

BORAGH RAHIMI

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL. ENST. DOKTORA TEZİ

İSTANBUL-2017

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

(DOKTORA TEZİ)

**FARKLI KAPAKLI BRAKET TİPLERİ VE
KONVANSİYONEL BRAKETLERLE FARKLI ARK TELİ
KOMBİNASYONLARININ SÜRTÜNME KUVVETİ
BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

BORAGH RAHİMİ

**DANIŞMAN
PROF.DR. GÜLNAZ MARŞAN**

**ORTODONTİ ANABİLİM DALI
DOKTORA PROGRAMI**

İSTANBUL-2017

TEZ ONAYI

(Bu sayfa yerine, başarılı geçen Tez Sınavı sonrası sınav tutanağı ekinde yer alan Tez Onay sayfası gelecektir.)



BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmayla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Boragh Rahimi (İmza)



İTHAF

Aileme ithaf ediyorum...

TEŞEKKÜR

Ortodonti eğitimimdeki emeği ve doktora tezimin hazırlanmasında desteği nedeni ile değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Gülnaz Marşan'a ,

Tezimin yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hülya Kılıçoğlu ve Prof. Dr. Serdar Üşümez'e,

Ortodonti eğitimime sağladıkları katkı nedeni ile Ortodonti Anabilim Dalımızın değerli öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Yıldız Öztürk Ortan, Prof.Dr.Müyesser Saraç, Prof.Dr. Elif Erbay, Prof. Dr. Nil Cura, Prof. Dr. Sönmez Fıratlı, Doç.Dr. Evren Öztaş'a,

Anabilim Dalı'mızın öğretim üye yardımcılara, doktora öğrencisi arkadaşlarıma ve tüm personeline,

Tez çalışmamın TÜBİTAK Gebze Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde emeği nedeni ile Sayın Dr. Bülent Aydemir'e,

Tez çalışmamda destekleri nedeni ile Eksen Medikal firmasına,

Hayatım boyunca her zaman bana destek olan, her şeyden çok sevdiğim annem ve ablama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	İİ
BEYAN.....	İİİ
İTHAF.....	İV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
TABLolar LİSTESİ.....	Vİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	İX
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ.....	Xİ
ÖZET	Xİİİ
ABSTRACT.....	XİV
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1.Sürtünme	3
2.1.1. Statik Sürtünme.....	3
2.1.2. Kinetik Sürtünme	3
2.2. Ortodontide Diş Hareketi	3
2.3. Ortodontide Sürtünme Kuvveti	4
2.4. Sürtünme Kuvvetini Etkileyen Faktörler	5
2.4.1. Fiziksel Faktörler	6
2.4.1.1. Ark Teline Bağlı Faktörler	6
2.4.1.2. Brakete Bağlı Faktörler	13
2.4.1.3. Ark Teline Bağlı Faktörlerin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi:	18
2.4.1.4. Braket ile Ark Teli Arasındaki İkinci ve Üçüncü Düzen Açılanmanın Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi	22
2.4.2. Biyolojik Faktörler	25
2.4.2.1. Tükürüğün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	25
2.4.2.2. Korozyon.....	26
2.5. Ortodontide Sürtünme Kuvvetlerinin Ölçülmesi	27
3. GEREÇ VE YÖNTEM	29
3.1. Gereç	29
3.1.1. Braketler.....	29

3.1.1.1. Avex MX (Opal Orthodontics,Ultradent,USA)	29
3.1.1.2. Avex CX(Opal Orthodontics, Ultradent,USA)	30
3.1.1.3. Focus TM on İnnovation R(Dentslay,USA)	30
3.1.1.4. Focus TM Inovation C(Dentsplay,USA)	31
3.1.2. Ark telleri	31
3.1.3. Ligatür materyali	31
3.1.4. Primer:.....	32
3.1.5. Yapıştırıcı Kompozit:.....	32
3.1.6. Alüminyum Plakalar:	32
3.1.7. Işık Kaynağı:	33
3.1.8. Standardizasyon İçin Kullanılan Rehber Tel:	33
3.1.9. Sürtünme Testi	34
3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem	34
3.3. İstatistiksel Değerlendirme	36
4. BULGULAR.....	37
4.1. Statik Sürtünme Dirençlerine İlişkin Sonuçlar	37
4.2. Kinetik Sürtünme Direncine İlişkin Sonuçlar	52
5. TARTIŞMA	70
5.1. Gereç ve Yöntemin Tartışılması	70
5.2. Statik Sürtünme Direnci İle İlgili Bulguların Tartışılması.....	73
5.2.1. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmaların Statik Sürtünme Dirençleri Üzerindeki Etkisinin Tartışılması.....	73
5.2.2. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmalarda Tel Materyalinin Statik Sürtünme Direnci Üzerindeki Etkisinin Tartışılması.....	73
5.2.3. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmalarda Ortodontik Tel Materyalinin Statik Sürtünme Direnci Üzerine Olan Etkilerinin Karşılaştırmalı Olarak Tartışılması	76
5.2.4. Farklı Braket Tipleri ile Tel Kombinasyonlarında Oluşan Statik Sürtünme Dirençlerinin Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi	77
5.3. Kinetik Sürtünme İle İlgili Bulguların Tartışılması.....	80
5.4. Sonuçlar	81
KAYNAKÇA.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	92

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4-1: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-2: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında açılanmalar arasındaki statik sürtünme direnci değişimlerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Tablo 4-3: Ark teli ile braket slotu arasında 0° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-4: Ark teli ile braket slotu arasında 5° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-5: Ark teli ile braket slotu arasında 10° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-6: Farklı tipteki braketlerdeki ark teli boyutlarının statik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Tablo 4-7: Farklı ark teli boyutlarında braketlerin statik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Tablo 4-8: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-9: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında açılanmalar arasındaki kinetik sürtünme direnci değişimlerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Tablo 4-10: Ark teli ile braket slotu arasında 0° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-11: Ark teli ile braket slotu arasında 5° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-12: Ark teli ile braket slotu arasında 10° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Tablo 4-13: Farklı tipteki braketlerdeki ark teli boyutlarının kinetik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Tablo 4-14: Farklı ark teli boyutlarında braketlerin kinetik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3-1: Avex MX braket

Şekil 3-2:Avex CX braket

Şekil 3-3: Inovation R braket

Şekil 3-4: Inovation C braket

Şekil 3-5: 0.017x0.025 inç boyutlarına sahip düz teller

Şekil 3-6: Yapıştırıcı kompozit

Şekil 3-7: Primer

Şekil 3-8: Polimerizasyon Cihazı

Şekil 3-9: Alüminyum plaka

Şekil 3-10:Alüminyum plaka ve standardizasyon için kullanılan rehber tel

Şekil 3-11: Sürtünme düzeylerinde kullanılan cihaz

Şekil 3-12: Açılandırma İşlemi. A: 0° açılanma, B:5° açılanma ve C:10° açılanma

Şekil 4-1: Avex CX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-2: Innovatin C kendinden bağlanmalı seramik braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-3: Avex MX konvansiyonel metal braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-4: Inovation R kendinden bağlanmalı metal braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-5: 0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-6: 0° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerine göre statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-7: 5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-8: 5° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-9: 10° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-10: 10° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-11: Avex CX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Şekil 4-12: Inovation C braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Şekil 4-13: Avex MX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Şekil 4-14: Inovation R braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Şekil 4-15: 0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-16: 0° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-17: 5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-18: 5° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerinde statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-19: 10° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

Şekil 4-20: 10° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

cm: Santimetre

cN:

Santinewt

on dak:

Dakika

F:

Ku

vve

t gr:

Gra

m

mm:

Milimetre

µm:

Mikromet

re N:

Newton

nm: Nanometre

NiTi: Nikel titanyum

sn: Saniye

SD: Standart

Sapma SS:

Paslanmaz

Çelik θ :

Kontak açısı

θ_c : Kritik kontak açısı

%: Yüzde

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece

μ : Sürtünme Katsayısı

$^{\circ}$: Derece

$>$: 'den büyük

$<$: 'den küçük

PDL: Periodontal Ligament

TMA :Titanyum molibdenyum alaşımı

ÖZET

Soyadı, A.B. (2006). Farklı Kapaklı Braket Tipleri ve Konvensiyonel Braketlerle Farklı Ark Teli Kombinasyonlarının Sürtünme Kuvveti Bakımından Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti AD. Doktora Tezi. İstanbul.

Anahtar Kelimeler : Sürtünme; Kapaklı Braketler; Ortodontik Teller

Bu çalışmanın amacı, dört farklı labial braket ile üç farklı ark teli arasında oluşan sürtünme kuvvetini 0° , 5° ve 10° açılanmalarda değerlendirmektir. Bu amaçla çalışmada 0,018x0,025 inç slot boyutunda Avex CX, Avex MX, Inovation C ve Inovation R sağ üst kanin braketleri ile, 0,017x0,025 inç boyutundaki paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum teller farklı kombinasyonlarda kuru ortamda sürtünme testi cihazında değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları değerlendirildiğinde, tüm kombinasyonlarda açılanma arttıkça oluşan sürtünme dirençlerinde de artış gözlenmiştir. En yüksek sürtünme direnci Avex CX konvansiyonel seramik brakti ile TMA tel kombinasyonu arasında 10° derece açılanmada meydana gelmiştir. Kinetik sürtünme direnci değerlerinin statik sürtünme direnci değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kapaklı estetik ve metal, konvansiyonel estetik ve metal braketler ile SS, TMA ve NiTi tellerde sürtünme dirençleri değerlendirildiğinde en yüksek sürtünme direnci TMA tellerde meydana gelmiştir. Estetik kapaklı braketler metal kapaklı braketler ile karşılaştırıldığında daha düşük sürtünme direnci oluşturduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ortodonti, sürtünme, kapaklı, konvansiyonel, braket

ABSTRACT

Rahimi, A.B. (2017). A Comparative of frictional resistances in combinations different self-ligating brackets and conventional brackets with different orthodontic archwires. Istanbul University, Institute of Health Science, Department Of Orthodontics. PhD Thesis. Istanbul 2017

The aim of this study is to evaluate the frictional force between the four different labial brackets and three different artefacts at 0°, 5° and 10° angles. For this purpose, 0,018x0,025 inch slot size Avex CX, Avex MX, Inovation C and Inovation R right upper bracket brackets and stainless steel, nickel titanium and beta titanium wires of 0.017x0.025 inch size were evaluated in the dry friction test device in different combinations. When the findings of the study were evaluated, there was an increase in friction resistance as the angulation increased in all combinations. The highest frictional resistance Avex CX had a 10 degree angle between the conventional ceramic bracket and the TMA wire combination. Kinetic friction resistance values were found to be lower than static friction resistance values. When the frictional resistances of SS, TMA and NiTi wires are evaluated with capped aesthetics and metal, conventional aesthetic and metal brackets, the highest friction resistance is found in TMA wires. Aesthetic cover brackets have been found to provide lower friction resistance compared to metal cover brackets.

Keywords: Orthodontic, friction, brackets, self ligating, conventionaly

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İnsanların fiziki güzelliklerini belirleyen en önemli öğelerden biri yüz güzelliği olup yüz bölgesinde, ağız ve gözler en çok dikkat çeken öğelerdir (30). Bu nedenle ortodontik tedavilerde amaç düzgün dizilmiş diş arkları ve birbirleriyle uyumlu bir alt üst çene ilişkisine ulaşarak yüz estetiğine katkıda bulunmaktır. Ancak uzun süreli ortodontik tedavilerde kullanılan sabit ve hareketli apareylerin ağız ve diş estetiği üzerine olan olumsuz etkileri olduğu da bilinen bir gerçektir. Özellikle sabit apareylerin görüntüleri estetik olmadığından, araştırmacıları daha estetik apareylerin üretilmesi için doğru yönlendirmiştir. Bu sebeplerle, günümüzde yaygın olarak kullanılan ortodontik apareyleri seçerken, tedavi sürecinde ağız ve diş estetiğine negatif etkileri dikkat edilmesi, önemli bir öğe haline gelmiştir (76).

Sabit ortodontik tedavide braket ile ark teli arasında, ark telinin brakete bağlanması ile başlayan ve diş hareketi boyunca devam eden, uygulanan kuvvetin azalmasına, diş hareketinin sürecinin değişmesine neden olan bir sürtünme direnci meydana gelmektedir (73, 83).

Ortodontik tedavi sırasında sürtünmeye, aktif tork uygulamalarında, dental ark üzerinde yer açma ve kapatma işlemleri sırasında, anterior segmentin retraksiyonunda, ark dışında konumlanan bir dişin ark içerisine alınmasında, ayrıca ark telinin posterior dişlerin braketleri ya da tüpleri içinde kaydırıldığı *sliding* mekanikler sırasında rastlanmaktadır (16,77).

Ortodontik tedavi sırasında meydana gelen sürtünme direncinde birçok faktör rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalarda, ortodontik aygıt seçimi, ark teli ve braket özellikleri, ligasyon materyali, ligasyon tekniği ve biyolojik etkenler gibi faktörlerin sürtünme kuvveti üzerinde doğrudan etkisi olduğu bulunmuştur. Sabit ortodontik apareylerin etkinliğinin ve diş hareketinin kontrolünün daha da artırılabilmesi için bu etkiler daha iyi belirlenmeli ve en aza indirilmelidir.

Ortodonti literatüründe; özellikle farklı ark teli ve braket materyallerinin braket ve ark teli ara yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti üzerine etkileri yıllardan beri incelenmektedir. Paslanmaz çelik hijyenik, dayanıklı ve ucuz olması nedeniyle ortodonti pratiğinde en sık kullanılan braket materyalidir. Gelişen materyal

teknolojisi sayesinde güncel ortodonti pratiğinde artık biręok ark teli, braket ve ligasyon materyali alternatifi bulunmaktadır (101,108).

Sürtünme kuvvetlerini ortadan kaldırarak tedavi etkinliğini arttırmak amacı ile braket ve tel materyali özelliklerinde teknolojiadaki gelişmelerin getirdiği olanaklar kullanarak değişiklikler yapılmaktadır. Bu ęalıřmaların sonucunda kapaklı braketler üretilmiştir (83, 108).

Biręok araştırma, kapaklı braketlerin konvansiyonel braket tasarımlarıyla karşılaştırıldığında, sürtünme direnęlerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir (46,96).

Bu ęalıřmanın amacı; geleneksel yöntemlerle ligatüre edilen konvansiyonel braketlerle, kendinden bağlamalı estetik ve metal braketler arasında farklı materyalden üretilmiş ark teli kombinasyonları arasında oluşan sürtünme direncinin istatistiksel olarak değerlendirilmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Sürtünme

Temas halinde bulunan iki cismin birbirleri üzerinde harekete zorlanması sırasında, temas yüzeyine teğet ve zorlanmaya zıt yönlü ortaya çıkan direnç kuvvetine sürtünme adı verilmektedir (3). Hareket başladıktan sonra sürtünme, cisimlerin yüzey özellikleri veya hareket hızından etkilenmemektedir (73,90).

Sürtünme; $F = u \times N$ olarak formül halinde gösterilir. F sürtünme kuvvetini, u sürtünme katsayısını, N ise cismin yüzeye bastırılma kuvvetini ifade eder. Sürtünme katsayısı, temas eden cisimlerin yüzey özelliklerine bağlıdır (73,91).

2.1.1. Statik Sürtünme

Düz ve katı bir yüzey üzerinde kendi sabit kütlesi ile duran bir cismi hareket ettirmek için gereken kuvvettir (90).

2.1.2. Kinetik Sürtünme

Cismin hareket etmesi ile başlayan ve sabit hızla hareketine devam etmesi için aşılması gereken sürtünme kuvvetidir (11,90).

2.2. Ortodontide Diş Hareketi

Ortodontik diş hareketi dişe uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen bir takım fizyolojik olaylar sonucunda gelişir. Dişlerin kemik doku ile bağlantısını sağlayan periodontal ligament (PDL), bir noktaya kadar gelen kuvvetleri adeta bir amortisör gibi emerek hem diş hem kemik dokusunu koruyabilmektedir. Belli bir şiddeti ve süreyi geçen kuvvetlerde ise ağız içinde oluşan kuvvetler yeniden dengeye ulaşana kadar dişler kemik içersinde translasyona başlar (89). Kemik bazı bölgelerde ortadan kalkarken, diğerlerinde yeni kemik eklenir (83).

Dişe uygulanan aşırı kuvvetler hızlı bir şekilde gelişen ağrıya PDL hücresel elemanların nekrozuna ve alveol kemiğinin arkadan (indirekt) rezorpsiyonuna neden olur (83). Ağrı normalde ağır kuvvetler karşısında 3-5 saniye içinde algılanır; bu bulgu da sıvı kaçışının ve PDL'e yönelik baskı kuvvetleri etkisinde sıkışmanın, bu

süre içerisinde gerçekleştiğini gösterir (83). Hafif kuvvetler ile PDL'deki hücreler zarar görmez ve diş socketinde ağrısız bir şekilde direkt rezorpsiyon başlar (83).

Dokulara zarar vermeden diş hareketi oluşturan kuvvete optimal kuvvet adı verilir (89). Diş hareketi için en uygun kuvvet, alveol kemiğinin, periodontal ligamentin ve diş kökünün devamlılığını koruyarak çevre dokularda herhangi bir hasara enden olmayan ve en hızlı diş hareketini sağlayan kuvvet olarak tanımlanmıştır (81).

Dişin uzun süreli kuvvet uygulanmasına ortodontik hareket şeklindeki yanıtı, iki teori ile açıklanmaktadır. Biyolojik elektrik ve kan akımını etkileyen PDL'deki basınç-gerilim ortodontik diş hareketinin meydana gelmesindeki başlıca iki teoridir. Biyoelektrik teori, alveolar kemiğin esnemesi ve bükülmesi ile oluşan elektrik sinyalleri ile kontrol edilen kemik metabolizmasındaki değişimlerle ilişkilidir. Basınç-gerilim teorisi, PDL'deki kan akımındaki değişimlerle ortaya çıkan kimyasal ajanlarla meydana gelen hücresel değişimlere bağlı diş hareketi ile ilişkilidir. Ligamanın yapısındaki kan damarlarının çapını azaltarak veya arttırarak PDL'deki basınç ve gerilme ile kan akımı değiştirilebilir. Bu iki mekanizmanın da diş hareketinin biyolojik kontrolünde rol oynadığı düşünülmektedir (83).

2.3. Ortodontide Sürtünme Kuvveti

Ortodontik tedavilerde diş hareketleri sırasında braket ve ark teli arasında sürtünme kuvvetleri meydana gelmektedir. Dişlerin seviyelenmesi ve sıralanması, eğer diş çekimi yapıldıysa çekim boşluklarının kapatılması, aktif tork verilmesi sırasında ark teli ve braket arasında sürtünme dirençleri oluşmaktadır (50). Ortodontik tedavi sırasında, hareket ettirilen diş, ark teli üzerinde çok küçük devrilme ve düzelme hareketleri yaparak ilerler. Bu sebeple ortodontide boşluk kapatma işleminde daha çok statik sürtünme görülmektedir (74).

Dişe uygulanan kuvvetler dişte hareket meydana getirebilmek için hem dişin içinde bulunduğu kemik ve yumuşak doku direncini hem de braket ve ark teli arasında meydana gelen sürtünme miktarını aşmalıdır (2). Kojima ve arkadaşları (55) yaptıkları sonlu elemanlar analizi çalışmasında kayıcı mekanikler ile yapılan retraksiyon sırasında uygulanan ortodontik kuvvetin %60 ile %80'inin sürtünme ile kaybolduğunu belirtmişlerdir.

Ortodontide mezio-distal yönlü diş hareketi iki farklı mekanikle gerçekleştirilebilir:

- 1) Bölümlü arklar (sectional arch mechanics) aracılığı ile yapılabilir. Bu tip ortodontik harekette sürtünme yok denecek kadar azdır. Dişler zemberekler (looplar) yardımıyla hareket ettirilirler. Ancak diş hareketi sırasında dikey ve yatay yönlü istenmeyen rotasyonlar gözlenebilir ve mezio-distal yöndeki diş hareketi tamamlandıktan sonra dişlerin rotasyonlarını ve eğimlerini düzeltmek için seviyeleme ihtiyacı ortaya çıkabilir (9,12, 24, 96).
- 2) Kayma mekanikleri (sliding mechanics) ile yapılabilir. Bu uygulamada diş veya diş grubu kuvvet uygulanarak ark teli üzerinde kaydırılmaya çalışılmaktadır. Bu sistemlerde ise ark teli ile braket arasında “binding” meydana gelmesi ve sürtünme sonucunda dişin hareket miktarının azalması gibi istenmeyen etkiler ortaya çıkabilir (96).

Sürtünme sabit apareyin etkinliğini azaltır. Buna bağlı olarak ortodontist istenilen sonucu elde etmek için daha çok kuvvet uygulamaya gerek duyar. Ancak hafif kuvvetler daha az ağrıya sebep olarak, ankraj dişlerin konumunun korunması diş hareketinin başlaması ve sürdürülmesi için daha uygundur. Eğer ortodontist, klinik olarak bu kuvveti aşarsa, ağrı ve diğer istenmeyen diş hareketleri ile birlikte ankraj kaybına sebep olabilmektedir (3). Bu nedenlerden dolayı sürtünmenin tanımı, apareyin hangi özelliklerinin sürtünmeyi arttırdığı klinisyen tarafından iyi kavranmalıdır (25).

2.4. Sürtünme Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Ortodontide sürtünmenin kaynağı literatürde geniş olarak araştırılmıştır. Sürtünme, kullanılan ark telinin materyali, kesiti ve boyu, braketin materyali, slot boyutu, genişliği ve açılanması, ligatür materyali ve ligatürleme kuvveti ile birlikte tükürük, plak ve korozyon gibi diğer biyolojik faktörler ile de ilişkilidir (48).

2.4.1. Fiziksel Faktörler

2.4.1.1. Ark Teline Bağlı Faktörler

1- Ark teli materyalinin sürtünme üzerine etkisi: Diş hareketi sırasında tel materyali de meydana gelen sürtünme kuvvetinde etkilidir (106). Ortodontide günümüzde kullanılan ark teli malzemeleri şunlardır:

1. Altın,
2. Paslanmaz çelik,
3. Krom-kobalt,
4. Nikel-titanyum,
 - a. Martensitik ve östenitik,
 - b. Süperelastik ve ısı ile şekillendirilebilen alaşımlar,
5. Beta titanyum,
6. Alfa titanyum,
7. Titanyum niobiyum alaşımı,
8. Çoklu sarımlı ark telleri,
9. Kompozit/kaplama teller,
10. Optiflex ark telleri.

Ark teli materyallerinin sürtünme üzerine etkisini inceleyen araştırma sonuçları, paslanmaz çelik tellerin sürtünme direncinin en az olduğunu ve bunu artış sırasıyla krom kobalt teller, nikel-titanyum teller ve beta-titanyum tellerin izlediğini belirtmektedir. Araştırmacılar bu sonuçların, sıfır derece angulasyon ve tork içeren braketler içinde ark telinin, düz bir çizgi boyunca hareket ettirildiği ve kilitlenme olmadan gerçekleşen hareket için geçerli olduğunu bildirmiştir (2, 21, 24, 28, 42, 48, 56, 53, 89, 103).

Nishio ve ark. (72), 2004 yılında yaptıkları çalışmada, seramik, paslanmaz çelik ve metal slotlu seramik braketlerle, 0,019x0,025 inç boyutlarında paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum teller arasındaki sürtünme direncini değerlendirmişler ve en az sürtünme direncinin paslanmaz çelik tellerde meydana

geldiğini, en yüksek sürtünme direncinin ise beta titanyum tellerde oluştuğunu bildirmişlerdir.

Cacciafesta ve ark. (13), çeşitli boyutlarındaki köşeli ve yuvarlak kesitli paslanmaz çelik, nikel-titanyum ve beta-titanyum teller ile üç farklı tipteki braket arasında oluşan sürtünme direncini incelemişler, beta-titanyum tellerin paslanmaz çelik ve nikel-titanyum tellerden daha fazla sürtünme direnci meydana getirdiğini, ancak nikel titanyum teller ile paslanmaz çelik teller arasında birbirlerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını belirtmişlerdir.

Loftus ve ark. (70), klinik koşulları aksettirecek şekilde diş hareketinin taklit edildiği çalışmalarında konvansiyonel ve kapaklı tipte paslanmaz çelik ve seramik braketlerin 0,019x0,025 inç boyutundaki paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum ark telleri ile meydana getirdikleri sürtünme kuvvetini incelemişlerdir. Nikel titanyum tellerin beta titanyum tellerden daha az sürtünme oluşturduğu belirlenmiş, paslanmaz çelik tellerle nikel titanyum teller arasında anlamlı istatistiksel bir fark bulunmamıştır.

Park ve ark. (84), yaptıkları çalışmada iki farklı tip lingual ve bir tip labial braket ile 0,016x0,022 inç ve 0,017x0,025 inç boyutlarındaki paslanmaz çelik, kobalt krom ve beta-titanyum ark telleri arasındaki sürtünme kuvvetlerini değerlendirmişler ve lingual braketler ile farklı boyutlardaki tel grupları arasında meydana gelen sürtünme direncinin krom kobalt tellerde, paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Bazakidou ve ark.(7), dört farklı tipte estetik, bir tip seramik, bir tip safir ve bir tip metal braket ile paslanmaz çelik, beta titanyum ve nikel titanyum ark telleri arasındaki sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında, tel materyalinin sürtünme direnci üzerine etkisini değerlendirdiklerinde paslanmaz çelik tellerin beta titanyum ve nikel titanyum tellerden daha az sürtünme direnci gösterdiğini ve sırasıyla artarak bunu beta titanyum ve nikel titanyum tellerin izlediğini belirtmişlerdir.

Michelberger ve ark. (67), kuru ortamda yuvarlak ve köşeli paslanmaz çelik teller, iyon implante edilmiş yuvarlak ve köşeli beta titanyum tellerin paslanmaz çelik ve titanyum braketler ile meydana getirdikleri sürtünme ve aşınmayı inceledikleri çalışmalarında, paslanmaz çelik tellerin sürtünme direncinin, iyon implante edilmiş beta titanyum tellerden daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Ireland ve ark. (43), paslanmaz çelik ve polikristalin seramik braketler ile iki farklı boyuta sahip paslanmaz çelik ve nikel-titanyum telleri kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında kayıcı mekanikler kullanıldığında, sürtünmenin azaltılması için nikel titanyum teller yerine paslanmaz çelik tellerin kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Kim ve ark. (54), sıralama seviyeleme dönemindeki sürtünme kuvvetlerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında beş farklı tipte kendinden bağlamalı braket ile 0,014 inç ve 0,016 inç boyutlarında ostenit nikel titanyum ve copper nikel-titanyum teller kullanmışlardır. Aynı boyuttaki teller karşılaştırıldığında, ostenit nikel titanium tellerin copper nikel titanyum tellerden daha az sürtünme kuvveti oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Kusy ve Whitley (60), sürtünme direncinin kayma hızına etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında paslanmaz çelik bir yüzey üzerinde beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha fazla sürtünme direnci ortaya çıkardığını bildirmişlerdir.

Whitley ve Kusy (114), 0,018 inç slot boyutundaki titanyum braketler ile 0,017x0,025 inç boyutlarındaki paslanmaz çelik ve beta titanyum teller arasında meydana gelen sürtünme direncini beş farklı normal kuvvetle otuziki farklı açılma uygulayarak karşılaştırdıkları çalışmalarında, pasif ve aktif konfigürasyonda paslanmaz çelik tellerin sürtünme katsayılarının beta titanyum tellerden küçük olduğunu bildirmişlerdir. Bir diş hareket ettirilirken beta titanyum tel kullanıldığında uygulanacak kuvvetin paslanmaz çelik tel kullanıldığında uygulanacak kuvvetten yaklaşık 2,4 kat fazla olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Vaughan ve ark. (113), iki farklı slot boyutuna sahip paslanmaz çelik braketler ile paslanmaz çelik, krom kobalt, nikel titanyum ve beta titanyum teller arasındaki sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında beta titanyum tellerin en yüksek, paslanmaz çelik tellerin ise en düşük sürtünme direnci meydana getirdiklerini bildirmişlerdir.

Kapila ve ark. (48), farklı boyutlardaki paslanmaz çelik, krom kobalt, nikel titanyum ve beta titanyum teller ile paslanmaz çelik braketler arasındaki sürtünme direncini inceleyerek, beta titanyum ile nikel titanyum tellerin paslanmaz

elik ve krom kobalt tellerden daha fazla sürtünme direnci oluşturduklarını bildirmişlerdir.

Angolkar ve ark. (2), 0,018 in ve 0,022 in slot boyutlarındaki monokristalin seramik braketler ile paslanmaz elik, kobalt krom, beta titanyum ve nikel titanyum teller arasındaki sürtünme direncini ölçtükleri çalışmalarında, beta titanyum ve nikel titanyum tellerin paslanmaz elik ve nikel titanyum tellerden daha fazla sürtünme kuvveti ortaya çıkardığını tespit etmişlerdir.

Kusy ve Whitley (59), 0,018 in ve 0,022 in slot boyutundaki paslanmaz elik ve polikristalin alumina braketleri paslanmaz elik, krom kobalt, nikel titanyum, beta titanyum teller ile test etmişlerdir. 34°C'lik kuru ortamda kinetik sürtünme katsayısının belirlendiğı bu çalışmada en düşük değerin paslanmaz elik tellerde olmak üzere sırasıyla artarak krom kobalt, nikel titanyum, beta titanyum tellerde ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Tidy ve Orth (106), devamlı ark teli boyunca gövdesel diş hareketi sırasında oluşan sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında sürtünme direncinin uygulanan kuvvet ile doğru orantılı olduğunu, ark teli ve braket slot boyutlarının sürtünme direnci üzerinde çok az etkili olduğunu, ayrıca ark teli materyali açısından yapılan incelemede nikel titanyum ve beta titanyum tellerin paslanmaz elik tellerden iki ile beş kat fazla sürtünme kuvveti oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Thorstenson ve Kusy (109), dört farklı tipte kendinden bağlamalı braketler ile üç farklı boyutta ostenit nikel titanyum, tek boyutta martensit nikel titanyum ve paslanmaz elik teller arasında kuru ortamda farklı angulasyonda meydana gelen sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında, pasif konfigürasyonda ark teli materyalinin, sürtünme katsayısını etkileyen faktör olması sebebiyle nikel titanyum tellerin paslanmaz elik tellerden daha fazla sürtünme direnci oluşturduğunu belirlemişlerdir.

Frank ve Nikolai (27), 1980 yılında yayınlanan ark teli boyunca kanin distalizasyonunu in vitro olarak simule ettikleri çalışmalarında farklı tipte paslanmaz elik braketler ile 0,016 in, 0,018 inç, 0,020 inç, 0,017x0,025 in ve 0,019x0,025 inç boyutlarında paslanmaz elik, elgiloy ve nikel titanium telleri 0°, 3°, 6° ve 10°'lik aılandırmalarda test etmişler ve ark teli materyalinin sürtünme üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar yüksek açılarda bükülme direncinin sürtünme

üzerinde en çok etkili olan faktör olduğunu ve diğer tellere oranla en düşük katılığa sahip olan nikel titanium telin braket- ark teli arayüzünde daha az temas kuvveti oluşturması nedeni ile bu teller ile daha düşük statik sürtünme direncinin oluştuğunu bildirmişlerdir.

Rose ve Zernik (92), 1996 yılında yayınlanan çalışmalarında nikel titanyum alaşımı tellerin paslanmaz çelik tellere göre daha düşük sürtünme direncine neden oldukları bildirilmiştir. Braketler arasında vertikal yöndeki ofset miktarı arttırıldıkça sürtünme değerleri açısından iki tel materyali arasındaki farkın arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar nikel titanyum alaşımının paslanmaz çelik alaşımdan daha esnek bir yapıya sahip olması nedeni ile nikel titanyum telin daha düşük sürtünme direnci gösterdiğini bildirmişlerdir.

2.Arık Teli Çapı ve Kesitinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi:

Genel olarak aynı braket ve tel materyali için tel çapı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin de arttığı bildirilmiştir (45, 53, 65, 2, 63, 58, 10, 78, 46, 35, 22). Ayrıca köşeli kesite sahip olan tellerin sürtünmeye etkisinin yuvarlak tellerden daha fazla olduğunu ıkanıtlayan çalışmalar bulunmaktadır (65, 78, 22). Ancak, bu sonuçların braket ve ark teli arasında bağlanmanın meydana geldiği ikinci düzen angüstasyonlarda farklılık gösterdiği Frank ve ark. tarafından 1980 yılında yapılan bir çalışmayla ortaya koyulmuştur. Braket ve ark teli arasında bağlanmanın gerçekleştiği ikinci düzen açılanmalarda ark teli braketin karşı köşelerine temas etmektedir. Bu sırada braket oluşu içinde bulunan yuvarlak kesitli tel üzerinde köşelerdeki temas noktalarında çentiklenmeler oluşabilmektedir. Oluk içinde dikdörtgen kesitli tel bulunduğunda ise braket köşelerinde kuvvet daha geniş bir temas alanı üzerine dağılacğından ortaya çıkan basınç ve sürtünme direnci daha düşük olmaktadır (2).

Kapila ve ark. (48) tarafından 1990 yılında yapılan bir çalışmada, genel olarak tel boyutundaki bir artış miktarının braket ile ark teli arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetindeki artış miktarı ile doğru orantılı olduğunu bildirmişlerdir.

Cacciafesta ve ark. (13) tarafından 2003 yılında yapılmış olan çalışmada, beta titanyum, nikel titanyum ve paslanmaz çelik tellerde artan ark teli boyutu ile birlikte sürtünme direncinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Moore ve ark.' (68) nın 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada, 0.022 inç slot boyutuna sahip olan braketler, 0.019x0.025 inç ve 0.021x0.025 inç boyutlarında olan

paslanmaz çelik tel parçalarıyla birlikte test edilmiştir. Araştırma sonucunda, 0.021x0.025 inç boyutunda olan telin daha yüksek sürtünme direncine neden olduğu bildirilmiştir.

Kapur ve ark. (46) tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, kullanılan çeşitli braket ve ark teli kombinasyonlarında ark teli boyutunun arttırılmasının sürtünme direncinde artışa neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Kusy ve Whitley (62), paslanmaz çelik braketler ile farklı boyut ve materyalde teller kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, pasif konfigürasyon varolduğu sürece aynı materyaldeki yuvarlak veya köşeli teller arasında sürtünme katsayısının aynı olduğunu ve bunun da sürtünmenin ikinci kanunu ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, aynı tel alaşımı için boyut arttıkça katılığın artması sebebiyle aynı kuvvet altında köşeli telin yuvarlak telden daha az esnediğini bunun da kilitlenmeyi ve sürtünme kuvvetini azalttığını bildirmişlerdir.

Tecco ve ark. (105), biri konvansiyonel, diğer ikisi kendinden bağlamalı paslanmaz çelik braketler ile yuvarlak ve köşeli nikel titanyum, beta titanyum ve paslanmaz çelik teller arasındaki sürtünme direncini ölçtükleri çalışmalarında tüm braket-tel kombinasyonlarında ark teli boyutunun artması ile sürtünmenin de arttığını belirlemişlerdir.

3.Arak Telinin Yüzey Özelliklerinin Sürtünme Direncine Etkisi

Yüzey pürüzlülüğü Tek başına çok önemli bir değişken olmasa da yüzey pürüzlülüğü özellikle braket ve ark teli arasında düşük derecede açılanma varsa sürtünme kuvvetleri açısından belirleyici bir faktör olabilmektedir (25-26).

Bourauel ve ark. (10), farklı firmalara ait onbir adet nikel titanyum, birer adet paslanmaz çelik ve beta titanyum ark tellerinin yüzey özelliklerini atomik kuvvet mikroskop (AFM) ve lazer spekular reflektans yöntemi ile değerlendirdikleri çalışmalarında deney sonuçlarına göre ark tellerini yüzey özelliklerine göre pürüzsüz, orta derecede pürüzlü ve pürüzlü olmak üzere üç gruba ayırmışlardır. Paslanmaz çelik tel pürüzsüz grupta, beta titanyum tel ise orta derecede pürüzlü grupta yer almıştır. Beta titanyum tellerin en yüksek sürtünme direncine sahip olmasına rağmen bu çalışmada orta derecede pürüzlülük grubunda yer alması daha önce yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi, yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme direnci arasında doğrudan bir bağ kurulamayacağı,

sürtünmeyi etkileyen diğer mekanik değişkenler arası etkileşimin henüz yeterince açıklık kazanmadığı görüşünü desteklemektedir. Araştırmacılar tarafından yüzey özelliğini belirleyen en önemli etkenin üretim tekniği olduğunu, yüzey özelliğinin ortodontik telin korozyon, doku uyumluluğu ve estetik özelliklerini belirlediği bildirilmiştir (56, 84).

Nishio ve ark. (85), ise seramik, metal slotlu seramik, paslanmaz çelik braketler ile paslanmaz çelik nikel titanyum, ve beta titanyum ark telleri arasındaki sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında ark teli yüzeylerini taramalı elektron mikroskop (SEM) ile değerlendirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün paslanmaz çelik telde en az olduğunu bunu sırasıyla artarak nikel titanyum ve beta titanyum tellerin izlediğini ve sürtünme direncinin de aynı sırayla artması nedeniyle aralarında bir orantı olduğunu belirtmişlerdir.

Prososki ve ark. (85), ark tellerinin yüzey özellikleri ile statik sürtünme direnci arasındaki ilişkiyi belirleme amacı ile yaptıkları çalışmalarında dokuz adet nikel titanyum, birer adet paslanmaz çelik, beta titanyum ve krom kobalt ark teliini kendinden bağlamalı braketler ile test ederek yaptıkları çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme direnci arasında anlamlı bir korelasyon bulunmadığını belirtmişlerdir .

4- Ark teli katılığı ve sertliğinin sürtünme üzerine etkisi:

Katılık, bir telin bükülme ya da çekmeye karşı gösterdiği direnç ölçüsüdür.

Tellerin katılık özelliği üç faktörden etkilenir. Bunlar;

a- Çap: Yuvarlak kesitli tellerde, telin çapı ikiye katlandığında uyguladığı kuvvet 16 kat artar. Çapları biri diğerinin iki katı olan iki tele eşit şiddette kuvvetler uygulandığında, ince çaplı olan telin kalın çaplı olana oranla 16 kat daha fazla esneme gösterdiği görülür (107).

Köşeli tellerde ise durum biraz daha farklıdır. Telin uyguladığı kuvvet birinci düzende telin genişliğiyle, ikinci düzende ise telin kalınlığının küpüyle doğru orantılıdır. İki kat geniş bir tel iki kat daha fazla kuvvet verir. İki kat kalın bir tel ise sekiz kat daha fazla kuvvet uygular (107).

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

Ortodonti pratiğinde loopların yapılma amacı da iki braket arasındaki tel uzunluğunun, dolayısıyla telin elastikiyetinin artırılmasıdır (107).

c- Materyal: Tellerin üretildikleri materyal de telin katılığını belirleyen bir faktördür. Paslanmaz çelik, kobalt krom, nikel titanyum ve beta titanyum tellerin materyal katılıkları arasındaki ilişkinin 1: 1.2: 0.26: 0.42 oranında olduğu tespit edilmiştir (12,49).

Katılığı düşük olan tellerin elastikiyet özellikleri fazla olup, kolay bükülebilmekte ve kuvvet etkisi ortadan kalktıktan sonra tekrar eski konumlarına dönmektedirler. Süperelastik nikel- titanyum teller bu grupta yer almaktadırlar. Katılığı yüksek olan teller ise yüksek kuvvet düzeylerinde bile zor bükülebilmekte, paslanmaz çelik ve krom kobalt teller bu grupta yer almaktadırlar (107).

Tel sertliğiyle ilgili dikkat edilmesi gereken başka biyomekanik kurallar olması sebebiyle özellikle kanin dişi retraksiyonu sırasında mümkün olduğunca sert özellikte teller kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle retraksiyon sırasında kullanılacak telin seçiminde sürtünmenin diğer özelliklerle dengelenmesi gerekmektedir (40).

2.4.1.2. Brakete Bağlı Faktörler

1. Ortodontik Tedavide Kullanılan Braket Materyallerinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi : Elde edildikleri materyale göre braketler paslanmaz çelik, titanyum, kompozit ve seramik olarak gruplandırılırlar.

Günümüzde kullanılan braketlerin büyük çoğunluğu 18-8 olarak adlandırılan ve alaşımında %18 krom ve %8 nikel bulunan ostenit paslanmaz çelikten üretilmektedirler (107). Titanyum braketler, paslanmaz çelik braketlere alternatif olarak kullanılabilir diğer bir metal braket türüdür (34). Titanyum braketlerin alaşımında nikel bulunmadığı için, nikel hassasiyeti bulunan bireylerde, güvenle kullanılabilir (38). Kompozit braketler, metal braketlerin estetik olmayan görüntüsüne alternatif oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. 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 (83,107).

Seramik braketler dayanıklı ve renkleşmeye karşı dirençli olmaları nedeniyle kısa sürede kompozit braketlerin yerini almışlardır (83, 93).

Ortodontik tedavide kullanılan çeşitli braket materyallerinin farklı sürtünme özellikleri gösterdikleri yapılan birçok araştırma sonucunda ortaya koyulmuştur (83, 69, 21, 45, 53, 65, 103).

Nishio ve ark. (72), tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, 0.022 inç oluk çapına sahip olan konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel polikristalin alümina ve paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina braketler sürtünme özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla, 0.019x0.025 inç boyutunda olan paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum tellerle birlikte kullanılmışlardır. Ark teli braket oluğu içine çelik silindir çubuklar yardımıyla oturtulmuştur. Braket ve ark teli arasında 0° ve 10°'lik iki farklı angülasyon oluşturularak test çekişleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda polikristalin alümina braketin test edilen braketler içinde en yüksek sürtünme kuvvetini oluşturduğu tespit edilmiştir. Test edilen tüm angülasyon ve braket ark teli kombinasyonlarında metal oluklu seramik braketin konvansiyonel seramik braketten daha düşük sürtünme direncine neden olduğu ortaya koyulmuştur. Paslanmaz çelik braket, araştırmada kullanılan braketler içinde en az sürtünme kuvveti gösteren braket olmuştur .

Cha ve ark. (16)'nın 2007 yılında yaptıkları çalışmada, 0.022 inç oluklu konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel polikristalin alümina, paslanmaz çelik oluklu polikristalin alümina, monokristalin alumina ve oluk kısmı silika kaplı olan polikristalin alümina braketler, 0°,5°,10° ve 15°'lik angülasyonlarda, 0.019x0.025 inç çapındaki paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kombine edilerek bu braketlerin sürtünme dirençleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, oluk kısmı silika kaplı olan polikristalin alümina braketlerin hem pasif hem de aktif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik ve beta titanyum tellerle kullanımları sırasında araştırmada kullanılan diğer seramik braketler ve paslanmaz çelik braketlerden daha düşük sürtünme kuvvetlerine neden oldukları tespit edilmiştir. Pasif konfigürasyonda en yüksek sürtünme kuvvetlerine sahip oldukları, paslanmaz çelik tellerle birlikte kullanıldıklarında konvansiyonel polikristalin alümina braketlerde, beta titanyum tellerle kullanıldıklarında ise monokristalin alumina braketlerde rastlanmıştır.

2. Braket Oluğu Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi : Ortodontik tedavi sırasında yaygın olarak 0.018 inç veya 0.022 inç oluk çapına sahip olan braketler kullanılmaktadır. Sürtünmeyi ve aşırı kuvvetleri engellemek için slotta tam oturmayan, bir miktar boşluk bırakan teller tercih edilir. Bu amaçla en sık kullanılan köşeli teller 0,017x0,025 inç ve 0,019x0,025 inç kalınlığındadır. Bu teller brakete hareket imkânı tanıyarak yeterli miktarda kuvvet uygulayacak kadar kalın tellerdir (80).

Yapılan birçok çalışmaya göre, diş hareketi ortodontik biyomekaniğin kurallarına uyularak uygulandığında, slot genişliğinin sürtünme üzerine etkisi çok azdır (2,106).

Tidy ve ark. (106), 1989 yılında yaptıkları çalışmada, 0.018 x 0.025 çapındaki tellerin diş üzerine net 100 gr kuvvet uygulayabilmesi için gereken kuvveti paslanmaz elik braketler üzerinde araştırmışlardır. 0.018 oluk çapına sahip braketlerde kuvvet 188 gr iken 0.022 oluk çapına sahip braketlerde kuvvet 181 gr'a dışmıştır. Ancak iki braket arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

3. Braket Üretim Tekniğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi :

a) ekme (frezeleme) tekniği: Braket, üzerine önceden slot ve kanat profilleri çekilmiş uzun çubuklardan kesilerek üretilir ve kesilen ham gövdeye daha sonra taban lehimlenir. Braket , su ve parlaticı taş parçaları ile dolu tamburlarda döndürölerek polisajı yapılır. Braket gövdesinin çubuktan elmas diskler ile ayrılması sırasında braket slot hizasında ortaya çıkan küçük çapaklar parlatma sırasında slotun içine doğru kıvrılarak keskin kenar oluşmasına neden olabilmektedir. Kayıcı mekanikler kullanıldığında tel ile braket en çok bu noktalarda temasta olduğu için çapakların varlığı sürtünme direncini etkilemektedir (107).

b) Döküm tekniği: Bu teknikte braketler, sıvı metalin, çok hassas şekilde hazırlanan braket kalıpları içine enjekte edilmesi ile üretilmektedir. Bu tekniğin en önemli kısmı kalıpların hazırlanması safhasıdır. Bu şekilde üretilen braketlerin slot kenarları pürüzsüz bitişe sahip olamamaktadır (107).

c) Sinterleme tekniği: İnce metel tozlarının yüksek sıcaklık altında hassas kalıplara sıkıştırılır ve elde edilen bu parçalar vakumlu fırınlarda çok yüksek

sıcaklık altında şekillendirilir. Modern braketlerin üretiminde kullanılan bu tekniğin en önemli avantajı braket slot ve kanatlarının son derece hassas ve pürüzsüz olarak elde edilmesidir (107).

d) Metal enjeksiyonla kalıplama: Braketler, erimiş metalin yüksek basınç altında kalıplara enjekte edilmesi ile üretilir. Son yıllarda üretilen kaliteli braketler çoğunlukla bu teknikle üretilmiştir (107).

Braketlerin çeşitli yapım tekniklerine bağlı farklı sürtünme direnci ortaya çıkardıkları çeşitli çalışmalarla ispatlanmıştır.

Vaughan ve ark. (113) 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada sinterleme tekniğiyle üretilmiş olan iki çeşit paslanmaz çelik braketin sürtünme özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular Kapila ve ark. (45) 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 özellikleri SEM ile incelenmiş ve sinterleme tekniğiyle üretilen braketlerin daha düzgün bir yüzey yapısına sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar iki ayrı teknikle üretilen braketlerin farklı sürtünme özellikleri göstermesinin yüzey yapılarının farklı özellikler göstermesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Smith ve ark. (97), farklı firmalara ait 0,022 inç slot boyutundaki konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel seramik, metal slotlu seramik, aktif kapak mekanizmalı kapaklı braket, pasif kapak mekanizmalı kapaklı braket ve farklı ligasyon sağlayabilen kapaklı braket çeşitleri ile farklı boyutlardaki nikel titanyum, paslanmaz çelik ve sarımlı paslanmaz çelik teller arasında meydana gelen sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında, braketlerin yüzey özelliklerini SEM ile incelemişler, kullanılan metal slotlu seramik braketin slotunun frezeleme yöntemi ile üretilmesi nedeniyle dolayı slotta keskin köşeler kaldığını bu nedenle enjeksiyonla şekillendirme tekniği ile üretilen paslanmaz çelik braketten daha pürüzlü yüzeye sahip olduğunu belirlemişlerdir.

4.Braket Genişliğinin Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi:

Bu konuda, hem dar (11, 42) hem de geniş braketlerin (2, 4) tel ile braket arasında daha az sürtünmeye neden olduğunu iddia eden çalışmalar bulunmaktadır.

Tosun, dar braketler kullanıldığında dişin devrilmesi ile braket kanatlarının tel üzerine uyguladığı normal kuvvetin şiddeti geniş braketlerden fazla olduğu için sürtünme direncinin de arttığını belirtmiştir (107).

Kapila ve ark. (48) 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. (74) 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.

Schlegel (100), 1996 yılında yayımlanan çalışmasında, sadece braket genişliğinin incelenmesinin sürtünme dirençlerini değerlendirmede yetersiz kalacağını, braket genişliği, braketler arası mesafe ve telin katılığı gibi faktörler arası ilişkilerin sürtünme kuvvetleri üzerinde anlamlı etkisi olduğunu bildirmiştir .

5. Braketin Yüzey Pürüzlülüğünün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi:

Braket materyalinin sürtünme üzerine etkilerini araştıran birçok çalışmada kullanılan braketlerin oluk sahalarının yüzeyleri SEM ile incelenerek sürtünme ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki konusunda çelişkili sonuçlar elde edilmiştir (103).

Tanne ve ark. (103), 0,018x0,025 inç boyutlarındaki bir tip paslanmaz çelik ve üç farklı tipte seramik braketin 0,018 inç, 0,016x0,022 inç, 0,17x0,022inç boyutlarındaki krom kobalt teller ile oluşturdukları sürtünme dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, braketlerin distal kenarlarını ve slot yüzeylerini stereoskopik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelemişlerdir. Seramik braketlerin slot yüzeylerinin metal braketten daha gözenekli yapıda olduğu, distal kenarlarının ise daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Seramik braketlerin sürtünme dirençlerinin metal braketlerden daha fazla olmasının mikroskopik bulgular ile uyumlu olması sebebi ile araştırmacılar seramik braketlerin yüzey yapılarının ve slot kenarlarının iyileştirilmesinin ortodontik diş hareketi etkinliğini arttıracığını bildirmişlerdir.

Nishio ve ark. (72)'nin 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada SEM ile incelenmesi sonucunda daha düzgün yüzeye sahip olduğu tespit edilen braket materyallerinin pürüzlü yüzey özellikleri gösteren materyallere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri ortaya çıkardıkları tespit edilmiştir.

2.4.1.3. Ark Telinin Brakete Ligasyonunun Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi:

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.

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

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

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

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 (103).

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 (103).

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 ,poliüretanlardır. Kuru ve nemli ortamda yapılan in vitro çalışmalar sonucunda, elastomerik ligatürler tarafından uygulanan kuvvetin, 3 ila 4 haftalık zaman sonunda azaldığı ortaya çıkmıştır (23,104).

Chimenti ve ark. (16), 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.

Khambay ve ark. (52), 2005 yılında yaptıkları çalışmada, 0.09 inç paslanmaz çelik 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 çelik ligatürlerin en az sürtünme oluşturan ligatür çeşidi olduğunu belirtmişlerdir.

Fortini ve ark. (28), 2005 yılında yaptıkları in vivo çalışmada, kendinden bağlamalı braketlere alternatif olup, sürtünmeyi azalttığı iddia edilen poliüretan kaplı Slide elastomerik ligatürleri incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, Slide ligatürlerin seviyeleme aşamasında sürtünmeyi azalttığı ve tedavi süresini kısalttığı belirtilmiştir.

Yine aynı şekilde, Baccetti ve Franchi (5) 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. (35), 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.

2.4.1.3.2.Kendinden Bağlamalı Braketlerin Kullanılması

Kendinden bağlamalı braketlerde tel ile braketleri birleştiren hareketli bir kapaktır. Tel oluğa yerleştirildikten sonra kapak kapatıldığında tel braketle bağlanmış olur. Bu sistemin avantajı hasta başında geçirilen sürenin daha az olması ve bu türdeki braketlerde ark teli ile braket oluğu arasında daha düşük sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkmasıdır (69).

Kendinden bağlamalı braketler ark telleriyle olan ilişkisine göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif braketlerde ark telini braket oluğu içerisine 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 (108).

Birçok araştırma, kendindenbağlamalı braketlerin konvansiyonel braket tasarımlarıyla karşılaştırıldığında, sürtünme dirençlerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir (21, 23, 28, 40, 45, 56, 53, 89, 103).

Thorstenson ve Kusy (110) 2002 yılında yaptıkları çalışmada, pasif kapaklı Damon II ile aktif kapaklı In-Ovation, Speed ve Time kendinden bağlamalı braketleri sürtünme değerleri açısından karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, pasif kapaklı olan Damon II braketlerin herhangi bir ligasyon kuvveti ortaya çıkarmadığı, aktif kapaklı olan Speed, In-Ovation ve Time braketlerin ise artan ark teli boyutuyla orantılı olarak sürtünme kuvvetlerinde artış gösterdikleri bildirilmiştir.

Tecco ve ark. (95) tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmada, konvansiyonel paslanmaz çelik braketlerin sürtünme özellikleri kendinden bağlamalı pasif kapaklı Damon SL II ve aktif kapaklı Time Plus braketleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, Damon SL II braketlerin yuvarlak kesitli tellerle test edildiklerinde konvansiyonel çelik braketler ve Time Plus braketlerden daha düşük sürtünme direncine neden oldukları, köşeli tellerin kullanıldığı test çekişlerinde ise daha yüksek sürtünme değerleri gösterdikleri bildirilmiştir.

Hain ve ark. (36). 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. (88) yaptıkları çalışmada, sürtünmesi azaltılmış braketlerle kendinden bağlamalı Time braketini ikinci düzen angulasyonda (0°, 5°, 10°)

karşılaştırmışlardır. Time braketleri bütün angulasyon değerlerinde en yüksek sürtünme kuvvetlerini oluşturmuştur.

Cacciafesta ve ark. (13), 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. (52), 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 braketleri ve ligatürlenmemiş konvansiyonel braket çok düşük sürtünme değerleri oluşturmuştur ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında sürtünmeyi azaltabilmek için pasif kendinden bağlamalı braketler önerilmiştir.

Henao ve Kusy (39) yaptıkları çalışmada, çapraşıklığa sahip typodont modeller üzerine yapıştırılan 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 telleri 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 braketleri pasif kapaklı olması nedeniyle daha düşük sonuçlar vermiştir.

2.4.1.4. Braket ile Ark Teli Arasındaki İkinci ve Üçüncü Düzen Açılanmanın Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Yapılan çalışmalar, braket ile ark teli arasında ikinci düzen açılanmada meydana gelen artışın sürtünme direncinin artmasına sebep olduğunu belirtmektedir (39, 48, 59,70). Bunun esas nedeni, açılanma arttıkça klasik sürtünmeden çok kilitlenmenin meydana gelmesidir (3, 59, 105). Üçüncü düzen açılanma, ikinci düzen açılanma kadar etkili olmasada, tork değerinin artması ile doğru orantılı olarak sürtünme direnci artmaktadır (88, 89).

Cha ve ark.(15), 0,022 inç slot boyutuna sahip olan konvansiyonel paslanmaz çelik, konvansiyonel polikristalin alumina, paslanmaz çelik slotlu

polikristalin alümina, monokristalin alumina ve slot kısmı silika kaplı olan polikristalin alümina braketler ile 0,019x0,025 inç boyutundaki paslanmaz çelik ve beta titanyum teller arasında meydana gelen statik ve kinetik sürtünme direncini ark teli ile braket arasında 0°,5°,10° ve 15°'lik açılanmalar oluşturarak inceledikleri çalışma tüm braket gruplarında 5°'ye kadar açılanma artışı ile sürtünme direncinin yavaşça arttığını, 10°'nin üzerine çıkıldığında ise artışın aniden fazlalaştığını bildirmişlerdir.

Kusy ve O'Grady (64), 0,018 inç slot boyutundaki saf titanyum ve paslanmaz çelik braketler ile 0,017x0,025 inç boyutundaki paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum ark telleri arasında oluşan sürtünme direncini 0°,3°,7°,9° ve 11° açılanmalarda, 34°C' lik sıcaklıktaki kuru ve ıslak ortamda inceledikleri çalışmalarında açılanma arttıkça tüm braket-tel kombinasyonlarında sürtünme direncinin arttığını belirtmişlerdir. Paslanmaz çelik ve titanyum braketlerin yüzeyindeki pasif oksit tabakanın özellikle titanyum braketlerde sürtünmeyi azalttığını bu nedenle kayıcı mekanikler için titanyum braketin paslanmaz çelik braketlere iyi bir alternatif olabileceğini bildirmişlerdir.

Dickson ve Jones (21), paslanmaz çelik braketler ile sıralama safhasında kullanılan beş farklı ark teli arasında 0, 5, 10 derecelik açılanmalarda meydana gelen statik sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında coaxial paslanmaz çelik, fiberoptik cam, Australian paslanmaz çelik, nikel titanyum, epoxy kaplı paslanmaz çelik ark telleri kullanmışlardır. Tüm açılanmalarda en düşük sürtünme direncini Coaxial paslanmaz çelik ve fiberoptik cam materyal, en yüksek sürtünme direncini ise epoxy kaplı paslanmaz çelik tel göstermişlerdir. Australian paslanmaz çelik tel 0° açılanmada düşük sürtünme değeri göstermesine rağmen açılanma arttıkça sürtünme direnci fazla miktarda artmıştır. Nikel titanyum telin sürtünme direncinin Australian paslanmaz çelik telden anlamlı farklılık göstermediği, açılanma arttıkça Australian paslanmaz çelik telden daha düşük sürtünme direnci oluşturduğu bildirilmiştir. Sonuçta ark teli ile braket arasındaki açılanma arttıkça statik sürtünme dirençlerinin de arttığı belirtilmiştir.

Articolo ve Kusy(3), paslanmaz çelik, monokristalin alumina, polikristalin alumina braketler ile paslanmaz çelik, nikel titanyum, beta titanyum ark telleri arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini 0°, 3°, 7°, 11° ve 12° açılanmalarda inceledikleri çalışmalarında sürtünme testlerini 34°'lik kuru ortamda

gerçekleştirmişlerdir. Pasif konfigürasyonda paslanmaz çelik tellerin nikel titanyum ve beta titanyum tellerden daha az sürtünme direnci oluşturduğu, aktif konfigürasyonda ise nikel titanyum ve beta titanyum tellerin paslanmaz çelik tellerden daha az sürtünme direnci gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmada tüm ark teli braket çiftlerinde aktif konfigürasyonun başladığı açı 3° olarak tespit edilmiştir. Bu açı değerinin üzerine çıkıldığında aktif konfigürasyonun gerçekleştiği, kilitlenmenin oluşmaya başladığı ve sürtünme direncinin 100 kat arttığı bildirilmiştir. 7° 'lik açılanmada ise kilitlenme sürtünme direncine eşit veya daha fazla olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, paslanmaz çelik tellerin kilitlenmeye karşı titanyum içeren tellerden daha hassas olduğu ve en yüksek sürtünme direncinin paslanmaz çelik tel ile paslanmaz çelik braketler arasında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Hamdan ve Rock (37), farklı angulasyon ve tork değerleri varlığında braket ile ark teli arasında oluşan sürtünme direncini inceledikleri çalışmalarında, 3M firmasına ait tek tip braket (Victory Twin Series) ile 0,019x0,025 inç boyutundaki ark telini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, açılanma attıkça sürtünmeye karşı direncin anlamlı şekilde arttığını, ikinci düzen açılanmanın olmadığı durumlarda bile tork değerinin artması ile sürtünme direncinin arttığını bildirmişlerdir.

Sims ve ark. (96), üç farklı tipteki braket (Activa, Minitwin, Standart Straight Wire) ile test ettikleri 0,018x0,025 inç boyutundaki paslanmaz çelik tele 0° ile 6° arasında değişen ikinci düzen açılanma ve 0° ile 25° arasında değişen tork değeri vererek gerçekleştirdikleri çalışmalarında, ikinci düzen açılanma ve tork derecelerinin artması ile tüm braket gruplarında sürtünme direncinin arttığını ancak ikinci düzen açılanmanın sürtünme üzerine etkisinin daha fazla olduğunu ve bunun özellikle Activa braketlerde daha belirgin olduğunu tespit etmişlerdir.

2.4.2. Biyolojik Faktörler

2.4.2.1. Tükürüğün Sürtünme Kuvveti Üzerine Etkisi

Tükürük hem organik içeriği, hem de klorit ve fosfat iyonları gibi inorganik içeriği nedeniyle ağız ortamında birincil rol oynamaktadır. İyi tamponlanmış bir çözelti olmasına rağmen, yiyecek ve içecek alımı ve mikrobiyal aktivite, ağız ortamında pH değişikliklerine sebep olabilmektedir. Bununla beraber tükürüğün kişiden kişiye değişen belli bir yoğunluğu ve içeriği bulunabilmektedir. Tükürüğün içeriği farklı kişilerde hatta aynı kişide egzersiz sonrasında bile değişebilmektedir (18).

Tükürüğün ortodontik aperiylerdeki sürtünme kuvvetleri üzerine etkileri sadece metal aperiylar için geçerli değildir. Sürtünme kuvvetine büyük etkisi olan ligasyon yöntemleri üzerine de etkileri bulunmaktadır. Sürtünme kuvvetlerinin özellikle elastomerik ligatürler kullanıldığında tükürük etkisi ile azaldığı bilinmektedir (99). Tükürüğün sürtünme direnci üzerine etkisini değerlendiren çalışmaların test düzeneklerinde doğal tükürüğün yapısını ve doğal insan tükürüğünü taklit eden yapay tükürük kullanılmıştır (1, 28, 90, 6, 29).

In vitro ortamda gerçekleştirilen tükürük ile ilgili deneylerin klinik koşulları tam olarak yansıttığı tartışmalıdır. Literatürde, tükürüğün sürtünme kuvvetini arttırdığını (28), azalttığını (101, 61, 90) ya da etkilemediğini (45, 40) belirten çalışmalar mevcuttur.

Smith ve ark. (97), braket ve ark telleri arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini göreceli olarak karşılaştırdıkları çalışmalarda deneylerin kuru ortamda yapılmasının yeterli olacağını bildirmişlerdir.

Tselepis ve ark. (111), ark teli ile braket arasında 0° ve 10° açılanmalarda yapay tükürük ortamında yaptıkları çalışmalarında, hemen hemen tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında sürtünme kuvvetlerinin kuru ortamda yüksek değerler gösterdiğini bildirmişlerdir. 0° açılanmada en fazla fark paslanmaz çelik tel ile paslanmaz çelik braket kombinasyonunda, en az fark ise safir braket ile beta titanyum tel kombinasyonunda görülmüştür. 10° açılanmada en fazla fark paslanmaz çelik tel ile safir braket kombinasyonunda, en az fark ise safir braket ile nikel titanyum tel kombinasyonunda görülmüştür. Buna karşın, safir braket ile beta titanyum ark teli arasındaki sürtünme direncinde ise bir artış gözlemlenmiştir.

Kusy ve ark. (65), farklı braketler ile farklı ark telleri arasında meydana gelen sürtünme direncini ıslak ve kuru ortamda incelemişlerdir. Çalışmalarında, test düzeneğinde 300 gr'lık sabit kuvvet kullanarak, farklı braketler arası mesafede testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, 18 mm'lik braketler arası mesafede, ıslak ve kuru ortamda krom kobalt tellerin kaymaya karşı dirençlerinde farklılık görülmediğini, bunun krom kobalt tellerin diğer tellere göre zor ıslanmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aynı braketler arası mesafede, beta titanyum ve nikel titanyum tellerin kaymaya karşı dirençlerinin, kuru ortamda ıslak ortama göre daha az olduğunu bildirmişlerdir.

Rucker ve Kusy (94) 2002 yılında yaptıkları çalışmada, hem aktif hem de pasif konfigürasyonlarda paslanmaz çelik tel ve braket kombinasyonları için tükürüklü ve kuru ortamların sürtünme değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark göstermediklerini ortaya koymuşlardır.

Hain ve ark. (35), 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.

2.4.2.2. Korozyon

Ortodontik apareylerin yapımında kullanılan paslanmaz çelik, krom kobalt ve titanyum materyaller, yüzeylerinde bulunan pasif oksit tabaka sayesinde korozyona karşı direnç gösterirler. Kimyasal ve mekanik bir etkileşim sonucu bu tabakada meydana gelen değişiklik materyalleri korozyona yatkın hale getirerek, asidik ortamdaki klor ve flor iyonları bu değişiklik sürecini başlatabilen faktörlerdendir (35).

Ortodontik sürtünme açısından korozyon hem bir etken, hem de bir sonuç olarak düşünülebilir. Pürüzlü yüzey, belirlendiği gibi korozyona yatkınlık meydana getireceğinden, oluşan korozyon sonucu etkilenen yüzey özellikleri de yine sürtünme direncini artırıcı rol üstlenebilir (44).

Bentahar ve arkadaşlarının (76) 2010 yılında yaptıkları çalışmada, laboratuvar şartlarında korozyona maruz bırakılmış ark tellerinin tribolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Örnekler yapay tükürük içerisinde bir gün boyunca bekletilerek sürenin sonunda başlangıç korozyonu oluşmuş ve sürtünme direnci bu tellerde bir miktar azalmış olsa da, örnekler yapay tükürük içerisinde bir hafta boyunca bekletildiğinde sürtünme direnci artarak eski haline geri dönmüştür. Yapılan çalışma korozyonun sürtünme direncini etkileyen bir faktör olabileceğini göstermektedir.

Kao ve ark. (47), üç farklı firmaya ait paslanmaz çelik braketler ile nikel titanyum ve beta titanyum telleri %0,2'lik asidüle fosfat florür ve yapay tükürük içinde bir gün boyunca bekleterek, bu sürenin sonunda sürtünme testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, florür solusyonunda bekletilen tel grubuna ait sürtünme kuvveti değerlerinin, yapay tükürükte bekletilen tel grubundan daha yüksek olduğu bulunarak, en yüksek sürtünme direncinin beta titanyum tellerde olduğu bildirilmiştir.

2.5. Ortodontide Sürtünme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Sürtünme kuvvetlerinin araştırılması için yapılan araştırmalar, laboratuvar ve klinik araştırmalar olarak iki grup altında toplanabilir. Klinik araştırmalarda genelde bir diş veya diş grubu çeşitli braketler veya ark telleri yardımı ile hareket ettirilerek, veya ön dişlerde çapraşıklık giderilmesi veya kanin retraksiyonu esnasındaki hareket hızı ve miktarı hesaplanarak bu malzemelerin oluşturdukları göreceli sürtünme kuvvetleri ölçülmektedir. (37, 41, 73).

Laboratuvar çalışmalarında ise klinik çalışmalardaki ortam laboratuvar şartlarında simüle edilerek kuvvet ölçüm cihazları yardımı ile oluşan sürtünme kuvveti miktarları kayıt edilmekte ve ortalama sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayıları kesin olarak hesaplanabilmektedir (37, 31, 26).

Sürtünme kuvvetlerinin değerlendirildiği çalışmalarda, sürtünme testleri dört farklı düzenek ile gerçekleştirilmiştir.

1- Evrensel test cihazının kullanıldığı çalışmalarda sürtünme kuvvetlerini araştırmacılar ark teli ile braket arasında belirli açılar oluşturarak ölçmüşlerdir (57, 54, 61, 98, 99).

2- MTM sürtünme testi cihazı ile yapılan testlerde ark teli braket slotu boyunca hareket ederken küçük titreşim hareketleri meydana getirilmektedir. Test örneği x-y-z eksenlerinde hassas şekilde konumlandırılmaktadır.

3- (18,84).

3-Dentoalveoler modeller ile gerçekleştirilen çalışmalarda, her bir diş için periodontal lifleri simüle edecek şekilde esnek dentoalveoler modeller oluşturulmaktadır. Sürtünme kuvveti ölçümleri x ve y düzlemlerinde yapılabilmektedir. Kritik kontak açısına yakın ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (24,70).

4- Disk üzerinde pinleri bulunan sürtünme testi aygıtı ile gerçekleştirilen çalışmalarda, sürtünme testleri ark teli ile braket arasında ikinci düzen açılanmaların devamlı değiştiği şekilde yapılabilmektedir (84).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Bu çalışmanın amacı, farklı tipteki konvansiyonel ve kapaklı braketler ile nikel-titanyum, beta-titanyum ve paslanmaz çelik teller arasındaki sürtünme direncini değerlendirmektir. Sürtünme deneylerinde Avex CX (Opal Orthodontics, Ultradent, USA), Avex MX (Opal Orthodontics,Ultradent,USA), Focus TM on Innovation R (Dentslay,USA) ve İnnovation C (Dentsplay,USA) labial braketlerin her birinden 30 adet olmak üzere toplam 120 adet sağ üst kanin braketi, nikel titanyum, beta- titanyum ve paslanmaz çelik tellerin her birinden 40 adet olmak üzere 120 adet düz tel kullanılmıştır. Sürtünem deneyleri, Tübitak Gebze Ulusal Metroloji Enstitüsü Kuvvet Ölçümleri Laboratuvarında yapılmıştır.

3.1.1. Braketler

Araştırmada incelenen braketlerin tümü 0.018 x 0.025 oluk çapında sağ üst kanin braketleridir. Çalışmada aynı üretici firmaya ait kendinden bağlamalı seramik, metal kapaklı braket ve metal slotlu seramik ve metal konvansiyonel braket kullanılmıştır. Bu braketler; Avex CXI (Opal Orthodontics, Ultradent,USA), Avex MX(Opal Orthodontics,Ultradent,USA), Focus TM on İnovation R (Dentslay,USA) ve İnovation C (Dentsplay,USA) markalı ürünlerdir.

3.1.1.1. Avex MX (Opal Orthodontics,Ultradent,USA)

Konvansiyonel braket;

Order no: 111-012 n:30

Materyal: Paslanmaz Çelik



Şekil 1-1: Avex MX braket**3.1.1.2. Avex CX(Opal Orthodontics, Ultradent,USA)**

Konvansiyonel braket;

Order no:212-010 n:30

Materyal: Seramik

**Şekil 1-2: Avex CX Seramik Braket****3.1.1.3. Focus TM on Innovation R(Dentslay,USA)**

Kendinden bağlamalı braket;

Order no:89-131-10 n:30

Materyal: Paslanmaz Çelik

Kapak Mekanizması: Aktif

**Şekil 3-3: Inovation R kendinden bağlamalı braket**

3.1.1.4. Focus TM Inovation C(Dentsplay,USA)

Kendinden bağlamalı braket;

Order no: 100-131-10 n:30

Materyal: Paslanmaz Çelik

Kapak Mekanizması: Aktif



Şekil 3-4: Inovation C kendinden bağlamalı seramik braket

3.1.2. Ark telleri

Çalışmada 0.017 x 0.025 inç boyutunda olan G&H (G&H, Greenwood, U.S. & Canada) firmasına ait 25 cm uzunluğunda ve düz formda, 40 adet paslanmaz çelik , 40 adet nikel titanium ve 40 adet TMA olmak üzere toplam 120 adet ark teli kullanılmıştır.

3.1.3. Ligatür materyali

Ark tellerini braket olukları içine bağlamak amacıyla elastomerik ligatür Colored Unistick ligaturesTM(American Orthodontics, Sheboygan, WI, USA) marka kullanılmıştır.

Kapak mekanizmasına sahip kendinden bağlamalı braketlerde ligasyon işlemine gerek olmadığından ligatür materyali kullanılmamıştır.

3.1.4. Primer:

Alüminyum plakalar üzerine braketler yapıştırılmadan önce braketlerin yapıştırılacağı alana Transbond™ XT (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) primer uygulanmıştır.



Şekil 1-7: Primer

3.1.5. Yapıştırıcı Kompozit:

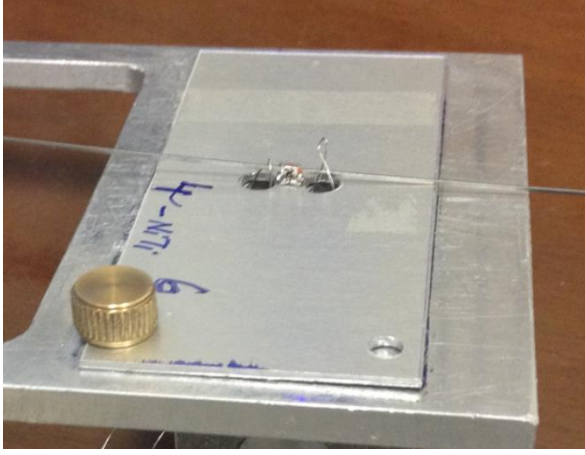
Braketler alüminyum plakalara ışıkla polimerize olan Transbond™ XT (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) adeziv ile yapıştırılmıştır.



Şekil 1-8: Yapıştırıcı kompozit

3.1.6. Alüminyum Plakalar:

Braketlerin yapıştırılması için 90x 40x 1 mm (boy, en, kalınlık) boyutlarında alüminyum plakalar hazırlanmıştır. Alüminyum plakaların test cihazına vidalanarak yerleştirilecek kısmına 5 mm çapında iki delik açılmıştır.



Şekil 1-9: Aluminyum plakalar

3.1.7. Işık Kaynağı:

Çalışmada, 3M (3M, Unitek, Monrovia, CA, USA) firmasına ait mavi ışık üreten ışık kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 1- :Işık Kaynağı

3.1.8. Standardizasyon İçin Kullanılan Rehber Tel:

Tüm braketler plakalara yapıştırılırken slotlarının yere paralel olması ve bu sayede tork değerinin sıfırlanması için 0,018x0,025 inç boyutunda rehber paslanmaz çelik tel kullanılmıştır.

3.1.9. 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.



Şekil 1-10: Sürtünme Testinin Yapıldığı Cihaz

3.2. Sürtünme Kuvveti Testi ile İlgili Yöntem

Sürtünme deneylerinin yapılması için 90 mm, 40 mm, 1 mm boyutlarında 120 adet alüminyum plaka kullanılmıştır. Bu plakaların üzerinde, braketin yapıştırılacağı alanın her iki tarafına çapları 5 mm olacak şekilde iki delik açılmıştır. Plakaların yatay ve dikey yönde tam orta noktası ölçülerek işaretlenmiş ve braketler bu işaretlenen alana yapıştırılmıştır. Braketlerin yapıştırılacağı alan alüminyum oksit partikülleri ile pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirilen yüzeye Transbond XT Primer sürülmüştür. Dört farklı 120 adet labial braket, slotlarının yere paralel olması ve tork

değerinin sıfırlanması için özel hazırlanmış rehber tel ile ışıkla polimerize olan Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) adeziv kullanılarak yapıştırılmıştır.

Plakalar üzerine yapıştırılan braketler sürtünme testinden önce %95'lik etanol ile temizlenmiştir. Test cihazının alt tablası üzerine özel olarak üretilmiş bir ara parça yerleştirilmiştir. Bu ara parça üzerine braket taşıyan alüminyum plaka vida ile monte edilmiştir. Braket içine yerleştirilen 25 cm uzunluğundaki ark telinin üst kısmı cihazın sabit olan üst parçasına yerleştirilmiş, serbest olan alt kısmı ise ucuna tel gerginliğini sağlamak amacı ile ağırlık asılması için kıvrılmıştır. Cihazın alt parçası ark teli braket slotu içindeki pozisyonunu alana kadar hareket ettirilmiştir. Braket ile ark teli arasında 0° , 5° ve 10° 'lik açılanmaları gerçekleştirmek için alt ara parça üzerinde bu açılara karşılık gelen 3 adet işaret doğrusu çizilmiştir. Bu doğrular referans alınarak alüminyum plakayı sabitleyen vidalar açılmış ve deney için gerekli açı değeri sağlandıktan sonra vidaların tekrar sabitlenmesi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tel örneğinin alt ucundan ise tel parçalarının testler sırasında eşit düzeyde gerilim göstermesi amacıyla 200 gr'lık ağırlık asılmıştır.

Ark teli örnekleri konvansiyonel braketlerin olukları içine elastomerik ligatürlerle bağlanmıştır. Elastomerik ligatürler braketler üzerine testten hemen önce yerleştirilmiştir. Kendinden bağlamalı braketlerde ise ark telleri braket oluşu içerisine yerleştirildikten sonra, kapakları kapatılmıştır.

Cihaz hızı 1mm/dak olacak şekilde, braket ark teli boyunca toplam 2 dakika süre ile aşağı yönde hareket ettirilmiştir. Test sırasında meydana gelen sürtünme dirençleri cihazın bağlı olduğu bilgisayara kuvvet sensörü vasıtası ile iletilmiş ve sürtünme dirençleri bilgisayarda grafik şeklinde görüntülenmiştir. Grafikten elde edilen veriler ile tüm numuneler için statik sürtünme dirençleri ve 0,5 mm, 1 mm ve 2 mm olarak belirlenen hareket mesafelerinde kinetik sürtünme dirençleri belirlenmiştir. Çalışmamızda her braket grubunda 3 farklı braket-ark teli kombinasyonu oluşturulmuş ve her braket-ark teli kombinasyonundan 10'ar adet olmak üzere toplam 30 adet örnek oluşturulmuştur. Her bir örnek üzerinde 0° , 5° ve 10° 'lik açılanmalarda 3 kez tekrarlanan sürtünme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta her braket grubunda 270 olmak üzere toplam 1080 adet sürtünme deneyi gerçekleştirilmiştir. Tüm sürtünme deneyleri $21^\circ \pm 2^\circ$ 'lik oda sıcaklığında ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için NCSS 2007&PASS 2008 Statistical Software (Utah, USA) programı kullanılmıştır.. Çalışma verileri değerlendirilirken normal dağılım göstermeyen parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Kruskal Wallis testi ve farklılığa neden olan grubun tespitinde Mann Whitney U test kullanılmıştır. 0°, 5° ve 10° açılanmalar arasındaki farklılıkların tespitinde Friedman testi ve anlamlılığa neden olan grubun tespitinde Wilcoxon işaret testi kullanılmıştır. Sonuçlar %95'lik güven aralığında, anlamlılık $p<0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.



4. BULGULAR

4.1. Statik Sürtünme Dirençlerine İlişkin Sonuçlar

Ark teli ile braket slotu arasında 0°, 5° ve 10° açılanmalarda; SS, TMA ve NiTi ark telleri ile farklı tipteki labial braketler arasında meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Braket Tipi	Ark Teli Materyali	n	0° Açılanma	5° Açılanma	10° Açılanma	F	P
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
Avex MX	SS	10	3,20±0,40	4,29±0,40	6,06±0,75	83,633	0,001**
	TMA	10	3,49±0,22	3,67±0,20	4,54±0,17	203,602	0,001**
	NiTi	10	3,08±0,25	3,81±0,27	4,63±0,38	132,783	0,001**
InovationC	SS	10	3,10±0,16	3,70±0,38	4,72±0,69	37,053	0,001**
	TMA	10	3,22±0,20	4,16±0,42	5,44±1,05	51,930	0,001**
	NiTi	10	3,00±0,12	3,24±0,24	3,66±0,30	47,600	0,001**
Avex CX	SS	10	3,49±0,22	5,98±0,47	8,33±0,56	93,410	0,001**
	TMA	10	4,70±0,43	4,49±0,48	6,60±0,97	65,788	0,001**
	NiTi	10	3,88±0,28	4,25±0,20	5,00±0,31	169,181	0,001**
InovationR	SS	10	3,09±0,28	4,22±0,91	5,60±0,95	51,713	0,001**
	TMA	10	3,59±0,51	5,10±0,79	8,61±0,71	291,276	0,001**
	NiTi	10	3,35±0,42	4,06±0,52	4,99±0,33	64,012	0,001**

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi test değeri

**p<0.01

Tablo 2: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında açılanmalar arasındaki statik sürtünme direnci değişimlerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Braket Tipi	Ark Materyali	Teli	0°-5°	0°-10°	5°-10°
			Açılanma	Açılanma	Açılanma
			p	p	p
	SS		0,001**	0,001**	0,001**
Avex MX	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**
InovationC	SS		0,001**	0,001**	0,001**
	TMA		0,001**	0,001**	0,002**
	NiTi		0,008**	0,001**	0,001**
Avex CX	SS		0,001**	0,001**	0,001**
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**
InovationR	SS		0,002**	0,001**	0,041*
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**

Bonferroni Test

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

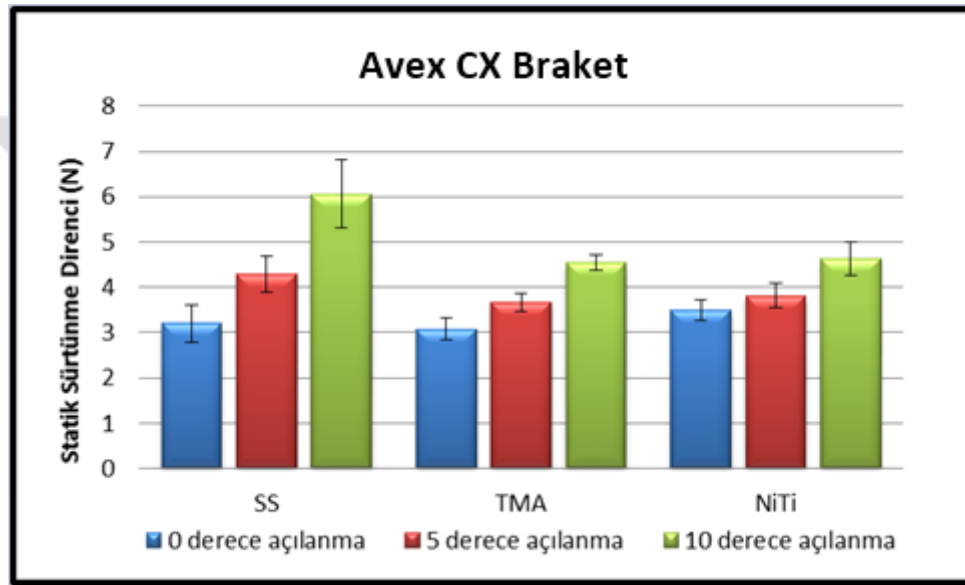
Avex MX konvansiyonel metal braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p < 0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.01$) (Tablo 2).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p < 0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.01$). 5° açılanmadaki

statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).



Şekil 1: Avex MX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

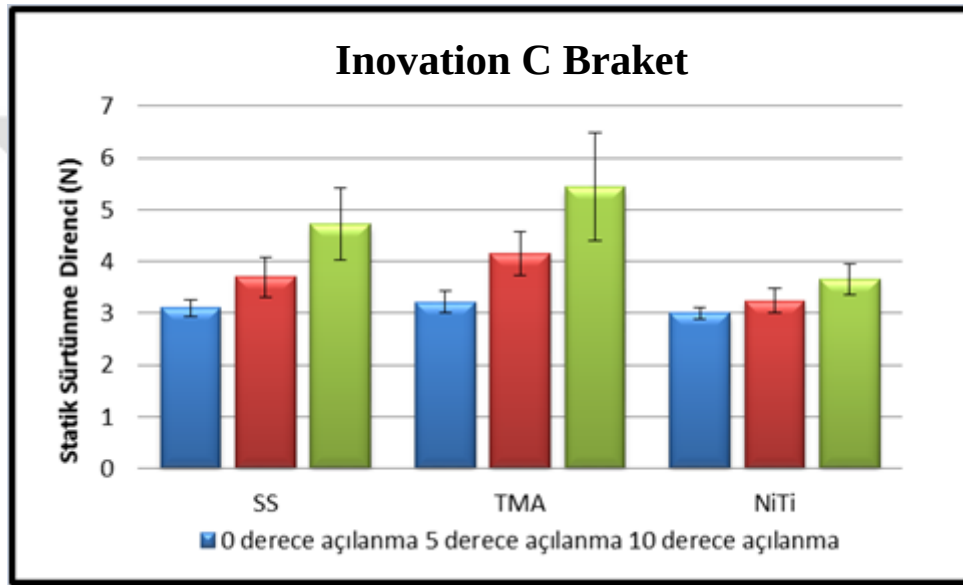
Inovation C kendinden bağlanmalı seramik braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki

statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).



Şekil 2: Inovation C kendinden bağlanmalı seramik braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

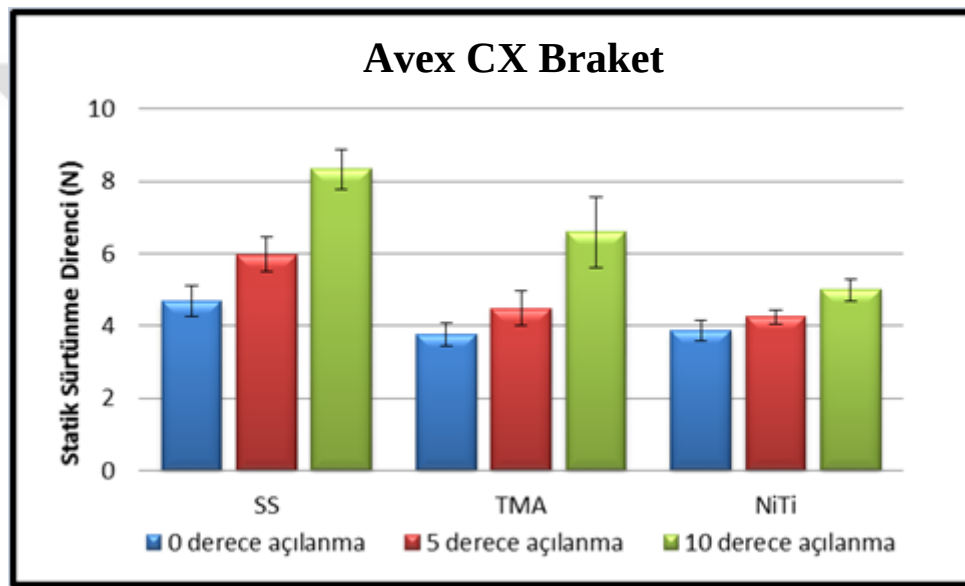
Avex CX konvansiyonel seramik braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme

dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

NiTi telinin 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).



Şekil 3: Avex CX konvansiyonel metal braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

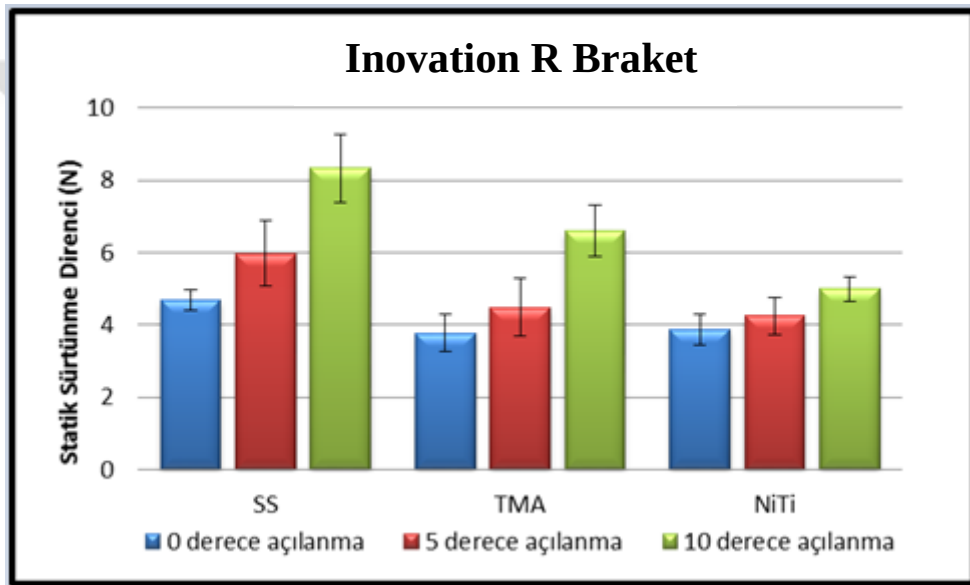
Inovation R kendinden bağlanmalı metal braketinde;

SS telinin 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$) (Tablo 2).

TMA telinin 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme

dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).

NiTi telinin 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 1). 0° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki statik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki statik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 2).



Şekil 4: Inovation R kendinden bağlanmalı metal braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0° , 5° ve 10° açılanmalardaki statik sürtünme dirençleri

Tablo 3: Ark teli ile braket slotu arasında 0° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
0°	Avex MX	10	3,20±0,40	3,49±0,22	3,08±0,25	4,813	0,016*
	InovationC	10	3,10±0,16	3,22±0,20	3,00±0,12	4,739	0,017*
	Avex CX	10	3,78±0,32	4,70±0,43	3,88±0,28	20,447	0,001**
	InovationR	10	3,09±0,28	3,59±0,51	3,35±0,42	3,594	0,041*
	F		54,279	8,827	16,709		
	P		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

*p<0.05

**p<0.01

0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

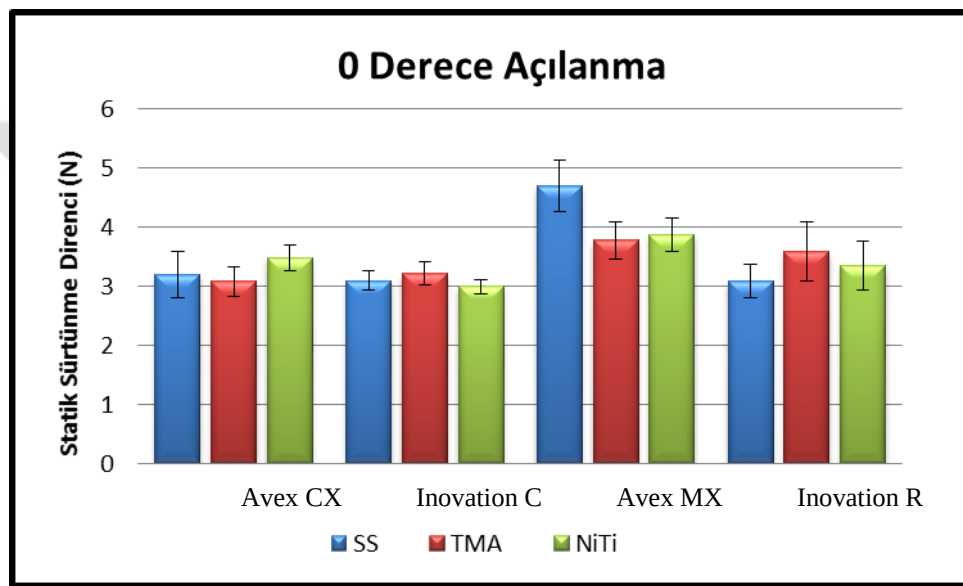
Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$) (Tablo 3). TMA telinin Avex MX braketindeki statik sürtünme direnci, Niti telinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C kapaklı seramik braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$) (Tablo 3). NiTi telinin Inovation C kapaklı seramik braketindeki statik sürtünme direnci, TMA telinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.05$). Diğer ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 3). TMA telinin Avex CX braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex CX braketindeki statik

sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$) (Tablo 3). TMA telinin Inovation R braketindeki statik sürtünme direnci, SS telinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).



Şekil 5: 0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

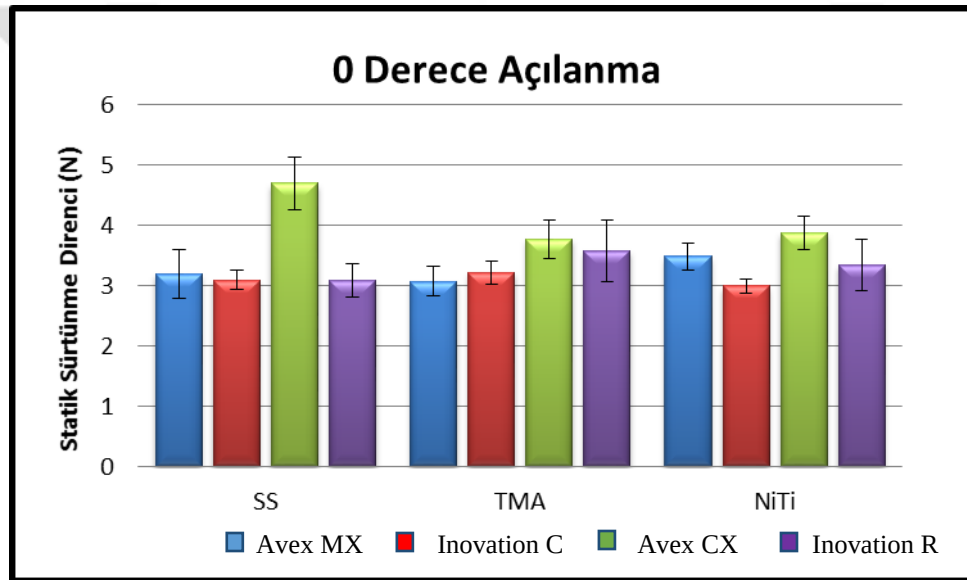
0° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 3). Avex CX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 3). Avex CX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX ve Inovation C

braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 3). Avex CX braketinin NiTi telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$; $p<0.01$). Avex MX braketinin NiTi telindeki statik sürtünme direnci, Inovation C braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).



Şekil 6: 0° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Tablo 4: Ark teli ile braket slotu arasında 5° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
5°	Avex MX	10	3,67±0,20	4,29±0,40	3,81±0,27	12,009	0,001**
	InovationC	10	3,70±0,38	4,16±0,42	3,24±0,24	16,572	0,001**
	Avex CX	10	4,49±0,48	5,98±0,47	4,25±0,20	54,017	0,001**
	InovationR	10	4,22±0,91	5,10±0,79	4,06±0,52	5,467	0,011*
	F		29,058	13,493	17,444		
	p		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

**p<0.01

5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

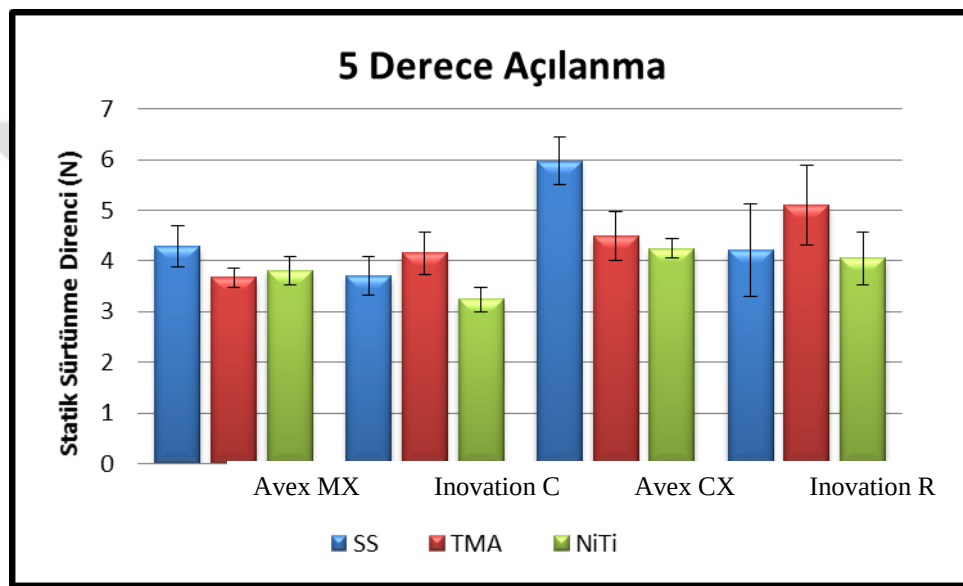
Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). TMA telinin Avex MX braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). TMA telinin Inovation C braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$; $p<0.01$). SS telinin Inovation C braketindeki statik sürtünme direnci, NiTi telinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). TMA telinin Avex CX braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex CX braketindeki statik

sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). TMA telinin Inovation R braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). SS ve NiTi tellerinin Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).



Şekil 7: 5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

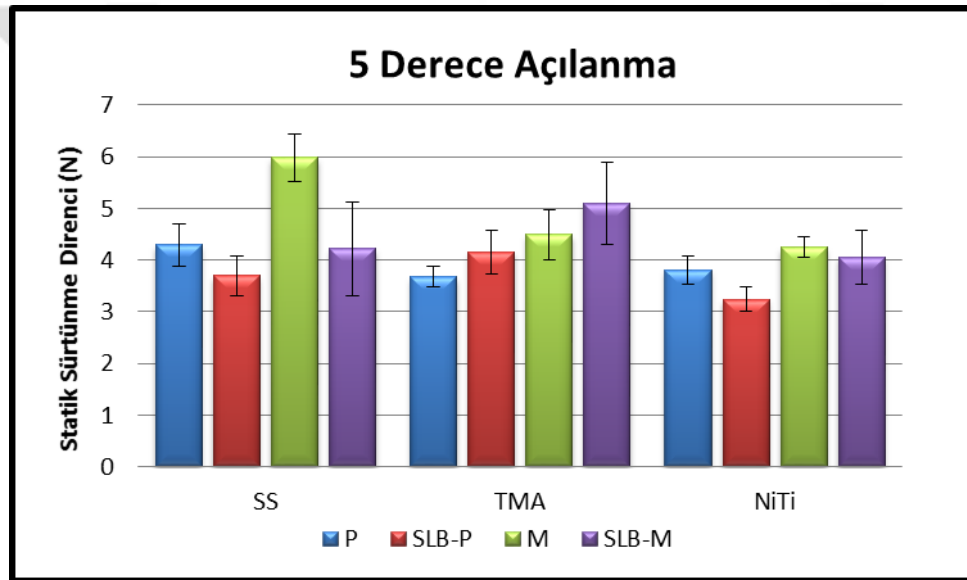
5° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). Avex CX braketinin SS telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). Avex MX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Inovation C, Avex CX ve

Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.05$; $p<0.01$). Inovation R braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Inovation C braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 4). Inovation C braketinin NiTi telindeki statik sürtünme direnci, Avex CX, Avex MX ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). Avex CX braketinin NiTi telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).



Şekil 8: 5° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli boyutlarındaki statik sürtünme dirençleri

Tablo 5: Ark teli ile braket slotu arasında 10° açılanmada meydana gelen statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
10°	Avex MX	10	4,54±0,17	6,06±0,75	4,63±0,38	29,509	0,001**
	InovationC	10	4,72±0,69	5,44±1,05	3,66±0,30	14,311	0,001**
	Avex CX	10	6,60±0,97	8,33±0,56	5,00±0,31	61,283	0,001**
	InovationR	10	5,60±0,95	8,61±0,71	4,99±0,33	73,909	0,001**
	F		41,810	47,739	36,316	8,33±0,56	
	p		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

**p<0.01

Tablo 6: Farklı tipteki braketlerdeki ark teli boyutlarının statik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc değerlendirmesi

Açı	Braket Tipi	SS/TMA	SS/NiTi	TMA/NiTi
		p	p	p
0°	Avex MX	0,686	0,095	0,015*
	InovationC	0,235	0,352	0,013*
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,783
	InovationR	0,032*	0,343	0,432
5°	Avex MX	0,001**	0,003**	0,547
	InovationC	0,021*	0,019*	0,001**
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,401
	InovationR	0,038*	0,888	0,013*
10°	Avex MX	0,001**	0,001**	0,891
	InovationC	0,247	0,002**	0,001**
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,001**
	InovationR	0,001**	0,232	0,001**

Tukey HSD ve Tamhane T2 Test

*p<0.05

**p<0.01

Tablo 7: Farklı ark teli materyallerinde braketlerin statik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc değerlendirmesi

Açı	Ark Teli Materyali	Avex MX/Inovation C	Avex MX/Avex CX	Avex MX/InovationR	Inovation R/Avex CX	InovationC/InovationR	Avex CX/InovationR
		p	p	P	p	P	p
0°	SS	0,911	0,001**	0,888	0,001**	1,000	0,001**
	TMA	0,742	0,001**	0,087	0,002**	0,291	0,910
	NiTi	0,001**	0,019*	0,941	0,001**	0,148	0,027*
5°	SS	0,121	0,001**	0,991	0,001**	0,209	0,001**
	TMA	0,033*	0,002**	0,001**	0,525	0,030*	0,281
	NiTi	0,003**	0,027*	0,348	0,001**	0,001**	0,584
10°	SS	0,002**	0,001**	0,520	0,001**	0,060	0,001**
	TMA	0,140	0,001**	0,001**	0,108	0,001**	0,001**
	NiTi	0,001**	0,070	0,081	0,001**	0,001**	1,000
Tukey HSD ve Tamhane T2 Test			*p<0.05	**p<0.01			

10° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

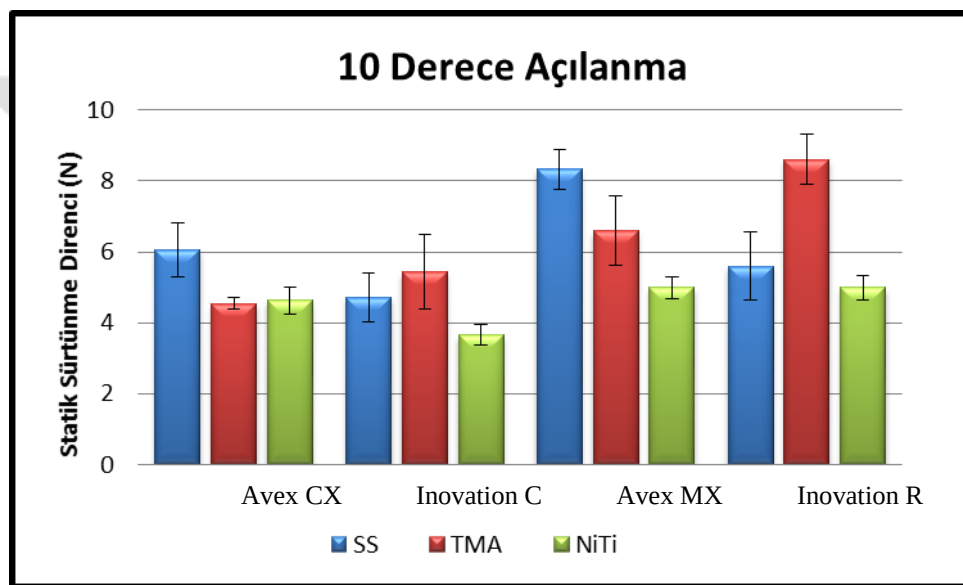
Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). TMA telinin Avex MX braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex MX braketindeki statik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). NiTi telinin Inovation C braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve TMA tellerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). SS ve TMA tellerinin Inovation C braketindeki statik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). TMA

telinin Avex CX braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS telinin Avex CX braketindeki statik sürtünme direnci, NiTi telinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$) (Tablo 6).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). TMA telinin Inovation R braketindeki statik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). SS ve NiTi tellerinin Inovation R braketindeki statik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 6).



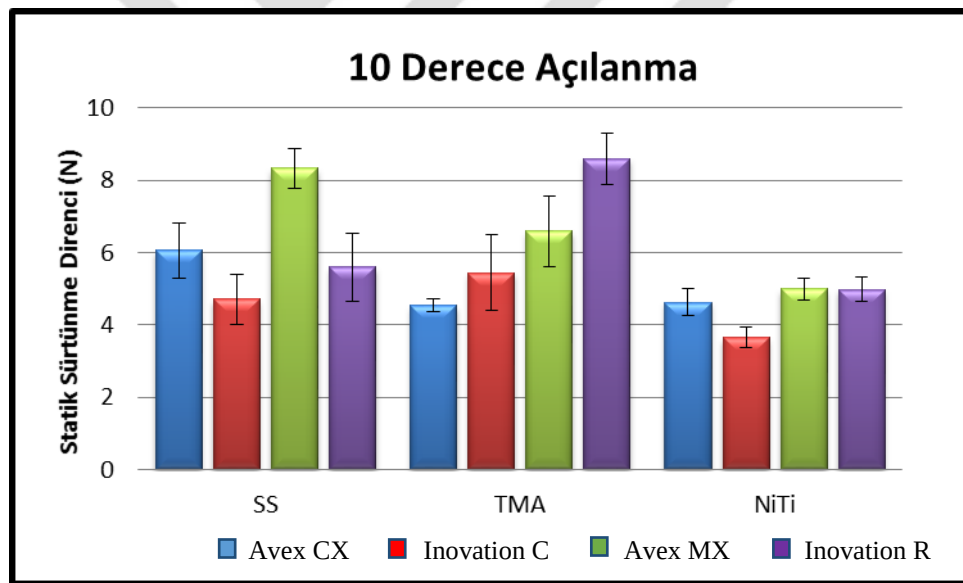
Şekil 9: 10° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

10° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). Avex CX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Avex MX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Inovation C braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında SS telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). Inovation R braketinin SS telindeki statik sürtünme direnci, Avex CX, Avex MX ve Inovation C braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Avex CX braketinin TMA telindeki statik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 5). Inovation C braketinin NiTi telindeki statik sürtünme direnci, Avex CX, Avex MX ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki statik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 7).



Şekil 10: 10° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerinde statik sürtünme dirençleri

4.2. Kinetik Sürtünme Direncine İlişkin Sonuçlar

Ark teli ile braket slotu arasında 0°, 5° ve 10° açılanmalarda; SS, TMA ve NiTi ark telleri ile farklı tipteki labial braketler arasında meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Braket Tipi	Ark Teli Materyali	n	0° Açılanma	5° Açılanma	10° Açılanma	F	p
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
Avex MX	SS	10	3,11±0,36	4,17±0,39	5,84±0,70	93,006	0,001**
	TMA	10	3,39±0,23	3,55±0,17	4,40±0,17	169,811	0,001**
	NiTi	10	3,01±0,25	3,72±0,24	4,50±0,35	142,270	0,001**
InovationC	SS	10	3,01±0,15	3,54±0,31	4,53±0,58	51,913	0,001**
	TMA	10	3,04±0,11	3,81±0,32	4,84±0,75	43,470	0,001**
	NiTi	10	2,88±0,08	3,12±0,20	3,49±0,28	35,877	0,001**
Avex CX	SS	10	3,56±0,24	5,67±0,43	7,56±0,58	64,617	0,001**
	TMA	10	4,50±0,43	4,23±0,40	5,81±0,73	77,845	0,001**
	NiTi	10	3,72±0,11	4,15±0,19	4,87±0,30	121,866	0,001**
InovationR	SS	10	2,98±0,24	4,06±0,89	5,23±0,91	46,106	0,001**
	TMA	10	3,33±0,32	4,63±0,56	7,30±0,73	279,471	0,001**
	NiTi	10	3,24±0,41	3,91±0,51	4,78±0,29	68,174	0,001**

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi test değeri

**p<0.01

Tablo 9: Farklı braket ve ark teli kombinasyonlarında açılanmalar arasındaki kinetik sürtünme direnci değişimlerinin post hoc değerlendirmesi

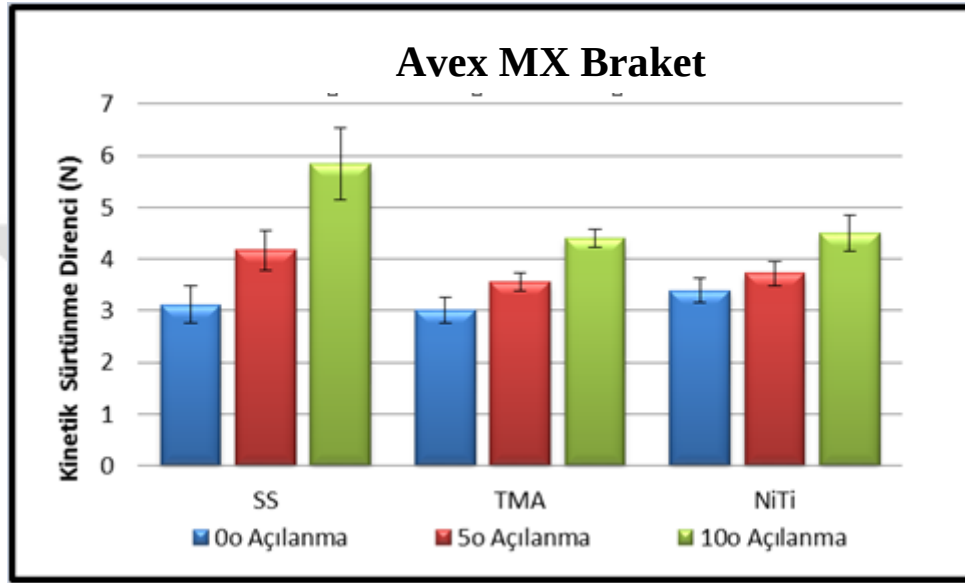
Braket Tipi	Ark Materyali	Teli	0°-5°	0°-10°	5°-10°
			Açılanma p	Açılanma p	Açılanma P
Avex MX	SS		0,001**	0,001**	0,001**
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**
InovationC	SS		0,001**	0,001**	0,001**
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,004**	0,001**	0,001**
Avex CX	SS		0,001**	0,001**	0,001**
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**
InovationR	SS		0,003**	0,001**	0,069
	TMA		0,001**	0,001**	0,001**
	NiTi		0,001**	0,001**	0,001**
Bonferroni Test			**p<0.01		

Avex MX braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).



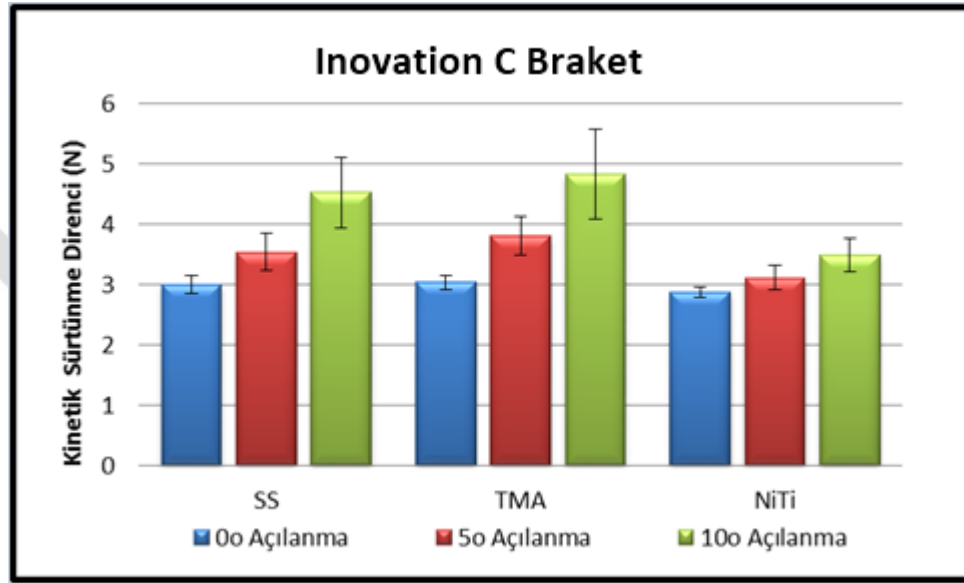
Şekil 11: Avex MX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Inovation C braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).



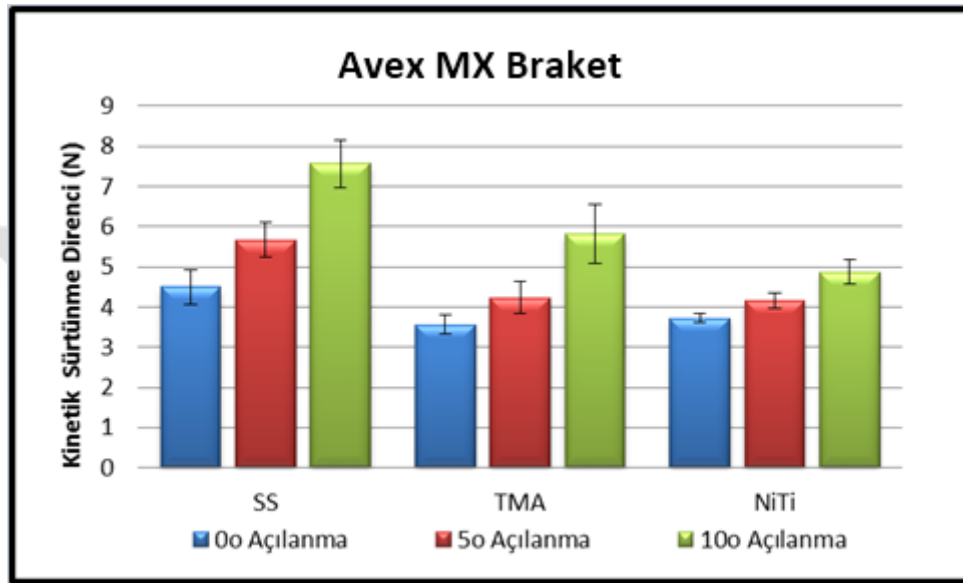
Şekil 12: Inovation C braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Avex CX braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).



Şekil 13: Avex CX braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

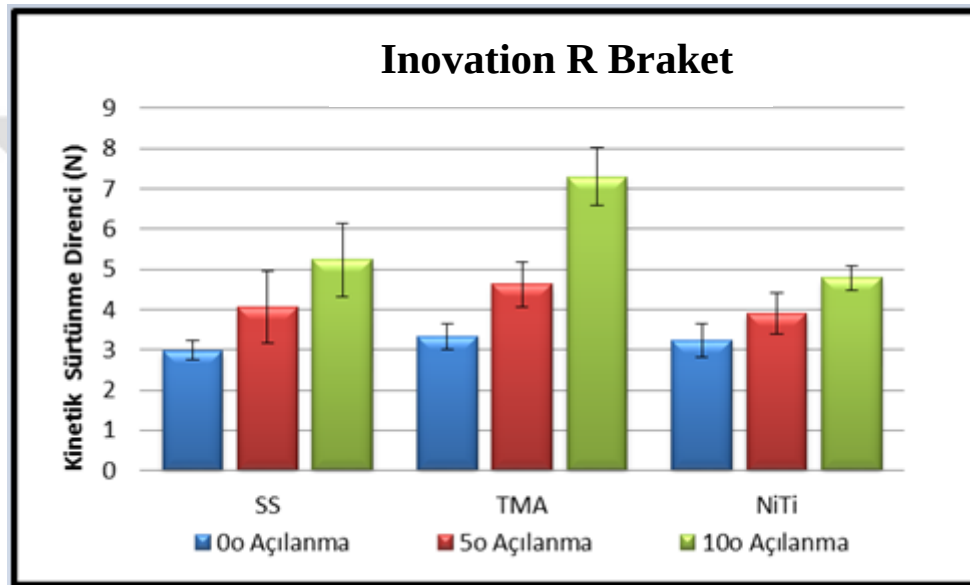
Inovation R braketinde;

SS telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 9).

TMA telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5°

açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).

NiTi telinin 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 8). 0° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençlerinde görülen artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). 5° açılanmadaki kinetik sürtünme direncine göre 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme direncinde görülen artışlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$) (Tablo 9).



Şekil 14: Inovation R braketinde farklı ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmalardaki kinetik sürtünme dirençleri

Tablo 10: Ark teli ile braket slotu arasında 0° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
0°	Avex MX	10	3,11±0,36	3,39±0,23	3,01±0,25	4,709	0,018*
	InovationC	10	3,01±0,15	3,04±0,11	2,88±0,08	5,772	0,008**
	Avex CX	10	3,56±0,24	4,50±0,43	3,72±0,11	30,041	0,001**
	InovationR	10	2,98±0,24	3,33±0,32	3,24±0,41	3,088	0,062
	F		54,916	11,545	20,390		
	p		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

*p<0.05

**p<0.01

0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

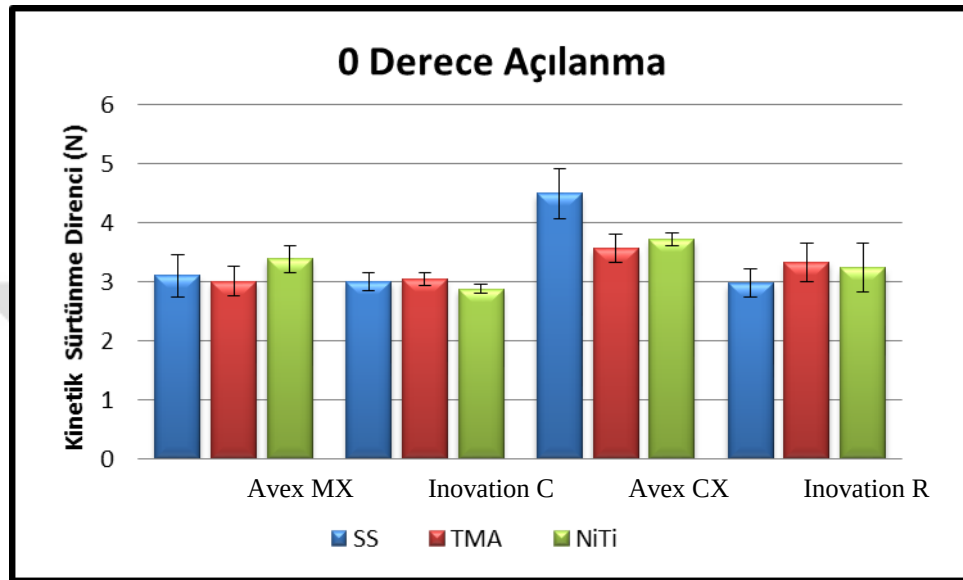
Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır (p<0.05) (Tablo 10). TMA telinin Avex MX braketindeki kinetik sürtünme direnci, Niti telinden anlamlı şekilde yüksektir (p<0.05). Diğer ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (p>0.05) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır (p<0.01) (Tablo 10). NiTi telinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve TMA tellerinden anlamlı şekilde düşüktür (p<0.05; p<0.01). SS ve TMA tellerinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (p>0.05) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır (p<0.01) (Tablo 10). TMA telinin Avex CX braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir (p<0.01). SS ve NiTi tellerinin Avex CX

braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 10).



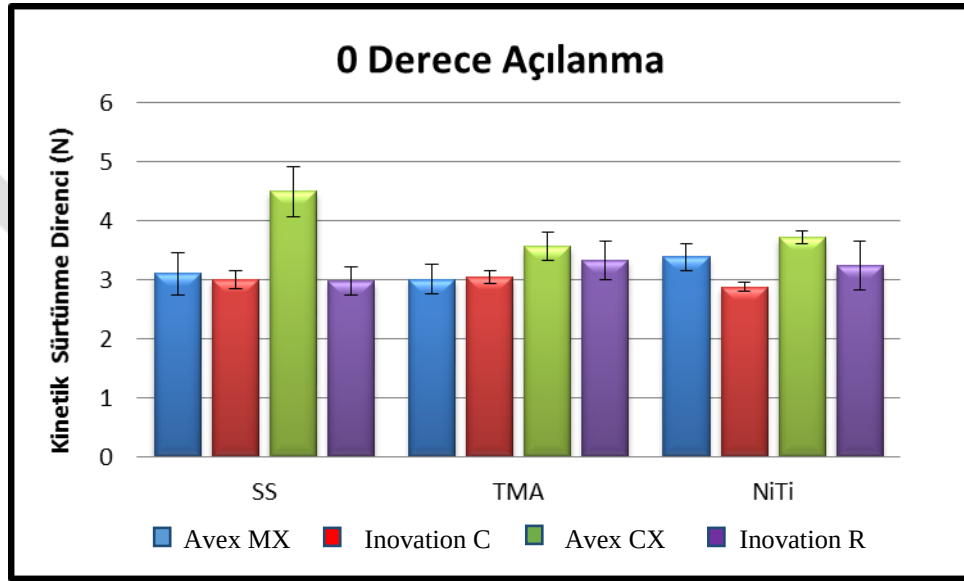
Şekil 15: 0° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

0° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 10). Avex CX braketinin SS telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 10). Avex CX braketinin TMA telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX ve Inovation C braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 10). Avex CX braketinin NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$; $p<0.01$). Avex MX braketinin NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Inovation C braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).



Şekil 16: 0° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Tablo 11: Ark teli ile braket slotu arasında 5° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
5°	Avex MX	10	3,55±0,17	4,17±0,39	3,72±0,24	12,454	0,001**
	InovationC	10	3,54±0,31	3,81±0,32	3,12±0,20	14,458	0,001**
	Avex CX	10	4,23±0,40	5,67±0,43	4,15±0,19	58,012	0,001**
	InovationR	10	4,06±0,89	4,63±0,56	3,91±0,51	3,095	0,062
	F		27,222	14,741	19,134		
	p		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

**p<0.01

5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

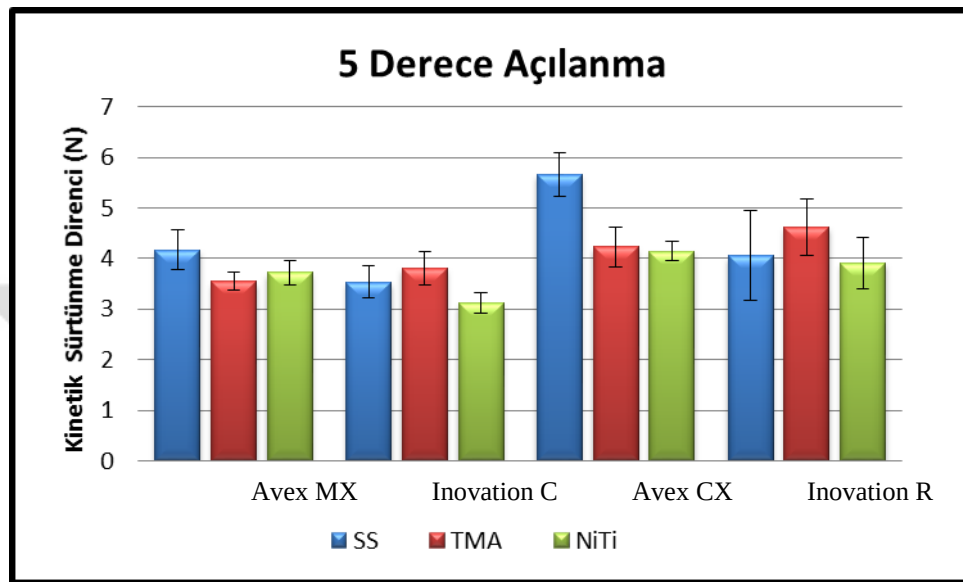
Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). TMA telinin Avex MX braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). NiTi telinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve TMA tellerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). SS ve TMA tellerinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). TMA telinin Avex CX braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex CX

braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 11).



Şekil 17: 5° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

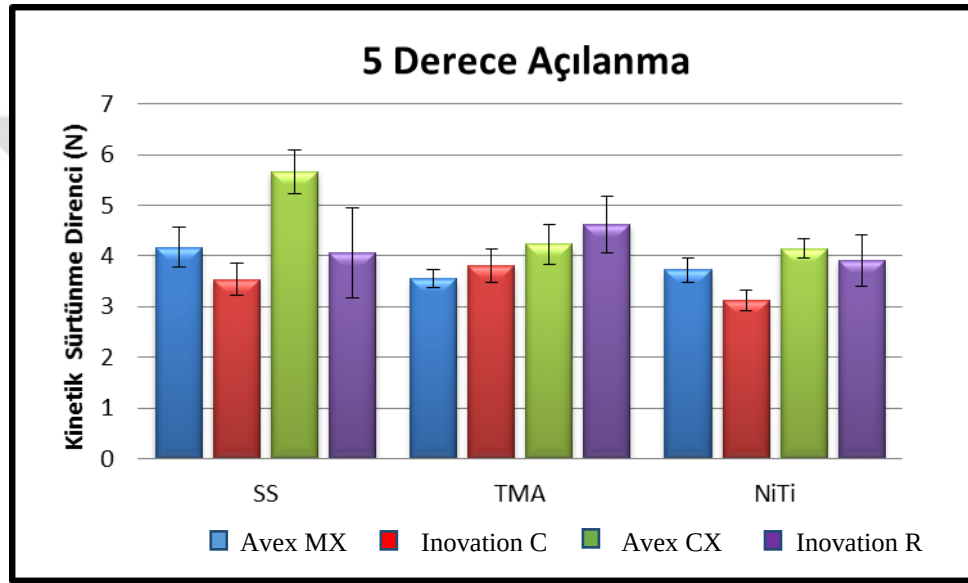
5° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). Avex CX braketinin SS telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). Inovation R braketinin TMA telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX ve Inovation C braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). Avex MX braketinin TMA telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde

yüksektir ($p<0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 11). Inovation C braketinin NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Avex MX ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). Avex CX braketinin NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).



Şekil 18: 5° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

Tablo 12: Ark teli ile braket slotu arasında 10° açılanmada meydana gelen kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi

Açılanma	Braket Tipi	n	Ark Teli Materyali			F	p
			SS	TMA	NiTi		
			Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS		
10°	Avex MX	10	4,40±0,17	5,84±0,70	4,50±0,35	30,381	0,001**
	InovationC	10	4,53±0,58	4,84±0,75	3,49±0,28	15,386	0,001**
	Avex CX	10	5,81±0,73	7,56±0,58	4,87±0,30	57,976	0,001**
	InovationR	10	5,23±0,91	7,30±0,73	4,78±0,29	37,244	0,001**
	F		33,674	39,428	43,249		
	p		0,001**	0,001**	0,001**		

n: Örnek sayısı Ort: Ortalama Değer

SS: Standart Sapma

F: Tek yönlü varyans analizi test değeri

**p<0.01

Tablo 13: Farklı tipteki braketlerdeki ark teli materyallerinin kinetik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Açı	Braket Tipi	SS/TMA	SS/NiTi	TMA/NiTi
		P	P	P
0°	Avex MX	0,723	0,092	0,017*
	InovationC	0,743	0,047*	0,009**
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,428
	InovationR	0,059	0,203	0,798
5°	Avex MX	0,001**	0,004**	0,421
	InovationC	0,116	0,008**	0,001**
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,871
	InovationR	0,167	0,878	0,065
10°	Avex MX	0,001**	0,001**	0,831
	InovationC	0,673	0,001**	0,001**
	Avex CX	0,001**	0,001**	0,008**
	InovationR	0,001**	0,428	0,001**
Tukey HSD ve Tamhane T2 Test		*p<0.05		**p<0.01

Tablo 14: Farklı ark teli materyallerinde braketlerin kinetik sürtünme direnci üzerindeki etkilerinin post hoc (çoklu karşılaştırma) değerlendirmesi

Açı	Ark Teli Materyali	Avex MX/ InovationC	Avex MX/Avex CX	Avex MX/ InovationR	InovationC/Avex CX	InovationC/ InovationR	Avex CX/ InovationR
		P	P	P	P	P	P
0°	TMA	0,895	0,001**	0,800	0,001**	0,997	0,001**
	SS	0,999	0,001**	0,116	0,001**	0,115	0,456
	NiTi	0,001**	0,006**	0,917	0,001**	0,126	0,028*
5°	TMA	0,073	0,001**	0,973	0,001**	0,175	0,001**
	SS	0,252	0,002**	0,001**	0,103	0,007**	0,420
	NiTi	0,001**	0,020*	0,509	0,001**	0,001**	0,354
10°	TMA	0,001**	0,001**	0,223	0,001**	0,138	0,001**
	SS	0,476	0,001**	0,001**	0,054	0,001**	0,002**
	NiTi	0,001**	0,049*	0,176	0,001**	0,001**	0,928
Tukey HSD ve Tamhane T2 Test		*p<0.05		**p<0.01			

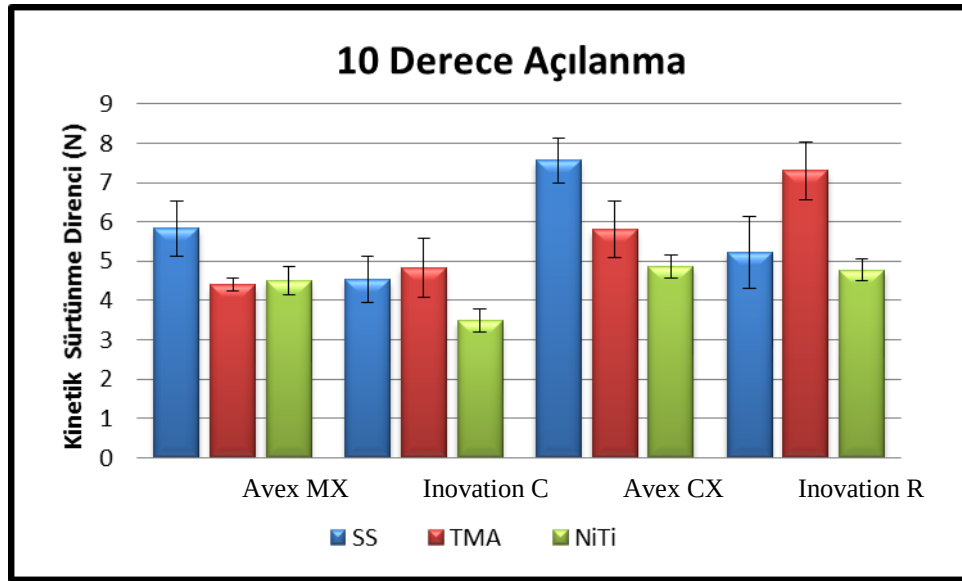
10° açılanmada ark teli materyallerinde göre farklı braketlerdeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Ark teli materyalleri arasında Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 12). TMA telinin Avex MX braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Avex MX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 12). NiTi telinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve TMA tellerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p<0.01$). SS ve TMA tellerinin Inovation C braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Avex CX braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 12). TMA telinin Avex CX braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS telinin Avex CX braketindeki kinetik sürtünme direnci, NiTi braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$) (Tablo 13).

Ark teli materyalleri arasında Inovation R braketindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.01$) (Tablo 12). TMA telinin Inovation R braketindeki kinetik sürtünme direnci, SS ve NiTi tellerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.01$). SS ve NiTi tellerinin Inovation R braketindeki kinetik sürtünme dirençleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 13).



Şekil 19: 10° açılanmada ark teli materyallerine göre farklı braketlerdeki statik sürtünme dirençleri

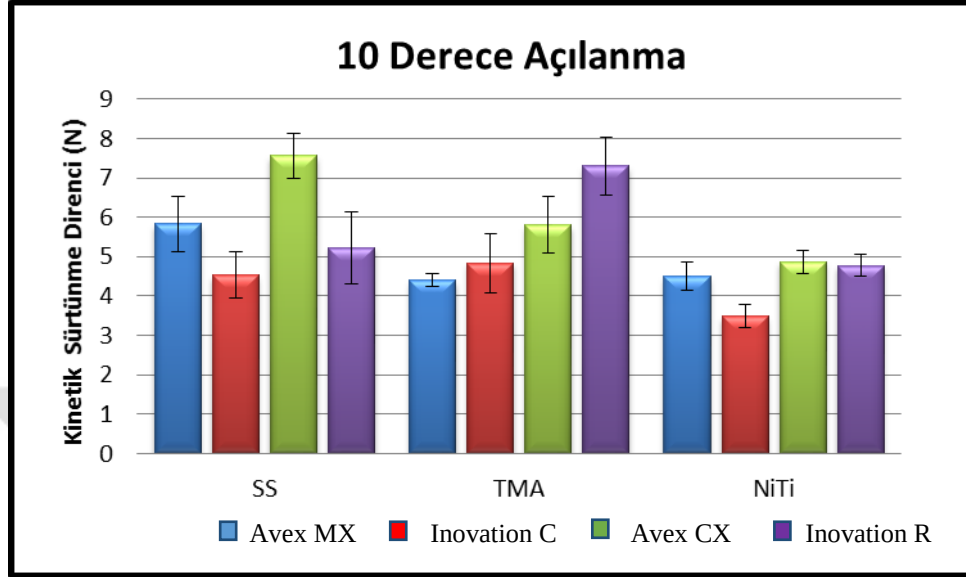
10° açılanmada braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki kinetik sürtünme dirençlerinin değerlendirilmesi;

Braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p < 0.01$) (Tablo 12). Avex CX braketinin SS telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Inovation C ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p < 0.01$). Avex MX braketinin SS telindeki kinetik sürtünme direnci, Inovation C braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p < 0.01$). Diğer braketler arasında SS telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p > 0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p < 0.01$) (Tablo 12). Inovation R braketinin TMA telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex CX, Inovation C ve Avex MX braketlerinden anlamlı şekilde yüksektir ($p < 0.01$). Avex CX braketinin TMA telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p < 0.01$). Diğer braketler arasında TMA telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p > 0.05$) (Tablo 14).

Braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmaktadır ($p < 0.01$) (Tablo 12). Inovation C braketinin NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX, Avex CX ve Inovation R braketlerinden anlamlı şekilde düşüktür ($p < 0.01$). Avex CX braketinin

NiTi telindeki kinetik sürtünme direnci, Avex MX braketinden anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Diğer braketler arasında NiTi telindeki kinetik sürtünme dirençleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$) (Tablo 14).



Şekil 20: 10° açılanmada göre braketlere göre farklı ark teli materyallerindeki statik sürtünme dirençleri

İstatistiksel Değerlendirmeler

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Türkiye) programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilks testi ile değerlendirilmiştir. Çalışma verileri değerlendirilirken parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Tek Yönlü Varyans Analizi ve farklılığa neden çıkan grubun tespitinde Tukey HSD ve Tamhane T2 testleri kullanılmıştır. 0°, 5° ve 10° açılanmalar arasındaki farklılıkların tespitinde Tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi ve anlamlılığa neden olan grubun tespitinde Bonferroni testi kullanılmıştır. Anlamlılık $p<0.05$ düzeyinde değerlendirmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1. Gereç ve Yöntemin Tartışılması

Çalışmamızda dört farklı labial braket ile nikel-titanyum, beta-titanyum ve paslanmaz çelik teller arasında, üç farklı açılanmada meydana gelen statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Çalışmamızda kullanılan tüm labial braketlerin her birinden üç farklı braket- tel kombinasyonu oluşturularak, 0, 5 ve 10 derecelik açılanmalarda test edilmiştir. Elde edilen verilere istatistiksel analiz uygulanarak çalışma bulguları elde edilmiştir.

Üç farklı materyalden oluşan teller ile dört farklı tip braket arasında farklı açılanmalarda meydana gelen sürtünme direncini incelediğimiz in vitr çalışmamızın yöntemi, Redlich ve ark. (88), Öztürk ve ark. (78) ve Sims ve ark. (96) tarafından yapılmış olan sürtünme kuvvetleri ile ilgili çalışmalara benzer şekilde yapılmıştır. Çalışmamızda braketler, hazırlanmış olan alüminyum plakalara, 0,018x0.025 inç boyutlarında paslanmaz çelik telden hazırlanan rehber tel yardımıyla, sıfır derece tork ve angulasyon değerine sahip olacak şekilde yapıştırılmıştır. Sims ve ark.(88), Sharma ve ark. (103) ve Reiman ve ark. (89) yaptıkları çalışmalarda Transbond XT' nin diğer yapıştırıcılara oranla daha yüksek çekme kuvvetine sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle braketler plakalara Transbond XT primer ve yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır.

Literatürde, braketlere ligatüre edilen ortodontik telin ucuna, düz bir doğru üzerinde hareket etmesini sağlamak için 200 gr ağırlık bağlandığı görülmüştür. Çalışmamızda da aynı yöntem uygulanmıştır.

Ortodontik tellerin braketlere standart bir yöntem ile ligatüre edilmesi, elde edilen sürtünme değerlerinin güvenilirliği için önemlidir. Konu ile yapılan çalışmalarda ligasyon yönteminin standardizasyonu için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Tidy (96) ve Bednar ve ark.(8) yaptıkları çalışmalarda paslanmaz çelik ligatürleri sıkı bir şekilde bağladıktan sonra, ligatürleri 3 tur gevşeterek standardizasyonu sağlamışlardır. Nishio ve ark. (72) ise, ark telini braket slotuna yerleştirdikten sonra braketin her iki yanına yerleştirdikleri paslanmaz makara yardımı ile ligasyon kuvvetini simüle etmişlerdir. Loftus ve ark. (70) yaptıkları çalışmada, önceden kıvrılıp

hazırlanmış ligatür telini pasif bir şekilde bağlayarak ark telini braket slotuna yerleştirmişlerdir. Geleneksel braketler ile gerçekleştirilmiş farklı ligasyon kuvvetlerinin, sürtünme kuvvetine etkisinin incelendiği çalışmalarda, ligatürün ark teline uyguladığı kuvvetin, sürtünme direnci açısından önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Lastik ligatürler kullanılarak sürtünme testlerinin değerlendirildiği çalışmalarda, lastik ile ligasyon yönteminin daha standart bir yöntem olduğu belirtilmiş, ancak fakat farklı genişliklere sahip braketlerin lastik ile ligasyonu sonucu farklı ligasyon kuvvetleri oluşabileceği bunun da sürtünme kuvveti üzerine etkisi olabileceği bildirilmiştir. Çalışmamızda lastik ligatür yönteminin daha standart olması nedeniyle lastik ligatürler ile ligasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kendinden bağlamalı braketlerde; Pizzoni ve ark. (83)'nın ve Cacciefesta ve ark. (13)'nin yapmış oldukları çalışmalara benzer şekilde, ortodontik teller braket slotuna yerleştirildikten sonra kapakları kapatılarak ligasyon işlemi yapılmıştır. Frank ve Nikolai (27), Kusy ve O'Grady (64) , Thorstenson ve Kusy (110) ve Tselepis ve ark. (111) yaptıkları çalışmalarda, braket ve tel arasında farklı açılanmalarda meydana gelen sürtünme dirençlerini ölçmüşlerdir. Araştırmamızda ikinci düzen açılanmada meydana gelen sürtünme direncini değerlendirmek için; Dickson ve ark. (21), Tselepis ve ark. (111), Nishio ve ark. (72) ve Sims ve ark.(96)'nın yaptıkları çalışmalarda belirlediği gibi 0, 5 ve 10 'lik açılanma değerleri kullanılmıştır. Tselepis ve ark. (111) çalışmalarında, açılar test cihazındaki iletkei yardımı ile belirlediklerini bildirmişler. Redlich ve ark. (88) ikinci düzen açılanmaları ayarlayabilmek amacıyla, test cihazının uzun eksenine göre, belirlenmiş açılarda doğrular çizmişler ve bu doğrulardan yararlanmışlardır. Araştırmamızda, ikinci düzen açılanmaların belirlenmesinde Öztürk ve ark. (78)'nin çalışmalarında yaptıkları yöntem kullanılmıştır. Alüminyum plağın sabitlendiği test cihazının alt ara parçası üzerine bir iletkei yardımı ile 0, 5 ve 10'lik üç adet doğru çizilmiş ve açılanmaların ayarlanabilmesi için çizilen bu doğrular referans alınmıştır.

Thomas ve ark. (108), Mendes ve ark. (66), Öztürk ve ark. (78) ve Cash ve ark. (14) sürtünme ile ilgili yaptıkları çalışmalarda, braket slotlarının angulasyon ve tork değerlerinin sıfırlanması için paslanmaz çelik telden hazırlanmış standardizasyon jiglerini kullanmışlardır. Bizim çalışmamızda da braket slotuna uygun olacak şekilde 0.018x0.025 paslanmaz çelik telden standardizasyon jigi hazırlanmıştır. Böylece

braket slotlarının angulasyon ve tork değerleri sıfırlanarak yere paralel bir şekilde yapıştırılması sağlanmıştır.

Yapılan birçok araştırmada, braket slotu ile ark teli arasında meydana gelen sürtünme kuvvetini ölçmek için evrensel test cihazı kullanılmıştır. Çalışmamızda da buna benzer şekilde Zwick marka Z250 model evrensel test cihazı kullanılmıştır.

Yapılan literatür incelemesinde, sürtünme deneylerinde uygulanan hız miktarı incelendiğinde araştırmacıların, 0,5 mm/dk, 1 mm/dk, 2.5 mm/dk, 5 mm/dk, 10 mm/dk ve 20 mm/dk hızlarda çalışma deneylerini gerçekleştirdikleri görülmektedir. Ireland ve ark. yaptıkları çalışmalarında paslanmaz çelik ve nikel titanyum teller ile paslanmaz çelik ve seramik braketler arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini 0.5 mm/dk ile 50 mm/dk arasında değişen hızlarda incelemişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde 5 mm/dk üzerindeki hızların klinik koşulları yansıtmadığı gözlemlenmiştir. Mendes ve Rossouw (66) 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında düşük hızda uygulanan çalışmaların klinik koşulları daha iyi yansıttığını öne sürmüşlerdir. Bu çalışmalardan yola çıkılarak çalışmamızda deney hızı 1 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Ortodontik tel ile braket slotu arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde deney verilerinin ortamın kuru ve ıslak olmasından etkilenebileceği gözlemlenmiştir. Fakat incelenen çalışmalarda konu ile ilgili fikir birliğinin olmadığı görülmüştür. Fakat literatürde tükürüğün sürtünme direncini arttırdığını, azalttığını veya sürtünme direncini etkilemediğini öne süren çalışmalar bulunmaktadır. Christersonn ve ark. (18) yaptıkları çalışmalarında deney esnasında yapay tükürüğün kullanımının sürtünme direncini azalttığını bildirmişlerdir. Rucker ve Kusy (95) 2002 yılında yayınlanan çalışmalarında paslanmaz çelik ve tel kombinasyonlarında ortamda tükürüğün bulunmasının sürtünme kuvveti üzerinde etkili olmadığının ancak paslanmaz çelik braket ve nikel titanyum kombinasyonlarında ortamda tükürüğün bulunmasının sürtünme kuvvetini arttırdığını bildirmişlerdir. Sürtünme deneylerinin gerçekleştirildiği ortam koşulları ile ilgili farklı görüşler olsa da yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, deneylerin çoğunun kuru ortamda gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu nedenle çalışmamız 21. 2 lik oda sıcaklığında ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

5.2. Statik Sürtünme Direnci İle İlgili Bulguların Tartışılması

5.2.1. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmaların Statik Sürtünme Dirençleri Üzerindeki Etkisinin Tartışılması

Çalışmamızda değerlendirilen tüm braket kombinasyonlarında, ikinci düzen açılanmalarda artış ile birlikte statik sürtünme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Çalışmamızda elde edilen bulguların sonuçları, bu konuda yapılan birçok araştırmanın bulguları ile korelasyon göstermektedir.

Read ve ark. (87)1997 yılında yayınlanan çalışmalarında, üç farklı tipte kendinden bağlamalı braket ile konvansiyonel braketler arasında, farklı boyutlardaki teller arasında sürtünme kuvvetini 0, 5 ve 10 açılanmalarda değerlendirerek, çalışmanın sonucunda açılanmadaki artışa bağlı sürtünme kuvvetinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Pizzoni ve ark. (82) 1998 yılında yaptıkları çalışmalarında, kendinde bağlamalı braketlerde 6 'lık açılanmada, braket slotu ile ark teli arasında temasın artması sonucu, köşeli tellerde daha belirgin kilitlenme meydana geldiğini ve bunun sonucunda sürtünme kuvvetini de arttırdığını ileri sürmüşlerdir. Frank ve Nikolai (27) yaptıkları çalışmalarında, braket slotu ile tel arasında açılanmanın 6 'den fazla olduğu durumlarda kilitlenme meydana geldiğini ve bunun sonucunda sürtünme kuvvetinin de arttığını bildirmişlerdir. Kusy ve Whitley (57) yaptıkları çalışmalarında, braket slotu ile tel arasındaki kritik kontak açısı ve kaymaya karşı olan direnci inceleyerek ve kritik kontak açısı değerinin artması halinde, kayıcı mekaniklerin etkisinin kısıtlandığının ve braket slotu ile ark teli arasında kilitlenmenin ve çentiklenmenin meydana geldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada, kritik kontak açısının değerini hesaplamak için ark teli boyutu, braketin mesio-distal genişliği ve slot boyutunun dahil edildiği bir matematiksel bir formül geliştirilmiştir. Açının en fazla 3.7 olabileceği, kritik kontak açısı değeri altında kayıcı mekaniklerin klasik sürtünme etkisinde olduğu da bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda statik sürtünme dirençleri braket slotu ile tel arasında 0, 5 ve 10 'lık açılanma oluşturularak değerlendirilmiştir.

5.2.2. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmalarda Tel Materyalinin Statik Sürtünme Direnci Üzerindeki Etkisinin Tartışılması

Çalışmamızda incelenen tüm braket ve ark teli kombinasyonlarında 0°, 5° ve 10° açılanmada, tüm braketlerde, TMA tellerin oluşturduğu statik sürtünme direnci,

SS ve Niti tellerin oluşturdukları statik sũrtũnme direncinden fazla bulunmuştur. Literatũr incelemesinde bulgularımızın, bu konuda yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu gũzlenmiřtir.

Pizzoni ve ark. (82) 1998 yılında yaptıkları çalışmalarında geleneksel ve kapaklı braketlerle 0,018 in ve 0,017x0,025 inç boyutlarında paslanmaz elik ve beta titanyum teller arasında oluşan sũrtũnme dirençlerini incelemişler ve beta titanyum tellerin farklı açılanmalarda ve tũm braket kombinasyonlarında daha çok sũrtũnme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Loftus ve ark. (70) 2000 yılında yaptıkları çalışmalarında paslanmaz elik ve titanyum braketlerle iyon kaplı beta titanyum teller ve paslanmaz elik teller arasında oluşan sũrtũnme direncini karşılaştırmışlar, titanyum braketler ile beta titanyum teller arasında en yũksek sũrtũnme direnci oluştuğunu bildirmişlerdir.

Michelberger ve ark. (67) 2000 yılında yayımlanan çalışmalarında titanyum ve paslanmaz elik braketler ile iyon kaplı beta-titanyum ve paslanmaz elik teller arasında meydana gelen sũrtũnme direncini karşılaştırmışlar, beta titanyum tellerin titanyum tellerle kombinasyonunda en fazla sũrtũnme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Tecco ve ark. (105) 2005 yılında yayımlanan çalışmalarında, 0,022 in slot genişliğinde geleneksel paslanmaz elik, kendinden bağlanmalı Time plus ve Damon braketler ile farklı boyutlardaki paslanmaz elik, nikel titanyum ve beta- titanyum teller arasında meydana gelen sũrtũnme kuvvetlerini karşılaştırmışlar, beta titanyum tellerdeki ۆlũm değerlerinin paslanmaz elik ve nikel titanyum tellerden daha yũksek olduğunu bulmuşlardır.

Cacciafesta ve ark. (13) 2005 yılında yaptıkları çalışmalarında 0,022 in slot boyutlarında kapaklı paslanmaz elik braketler (Damon SL II) , kapaklı polikarbonat braketler (Oyster) ve konvansiyonel paslanmaz elik braketlerle (Victory) kۆřeli ve yuvarlak teller arasında oluşan sũrtũnme direncini karşılaştırmışlar, beta titanyum tellerde oluşan sũrtũnme direncinin nikel titanyum ve paslanmaz elik tellere gۆre daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

Krishnan ve ark. (56) 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında, 0,022 in boyutlarında pasif kapaklı, aktif kapaklı ve konvansiyonel braketlerle 0.019x0,025 inç boyutlarına sahip nikel titanyum, paslanmaz elik ve beta titanyum teller arasında

oluşan sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlar, kendinden bağlamalı braketlerin, aktif ve ya pasif kapaklı olmasının sürtünme direnci üzerinde farklı etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Beta titanyum tellerin, nikel titanyum ve paslanmaz çelik tellere göre daha fazla sürtünme direnci oluşturduğunu bulmuşlardır.

Çalışmamızda 0° ve 5° açılanmada Avex MX, Avex CX ve Inovation R braketlerde SS ve Niti tellerde oluşan sürtünme direnci arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, Inovation C braketlerde Niti tellerdeki sürtünme direnci anlamlı olarak düşük bulunmuştur. 10° açılanmada Avex MX ve Inovation R braketlerde SS ve Niti tellerin oluşturduğu sürtünme direnci arasında anlamlı bir fark bulunmamışken, Avex CX ve Inovation C braketlerde Niti tellerde sürtünme direnci anlamlı olarak daha az bulunmuştur.

Frank ve Nikolai (27) 1980 yılında yaptıkları çalışmalarında, $0^\circ, 3^\circ, 6^\circ$ ve 10° açılanmalarda farklı tipte paslanmaz çelik braketlerle 0,016 inç, 0,018 inç, 0,020 inç, 0,017x0,025 inç ve 0,019x0,025 inç boyutlarına sahip nikel titanyum, elgiloy ve paslanmaz çelik teller arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre nikel titanyum tellerin diğer alaşımlara göre daha az sürtünme direnci gösterdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi nikel titanyum tellerin daha az katılığa sahip olması nedeniyle daha az temas kuvveti oluşturması olarak bildirilmiştir.

Articolo ve Kusy (3) 1999 yılında yaptıkları çalışmalarında 0,022x0,028 inç slot boyutlarında paslanmaz çelik, kristal safir ve polikristalin alumina braketler ile 0,021x0,025 inç boyutlarında nikel titanyumim, beta titanyum ve paslanmaz çelik teller arasında oluşan sürtünme dirençlerini farklı açılanmalarda ($0^\circ, 3^\circ, 7^\circ, 11^\circ, 13^\circ$) karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda açılanma arttıkça nikel titanyum tellerin, paslanmaz çelik tellere göre daha az sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Paslanmaz çelik ve nikel-titanyum teller kullanılarak yapılan, farklı braket kombinasyonlarında oluşturdukları statik sürtünme direnci ile ilgili farklı sonuçların yer aldığı çalışmalar mevcuttur. Loftus ve ark. (70) yaptıkları çalışmalarında nikel titanyum, paslanmaz çelik ark telleri arasında, sürtünme direnci açısından anlamlı istatistiksel bir fark bulunmadığını, Drescher ve ark. (24), Ireland ve ark. yaptıkları çalışmalarında paslanmaz çelik tellerle nikel titanyum teller arasında, paslanmaz çelik tellerin daha az sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir. Tselepsi ve

ark. (111) çalışmalarında paslanmaz çelik tellerin, nikel titanyum tellere göre daha fazla sürtünme direnci oluşturduklarını bildirmişlerdir. Thorstenson ve Kusy (110) çalışmalarında dört farklı tipte kapaklı braketle, beş farklı boyutta köşeli ve yuvarlak telleri içeren nikel titanyum tellerle kombinasyonunda sürtünme direncini değerlendirmişler, nikel titanyum tellerin paslanmaz çelik tellere göre daha fazla sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir.

5.2.3. Farklı Braket ve Tel Kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 Açılanmalarda Ortodontik Tel Materyalinin Statik Sürtünme Direnci Üzerine Olan Etkilerinin Karşılaştırmalı Olarak Tartışılması

Çalışmamızda 0° açılanmada Avex MX braketler ile TMA telleri, SS ve Niti tellere göre anlamlı olarak daha fazla sürtünme direnci göstermiştir. SS ve Niti tellerle yapılan kombinasyonlar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Inovation R braketlerle TMA telleri, Niti ve SS tellere göre anlamlı olarak daha fazla sürtünme direnci oluşturmuştur. Diğer kombinasyonlar arasında anlamlı olarak bir fark bulunamamıştır. Inovation C braketlerle Niti telleri, TMA ve SS tellere göre anlamlı derecede daha düşük sürtünme direnci göstermiştir. Avex CX braketlerle TMA telleri, Niti ve SS tellere göre daha yüksek sürtünme direnci oluşturmuştur. SS ve Niti tellerle yapılan kombinasyonları arasında anlamlı bir fark bulunmadığı gözlemlenmiştir.

5° açılanmada Avex MX, Avex CX ve Inovation R braketler ile TMA, SS ve Niti tellerin oluşturdukları statik sürtünme dirençleri karşılaştırıldığında, TMA tellerine ait sürtünme direnci SS ve Niti tellere göre anlamlı derecede yüksek bulunmuşken, SS ve Niti teller arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Inovation C braketlerle Niti teller arasında oluşan sürtünme direnci ise , SS ve TMA tellere göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur.

10° açılanmada Avex MX ve Inovation R braketlerle TMA, SS ve NiTi tellerin oluşturduğu statik sürtünme dirençleri karşılaştırıldığında, TMA tellerine ait sürtünme direncinin, SS ve NiTi tellerine göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu bulunmuştur. SS ve Niti teller arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Inovation C braketlerde NiTi tellerde oluşan sürtünme direnci, SS ve TMA tellere göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur, SS ve TMA teller arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Avex CX braketlerde ise TMA tellerle en yüksek sürtünme direnci olduğu bulunmuşken, SS tellerle NiTi tellere göre anlamlı olarak daha yüksek sürtünme direnci bulunmuştur. Çalışmamızda elde

edilen bu bulgular, Tecco ve ark. (105), Michelberger ve ark. (67), Loftus ve ark.(70), Cacciafesta ve ark.(13), Krishnan ve ark.(56) yaptıkları çalışmalarda bulgularla uyumludur.

Krishnan ve ark. (56) çalışmalarında, TMA tellerin aktif ve pasif kendinden bağlamalı braketlerle yüksek sürtünme direnci gösterdiğini bildirmişlerdir. Cacciafesta ve ark.(14), çalışmalarında TMA tellerde yüksek sürtünme direnci oluştuğunu bildirmişlerdir. Pizzoni ve ark. (82) da TMA tellerin, aktif ve pasif kapaklı braketlerle kombine edildiğinde, istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgular araştırmamızda elde edilen bulgular ile uyumludur. Prososki ve ark. (85) 1991 yılında yaptıkları çalışmalarında, kapaklı paslanmaz çelik braketler ile beta titanyum, nikel titanyum, paslanmaz çelik ve krom kobalt ark telleri arasında sürtünme direncini değerlendirmişler ve paslanmaz çelik ve beta titanyum ark tellerinin en yüksek sürtünme direncini, nikel titanyum ve krom kobalt ark tellerinin en düşük sürtünme direncini oluşturduğunu bulmuşlardır.

5.2.4. Farklı Braket Tipleri ile Tel Kombinasyonlarında Oluşan Statik Sürtünme Dirençlerinin Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi

Çalışmamızda, Avex MX ve Inovation R braketlerin 0, 5 ve 10 derece açılanmalarda, TMA, SS ve NiTi ark telleri ile aralarında meydana gelen sürtünme dirençleri karşılaştırıldığında, tüm kombinasyonlarda bu braketlere ait sürtünme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Çalışmamızda kullanılan diktörgen kesitli teller, bu braketlerin slotlarını, ligasyon yönteminden bağımsız olarak tam olarak doldurduğu için, sıkı bir temas sağlamaktadır. Bu nedenle Inovation R ve Avex MX braketler arasında sürtünme açısından bir fark olmadığı sonucunu düşünmekteyiz.

Ehsani ve ark. (25) 2009 yılında yayımladıkları sistematik derlemede, bir çok veri tabanını taramışlar ve konvansiyonel braketlerle kendinden bağlamalı braketler arasındaki sürtünme dirençlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, yuvarlak teller kullanılarak yapılan deneylerde kendinden bağlamalı braketlerin daha az sürtünme direnci gösterdiğini, fakat köşeli teller kullanılarak yapılan deneylerde angulasyon ve torkun varlığı nedeniyle, geleneksel braketlere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı sürtünme direnci oluşturmadıklarını gözlemlemişlerdir. Fleming ve ark. (26) 2010 yılında yayımladıkları çalışmalarında, kendinden bağlamalı braketlerin

diğer braketlerle karşılaştırıldığında, ortodontik tedavi açısından bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Loftus ve ark. (70) 1999 yılında yayımlanan çalışmalarında, 0,022x0,028 inç boyutuna sahip konvansiyonel seramik, paslanmaz çelik slotlu seramik, konvansiyonel paslanmaz çelik ve kendiden bağlamalı braketlerle 0,019x0,025 inç boyutunda beta titanyum, nikel titanyum ve paslanmaz çelik teller arasındaki sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak paslanmaz çelik braketlerle kendinden bağlanmalı paslanmaz çelik braketler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamışlardır. Bu çalışmaların bulguları çalışmamızın bulgularıyla benzerdir, köşeli teller braket slotlarını tam olarak doldurduğu için hem Avex MX, hem Inovation R braketlerle yüksek sürtünme direnci oluşturmuştur ve aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır.

Çalışmamızda, Inovation R braketler ve Inovation C braketlerle 0, 5 ve 10 derece açılanmada SS, TMA ve Niti teller arasındaki sürtünme dirençleri incelendiğinde, sürtünme dirençleri açısından aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır.

Stefanos ve ark. (99) 2010 yılında yayımlanan çalışmalarında aktif kapak mekanizmasına sahip Inovation R, Inovation C, SPEED braketler ve pasif kapak mekanizmasına sahip Smart clip, Synergy R, Damon III mx braketler ile 0.019x0.025 inç boyutunda paslanmaz çelik teller arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini değerlendirmişler, en düşük sürtünme direncinin pasif kapaklı braketlerde olduğunu, diğer braketler arasında bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir.

Çalışmamızda Avex CX ve Avex MX braketlerle 0 ve 5 derece açılanmalarda SS, NiTi ve TMA teller arasında oluşan sürtünme direnci karşılaştırıldığında TMA tellerde oluşan sürtünme direnci Avex CX braketlerde Avex MX braketinden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir. Avex CX braketlerin tüm braketlerle karşılaştırıldığında TMA tellerle oluşturduğu sürtünme direncinin yüksek olduğu gözlenmiştir. 10 derece açılanmada ise NiTi tellerde Avex MX ve Avex CX braketler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Çalışmamızda elde edilen bu sonuçlar, Cacciefesta ve ark. (13), Nishio ve ark. (72), Kusy, Whitley ve Prewitt (60), Tanne ve ark.(103) yaptıkları çalışmaların sonuçları ile uyumludur.

Cha ve ark. (14) 0,022 inç slot boyutunda konvansiyonel paslanmaz çelik, monokristalin seramik, polikristalin alumina, slotu silika kaplı polikristalin alumina ve

paslanmaz çelik slotlu polikristalin alumina braketler ile 0.019x0.025 inç boyutunda beta titanyumve paslanmaz çelik teller arasında farklı açılanma derecelerinde sürtünme direncini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, aktif ve pasif konfigürasyonda slotu silika kaplı polikristalin alumina braketlerin paslanmaz çelik braketler gibi daha düşük sürtünme direnci gösterdiğini bulmuşlardır.

Tanne ve ark. (103) üç farklı tipte seramik ve bir tip paslanmaz çelik braketlerle üç farklı boyutta krom-kobalt teller arasında sürtünme direncini karşılaştırmışlar ve braketlerin slot yüzeylerini mikroskobik düzeyde incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda araştırmacılar, seramik braketlerin slot yüzeylerinin daha pürüzlü olduğunu ve bu bulguları destekleyecek şekilde daha fazla sürtünme direnci oluşturduğuna ulaşmışlardır.

Kusy ve ark. (59)paslanmaz çelik ve polikristalin alumina braketler ile krom kobalt, beta titanyum, paslanmaz çelik ve nikel titanyum teller arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlar ve çalışmanın sonucunda polukristalin alumina braketlerin daha fazla sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişlerdir. Nishio ve ark.(67) da çalışmalarında en düşük sürtünme direncinin paslanmaz çelik braketlerde, en yüksek sürtünme direncinin ise seramik braketlerde oluştuğunu bildirmişlerdir.

Cacciafesta ve ark.(13) çalışmalarında, porozitesinin ve yüzey pürüzlülüğünün fazla olması nedeniyle konvansiyonel seramik braketlerin en fazla sürtünme direnci oluşturduğunu bildirmişler ve bunu sırasıyla metal slotlu seramik braketlerin ve konvansiyonel paslanmaz çelik braketlerin takip ettiğini bildirmişlerdir.

Çalışmamızda Inovation R ve Inovation C braketlerle 0, 5 ve 10 derece açılanmalarda, SS, NiTi ve TMA teller arasında oluşan sürtünme dirençleri karşılaştırıldığında; 0 derece açılanmada Inovation R ve Inovation C braketlerle tüm ark teli kombinasyonlarında meydana gelen sürtünme direncinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. 5 ve 10 derece açılanmalarda; bu iki braketin TMA teli ile kombinasyonlarında sürtünme direnci karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, NiTi tellerde Inovation C braketlerde Inovation R braketlerine göre sürtünme direnci anlamlı olarak düşük bulunmuştur. SS tellerle olan kombinasyonlarında ise Inovation R braketlerde daha yüksek sürtünme direnci

gözlenmiştir. Bu bulgunun nedeninin braket konfigürasyonlarından kaynaklanabileceğini düşünülmektedir.

Stefanos ve ark. (99) 2010 yılında yayımlanan çalışmalarında, aktif kapak mekanizmasına sahip 0.022 inç slot boyutunda In ovation R, Inovation C, Speed braketler ile pasif kapak mekanizmasına sahip Smart Clip, Synergy R, Damon III Mx braketler ile 0.019x0.025 inç boyutunda paslanmaz çelik teller arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlar. Çalışmanın sonucunda en düşük sürtünme direncinin Damon III mx braketlerde meydana geldiğini bulmuşlardır.

Voudouris ve ark. (115) 2010 yılında yayımlanan çalışmalarında, kapaklı estetik , metal, metal slotlu braketler (Inovation C, Inovation R, Damon 3) ve konvansiyonel seramik ve metal braketler (Mystique, Clarity, Neoclip) ile 0.020, 0.019x0.025 ve 018x019x025 paslanmaz çelik teller arasında meydana gelen sürtünme dirençlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda Inovation C braketlerde diğer kapaklı braketlere göre daha az sürtünme meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bu sonucu Inovation C braketlerdeki klipsin teli daha serbest bırakması ve klipsin şeklinin kavsindeki azalmaya bağlı daha az sürtünme kuvvetlerine sebep olmasıyla açıklamışlardır. Sürtünme direnci ark teli boyutu ve materyalinden etkilenmektedir. Bu bulgular çalışmamızın bulgularını desteklemektedir.

Çalışmamızda Inovation C ve Avex CX braketler ile 0, 5 ve 10 derece açılanlarda SS, NiTi ve TMA teller arasında meydana gelen sürtünme dirençleri karşılaştırıldığında tüm ark teli ve braket kombinasyonlarında Avex CX braketlerde daha fazla sürtünme direnci olduğu gözlenmiştir. Seramik braket olan Avex CX braketlerin porozitesinin ve yüzey pürüzlülüğünün fazla olması nedeniyle ve kapaklı braket olan Inovation C braketlerin kapak mekanizması nedeniyle bir aralık oluşturması nedeniyle bu sonuca ulaştığımızı düşünmekteyiz. Kapaklı estetik braketlerin yer aldığı çok çalışma bulunmamaktadır. Voudouris ve ark. (115) yaptıkları çalışma da bizim bulgularımızla uyumaktadır.

5.3. Kinetik Sürtünme İle İlgili Bulguların Tartışılması

Çalışmamızda, tüm braket ve tel kombinasyonlarında 0, 5 ve 10 derecelik açılanmalarda statik sürtünme kuvvetinin, kinetik sürtünme kuvvetinden yüksek

değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular bu konuda yapılan çalışmalar ile uyumludur.

Çalışmamızda statik sürtünme direnci değerlerinde olduğu gibi kinetik sürtünme direnci değerlerinde de braket tel arasındaki ikinci düzen açılanmadaki artmaya bağlı sürtünme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Ayrıca, statik sürtünme dirençleri ile kinetik sürtünme dirençlerine ait istatistiksel karşılaştırma sonuçları benzer ilişki göstermektedir.

5.4. Sonuçlar

- Çalışmamızın sonuçlarına göre, braket tipinin , tel materyalinin ve braket slotu ile tel arasındaki açılanmanın, braket- tel arasında oluşan sürtünme dirençlerini etkilediği bulunmuştur.
- Tüm braket- tel kombinasyonlarında, braket slotu ile tel arasındaki ikinci düzen açılanma arttıkça sürtünme direnci de artmaktadır.
- Kendinden bağlamalı braketler ile SS, NiTi ve TMA teller arasında oluşan sürtünme dirençleri incelendiğinde seramik kendinden bağlamalı braketlerin daha az sürtünme direnci oluşturduğu gözlenmiştir.
- İncelediğimiz tüm braketler ile tel tipleri arasında, tüm açılanmalarda en yüksek sürtünme direncini TMA tellerin gösterdiği tespit edilmiştir.
- Tüm braket tel kombinasyonları değerlendirildiğinde en fazla sürtünme direnci konvansiyonel seramik braketlerde meydana gelmiştir. Bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.
- Kinetik sürtünme dirençlerinin tüm kombinasyonlarda statik sürtünme dirençlerinden düşük seviyede olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Andreasen G ve Quevedo F. (1969) Evaluation of friction forces in the .022 by .028 edgewise bracket in vitro. American Journal of Orthodontics. **55**(2): 201-202.
2. Angolkar PD, Kapila S, Duncanson MG, Nanda RS. (1990) Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop; **98**:499-506.
3. Articulo LC, Kusy RP. (1999) Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. Am J Orthod Dentofac Orthop. **115**:39-51.
4. Baccetti T, Franchi L, Camporesi M. (2008) Forces in the presence of ceramic versus stainless steel brackets with unconventional vs conventional ligatures. The Angle Orthodontist. **78** (1): 120-124.
5. Baker KL, Nieberg LG, Weimer AD ve Hanna M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. (1987) American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. **91**(4): 316-320.
6. Bazakidou E, Nanda R, Duncanson M, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. (1997). Am J Orthod Dentofac Orthop; **112**:138-44.
7. Bednar JR, Gruenderman GW. (1993) The influence of brackets design on moment production during axial rotation. Am J Orthod Dentofacial Orthop **104**(3):254-261.
8. Bentahar Z, Bellamine M, Zertoubi M, Irhzo A ve El Boussiri K. (2010). Relationship between electrochemical corrosion and the tribologic properties of orthodontic alloys. International Orthodontics, **8**(4): 360-371.
9. Berger JL. (1990) 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.
10. Bourauel C, Fries T, Drescher D, Plietsch R. (1998) Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance, and profilometry. European Journal of Orthodontics; **20**: 79-92
11. Braun S, Bluestein M, Moore K, Benson G. (1999) Friction in perspective. Am Orthod Dentofac Orthop; **115**: 619-27.

12. Burstone CJ. (1981) Variable modulus orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **80**:1-16.
13. Cacciafesta V, Sfondrini M, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. (2003) Evaluation of friction of stainless steel and esthetic selfligating brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **124**:395-402.
14. Cash A, Curtis R, Garrigia- Majo D, Mcdonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets.
15. Cha JY, Kim KS, Hwang CJ. (2007) Friction of conventional and silica-insert ceramic brackets in various bracket-wire combinations. *Angle Orthod.* **77**:100-107.
16. Chimenti C, Franchi L, Giuseppe MG, Lucci M. (2005) Friction of orthodontic elastomeric ligatures with different dimensions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **75**:421-425.
17. Chicharro JL, Luciacutea A, Eacuterez M, Vaquero AF, Urentildevea R. (1998) Saliva Composition and Exercise. *Sports Medicine.* **26**(1): 17-27.
18. Christersson CE, Lindh L, Arnebrant T. (2000) Film- Forming Properties and Viscosities of saliva substitutes and human whole saliva. *Eur J Oral Sci.* **108**(5):418-25
19. Clocheret K, Willems G, Carels C, Celis JP. (2004) Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets. *Eur J Orthod.* **26**: 163-170.
20. 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.
21. Dickson JA, Jones SP, Davies EH. (1994) A comparison of the frictional characteristics of five initial alignment wires and stainless steel brackets at three bracket to wire angulations : an in vitro study. *Br J Orthod.* **21**: 15-22
22. Downing A, McCabe J, Gordon P. (1994) A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. *Br J Orthod.* **21**: 349-357.
23. Dowling PA, Jones WB, Lagerstom L, Sandham JA. (1998) An investigation into the bahavioural characteristics of orthodontic elastomeric modules. *Br J Orthod.* **25**:197-202.

24. Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. (1989) Frictional forces between bracket and archwire. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **96**: 397-404.
25. Ehsani S, Mandich MA, El-Bialy TH, Flores-Mir C. (2009) Frictional resistance in self-ligating orthodontic brackets and conventional brackets. *Angle Orthod.* **79**(3):592-601.
26. Fleming PS, Johal A. Self ligating brackets in orthodontics. (2010) A systematic review. *Angle Orthod.* **80**(3):575-584.
27. Frank CA, Nikolai RJ. (1980) A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, **78**: 593-609.
28. Fortini A., Lupon M., Cacciafesta V. (2005) A new low friction ligation system. *JCO* **39**:464 - 470.
29. Franchi L., Baccetti T., Camporesi M. ve Lupoli M. (2006) Maxillary arch changes during leveling and aligning with fixed appliances and low-friction ligatures. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* **130**(1):88-91.
30. Flores-Mir C, Silva E, Barriga MI, Lagravere MO ve Major PW. (2004) Lay person's perception of smile aesthetics in dental and facial views. *J. Orthod.* **31**(3): 204-209.
31. Garner LD, Allai WW, Moore BK. (1986) A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **90**: 199-203.
32. Gal J-Y, Fovet Y ve Adib-Yadzi M. (2001) About a synthetic saliva for in vitro studies. *Talanta.* **53**(6): 1103-1115.
33. Gjessing P. (1985) Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine-retraction spring. *Am J Orthod.* May; **87**(5):353-62.
34. Graber RM, Swain BF. *Orthodontics: current principles and techniques.* StLouis: CV Mosby, 1985
35. Hain M, Dhopatkar A, Rock P. (2006) A comparison of different ligation methods on friction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **130**:666-670.

36. Hain M, Dhopatkar A ve Rock P. (2003) The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. **123**(4): 416-422.
37. Hamdan A, Rock P. (2008) The effect of different combinations of tip and torque on archwire/bracket friction. *Eur J Orthod*. **30**: 508-514.
38. Hamula DW, Hamula W, Sernetz F. (1996) Pure titanium orthodontic brackets. *J Clin Orthod*. **3**:140-144.
39. Henao SP, Kusy RP. (2004) 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.
40. Huffman DJ ve Way DC. (1983) A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes. *American Journal of Orthodontics*. **83**(6): 453-459.
41. House K, Sernetz F, Dymock D, Sandy JR, Ireland AJ. (2008) Corrosion of orthodontic appliances-should we care? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. Apr;**133** (4): 584-592.
42. Ho KS, West VC. (1991) Friction resistance between edgewise brackets and archwires. *AustOrthod* **12**: 95-99
43. Ireland AJ, Sherriff M, McDonald F. (1991) Effect of bracket and wire composition on frictional forces. *Eur J Orthod*. **13**: 322-328.
44. Iwasaki LR, Beatty MW ve Nickel JC. (2003a) Friction and orthodontic mechanics: clinical studies of moment and ligation effects. *Seminars in Orthodontics*. **9**(4);185-209
45. Jones SP, Tan CC, Davies EH. (2002) The effects of reconditioning on the slot dimensions and static frictional resistance of stainless steel brackets. *Eur J Orthod*. **24**: 183-190.
46. Kapur Wadhwa R, Kwon HK, Close JM. (2004) Frictional resistances of different bracket-wire combinations. *Aust Orthod J*. **20**:25-30.
47. Kao CT, Ding SJ, Wang CK, He H, Chou MY, Huang TH. (2006) Comparison of frictional resistance after immersion of metal brackets and orthodontic wires in a fluoride- containing prophylactic agent. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **130**; 568e1-568e9

48. Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG, Nanda RS. (1990) Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and of orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **98**: 117-12
49. Kapila S, Sachdeva R. (1989) Mechanical properties and clinical application of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **96**:100-109.
50. Keith O, Jones SP, Davies EH. (1993) The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets. *Br J Orthod.* **20**:109-15.
51. Kemp DW. (1992) A comparative analysis of frictional forces between self-ligating and conventional edgewise orthodontic brackets. University of Toronto, Diploma in Orthodontics Thesis.
52. Khambay B, Millett D, McHugh S. (2005) Archwire seating forces produced by different ligation methods and their effect on frictional resistance. *Eur J Orthod* **27**:302-308.
53. Khambay B, Millet D, McHugh S. (2004) Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. *Eur J Orthod.* **26**:327-332.
54. Kim T, Kim K, Baek S. (2008) Comparison of frictional forces during the initial leveling stage in various combinations of self-ligating brackets and archwires with a custom-designed typodont system. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **133**:187.e15-187.e24
55. Kojima Y, Fukui H. (2005) Numerical simulation of canine retraction by sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **127**: 542-551.
56. Krishnan M, Kalathil S, Abraham KM. (2009) Comparative evaluation of frictional forces in active and passive self-ligating brackets with various archwire alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthodontics.* **136**(5):675-682
57. Kusy RP, Whitley JQ. (1989) Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic systems. *Dent Mater.* **5**: 235-240.
58. Kusy RP, Whitley JQ. (1990) Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech.* **23**: 913-925.
59. Kusy RP, Whitley JQ. (1990) Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **98**: 300-312.

60. Kusy RP, Whitley JQ, Prewit MJ. (1991) Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. *The Angle Orthodontist*. **61**: 293-302.
61. Kusy RP, Tobin EJ, Whitley JQ, Sioshansi P. (1992) Frictional coefficients of ion-implanted alumina against ion-implanted beta-titanium in the low load, low velocity, single pass regime. *Dent Mater* . **8**(3): 167-172.
62. Kusy RP, Whitley JQ. (1997) Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Seminars Orthod*. **3**: 166-177.
63. Kusy RP, Whitley JQ. (1999) Assesment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. *The Angle Orthodontist*. **69** (1): 71-80.
64. Kusy R.P, O'Grady P.W. (2000) Evaluation of titanium brackets for orthodontic treatment: Part II- The active configuration. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **118**: 675-684.
65. Kusy RP, Whitley JQ. (2000) Resistance to sliding of orthodontic appliances in the dry and wet states: influence of archwire alloy, interbracket distance and bracket engagement. *J Biomed Mater Res*. **52** (4): 797-811.
66. Mendes K, Rossouw PE. (2003) Friction: validation of manufacturer's claim. *Semin Orthod*. **9**:236-250.
67. Michelberger DJ, Eadie RI, Faulkner MG, Glover KE, Prasad NG, Major PW. (2000) The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **118**: 662-674.
68. Moore MM, Harrington E, Rock WP. (2004) Factors affecting friction in the pre- adjusted appliance. *Eur J Orthod*. **26**:163-170, 2004.
69. Liew CF, Brockhurst P, Freer TJ. (2002) Frictional resistance to sliding archwires with repeated displacement. *Aust Orthod J*. **18**:71-75.
70. Loftus B, Artun J, Nicholis J, Alonzo T, Stoner J. (1999) Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **116**: 336-345
71. Lee G-J, Park K-H, Park Y-G ve Park H-K. (2010) A quantitative AFM analysis of nano-scale surface roughness in various orthodontic brackets. *Micron*. **41**(7): 775-782.

72. Nishio C, da Motta AFJ, Elias Cn, Mucha JN. (2004) In vitro evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **125**: 56-64.
73. Nanda R, Ghosh J. (1997) Biomechanical considerations in sliding mechanics. In: Nanda R, editor. *Biomechanics in clinical orthodontics*. Philadelphia: Saunders. p 188-217.
74. Omana HM, Moore RN ve Bagby MD. (1992) Frictional properties of metal and ceramic brackets. *J Clin Orthod.* **26**(7): 425-432.
75. Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG, et al. (1996) Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **109**: 535-542.
76. Oh K-T, Choo S-U, Kim K-M ve Kim K-N. (2005) A stainless steel bracket for orthodontic application. *The European Journal of Orthodontics.* **27**(3): 237-244.
77. Onur SÖ. (2001) Ortodontik braketler ve ark telleri arasındaki sürtünme kuvvetlerinin deneysel olarak karşılaştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara.
78. Öztürk Ortan Y, Yurdakuloğlu Arslan T, Aydemir B. (2012) A comparative in vitro study of frictional resistance between lingual brackets and stainless steel archwires. *Eur J Orthod.* **34**(1):119-125
79. Pandis N, Polychronopoulou A ve Eliades T. (2007) Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: A prospective clinical trial of treatment duration and dental effects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* **132**(2): 208-215.
80. Peterson L, Spencer R ve Andreasen G. (1982) A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. *Quintessence Int Dent Dig.* **13**(5): 563-571.
81. Pilon JJ, Kujipers-Jagtman AM, Maltha JC. (1999) Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* Jul; **116**: 16-23
82. Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. (1998) Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* **20**(3):283-291.
83. Proffit WR, Fields HW ve Sarver DM. (2007) *Contemporary orthodontics*. 4th edition. St. Louis, Mo, Mosby Elsevier.

84. Park JH, Lee YK, Lim BS, Kim CW. (2004) Frictional forces between lingual brackets and archwires measured by a friction tester. *The Angle Orthodontist*. **74** (6): 816-824.
85. Prosser RR, Bagby MD, Erickson LC. (1991) Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. **100**: 341-348.
86. Pratten DH, Popli K, Germane N, Gunsolley JC. (1990) Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **98**: 398:403.
87. Read Ward GE, Jones SP, Davies EH. (1997) A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. *Br J Orthod*. **24**:309-317.
88. Redlich M, Mayer Y, Harari D, Lewinstein I. (2003) In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. **124**:69-73.
89. Reiman S, Mezey J, Daratsianos N, Jager A, Bourauel C. (2012) The influence of adhesives and the base Structure of metal brackets on shear bond strength. *J Orofac Orthop*. **73**(3):184-93
90. Reitan K. (1967) Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*. **53**(10): 721-745.
91. Rossouw PE, Kamelchuk LS, Kusy RP. (2003) A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Semin Orthod*. **9**: 223-235.
92. Rossouw PE. (2003) Friction: An overview. *Semin Orthod*. **9**: 218-222.
93. Rose CM, Zernik JH. (1996) Reduced resistance to sliding in ceramic brackets. *J Clin Orthod* . **30**(2): 78-84.
94. Russel JS. (2005) Current products and practice aesthetic orthodontic brackets. *J Orthod*. **32**:146-163.
95. Rucker B, Kusy RP. (2002) Resistance to sliding of stainless steel multistranded archwires and comparison with single-stranded leveling wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. **122**:73-83.

96. Sims AP, Waters NE, Birnie DJ. (1994) A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. *Br J Orthod.* **21**(4): 367-373.
97. Smith DV, Rossouw PE, Watson P. (2003) Quantified simulation of canine retraction: evaluation of frictional resistance. *Semin Orthod.* **9**: 262-280.
98. Stannard JG, Gau JM ve Hanna MA. (1986) Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. *American Journal of Orthodontics.* **89**(6): 485-491.
99. Stefanos S, Secchi AG, Coby G, Tanna N, Mante FK. (2010) Friction between various self-ligating brackets and archwire couples during sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthodontic.* **138**(4):463-467.
100. Schlegel V. (1996) Relative friction minimization in fixed orthodontic bracket appliances. *J Biomechanics.* **29**: 483-491.
101. Shivapuja PK, Berger J. (1994) A comparative study of conventional ligation and self- ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **106**: 472-480.
102. Sharma S, Tandon P, Nagar A, Singh GP, Singh A, Chugh VK. (2014) A comparison of shear bond strength of Orthodontic brackets bonded with four different orthodontic adhesives. *J Orthod Sci.* **3**(2):29-33
103. Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M. (1991) Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *Angle Orthod.* **61**: 285-290.
104. Taylor NG, Ison K. (1996) Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *Angle Orthod.* **66**:215-222.
105. Tecco S, Caputi S, Traini T, Di lorio D, D'Attilio M. (2005) Friction of conventional and self- ligating brackets using a 10 bracket model *The Angle Orthodontist.* **75**(6): 1041-1045.
106. Tidy DC ve Orth D. (1989) Frictional forces in fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* **96**(3): 249-254.
107. Tosun Y. (1999) Sabit Ortodontik Apareylerin Biyomekanik Prensipleri. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
108. Thomas S, Sherriff M, Birnie D. (1998) 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.

109. Thorstenson GA, Kusy RP. (2002) 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 Dentofac Orthop.* **122**: 295-305.
110. Thorstenson GA, Kusy RP. (2001) 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.
111. Tselepis M, Brockhurst P, West VC. (1994) The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **106**: 131-138.
112. Ülgen M. Ortodontik Tedavi Prensipleri. (1983) Ankara Üniversitesi Basımevi 256-258.
113. Vaughan JL, Duncanson MG, Nanda RS, et al. (1995) Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **107**: 20-27.
114. Whitley JQ, Kusy RP. (2007) Resistance to sliding of titanium brackets tested against stainless steel and beta-titanium archwires with second-order angulation in the dry and wet states. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **131**: 400-411.
115. Voudoris JC, Schismenos C, Lackovic K, Kuftinec MM. (2010) Self-ligating esthetic brackets with low frictional resistance. *Angle Orthod.* **80**(1):188-194
116. Zufall SW, Kusy RP. (2000) Sliding mechanics of coated composite wires and the development of an engineering model for binding. *Angle Orthod.* **70**: 34-47.