

## ORTODONTİDE DEĞİŞİK TEL VE BRAKET MATERYALLERİ ARASINDA ORTAYA ÇIKAN SÜRTÜNMENİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Yahya TOSUN\*  
Prof. Dr. Hanife ÜNAL\*\*

**ÖZET:** Bu çalışmanın amacı, farklı braket ve tel materyalleri arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini deneysel olarak incelemektir. Çalışmada, 4 çeşit braket (paslanmaz çelik, por-selen, polikarbonat ve paslanmaz çelik sürtünmesiz) ile de-ğişik materyal ve çapta ark telleri arasındaki sürtünme kuvvetleri üç boyutlu bir test cihazı kullanılarak incelenmiştir. Tel çapı arttıkça sürtünme kuvvetleri de artmaktadır. Sürtünmesiz paslanmaz çelik (FF) braket diğer tüm braketlere göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerleri göstermektedir. İyon implantasyon metoduyla yüzeyi sertleştirilen ve pürüzleri azaltılan Slippery NiTi tel; SS, Co-Cr, NiTi ve TMA tellere oranla anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerlerine sahiptir. Twist flexte, tüm braketlerde NiTi, TMA ve SS tellere kıyasla daha düşük sürtünme göstermektedir. SS braketlerle elde edilen değerler diğer braketlere göre daha yüksektir. Bunun nedeni, bu braketlerin üretim tekniğine bağlı olarak slot kenarlarında gözlenen çapaklardır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme, braket, ark teli, iyon implantasyon.

**SUMMARY: EVALUATION OF FRICTION BETWEEN VARIOUS BRACKETS AND ARCH WIRE MATERIALS.** The aim of this study was to evaluate experimentally frictional forces produced between different brackets and arch wire materials. In the study, the frictional forces between four brackets (Stainless steel, porcelain, polycarbonate and stainless steel friction free) and various arch wire materials were tested using a three dimensional friction testing apparatus. Friction increases as the wire size increases. FF bracket showed significantly lower frictional forces compared to all other brackets. Slippery NiTi wires whose surfaces were hardened by ion implantation method showed significantly low frictional values compared to SS, Co-Cr, NiTi and TMA wires. Twist flex also generated lower frictional resistances compared to NiTi, TMA and SS wires in all brackets. The frictional values obtained by SS brackets were higher than the others. The reason of this was the burrs on the slot of these brackets due to the manufacturing technique.

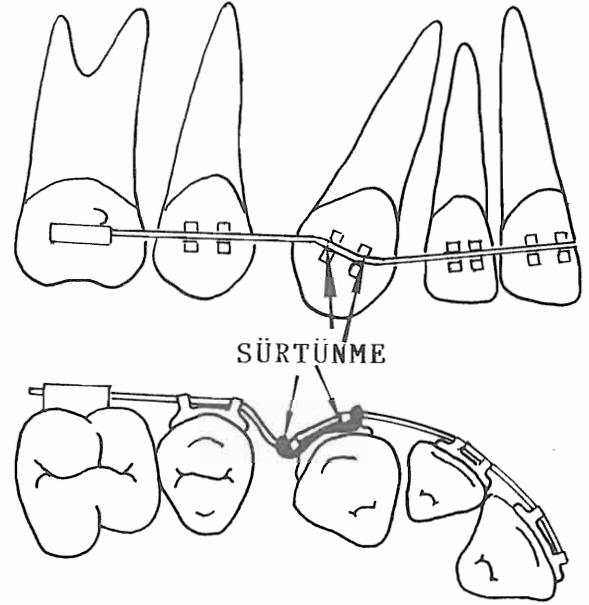
**Key Words:** Friction, bracket, arch wire, ion implantation.

### GİRİŞ

Ortodontik tedavilerde optimal diş hareketi elde edebilmek için sürekli ve optimal düzeyde kuvvet uygulanması gerekir (1). Sürtünmesiz çalışan looplu sistemlerin dışında boşluk kapatma mekaniklerinde çoğunlukla dişler ark

boyunca hareket ettirilir. Bu hareket esnasında tel ile braket arasında ortaya çıkan sürtünme optimal kuvvetin elde edilmesini engeller ve buna bağlı olarak diş hareketinin gecikmesine ve ankraj kayıplarına neden olabilir. Optimal biyolojik doku cevabı oluşturabilmek ve kesiksiz bir diş hareketi elde edebilmek için sürtünmeye neden olan faktörlerin iyi anlaşılması gerekir.

Telin braket ya da ligatür ile temas ettiği her durumda sürtünme de vardır. Ark boyunca yapılan bir kanin distalizasyonu esnasında kanin, hem distal yönde devrilir hem de disto-palatinal yönde rotasyon gösterir. Bu esnada gerek braket ile tel arasında gerekse tel ile ligatür arasında sürtünme noktaları ortaya çıkar (Şekil 1).



Şekil 1: Tel ile braket arasındaki her türlü temas bu iki materyal arasında sürtünmenin ortaya çıkmasına neden olur. Ark boyunca kanin distalizasyonu sırasında kuvvetin etki çizgisi dişin direnç merkezi dışından geçtiğinden dişte devrilme ve rotasyon oluşur. Devrilme arttıkça tel ile braket arasındaki bastırılma kuvveti ve buna bağlı olarak sürtünme kuvveti de artar (a). Aynı olay, seviyeleme döneminde esnek bir telin farklı seviyelerdeki braket slotları içinden geçirilmesi esnasında da gözlenir. Dişler hareket ettikçe tel de braket slotları içinden kayarak ilerler ve bu esnada sürtünmeye neden olur (1b).

\* E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, Bornova-İZMİR.

\*\* E.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Bornova-İZMİR.

Buna benzer olaylar seviyeleme döneminde değişik seviyelerdeki braketter arasında geçirilen ark telleri ile braketter arasında da görülür. Dişler hareket ettikçe teller de braketter içinden kayarak ilerler ve bu arada bu materyaller arasında sürtünmeler meydana gelir. Telin slotlar içinden kaymasını yavaşlatan ya da engelleyen sürtünme veya sıkışma gibi her türlü engel diş hareketinin gecikmesine ya da tamamen durmasına yol açabilir.

Teorik olarak sürtünme, iki cismin birbirine göre hareketi esnasında temas yüzeyine teğet, harekete zıt yönlü bir kuvvettir ve cisimler arasındaki bastırılma kuvvetine ve cisimlerin sürtünme katsayılarına bağlıdır. Klinik olarak tel ile bareket arasındaki sürtünme sadece iki materyal arasındaki basit fiziksel bir olay değil oklüzal kuvvetler, periodontal doku ve kemik direnci, tükürük gibi biyolojik yapıların da katıldığı 3 boyutlu multifaktöriyel bir ilişkidir.

Modern ortodonti mekaniğinde seviyeleme amacıyla konvansiyonel looplular yerine düşük sertliğe sahip NiTi, Optiflex ya da çok sarımlı (multistrand) teller kullanılmaktadır.

Ne var ki, özellikle titanyum alaşımı teller üzerinde yapılan çalışmalar, bu tellerin yüzey pürüzlerinin fazlalığı nedeniyle yüksek sürtünmelere neden olduğunu göstermektedir (2-4). Son yıllarda bu mahsuru ortadan kaldırmak amacıyla üretici firmalar tarafından iyon implantasyonu metodu kullanılarak sertlik artırılması ve yüzey pürüzlerinin azaltılması yoluna gidilmiştir (5, 6). Çok sarımlı tellerin ve "sürtünmesiz" olarak planlanmış braketterin (7, 8) sürtünme direnci üzerine etkisi konusunda ise literatürde pek az yayın bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, değişik çap ve materyale sahip teller ile farklı braket materyalleri arasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini deneysel olarak belirlemektir.

## MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada 0° tork ve 0° angulasyona sahip 0.018 slot çaplı alt kesici braketter ile değişik çaplarda ve materyallerde teller kullanılmıştır (Tablo I-Tablo V).

Tablo I: Çalışmada kullanılan braket ve teller.

<u>Braketter</u> Materyal	Kod	Ürün
Paslanmaz Çelik	(SS) †	Ultratrimm
Porselen	(PO) §	Transcend
Polikarbonat	(PC) *	Silikon
Paslanmaz Çelik Sürtünmesiz	(FF) *	Master

<u>Teller</u> Materyal	Kod	Çaplar
Paslanmaz Çelik	(SS) *	016-016x022-017x025-018x025
Kobalt-Krom	(Co-Cr) ‡	016x022-017x025-018x025
Nikel Titanyum Slippery	(Slip) *	016
Twist Flex	(TF) *	0155
Nikel Titanyum	(Ni-Ti) §	016-016x022-017x025-018x025
β-Titanyum	(TMA) Φ	016-016x022-017x025
Rematitan	(Rema) †	016

\* American Orthodontics, Sheboygan, Wisconsin

† Dentaurum, Pforzeim

‡ Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colorado

§ Unitek/3M Corp., Monrovia, California

ΦOrmco Corp., Glendora, California

Tablo II: Çalışmada kullanılan SS braket/tel kombinasyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri (Ortalamalar, materyal tipi ve tel çapı için en düşükten en yükseğe doğru sıralanmıştır).

SS BRAKET			
Tel Çapı	Tel Materyali	$\bar{X}$	Sd
016	SS	1.36	0.06
	Slip	1.39	0.14
	NiTi	1.53	0.18
	Rema	1.72	0.07
	TMA	2.28	0.24
016 x 022	SS	1.52	0.07
	NiTi	1.83	0.11
	Co-Cr	1.93	0.09
	TMA	2.06	0.19
017 x 025	SS	1.81	0.03
	Co-Cr	2.03	0.12
	NiTi	2.21	0.15
	TMA	2.99	0.50
018 x 025	Co-Cr	1.92	0.17
	SS	1.98	0.07
	NiTi	2.99	0.06

Tablo IV: Çalışmada kullanılan PC braket/tel kombinasyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri. (Ortalamalar, materyal tipi ve tel çapı için en düşükten en yükseğe doğru sıralanmıştır).

PC BRAKET			
Tel Çapı	Tel Materyali	$\bar{X}$	Sd
016	SS	1.06	0.03
	Rema	1.07	0.07
	TMA	1.22	0.04
	Slip	1.56	0.34
	NiTi	1.76	0.05
016 x 022	Co-Cr	1.05	0.12
	TMA	1.67	0.03
	NiTi	1.68	0.02
	SS	1.69	0.04
017 x 025	NiTi	1.68	0.27
	SS	2.07	0.06
	TMA	2.16	0.03
	Co-Cr	2.38	0.05
018 x 025	NiTi	2.19	0.14
	SS	2.52	0.04
	Co-Cr	2.88	0.07

Tablo III: Çalışmada kullanılan PO braket/tel kombinasyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri. (Ortalamalar, materyal tipi ve tel çapı için en düşükten en yükseğe doğru sıralanmıştır).

PO BRAKET			
Tel Çapı	Tel Materyali	$\bar{X}$	Sd
016	Slip	0.45	0.07
	Rema	1.13	0.02
	SS	1.25	0.15
	TMA	1.64	0.08
	NiTi	1.92	0.15
016 x 022	SS	1.33	0.05
	Co-Cr	1.49	0.05
	NiTi	1.71	0.25
	TMA	2.39	0.12
017 x 025	Co-Cr	1.48	0.14
	SS	1.68	0.02
	NiTi	1.77	0.06
	TMA	2.53	0.16
018 x 025	SS	1.77	0.06
	NiTi	1.96	0.10
	Co-Cr	2.67	0.10

Tablo V: Çalışmada kullanılan FF braket/tel kombinasyonlarının ortalama ve standart sapma değerleri. (Ortalamalar, materyal tipi ve tel çapı için en düşükten en yükseğe doğru sıralanmıştır).

FF BRAKET			
Tel Çapı	Tel Materyali	$\bar{X}$	Sd
016	Rema	0.15	0.007
	Slip	0.21	0.04
	SS	0.21	0.02
	NiTi	0.35	0.13
	TMA	1.40	0.07
016 x 022	Co-Cr	0.10	0.03
	SS	0.55	0.02
	NiTi	0.86	0.06
	TMA	2.34	0.12
017 x 025	Co-Cr	0.17	0.02
	SS	0.40	0.03
	NiTi	1.25	0.07
	TMA	2.18	0.22
018 x 025	Co-Cr	0.55	0.05
	NiTi	1.37	0.06
	SS	1.37	0.15

Bazı tel-çap ve materyal kombinasyonları mevcut olmadığından çalışmaya dahil edilmemişlerdir. Bunlar 016 çaplı Co-Cr ve 016x022, 017x025 ve 018x025 çaplı Slip, Twist flex, Rematitan ve 018x025 çaplı TMA dir.

### **Sürtünme Test Cihazı**

Çalışmada kullanılan cihaz 2 ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 2):

#### **1- Üzerinde yapay diş ve yapay çevre dokuları taşıyan bölüm**

Bu bölüm, ortada yer alan bir makaraya bağlı olarak düşey yönde 0 sürtünme ile hareket eden, birbirleriyle hassas şekilde dengelenmiş iki ağırlıktan oluşmaktadır. Yapay diş, bu ağırlıklara bağlı bulunan plastik yuvadaki yumuşak kauçuk içine sıkı şekilde yerleştirilmiştir. Doğal dişlerdeki periodontal dokuları temsil eden kauçuk, yapay dişin 3 boyuttaki aksial ve rotasyonel hareketlerine izin vermektedir. Yapay dişi taşıyan plastik yuva altındaki çengele asılan 100 g.lık ağırlık ise, diş hareketine karşı çevre doku direncini temsil etmektedir (9). Bu düşey kuvvetin etki çizgisi yapay dişin direnç merkezi hizasından geçmektedir (Şekil 2a).

Braket, yapay dişe, tel ile 0 tork ve 0 angülasyon yapacak şekilde yapıştırılmış ve tele elastik ligatür (Lancer Orthodontics) ile bağlanmıştır. Test edilecek tel ve braketler % 95'lik etanol ile yıkanıp kurutulduktan sonra kullanılmıştır.

#### **2- Üzerinde ortodontik ark telini taşıyan bölüm (Şekil 3 a-b)**

Çalışmada kullanılan tellerden bir bölümü performe bir bölümü ise düz halde bulunmaktadır. Bu form farklılığının sürtünme kuvvetleri üzerine olan etkisini yok etmek amacıyla ark telleri kalibre edilmiş bir yay vasıtasıyla 200 g. lık standart bir kuvvetle gergin olarak tutulmuş daha sonra iki vida arasında sıkı şekilde sabitlenmiştir. Bunun bir diğer nedeni de tellerin kuvvet/esneme oranlarına bağlı olarak meydana gelebilecek farklılıklarını en aza indirmektir.

Bu bölüm üzerinde, köşeli tellerin sıkıştırılmaları esnasında tork almalarını önlemek ve telin düşeyliğini sağlamak amacıyla özel bir sıkıştırma mekanizması bulunmaktadır (Şekil 3c).

Sürtünme test cihazı, bir üniversal test cihazına (Lloyd Instruments LR5K Segensworth Fareham Ehglad) monte edilmiş ve yapay diş, paslanmaz çelik bir tel yardımıyla yukarı doğru 0.5 mm/saniyelik sabit bir hızla çekilmiştir. Çekme kuvveti, braket olduğundan 4 mm. mesafede yer alan bir çengel üzerine uygulanmıştır. Çekme teli, üniversal test cihazı üzerindeki hassas kuvvet ölçere bağlıdır ve çekme esnasında bu cihazdan elde edilen değerlerin bilgisayara aktarılmasıyla kuvvet eğrileri elde edilmiştir.

Çalışmada her tel-braket çifti 10 ar defa test edilmiş ve her deneme öncesinde cihaz sıfırlanmıştır. Denemeler sonunda, her tel ve braket çifti için geçerli olacak sürtünme kuvvetleri, bilgisayar aracılığıyla belirlenen ortalama kuvvet değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

Ekranında okunan değerlere tel ile braket arasındaki sürtünme kuvvetinin yanısıra sistemin toplam sürtünmesi ve direnç kuvveti temsil eden 100 g. lık ağırlık ta dahildir. Bu nedenle, sadece tel ile braket arasındaki gerçek sürtünme değerlerini belirlemek amacıyla cihaz çalışma öncesinde defalarca boş olarak test edilerek sistemi oluşturan tüm elemanların toplam sürtünmesi belirlenmiştir. Elde edilen değer (0.061 N) 100 g. lık ağırlıkla birlikte toplanmış ve testler sonunda kuvvet ölçer yardımıyla elde edilen toplam değerlerden düşülmüştür.

Her braket ve tel çiftinden elde edilen sürtünme kuvvetlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Minitab paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Her braket için tel materyali ve tel çapının sürtünme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Aynı materyalden değişik çaplı veya aynı çaplı farklı materyalden teller arasındaki farkların önem dereceleri ( $p < 0.05$ ) ise Newman-Keuls testi ile belirlenmiştir.

### **BULGULAR**

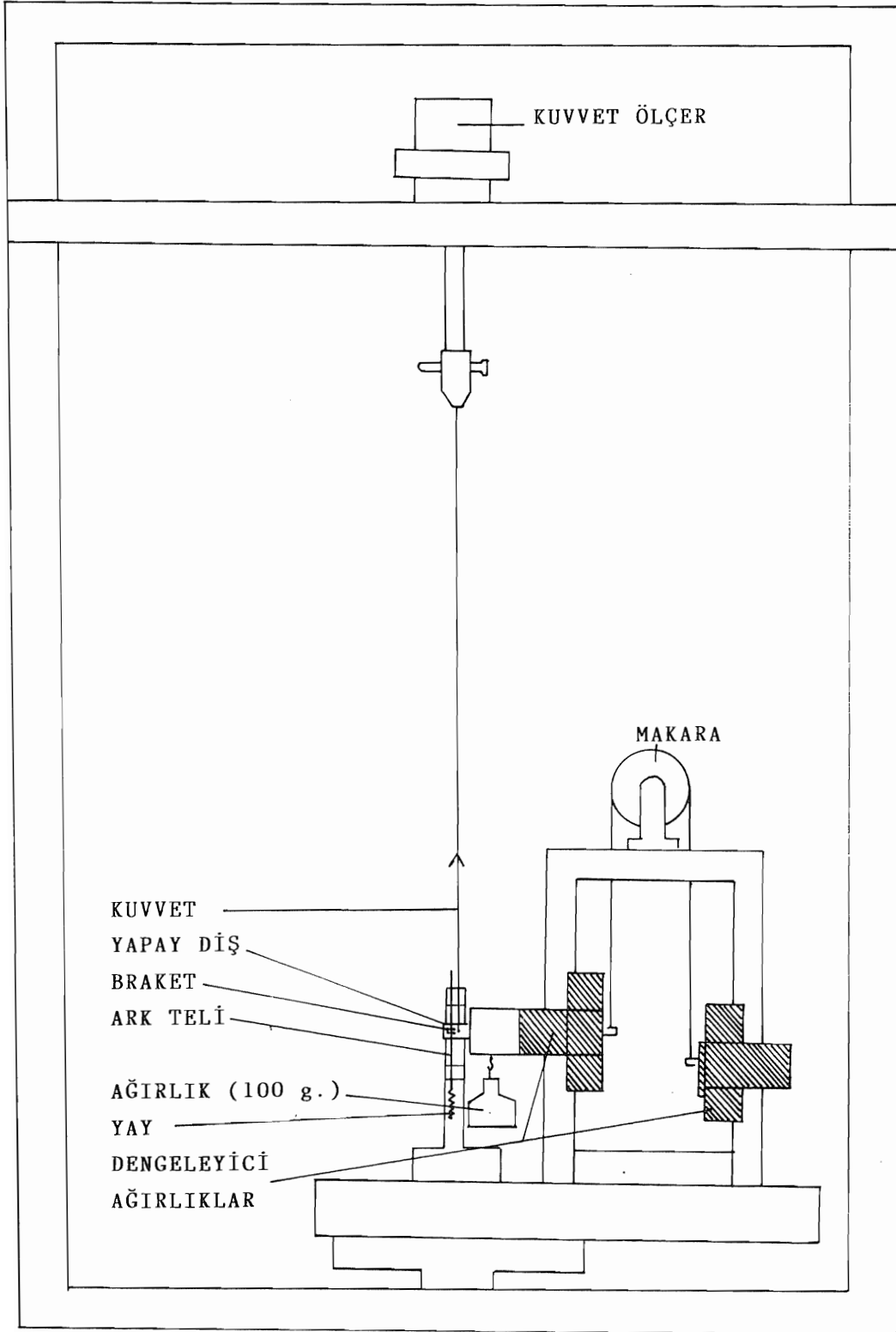
Bu çalışmada 4 çeşit braket (paslanmaz çelik, porselen, plastik ve paslanmaz çelik sürtünmesiz) ile değişik çaplarda 3 ayrı tel alaşımı (paslanmaz çelik, krom-kobalt, titanyum) kullanılmıştır (Tablo I)

Her braket ve tel çiftinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri Tablo II-V'te görülmektedir.

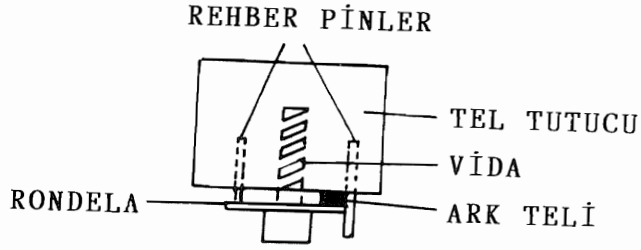
017x025 TMA ve 018x025 NiTi teller SS braketlerde en yüksek sürtünme kuvvetlerini oluştururken en düşük sürtünme değerleri FF braket-016 TF çiftinde elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan dört braket arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < 0.05$ ). Braketlerin, sürtünme değerlerine göre en düşükten en yükseğe doğru gösterdikleri sıralanma şöyledir. FF, PO, PC ve SS. FF braket, kullanılan tel çapı ve materyalinden bağımsız olarak diğer tüm braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerlerine sahiptir.

Sürtünme, hemen hemen tüm tel ve braket materyallerinde tel çapıyla orantılı olarak artış göstermektedir. TMA ve NiTi teller bütün braket materyallerinde ve özellikle SS PO ve FF braketlerde SS tellere oranla daha yüksek sürtünme değerleri vermektedir.

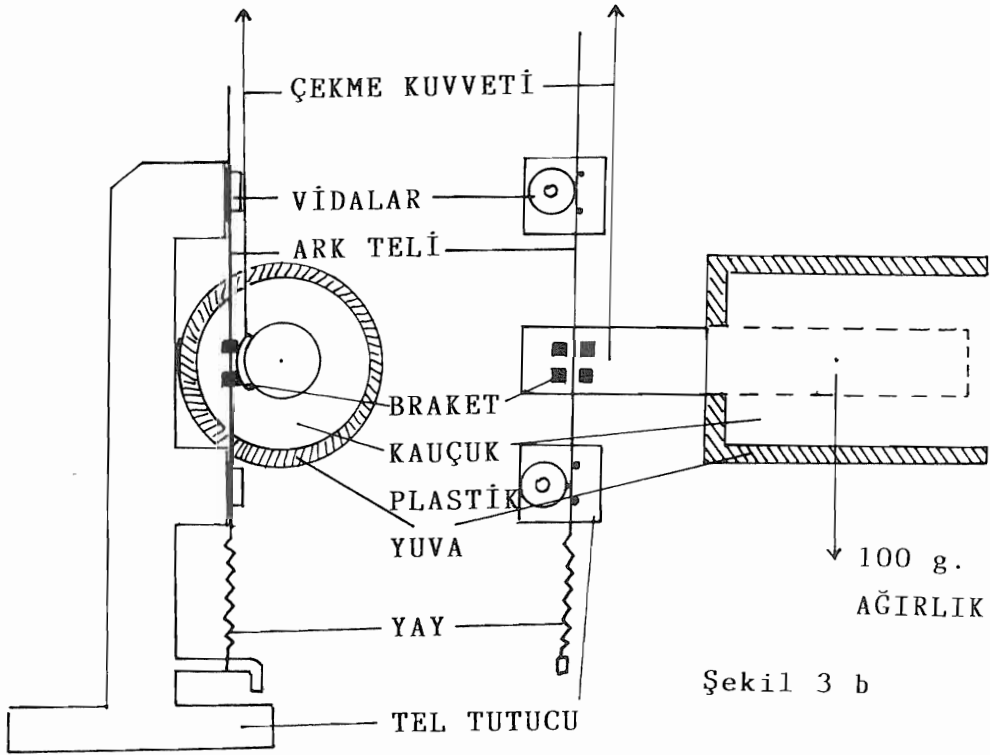
Seviyeleme ark telleri arasında, özellikle TF; SS, PC ve FF braketlerde en düşük sürtünmeye sahiptir. Ayrıca, 016 Slip, SS ve Rema, SS, PO ve FF braketlerde aynı çaplı NiTi ve TMA tellere oranla daha düşük değerler göstermektedir.



Şekil 2: Çalışmada kullanılan test cihazının şematik görünüşü.



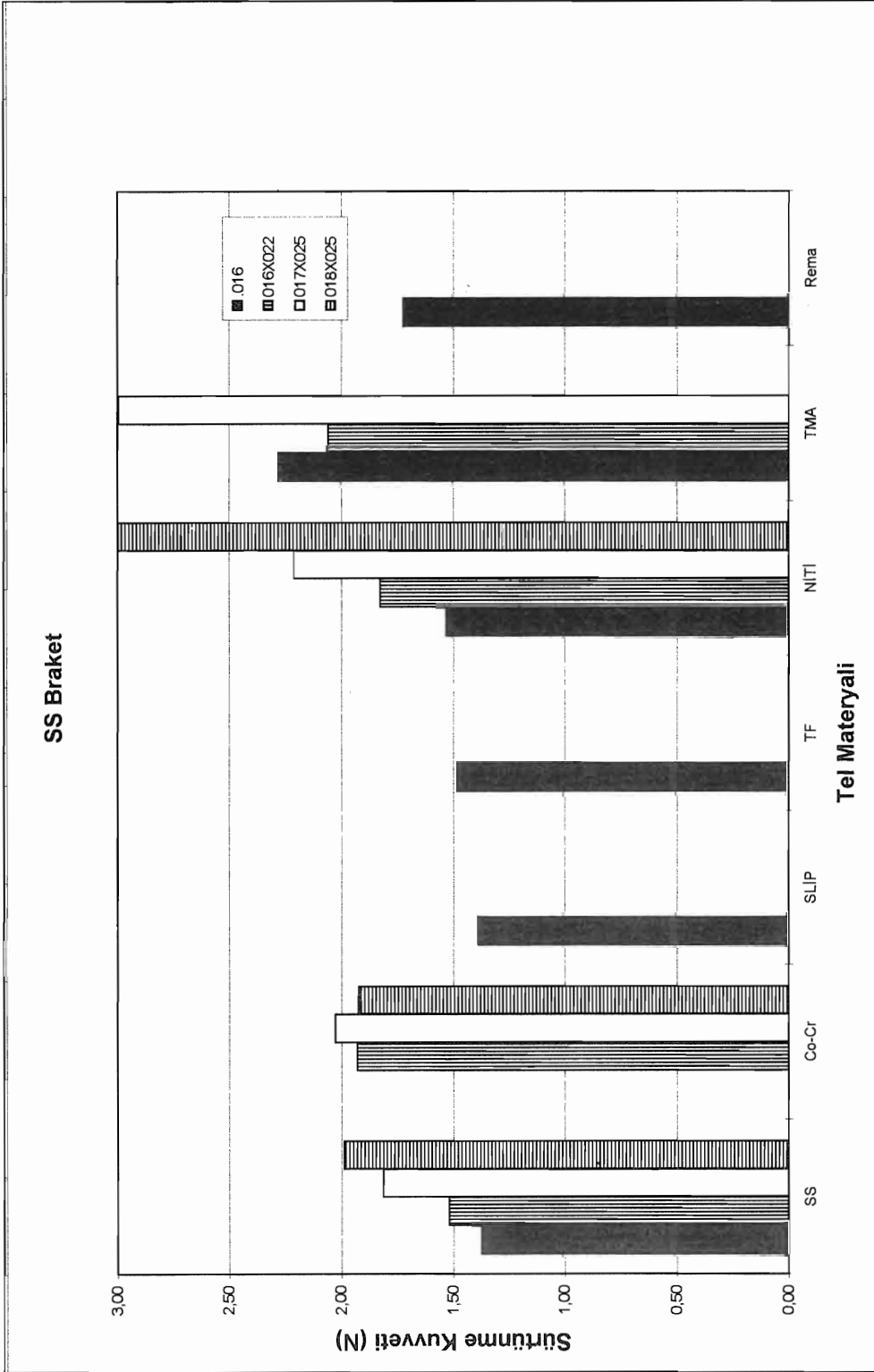
Şekil 3 c



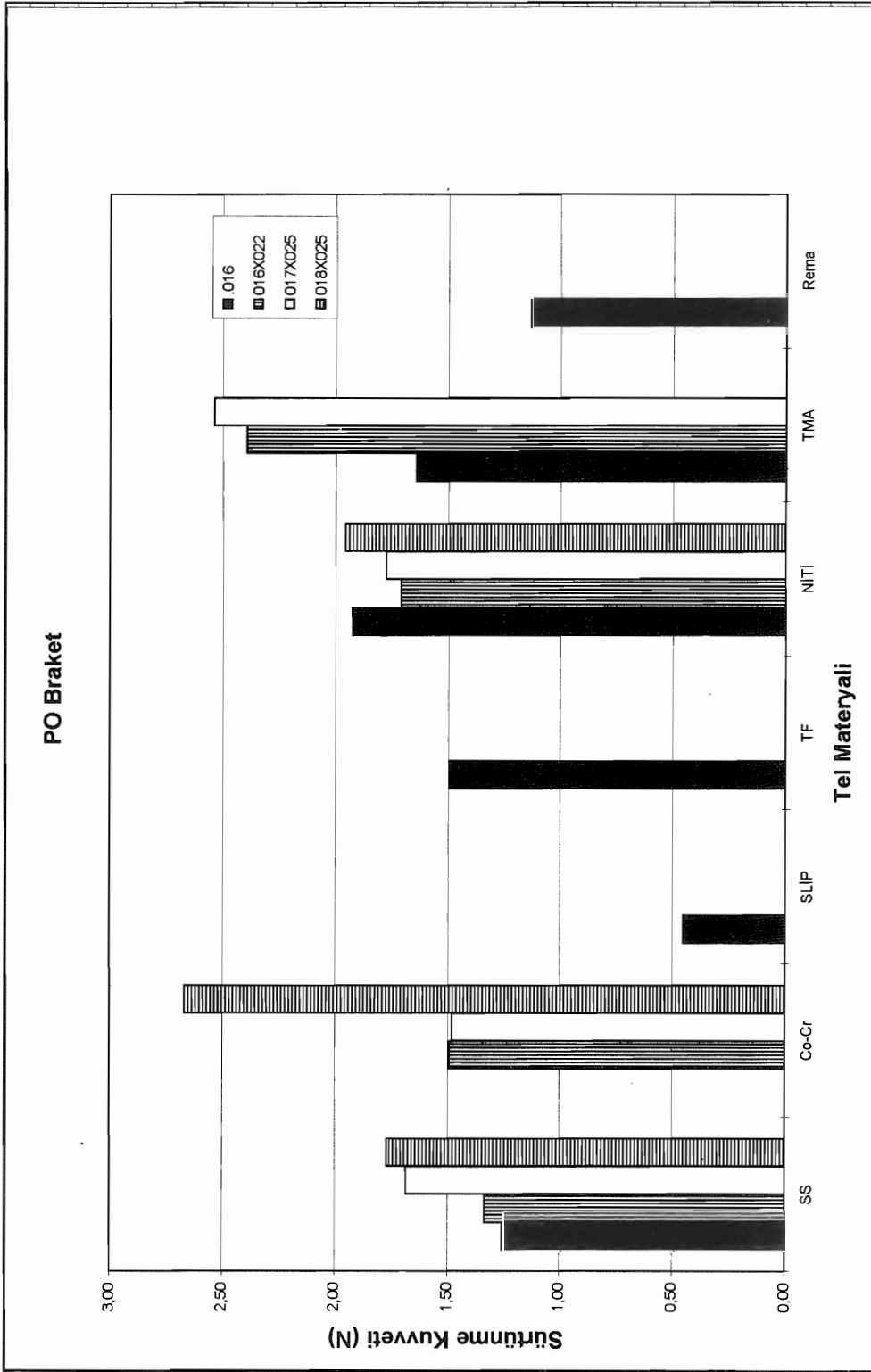
Şekil 3 b

Şekil 3a

Şekil 3: Tel tutucu parçanın şematik görünüşü. Tel kalibre edilmiş bir yay vasıtasıyla gergin tutulmakta ve iki uçtan vidalar vasıtasıyla sabitlenmektedir (a and b). Köşeli tellerin tork almasını önlemek ve telin tam düşey durmasını sağlamak için rehber pinler kullanılmıştır (b and c).

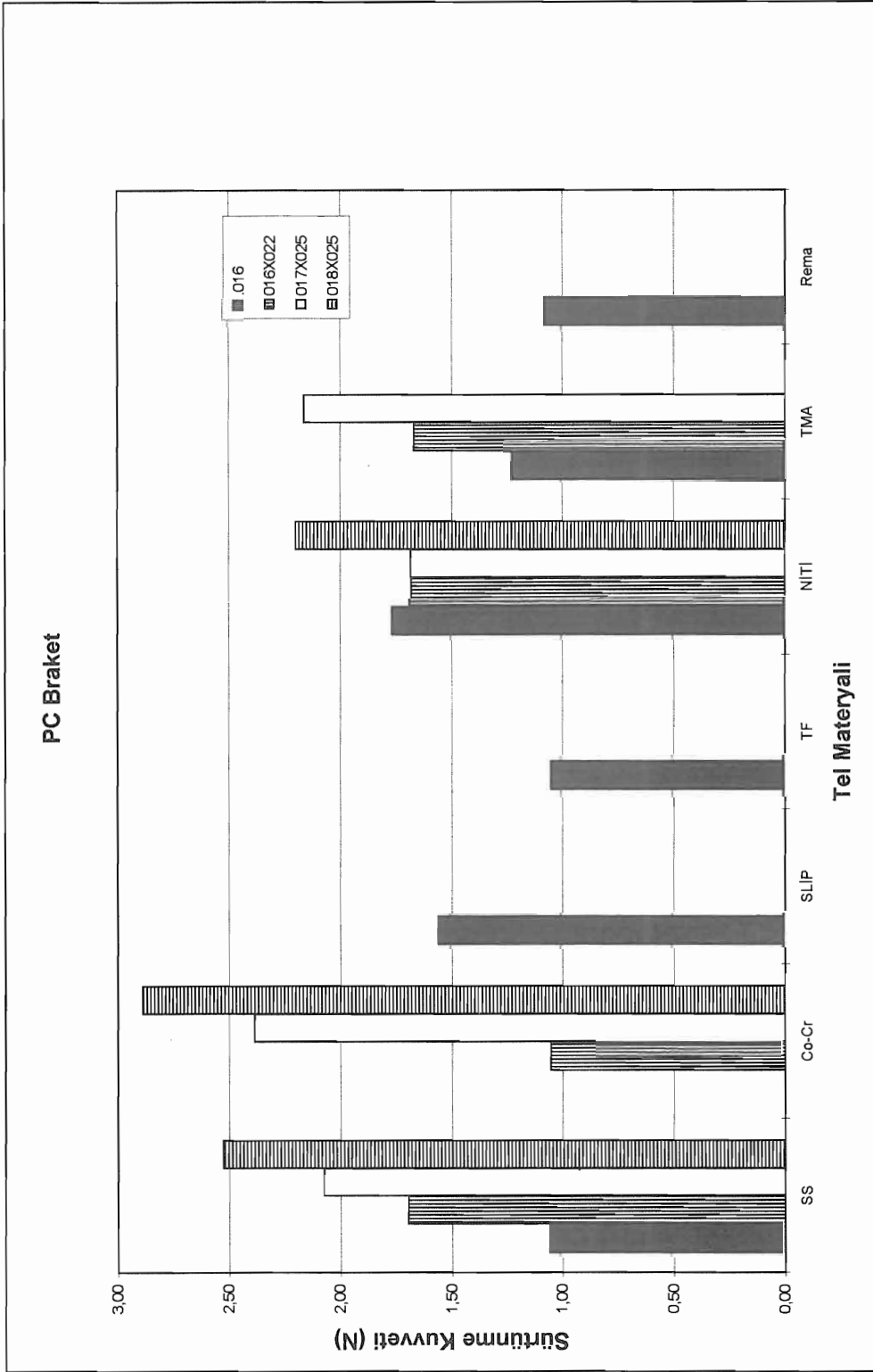


Şekil 4: SS braketle.

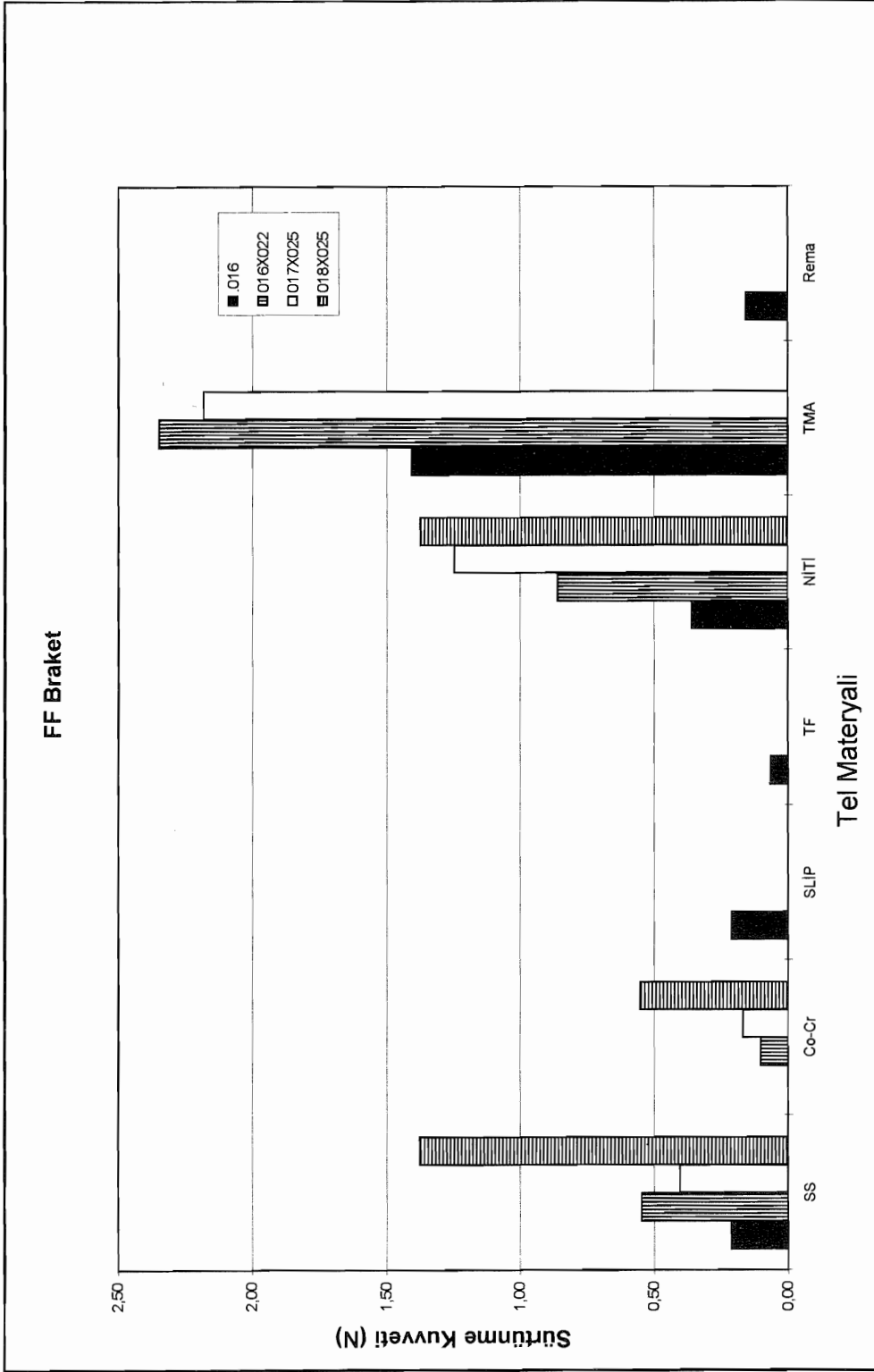


Şekil 5:

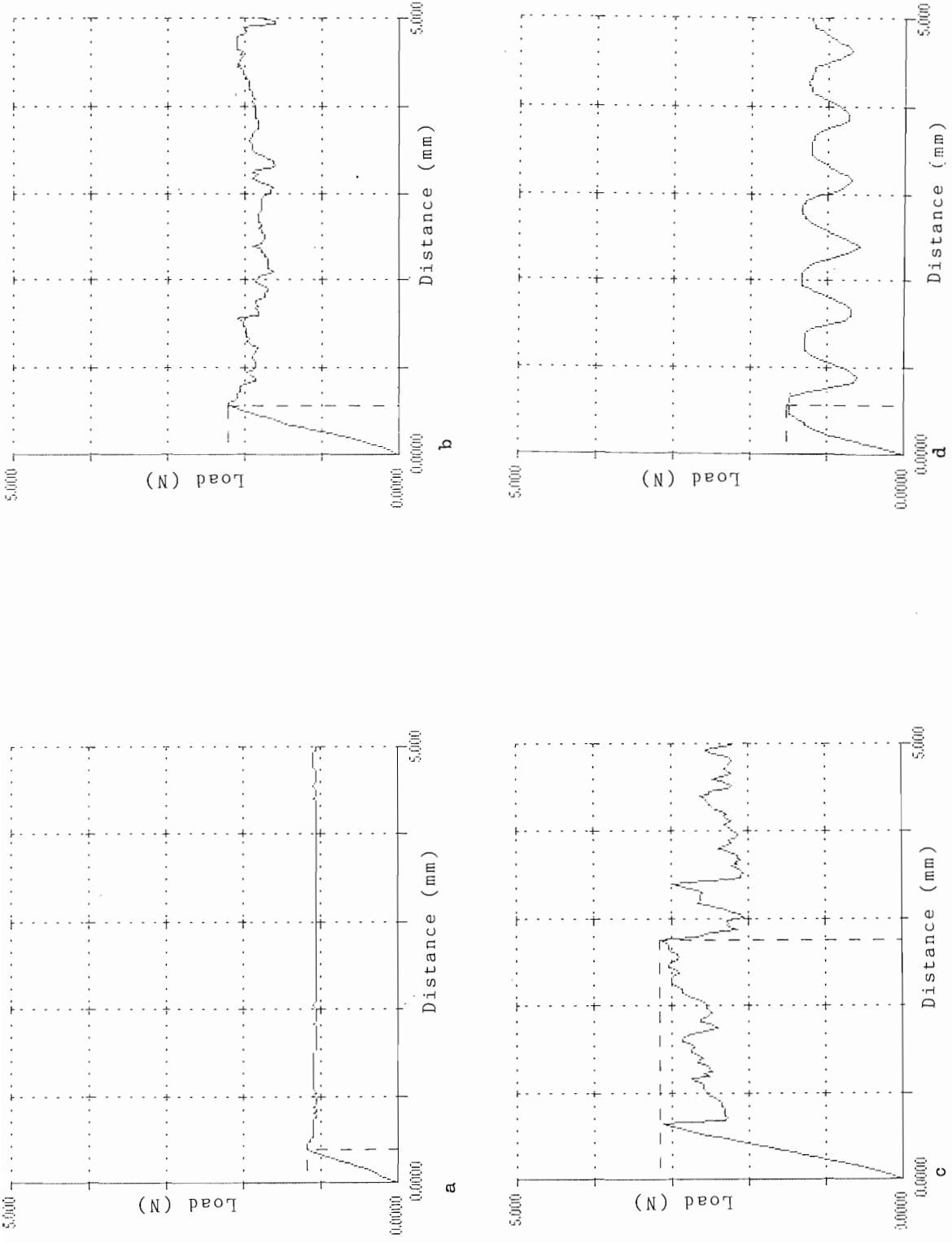




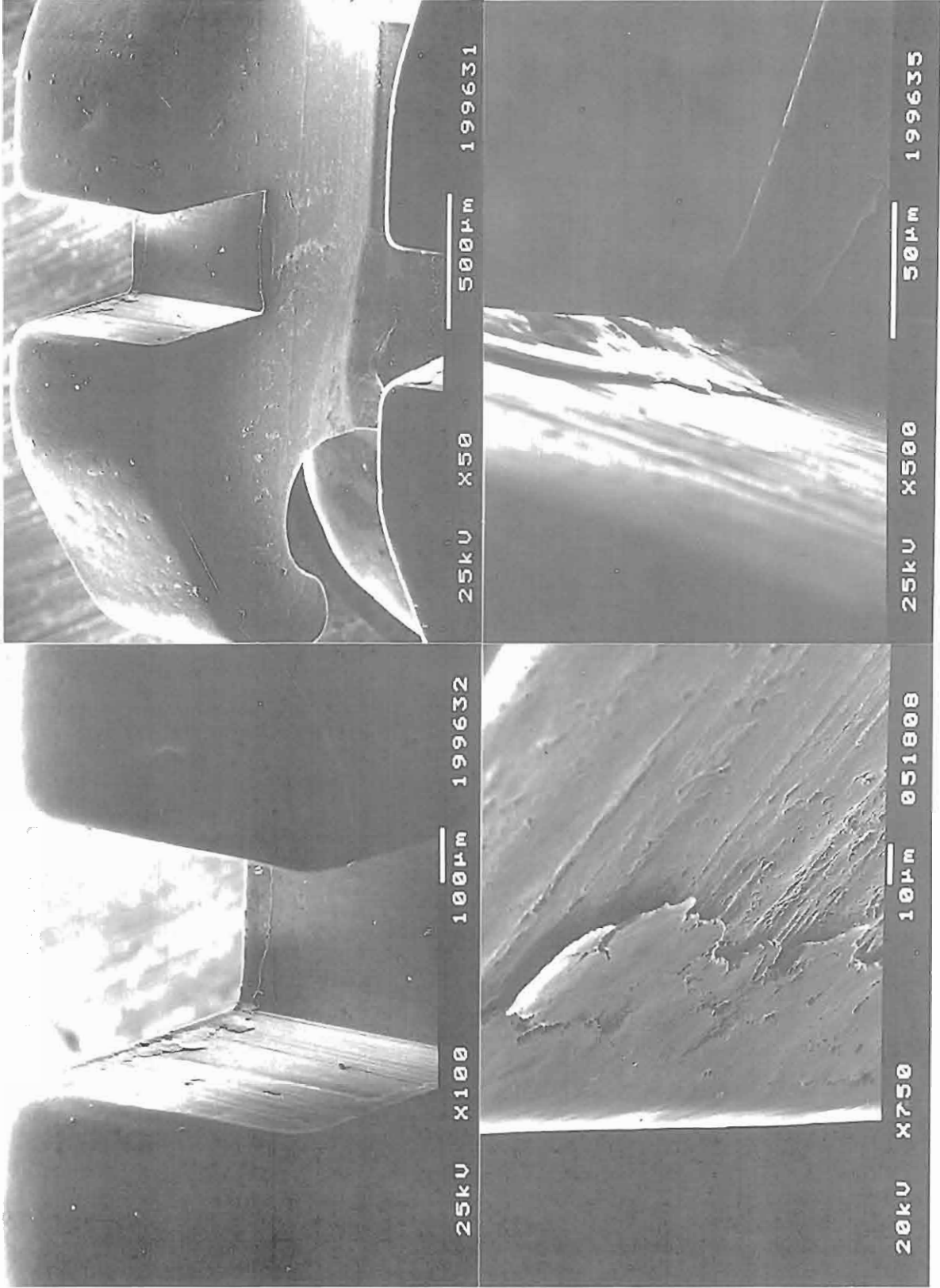
Şekil 6:



Şekil 7:



Şekil 8: SS braket ile a- Twist flex b-paslanmaz çelik c-Nikel titanyum ve d-TMA teller arasında elde edilen sürtünme eğrileri Sürtünme eğrileri bir anlamda kullanılan tel ve/veya braketlerin yüzey özelliklerinin de göstergesidir. Twist flex tellerde elde edilen eğrilerin perodikliği dikkati çekmektedir



Şekil 9: Çalışmada kullanılan paslanmaz çelik braketin S.E.M. görüntüleri. Braket oluğunun kenarlarındaki çapaklar dikkat çekicidir. Çapaklar genellikle tabanda daha düzgün bir yüzeye sahipken (a, b ve c) telin daha çok temas ettiği yan kenarlarda (b, c ve d) keskin kenarlar oluşturmaktadır. Bu keskin kenarlar yüksek büyütmelelerde daha da belirgindir (c ve d).

Bir titanyum alaşımı olan Slip; PO, PC ve FF braketlerde NiTi ve TMA tellere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük sürtünme göstermektedir.

## TARTIŞMA

Tel ile braket arasındaki sürtünmenin belirlenmesine yönelik çalışmalarda genellikle braket belli bir açıda sabitlenmekte tel braket slotu içinden çekilmekte ya da bunun tersi gerçekleştirilmektedir (10, 11). Böyle durumlarda iki materyal arasındaki etkileşim sadece bir düzlemde test edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan cihaz, bir kaninin tel üzerinde distal yönde kaydırılması esnasında ortaya çıkan 3 boyutlu hareketleri de taklit edebilmesi nedeniyle 3. boyutun tel ile braket arasındaki sürtünme kuvvetleri üzerine etkisini değerlendirmeye olanak vermektedir. Bununla birlikte, bu sistemin bir kısıtlaması, çiğneme kuvvetleri, dil, dudak ve yanak kaslarının basınçları, oklüzal çatışmalar, bruksizm benzeri kötü alışkanlıklar, tükürük (12, 13) ve diş fırçasının teli slot içinde hareket ettirici etkisi gibi değişken faktörlerin de yer aldığı biyolojik ortamı tam olarak simüle edememesidir.

Yüzey pürüzü ve yüzey sertliği de (14, 15) tel-braket arasındaki sürtünmeyi etkileyen faktörlerdendir. Bu çalışmada diğer tel alaşımlarına kıyasla daha yüksek sürtünme değerleri gösteren NiTi ve TMA gibi titanyum alaşımları, SS ve Co-Cr tellere oranla daha yumuşaktır ve daha yüksek yüzey pürüzüne sahiptir (14, 15). Bu bulgu, TMA tellerin SS braketler ile soğuk ortamda mikro kaynaklar oluşturduğunu vurgulayan Kapila ve arkadaşlarının (16) bulgularıyla da uyumludur. Tobin ve ark. (5),  $\beta$ -Ti tellerin, iyon implantasyonu metodu kullanılarak yüzeyleri sertleştirildiğinde daha düşük sürtünme değerlerine kavuştuklarını vurgulamaktadırlar. Çalışmamızda, iyon implantasyonu yüzey pürüzleri azaltılmış ve yüzey sertliği artırılmış olan titanyum alaşımı Slip tellerin konvansiyonel NiTi hatta SS tellere oranla daha düşük sürtünme değeri göstermesi yüzey pürüzünün ve yüzey sertliğinin, tel-braket arası sürtünme direnci üzerindeki önemini vurgulama açısından anlamlıdır.

Bu çalışmada, düzensiz yüzey yapısı (1) nedeniyle diğer tellerden daha fazla yüzey pürüzüne sahip gibi görünen ve yüksek sürtünme değerleri göstermesi beklenen çok sarımlı Twist flex teller, bütün braketlerde Slip, NiTi, TMA gibi titanyum alaşımları ve hatta SS tellerden daha düşük sürtünme değerleri göstermektedir. Esasen, paslanmaz çelik materyalden yapılmış çok sayıda ince çaplı telin birbiri üzerine sarılmasından oluşan bu tellerin SS tellerle yakın sürtünme değerlerini göstermeleri beklenirdi. Bunun nedeni, bu tellerin, sahip oldukları hareketli yüzey topografyaları ve yüksek elastisitetleri (17) sayesinde braketin slot köşesinden atlayarak slot ile ligatür arasına sıkışmaktan kurtulabilmeleridir. Bu bulgu, subjektif olarak, çok sarımlı teller ile elde edilen sürtünme eğrilerinin diğer tellerin eğrileriyle karşılaştırıldığında da

bulmaktadır. Diğer hiç bir telde, çok sarımlı teller ile elde edilen periodik eğriler elde edilememektedir (Şekil 8a-d). Her tel-braket çiftinden elde edilen eğriler bir anlamda hem braketin hem de telin yüzey karakteristiğini de yansıtmaktadır. Çok sarımlı teller, gerek tel-braket arası sürtünme konusundaki avantajları gerekse yüksek çalışma aralığı ve düşük kuvvet (17) gibi önemli fiziksel özellikleri bakımından titanyum alaşımlarından daha üstün olmaları nedeniyle, özellikle tedavinin ilk safhalarında tercih edilebilecek tellerdir.

Çalışmamızda, FF braket bütün tel materyallerinde anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerleri vermektedir. Bunun temel nedeni, bu braketin dizaynında ligatürün doğrudan tel üzerine baskı yapmaması, telin derin slot içinde serbestçe kaymasına izin vermesidir (Şekil 9). Diğer braket tiplerinde ise ligatür teli doğrudan braket slotu içine bastırmaktadır. Bu fark bir anlamda ligatürün etkisini göstermesi bakımından da anlamlıdır. Bu çalışmada, ligatür faktörünü standardize etmek amacıyla elastik ligatürler kullanılmıştır. Ayrıca, gerek ligatürün gerginliğinin standart olması, gerekse braket genişliğinin sürtünme değerleri üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla aynı genişliğe sahip braketler seçilmiştir.

Bu çalışmada, çoğu tel çapı ve materyalinde SS braket ile elde edilen sürtünme değerleri, diğer braketlerle karşılaştırıldığında beklenen aksine daha yüksektir. Bunun nedeni, SEM resimlerinde de görüldüğü gibi, SS braketlerin üretim tekniğine bağlı olarak slot kenarlarında oluşmuş olan çapaklardır (Şekil 9 a-d). Bu çapaklar, braketlerin üretim aşamasında çubuktan elmas diskler vasıtasıyla kesilmesi esnasında oluşmakta daha sonra polisaj esnasında slot içine doğru kıvrılmaktadırlar. Bu çapakların keskin kenarları telin slot içindeki hareketi esnasında tel yüzeyini adeta kazıyarak sürtünmenin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle farklı üretim tekniklerine sahip braketlerin tel ile braket arasındaki sürtünme kuvvetleri üzerine etkisi de ileride araştırılması gereken bir başka konudur.

## SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

1- İyon implantasyonu metoduyla yüzeyi sertleştirilen ve pürüzleri azaltılan Slip NiTi, tüm braketlerde SS, Co-Cr, NiTi ve TMA tellerden daha düşük sürtünme değerleri göstermektedir.

2- Çok sarımlı teller SS, NiTi ve TMA tellere göre düşük sürtünme direncine sahiptir. Bu sonuç, telin yüksek elastisiteti ve hareketli yüzey topografisine bağlıdır.

3- FF braket, diğer tüm braketlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük sürtünme değerlerine sahiptir. Bunun nedeni, bu braketin şekli itibarıyla ligatürün tel üzerine doğrudan baskı yapmasını engellemesi ve telin slot içinde kolayca kaymasına olanak sağlamasıdır.

4- Bu çalışmada, SS braketlerle elde edilen sürtünme değerleri beklenenden daha yüksektir. Bunun nedeni, kullanılan braketlerde slot kenarlarında üretim esnasında oluşmuş olan çapaklardır.

### TEŞEKKÜR

Çalışmamıza desteği için TUBİTAK'a, yüksek hassasiyetteki test cihazının planlaması ve hazırlanmasında büyük emeği geçen sayın Sabri Tacar'a (Tacar Dişli ve Mak. San ve Tic. A.Ş. Alaybey-İzmir) ve kullanılan malzemeleri temin eden Kadiz, Medifarm, Ortam, Ortodont ve Yüksel firmalarına teşekkür ederiz.

### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1- Proffit WR, Fields WH. Contemporary Orthodontics. The CV Mosby Comp St Louis Toronto-London, p. 236-264, 1986.
- 2- Vaughan JL, Duncanson MG, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 107: 20-27, 1995.
- 3- Angolkar PV, Kapila S, Duncanson JrMG, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 499-506, 1990.
- 4- Saunders CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 76-87, 1994.
- 5- Tobin EJ, Kusy RP, Sioshansi P, Whitley JQ. Ion implantation of  $\beta$ -Ti orthodontic arch wires for friction paper presented at "Surface modification of metals by ion beams-91 (SM2IB)". Washington DC July 15-19, 1991.
- 6- Burstone CJ, Farrokh Farzin NIA. Production of low friction and coloured TMA by ion implantation. JCO 29: 453-461, 1995.
- 7- Kuroe K, Tajiri T, Nakayama T, Nagakubo C, Kubota S, Matsuda T, Ito G. Frictional forces with the friction-free edgewise bracket. JCO 28: 347-351, 1994.
- 8- Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG, Sinha PK, Currier GF. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. Am J Orthod Dentofac Orthop 109: 535-542, 1996.
- 9- Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofac Orthop 96: 397-404, 1989.
- 10- Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 131-138, 1994.
- 11- Dickson JAS, Jones SP, Davies EH. A Comparison of the frictional characteristics of five initial alignment wires and stainless steel brackets at three bracket to wire angulations-an in vitro study. British J Orthod 21: 15-21, 1994.
- 12- Frank CA, Nikolai RP. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. Am J Orthod 78: 593-609, 1980.
- 13- Kusy RP, Whitley JQ, Prewitt MJ. Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. Angle Orthod 61: 293-302, 1991.
- 14- Mokhtar MC. The effect of hardness on the frictional behaviour of metals. Wear 78: 297-304, 1982.
- 15- Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckthal JE. Surface Roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. Angle Orthod 58: 33-45, 1988.
- 16- Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 117-126, 1990.
- 17- Kusy RP, Stevens LE. Triple-stranded stainless steel wires-evaluation of mechanical properties and comparison with titanium alloy alternatives. Angle Orthod 57: 18-32, 1987.

### YAZIŞMA ADRESİ:

Doç. Dr. Yahya TOSUN  
Ege Üniversitesi  
Dişhekimliği Fakültesi  
Ortodonti Ana Bilim Dalı  
Bornova - İZMİR  
Tel: 0 232 388 03 26, Fax: 0 232 388 03 25  
E-mail: tosun@dishekimligi.ege.edu.tr.