

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ESTETİK ORTODONTİK BRAKETLERİN ARK TELLERİ  
İLE SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İN VİTRO OLARAK  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Berat Serdar AKDENİZ**

**Samsun  
Şubat-2013**



T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ESTETİK ORTODONTİK BRAKETLERİN ARK TELLERİ  
İLE SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İN VİTRO OLARAK  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Berat Serdar AKDENİZ**

**Danışman: Prof.Dr. Selim ARICI**

**Samsun  
Şubat-2013**

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca yanımda olan ve değerli bilgisini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Selim ARICI' ya,

Öğrencisi olmaktan onur duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Tamer Türk'e,  
Asistanlarına bir ağabey olarak yol gösteren, klinikte ve çok sevdiğim bisiklet sporuna başlamamda katkıları için Doç. Dr. Mete Özer'e,

Değerli bilgisini biz öğrencilerinden esirgemeyen Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ Türk'e,

İhtiyacım olduğunda her zaman yanımda olan, ablalık yapan Yrd. Doç. Dr. Nursel ARICI' ya,

Kendisiyle çalışmaktan her zaman gurur duyduğum ortağım Yrd. Doç. Dr. A. Alper Öz'e,

Tüm öğrencilerinin en popüler hocası Uzm. Dr. Sabahat YAZICIOĞLU 'ya,  
Üniversite eğitimimin büyük bir kısmını yan yana geçirdiğim ve kendisinden çok şey öğrendiğim arkadaşım Uzm. Dr. Aslıhan Zeynep ÖZ 'e,

İlk günümde beni evimde hissettiren, ihtiyacım olduğunda desteklerini hep yanımda hissettiğim tüm bölüm arkadaşlarıma ve personelimize,

Bilgisiyle bu çalışmanın sonuçlanmasında büyük yardımı olan OMÜ İstatistik Anabilim Dalı'ndan Öğr. Gör. Naci Murat'a,

Kendi çalışmalarına ara verip kendi eli ile SEM görüntülerime yardım eden Mevlüt Gürbüz'e,

Dostluğu ve bölümünün mikroskopları ile destek sağlayan Yrd. Doç. Dr. Cenk S. Bölükbaş'a,

Kendileri için ne yazsam az gelecek aileme,

Teşekkürler.

Bu çalışma PYO.DIS.1907.09.001 proje numarası ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Karşılıksız malzeme teminleri ile çalışmanın gerçekleştirilebilmesini sağladıkları için 3M Unitek, Ortho Technology, American Orthodontics, Forestadent, Dentaurum, Ormco, Medifarm ve Medikodental firmalarına ayrıca teşekkür ederiz.

## ÖZET

### ESTETİK ORTODONTİK BRAKETLERİN ARK TELLERİ İLE SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İN VİTRO OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

**Amaç:** Estetik ortodontik braketlerin sürtünme özellikleri bu aygıtların en önemli dezavantajlarından birisidir. Bu çalışmanın amacı estetik braketlerin ark telleri ile arasında meydana gelen sürtünme kuvvetlerinin laboratuvar şartlarında ölçülerek, yüzey inceleme yöntemleri (Stereo mikroskop ve Taramalı elektron mikroskopu (SEM)) aracılığı ile daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır.

**Materyal Metot:** Çalışmada çeşitli üreticilere ait toplam 23 değişik braket modelinin her birinden 5'er adet 0,018 inç, 5'er adet ise 0,022 inç slot boyuna sahip toplam 225 örneğin, bir lineer gidip gelme hareketli tribometer cihazında sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Slot malzemelerine göre 5 gruba ayrılan braketlerin her malzeme grubundan en düşük ve en yüksek sürtünme katsayısına sahip modellerinden birer test edilmemiş örneğin yüzey özellikleri SEM ile incelenmiştir. Ayrıca stereo mikroskop altında, sürtünme testine tabi tutulmuş bütün braket örneklerinin slotlarının ölçekli fotoğrafları çekilerek, gerçek slot genişlikleri ölçülmüş ve muhtemel üretim hataları incelenmiştir.

**Bulgular:** Sürtünme katsayıları incelendiğinde braket modelleri ve slot malzemeleri arasında istatistiksel farklar olduğu, Paslanmaz çelik braketler ile beraber Metal slotlu estetik braketlerin en düşük ortalama sürtünme katsayısına sahip oldukları görülmüştür ( $p<,05$ ). Ayrıca ölçülen slot genişliği ile sürtünme kuvvetinin arasında orta-kuvvetli derecede ters orantı olduğu, ayrıca 0,022 inç slot boyuna sahip braketlerin 0,018 inç slot boyuna sahip braketlerden daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

**Sonuç:** Farklı slot malzemeleri ve slot genişliklerine sahip braketlerin sürtünme katsayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede fark bulunmaktadır. Slot genişliği ile sürtünme katsayısı arasında orta-kuvvetli derecede ters orantı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Estetik Braket, Ortodontik Braket, Slot Boyu, Slot malzemesi, Sürtünme, Sürtünme Katsayısı.

**Berat Serdar AKDENİZ, Doktora Tezi**  
**Ondokuz Mayıs Üniversitesi-Samsun-Şubat 2013**

## ABSTRACT

### IN-VITRO COMPARISON OF FRICTIONAL CHARACTERISTICS BETWEEN ESTHETIC ORTHODONTIC BRACKETS AND ARCH-WIRES

**Aim:** One of the most undesirable disadvantages of esthetic orthodontic brackets is their high frictional coefficients. Therefore the aims of this study was to in vitro measure the frictional coefficients of different esthetic brackets in comparison with stainless steel brackets and further analyze their surface characteristics with the help of surface observation methods (stereo microscopy and scanning electron microscopy (SEM)).

**Materials and Method:** 23 different bracket models of different manufacturers were used in the study. Frictional coefficients of a total of 225 brackets (5 of 0.018-inch and 5 of 0.022-inch slot samples from each model) were measured with a linear reciprocating tribometer. Models were divided into 5 groups regarding their slot materials. After the coefficients of friction were measured, 10 non-tested samples from the models which showed highest and lowest coefficients of friction in each material group were investigated with the SEM. Scaled photos of every tested sample were taken with the stereo microscope in order to measure the slot size differences.

**Results:** Different slot materials and bracket models were found to have statistically different coefficients of friction ( $p < .05$ ). Stainless steel brackets along with metal reinforced esthetic brackets had the lowest coefficients of friction. There was an inverse proportion of medium-to-high-degree between measured “real” slot sizes of brackets and their coefficients of friction. In general, 0,018-inch brackets had higher coefficient of friction than 0,022-inch brackets.

**Conclusion:** Different slot materials have statistically different frictional coefficients. Slot size also affects the friction. Middle-to-high reverse correlation was found between slot width and frictional coefficients.

**Keywords:** Esthetic Bracket, Friction, Frictional Coefficient, Orthodontic Bracket, Slot Material, Slot Size.

Berat Serdar AKDENİZ, PhD Thesis

Ondokuz Mayıs University-Samsun-February 2013

## SİMGE VE KISALTMALAR

|                |  |
|----------------|--|
| <              | :Küçüktür                                |
| >              | : Büyüktür                               |
| °C             | : Santigrat derece                       |
| µm             | : Mikron                                 |
| ms             | : Milisaniye                             |
| mm             | : Milimetre                              |
| Gr             | : Gram                                   |
| eV             | : Elektron volt                          |
| F <sub>F</sub> | : Sürtünme kuvveti                       |
| F <sub>N</sub> | : Normal kuvvet                          |
| f              | : Sürtünme katsayısı                     |
| PDL            | : Periyodontal ligament                  |
| SEM            | : Scanning electron microscope           |
| EDX            | :Energy-dispersive X-Ray<br>spectroscopy |
| MSE            | : Metal slotlu estetik                   |
| Niti           | : Nikel titanyum                         |
| β-Ti           | : Beta titanyum                          |
| ŞPA            | : Şeffaf plastik aygıtlar                |
| MUT            | : Miniuni-twin                           |
| CLA            | : Clarity                                |
| TRC            | : Transcend6000                          |
| PUR            | : Pure                                   |
| RFL            | : Reflections                            |
| ENC            | : Encore                                 |
| AVA            | : Avalon                                 |
| OFL            | : Orthoflex                              |
| RDN            | : Radiance                               |
| VRG            | : Virage                                 |
| SRA            | : Sierra                                 |
| SLK            | : Silkon plus                            |

|     |                 |
|-----|-----------------|
| ASG | : Aspire gold   |
| BRL | : Brilliant     |
| FN2 | : Fascination 2 |
| JW  | : Jewels        |
| ELG | : Elegance      |
| CON | : Contour       |
| ACL | : Acclaim       |
| ICE | : Inspire ICE   |
| SMB | : Spirit MB     |
| OPM | : Optimesh      |



## İÇİNDEKİLER

|  |            |
|--|------------|
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>  | <b>iii</b> |
| <b>ÖZET .....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>İNGİLİZCE ÖZET.....</b>   | <b>v</b>   |
| <b>SİMGE VE KISALTMALAR .....</b>                                      | <b>vi</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>  | <b>6</b>   |
| 2.1. Triboloji ve Sürtünme .....                                       | 6          |
| 2.1.1. Sürtünmenin Doğa ve Teknolojideki Yeri .....                    | 6          |
| 2.1.2. Sürtünmenin Tanımı.....   | 6          |
| 2.1.3. Sürtünmenin Önemi.....  | 7          |
| 2.1.4. Sürtünme Araştırmalarının Tarihçesi ve Tribolojinin Doğuşu..... | 7          |
| 2.1.5. Maddeleri Bir Arada Tutan Kuvvetler .....                       | 9          |
| 2.1.6. Statik ve Kinetik (Dinamik) Sürtünme.....                       | 13         |
| 2.2. Ortodontik Tedavide Sürtünme.....                                 | 14         |
| 2.2.1. Kayma Mekanikleri .....   | 15         |
| 2.2.2. Ortodontik Diş Hareketi .....                                   | 15         |
| 2.2.3. Ortodontide Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler .....                | 20         |
| 2.2.4. Ortodontide Sürtünme Kuvvetlerinin Ölçülmesi.....               | 44         |
| <b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>                                       | <b>47</b>  |
| 3.1. Örnek Sayısının Belirlenmesi .....                                | 47         |
| 3.2. Test Örnekleri.....   | 47         |
| 3.3. Sürtünme Testleri .....   | 49         |
| 3.3.1. Tribometer Cihazı.....  | 50         |
| 3.3.2. Ark Teli ile Braket Arası Bağlama Kuvveti .....                 | 57         |
| 3.3.3. Test Şartları ve Çevresel Etkenler .....                        | 58         |
| 3.3.4 Tükürük .....  | 58         |
| 3.3.5. Braket ile Ark Teli Arasındaki Açılanma .....                   | 58         |
| 3.3.6. Kayma Hızı.....   | 59         |
| 3.4. Yüzey İncelemeleri .....  | 59         |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4.1. Stereo-Mikroskopi .....   | 59         |
| 3.4.2. SEM İncelemeleri .....  | 60         |
| 3.5. Slot Genişliği Ölçümü .....   | 61         |
| 3.6. İstatistik Analizler .....  | 62         |
| <b>4. BULGULAR.....</b>  | <b>63</b>  |
| 4.1. Sürtünme Testleri .....   | 63         |
| 4.2. Yüzey İncelemeleri .....  | 73         |
| 4.2.1. Stereo Mikroskop .....  | 73         |
| 4.2.2. SEM.....  | 74         |
| 4.3 Slot Genişliği Ölçümleri .....   | 88         |
| <b>5. TARTIşMA.....</b>  | <b>91</b>  |
| 5.1. Test Örneklerinin Sürtünme Özellikleri.....                             | 91         |
| 5.1.1. Tel Malzemesinin Sürtünmeye Etkisi .....                              | 91         |
| 5.1.2. Slot Malzemesinin Sürtünmeye Etkisi .....                             | 92         |
| 5.2. Sürtünme Testleri .....   | 95         |
| 5.2.1. Test Düzenegi.....  | 95         |
| 5.2.2. Ark Teli ile Braket Arası Bağlanma Kuvvetinin Sürtünmeye Etkisi ..... | 96         |
| 5.2.3. Test şartları ve Çevresel Etkenlerin Sürtünmeye Etkisi .....          | 97         |
| 5.2.4. Tükürüğün Sürtünmeye Etkisi.....                                      | 98         |
| 5.2.5 Braket ile Ark Teli Arasındaki Açılanmanın Sürtünmeye Etkisi.....      | 100        |
| 5.2.6. Kayma Hızının Sürtünmeye Etkisi.....                                  | 100        |
| 5.3. Yüzey Özelliklerinin Sürtünmeye Etkisi .....                            | 101        |
| 5.4. Slot Boyutları ve şeklinin Sürtünmeye Etkisi .....                      | 102        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>106</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>108</b> |
| <b>EKLER .....</b>   | <b>121</b> |
| <b>ÖZGEÇMİş .....</b>  | <b>148</b> |

## 1. GİRİŞ

İnsanların fiziksel güzelliklerini belirleyen en önemli unsurlardan biri yüz güzelliğidir ve yüz içerisinde, ağız ve gözler en çok dikkat çeken unsurlardır (Flores-Mir ve ark., 2004). Bundan dolayı ortodontik tedavilerde amaç düzgün sıralanmış diş arkları ve birbirleriyle uyumlu alt üst çene ilişkisi sağlayarak yüz estetiğine katkıda bulunmaktır. Ancak uzun süren ortodontik tedaviler sırasında kullanılan hareketli ve sabit aygıtların tedavi sürecinde ağız ve diş estetiği üzerine olan negatif etkileri de bilinen bir gerçektir. Özellikle sabit apareylerin estetik olmayan görüntüleri araştırıcıları daha estetik apareyler oluşturabilmek için zorlayıcı bir faktör olmuştur. Bu sebeplerle günümüzde kullanılan ortodontik aygıtları seçerken tedavi sürecinde ağız ve diş estetiğine olumsuz etkileri göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsur haline gelmiştir (Oh ve ark., 2005).

Modern ortodontide uygulanan kuvvetleri dişe aktarmak için kullanılan braketler tedavinin değişmez bir parçasıdır. Braket ve tellerin görünümü, ortodontik tedavi sırasında neredeyse her hastanın yakındığı sorunlardandır. Hekimlerin, tedavi sonunda daha güzel dişlere, daha çekici bir görünüşe veya glşe sahip olmayı vaat ettikleri hastaları, ortodontik tedavileri boyunca ağızlarında, çoğu zaman gülüşlerini veya dişlerini daha kötü gösteren birçok metal parçayı taşımak zorundadırlar.

Günümüzde ortodontik tedavi gören erişkin hastaların sayısının her geçen gün artması ve erişkin hastaların tedavi sürecinde de estetik beklentilerinin daha yüksek olması sebebiyle estetik ortodontik aygıtlar geliştirilmiştir. Özellikle son 25 yılda braket malzemesi ve tasarımları alanında büyük bir ilerleme sağlanmıştır.

Daha estetik metal aygıtlar üretebilmek için, üreticiler öncelikle braketlerin boyutunu küçülterek görünürlüğünü azaltmak yoluna gitmiştir. Kullanılan bir diğer yöntem ise paslanmaz elik braketlere mikro-incelikte zirkon-nitrür kaplanması ile altın rengi verilmesidir, bu braketler ile beraber yine altın rengine teller kullanılmıştır (Bishara, 2001).

Metal lingual ortodontik aygıtlar 70'li yıllarda geleneksel labial aygıtların estetik dezavantajlarına bir çözüm olarak çıkmıştır. Fakat kısa zamanda bu aygıtların ortodontistler ve hastalar için başa çıkılması hayli zor sorunlara sebep olduğu

görülmüştür. Lingual aygıtlar ile çalışmak geleneksel aygıtlara göre çok daha fazla zaman ve maharet gerektirmektedir. Bu zorlukların muhtemelen en önemli sebebi aygıtların dişlerin lingual kısmına yapıştırılmalarından dolayı hekimin direk görüşünün neredeyse imkânsız olmasıdır. Ayrıca lingual tedavi sonuçlarının labial ile kıyaslandığında çoğu kez kabul edilebilir düzeyin altında kaldığı görülmüştür. Dahası lingual aygıtların sebep olduğu devamlı dil zedelenmesi hasta rahatsızlığının da önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır (Bishara, 2001). Lingual aygıtların kullanımı 2000’li yıllara kadar giderek azalmış olsa da belirtilen dezavantajların bir kısmına çare bulmuş yeni nesil lingual sistemlerin kullanımı günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır (Wiechmann, 2002; 2003; Wiechmann ve ark., 2003).

Üretilen ilk estetik ortodontik aygıtlardan birisi plastik braketlerdir. Diş minesine direk olarak yapıştırılabilen plastik braketler ilk olarak polikarbonat ve pleksiglasdan üretilmiştir (Newman, 1969; Newman, 1992). Pleksiglas braketler kolay renk kaybı ve kırılabilirliği sebebiyle pek uzun süre kullanılmamıştır. Ayrıca, yumuşak yapısı sebebi ile telin diş iletilmesi gereken kuvvetin çoğunu emerek uygulanan kuvvetlerin verimliliğini düşürmüştür (Feldner ve ark., 1994). Son yıllarda plastik braketlerin slotlarını güçlendirmek için metal slotlar ve seramik dolgu maddesi kullanılarak bu durumu aşmak hedeflenmiştir. Metal braket slotu eklenmesi braketin yeterince güçlendirmiş ve bu sayede plastik braketlere metal braketler ile aynı seviyede tork kuvveti uygulanabilmesini sağlamıştır (Harzer ve ark., 2004). Seramikle güçlendirilmiş kompozit braketler ise metal ve seramik braketlere oranla daha az sürtünme kuvveti oluşturmaktadır (Bazakidou ve ark., 1997). Seramik ile güçlendirilmiş en yeni plastik braketler klinik kullanım için gayet uygundur, renkleri sabit, sürtünmeleri azdır ve deformasyona uğramadan ortodontik kuvvetleri diş iletebilmektedir (Feldner ve ark., 1994; Arıcı, 1996; Bishara, 2001).

Son yirmi yıldır seramik braketler plastik braketlere en iyi alternatif haline gelmiştir. Bu braketlerin imalatında kullanılan monokristal ve polikristal malzemeler renklerini çok iyi korumakta ve lekelenmeye direnç sağlamaktadır.

Seramik braketler tork ve devrilme hareketleri sırasında kolayca kırılabilir veya braketler ile temas gelen karşıt çene dişlerinde aşınmaya sebep olabilmektedir, ayrıca kayma mekanikleri sırasında meydana gelen sürtünme dirençleri metal ve plastik braketlere oranla daha fazladır. Yapısında çatlaklar veya fiziksel hasar olan dişlerde

seramik braket kullanmaktan kaçınmak gerekmektedir. Seramik braketlerin bu gibi sınırlamaları sebebiyle kullanımı sırasında hekimin çok dikkatli olması gerekmektedir. (Kusy, 1988; Swartz, 1988; Angolkar ve ark., 1990; Pratten ve ark., 1990; Ghafari, 1992; Winchester, 1992; Keith ve ark., 1993; Bazakidou ve ark., 1997).

Metal ile güçlendirilmiş plastik braketlerin başarılı tasarımı, sonradan seramik braketlerin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmak için de kullanılmıştır. Seramik braketlere eklenen metal slotlar ile sürtünme dirençlerinin azaltılmasına çalışılmıştır ve bunda büyük oranda başarı sağlanabilmiştir (Cacciafesta ve ark., 2003). Bu tasarımın getirdiği bir diğer kolaylık da örneğin çalışmamızda da yer alan bir polikristalin alümina brakette (Clarity, 3M Unitek, California, USA) olduğu gibi, braketin ortasında yerleştirilen dikey bir kırılma hattı ile braket sökümü sırasında braketin miseden daha rahat ayrılabilmesini sağlamasıdır (Bishara ve ark., 1999).

Son yıllarda estetik ortodontik aygıt arayışları şeffaf plastik aygıtlar 'ın (clear aligners, ŞPA) geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Hareketli aygıtlar olmasına rağmen dişlere yapıştırılan butonlar gibi ek modifikasyonlar sayesinde bu aygıtlarla birçok diş hareketini yaptırmak mümkün olduğundan dolayı, özellikle erişkin hastalarda her geçen gün daha da yaygın olarak kullanılmaktadır.

ŞPA, retansiyon ve diş hareketi olmak üzere iki ana alanda kullanılmaktadır. Bu aygıtlar ile birlikte sabit tutucular kullanılabilmesine ve sadece hareketli aygıtlar ile kolay yapılamayacak tedavilerin başarı ile bitirilebilmesine rağmen, ŞPA hala hafif ve orta dereceli çapraşıklıklar için kullanılabilir. ŞPA ile karmaşık diş hareketi gerektiren durumlarda tedavi süresi uzayabilmektedir, ayrıca çok yeni sayılabilecek bu tedavinin giderleri günümüzde epey yüksek olup, hasta uyumu sabit sistemlerde olduğundan daha önemlidir (Graber ve ark., 2005).

Konu edilen estetik aygıtlar özellikle yetişkinlerin ortodontik tedavi taleplerinin artmasını sağlayarak her geçen gün daha yaygın olarak kullanılmakta, tedavi gören yetişkin sayısının artmasında da önemli bir rol oynamaktadır (Omana ve ark., 1992).

Yukarıda değinildiği üzere, estetik sabit ortodontik aygıtlar metal olanlara oranla henüz yenidir ve hem estetik hem de kullanım açısından olgunluğa ulaşmamış görünmektedir, bundan dolayı hala en sık kullanılan ortodontik braketler, estetik

sorunlarına rağmen, fiziksel özellikleri daha iyi ve kullanımları daha kolay olan paslanmaz çelik braketlerdir (Oh ve ark., 2005). Estetik braketlerin tercih edilmemelerinin başlıca sebepleri kırılmaya dayanıksızlıkları, bazı çeşitlerinin renklerini koruyamaması, diş ile yapışmalarında sıkça karşılaşılan problemler, sökülmelerinin daha zor olması, mine hasarına yol açmaları ve ark teli ile aralarında oluşan sürtünme kuvvetinin metal braketlere oranla daha fazla olmasıdır (Ghafari, 1992; Russell, 2005). Çalışmamızdaki amaç, bu faktörlerden birisi olan, estetik braketlerin ark telleri ile arasındaki sürtünme katsayısının laboratuvar şartlarında ölçülerek, yüzey inceleme yöntemleri (Stereo mikroskop, Scanning electron microscope (SEM)) aracılığı ile daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve sürtünme direncinin slot genişliği ile ilişkisini belirlemektir.

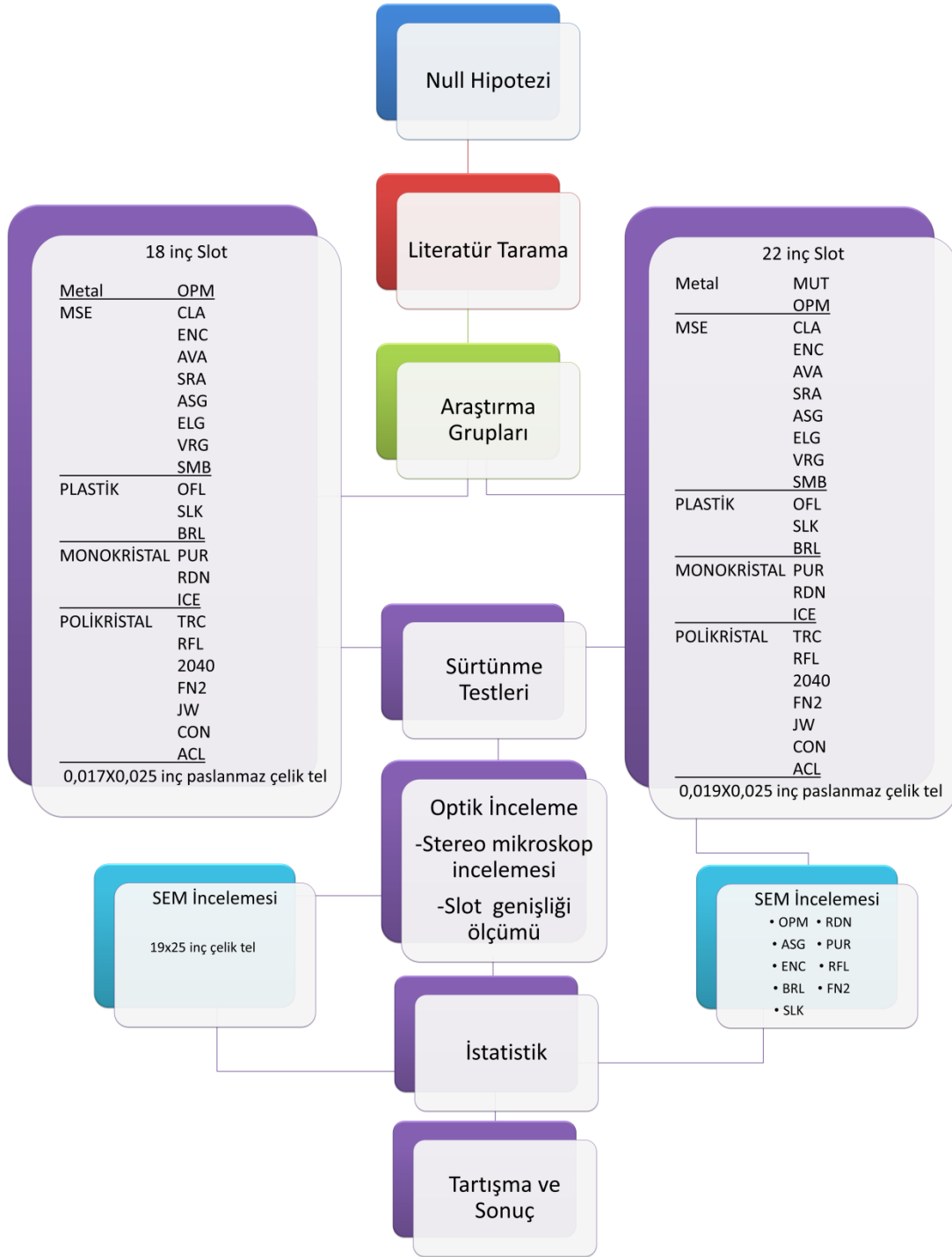
Bu çalışma için öne sürülen Null hipotezi şu şekildedir:

“Değişik malzemelerden, farklı üretim şekilleri ile üretilmiş farklı model ve slot genişliğine sahip ortodontik braketlerin, ark telleri ile sürtünme ve yüzey özellikleri birbirinden farksızdır.”

Hipotezin test edilebilmesi için yapılması planlanan işlemler ise şöyle sıralanabilir:

1. Değişik üreticilerin değişik yöntemlerle ürettikleri farklı malzemelerden üretilmiş braketlerin köşeli çelik teller ile sürtünme katsayıları ölçülecek,
2. Sürtünme katsayıları ölçülen örnekler herhangi bir üretim hatası veya sürtünmeden kaynaklı aşırı yüzey değişiklikleri için stereo ışık mikroskobu yardımı ile incelenecek ve her birinin slot genişlikleri ölçülecek,
3. Sürtünme testlerinde her malzeme grubundan en yüksek ve en düşük sürtünme katsayısına sahip modellere ait birer test edilmemiş örnek yüzey özelliklerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenecek, tüm bu veriler birlikte değerlendirilecektir.

Bu çalışmanın akış grafiği aşağıdadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmanın akış şeması

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Triboloji ve Sürtünme**

Triboloji, en basit şekilde birbiri ile temas eden ve göreceli hareket içerisinde olan cisimlerin etkileşimlerini inceleyen bilim ve teknoloji dalıdır. Triboloji sürtünme, aşınma ve yağlama bilim ve teknolojilerini kapsar. Fizik, mekanik, malzeme bilimi ve kimya dalları ile direkt ilişkilidir (Kajdas ve ark., 1990).

#### **2.1.1. Sürtünmenin Doğa ve Teknolojideki Yeri**

Makineler, aletler, araçlar gibi sayısız mühendislik sisteminin teknik işlevi harekete dayanmaktadır. Hareket; en temel şekilde bir cismin uzay içerisindeki konumunun zaman içinde değişmesi olarak tanımlanabilir. Daha ayrıntılı olarak hareket; zaman içindeki bu değişiklikler ve bu değişikliklere sebep olan kuvvetlerin incelenmesini de kapsamaktadır (Czichos, 1979).

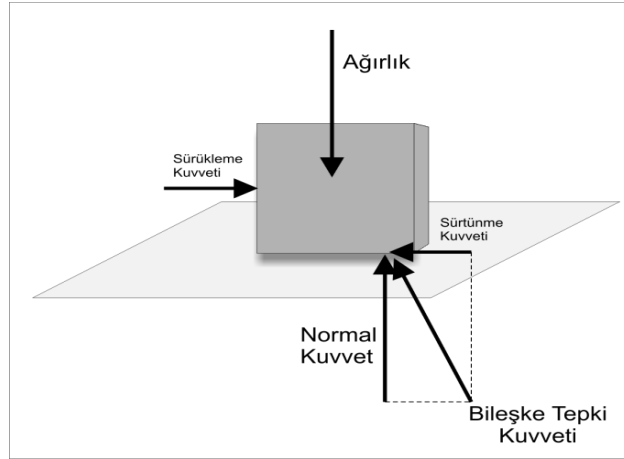
Kanın damarlarda dolaşımından tutun da, bir makinenin hareketli kısımlarındaki kuvvet aktarımına kadar sayısız biyolojik ve mekanik mühendislik sisteminde olduğu gibi, doğada ve teknolojideki birçok işlev katı, sıvı ve gaz maddelerin hareketine dayanmaktadır. Dahası, elektronik ve optik gibi mekanik olmayan disiplinler bile temelinde maddelerin hareketine dayanmaktadır. Bu alanlarda hareket; elektron, iyon, foton gibi atom-altı maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Öyle görünüyor ki hareket işlevi farklı disiplinleri birbirine bağlayan önemli bir temel prensiptir. Bu sebeple, hareketin araştırılması modern bilim ve teknolojinin kilit taşı haline gelmiştir (Czichos, 1979). Hareketi incelerken öncelikle cisimleri hareket ettiren ve durduran kuvvetler incelenmelidir. Temas halindeki iki yüzey hareket ettirildiği zaman üç çeşit kuvvet ortaya çıkmaktadır. İlki, cismin ağırlığı sebebiyle oluşan normal kuvvet, ikincisi cismi harekete zorlayan kuvvet ve üçüncüsü de hareket yönüne zıt sürtünme kuvvetidir (Şekil 2).

#### **2.1.2. Sürtünmenin Tanımı**

Sürtünme, temasta olan iki maddenin hareketini yavaşlatan veya engelleyen, uygulanan kuvvete zıt ve maddelerin temas yüzeyine teğet uzanan kuvvettir (Czichos, 1979). Bu kuvvet iki cismin birbirine temasta kalmasını sağlayan normal kuvvet ile doğru orantılıdır (Baker ve ark., 1987; Mah, 2002) ve katı, sıvı veya gazlar arasında



olabilir (Nikolai, 1985). Sürtünme kuvvetlerinden faydalanmak veya bu kuvveti ortadan kaldırmak üzere yapılan çalışmalar çok eski dönemlere, neredeyse insanlık tarihinin başına kadar uzanmaktadır. Bilinen en meşhur örnekleri ağaç dalları arasında oluşturulan sürtünme ile ateş yakmak ve sürtünmeyi azaltarak taşımayı kolaylaştırmak amacıyla icat edilmiş tekerlektir.



Şekil 2. Pürüzlü bir yatay yüzey tarafından taşınan bir cismi etkileyen aktif ve pasif kuvvetler

### 2.1.3. Sürtünmenin Önemi

Bütün mühendislik sistemlerinde, malzeme zayıyatı ve mekanik performans kaybının ana sebebi maddeler arasında oluşan aşınmadır. Sürtünme bu aşınma ve beraberindeki enerji kaybının başlıca sebebidir. Bu sebeple bütün alanlarda sürtünmenin azaltılması önemli derecede tasarrufla sonuçlanabilir. Günümüzde tüm dünyanın enerji kaynaklarının üçte biri kadar bir miktarının sadece değişik şekillerdeki sürtünme ile başa çıkmak için kullanıldığı tahmin edilmektedir (Stachowiak ve Batchelor, 1993).

### 2.1.4. Sürtünme Araştırmalarının Tarihçesi ve Tribolojinin Doğuşu

15. Yüzyılda bu alanda ilk ciddi çalışmaları yapan Leonardo Da Vinci gibi meşhur bilim insanlarının da ilgisini çekmiş bir konu olmasına rağmen, yakın zamana kadar sürtünme kuvvetleri hakkında bilimsel altyapıya dayanan açıklamalar yapılamamıştır. Da Vinci'nin sürtünme kuvvetlerini yenmek için yaptığı zamanının ötesinde tasarımlarından sonraki birkaç yüzyıl boyunca altta yatan temel mekanizmayı açıklamaya çalışan kavramların çoğu gerçekçilikten çok uzak, hayal ürünü fikirler olmaktan öteye gidememiştir. 18 ve 19. yüzyıllarda bu kavramlar üzerine çalışan iki

bilim adamı Amonton (1663-1705) ve Coulomb (1736-1806) kuru ortam sürtünmesinin bu gün bile kullanılan üç temel yasasını ortaya koymuştur. Buna göre:

1. Sürtünme Kuvveti ( $F_F$ ) maddeye uygulanan yük (Normal kuvvet,  $F_N$ ) ile doğru orantılıdır (Amonton 'un 1. Yasası). Yapılan deneyler sonucunda belli iki madde için sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranının belli bir değer olduğu bulunmuş ve bu değere “sürtünme katsayısı” ( $f$ ) adı verilmiştir. Sürtünme kuvveti, normal kuvvet ve sürtünme katsayısı ilişkisi şu şekilde ifade edilebilir:

$$f = F_F / F_N$$

2. Sürtünme kuvveti hareket halindeki maddelerin temas alanlarından bağımsızdır (Amonton 'un 2. Yasası).

3. Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır (Coulomb yasası).

Bu sonuçlar açıklanırken, yüzeylerin tamamen pürüzlerden oluştuğu ve sürtünmenin kaynağının bu pürüzler arasında meydana gelen kilitlemeler olduğu hipotezinden yola çıkılmıştır. Sürtünme kuvvetini açıklamaya çalışan birçok teoriden birisi olan bu teoriye “sürtünmenin pürüzlülük hipotezi” denilmektedir. Coulomb sonradan sürtünmeye maddeler arası çekim kuvvetlerinin de katkı sağladığını düşünmüş ve bu konuda da çalışmalar yapmıştır. Bu üç yasa sadece kuru ortamda sürtünme için geçerli olup, kayganlaştırma teknikleri kullanıldığında sürtünme ve aşınma özellikleri büyük oranda değişmektedir. Fakat kayganlaştırmanın etkilerinin sistematik olarak incelenmesine çok daha yakın bir zamanda başlanmıştır. Ancak yirminci yüzyıl ortalarında temas halinde hareket eden cisimlerin etkileşimini, bu etkileşimin doğasını ve sonuçlarını inceleyen “triboloji” adında bir bilim dalı kurulmuştur, triboloji sözcüğü eski Yunancada sürtünme anlamına gelen “*tribos*” kelimesinden türetilmiştir ve “*sürtünme bilimi*” anlamına gelmektedir (Stachowiak ve Batchelor, 1993). Triboloji bu etkileşimi incelemenin yanı sıra, etkileşimden kaynaklanan problemlere de çözüm getirmeye çalışmaktadır (Bhushan, 1999). Bu bilim dalı aynı zamanda bir uzay mekiğinden ev eşyasına kadar her türlü teknik donanım için büyük ekonomik gider unsuru olabilen güvenilirlik, bakım ve aşınma gibi konular üzerine eylemsel analizler de oluşturmaktadır (Stachowiak ve Batchelor, 1993). Dünya enerjisinin üçte birinin sürtünme için harcadığı göz önünde bulundurulursa, triboloji biliminin ekonomik açıdan ne kadar önemli bir dal olduğu görülebilir.

## 2.1.5. Maddeleri Bir Arada Tutan Kuvvetler

### Adezyon

Coulomb ve Amonton'un sürtünme yasaları bazı temel mekanik sorunları cevaplamasına rağmen, olaya fiziksel açıdan bakıldığında sürtünmenin kaynağı klasik mekanik ile açıklanamamaktadır. Bu yasalar günümüz bilimsel verileri ışığında değerlendirildiğinde düşük güvenilirliğe sahip ayrıntısız sonuçlar olarak görülmektedir. Bu klasik yasaların yetersiz kaldığı alanda Hardy ve Tomlinson 1920'lerde yaptıkları çalışmaları ile sürtünme kuvvetinin temelde moleküller arası çekim kuvvetlerinden kaynaklandığını bulmuşlar ve "adezyon teorisini" ortaya atmışlardır. Bu kuvvetler yeterince anlaşılmadan, temas halinde maddeler arasında moleküler düzeyde ne gibi etkileşimler olduğunu tam olarak anlamak mümkün değildir. "Adezyon" iki ayrı madde çok yakın temasa getirildiklerinde arada oluşan çekim kuvveti olarak tanımlanabilir. Bu, bir maddenin içindeki benzer atom veya moleküllerin çekimi anlamına gelen "kohezyondan" farklı bir terimdir. Kimyasal, fiziksel veya mekanik özellikli bağlar tarafından oluşturulur.

Kimyasal bağlanma kimyasal tepkimelerde rol alan atomların değerlik elektronları sayesinde oluşur. Kovalent, iyonik ve metalik bağlanma çeşitleri bu gruptadır. Fiziksel bağ, bir diğer adı ile "Van der Waals" bağı ise birbirine çok yaklaşan atom veya moleküller arasında olmaktadır.

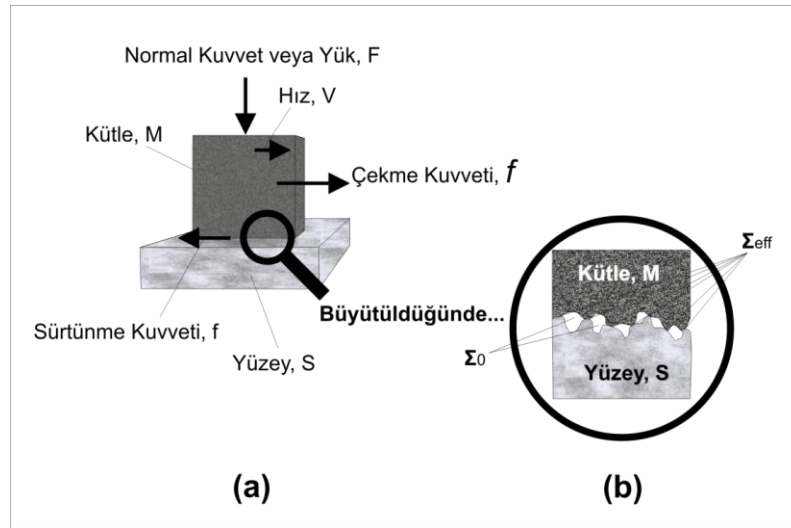
Kovalent bağ polimer zincirlerindeki gibi değerlik elektronlarının paylaşılması sayesinde oluşur. Değerlik elektronu paylaşıldıktan sonra atomların elektron yapısı kararlı bir hale dönüşür. En kuvvetli kovalent bağlar elmasta bulunan karbon atomları arasındadır. Ağırlıklı olarak kovalent bağa sahip maddelerin genelde yoğunlukları azdır ve yüksek sıcaklığa maruz kalmadığı sürece kalıcı deformasyona uğramaz.

İyonik bağlanma değerlik elektronlarının aktarılması sonucu olmaktadır. Örneğin, Sodyum ve Klor atomları NaCl molekülünü oluştururken iyonik bağlanma ile bağlanmaktadır. Yapısında ağırlıklı olarak iyonik bağ bulunduran maddelerin yoğunlukları genelde kovalent bağ bulunduranlara göre daha fazladır. Atomlar arasındaki kuvvetli yapışma, negatif ve pozitif iyonlar arasındaki kuvvetli çekimden kaynaklanmaktadır. Genellikle, yapısında daha çok kovalent veya iyonik bağ bulunduran maddelerde bu iki çeşit bağlanmanın karışımına rastlanmaktadır.

Metalik bağlanmada elektronlar komşu atomun çekirdeğine çok yakın olduğundan komşu atomun da çekim gücü altına girer. Metalik bağ, kovalent ve iyonik bağa göre daha zayıftır. Valens elektronlar o kadar zayıf bağlanmaktadır ki, atom çekirdekleri etrafında adeta bir elektron bulutu oluşmaktadır ve bu bulut en ufak bir etki ile hareketlenebilmektedir (Noort, 2007).

### Katı Maddeler Arasındaki Adezyon

Tüm yüzeyler atomik düzeyde bakıldığında pürüzlüdür. Bu sebeple, iki cisim birbirine temas ettiğinde aslında atomik düzeyde temas eden kısımlar sadece bu pürüzlü kısımların tepeleridir (Şekil 3) (Noort, 2007).



**Şekil 3.** (a) Temas halindeki iki katı maddeye etkiyen kuvvetler ve (b) Bu maddeler arasında mikroskobik düzeyde oluşan uç-uca temas noktalarının toplam alanı, gerçek temas alanını ( $\Sigma_{eff}$ ) göstermektedir

Temas eden maddelerin birbirlerine yaptığı bütün kuvvet aslında bu temas noktalarının üzerinde taşınmaktadır. Temas noktalarında yukarıda bahsedilen atomlar arası çekim kuvvetleri sebebi ile yapışma olabilmektedir (Bhushan, 2003). Bu noktalarda o kadar yüksek basınçlar oluşabilir ki iki madde arasında lokal adezyon veya soğuk kaynak denilen hadise gerçekleşebilir. Bu şekilde yapışan maddeler birbirleri üzerinde hareket etmeye zorlanınca da sürtünme kuvveti ortaya çıkmaktadır (Noort, 2007).

Bowden ve Tabor 1954 yılında Amonton'un yasasında bahsedilen temas alanının sadece görünen temas alanı olduğunu, asıl temas alanının ise Şekil 3'de

gösterildiği gibi madde yüzeyindeki çıkıntılarının toplam temas alanları ( $\Sigma_{eff}$ ) hesaplanarak bulunması gerektiğini öne sürmüştür. Bu noktalarda sürtünme yerel adezyonun kesilmesi veya kırılması ihtiyacından ortaya çıkmaktadır. Genelde bu yerel adezyonlar o kadar kuvvetlidir ki kopma olayı malzemelerin ara yüzeyinde olmaz da malzemenin kendi içyapısında olur ki “aşınma” hadisesi de bu şekilde açıklanmaktadır. Daha net bir anlatımla aşınma; birbirine göre harekete sahip ve birbiri ile tribolojik etkileşimde olan iki maddenin biri veya her ikisinin yüzeyinde oluşan istenmeyen ve devamlı madde kaybıdır. Aşınma çalışma şartları, çevresel faktörler ve etkileşimde olan maddeler ile bunların yüzeylerinin özelliklerine bağlıdır. Aşınma ile beraber malzemenin bir yüzeyden diğerine geçişi de gözlenebilmektedir (Kajdas ve ark., 1990).

Görüldüğü üzere aşınma, sürtünmenin direk bir sonucudur. En yaygın görülen aşınma mekanizmaları adezyon, abrazyon, yüzey yorgunluğu, korozyon ve erozyondur (Kajdas ve ark., 1990).

Adezyon birbiri üzerinde kayan maddelerde bazen o kadar fazla olabilir ki, aşınma maddelerin yüzeylerinin bir kabuk gibi soyulması ile oluşabilir (Xingzhong ve ark., 1997).

Bölgesel adezyona karşı oluşan sürtünme kuvveti bu kadar fazla iken, yüzeye dik olan (normal) adezyon neredeyse fark edilemeyecek kadar azdır. Bunun sebebi ise *normal* (yüzeye dik, ağırlık kuvveti yönünde) yönde oluşan elastik gerilimlerin malzemenin ağırlığı kaldırıldığında ortadan kalkıyor olmasına bağlanmıştır.

Sadece saf altın gibi çok yumuşak metaller normal kuvvet uygulandığında bu şekilde elastik kuvvetler ile aradaki bağlantının kopmasını engellemektedir (Noort, 2007).

### **Adezyon Mekanizmaları**

Adezyonun ilk kriteri olan iki cismin yakın teması sağlandıktan sonra, bu cisimlerin birbiri ile bağlanmaları mekanik, fiziksel veya kimyasal yolla olabilmektedir. Genellikle bağlanma bu üçünün kombinasyonu şeklinde meydana gelmektedir.

#### **a. Mekanik Adezyon**

Adezyonun en basit çeşididir ve iki cismin mekanik olarak kilitlenmesi sonucu meydana gelir. Bu çeşit kilitlenmeye sebep olan genellikle maddelerin yüzeyinde bulunan düzensizliklerdir. Bu düzensizlikler mikroskobik kilitlenme alanları ortaya

çıkarmaktadır. Mikro ve makro düzeydeki mekanik adezyon arasındaki en önemli fark, mikro düzeyde temas alanları içerisinde kalan hava, sıvı buharı veya sıvıların bu girinti ve çıkıntıları işgal etmeleri durumunda mikro mekanik tutunma kuvvetinin azalması, makro düzeyde ise bu durumun pek etkili olmamasıdır.

Mikro mekanik adezyon özellikle sıvı yapıştırıcı maddeler kullanıldığında etkili olmaktadır. Eğer katı malzemenin mikro girintileri içinde herhangi başka bir madde yoksa, sıvı yapıştırıcılar bu girintileri doldurur ve katılaştır, böylece kilitleme noktaları oluşmuş olur. Yapışan madde sonradan yüzeyden kaldırılmak istenirse, bu kilitleme alanlarından kırılması gerekir, fakat bu kırılma mikro düzeydedir.

### **b. Fiziksel Adezyon**

İki yüzey çok yakın temasa geldiğinde yüzeylerdeki polar moleküller arasındaki dipol etkileşimler sebebi ile ikincil çekim kuvveleri meydana gelir. Malzemelerin önemli miktarda dipol momentleri veya büyük polarizasyonu olsa bile bu çekim kuvvetleri çok küçük miktarda olabilir. Bu etkileşim enerjinin büyüklüğünü belirleyen iki yüzey üzerindeki dipol elektronların birbirine göreceli dizilimidir. Fakat enerji genellikle 0,02 eV'tan küçüktür. İyonik veya kovalent bağlar gibi birincil bağlanmaların enerjilerine (2,0-6,0 eV) kıyasla çok düşük bir düzeydedir.

Bu tip bağlanma hızlı gerçekleşir, çünkü aktivasyon enerjisine ihtiyaç duymaz ve geri dönüşümlüdür, bağlanma sırasında moleküllerde herhangi bir kimyasal etkileşim meydana gelmez. Bu zayıf fiziksel tutunma ısı enerjisi ile kolayca bozulabilir ve kalıcı bir bağlanmaya ihtiyaç varsa uygun değildir. Buna rağmen hidrojen bağındaki gibi özel durumlar çok güçlü bir kimyasal bağlanmanın öncülü olabilmektedir.

Non-polar sıvılar ile polar katı maddeler arasında bağ oluşmamaktadır. Maddeler arasında çok iyi adaptasyon olsa bile moleküler düzeyde herhangi bir etkileşim olmamaktadır. Non-polar sıvı silikon polimerleri bu çeşit bir karakter sergiler, kendilerinden başka herhangi bir katı madde ile bağ kurmazlar. Katı silikon polimerleri ile bağ kurmalarının sebebi ise arada oluşan kimyasal reaksiyonun katı ile sıvı maddeler arasında bağlanma alanları yaratmasıdır.

### **c. Kimyasal Adezyon**

Eğer bir molekül bir yüzey ile tutunması sonrası ayrışır ve parçaları kovalent veya iyonik bağlar ile ayrı bir bölgeye bağlanır ise güçlü bir adeziv yapışma meydana

gelir. Bu çeşit yapışmaya kimyasal yapışma denmektedir ve kovalent veya iyonik bağlar ile meydana gelebilir.

Fiziksel adezyondan farkı iki atom arasındaki elektron paylaşımı yolu ile olmasıdır. Çok güçlü bağlanma olabilmesi için yüzeyler arasında güçlü kimyasal çekim ve yüzeylerin her ikisinde de reaktif grupların olması gerekir.

### **2.1.6. Statik ve Kinetik (Dinamik) Sürtünme**

Çoğu mekanik sistemde iki çeşit sürtünme görünmektedir. İlki “*yuvarlanma sürtünmesidir*”. Tekerlek gibi birbiri üzerinde yuvarlanan iki cisim arasında meydana gelir ve yüzey teması çok az olduğundan, ayrıca hareket yönü normal kuvvetin ters yönüne yakın olduğundan miktarı sürüklenme sürtünmesinden çok daha azdır. Yuvarlanma sürtünmesinde enerji kaybı normal sürtünme modelinden farklı bir şekilde olmaktadır. Sürtünme kuvveti malzemelerin arasındaki mikro temas noktalarında, malzemenin inelastik özelliklerine bağlı olarak ve birbiri üzerinde yuvarlanan cisimlerin yüzey pürüzlülüğü sebebi ile meydana gelmektedir.

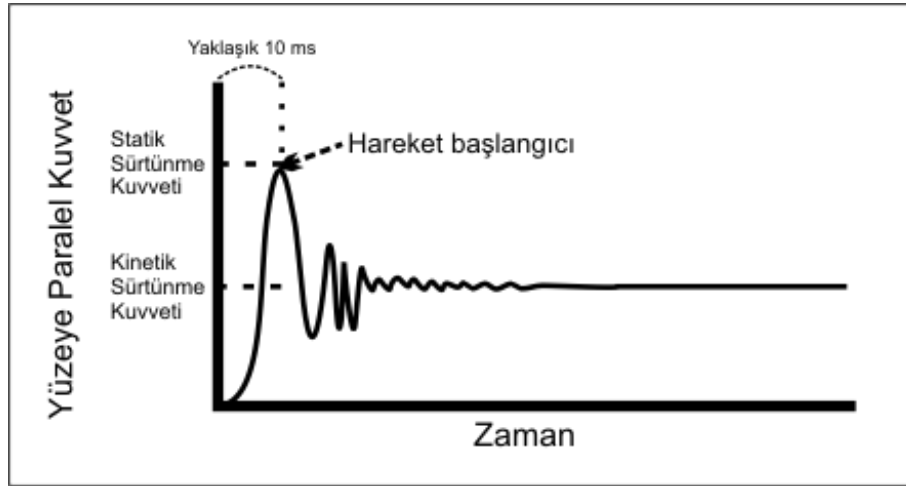
“*Sürüklenme sürtünmesi*” de daha önce açıklanan klasik sürtünme modelinde olduğu gibi iki yüzeyin birbiri üzerinde kayması sırasında meydana gelir ve iki aşamada oluşur:

***Statik sürtünme***; bir cismin diğer bir cisim üzerinde harekete başlayabilmesi için gerekli en düşük kuvvettir.

***Kinetik (Dinamik) sürtünme*** ise sabit bir hızda hareket halindeki cismin hareketine karşı koyan sürtünme kuvvetidir (Pizzoni ve ark., 1998).

Temas halindeki cisimler harekete başlamadan önce adezyon yüzeyleri kilitlemiş durumdadır. Bu adezyonu kırabilmek için belli bir kuvvete ihtiyaç vardır ki bu statik sürtünme kuvvetidir. Adezyon kırıldıktan sonra cismin hareket ederken oluşturduğu momentin ve aşınma ile plastik deformasyona uğrayan temas alanlarının yardımı ile cismin harekete devam etmesi için gereken kuvvet azalmaktadır. Bu ise kinetik sürtünme kuvvetidir. Şekil 4’teki grafik harekete bağlı olarak sürtünme kuvvetinin miktarını göstermektedir. Görüldüğü üzere başlangıçta statik sürtünme kuvveti birden artarken, cisim harekete başladığında yine aynı hızla düşmektedir. Başlangıçtaki zirve noktası statik sürtünmeyi, sonraki plato ise dinamik sürtünmeyi göstermektedir (Nanda, 1997; Bhushan, 1999; 2003). Statik sürtünme bu sebeplerle

temas alanı ve geometrisine bağlı iken, dinamik sürtünme Amonton'un ikinci ve Coloumb'un yasası gereği temas alanı toplamına ve kayma hızına bağlı değildir. Kinetik sürtünmenin uygulanan yüke bağlı olduğu düşünülürken, bu bağıntı ortamda kayganlaştırıcı madde bulunduğu büyük oranda değişebilmektedir (Stachowiak ve Batchelor, 1993).



**Şekil 4.** Tipik bir Zaman-Sürtünme Kuvveti grafiği. Statik sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetinden daha yüksek olduğundan, cisme kuvvet uygulandığı andan hareketin başladığı ana kadar geçen süre boyunca (örnekte yaklaşık 10 ms) sürtünme kuvveti bir pik düzeye kadar artmakta, ardından hızlı bir düşüşle kinetik sürtünme değerine ulaşmaktadır. Yüzeğe özelliklerine bağlı olarak kinetik sürtünme kuvvetinde de zaman içinde dalgalanmalar olmakla beraber, bu dalgalanmalar hiçbir zaman statik sürtünme kuvveti değerine ulaşmaz

## 2.2. Ortodontik Tedavide Sürtünme

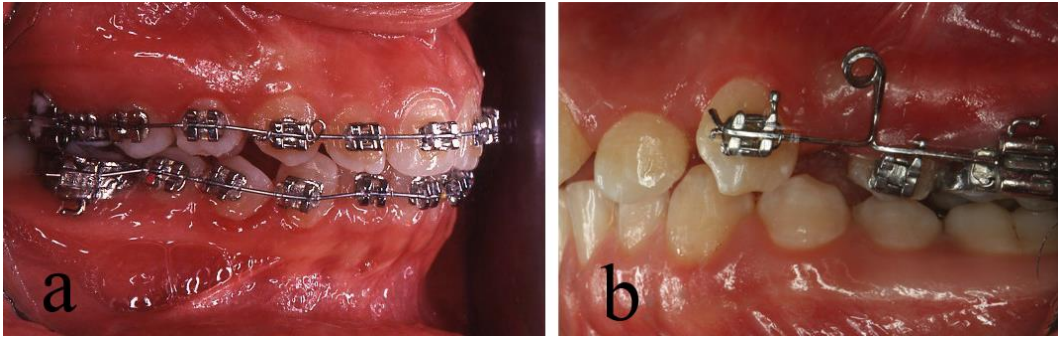
Tüm mekanik sistemlerde olduğu gibi, ortodontik tedavilerde kullanılan tedavi mekaniklerinde de hareket ile beraber sürtünme oluşmaktadır. Sabit ortodontik tedavilerde sürtünme kuvveti, braket slotu veya molar tüplerinin içerisindeki tellere rehberlik ettiği tek diş veya diş grubunun mezio-distal hareketleri sırasında oluşur. En sık rastlanan örneği ön diş grubunun retraksiyonudur (Nikolai, 1985). 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. Fakat kinetik sürtünmenin de çok önemli etkilerinin olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Omana ve ark., 1992; Downing ve ark., 1994; Keith ve ark., 1994; Saunders ve Kusy, 1994; Kapur ve ark., 1999).



Birçok mekanik ve tıbbi dalda olduğu gibi ortodontide de sürtünme önemli bir konudur. Triboloji biliminin de giderek gelişmesi ile beraber, bu konuda ortodonti alanında yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

### 2.2.1. Kayma Mekanikleri

Boşluk kapatma sırasındaki diş hareketi iki ayrı tip mekanik ile elde edilebilmektedir; Birinci tip bölümlü mekanik denilen, devamlı veya bölümlü bir ark üzerine looplar bükülerek boşluk kapatılan mekaniktir (Şekil 5a). İkinci tip olan kayma mekaniğinde ise devamlı bir arkin üzerinde braket ve molar tüplerinin kaydırılması yolu ile hareket elde edilmektedir (Farrant, 1977; Ziegler ve Ingervall, 1989) (Şekil 5b). Bu iki mekanik arasındaki en büyük fark ise sürtünme kuvvetidir. Kayma mekaniği ile köpek dişi retraksiyonunun en önemli problemlerinden birisi retraksiyon sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin tahmin edilememesidir. Sürtünme kuvvetlerinin çoğu ark telinin eğilme ve rotasyon hareketini engellemesinden kaynaklanmaktadır. (Articolo ve Kusy, 1999; Thorstenson ve Kusy, 2002; Iwasaki ve ark., 2003b; Redlich ve ark., 2003; Thorstenson ve Kusy, 2004).



Şekil 5. (a) Kayma mekanikleri ve (b) bölümlü mekanik

### 2.2.2. Ortodontik Diş Hareketi

Diş hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetini anlayabilmek için diş hareketinin nasıl oluştuğu bilinmelidir. Uzun yıllardır ortodontik kuvvetler ve diş hareketi ilişkisini açıklamaya çalışan birçok teori ortaya atılmıştır (Stuteville, 1938; Ren ve ark., 2003). Ortodontik diş hareketi dişe uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen bir takım fizyolojik olaylar sonucu oluşmaktadır. Dişlerin kemik doku ile bağlantısını sağlayan periyodontal ligament (PDL), bir noktaya kadar gelen kuvvetleri adeta bir amortisör gibi emerek hem diş hem kemik dokusunu koruyabilmektedir. Belli bir

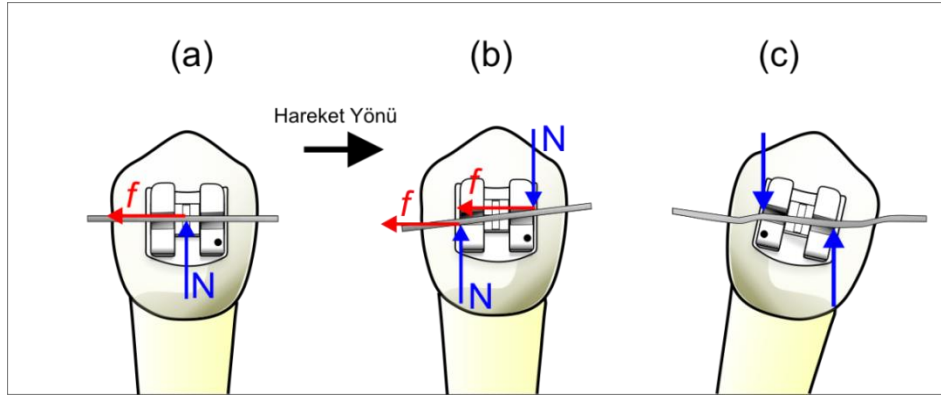
şiddeti ve süreyi geçen kuvvetlerde ise ağız içinde oluşan kuvvetler yeniden dengeye ulaşana kadar dişler kemik içerisinde translasyona başlar. Bu hareket bir biyolojik süreç olup dişin konumu ile birlikte kemik yapısı, yumuşak doku hatta diş etrafındaki damar sisteminin bile yeniden yapılanması ile sonuçlanmaktadır ve henüz tamamıyla anlaşılabilmiş bir süreç değildir. Dokulara zarar vermeden diş hareketi oluşturan kuvvete optimal kuvvet denmektedir. Schwarz'a (1932) göre bu optimal kuvvet devamlı bir kuvvet olup, PDL içindeki kapillerleri birbirine yaklaştırarak, kan basıncını arttıran kuvvettir. Dişlere devamlı bir kuvvet uygulandığında PDL kuvvet yönünde aynı bir yay gibi sıkışır, diğer tarafta ise gerilir ve yumuşak dokunun kan akımı bu sıkışma ve gerilmenin etkisi ile bozulur. Bir noktaya kadar vücut bununla başa çıkabilirken, bir noktadan sonra bozulan kan akımını düzeltmek için kemik içerisinde hücresel değişiklikler sonucu yeniden şekillenme başlamaktadır. Hafif kuvvetler uygulandığında bu yeniden şekillenme çok hızlı olabilirken, optimal düzeyi geçen ağır kuvvetler uygulandığında iyice bozulan kan akımı sebebi ile doku nekroz alanları oluşur ve kemik kuvvetin diğer dokulara yıkıcılığını engellemek için dişin önüne adeta bir barikat oluşturur. Hiyalinizasyon dokusu adı verilen bu barikat kemikte 1-2 mm kalınlığa sahip steril nekrotik bir alandır (Reitan, 1967). Bu yapı kemik yüzeyindeki nekrotik alan yok olana kadar diş hareketinin durmasına sebep olmaktadır (Schwarz, 1932; Reitan, 1957; Reitan, 1960).

Hiyalinizasyon dokusu sert bir yapı olduğundan ve önündeki PDL beslenme bozukluğu sebebi ile nekroze olduğundan, diş gelen kuvvetleri direk kemiğe iletir. Bu, değişikliklere çok kolay adapte olabilen kemiğe yeniden şekillenme için vakit kazandırırken, kemik ile temasta olan ve aynı kuvvete maruz kalan diş kökünde biraz daha farklı karşılanmaktadır (Reitan, 1957; Reitan, 1959; 1960; 1967; Roberts, 2005).

Diş kökünü dıştan kaplayan sement tabakası sınırlı da olsa kendini yenileyebilir özelliktedir. Aynı kemik gibi sement de, belli bir şiddete kadar kuvvet uygulandığında PDL'nin kuvvet emici özelliği yardımı ile yapısını koruyabilmektedir. Fakat çok ince olmasından dolayı daha ağır kuvvetler altında yapısını koruyamaz. Kemikte erimeye yol açan biyolojik faktörler sement üzerine de etki ederek erimesine yol açar. Sementin kendini yenileme kapasitesi kemik dokusundan daha az olduğundan şiddetli kuvvetler sonucu diş kökünde geri dönüştürülemeyecek hasarlar oluşabilir. Hiyalinizasyon dokusu iletilen kuvvetlerin emilmesini büyük miktarda engellediğinden

diş kökü hasarı ihtimalini arttırabilmektedir. Kemik yüzeyindeki hiyalinizasyon dokusu altında kemik yeniden şekillenmesi devam eder. Belli bir süre sonra eğer kuvvet miktarı artmazsa hiyalinizasyon dokusu yavaş yavaş yok olur. (Storey, 1973; Roberts, 2005). Optimal kuvvet konusundaki günümüzde en kabul gören kavram ise herhangi bir türde (devamlı, kesikli, aralıklı) uygulanan belirli büyüklükte bir kuvvetin doku zararına yol açmadan maksimum hızda diş hareketi sağlayabileceğidir. Optimal kuvvet her hasta ve her diş için farklılık göstermektedir (Proffit ve ark., 2007).

Bir dişe kuvvet uygulandığında bahsedilen biyolojik süreçler sonucunda diş harekete başlar. Köpek dişi retraksiyonu sırasında diş hareketinin değişik safhalarında braket ile ark teli arasındaki temas sürekli değişir (Şekil 6).



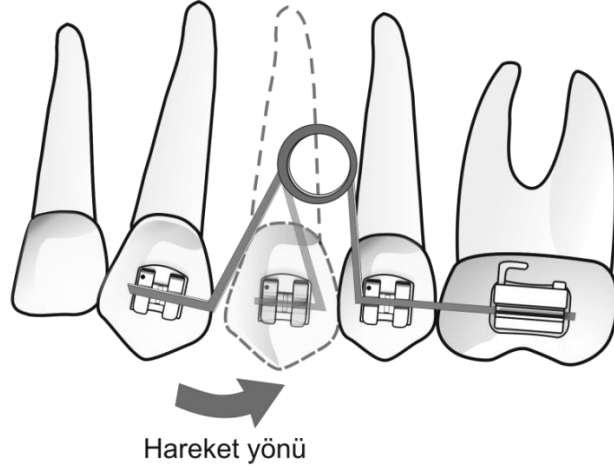
**Şekil 6.** Köpek dişinin kayma mekaniği ile hareketi sırasındaki aşamaları. (a) Ark teli üzerinde sıralanmış bir dişte sürtünme kuvveti slot boyunca ark teline paralel uzanmaktadır. (b) Diş devrilme hareketine başladığında braket slotu ile ark teli arasındaki açının artması ile temas alanı braket slotu köşeleri ile sınırlı kalır. (c) Yeterli kuvvet ve yumuşak ark teli kullanıldığında ark teli deforme olur, temas alanı hala köşelerdeyken köşelere uygulanan kuvvet miktarı çok artmıştır, bu da ark teli ile braketin kilitlemesine (notching) sebep olur

Değişik temas noktalarının sürtünmeye etkisi de farklı olacaktır. Fakat diş harekete bir kere başladığı zaman temas alanı veya hareket hızı sürtünme kuvvetlerini etkilemez (Stachowiak ve Batchelor, 1993; Nanda, 1997). Ortodontik kuvvetler her aktive edildiğinde hareket miktarı ilk başta PDL aralığını geçemez. Çünkü önünde henüz şekillenmeye başlamamış kemik bulunmaktadır. Bir sonraki aktivasyona kadar geçen sürede hareket çok yavaş gerçekleşir. Her aktivasyon başlangıcında statik sürtünme kuvveti daha önemli olmasına rağmen, hiyalinizasyon dokusunun etkisi en aza indirildiğinde dinamik sürtünmenin geri kalan aşamada daha etkili olduğu görülebilir

(Nanda ve Ghosh, 1997). Sürtünmenin aktivasyon sırasındaki en önemli etkisi uygulanan kuvvetin verimliliğini azaltmasıdır. Diş hareketi süresince devamlı değişen yüzey geometrisi statik sürtünme kuvvetini de değiştirir. Örneğin; aktivasyon sırasında statik sürtünme miktarı yüzey geometrisi ve temas alanına bağlı iken, statik sürtünme aşıldıktan sonra diş harekete başladığında oluşan dinamik sürtünme kuvveti Amonton'un ikinci yasasına göre temas alanından bağımsızdır. Dişe uygulanan toplam kuvvetin etki gösterebilmesi için sürtünme kuvvetini geçmesi gerekir. Devamlı değişen sürtünme kuvvetleri toplam kuvvetin devamlı değişik bir miktarının dişe iletilmesi demektir. Aktivasyon sırasında daha yüksek olan statik sürtünme kuvvetini yenmek için aktivasyon kuvveti artırılır. Diş harekete başladığında ise dinamik sürtünme kuvveti daha düşük olduğundan, dişe iletilen kuvvet miktarı çoğu zaman öngörülemez şekilde artar. Dinamik ve statik sürtünme kuvvetleri arasında ciddi farklar varsa, aktivasyon sonrasında dişe iletilen kuvvet yıkıcı seviyeye çıkabilmektedir (Frank ve Nikolai, 1980; Huffman ve Way, 1983; Read-Ward ve ark., 1997). Drescher ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada bu farkın diş hareketi için gereken kuvvetin iki ile altı katına kadar çıkabileceği gösterilmiştir (Drescher ve ark., 1989).

Arttırılan retraksiyon kuvvetinin etkisi sadece hareket eden dişle sınırlı kalmaz. Hareket için destek alınan yapı ve buna bağlı olarak ortodontik tedavinin gidişatı da aşırı kuvvetlerin olumsuz etkilerine maruz kalabilir. Ankraj ünitesi olarak yine dişler kullanılmışsa, ankraj potansiyeli alveoler kemiğin yoğunluğuna ve ankraj ünitesindeki dişlerin köklerinin toplam yüzey alanına bağlıdır (Roberts, 2005). Aynı şekilde mini vida gibi bir geçici ankraj cihazı kullanılan durumlarda da ankraj potansiyeli cihaz özellikleri ve kemik yoğunluğu gibi faktörlere bağlıdır ve belli bir değerle sınırlıdır (Paik, 2009). Uygulanan kuvvet belli değerleri geçtiğinde, eğer mini vida implant kullanılıyorsa, vidanın hareketlenmesi ve kaybı gibi problemler oluşabilmektedir. Üstelik bu cihazların uygulanması ek bir maliyet ve beceri gerektirmektedir (Büchter ve ark., 2005; Sevimay ve ark., 2005). Ankraj olarak dişler kullanıldığında ve kuvvet ankraj ünitesinin potansiyelini geçtiğinde ise, ankraj ünitesinin hareketi ve ankrajın kaybedilmesi gözlenebilmektedir. Ankrajın çok kritik ve önemli olduğu vakalarda bu şekilde ankraj kaybetmek, tedavi süresinin uzaması ve tedavi sonuçlarının istenen seviyede olmamasına sebep olabilmektedir (Read-Ward ve ark., 1997; Nanda ve Uribe, 2009).

Köpek dişi retraksiyonu sırasında oluşan bu sürtünmenin bu etkisini azaltmak için retraksiyon, bazı luplar yardımı ile gerçekleştirilebilir (Şekil 7). Fakat hastaya özel yapılacak bükümler de iş yükünü arttırarak seans süresini arttıracaktır (Burstone, 2005; Graber ve ark., 2005).



**Şekil 7.** Bölümlü ark tekniğinde looplar ile köpek dişi retraksiyonu. Köpek dişi mandala benzer bir yay sistemi ile retrakte edilebilmektedir. Çok basit bir tedavi mantığı olarak gözükse de her hasta için özel bükümler gerektirdiğinden bu teknik seans süresini uzatmaktadır.

Bölümlü mekanik, sürtünme içermediği için “**sürtünmesiz teknik**” olarak da anılmaktadır. Diğer taraftan, kayma mekaniklerinde sürtünmenin önemi büyük olduğundan “**sürtünmeli mekanik**” olarak da anılmıştır (Omana ve ark., 1992).

Sürtünme kuvveti bir ortodontik aygıtın verimliliği açısından önemli bir faktördür. Kayma mekanikleri ortodontik tedavide en fazla kullanılan tekniklerdendir (Taylor ve Ison, 1996). Kayma mekaniklerinin artan miktarda uygulanmaya başlamasıyla beraber, ortodontide sürtünme alanında yapılan çalışma sayısında hatırı sayılır bir oranda artış olmuştur (Schlegel, 1996). Daha önce belirtildiği gibi, bu kuvvetler kayma mekaniklerinde diş hareketini yavaşlatabilir, optimal kuvvetten daha büyük kuvvetler ile retraksiyon yapılmasına ve ankraj ünitesine daha fazla yük binmesine sebep olabilir (Read-Ward ve ark., 1997). Klinik uygulamalarda sürtünmenin rolü olan ve en sık karşılaşılan durumlar; küçük azı dişi çekimi yapılmış vakalarda köpek dişi retraksiyonu sırasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetinin, diş hızını yavaşlatması ve ön grup dişlerin retraksiyonu sırasında arka grup dişler ile ark teli arasında oluşan sürtünmeden dolayı ark telinin hareketinin kısıtlanması sonucu tedavi

süresini uzatmasıdır (Frank ve Nikolai, 1980; Häsler ve ark., 1997). Sürtünme kuvvetleri diş hareketi için gerekli kuvvetin üçte ikisine kadar çıkabilmektedir (Drescher ve ark., 1989; Reicheneder ve ark., 2007). Bunlara rağmen, sürtünme kuvvetleri ortodontide hem istenen, hem istenmeyen kuvvetlerdir. Gerekli diş hareketini yavaşlatan ve tedavi süresini uzatan en önemli engelleyici faktörlerden birisi olması ile beraber bazı durumlarda da belli diş veya diş gruplarının hareketini durdurarak ankraji artırmak için işe yarayabilmektedir. Bu sebeple sürtünme kuvvetlerinin uygulayıcı hekim ve malzeme üreticileri tarafından iyice anlaşılması gerekmektedir.

### **2.2.3. Ortodontide Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler**

Sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü belirleyen faktörler genel olarak şu başlıklar altında sınıflandırılabilir:

#### **1. Fiziksel/Mekanik faktörler**

##### **a. Ark teli özellikleri:**

- i. Ark teli malzemesi
- ii. Kesit şekli/boyutları
- iii. Yüzey yapısı
- iv. Sertliği

##### **b. Braketin ark teline bağlanma şekli:**

- i. Ligatür teli
- ii. Elastomerikler
- iii. Bağlama yöntemi

##### **c. Braket özellikleri:**

- i. Braket malzemesi
- ii. Yüzey işlemleri
- iii. Üretim şekli
- iv. Slot derinliği ve genişliği
- v. Braket tasarımı
- vi. Braket açıları (birinci düzen/in-out; ikinci düzen/toe-in; üçüncü düzen/tork)

##### **d. Ortodontik aygıtlar:**

- i. Braketler arası uzaklık ve seviye farkları
- ii. Retraksiyon kuvvetleri

## 2. Biyolojik faktörler:

- a. Tükürük
- b. Plak
- c. Kazanılmış pelikül
- d. Korozyon olarak özetlenebilir (Vaughan ve ark., 1995; Rossouw ve ark., 2003).

## 1. Fiziksel/Mekanik Faktörler

### a. Ark Teli Özellikleri

#### *Ark teli malzemesi*

Ortodonti alanında kullanımına başlanan ilk teller paslanmaz çelik ve altın alaşımlarından elde edilmiştir (Proffit ve ark., 2007). Gelişen teknoloji tedavinin her alanını olduğu gibi ark teli malzemelerini de etkilemiş, birçok yeni malzeme kullanıma girerken, altın gibi deformasyonu çok kolay ve pahalı malzemelerin de kullanımına son vermiştir. Fakat günümüz ortodontisinin temelini atıldığı 19. Yüzyıl sonlarından beri, yüz yılı aşkın bir süredir paslanmaz çelik değerini korumuş, fiziksel özellikleri ve elde edilebilirliği ile tedavinin her alanında değişmez bir parça olmuştur. Ark teli malzemesi olarak en sık kullanılan paslanmaz çeliğin bu özelliklerine uzay teknolojisinin ortodontiye katkısı olan Nikel-titanyum, beta-titanyum gibi alaşımlar çok yaklaşmış olmalarına rağmen henüz yakalayamamıştır. Fakat bu malzemeler yeni özellikleri ile ortodontik tedavinin daha kolay ve sorunsuz yürümesi için yeni bir pencere açmıştır (Garner ve ark., 1986). Ortodontide günümüzde kullanımda olan 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

5. Beta titanyum
6. Alfa titanyum
7. Titanyum niobiyum alaşımı
8. Çoklu sarımlı ark telleri
9. Kompozit/kaplamalı teller
10. Optiflex ark telleri

Bunlardan altın tellerin kullanımı çok azalmıřken, Nikel-titanyum(Niti) ve kompozit teller gibi yeni malzemelerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Paslanmaz elik tellerin daha dūřuk sūrtünme kuvveti oluřturduęu birçok arařtırmada gōsterilmiřtir (Peterson ve ark., 1982; Garner ve ark., 1986; Angolkar ve ark., 1990; Kapila ve ark., 1990; Pratten ve ark., 1990). Peterson ve arkadaşlarının (1982) yaptıkları bir çalıřmada ark teli ile braket arasında açılanma olmadıęı zaman, nitinol ve paslanmaz elik teller arasında sūrtünme açısından anlamlı bir fark olmadıęı gōrūlmüřtūr. Bununla beraber, ark teli ve braket arasındaki açılanma arttıça paslanmaz elik telin oluřturduęu sūrtünme kuvvetlerinin, paslanmaz elik telin daha sert yapısı sebebi ile daha hızlı artmakta olduęu ve 15 derece açılanmaya gelindięinde, daha elastik olan nitinol telin paslanmaz elik tele oranla yüzde 61 daha az sūrtünme oluřturduęu gōrūlmüřtūr. Ayrıca bazı çalıřmalar benzer řekilde nikel-titanyum alařımından ūretilen tellerin daha az sūrtünme oluřturabildiklerini gōstermiř olmasına raęmen, unutulmamalıdır ki, braket ve ark teli arasındaki açılanma, kullanılan baęlama yōntemi ve deęiřik ūreticilerin ūrettięi tellerin yūzey ve fiziksel ūzellikleri de sūrtünme kuvvetlerini dikkate deęer ūlde deęiřtirebilmektedir (Frank ve Nikolai, 1980; Kusy ve ark., 1988).

Bahsedilen ark teli tūrleri arasından dięer en sık kullanılan tellerden birisi olan Krom-Kobalt teller sūrtünme ūzellikleri açısından paslanmaz çelięe en benzeyen tellerdendir (Kusy ve Whitley, 1990b).

Beta titanyum alařımı ise birçok çalıřmada en kōtū sūrtünme ūzelliklerine sahip tellerden birisi olarak gōsterilmiřtir. Bunun en ūnemli sebeplerinden birisinin bu malzemenin kuru ortamda paslanmaz elik braketlerle ilerleyen bōlūmlerde ayrıntılı anlatılacak olan “yapıřma-kayma fenomeni”ne (stick-slip phenomennon) yol aması olduęu tahmin edilmektedir (Kusy ve Whitley, 1990b). Aynı řekilde kaplamalı



kompozit tellerin de paslanmaz çeliğe oranla % 70 daha fazla sürtünme kuvveti oluşturduğu görülmüştür (Zufall ve Kusy, 2000).

Tel malzemesi ile ilgili anlatılan bütün bu özellikler aslında telin yüzey özelliklerine, şekline, mekanik özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir ve bu özelliklerin sürtünme kuvvetine etkileri aşağıda tek tek ele alınacaktır. Bu özelliklerden birkaçı değiştirilerek herhangi bir maddeden üretilen braket veya tellerin sürtünme özelliklerini geliştirmek mümkündür. Diğer bir ifade ile birçok araştırmada tersi gösterilmiş olsa da klinik ortamda bazen ince ve yüzeyi iyi parlatılmış bir beta titanyum tel kalın ve köşeli bir paslanmaz çelik telden daha az sürtünme kuvveti oluşturabilir.

### ***Kesit Şekli ve Boyutları***

Ortodontik tedavinin değişik aşamalarında değişen kuvvet ihtiyacını karşılamak için değişik boyutlardaki teller kullanılmaktadır. Daha kalın teller ince tellere oranla daha yüksek kuvvet uygulamak için kullanılırken, kare veya dikdörtgen köşeli teller dişlere tork hareketi için gerekli rotasyonel kuvveti uygulamaktadır (Singh, 2007). Malzemesi ne olursa olsun daha kalın tellerin diş hareketi sırasında braket slot duvarlarına sürtünme ihtimali arttığından, daha fazla sürtünme kuvveti oluşturdukları bilinmektedir (Andreasen ve Quevedo, 1969). Ayrıca kalınlıkla beraber köşeli kesite sahip tellerin de sürtünme kuvvetini arttırdığı birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Andreasen ve Quevedo, 1969; Frank ve Nikolai, 1980; Peterson ve ark., 1982; Baker ve ark., 1987; Schudy ve Schudy, 1989; Angolkar ve ark., 1990; Kapila ve ark., 1990; Bednar ve ark., 1991; Vaughan ve ark., 1995; Ogata ve ark., 1996). Tedavi sırasında dişlere tork kuvveti veren köşeli tellerin yuvarlak tellere oranla daha fazla sürtünme oluşturmaları bazı durumlarda kullanılan teknik ve malzemeye çok dikkate etmeyi gerektirir. Bu sebeple, yapılmış birçok çalışmada, uygulanacak tekniğe ve ankraj ihtiyaçlarına en uygun braket-tel ikilisinin seçilmesi önerilmiştir (Drescher ve ark., 1989). Bu problemi aşmak için geliştirilmiş olan hibrit teller, ön dişlerde köşeli, arka dişlerde ise yuvarlak profile sahip olup, bahsedilen çalışmaların bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Bu teller, ön dişlere tork kuvvetini iletip, dişlerin geriye devrilmelerini engellerken, arka dişlerde boşluk kapatma sırasında oluşan sürtünmeyi azaltarak, ankraj ünitesine fazladan yük bindirilmesini önlemeyi sağlar.

Genel olarak tel malzemesi hesaba katılmadığında tel kalınlığı ile sürtünme direnci arasında bir doğru orantı vardır denilebilir (Peterson ve ark., 1982).

### ***Yüzey Yapısı***

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 (Frank ve Nikolai, 1980; Drescher ve ark., 1989). Yüzey pürüzlülüğünün sürtünmeye olan etkisi genel olarak triboloji biliminde tam açıklanamayan olaylardan birisidir. Genel kanı yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme katsayısının doğru orantılı olduğudur. Buna en güzel örneği yüzey pürüzlülüğü yüksek olan niti teller ve  $\beta$ -ti teller ile yüzeyleri çok daha pürüzsüz olan paslanmaz çelik teller arasındaki sürtünme katsayısı farkıdır. Yapılan bir çok çalışmada daha yüzeyleri daha pürüzlü tellerin daha yüksek miktarda sürtünme kuvveti oluşturduğu görülmüştür (Garner ve ark., 1986; Kusy ve ark., 1988; Kusy ve Whitley, 1990b). Bununla beraber, yine, değişik araştırmalarda kullanılan değişik malzeme ve test düzeneklerinin bu sonuçlara olan etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle ark tellerinin üretim şekline bağlı olarak yüzey yapıları çok değişik olabilmektedir (Garner ve ark., 1986). Bu tellerin yüzey işlemlerinin çok daha iyi bitirilmiş çeşitleri de bulunabilmektedir.

Yüzey özelliklerinin bir başka etkisi de dolaylı yoldandır. Daha pürüzsüz bir yüzey, ağız ortamında oluşabilecek elektrokimyasal etkileşimleri engeller. Bu elektrokimyasal etkileşimler hareket eden yüzeyler arasında ek bağlantılar olmasını ve sürtünmenin artmasını sağlayabilmektedir. Dış hareketi sırasında ise bozulan yüzey yapısı etkileşim olma ihtimalini arttırmaktadır (Berradja ve ark., 2006a).

Paslanmaz çelik birçok çalışmada yüzey özellikleri bakımından daha üstün sonuçlar vermiştir. Bununla beraber birçok çalışmada Krom Kobalt, hatta Nikel Titanyum gibi malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin de paslanmaz çeliğe çok yaklaştığı gösterilmiştir (Doshi ve Bhad-Patil, 2011; D'antò ve ark., 2012).

### ***Tel Sertliği***

Daha önceki bölümlerde braket slot yüzeyi ve ark teli arasındaki açılanmanın önemine değinilmiştir. Kullanılan ark teli ne kadar sert yapıda olursa bu açılanmanın olma ihtimali o kadar artar. Daha elastik yapıli tellerde ise telin slotun iki yanında bükülmesi ile slot uçlarına uygulanan kuvvet azalır (Şekil 6c). Bu da oluşan sürtünme

kuvvetinin daha az olması ile sonuçlanır. Ayrıca dişte kuvvet yönüne doğru eğilme olmaksızın paralel harekete zorlanır (Frank ve Nikolai, 1980; Huffman ve Way, 1983; Drescher ve ark., 1989; Pizzoni ve ark., 1998). Tel sertliğiyle ilgili dikkat edilmesi gereken başka biyomekanik kurallar sebebi ile özellikle köpek dişi retraksiyonu sırasında mümkün olduğunca sert özellikte teller kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple retraksiyon sırasında kullanılacak telin seçiminde sürtünmenin diğer özelliklerle dengelenmesi gerekmektedir (Huffman ve Way, 1983).

### **b. Braketin Ark Teline Bağlanma Şekli**

Ark telini braket slotuna yaklaştırmak için kullanılan ligatürler uyguladıkları kuvvet ile iki yüzeyi birbirine doğru bastırarak sürtünmeyi arttırmaktadır. Yani bağlama kuvveti arttıkça sürtünme kuvveti de artmaktadır (Frank ve Nikolai, 1980; Keith ve ark., 1993). Genel kanı tel ligatürlerin uygulanan kuvvetin ligatürün sıkışmasını ayarlayarak değiştirilebilmesini sağladığından daha avantajlı olduğu yönündedir. Fakat uygulanmaları daha zahmetli ve zaman alıcı olduğundan elastik ligatürler kadar sık kullanılmamaktadır. Elastomerik ligatürler kolay uygulanmalarına karşın gevşek bağlanmış bir paslanmaz çelik ligatürden çok daha fazla sürtünme kuvveti oluşturmaktadır, fakat sürtünme kuvveti sıkıca bağlanmış bir tel ligatürü geçememektedir (Hain ve ark., 2003; Lima ve ark., 2010).

Omana ve arkadaşlarının (1992) yaptıkları bir çalışmada tel ligatürlerin bağlanma kuvvetinin ayarlanamadığı, bu sebeple farklı sonuçlara yol açarak hataya sebep olabilecekleri belirtilmiştir.

Oluşan yüksek kuvvetler sebebiyle sürtünmenin kritik önem arz ettiği durumlarda bağlama tekniğini doğru seçmek şarttır. Keith ve arkadaşlarının (1993) yaptığı çalışmada çelik ligatür ile 500 gram'a kadar çıkabildiği gösterilmiştir. Hain ve arkadaşları (2003) ise tükürük ile kayganlaştırıldığında elastik ligatürlerin kuru ortamdakinden % 60 kadar daha az sürtünme kuvveti oluşturabildiğini göstermiştir.

Bağlama tekniğinin sürtünmede bu kadar önemli olması ile beraber, tel ligatür ile belirli bir bağlanma kuvvetinin yakalanmasının çok zor olması, elastik ligatürlerin bağlanma kuvvetlerinin ağız içi duruma bağlı olarak zaman içinde düşmesi (Iwasaki ve ark., 2003a) gibi kontrol edilemeyen özellikleri yüzünden, bağlama kuvvetini düşürebilmek veya belli seviyelerde sabitleyebilmek için tamamen yeni aygıtlar ve

sistemler geliştirilmiştir. Kendinden bağlanabilen veya kilitli braketler olarak adlandırılan braket çeşitleri, ligatürlerin tel ile en az temasını sağlayacak geometriye sahip braketler ve tele minimum temas eden elastomerik ligatürler bunlardan sadece bir kaçıdır. Her biri başlı başına araştırma konusu olan bu teknikler giderek popülerlik kazanmalarına rağmen, bazılarının kullanım zorlukları ve en önemlisi fiyatlarının daha yüksek olması sebebiyle geleneksel yöntemler kadar yaygınlaşmamıştır.

### **c. Braket Özellikleri**

#### **Braket Malzemesi ve Üretim Şekli**

Ortodontik braketler genel olarak şu malzemelerden üretilmektedirler:

- 1) Metal
- 2) Plastik
  - a. Polikarbonat
  - b. Fiberglas ile güçlendirilmiş plastik
  - c. Poliüretan
- 3) Seramik
  - a. Alümina tabanlı
    - i. Monokristalin
    - ii. Polikristalin
  - b. Lamine
  - c. Zirkonya tabanlı braketler
- 4) Titanyum (Singh, 2007)

Görüldüğü üzere fiziksel özellikleri çok farklı malzemelerden braketler üretilmektedir. Bu kadar birbirinden farklı malzemelerin doğal olarak sürtünme özellikleri de birbirinden farklıdır.

#### ***Metal Braketler***

Tahmin edilebileceği üzere, ucuzluğu, işleme kolaylığı, kuvvetlere ve korozyona direnci sebebiyle ilk kullanılan braketler paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Ortodontik amaçla kullanılan metal braketlerin bir diğer özelliği ise yüzey parlatma

işlemleri iyi olduğunda plak birikimi ve renklenmeye çok iyi direnç gösterebilmeleridir. Birçok araştırmaya göre; aynı tellerde olduğu gibi, braket malzemeleri arasında en az sürtünme kuvveti ortaya çıkartan malzemelerden birisi yine paslanmaz çeliktir (Angolkar ve ark., 1990; Berger, 1990; Doshi ve Bhad-Patil, 2011). Bununla birlikte, paslanmaz çelik braketler de üretim şekillerine göre çok farklı sürtünme özellikleri gösterebilmektedir. 1960'lerden itibaren üretilmeye başlanan paslanmaz çelik braketler döküm tekniği ile üretilmektedir, ancak sıvı paslanmaz çelik, braketler kadar küçük ve ayrıntılı döküm yapmak için uygun akışkanlığa sahip bir madde değildir. Bu braketlerin kaba şekli döküm yöntemi ile verildikten sonra, slotları ve kanatları frezler yardımı ile şekillendirilmektedir. Bu kadar küçük girinti bölgelerinde parlatma işlemini tam anlamı ile yapabilmek çok zor olduğundan, bu yöntemle üretilen braketlerin slot yüzeyi çok pürüzlü olmakta ve bu da sürtünme kuvvetlerini arttırmaktadır (Proffit ve ark., 2007).

Sinterleme yönteminde ise, braketler çok ince metal tozlarının kalıplanıp fırınlanması ile şekillendirilir. Bu işlem daha ayrıntılı sonuçlar verdiğinden, slotlar ve braket kanatlarının sonradan açılmasına gerek kalmaz, daha pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Böylece yüzey özelliklerinin sürtünme kuvvetine etkisi de azalmış olur (Vaughan ve ark., 1995).

Ortodontik braket üretmek için kullanılan AISI 316L östenit çelik alaşımı, %16-18 arası Krom, %10-14 Nikel, %2-3 Molibden ve en fazla %3 civarı da Karbon içermektedir. İsmindeki L (Low) son eki düşük Karbon içerikli olduğunu simgelemektedir (Brantley ve Eliades, 2001). Bu alaşım klinik testlerde iyi sonuçlar vermiş olmasına rağmen, korozyon potansiyeli açısından çelişkili çalışmalar da mevcuttur (Maijer ve Smith, 1982).

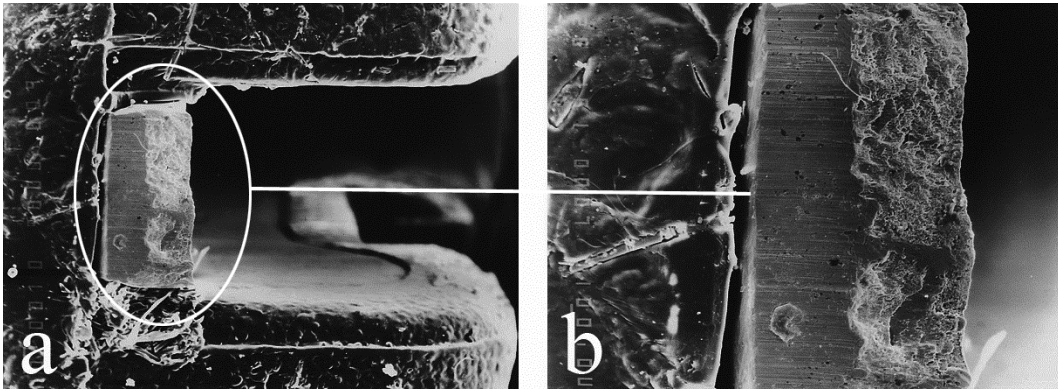
Paslanmaz çeliğe alternatif olarak altın kullanılmış olmasına rağmen, altın pahalılığı ve performansının düşüklüğü sebebi ile uzun zaman önce terk edilmiştir (Proffit ve ark., 2007). Bununla beraber, özellikle kişiye özgü braket üretimi gibi yeni tekniklerde çok ayrıntılı döküm yapılabildiği için, altın alaşımlarının kullanımı yine popülerlik kazanmaya başlamıştır (Wiechmann, 2002).

Paslanmaz çelik braketlerin birçok çalışmada en iyi sürtünme özelliklerine sahip braketler olduğu bulunmuştur. Bunda yüzey yapılarının pürüzsüzlüğü kadar

paslanmaz çeliğin ideale yakın fiziksel ve mekanik özellikleri de rol oynamaktadır (Kusy ve Whitley, 1989; 1990a; 1990b; Karamouzos ve ark., 1997).

### ***Plastik Braketler***

1970'lerde toplam hasta profilinin çok az bir kısmını oluşturan erişkin hastaların 80'li yıllarda birden bire yüzde 25 gibi ciddi rakamlara çıkması ile beraber, estetik malzemeye talep de artmıştır (Brantley ve Eliades, 2001). Bu talebi karşılamak için ilk kez plastik ve seramik braketler üretilmeye başlanmıştır. 1970'lerde ilk üretilen plastik braketler dolgunsuz polikarbonattan imal edilmiştir. 1970'lerde ilk üretildiklerinde büyük ilgiyle karşılanmış olmalarına rağmen, günümüzde dahi tam anlamı ile çözülememiş üç önemli problem yüzünden kullanımları çok sınırlı kalmıştır; ilk olarak bu braketlerde, özellikle tork kuvvetlerini iletirken çok kolay deformasyon meydana gelmektedir. Bu sorunu aşmak için metal slotlu, seramik ve fiberglas ile güçlendirilmiş polikarbonat braketler üretilmiştir. İkinci en önemli problem, özellikle ilk kuşak doldurucusuz plastik braketlerde ve çok miktarda çay ve sigara tüketen hastalarda meydana gelen renklenme problemidir. Ayrıca metal braketlere oranla daha fazla sürtünme gösterdikleri de bildirilmiştir. Kullanılan güçlendirici maddeler ve metal slotlar birinci ve üçüncü problemlerin büyük oranda aşılmasını sağlamıştır. Fakat bu modifikasyonlarla bile karmaşık diş hareketleri gereken vakalarda plastik braketler pek tercih edilmemektedir (Brantley ve Eliades, 2001; Harzer ve ark., 2004; Proffit ve ark., 2007). Ayrıca bazı modellerde kullanılan metal slotların yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu ve sürtünme kuvvetini arttırıcı yönde etki edebileceği de bildirilmiştir (Şekil 8) (Brantley ve Eliades, 2001).



**Şekil 8.** (a) Paslanmaz çelik slotlu estetik braket slot tabanı, beklenenin aksine üretim ve bitirme işlemine bağlı olarak aşırı pürüzlü yüzeye sahip olabilir (b) (Brantley ve Eliades'den, 2001).

Plastik braketlerin sürtünme özellikleri ile ilgili çalışmalara baktığımızda, plastik braketlerin bahsedilen sürtünme dezavantajının zaman içinde azaltıldığı görülmektedir. Polikarbonat braketler, Tselepis ve arkadaşlarının 1994 yılında yaptıkları bir çalışmada ve daha eski birkaç çalışmada (Riley ve ark., 1979; Frank ve Nikolai, 1980) seramik, metal ve polikarbonat braketler arasında en fazla sürtünme kuvvetini göstermesine rağmen, son yıllarda yapılan çalışmalarda plastik braketlerin sürtünme direncinin seramik braketlerden ve hatta metal braketlerden bile daha az olduğu gözlenmiştir (Suwa ve ark., 2003; Lima ve ark., 2010). Bunda önemli etkenler hiç şüphesiz ki malzeme üzerinde yapılan değişikliklerdir.

Plastik endüstrisinin her geçen gün daha da gelişmesi ile beraber, özellikle ortodonti alanında bu malzemenin geleceğinin parlak olduğu tahmin edilmektedir. Günümüzde paslanmaz çeliğe yakın fiziksel ve mekanik özellikler gösteren kompozit plastik malzemeler üretilmektedir ve yakın bir gelecekte bu malzemenin birçok alanda paslanmaz çeliğin yerini alabileceği düşünülmektedir, bu sayede ortodontik braketlerin estetik görünümü bu malzeme sayesinde bir sorun olmaktan tamamen uzaklaşacaktır.

### ***Seramik Braketler***

Seramik braketler icat edilir edilmez büyük ilgi ile karşılaşmış ve yaygın bir kullanıma ulaşmıştır. Plastik braketlerin renklenme sorunlarına ve kuvvetlere karşı dayanıksızlığına, daha iyi estetiğe sahip bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Fakat kırılganlıkları, yüksek sürtünme dirençleri, brakete temas eden karşıt çene dişlerinde yarattıkları aşınma ve skmleri sırasındaki mine hasarı gibi problemler hemen fark edilmiştir (Proffit ve ark., 2007). Seramik, malzeme biriminde metallerle ametal elementlerin yaptığı bileşiklere verilen isimdir. Bu sınıflamaya göre Alüminyum oksitten ( $Al_2O_3$ ) sofra tuzuna (NaCl) kadar geniş bir yelpazade malzeme seramik olarak adlandırılır. Diş hekimliğinde ise alçı ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), birçok dental siman (rn: kalsiyum fosfat siman) ve dental porselenler seramik malzemelere örnektir. Porselen seramik braketlerin çoğu yüksek saflıkta alüminyum oksitten (Alümina) “**tek kristal**” (safir) veya “**oklu kristalli**” (Polikristalin) yapıda üretilmektedir. Alümina braketler 1980’lerin sonlarında icat edilmiştir. Polikristalin zirkonyum oksitten (Zirkonya) retilen seramik braketler ise özelikle Japonya ve Avustralya’da imal edilmektedirler (Swartz, 1988; Brantley ve Eliades, 2001).

Polikristalin seramik braketler paslanmaz çelik braketlerdeki gibi bir sinterleme işlemi ile imal edilmektedir. Ortalama 0,3 µm boyunda alüminyum oksit parçacıkları bir bağlayıcı madde ile hamur haline getirilerek şekillendirilir, 1800 °C de fırınlanarak bağlayıcı maddenin uzaklaşması sağlanır ve seramik parçacıkları birbirine sinterlenir. Ardından slot düzeltmeleri elmas kesme aletleri tarafından yapılır ve madde içinde oluşan gerilimi ve yüzeyde oluşan düzensizlikleri azaltmak için üst üste ısıya tabi tutulur. Kesme aletlerinin kullanılmasına gerek olmayan alternatif bir yöntem ise bir bağlayıcı ile karıştırılmış alüminyum oksit parçacıklarının kalıba enjekte edilerek fırınlanmasıdır (Omana ve ark., 1992).

Bu işlem sonunda tane sınırlarına (grain boundaries) sahip polikristalin alümina mikro yapısı elde edilir. Tane sınırları kristallerin birbirine temas alanıdır ve kristal yapı içerisindeki hatalardır. Seramik içerisinde iletkenliği azaltarak gerilim yükünün belli noktalarda toplanmasını sağlar. Kristaller arasında zayıf bağlanma olduğu durumlarda korozyon alanları oluşturur, bu da braketin kırılabilirliğine ve renk değişimine sebep olabilir. Ayrıca çok sayıda kristalden oluşan yüzey doğal olarak daha yüksek pürüzlülüğe sahip olur. Polikristalin yapısı bir miktar saydamlığa sahiptir, tamamen şeffaf değildir çünkü çok sayıda kristal gelen ışığı farklı yönlerde yansıtmaktadır. Kırılmaya karşı çok zayıf bir kristaller arası yapıya sahip olmasına rağmen malzeme içinde çatlaklar oluştuğu zaman, çok kristalli yapı bu çatlakları durduracak şekilde işlev görür ve kırılabilirliğini bir miktar da olsa azaltır (Bishara ve Fehr, 1997; Brantley ve Eliades, 2001). Fakat bağlayıcı madde sebebi ile kristaller arasında kalan kusurlu bölgeler binde bir oranda olsa dahi seramik yapısını çok kırılabilir hale getirmektedir (Swartz, 1988).

Tek kristal braketler ise 2100 °C üzerinde eritilmiş yüksek saflıkta alüminyum oksidin kontrollü şartlar altında çok yavaş bir şekilde soğutulması ile üretilir. Çok yavaş soğuması sebebi ile stres birikimi olmamakta ve bu sebeple kırıklar daha az görülmektedir. Bu şekilde oluşturulan kristal çubuklara daha sonra elmas, ultrasonik veya Nd: YAG lazer kesiciler yardımı ile braket şekli verilmektedir (Bishara ve Fehr, 1997; Brantley ve Eliades, 2001).

Tek kristal braketler kristal yapılarında polikristalin braketlere oranla çok daha az yabancı madde içerir. Ayrıca ışığı yansıtan ve soğuran birçok kristal



bulunmadığından neredeyse tamamen şeffaftır ve neredeyse hiç renklenmez (Bishara ve Fehr, 1997; Brantley ve Eliades, 2001).

Tek kristal yapısındaki braketer teoride daha kuvvetli bir yapıya sahiptir, ta ki üzerinde bir çizik oluşana değin. Bu noktada çatlak hattı genişler ve braketerin çok kolay kırılmasına neden olur, kırılma direnci polikristalin braketerin de altına düşer (Proffit ve ark., 2007). Plastik braketerlere göre üstün renk stabilitesi ve kuvvet aktarımı sağlanmasına rağmen, hekimler yine de çoğu zaman bu braketerleri kullanmaktan çekinmektedirler, bunun sebebi de bu malzemelerin kırılabilirliği ve daha önemlisi braketer sökümünde diş minesinde yol açtıkları mine hasarıdır (Jeiroudi, 1991). Seramik braketer üreticileri bu braketerlerin söküm işlemlerini kolaylaştırmak için braketer tasarımında ve kompozit yapıştırıcı ile olan bağlantı biçiminde değişiklikler yapmaktadırlar (Storm, 1990; Bishara, 2001).

Seramik braketerlerin bir diğer önemli sorunu olan yüksek sürtünme kuvvetleri konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Genel kanı seramik braketerlerin sürtünmesinin daha yüksek olduğudur. Yapılan çalışmaların neredeyse hepsinde seramik braketerlerin metal braketerlere oranla daha yüksek sürtünme direncine sahip oldukları görülmüş, fakat birkaç çalışma dışında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunamamıştır (Angolkar ve ark., 1990; Kapila ve ark., 1990; Karamouzou ve ark., 1997). Farkın belirgin olmaması, bu farkın seramik braketerlerin yüzey pürüzlülüğü sebebi ile ortaya çıkmış olduğunu düşündürmektedir (Ghafari, 1992; Kusy ve ark., 1993; Saunders ve Kusy, 1994). Bir diğer faktör de seramik malzemenin sertliğinin kullanılan ark tellerinin hepsinden çok daha fazla olması olabilir. Tedavi sırasında seramik yüzeye sürtünen, özellikle  $\beta$  titanyum gibi yumuşak malzemelerin yüzeylerinin aşırı derecede aşındığı ve pürüzlendiği, ayrıca paslanmaz çelik tellerde bile çentikler oluştuğu görülmüştür. Bunlar da sürtünmeyi artırıcı yönde etki etmektedir (Omana ve ark., 1992; Kusy ve ark., 1993; Articolo ve ark., 2000).

Nispeten yeni piyasaya sürülmüş olan zirkonya braketerlerin ise kullanımları kırılabilirlikleri ve şeffaflığının daha az olması sebebiyle henüz yaygınlaşmamıştır (Brantley ve Eliades, 2001). Keith ve arkadaşlarının 1994 yılında yaptıkları çalışmada zirkonya braketerlerin sürtünme dirençlerinin kuru ortamda polikristalin alümina braketerlerden daha fazla olduğu, tükürük ile kayganlaştırılmış ortamda ise herhangi bir avantaj sağlamadıkları görülmüştür (Keith ve ark., 1994).

Son yıllarda seramik braketlerin hem tork kuvvetleri altındaki kırılma dirençlerine hem yüksek sürtünme dirençlerine bir çözüm olarak metal slotlu seramik braketler üretilmiştir. Aynı plastik braketlerde olduğu gibi, metal slotlar özellikle sürtünme açısından başarılı sonuçlar vermektedir (Kusy ve Whitley, 2001; Cacciafesta ve ark., 2003). Fakat slotta kullanılan metal kalitesi ve yüzey işlemlerinin de bu sonuçlarda etkili olacağı unutulmamalıdır.

### ***Titanyum Braketler***

Titanyum braketler özellikle nikel alerjisi olan hastalar ve paslanmaz çelikte meydana gelen korozyon sebebi ile geliştirilmiş aygıtlardır. Toplam nüfusun %10 civarında nikel alerjisi görüldüğü göz önünde bulundurulursa, yaygın kullanılmaları beklenebilir. 2000'li yılların başından itibaren kullanımları giderek yaygınlaşmıştır. Titanyumun yüksek ıslanabilirlik özelliği braket ve tüp yapıştırma sırasında büyük avantaj sağlamaktadır. Titanyum braketlerin dişe bağlanma kuvveti paslanmaz çeliğe oranla daha fazladır. Bunun bir başka sebebi de titanyumun paslanmaz çeliğe oranla üzerine gelen kuvvetleri daha iyi absorbe edebilmesidir (Kapur ve ark., 1999; Proffit ve ark., 2007).

Sürtünme dirençleri açısından değerlendirildiğinde, titanyum braketler, paslanmaz çelik braketlerle farklı sürtünme özelliklerine sahiptir. Kapur ve arkadaşlarının yaptığı araştırmaya göre, aynı teller kullanıldığında, ince tellerde titanyum braketler paslanmaz çelik braketlerden belirgin olarak daha fazla sürtünme kuvveti üretirken, tel boyu arttıkça paslanmaz çelik braketlerin sürtünme direnci daha hızlı artarak, en kalın tellerde titanyum braketin belirgin derecede üzerine çıkmaktadır (Kapur ve ark., 1999).

Titanyum, işlenmesi zahmetli ve maliyetli, pahalı bir malzemedir. Doku dostu özelliği başta olmak üzere, paslanmaz çeliğe üstün birçok özelliği olmasına rağmen, yaygın kullanıma sahip değildir.

### **Yüzey İşlemleri**

Tellerin yüzey özelliklerine benzer şekilde braketlerin de yüzey özellikleri sürtünme dirençleri açısından önemlidir. Braketlerin bu konudaki en önemli farkı çok değişik şekillerde imal edilebilmeleridir. Daha önce braket malzemeleri bölümünde anlatılan her üretim yöntemi için kendine has yüzey düzeltme işlemleri gerekmektedir.

Üretimde kullanılan malzemenin, üretim şeklinin ve yüzey bitirme işlemlerinin sonucu olarak farklı yüzeyler oluşmaktadır.

Her türlü braket, şekillendirme işleminden hemen sonra, yüzeyinde kalan kaba çapakları temizlemek için bir kesme işlemine tabi tutulur. Bunun için elmas, ultrasonik veya lazer kesiciler kullanılmaktadır. Ayrıca hemen hepsi temel bir parlatma işlemine tabi tutulmaktadır. Parlatma, mekanik olabileceği gibi elektrokimyasal olarak da uygulanabilir. Bazı braketlere ise bu aşamada sürtünmeyi ve korozyonu azaltıcı, kaplamalar uygulanmaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan kaplama yöntemleri; iyon implantasyonu, elmas benzeri karbon kaplamalar ve plazma kaplamalarıdır. Bu kaplama yöntemlerinin her birinin kendi yüzey ve sürtüne karakterleri olduğu gibi özellikle plazma kaplamalarda kullanılan hedef malzemeye göre ve hatta kaplama yöntemleri sırasında kullanılan sıcaklık, basınç gibi kaplama şartlarına göre de yüzey özellikleri değişebilmektedir. Ortodontik malzemelerin kaplanması çok geniş ve malzeme biliminin de gelişmesine paralel olarak giderek popülerlik kazanan bir alandır ve başlı başına bir araştırma konusudur (Kusy ve ark., 1992; Kobayashi ve ark., 2005).

Genel olarak metal braket yüzeyleri, özellikle sinterleme işlemi ile elde edilmiş ise daha düzgün bir yapıya sahiptir (Pratten ve ark., 1990; Karamouzos ve ark., 1997). Estetik braketler arasında polikristalin seramik braketler içeriğindeki çoklu kristal yapıları sebebi ile genellikle daha pürüzlü görünümündedir. Benzer şekilde plastik braketler de kompozit yapıları sebebiyle daha pürüzlüdür, fakat seramik kadar sert bir malzeme olmadığından parlatılması daha kolaydır. Tek kristal yapıli seramik braketler polikristalin braketlere göre daha pürüzsüz bir yüzeye sahiptir (Saunders ve Kusy, 1994), fakat kesiciler ile şekillendirilmeleri sonrasında kalan izler sebebiyle yüzey pürüzlülüğü artabilir, özellikle slot duvarlarında, döküm çelik braketlerde olduğu gibi parlatma işlemi zor olduğundan daha pürüzlü bir yüzey oluşabilir (Kusy ve Whitley, 1990a; 1990b).

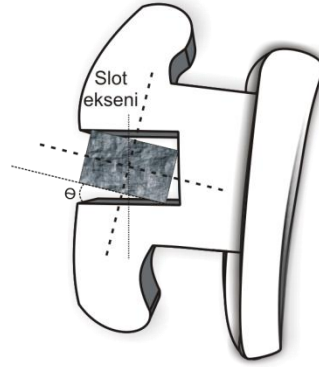
Yüzey işlemlerinin sürtünme üzerindeki etkisi Mendes ve Roussow'un bir çalışmasında araştırılmış, daha önce değinilen iyon implantasyonu ile yüzey pürüzlülüğünü giderme yönteminin sürtünme direncini azaltmak için başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür (Mendes ve Rossouw, 2003). Rose ve Zernik de (1996) çalışmalarında yüzeyleri parlatılmış metal ve seramik braketlerin parlatılmamış olanlara oranla daha az sürtünme direnci oluşturduğunu göstermiştir.

Ark tellerinde çok kritik bir faktör olmasa da braketlerin yüzey özellikleri, sürtünme açısından daha önemli bir etken olabilir. Ark tellerinin üretim şekilleri itibarı ile yüksek düzeyde pürüzler oluşması zordur, bu oluşsa da yüzey işlemleri sırasında kolayca ortadan kaldırılabilir, fakat braket slotlarında çapak ve düzensizliklerin teşhis edilmesi ve ortadan kaldırılması daha zordur.

### **Slot Derinliği ve Genişliği**

En yaygın kullanılan standart slot genişlikleri 0,018inç ve 0,022 inçtir. Slot derinliği ise değişiklik gösterebilmektedir. Değişik standart slot genişliklerinde kullanılan teller de farklıdır (Peck, 2001). Değişik slot genişliklerinde oluşan sürtünme kuvvetinin değişik olmasının asıl sebebi, aynı kalınlıkta telin, daha dar slotlarda slot duvarlarına temas etme ihtimalinin artmasıdır. Slot içerisindeki boş alan diş daha fazla ve hızlı hareket etme imkânı verir. Bu sebeple 0,022 inç genişliğe sahip bir braket slotu daha çeşitli kalınlıklarda tel kullanmaya olanak sağlar ve aynı telin daha dar bir slotta daha yüksek sürtünme oluşturması muhtemeldir. Bununla beraber, dişlerin tork ihtiyacını karşılamak için kullanılan ve slotu tamamen dolduran köşeli teller daha geniş slotlarda daha kalın olacaktır, bu da telin sertliğini arttırarak dişlere daha fazla kuvvet uygulanmasına sebep olabilir ve özellikle kalın köşeli teller kullanıldığında bir sorun oluşturabilir. Çünkü daha dar olan 0,018 inçlik slotun, 0,022 inç slot ile karşılaştırıldığında derinliği de 0,03 inç daha azdır. Sonuçta slota tam oturan teller kullanıldığında 0,022 inç slot içerisinde daha geniş ve daha kalın bir tel olacağından ileteceği kuvvet yapılan bükümlerde aşırı artacak, yıkıcı seviyeye gelebilecektir. Ayrıca slota tamamen oturan bir tel diş hiçbir hareket alanı bırakmayacak ve arada oluşan temas sürtünmeyi aşırı arttırarak diş hareketini engelleyecektir (Articolo ve Kusy, 1999). Sürtünmeyi ve aşırı kuvvetleri engellemek için slota 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 (Şekil 9) (Peterson ve ark., 1982; Peck, 2001).

Anlatılan dezavantajlar sebebiyle kullanılacak slot boyu ve ihtiyaç olan kuvvet arasında bir dengeleme yapmak gerekmektedir (Epstein, 2002). Bu dengeleme o kadar kritik öneme sahiptir ki, farklı dişlerde farklı slot genişliğine sahip braket sistemleri bile üretilmiştir (Schudy ve Schudy, 1975).



**Şekil 9.** 0,022 inç slot genişliğine sahip bir braket slotu ile bitim aşamasında kullanılan 0,019x0,025 inç tel arasında kalan boşluk sebebiyle ark teli braketin içinde belli bir açıya kadar ( $\Theta$ ) hareket edebilmekte, bu, sürtünmeyi azaltırken, fazladan tork kuvveti uygulanması ihtiyacı doğurabilmektedir

Yapılan birçok çalışmaya göre, diş hareketi ortodontik biyomekaniğin kurallarına uyularak uygulandığında, slot genişliğinin sürtünme üzerine etkisi çok azdır (Tidy ve Orth, 1989; Angolkar ve ark., 1990). Kang ve arkadaşları (2003) ile Schlegel'in (1996) slot genişliği, derinliği, boyu ve tel ile arasında oluşan kritik kontak açıları üzerine geliştirdikleri matematiksel formüllerde, slot genişliğinin sürtünme üzerine çok küçük etkileri olduğu görülmüştür.

### **Braket Tasarımı**

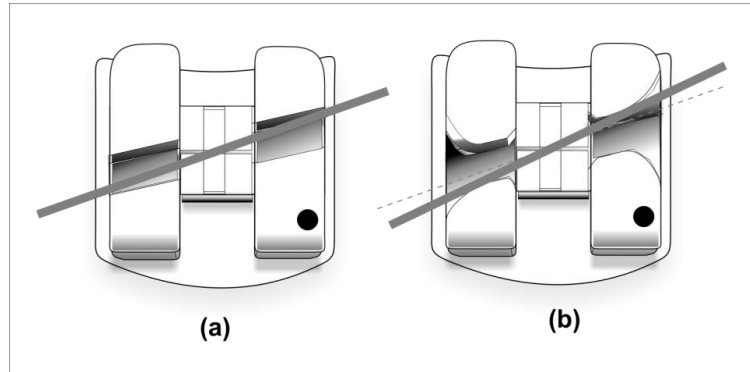
Braketler tasarımlarına göre siyam, mini-twin, tek kanatlı, kilitli braketler gibi çeşitlere sahiptir. Bunlardan kilitli braketler dışında kalan çeşitlerin birbirinden en önemli farkları braket genişlikleridir.

Braketlerin genişliğinin sürtünmeye etkisini inceleyen çalışmalar çelişkili sonuçlar vermektedir. Omana ve arkadaşları (1992) geniş seramik ve metal braketlerin daha dar olanlarından daha az sürtünme direnci oluşturduğunu gözlemlemiştir. Benzer sonuçlara sahip birçok çalışma (Drescher ve ark., 1989; Tidy ve Orth, 1989) olmasına rağmen, Omana ve arkadaşları aynı zamanda artan retraksiyon kuvvetlerinin geniş braketlerde daha fazla sürtünme kuvvetine yol açtığını öne sürmüştür.

Diğer taraftan Frank ve Nikolai (1980) ile Kapila ve arkadaşlarının (1990) yaptıkları çalışmalar da tam tersi sonuçlar vermiş, meziodistal olarak daha dar braketlerin daha az sürtünme direnci oluşturduğunu öne sürmüşlerdir. Iwasaki ve

arkadaşlarının (2003a) yaptıkları çalışmada da kısa azı dişi tüplerinin uzun olanlara oranla daha düşük sürtünme direnci gösterdiği görülmüştür.

Bu farklı sonuçların neredeyse hepsi, basit ve birbirine çok benzer laboratuvar düzeneklerinden elde edilmiştir. Sonuçların bu kadar farklı olmasının asıl sebebi ise yapılan laboratuvar çalışmalarında gerçek ortamı yeterince yansıtamamak ve sonuçlara etkileyen diğer etkenlerin tamamen standardize edilememesidir. Bununla beraber birçok araştırma ark teli ile braket slotu arasında oluşan açılanmanın sürtünmeyi artırıcı bir faktör olduğu konusunda hemfikirdir. İçerisinde aynı kalınlıkta tel olan geniş braketlerde braket köşelerinin tele temas açısı daha düşük olacağından doğal olarak braketin daha kısıtlı bir hareket alanı kalacak ve oluşan temas da sürtünmeyi arttıracaktır. Bununla beraber, olay üç boyutta incelendiğinde, düzlemsel temasların olmaması, telin esnekliği ve diğer birçok faktörün de sürtünme üzerine olacak etkisi göz önünde bulundurulduğunda, bu konuda kesin bir yargıya varmak çok zordur (Şekil 10) (Schlegel, 1996).



**Şekil 10.** (a) Kenarları keskin braket slotlarına oranla, (b) yuvarlatılmış slotlara sahip braketlerde ark telinin hareket sırasında serbestliği daha fazladır. Bu da telin köşe noktalarda kilitlenmesini geciktirmektedir

Rose ve Zernik'in (1996) çalışmalarında kenarları yuvarlatılmış slotlara sahip seramik ve metal braketlerin daha düşük sürtünme direncine yol açtıkları bulunmuştur. Bunun bir sebebi yüzey özelliklerinin değiştirilmesi olabileceği gibi bir sebebi de anlatılan braket slotu ile tel arasındaki açılanmanın artırılması olabilir. Piyasaya yeni sürülen birçok seramik braket de slot kenarları yuvarlatılmış olarak üretilmektedir.

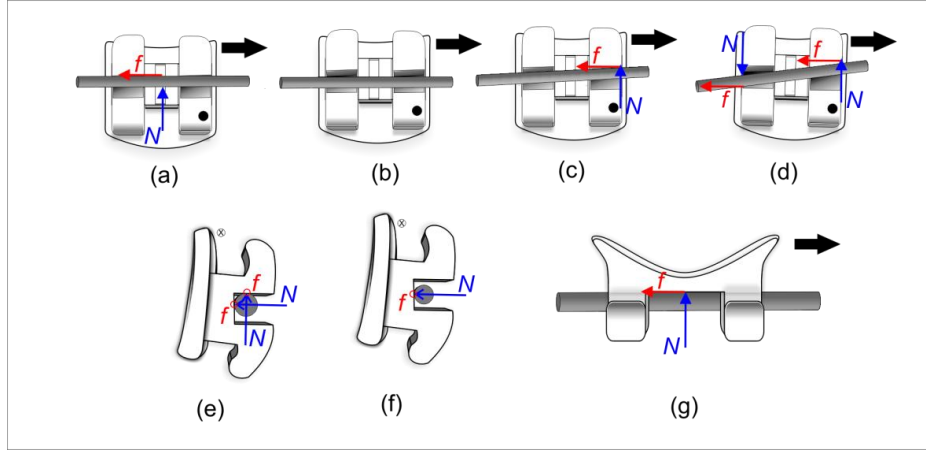
Ortodonti alanında günümüzde belki de en çok konuşulan konulardan biri olan kilitli (self-ligating) braket sistemleri ise teknoloji ve pazarlama tekniklerinin bu alanda

geldiği son noktayı göstermektedir. Kilitli braketler telin braket slotuna kendi üzerlerinde bulunan kapak veya klipsler ile bağlanmasını sağlayarak, hekimin ligatür takma işlemi ile geçirdiği zamanı büyük oranda kısaltmaktadır (Chen ve ark., 2010). Fakat üreticiler tarafından öne çıkartılan en önemli özellikleri, ligatürün tele temasını önleyerek sürtünmenin azaltmasıdır, hatta bazı reklamlar sürtünmesiz ortam yarattıkları iddiasını bile ortaya atmıştır.

Daha önce anlatıldığı üzere, temas ve hareket olan her yüzeyde sürtünme oluşur, burada temas sadece ligatürle tel arasında değil, tel ile braket slotu arasında oluşmaktadır. Yani braketler ve teller kullanılan herhangi bir ortodontik tedavi sırasında sürtünme oluşmaması imkânsızdır. Kilitli braketlerin bu şekilde tanıtılmaları pazarlama stratejisinin önemli bir başarısı sayılabilir. Bununla beraber, tedavinin özellikle ilk safhalarında bu aygıtların sürtünmeyi azalttığını ve tedavi sonuçlarını geliştirdiğini bildiren birçok çalışma mevcuttur (Berger, 1990; Shivapuja ve Berger, 1994; Kapur ve ark., 1998; Alpern, 2008). Popüler bir konu olmasından ötürü günümüzde hala bu aygıtlarla ilgili tartışmalar devam etmektedir. En önemli tartışma konularından birisi de kilitli braket sistemleri üzerine yapılan çalışmaların özellikle sürtünme konusunda yeterli bilimsel temel sağlamadığı ve yapılan reklamların objektif olmadığı yönündedir (Gottsegen, 2010; Marshall ve ark., 2010; Montasser, 2010).

### **Braket Slot Açıları**

Braket slotu ile telin arasında oluşan herhangi bir açının sürtünme kuvvetlerini artırıcı etkisi olduğuna daha önceki bölümlerde değinilmişti. Bu açılanmalar sürtünme direnci açısından o kadar kritik bir değişkendir ki, tek başına diş hareketini durdurabilecek direnç yaratabilir. Braket slotu ile tel yüzeyi arasında oluşan ve diş hareketinin durmasına sebep olan açılanmaya kritik temas açısı adı verilmektedir ve matematiksel hesaplar sonucunda slot boyundan bağımsız olduğu, kullanılan tel, braket genişliği gibi değişkenlerden etkilendiği belirtilmiştir (Schlegel, 1996; Kusy ve Whitley, 1999; Kang ve ark., 2003). Kusy ve arkadaşlarının (1999) yaptıkları çalışmada ise bu açının ortalama 5 derece civarında olduğu bulunmuştur (Şekil 11).



**Şekil 11.** Bir köpek dişi braketini ile ark teli arasında etkiyen kuvvetlerin üç boyutta görünümü. Daha basit bir anlatım için ligatürler ve ligatürlerin uyguladıkları kuvvetler gösterilmemiştir. (a)'dan (d)'ye kadar dişin gövdesel hareketi sırasındaki konum değişiklikleri görülmektedir. (e) ve (f) meziyalden, (g) ise okluzalden aynı vektörlerin görünümüdür. "o" slota paralel uzanan kuvvet vektörünü göstermektedir. (d) deki görüntü gibi, ark teli ile braket slotunun arasındaki açı 5 dereceyi geçtiğinde, kritik temas açısı oluşmakta ve diş hareketi durmaktadır. Diğer aşamalarda (a,b,c) sürtünme kuvveti (f) daha az etkili gibi görünse de, slota başka açılardan bakıldığında (e, f, g) sürtünme kuvvetinin başka yüzeylerde de olduğu açıkça görülebilir. Kuvvet vektörünün her yüzeye uygulanması farklı olduğundan her yüzeyde farklı sürtünme kuvvetleri meydana gelebilir. Bu sebeple slotun üç boyutlu geometrisi kritik temas açısı için önemli bir faktördür (Kapila'dan (1990) uyarlanmıştır)

Braket slotları braketlerin üzerine, her dişin kendi ihtiyacına göre gerekli olan eğimleri vermek üzere açılı yerleştirilmektedir. Ortodontik tedavide amaç çoğu zaman dişlerde var olan konum bozukluklarını düzeltmek olduğundan, tel ile slot arasında oluşan açılanmaların önüne geçmek neredeyse imkânsızdır. Frank ve Nikolai'nin (1980) yaptıkları çalışmada düşük dereceli açılanmalarda sürtünme kuvvetleri üzerindeki belirleyici faktörün ligatür kuvveti ve braketler arası mesafe olduğu, fakat açılanma arttığında, diğerlerine göre daha baskın bir faktör olduğu bulunmuştur. Açılanmalar sadece tek düzlemde olmayıp braket ve telin temas ettiği her üç düzlemde de meydana geldiğinden, tedavi sonuna kadar sürtünme açısından belirleyici faktör olmaktadır (Schlegel, 1996).

Konu ile ilgili yapılan bütün çalışmaların üzerinde birleştiği nokta her üç düzlemde de slot ile tel yüzeyi arasındaki açılanma arttıkça sürtünmenin arttığıdır (Frank ve Nikolai, 1980; Schlegel, 1996; Kusy ve Whitley, 1999; Mah, 2002; Thorstenson ve Kusy, 2002; Kang ve ark., 2003).



#### **d. Ortodontik Aygıtlar**

##### **Braketler Arası Uzaklık ve Seviye Farkları**

Braket slotlarının uzunluğunun bir etkisi de telin mekanik işlevi üzerine olmaktadır. Uzun braketlerde, ardışık dişlerde braketler arası uzaklık kısaldığı için serbest kalan tel de daha kısa olacak, böylece telin çalışma aralığı da kısılacak, aynı kuvvetle ark teli daha az deformasyona uğrayacak veya dişlere binen kuvvet artacaktır (Drescher ve ark., 1989; Schudy ve Schudy, 1989). Aksi halde ise tel aşırı deformasyona uğrayıp, kritik temas açısı aşılabılır veya hareket ettirilen dişte paralel hareket yerine eğilme gözlenebilir (Huffman ve Way, 1983).

Kullanılan telin sertliği arttıkça, belli bir açılanmada braket kenarlarına uyguladığı kuvvet ve dolayısıyla sürtünme de artacağından, tele mümkün olduğunca çalışma mesafesi vermek mantıklı gibi gözükmektedir. Braketler arası mesafenin sürtünme açısından önemini inceleyen birçok çalışma, braket uzunluğu ve braketler arası mesafe ilişkisinin sürtünme kuvvetlerine etkisini daha önce de belirtildiği gibi matematiksel olarak kanıtlayamamıştır (Schlegel, 1996; Mah, 2002; Kang ve ark., 2003).

Braketler arasındaki seviye farkları slot ve tel açılanması yarattığından sürtünme üzerinde etkili bir faktördür. Bu aşamada sadece tek dişte değil, ark telinin deformasyonu sebebi ile seviye farkı olan, hareket ettirilecek dişin her iki yanındaki braketlerin slotunda da benzer şekilde tel teması oluşarak, telin slot içindeki hareketini iyice zorlaştırabilmektedir (Prososki ve ark., 1991; Schlegel, 1996).

##### **Retraksiyon Kuvvetleri**

Retraksiyon kuvvetlerinin belirlenmesi için sürtünme direnci ve dokuların biyolojik sınırlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Üstelik uygulanan kuvvetlerin bileşkesini değiştirebilecek herhangi bir etken tedavi gidişatını etkileyebilir (Kusy ve Camilla Tulloch, 1986). Hesaplama göz önünde bulundurulması gereken bir etken de retraksiyon kuvvetlerinin kendisidir. Biyolojik sınırlarla beraber, bu kuvvetlerin mekanik sınırları da vardır. Yapılan bazı çalışmalarda retraksiyon kuvvetleri ile sürtünme direnci arasında bir doğru orantı olduğuna değinilmiştir (Tidy ve Orth, 1989). Retraksiyon kuvvetleri uygulandığı dişin direnç merkezine uzak bir noktadan uygulandığı zaman doğal olarak bir miktar rotasyon görülecek ve bu da ark teli ile

braket slotu açılanmasıyla sonuçlanacaktır. Bunu engellemek için kuvvet mümkün olduğunca direnç merkezi üzerinden geçirilmeye çalışılmalıdır (Yamaguchi ve ark., 1996).

## **2. Biyolojik Faktörler**

### **a. Tükürük**

Kayganlaştırıcı malzemeler triboloji biliminin neredeyse tamamen farklı bir uğraş alanıdır. İki cismin hareketi sırasında ortamda olan sıvı her zaman kayganlaştırıcı görevi görmeyebilir. Hareket eden cisimler ile sıvının fiziksel ve kimyasal etkileşimleri sürtünmeyi arttırabilir veya azaltabilir. Kullanılan sıvı, sürtünme yüzeyleri birbirine çok yaklaştığında bir vakum ortamı yaratarak yüzeyleri birbirine doğru çekerek kilitlemelerini sağlayabilmektedir (Zheng ve Streater, 2004). Bu sebeple tükürüğün braket ve ark teli arasındaki harekete etkisi de çok dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Stannard ve ark., 1986).

Tükürük hem klorit ve fosfat iyonları gibi inorganik, hem de organik içeriği sebebiyle ağız ortamının birincil etkenidir. İyi tamponlanmış bir çözelti olmasına rağmen, yiyecek ve içecek alımı ve mikrobiyal aktivite sırasında pH değişiklikleri olabilmektedir. Ağız içinde kullanılan herhangi bir aygıt ta pH dalgalanmaları, elektrokimyasal aktivite, sıcaklık değişiklikleri ile aşındırıcı ve mekanik kuvvetler gibi kimyasal veya fiziksel aktivitelere ve sonucunda yıpranmaya maruz kalmaktadır (Brantley ve Eliades, 2001). Bu zorlu şartlar altında ağız içi aygıtlarda kullanılacak bazı maddelerin korozyona ve bozulmaya uğramaları kaçınılmazdır. Sabit tedavi aygıtlarında oluşacak bozunuma ve korozyon aygıtların temas yüzeyini etkileyebilir, yüzey özelliklerini tamamen değiştirebilir hatta örneğin korozyon sonucu ortaya çıkan kimyasal maddeler yüzeyler arasında kimyasal ve fiziksel etkileşimler olmasına sebep olabilir. Böyle bir durumda maddelerin sürtünme özelliklerinin nasıl etkileneceğini kestirmek çok zordur (Kajdas ve ark., 1990). Bununla beraber tükürüğün her bireyde belli bir yoğunluğu ve içeriği bulunmamaktadır. Tükürüğün içeriği farklı kişilerde hatta aynı kişide egzersiz sonrasında bile değişebilmektedir (Chicharro ve ark., 1998).

Tükürüğün ortodontik aygıtlardaki sürtünme kuvvetleri üzerine etkileri sadece metal aygıtlar için geçerli değildir. Sürtünme kuvvetine büyük etkisi olan ligasyon metodu üzerine de etkileri bulunmaktadır. Özellikle elastomerik ligatürler

kullanıldığında sürtünme kuvvetlerinin tükürük etkisi ile düştüğü bilinmektedir (Hain ve ark., 2003). Ayrıca Hain ve arkadaşları (2006) ile Bortoly ve arkadaşları (2008), elastomerik ligatürlerin sürtünme kuvvetlerine etkisinin zaman içinde tahmin edilemeyecek derecede değişebildiğini de göstermişlerdir.

Tükürüğün sürtünme üzerine etkisini inceleyen çalışmaların test düzeneklerinde doğal insan tükürüğü ve doğal tükürüğün yapısını taklit eden yapay tükürük kullanılmıştır (Andreasen ve Quevedo, 1969; Garner ve ark., 1986; Stannard ve ark., 1986; Baker ve ark., 1987; Gal ve ark., 2001). Daha önce de bahsedildiği gibi doğal tükürüğün içeriği kişiden kişiye ve aynı kişide farklı zamanlarda değişebildiğinden, çalışmalarda bir standart oluşturmak adına yapay tükürük kullanmak mantıklı gözükmemektedir. Fakat bu amaçla kullanılan yapay tükürük formülasyonları çok çeşitlidir ve kimyasal ve fiziksel özellikleri değişebilmektedir (Gal ve ark., 2001). Bu değişiklikler de doğal olarak çalışmalara farklı sonuçlar olarak yansımaktadır. Baker ve arkadaşları (1987) yapay tükürük ve gliserin içerikli solüsyonun sürtünmeye etkisini inceledikleri çalışmada, gliserin solüsyonunun herhangi bir etkisini gözlemleyememiş fakat Xero-Lube yapay tükürüğün sürtünme kuvvetlerini %15-19 arasında azalttığını belirtmişlerdir. Bununla beraber Andreasen ve Quevedo'nun (1969) çalışmasında tükürüğün sürtünme üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlara karşın, Stannard ve arkadaşları (1986) yapay tükürüğün paslanmaz çelik yüzeyler ile paslanmaz çelik, nikel titanyum ve beta titanyum teller arasında oluşan sürtünme direncini belirgin ölçüde arttırdığını, teflon yüzey ile paslanmaz çelik arasında ve kobalt krom tel ile paslanmaz çelik yüzey arasında oluşan sürtünme direncine ise hiçbir etkisi olmadığını bulmuşlardır. Pratten ve arkadaşlarının (1990) çalışmalarının sonuçları da bu bulguları desteklemektedir.

Tükürüğün sürtünme direncine etkisini değerlendirebilmek için kullanılan yapay ya da doğal tükürüğün ortodontik aygıtların imal edildiği maddelerle etkileşimlerini çok iyi bilmek gerekmektedir. Bununla beraber, kullanılan malzemeye göre kişiden kişiye yapısı ve özellikleri bu kadar değişen bir faktörü tamamen standardize ederek laboratuvar ortamına aktarmanın, gerçek ağız içi koşulları taklit etmek adına ne kadar doğru olduğu da ayrıca araştırılmalıdır.

### **b. Diş Plağı ve Kazanılmış Pelikül**

Diş plağı ilk olarak tükürük glikoproteinleri ve ekstraselüler polisakkaritlerden oluşma bir matriks içerisindeki bakterilerden oluşur. Bu matriks plağın mekanik temizleme haricinde tükürük veya çalkalama ile uzaklaştırılmasını önler. Ardından mineralize olarak diş taşına dönüşür. Ortodontik tedavi için doktora başvuran hastaların birçoğunun dişlerinde, çapraşıklığa bağlı olarak daha fazla mikrobiyal tutunma alanı bulunmaktadır. Ortodontik aygıtlar dişlere yapıştırıldığında da bu tutunma alanları daha da artmaktadır. Aynı zamanda, ortodontik tedavi gören bir hastanın oral hijyeni sağlanması normal bir bireyden daha zordur (Brantley ve Eliades, 2001). Ortodontik tedavi gören bireylerde dental plak miktarının daha hızlı yükseldiği ve oluşan plağın pH'nın normal plağa göre daha düşük olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Chatterjee ve Kleinberg, 1979). Oluşan plağın çürük aktivitesini arttırmaktan başka kullanılan ortodontik aygıtların yüzey özelliklerine de etkisi olabilmektedir.

Eliades ve arkadaşlarının (1995) farklı ortodontik braket malzemelerinin ıslanabilirliklerinin ve erken pelikül oluşumunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, kritik yüzey gerilimi en yüksek paslanmaz çelik bulunmuş, bunu sırasıyla polikarbonat ve seramik izlemiştir. Bu sonuçlara göre seramik ve polikarbonat braketlerde plak tutulumunun paslanmaz çelik braketlere göre daha zor olduğu tahmin edilmektedir. Fournier ve arkadaşları (1998) ise yaptıkları çalışmada tam tersi bir sonuç bulmuş, paslanmaz çelik braketlerde plak tutulumunun daha az olduğunu rapor etmiştir.

Bozulan yüzey özellikleri ve kullanılan braket ve teller üzerinde oluşan biyofilm tabakası sayesinde yüzeye tutunan organik ve inorganik maddeler mekanik kilitlenme alanları yaratarak tükürüğün yapışkan özelliği ile beraber sürtünmeyi arttırabilmektedir (Drescher ve ark., 1989).

### **c. Korozyon**

Korozyon bir metalik malzemenin çevresel etkenler sayesinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonudur. Ağız içinde korozyon ortodontik alaşımların pozitif metal iyonlarının klorit, sülfid ve oksitler gibi daha kararlı bileşikler yapmak üzere serbest kalmaları ile gerçekleşmektedir. Demir, nikel, molibden, krom ve titanyum gibi termodinamik olarak kararsız metaller ark teli ve braket imalatının vazgeçilmez ham maddeleridir. Ayrıca ortodontik aygıtlardaki lehimlerin ana maddelerini de genellikle

gümüş, bakır, çinko bazen de krom, nikel, demir hatta altın oluşturmaktadır (Brantley ve Eliades, 2001).

Metalde oluşan korozyon miktarı sadece içeriğindeki metal yüzdelere bağlı değildir. Metal yüzeyindeki stresin miktarına, alaşımın homojenliği ve temasa geldiği yüzeyin içeriğine de bağlıdır. Düzgün, homojen bir yüzeye sahip bir metalin korozyona uğraması, homojen olmayan, pürüzlü yüzeye sahip lehim bölgelerinden çok daha zordur (Brantley ve Eliades, 2001).

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan paslanmaz çelik braketlerin yüksek ısıda geri dönüştürülerek yeniden kullanılması, bu braketlerin korozyon direncini azaltmaktadır. Braketin mekanik özelliklerini görünür biçimde etkilemese de oluşan yabancı maddelerin sağlığa zararlı etkileri olabilmektedir (Rahm ve ark., 2006).

Daha önce değinildiği gibi, ağız içi şartları tükürüğün içeriği, kullanılan aygıtlar ve kötü hijyen sebebiyle düşen pH, vücudun başka hiçbir bölgesinde olmayan ısasal değişiklikler ve mekanik aşınma, metal ortodontik aygıtlar için zorlu şartlardır. Hâlihazırda yaygın olarak braket ve tel üretiminde kullanılan metal alaşımlarının bile korozyon açısından direnci tartışmalıdır ve üzerinde daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Korozyon ortodontik sürtünme açısından hem bir sebep hem de bir sonuç olarak düşünülebilir. Pürüzlü yüzey bahsedildiği gibi korozyonu kolaylaştırabileceken, oluşan korozyon sonucu bozulan yüzey özellikleri de yine sürtünmeyi artırıcı rol oynayabilir (Lee ve ark., 2010). Bentahar ve arkadaşlarının (2010) yaptıkları çalışmada, laboratuvar şartlarında korozyona maruz bırakılmış ark tellerinin tribolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Bir gün boyunca yapay tükürük içerisinde bekletilen örneklerde başlangıç korozyonu oluşmuş ve bu tellerde sürtünme bir miktar düşmüş olsa da, örnekler bir hafta boyunca tükürük içinde bekletilince sürtünme direnci artmış ve eski seviyeye gelmiştir. Yapılan çalışma korozyonun sürtünme direnci açısından belirleyici bir etken olabileceğini göstermektedir.

Kullanılan malzemelerde ağız içi ortamda çok fazla korozyon görülmemesi sürtünme açısından önemli değişikliklere sebep olmasını engellese de konunun daha fazla araştırılmaya ihtiyacı vardır.

Tüm bu anlatılan faktörlerle beraber, ortodontide meydana gelen sürtünme kuvvetleri henüz tamamı anlaşılmayan biyolojik değişkenler sebebi ile hastadan hastaya da değişmektedir ve günümüz teknolojisi ile bütün bu değişkenleri kontrol altında tutarak değerlendirebilmek imkânsız görünmektedir (Kusy ve Whitley, 1997).

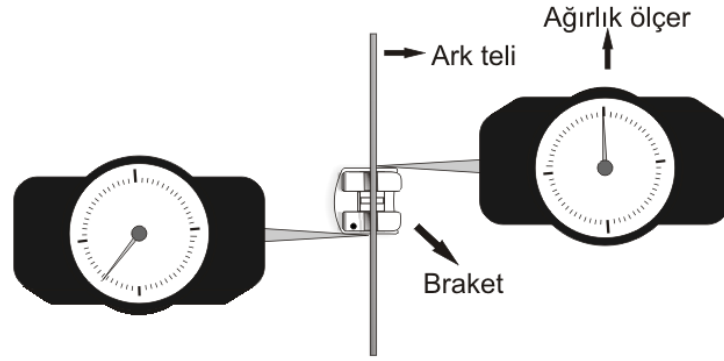
#### **2.2.4. Ortodontide Sürtünme Kuvvetlerinin Ölçülmesi**

Sürtünme kuvvetlerinin araştırılması için yapılan araştırmalar laboratuvar ve klinik araştırmalar olarak iki ana gruba ayrılabilir. Klinik araştırmalarında genelde bir diş veya diş grubu değişik braketler veya ark telleri yardımı ile hareket ettirilerek veya ön dişlerde çapraşıklık çözülmesi veya köpek dişi retraksiyonu sırasındaki hareket hızı ve miktarı hesaplanarak bu malzemelerin oluşturdukları göreceli sürtünme kuvvetleri belirlenmektedir (Huffman ve Way, 1983; Iwasaki ve ark., 2003a; 2003b; Pandis ve ark., 2007).

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 (Huffman ve Way, 1983; Braun ve ark., 1999; Franchi ve ark., 2006).

Ortodonti alanında sürtünme konusunda yapılan çalışmaların ilk örneği Andreasen ve Quevedo tarafından 1969 yılında yapılmıştır. Bu araştırma, kullanılan değişkenlerin sonraki birçok çalışmaya temel oluşturması açısından önemlidir (Peterson ve ark., 1982). Yaptığımız çalışmada da sonuçları tüm bu çalışmalarla karşılaştırmak adına benzer değerler kullanılmıştır. Andreasen ve Quevedo (1969) çalışmalarında dört farklı kalınlıktaki ark teli ile üç farklı uzunluktaki paslanmaz çelik braket arasındaki sürtünme kuvvetini farklı angulasyon derecelerinde kuru ve tükürükle ıslatılmış olarak ölçmüş sonuçta da artan angulasyon ve tel kalınlığının ayrıca köşeli tel kullanılmasının sürtünme kuvvetini kayda değer ölçüde arttırdığını bulmuşlardır. Tükürüğün ise sürtünme üzerinde önemli bir etkisini gözlemleyememişlerdir. Sonrasında aynı düzeneği Peterson, Spencer ve arkadaşları da farklı değişkenlerin etkisini araştırmak için kullanmıştır. Kullanılan düzenek bir yüzey üzerinde sabitlenmiş, braket slotundan geçirilmiş ve ligatürle brakete bağlanmış ark teli, tel üzerinde hareket eden bir braket ve braketin hareket yolu üzerinde ön ve arkasında brakete uygulanan ve

braketin uyguladığı kuvveti görmeye yarayan iki kuvvet ölçücünden oluşturulmuştur (Şekil 12).



**Şekil 12.** Andreasen (1969) çalışmalarında kullandıkları deney düzeneği sabit bir tel üzerinde hareket eden bir braket ve braketin hareket yönünde ön ve arkasında yer alan iki adet ağırlık ölçerden oluşmaktadır. Braket belli bir kuvvet ile harekete zorlanırken kuvvetin bir kısmı sürtünmeyi yenmek için harcanacak, kalan kısım ise diğer taraftaki ağırlık ölçerden okunabilecektir. İlk kuvvetten son kuvvetin farkına bakarak sürtünme kuvveti için harcanan miktar bulunabilmektedir

Test düzeneği aslında çok basit ve ilkel bir düzenek olmasına rağmen, yakın bir zamana kadar bu konuda yapılan deneysel çalışmalarda temelde benzer yapıda düzenekler kullanılmıştır. En önemli değişikliklerden birisi sürtünme ve çekme kuvvetinin miktarını ölçen evrensel test makinesi kullanılmaya başlanmasıdır. Bu cihaz ile hem hareket sırasında birim süre başına çok daha fazla ölçüm yapılabilmiş, hem de birçok farklı değişkenin aynı anda değerlendirilebilmesini sağlamıştır. Daha önceki sistemle ağırlıklı olarak statik sürtünme kuvvetleri ölçülebilirken, bu cihaz dinamik ve statik sürtünme kuvvetlerini ölçebilmeyi ve bu kuvvetler arasında değerlendirme yapabilmeyi sağlamıştır (Garner ve ark., 1986).

Laboratuvar çalışmalarında genelde kullanılan düzenekler incelendiğinde, önceki bölümlerde anlatılandan başka, sürtünme kuvvetlerini etkileyecek bir faktörün daha ortaya çıktığını görebiliriz; retraksiyon hızı. Coulomb yasasına göre sürtünme kuvvetleri sürtünme hızından bağımsız olmasına rağmen, bazı durumlarda maddelerin bu yasaya uymadığı görülmüştür (Stannard ve ark., 1986). Ortodontik mekanikte de

durum farklı değildir. Kusy ve Whitley'in (1989) yaptıkları laboratuvar çalışmasında farklı hızlarda farklı maddelerin sürtünme özelliklerinin değişebildiği görülmüştür.

Ortodontik sürtünme kuvvetlerinin ölçülmesindeki son eğilim ise gelişmiş tribolojik aygıtlar kullanmaktır. Aslında triboloji biliminde daha hassas sürtünme ölçümleri yapabilmeyi sağlayan cihazlar nispeten uzun zamandır kullanılmaktadır. Hatta diş hekimliği malzemeleri araştırmalarında da bir süredir kullanılmaktadır. Fakat bu cihazlar ortodonti alanında kullanılmaya ancak son birkaç yıldır başlanmıştır. Bunun sebebi hem bu cihazları ortodontiye uyumlayacak ve çalışmalarını denetleyecek triboloji uzmanlarına ihtiyaç olması hem de bu kadar gelişmiş cihazların maliyetli olmasıdır.

Gelişmiş tribolojik ölçüm aygıtlarının en önemli avantajları; bu cihazların birim süre başına çok daha fazla ve hassas ölçümler yapabilmesi, ortam ısısı nemi, malzeme aşınması gibi değişkenlerin sürtünme kuvvetlerine etkilerinin de çok ayrıntılı bir şekilde incelenebiliyor olması, sürtünme hızının ilkel düzeneklere göre çok daha düşük olması, özellikle "**fretting device**" adı verilen ve ayarlanabilir salınımlar yapan cihazlarla dişlere uygulanan kuvvetler ve diş hareketinin simüle edilebiliyor olmasıdır. Bu tür cihazlarla belli aşınma modelleri oluşturularak bu modellerin sürtünmeye etkileri de incelenebilmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi; sürtünme kuvvetini oluşturan birçok biyolojik faktör henüz tam anlamı ile anlaşılamamıştır ve hastalar üzerinde yapılan araştırmalarda bu faktörler tam anlamı ile kontrol edilememektedir (Omana ve ark., 1992). Örneğin hastadan hastaya değişebilen tükürük miktarı, tükürük içeriği, çiğneme kuvvetleri gibi etkenler yanında hastanın sağ ve sol grup dişlerinde tek taraflı yeme alışkanlığı sonucu oluşabilecek farklılıklar bile araştırma sonuçlarını yanlış yönlendirebilecektir. Ayrıca, henüz bu kuvvetlerin ağız içinde kesin olarak ölçülebilmesini sağlayan kullanışlı bir yöntem bulunamamıştır (Badawi ve ark., 2009). Bu sebeple ortodontik malzemeler arasında oluşan sürtünme kuvvetlerini ölçerken, ölçüm şartlarını her malzeme için standart hale getirmek ancak laboratuvar şartlarında mümkün olmaktadır.



### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Örnek Sayısının Belirlenmesi**

Örnek sayısının belirlenmesi için güç analizi kullanılmıştır. Arıcı ve Akdeniz'in (2009) verilerine göre, ilk 4 grubun ortalama standart sapması alınarak yapılan tek yönlü ANOVA güç analizi sonucunda, her bir grupta 10'ar gözlem (5'er adet 0,018 inç, 5'er adet 0,022 inç slotlu örnek) ve toplamda 40 gözlem yapıldığında testin gücü % 99,46 bulunmuştur.

#### **3.2. Test Örnekleri**

Sürtünme kuvvetleri ölçülen ve stereo mikroskop ile incelenen ortodontik braketler en sık kullanılan braket modelleri arasından seçilmiştir. Braketler temel olarak paslanmaz çelik, monokristalin seramik, polikristalin seramik, metal slotlu seramik, plastik ve metal slotlu plastik braketler olarak gruplandırılabilir. Metal slotlu plastik ve seramik braketlerde sürtünme açısından tek önemli etkenin metal slot olduğu düşünüldüğünden, bu iki braket türü tek grup altında "metal slotlu estetik (MSE)" braketler olarak toplanmıştır. Günümüzde yaygın kullanımda olan her tür braket malzemesinden örneğin çalışmaya dâhil edilmesine özellikle dikkat edilmiştir.

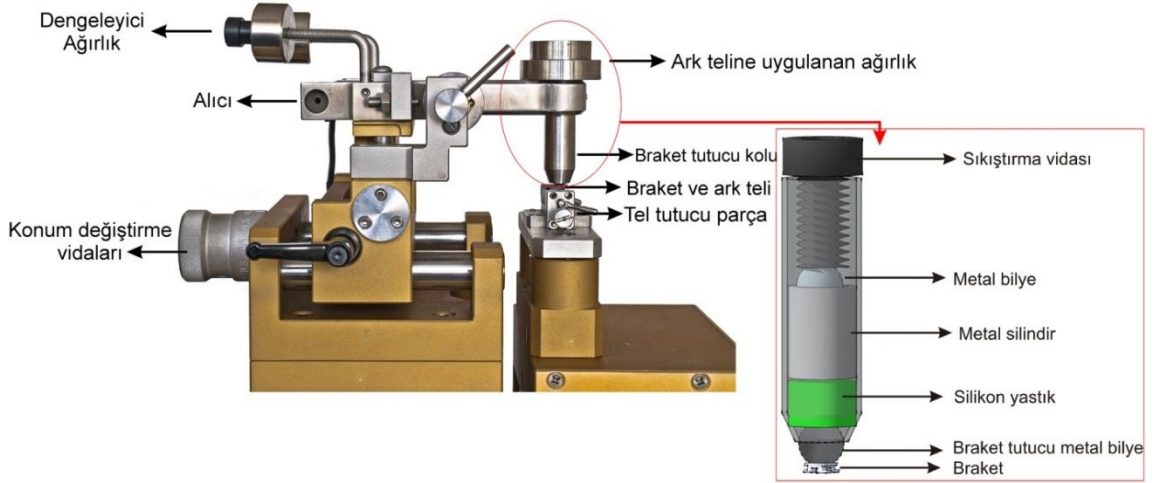
Çalışmaya dahil edilen braketler ve bu braketlerin slot yapıları Tablo 1'de listelenmiştir. Power analizi sonucuna uygun olarak bu braketlerden 5'er adet 0,022 inç slot genişliğine sahip örnek 0,019x0,025 inç genişliğinde köşeli çelik tel ile 5'er adet 0,018 inç slot genişliğine sahip örnek ise 0,017x0,025 inç genişlikteki köşeli paslanmaz çelik tel ile test edilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan braketlerin özellikleri

| Grup          | Örnek kodu | Braket malzemesi | Slot malzemesi                | Örnek sayısı |             | Üretici firma  |
|---------------|------------|------------------|-------------------------------|--------------|-------------|--|
|               |            |                  |                               | 0,022" Slot  | 0,018" Slot |  |
| Miniuni-twin  | MUT        | Metal            | Metal                         | 5            | 0           | 3M Unitek,<br>Monrovia,<br>California,<br>USA                |
| Clarity       | CLA        | Seramik          | MSE (Metal slotlu estetik)    | 5            | 5           |  |
| Transcend6000 | TRC        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| Pure          | PUR        | Seramik          | Monokristal                   | 5            | 5           | Ortho<br>Technology,<br>Tampa,<br>Florida, USA               |
| Reflections   | RFL        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| Encore        | ENC        | Seramik          | MSE                           | 5            | 5           |  |
| Avalon        | AVA        | Kompozit         | MSE                           | 5            | 5           |  |
| Orthoflex     | OFL        | Plastik          | Poliüretan                    | 5            | 5           |  |
| Radiance      | RDN        | Seramik          | Monokristal                   | 5            | 5           | American<br>Orthodontics,<br>Sheboygan,<br>Wisconsin,<br>USA |
| Virage        | VRG        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| 20/40         | 2040       | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| Sierra        | SRA        | Kompozit         | MSE                           | 5            | 5           |  |
| Silkon plus   | SLK        | Plastik          | Plastik                       | 5            | 5           |  |
| Aspire gold   | ASG        | Seramik          | MSE (Altın-Palladyum kaplama) | 5            | 5           | Forestadent,<br>Pforzheim,<br>Germany                        |
| Brillant      | BRL        | Plastik          | Polioksimetilen               | 5            | 5           |  |
| Fascination 2 | FN2        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           | Dentaurum,<br>Ispringen,<br>Germany                          |
| Jewels        | JW         | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| Elegance      | ELG        | Plastik          | MSE                           | 5            | 5           |  |
| Contour       | CON        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           | ClassOne<br>Orthodontics,<br>Carlsbad, CA,<br>USA            |
| Acclaim       | ACL        | Seramik          | Polikristal                   | 5            | 5           |  |
| Inspire ICE   | ICE        | Seramik          | Monokristal                   | 5            | 5           | Ormco<br>Corporation,<br>West Collins<br>Orange, CA,<br>USA  |
| Spirit MB     | SMB        | Plastik          | MSE                           | 5            | 5           |  |
| Optimesh      | OPM        | Metal            | MSE                           | 5            | 5           |  |

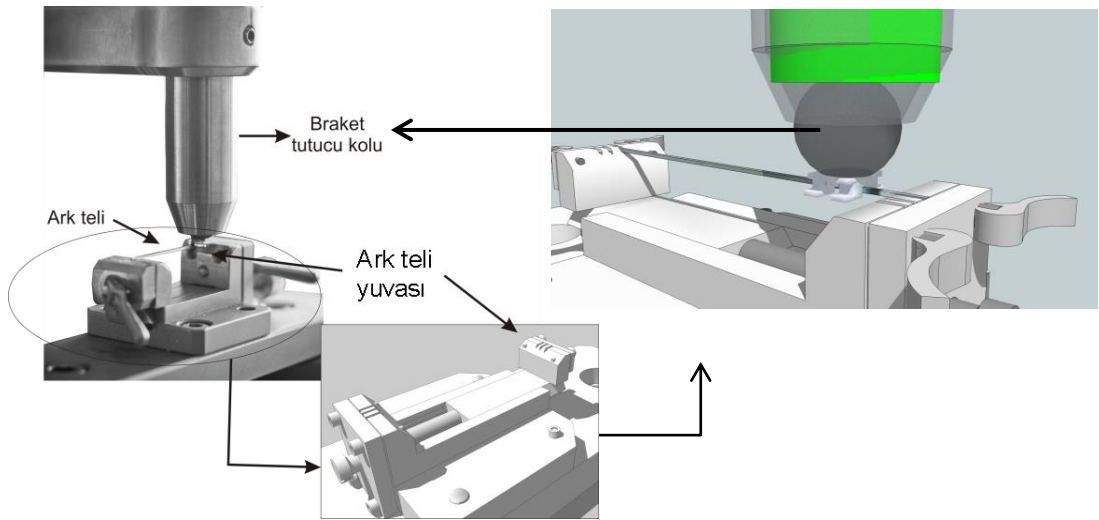
### 3.3. Sürtünme Testleri

Sürtünme test düzeneği bu çalışma için özel olarak tasarlanmıştır. Sürtünme değerleri, ortodontik braket ve tel kullanımı için uyarlanmış bir tribometer cihazı (Dönme/Gidip-Gelme Hareketli) (CSM Instruments SA Rue de la Gare 4, Galileo Center, CH-2034, Peseux, İsviçre) ile ölçülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Sürtünme katsayısı ölçümünde kullanılan cihaz parçaları ve braket tutucu kolun tasarımı

Cihazda ark teli hareketli alt tutucuya, braket de sabit ve algılayıcının bağlı bulunduğu üst kola yerleştirilmiştir. Deney düzeneği alt ve üst kolların görünümü Şekil 14'te verilmiştir.



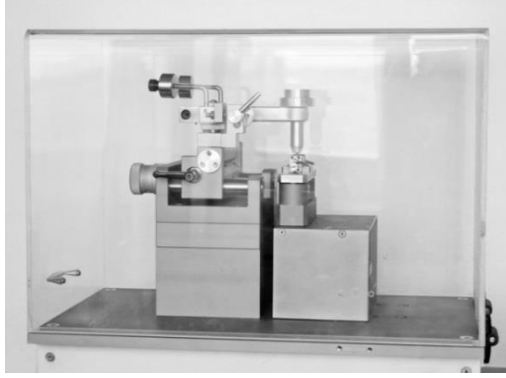
Şekil 14. Tel tutucu aygıt ve ark telinin yerleştirildiği yuvaların şematik çizimi

Testler sırasında ark telinin braket slotlarının yan duvarına teması sürtünme kuvvetini arttırıp, temas miktarı kontrol edilemeyeceğinden, ark teli ile braket slotu yan duvarlarının mümkün olduğunca az temas etmesi istenmiştir. Bu sebeple test edilecek ark teli yerleştirilmeden önce braket slotunun tamamını dolduracak bir rehber ark teli (0,022 inç slotlu braketler için 0,019x0,025 inç, 0,018 inç slotlu braketler için 0,018x0,025 inç kalınlığında teller) tel oyuğuna yerleştirilmiştir. Test edilecek braketlerin konumu, slotları bu rehber tele oturacak şekilde ayarlanmıştır. Ardından rehber tel çıkartılarak test edilecek teller yerlerine yerleştirildiğinde bu teller braket slotunu ortalamış olmakta ve çok ufak sapmalar dışında braket slotu kenar duvarlarına temas etmemektedir. Test edilecek tellerin tel oyuğunun tam ortasına oturtulabilmesi için tel oyuğu V şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 14).

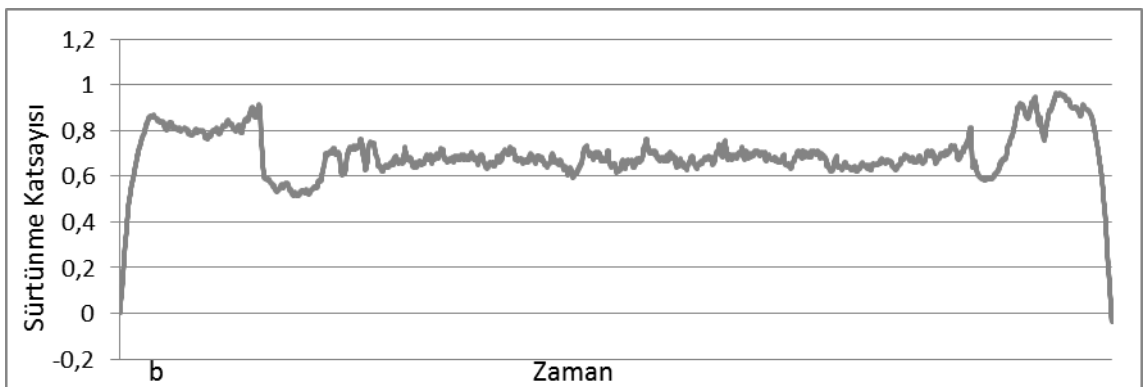
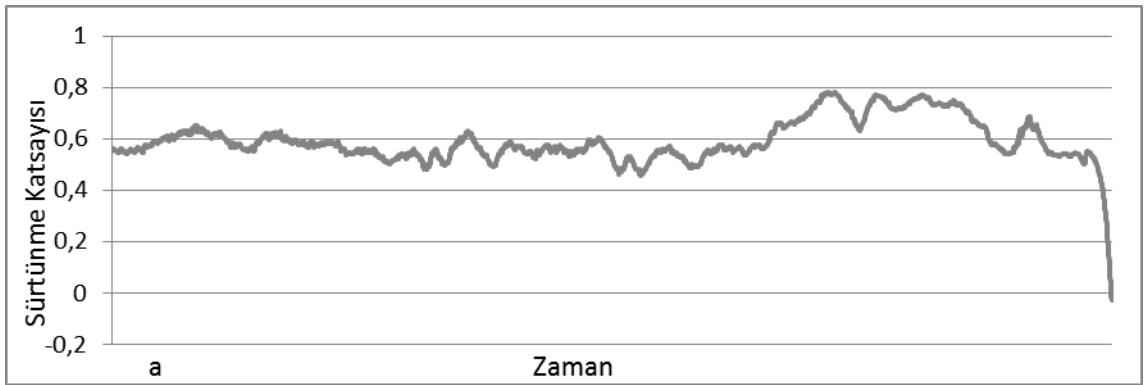
### **3.3.1. Tribometer Cihazı**

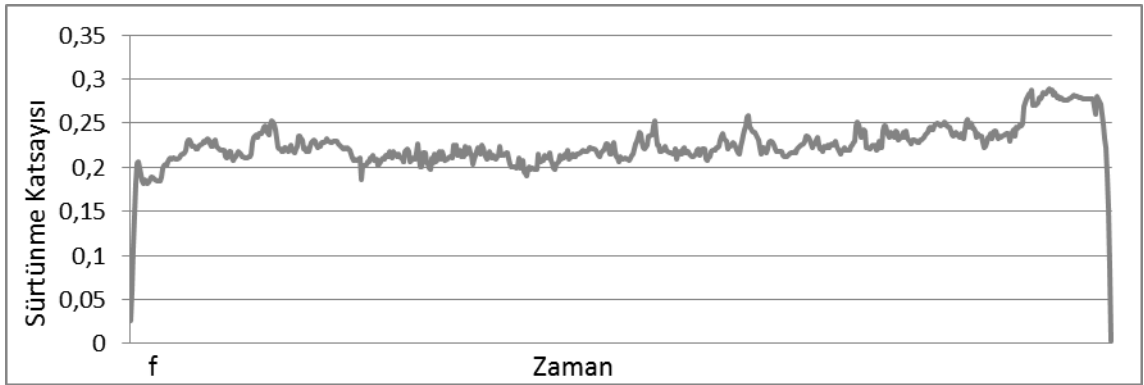
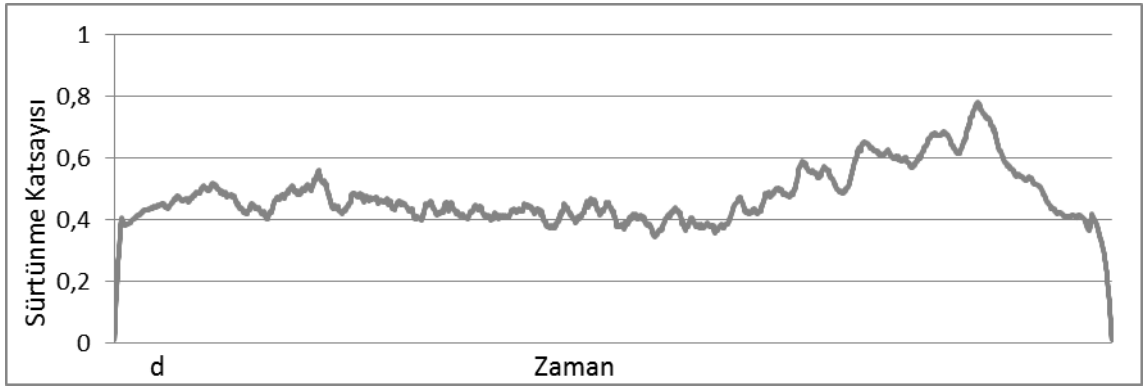
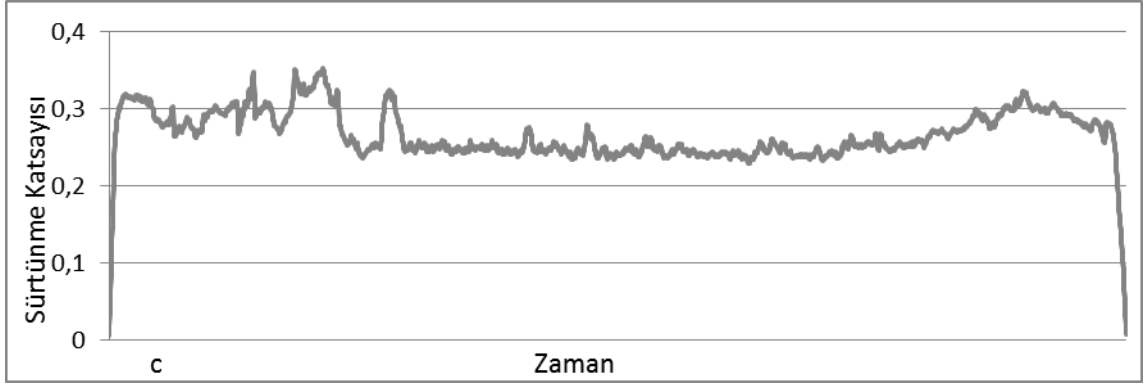
CSM tribometer cihazı, mikro ve nano düzeyde tribolojik çalışmalar yapabilmek için geliştirilmiş bir cihazdır. Tribometrik ölçümler yapan cihazlarda bir küre, bir pin veya bir düzlem test edilecek maddenin üzerine belirli bir kuvvet uygulayarak yerleştirilir. Pin bükülmez bir kolun ucuna yerleştirilmiştir, bu kol sürtünmesiz bir kuvvet iletici olarak kullanılır. Sürtünme katsayısı test sırasında elastik kolun bükülmesi belirlenerek hesaplanmaktadır. Ayrıca, eğer aşınma katsayısı hesaplanacaksa, test sırasında aşınma ile kaybedilen malzeme miktarı belirlenerek hesaplanır. Bu basit metot neredeyse bütün katı madde kombinasyonlarının sürtünme ve aşınma özelliklerinin kayganlaştırma yaparak veya yapmadan hesaplanmasını sağlamaktadır. Bununla beraber hız, frekans, temas basıncı, zaman ve çevresel faktörler (sıcaklık, nem ve kayganlaştırıcı) gibi değişkenlerin kontrolünü sağlayarak gerçek şartların simülasyonunun yapılmasına da yardım eder.

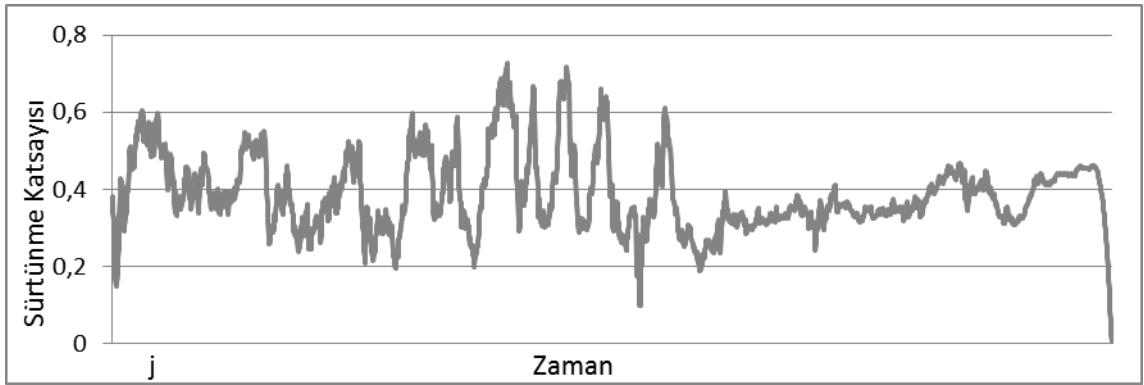
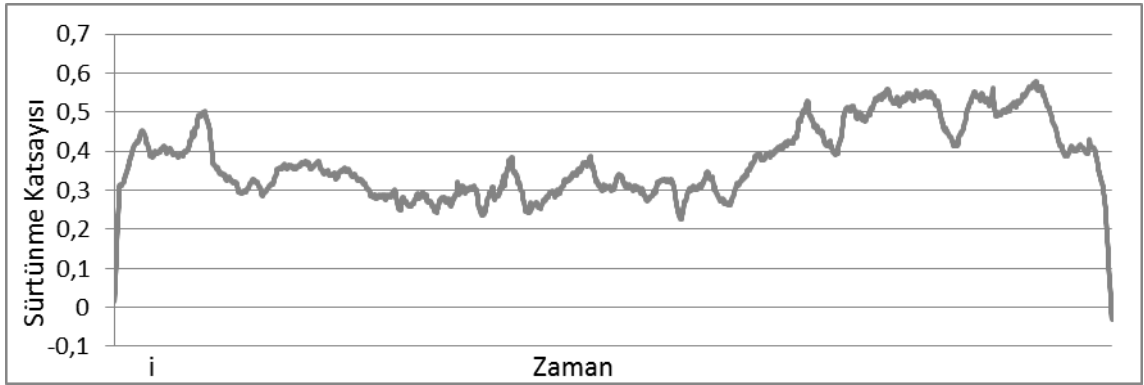
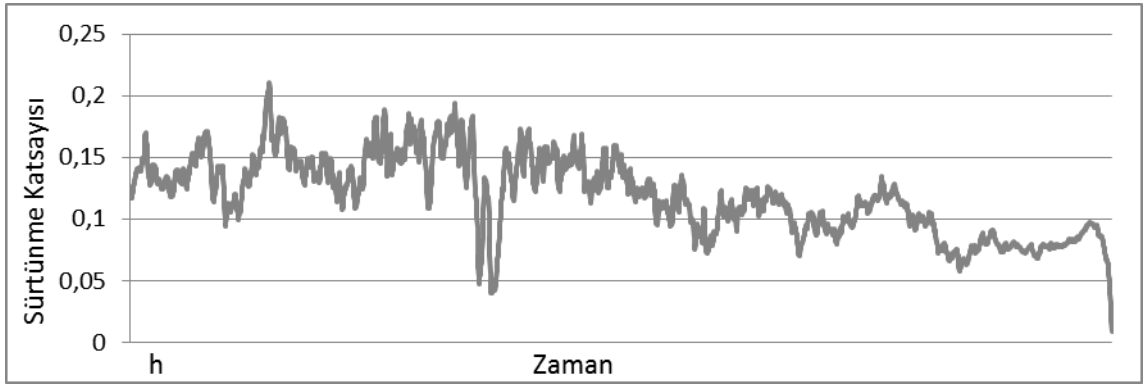
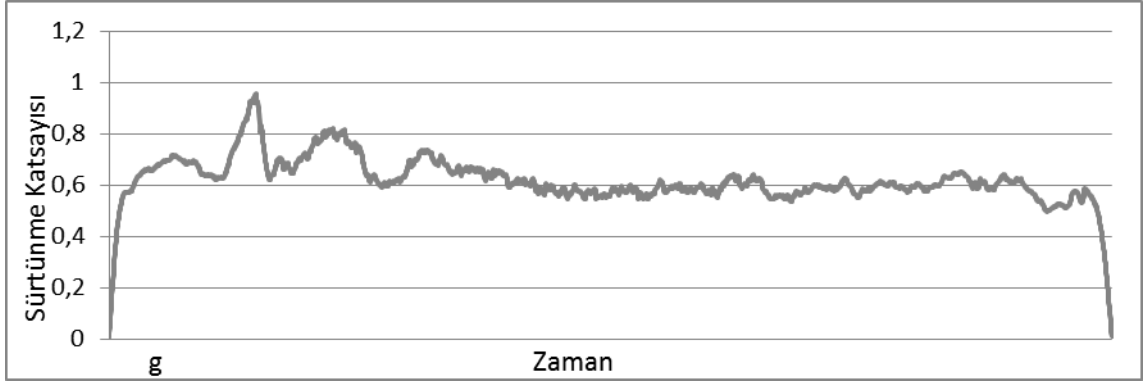
Tribometer cihazları çok yüksek hassasiyette kuvvet ölçümü için geliştirilmiş özgün cihazlardır. CSM tribometre cihazlarının önemli bir özelliği, sürtünme miktarı veya döngü sayısı önceden belirlenmiş bir değere ulaştığında deneyin otomatik olarak bitirilebilmesidir. Ayrıca nem ve sıcaklık gibi değişkenlerin test boyunca sabit kalması ve istenmeyen dış etkilerin test değerlerini engellemesinin önlenmesi için test düzeneği kapalı bir ortam olarak tasarlanmıştır (Şekil 15).

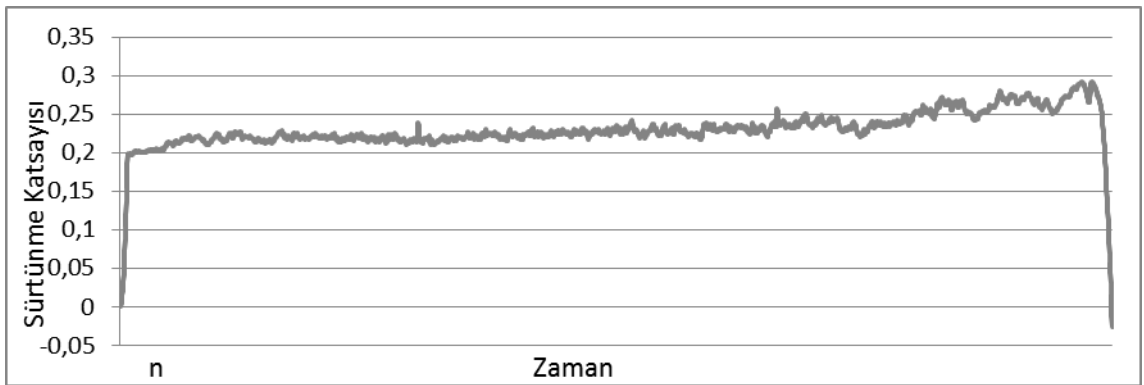
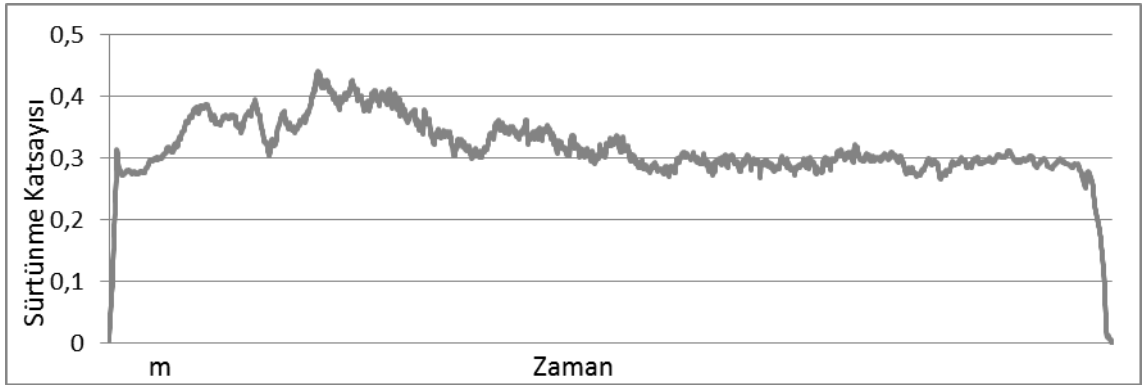
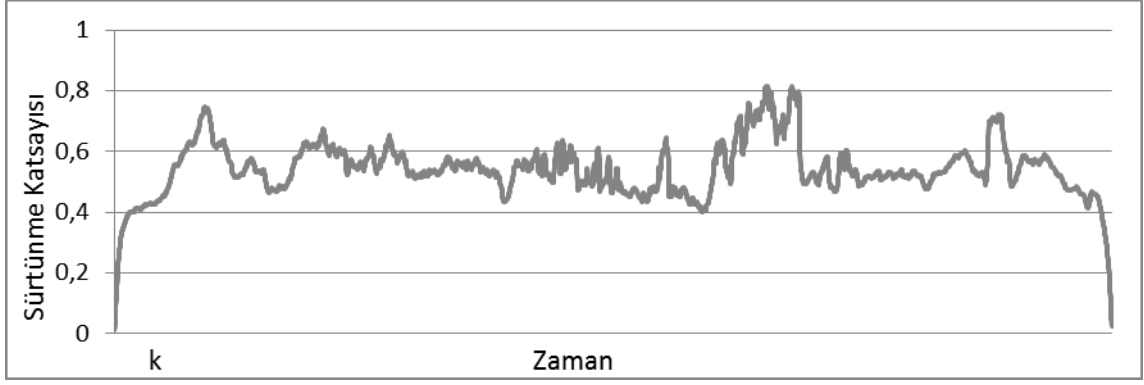


**Şekil 15.** Deney düzeneğinin üzeri testler sırasında dış etkenlerin etkisini engellemek için plastik bir kapak ile kapatılmıştır

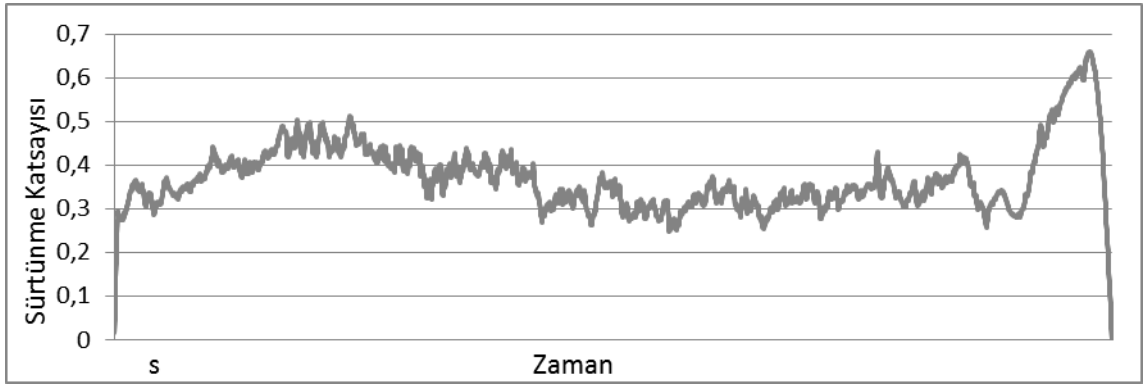
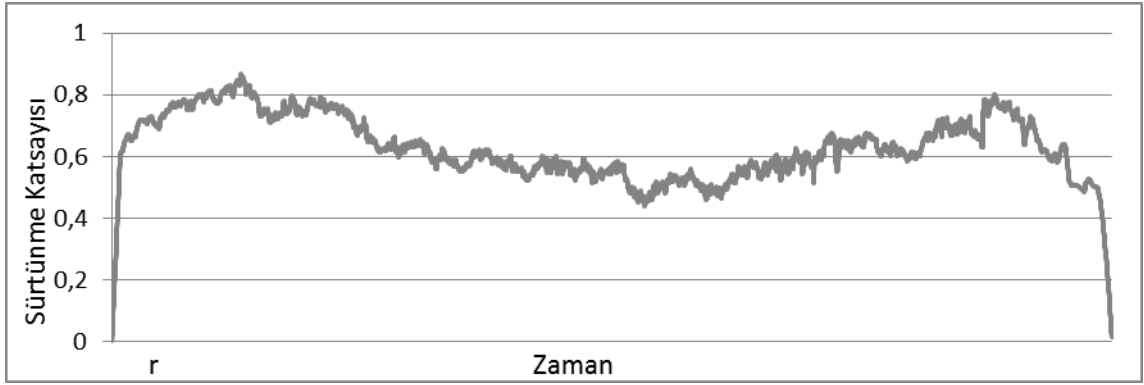
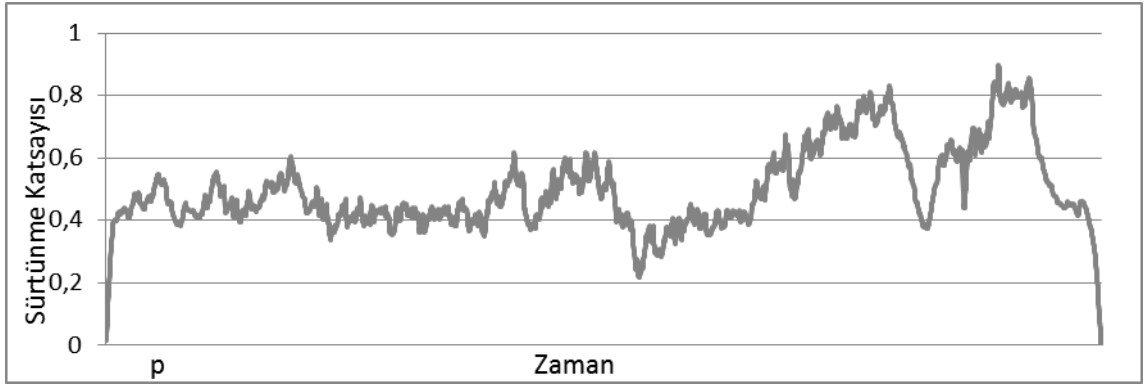
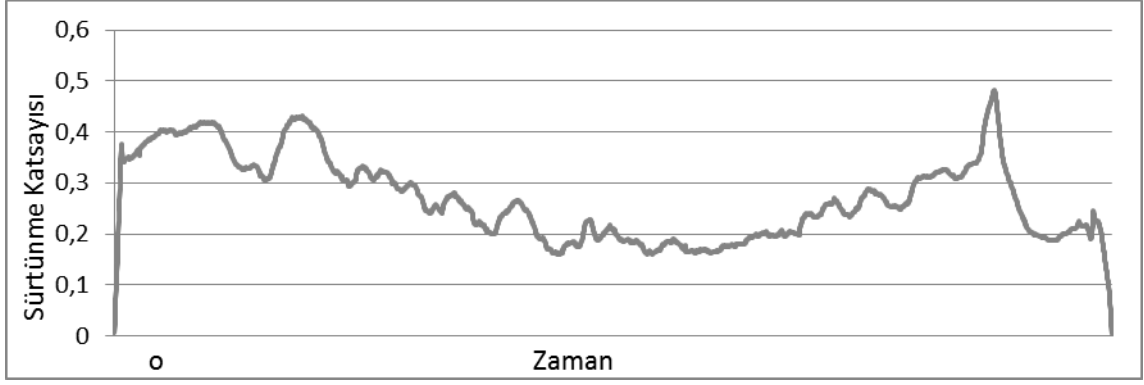


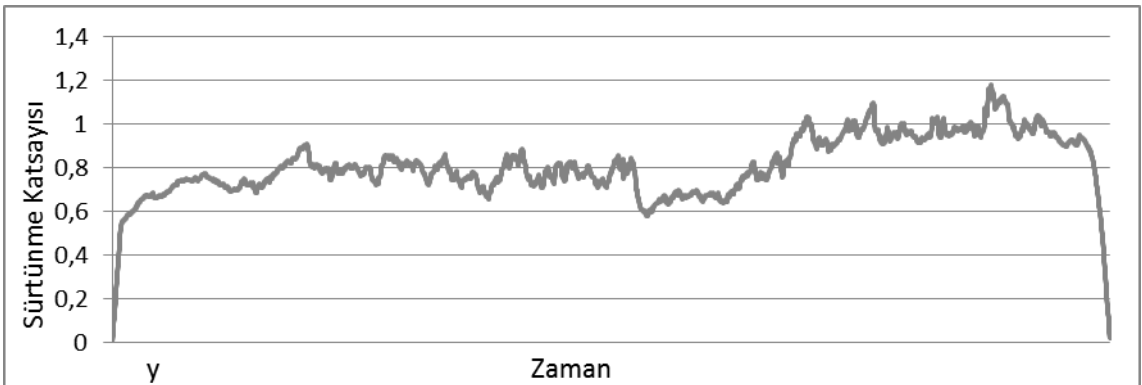
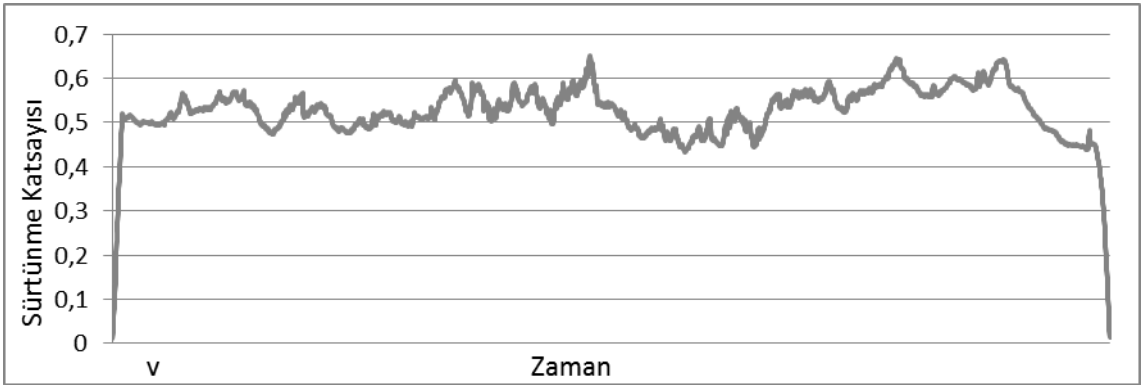
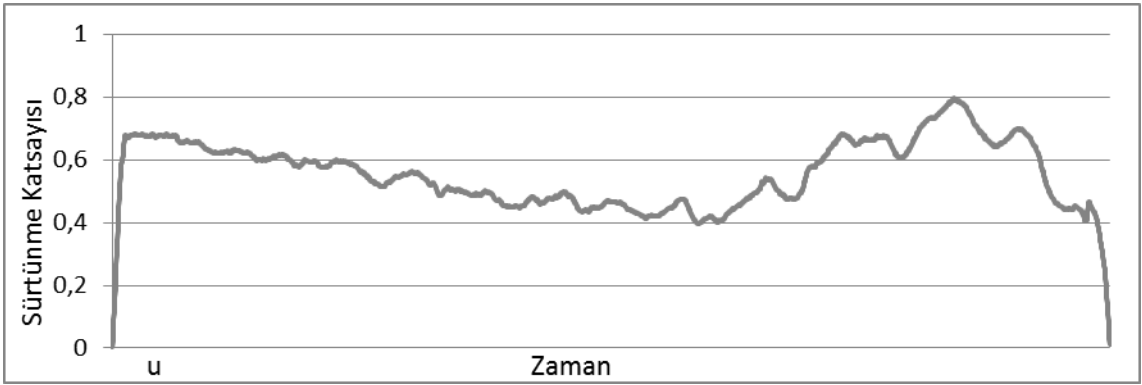
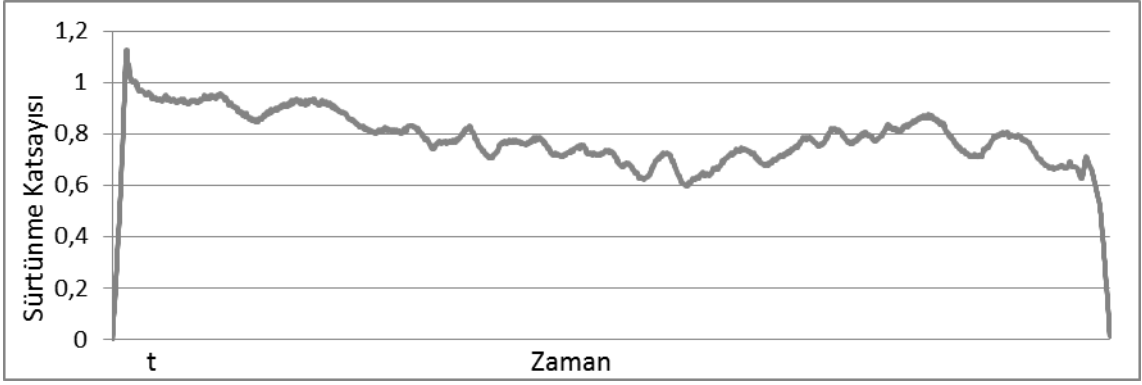


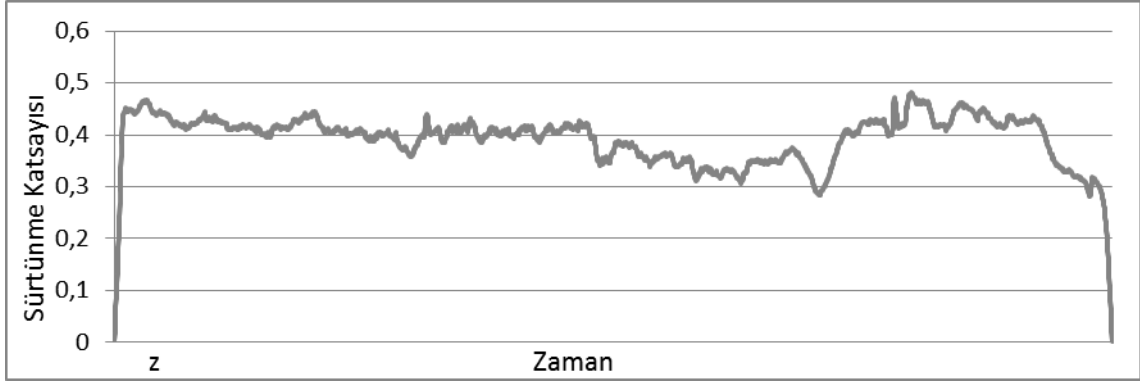












Şekil 16. a) 2040, b) ACL, c) ASG, d) AVA, e) BRL, f) CLA, g) CON, h) ELG, i) ENC, j) FN2, k) ICE, l) JW, m) MUT, n) OPM, o) ORF, p) PUR, r) RDN, s) RFL, t) SLK, u) SMB, v) SRA, y) TRC, z) VRG örneklerine ait birer sürtünme testi grafikleri

Testler için kullanılan tribometer cihazı lineer gidip gelme hareketli bir cihazdır. Cihaz ölçüm kolunun ileri ve geri hareketleri sırasında sürtünme katsayısını ölçerek bir bilgisayar programı yardımı ile hesaplamaktadır. Bu ölçüm yöntemi özellikle statik sürtünme katsayısının zaman içinde değişimini göstermesi açısından üstündür. Pin-on-disk kullanan cihazlar ise dinamik sürtünme katsayısının hesaplanması için kullanılmaktadır.

Tribometer cihazının bilgisayar yazılımı özel olarak bu iş için geliştirilmiş bir yazılımdır. Cihaz testlerden önce yüksüz ve değişik ağırlıklarda yükler ile kalibre edilir. Testler sırasında oluşan kuvvetler pin üzerindeki alıcıda elektrik sinyalleri oluşturmaktadır. Bilgisayar programında oluşan akım miktarı daha önce yapılmış kalibrasyon değerleriyle karşılaştırılır ve akım düzeyine göre oluşan kuvvet belirlenir. Test ölçüm sonucu ortalama sürtünme katsayısı ve zaman-sürtünme katsayısı grafiği çıktı olarak elde edilmektedir (Şekil 16).

### 3.3.2. Ark Teli ile Braket Arası Bağlama Kuvveti

Bu çalışmanın daha önce belirtilen çalışmalar ile uyumluluğunu sağlamak ve ligatürlerin ağız içinde teli braket slotuna doğru iten kuvveti simüle etmek için, cihazın üst koluna aşağıya doğru dik kuvvet uygulayacak şekilde 150 gramlık ağırlık konulmuştur.

### **3.3.3. Test Şartları ve Çevresel Etkenler**

Testler sırasında oluşabilecek sıcaklık değişimlerinin özellikle metal malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyebileceği düşünüldüğünden, tüm testler 21°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Test düzeneğinin üzeri, ölçümlerin mekanik herhangi bir etkenden etkilenmesini engellemek için şeffaf plastik bir koruyucu kapakla kapatılmıştır. Ayrıca bu kapak ortamdaki seslerin de ölçümleri etkilemesini engellemektedir.

Örnekler sürtünme testine tabi tutulmadan önce, sonuçları etkileyebilecek herhangi bir bulaşıcı etkenden arındırılmaları için katkısız aseton ile temizlenmiştir. Örnekler üreticiden gelen paketlerinden çıkartılarak oldukları gibi kullanıldığı ve klinik ortamda da aynı şekilde kullanılacağı için süpersonik cihazlar vb. ile daha ayrıntılı bir temizliğe ihtiyaç duyulmamıştır.

Kullanılan ark tellerinin her iki kısmındaki bükümler pensler yardımı ile yapılmış, peslerin tele temas ettikleri bölgelerde oluşan yüzey değişikliklerinin test sonuçlarını etkilemesini engellemek için temas bulunan kısımlar test edilen alana dâhil edilmemiştir.

### **3.3.4 Tükürük**

Düzeneğin mevcut hali ile ağız ortamındaki gibi bir sıvı aktarım mekanizması kullanılmayacağı ve kullanılacak yapay veya doğal tükürük malzemelerinin sonuçları olumsuz etkileyebileceği düşünülerek, tüm testler kuru ortamda yapılmıştır.

### **3.3.5. Braket ile Ark Teli Arsındaki Açılanma**

Testler sırasında braketin gerçek diş hareketi modelini mümkün olduğunca taklit edebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla braketin yapışık bulunduğu kürenin üzerine, braketin bir miktar salınımına izin verecek yumuşak silikon bir parça yerleştirilmiştir (Şekil 13). Braketin sabitlenmesini sağlayan vida ise gevşek bir şekilde sıkılarak, braketin ufak derecedeki salınımları sağlanmıştır. Bu salınımlar sayesinde ark teli braket slot kenarlarına mümkün olduğunca az temas ederek, kilitlenme olmadan ideal diş hareketine yakın bir hareket modeli sağlamaktadır.

### **3.3.6. Kayma Hızı**

Braketin ark teli üzerindeki kayma hızı kullanılan tribometre cihazının çalışabileceği en düşük hız olan 1 mm/dk 'ya ayarlanmıştır. Bu hızla tek bir örneğin test edildiği toplam süre yaklaşık 20 dakika olmaktadır.

### **3.4. Yüzey İncelemeleri**

Yüzey incelemeleri tellerde ve braketlerde olan üretim hatalarını ve sürtünme testleri sırasında oluşan değişiklikleri incelemek için yapılmıştır.

Çalışmada iki çeşit yüzey incelemesi kullanılmıştır. Sürtünme testine tabi tutulan tüm örnekler kolay ve maliyetsiz olduğundan stereo ışık mikroskobunda (SMZ 1500 stereo mikroskop, Nikon, Japan) incelenmiştir. Buradaki amaç, bu örneklerde sürtünmeyi etkileyebilecek özellikleri ve sürtünmeye olan görülebilir etkilerini saptamaktır.

İkinci olarak braketin yüzeyini ışık mikroskobundan daha ayrıntılı inceleyebilmek için Taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Taramalı Elektron Mikroskobu, Evo 50 EP, Zeiss, Oberkochen, Germany) kullanılmıştır. Her malzeme grubundan en düşük ve en yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahip, herhangi bir teste tabi tutulmamış ikişer adet örnek SEM ile incelenmiştir.

#### **3.4.1. Stereo-Mikroskopi**

Sürtünme testine tabi tutulmuş örneklerin hepsi yüzey karakterlerinin değerlendirilmesi, kullanılan ark teli veya braket slotlarında var olan şekilsel hatalar, korozyon ve aşınmanın değerlendirilmesi ile slot genişliği ölçümlerinin yapılması için bir stereo ışık mikroskobunda soğuk ışık kaynağı altında incelenmiş. Slotların mikroskop altında fotoğrafları çekilmiştir (Digital Sight DS-L1 görüntüleme sistemi, Nikon, Japan). Ayrıca, sürtünme testi öncesi ve sonrası yüzey özellikleri karşılaştırılması amacıyla test edilmemiş tel örneklerinin de aynı şekilde fotoğrafları alınmıştır.

### 3.4.2. SEM İncelemeleri

Stereo mikroskopla alınan görüntüler bazı durumlarda ışığın açısı ve gücüne bağlı olarak yanıltıcı olabilmektedir. Ayrıca ışık mikroskobunun büyütme gücü belli bir sınırdadır. Daha ayrıntılı yüzey incelemesi için SEM görüntüleme tekniğini kullanmak gerekli olduğundan, her malzeme grubundan en yüksek ve en düşük sürtünme katsayısına sahip gruplardan sürtünme testine tabi tutulmamış birer örneğin yüzeyi SEM’de incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. İncelenen örneklerin sürtünme testine tabi tutulmamış örneklerden seçilmiş olmasının sebebi, gruplar arasında slot geometrisi farklarının çok fazla olması ve slot içerisinde telin hangi kısımlara temas ettiğinin anlaşılmasının çok zor olmasıdır.

Seramik örneklerin SEM’de görüntülenebilmesi için sadece bu örneklerde Altın Paladyum ile kaplanmıştır. Örnekler yaklaşık 40 saniye vakum altında sıçratma tekniği ile kaplanmıştır. Yüzey özelliklerini mümkün olduğunca ayrıntılı inceleyebilmek için kaplama kalınlığı özellikle ince tutulmuştur.

Görüntülenen her örnekten standart olarak 1000, 500 ve 100 büyütmede slot kenarı ve slot taban yüzeyi izlenebilecek şekilde üçer adet SEM görüntüsü alınmıştır. Açılamanın yaratabileceği yanılsamayı ortadan kaldırmak adına görüntüler her braketten yüzeyden standart bir açı ile alınmıştır.

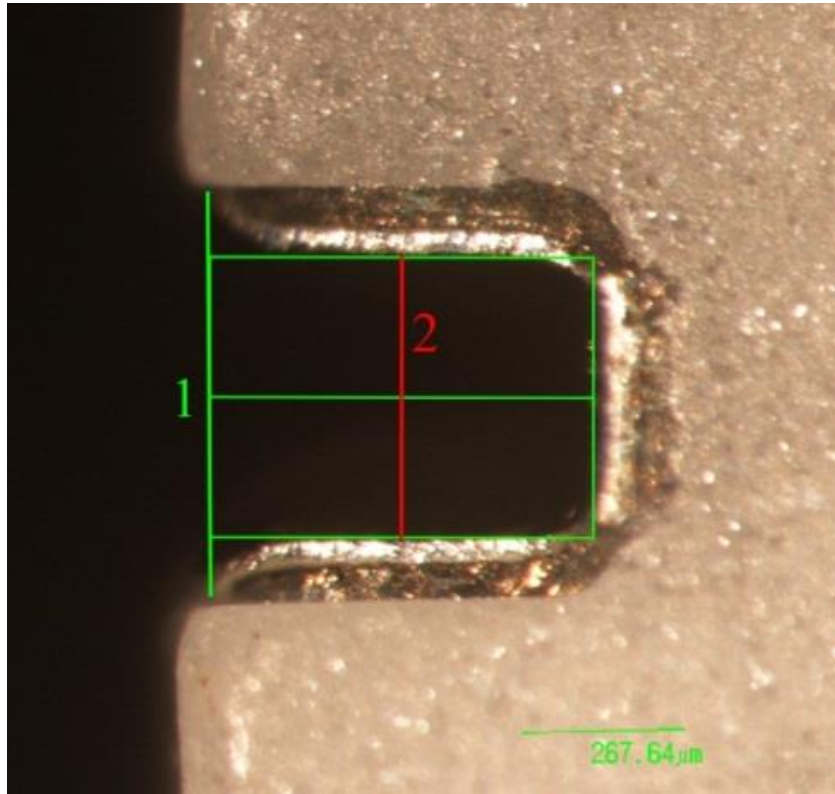
Sadece bir örnekte (PUR) yüzey karakteri açısından beklenenden farklı özellikler görüldüğünden, Bu örneğin yüzeyinde Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) detektörü (XFlash, Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.) ile SEM-EDX analizi yapılmıştır.

Son olarak sürtünme testlerinde en yüksek ve en düşük sürtünme katsayısı gösteren braket-tel ikililerinden tellerin yüzeyi sürtünmeden kaynaklı aşınma farklarını görebilmek için SEM ile incelenmiştir. Stereo mikroskop ile çok benzer görüntüler alındığından tüm tel örneklerinin SEM ile incelenmesine gerek duyulmamıştır.

### 3.5. Slot Genişliği lümü

Sürtünme testine tabi tutulan braketlerin slot genişliği ölçümü ve genişlik farklarının hesaplanması için stereo mikroskop ile alınan slot görüntüleri kullanılmıştır. Braketlerin her birinden yan yüzeye dik olacak şekilde ölçekli fotoğrafı alınmış, bu fotoğraflar bilgisayara aktarılarak, görüntü işleme programı (Photoshop CS 5, Adobe; San Jose, CA) yardımı ile slot ölçümleri yapılmıştır.

Ölçümlerin standart şekilde her slotun ortasından yapılabilmesi için slot içerisine yine bilgisayar programı ile oluşturulmuş bir ızgara yerleştirilmiş ve ızgaranın orta noktalarından geçen çizgi üzerinden slot yüzeyine paralel ölçüm yapılmıştır (şekil 17).



**şekil 17.** Braket slot genişlik ölçümü için her örneğin tek tarafından slot uzanımına paralel, ölçekli fotoğrafı alınmış, bilgisayar ortamında bir ızgara (1) slotun sınırlarına yerleştirilmiş ve ızgaranın tam ortasından slot yan duvarlarına dik uzaklık ölçülmüştür (2)

### 3.6. İstatistiki Analizler

Deneyisel çalışmada elde edilen tüm verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin anlaşılması için Shapiro-Wilk analizi ve verilerin değerlendirilmesinde % 5 güven sınırı kullanılmıştır. İstatistiki analizler Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde yapılmıştır. Analizlerde SPSS V.21 (Statistical Package for the Social Sciences) paket veri programından (IBM Co., Armonk, NY, USA) faydalanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi için  $p < 0,05$  olarak kabul edilmiştir.

Gruplara göre sürtünme katsayıları normal dağılım gösterdiğinden, veriler arasındaki istatistiksel farkların belirlenmesi için ANOVA kullanılmıştır. Gruplar arası farkların değerlendirilmesinde Tukey's HSD (Honestly significant difference) çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Her grubun 0,018 inç ve 0,022 inç slot örnekleri arasında sürtünme katsayısı açısından fark olup olmadığını araştırmak için bağımsız örnek t-testi uygulanmıştır.

Grupların slot genişliği ölçümleri normal dağılım gösterdiğinden değerlerin analizinde yine ANOVA, grupların karşılaştırılmasında da Tukey's HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Gruplara göre braket slot genişliği ölçümü ile sürtünme katsayıları arasında ilişki olup olmadığını görmek için korelasyon analizi kullanılmıştır.

Braket malzemesinin sürtünme üzerine etkisini incelemek için bir non-parametrik test olan Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır. Bu testin kullanılmasının sebebi verilerin normal dağılım göstermemesidir. Gruplar arası karşılaştırmaların yapılması için ise Mann-Whitney U testinden yararlanılmıştır. 0,018 ve 0,022 inç slotlarda farklı malzemelerin sürtünmeye etkisini incelemek için yine aynı yöntem kullanılmıştır.



## 4. BULGULAR

Çalışmamızda braket örnekleri ile köşeli paslanmaz çelik teller arasındaki sürtünme katsayıları ve slot boyu ölçümü olmak üzere iki değişik ölçüm yapılmıştır (Ek 1).

### 4.1. Sürtünme Testleri

Sürtünme değerleri ilk önce grup bazında, ardından braket slot malzemesi bazında değerlendirilmiştir. Ayrıca slot genişliği ve slot ölçümlerinin sürtünme değerlerine etkisi de ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Slot boyu, malzemesi ve grup değişkenlerinin sürtünme kuvvetleri üzerine etkilerine bakıldığında, bu üç değişkenin de sürtünme kuvvetini etkiledikleri görülmektedir (Tablo 3). Farklı slot boyuna ve slot malzemesine sahip veya farklı grup braketlerin sürtünme katsayıları da istatistiksel olarak farklı bulunmuştur.

Analiz sonunda hem 0,018 inç slot gruplar hem de 0,022 inç gruplar arasında anlamlı derecede fark olduğu görülmüştür ( $P < 0,001$ ) (Tablo 4). Ayrıca grupların birçoğunun kendi 0,018 inç ve 0,022 inç slot örneklerinin sürtünme katsayıları arasında istatistiksel fark olduğu görülmüştür. Tek grup dışında (FN2) bütün diğer gruplarda sürtünme katsayısı 0,018 inç slot braketlerde daha yüksektir. Bütün gruplar için tanımlayıcı istatistikler, ANOVA sonucu, ikili karşılaştırmalar ve gruplar arası farklar aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 2-6; Ek 2-5).

Slot malzemeleri 5 grupta incelenmiştir. Bu gruplar; metal, metal kaplı, polikristalin seramik, monokristalin seramik ve plastiktir. Bu grupların sürtünme katsayısına etkilerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür ( $p < 0,001$ ).

0,018 ve 0,022 inç slot boyları için slot malzemesinin sürtünme kuvvetine etkisi değerlendirildiğinde, malzemeler arasında yine fark olduğu görülmektedir (Tablo 8, 10 ve 11; Şekil 18- 20). Her iki slot genişliğinde de slot genişliğinin etkisi hesap edilmeden de en düşük sürtünme katsayısını gösteren örnekler metal braketlerdir. Plastik ve MSE braketler de metal braketlere çok yakın sonuçlar göstermektedir.

**Tablo 2.** 0,018 ve 0,022 inç slotlu örneklerin sürtünme testlerinin tanımlayıcı istatistikleri

| Slot Malzemesi | Grup    | N      | Ortalama | SD     | SE     | Ortalama için %95 güven aralığı |           | En düşük | En yüksek |
|----------------|---------|--------|----------|--------|--------|---------------------------------|-----------|----------|-----------|
|                |         |        |          |        |        | Üst sınır                       | Alt sınır |          |           |
| Metal          | OPM/18  | 5      | 0,2835   | 0,0353 | 0,0158 | 0,2397                          | 0,3273    | 0,2335   | 0,3290    |
|                | OPM/22  | 5      | 0,1397   | 0,0391 | 0,0175 | 0,0911                          | 0,1883    | 0,0916   | 0,1715    |
|                | MUT/22  | 5      | 0,1585   | 0,0264 | 0,0118 | 0,1257                          | 0,1912    | 0,1197   | 0,1902    |
| MSE            | CLA/18  | 5      | 0,2761   | 0,0558 | 0,0249 | 0,2069                          | 0,3454    | 0,2239   | 0,3695    |
|                | CLA/22  | 5      | 0,1653   | 0,0695 | 0,0311 | 0,0789                          | 0,2516    | 0,0888   | 0,2691    |
|                | ENC/18  | 5      | 0,3172   | 0,0459 | 0,0205 | 0,2603                          | 0,3742    | 0,2571   | 0,3797    |
|                | ENC/22  | 5      | 0,2975   | 0,0551 | 0,0246 | 0,2291                          | 0,3659    | 0,2381   | 0,3793    |
|                | AVA/18  | 5      | 0,3683   | 0,1086 | 0,0486 | 0,2335                          | 0,5032    | 0,2078   | 0,4836    |
|                | AVA/22  | 5      | 0,2521   | 0,0473 | 0,0211 | 0,1934                          | 0,3108    | 0,2129   | 0,3288    |
|                | SRA/18  | 5      | 0,2465   | 0,0461 | 0,0206 | 0,1892                          | 0,3037    | 0,1887   | 0,3071    |
|                | SRA/22  | 5      | 0,2273   | 0,0582 | 0,0260 | 0,1550                          | 0,2996    | 0,1432   | 0,2896    |
|                | ASG/18  | 5      | 0,2617   | 0,0753 | 0,0337 | 0,1681                          | 0,3552    | 0,1863   | 0,3629    |
|                | ASG/22  | 5      | 0,1477   | 0,0519 | 0,0232 | 0,0833                          | 0,2121    | 0,1118   | 0,2381    |
|                | ELG/18  | 5      | 0,2401   | 0,0477 | 0,0213 | 0,1810                          | 0,2993    | 0,1646   | 0,2839    |
|                | ELG/22  | 5      | 0,2314   | 0,0417 | 0,0186 | 0,1796                          | 0,2832    | 0,1769   | 0,2751    |
|                | VRG/18  | 5      | 0,3258   | 0,1177 | 0,0526 | 0,1797                          | 0,4719    | 0,2223   | 0,5290    |
|                | VRG/22  | 5      | 0,1988   | 0,0539 | 0,0241 | 0,1319                          | 0,2658    | 0,1389   | 0,2855    |
|                | SMB/18  | 5      | 0,3179   | 0,0455 | 0,0204 | 0,2614                          | 0,3744    | 0,2461   | 0,3582    |
| SMB/22         | 5       | 0,2558 | 0,0631   | 0,0282 | 0,1775 | 0,3341                          | 0,1654    | 0,3292   |           |
| Plastik        | OFL/18  | 5      | 0,3634   | 0,1510 | 0,0675 | 0,1759                          | 0,5508    | 0,2057   | 0,5885    |
|                | OFL/22  | 5      | 0,2484   | 0,0651 | 0,0291 | 0,1676                          | 0,3292    | 0,1546   | 0,2974    |
|                | SLK/18  | 5      | 0,4002   | 0,0724 | 0,0324 | 0,3103                          | 0,4900    | 0,3169   | 0,4909    |
|                | SLK/22  | 5      | 0,3116   | 0,1216 | 0,0544 | 0,1607                          | 0,4626    | 0,1971   | 0,4690    |
|                | BRL/18  | 5      | 0,2869   | 0,0399 | 0,0179 | 0,2373                          | 0,3365    | 0,2449   | 0,3402    |
| BRL/22         | 5       | 0,1659 | 0,0521   | 0,0233 | 0,1011 | 0,2306                          | 0,0946    | 0,2349   |           |
| Monokristal    | PUR/18  | 5      | 0,7234   | 0,1040 | 0,0465 | 0,5942                          | 0,8526    | 0,6391   | 0,9025    |
|                | PUR/22  | 5      | 0,4419   | 0,1259 | 0,0563 | 0,2856                          | 0,5982    | 0,2833   | 0,5794    |
|                | RDN/18  | 5      | 0,3885   | 0,1048 | 0,0469 | 0,2584                          | 0,5187    | 0,3217   | 0,5711    |
|                | RDN/22  | 5      | 0,2597   | 0,1073 | 0,0480 | 0,1265                          | 0,3928    | 0,1679   | 0,4018    |
|                | ICE/18  | 5      | 0,6972   | 0,2420 | 0,1082 | 0,3968                          | 0,9977    | 0,3704   | 0,9836    |
| ICE/22         | 5       | 0,3032 | 0,1302   | 0,0582 | 0,1415 | 0,4649                          | 0,1676    | 0,5123   |           |
| Polikristal    | TRC/18  | 5      | 0,7347   | 0,2056 | 0,0920 | 0,4794                          | 0,9900    | 0,4757   | 0,9799    |
|                | TRC/22  | 5      | 0,3484   | 0,0959 | 0,0429 | 0,2294                          | 0,4674    | 0,2392   | 0,4868    |
|                | RFL/18  | 5      | 0,3470   | 0,1316 | 0,0588 | 0,1836                          | 0,5103    | 0,1987   | 0,5065    |
|                | RFL/22  | 5      | 0,1851   | 0,0623 | 0,0278 | 0,1078                          | 0,2624    | 0,1398   | 0,2933    |
|                | 2040/18 | 5      | 0,4645   | 0,2282 | 0,1021 | 0,1811                          | 0,7478    | 0,3147   | 0,8623    |
|                | 2040/22 | 5      | 0,2704   | 0,0420 | 0,0188 | 0,2182                          | 0,3226    | 0,2266   | 0,3220    |
|                | FN2/18  | 5      | 0,4154   | 0,0589 | 0,0263 | 0,3423                          | 0,4886    | 0,3456   | 0,4815    |
|                | FN2/22  | 5      | 0,4763   | 0,1338 | 0,0598 | 0,3102                          | 0,6424    | 0,3786   | 0,7105    |
|                | JW/18   | 5      | 0,4853   | 0,1543 | 0,0690 | 0,2937                          | 0,6769    | 0,2742   | 0,7040    |
|                | JW/22   | 5      | 0,2817   | 0,0743 | 0,0332 | 0,1894                          | 0,3739    | 0,2176   | 0,3871    |
| CON/18         | 5       | 0,3954 | 0,1382   | 0,0618 | 0,2237 | 0,5670                          | 0,2924    | 0,6335   |           |
| CON/22         | 5       | 0,2655 | 0,0342   | 0,0153 | 0,2230 | 0,3080                          | 0,2314    | 0,3105   |           |
| ACL/18         | 5       | 0,6160 | 0,3041   | 0,1360 | 0,2384 | 0,9935                          | 0,3189    | 1,0608   |           |
| ACL/22         | 5       | 0,3585 | 0,1282   | 0,0574 | 0,1993 | 0,5178                          | 0,2305    | 0,5460   |           |

**Tablo 3.** Sürtünme katsayısı üzerine diğer değişkenlerin etkileşimi

| Kaynak             | p  |
|--------------------|----|
| Slot Boyu          | ** |
| Grup               | ** |
| Slot Boyu - Grup   | ** |
| (Slot) Malzemesi   | ** |
| Slot Boyu- Malzeme | *  |

\* p< ,05, \*\* p< ,001

**Tablo 4.** 0,018 ve 0,022 inç grupların sürtünme testlerinin ANOVA sonucu.

| Genişlik |                    | Kareler toplamı | Frekans | Ortalama kare | F     | p    |   |
|----------|--------------------|-----------------|---------|---------------|-------|------|---|
| 0,018"   | Sürtünme katsayısı | Gruplar arası   | 2,483   | 21            | 0,118 | 6,43 | * |
|          |                    | Grup içi        | 1,619   | 88            | 0,018 |      |   |
|          |                    | Toplam          | 4,102   | 109           |       |      |   |
| 0,022"   | Sürtünme katsayısı | Gruplar arası   | 0,853   | 22            | 0,039 | 5,99 | * |
|          |                    | Grup içi        | 0,596   | 92            | 0,006 |      |   |
|          |                    | Toplam          | 1,449   | 114           |       |      |   |

\*p<,001

**Tablo 5.** 0,018 inç grupların sürtünme katsayısı farkları.

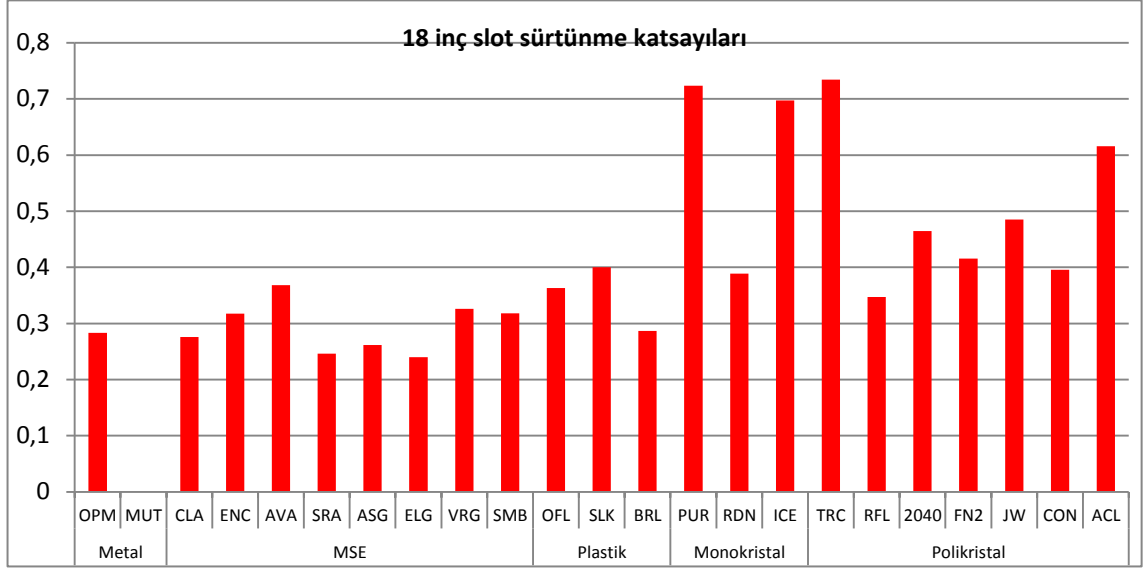
| Grup    | p*               | Ortalama sürtünme katsayısı |
|---------|------------------|-----------------------------|
| ELG/18  | <b>A</b>         | 0,24014                     |
| SRA/18  |                  | 0,24645                     |
| ASG/18  |                  | 0,26170                     |
| CLA/18  |                  | 0,27610                     |
| OPM/18  |                  | 0,28352                     |
| BRL/18  |                  | 0,28689                     |
| ENC/18  | <b>A,B</b>       | 0,31724                     |
| SMB/18  |                  | 0,31792                     |
| VRG/18  |                  | 0,32579                     |
| RFL/18  |                  | 0,34699                     |
| OFL/18  |                  | 0,36337                     |
| AVA/18  |                  | 0,36834                     |
| RDN/18  | <b>A,B,C</b>     | 0,38853                     |
| CON/18  |                  | 0,39538                     |
| SLK/18  |                  | 0,40016                     |
| FN2/18  | <b>A,B,C,D</b>   | 0,41542                     |
| 2040/18 | <b>A,B,C,D,E</b> | 0,46446                     |
| JW/18   |                  | 0,48532                     |
| ACL/18  | <b>B,C,D,E</b>   | 0,61598                     |
| ICE/18  | <b>C,D,E</b>     | 0,69722                     |
| PUR/18  | <b>D,E</b>       | 0,72343                     |
| TRC/18  | <b>E</b>         | 0,73465                     |

\*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel farkı ifade etmektedir (p<0,05)

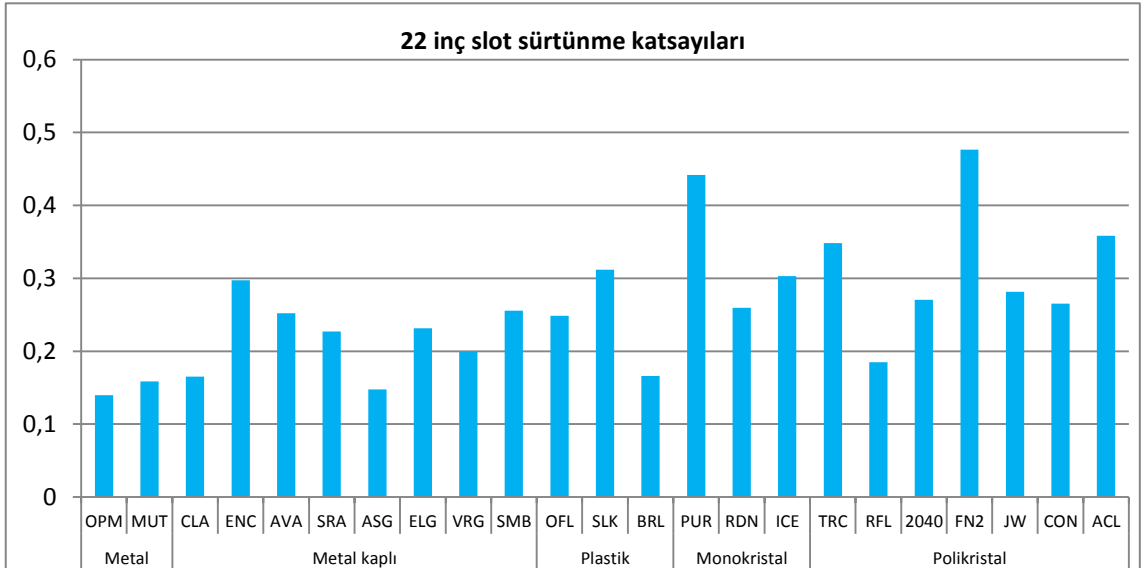
**Tablo 6.** 0,022 inç grupların sürtünme katsayısı farkları.

| Grup    | p*               | Ortalama Sürtünme Katsayısı |
|---------|------------------|-----------------------------|
| OPM/22  | <b>A</b>         | 0,13971494                  |
| ASG/22  |                  | 0,14770320                  |
| MUT/22  |                  | 0,15847820                  |
| CLA/22  | <b>A,B</b>       | 0,16528762                  |
| BRL/22  |                  | 0,16585780                  |
| RFL/22  | <b>A,B,C</b>     | 0,18507040                  |
| VRG/22  |                  | 0,19880660                  |
| SRA/22  |                  | 0,22731220                  |
| ELG/22  |                  | 0,23139920                  |
| OFL/22  |                  | 0,24839680                  |
| AVA/22  |                  | 0,25209360                  |
| SMB/22  | <b>A,B,C,D</b>   | 0,25581840                  |
| RDN/22  |                  | 0,25965200                  |
| CON/22  |                  | 0,26548400                  |
| 2040/22 |                  | 0,27035860                  |
| JW/22   |                  | 0,28167660                  |
| ENC/22  | <b>A,B,C,D,E</b> | 0,29747740                  |
| ICE/22  |                  | 0,30317860                  |
| SLK/22  |                  | 0,31163580                  |
| TRC/22  | <b>B,C,D,E</b>   | 0,34840180                  |
| ACL/22  | <b>C,D,E</b>     | 0,35852960                  |
| PUR/22  | <b>D,E</b>       | 0,44192900                  |
| FN2/22  | <b>E</b>         | 0,47631800                  |

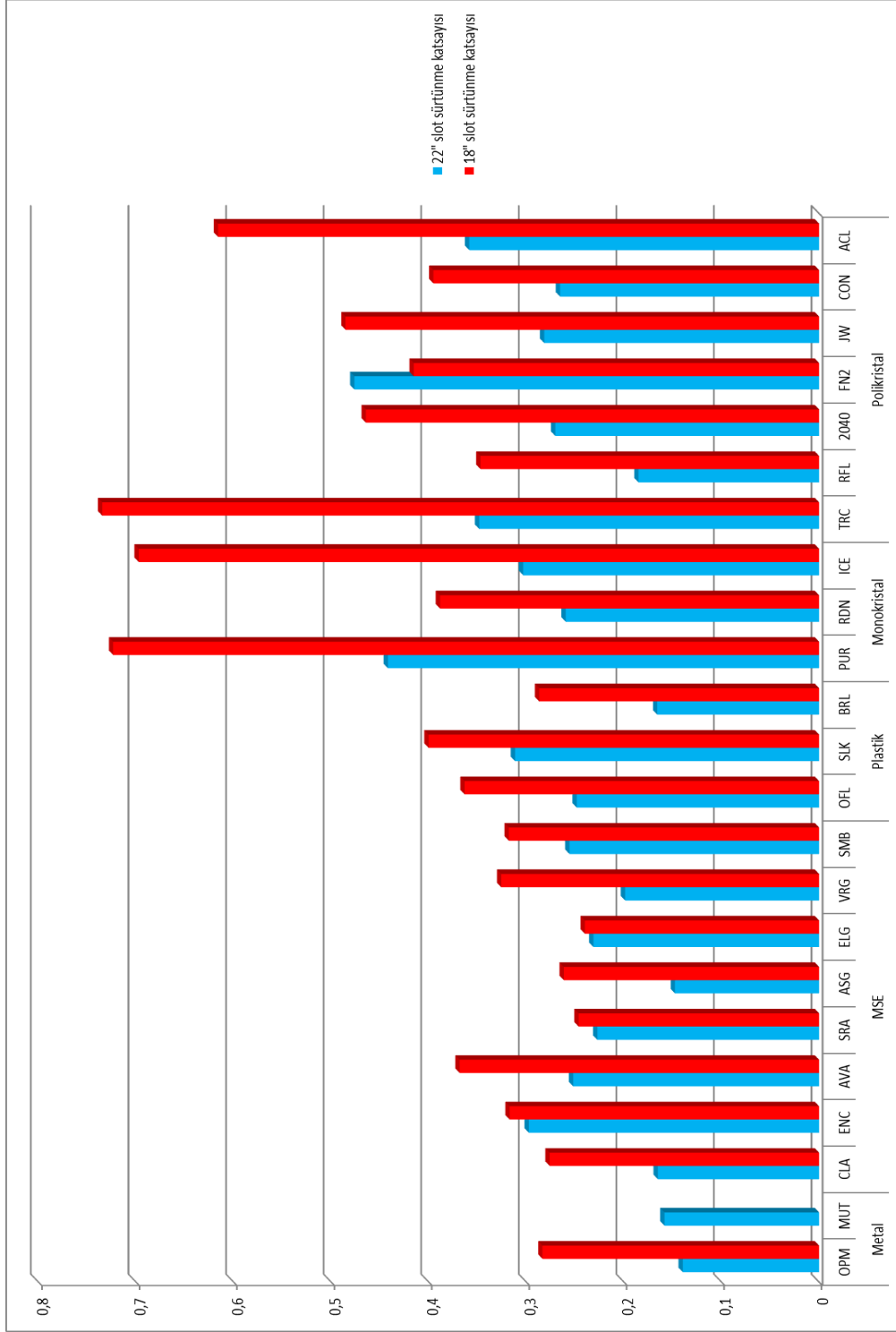
\*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel farkı ifade etmektedir ( $p<0,05$ )



**Şekil 18.** 0,018 inç slot braketlerin sürtünme katsayısı ortalamaları. OPM, Optimesh; MUT, Miniuni Twin; CLA, Clarity; ENC, Encore; AVA, Avalon; SRA, Sierra; ASG, Aspire Gold; ELG, Elegance; VRG, Virage; SMB, Spirit MB; OFL, Ortoflex; SLK, Silkon M; BRL, Brillant; PUR, Pure; RDN, Radiance; ICE, İnspire ICE; TRC, Transcend; RFL, Reflections; FN2, Fascination 2; JW, Jewels; CON, Contour; ACL, Acclaim



**Şekil 19.** 0,022 inç slot braketlerin sürtünme katsayısı ortalamaları. OPM, Optimesh; MUT, Miniuni Twin; CLA, Clarity; ENC, Encore; AVA, Avalon; SRA, Sierra; ASG, Aspire Gold; ELG, Elegance; VRG, Virage; SMB, Spirit MB; OFL, Ortoflex; SLK, Silkon M; BRL, Brillant; PUR, Pure; RDN, Radiance; ICE, İnspire ICE; TRC, Transcend; RFL, Reflections; FN2, Fascination 2; JW, Jewels; CON, Contour; ACL, Acclaim



**Şekil 20.** 0,018 inç ile 0,022 inç slot braketlerin sürtünme katsayısı ortalamaları. Grafikte görüldüğü üzere 0,018 inç braketlerin sürtünme katsayıları tek örnek (FN2) dışında bütün örneklerde daha yüksektir. OPM, Optimesh; MUT, Miniuni Twin; CLA, Clarity; ENC, Encore; AVA, Avalon; SRA, Sierra; ASG, Aspire Gold; ELG, Elegance; VRG, Virage; SMB, Spirit MB; OFL, Ortoflex; SLK, Silkon M; BRL, Brillant; PUR, Pure; RDN, Radiance; ICE, İmpire ICE; TRC, Transcend; RFL, Reflections; FN2, Fascination 2; JW, Jewels; CON, Contour; ACL, Acclaim

**Tablo 7.** Tüm slot malzemeleri birlikte değerlendirildiğinde sürtünme katsayısı farkları

| Slot malzemesi | N   | Sürtünme Katsayısı |         |          | p*         |
|----------------|-----|--------------------|---------|----------|------------|
|                |     | Medyan             | Minimum | Maksimum |            |
| Metal          | 15  | ,17150500          | ,091553 | ,328996  | <b>A</b>   |
| MSE            | 80  | ,25830500          | ,088832 | ,529049  | <b>A,B</b> |
| Plastik        | 30  | ,28450000          | ,094622 | ,588490  | <b>B</b>   |
| Polikristal    | 70  | ,35790850          | ,139784 | 1,060790 | <b>B,C</b> |
| Monokristal    | 30  | ,39250200          | ,167554 | ,983557  | <b>C</b>   |
| Toplam         | 225 | ,29067200          | ,088832 | 1,060790 |            |

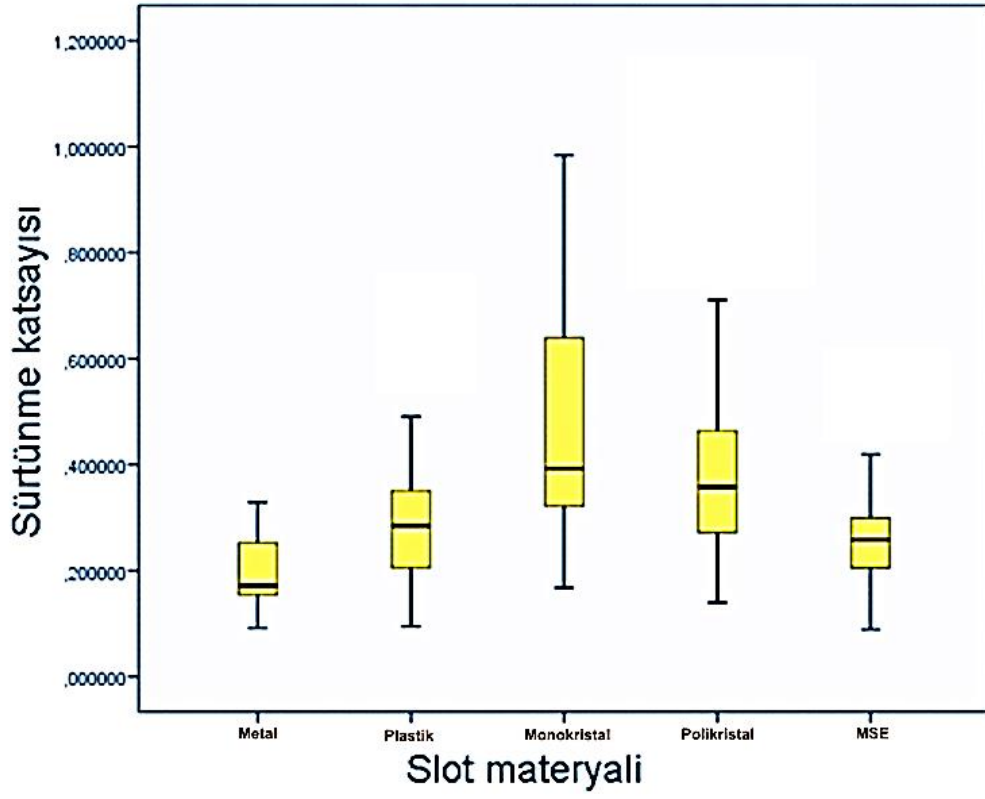
\*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel farkı ifade etmektedir (p<0,05)

**Tablo 8.** 0,018 ve 0,022 inç slot malzemelerinin ayrı ayrı sürtünme katsayısı farkları

| Slot boyu      | Slot malzemesi | N   | Sürtünme katsayısı |         |          | p*           |
|----------------|----------------|-----|--------------------|---------|----------|--------------|
|                |                |     | Medyan             | Minimum | Maksimum |              |
| 0,018 inç slot | Metal/18       | 5   | ,28473400          | ,233457 | ,328996  | <b>A</b>     |
|                | MSE/18         | 40  | ,28652400          | ,164639 | ,529049  | <b>A</b>     |
|                | Plastik/18     | 15  | ,34020800          | ,205667 | ,588490  | <b>A,B</b>   |
|                | Polikristal/18 | 35  | ,44914900          | ,198654 | 1,060790 | <b>B,C</b>   |
|                | Monokristal/18 | 15  | ,63914600          | ,321727 | ,983557  | <b>C</b>     |
|                | Toplam         | 110 | ,34012600          | ,164639 | 1,060790 |              |
| 0,022 inç slot | Metal/22       | 10  | ,16280350          | ,091553 | ,190162  | <b>D</b>     |
|                | MSE/22         | 40  | ,23109800          | ,088832 | ,379262  | <b>E</b>     |
|                | Plastik/22     | 15  | ,20687900          | ,094622 | ,468968  | <b>D,E,F</b> |
|                | Polikristal/22 | 35  | ,29167600          | ,139784 | ,710491  | <b>F</b>     |
|                | Monokristal/22 | 15  | ,32449700          | ,167554 | ,579371  | <b>F</b>     |
|                | Toplam         | 115 | ,23928700          | ,088832 | ,710491  |              |

\*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel farkı ifade etmektedir (p<0,05)





Şekil 21. Slot malzemelerine göre sürtünme katsayısı dağılımı

Tablo 9. Tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde slot malzemelerinin sürtünme katsayısı farkları

|             | Metal | MSE | Plastik | Polikristal |
|-------------|-------|-----|---------|-------------|
| MSE         |       |     |         |             |
| Plastik     | *     |     |         |             |
| Polikristal | **    | *** |         |             |
| Monokristal | **    | *** | *       |             |

\* p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001

**Tablo 10.** 0,018 inç slot braketlerde slot malzemelerinin sürtünme katsayısı farkları

|                | Metal/18 | MSE/18 | Plastik/18 | Polikristal/18 |
|----------------|----------|--------|------------|----------------|
| MSE/18         |          |        |            |                |
| Plastik/18     |          |        |            |                |
| Polikristal/18 | *        | ***    |            |                |
| Monokristal/18 | *        | ***    | *          |                |

\* p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001

**Tablo 11.** 0,022 inç slot braketlerde slot malzemelerinin sürtünme katsayısı farkları

|                | Metal/22 | MSE/22 | Plastik/22 | Polikristal/22 |
|----------------|----------|--------|------------|----------------|
| MSE/22         | *        |        |            |                |
| Plastik/22     |          |        |            |                |
| Polikristal/22 | ***      | ***    |            |                |
| Monokristal/22 | ***      | *      |            |                |

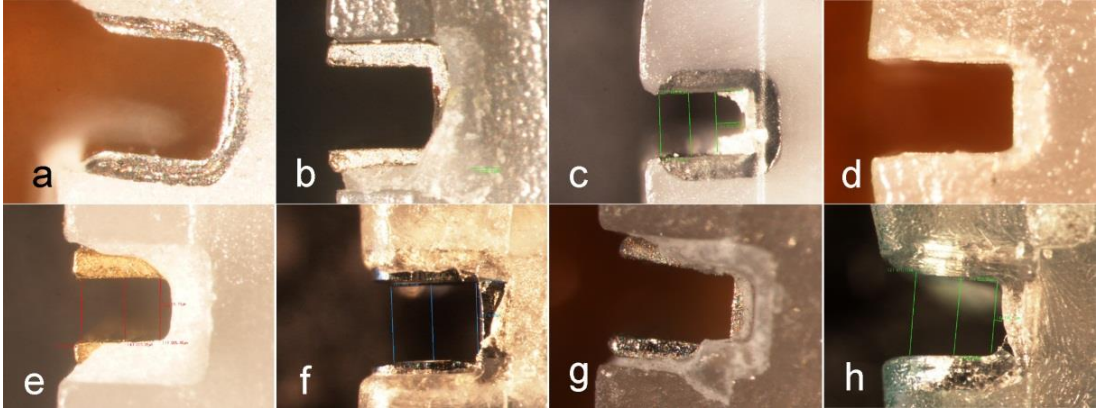
\* p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001

## 4.2. Yüzey İncelemeleri

### 4.2.1. Stereo Mikroskop

Stereo mikroskop ile yüzey incelemesi sonucu görülen en önemli üretim hatalarından birisi, özellikle MSE braketlerde görülen, braket malzemesinin slot duvarları kenarından aşarak slot içerisine girmesidir (Şekil 22). Bazı braket gruplarında diğerlerine göre çok daha sık rastlanmıştır. Slotun özellikle tabanı etkilenmiş olup, bazen köşesi tabanın tamamının braket malzemesi ile kaplanmış olduğu gözlenmiştir (Şekil 22d). Slot çeperlerinden taşmış olan malzemenin çoğu zaman sivri ve düzensiz kenarlara sahip olduğu ve slotun içerisini önemli ölçüde işgal edebildiği görülmüştür.

Bu hatanın sebebi, metal slotların daha önceden braket üzerinde hazırlanmış yuvalara sinterlenmemiş seramik hamuru yardımıyla yapıştırılıp, seramiğin düşük sıcaklıkta sinterlenmesi sonucu taşkın yapıştırıcının yeterince temizlenememesi olarak tahmin edilmektedir. Plastik braketlerde ise polimerize olmamış braket malzemesi ile metal slotun aynı kalıpta birleştirilerek polimerizasyonun tamamlanması sonucu kalıp ile metal arasındaki taşkın malzeme bu hataya yol açmaktadır.



**Şekil 22.** MSE braket örneklerinin slot kenarları. **a)** CLA, **b)** ENC, **c)** AVA, **d)** SRA, **e)** ASG, **f)** ELG, **g)** VRG, **h)** SMB. CLA örneklerinin kenarında malzeme taşması hiçbir örnekte görülmezken, diğer bütün örneklerde farklı miktarlarda problemle karşılaşmıştır

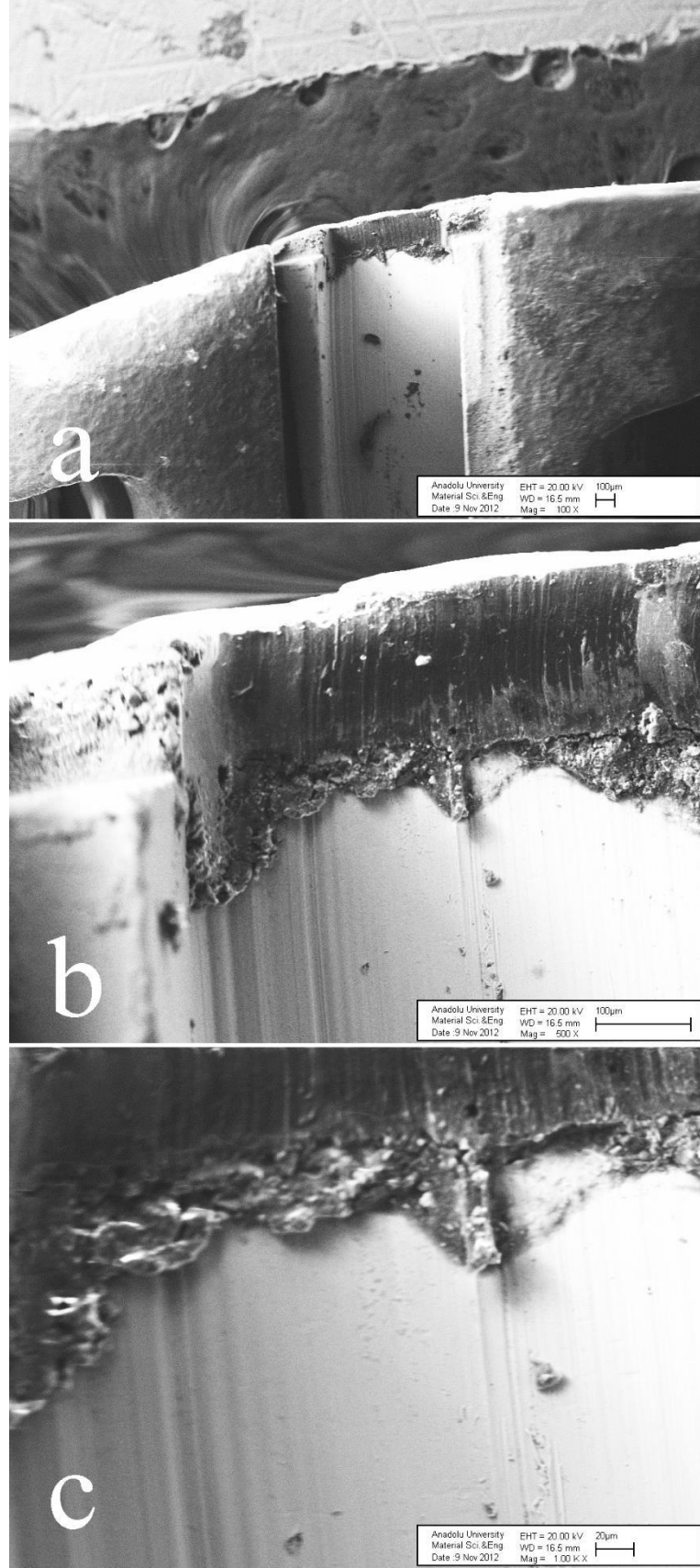
Bu tip hataların görüldüğü metal kaplı estetik braket modelleri ASG, AVA, ELG, ENC, SMB, SRA, VRG iken, sadece CLA'da benzer soruna rastlanmadı.

#### **4.2.2. SEM**

SEM görüntülerinde değişik gruplar arasında belirgin farklar olduğu görölmektedir. Bu farkların braketlerin üretim ve bitirme yöntemlerinden kaynaklı ortaya çıktığı tahmin edilmiştir. Stereo mikroskopta görölen, MSE braketlerin slotuna braket malzemenin taşması durumu, SEM görüntülerinde de açıkça görölmüştür. Ayrıca bu malzemenin metal slota uygulanan bitirme işlemi sırasında metal slot üzerinde birçok çapak oluşturduğu görönmektedir (Şekil 23) .

#### **ASG (Aspire Gold)**

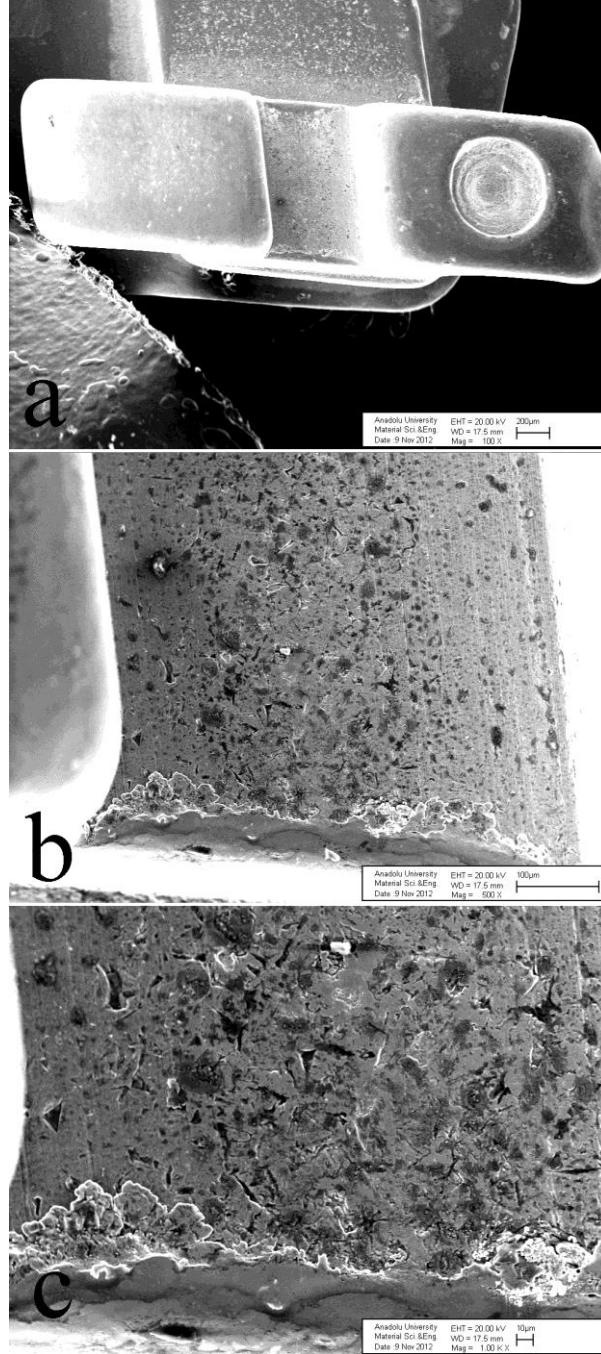
Altın alaşımı kaplı metal slot üzerinde metal üretim metoduna bağlı slot boyunca çizgiler bulunmaktadır, slot yüzeyinde metal herhangi bir çapak görönmemesine rağmen, ışık mikroskobunda göröldüğü gibi, braket malzemesi slot içerisine yayılmış olarak görönmektedir. Braket malzemesi tahminen bitirme işlemi sırasında ortaya çıkan ısının da etkisiyle slot içerisine doğru taşmış ve hayli pürüzlü bir yüzey oluşturmuştur (Şekil 23).



Şekil 23. ASG'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

### OPM (Optimesh)

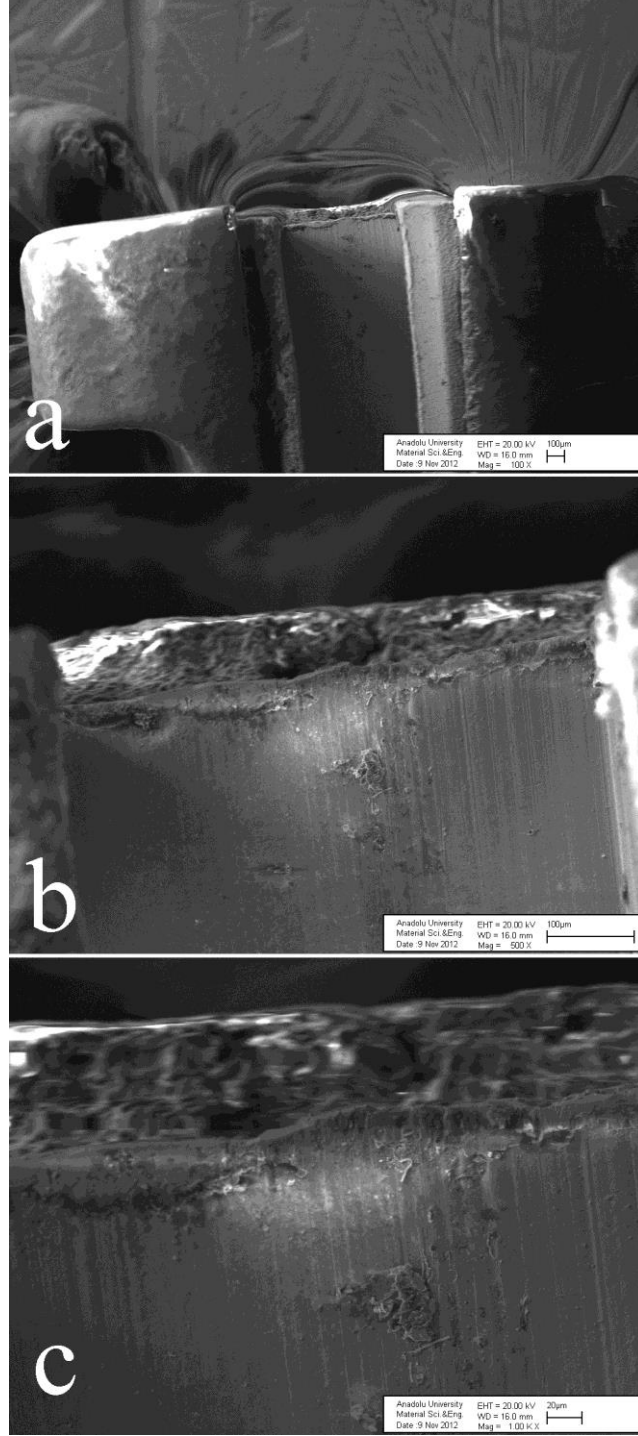
Yüzey karakterlerine bakıldığında, en düşük sürtünme direnci gösteren OPM örneğinin yüzeyinin diğer metal braketlere göre aşırı girinti çıkıntılı olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 24). Bununla beraber, metal yüzeyine uygulanan bitirme işlemi başarılı görünmektedir. Bitirme işlemi sayesinde slot içerisinde ve kenarlarında oluşan çapaklar büyük oranda giderilmiş görünmektedir.



Şekil 24. OPM'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

### ENC (Encore)

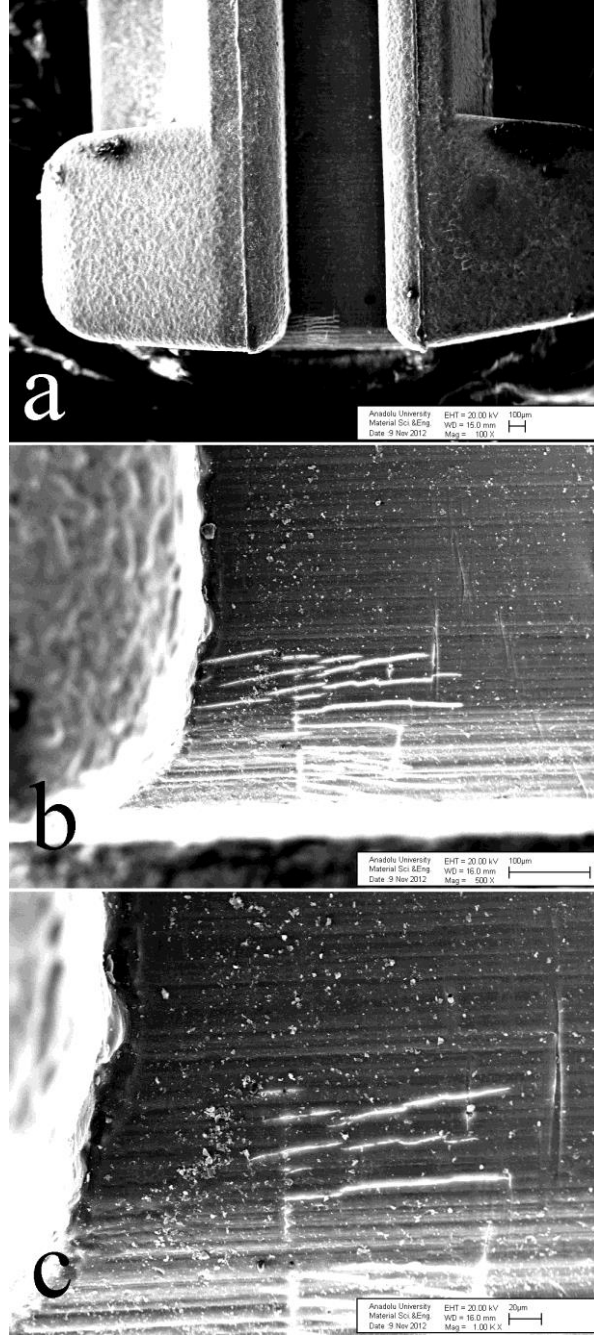
Metal slot yüzeyinde üretim metotlarına bağlı olarak oluşmuş slot boyunca uzanan izler dışında, slot kenarında şekillendirme veya bitirme işleminden kaynaklı olabilecek çıkıntılar ve düzensizlikler görülmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. ENC'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

### BRL (Brillant)

Örneklerin slot yüzeyleri üretim tekniğinden kaynaklı olduğu düşünülen slota dik, birbirine paralel çizgilerle kaplıdır. Slot köşesinde ufak çizikler şeklinde hatalar olsa da genel yapısı itibarı ile problem yaratabilecek herhangi bir çapak veya ciddi üretim hatasına rastlanmamıştır. Kenarlar yuvarlatılmış ve düzgün şekilde görünmektedir (Şekil 26).

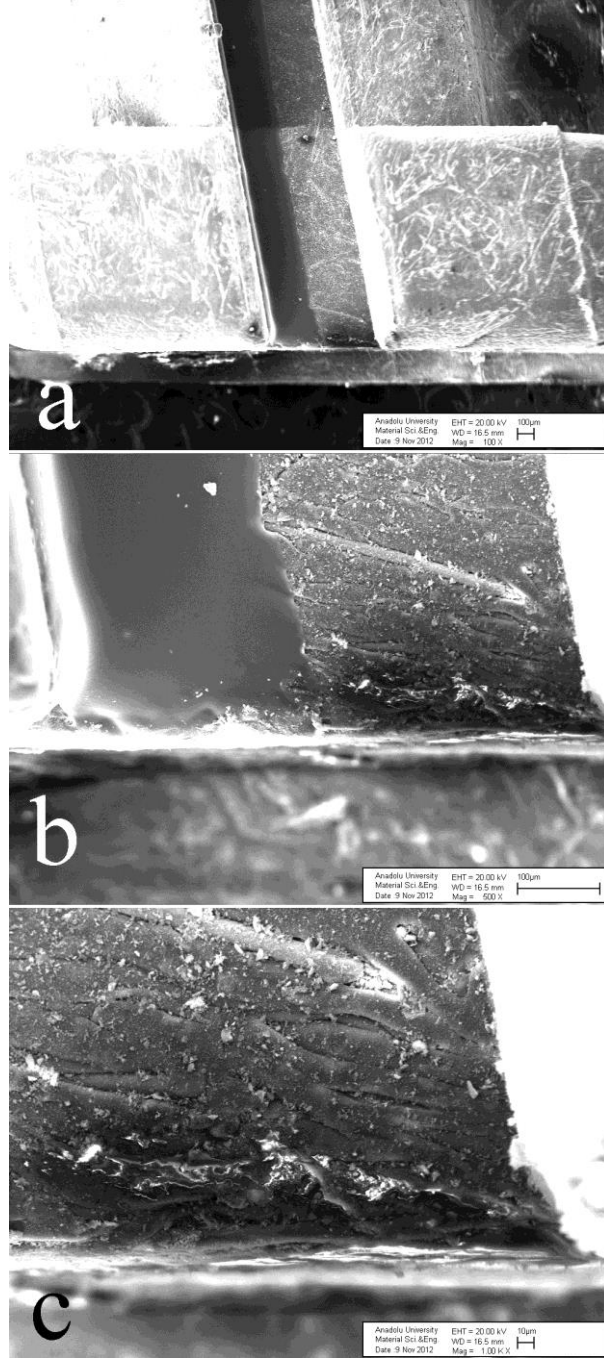


Şekil 26. BRL'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X



### SLK (Silkon Plus)

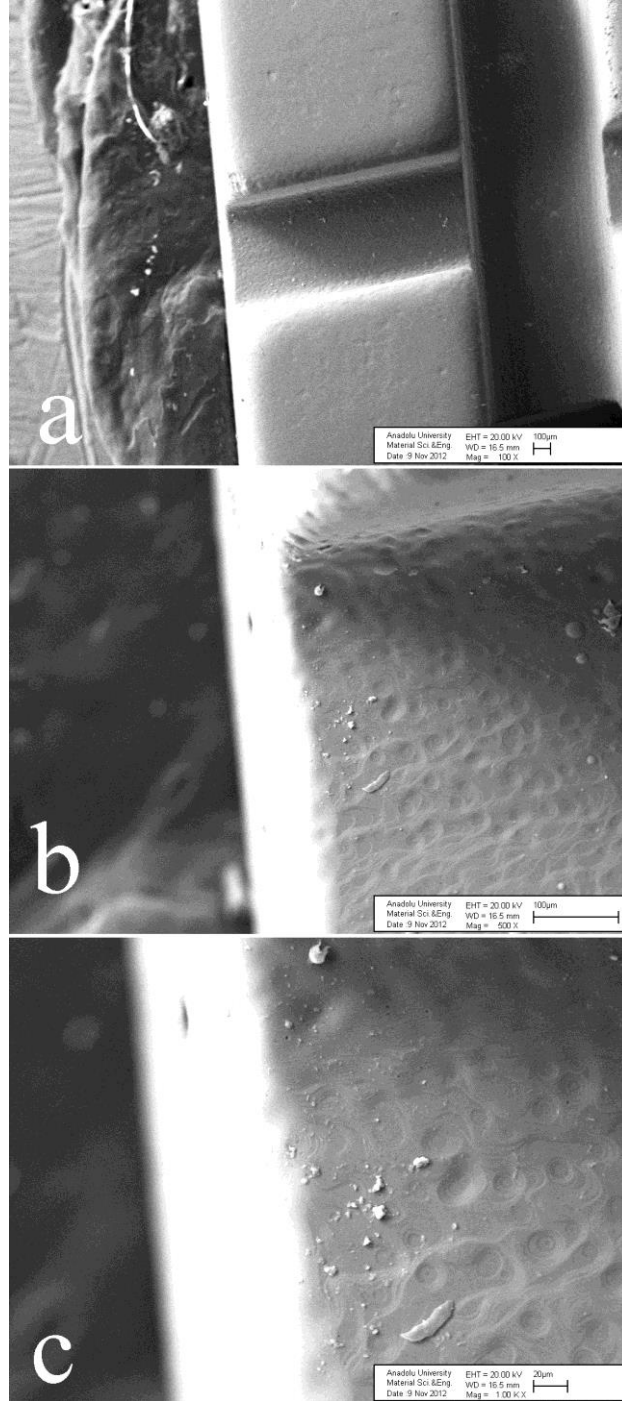
Braket slotunun yarısını diş üzerinde konumunun kolay ayarlanabilmesi için rehberlik oluşturması amacıyla kullanılmış gıda boyası kaplamaktadır. Fakat slotun diğer yarısından yüzey morfolojisi açıkça görünmektedir (Şekil 27). Genel yapı girintili çıkıntılıdır. Yüzey bitirme işlemleri yüzey morfolojisini düzleştirecek kadar etkili olmamıştır. Ayrıca slot köşelerinde de birçok çapak dikkati çekmektedir.



Şekil 27. SLK'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

### RDN (Radiance)

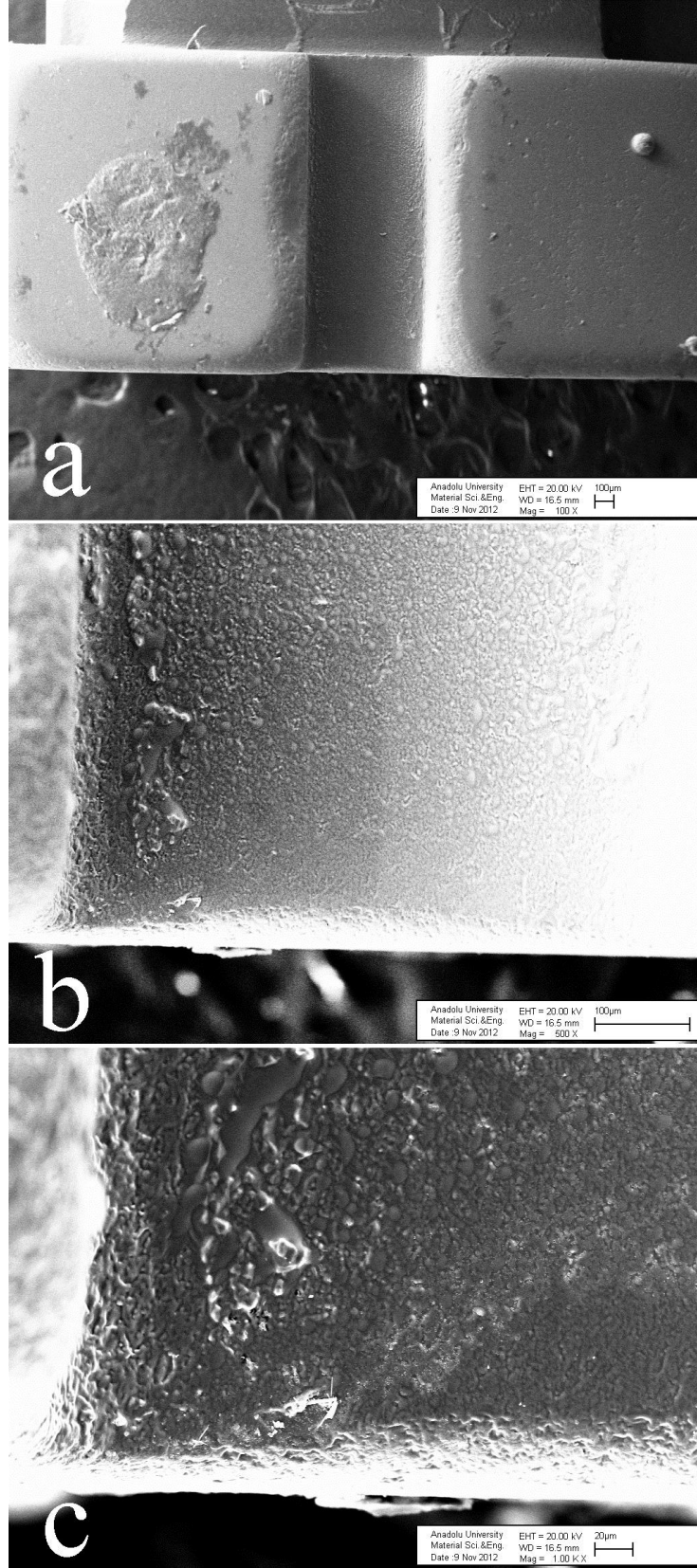
Monokristalin braketin slot yüzeyi gayet pürüzsüz, yüzey geçişleri yuvarlatılmış görünmektedir. Yüzeyde kristalizasyon işleminden veya kimyasal yüzey bitirme işleminden kaldığı düşünülen ufak kraterler dışında yüzey pürüzsüzdür (Şekil 28).



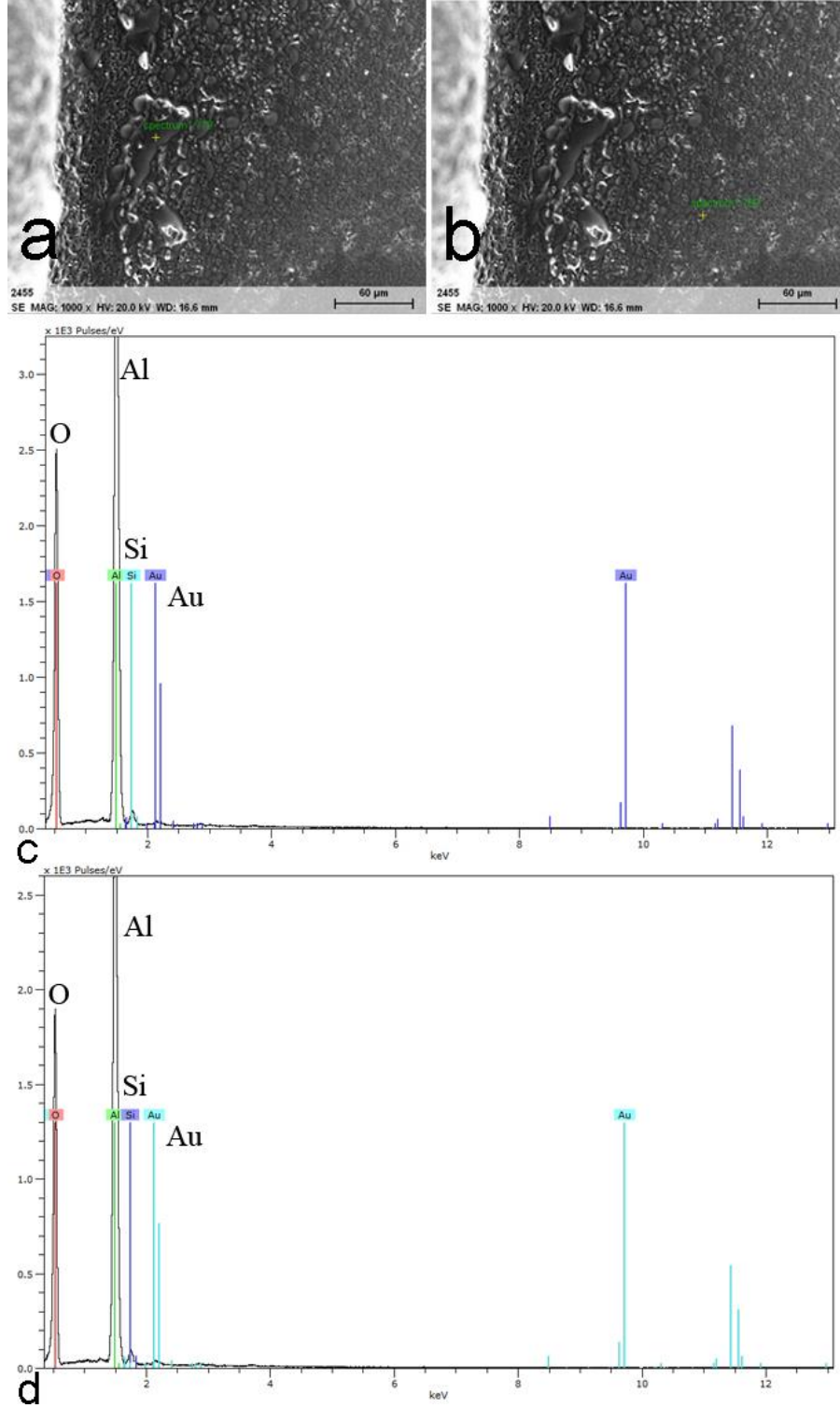
Şekil 28. RDN'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

### **PUR (Pure)**

Örnek bir monokristalin braket olmasına rağmen, slot yüzeyi polikristalin seramiklerdeki gibi yoğun girinti ve çıkıntılarla kaplıdır. Bu girinti çıkıntılar seramik tane sınırlarına benzediğinden (Şekil 29), yüzeyin kimyasal bileşimini belirlemek için SEM-EDX analizi kullanılmıştır. Analiz sonucunda yüzeyde yoğun miktarda silisyum elementi olduğu görülmüştür (Şekil 30). Yüzeydeki aşırı girinti çıkıntılı yapının sebebi, ham braket yüzeyinin bitirme işleminin yapılp, yüzey parlatılmasının bu pürüzlü monokristalin yüzeyine camsı malzemenin ısı işlem ile uygulanması olarak tahmin edilmektedir. Alümina seramiklerin sinterlenmesini kolaylaştırmak için silisyum elementi kullanılmaktadır. Bununla beraber, camsı malzeme ısı işlem gördüğünde topaklanmış ve söz konusu yapıyı oluşturmuştur. Bu pürüzlü yapı tüm slot tabanı ve köşeler boyunca görünmektedir.



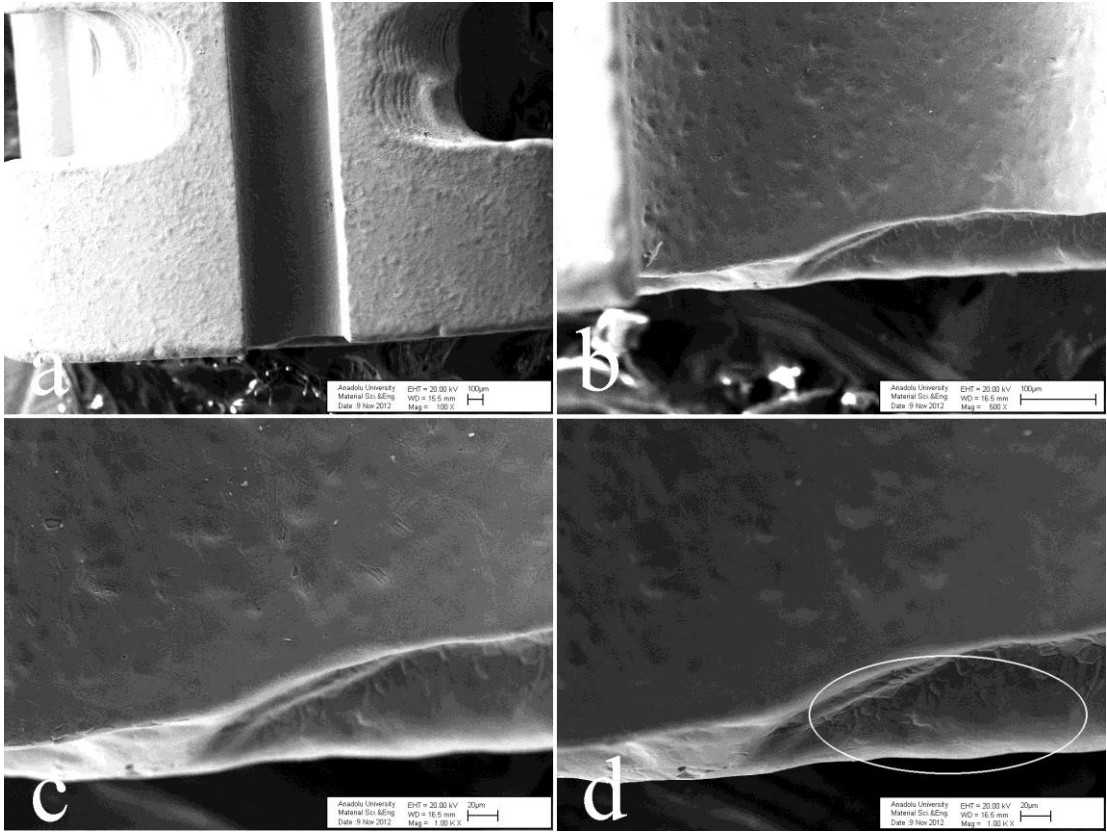
**Şekil 29.** PUR'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X



**Şekil 30.** PUR örneğine ait EDX sonucu. Daha pürüzlü topak (cluster) yapısı ile (a) genel yüzey özelliğini yansıtan alan (c) arasında içerdikleri elementler açısından bir fark görülmezken (b ve d), bu sonuçlarda yüksek Silisyum miktarı göze çarpmaktadır

### RFL (Reflections)

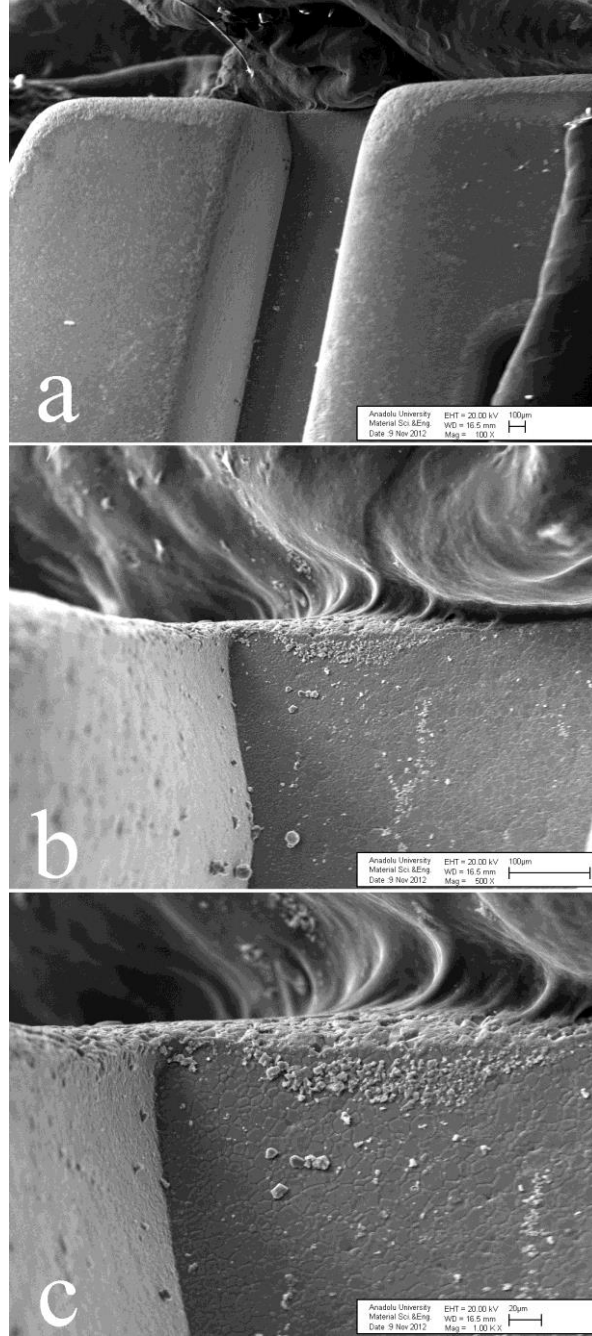
Polikristalin örneğin yüzeyi ufak girinti çıkıntılar dışında gayet pürüzsüz ve kenarları yuvarlatılmış görünmektedir (Şekil 31). Slot yüzeyinde tane sınırları belirgin olmamasına rağmen, yüzey bitirme işleminin tam olarak yapılmadığı bir yüzeyde kristal tanelerinin çok büyük olduğu görülmüştür. Bununla beraber taneler eş eksenli dağılıma sahip değildir. Taneler arasında dikkate değer boyut farkları vardır (Şekil 31d). Genel olarak yüzey bitirme işlemi gayet başarılıdır (Şekil 31c).



**Şekil 31.** RFL'e ait SEM görüntüleri **a)** 100X, **b)** 500X ve **c)** 1000X. 1000 büyütmede yüzey bitirme işleminin yapılmadığı bir bölgede kristal tane sınırları net olarak görülmektedir (**d**)

## FN2 (Fascination 2)

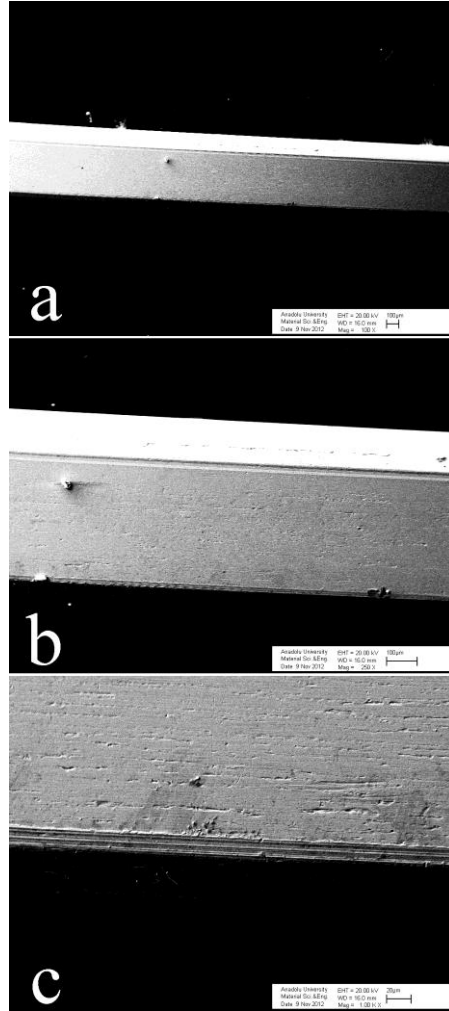
Yine polikristalin olan bu örneğin yüzey bitirme işlemi de başarılı görünmektedir, fakat tane sınırları aşırı belirgindir (Şekil 32). Ayrıca bu kadar belirgin tane sınırları kimyasal yüzey bitirme işlemi ve dağlama işlemi sonucu oluştuğu fikrini vermektedir. Slot kenarlarında ise yüzey bitirme işlemi yeterince başarılı olmamış, aşırı pürüzlü bir yapı göstermektedir (Şekil 32c).



Şekil 32. FN2'e ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 500X ve c) 1000X

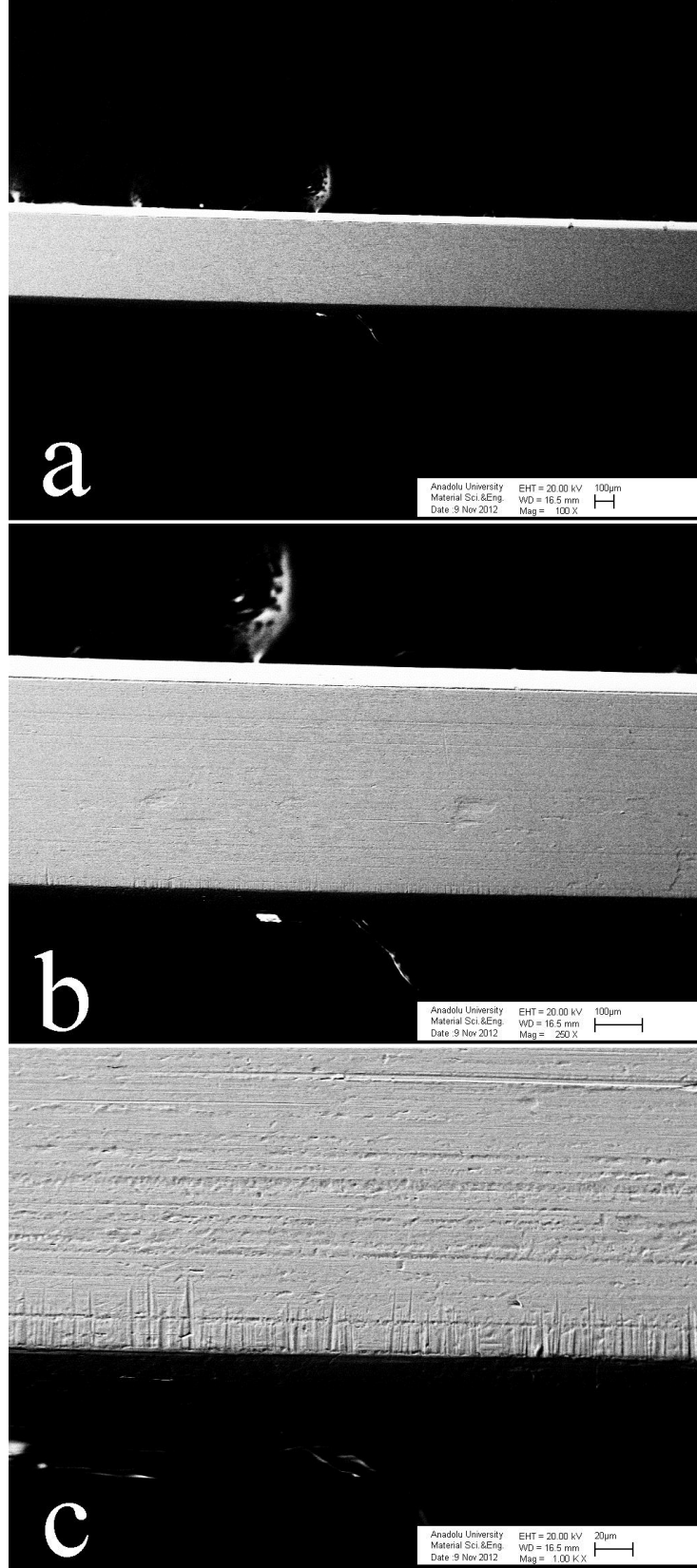
### Sürtünme Testi Yapılmış Tel Örnekleri

Sürtünme testinde en yüksek ve en düşük sürtünme katsayılarını gösteren 0,022 inç slota sahip OPM ve FN2 örnekleri ile teste tabi tutulmuş tel yüzeylerinin SEM görüntüsünde, sürtünmeden kaynaklı aşınma farkı (Şekil 33 ve Şekil 34) de görülmektedir. Doğal olarak, daha yüksek miktarda sürtünmeye maruz kalan malzemelerde aşınma da daha fazla olacaktır. Şekillerde görüldüğü üzere FN2 örneğinin köşesine yakın temas alanında sürtünmeye bağlı olduğu düşünülen aşınma izleri bulunmaktadır. Bununla beraber bu izlerin sadece sınırlı bir bölgede olması ve OPM örneğinde tel yüzeyinin hiçbir kısmında benzer izler bulunamaması, braket slotu ve tel arasındaki temas noktalarının slot geometrisi sebebi ile sınırlı bir alanda kalmış olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 33. OPM ile sürtünme testine tabi tutulmuş ark teline ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 250X ve c) 1000X





**Şekil 34.** FN2ile sürtünme testine tabi tutulmuş ark teline ait SEM görüntüleri a) 100X, b) 250X ve c) 1000X

### 4.3 Slot Genişliği Ölçümleri

Slot boyu ölçümleri 0,018 inç (457,2  $\mu\text{m}$ ) ve 0,022 inç (558,8  $\mu\text{m}$ ) standardındaki slotlar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Tablo 12). Ardından bu ölçümlerin grup temelinde ve malzeme temelinde sürtünme katsayılarına olan etkileri değerlendirilmiştir. Slot malzemesi temelinde incelendiğinde, bütün malzemelerde, slot boyu ölçümü ile sürtünme katsayısı arasında negatif yönde orta-kuvvetli ve kuvvetli derecede negatif yönde ilişki olduğu görülmektedir (Tablo 13).

**Tablo 12.** Slot genişliği ölçümlerinin tanımlayıcı istatistiği

| Genişlik                   | Slot malzemesi             | Grup       | N      | Ortalama (µm) | Standart genişlikten sapma (µm) | SD    | SE   | Ortalama için %95 güven aralığı |           | En yüksek (µm) | En düşük (µm) |       |
|----------------------------|----------------------------|------------|--------|---------------|---------------------------------|-------|------|---------------------------------|-----------|----------------|---------------|-------|
|                            |                            |            |        |               |                                 |       |      | Üst sınır                       | Alt sınır |                |               |       |
| 0,018 inç slot (=457,2 µm) | Metal/18                   | OPM/18     | 5      | 460,9         | 2,8                             | 3,9   | 1,7  | 456,1                           | 465,8     | 455,1          | 466,1         |       |
|                            |                            | MUT/18     | 5      | 468,6         | 11,4                            | 6,3   | 2,8  | 460,8                           | 476,5     | 461,9          | 476,0         |       |
|                            | MSE/18                     | ENC/18     | 5      | 445,4         | -11,8                           | 15,8  | 7,1  | 425,8                           | 465,0     | 420,1          | 460,8         |       |
|                            |                            | AVA/18     | 5      | 452,9         | -4,3                            | 8,1   | 3,6  | 442,8                           | 462,9     | 439,0          | 458,7         |       |
|                            |                            | SRA/18     | 5      | 485,1         | 27,9                            | 15,7  | 7,0  | 465,7                           | 504,6     | 468,2          | 510,3         |       |
|                            |                            | ASG/18     | 5      | 469,7         | 12,5                            | 3,5   | 1,6  | 465,3                           | 474,0     | 464,7          | 472,6         |       |
|                            |                            | ELG/18     | 5      | 489,9         | 32,7                            | 10,8  | 4,8  | 476,5                           | 503,2     | 474,6          | 501,4         |       |
|                            |                            | VRG/18     | 5      | 452,5         | -4,7                            | 7,2   | 3,2  | 443,7                           | 461,4     | 442,5          | 459,9         |       |
|                            |                            | SMB/18     | 5      | 492,5         | 35,3                            | 1,6   | 0,7  | 490,4                           | 494,5     | 490,6          | 494,5         |       |
|                            |                            | Plastik/18 | OFL/18 | 5             | 476,3                           | 19,1  | 13,8 | 6,2                             | 459,1     | 493,4          | 460,3         | 496,7 |
|                            | SLK/18                     |            | 5      | 466,9         | 9,7                             | 4,8   | 2,2  | 460,9                           | 472,9     | 460,8          | 471,9         |       |
|                            | BRL/18                     |            | 5      | 425,4         | -31,8                           | 1,0   | 0,4  | 424,1                           | 426,6     | 424,4          | 427,0         |       |
|                            | Monokristal/18             | PUR/18     | 5      | 500,9         | 43,7                            | 2,2   | 1,0  | 498,1                           | 503,7     | 498,6          | 504,2         |       |
|                            |                            | RDN/18     | 5      | 455,0         | -2,2                            | 16,2  | 7,3  | 434,8                           | 475,1     | 431,3          | 476,8         |       |
|                            | Polikristal/18             | ICE/18     | 5      | 468,7         | 11,5                            | 5,8   | 2,6  | 461,4                           | 475,9     | 460,6          | 476,5         |       |
|                            |                            | TRC/18     | 5      | 417,3         | -39,9                           | 2,4   | 1,1  | 414,3                           | 420,3     | 413,6          | 419,7         |       |
|                            |                            | RFL/18     | 5      | 481,5         | 24,3                            | 4,9   | 2,2  | 475,4                           | 487,6     | 475,7          | 488,2         |       |
|                            |                            | 2040/18    | 5      | 485,6         | 28,4                            | 4,3   | 1,9  | 480,3                           | 490,9     | 480,5          | 491,7         |       |
|                            |                            | FN2/18     | 4      | 516,5         | 59,3                            | 8,5   | 4,2  | 503,1                           | 530,0     | 509,6          | 528,8         |       |
|                            |                            | JW/18      | 5      | 473,1         | 15,9                            | 4,3   | 1,9  | 467,8                           | 478,4     | 467,9          | 477,5         |       |
|                            |                            | CON/18     | 5      | 498,1         | 40,9                            | 4,4   | 2,0  | 492,5                           | 503,6     | 493,5          | 504,5         |       |
|                            |                            | ACL/18     | 5      | 441,7         | -15,5                           | 5,1   | 2,3  | 435,4                           | 448,0     | 434,1          | 447,6         |       |
|                            | 0,022 inç slot (=558,8 µm) | Metal/22   | OPM/22 | 3             | 570,9                           | 12,1  | 14,9 | 8,6                             | 533,8     | 607,9          | 556,6         | 586,4 |
|                            |                            |            | MUT/22 | 5             | 595,2                           | 36,4  | 8,7  | 3,9                             | 584,3     | 606,0          | 582,9         | 605,9 |
|                            |                            | MSE/22     | CLA/22 | 5             | 564,9                           | 6,1   | 5,1  | 2,3                             | 558,6     | 571,3          | 556,2         | 569,3 |
|                            |                            |            | ENC/22 | 5             | 553,7                           | -5,1  | 7,5  | 3,4                             | 544,4     | 563,0          | 546,1         | 565,4 |
|                            |                            |            | AVA/22 | 5             | 528,9                           | -29,9 | 3,2  | 1,4                             | 525,0     | 532,9          | 524,3         | 531,8 |
|                            |                            |            | SRA/22 | 5             | 612,2                           | 53,4  | 24,9 | 11,1                            | 581,3     | 643,1          | 573,1         | 638,1 |
| ASG/22                     |                            |            | 5      | 562,7         | 3,9                             | 4,0   | 1,8  | 557,7                           | 567,6     | 557,3          | 567,4         |       |
| ELG/22                     |                            |            | 5      | 591,5         | 32,7                            | 40,1  | 18,0 | 541,7                           | 641,4     | 546,8          | 638,8         |       |
| VRG/22                     |                            |            | 5      | 546,5         | -12,3                           | 7,2   | 3,2  | 537,6                           | 555,5     | 535,7          | 555,2         |       |
| SMB/22                     |                            |            | 5      | 577,1         | 18,3                            | 18,5  | 8,3  | 554,2                           | 600,0     | 549,9          | 600,6         |       |
| Plastik/22                 |                            | OFL/22     | 5      | 579,3         | 20,5                            | 9,8   | 4,4  | 567,1                           | 591,5     | 562,8          | 587,1         |       |
|                            |                            | SLK/22     | 5      | 539,1         | -19,7                           | 6,8   | 3,0  | 530,8                           | 547,5     | 533,3          | 547,1         |       |
|                            |                            | BRL/22     | 5      | 554,1         | -4,7                            | 5,2   | 2,3  | 547,6                           | 560,6     | 549,4          | 562,3         |       |
| Monokristal/22             |                            | PUR/22     | 5      | 587,2         | 28,4                            | 1,7   | 0,7  | 585,1                           | 589,3     | 585,7          | 589,7         |       |
|                            |                            | RDN/22     | 5      | 564,7         | 5,9                             | 12,0  | 5,3  | 549,8                           | 579,5     | 546,9          | 578,7         |       |
| Polikristal/22             |                            | ICE/22     | 5      | 576,2         | 17,9                            | 10,7  | 4,8  | 562,9                           | 589,4     | 567,3          | 594,8         |       |
|                            |                            | TRC/22     | 5      | 521,2         | -37,6                           | 3,1   | 1,4  | 517,3                           | 525,0     | 516,5          | 524,2         |       |
|                            |                            | RFL/22     | 5      | 591,0         | 32,2                            | 2,9   | 1,3  | 587,4                           | 594,6     | 588,4          | 594,4         |       |
|                            |                            | 2040/22    | 5      | 586,3         | 27,5                            | 3,2   | 1,4  | 582,3                           | 590,2     | 583,6          | 591,5         |       |
|                            |                            | FN2/22     | 5      | 633,2         | 74,4                            | 28,6  | 12,8 | 597,7                           | 668,7     | 605,8          | 673,0         |       |
|                            |                            | JW/22      | 5      | 519,9         | -38,9                           | 9,0   | 4,0  | 508,7                           | 531,0     | 510,9          | 531,0         |       |
|                            |                            | CON/22     | 4      | 566,3         | 7,5                             | 4,4   | 2,2  | 559,3                           | 573,3     | 561,3          | 571,3         |       |
|                            |                            | ACL/22     | 4      | 579,1         | 20,3                            | 4,5   | 2,2  | 571,9                           | 586,2     | 574,7          | 583,6         |       |

**Tablo 13.** Slot malzemelerinin slot genişliği ölçümü ile korelasyonu

| Slot Malzemesi |                    | Slot genişliği ölçümü |       |
|----------------|--------------------|-----------------------|-------|
| Metal          | Sürtünme katsayısı | Pearson korelasyonu** | -,876 |
|                |                    | p                     | *     |
|                |                    | N                     | 13    |
| MSE            | Sürtünme katsayısı | Pearson korelasyonu** | -,464 |
|                |                    | p                     | *     |
|                |                    | N                     | 77    |
| Plastik        | Sürtünme katsayısı | Pearson korelasyonu** | -,390 |
|                |                    | p                     | ,033  |
|                |                    | N                     | 30    |
| Polikristal    | Sürtünme katsayısı | Pearson korelasyonu** | -,448 |
|                |                    | p                     | *     |
|                |                    | N                     | 70    |
| Monokristal    | Sürtünme katsayısı | Pearson korelasyonu** | -,435 |
|                |                    | p                     | ,016  |
|                |                    | N                     | 30    |

\*p<0,0001

\*\*0,25-0,75 arasındaki Pearson korelasyon değeri orta derecede, 0,75-1 arasındaki değerler ise kuvvetli derecede korelasyonu göstermektedir

## 5. TARTIŞMA

Bu bölümde testlerde kullanılan yöntem, malzemeler, sürtünme testleri sırasındaki ortam şartları ve slot geometrisinin sürtünme katsayılarına etkisi teker teker ele alınmış ve çalışmanın özellikle güncel çalışmalarla olan benzer ve farklı sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 5.1. Test Örneklerinin Sürtünme Özellikleri

#### 5.1.1. Tel Malzemesinin Sürtünmeye Etkisi

Çalışmamızda köşeli paslanmaz çelik teller kullanılmıştır. Bunun en önemli sebebi, tel malzemesinin sürtünmeye etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma yapılmış olması ve braket slotu malzemesinin tel malzemesinden daha belirleyici bir faktör olarak düşünülmesidir. Ayrıca farklı türde malzemelerin braket slot malzemesi ile etkileşimi de farklı olabilecek, belirli özelliklerin etkisini inceleyebilmek için çok daha fazla sayıda örnek kullanılması gerekecektir.

Farklı malzemelerin etkileşimlerine örnek vermek gerekirse; nikel titanyum tellerin yüzeyi bazı çalışmalarda daha düzensiz bulunmuş olmasına rağmen,  $\beta$ -Titanyum tellerin sürtünme direnci neredeyse her zaman daha yüksek bulunmuştur.  $\beta$ -Titanyum'un bu özelliği içeriğindeki yüksek titanyum oranına bağlanmıştır. Teldeki titanyum oranı arttıkça, metalin yüzey enerjisi de artmaktadır. Yüzey kimyası, sürtünme direnci açısından, yüzey pürüzlülüğünden çok daha önemli bir faktör olduğundan, % 50 Titanyum içeren  $\beta$ -Titanyum ark tellerinin Nikel titanyuma oranla % 80 daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Sonuçta  $\beta$ -Titanyum telin esneklik sınırı daha düşük olduğundan telden paslanmaz çelik braket üzerine madde transferi oluşmaktadır. Bazen sürtünme o kadar artar ki  $\beta$ -Titanyum tel ile çelik braket arasında soğuk lehim meydana gelerek, hareketi tümenden imkânsız kılabilir (Kusy ve ark., 2004; Proffit ve ark., 2007).

$\beta$ -Titanyum ve nikel titanyum yüzey özelliklerinin iyileştirmesi için, bu metallerin yüzeyine iyon implantasyonu (azot, karbon ve bazı başka iyonlar) uygulanmış, bu işlem,  $\beta$ -Titanyum kalça implantlarında başarılı olmuşken, ağız içi ortamda sürtünme özellikleri paslanmaz çelik tellerin seviyesine gelmemiştir (Burstone ve Farzin-Nia, 1995; Ryan ve ark., 1997). Kusy ve arkadaşları (1992) ise  $\beta$ -Titanyum

tellere azot iyonu implantasyonunun sürtünmeyi azaltmak adına başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Fakat bütün bu yüzey değişimlerinin ağız içi gibi malzemeler için hayli zorlu bir ortamda ne gibi sonuçlar doğurabilecekleri halen tam olarak anlaşılmış değildir.

Yukarıda anlatılan sebeplerden ötürü, çalışmanın esas amacı olan braket malzemelerinin sürtünmeye etkisini incelemek için, ark teli özelliklerinden çok, braket üretim özelliklerine odaklanmak doğru bulunmuş ve çalışmamız bu özellikleri doğrudan yansıtabilecek, hakkında en çok bilgiye sahip olunan paslanmaz çelik ark telleri üzerine kurgulanmıştır.

### **5.1.2. Slot Malzemesinin Sürtünmeye Etkisi**

Ark telleri tedavi boyunca tedavi safhasının gereksinimlerine göre değiştirilebilirken, braketler istisnalar dışında tedavi boyunca aynı kalmaktadır. Bu sebeple braketlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ark tellerine göre tedavi başarısı açısından daha önemlidir. Daha önce anlatıldığı üzere, ortodontik braketler temelde, metal, seramik ve polikarbonat (plastik) olmak üzere üç çeşit malzemedan üretilmektedir. Bu malzemeler ile en sık kullanılan ark teli malzemeleri (çelik, nikel-titanyum ve beta titanyum) arasında sürtünme açısından en iyi sonucu veren ikilinin metal braket ve tel ikilisi olduğu görülmüştür (Garner ve ark., 1986).

### **Paslanmaz Çelik**

Çalışmamızda köşeli paslanmaz çelik ile en düşük sürtünme katsayısına sahip braket slot malzemesinin yine paslanmaz çelik olduğu görülmüştür. MSE braketlerle metal braketlerin sürtünme katsayıları arasında istatistiksel fark bulunamamıştır. Daha önce yapılmış birçok çalışmada da paslanmaz çelik braketlerin sürtünme kuvvetlerini azaltmak açısından daha verimli olduğu görülmüştür (Moore ve ark., 2004; Sadique ve ark., 2006). Yaptığımız çalışmanın sonuçlarına göre paslanmaz çelik braketlerin sürtünme konusunda halen “altın standart” olma özelliğini taşıdığı görülmektedir.

### **Metal Slotlu Estetik Braketler**

Metal slotlu estetik braketler, seramik ve plastik malzemelerin sürtünme ve tork deformasyonu gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmak için üretilmiş aygıtlardır. Bu aygıtların tork deformasyonu konusunda plastik braketlerden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Harzer ve ark., 2004). Sürtünme konusunda da birçok çalışmada diğer

estetik braketlerden daha olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir (Sadique ve ark., 2006). Çalışmamızın sonuçlarına bakıldığında da benzer şekilde 0,018 inç metal slota sahip estetik braketlerin sürtünme katsayıları metal braketlerinkinden istatistiksel olarak farksız bulunmuştur. 0,018 inç braketlerde en düşük ortalama sürtünme katsayısı MSE braket olan ELG örneğinde bulunmuştur. 0,022 inç braketlerde MSE braketler daha yüksek sürtünme değerleri göstermesine rağmen aradaki fark azdır ( $p=0,003$ ).

Diğerlerine nazaran daha yakın bir geçmişte piyasaya sürülen Altın-Paladyum kaplamalı slota sahip estetik braketlerin sürtünme dirençleri, diğer braketlerin çoğuna oranla daha az bulunmuştur. Hatta 0,022 inç metal kaplı slota sahip braketler arasında en düşük sürtünme katsayısına sahip örnektir. Daha önce Doshi ve Bhad-Patil'in (2011) de benzer sonuçlar bulunmuş olması, bu kaplamanın, gelecekte yapılacak tasarımlarda göz ardı edilemeyecek avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Altın kaplamanın bir diğer avantajı da diş rengine daha yakın bir renge sahip olduğundan, metalik görüntüye nazaran daha estetik, daha az göze batan bir görüntüsü olmasıdır.

### **Plastik**

DeneySEL çalışmanın sonuçlarına bakıldığında 0,018 inç slota sahip plastik braketlerin sürtünme değerlerinin MSE braketlerle ve polikristalin braketlerle istatistiksel farkı olmadığı, yine Tablo 8, 9 ve 10'a bakıldığında benzer bir durum söz konusu olduğu, 0,022 inç slotlu plastik braketlerin ise polikristalin seramik braketlerle istatistiksel farkı olmadığı görülmektedir. Braket üretiminde kullanılan plastik malzemeler farklı olabilmekte ve bu malzemelerden kaynaklı farklar sürtünme değerlerine de yansıyabilmektedir (Zinelis ve ark., 2005). Literatürdeki birçok çalışmada plastik braketlerin sürtünme değerlerinin metal braketlere yakın olduğu gösterilmiştir (Tselepis ve ark., 1994; Suwa ve ark., 2003). Zinelis ve arkadaşları (2005), değişik hammaddeler kullanarak elde edilen plastik braketlerin yüzey özelliklerinin de farklı olduğu göstermiştir. Çalışmamızda kullanılan bazı plastik braketlerin sürtünme değerlerinin polikristalin braketlere bu kadar yakın olmasının sebebinin yüzey özellikleri olduğu düşünülmektedir.

En düşük sürtünme katsayısını gösteren örnek olan BRL, polioksümetilen malzemedен üretilmiştir. Polioksümetilen yüksek sertlik, mükemmel boyut dayanıklılığı ve az sürtünme gereken mekanik parçalarda kullanılan bir üründür. Nobel ödüllü Alman

kimyager Hermann Staudinger tarafından 1920'lerde bulunmuştur. 1950 ve 60'larda ise geliştirilerek yaygın kullanım alanına kavuşmuştur. Özellikle sürtünmenin azaltılması için geliştirilmiş bir malzeme olan Polioksümetilen veya diğer adıyla "asetal"ın, çalışmamızda da sürtünme değerlerinin düşüklüğü ve yüzey pürüzlülüğünün azlığı ile gelecekte yapılacak plastik braket tasarımları için kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Bununla beraber daha önce yapılmış bir çalışmada malzemenin tork dayanıklılığının standart metal ve seramik braketlerden düşük olmasına rağmen, klinik olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür (Morina ve ark., 2008). Malzemenin en önemli dezavantajı ise ısı, asit hatta radyasyona maruz kaldığında formaldehit salınımının gözlenmesidir (Kusy ve Whitley, 2005). Malzemenin bu özelliği hakkında daha ayrıntılı çalışmalar gerekmektedir.

### **Seramik**

Çalışmamızda hem monokristalin hem de polikristalin yapılı seramik braketlerin sürtünme katsayıları arasında istatistiksel bir fark bulunamazken, her iki braket malzemesinin sürtünme katsayısı metal ve MSE braketlere oranla daha yüksek bulunmuştur.

Kayma mekanikleri ile yapılan köpek dişi retraksiyonu sırasında metal braketlere oranla seramik braketlerin oluşturduğu sürtünme direncinin köpek dişi retraksiyonu verimini %20-30 kadar azaltabildiği öne sürülmektedir (Bednar ve ark., 1991). Hatta Drescher ve arkadaşlarının (1989) bir çalışmasına göre, etkin kuvvetin sürtünme direncini yenebilmesi için bazı durumlarda altı katına kadar çıkartılması gerekebilmektedir.

Omana ve arkadaşları (1992), estetik braketler ve metal braketler arasında yapılan benzer bir çalışmada seramik braketler ile metal braketler arasındaki sürtünme farkını çalışmamıza benzer şekilde sadece çelik tel kullanarak incelemiş ve seramik braketler ile metal braketlerin oluşturdukları sürtünme kuvvetleri arasında dikkate değer farklılıklar bulmuşlardır. Ayrıca testler sırasında uygulanan yükün en önemli etken olduğunu belirtmişlerdir. Kullandıkları test düzeneği evrensel test makinesinden oluşan basit bir düzenek olsa da uyguladıkları yük (150 gram) çalışmamızla aynıdır.



## 5.2. Sürtünme Testleri

### 5.2.1. Test Düzenegi

Sürtünme testleri sırasında ark teli ile braket arasında birden çok noktada oluşan temaslar, tribolojik analizleri karmaşık hale getirmektedir. Bununla beraber, canlı dokuda yapılan ölçümlerde, diş hareketi sırasında düşük frekansta (0,5 Hz) okluzal hareketler sonucunda karmaşık kuvvet yüklemesi de görülmüştür. Son olarak ortamda tükürüğün bulunması tribo-oksidasyonu arttıracak ve hem sürtünme hem de aşınma davranışlarını değiştirecektir. Bu kadar karmaşık bir sistemin anlaşılıp değerlendirilebilmesi sadece bu işe özel bir deneysel metot ile mümkün olabilmektedir (Rapiejko ve ark., 2009).

Rapiejko ve arkadaşlarının (2009) önceki bir çalışmada kullandığı test düzenegi çalışmamızda kullanılabenzer bir düzenektir. Araştırmacılar braket ve ark tellerine uyguladıkları değişik tiplerde kaplamaların sürtünmeye etkisini ağız içi ortama şimdiye kadar yapılmış en yakın simülasyonlardan biri ile değerlendirmiştir. Testler hem kuru hem yapay tükürük ile kayganlaştırılmış ortamda yapılmış, testler sırasında okluzal kuvvetleri ve dişin bunlara cevabını yansıtabilecek hareketler kullanılmıştır. Örnek çiftlerinin göreceli hızı çok azdır (0.694 µm/dakika). Çalışmada her örnek çiftinin bir kere kullanılıp kullanılmadığı belirtilmemiş ve testler sırasında tedavi sırasında oluşabilecek ark teli-braket slotu yüzeyi ek temaslarına yer verilmemiş olmasına rağmen, sonuçları bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar ile benzerlik taşımaktadır. Paslanmaz çelik tel ve braketler arası sürtünme katsayısı en düşük bulunmuştur.

Öz ve arkadaşları (2011) güncel çalışmalarında çalışmamızda kullanılan ile aynı test düzenegini ve çok benzer çevresel şartları kullanmıştır. Çalışmalarında kilitli braket sistemleri ile geleneksel metal braketleri deneysel ve klinik ortamda karşılaştırmış ve klinik sonuçların sürtünme test düzeneginin sonuçlarını doğruladığını görmüşlerdir. Bununla beraber test düzeneginin klinik sonuçlarla olan bağıntısının düzeyi konusunda herhangi bir yorumda bulunulmamıştır.

Daha önce yapılmış çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da en büyük zorluk dişin gerçek hareket modelinin laboratuvar şartlarında tam olarak simüle edilmesiydi. Eski çalışmalar genellikle tek veya iki yönlü, gidip gelme düzleminde tek

hareket modeli kullanırken. Daha yeni çalışmalarda fretting cihazları ile dişin hem gidip gelme hem de devrilme hareketleri taklit edilebilmektedir. Bununla beraber, yapılan bu salınım hareketleri motora bağlı olduklarından her döngüde tamamen aynı hareketlerin taklit edilmesi söz konusudur. Ağız içinde ise durum biraz daha farklıdır. Ağız içerisindeki kuvvetler kas hareketleri sayesinde devamlı değişik miktarlarda değişik noktalardan uygulanmaktadır, buna ek olarak dişin konumu değişikçe kuvvet merkezlerine uzaklığı da değişecektir. Yani gerçekte önceki çalışmalarda uygulandığı gibi belli frekanslarla, belli noktadan, belli hızlarda uygulanan kuvvetler yerine o anki fonksiyonel ihtiyaca göre şekillenen kuvvetler ve bunlara bağlı sürtünme şekilleri vardır. Üç boyutta düşünüldüğünde, örneğin, ağız içerisinde sadece sürüklenme sürtünmesi yoktur, bununla beraber bazen yuvarlanma sürtünmesi de çok az etkili olabilmektedir. Dişin hareket modeli sırasında statik sürtünme daha baskın rol oynasa da, statik sürtünme sadece saniyenin yüzde biri gibi kısa bir sürede yerini kinetik sürtünmeye bırakmaktadır. Daha önce konu üzerinde yapılan çalışmalarda diş hareketi esnasında statik ve kinetik sürtünmenin anlamlı bir farkı olmadığı bulunmuştur (Omana ve ark., 1992; Downing ve ark., 1994; Keith ve ark., 1994; Saunders ve Kusy, 1994; Kapur ve ark., 1999). Çalışmamızda kullanılan hareket modeli kinetik sürtünme üzerine olup anlatılan sebeple statik sürtünme üzerinde ayrıca durulmamıştır. Bununla beraber kullandığımız test düzeneği ile istenildiği takdirde statik sürtünme kuvvetleri de ölçülebilmektedir.

Ağız içi kuvvet simülasyonunu zorlaştıran bir başka önemli faktör de canlı dokuya uygulanan kuvvetleri absorbe eden mekanizmalardır. Periyodontal ligament ve kemik dokusu dişe uygulanan kuvvetlerin bir kısmını emmekte ve dişin her türlü kuvvet karşısında bir miktar hareket etmesini sağlamaktadır. Daha önce konuyla ilgili yapılmış çalışmalarda bu tek düzlemde kalan mekanik etki, çalışmamızda biyolojik hareketlere daha benzer hareket özellikleri gösterebileceğini düşündüğümüz silikon yastıkla sağlamaya çalışılmıştır. Silikonun uygulanan kuvvete verdiği cevap ve her yönde belli miktar hareket edebilme özelliği ağız dokularına benzer şekildedir.

### **5.2.2. Ark Teli ile Braket Arası Bağlanma Kuvvetinin Sürtünmeye Etkisi**

Ark teli ile braketin birbirlerine bağlanma yöntemi, sürtünme sırasında oluşacak normal kuvveti değiştireceğinden, sürtünme kuvvetini etkiler. Bununla beraber sürtünme katsayısı sabit kalır, fakat değişik çalışmaların sonuçlarının birbirleri ile

karşılaştırılabilmesi açısından sürtünme kuvvetinin de belli düzeylerde tutulması önemlidir.

Sims ve arkadaşları (1993), elastik ligatürün tele uyguladığı kuvvetin 50 ile 150 gram arasında değişebildiğini öne sürmüş olsalar da, yapılan birçok diğer çalışma, hangi ligatür türü kullanılırsa kullanılsın, ligatürün sürtünmeyi arttırıcı bir etkisi olduğunu ve tele ilettiği kuvvetin standart hale getirilmesinin çok zor olduğunu göstermiştir (Omana ve ark., 1992; Keith ve ark., 1993; De Franco ve ark., 1995; Hain ve ark., 2003; 2006).

Çalışmamızda ligatürün bu etkisini standart hale getirebilmek için tel ile braketi birleştirecek sabit bir ağırlık kullanıldı. 150 gramlık ağırlık braket tutucu kolunun üzerine bağlanarak, braketin tel üzerinde sıkıca oturması sağlandı.

### **5.2.3. Test Şartları ve Çevresel Etkenlerin Sürtünmeye Etkisi**

Birbiri üzerinde kayan iki madde arada oluşan sürtünmeden dolayı yüksek bölgesel gerilim ve basınçlara maruz kalırlar. Bu gerilim ve basınçlar madde yüzeyinde yerel kırılma ve kopma gibi deformasyonlara yol açar. Bu deformasyonlar sadece yüzeyin aşınmasına sebep olmaz aynı zamanda yüzey özelliklerinin de değişmesini sağlar. Ortaya çıkabilecek yüksek ısı yüzeyi eritebilir veya yüzeyde meydana gelen kimyasal reaksiyonları hızlandırabilir. Oluşan yeni yüzey bileşimi tribofilm olarak adlandırılır ve madde yüzeyinin topografisini, kimyasını ve mekanik özelliklerini değiştirerek yüzeye yeni tribolojik özellikler kazandırır (Olofsson, 2011). Ortodontik tedavi sırasında hareket çok yavaş olduğundan, yüzey kimyasını etkileyebilecek kadar ciddi ısı ortaya çıkmaz.

Ortodontik sürtünme kuvvetleri kullanılan malzemelerden başka, yüzeyde oluşan filmler, uygulanan kuvvet ve ortam sıcaklığı ile de büyük oranda değişebilmektedir (Omana ve ark., 1992).

Daha önce bahsedilen MSE braketlerde braket malzemesinin slot içerisine taşması durumu, yüzey özelliklerinin etkisini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Bu hataya sahip braketlerde genel slot yüzeyi ne kadar pürüzsüz olursa olsun ark teli çoğu yerde sivri ve düzensiz olan, parlatma işlemi yapılmamış braket malzemesi ile temas halinde olduğundan, bu bölgeler şüphesiz ki sonuçları etkilemektedir. Bu hataya sahip

braketlerin çalışma dışına çıkartılmamasının sebebi, bu hatanın sonuçları ne derecede etkileyebileceğini değerlendirmektir.

Sürtünme ile meydana gelen yüzey aşınmasının sürtünme kuvvetlerini etkilediği bilinen bir gerçektir. Yapılan birçok çalışmada aynı braket-tel ikilisi birçok sefer test edilmiştir (Farronato ve ark., 2011).

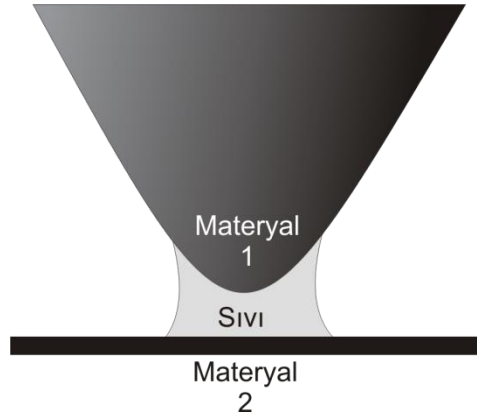
Niti teller aşınmaya paslanmaz çelik tellerden daha dayanıklıdır. Fakat ortamda sıvı varlığında, paslanmaz çelik tel abrazyon aşınmaya, Niti teller ise adeziv aşınmaya maruz kalmaktadır (Berradja ve ark., 2006b). Bu sebeple ark tek ark telinin üzerinde yapılan çok sayıda döngü, ölçümlerin sonuçlarını Niti ve paslanmaz çelik teller için farklı miktarlara etkileyecek, bu da sonuçlara orantısız değişimler olarak yansıtacaktır. Sonuç olarak kullanılan ark teli braket ikililerinin çok sayıda tribolojik döngüye tabi tutulduğu çalışmaların sonuçları bu değişimlerden etkilenmiş olabilir.

Çalışmamızda yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı sürtünme testleri her braket-tel çifti için tek döngü olarak planlanmış, böylece aşınma ve yüzey etkileşimlerinden kaynaklı değişimlerin önüne geçilmek amaçlanmıştır.

#### **5.2.4. Tükürüğün Sürtünmeye Etkisi**

Tükürüğün kayganlaştırıcı etkisinin, braket ve ark telleri arasındaki sürtünme üzerine etkisi tartışmalı bir konudur. Bu konuda yapılmış araştırmalar konu üzerinde tam bir görüş birliği olmadığını göstermektedir (Sims ve ark., 1993). Yapılan çalışmalardan bazılarında taze doğal tükürük kullanılırken, bazılarında ise yapay tükürük kullanılmıştır. Sürtünme üzerine çalışırken kullanılacak kayganlaştırıcının özellikleri en az testte kullanılan malzemeler kadar önemlidir. Kayganlaştırıcı maddenin kimyasal özelliklerini ve sürtünme yüzeyleri ile oluşabilecek etkileşimleri çok iyi analiz etmek gerekmektedir. Kayganlaştırıcı madde ile sürtünme yüzeyleri arasında oluşabilecek kimyasal etkileşimler, aynı yüksek sıcaklıkta olduğu gibi yüzey kimyasını bozarak maddelerin sürtünme özelliklerini değiştirebilmektedir (Kajdas ve ark., 1990).

Kimyasal etkileşimlere girmese bile, kullanılan kayganlaştırıcının bazı şartlarda yüzeyler arası çekimi etkilediği bilinmektedir. Katı maddeler arasındaki boşluk çok kısaldığında, yüzey kuvvetleri deformasyona yol açabilir. Arada kalan sıvı büyük konkav menüsküs kavisleri oluşturabilir (Şekil 35). Bu oluşum sıvıda çok yüksek çekme gerilimine yol açar ki, bu gerilim katı yüzeylerini iyice birbirine doğru çekerek durumu



**Şekil 35.** Yapışma-Kayma fenomeninde temas halindeki maddeler (Malzeme 1 ve 2) arasında kalan sıvı menüsküs oluşumu sonucu bir vakum ortamı oluşturabilmektedir

daha da kötü bir hale getirir, buna “yapışma-kayma fenomeni” (stick-slip phenomennon) denmektedir (Zheng ve Streator, 2004). Bu aşamada yüksek çekim kuvvetlerine en büyük katkıyı moleküller arası çekimden ziyade kayganlaştırmada kullanılan sıvı ve ortamdaki nem miktarı gibi çevre şartları yapmaktadır (Ouyang ve ark., 2001). Bu durumun, ağız içi şartlarında, çok yavaş hızlarda, özellikle yüzeyi çok düzensiz olan  $\beta$ -Titanyum telleri kullanıldığında yaşanma olasılığı daha önceden Kusy ve Whitley (1990b) tarafından bildirilmiştir.

Tükürük kullanılan çalışmalarda görülen birbirinin tam tersi sonuçlar, tükürüğün sürtünme üzerindeki etkilerini derinlemesine inceleyen yeterince çalışma yapılmadığını göstermektedir (Kusy ve Whitley, 1990b; Ho ve West, 1991; Sims ve ark., 1993).

Özellikle  $\beta$ -Titanyum’un yüzey kimyası sebebiyle kullanılan kayganlaştırıcının tükürük ile benzerliği ayrıca ortam nemi, ısı ve dış hareket hızı gibi değişkenlerin de çok iyi bir şekilde simüle edilmesi oluşacak sürtünme kuvvetlerinin ağız içi ortamı ile benzeşebilmesi açısından önemlidir. Bu değişkenlerin hepsinin aynı şekilde test ortamına uyarlanması çok güç olduğundan, test düzeneğinde kuru ortam kullanılması ve bu şekilde düzeneğin standardizasyonu yoluna gidilmiştir.

Sims ve arkadaşları (1993) da yaptıkları çalışmada hemen hemen aynı sebeplerden kuru ortam kullanılmasını önermişlerdir. Tükürüğün değişik braket malzemelerinin yüzey özellikleri, yüzey kimyası ve bunun sürtünme kuvvetleri üzerine olan uzun dönem etkilerini ayrıntılı şekilde işleyen çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Ayrıca tükürüğün bazı tellerin sertliğini de etkileyebildiği düşünülmektedir. Bu

değişkenlerin hepsini hesaba katarak tükürük ve diğer ağız içi etkenlerin sürtünme kuvvetini ne derece etkileyebildiği hala araştırılması gereken bir sorudur (Eliades ve Bourauel, 2005)

### **5.2.5 Braket ile Ark Teli Arasındaki Açılanmanın Sürtünmeye Etkisi**

Bu çalışmada kaynak gösterilen çalışmaların birçoğunda braket-tel ikilisi dikey düzlemde tutulmuş, telin bir ucuna ağırlık asılarak ligatürler yardımı ile tel ve braket slotu yaklaştırılmıştır. Dikey yönde sallanan tel ile slot arasındaki temas noktaları en küçük bir titreşim ile değişebileceğinden, telin mümkün olduğunca sabit kaldığı bir deney düzeneği daha gerçeğe yakın olabilir.

Schumacher ve arkadaşları (1990) çalışmalarında test edilecek braket slotu ve ark teli arasındaki açılanmaları engelleyerek sürtünme testlerini yapmıştır. Braket slotu ve ark teli arasında herhangi bir düzlemde oluşabilecek açılanmanın sürtünmeye etkisi önemlidir (Drescher ve ark., 1989; Tidy ve Orth, 1989; Angolkar ve ark., 1990; Kapila ve ark., 1990).

Kullandığımız deney düzeneği mevcut çalışmalar içinde en gelişmiş ve güncel düzeneklerden birisidir.

### **5.2.6. Kayma Hızının Sürtünmeye Etkisi**

Ortodontik tedavi gibi çok hassas ölçüm yapılması gereken bir alanda sürtünme dinamiklerinin temel kurallarının dikkatle incelenmesi önemlidir. Çünkü son araştırmaların ışığında bu kuralların genelde nispeten çok yüksek yükler ve hızlar için geçerli olduğu, diş hareketi gibi mikro düzeyde hareketlerde ise maddelerin çok daha farklı davranabildiği görülmüştür. Doğal olarak benzer şekilde incelenen mekaniklerin ortodontiye uyarlanabilmesi imkânsızdır (Rossouw ve ark., 2003).

Klinik ortamda, ideal şartlar sağlandığında tek bir dişin hareket hızı ayda yaklaşık 1-1,5 mm civarı olurken, laboratuvar ortamında bu hızla çalışmak verimlilik açısından neredeyse imkânsızdır. Bu durumda yapılacak çalışmalarda sürtünme hızını mümkün olduğunca düşürmek, hatta mümkünse diş hızına uydurmak çalışmanın gerçeği yansıtması açısından daha faydalı olacaktır.

Bu çalışmaya benzer birçok çalışmada kurulan test düzeneğinde ise test edilen braket ve tellerin birbirine göre hızı, diş hızından çok fazladır. Bu, yüzey özelliklerini

etkileyerek, sürtünmenin ağız içi ortamla alakasız bir şekilde değişmesine sebep olabilir (Rossouw ve ark., 2003). Bu sebeple, ağız içi ortamın laboratuvar simülasyonunu yaparken, braket ve telin birbirine göre hızının mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir. Çalışmamızda kullanılan braket-tel arası sürtünme hızı daha önce yapılan benzer çalışmalar arasındaki en düşük hızlardan birisidir. Bu açıdan, hareket hızının sürtünme kuvvetine olabilecek herhangi bir etkisi, gerçek diş hareketine mümkün olduğunca yaklaştırılmıştır.

### **5.3. Yüzey Özelliklerinin Sürtünmeye Etkisi**

Her örnek için 100, 500 ve 1000 büyütmede SEM görüntüsü alınmıştır. Daha ayrıntılı büyütme ihtiyacı duyulmamasının sebebi, bu büyütme değerlerinde slot yüzey özelliklerinin yeterince iyi şekilde görünmesi, daha fazla büyütme yapıldığında yüzey yapılarının birbirinden ayırt edilememesidir.

Yapılan SEM incelemesinde braketler arasında belirgin farklar göze çarpmıştır. Bu farkların en önemli sebeplerinin imalat tekniği ve bitirme işlemlerinin kalitesi olduğu tahmin edilmektedir. Bununla beraber slot malzemesinin bazı MSE braketlerde slot içerisine taşması, yüzey özelliklerinin etkilerini değiştirecek ve hatalı sonuçlar oluşmasına sebep olabilecektir.

Plastik braketlerde kullanılan polimer çeşidine göre yüzey özellikleri değişmektedir (Zinelis ve ark., 2005; Lee ve ark., 2010). Zinelis ve arkadaşlarının (2005) yaptıkları çalışmada birkaç plastik braket çeşidinin yüzey pürüzlülüğü seramik braketler ile karşılaştırılmış, sonuçta, kullandıkları deneysel plastik dışında kalan bütün plastik malzemelerinin yüzey pürüzlülüğünün polikristalin seramikten daha az olduğu bulunmuştur. Çalışmamızda elde edilen SEM sonuçlarında görüldüğü üzere, en yüksek sürtünme katsayısına sahip plastik örnek olan SLK'nın yüzey pürüzlülüğü alümina braketlere oranla daha fazladır. En az sürtünme katsayısına sahip plastik braket olan BRL ise çok daha düzgün bir yüzeye sahiptir. Sürtünme özellikleri de dikkate alındığında, sonuç doğrulanmaktadır. SLK'nın, birçok polikristalin braket örneğinden yüksek sürtünme direncine sahip olmasının sebebi yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olması olarak düşünülmektedir. Aynı şekilde polikristalin ve monokristalin braketler arasında daha düzgün yüzeye ve yuvarlatılmış köşelere sahip örnek olan RFL ve RDN

örnekleri, pürüzlü yüzey ve iyi yüzey bitirmesi uygulanmamış kenarlara sahip diğer örneklerden daha düşük sürtünme direnci göstererek bu düşünceyi güçlendirmektedir.

Sürtünme ile ortodontik braket ve tellerin yüzey pürüzlülükleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar, arada zayıf da olsa bir bağ olduğunu bulmuştur (Ho ve West, 1991). Sürtünmenin azaltılması için daha pürüzsüz yüzeyli braketler üretilmesi gerektiği belirtilmiştir (Omana ve ark., 1992).

Günümüzde kullanılan estetik ortodontik braketlerin çoğunun imal edildiği malzemelerin sürtünme katsayısının metal braketlerinkine oranla daha yüksek olduğu bilinmektedir (Kusy ve Whitley, 1997). Seramik braketler için yüksek sürtünme katsayısının sebeplerinden birisi seramik braketlerde yüzey pürüzlülüğünün metal ve plastik braketlere oranla daha fazla olmasıdır (Kusy, 1988; Kusy ve Whitley, 1990b).

SEM görüntülemesi sırasında örneğin OPM örneğinde aşırı pürüzlü yüzey dikkat çekse de, slot yüzeyindeki girintiler kullanılan test şartlarında sürtünme üzerine etkili görünmemektedir, yüzey bitirme işlemi çok iyi yapıldığından, sürtünme kuvvetini etkileyebilecek çapaklar bulunmamaktadır. Bununla beraber, artık birikimi ve bakteri tutunma alanını arttıracığından, yüzeydeki girintiler, orta ve uzun dönem ağız içi uygulamalarda sürtünme ve hijyenle ilgili çeşitli problemlere sebep olabilir. Lee ve arkadaşlarının (2010) yaptıkları güncel bir çalışmada gösterildiği üzere, özellikle metal braketler ağız ortamında daha çabuk yüzey bozuşmasına uğramakta ve pürüzlülükleri artmaktadır.

#### **5.4. Slot Boyutları ve Şeklinin Sürtünmeye Etkisi**

Çalışmamızda slot boyunun mikroskop altında hassas ölçümü yapılarak, bu ölçümlerin sürtünme kuvvetlerine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Tüm malzemelerde gerçek slot genişliği ile sürtünme katsayılarının orta-kuvvetli düzeyde ters orantılı olduğu görülmüştür. Bu orantı metal braketlerde daha yüksek, seramik braketlerde ise daha düşük kuvvetlidir.

Daha önce yapılmış çalışmalarda braket slot duvarı ile ark teli arasındaki boşluk azaldıkça, sürtünme kuvvetinin arttığı görülmüş olmasına rağmen, yapılan bu çalışmalarda değişik braketler arasındaki olası boyutsal sapmalar incelenmemiş, ya 0,018 inç genişlik ile 0,022 inç genişliğe sahip slotlar arasındaki fark incelenmiş, ya da

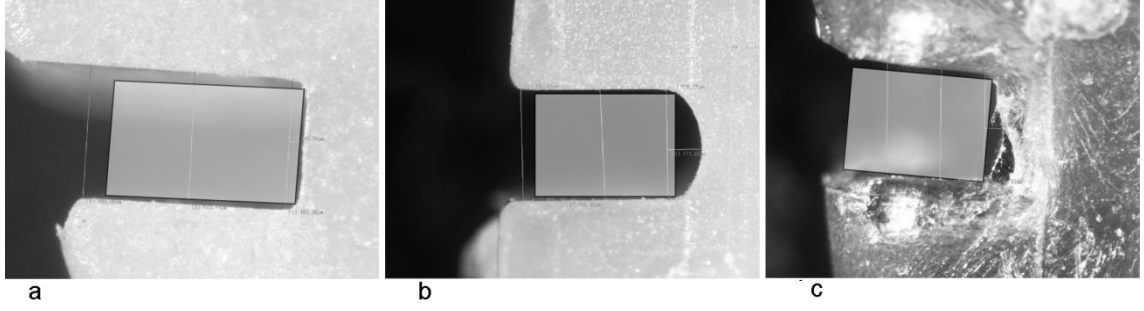


ark telinin kalınlığı değiştirilmiştir. Ark teli kalınlığı değiştirildiğinde, esneklik gibi fiziksel özellikleri de değişmekte ve bunun da sürtünme üzerine etkisi olmaktadır (Schudy ve Schudy, 1989; Tidy ve Orth, 1989). Ayrıca, slot genişliğinin sürtünme üzerine etkisini 0,022 inç ve 0,018 inç slot standartları üzerinden yapmak, kullanılan tel kalınlıkları bakımından birbirinden farklı olan bu iki sistem arasındaki sürtünme kuvveti özelliklerini karşılaştırmaya olanak sunsa da, belli bir slot genişliği içerisindeki boyutsal sapmalardan sürtünme kuvvetlerinin ne derece etkilendiğini değerlendirmeye olanak sunmaz. Literatürde kabul gören fikir slot boyutlarının sürtünme açısından belirleyici bir faktör olmadığı, tüm faktörler arasında en sonda sayılabileceklerden birisi olduğu yönündedir. Fakat çalışmamızda ölçülen slot genişlikleri ile sürtünme katsayısının bu kadar kuvvetli korelasyon göstermesi, slot genişliği değişikliklerinin sürtünme kuvvetleri için daha belirleyici bir faktör olabileceğini göstermektedir. Bu etki 0,018 veya 0,022 inç gibi standart genişliklerden çok, belli bir standart genişlikte üretilen farklı modellerin slot genişlik farklarının sürtünme kuvvetleri açısından daha ayrıntılı incelenmelidir. Bu etki belirtilen şekilde ilk kez çalışmamızda incelenmiştir. Fakat klinik kullanımda ne derece fark yaratacağının incelenmesi için konu ile ilgili klinik çalışmalar da yapılması faydalı olabilir.

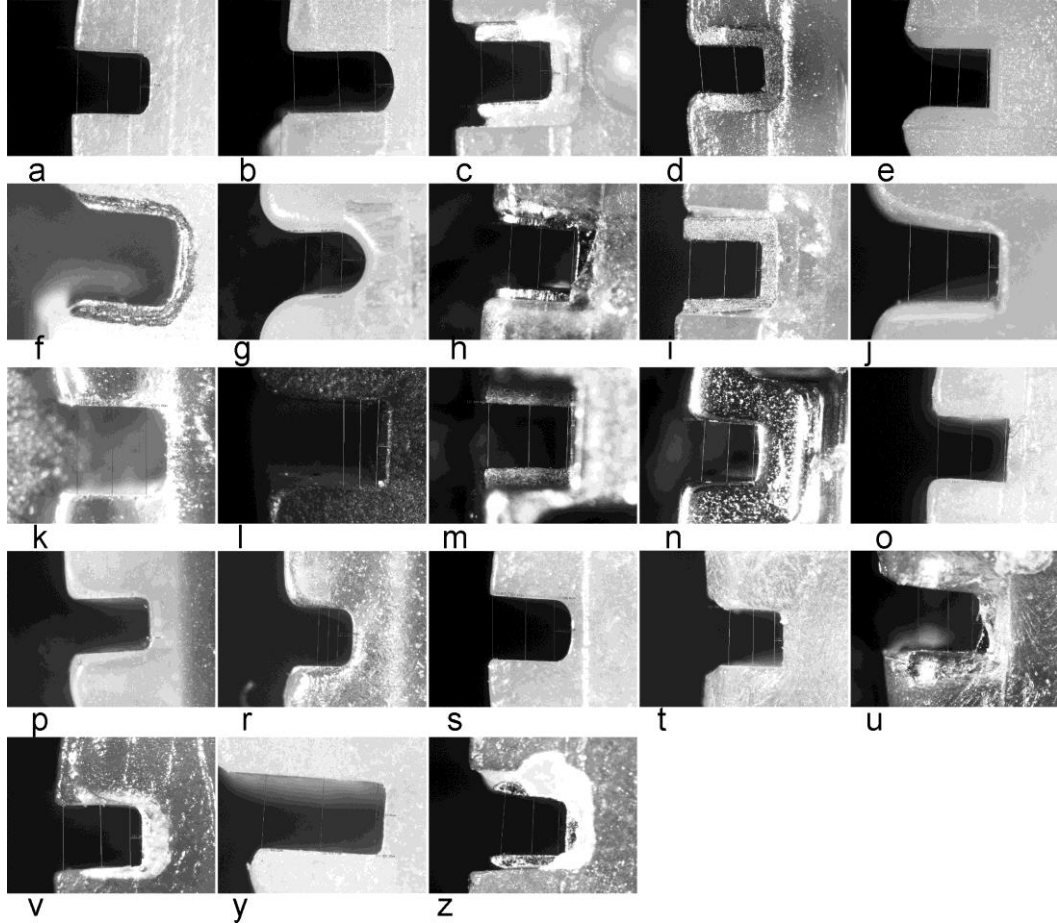
Stereo mikroskop incelemesi sırasında MSE braketlerin slotlarında görülen önemli bir üretim hatası, braket malzemesinin slot duvarlarının kenarlarından slot içerisine taşmış olmasıdır. Bu hata, oluşan sürtünme kuvvetlerine direk olarak belirgin bir etkide bulunmamış görünmesine rağmen, ortodontik tedavi sırasında farklı boyut ve özellikte ark tellerinin farklı temas geometrilerinde kullanılması sonucu, sürtünme kuvvetlerini belirgin ölçüde etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı örneklerde slot tabanının ark telinin slot tabanına bile temas edemeyeceği kadar braket malzemesi ile kaplandığı görülmüştür. Böyle bir durumda metal slot ile ark teli arasında oluşandan ziyade, braket malzemesi ile ark teli arasında oluşan sürtünme dinamikleri değerlendirilmelidir. Bazı model braketlerde bu hatanın yüksek oranda görülmesi, sürtünme kuvvetlerinin azaltılması amacıyla metal braket kullanımının bu gruplarda gereksiz olabileceğini göstermektedir. Ayrıca kullanılan tedavi yöntemine göre, slot içerisindeki düzensizlikler dişin tedavi sırasındaki konumunu ve bununla beraber tedavi sonuçlarını etkileyebilir, hekimin hasta başında geçirdiği süreyi uzatabilir.

Bahsedilen problem üzerine literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır, MSE braketlerin görece yeni aygıtlar olduğu göz önüne alınırsa bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülebilir. Estetik braketlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için öne sürülmüş bu aygıtların, üretim şartlarına dikkat edilmediğinde veya çok pahalı olan üretim maliyetlerinin düşürülmeye çalışılması sonucu, meydana gelen bu ufak hata, aygıtların sağlayabileceği kolaylığı da daha büyük bir dezavantaj haline getirme potansiyeline sahiptir. MSE braketlerde, braket malzemesinin sürtünme özelliklerinin metale yakın olması hatta bazı çalışmalara göre daha düşük olması (Lima ve ark., 2010) sebebi ile sürtünme kuvvetinde fazla değişiklik olmayabilir, fakat metal slotlu seramik braketlerde aynı şey söz konusu değildir. Daha sert ve sürtünme direnci yüksek bir malzeme olan seramik, böyle alanlarda yüzey bitirme işlemi tam anlamı ile yapılamadığından daha pürüzlü yapıya sahip olabilir ve sürtünmeyi etkileyebilir. Nitekim 0,022 inç slota sahip gruplar içinde en yüksek sürtünme katsayısına sahip MSE braket olan ENC’de bahsedilen üretim hatasının fazlaca görünmesi bulguları doğrular niteliktedir.

Stereo ışık mikroskobu ile yapılan gözlemler sırasında, incelenen braketlerin slot şekillerinin ve genişliklerinin çok farklı olduğu görülmüştür. Slot şeklinin sürtünme üzerine direk etkisini araştıran herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Daha önce slot şekli ile ilgili yapılan çalışmalar slot geometrisinin özellikle iletilen tork kuvvetleri üzerine etkisi olabileceğini belirtmektedir (Cash ve ark., 2004). Sürtünme yüzeyleri arasındaki toplam temas alanının öneminden daha önceki bölümlerde söz edilmiştir. Çalışmada kullanılan özellikle yuvarlak slot tabanına sahip braketler ile köşeli tellerin sadece köşeleri temas ettiği için gerçek temas alanları daha az olup, temas geometrisini, değerlendirilmesi ve karşılaştırılması zor bir duruma sokmuştur (Şekil 36, 37).



**Şekil 36.** Gruplar arasında slot geometrisi çok farklı olup, ark telinin slot içine tam oturduğunda temas edeceği noktalar da farklı olacaktır. Düz bir tabana sahip braketlerde temas yüzeyi söz konusu olurken (a), yuvarlak slot tabanına sahip örneklerde telin iki köşesinde temas noktaları oluşur (b). Düzensiz slot yüzeyine sahip örneklerde ise temas bölgesinin nerede olduğunu belirlemek çok zor olacaktır (c)



**Şekil 37.** Çalışmada kullanılan braket örneklerinin slotlarınınun braketin yan yüzeyinden alınmış stereo mikroskop görüntüleri. a) 2040, b) ACL, c) ASG, d) AVA, e) BRL, f) CLA, g) CON, h) ELG, i) ENC, j) FN2, k) ICE, l) JW, m) MUT, n) OPM, o) ORF, p) PUR, r) RDN, s) RFL, t) SLK, u) SMB, v) SRA, y) TRC, z) VRG

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Estetik braketlerin ark telleri ile arasında meydana gelen sürtünme katsayılarının ölçülmesi ve metal braketler ile karşılaştırılmasını amaçlayan çalışmamızın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Farklı braket modellerinin, slot malzemeleri aynı olsa da sürtünme katsayıları farklıdır. En düşük ortalama sürtünme katsayısını (0,134) 0,022 inç slot boyuna sahip OPM grubu göstermiştir.
- 2) 0,022 inç slot boyuna sahip braketlerin sürtünme kuvvetleri 0,018 inç slot boyuna sahip braketlerden istatistiksel olarak anlamlı derecede düşüktür ( $p < ,05$ ).
- 3) Slot malzemesi sürtünmeyi istatistiksel olarak anlamlı derecede etkilemektedir ve slot malzemelerinin sürtünme katsayıları en küçükten büyüğe doğru sırayla metal, metal kaplı seramik, plastik, polikristal seramik ve monokristal seramik şeklindedir.
- 4) İncelenen bütün braketlerin slot boyları olması gereken 0,022 inç ve 0,018 inç genişliğe uymamaktadır ve gerçek slot genişliği ile sürtünme kuvveti arasında ters yönde kuvvetli bir ilişki bulunmuştur.
- 5) Özellikle metal kaplı slota sahip estetik braketlerin slot kenarlarında çok sayıda üretim hatası ve çapak tespit edilmiştir. Bu braketlerde ortaya çıkan yüksek sürtünme katsayısı sonuçlarına bulunan hataların sebep olabileceği düşünülmektedir.
- 6) Sürtünme özellikleri birbirinden farklı braketlerin yüzey özellikleri de farklı bulunmuştur. Gruplar içinde düşük katsayıya sahip örneklerin yüzeyleri daha düzgünken, yüksek katsayıya sahip olanların nispeten daha pürüzlü yüzeye sahip olduğu görülmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda gelecekte yapılacak çalışmalara ve uygulamalara yol göstermesi için şu öneriler yapılabilir:

- 1) Sürtünme test düzeneği, birim zamanda daha fazla örnek incelemek için geliştirilmeli, böylece araştırmalarda kullanılacak örnek sayısı arttırılmalıdır.
- 2) Aynı gruplarla yapılacak bir klinik çalışma ile sonuçların klinik ortama uygunluğu test edilmelidir.

- 3) Çalışmada kullanılan braket çeşitlerinden başka, farklı üretim teknikleri ile üretilen braket modelleri üzerinde çalışılarak, en iyi sonuçları veren üretim yöntemleri bulunmalıdır.
- 4) Slot boyunda bulunan sapmaların etkileri standart braketler kullanılarak daha ayrıntılı şekilde incelenmelidir.
- 5) Slot boyundaki bulunan sapmaların, sürtünme kuvvetlerinden başka tork gibi diğer değişkenleri ne derece etkilediği de araştırılmalıdır.
- 6) Tükürüğün kullanılan inceleme yöntemlerinde malzemelere ve sürtünme katsayısına olan etkileri ayrıntılı incelenmelidir.
- 7) Klinik uygulamada sürtünme kuvvetlerinin kritik öneme sahip olacağı düşünülen vakalarda sürtünmeyi azaltmak adına daha geniş slota sahip braket sistemlerinden birisi kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Alpern MC. Gaining Control with Self-Ligation. *Seminars in Orthodontics*. 2008; 14(1): 73-86.
- Andreasen G ve Quevedo F. Evaluation of friction forces in the .022 by .028 edgewise bracket in vitro. *American Journal of Orthodontics*. 1969; 55(2): 201-202.
- Angolkar PV, Kapila S, Duncanson MG, Jr. ve Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990; 98(6): 499-506.
- Arici S. A Laminate Base for Orthodontic Ceramic Brackets. Thesis of Doctor of Philosophy, University of Sheffield, England. 1996.
- Arici N, Akdeniz BS. A Comparative In Vitro Study Of The Frictional Characteristics Of Esthetic Orthodontic Brackets. *European Orthodontic Society 85th Congress, Helsinki, Bildiri Kitapçığı*, 2009; Sayfa 124.
- Articolo L, Kusy K, Saunders C ve Kusy R. Influence of ceramic and stainless steel brackets on the notching of archwires during clinical treatment. *The European Journal of Orthodontics*. 2000; 22(4): 409-425.
- Articolo LC ve Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999; 115(1): 39-51.
- Badawi HM, Toogood RW, Carey JPR, Heo G ve Major PW. Three-dimensional orthodontic force measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009; 136(4): 518-528.
- Baker KL, Nieberg LG, Weimer AD ve Hanna M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987; 91(4): 316-320.
- Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson JMG ve Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997; 112(2): 138-144.
- Bednar JR, Gruendeman GW ve Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1991; 100(6): 513-522.
- Bentahar Z, Bellamine M, Zertoubi M, Irhzo A ve El Boussiri K. Relationship between electrochemical corrosion and the tribologic properties of orthodontic alloys. *International Orthodontics*. 2010; 8(4): 360-371.

- Berger JL. The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: A comparative in vitro study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1990; 97(3): 219-228.
- Berradja A, Bratu F, Benea L, Willems G ve Celis JP. Effect of sliding wear on tribocorrosion behaviour of stainless steels in a Ringer's solution. *Wear*. 2006a; 261(9): 987-993.
- Berradja A, Willems G ve Celis JP. Tribological behaviour of orthodontic archwires under dry and wet sliding conditions in-vitro. II--Wear patterns. *Aust Orthod J*. 2006b; 22(1): 21-29.
- Bhushan B. *Principles and Applications of Tribology*. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1999; 1-15.
- Bhushan B. Adhesion and stiction: Mechanisms, measurement techniques, and methods for reduction. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*. 2003; 21(6): 2262-2296.
- Bishara SE. *Textbook of orthodontics*. Philadelphia, Pa., Saunders. 2001; 186-245.
- Bishara SE ve Fehr DE. Ceramic brackets: Something old, something new, a review. *Seminars in Orthodontics*. 1997; 3(3): 178-188.
- Bishara SE, Olsen ME, VonWald L ve Jakobsen JR. Comparison of the debonding characteristics of two innovative ceramic bracket designs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999; 116(1): 86-92.
- Bortoly TG, Guerrero AP, Rached RN, Tanaka O, Guariza-Filho O ve Rosa EAR. Sliding resistance with esthetic ligatures: An in-vitro study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008; 133(3): 340.e341-340.e347.
- Brantley WA ve Eliades T. *Orthodontic materials : scientific and clinical aspects*. Stuttgart ; New York, NY, Thieme. 2001; 144-169.
- Braun S, Bluestein M, Moore BK ve Benson G. Friction in perspective. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999; 115(6): 619-627.
- Burstone CJ. *Application of Bioengineering to Clinical Orthodontics*. Graber TM, Vanarsdall RL ve Vig KWL. *Orthodontics, Current Principles and Techniques*, Philadelphia, Elsevier Mosby. 2005; 293-329.
- Burstone CJ ve Farzin-Nia F. Production of low-friction and colored TMA by ion implantation. *J Clin Orthod*. 1995; 29(7): 453-461.

- Büchter A, Wiechmann D, Koerdt S, Wiesmann HP, Piffko J ve Meyer U. Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Aug;16(4):473-9.
- Belastungsbedingte Reaktionen von Mini-Implantaten, welche für orthodontische Verankerungen verwendet werden. *Clinical Oral Implants Research.* 2005; 16(4): 473-479.
- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C ve Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2003; 124(4): 403-409.
- Cash AC, Good SA, Curtis RV ve McDonald F. An Evaluation of Slot Size in Orthodontic Brackets—Are Standards as Expected? *The Angle Orthodontist.* 2004; 74(4): 450-453.
- Chatterjee R ve Kleinberg I. Effect of orthodontic band placement on the chemical composition of human incisor tooth plaque. *Archives of Oral Biology.* 1979; 24(2): 97-100.
- Chen SS-H, Greenlee GM, Kim J-E, Smith CL ve Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2010; 137(6): 726.e721-726.e718.
- Chicharro JL, Luc, iacute, a A, eacute, rez M, Vaquero AF, Ure, ntilde ve a R. Saliva Composition and Exercise. *Sports Medicine.* 1998; 26(1): 17-27.
- Czichos H. *Tribology: A systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear.* Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co. 1979;1-17.
- D'Antò V, Rongo R, Ametrano G, Spagnuolo G, Manzo P, Martina R, Paduano S ve Valletta R. Evaluation of surface roughness of orthodontic wires by means of atomic force microscopy. *The Angle Orthodontist.* 2012.
- De Franco DJ, Spiller RE ve von Fraunhofer JA. Frictional resistances using Teflon-coated ligatures with various bracket-archwire combinations. *The Angle Orthodontist.* 1995; 65(1): 63-72.
- Doshi UH ve Bhad-Patil WA. Static frictional force and surface roughness of various bracket and wire combinations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2011; 139(1): 74-79.
- Downing A, McCabe J ve Gordon P. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. *J. Orthod.* 1994; 21(4): 349-357.



- Drescher D, Bourauel C ve Schumacher H-A. Frictional forces between bracket and arch wire. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989; 96(5): 397-404.
- Eliades T, Bourauel C. Intraoral aging of orthodontic materials: The picture we miss and its clinical relevance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005; 127(4): 403-412.
- Eliades T, Eliades G ve Brantley WA. Microbial attachment on orthodontic appliances: I. Wettability and early pellicle formation on bracket materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995; 108(4): 351-360.
- Epstein MB. Benefits and Rationale of Differential Bracket Slot Sizes: The Use of 0.018-Inch and 0.022-Inch Slot Sizes Within a Single Bracket System. *The Angle Orthodontist*. 2002; 72(1): 1-2.
- Farrant SD. An evaluation of different methods of canine retraction. *Br J Orthod*. 1977; 4(1): 5-15.
- Farronato G, Maijer R, Caria MP, Esposito L, Alberzoni D ve Cacciatore G. The effect of Teflon coating on the resistance to sliding of orthodontic archwires. *The European Journal of Orthodontics*. 2012; 34(4): 410-417
- Feldner JC, Sarkar NK, Sheridan JJ ve Lancaster DM. In vitro torque-deformation characteristics of orthodontic polycarbonate brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1994; 106(3): 265-272.
- Flores-Mir C, Silva E, Barriga MI, Lagravere MO ve Major PW. Lay person's perception of smile aesthetics in dental and facial views. *J. Orthod*. 2004; 31(3): 204-209.
- Fournier A, Payant L ve Bouclin R. Adherence of *Streptococcus mutans* to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1998; 114(4): 414-417.
- Franchi L, Baccetti T, Camporesi M ve Lupoli M. Maxillary arch changes during leveling and aligning with fixed appliances and low-friction ligatures. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006; 130(1): 88-91.
- Frank CA ve Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *American Journal of Orthodontics*. 1980; 78(6): 593-609.
- Gal J-Y, Fovet Y ve Adib-Yadzi M. About a synthetic saliva for in vitro studies. *Talanta*. 2001; 53(6): 1103-1115.

- Garner LD, Allai WW ve Moore BK. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1986; 90(3): 199-203.
- Ghafari J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. *Angle Orthod*. 1992; 62(2): 145-152.
- Gottsegen MI. Self-ligating brackets: Looking back and going forward. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010; 138(5): 532.
- Graber TM, Vanarsdall RL ve Vig KWL. *Orthodontics : current principles & techniques*. Fourth Edition. St. Louis, Elsevier Mosby. 2005; 293-331.
- Hain M, Dhopatkar A ve Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003; 123(4): 416-422.
- Hain M, Dhopatkar A ve Rock P. A comparison of different ligation methods on friction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006; 130(5): 666-670.
- Harzer W, Bourauel C ve Gmyrek H. Torque capacity of metal and polycarbonate brackets with and without a metal slot. *The European Journal of Orthodontics*. 2004; 26(4): 435-441.
- Häsler R, Schmid G, Ingervall B ve Gebauer U. A clinical comparison of the rate of maxillary canine retraction into healed and recent extraction sites—a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*. 1997; 19(6): 711-719.
- Ho KS ve West VC. Friction resistance between edgewise brackets and archwires. *Aust Orthod J*. 1991; 12(2): 95-99.
- Huffman DJ ve Way DC. A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes. *American Journal of Orthodontics*. 1983; 83(6): 453-459.
- Iwasaki LR, Beatty MW ve Nickel JC. Friction and orthodontic mechanics: clinical studies of moment and ligation effects. *Seminars in Orthodontics*. 2003a; 9(4): 290-297.
- Iwasaki LR, Beatty MW, Randall CJ ve Nickel JC. Clinical ligation forces and intraoral friction during sliding on a stainless steel archwire. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003b; 123(4): 408-415.
- Jeiroudi MT. Enamel fracture caused by ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1991; 99(2): 97-99.

- Kajdas C, Harvey SSK ve Wilusz E. Encyclopedia of tribology. Amsterdam ; New York, U.S.A., Elsevier ; Distributors for the U.S. and Canada, Elsevier Science Pub. Co. 1990.
- Kang B-S, Baek S-H, Mah J ve Yang W-S. Three-dimensional relationship between the critical contact angle and the torque angle. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2003; 123(1): 64-73.
- Kapila S, Angolkar PV, Duncanson JMG ve Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1990; 98(2): 117-126.
- Kapur R, Sinha PK ve Nanda RS. Frictional resistance of the Damon SL bracket. J Clin Orthod. 1998; 32(8): 485-489.
- Kapur R, Sinha PK ve Nanda RS. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1999; 116(3): 271-274.
- Karamouzou A, Athanasiou AE ve Papadopoulos MA. Clinical characteristics and properties of ceramic brackets: A comprehensive review. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1997; 112(1): 34-40.
- Keith O, Jones S ve Davies E. The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets. J. Orthod. 1993; 20(2): 109-115.
- Keith O, Kusy RP ve Whitley JQ. Zirconia brackets: An evaluation of morphology and coefficients of friction. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1994; 106(6): 605-614.
- Kobayashi S, Ohgoe Y, Ozeki K, Sato K, Sumiya T, Hirakuri KK ve Aoki H. Diamond-like carbon coatings on orthodontic archwires. Diamond and Related Materials. 2005; 14(3-7): 1094-1097.
- Kusy RP. Morphology of Polycrystalline Alumina Brackets and its Relationship to Fracture Toughness and Strength. The Angle Orthodontist. 1988; 58(3): 197-203.
- Kusy RP ve Camilla Tulloch JF. Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1986; 90(2): 127-131.
- Kusy RP, Keith O, Whitley JQ ve Saunders CR. Coefficient of Friction Characterization of Surface-Modified Polycrystalline Alumina. Journal of the American Ceramic Society. 1993; 76(2): 336-342.

- Kusy RP, Tobin EJ, Whitley JQ ve Sioshansi P. Frictional coefficients of ion-implanted alumina against ion-implanted beta-titanium in the low load, low velocity, single pass regime. *Dental Materials*. 1992; 8(3): 167-172.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system. *Dental Materials*. 1989; 5(4): 235-240.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1990a; 98(4): 300-312.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *Journal of Biomechanics*. 1990b; 23(9): 913-925.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Seminars in Orthodontics*. 1997; 3(3): 166-177.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. *The Angle Orthodontist*. 1999; 69(1): 71-80.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Frictional Resistances of Metal-lined Ceramic Brackets Versus Conventional Stainless Steel Brackets and Development of 3-D Friction Maps. *The Angle Orthodontist*. 2001; 71(5): 364-374.
- Kusy RP ve Whitley JQ. Degradation of plastic polyoxymethylene brackets and the subsequent release of toxic formaldehyde. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005; 127(4): 420-427.
- Kusy RP, Whitley JQ ve Gurgel JdA. Comparisons of surface roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004; 126(5): 589-603.
- Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ ve Buckthal JE. Surface Roughness of Orthodontic Archwires via Laser Spectroscopy. *The Angle Orthodontist*. 1988; 58(1): 33-45.
- Lee G-J, Park K-H, Park Y-G ve Park H-K. A quantitative AFM analysis of nano-scale surface roughness in various orthodontic brackets. *Micron*. 2010; 41(7): 775-782.
- Lima VNC, Coimbra MER, Derech CDA ve Ruellas ACdO. Frictional forces in stainless steel and plastic brackets using four types of wire ligation. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2010; 15: 82-86.
- Mah E. Investigation of Frictional Resistance on Orthodontic Brackets When Subjected to Variable Moments. Department of Orthodontics. Morgantown, West

Virginia, West Virginia University School of Dentistry. Master of Science: 1001. 2002.

- Maijer R ve Smith DC. Corrosion of orthodontic bracket bases. *American Journal of Orthodontics*. 1982; 81(1): 43-48.
- Marshall SD, Currier GF, Hatch NE, Huang GJ, Nah H-D, Owens SE, Shroff B, Southard TE, Suri L ve Turpin DL. Self-ligating bracket claims. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010; 138(2): 128-131.
- Mendes K ve Rossouw PE. Friction: validation of manufacturer's claim. *Seminars in Orthodontics*. 2003; 9(4): 236-250.
- Montasser MA. Self-ligating bracket claims. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010; 138(5): 532-533.
- Moore MM, Harrington E ve Rock WP. Factors affecting friction in the pre-adjusted appliance. *The European Journal of Orthodontics*. 2004; 26(6): 579-583.
- Morina E, Eliades T, Pandis N, Jäger A ve Bourauel C. Torque expression of self-ligating brackets compared with conventional metallic, ceramic, and plastic brackets. *The European Journal of Orthodontics*. 2008; 30(3): 233-238.
- Nanda R. *Biomechanics in clinical orthodontics*. Philadelphia, Saunders. 1997; 188-218.
- Nanda R ve Uribe FA. *Temporary anchorage devices in orthodontics*. St. Louis, Mo., Mosby Elsevier. 2009; 73-145.
- Nanda RS ve Ghosh J. *Biomechanical considerations in sliding mechanics*. Nanda RS. *Biomechanics in clinical orthodontics*, Connecticut, W.B. Saunders Company. 1997; 188-217.
- Newman GV. Adhesion and orthodontic plastic attachments. *American Journal of Orthodontics*. 1969; 56(6): 573-588.
- Newman GV. First direct bonding in orthodontia. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992; 101(2): 190-191.
- Nikolai RJ. *Bioengineering analysis of orthodontic mechanics*. Philadelphia, Lea & Febiger. 1985;53-69.
- Noort Rv. *Introduction to dental materials*. Edinburgh; New York, Mosby/Elsevier. 2007; 1-68.
- Ogata RH, Nanda RS, Duncanson JMG, Sinha PK ve Currier GF. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections.

- American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1996; 109(5): 535-542.
- Oh K-T, Choo S-U, Kim K-M ve Kim K-N. A stainless steel bracket for orthodontic application. The European Journal of Orthodontics. 2005; 27(3): 237-244.
- Olofsson j. Friction and Wear Mechanisms of Ceramic Surfaces With Applications to Micro Motors and Hip Joint Replacements. Department of Engineering Sciences. Uppsala, Uppsala University. PhD: 66. 2011
- Omana HM, Moore RN ve Bagby MD. Frictional properties of metal and ceramic brackets. J Clin Orthod. 1992; 26(7): 425-432.
- Ouyang Q, Ishida K ve Okada K. Investigation of micro-adhesion by atomic force microscopy. Applied Surface Science. 2001; 169–170(0): 644-648.
- Oz AA, Arici N ve Arici S. The clinical and laboratory effects of bracket type during canine distalization with sliding mechanics. The Angle Orthodontist. 2011; 82(2): 326-332.
- Paik C-H. Orthodontic miniscrew implants : clinical applications. Edinburgh ; New York, Mosby/Elsevier. 2009; 33-57.
- Pandis N, Polychronopoulou A ve Eliades T. 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. 2007; 132(2): 208-215.
- Peck S. Orthodontic Slot Size: It's Time to Retool. The Angle Orthodontist. 2001; 71(5): 329-330.
- Peterson L, Spencer R ve Andreasen G. A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. Quintessence Int Dent Dig. 1982; 13(5): 563-571.
- Pizzoni L, Ravnholt G ve Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. The European Journal of Orthodontics. 1998; 20(3): 283-291.
- Pratten DH, Popli K, Germane N ve Gunsolley JC. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1990; 98(5): 398-403.
- Proffit WR, Fields HW ve Sarver DM. Contemporary orthodontics. 4th edition. St. Louis, Mo, Mosby Elsevier. 2007.
- Prososki RR, Bagby MD ve Erickson LC. Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1991; 100(4): 341-348.

- Rahm E, Kunzmann D, Döring H ve Holze R. Corrosion-stable nickel- and cobalt-based alloys for dental applications. *Microchimica Acta*. 2006; 156(1): 141-145.
- Rapiejko C, Fouvry S, Grosgeat B ve Wendler B. A representative ex-situ fretting wear investigation of orthodontic arch-wire/bracket contacts. *Wear*. 2009; 266(7-8): 850-858.
- Read-Ward G, Jones S ve Davies E. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. *J. Orthod*. 1997; 24(4): 309-317.
- Redlich M, Mayer Y, Harari D ve Lewinstein I. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003; 124(1): 69-73.
- Reicheneder C, Baumert U, Gedrange T, Proff P, Faltermeier A ve Muessig D. Frictional properties of aesthetic brackets. *The European Journal of Orthodontics*. 2007; 29(4): 359-365.
- Reitan K. Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. *American Journal of Orthodontics*. 1957; 43(1): 32-45.
- Reitan K. Tissue Rearrangement During Retention Of Orthodontically Rotated Teeth\*. *The Angle Orthodontist*. 1959; 29(2): 105-113.
- Reitan K. Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics*. 1960; 46(12): 881-900.
- Reitan K. Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*. 1967; 53(10): 721-745.
- Ren Y, Maltha JC ve Kuijpers-Jagtman AM. Optimum Force Magnitude for Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Literature Review. *The Angle Orthodontist*. 2003; 73(1): 86-92.
- Riley J, Garret S ve Moon P. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J Dent Res*. 1979; 58.
- Roberts, WE. Bone Physiology, Metabolism, and Biomechanics in Orthodontic Practice. In: Graber TM, Vanarsdall RL ve Vig KWL. *Orthodontics : current principles & techniques*. St. Louis, Elsevier Mosby. 2005; 145-221.
- Rose CM ve Zernik JH. Reduced resistance to sliding in ceramic brackets. *J Clin Orthod*. 1996; 30(2): 78-84.
- Rossouw PE, Kamelchuk LS ve Kusy RP. A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Seminars in Orthodontics*. 2003; 9(4): 223-235.

- Russell JS. Current Products and Practice: Aesthetic Orthodontic Brackets. *J. Orthod.* 2005; 32(2): 146-163.
- Ryan R, Walker G, Freeman K ve Cisneros GJ. The effects of ion implantation on rate of tooth movement: An in vitro model. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1997; 112(1): 64-68.
- Sadique SE, Ramakrishna S, Batchelor AW ve Bing CH. In vitro frictional behavior and wear patterns between contemporary and aesthetic composite orthodontic brackets and archwires. *Wear.* 2006; 261(10): 1121-1139.
- Saunders CR ve Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1994; 106(1): 76-87.
- Schlegel V. Relative friction minimization in fixed orthodontic bracket appliances. *Journal of Biomechanics.* 1996; 29(4): 483-491.
- Schudy FF ve Schudy GF. The bimetric system. *American Journal of Orthodontics.* 1975; 67(1): 57-91.
- Schudy GF ve Schudy FF. Intrabacket space and interbracket distance: Critical factors in clinical orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1989; 96(4): 281-294.
- Schumacher HA, Bourauel C ve Drescher D. The effect of the ligature on the friction between bracket and arch. *Fortschr Kieferorthop.* 1990; 51(2): 106-116.
- Schwarz A. Tissue changes incident to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod.* 1932; 18: 331-352.
- Sevimay M, Turhan F, Kiliçarslan MA ve Eskitascioglu G. Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2005; 93(3): 227-234.
- Shivapuja PK ve Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1994; 106(5): 472-480.
- Sims APT, Waters NE, Birnie DJ ve Pethybridge RJ. A comparison of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and a pre-adjusted bracket employing two types of ligation. *The European Journal of Orthodontics.* 1993; 15(5): 377-385.
- Singh G. *Textbook of Orthodontics.* Second Edition. New Delhi, Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd. 2007; 338-344.



- Stachowiak GW ve Batchelor AW. *Engineering Tribology*. Amsterdam, Elsevier. 1993; 1-9.
- Stannard JG, Gau JM ve Hanna MA. Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. *American Journal of Orthodontics*. 1986; 89(6): 485-491.
- Storey E. The nature of tooth movement. *American Journal of Orthodontics*. 1973; 63(3): 292-314.
- Storm ER. Debonding ceramic brackets. *J Clin Orthod*. 1990; 24(2): 91-94.
- Stuteville OH. A Summary Review of Tissue Changes Incident to Tooth Movement. *The Angle Orthodontist*. 1938; 8(1): 1-20.
- Suwa N, Watari F, Yamagata S, Iida J ve Kobayashi M. Static–dynamic friction transition of FRP esthetic orthodontic wires on various brackets by suspension-type friction test. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2003; 67B(2): 765-771.
- Swartz ML. Ceramic brackets. *J Clin Orthod*. 1988; 22(2): 82-88.
- Taylor NG ve Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *The Angle Orthodontist*. 1996; 66(3): 215-222.
- Thorstenson GA ve Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2002; 121(5): 472-482.
- Thorstenson GA ve Kusy RP. Resistance to sliding of orthodontic brackets with bumps in the slot floors and walls: effects of second-order angulation. *Dental Materials*. 2004; 20(9): 881-892.
- Tidy DC ve Orth D. Frictional forces in fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989; 96(3): 249-254.
- Tselepis M, Brockhurst P ve West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1994; 106(2): 131-138.
- Vaughan JL, Duncanson JMG, Nanda RS ve Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1995; 107(1): 20-27.

- Wiechmann D. A new bracket system for lingual orthodontic treatment. Part 1: Theoretical background and development. *J Orofac Orthop.* 2002; 63(3): 234-245.
- Wiechmann D. A new bracket system for lingual orthodontic treatment. Part 2: First clinical experiences and further development. *J Orofac Orthop.* 2003; 64(5): 372-388.
- Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, Simon J-S ve Wiechmann L. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2003; 124(5): 593-599.
- Winchester LJ. A comparison between the old Transcend and the new Transcend series 2000 bracket. *Journal of Orthodontics.* 1992; 19(2): 109-116.
- Xingzhong Z, Jiajun L, Baoliang Z, Hezhuo M ve Zhenbi L. Wear mechanisms of Ti(C, N) ceramic in sliding contact with stainless steel. *Journal of Materials Science.* 1997; 32(11): 2963-2968.
- Yamaguchi K, Nanda RS, Morimoto N ve Oda Y. A study of force application, amount of retarding force, and bracket width in sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1996; 109(1): 50-56.
- Zheng J ve Streator JL. A Liquid Bridge Between Two Elastic Half-Spaces: A Theoretical Study of Interface Instability. *Tribology Letters.* 2004; 16(1): 1-9.
- Ziegler P ve Ingervall B. A clinical study of maxillary canine retraction with a retraction spring and with sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1989; 95(2): 99-106.
- Zinelis S, Eliades T, Eliades G, Makou M ve Silikas N. Comparative assessment of the roughness, hardness, and wear resistance of aesthetic bracket materials. *Dental Materials.* 2005; 21(9): 890-894.
- Zufall SW ve Kusy RP. Sliding Mechanics of Coated Composite Wires and the Development of an Engineering Model for Binding. *The Angle Orthodontist.* 2000; 70(1): 34-47.

## EKLER

Ek 1. Tüm test ve ölçüm sonuçları

| Genişlik    | Slot malzemesi | Grup   | Slot genişliği ölçümü ( $\mu\text{m}$ ) | Sürtünme katsayısı |
|-------------|----------------|--------|---|--------------------|
| 18 inç slot | Metal/18       | OPM/18 | 461,150                                 | 0,329              |
|             |                | OPM/18 | 461,260                                 | 0,285              |
|             |                | OPM/18 | 461,140                                 | 0,299              |
|             |                | OPM/18 | 455,060                                 | 0,271              |
|             |                | OPM/18 | 466,070                                 | 0,233              |
|             | MSE/18         | CLA/18 | 476,050                                 | 0,246              |
|             |                | CLA/18 | 461,920                                 | 0,370              |
|             |                | CLA/18 | 466,800                                 | 0,269              |
|             |                | CLA/18 | 474,450                                 | 0,273              |
|             |                | CLA/18 | 463,870                                 | 0,224              |
|             |                | ENC/18 | 420,080                                 | 0,314              |
|             |                | ENC/18 | 456,200                                 | 0,296              |
|             |                | ENC/18 | 445,030                                 | 0,339              |
|             |                | ENC/18 | 460,800                                 | 0,257              |
|             |                | ENC/18 | 444,970                                 | 0,380              |
|             |                | AVA/18 | 454,530                                 | 0,418              |
|             |                | AVA/18 | 458,560                                 | 0,484              |
|             |                | AVA/18 | 458,740                                 | 0,419              |
|             |                | AVA/18 | 439,000                                 | 0,313              |
|             |                | AVA/18 | 453,490                                 | 0,208              |
|             |                | VRG/18 | 454,830                                 | 0,298              |
|             |                | VRG/18 | 442,540                                 | 0,291              |
|             |                | VRG/18 | 447,950                                 | 0,289              |
|             |                | VRG/18 | 457,550                                 | 0,529              |
|             |                | VRG/18 | 459,860                                 | 0,222              |
|             |                | SRA/18 | 510,290                                 | 0,222              |
|             |                | SRA/18 | 479,120                                 | 0,240              |
|             |                | SRA/18 | 487,600                                 | 0,275              |
|             |                | SRA/18 | 480,340                                 | 0,189              |
|             |                | SRA/18 | 468,250                                 | 0,307              |
|             |                | ASG/18 | 471,070                                 | 0,186              |
|             |                | ASG/18 | 472,640                                 | 0,208              |
|             |                | ASG/18 | 472,480                                 | 0,233              |
| ASG/18      | 467,400        | 0,363  |   |                    |

**Ek 1 Devam**

|                           |        |         |       |
|---------------------------|--------|---------|-------|
|                           | ASG/18 | 464,690 | 0,318 |
|                           | ELG/18 | 497,990 | 0,275 |
|                           | ELG/18 | 501,360 | 0,284 |
|                           | ELG/18 | 491,130 | 0,165 |
|                           | ELG/18 | 484,230 | 0,227 |
|                           | ELG/18 | 474,610 | 0,250 |
|                           | SMB/18 | 494,550 | 0,301 |
|                           | SMB/18 | 492,760 | 0,347 |
|                           | SMB/18 | 491,070 | 0,358 |
|                           | SMB/18 | 490,560 | 0,246 |
|                           | SMB/18 | 493,330 | 0,338 |
| Plastik/18                | OFL/18 | 467,350 | 0,253 |
|                           | OFL/18 | 478,940 | 0,206 |
|                           | OFL/18 | 478,120 | 0,588 |
|                           | OFL/18 | 496,660 | 0,420 |
|                           | OFL/18 | 460,260 | 0,350 |
|                           | SLK/18 | 469,350 | 0,456 |
|                           | SLK/18 | 469,620 | 0,387 |
|                           | SLK/18 | 460,790 | 0,317 |
|                           | SLK/18 | 462,670 | 0,491 |
|                           | SLK/18 | 471,870 | 0,350 |
|                           | BRL/18 | 424,390 | 0,264 |
|                           | BRL/18 | 427,010 | 0,317 |
|                           | BRL/18 | 425,250 | 0,340 |
|                           | BRL/18 | 425,120 | 0,245 |
|                           | BRL/18 | 425,040 | 0,268 |
| Monokristal<br>Seramik/18 | PUR/18 | 499,650 | 0,689 |
|                           | PUR/18 | 499,900 | 0,639 |
|                           | PUR/18 | 502,060 | 0,902 |
|                           | PUR/18 | 498,640 | 0,670 |
|                           | PUR/18 | 504,230 | 0,717 |
|                           | RDN/18 | 455,930 | 0,571 |
|                           | RDN/18 | 452,720 | 0,322 |
|                           | RDN/18 | 431,290 | 0,339 |
|                           | RDN/18 | 458,230 | 0,383 |
|                           | RDN/18 | 476,790 | 0,328 |
|                           | ICE/18 | 470,680 | 0,846 |
|                           | ICE/18 | 460,560 | 0,550 |
|                           | ICE/18 | 466,470 | 0,370 |

|             |                        | <b>Ek 1 Devam</b> |         |       |
|-------------|------------------------|-------------------|---------|-------|
|             |                        | ICE/18            | 469,080 | 0,984 |
|             |                        | ICE/18            | 476,490 | 0,736 |
|             | Polikristal Seramik/18 | TRC/18            | 413,590 | 0,873 |
|             |                        | TRC/18            | 419,710 | 0,586 |
|             |                        | TRC/18            | 418,600 | 0,759 |
|             |                        | TRC/18            | 418,460 | 0,476 |
|             |                        | TRC/18            | 416,190 | 0,980 |
|             |                        | RFL/18            | 484,650 | 0,506 |
|             |                        | RFL/18            | 488,220 | 0,199 |
|             |                        | RFL/18            | 479,120 | 0,340 |
|             |                        | RFL/18            | 475,710 | 0,241 |
|             |                        | RFL/18            | 479,720 | 0,449 |
|             |                        | 2040/18           | 487,500 | 0,328 |
|             |                        | 2040/18           | 480,470 | 0,315 |
|             |                        | 2040/18           | 483,220 | 0,372 |
|             |                        | 2040/18           | 485,080 | 0,862 |
|             |                        | 2040/18           | 491,670 | 0,445 |
|             |                        | FN2/18            | 514,990 | 0,367 |
|             |                        | FN2/18            | 528,830 | 0,482 |
|             |                        | FN2/18            | 509,650 | 0,463 |
|             |                        | FN2/18            |         | 0,420 |
|             |                        | FN2/18            | 512,730 | 0,346 |
|             |                        | JW/18             | 469,110 | 0,459 |
|             |                        | JW/18             | 467,890 | 0,526 |
|             |                        | JW/18             | 475,730 | 0,704 |
|             |                        | JW/18             | 477,460 | 0,463 |
|             |                        | JW/18             | 475,230 | 0,274 |
|             |                        | CON/18            | 500,490 | 0,388 |
|             |                        | CON/18            | 493,550 | 0,633 |
|             |                        | CON/18            | 504,490 | 0,292 |
|             |                        | CON/18            | 496,680 | 0,310 |
|             |                        | CON/18            | 495,050 | 0,353 |
|             |                        | ACL/18            | 440,160 | 0,319 |
|             |                        | ACL/18            | 434,050 | 0,469 |
|             |                        | ACL/18            | 444,390 | 0,439 |
|             |                        | ACL/18            | 442,320 | 0,792 |
|             |                        | ACL/18            | 447,640 | 1,061 |
| 22 inç slot | Metal/22               | MUT/22            | 605,870 | 0,150 |
|             |                        | MUT/22            | 598,880 | 0,173 |

|        |                   |         |       |
|--------|-------------------|---------|-------|
|        | <b>Ek 1 Devam</b> |         |       |
|        | MUT/22            | 597,610 | 0,120 |
|        | MUT/22            | 590,530 | 0,159 |
|        | MUT/22            | 582,910 | 0,190 |
|        | OPM/22            | 586,390 | 0,172 |
|        | OPM/22            |         | 0,166 |
|        | OPM/22            | 569,600 | 0,167 |
|        | OPM/22            |         | 0,092 |
|        | OPM/22            | 556,620 | 0,103 |
| MSE/22 | CLA/22            | 567,380 | 0,269 |
|        | CLA/22            | 569,270 | 0,089 |
|        | CLA/22            | 556,240 | 0,186 |
|        | CLA/22            | 564,860 | 0,165 |
|        | CLA/22            | 566,890 | 0,117 |
|        | ENC/22            | 556,460 | 0,270 |
|        | ENC/22            | 549,760 | 0,276 |
|        | ENC/22            | 550,770 | 0,324 |
|        | ENC/22            | 546,140 | 0,379 |
|        | ENC/22            | 565,390 | 0,238 |
|        | AVA/22            | 530,000 | 0,244 |
|        | AVA/22            | 526,990 | 0,260 |
|        | AVA/22            | 531,840 | 0,213 |
|        | AVA/22            | 531,550 | 0,329 |
|        | AVA/22            | 524,340 | 0,215 |
|        | VRG/22            | 548,080 | 0,187 |
|        | VRG/22            | 555,240 | 0,139 |
|        | VRG/22            | 544,300 | 0,203 |
|        | VRG/22            | 549,320 | 0,285 |
|        | VRG/22            | 535,720 | 0,180 |
|        | SRA/22            | 610,910 | 0,197 |
|        | SRA/22            | 638,070 | 0,143 |
|        | SRA/22            | 628,650 | 0,240 |
|        | SRA/22            | 573,080 | 0,266 |
|        | SRA/22            | 610,260 | 0,290 |
|        | ASG/22            | 565,150 | 0,128 |
|        | ASG/22            | 560,400 | 0,143 |
|        | ASG/22            | 557,290 | 0,118 |
|        | ASG/22            | 567,430 | 0,238 |
|        | ASG/22            | 563,060 | 0,112 |
|        | ELG/22            | 546,770 | 0,260 |
|        | ELG/22            | 556,080 | 0,246 |
|        | ELG/22            | 593,810 | 0,199 |
|        | ELG/22            | 638,830 | 0,275 |
|        | ELG/22            | 622,230 | 0,177 |
|        | SMB/22            | 574,430 | 0,289 |

| <b>Ek 1 Devam</b>      |                           |         |         |
|------------------------|---------------------------|---------|---------|
|                        | SMB/22                    | 600,590 | 0,271   |
|                        | SMB/22                    | 584,840 | 0,224   |
|                        | SMB/22                    | 549,860 | 0,329   |
|                        | SMB/22                    | 575,760 | 0,165   |
|                        | OFL/22                    | 583,990 | 0,294   |
| Plastik/22             | OFL/22                    | 562,770 | 0,297   |
|                        | OFL/22                    | 578,030 | 0,291   |
|                        | OFL/22                    | 587,050 | 0,205   |
|                        | OFL/22                    | 584,560 | 0,155   |
|                        | SLK/22                    | 547,130 | 0,197   |
|                        | SLK/22                    | 536,120 | 0,469   |
|                        | SLK/22                    | 533,470 | 0,207   |
|                        | SLK/22                    | 533,300 | 0,278   |
|                        | SLK/22                    | 545,720 | 0,407   |
|                        | BRL/22                    | 554,740 | 0,095   |
|                        | BRL/22                    | 554,420 | 0,189   |
|                        | BRL/22                    | 562,300 | 0,167   |
|                        | BRL/22                    | 549,590 | 0,144   |
|                        | BRL/22                    | 549,430 | 0,235   |
|                        | PUR/22                    | 589,690 | 0,350   |
|                        | Monokristal<br>Seramik/22 | PUR/22  | 585,740 |
| PUR/22                 |                           | 586,040 | 0,283   |
| PUR/22                 |                           | 588,150 | 0,546   |
| PUR/22                 |                           | 586,420 | 0,579   |
| RDN/22                 |                           | 578,650 | 0,214   |
| RDN/22                 |                           | 569,070 | 0,402   |
| RDN/22                 |                           | 568,900 | 0,345   |
| RDN/22                 |                           | 559,760 | 0,168   |
| RDN/22                 |                           | 546,930 | 0,170   |
| ICE/22                 |                           | 594,750 | 0,237   |
| ICE/22                 |                           | 573,760 | 0,512   |
| ICE/22                 |                           | 572,780 | 0,168   |
| ICE/22                 |                           | 572,270 | 0,324   |
| ICE/22                 |                           | 567,260 | 0,275   |
| Polikristal Seramik/22 | TRC/22                    | 520,100 | 0,487   |
|                        | TRC/22                    | 521,500 | 0,333   |
|                        | TRC/22                    | 523,580 | 0,290   |
|                        | TRC/22                    | 516,470 | 0,393   |
|                        | TRC/22                    | 524,160 | 0,239   |
|                        | RFL/22                    | 593,770 | 0,170   |
|                        | RFL/22                    | 590,110 | 0,140   |
|                        | RFL/22                    | 588,380 | 0,148   |
|                        | RFL/22                    | 588,430 | 0,175   |
|                        | RFL/22                    | 594,440 | 0,293   |

**Ek 1 Devam**

|         |         |       |
|---------|---------|-------|
| 2040/22 | 586,790 | 0,272 |
| 2040/22 | 584,270 | 0,301 |
| 2040/22 | 585,100 | 0,322 |
| 2040/22 | 591,530 | 0,227 |
| 2040/22 | 583,580 | 0,231 |
| FN2/22  | 652,910 | 0,457 |
| FN2/22  | 672,950 | 0,379 |
| FN2/22  | 612,870 | 0,419 |
| FN2/22  | 605,790 | 0,710 |
| FN2/22  | 621,600 | 0,417 |
| JW/22   | 510,890 | 0,218 |
| JW/22   | 531,030 | 0,223 |
| JW/22   | 516,970 | 0,250 |
| JW/22   | 527,650 | 0,331 |
| JW/22   | 512,800 | 0,387 |
| CON/22  | 564,240 | 0,255 |
| CON/22  | 561,340 | 0,239 |
| CON/22  | 571,340 | 0,231 |
| CON/22  | 568,160 | 0,311 |
| CON/22  |         | 0,292 |
| ACL/22  | 583,620 | 0,546 |
| ACL/22  | 582,150 | 0,249 |
| ACL/22  | 574,700 | 0,405 |
| ACL/22  |         | 0,362 |
| ACL/22  | 575,780 | 0,231 |



**Ek 2.** 18 ve 22 inç Grupların sürtünme katsayılarının Shapiro-Wilk normallik test sonuçları

| <b>Normallik Testi</b> |                  |                   |           |             |
|------------------------|------------------|-------------------|-----------|-------------|
| <b>Shapiro-Wilk</b>    |                  |                   |           |             |
| <b>Grup</b>            | <b>Slot boyu</b> | <b>İstatistik</b> | <b>df</b> | <b>Sig.</b> |
| MUT                    | 22" slot         | ,982              | 5         | ,947        |
| CLA                    | 18" slot         | ,857              | 5         | ,218        |
|                        | 22" slot         | ,962              | 5         | ,822        |
| TRC                    | 18" slot         | ,967              | 5         | ,858        |
|                        | 22" slot         | ,977              | 5         | ,920        |
| PUR                    | 18" slot         | ,803              | 5         | ,086        |
|                        | 22" slot         | ,940              | 5         | ,663        |
| RFL                    | 18" slot         | ,939              | 5         | ,656        |
|                        | 22" slot         | ,760              | 5         | ,037        |
| ENC                    | 18" slot         | ,998              | 5         | ,999        |
|                        | 22" slot         | ,942              | 5         | ,683        |
| AVA                    | 18" slot         | ,926              | 5         | ,567        |
|                        | 22" slot         | ,865              | 5         | ,246        |
| OFL                    | 18" slot         | ,953              | 5         | ,759        |
|                        | 22" slot         | ,799              | 5         | ,079        |
| RDN                    | 18" slot         | ,729              | 5         | ,019        |
|                        | 22" slot         | ,849              | 5         | ,191        |
| VRG                    | 18" slot         | ,766              | 5         | ,041        |
|                        | 22" slot         | ,914              | 5         | ,493        |
| 2040                   | 18" slot         | ,739              | 5         | ,024        |
|                        | 22" slot         | ,911              | 5         | ,475        |
| SRA                    | 18" slot         | ,987              | 5         | ,969        |
|                        | 22" slot         | ,959              | 5         | ,801        |
| SLK                    | 18" slot         | ,951              | 5         | ,747        |
|                        | 22" slot         | ,888              | 5         | ,345        |
| ASG                    | 18" slot         | ,910              | 5         | ,468        |
|                        | 22" slot         | ,752              | 5         | ,031        |
| BRL                    | 18" slot         | ,909              | 5         | ,464        |
|                        | 22" slot         | ,998              | 5         | ,999        |
| FN2                    | 18" slot         | ,928              | 5         | ,585        |
|                        | 22" slot         | ,741              | 5         | ,024        |
| JW                     | 18" slot         | ,958              | 5         | ,791        |
|                        | 22" slot         | ,872              | 5         | ,273        |
| ELG                    | 18" slot         | ,906              | 5         | ,446        |
|                        | 22" slot         | ,918              | 5         | ,519        |
| CON                    | 18" slot         | ,789              | 5         | ,066        |
|                        | 22" slot         | ,909              | 5         | ,461        |
| ACL                    | 18" slot         | ,904              | 5         | ,432        |
|                        | 22" slot         | ,931              | 5         | ,600        |
| ICE                    | 18" slot         | ,980              | 5         | ,934        |
|                        | 22" slot         | ,924              | 5         | ,558        |
| SMB                    | 18" slot         | ,882              | 5         | ,320        |
|                        | 22" slot         | ,975              | 5         | ,903        |
| OPM                    | 18" slot         | ,993              | 5         | ,988        |
|                        | 22" slot         | ,767              | 5         | ,042        |

**Ek 3.** 18 inç Slot grupların sürtünme katsayılarının ikili karşılaştırması

|       |        | Grup | Ortalama fark | Standart Hata | p         | %95 Güven aralığı |              |
|-------|--------|------|---------------|---------------|-----------|-------------------|--------------|
|       |        |      |               |               |           | Alt sınır         | Üst sınır    |
| Tukey | CLA/18 | TRC  | -,458550600*  | 0,085786996   | 0,000146  | -0,7765878        | -0,140513388 |
|       |        | PUR  | -,447322600*  | 0,085786996   | 0,0002476 | -0,7653598        | -0,129285388 |
| HSD   |        | RFL  | -0,0708818    | 0,085786996   | 0,9999997 | -0,388919         | 0,247155412  |
|       |        | ENC  | -0,0411396    | 0,085786996   | 1         | -0,3591768        | 0,276897612  |
|       |        | AVA  | -0,0922344    | 0,085786996   | 0,999971  | -0,4102716        | 0,225802812  |
|       |        | OFL  | -0,0872632    | 0,085786996   | 0,9999884 | -0,4053004        | 0,230774012  |
|       |        | RDN  | -0,112429     | 0,085786996   | 0,9993992 | -0,4304662        | 0,205608212  |
|       |        | VRG  | -0,0496838    | 0,085786996   | 1         | -0,367721         | 0,268353412  |
|       |        | 2040 | -0,1883594    | 0,085786996   | 0,8313539 | -0,5063966        | 0,129677812  |
|       |        | SRA  | 0,0296492     | 0,085786996   | 1         | -0,288388         | 0,347686412  |
|       |        | SLK  | -0,1240584    | 0,085786996   | 0,997672  | -0,4420956        | 0,193978812  |
|       |        | ASG  | 0,0144054     | 0,085786996   | 1         | -0,3036318        | 0,332442612  |
|       |        | BRL  | -0,0107834    | 0,085786996   | 1         | -0,3288206        | 0,307253812  |
|       |        | FN2  | -0,1393182    | 0,085786996   | 0,9901488 | -0,4573554        | 0,178719012  |
|       |        | JW   | -0,2092122    | 0,085786996   | 0,6765172 | -0,5272494        | 0,108825012  |
|       |        | ELG  | 0,0359618     | 0,085786996   | 1         | -0,2820754        | 0,353999012  |
|       |        | CON  | -0,1192812    | 0,085786996   | 0,9986254 | -0,4373184        | 0,198756012  |
|       |        | ACL  | -,339876600*  | 0,085786996   | 0,0231278 | -0,6579138        | -0,021839388 |
|       |        | ICE  | -,421119400*  | 0,085786996   | 0,0008207 | -0,7391566        | -0,103082188 |
|       |        | SMB  | -0,041818     | 0,085786996   | 1         | -0,3598552        | 0,276219212  |
|       |        | OPM  | -0,0074196    | 0,085786996   | 1         | -0,3254568        | 0,310617612  |
|       | TRC/18 | CLA  | ,458550600*   | 0,085786996   | 0,000146  | 0,1405134         | 0,776587812  |
|       |        | PUR  | 0,011228      | 0,085786996   | 1         | -0,3068092        | 0,329265212  |
|       |        | RFL  | ,387668800*   | 0,085786996   | 0,0035064 | 0,0696316         | 0,705706012  |
|       |        | ENC  | ,417411000*   | 0,085786996   | 0,0009685 | 0,0993738         | 0,735448212  |
|       |        | AVA  | ,366316200*   | 0,085786996   | 0,0083973 | 0,048279          | 0,684353412  |
|       |        | OFL  | ,371287400*   | 0,085786996   | 0,0068806 | 0,0532502         | 0,689324612  |
|       |        | RDN  | ,346121600*   | 0,085786996   | 0,0183413 | 0,0280844         | 0,664158812  |
|       |        | VRG  | ,408866800*   | 0,085786996   | 0,0014123 | 0,0908296         | 0,726904012  |
|       |        | 2040 | 0,2701912     | 0,085786996   | 0,2096651 | -0,047846         | 0,588228412  |
|       |        | SRA  | ,488199800*   | 0,085786996   | 3,496E-05 | 0,1701626         | 0,806237012  |
|       |        | SLK  | ,334492200*   | 0,085786996   | 0,0281353 | 0,016455          | 0,652529412  |
|       |        | ASG  | ,472956000*   | 0,085786996   | 7,336E-05 | 0,1549188         | 0,790993212  |
|       |        | BRL  | ,447767200*   | 0,085786996   | 0,0002425 | 0,12973           | 0,765804412  |
|       |        | FN2  | ,319232400*   | 0,085786996   | 0,0480157 | 0,0011952         | 0,637269612  |
|       |        | JW   | 0,2493384     | 0,085786996   | 0,3431669 | -0,0686988        | 0,567375612  |
|       |        | ELG  | ,494512400*   | 0,085786996   | 2,563E-05 | 0,1764752         | 0,812549612  |
|       |        | CON  | ,339269400*   | 0,085786996   | 0,023649  | 0,0212322         | 0,657306612  |
|       |        | ACL  | 0,118674      | 0,085786996   | 0,9987181 | -0,1993632        | 0,436711212  |
|       |        | ICE  | 0,0374312     | 0,085786996   | 1         | -0,280606         | 0,355468412  |
|       |        | SMB  | ,416732600*   | 0,085786996   | 0,0009981 | 0,0986954         | 0,734769812  |
|       |        | OPM  | ,451131000*   | 0,085786996   | 0,0002072 | 0,1330938         | 0,769168212  |
|       | PUR/18 | CLA  | ,447322600*   | 0,085786996   | 0,0002476 | 0,1292854         | 0,765359812  |
|       |        | TRC  | -0,011228     | 0,085786996   | 1         | -0,3292652        | 0,306809212  |
|       |        | RFL  | ,376440800*   | 0,085786996   | 0,0055817 | 0,0584036         | 0,694478012  |
|       |        | ENC  | ,406183000*   | 0,085786996   | 0,0015881 | 0,0881458         | 0,724220212  |
|       |        | AVA  | ,355088200*   | 0,085786996   | 0,0130399 | 0,037051          | 0,673125412  |
|       |        | OFL  | ,360059400*   | 0,085786996   | 0,0107497 | 0,0420222         | 0,678096612  |
|       |        | RDN  | ,334893600*   | 0,085786996   | 0,0277308 | 0,0168564         | 0,652930812  |
|       |        | VRG  | ,397638800*   | 0,085786996   | 0,0022975 | 0,0796016         | 0,715676012  |
|       |        | 2040 | 0,2589632     | 0,085786996   | 0,2764174 | -0,059074         | 0,577000412  |
|       |        | SRA  | ,476971800*   | 0,085786996   | 6,042E-05 | 0,1589346         | 0,795009012  |

**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | SLK  | ,323264200*  | 0,085786996 | 0,0418221 | 0,005227   | 0,641301412  |
|        | ASG  | ,461728000*  | 0,085786996 | 0,0001256 | 0,1436908  | 0,779765212  |
|        | BRL  | ,436539200*  | 0,085786996 | 0,0004078 | 0,118502   | 0,754576412  |
|        | FN2  | 0,3080044    | 0,085786996 | 0,0696613 | -0,0100328 | 0,626041612  |
|        | JW   | 0,2381104    | 0,085786996 | 0,4306204 | -0,0799268 | 0,556147612  |
|        | ELG  | ,483284400*  | 0,085786996 | 4,446E-05 | 0,1652472  | 0,801321612  |
|        | CON  | ,328041400*  | 0,085786996 | 0,0354049 | 0,0100042  | 0,646078612  |
|        | ACL  | 0,107446     | 0,085786996 | 0,9996896 | -0,2105912 | 0,425483212  |
|        | ICE  | 0,0262032    | 0,085786996 | 1         | -0,291834  | 0,344240412  |
|        | SMB  | ,405504600*  | 0,085786996 | 0,0016357 | 0,0874674  | 0,723541812  |
|        | OPM  | ,439903000*  | 0,085786996 | 0,0003493 | 0,1218658  | 0,757940212  |
| RFL/18 | CLA  | 0,0708818    | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,2471554 | 0,388919012  |
|        | TRC  | -,387668800* | 0,085786996 | 0,0035064 | -0,705706  | -0,069631588 |
|        | PUR  | -,376440800* | 0,085786996 | 0,0055817 | -0,694478  | -0,058403588 |
|        | ENC  | 0,0297422    | 0,085786996 | 1         | -0,288295  | 0,347779412  |
|        | AVA  | -0,0213526   | 0,085786996 | 1         | -0,3393898 | 0,296684612  |
|        | OFL  | -0,0163814   | 0,085786996 | 1         | -0,3344186 | 0,301655812  |
|        | RDN  | -0,0415472   | 0,085786996 | 1         | -0,3595844 | 0,276490012  |
|        | VRG  | 0,021198     | 0,085786996 | 1         | -0,2968392 | 0,339235212  |
|        | 2040 | -0,1174776   | 0,085786996 | 0,998885  | -0,4355148 | 0,200559612  |
|        | SRA  | 0,100531     | 0,085786996 | 0,9998866 | -0,2175062 | 0,418568212  |
|        | SLK  | -0,0531766   | 0,085786996 | 1         | -0,3712138 | 0,264860612  |
|        | ASG  | 0,0852872    | 0,085786996 | 0,9999921 | -0,23275   | 0,403324412  |
|        | BRL  | 0,0600984    | 0,085786996 | 1         | -0,2579388 | 0,378135612  |
|        | FN2  | -0,0684364   | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,3864736 | 0,249600812  |
|        | JW   | -0,1383304   | 0,085786996 | 0,9909365 | -0,4563676 | 0,179706812  |
|        | ELG  | 0,1068436    | 0,085786996 | 0,9997144 | -0,2111936 | 0,424880812  |
|        | CON  | -0,0483994   | 0,085786996 | 1         | -0,3664366 | 0,269637812  |
|        | ACL  | -0,2689948   | 0,085786996 | 0,2161894 | -0,587032  | 0,049042412  |
|        | ICE  | -,350237600* | 0,085786996 | 0,0157011 | -0,6682748 | -0,032200388 |
|        | SMB  | 0,0290638    | 0,085786996 | 1         | -0,2889734 | 0,347101012  |
|        | OPM  | 0,0634622    | 0,085786996 | 1         | -0,254575  | 0,381499412  |
| ENC/18 | CLA  | 0,0411396    | 0,085786996 | 1         | -0,2768976 | 0,359176812  |
|        | TRC  | -,417411000* | 0,085786996 | 0,0009685 | -0,7354482 | -0,099373788 |
|        | PUR  | -,406183000* | 0,085786996 | 0,0015881 | -0,7242202 | -0,088145788 |
|        | RFL  | -0,0297422   | 0,085786996 | 1         | -0,3477794 | 0,288295012  |
|        | AVA  | -0,0510948   | 0,085786996 | 1         | -0,369132  | 0,266942412  |
|        | OFL  | -0,0461236   | 0,085786996 | 1         | -0,3641608 | 0,271913612  |
|        | RDN  | -0,0712894   | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,3893266 | 0,246747812  |
|        | VRG  | -0,0085442   | 0,085786996 | 1         | -0,3265814 | 0,309493012  |
|        | 2040 | -0,1472198   | 0,085786996 | 0,9816507 | -0,465257  | 0,170817412  |
|        | SRA  | 0,0707888    | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,2472484 | 0,388826012  |
|        | SLK  | -0,0829188   | 0,085786996 | 0,9999951 | -0,400956  | 0,235118412  |
|        | ASG  | 0,055545     | 0,085786996 | 1         | -0,2624922 | 0,373582212  |
|        | BRL  | 0,0303562    | 0,085786996 | 1         | -0,287681  | 0,348393412  |
|        | FN2  | -0,0981786   | 0,085786996 | 0,9999216 | -0,4162158 | 0,219858612  |
|        | JW   | -0,1680726   | 0,085786996 | 0,9319693 | -0,4861098 | 0,149964612  |
|        | ELG  | 0,0771014    | 0,085786996 | 0,9999986 | -0,2409358 | 0,395138612  |
|        | CON  | -0,0781416   | 0,085786996 | 0,9999982 | -0,3961788 | 0,239895612  |
|        | ACL  | -0,298737    | 0,085786996 | 0,093336  | -0,6167742 | 0,019300212  |
|        | ICE  | -,379979800* | 0,085786996 | 0,0048273 | -0,698017  | -0,061942588 |
|        | SMB  | -0,0006784   | 0,085786996 | 1         | -0,3187156 | 0,317358812  |
|        | OPM  | 0,03372      | 0,085786996 | 1         | -0,2843172 | 0,351757212  |
| AVA/18 | CLA  | 0,0922344    | 0,085786996 | 0,999971  | -0,2258028 | 0,410271612  |

**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | TRC  | -,366316200* | 0,085786996 | 0,0083973 | -0,6843534 | -0,048278988 |
|        | PUR  | -,355088200* | 0,085786996 | 0,0130399 | -0,6731254 | -0,037050988 |
|        | RFL  | 0,0213526    | 0,085786996 | 1         | -0,2966846 | 0,339389812  |
|        | ENC  | 0,0510948    | 0,085786996 | 1         | -0,2669424 | 0,369132012  |
|        | OFL  | 0,0049712    | 0,085786996 | 1         | -0,313066  | 0,323008412  |
|        | RDN  | -0,0201946   | 0,085786996 | 1         | -0,3382318 | 0,297842612  |
|        | VRG  | 0,0425506    | 0,085786996 | 1         | -0,2754866 | 0,360587812  |
|        | 2040 | -0,096125    | 0,085786996 | 0,9999438 | -0,4141622 | 0,221912212  |
|        | SRA  | 0,1218836    | 0,085786996 | 0,9981595 | -0,1961536 | 0,439920812  |
|        | SLK  | -0,031824    | 0,085786996 | 1         | -0,3498612 | 0,286213212  |
|        | ASG  | 0,1066398    | 0,085786996 | 0,9997224 | -0,2113974 | 0,424677012  |
|        | BRL  | 0,081451     | 0,085786996 | 0,9999964 | -0,2365862 | 0,399488212  |
|        | FN2  | -0,0470838   | 0,085786996 | 1         | -0,365121  | 0,270953412  |
|        | JW   | -0,1169778   | 0,085786996 | 0,998949  | -0,435015  | 0,201059412  |
|        | ELG  | 0,1281962    | 0,085786996 | 0,9964367 | -0,189841  | 0,446233412  |
|        | CON  | -0,0270468   | 0,085786996 | 1         | -0,345084  | 0,290990412  |
|        | ACL  | -0,2476422   | 0,085786996 | 0,3557714 | -0,5656794 | 0,070395012  |
|        | ICE  | -,328885000* | 0,085786996 | 0,0343675 | -0,6469222 | -0,010847788 |
|        | SMB  | 0,0504164    | 0,085786996 | 1         | -0,2676208 | 0,368453612  |
|        | OPM  | 0,0848148    | 0,085786996 | 0,9999928 | -0,2332224 | 0,402852012  |
| OFL/18 | CLA  | 0,0872632    | 0,085786996 | 0,9999884 | -0,230774  | 0,405300412  |
|        | TRC  | -,371287400* | 0,085786996 | 0,0068806 | -0,6893246 | -0,053250188 |
|        | PUR  | -,360059400* | 0,085786996 | 0,0107497 | -0,6780966 | -0,042022188 |
|        | RFL  | 0,0163814    | 0,085786996 | 1         | -0,3016558 | 0,334418612  |
|        | ENC  | 0,0461236    | 0,085786996 | 1         | -0,2719136 | 0,364160812  |
|        | AVA  | -0,0049712   | 0,085786996 | 1         | -0,3230084 | 0,313066012  |
|        | RDN  | -0,0251658   | 0,085786996 | 1         | -0,343203  | 0,292871412  |
|        | VRG  | 0,0375794    | 0,085786996 | 1         | -0,2804578 | 0,355616612  |
|        | 2040 | -0,1010962   | 0,085786996 | 0,9998763 | -0,4191334 | 0,216941012  |
|        | SRA  | 0,1169124    | 0,085786996 | 0,9989571 | -0,2011248 | 0,434949612  |
|        | SLK  | -0,0367952   | 0,085786996 | 1         | -0,3548324 | 0,281242012  |
|        | ASG  | 0,1016686    | 0,085786996 | 0,9998651 | -0,2163686 | 0,419705812  |
|        | BRL  | 0,0764798    | 0,085786996 | 0,9999988 | -0,2415574 | 0,394517012  |
|        | FN2  | -0,052055    | 0,085786996 | 1         | -0,3700922 | 0,265982212  |
|        | JW   | -0,121949    | 0,085786996 | 0,9981463 | -0,4399862 | 0,196088212  |
|        | ELG  | 0,123225     | 0,085786996 | 0,9978705 | -0,1948122 | 0,441262212  |
|        | CON  | -0,032018    | 0,085786996 | 1         | -0,3500552 | 0,286019212  |
|        | ACL  | -0,2526134   | 0,085786996 | 0,3195189 | -0,5706506 | 0,065423812  |
|        | ICE  | -,333856200* | 0,085786996 | 0,0287872 | -0,6518934 | -0,015818988 |
|        | SMB  | 0,0454452    | 0,085786996 | 1         | -0,272592  | 0,363482412  |
|        | OPM  | 0,0798436    | 0,085786996 | 0,9999974 | -0,2381936 | 0,397880812  |
| RDN/18 | CLA  | 0,112429     | 0,085786996 | 0,9993992 | -0,2056082 | 0,430466212  |
|        | TRC  | -,346121600* | 0,085786996 | 0,0183413 | -0,6641588 | -0,028084388 |
|        | PUR  | -,334893600* | 0,085786996 | 0,0277308 | -0,6529308 | -0,016856388 |
|        | RFL  | 0,0415472    | 0,085786996 | 1         | -0,27649   | 0,359584412  |
|        | ENC  | 0,0712894    | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,2467478 | 0,389326612  |
|        | AVA  | 0,0201946    | 0,085786996 | 1         | -0,2978426 | 0,338231812  |
|        | OFL  | 0,0251658    | 0,085786996 | 1         | -0,2928714 | 0,343203012  |
|        | VRG  | 0,0627452    | 0,085786996 | 1         | -0,255292  | 0,380782412  |
|        | 2040 | -0,0759304   | 0,085786996 | 0,9999989 | -0,3939676 | 0,242106812  |
|        | SRA  | 0,1420782    | 0,085786996 | 0,9876495 | -0,175959  | 0,460115412  |
|        | SLK  | -0,0116294   | 0,085786996 | 1         | -0,3296666 | 0,306407812  |
|        | ASG  | 0,1268344    | 0,085786996 | 0,9968932 | -0,1912028 | 0,444871612  |
|        | BRL  | 0,1016456    | 0,085786996 | 0,9998656 | -0,2163916 | 0,419682812  |

**Ek 3 Devam**

|         |      |              |             |           |            |              |
|---------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|         | FN2  | -0,0268892   | 0,085786996 | 1         | -0,3449264 | 0,291148012  |
|         | JW   | -0,0967832   | 0,085786996 | 0,9999374 | -0,4148204 | 0,221254012  |
|         | ELG  | 0,1483908    | 0,085786996 | 0,9800077 | -0,1696464 | 0,466428012  |
|         | CON  | -0,0068522   | 0,085786996 | 1         | -0,3248894 | 0,311185012  |
|         | ACL  | -0,2274476   | 0,085786996 | 0,5203558 | -0,5454848 | 0,090589612  |
|         | ICE  | -0,3086904   | 0,085786996 | 0,0681324 | -0,6267276 | 0,009346812  |
|         | SMB  | 0,070611     | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,2474262 | 0,388648212  |
|         | OPM  | 0,1050094    | 0,085786996 | 0,9997795 | -0,2130278 | 0,423046612  |
| VRG/18  | CLA  | 0,0496838    | 0,085786996 | 1         | -0,2683534 | 0,367721012  |
|         | TRC  | -,408866800* | 0,085786996 | 0,0014123 | -0,726904  | -0,090829588 |
|         | PUR  | -,397638800* | 0,085786996 | 0,0022975 | -0,715676  | -0,079601588 |
|         | RFL  | -0,021198    | 0,085786996 | 1         | -0,3392352 | 0,296839212  |
|         | ENC  | 0,0085442    | 0,085786996 | 1         | -0,309493  | 0,326581412  |
|         | AVA  | -0,0425506   | 0,085786996 | 1         | -0,3605878 | 0,275486612  |
|         | OFL  | -0,0375794   | 0,085786996 | 1         | -0,3556166 | 0,280457812  |
|         | RDN  | -0,0627452   | 0,085786996 | 1         | -0,3807824 | 0,255292012  |
|         | 2040 | -0,1386756   | 0,085786996 | 0,9906673 | -0,4567128 | 0,179361612  |
|         | SRA  | 0,079333     | 0,085786996 | 0,9999977 | -0,2387042 | 0,397370212  |
|         | SLK  | -0,0743746   | 0,085786996 | 0,9999993 | -0,3924118 | 0,243662612  |
|         | ASG  | 0,0640892    | 0,085786996 | 1         | -0,253948  | 0,382126412  |
|         | BRL  | 0,0389004    | 0,085786996 | 1         | -0,2791368 | 0,356937612  |
|         | FN2  | -0,0896344   | 0,085786996 | 0,9999819 | -0,4076716 | 0,228402812  |
|         | JW   | -0,1595284   | 0,085786996 | 0,958082  | -0,4775656 | 0,158508812  |
|         | ELG  | 0,0856456    | 0,085786996 | 0,9999915 | -0,2323916 | 0,403682812  |
|         | CON  | -0,0695974   | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,3876346 | 0,248439812  |
|         | ACL  | -0,2901928   | 0,085786996 | 0,1207256 | -0,60823   | 0,027844412  |
|         | ICE  | -,371435600* | 0,085786996 | 0,0068396 | -0,6894728 | -0,053398388 |
|         | SMB  | 0,0078658    | 0,085786996 | 1         | -0,3101714 | 0,325903012  |
|         | OPM  | 0,0422642    | 0,085786996 | 1         | -0,275773  | 0,360301412  |
| 2040/18 | CLA  | 0,1883594    | 0,085786996 | 0,8313539 | -0,1296778 | 0,506396612  |
|         | TRC  | -0,2701912   | 0,085786996 | 0,2096651 | -0,5882284 | 0,047846012  |
|         | PUR  | -0,2589632   | 0,085786996 | 0,2764174 | -0,5770004 | 0,059074012  |
|         | RFL  | 0,1174776    | 0,085786996 | 0,998885  | -0,2005596 | 0,435514812  |
|         | ENC  | 0,1472198    | 0,085786996 | 0,9816507 | -0,1708174 | 0,465257012  |
|         | AVA  | 0,096125     | 0,085786996 | 0,9999438 | -0,2219122 | 0,414162212  |
|         | OFL  | 0,1010962    | 0,085786996 | 0,9998763 | -0,216941  | 0,419133412  |
|         | RDN  | 0,0759304    | 0,085786996 | 0,9999989 | -0,2421068 | 0,393967612  |
|         | VRG  | 0,1386756    | 0,085786996 | 0,9906673 | -0,1793616 | 0,456712812  |
|         | SRA  | 0,2180086    | 0,085786996 | 0,6018977 | -0,1000286 | 0,536045812  |
|         | SLK  | 0,064301     | 0,085786996 | 0,9999999 | -0,2537362 | 0,382338212  |
|         | ASG  | 0,2027648    | 0,085786996 | 0,7286289 | -0,1152724 | 0,520802012  |
|         | BRL  | 0,177576     | 0,085786996 | 0,8917849 | -0,1404612 | 0,495613212  |
|         | FN2  | 0,0490412    | 0,085786996 | 1         | -0,268996  | 0,367078412  |
|         | JW   | -0,0208528   | 0,085786996 | 1         | -0,33889   | 0,297184412  |
|         | ELG  | 0,2243212    | 0,085786996 | 0,5473215 | -0,093716  | 0,542358412  |
|         | CON  | 0,0690782    | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,248959  | 0,387115412  |
|         | ACL  | -0,1515172   | 0,085786996 | 0,9750558 | -0,4695544 | 0,166520012  |
|         | ICE  | -0,23276     | 0,085786996 | 0,4750719 | -0,5507972 | 0,085277212  |
|         | SMB  | 0,1465414    | 0,085786996 | 0,9825528 | -0,1714958 | 0,464578612  |
|         | OPM  | 0,1809398    | 0,085786996 | 0,87461   | -0,1370974 | 0,498977012  |
| SRA/18  | CLA  | -0,0296492   | 0,085786996 | 1         | -0,3476864 | 0,288388012  |
|         | TRC  | -,488199800* | 0,085786996 | 3,496E-05 | -0,806237  | -0,170162588 |
|         | PUR  | -,476971800* | 0,085786996 | 6,042E-05 | -0,795009  | -0,158934588 |
|         | RFL  | -0,100531    | 0,085786996 | 0,9998866 | -0,4185682 | 0,217506212  |

**Ek 3 Devam**

|        |              |              |             |            |              |              |
|--------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| ENC    | -0,0707888   | 0,085786996  | 0,9999997   | -0,388826  | 0,247248412  |              |
| AVA    | -0,1218836   | 0,085786996  | 0,9981595   | -0,4399208 | 0,196153612  |              |
| OFL    | -0,1169124   | 0,085786996  | 0,9989571   | -0,4349496 | 0,201124812  |              |
| RDN    | -0,1420782   | 0,085786996  | 0,9876495   | -0,4601154 | 0,175959012  |              |
| VRG    | -0,079333    | 0,085786996  | 0,9999977   | -0,3973702 | 0,238704212  |              |
| 2040   | -0,2180086   | 0,085786996  | 0,6018977   | -0,5360458 | 0,100028612  |              |
| SLK    | -0,1537076   | 0,085786996  | 0,9710593   | -0,4717448 | 0,164329612  |              |
| ASG    | -0,0152438   | 0,085786996  | 1           | -0,333281  | 0,302793412  |              |
| BRL    | -0,0404326   | 0,085786996  | 1           | -0,3584698 | 0,277604612  |              |
| FN2    | -0,1689674   | 0,085786996  | 0,9287027   | -0,4870046 | 0,149069812  |              |
| JW     | -0,2388614   | 0,085786996  | 0,4245026   | -0,5568986 | 0,079175812  |              |
| ELG    | 0,0063126    | 0,085786996  | 1           | -0,3117246 | 0,324349812  |              |
| CON    | -0,1489304   | 0,085786996  | 0,979213    | -0,4669676 | 0,169106812  |              |
| ACL    | -,369525800* | 0,085786996  | 0,0073861   | -0,687563  | -0,051488588 |              |
| ICE    | -,450768600* | 0,085786996  | 0,0002107   | -0,7688058 | -0,132731388 |              |
| SMB    | -0,0714672   | 0,085786996  | 0,9999996   | -0,3895044 | 0,246570012  |              |
| OPM    | -0,0370688   | 0,085786996  | 1           | -0,355106  | 0,280968412  |              |
| SLK/18 | CLA          | 0,1240584    | 0,085786996 | 0,997672   | -0,1939788   | 0,442095612  |
|        | TRC          | -,334492200* | 0,085786996 | 0,0281353  | -0,6525294   | -0,016454988 |
|        | PUR          | -,323264200* | 0,085786996 | 0,0418221  | -0,6413014   | -0,005226988 |
|        | RFL          | 0,0531766    | 0,085786996 | 1          | -0,2648606   | 0,371213812  |
|        | ENC          | 0,0829188    | 0,085786996 | 0,9999951  | -0,2351184   | 0,400956012  |
|        | AVA          | 0,031824     | 0,085786996 | 1          | -0,2862132   | 0,349861212  |
|        | OFL          | 0,0367952    | 0,085786996 | 1          | -0,281242    | 0,354832412  |
|        | RDN          | 0,0116294    | 0,085786996 | 1          | -0,3064078   | 0,329666612  |
|        | VRG          | 0,0743746    | 0,085786996 | 0,9999993  | -0,2436626   | 0,392411812  |
|        | 2040         | -0,064301    | 0,085786996 | 0,9999999  | -0,3823382   | 0,253736212  |
|        | SRA          | 0,1537076    | 0,085786996 | 0,9710593  | -0,1643296   | 0,471744812  |
|        | ASG          | 0,1384638    | 0,085786996 | 0,9908332  | -0,1795734   | 0,456501012  |
|        | BRL          | 0,113275     | 0,085786996 | 0,9993313  | -0,2047622   | 0,431312212  |
|        | FN2          | -0,0152598   | 0,085786996 | 1          | -0,333297    | 0,302777412  |
|        | JW           | -0,0851538   | 0,085786996 | 0,9999923  | -0,403191    | 0,232883412  |
|        | ELG          | 0,1600202    | 0,085786996 | 0,9568168  | -0,158017    | 0,478057412  |
|        | CON          | 0,0047772    | 0,085786996 | 1          | -0,31326     | 0,322814412  |
|        | ACL          | -0,2158182   | 0,085786996 | 0,6207233  | -0,5338554   | 0,102219012  |
|        | ICE          | -0,297061    | 0,085786996 | 0,0982623  | -0,6150982   | 0,020976212  |
|        | SMB          | 0,0822404    | 0,085786996 | 0,9999957  | -0,2357968   | 0,400277612  |
|        | OPM          | 0,1166388    | 0,085786996 | 0,9989905  | -0,2013984   | 0,434676012  |
| ASG/18 | CLA          | -0,0144054   | 0,085786996 | 1          | -0,3324426   | 0,303631812  |
|        | TRC          | -,472956000* | 0,085786996 | 7,336E-05  | -0,7909932   | -0,154918788 |
|        | PUR          | -,461728000* | 0,085786996 | 0,0001256  | -0,7797652   | -0,143690788 |
|        | RFL          | -0,0852872   | 0,085786996 | 0,9999921  | -0,4033244   | 0,232750012  |
|        | ENC          | -0,055545    | 0,085786996 | 1          | -0,3735822   | 0,262492212  |
|        | AVA          | -0,1066398   | 0,085786996 | 0,9997224  | -0,424677    | 0,211397412  |
|        | OFL          | -0,1016686   | 0,085786996 | 0,9998651  | -0,4197058   | 0,216368612  |
|        | RDN          | -0,1268344   | 0,085786996 | 0,9968932  | -0,4448716   | 0,191202812  |
|        | VRG          | -0,0640892   | 0,085786996 | 1          | -0,3821264   | 0,253948012  |
|        | 2040         | -0,2027648   | 0,085786996 | 0,7286289  | -0,520802    | 0,115272412  |
|        | SRA          | 0,0152438    | 0,085786996 | 1          | -0,3027934   | 0,333281012  |
|        | SLK          | -0,1384638   | 0,085786996 | 0,9908332  | -0,456501    | 0,179573412  |
|        | BRL          | -0,0251888   | 0,085786996 | 1          | -0,343226    | 0,292848412  |
|        | FN2          | -0,1537236   | 0,085786996 | 0,9710284  | -0,4717608   | 0,164313612  |
|        | JW           | -0,2236176   | 0,085786996 | 0,5534064  | -0,5416548   | 0,094419612  |
|        | ELG          | 0,0215564    | 0,085786996 | 1          | -0,2964808   | 0,339593612  |

**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | CON  | -0,1336866   | 0,085786996 | 0,993982  | -0,4517238 | 0,184350612  |
|        | ACL  | -,354282000* | 0,085786996 | 0,0134512 | -0,6723192 | -0,036244788 |
|        | ICE  | -,435524800* | 0,085786996 | 0,0004272 | -0,753562  | -0,117487588 |
|        | SMB  | -0,0562234   | 0,085786996 | 1         | -0,3742606 | 0,261813812  |
|        | OPM  | -0,021825    | 0,085786996 | 1         | -0,3398622 | 0,296212212  |
| BRL/18 | CLA  | 0,0107834    | 0,085786996 | 1         | -0,3072538 | 0,328820612  |
|        | TRC  | -,447767200* | 0,085786996 | 0,0002425 | -0,7658044 | -0,129729988 |
|        | PUR  | -,436539200* | 0,085786996 | 0,0004078 | -0,7545764 | -0,118501988 |
|        | RFL  | -0,0600984   | 0,085786996 | 1         | -0,3781356 | 0,257938812  |
|        | ENC  | -0,0303562   | 0,085786996 | 1         | -0,3483934 | 0,287681012  |
|        | AVA  | -0,081451    | 0,085786996 | 0,9999964 | -0,3994882 | 0,236586212  |
|        | OFL  | -0,0764798   | 0,085786996 | 0,9999988 | -0,394517  | 0,241557412  |
|        | RDN  | -0,1016456   | 0,085786996 | 0,9998656 | -0,4196828 | 0,216391612  |
|        | VRG  | -0,0389004   | 0,085786996 | 1         | -0,3569376 | 0,279136812  |
|        | 2040 | -0,177576    | 0,085786996 | 0,8917849 | -0,4956132 | 0,140461212  |
|        | SRA  | 0,0404326    | 0,085786996 | 1         | -0,2776046 | 0,358469812  |
|        | SLK  | -0,113275    | 0,085786996 | 0,9993313 | -0,4313122 | 0,204762212  |
|        | ASG  | 0,0251888    | 0,085786996 | 1         | -0,2928484 | 0,343226012  |
|        | FN2  | -0,1285348   | 0,085786996 | 0,9963148 | -0,446572  | 0,189502412  |
|        | JW   | -0,1984288   | 0,085786996 | 0,761818  | -0,516466  | 0,119608412  |
|        | ELG  | 0,0467452    | 0,085786996 | 1         | -0,271292  | 0,364782412  |
|        | CON  | -0,1084978   | 0,085786996 | 0,9996416 | -0,426535  | 0,209539412  |
|        | ACL  | -,329093200* | 0,085786996 | 0,0341157 | -0,6471304 | -0,011055988 |
|        | ICE  | -,410336000* | 0,085786996 | 0,0013242 | -0,7283732 | -0,092298788 |
|        | SMB  | -0,0310346   | 0,085786996 | 1         | -0,3490718 | 0,287002612  |
|        | OPM  | 0,0033638    | 0,085786996 | 1         | -0,3146734 | 0,321401012  |
| FN2/18 | CLA  | 0,1393182    | 0,085786996 | 0,9901488 | -0,178719  | 0,457355412  |
|        | TRC  | -,319232400* | 0,085786996 | 0,0480157 | -0,6372696 | -0,001195188 |
|        | PUR  | -0,3080044   | 0,085786996 | 0,0696613 | -0,6260416 | 0,010032812  |
|        | RFL  | 0,0684364    | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,2496008 | 0,386473612  |
|        | ENC  | 0,0981786    | 0,085786996 | 0,9999216 | -0,2198586 | 0,416215812  |
|        | AVA  | 0,0470838    | 0,085786996 | 1         | -0,2709534 | 0,365121012  |
|        | OFL  | 0,052055     | 0,085786996 | 1         | -0,2659822 | 0,370092212  |
|        | RDN  | 0,0268892    | 0,085786996 | 1         | -0,291148  | 0,344926412  |
|        | VRG  | 0,0896344    | 0,085786996 | 0,9999819 | -0,2284028 | 0,407671612  |
|        | 2040 | -0,0490412   | 0,085786996 | 1         | -0,3670784 | 0,268996012  |
|        | SRA  | 0,1689674    | 0,085786996 | 0,9287027 | -0,1490698 | 0,487004612  |
|        | SLK  | 0,0152598    | 0,085786996 | 1         | -0,3027774 | 0,333297012  |
|        | ASG  | 0,1537236    | 0,085786996 | 0,9710284 | -0,1643136 | 0,471760812  |
|        | BRL  | 0,1285348    | 0,085786996 | 0,9963148 | -0,1895024 | 0,446572012  |
|        | JW   | -0,069894    | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,3879312 | 0,248143212  |
|        | ELG  | 0,17528      | 0,085786996 | 0,9026175 | -0,1427572 | 0,493317212  |
|        | CON  | 0,020037     | 0,085786996 | 1         | -0,2980002 | 0,338074212  |
|        | ACL  | -0,2005584   | 0,085786996 | 0,7457301 | -0,5185956 | 0,117478812  |
|        | ICE  | -0,2818012   | 0,085786996 | 0,1535457 | -0,5998384 | 0,036236012  |
|        | SMB  | 0,0975002    | 0,085786996 | 0,9999297 | -0,220537  | 0,415537412  |
|        | OPM  | 0,1318986    | 0,085786996 | 0,9949013 | -0,1861386 | 0,449935812  |
| JW/18  | CLA  | 0,2092122    | 0,085786996 | 0,6765172 | -0,108825  | 0,527249412  |
|        | TRC  | -0,2493384   | 0,085786996 | 0,3431669 | -0,5673756 | 0,068698812  |
|        | PUR  | -0,2381104   | 0,085786996 | 0,4306204 | -0,5561476 | 0,079926812  |
|        | RFL  | 0,1383304    | 0,085786996 | 0,9909365 | -0,1797068 | 0,456367612  |
|        | ENC  | 0,1680726    | 0,085786996 | 0,9319693 | -0,1499646 | 0,486109812  |
|        | AVA  | 0,1169778    | 0,085786996 | 0,998949  | -0,2010594 | 0,435015012  |
|        | OFL  | 0,121949     | 0,085786996 | 0,9981463 | -0,1960882 | 0,439986212  |

**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | RDN  | 0,0967832    | 0,085786996 | 0,9999374 | -0,221254  | 0,414820412  |
|        | VRG  | 0,1595284    | 0,085786996 | 0,958082  | -0,1585088 | 0,477565612  |
|        | 2040 | 0,0208528    | 0,085786996 | 1         | -0,2971844 | 0,338890012  |
|        | SRA  | 0,2388614    | 0,085786996 | 0,4245026 | -0,0791758 | 0,556898612  |
|        | SLK  | 0,0851538    | 0,085786996 | 0,9999923 | -0,2328834 | 0,403191012  |
|        | ASG  | 0,2236176    | 0,085786996 | 0,5534064 | -0,0944196 | 0,541654812  |
|        | BRL  | 0,1984288    | 0,085786996 | 0,761818  | -0,1196084 | 0,516466012  |
|        | FN2  | 0,069894     | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,2481432 | 0,387931212  |
|        | ELG  | 0,245174     | 0,085786996 | 0,374525  | -0,0728632 | 0,563211212  |
|        | CON  | 0,089931     | 0,085786996 | 0,9999808 | -0,2281062 | 0,407968212  |
|        | ACL  | -0,1306644   | 0,085786996 | 0,9954649 | -0,4487016 | 0,187372812  |
|        | ICE  | -0,2119072   | 0,085786996 | 0,6539802 | -0,5299444 | 0,106130012  |
|        | SMB  | 0,1673942    | 0,085786996 | 0,9343763 | -0,150643  | 0,485431412  |
|        | OPM  | 0,2017926    | 0,085786996 | 0,736216  | -0,1162446 | 0,519829812  |
| ELG/18 | CLA  | -0,0359618   | 0,085786996 | 1         | -0,353999  | 0,282075412  |
|        | TRC  | -,494512400* | 0,085786996 | 2,563E-05 | -0,8125496 | -0,176475188 |
|        | PUR  | -,483284400* | 0,085786996 | 4,446E-05 | -0,8013216 | -0,165247188 |
|        | RFL  | -0,1068436   | 0,085786996 | 0,9997144 | -0,4248808 | 0,211193612  |
|        | ENC  | -0,0771014   | 0,085786996 | 0,9999986 | -0,3951386 | 0,240935812  |
|        | AVA  | -0,1281962   | 0,085786996 | 0,9964367 | -0,4462334 | 0,189841012  |
|        | OFL  | -0,123225    | 0,085786996 | 0,9978705 | -0,4412622 | 0,194812212  |
|        | RDN  | -0,1483908   | 0,085786996 | 0,9800077 | -0,466428  | 0,169646412  |
|        | VRG  | -0,0856456   | 0,085786996 | 0,9999915 | -0,4036828 | 0,232391612  |
|        | 2040 | -0,2243212   | 0,085786996 | 0,5473215 | -0,5423584 | 0,093716012  |
|        | SRA  | -0,0063126   | 0,085786996 | 1         | -0,3243498 | 0,311724612  |
|        | SLK  | -0,1600202   | 0,085786996 | 0,9568168 | -0,4780574 | 0,158017012  |
|        | ASG  | -0,0215564   | 0,085786996 | 1         | -0,3395936 | 0,296480812  |
|        | BRL  | -0,0467452   | 0,085786996 | 1         | -0,3647824 | 0,271292012  |
|        | FN2  | -0,17528     | 0,085786996 | 0,9026175 | -0,4933172 | 0,142757212  |
|        | JW   | -0,245174    | 0,085786996 | 0,374525  | -0,5632112 | 0,072863212  |
|        | CON  | -0,155243    | 0,085786996 | 0,96798   | -0,4732802 | 0,162794212  |
|        | ACL  | -,375838400* | 0,085786996 | 0,0057207 | -0,6938756 | -0,057801188 |
|        | ICE  | -,457081200* | 0,085786996 | 0,0001565 | -0,7751184 | -0,139043988 |
|        | SMB  | -0,0777798   | 0,085786996 | 0,9999984 | -0,395817  | 0,240257412  |
|        | OPM  | -0,0433814   | 0,085786996 | 1         | -0,3614186 | 0,274655812  |
| CON/18 | CLA  | 0,1192812    | 0,085786996 | 0,9986254 | -0,198756  | 0,437318412  |
|        | TRC  | -,339269400* | 0,085786996 | 0,023649  | -0,6573066 | -0,021232188 |
|        | PUR  | -,328041400* | 0,085786996 | 0,0354049 | -0,6460786 | -0,010004188 |
|        | RFL  | 0,0483994    | 0,085786996 | 1         | -0,2696378 | 0,366436612  |
|        | ENC  | 0,0781416    | 0,085786996 | 0,9999982 | -0,2398956 | 0,396178812  |
|        | AVA  | 0,0270468    | 0,085786996 | 1         | -0,2909904 | 0,345084012  |
|        | OFL  | 0,032018     | 0,085786996 | 1         | -0,2860192 | 0,350055212  |
|        | RDN  | 0,0068522    | 0,085786996 | 1         | -0,311185  | 0,324889412  |
|        | VRG  | 0,0695974    | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,2484398 | 0,387634612  |
|        | 2040 | -0,0690782   | 0,085786996 | 0,9999998 | -0,3871154 | 0,248959012  |
|        | SRA  | 0,1489304    | 0,085786996 | 0,979213  | -0,1691068 | 0,466967612  |
|        | SLK  | -0,0047772   | 0,085786996 | 1         | -0,3228144 | 0,313260012  |
|        | ASG  | 0,1336866    | 0,085786996 | 0,993982  | -0,1843506 | 0,451723812  |
|        | BRL  | 0,1084978    | 0,085786996 | 0,9996416 | -0,2095394 | 0,426535012  |
|        | FN2  | -0,020037    | 0,085786996 | 1         | -0,3380742 | 0,298000212  |
|        | JW   | -0,089931    | 0,085786996 | 0,9999808 | -0,4079682 | 0,228106212  |
|        | ELG  | 0,155243     | 0,085786996 | 0,96798   | -0,1627942 | 0,473280212  |
|        | ACL  | -0,2205954   | 0,085786996 | 0,5795582 | -0,5386326 | 0,097441812  |
|        | ICE  | -0,3018382   | 0,085786996 | 0,0847603 | -0,6198754 | 0,016199012  |



**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | SMB  | 0,0774632    | 0,085786996 | 0,9999985 | -0,240574  | 0,395500412  |
|        | OPM  | 0,1118616    | 0,085786996 | 0,9994413 | -0,2061756 | 0,429898812  |
| ACL/18 | CLA  | ,339876600*  | 0,085786996 | 0,0231278 | 0,0218394  | 0,657913812  |
|        | TRC  | -0,118674    | 0,085786996 | 0,9987181 | -0,4367112 | 0,199363212  |
|        | PUR  | -0,107446    | 0,085786996 | 0,9996896 | -0,4254832 | 0,210591212  |
|        | RFL  | 0,2689948    | 0,085786996 | 0,2161894 | -0,0490424 | 0,587032012  |
|        | ENC  | 0,298737     | 0,085786996 | 0,093336  | -0,0193002 | 0,616774212  |
|        | AVA  | 0,2476422    | 0,085786996 | 0,3557714 | -0,070395  | 0,565679412  |
|        | OFL  | 0,2526134    | 0,085786996 | 0,3195189 | -0,0654238 | 0,570650612  |
|        | RDN  | 0,2274476    | 0,085786996 | 0,5203558 | -0,0905896 | 0,545484812  |
|        | VRG  | 0,2901928    | 0,085786996 | 0,1207256 | -0,0278444 | 0,608230012  |
|        | 2040 | 0,1515172    | 0,085786996 | 0,9750558 | -0,16652   | 0,469554412  |
|        | SRA  | ,369525800*  | 0,085786996 | 0,0073861 | 0,0514886  | 0,687563012  |
|        | SLK  | 0,2158182    | 0,085786996 | 0,6207233 | -0,102219  | 0,533855412  |
|        | ASG  | ,354282000*  | 0,085786996 | 0,0134512 | 0,0362448  | 0,672319212  |
|        | BRL  | ,329093200*  | 0,085786996 | 0,0341157 | 0,011056   | 0,647130412  |
|        | FN2  | 0,2005584    | 0,085786996 | 0,7457301 | -0,1174788 | 0,518595612  |
|        | JW   | 0,1306644    | 0,085786996 | 0,9954649 | -0,1873728 | 0,448701612  |
|        | ELG  | ,375838400*  | 0,085786996 | 0,0057207 | 0,0578012  | 0,693875612  |
|        | CON  | 0,2205954    | 0,085786996 | 0,5795582 | -0,0974418 | 0,538632612  |
|        | ICE  | -0,0812428   | 0,085786996 | 0,9999965 | -0,39928   | 0,236794412  |
|        | SMB  | 0,2980586    | 0,085786996 | 0,0953048 | -0,0199786 | 0,616095812  |
|        | OPM  | ,332457000*  | 0,085786996 | 0,0302692 | 0,0144198  | 0,650494212  |
| ICE/18 | CLA  | ,421119400*  | 0,085786996 | 0,0008207 | 0,1030822  | 0,739156612  |
|        | TRC  | -0,0374312   | 0,085786996 | 1         | -0,3554684 | 0,280606012  |
|        | PUR  | -0,0262032   | 0,085786996 | 1         | -0,3442404 | 0,291834012  |
|        | RFL  | ,350237600*  | 0,085786996 | 0,0157011 | 0,0322004  | 0,668274812  |
|        | ENC  | ,379979800*  | 0,085786996 | 0,0048273 | 0,0619426  | 0,698017012  |
|        | AVA  | ,328885000*  | 0,085786996 | 0,0343675 | 0,0108478  | 0,646922212  |
|        | OFL  | ,333856200*  | 0,085786996 | 0,0287872 | 0,015819   | 0,651893412  |
|        | RDN  | 0,3086904    | 0,085786996 | 0,0681324 | -0,0093468 | 0,626727612  |
|        | VRG  | ,371435600*  | 0,085786996 | 0,0068396 | 0,0533984  | 0,689472812  |
|        | 2040 | 0,23276      | 0,085786996 | 0,4750719 | -0,0852772 | 0,550797212  |
|        | SRA  | ,450768600*  | 0,085786996 | 0,0002107 | 0,1327314  | 0,768805812  |
|        | SLK  | 0,297061     | 0,085786996 | 0,0982623 | -0,0209762 | 0,615098212  |
|        | ASG  | ,435524800*  | 0,085786996 | 0,0004272 | 0,1174876  | 0,753562012  |
|        | BRL  | ,410336000*  | 0,085786996 | 0,0013242 | 0,0922988  | 0,728373212  |
|        | FN2  | 0,2818012    | 0,085786996 | 0,1535457 | -0,036236  | 0,599838412  |
|        | JW   | 0,2119072    | 0,085786996 | 0,6539802 | -0,10613   | 0,529944412  |
|        | ELG  | ,457081200*  | 0,085786996 | 0,0001565 | 0,139044   | 0,775118412  |
|        | CON  | 0,3018382    | 0,085786996 | 0,0847603 | -0,016199  | 0,619875412  |
|        | ACL  | 0,0812428    | 0,085786996 | 0,9999965 | -0,2367944 | 0,399280012  |
|        | SMB  | ,379301400*  | 0,085786996 | 0,004964  | 0,0612642  | 0,697338612  |
|        | OPM  | ,413699800*  | 0,085786996 | 0,0011417 | 0,0956626  | 0,731737012  |
| SMB/18 | CLA  | 0,041818     | 0,085786996 | 1         | -0,2762192 | 0,359855212  |
|        | TRC  | -,416732600* | 0,085786996 | 0,0009981 | -0,7347698 | -0,098695388 |
|        | PUR  | -,405504600* | 0,085786996 | 0,0016357 | -0,7235418 | -0,087467388 |
|        | RFL  | -0,0290638   | 0,085786996 | 1         | -0,347101  | 0,288973412  |
|        | ENC  | 0,0006784    | 0,085786996 | 1         | -0,3173588 | 0,318715612  |
|        | AVA  | -0,0504164   | 0,085786996 | 1         | -0,3684536 | 0,267620812  |
|        | OFL  | -0,0454452   | 0,085786996 | 1         | -0,3634824 | 0,272592012  |
|        | RDN  | -0,070611    | 0,085786996 | 0,9999997 | -0,3886482 | 0,247426212  |
|        | VRG  | -0,0078658   | 0,085786996 | 1         | -0,325903  | 0,310171412  |
|        | 2040 | -0,1465414   | 0,085786996 | 0,9825528 | -0,4645786 | 0,171495812  |

**Ek 3 Devam**

|        |      |              |             |           |            |              |
|--------|------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
|        | SRA  | 0,0714672    | 0,085786996 | 0,9999996 | -0,24657   | 0,389504412  |
|        | SLK  | -0,0822404   | 0,085786996 | 0,9999957 | -0,4002776 | 0,235796812  |
|        | ASG  | 0,0562234    | 0,085786996 | 1         | -0,2618138 | 0,374260612  |
|        | BRL  | 0,0310346    | 0,085786996 | 1         | -0,2870026 | 0,349071812  |
|        | FN2  | -0,0975002   | 0,085786996 | 0,9999297 | -0,4155374 | 0,220537012  |
|        | JW   | -0,1673942   | 0,085786996 | 0,9343763 | -0,4854314 | 0,150643012  |
|        | ELG  | 0,0777798    | 0,085786996 | 0,9999984 | -0,2402574 | 0,395817012  |
|        | CON  | -0,0774632   | 0,085786996 | 0,9999985 | -0,3955004 | 0,240574012  |
|        | ACL  | -0,2980586   | 0,085786996 | 0,0953048 | -0,6160958 | 0,019978612  |
|        | ICE  | -,379301400* | 0,085786996 | 0,004964  | -0,6973386 | -0,061264188 |
|        | OPM  | 0,0343984    | 0,085786996 | 1         | -0,2836388 | 0,352435612  |
| OPM/18 | CLA  | 0,0074196    | 0,085786996 | 1         | -0,3106176 | 0,325456812  |
|        | TRC  | -,451131000* | 0,085786996 | 0,0002072 | -0,7691682 | -0,133093788 |
|        | PUR  | -,439903000* | 0,085786996 | 0,0003493 | -0,7579402 | -0,121865788 |
|        | RFL  | -0,0634622   | 0,085786996 | 1         | -0,3814994 | 0,254575012  |
|        | ENC  | -0,03372     | 0,085786996 | 1         | -0,3517572 | 0,284317212  |
|        | AVA  | -0,0848148   | 0,085786996 | 0,9999928 | -0,402852  | 0,233222412  |
|        | OFL  | -0,0798436   | 0,085786996 | 0,9999974 | -0,3978808 | 0,238193612  |
|        | RDN  | -0,1050094   | 0,085786996 | 0,9997795 | -0,4230466 | 0,213027812  |
|        | VRG  | -0,0422642   | 0,085786996 | 1         | -0,3603014 | 0,275773012  |
|        | 2040 | -0,1809398   | 0,085786996 | 0,87461   | -0,498977  | 0,137097412  |
|        | SRA  | 0,0370688    | 0,085786996 | 1         | -0,2809684 | 0,355106012  |
|        | SLK  | -0,1166388   | 0,085786996 | 0,9989905 | -0,434676  | 0,201398412  |
|        | ASG  | 0,021825     | 0,085786996 | 1         | -0,2962122 | 0,339862212  |
|        | BRL  | -0,0033638   | 0,085786996 | 1         | -0,321401  | 0,314673412  |
|        | FN2  | -0,1318986   | 0,085786996 | 0,9949013 | -0,4499358 | 0,186138612  |
|        | JW   | -0,2017926   | 0,085786996 | 0,736216  | -0,5198298 | 0,116244612  |
|        | ELG  | 0,0433814    | 0,085786996 | 1         | -0,2746558 | 0,361418612  |
|        | CON  | -0,1118616   | 0,085786996 | 0,9994413 | -0,4298988 | 0,206175612  |
|        | ACL  | -,332457000* | 0,085786996 | 0,0302692 | -0,6504942 | -0,014419788 |
|        | ICE  | -,413699800* | 0,085786996 | 0,0011417 | -0,731737  | -0,095662588 |
|        | SMB  | -0,0343984   | 0,085786996 | 1         | -0,3524356 | 0,283638812  |

**Ek 4.** 22 inç Slot grupların sürtünme katsayılarının ikili karşılaştırması

|              |        | Grup | Ortalama fark | Standart Hata | p          | %95 Güven aralığı |            |            |           |
|--------------|--------|------|---------------|---------------|------------|-------------------|------------|------------|-----------|
|              |        |      |               |               |            | Alt sınır         | Üst sınır  |            |           |
| Tukey<br>HSD | CLA/22 | TRC  | -0,18311418   | 0,050896269   | ,072       | -,37279410        | ,00656574  |            |           |
|              |        | PUR  | -,276641380*  | 0,050896269   | ,000       | -,46632130        | -,08696146 |            |           |
|              |        | RFL  | -0,01978278   | 0,050896269   | 1,000      | -,20946270        | ,16989714  |            |           |
|              |        | ENC  | -0,13218978   | 0,050896269   | ,581       | -,32186970        | ,05749014  |            |           |
|              |        | AVA  | -0,08680598   | 0,050896269   | ,986       | -,27648590        | ,10287394  |            |           |
|              |        | OFL  | -0,08310918   | 0,050896269   | ,992       | -,27278910        | ,10657074  |            |           |
|              |        | RDN  | -0,09436438   | 0,050896269   | ,966       | -,28404430        | ,09531554  |            |           |
|              |        | VRG  | -0,03351898   | 0,050896269   | 1,000      | -,22319890        | ,15616094  |            |           |
|              |        | 2040 | -0,10507098   | 0,050896269   | ,907       | -,29475090        | ,08460894  |            |           |
|              |        | SRA  | -0,06202458   | 0,050896269   | 1,000      | -,25170450        | ,12765534  |            |           |
|              |        | SLK  | -0,14634818   | 0,050896269   | ,380       | -,33602810        | ,04333174  |            |           |
|              |        | ASG  | 0,01758442    | 0,050896269   | 1,000      | -,17209550        | ,20726434  |            |           |
|              |        | BRL  | -0,00057018   | 0,050896269   | 1,000      | -,19025010        | ,18910974  |            |           |
|              |        | FN2  | -,311030380*  | 0,050896269   | ,000       | -,50071030        | -,12135046 |            |           |
|              |        | JW   | -0,11638898   | 0,050896269   | ,797       | -,30606890        | ,07329094  |            |           |
|              |        | ELG  | -0,06611158   | 0,050896269   | 1,000      | -,25579150        | ,12356834  |            |           |
|              |        | CON  | -0,10019638   | 0,050896269   | ,939       | -,28987630        | ,08948354  |            |           |
|              |        | ACL  | -,193241980*  | 0,050896269   | ,041       | -,38292190        | -,00356206 |            |           |
|              |        | ICE  | -0,13789098   | 0,050896269   | ,498       | -,32757090        | ,05178894  |            |           |
|              |        | SMB  | -0,09053078   | 0,050896269   | ,978       | -,28021070        | ,09914914  |            |           |
|              |        | OPM  | 0,02557268    | 0,050896269   | 1,000      | -,16410724        | ,21525260  |            |           |
|              |        | MUT  | 0,00680942    | 0,050896269   | 1,000      | -,18287050        | ,19648934  |            |           |
|              |        |      | TRC/22        | CLA           | 0,18311418 | 0,050896269       | ,072       | -,00656574 | ,37279410 |
|              |        |      |               | PUR           | -0,0935272 | 0,050896269       | ,969       | -,28320712 | ,09615272 |
|              |        |      |               | RFL           | 0,1633314  | 0,050896269       | ,193       | -,02634852 | ,35301132 |
|              |        |      |               | ENC           | 0,0509244  | 0,050896269       | 1,000      | -,13875552 | ,24060432 |
|              |        | AVA  | 0,0963082     | 0,050896269   | ,958       | -,09337172        | ,28598812  |            |           |
|              |        | OFL  | 0,100005      | 0,050896269   | ,940       | -,08967492        | ,28968492  |            |           |
|              |        | RDN  | 0,0887498     | 0,050896269   | ,982       | -,10093012        | ,27842972  |            |           |
|              |        | VRG  | 0,1495952     | 0,050896269   | ,339       | -,04008472        | ,33927512  |            |           |
|              |        | 2040 | 0,0780432     | 0,050896269   | ,996       | -,11163672        | ,26772312  |            |           |
|              |        | SRA  | 0,1210896     | 0,050896269   | ,738       | -,06859032        | ,31076952  |            |           |
|              |        | SLK  | 0,036766      | 0,050896269   | 1,000      | -,15291392        | ,22644592  |            |           |
|              |        | ASG  | ,200698600*   | 0,050896269   | ,026       | ,01101868         | ,39037852  |            |           |
|              |        | BRL  | 0,182544      | 0,050896269   | ,075       | -,00713592        | ,37222392  |            |           |
|              |        | FN2  | -0,1279162    | 0,050896269   | ,643       | -,31759612        | ,06176372  |            |           |
|              |        | JW   | 0,0667252     | 0,050896269   | 1,000      | -,12295472        | ,25640512  |            |           |
|              |        | ELG  | 0,1170026     | 0,050896269   | ,789       | -,07267732        | ,30668252  |            |           |
|              |        | CON  | 0,0829178     | 0,050896269   | ,992       | -,10676212        | ,27259772  |            |           |
|              |        | ACL  | -0,0101278    | 0,050896269   | 1,000      | -,19980772        | ,17955212  |            |           |
|              |        | ICE  | 0,0452232     | 0,050896269   | 1,000      | -,14445672        | ,23490312  |            |           |
|              |        | SMB  | 0,0925834     | 0,050896269   | ,972       | -,09709652        | ,28226332  |            |           |
|              |        | OPM  | ,208686860*   | 0,050896269   | ,016       | ,01900694         | ,39836678  |            |           |
|              |        | MUT  | ,189923600*   | 0,050896269   | ,049       | ,00024368         | ,37960352  |            |           |
|              | PUR/22 | CLA  | ,276641380*   | 0,050896269   | ,000       | ,08696146         | ,46632130  |            |           |
|              |        | TRC  | 0,0935272     | 0,050896269   | ,969       | -,09615272        | ,28320712  |            |           |
|              |        | RFL  | ,256858600*   | 0,050896269   | ,000       | ,06717868         | ,44653852  |            |           |
|              |        | ENC  | 0,1444516     | 0,050896269   | ,406       | -,04522832        | ,33413152  |            |           |
|              |        | AVA  | ,189835400*   | 0,050896269   | ,050       | ,00015548         | ,37951532  |            |           |
|              |        | OFL  | ,193532200*   | 0,050896269   | ,040       | ,00385228         | ,38321212  |            |           |
|              |        | RDN  | 0,182277      | 0,050896269   | ,076       | -,00740292        | ,37195692  |            |           |
|              |        | VRG  | ,243122400*   | 0,050896269   | ,001       | ,05344248         | ,43280232  |            |           |

**Ek 4 Devam**

|        |             |              |             |            |            |            |
|--------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| 2040   | 0,1715704   | 0,050896269  | ,131        | -,01810952 | ,36125032  |            |
| SRA    | ,214616800* | 0,050896269  | ,011        | ,02493688  | ,40429672  |            |
| SLK    | 0,1302932   | 0,050896269  | ,609        | -,05938672 | ,31997312  |            |
| ASG    | ,294225800* | 0,050896269  | ,000        | ,10454588  | ,48390572  |            |
| BRL    | ,276071200* | 0,050896269  | ,000        | ,08639128  | ,46575112  |            |
| FN2    | -,034389    | 0,050896269  | 1,000       | -,22406892 | ,15529092  |            |
| JW     | 0,1602524   | 0,050896269  | ,221        | -,02942752 | ,34993232  |            |
| ELG    | ,210529800* | 0,050896269  | ,014        | ,02084988  | ,40020972  |            |
| CON    | 0,176445    | 0,050896269  | ,103        | -,01323492 | ,36612492  |            |
| ACL    | 0,0833994   | 0,050896269  | ,991        | -,10628052 | ,27307932  |            |
| ICE    | 0,1387504   | 0,050896269  | ,485        | -,05092952 | ,32843032  |            |
| SMB    | 0,1861106   | 0,050896269  | ,061        | -,00356932 | ,37579052  |            |
| OPM    | ,302214060* | 0,050896269  | ,000        | ,11253414  | ,49189398  |            |
| MUT    | ,283450800* | 0,050896269  | ,000        | ,09377088  | ,47313072  |            |
| RFL/22 | CLA         | 0,01978278   | 0,050896269 | 1,000      | -,16989714 | ,20946270  |
|        | TRC         | -,01633314   | 0,050896269 | ,193       | -,35301132 | ,02634852  |
|        | PUR         | -,256858600* | 0,050896269 | ,000       | -,44653852 | -,06717868 |
|        | ENC         | -,0112407    | 0,050896269 | ,841       | -,30208692 | ,07727292  |
|        | AVA         | -,0670232    | 0,050896269 | 1,000      | -,25670312 | ,12265672  |
|        | OFL         | -,0633264    | 0,050896269 | 1,000      | -,25300632 | ,12635352  |
|        | RDN         | -,0745816    | 0,050896269 | ,998       | -,26426152 | ,11509832  |
|        | VRG         | -,0137362    | 0,050896269 | 1,000      | -,20341612 | ,17594372  |
|        | 2040        | -,0852882    | 0,050896269 | ,989       | -,27496812 | ,10439172  |
|        | SRA         | -,0422418    | 0,050896269 | 1,000      | -,23192172 | ,14743812  |
|        | SLK         | -,01265654   | 0,050896269 | ,663       | -,31624532 | ,06311452  |
|        | ASG         | 0,0373672    | 0,050896269 | 1,000      | -,15231272 | ,22704712  |
|        | BRL         | 0,0192126    | 0,050896269 | 1,000      | -,17046732 | ,20889252  |
|        | FN2         | -,291247600* | 0,050896269 | ,000       | -,48092752 | -,10156768 |
|        | JW          | -,0966062    | 0,050896269 | ,957       | -,28628612 | ,09307372  |
|        | ELG         | -,0463288    | 0,050896269 | 1,000      | -,23600872 | ,14335112  |
|        | CON         | -,0804136    | 0,050896269 | ,995       | -,27009352 | ,10926632  |
|        | ACL         | -,01734592   | 0,050896269 | ,120       | -,36313912 | ,01622072  |
|        | ICE         | -,01181082   | 0,050896269 | ,776       | -,30778812 | ,07157172  |
|        | SMB         | -,070748     | 0,050896269 | ,999       | -,26042792 | ,11893192  |
|        | OPM         | 0,04535546   | 0,050896269 | 1,000      | -,14432446 | ,23503538  |
|        | MUT         | 0,0265922    | 0,050896269 | 1,000      | -,16308772 | ,21627212  |
| ENC/22 | CLA         | 0,13218978   | 0,050896269 | ,581       | -,05749014 | ,32186970  |
|        | TRC         | -,0509244    | 0,050896269 | 1,000      | -,24060432 | ,13875552  |
|        | PUR         | -,01444516   | 0,050896269 | ,406       | -,33413152 | ,04522832  |
|        | RFL         | 0,112407     | 0,050896269 | ,841       | -,07727292 | ,30208692  |
|        | AVA         | 0,0453838    | 0,050896269 | 1,000      | -,14429612 | ,23506372  |
|        | OFL         | 0,0490806    | 0,050896269 | 1,000      | -,14059932 | ,23876052  |
|        | RDN         | 0,0378254    | 0,050896269 | 1,000      | -,15185452 | ,22750532  |
|        | VRG         | 0,0986708    | 0,050896269 | ,947       | -,09100912 | ,28835072  |
|        | 2040        | 0,0271188    | 0,050896269 | 1,000      | -,16256112 | ,21679872  |
|        | SRA         | 0,0701652    | 0,050896269 | ,999       | -,11951472 | ,25984512  |
|        | SLK         | -,0141584    | 0,050896269 | 1,000      | -,20383832 | ,17552152  |
|        | ASG         | 0,1497742    | 0,050896269 | ,336       | -,03990572 | ,33945412  |
|        | BRL         | 0,1316196    | 0,050896269 | ,590       | -,05806032 | ,32129952  |
|        | FN2         | -,01788406   | 0,050896269 | ,091       | -,36852052 | ,01083932  |
|        | JW          | 0,0158008    | 0,050896269 | 1,000      | -,17387912 | ,20548072  |
|        | ELG         | 0,0660782    | 0,050896269 | 1,000      | -,12360172 | ,25575812  |
|        | CON         | 0,0319934    | 0,050896269 | 1,000      | -,15768652 | ,22167332  |
|        | ACL         | -,0610522    | 0,050896269 | 1,000      | -,25073212 | ,12862772  |

**Ek 4 Devam**

|        |      |              |             |       |            |            |
|--------|------|--------------|-------------|-------|------------|------------|
|        | ICE  | -0,0057012   | 0,050896269 | 1,000 | -,19538112 | ,18397872  |
|        | SMB  | 0,041659     | 0,050896269 | 1,000 | -,14802092 | ,23133892  |
|        | OPM  | 0,15776246   | 0,050896269 | ,246  | -,03191746 | ,34744238  |
|        | MUT  | 0,1389992    | 0,050896269 | ,482  | -,05068072 | ,32867912  |
| AVA/22 | CLA  | 0,08680598   | 0,050896269 | ,986  | -,10287394 | ,27648590  |
|        | TRC  | -0,0963082   | 0,050896269 | ,958  | -,28598812 | ,09337172  |
|        | PUR  | -,189835400* | 0,050896269 | ,050  | -,37951532 | -,00015548 |
|        | RFL  | 0,0670232    | 0,050896269 | 1,000 | -,12265672 | ,25670312  |
|        | ENC  | -0,0453838   | 0,050896269 | 1,000 | -,23506372 | ,14429612  |
|        | OFL  | 0,0036968    | 0,050896269 | 1,000 | -,18598312 | ,19337672  |
|        | RDN  | -0,0075584   | 0,050896269 | 1,000 | -,19723832 | ,18212152  |
|        | VRG  | 0,053287     | 0,050896269 | 1,000 | -,13639292 | ,24296692  |
|        | 2040 | -0,018265    | 0,050896269 | 1,000 | -,20794492 | ,17141492  |
|        | SRA  | 0,0247814    | 0,050896269 | 1,000 | -,16489852 | ,21446132  |
|        | SLK  | -0,0595422   | 0,050896269 | 1,000 | -,24922212 | ,13013772  |
|        | ASG  | 0,1043904    | 0,050896269 | ,912  | -,08528952 | ,29407032  |
|        | BRL  | 0,0862358    | 0,050896269 | ,987  | -,10344412 | ,27591572  |
|        | FN2  | -,224224400* | 0,050896269 | ,006  | -,41390432 | -,03454448 |
|        | JW   | -0,029583    | 0,050896269 | 1,000 | -,21926292 | ,16009692  |
|        | ELG  | 0,0206944    | 0,050896269 | 1,000 | -,16898552 | ,21037432  |
|        | CON  | -0,0133904   | 0,050896269 | 1,000 | -,20307032 | ,17628952  |
|        | ACL  | -0,106436    | 0,050896269 | ,896  | -,29611592 | ,08324392  |
|        | ICE  | -0,051085    | 0,050896269 | 1,000 | -,24076492 | ,13859492  |
|        | SMB  | -0,0037248   | 0,050896269 | 1,000 | -,19340472 | ,18595512  |
|        | OPM  | 0,11237866   | 0,050896269 | ,841  | -,07730126 | ,30205858  |
|        | MUT  | 0,0936154    | 0,050896269 | ,968  | -,09606452 | ,28329532  |
| OFL/22 | CLA  | 0,08310918   | 0,050896269 | ,992  | -,10657074 | ,27278910  |
|        | TRC  | -0,100005    | 0,050896269 | ,940  | -,28968492 | ,08967492  |
|        | PUR  | -,193532200* | 0,050896269 | ,040  | -,38321212 | -,00385228 |
|        | RFL  | 0,0633264    | 0,050896269 | 1,000 | -,12635352 | ,25300632  |
|        | ENC  | -0,0490806   | 0,050896269 | 1,000 | -,23876052 | ,14059932  |
|        | AVA  | -0,0036968   | 0,050896269 | 1,000 | -,19337672 | ,18598312  |
|        | RDN  | -0,0112552   | 0,050896269 | 1,000 | -,20093512 | ,17842472  |
|        | VRG  | 0,0495902    | 0,050896269 | 1,000 | -,14008972 | ,23927012  |
|        | 2040 | -0,0219618   | 0,050896269 | 1,000 | -,21164172 | ,16771812  |
|        | SRA  | 0,0210846    | 0,050896269 | 1,000 | -,16859532 | ,21076452  |
|        | SLK  | -0,063239    | 0,050896269 | 1,000 | -,25291892 | ,12644092  |
|        | ASG  | 0,1006936    | 0,050896269 | ,936  | -,08898632 | ,29037352  |
|        | BRL  | 0,082539     | 0,050896269 | ,992  | -,10714092 | ,27221892  |
|        | FN2  | -,227921200* | 0,050896269 | ,004  | -,41760112 | -,03824128 |
|        | JW   | -0,0332798   | 0,050896269 | 1,000 | -,22295972 | ,15640012  |
|        | ELG  | 0,0169976    | 0,050896269 | 1,000 | -,17268232 | ,20667752  |
|        | CON  | -0,0170872   | 0,050896269 | 1,000 | -,20676712 | ,17259272  |
|        | ACL  | -0,1101328   | 0,050896269 | ,863  | -,29981272 | ,07954712  |
|        | ICE  | -0,0547818   | 0,050896269 | 1,000 | -,24446172 | ,13489812  |
|        | SMB  | -0,0074216   | 0,050896269 | 1,000 | -,19710152 | ,18225832  |
|        | OPM  | 0,10868186   | 0,050896269 | ,877  | -,08099806 | ,29836178  |
|        | MUT  | 0,0899186    | 0,050896269 | ,980  | -,09976132 | ,27959852  |
| RDN/22 | CLA  | 0,09436438   | 0,050896269 | ,966  | -,09531554 | ,28404430  |
|        | TRC  | -0,0887498   | 0,050896269 | ,982  | -,27842972 | ,10093012  |
|        | PUR  | -0,182277    | 0,050896269 | ,076  | -,37195692 | ,00740292  |
|        | RFL  | 0,0745816    | 0,050896269 | ,998  | -,11509832 | ,26426152  |
|        | ENC  | -0,0378254   | 0,050896269 | 1,000 | -,22750532 | ,15185452  |
|        | AVA  | 0,0075584    | 0,050896269 | 1,000 | -,18212152 | ,19723832  |

**Ek 4 Devam**

|         |              |              |             |            |            |            |
|---------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| OFL     | 0,0112552    | 0,050896269  | 1,000       | -,17842472 | ,20093512  |            |
| VRG     | 0,0608454    | 0,050896269  | 1,000       | -,12883452 | ,25052532  |            |
| 2040    | -0,0107066   | 0,050896269  | 1,000       | -,20038652 | ,17897332  |            |
| SRA     | 0,0323398    | 0,050896269  | 1,000       | -,15734012 | ,22201972  |            |
| SLK     | -0,0519838   | 0,050896269  | 1,000       | -,24166372 | ,13769612  |            |
| ASG     | 0,1119488    | 0,050896269  | ,845        | -,07773112 | ,30162872  |            |
| BRL     | 0,0937942    | 0,050896269  | ,968        | -,09588572 | ,28347412  |            |
| FN2     | -,216666000* | 0,050896269  | ,009        | -,40634592 | -,02698608 |            |
| JW      | -0,0220246   | 0,050896269  | 1,000       | -,21170452 | ,16765532  |            |
| ELG     | 0,0282528    | 0,050896269  | 1,000       | -,16142712 | ,21793272  |            |
| CON     | -0,005832    | 0,050896269  | 1,000       | -,19551192 | ,18384792  |            |
| ACL     | -0,0988776   | 0,050896269  | ,946        | -,28855752 | ,09080232  |            |
| ICE     | -0,0435266   | 0,050896269  | 1,000       | -,23320652 | ,14615332  |            |
| SMB     | 0,0038336    | 0,050896269  | 1,000       | -,18584632 | ,19351352  |            |
| OPM     | 0,11993706   | 0,050896269  | ,753        | -,06974286 | ,30961698  |            |
| MUT     | 0,1011738    | 0,050896269  | ,933        | -,08850612 | ,29085372  |            |
| VRG/22  | CLA          | 0,03351898   | 0,050896269 | 1,000      | -,15616094 | ,22319890  |
|         | TRC          | -0,1495952   | 0,050896269 | ,339       | -,33927512 | ,04008472  |
|         | PUR          | -,243122400* | 0,050896269 | ,001       | -,43280232 | -,05344248 |
|         | RFL          | 0,0137362    | 0,050896269 | 1,000      | -,17594372 | ,20341612  |
|         | ENC          | -0,0986708   | 0,050896269 | ,947       | -,28835072 | ,09100912  |
|         | AVA          | -0,053287    | 0,050896269 | 1,000      | -,24296692 | ,13639292  |
|         | OFL          | -0,0495902   | 0,050896269 | 1,000      | -,23927012 | ,14008972  |
|         | RDN          | -0,0608454   | 0,050896269 | 1,000      | -,25052532 | ,12883452  |
|         | 2040         | -0,071552    | 0,050896269 | ,999       | -,26123192 | ,11812792  |
|         | SRA          | -0,0285056   | 0,050896269 | 1,000      | -,21818552 | ,16117432  |
|         | SLK          | -0,1128292   | 0,050896269 | ,836       | -,30250912 | ,07685072  |
|         | ASG          | 0,0511034    | 0,050896269 | 1,000      | -,13857652 | ,24078332  |
|         | BRL          | 0,0329488    | 0,050896269 | 1,000      | -,15673112 | ,22262872  |
|         | FN2          | -,277511400* | 0,050896269 | ,000       | -,46719132 | -,08783148 |
|         | JW           | -0,08287     | 0,050896269 | ,992       | -,27254992 | ,10680992  |
|         | ELG          | -0,0325926   | 0,050896269 | 1,000      | -,22227252 | ,15708732  |
|         | CON          | -0,0666774   | 0,050896269 | 1,000      | -,25635732 | ,12300252  |
|         | ACL          | -0,159723    | 0,050896269 | ,227       | -,34940292 | ,02995692  |
|         | ICE          | -0,104372    | 0,050896269 | ,912       | -,29405192 | ,08530792  |
|         | SMB          | -0,0570118   | 0,050896269 | 1,000      | -,24669172 | ,13266812  |
|         | OPM          | 0,05909166   | 0,050896269 | 1,000      | -,13058826 | ,24877158  |
|         | MUT          | 0,0403284    | 0,050896269 | 1,000      | -,14935152 | ,23000832  |
| 2040/22 | CLA          | 0,10507098   | 0,050896269 | ,907       | -,08460894 | ,29475090  |
|         | TRC          | -0,0780432   | 0,050896269 | ,996       | -,26772312 | ,11163672  |
|         | PUR          | -0,1715704   | 0,050896269 | ,131       | -,36125032 | ,01810952  |
|         | RFL          | 0,0852882    | 0,050896269 | ,989       | -,10439172 | ,27496812  |
|         | ENC          | -0,0271188   | 0,050896269 | 1,000      | -,21679872 | ,16256112  |
|         | AVA          | 0,018265     | 0,050896269 | 1,000      | -,17141492 | ,20794492  |
|         | OFL          | 0,0219618    | 0,050896269 | 1,000      | -,16771812 | ,21164172  |
|         | RDN          | 0,0107066    | 0,050896269 | 1,000      | -,17897332 | ,20038652  |
|         | VRG          | 0,071552     | 0,050896269 | ,999       | -,11812792 | ,26123192  |
|         | SRA          | 0,0430464    | 0,050896269 | 1,000      | -,14663352 | ,23272632  |
|         | SLK          | -0,0412772   | 0,050896269 | 1,000      | -,23095712 | ,14840272  |
|         | ASG          | 0,1226554    | 0,050896269 | ,717       | -,06702452 | ,31233532  |
|         | BRL          | 0,1045008    | 0,050896269 | ,911       | -,08517912 | ,29418072  |
|         | FN2          | -,205959400* | 0,050896269 | ,019       | -,39563932 | -,01627948 |
|         | JW           | -0,011318    | 0,050896269 | 1,000      | -,20099792 | ,17836192  |
|         | ELG          | 0,0389594    | 0,050896269 | 1,000      | -,15072052 | ,22863932  |

**Ek 4 Devam**

|        |      |              |             |       |            |            |
|--------|------|--------------|-------------|-------|------------|------------|
|        | CON  | 0,0048746    | 0,050896269 | 1,000 | -,18480532 | ,19455452  |
|        | ACL  | -0,088171    | 0,050896269 | ,984  | -,27785092 | ,10150892  |
|        | ICE  | -0,03282     | 0,050896269 | 1,000 | -,22249992 | ,15685992  |
|        | SMB  | 0,0145402    | 0,050896269 | 1,000 | -,17513972 | ,20422012  |
|        | OPM  | 0,13064366   | 0,050896269 | ,604  | -,05903626 | ,32032358  |
|        | MUT  | 0,1118804    | 0,050896269 | ,846  | -,07779952 | ,30156032  |
| SRA/22 | CLA  | 0,06202458   | 0,050896269 | 1,000 | -,12765534 | ,25170450  |
|        | TRC  | -0,1210896   | 0,050896269 | ,738  | -,31076952 | ,06859032  |
|        | PUR  | -,214616800* | 0,050896269 | ,011  | -,40429672 | -,02493688 |
|        | RFL  | 0,0422418    | 0,050896269 | 1,000 | -,14743812 | ,23192172  |
|        | ENC  | -0,0701652   | 0,050896269 | ,999  | -,25984512 | ,11951472  |
|        | AVA  | -0,0247814   | 0,050896269 | 1,000 | -,21446132 | ,16489852  |
|        | OFL  | -0,0210846   | 0,050896269 | 1,000 | -,21076452 | ,16859532  |
|        | RDN  | -0,0323398   | 0,050896269 | 1,000 | -,22201972 | ,15734012  |
|        | VRG  | 0,0285056    | 0,050896269 | 1,000 | -,16117432 | ,21818552  |
|        | 2040 | -0,0430464   | 0,050896269 | 1,000 | -,23272632 | ,14663352  |
|        | SLK  | -0,0843236   | 0,050896269 | ,990  | -,27400352 | ,10535632  |
|        | ASG  | 0,079609     | 0,050896269 | ,995  | -,11007092 | ,26928892  |
|        | BRL  | 0,0614544    | 0,050896269 | 1,000 | -,12822552 | ,25113432  |
|        | FN2  | -,249005800* | 0,050896269 | ,001  | -,43868572 | -,05932588 |
|        | JW   | -0,0543644   | 0,050896269 | 1,000 | -,24404432 | ,13531552  |
|        | ELG  | -0,004087    | 0,050896269 | 1,000 | -,19376692 | ,18559292  |
|        | CON  | -0,0381718   | 0,050896269 | 1,000 | -,22785172 | ,15150812  |
|        | ACL  | -0,1312174   | 0,050896269 | ,595  | -,32089732 | ,05846252  |
|        | ICE  | -0,0758664   | 0,050896269 | ,997  | -,26554632 | ,11381352  |
|        | SMB  | -0,0285062   | 0,050896269 | 1,000 | -,21818612 | ,16117372  |
|        | OPM  | 0,08759726   | 0,050896269 | ,985  | -,10208266 | ,27727718  |
|        | MUT  | 0,068834     | 0,050896269 | ,999  | -,12084592 | ,25851392  |
| SLK/22 | CLA  | 0,14634818   | 0,050896269 | ,380  | -,04333174 | ,33602810  |
|        | TRC  | -0,036766    | 0,050896269 | 1,000 | -,22644592 | ,15291392  |
|        | PUR  | -0,1302932   | 0,050896269 | ,609  | -,31997312 | ,05938672  |
|        | RFL  | 0,1265654    | 0,050896269 | ,663  | -,06311452 | ,31624532  |
|        | ENC  | 0,0141584    | 0,050896269 | 1,000 | -,17552152 | ,20383832  |
|        | AVA  | 0,0595422    | 0,050896269 | 1,000 | -,13013772 | ,24922212  |
|        | OFL  | 0,063239     | 0,050896269 | 1,000 | -,12644092 | ,25291892  |
|        | RDN  | 0,0519838    | 0,050896269 | 1,000 | -,13769612 | ,24166372  |
|        | VRG  | 0,1128292    | 0,050896269 | ,836  | -,07685072 | ,30250912  |
|        | 2040 | 0,0412772    | 0,050896269 | 1,000 | -,14840272 | ,23095712  |
|        | SRA  | 0,0843236    | 0,050896269 | ,990  | -,10535632 | ,27400352  |
|        | ASG  | 0,1639326    | 0,050896269 | ,188  | -,02574732 | ,35361252  |
|        | BRL  | 0,145778     | 0,050896269 | ,388  | -,04390192 | ,33545792  |
|        | FN2  | -0,1646822   | 0,050896269 | ,182  | -,35436212 | ,02499772  |
|        | JW   | 0,0299592    | 0,050896269 | 1,000 | -,15972072 | ,21963912  |
|        | ELG  | 0,0802366    | 0,050896269 | ,995  | -,10944332 | ,26991652  |
|        | CON  | 0,0461518    | 0,050896269 | 1,000 | -,14352812 | ,23583172  |
|        | ACL  | -0,0468938   | 0,050896269 | 1,000 | -,23657372 | ,14278612  |
|        | ICE  | 0,0084572    | 0,050896269 | 1,000 | -,18122272 | ,19813712  |
|        | SMB  | 0,0558174    | 0,050896269 | 1,000 | -,13386252 | ,24549732  |
|        | OPM  | 0,17192086   | 0,050896269 | ,129  | -,01775906 | ,36160078  |
|        | MUT  | 0,1531576    | 0,050896269 | ,296  | -,03652232 | ,34283752  |
| ASG/22 | CLA  | -0,01758442  | 0,050896269 | 1,000 | -,20726434 | ,17209550  |
|        | TRC  | -,200698600* | 0,050896269 | ,026  | -,39037852 | -,01101868 |
|        | PUR  | -,294225800* | 0,050896269 | ,000  | -,48390572 | -,10454588 |
|        | RFL  | -0,0373672   | 0,050896269 | 1,000 | -,22704712 | ,15231272  |

**Ek 4 Devam**

|        |              |              |             |            |            |            |
|--------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| ENC    | -0,1497742   | 0,050896269  | ,336        | -,33945412 | ,03990572  |            |
| AVA    | -0,1043904   | 0,050896269  | ,912        | -,29407032 | ,08528952  |            |
| OFL    | -0,1006936   | 0,050896269  | ,936        | -,29037352 | ,08898632  |            |
| RDN    | -0,1119488   | 0,050896269  | ,845        | -,30162872 | ,07773112  |            |
| VRG    | -0,0511034   | 0,050896269  | 1,000       | -,24078332 | ,13857652  |            |
| 2040   | -0,1226554   | 0,050896269  | ,717        | -,31233532 | ,06702452  |            |
| SRA    | -0,079609    | 0,050896269  | ,995        | -,26928892 | ,11007092  |            |
| SLK    | -0,1639326   | 0,050896269  | ,188        | -,35361252 | ,02574732  |            |
| BRL    | -0,0181546   | 0,050896269  | 1,000       | -,20783452 | ,17152532  |            |
| FN2    | -,328614800* | 0,050896269  | ,000        | -,51829472 | -,13893488 |            |
| JW     | -0,1339734   | 0,050896269  | ,555        | -,32365332 | ,05570652  |            |
| ELG    | -0,083696    | 0,050896269  | ,991        | -,27337592 | ,10598392  |            |
| CON    | -0,1177808   | 0,050896269  | ,780        | -,30746072 | ,07189912  |            |
| ACL    | -,210826400* | 0,050896269  | ,014        | -,40050632 | -,02114648 |            |
| ICE    | -0,1554754   | 0,050896269  | ,270        | -,34515532 | ,03420452  |            |
| SMB    | -0,1081152   | 0,050896269  | ,882        | -,29779512 | ,08156472  |            |
| OPM    | 0,00798826   | 0,050896269  | 1,000       | -,18169166 | ,19766818  |            |
| MUT    | -0,010775    | 0,050896269  | 1,000       | -,20045492 | ,17890492  |            |
| BRL/22 | CLA          | 0,00057018   | 0,050896269 | 1,000      | -,18910974 | ,19025010  |
|        | TRC          | -0,182544    | 0,050896269 | ,075       | -,37222392 | ,00713592  |
|        | PUR          | -,276071200* | 0,050896269 | ,000       | -,46575112 | -,08639128 |
|        | RFL          | -0,0192126   | 0,050896269 | 1,000      | -,20889252 | ,17046732  |
|        | ENC          | -0,1316196   | 0,050896269 | ,590       | -,32129952 | ,05806032  |
|        | AVA          | -0,0862358   | 0,050896269 | ,987       | -,27591572 | ,10344412  |
|        | OFL          | -0,082539    | 0,050896269 | ,992       | -,27221892 | ,10714092  |
|        | RDN          | -0,0937942   | 0,050896269 | ,968       | -,28347412 | ,09588572  |
|        | VRG          | -0,0329488   | 0,050896269 | 1,000      | -,22262872 | ,15673112  |
|        | 2040         | -0,1045008   | 0,050896269 | ,911       | -,29418072 | ,08517912  |
|        | SRA          | -0,0614544   | 0,050896269 | 1,000      | -,25113432 | ,12822552  |
|        | SLK          | -0,145778    | 0,050896269 | ,388       | -,33545792 | ,04390192  |
|        | ASG          | 0,0181546    | 0,050896269 | 1,000      | -,17152532 | ,20783452  |
|        | FN2          | -,310460200* | 0,050896269 | ,000       | -,50014012 | -,12078028 |
|        | JW           | -0,1158188   | 0,050896269 | ,803       | -,30549872 | ,07386112  |
|        | ELG          | -0,0655414   | 0,050896269 | 1,000      | -,25522132 | ,12413852  |
|        | CON          | -0,0996262   | 0,050896269 | ,942       | -,28930612 | ,09005372  |
|        | ACL          | -,192671800* | 0,050896269 | ,042       | -,38235172 | -,00299188 |
|        | ICE          | -0,1373208   | 0,050896269 | ,506       | -,32700072 | ,05235912  |
|        | SMB          | -0,0899606   | 0,050896269 | ,979       | -,27964052 | ,09971932  |
|        | OPM          | 0,02614286   | 0,050896269 | 1,000      | -,16353706 | ,21582278  |
|        | MUT          | 0,0073796    | 0,050896269 | 1,000      | -,18230032 | ,19705952  |
| FN2/22 | CLA          | ,311030380*  | 0,050896269 | ,000       | ,12135046  | ,50071030  |
|        | TRC          | 0,1279162    | 0,050896269 | ,643       | -,06176372 | ,31759612  |
|        | PUR          | 0,034389     | 0,050896269 | 1,000      | -,15529092 | ,22406892  |
|        | RFL          | ,291247600*  | 0,050896269 | ,000       | ,10156768  | ,48092752  |
|        | ENC          | 0,1788406    | 0,050896269 | ,091       | -,01083932 | ,36852052  |
|        | AVA          | ,224224400*  | 0,050896269 | ,006       | ,03454448  | ,41390432  |
|        | OFL          | ,227921200*  | 0,050896269 | ,004       | ,03824128  | ,41760112  |
|        | RDN          | ,216666000*  | 0,050896269 | ,009       | ,02698608  | ,40634592  |
|        | VRG          | ,277511400*  | 0,050896269 | ,000       | ,08783148  | ,46719132  |
|        | 2040         | ,205959400*  | 0,050896269 | ,019       | ,01627948  | ,39563932  |
|        | SRA          | ,249005800*  | 0,050896269 | ,001       | ,05932588  | ,43868572  |
|        | SLK          | 0,1646822    | 0,050896269 | ,182       | -,02499772 | ,35436212  |
|        | ASG          | ,328614800*  | 0,050896269 | ,000       | ,13893488  | ,51829472  |
|        | BRL          | ,310460200*  | 0,050896269 | ,000       | ,12078028  | ,50014012  |



**Ek 4 Devam**

|        |      |              |             |       |            |            |
|--------|------|--------------|-------------|-------|------------|------------|
|        | JW   | ,194641400*  | 0,050896269 | ,037  | ,00496148  | ,38432132  |
|        | ELG  | ,244918800*  | 0,050896269 | ,001  | ,05523888  | ,43459872  |
|        | CON  | ,210834000*  | 0,050896269 | ,014  | ,02115408  | ,40051392  |
|        | ACL  | 0,1177884    | 0,050896269 | ,780  | -,07189152 | ,30746832  |
|        | ICE  | 0,1731394    | 0,050896269 | ,122  | -,01654052 | ,36281932  |
|        | SMB  | ,220499600*  | 0,050896269 | ,007  | ,03081968  | ,41017952  |
|        | OPM  | ,336603060*  | 0,050896269 | ,000  | ,14692314  | ,52628298  |
|        | MUT  | ,317839800*  | 0,050896269 | ,000  | ,12815988  | ,50751972  |
| JW/22  | CLA  | 0,11638898   | 0,050896269 | ,797  | -,07329094 | ,30606890  |
|        | TRC  | -0,0667252   | 0,050896269 | 1,000 | -,25640512 | ,12295472  |
|        | PUR  | -0,1602524   | 0,050896269 | ,221  | -,34993232 | ,02942752  |
|        | RFL  | 0,0966062    | 0,050896269 | ,957  | -,09307372 | ,28628612  |
|        | ENC  | -0,0158008   | 0,050896269 | 1,000 | -,20548072 | ,17387912  |
|        | AVA  | 0,029583     | 0,050896269 | 1,000 | -,16009692 | ,21926292  |
|        | OFL  | 0,0332798    | 0,050896269 | 1,000 | -,15640012 | ,22295972  |
|        | RDN  | 0,0220246    | 0,050896269 | 1,000 | -,16765532 | ,21170452  |
|        | VRG  | 0,08287      | 0,050896269 | ,992  | -,10680992 | ,27254992  |
|        | 2040 | 0,011318     | 0,050896269 | 1,000 | -,17836192 | ,20099792  |
|        | SRA  | 0,0543644    | 0,050896269 | 1,000 | -,13531552 | ,24404432  |
|        | SLK  | -0,0299592   | 0,050896269 | 1,000 | -,21963912 | ,15972072  |
|        | ASG  | 0,1339734    | 0,050896269 | ,555  | -,05570652 | ,32365332  |
|        | BRL  | 0,1158188    | 0,050896269 | ,803  | -,07386112 | ,30549872  |
|        | FN2  | -,194641400* | 0,050896269 | ,037  | -,38432132 | -,00496148 |
|        | ELG  | 0,0502774    | 0,050896269 | 1,000 | -,13940252 | ,23995732  |
|        | CON  | 0,0161926    | 0,050896269 | 1,000 | -,17348732 | ,20587252  |
|        | ACL  | -0,076853    | 0,050896269 | ,997  | -,26653292 | ,11282692  |
|        | ICE  | -0,021502    | 0,050896269 | 1,000 | -,21118192 | ,16817792  |
|        | SMB  | 0,0258582    | 0,050896269 | 1,000 | -,16382172 | ,21553812  |
|        | OPM  | 0,14196166   | 0,050896269 | ,440  | -,04771826 | ,33164158  |
|        | MUT  | 0,1231984    | 0,050896269 | ,710  | -,06648152 | ,31287832  |
| ELG/22 | CLA  | 0,06611158   | 0,050896269 | 1,000 | -,12356834 | ,25579150  |
|        | TRC  | -0,1170026   | 0,050896269 | ,789  | -,30668252 | ,07267732  |
|        | PUR  | -,210529800* | 0,050896269 | ,014  | -,40020972 | -,02084988 |
|        | RFL  | 0,0463288    | 0,050896269 | 1,000 | -,14335112 | ,23600872  |
|        | ENC  | -0,0660782   | 0,050896269 | 1,000 | -,25575812 | ,12360172  |
|        | AVA  | -0,0206944   | 0,050896269 | 1,000 | -,21037432 | ,16898552  |
|        | OFL  | -0,0169976   | 0,050896269 | 1,000 | -,20667752 | ,17268232  |
|        | RDN  | -0,0282528   | 0,050896269 | 1,000 | -,21793272 | ,16142712  |
|        | VRG  | 0,0325926    | 0,050896269 | 1,000 | -,15708732 | ,22227252  |
|        | 2040 | -0,0389594   | 0,050896269 | 1,000 | -,22863932 | ,15072052  |
|        | SRA  | 0,004087     | 0,050896269 | 1,000 | -,18559292 | ,19376692  |
|        | SLK  | -0,0802366   | 0,050896269 | ,995  | -,26991652 | ,10944332  |
|        | ASG  | 0,083696     | 0,050896269 | ,991  | -,10598392 | ,27337592  |
|        | BRL  | 0,0655414    | 0,050896269 | 1,000 | -,12413852 | ,25522132  |
|        | FN2  | -,244918800* | 0,050896269 | ,001  | -,43459872 | -,05523888 |
|        | JW   | -0,0502774   | 0,050896269 | 1,000 | -,23995732 | ,13940252  |
|        | CON  | -0,0340848   | 0,050896269 | 1,000 | -,22376472 | ,15559512  |
|        | ACL  | -0,1271304   | 0,050896269 | ,655  | -,31681032 | ,06254952  |
|        | ICE  | -0,0717794   | 0,050896269 | ,999  | -,26145932 | ,11790052  |
|        | SMB  | -0,0244192   | 0,050896269 | 1,000 | -,21409912 | ,16526072  |
|        | OPM  | 0,09168426   | 0,050896269 | ,975  | -,09799566 | ,28136418  |
|        | MUT  | 0,072921     | 0,050896269 | ,999  | -,11675892 | ,26260092  |
| CON/22 | CLA  | 0,10019638   | 0,050896269 | ,939  | -,08948354 | ,28987630  |
|        | TRC  | -0,0829178   | 0,050896269 | ,992  | -,27259772 | ,10676212  |

**Ek 4 Devam**

|        |               |             |             |            |            |           |
|--------|---------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|
| PUR    | -0,176445     | 0,050896269 | ,103        | -,36612492 | ,01323492  |           |
| RFL    | 0,0804136     | 0,050896269 | ,995        | -,10926632 | ,27009352  |           |
| ENC    | -0,0319934    | 0,050896269 | 1,000       | -,22167332 | ,15768652  |           |
| AVA    | 0,0133904     | 0,050896269 | 1,000       | -,17628952 | ,20307032  |           |
| OFL    | 0,0170872     | 0,050896269 | 1,000       | -,17259272 | ,20676712  |           |
| RDN    | 0,005832      | 0,050896269 | 1,000       | -,18384792 | ,19551192  |           |
| VRG    | 0,0666774     | 0,050896269 | 1,000       | -,12300252 | ,25635732  |           |
| 2040   | -0,0048746    | 0,050896269 | 1,000       | -,19455452 | ,18480532  |           |
| SRA    | 0,0381718     | 0,050896269 | 1,000       | -,15150812 | ,22785172  |           |
| SLK    | -0,0461518    | 0,050896269 | 1,000       | -,23583172 | ,14352812  |           |
| ASG    | 0,1177808     | 0,050896269 | ,780        | -,07189912 | ,30746072  |           |
| BRL    | 0,0996262     | 0,050896269 | ,942        | -,09005372 | ,28930612  |           |
| FN2    | -2,210834000* | 0,050896269 | ,014        | -,40051392 | -,02115408 |           |
| JW     | -0,0161926    | 0,050896269 | 1,000       | -,20587252 | ,17348732  |           |
| ELG    | 0,0340848     | 0,050896269 | 1,000       | -,15559512 | ,22376472  |           |
| ACL    | -0,0930456    | 0,050896269 | ,970        | -,28272552 | ,09663432  |           |
| ICE    | -0,0376946    | 0,050896269 | 1,000       | -,22737452 | ,15198532  |           |
| SMB    | 0,0096656     | 0,050896269 | 1,000       | -,18001432 | ,19934552  |           |
| OPM    | 0,12576906    | 0,050896269 | ,674        | -,06391086 | ,31544898  |           |
| MUT    | 0,1070058     | 0,050896269 | ,891        | -,08267412 | ,29668572  |           |
| ACL/22 | CLA           | ,193241980* | 0,050896269 | ,041       | ,00356206  | ,38292190 |
|        | TRC           | 0,0101278   | 0,050896269 | 1,000      | -,17955212 | ,19980772 |
|        | PUR           | -0,0833994  | 0,050896269 | ,991       | -,27307932 | ,10628052 |
|        | RFL           | 0,1734592   | 0,050896269 | ,120       | -,01622072 | ,36313912 |
|        | ENC           | 0,0610522   | 0,050896269 | 1,000      | -,12862772 | ,25073212 |
|        | AVA           | 0,106436    | 0,050896269 | ,896       | -,08324392 | ,29611592 |
|        | OFL           | 0,1101328   | 0,050896269 | ,863       | -,07954712 | ,29981272 |
|        | RDN           | 0,0988776   | 0,050896269 | ,946       | -,09080232 | ,28855752 |
|        | VRG           | 0,159723    | 0,050896269 | ,227       | -,02995692 | ,34940292 |
|        | 2040          | 0,088171    | 0,050896269 | ,984       | -,10150892 | ,27785092 |
|        | SRA           | 0,1312174   | 0,050896269 | ,595       | -,05846252 | ,32089732 |
|        | SLK           | 0,0468938   | 0,050896269 | 1,000      | -,14278612 | ,23657372 |
|        | ASG           | ,210826400* | 0,050896269 | ,014       | ,02114648  | ,40050632 |
|        | BRL           | ,192671800* | 0,050896269 | ,042       | ,00299188  | ,38235172 |
|        | FN2           | -0,1177884  | 0,050896269 | ,780       | -,30746832 | ,07189152 |
|        | JW            | 0,076853    | 0,050896269 | ,997       | -,11282692 | ,26653292 |
|        | ELG           | 0,1271304   | 0,050896269 | ,655       | -,06254952 | ,31681032 |
|        | CON           | 0,0930456   | 0,050896269 | ,970       | -,09663432 | ,28272552 |
|        | ICE           | 0,055351    | 0,050896269 | 1,000      | -,13432892 | ,24503092 |
|        | SMB           | 0,1027112   | 0,050896269 | ,923       | -,08696872 | ,29239112 |
|        | OPM           | ,218814660* | 0,050896269 | ,008       | ,02913474  | ,40849458 |
|        | MUT           | ,200051400* | 0,050896269 | ,027       | ,01037148  | ,38973132 |
| ICE/22 | CLA           | 0,13789098  | 0,050896269 | ,498       | -,05178894 | ,32757090 |
|        | TRC           | -0,0452232  | 0,050896269 | 1,000      | -,23490312 | ,14445672 |
|        | PUR           | -0,1387504  | 0,050896269 | ,485       | -,32843032 | ,05092952 |
|        | RFL           | 0,1181082   | 0,050896269 | ,776       | -,07157172 | ,30778812 |
|        | ENC           | 0,0057012   | 0,050896269 | 1,000      | -,18397872 | ,19538112 |
|        | AVA           | 0,051085    | 0,050896269 | 1,000      | -,13859492 | ,24076492 |
|        | OFL           | 0,0547818   | 0,050896269 | 1,000      | -,13489812 | ,24446172 |
|        | RDN           | 0,0435266   | 0,050896269 | 1,000      | -,14615332 | ,23320652 |
|        | VRG           | 0,104372    | 0,050896269 | ,912       | -,08530792 | ,29405192 |
|        | 2040          | 0,03282     | 0,050896269 | 1,000      | -,15685992 | ,22249992 |
|        | SRA           | 0,0758664   | 0,050896269 | ,997       | -,11381352 | ,26554632 |
|        | SLK           | -0,0084572  | 0,050896269 | 1,000      | -,19813712 | ,18122272 |

**Ek 4 Devam**

|        |            |               |             |            |            |            |
|--------|------------|---------------|-------------|------------|------------|------------|
| ASG    | 0,1554754  | 0,050896269   | ,270        | -,03420452 | ,34515532  |            |
| BRL    | 0,1373208  | 0,050896269   | ,506        | -,05235912 | ,32700072  |            |
| FN2    | -0,1731394 | 0,050896269   | ,122        | -,36281932 | ,01654052  |            |
| JW     | 0,021502   | 0,050896269   | 1,000       | -,16817792 | ,21118192  |            |
| ELG    | 0,0717794  | 0,050896269   | ,999        | -,11790052 | ,26145932  |            |
| CON    | 0,0376946  | 0,050896269   | 1,000       | -,15198532 | ,22737452  |            |
| ACL    | -0,055351  | 0,050896269   | 1,000       | -,24503092 | ,13432892  |            |
| SMB    | 0,0473602  | 0,050896269   | 1,000       | -,14231972 | ,23704012  |            |
| OPM    | 0,16346366 | 0,050896269   | ,192        | -,02621626 | ,35314358  |            |
| MUT    | 0,1447004  | 0,050896269   | ,402        | -,04497952 | ,33438032  |            |
| SMB/22 | CLA        | 0,09053078    | 0,050896269 | ,978       | -,09914914 | ,28021070  |
|        | TRC        | -0,0925834    | 0,050896269 | ,972       | -,28226332 | ,09709652  |
|        | PUR        | -0,1861106    | 0,050896269 | ,061       | -,37579052 | ,00356932  |
|        | RFL        | 0,070748      | 0,050896269 | ,999       | -,11893192 | ,26042792  |
|        | ENC        | -0,041659     | 0,050896269 | 1,000      | -,23133892 | ,14802092  |
|        | AVA        | 0,0037248     | 0,050896269 | 1,000      | -,18595512 | ,19340472  |
|        | OFL        | 0,0074216     | 0,050896269 | 1,000      | -,18225832 | ,19710152  |
|        | RDN        | -0,0038336    | 0,050896269 | 1,000      | -,19351352 | ,18584632  |
|        | VRG        | 0,0570118     | 0,050896269 | 1,000      | -,13266812 | ,24669172  |
|        | 2040       | -0,0145402    | 0,050896269 | 1,000      | -,20422012 | ,17513972  |
|        | SRA        | 0,0285062     | 0,050896269 | 1,000      | -,16117372 | ,21818612  |
|        | SLK        | -0,0558174    | 0,050896269 | 1,000      | -,24549732 | ,13386252  |
|        | ASG        | 0,1081152     | 0,050896269 | ,882       | -,08156472 | ,29779512  |
|        | BRL        | 0,0899606     | 0,050896269 | ,979       | -,09971932 | ,27964052  |
|        | FN2        | -2,220499600* | 0,050896269 | ,007       | -,41017952 | -,03081968 |
|        | JW         | -0,0258582    | 0,050896269 | 1,000      | -,21553812 | ,16382172  |
|        | ELG        | 0,0244192     | 0,050896269 | 1,000      | -,16526072 | ,21409912  |
|        | CON        | -0,0096656    | 0,050896269 | 1,000      | -,19934552 | ,18001432  |
|        | ACL        | -0,1027112    | 0,050896269 | ,923       | -,29239112 | ,08696872  |
|        | ICE        | -0,0473602    | 0,050896269 | 1,000      | -,23704012 | ,14231972  |
|        | OPM        | 0,11610346    | 0,050896269 | ,800       | -,07357646 | ,30578338  |
|        | MUT        | 0,0973402     | 0,050896269 | ,953       | -,09233972 | ,28702012  |
| OPM/22 | CLA        | -0,02557268   | 0,050896269 | 1,000      | -,21525260 | ,16410724  |
|        | TRC        | -2,208686860* | 0,050896269 | ,016       | -,39836678 | -,01900694 |
|        | PUR        | -3,302214060* | 0,050896269 | ,000       | -,49189398 | -,11253414 |
|        | RFL        | -0,04535546   | 0,050896269 | 1,000      | -,23503538 | ,14432446  |
|        | ENC        | -0,15776246   | 0,050896269 | ,246       | -,34744238 | ,03191746  |
|        | AVA        | -0,11237866   | 0,050896269 | ,841       | -,30205858 | ,07730126  |
|        | OFL        | -0,10868186   | 0,050896269 | ,877       | -,29836178 | ,08099806  |
|        | RDN        | -0,11993706   | 0,050896269 | ,753       | -,30961698 | ,06974286  |
|        | VRG        | -0,05909166   | 0,050896269 | 1,000      | -,24877158 | ,13058826  |
|        | 2040       | -0,13064366   | 0,050896269 | ,604       | -,32032358 | ,05903626  |
|        | SRA        | -0,08759726   | 0,050896269 | ,985       | -,27727718 | ,10208266  |
|        | SLK        | -0,17192086   | 0,050896269 | ,129       | -,36160078 | ,01775906  |
|        | ASG        | -0,00798826   | 0,050896269 | 1,000      | -,19766818 | ,18169166  |
|        | BRL        | -0,02614286   | 0,050896269 | 1,000      | -,21582278 | ,16353706  |
|        | FN2        | -3,336603060* | 0,050896269 | ,000       | -,52628298 | -,14692314 |
|        | JW         | -0,14196166   | 0,050896269 | ,440       | -,33164158 | ,04771826  |
|        | ELG        | -0,09168426   | 0,050896269 | ,975       | -,28136418 | ,09799566  |
|        | CON        | -0,12576906   | 0,050896269 | ,674       | -,31544898 | ,06391086  |
|        | ACL        | -2,18814660*  | 0,050896269 | ,008       | -,40849458 | -,02913474 |
|        | ICE        | -0,16346366   | 0,050896269 | ,192       | -,35314358 | ,02621626  |
|        | SMB        | -0,11610346   | 0,050896269 | ,800       | -,30578338 | ,07357646  |
|        | MUT        | -0,01876326   | 0,050896269 | 1,000      | -,20844318 | ,17091666  |

|        |      | <b>Ek 4 Devam</b> |             |       |            |            |
|--------|------|-------------------|-------------|-------|------------|------------|
| MUT/22 | CLA  | -0,00680942       | 0,050896269 | 1,000 | -,19648934 | ,18287050  |
|        | TRC  | -,189923600*      | 0,050896269 | ,049  | -,37960352 | -,00024368 |
|        | PUR  | -,283450800*      | 0,050896269 | ,000  | -,47313072 | -,09377088 |
|        | RFL  | -0,0265922        | 0,050896269 | 1,000 | -,21627212 | ,16308772  |
|        | ENC  | -0,1389992        | 0,050896269 | ,482  | -,32867912 | ,05068072  |
|        | AVA  | -0,0936154        | 0,050896269 | ,968  | -,28329532 | ,09606452  |
|        | OFL  | -0,0899186        | 0,050896269 | ,980  | -,27959852 | ,09976132  |
|        | RDN  | -0,1011738        | 0,050896269 | ,933  | -,29085372 | ,08850612  |
|        | VRG  | -0,0403284        | 0,050896269 | 1,000 | -,23000832 | ,14935152  |
|        | 2040 | -0,1118804        | 0,050896269 | ,846  | -,30156032 | ,07779952  |
|        | SRA  | -0,068834         | 0,050896269 | ,999  | -,25851392 | ,12084592  |
|        | SLK  | -0,1531576        | 0,050896269 | ,296  | -,34283752 | ,03652232  |
|        | ASG  | 0,010775          | 0,050896269 | 1,000 | -,17890492 | ,20045492  |
|        | BRL  | -0,0073796        | 0,050896269 | 1,000 | -,19705952 | ,18230032  |
|        | FN2  | -,317839800*      | 0,050896269 | ,000  | -,50751972 | -,12815988 |
|        | JW   | -0,1231984        | 0,050896269 | ,710  | -,31287832 | ,06648152  |
|        | ELG  | -0,072921         | 0,050896269 | ,999  | -,26260092 | ,11675892  |
|        | CON  | -0,1070058        | 0,050896269 | ,891  | -,29668572 | ,08267412  |
|        | ACL  | -,200051400*      | 0,050896269 | ,027  | -,38973132 | -,01037148 |
|        | ICE  | -0,1447004        | 0,050896269 | ,402  | -,33438032 | ,04497952  |
|        | SMB  | -0,0973402        | 0,050896269 | ,953  | -,28702012 | ,09233972  |
|        | OPM  | 0,01876326        | 0,050896269 | 1,000 | -,17091666 | ,20844318  |

**Ek 5.** Grupların her birinin kendi 18-22 inç slot örnekleri arasında sürtünme katsayısı farkını gösteren t testi sonucu

| Grup | p*   | Ortalama fark | Standart hata farkı | Farkın %95 güven aralığı |            |
|------|------|---------------|---------------------|--------------------------|------------|
|      |      |               |                     | Alt sınıır               | Üst sınıır |
| CLA  | ,024 | ,110815580    | ,039865080          | ,018886540               | ,202744620 |
| TRC  | ,005 | ,386252000    | ,101456625          | ,152292603               | ,620211397 |
| PUR  | ,005 | ,281496800    | ,073041187          | ,113063520               | ,449930080 |
| RFL  | ,038 | ,161914600    | ,065093694          | ,011808271               | ,312020929 |
| ENC  | ,555 | ,019765400    | ,032066576          | -,054180256              | ,093711056 |
| AVA  | ,060 | ,116244000    | ,052977533          | -,005922410              | ,238410410 |
| OFL  | ,157 | ,114969600    | ,073530278          | -,054591526              | ,284530726 |
| RDN  | ,091 | ,128880200    | ,067074608          | -,025794124              | ,283554524 |
| VRG  | ,060 | ,126980400    | ,057884803          | -,006502195              | ,260462995 |
| 2040 | ,098 | ,194104000    | ,103769729          | -,045189425              | ,433397425 |
| SRA  | ,580 | ,019141800    | ,033213015          | -,057447550              | ,095731150 |
| SLK  | ,199 | ,088525800    | ,063278025          | -,057393587              | ,234445187 |
| ASG  | ,024 | ,113994600    | ,040903864          | ,019670119               | ,208319081 |
| BRL  | ,003 | ,121028800    | ,029360385          | ,053323631               | ,188733969 |
| FN2  | ,379 | -,060896600   | ,065375686          | -,211653203              | ,089860003 |
| JW   | ,029 | ,203638800    | ,076599320          | ,027000451               | ,380277149 |
| ELG  | ,765 | ,008742200    | ,028318672          | -,056560776              | ,074045176 |
| CON  | ,076 | ,129900400    | ,063686820          | -,016961670              | ,276762470 |
| ACL  | ,137 | ,257450200    | ,147588233          | -,114028293              | ,628928693 |
| ICE  | ,012 | ,394044000    | ,122884466          | ,110671912               | ,677416088 |
| SMB  | ,112 | ,062102800    | ,034786163          | -,018114236              | ,142319836 |
| OPM  | ,000 | ,143807860    | ,023565973          | ,089464629               | ,198151091 |

\*p<,05 istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Berat Serdar AKDENİZ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Ankara, 26 Ocak 1983

**Medeni Hal:** Bekar

**Yabancı Dil:** İngilizce

**Yazışma Adresi:** Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği  
Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, 55139 Kurupelit/SAMSUN

**E-Posta:** bsakdeniz@hotmail.com

### **Öğrenim Durumu:**

**1989-1994** Ulubatlı Hasan İlköğretim Okulu/Ankara

**1994-2001** Kalaba Anadolu Lisesi/Ankara

**2001-2007** Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği  
Fakültesi/Ankara (Yüksek Lisans)

**2007-.....** Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği  
Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı/Samsun ( Ortodonti alanında Doktora)

