekilde, **Baccetti ve Franchi (31)** de, 2006 yılında, bukkal segment modeli üzerinde yaptıkları çalışmada, Slide ligatürlerle, konvansiyonel elastomerik ligatürlerin sürtünme kuvvetlerini kuru ortamda karşılaştırmışlardır. Çalışmada 0.022 inç oluk çapına sahip paslanmaz çelik braketler, 0.019 × 0.025 inç paslanmaz çelik teller ve 0.014 inç nikel titanyum tellerle kombine edilerek kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, Slide ligatürlerin, 0.019 × 0.025 inç paslanmaz çelik tellerle kullanıldığında, konvansiyonel elastomerik ligatürlere oranla daha az sürtünme oluşturduğunu ortaya çıkarmıştır. 0.014 inç nikel titanyum tellerle kullanıldığında da ise her iki düzenek için de Slide ligatürlerin sürtünme kuvveti, konvansiyonel elastomerik ligatürlerden daha düşük bulunmuştur.

Hain ark. (96), 2006 yılında yaptıkları çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip Victory Twin (3M Unitek, Monrovia, California, USA) braket ile kendinden bağlamalı, aktif Speed (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada) ve pasif Damon 2 (Sybron Dental Specialities, Ormco, Orange, California) braketleri kullanmışlardır. 0.019 × 0.025 paslanmaz çelik ark teli (3M Unitek, Monrovia, California, USA) braketlere altı farklı elastomerik ligatür çeşidiyle bağlanmıştır. Bunlar, TP Orthodontics, 3M Unitek ve American Orthodontics firmalarına ait konvansiyonel elastomerik ligatürler, silikon kaplı Super Slick (TP Orthodontics, La Porte, Ind), Alastik (3M Unitek, Monrovia, California, USA) ve silikon kaplı Sani-Ties (GAC International Inc, Islandia, NY) ligatürlerdir. Deneyler nemli ortamda yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre, diğer elastomerik ligatürlerle karşılaştırıldığında Super Slick, en düşük sürtünme özelliği gösteren ligatür çeşidi olmuştur. En yüksek sürtünmeyi sırasıyla, 3M Unitek ve American Orthodontics firmasına ait konvansiyonel elastomerik ligatürler göstermiştir.

Riley ve ark. (97) göre, ark tellerinin braketlere bağlanma metodu, dişlerin retraksiyonu için gerekli kuvvetleri değiştirmektedir. Araştırmacılar,

paslanmaz çelik ligatürlerin elastomerik ligatürlerden daha fazla sürtünme kuvveti oluşturduğunu rapor etmişlerdir.

Bazakidou ve ark. (98), 1997 yılında, kuru ortamda yaptıkları çalışmada, 0.018 inç oluk çapına sahip paslanmaz çelik braketlerle, 0.016 inç ve 0.016 × 0.22 inç paslanmaz çelik telleri, 0.022 × 0.028 inç braketlerle, 0.018 inç, 0.017 × 0.25 inç ve 0.019 × 0.25 inç paslanmaz çelik telleri kullanmışlardır. 0.010 inç preforme paslanmaz çelik ligatürler ve elastomerik ligatürlerle bağladıkları estetik ve metal braketlerin oluşturdukları sürtünme kuvvetlerini karşılaştırmışlardır. Elastomerik ligatürler, ligatür tabancasıyla (T-P Orthodontics) bağlanırken, paslanmaz çelik ligatürler, Mathieu ligatür bağlayıcısıyla uygulanmıştır ve kalan parça, telin altına kıvrılmıştır. Tel ligatürler, en fazla 7 kez çevrilmiştir. Araştırmacılar, hangi ligasyon yönteminin daha fazla sürtünme oluşturduğuna dair bir sonuca varılamayacağını ancak elastomerik ligatürlerle karşılaştırıldığında paslanmaz çelik ligatürlerin oluşturduğu sürtünme kuvvetinin 2,7 ila 3 kat daha fazla değişkenlik gösterdiğini saptamışlardır.

Buna benzer şekilde **Frank ve Nikolai (70)** de, 1980 yılında yaptıkları çalışmalarında elastomerik ligatürlerle paslanmaz çelik ligatürlerin sürtünme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elastomerik ligatürler ve 225 gr bağlama kuvveti uygulayan çelik ligatürlerin oluşturduğu sürtünme kuvveti arasında hiçbir fark bulamamışlardır.

2.3.3.4. Kendinden bağlamalı braketler

Kendinden bağlamalı braketler, braket yapısı içinde bulunan ve açılıp kapanabilen metal bir labial yüzeye sahiptir (77). Ark telleri edgewise braketler içerisine konvansiyonel olarak çelik ya da elastomerik ligatürler kullanılarak bağlanmaktadır (17). Ark teli, braket ve ligatür ilişkisi doğal olarak edgewise apareyinin klinik etkinliğini azaltmaktadır. **Schumacher**, sürtünmenin farklı ark tellerinin ve onların büyüklerinden çok ligasyon şekliyle ilgili olduğunu belirtmiştir (99) . Paslanmaz çelik ligatürler hijyeniktir ve sürtünme açısından gevşek bağlandıklarında elastomerik ligatürlere oranla avantajlı olmalarına rağmen (93)

klirikte harcanan zamanı arttırırlar. Elastomerik ligatürler zaman açısından avantajlı olmalarına karşın, sürtünme değerlerinin yüksek olması (93) ve nemden etkilenip ağız ortamında bozunmaları sonucu hijyeni olumsuz etkilemesi, klinik etkinliklerini azaltmaktadır (34). İlk kendinden bağlamalı braket olan Russel lock 1935 yılında Stolzenberg tarafından açıklandığında amacı öncelikle klinikte harcanan zamanı azaltmaktı (93). Günümüze ulaşınca kadar birçok değişik tipte kendinden bağlamalı braket geliştirilmiş ancak bunlardan çok azı klinik kullanımda yerini alabilmiştir (17,19,77).

Kendinden bağlamalı braketler, kendi üzerlerinde bulunan mekanik bir aygıtla edgewise slotunun kapatılmasını sağlayan ligatürsüz sistemlerdir. Hasta açısından, kendinden bağlamalı braketler daha pürüzsüzdür. Kullanımı daha rahat ve ligatür bulundurmadiğinden temizlenmeleri daha kolaydır (15). Klinikte harcanılan zamanı azaltmaları diğer bir önemli avantajdır (100). Ancak bu avantajlarının yanı sıra en önemli özellikleri sürtünme dirençlerinin az olmasıdır (17).

Kendinden bağlamalı braketler ark telleriyle olan ilişkisine göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif braketlerde ark telini braket oluşu içerisinde hapsedebilmek için, ark teline baskı uygulayan esnek bir unsur bulunur. Pasif olanlarda ise rijit hareketli bir parça ark telini baskı uygulamadan braket oluşu içerisinde hapseder (17). Aktif kapağa sahip braketlerde, tedavi başlangıcındaki seviyelemenin kullanılan ark telleriyle daha düzgün olması mümkündür. Ancak, modern, düşük modülüse sahip ark telleri, daha büyük çaplarda, pasif kapaklı braketlere tedavinin başlarında uygulanabilir. Başka bir ifadeyle, dişe etki edecek kuvvet, ark teli ve esnek kapak arasında paylaşılacağına, ark telinde saklanır. Tedavinin ilerleyen aşamalarında daha kalın ark tellerine geçildiğinde ise, aktif kendinden bağlamalı braketlerin yüksek sürtünme direnci ve tork kapasitesinde azalma gibi dezavantajları ortaya çıkmaya başlar (77). Kendinden bağlamalı braketler ister aktif ya da ister pasif olsun, hareketli dördüncü duvarları sayesinde braket oluklarını tüpe dönüştürür. Birçok araştırma, kendinden bağlamalı braketlerin konvansiyonel braket tasarımlarıyla

karşılaştırıldığında, sürtünme dirençlerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir (15,16,17,18,19,20,21,22,23).

2.3.3.4.1. Aktif kapaklı

Hanson (101), 1971 yılında Angle'ın edgewise apareyini geliştirip dinamik bir aparey haline getirmiştir ve üzerinde yapılan değişikliklerle 1980 yılında Speed adıyla piyasaya sunulmuştur (102). En belirgin parçası rulo şeklinde yüksek elastikiyete sahip dikey yönlü açılıp kapanan esnek kapağıdır. Bu esnek kapak sayesinde rotasyon, devrilme ve tork hareketlerini üç boyutlu kontrol edebilmektedir. (19,102)

Adenta Time braketleri 1995 yılında piyasa sunulmuştur (34). Bu braketlerde, braket gövdesi etrafından dönerek kapanan esnek kapak tedavinin başlarında sürtünmesi azaltılmış bir ortam sağlarken, ark teli boyutlarının artışıyla tork kontrolü sağlamaktadır (17).

In-Ovation braketleri 2000 yılında piyasaya sunulmuştur. SPEED braketlerini andırmalarına rağmen farklı olarak daha hacimli ve ikiz braket yapısındadır. In-Ovation da kullanılan esnek kapak elgiloydan yapılmıştır. Klinik kullanımlarının daha rahat sağlanması amacıyla braket boyutları ön dişler için azaltılmış ve 2002 yılında In-Ovation R olarak tekrar piyasaya sunulmuştur (34).

Time 2 braketleri 2005 yılında piyasaya sunulmuştur. Kendinden bağlama sistemi esnek bir kapakla sağlanmaktadır. Esnek kapak düşük çapta ark telleri kullanıldığında pasifken ark teli boyutları arttıkça aktif hale gelmektedir.

Quick braketleri 2006 yılında piyasaya sunulmuştur. Esnek kapak yapısı bu braketlerde de görülmektedir. Üretici firmanın önerilerine göre esnek kapak yapısı .018 x.018 inç veya .016 x .022 inç boyutlarındaki ark tellerine kadar pasifken bu boyutlardan sonra aktif hale gelmektedir ve yuvarlatılmış slot kenarları sayesinde de sürtünme değerleri azaltılmıştır.

2.3.3.4.2. Pasif kapaklı

Kaynaklara bakıldığı zaman, ilk kendinden bağlamalı braketlerle ilgili alınan patent 1933 yılında Charles E. Boyd tarafından pasif yapıda tasarlanan Boyd Band braketine aittir. Yine aynı tarihler içerisinde James W. Ford, Ford lock tasarımının patentini almıştır. Ancak braket çok hacimli ve yapımı çok pahalı olduğu için üretimi durdurulmuştur (34).

Edgelok braketi 1971 yılında piyasaya sunulmuş ve ticari anlamda ilk başarı kazanmış brakettir. Kendinden bağlanma mekanizması bu brakette, labialde bulunan bir başlık ve kayan kilitten oluşmaktadır (15,34). Bu braketten daha sonra 1981 yılında Mobil-Lock braketleri tanıtılmıştır. Saat yönünde rotasyon yapan eksantrik kilitleri değişken slotlara (oklüzogingival yönde .016-.022 inç) sahip olmasını sağlamaktadır. Kilidin 2 farklı pozisyonu bulunmaktadır. (i) Açık pozisyon. (ii) Serbest kayma hareketi yapabileceği bu pozisyonda, slot derinliğinin .022 inç'dir ve böylelikle ark telinin en yüksek düzeyde serbestliği sağlanmaktadır. (iii) Eğer kilitler daha da rotasyon yaptırılırsa ark telinin kademeli olarak slotla daha sıkı temasta olması sağlanır böylelikle dişe gereken tork ve tip miktarları ayarlanmış olur (19).

Activa braketi 1986 yılında ilk kez tanıtılmıştır. Bu braketin gingivale doğru dairesel hareketle açılan menteşeli kapağı kapatıldığında, braket oluşunu .022 × .028 inç boyutunda tüpe dönüştürmektedir. Braketin meziodistal genişliğinin fazla olması ve kapakların hastalar tarafından bile kolaylıkla açılabilmelerinden dolayı üretimleri durdurulmuştur (19,34).

Damon SL braketleri 1996 yılında tanıtılmıştır. Brakette bulunan vertikal yönlü açılan ince metal kapak, ikiz yapıdaki braketin kanatları etrafında bulunmaktadır. Üst çenede oklüzal, alt çenede gingival yönde açılmakta olan kapaklar kapatıldığında braketi dikdörtgen bir edgewise tüpüne dönüştürmektedir. Ancak braketlerin çok hacimli olması ve diş hareketi kontrolünün az olmasından dolayı üretimi durdurulmuştur (17,34).

TwinLock braketleri 1998 yılında tanıtılmıştır. TwinLock braketleri ikiz braket yapısında olup, braket kanatları arasında yer alan dikdörtgen şeklinde kapak bulunmaktadır (34). Bir yıl sonra, TwinLock braketleri üzerinde bazı değişiklikler yapılarak Damon SL II olarak tekrar piyasaya sürülmüştür. Damon SL I ile arasındaki fark, labialde bulunan kapağın braket kanatları arasına yerleştirilmesidir (16,34,77). 2004 yılında ise hibrit kompozit-metal braket olan Damon 3 ve Damon SL II üzerinde yapılan değişikliklerle Damon 3 MX piyasaya sunulmuştur.

SmartClip 2005 yılında tanıtılmıştır. SmartClip ikiz braket yapısında olup diğer kendinden bağlamalı braketlerden bağlanma mekanizmasıyla farklıdır. Braket kanatlarının proksimalinde bulunan nikel titanyum klipsler ark telini braket oluşu içerisine yerleştirilmesi ve çıkarılması sırasında esner ve slot içerisindeyken ark telinin pasif olarak hapsolmesini sağlamaktadır.

2.3.3.4.3. Kendinden bağlamalı braketlerle ilgili çalışmalar

Berger (20), Speed braketlerini (Strite Industries Ltd, Cambridge, Ontario, Canada) elastomerik ve çelik ligatürlerle bağlanmış edgewise braketleriyle dört farklı tel kombinasyonunda karşılaştırmıştır ve Speed braketlerin belirgin biçimde daha düşük sürtünme değerlerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Bednar ve ark. (93), yaptıkları in vitro çalışmada dişlerin kayma hareketi sırasında oluşan devrilmeyi taklit eden bir düzeneğe hazırlamışlardır. Bu düzeneğe üzerinde paslanmaz çelik ve elastomerik ligatürle bağlanmış paslanmaz çelik ve seramik braketler ve kendinden bağlamalı Speed braketleri 0.014 inç, 0.016 inç, 0.018 inç, 0.016 × 0.016 inç ve 0.016 × 0.22 inç boyutlarındaki paslanmaz çelik ark telleriyle karşılaştırılmıştır. Bu test koşulları altında kendinden bağlamalı braketlerle, paslanmaz çelik ve elastomerik ligatürle bağlanmış paslanmaz çelik braketler arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Sims ve ark. (21), yaptıkları çalışmada 0.022 × 0.028 inc slot boyutlarına sahip Minitwin, Activa ('A' Company, San Diego, California, USA) ve Speed (Strite Industries Ltd., Cambridge, Ontario, Canada) braketlerinin sürtünmeye dirençlerini 0.016 × 0.022 inç, 0.017 × 0.025 inç, 0.018 × 0.025 inç ve 0.019 × 0.025 inç boyutlarındaki ark telleriyle kombine ederek incelenmiştir. Minitwin braketlerinde ark telleri, elastomerik ligatürlerle 'O' veya '8' şeklinde bağlanmıştır. Activa braketleri bütün ark tellerinde en az sürtünme meydana getirmiştir. Minitwin braketlerinde '8' ligatürü en fazla sürtünmeye yol açmıştır. Speed ve 'O' şeklinde bağlanmış Minitwin braketleri 0.016 x 0.022 inç boyutlarındaki ark telleri için benzer sürtünme değerleri oluştururken, tel kalınlığının artmasıyla Minitwin braketlerinde sürtünme değerleri belirgin bir şekilde artmıştır. Activa braketlerinin sürtünme dirençleri Speed braketlerinden 15 kat ve standart elastomerik ligasyonlu Minitwin braketlerinden 40 kat daha az bulunmuştur.

Shivapuja ve Berger (15), Speed, Activa ve Edgelok kendinden bağlamalı braketlerini elastomerik ve paslanmaz çelik ligatürlerle bağlanmış seramik ve paslanmaz çelik braketlerle karşılaştırmışlardır. Araştırmamanın sonucunda, kendinden bağlamalı braketlerin, sürtünme kuvvetinde anlamlı bir düşüş sağladığını, klinikte harcanan zamanı azalttığını ve ağız hijyeninin sağlanmasında olumlu katkıları olduğunu ortaya koymuşlardır.

Read Ward ve arkadaşları (19) kendinden bağlamalı braketlerle (Activa, Speed ve Mobil-Lock), paslanmaz çelik ligatürle bağlanmış konvansiyonel braketi (Ultratrimm) üç farklı boyutta çelik ark telleriyle (0.20 inç, 0.019 x 0.025 inç, 0.021 x 0.025 inç) ve değişik braket-ark teli angulasyonlarında(0°, 5°, 10°) karşılaştırmışlardır. Ayrıca 0 derece angulasyonda uyarılmamış tükürüğün etkisi de araştırılmıştır. Sonuçlar, 0 derece angulasyonda kendinden bağlamalı braketler (en düşük Mobil-Lock, ikinci Activa, üçüncü Speed) daha düşük sürtünme özellikleri göstermişlerdir. Angulasyonun artmasıyla sürtünme değerleri de artmış, özellikle, Activa braketleri 0.020 inç yuvarlak telde ve 5 derece angulasyonda istatistiksel olarak en yüksek değerleri göstermiştir.

Tükürüğün varlığı çelişkili sonuçlara neden olmuş, özellikle 0.020 inç yuvarlak telde istatistiksel olarak belirgin sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Voudouris (94), üç farklı tipte konvansiyonel braketin (American Master Series, Ormco Diamond, A-company Twin) ve biri aktif (sigma) ve ikisi pasif olmak üzere (Damon SL ve Twin-Lock) üç farklı tipte kendinden bağlamalı braketin sürtünme değerlerini üç değişik çapta paslanmaz çelik ark telleriyle (0.018 inç, 0.020 inç, 0.019 x 0.025 inç) kuru ortamda değerlendirmiştir. 0.019 x 0.025 inç paslanmaz çelik ark tellerinde yapılan karşılaştırmalarda, pasif kendinden bağlamalı braketlere oranla, elastomerik ligatür kullanılan konvansiyonel braketlerin 388-609 kat, metal ligatür kullanılan konvansiyonel braketlerin 300 kat ve aktif kendinden bağlamalı braketlerin 216 kat daha fazla sürtünme kuvvetleri oluşturduğu belirtilmiştir.

Kapur ve arkadaşları (103) yaptıkları çalışmada, Damon SL braketiyle, konvansiyonel braketi (MiniTwin) 0.018 x 0.025 inç nikel titanyum ve 0.019 x 0.025 inç paslanmaz çelik tellerle test etmişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde Damon SL' in kinetik sürtünme değerleri her iki tel kombinasyonunda da istatistiksel olarak düşük çıkmıştır.

Pizzoni ve ark. (23), çalışmalarında iki farklı kendinden bağlamalı braketi (Speed ve Damon SL) ve iki farklı konvansiyonel braketi (A-Company, Dentaurum), 0.018 inç ve 0.017 x 0.025 inç boyutlarında beta titanyum ve paslanmaz çelik ark telleriyle, beş farklı angulasyonda (0°, 3°, 6°, 9°, 12°) ve kuru ortamda incelemişlerdir. Kendinden bağlamalı braketler genel olarak düşük sürtünme özellikleri göstermişlerdir. Küçük angulasyonlarda ve yuvarlak ark tellerinde kendinden bağlamalı braketler çok düşük sürtünme değerleri oluşturmuş, angulasyon arttıkça Speed braketlerinin sürtünme değerleri diğer braketlere oranla artmıştır. Speed braketlerinin özel esnek kapağı ve yatay yönlü boyutlarının küçük olması sürtünme değerlerindeki artışın nedeni olarak yorumlanmıştır.

Thomas ve Sherriff (17) çalışmalarında, iki farklı tipte kendinden bağlamalı braket (Damon SL ve Adenta Time) ve iki farklı tipte konvansiyonel braket, beş farklı ark teliyle (0.014 inç nikel titanyum, 0.0175 inç çok sarımlı paslanmaz çelik, 0.016 x 0.022 inç nikel titanyum, 0.016 x 0.022 inç paslanmaz çelik ve 0.019 x 0.022 inç paslanmaz çelik) 0 derece angulasyonda incelemişlerdir. Bütün ark teli braket kombinasyonlarında kendinden bağlamalı braketler daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturmuştur. 0.019 x 0.025 inç paslanmaz çelik telde, pasif kapaklı Damon SL braketinin sürtünme değerleri, esnek kapağa sahip Time braketine oranla 11 kat daha düşük bulunmuştur.

Taylor ve Ison (71), çalışmalarında kendinden bağlamalı Activa, Speed ve konvansiyonel braketleri (elastomerik ve paslanmaz çelik ligatürlerle bağlanan) hazırladıkları bukkal segment modelinde farklı tel kombinasyonlarıyla incelemişlerdir. Test edilen braketler içerisinde Activa en düşük sürtünme değerlerini vermiştir. En yüksek sürtünme değerleri, elastomerik ligatürlerin kullanıldığı konvansiyonel braketlerde elde edilmiştir. Ayrıca gevşek bağlanmış paslanmaz çelik ligatür telleri de sürtünme kuvvetlerinde azalma sağlamıştır.

Loftus ve ark. (50), yaptıkları çalışmada klinik ortamda diş hareketini taklit eden dentoalveolar model üzerinde paslanmaz çelik, seramik, metal slotlu seramik braketleri ve kendinden bağlamalı braketleri çeşitli ark telleriyle kombine ederek sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Paslanmaz çelik, seramik ve kendinden bağlamalı braketlerin sürtünme özellikleri açısından anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Thorstenson ve Kusy (22), yaptıkları çalışmada, 0.022 inç slot çapında, paslanmaz çelik ligatürle bağlanmış konvansiyonel braketin sürtünme direncini Damon SL braketiyle, 0.018 x 0.025 inç çapında paslanmaz çelik ark telleriyle, ikinci düzen angulasyonda (-9°, +9°), kuru ve tükürüklü ortamda incelemişlerdir. Ayrıca kendinden bağlamalı braket, bir kez de slotu açık konumda ve paslanmaz çelik ligatürle bağlayarak incelemişlerdir. Angulasyonun kritik temas açısının altındaki değerlerinde kuru veya nemli ortamda kendinden bağlamalı braketler çok düşük sürtünme direnci göstermiştir. Kritik temas açısının

üzerindeki değerlerde, kapağı açık kendinden bağlamalı braketle konvansiyonel braket arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Bütün braketlerde sürtünme direnci, angulasyonla doğru orantılı olarak artmıştır. Bütün angulasyon değerlerinde kapağı kapalı kendinden bağlamalı braketlerin sürtünme direnci konvansiyonel braketlerden düşük bulunmuştur ve bunun nedeni ligasyon baskısının bulunmaması olarak yorumlanmıştır.

Thorstenson ve Kusy (104), çalışmalarında 0.022 slot çapında aktif (In-Ovation, Speed, Time) ve pasif kapaklı (Activa, Damon, Twinlock) toplam 6 çeşit kendinden bağlamalı braketin sürtünme özelliklerini kuru ve nemli ortamda ve ikinci düzen angulasyonlarda (-9° , $+9^{\circ}$) incelemiştir. Bütün braketler 0.018 x 0.025 inç çapında paslanmaz çelik ark telleriyle kombine edilmiştir. Kritik temas açısının altındaki değerlerde, pasif kapaklı braketler çok düşük sürtünme kuvvetleri oluşturmuştur. Kritik temas açısının üzerindeki değerlerde, aktif ve pasif kapaklı braketlerin sürtünme değerleri açıyla orantılı artmıştır ancak aktif kapaklı braketlerde sürtünme direnci daha fazla bulunmuştur. Bu fark ise kendinden bağlamalı braketlerin ligasyon şekliyle ilgilidir.

Thorstenson ve Kusy (56), üçü aktif (in-ovation, Speed, Time), biri pasif (Damon2) olmak üzere dört farklı kendinden bağlamalı braketin farklı ark tellerine karşı sürtünme direncini incelemiştir. Çalışmada kuru ortamda yapılmış ve ikinci düzen angulasyonlarda (-9° , $+9^{\circ}$) incelenmiştir. Sonuç olarak, braketle ark teli arasında serbestliğin olduğu durumlarda, ark teline ligasyon kuvveti uygulamayan pasif braketlerin sürtünme değerleri daha düşük bulunmuştur. Serbestlik ortadan kalktıktan sonra, ikinci düzen angulasyonun artmasıyla beraber sürtünme dirençleri de artmıştır.

Hain ve ark. (28) yaptıkları çalışmada, paslanmaz çelik braket (Victory series ve Minitwin 3M Unitek), metal slotlu seramik braket (Clarity 3M Unitek) ve kendinden bağlamalı Speed braketini kullanmışlardır. Konvansiyonel braketlerde, konvansiyonel elastomerik ligatür, silikon kaplı elastomerik ligatür ve gevşek bağlanmış paslanmaz çelik ligatür kullanılmıştır. Testler kuru ve tükürüklü ortamda gerçekleştirilmiştir. Gevşek bağlanmış paslanmaz çelik

ligatürlerin kullanıldığı braketler en düşük sürtünme değerlerini vermiştir. Speed braketleri konvansiyonel elastomerik ligatür kullanılan braketlerden daha düşük sürtünme değerleri vermiştir. Tükürüklü ortamda kullanılan silikon kaplı elastomerik ligatürlerin sürtünme değerleri, Speed braketlerinden düşük bulunmuştur.

Redlich ve ark. (57) yaptıkları çalışmada, sürtünmesi azaltılmış braketlerle kendinden bağlamalı Time braketini ikinci düzen angulasyonda (0°,5°,10°) karşılaştırmışlardır. Time braketi bütün angulasyon değerlerinde en yüksek sürtünme kuvvetlerini oluşturmuştur.

Cacciafesta ve ark. (16), çalışmalarında Damon SLII, estetik kendinden bağlamalı braket (Oyster) ve konvansiyonel paslanmaz çelik braket kullanmışlar ve braketlerin çeşitli ark tellerine karşı sürtünme dirençlerini incelemişlerdir. Damon 2 en düşük sürtünme değerlerini vermiş ve çalışmada kullanılan diğer iki braket arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Khambay ve ark. (18), çalışmalarında dört farklı çeşit elastomerik ligatür ve paslanmaz çelik ligatür kullanarak bağladıkları konvansiyonel braketlerle Damon 2 braketinin sürtünme özelliklerini farklı ark telleri üzerinde insan tükürüğüyle nemlendirilmiş ortamda karşılaştırmışlardır. Damon 2 braketi ve ligatürlenmemiş konvansiyonel braket çok düşük sürtünme değerleri oluşturmuştur ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında sürtünmeyi azaltabilmek için pasif kendinden bağlamalı braketler önerilmiştir.

Henao ve Kusy (105) yaptıkları çalışmada, çapraşıklığa sahip tyodont modeller üzerine yapıştirılan farklı markalara ait (Ormco, GAC, Strite Industries Limited, American Orthodontics) kendinden bağlamalı (Damon 2, In-Ovation, SPEED, Time) ve konvansiyonel braketlerin üç farklı çaptaki austenit nikel titanyum tellerine olan sürtünmesini incelemişlerdir. Kendinden bağlamalı braketlerin sürtünme değerleri düşük çaplı yuvarlak ark tellerinde daha düşük bulunmuştur. Modeller üzerinde çapraşıklığın en çok olduğu iki bölgede Damon 2 braketi pasif kapaklı olmasından ötürü daha düşük sonuçlar vermiştir.

Henao ve Kusy (106) bir önceki çalışmalarının devamı olan başka bir çalışmada, aynı modellerin üzerinde üretici firmaların önerdikleri ark tellerini kullanmışlardır. Ark teliyle braket oluşu arasında serbestlik sağlandığında, pasif kapaklı braketler, aktif olanlara göre daha iyi performans göstermiştir. Ancak ark teli çapı arttıkça ikisi braket tipi arasında bir farklılık bulunamamıştır.

Tecco ve ark. (72), hazırladıkları düzenekte konvansiyonel braket, Damon 2 ve Time Plus braketlerinin sürtünme dirençlerini farklı ark telleri üzerinde incelemişlerdir. Damon 2 braketleri diğer braketlerle karşılaştırıldığında yuvarlak tellerde daha düşük, ancak köşeli tellerde daha yüksek sürtünme değerleri oluşturmuştur. Time Plus braketleri ise, diğer iki braketle karşılaştırıldığında daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturmuştur.

Hain, ve ark. (96), 2006 yılında yaptıkları çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip konvansiyonel paslanmaz çelik braket ve kendinden bağlamalı, Speed ve Damon 2 braketlerini kullanmışlardır. 0.019 × 0.025 paslanmaz çelik ark teli braketlere altı farklı elastomerik ligatür çeşidiyle bağlanmıştır. Bunlar konvansiyonel elastomerik ligatürler, silikon kaplı Super Slick, silikon kaplı Sani-Ties ve Alastik ligatürleridir. Testler nemli ortamda yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre, Damon 2 braketleri en düşük sürtünmeyi göstermiştir.

2.3.4. İntraoral 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.

Baker ve ark. (107), 1987 yılında yapmış oldukları çalışmada kuru, yapay tükürüklü ve gliserinli ortamda paslanmaz çelik braket ve paslanmaz çelik ark tellerinin ortaya çıkardıkları sürtünme değerlerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda yapay tükürüğün sürtünme direncinde %15-%19 oranında bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yapay tükürüğün doğal insan

tükürüğünün bütün yapısal özelliklerine ve fonksiyonlarına sahip olmadığı için sürtünme çalışmalarında kullanılması önerilmemektedir (13)

Thorstenson ve Kusy (22), 2001 yılında yaptıkları çalışmada kuru ve nemli ortamda 0.019 × 0.025 inç paslanmaz çelik ark teliyle bağlanan 0.022 inç oluk çapına sahip konvansiyonel Mini Diamond Twin braketler ile Damon braketlerinin sürtünme katsayılarını karşılaştırmışlardır. Konvansiyonel braket, ark tellerine 0.010 inç paslanmaz çelik ligatürle bağlanmıştır. Nemli ortam, operatörden alınan normal viskoziteye sahip tükürüğün deney süresince ark teli-braket kombinasyonu üzerine peristaltik pompa ile damlatılmasıyla sağlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, paslanmaz çelik ark telinin paslanmaz çelik ligatürle bağlandığı Mini Diamond Twin braketlerin sürtünmesi tükürük ortamında artmıştır.

Brian ve ark. (108) tarafından 2002 yılında yapılan bir çalışmada ise, hem aktif hem de pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik tel braket kombinasyonlarında tükürüklü ve kuru ortamlarda sürtünme değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Hain ve ark. (28), 2003 yılında kuru ve nemli ortamda yaptıkları çalışmada, silikon kaplı Super Slick elastomerik ligatürleri, konvansiyonel elastomerik ligatürler, paslanmaz çelik ligatürler ve kendinden bağlamalı braket sistemiyle karşılaştırmışlardır. Nemli ortam koşullarındaki test örnekleri, testten önce, 1 saat insan tükürüğü içinde bekletilmiştir. Kuru ortamda muhafaza edilen örnekler ise, gruplar arasında elastik gerilimi en aza indirmek için testten 60 dakika önce bağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Super Slick elastomerik ligatürlerinin, konvansiyonel elastomerik ligatürlerle karşılaştırıldığında, sürtünmeyi %60 oranında azalttığı ve bu azalma miktarının tükürük ortamında en yüksek seviyeye ulaştığı ortaya çıkmıştır. Paslanmaz çelik ligatürlerle yapılan ligasyon yönteminin ise, kuru ve nemli ortam koşullarında, en az sürtünme oluşturan yöntem olduğu ortaya çıkmıştır.

2.3.4.2. Oral Fonksiyonların Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkilesi

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 azalttığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır (109,110).

Braun ve ark. (110) 1999 yılında yaptıkları in vitro 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. (109) tarafından 2002 yılında yapılmış olan çalışmada da ark telinin braket oluşu içinde yer değiştirmesinin sürtünme kuvvetlerini %60-85 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

2.3.5. Ortodontik Aygıt Seçiminin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

2.3.5.1. Retraksiyon İçin Uygulanan Kuvvetin Şiddetinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Tidy ve ark (2) 1989 yılında yaptıkları çalışmada, sürtünme kuvvetinin retraksiyon için uygulanan kuvvet miktarıyla orantılı olarak arttığını bildirmişlerdir.

Omana ve ark. (12) 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 taklit etmek amacıyla 50, 75, 100, 125 ve 150 gr. kuvvetler uygulamışlardır. Araştırmalarının 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 kuvvet 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 yönde sürtünme kuvvetleri ortaya çıkar. Dişteki bu devrilmenin azaltılmasıyla tel ile braket arasındaki sürtünmenin de azalması sağlanabilir (13). Bu amaçla kuvveti, direnç merkezine daha yakın bir noktadan geçirmek diş üzerine etki eden moment miktarı ve devilmeyi azaltacaktır. Böylelikle diş ile braket arasında daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşacaktır (61).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Gereç

Farklı materyallerden üretilmiş olan braket ve ark teli kombinasyonlarının oluşturduğu sürtünme kuvvetlerinin araştırıldığı çalışmamızda Ormco, 3M Unitek ve Forestadent firmalarından temin edilen toplam 100 braket ve tel örneği kullanılmıştır.

3.1.1. Braketler

Araştırmada incelenen braketlerin tümü 0.022 x 0.029 oluk çapında sol üst premolar braketleridir. Çalışmada 3 farklı üretici firmaya ait kendinden bağlamalı braket ve tek çeşit konvansiyonel braket kullanılmıştır. Bu braketler; Victory Series™ (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), Smart Clip™(3M Unitek, Monrovia, CA, USA), Damon2™ (Ormco Corporation, Glendora, CA, USA), Quick™ (Forestadent, Bernhard Förster GmbH, Pforzheim, Germany) markalı ürünlerdir.

3.1.2. Ark telleri

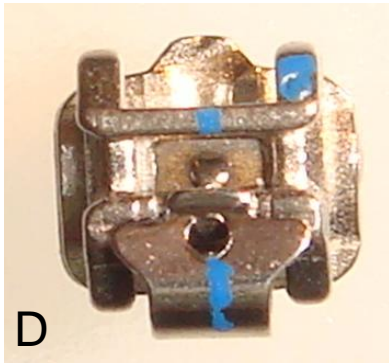
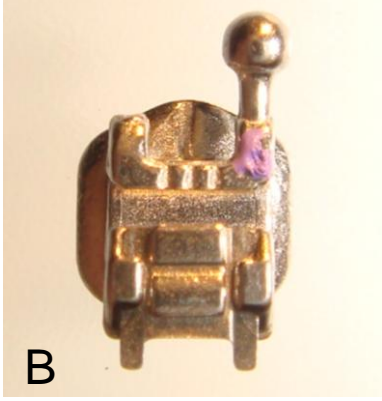
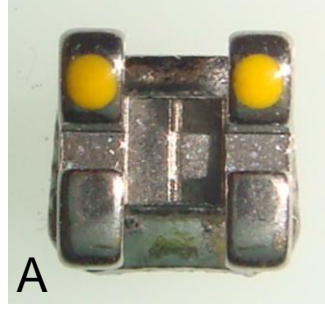
Çalışmada 0.019 x 0.025 inç boyutunda olan Resilient Rectangular Wire™(3M Unitek, Monrovia, CA, USA) ve TMA Archwires™(Ormco Corporation, Glendora, CA, USA) markalı ark teli ürünleri kullanılmıştır.

3.1.3. Ligatür materyali

Ark tellerini braket olukları içine bağlamak amacıyla elastomerik ligatür Colored Unistick ligatures™(American Orthodontics, Sheboygan, WI, USA) ve preforme paslanmaz çelik ligatür Mini twisted ligature ties (Ormco Corp, Glendora, CA, USA) kullanılmıştır.

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

Materyal	Dizayn	Boyut (inç)		Preskripsiyon	
Braketler			Angulasyon(°)	Tork(°)	Genişlik(mm)
Victory	Konvansiyonel	0.022x0.029	0	-7	3,2
Damon2	Kendinden Bağlamalı (Pasif)	0.022x0.029	0	-7	2,75
Smart Clip	Kendinden Bağlamalı (Pasif)	0.022x0.029	0	-7	3,45
Quick	Kendinden Bağlamalı (Aktif)	0.022x0.029	0	-7	2,95
Ark Teli					
Paslanmaz çelik		0.019x0.025			
Beta Titanyum		0.019x0.025			
Ligatür					
Elastomerik Ligatür	Colored unistick ligatures	0.115			
Paslanmaz Çelik	Preforme	0.10			



Resim 3.1. Çalışmada kullanılan braketter **A.** Victory, **B.** Damon2, **C.** Smart Clip, **D.** Quick



Resim 3.2. Çalışmada kullanılan ark telleri **A.** Beta titanyum ark teli, **B.** Paslanmaz Çelik Ark Teli

3.1.4. Sürtünme Testi

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

3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem

Braket ve tel arasındaki sürtünmenin değerlendirilmesi için **Redlich ve ark. (57)** araştırmalarında kullandıkları deney düzeneği çalışmamıza uyarlanmıştır.

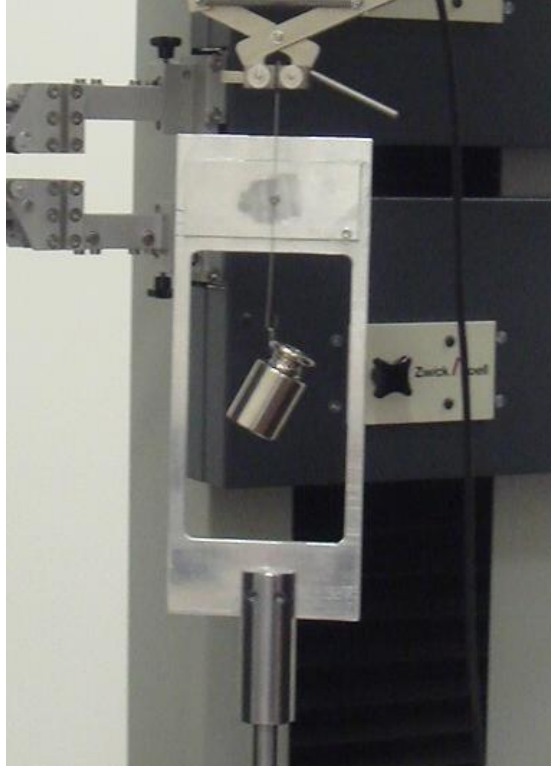
Braket ve tel arasındaki sürtünmenin ölçüldüğü deney düzeneği test edilen braketleri taşıyan alüminyum metal bir çerçeveden oluşmaktadır (Resim 3.3). Braketler metal çerçeve üzerine alüminyum levhalar aracılığıyla bağlanmaktadır.

Test öncesinde braket ve ark teli örnekleri %95 'lik etanol ile temizlenip basınçlı hava ile kurutulmuştur. Braketler önceden hazırlanmış olan alüminyum kaideler üzerine Pad Lock (Reliance Orthodontic Prod. Itasca, Illinois) ile yapıştırılmıştır. Braketlerin yapıştırılması sırasında braketin levhanın uzun eksenine dik olarak yapıştırılabilmesi için özel olarak tasarlanmış braket yapıştırma düzeneği kullanılmıştır (Resim 3.4). Aynı düzenek yardımıyla braket oluşunun yer düzlemine 90°'lik açı yapması sağlanmış ve oluk içinde bulunan tork da 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. Metal çerçeve Zwick\Roel Test cihazının sabit olan alt tablasına yerleştirilmiştir.

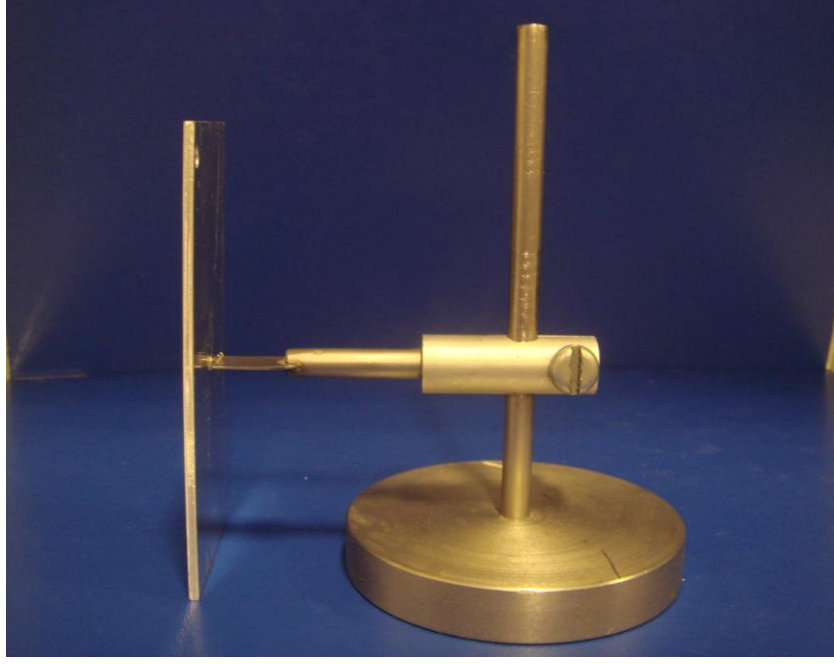
Değerlendirilecek olan ark teli örnekleri ise 15 cm'lik parçalar halinde kesildikten sonra bu tel parçalarının üst uçları Zwick\Roel Test cihazının *tension loading cell* (gerilim ölçer) bulunan hareketli üst parçasına bağlanmıştır. Tel örneğinin alt ucundan ise tel parçalarının testler sırasında eşit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

Ark teli örnekleri konvansiyonel braketlerin olukları içine elastomerik ligatürler (Resim 3.7) ve paslanmaz çelik ligatürle (Resim 3.6) bağlanmıştır. Elastomerik ligatürler için ligatür tabancasından (Straight Shooter, TP Orthodontics, La Porte, Indiana, USA) faydalanılmış ve (Resim 3.5) böylelikle ligatürlerde meydana gelebilecek muhtemel gerilim farklılıkları elimine edilmeye çalışılmıştır. Elastomerik ligatürler braketler üzerine testten hemen önce yerleştirilmiştir. Preforme paslanmaz çelik ligatürlerin bağlanmasını standardize edebilmek için, Bazakidou ve ark. (98) 'nın çalışmalarında yaptıkları şekilde 7 defa çevrilmiş ve ligatürün kesilen ucu braketin altına doğru itilmiştir. Bazakidou ve ark.'nın yönteminin çalışmamıza uyarlanmasının sebebi, preforme paslanmaz çelik ligatürlerin belli bir miktarda kendinden kıvrılmış olması ve ligatürün braketin etrafını saran bölgesinin sabit uzunlukta olmasının, teli belli bir miktarda çevirerek ligasyon yönteminin standardizasyonuna olanak sağlamasıdır. Kendinden bağlamalı braketlerde ise ark telleri braket oluşu içerisine yerleştirildikten sonra, kapakları kapatılmıştır. Smart Clip braketinde ark teli slot içerisine yerleştirilirken, braket etrafında bulunan esnek klipslerin arasından geçirilmiştir.

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 birer braket ve ark teli örneği kullanılmıştır. Her bir braket ark teli kombinasyonu için aynı işlem 10 defa tekrarlanmıştır. Tüm ölçümler oda sıcaklığında ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.



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



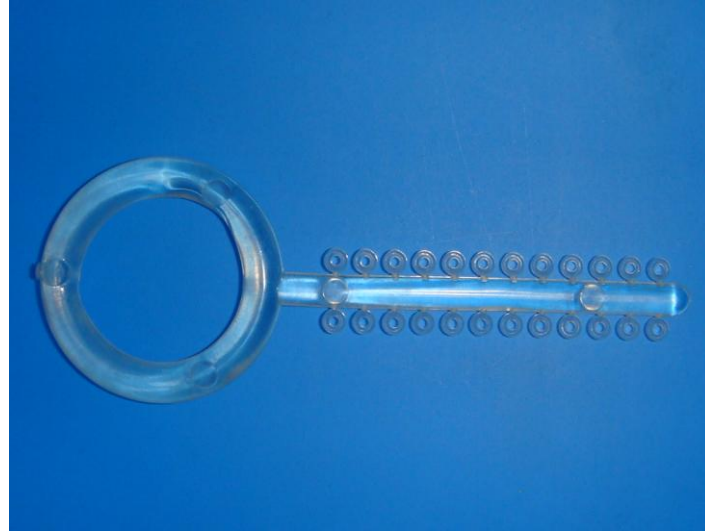
Resim 3.4. Braket yapıştırma aparatı



Resim 3.5. Straight Shooter ligatür tabancası



Resim 3.6. Preforme Paslanmaz Çelik Ligatür



Resim 3.7. Elastomerik Ligatür

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

4. BULGULAR

4.1. Braket Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Farklı braket materyallerinin pasif (0° angulasyon) ve aktif (5° angulasyon) 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 Kruskall Wallis testi sonuçları. Değerler ‘Ortalama ± Standart Sapma’ olarak verilmiştir.

	Paslanmaz Çelik		TMA	
	0°	5°	0°	5°
Victory (Paslamaz çelik ligatür)	2,92±0,24	3,28±0,16	3,2±0,21	3,81±0,54
Damon	2,15±0,18	2,76±0,3	2,3±0,21	2,96±0,25
Smart Clip	2,17±0,2	2,51±0,05	2,27±0,35	2,75±0,23
Quick	2,67±0,28	2,69±0,46	2,71±0,18	3,11±0,38
Victory (Elastomerik Ligatür)	3,76±0,59	3,89±0,4	4,08±0,43	4,47±0,37
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Statik sürtünme açısından gruplar arasındaki farkın öneminin değerlendirildiği Kruskall Wallis testinin sonuçlarına göre (Tablo 4.1), braket materyalleri arasında hem pasif (0°angulasyon) hem de aktif (5° angulasyon)

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°	5°
Victory (ss) / Damon	P < 0,001	P < 0,05
Victory (ss) / Smart Clip	P < 0,001	P < 0,001
Victory (ss) / Quick	P < 0,05	P < 0,01
Victory (ss) / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,05
Damon / Smart Clip	P > 0,05	P > 0,05
Damon / Quick	P < 0,01	P > 0,05
Damon / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001
Smart Clip / Quick	P < 0,01	P > 0,05
Smart Clip / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001
Quick / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001

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	Beta Titanyum	
	0°	5°
Victory (ss) / Damon	P < 0,001	P < 0,001
Victory (ss) / Smart Clip	P < 0,001	P < 0,001
Victory (ss) / Quick	P < 0,01	P < 0,01
Victory (ss) / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,01
Damon / Smart Clip	P > 0,05	P > 0,05
Damon / Quick	P < 0,05	P > 0,05
Damon / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001
Smart Clip / Quick	P < 0,05	P > 0,05
Smart Clip / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001
Quick / Victory (Elastik)	P < 0,001	P < 0,001

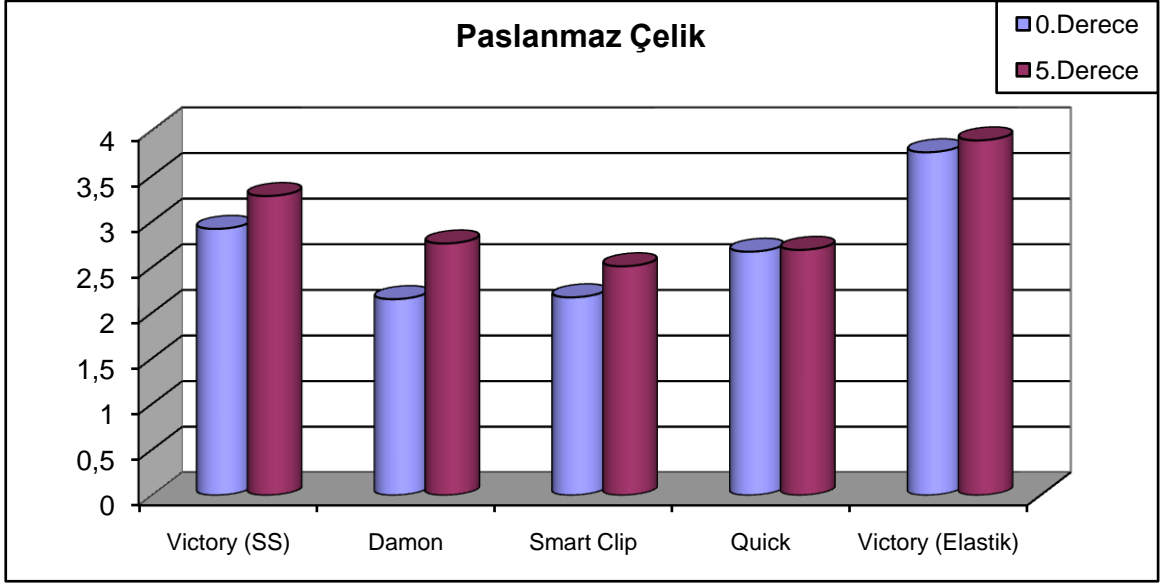
Bu sonuçlara göre paslanmaz çelik telle pasif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvveti 2,15 N ile Damon ve 2.17 N ile Smart Clip braketinde, en yüksek statik sürtünme kuvveti ise 3,76 N ile elastomerik ligatürle bağlanan Victory braketinde ortaya çıkmıştır. Quick ve paslanmaz çelik ligatürle bağlanan Victory braketleri sırasıyla 2,67 N, 2,92 N değerlerinde sürtünme kuvvetleri

ortaya koymuşlardır. Smart Clip ve Damon braketleri haricinde tüm braketler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (şekil 4.1).

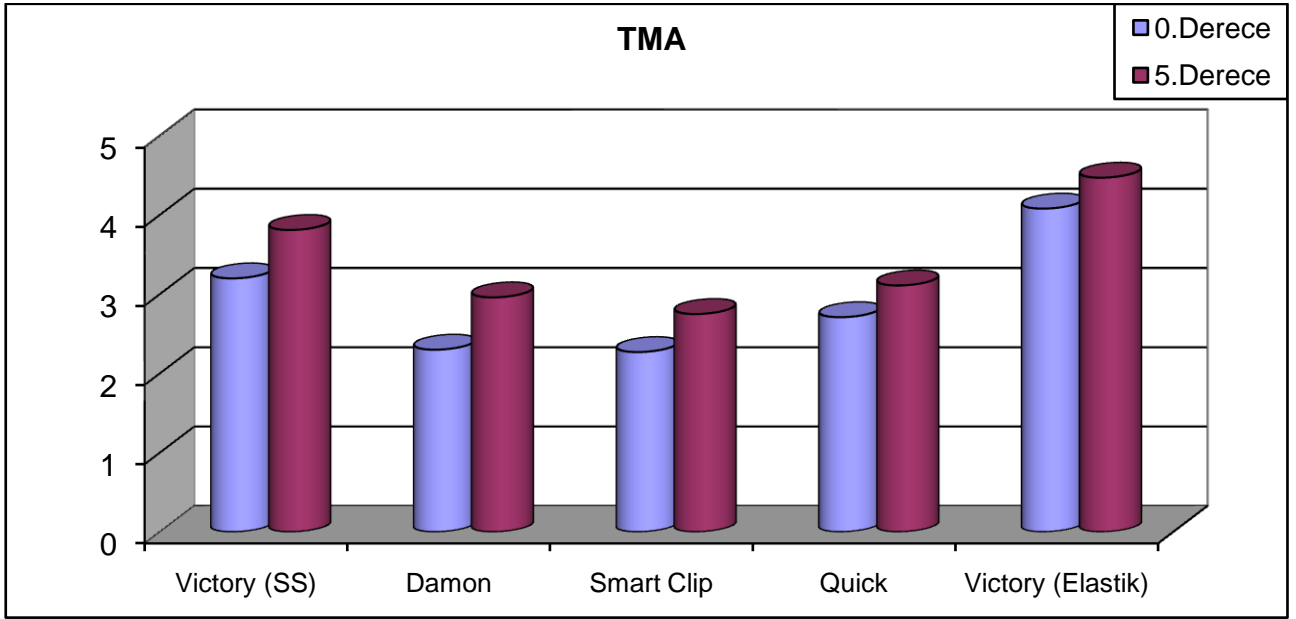
Paslanmaz elik telle aktif konfigürasyonda en düşük statik sürtünme kuvvetini 2,51 N ile Smart Clip, 2,69 N ile Damon ve 2,76 N ile Quick braketleri, en yüksek sürtünme kuvvetini 3,89 N ile elastomerik ligatürle bağlanan Victory braketi ortaya koymuştur. Paslanmaz elik ligatürle bağlanan Victory braketi 3,28 N değerinde sürtünme kuvveti ortaya koymuştur. Damon, Smart Clip, Damon, Quick ve Smart Clip, Quick braketleri haricinde tüm braketler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (şekil 4.1).

TMA telle pasif konfigürasyonda, en düşük sürtünme kuvvetini 2,27 N ile Smart Clip ve 2,3 N ile Damon braketleri, en yüksek sürtünme kuvvetini 4,08 N ile elastomerik ligatürle bağlanan Victory braketleri oluşturmuştur. Quick ve paslanmaz elik ligatürle bağlanan Victory braketleri sırasıyla 2,71 N, 3,2 N değerlerinde sürtünme kuvvetleri ortaya koymuşlardır. Damon ve Smart Clip braketleri haricinde tüm braketler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (şekil 4.2).

TMA telle aktif konfigürasyonda en düşük sürtünme kuvvetini 2,75 N ile Smart Clip, 2,96 N ile Damon ve 3,11 N ile Quick braketleri, en yüksek sürtünme kuvvetini 4,47 N ile elastomerik ligatürle bağlanan Victory braketleri oluşturmuştur. Paslanmaz elik ligatürle bağlanan Victory braketi 3,81 N değerinde sürtünme kuvveti oluşturmuştur. Smart Clip, Damon, Smart Clip, Quick ve Damon, Quick braketleri haricinde tüm braketler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (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

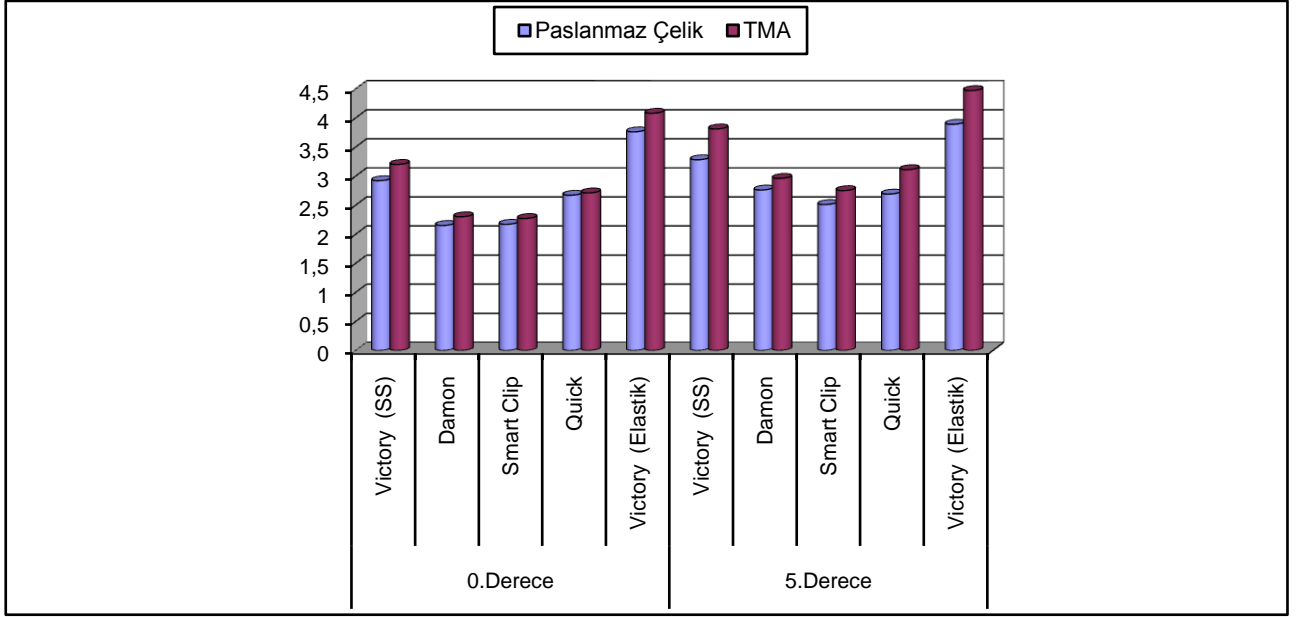
4.2. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

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
0 Derece	Victory (ss)	2,92±0,24	3,2±0,21	0,019
	Damon	2,15±0,18	2,3±0,21	0,013
	Smart Clip	2,17±0,2	2,27±0,35	0,05
	Quick	2,67±0,28	2,71±0,18	0,016
	Victory (elastik)	3,76±0,59	4,08±0,43	0,013
5 Derece	Victory (ss)	3,28±0,16	3,81±0,54	0,019
	Damon	2,76±0,3	2,96±0,25	0,05
	Smart Clip	2,51±0,05	2,75±0,23	0,049
	Quick	2,69±0,46	3,11±0,38	0,016
	Victory (elastik)	3,89±0,4	4,47±0,37	0,019

Bu sonuçlara göre aktif ve pasif konfigürasyonda tüm braketlerde beta titanyum telde daha yüksek sürtünme kuvveti oluşması istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4.3).



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

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

Farklı braket ve ark teli materyalleri için braket ve ark teli arasında oluşturulan ikinci düzen angulasyonun 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 angulasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkisinin değerlendirildiği Man-Whitney-U testinin sonuçları

	0. Derece	5. Derece	P

Paslanmaz Çelik	Victory (ss)	2,92±0,24	3,28±0,16	0,0001
	Damon	2,15±0,18	2,76±0,3	0,0001
	Smart Clip	2,17±0,2	2,51±0,05	0,0001
	Quick	2,67±0,28	2,69±0,46	0,05
	Victory (elastik)	3,76±0,59	3,89±0,4	0,013
TMA	Victory (ss)	3,2±0,21	3,81±0,54	0,0001
	Damon	2,3±0,21	2,96±0,25	0,013
	Smart Clip	2,27±0,35	2,75±0,23	0,016
	Quick	2,71±0,18	3,11±0,38	0,011
	Victory (elastik)	4,08±0,43	4,47±0,37	0,0001

Bu sonuçlara göre paslanmaz çelik ve beta titanyum telde braket ve ark teli arasında ikinci düzen angulasyonun oluşturulmasıyla birlikte statik sürtünme kuvvetlerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış olduğu tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Ortodontik diş hareketi biyolojik ve mekanik faktörlerin etkileşimi sonucunda gerçekleşmektedir. Diş hareketinin başlangıcında ve devamında

birincil etken kuvvettir. Ortodontik diş hareketi için dişe optimum ortodontik kuvvet uygulanmalıdır. Optimum ortodontik kuvvet, minimum doku hasarıyla birlikte maksimum biyolojik cevap oluşturarak hızlı diş hareketini sağlayan en hafif kuvvet olarak tanımlanmaktadır (33).

Ortodontik tedavi sırasında diş hareketinin gerçekleşebilmesi için ya sürtünmeli (sliding mekanikler), ya sürtünmesiz mekanikler ya da her ikisinin kombinasyonu uygulanmaktadır. Özellikle sürtünmeli mekaniklerin uygulandığı durumlarda ortodontistin ortaya çıkan kuvvetler hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir çünkü açığa çıkan sürtünme kuvveti dişe uygulanan kuvvet miktarında kayba neden olmakta ve sabit mekaniklerin etkinliğini azalmaktadır.

Sabit ortodontik apareylerde sürtünme kuvvetinin miktarını belirleyen başlıca etkenler, braket ve ark teli, ligasyon materyali ve tekniği ve bazı biyolojik değişkenlerdir. Bu etkenlerin iyi anlaşılabilmesi apareylerin etkinliğini artırır böylece hasta başındaki çalışma süresi ve toplam tedavi süresi azalır ve klinik başarı artar.

Güncel ortodonti pratiğinde gelişen materyal teknolojisi ile artık birçok braket, ark teli ve ligasyon materyali alternatifi bulunmaktadır. Özellikle konvansiyonel braket sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkan kendinden bağlamalı braketler, hasta açısından daha pürüzsüz ve rahattır. Ligatür bulundurmadığından temizlenmeleri daha kolaydır. Klinikte harcanılan zamanı azaltmaları ve sürtünme dirençlerinin az olmaları günümüzde daha çok tercih edilmelerini sağlamaktadır.

Bu çalışmada biri konvansiyonel diğer üçü kendinden bağlamalı olmak üzere toplam dört farklı tipte braket kullanılmıştır. Konvansiyonel braketlerde ark telini braket oluşuna yerleştirmek için hem paslanmaz çelik ligatürler hem de elastomerik ligatürler kullanılmıştır. Paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kombine edilen braketler, hem pasif (0°) hem de aktif konfigürasyonlarda (5°) test edilmişlerdir.

Ortodonti literatürü incelendiğinde, sürtünme üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan deneysel teknikler birçok değişken içermektedir. Bunlar arasında;

- 1) Farklı üretici firmalardan elde edilen, yapısal olarak farklılık gösteren braket ve ark tellerinin kullanılmış olması
- 2) Farklı kayma hızları
- 3) Farklı ligasyon tipleri
- 4) Braket yerine levhaların kullanılması
- 5) Tipodont modellerin kullanılması
- 6) Braketin yapıştığı yüzeyin sabit ya da birden fazla yöne hareket edebiliyor olmasıdır.

Farklı braket ve ark tellerinin ortaya çıkardıkları sürtünme kuvvetlerinin incelendiği bu in vitro çalışmada kullanılan yöntem, **Redlich ve ark. (57)** tarafından yapılmış olan sürtünme çalışmasına benzer şekilde planlanmıştır. Sürtünme deneyi için kullanılacak test düzeneğinde aranan en önemli özellik braket ve ark teli örneklerinin, düzenek üzerine her defasında aynı şekilde yerleştirilebilmesini sağlayabilmesidir. **Redlich ve ark.** tarafından tasarlanan test düzeneği, bu gereksinimleri en iyi şekilde sağlayabilmesi nedeniyle bu çalışmaya uyarlanmıştır. Braketlerin her defasında hassas bir şekilde konumlandırılabilmesi için bu çalışmada, özel olarak tasarlanan braket yapıştırma düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenek sayesinde aynı zamanda braket içerisinde bulunan tork da ortadan kaldırılmıştır.

Test örneklerinin hazırlanması sırasında, konvansiyonel braketlerde elastomerik ligatürler ve paslanmaz çelik ligatürler kullanılmıştır. 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 (44,54). Daha önce yapılmış bazı çalışmalarda olduğu gibi elastomerik ligatürler braketler üzerine testten hemen önce takılmıştır (57,60). Böylelikle elastomerik ligatürde meydana gelebilecek gerilim farklılıkları önlenmeye çalışılmıştır. Preforme paslanmaz çelik ligatürlerin bağlanmasını standardize edebilmek için **Bazakidou ve ark. (98)** 'nın çalışmalarında yaptıkları şekilde 7 defa çevrilmiş ve ligatürün kesilen ucu braketin altına doğru itilmiştir. **Bazakidou ve ark.**'nın yönteminin çalışmamıza uyarlanması sebebi, preforme paslanmaz çelik ligatürlerin belli bir miktarda kendinden kıvrılmış olması ve ligatürün braketin etrafını saran bölgesinin sabit uzunlukta olmasının, teli belli bir miktarda çevirerek ligasyon yönteminin standardizasyonuna olanak sağlamasıdır.

Kendinden bağlamalı braketlerin kullanıldığı örneklerde ise ark teli braket oluşuna yerleştirildikten sonra braketlerin kapakları kapatılmıştır. Smart Clip braketinde ark telinin hapsolmesi için kapak yerine, braketin proksimal yüzeylerinde bulunan esnek klipsler kullanılmaktadır. Ark teli braket oluşu içerisine yerleştirilirken bu klipslerin arasından geçirilmiştir.

Çalışmada deney hızı **Redlich ve ark.'nın(57)** çalışmalarına benzer şekilde 10mm/dk olarak belirlenmiştir. Bu hız standart olarak seçilmiştir çünkü **Ireland ve ark (60)**. 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 angulasyonlarda da test edildiği göze çarpmaktadır. **Cha ve ark. (58)** yaptıkları sürtünme deneyinde, braket ve ark tellerini 0°, 5°, 10° ve 15° derecelerde test etmişlerdir. **Rajakulendran ve ark. (113)** da deneylerinde 0°, 5° ve 10° 'lik açılanmalar kullanmışlardır. **Thorstenson ve ark (49)**. ise, -12 ile 12 dereceler arasında

değişen 32 farklı açıda testlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada aktif konfigürasyonda test edilecek olan ikinci düzen angulasyon şu şekilde tespit edilmiştir; öncelikle araştırmada kullanılan braket tipleri için kritik temas açısı hesaplanmıştır. Bu amaçla **Kusy ve ark. (112)** tarafından oluşturulan formül kullanılmıştır:

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

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 braket ve ark teli kombinasyonlarında, tel yüzeyinde şiddetli çentiklenme ve fiziksel hasar ortaya çıkartabilecekleri düşüncesiyle bu açı değerleriyle sürtünme testleri gerçekleştirilmemiştir.

Bu çalışmada braket ve ark telleri arasında ortaya çıkan statik sürtünme kuvveti değerleri incelenmiş. Kinetik sürtünme kuvvetleri 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 yenmesi şeklinde bir kayma hareketi yapması gerçekleşemez. Diş hareketi devrilme ve dikleşme hareketlerinden oluşan küçük adımlar şeklinde gerçekleşir ve her adımda diş hareketinin tekrar başlayabilmesi için statik sürtünme kuvvetinin aşılması gerekmektedir (4,12,14,57).

5.1. Braket Materyalinin ve Ligasyonun Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Sabit ortodontik apareylerde braketler en önemli tedavi gereçlerinden biridir. Diş hareketi *sliding* mekaniklerde, ya braketin ark teli boyunca ya da ark telinin braket slotları içerisinde kayması sonucunda gerçekleşir. Kayma hareketi sırasında açığa çıkan sürtünme kuvvetini etkileyen en önemli faktörlerden biri braketlerdir.

Son dönemlerde kullanımı artan kendinden bağlamalı braketler, konvansiyonel braketlerin hasta ve hekim açısından oluşturduğu dezavantajları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi sürtünmedir. Bu çalışmada üç farklı tip kendinden bağlamalı braket ve tek tip konvansiyonel braket olmak üzere dört farklı tipte braket kullanılmıştır. Ayrıca konvansiyonel braketlerde çalışmamızda kullanılan ark telleri, paslanmaz çelik ve elastomerik ligatürler kullanılarak iki farklı şekilde bağlanmıştır.

Victory braket, paslanmaz çelikten üretilen konvansiyonel tipte bir metal brakettir. Damon braketi, pasif yapıda, kayarak kapanan bir kapağa sahip olan kendinden bağlamalı brakettir. Diğer braketlerle karşılaştırıldığında sürtünme değerlerinin oldukça düşük olduğu daha önce yapılmış çalışmalarda belirtilmiştir(16,17,18,22,56,94,96,103,104,105,106). Smart Clip, yine pasif yapıda ancak kapak yerine braketin proksimal yüzeylerinde klipsler kullanılan bir brakettir. Quick braketi ise, aktif yapıda esnek bir kapağa sahip olan bir brakettir. Ayrıca yuvarlatılmış slot kenarları sayesinde üretici firma tarafından sürtünme değerlerinin düşük olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre braketlerin ligasyon şeklinin sürtünme kuvveti üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Aktif ve pasif konfigürasyonlarda, paslanmaz çelik telle kullanıldığında en yüksek sürtünme kuvvetini elastomerik ligatürle bağlanan Victory braketleri oluşturmuştur. Pasif konfigürasyonda Damon ve Smart Clip braketleri en düşük sürtünme kuvvetlerini oluştururken bunları sırasıyla Quick ve paslanmaz çelik ligatürle bağlanan Victory braketi takip etmiştir. Aktif konfigürasyonda en düşük sürtünme kuvvetleri Smart Clip, Damon ve Quick braketlerinde elde edilmiştir.

Beta titanyum tellerin kullanıldığı örneklerde aktif ve pasif konfigürasyonlarda en yüksek sürtünme kuvvetini elastomerik ligatürlerle bağlanan Victory braketleri oluşturmuştur. Pasif konfigürasyonda Damon ve Smart Clip braketleri en düşük sürtünme kuvvetlerini oluştururken bunları sırasıyla Quick ve paslanmaz çelik ligatürle bağlanan Victory braketleri takip etmiştir. Aktif konfigürasyonda en düşük sürtünme kuvvetleri Smart Clip, Damon ve Quick braketlerinde elde edilmiştir.

Bu araştırmada elde edilen bulgulara uyumlu olarak, **Shivapuja ve Berger (15), Thomas ve Sherriff (17), Khambay ve ark. (18), Cacciafesta ve ark. (16), Read Ward ve ark. (19), Berger (20), Sims ve ark. (21), Thorstenson ve Kusy (22), Pizzoni (23), Taylor ve Ison (71), Voudoris (94), Hain ve ark. (96)** kendinden bağlamalı braketlerin konvansiyonel braketlere oranla daha düşük sürtünme değerleri oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Hain ve ark. (28), Loftus ve ark. (50), Bednar ve ark. (93), çalışmamızda ortaya çıkan sonuçların aksine konvansiyonel braketlerle kendinden bağlamalı braketlerin, sürtünme değerleri açısından anlamlı bir fark göstermediğini belirtmişlerdir. Bulgular arasındaki uyumsuzluğun deneysel modellerdeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. **Loftus ve ark. ve Bednar ve ark.**'in çalışmalarında ark teline göre braketin devrilmesine izin veren bir düzenek kullanılmaktayken, bu çalışmada braket ve ark teli arasında oluşan angulasyon aktif ve pasif konfigürasyonlarda sabit tutulmuştur. **Hain ve ark. (28)**, yapmış olduğu çalışmada ise gevşek bağlanmış paslanmaz çelik ligatürlerin kullanıldığı konvansiyonel braketlerin en düşük sürtünme değerleri oluşturduğunu ve Slick elastomerik ligatürleriyle bağlanan braketlerde elde edilen değerlerin kendinden bağlamalı Speed braketinden daha düşük olduğunu belirtilmiştir. Slick elastomerik ligatürleri tükürüklü ortamda kullanılması sürtünmeyi azaltmış ancak kuru ortamda yapılan testlerle karşılaştırıldığında Speed braketlerinin sürtünme dirençleri daha düşük bulunmuştur. Araştırmamız kuru ortamda yürütülmüştür. Speed braketlerinin sürtünme değerlerinin paslanmaz çelik telle bağlanan konvansiyonel braketlerden yüksek çıkmasının nedeni Speed braketinin esnek kapak

tasarımıyla ve paslanmaz çelik ligatürlerin bağlama yöntemiyle ilgili olabileceği düşünülebilir.

Kendinden bağlamalı braketler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif olanlar, ark teli belirli boyutların üzerine çıktığı zaman ark teli üzerine baskı uygulamaktayken, pasif olanlarda ark teline baskı uygulamamaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre ark teli ve braket arasında ikinci düzen bir angulasyonun bulunmadığı durumlarda pasif kendinden bağlamalı braketler aktif olanlarla karşılaştırıldığında daha düşük sürtünme değerleri oluşturmuştur. Bu çalışmanın bulgularıyla uyumlu olarak, **Thomas ve Sherriff (17), Read Ward ve ark. (19), Sims ve ark.(21), Pizzoni ve ark. (23), Hain ve ark. (28), Thorstenson ve Kusy (56), Taylor ve Ison (71), Voudouris (94), Thorstenson ve Kusy (104)**, pasif kendinden bağlamalı braketlerin aktif olanlara göre daha düşük sürtünme değerleri oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Tecco ve ark. (72) yapmış oldukları çalışmada, konvansiyonel braket, Damon SL II ve Time Plus braketlerinin sürtünme dirençlerini incelemişler ve aktif kapağa sahip Time Plus braketlerinin daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar arasındaki bu uyumsuzluk büyük oranda deneysel tekniklerdeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Tecco ve arkadaşlarının çalışmasında, on braketten oluşan bir model kullanılmaktayken bu çalışmada hazırlanan örnekler tek braketten oluşmaktadır ve kullanılan braket tipleri farklıdır.

Çalışmamızda kullanılan iki pasif kendinden bağlamalı braketten Smart Clip braketinin sürtünme değerleri Damon braketiyle benzer bulunmuştur. Bunun nedeni her iki braketin de ark teli üzerine ligasyon kuvveti uygulamaması olarak açıklanabilir.

Çalışmamızda konvansiyonel braketlerle preforme paslanmaz çelik ligatürlerin kullanımının, aktif ve pasif konfigürasyonlarda ve tüm ark tellerinde elastomerik ligatürlere oranla daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturması

istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bulgular daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur (1,15,28,71,93,94,102).

5.2. Braket ve Ark Teli Arasındaki İkinci Düzen Angulasyonun 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 angulasyonun sürtünme kuvveti üzerine etkilerini incelemiş olan **Read Ward ve ark. (19)**, **Thorstenson ve Kusy (22)**, **Pizzoni ve ark. (23)**, **Thorstenson ve Kusy (56)**, **Redlich ve ark. (57)**, **Cha ve ark. (58)**, **Thorstenson ve Kusy (104)** tarafından yapılan çalışmaların bulgularıyla da uyumludur.

Kusy ve ark. (112), braket ve ark teli arasında kritik temas açısından küçük angulasyonların 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 kilitleme (*binding*) fenomeni de sürtünme kuvvetlerine katılır. Angulasyonun daha da arttığı durumlarda ise artık braket köşeleri ark teli yüzeyine fiziksel zarar vermeye başlar ve klasik sürtünme ve kilitlemeye, çentiklenme (*notching*) de eklenir (114).

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

Kendinden bağlamalı braketler ikinci düzen angulasyon varlığında, konvansiyonel braketlere oranla daha düşük sürtünme kuvvetleri

oluşturmuşlardır. Bu bulgu **Thorstenson ve Kusy (22)**, **Pizzoni ve ark. (23)** tarafından yapılan çalışmaların bulgularıyla da uyumludur.

Read Ward ve ark. (19), kendinden bağlamalı braketlerle (Activa, Speed ve Mobil-Lock), paslanmaz çelik ligatürle bağlanmış konvansiyonel braketi (Ultratrimm) üç farklı boyuttaki çelik arklarla (0.20 inç, 0.019 x 0.025 inç, 0.021 x 0.025 inç) ve değişik braket ark teli angulasyonlarında (0°, 5°, 10°) test etmişlerdir. Angulasyonun artmasıyla sürtünme değerleri artmış, özellikle Activa braketleri 0.020 inç yuvarlak telde ve 5 derece angulasyonda istatistiksel olarak en yüksek değerleri göstermiştir. **Pizzoni ve ark. (23)**, çalışmalarında iki farklı kendinden bağlamalı braketi (Speed ve Damon SL) ve iki farklı marka konvansiyonel braketi (A-Company, Dentaurum), 0.018 inç ve 0.017 x 0.025 inç boyutlarında beta titanyum ve paslanmaz çelik tellerle, beş farklı angulasyonda (0°,3°,6°,9°,12°) kuru ortamda incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre ikinci düzen angulasyonda Speed braketlerindeki sürtünme değerleri diğer braketlere oranla artmıştır. Benzer şekilde **Redlich ve ark (57)**, yaptıkları çalışmada, sürtünmesi azaltılmış braketlerle kendinden bağlamalı Time braketini ikinci düzen angulasyonda (0°,5°,10°) karşılaştırmışlardır. Time braketi bütün angulasyonlarda en yüksek sürtünme değerlerini vermiştir. Çalışmalarda elde edilen bulguların, bu araştırmadan farklı olması büyük oranda kullanılan braket materyallerinin farklılığından kaynaklanmaktadır.

Ark teli ve braket arasında meydana gelen ikinci düzen angulasyonun varlığında aktif ve pasif kendinden bağlamalı braketler arasında sürtünme açısından bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde bu konuyla ilgili değişik görüşlere rastlanmaktadır. Bazı araştırmacılar (56,19) ikinci düzen angulasyonda aktif ve pasif kendinden bağlamalı braketler arasında bir fark olmadığını belirtirken, bazı araştırmacılar ise pasif braketlerin ikinci düzen angulasyonda dahi daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşturduklarını belirtmişlerdir (23,104).

Bu çalışmada kullanılan aktif kendinden bağlamalı bir braket tipi olan Quick braketinin sürtünme değerlerinin pasif olan Damon ve Smart Clip ile

benzer olması, Quick braketinin yuvarlatılmış slot kenarları sayesinde gerçekleştiği düşünülebilir. Böylelikle kritik temas açısı üzerinde meydana gelen kilitlenme ve çentiklenme bu sayede azalmıştır.

5.3. Ark Teli Materyalinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Paslanmaz çelik ve beta titanyum ark teli materyallerinin sürtünme üzerine etkilerinin incelendiği bu çalışmanın sonuçlarına göre beta titanyum tel aktif ve pasif konfigürasyonlarda istatistiksel olarak daha yüksek sürtünme değerleri ortaya koymuştur. Bu çalışmada elde edilen bulgularla benzerlik gösteren beta titanyum telde daha yüksek sürtünme kuvvetlerinin oluştuğunu destekleyen birçok çalışma bulunmaktadır (5,16,23,44,48,53,58,62).

Çalışmalardan bazılarında (5,44,48) araştırmacılar beta titanyum telde açığa çıkan yüksek sürtünme kuvvetini bu tel materyalinin yüzey pürüzlülüğünün fazla olmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Ancak bugün artık ark tellerinin oluşturduğu sürtünme kuvvetleri arasındaki farkın sadece ark teli materyallerinin yüzey yapılarındaki farkla açıklanamayacağı bilinmekte ve konuyla ilgili yapılmış çalışmalar tarafından desteklenmektedir (46,63,73).

Kusy ve ark. (46,63), 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 tellerde sırayla 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 belirtmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünmenin 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. (73) tarafından yapılmış olan bir çalışmada yüzey

profilometresi ile dokuz farklı nikel titanyum, paslanmaz çelik, krom kobalt ve beta titanyum telin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Araştırmacılar bu ölçümleri tellerin sürtünme değerleriyle karşılaştırdıklarında nikel titanyum tellerin 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 altını çizmişlerdir.

Bu çalışmada beta titanyum tel için elde edilen yüksek sürtünme değerleri **Kusy ve ark. (63)** tarafından 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 değişikliklerin SEM görüntülerini karşılaştırmışlardır. Kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum ark tellerinin temas ettiği yüzeylerin paslanmaz çelik tellerin temas ettiği yüzeylerden daha çok hasar gördüğünü ve dört farklı ark teli materyali arasında en çok beta titanyum tellerin yüzeylere zarar verdiğini tespit etmişlerdir. Bunu takiben, aynı yüzeyleri EDX ile tekrar değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme sonucunda, kobalt krom telin kaydırıldığı yüzeyde hiç kobalt tespit edilmezken, nikel titanyum telin kaydırıldığı sahada bir miktar titanyum artığı izlenmiştir. Beta titanyum telin kaydırıldığı yüzeyde ise fazla sayıda titanyum partiküllerine rastlamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, araştırmacılar beta titanyum tellerin yüksek sürtünme katsayısının sebebi olarak beta titanyum ark teli materyalinin mekanik abrazyonunu ve braket yüzeyine adezyonunu göstermişlerdir.

6. SONUÇLAR

1. Çalışmamızda incelenen tüm faktörlerin (braket tipi ve materyali, ark teli materyali, ligasyon tipi) sürtünme kuvveti üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur.
2. Braket tiplerinin karşılaştırılmasında, kendinden bağlamalı braketlerin kullanımının sürtünmeye bağlı kuvvet kaybının azaltılmasında konvansiyonel braketlere oranla daha etkin olduğu görülmüştür.
3. Kendinden bağlamalı braket sistemleri incelendiğinde ark teli üzerine baskı uygulamayan pasif sistemlerin sürtünme değerlerinin aktif olanlara göre anlamlı derecede daha düşük olduğu bulunmuştur.
4. Ark teli ve braket arasında oluşan ikinci düzen angulasyonun sürtünme değerlerinde artışa neden oluşu ve ikinci düzen angulasyona bağlı oluşan kilitleme ve çentiklenmenin aktif ve pasif sistemlerin sürtünme dirençleri arasındaki farkı ortadan kaldırdığı saptanmıştır.
5. Ark telleri incelendiğinde beta titanyum tellerde meydana gelen sürtünmenin aktif pasif kombinasyonlarda paslanmaz çelik tele oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır.

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. Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 96:397-404, 1989.
6. Articolo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 115:39-51, 1999.
7. Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different bracket wire configurations and materials. Semin Orthod. 3:166-177, 1997.
8. Kapur Wadhwa R, Kwon HK, Sciote JJ, Close JM. Frictional resistance in ceramic and metal brackets. J Clin Orthod. 38:35-38, 2004.
9. Quinn RS, Yoshikawa DK. A reassessment of force magnitude in orthodontics. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 85:252-260, 1985.
10. Moore MM, Harrington E, Rock WP. Factors affecting friction in the pre-adjusted appliance. Eur J Orthod. 26:163-170, 2004.

- 11.** 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
- 12.** Omana HM, Moore RN, Bagby MD. Frictional properties of metal and ceramic brackets. J Clin Orthod. 26:425-432, 1992.
- 13.** Tosun Y. Sabit Ortodontik Apareylerin Biyomekanik Prensipleri, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1999.
- 14.** 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.
- 15.** Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. Am J Orthod Dentofacial Orhop. 106:472-480, 1994.
- 16.** Cacciafesta V, Sfondrini MF, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. Am J Orthod Dentofacial Orhop. 124: 395-402, 2003.
- 17.** Thomas S, Sherriff M, Birnie D. A comparative in vitro study of the frictional characteristics of two types of self-ligating brackets and two types of preadjusted edgewise brackets tied with elastomeric ligatures. Eur J Orthod. 20: 589-596, 1998.
- 18.** Khambay B, Millet D, McHugh S. Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. Eur J Orthod. 26:327-332, 2004.
- 19.** Read Ward GE, Jones SP, Davies EH. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. Br J Orthod. 24:309-317, 1997.

- 20.** Berger JL. The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: a comparative in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 97:219-228, 1990.
- 21.** Sims APT, Waters NE, Birnie DJ, Pethybridget RJ. A comparison of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and pre-adjusted bracket employing two types of ligation. *Eur J Orthod.* 15:377-385, 1993.
- 22.** Thorstenson GA, Kusy RP. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 120:361-370, 2001.
- 23.** Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 20:283-291, 1998.
- 24.** 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.
- 25.** 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.
- 26.** 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.
- 27.** Clocheret K, Willems G, Carels C, Celis JP. Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets. *Eur J Orthod.* 26:163-170, 2004.
- 28.** 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.

- 29.** 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.
- 30.** Omana H, Moore R, Bagby M, Erickson L. Frictional properties of ceramic brackets during simulated cuspid retraction. *J Dent Res* 71:A500, 1992.
- 31.** Baccetti T, Franchi L. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. *Angle Orthod.* 76:211-216, 2006.
- 32.** Andreasen GF, Quevedo FR. Evaluation of frictional forces in the 0.022 x 0.028 edgewise bracket in vitro. *Journal of Biomechanics.* 3:151-160, 1970.
- 33.** Nikolai RJ. An optimum force theory as applied to canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 96:397-404, 1989.
- 34.** Graber RM, Swain BF. *Orthodontics: current principles and techniques.* St Louis: CV Mosby, 1985.
- 35.** Proffit WR, Fields HW, Ackerman JL, Bailey TJ, Tulloch C. *Contemporary orthodontics.* Saint Louis: C. V. Mosby; 2000.
- 36.** 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.
- 37.** Hamula DW, Hamula W, Sernetz F. Pure titanium orthodontic brackets. *J Clin Orthod.* 3:140-144, 1996.
- 38.** Dobrin RJ, Kamel IL, Musich DR. Load-deformation characteristics of polycarbonate orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 67:24-33, 1975.
- 39.** Russel JS. Current products and practice aesthetic orthodontic brackets. *J Orthod.* 32:146-163, 2005.

- 40.** Ghafari J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. *Angle Orthod.* 62:145-152, 1992.
- 41.** Saunders CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 106:76-87, 1994.
- 42.** Swartz ML. Ceramic brackets. *J Clin Orthod.* 22:82-88, 1988.
- 43.** 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.
- 44.** Kapur Wadhwa R, Kwon HK, Close JM. Frictional resistances of different bracket-wire combinations. *Aust Orthod J.* 20:25-30, 2004.
- 45.** Flores DA, Caruso JM, Scott GE, Jeiroudi MT. The fractures strength of ceramic brackets: A comparative study. *Angle Orthod.* 60:269-276, 1990.
- 46.** 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.
- 47.** Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*106:131-138, 1994.
- 48.** 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.
- 49.** 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.

- 50.** 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.
- 51.** Dickson J, Jones S. Frictional characteristics of a modified ceramic bracket. *J Clin Orthod.* 30:516-518, 1996.
- 52.** 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.
- 53.** 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.
- 54.** 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
- 55.** Nanda RS. *Biomechanics in clinical orthodontics.* W.B. Saunders company, 1996.
- 56.** 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.
- 57.** 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.
- 58.** 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.
- 59.** Kusy RP. Influence on binding of third-order torque to second-order angulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 125:726-732, 2004.

- 60.** Ireland AJ, Sherrif M, McDonald F. Effect of bracket and wire composition on frictional forces. *Eur J Orthod* 13:322-328, 1991.
- 61.** 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.
- 62.** Downing A, McCabe J, Gordon P. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. *Br J Orthod.* 21:349-357, 1994.
- 63.** Kusy RP, Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech.* 23:913-925, 1990.
- 64.** Kusy RP, Greenberg AR. Effects of composition and cross section on the elastic properties of orthodontic wires. *Angle Orthod.* 51:325-341, 1981.
- 65.** Kusy RP, Dilley GJ, Whitley QJ. Mechanical properties of stainless steel orthodontic arch wires. *Clinical Materials.* 3:41-49, 1988.
- 66.** Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical application of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 96:100-109, 1989.
- 67.** Kusy RP. A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics. *Angle Orthod.* 67:197-208, 1997.
- 68.** Bishara S. Textbook of orthodontics. W.B. Saunders company, 2001.
- 69.** Burstone CJ, Farzin-Nia F. Production of low friction and colored TMA by ion implantation. *J Clin Orthod.* 29:453-461, 1995.
- 70.** Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistance between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 78:593-609, 1980.
- 71.** Taylor NG, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *Angle Orthod.* 66:215-222, 1996.

- 72.** 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.
- 73.** Prosski 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.
- 74.** Ho KS, West VC. Frictional resistance between edgewise brackets and archwires. *Aust Orthod.* 12:95-99, 1991.
- 75.** Burstone CJ. Variable modulus orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 80:1-16, 1981.
- 76.** 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.
- 77.** Harradine NW. Self-ligating brackets: where are we now? *J Orthod.* 30:262-273, 2003.
- 78.** Iwasaki LR, Beatty MW, Randall CJ, Nickel JC. Clinical ligation forces and intraoral friction during sliding on a stainless steel archwire. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 123:408-415, 2003.
- 79.** Riley JL. Evaluation of frictional forces with plastic and metal 0.022 x 0.028 edgewise brackets ligate with stainless steel ties and plastic modules. Richmond: Virginia Commonwealth University, School of Dentistry, 1977.
- 80.** Nicolls J. Frictional forces in fixed orthodontic appliances. *Dent Pract.* 118:362-366, 1968.
- 81.** Paulson RC, Speidel TM, Isaacson RJ. A laminagraphic study of cuspid retraction versus molar anchorage loss. *Angle Orthod.* 40:20-27, 1970.

- 82.** Halderson H. Routine use of minute forces. AM J ORTHOD. 43:750-768, 1975.
- 83.** Farrant SD. An evaluation of different methods of canine retraction. Br J Orthod. 4:5-15, 1977.
- 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.** Taloumis LJ, Smith TM, Hondrum SO, Lorton L. Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures. Am J Orthod Dentofac Orthop. 111:1-11, 1997.
- 86.** Wong AK. Orthodontic elastic materials. Angle Orthod. 46:196-205, 1976.
- 87.** Young J, Sandrik JL. The influence of preloading on stress relaxation of orthodontic elastic polymers. Angle Orthod. 49:104-108, 1979.
- 88.** Dowling PA, Jones WB, Lagerstrom L, Sandham JA. An investigation into the behavioural characteristics of orthodontic elastomeric modules. Br J Orthod. 25:197-202, 1998.
- 89.** Forsberg CM, Brattström V, Malmberg E, Norfd CE. Ligature wires and elastomeric rings :two methods of ligation, and their association with microbial colonization of Streptococcus mutans and lactobacilli. . Eur J Orthod. 13:416-420, 1991.
- 90.** Echols MP. Elastic ligatures, binding forces and anchorage taxation. Am J Orthod. 67:219, 1975.
- 91.** Griffiths HS, Sherriff M, Ireland AJ. Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 127:670-675, 2005.
- 92.** Devanathan D. Performance study of low friction ligature. LaPorte, Ind: Research Laboratory of TP Orthodontics, 2000.

- 93.** Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 100:513-22, 1991.
- 94.** Voudouris JC. Interactive edgewise mechanisms: Form and function comparison with conventional edgewise brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 111:119-140, 1997.
- 95.** Fortini A, Luponni M, Cacciafesta V. A new low friction ligation system. *JCO* 39:464-470, 2005.
- 96.** Hain M, Dhopatkar A, Rock P. A comparison of different ligation methods on friction. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 130:666-670, 2006.
- 97.** Riley JL, Garrent SG, Moon PC. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J Dent Res.* 58:98, 1979.
- 98.** Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson Jr MG, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orhop.* 112:138-144, 1997.
- 99.** Schumacher HA, Bourauel C, Drescher D. The effect of the ligature on the friction between bracket and arch. *Fortschritte Der Keiferorthopaide.* 51:106-116, 1990.
- 100.** Maijer R, Smith DC. Time savings with self ligating brackets. *J Clin Orthod.* 24:29-31, 1990.
- 101.** Hanson GH. The SPEEd system: a report on the development of a new edgewise appliance. *Am J Orthod.* 78:243-265, 1980.
- 102.** Berger JL. The SPEED appliance: A 14 year update on this unique self ligating orthodontic mechanism. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 105:217-223, 1994.

- 103.** Kapur R, Sinha PK, Nanda RS. Frictional resistance of the Damon SL bracket. *J Clin Orthod.* 32:485-489, 1998.
- 104.** Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self ligating brackets with second order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 121:472-482, 2002.
- 105.** Henao SP, Kusy RP. Evaluation of the frictional resistance of conventional and self ligating bracket designs using standardized archwires and dental typodonts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 74:202-211, 2004.
- 106.** Henao SP, Kusy RP. Frictional evaluations of dental typodont models using four self ligating designs and a conventional design. *Angle Orthod.* 75:75-85, 2004.
- 107.** Baker KL, Nieberg LG, Weimer AD, Hanna M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 91:316-320, 1987.
- 108.** Rucker B, Kusy RP. Resistance to sliding of stainless steel multistranded archwires and comparison with single-stranded leveling wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 122:73-83, 2002.
- 109.** Liew CF, Brockhurst P, Freer TJ. Frictional resistance to sliding archwires with repeated displacement. *Aust Orthod J.* 18:71-75, 2002.
- 110.** Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G. Friction in perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 115:619-627, 1999.
- 111.** 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.
- 112.** 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.

113. Rajakulendran J, Jones S. Static frictional resistances of polycrystalline ceramic brackets with metal slot inserts. *Aust Orthod J.* 22(2):147-152, 2006.

114. 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.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İstanbul'da Faik Reşit Unat İlkokulu'nda tamamladı. 1998 yılında Özel Doğuş Lisesi'nden, 2003 yılında Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldu. 2003 yılında Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde doktora öğrenimine başladı.