

+



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü



**FARKLI LİNGUAL RETAINER TELLERİNİN
KOMPOZİT MATERYALDEN AYRILMA
DİRENÇLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Doktora Tezi

Dt. Cevat Ege KORKMAZ

Ortodonti Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü

**FARKLI LİNGUAL RETAINER TELLERİNİN
KOMPOZİT MATERYALDEN AYRILMA
DİRENÇLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dt. Cevat Ege KORKMAZ

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Münire Ece SABAH

Ortodonti Anabilim Dalı
Ortodonti Doktora Programı

İzmir
2024

Tez Değerlendirme Kurulu Üyeleri

	Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Münire Ece SABAH	
(Danışman)		
Üye	: Prof. Dr. Aslıhan Mediha ERDİNÇ
Üye	: Prof. Dr. Özgün ÖZÇAKA YÜKSEL
Üye	: Prof. Dr. Servet DOĞAN
Üye	: Prof. Dr. Aslı BAYSAL
Üye	: Prof. Dr. Beyza HANCIOĞLU KIRCELLİ

Doktora Tezinin kabul edildiği tarih:

Önsöz

Ortodontinin en zorlu problemlerinden biri olan pekiştirme aşamasını ele aldığım bu çalışma bana in vitro araştırma yapmanın inceliklerini öğrettiği kadar klinik yaşamımda da faydalı olacak birçok katkı sağladı. Daha önce düşünmediğim konuların kapısını aralamama vesile olan bu çalışmanın tüm okuyucularına faydalı olmasını dilerim.

İzmir, 5.02.2024

Dt. Cevat Ege KORKMAZ



Özet

FARKLI LİNGUAL RETAINER TELLERİNİN KOMPOZİT MATERYALDEN AYRILMA DİRENÇLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Amaç: Ortodontik tedavinin bitiminde kullanılan sabit pekiştirme apearelerinin dişlere bağlanmalarını sağlayan kompozit materyalden ayrılmaları sonucu istenmeyen diş hareketleri oluşabilmektedir. Çalışmamızda farklı kalınlığa, sarım sayısına ve şekle sahip üç farklı retainer teline çekme testi uygulanarak tel-kompozit arayüzünde ayrılmaya sebep olan kuvvet ve çekme mesafesi değerlerinin ölçülmesi ve retainer tellerinin performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Co-ax Six Strand (American Orthodontics), Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products) ve Twist Three Strand (American Orthodontics) retainer telleri her grupta yirmi dört örnek bulunacak şekilde üç gruba ayrılmıştır. Üç boyutlu yazıcı (S5 Pro Bundle, Ultimaker) kullanılarak oluşturulan test bloklarının içerisine Transbond LR kompozit (3M Unitek) uygulanmıştır. Retainer telleri kompozit içerisine yine üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen rehber bir blok yardımı ile yerleştirilmiştir. Örnekler universal test cihazı (Autograph AGS-J, Shimadzu) kullanılarak dik eksenlerinde çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi esnasında test cihazı ile bağlantılı olan Trapezium programında (Shimadzu) örnekler için kuvvet-hareket grafikleri oluşturulmuştur. Test sonucunda her örnek için kompozit-tel arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği esnada ulaşılan kuvvet (F_{max}); ilk ayrılmanın meydana geldiği çekme mesafesi (F_{maxmm}); ve telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesi ($Endmm$) değerleri kayıt edilmiştir.

Bulgular: F_{max} değerleri incelendiğinde Co-ax Six Strand grubu, Bond a Braid ($p<0.001$) ve Twist Three Strand ($p<0.05$) gruplarına göre anlamlı düzeyde daha yüksek değer ortaya koymuştur. Twist Three Strand ise Bond a Braid'e göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0.001$).

F_{maxmm} değerleri incelendiğinde tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleştiği çekme mesafesinin Twist Three Strand grubunda, Bond a Braid ($p<0.001$) ve Co-ax Six Strand'e ($p<0.05$) göre anlamlı düzeyde daha az olduğu gözlenmiştir. Bond a Braid ile Coax Six Strand grupları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Endmm değerleri incelendiğinde telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesinin Bond a Braid grubunda Co-ax Six Strand ($p<0.001$) ve Twist Three Strand'e ($p<0.001$) göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Co-ax Six Strand'in çekme mesafesi, Twist Three Strand'e göre daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$).

Endmm değerlerinden Fmaxmm değerleri çıkarıldığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleştiği andan telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı ana kadar olan çekme mesafesinin, Bond a Braid grubunda Co-ax Six Strand ($p<0.001$) ve Twist Three Strand'e ($p<0.001$) göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Co-ax Six Strand ve Twist Three Strand arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Spearman korelasyon testi sonuçlarına göre Bond a Braid grubunda Fmax, Fmaxmm ve Endmm değerlerinin tümü birbiriyle pozitif korelasyon içerisindedir. Co-ax Six Strand grubunda Fmaxmm ve Endmm değerleri pozitif korelasyon göstermektedir. Twist Three Strand grubunda değerler arasında korelasyon bulunmamaktadır.

Sonuç: Çalışmamızdaki retainer tellerininin kompozit materyalden ayrılma dirençleri arasında fark bulunmuştur. Tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılma için gereken kuvvet miktarı en fazla Co-ax Six Strand grubunda, en düşük Bond a Braid grubunda llmştr. Esnek spiral retainer tellerininin arayüzde ilk ayrılma kuvvetleri arasındaki fark sebebi ile kompozit içerisindeki tutuculukları açısından spiraller arası girintilerin miktarı, girintilerin derinliğinden daha önemli görünmektedir. Twist Three Strand rijit yapısı sebebiyle kuvvetleri tel-kompozit arayüzüne daha hızlı iletmektedir ve ilk ayrılmanın ardından kompozit içerisinde diğer tellerden daha kolay hareket etmektedir. Bond a Braid yapısal özellikleri sebebiyle plastik deformasyon eğilimi göstermektedir ve ilk ayrılmanın ardından kompozit içerisinde daha zor hareket etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sabit pekiştirme, lingual retainer, ayrılma, relaps, komplikasyon

Abstract

COMPARISON OF LINGUAL RETAINER WIRES IN THEIR RESISTANCE TO DETACHMENT FROM COMPOSITE MATERIAL

Introduction: Undesirable tooth movement after orthodontic treatment can occur as a result of fixed retention appliances detaching from the composite material that secures them to the teeth. In this study, three different retainer wires with varying thickness, winding count, and shape, were subjected to a tensile test measuring force and displacement values causing detachment. The aim was to assess and compare the performance of the wires.

Methods: The wires used were Co-ax Six Strand (American Orthodontics), Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products), and Twist Three Strand (American Orthodontics); each group consisted of twenty four samples. Test blocks, created using a 3D printer (Ultimaker), were filled with Transbond LR composite (3M Unitek), retainer wires were then placed into the composite using a guiding block. The samples were subjected to a tensile test along their vertical axes using a universal testing machine. Simultaneously, the computer program Trapezium (Shimadzu) generated graphs for each sample. It recorded the force at which the initial detachment occurred at the composite-wire interface (F_{max}), the distance at which the initial detachment occurred (F_{maxmm}), and the distance at which the wire fully disengaged from the composite ($Endmm$).

Results: The Co-ax Six Strand group exhibited the highest F_{max} values of all groups, while Twist Three Strand showed greater values compared to Bond a Braid ($p < 0.001$). It was observed that the Twist Three Strand had significantly lower F_{maxmm} values, indicating a shorter distance to the initial detachment occurred compared to Bond a Braid ($p < 0.001$) and Co-ax Six Strand ($p < 0.05$). There were no significant differences between the latter two groups. In comparison to other wires, Bond a Braid had significantly higher $Endmm$ values, illustrating a longer distance at which the wire fully disengages from the composite. Co-ax Six Strand wires had greater displacement compared to Twist Three Strand ($p < 0.05$). Subtracting F_{maxmm} values from $Endmm$ values showed that the distance from initial detachment to the complete disengagement

of the wire was the largest for the Bond a Braid group. No significant difference was observed between the other two groups. The Spearman correlation test indicated that all Fmax, Fmaxmm, and Endmm values for Bond a Braid had positive correlations with each other. In the Co-ax Six Strand group, Fmaxmm and Endmm values exhibited positive correlation; no correlations were observed between other values. No correlations between values were observed in the Twist Three Strand group.

Conclusion: There are differences in resistance to detachment from composite material between lingual retainer wires. The greatest amount of force required for detachment was measured for Co-ax Six Strand, while the lowest was observed for Bond a Braid. Here, the amount of gaps between spirals seem to be more important than the depth of the gaps for flexible spiral wires. Due to its rigid structure, Twist Three Strand wire transmit forces faster to the wire-composite interface and move more easily within the composite after initial detachment compared to other wires. Bond a Braid displays a tendency for plastic deformation due to its structural properties and exhibits more difficulty in movement.

Keywords: fixed retention, lingual retainer, detachment, relapse, complication

İçindekiler

Önsöz	2
Özet.....	3
Abstract.....	5
İçindekiler	7
Tablolar Dizini.....	9
Resimler Dizini	10
Grafikler Dizini	13
Kısaltma Listesi	14
1. Giriş	15
2. Genel Bilgiler	17
2.1. Ortodontik Tedavi ve Nüks	17
2.2. Tedavi Sonrası Pekiştirme.....	17
2.3. Pekiştirme Apareyleri.....	18
2.3.1. Hareketli Pekiştirme Apareyleri.....	18
2.3.2. Sabit Pekiştirme Apareyleri	19
2.3.2.1. Sabit Pekiştirme Uygulamalarında Kullanılan Materyaller	20
2.3.2.1.1. Düz Yuvarlak Paslanmaz Çelik Teller	20
2.3.2.1.2. Çok Sarımlı Esnek Paslanmaz Çelik Teller	20
2.3.2.1.3. Dead Soft Teller	21
2.3.2.1.4. Fiber Destekli Rezin Pekiştirme Apareyleri	21
2.3.2.1.5. Memotain®	21
2.3.2.2. Sabit Pekiştirme Apareyelerinin Başarısızlıkları	21
2.3.2.2.1. Retainer Telinin Kırılması	22
2.3.2.2.2. Retainer Telinin Deformasyonu	22
2.3.2.2.3. Adezyona Bağlı Komplikasyonlar	23
2.3.2.3. Sabit Pekiştirme Apareyelerinin Periodontal Etkileri	26
2.3.2.4. Klinisyenlerin Pekiştirme Apareyi Tercihleri	26
2.4. Bilgisayar Destekli Tasarım	27
2.5. Üç Boyutlu Baskı	27
2.5.1. Eriyik Yığıma Modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM).....	27

2.5.2.	Stereolitografi (SLA).....	28
3.	Gereç ve Yöntem	29
3.1.	Test Düzeneginin Tasarlanması.....	29
3.2.	Kullanılan Retainer Telleri	34
3.3.	Kullanılan Kompozit Rezin	35
3.4.	Örneklerin Hazırlanması	36
3.5.	Çekme Testi	49
3.6.	Grafiklerin Oluşturulması	51
3.7.	İstatistiksel Değerlendirme.....	51
4.	Bulgular.....	53
5.	Tartışma	64
5.1.	Amacın Tartışılması.....	64
5.2.	Gereç ve Yöntemin Tartışılması	69
5.2.1.	Test Düzenegi Tasarımının ve Kullanılan Materyallerin Tartışılması	69
5.2.2.	Çekme Testinin Tartışılması	70
5.3.	Bulguların Tartışılması.....	72
6.	Sonuç ve Öneriler	80
	Kaynaklar	82
	Teşekkür	90
	Özgeçmiş	92

Tablolar Dizini

Tablo 1: Fmax değerleri	55
Tablo 2: Fmaxmm değerleri.....	56
Tablo 3: Endmm değerleri.....	57
Tablo 4: Endmm değerlerinden Fmaxmm değerleri çıkarıldığında ulaşılan fark değerleri.....	59
Tablo 5: Bond a Braid korelasyon tablosu	62
Tablo 6: Co-ax Six Strand korelasyon tablosu.....	62
Tablo 7: Twist Three Strand korelasyon tablosu	63



Resimler Dizini

Resim 1: Retainer telini kırılması sonucu diş konumlarında meydana gelen değişim (Shaughnessy, Proffit, & Samara, 2016).....	22
Resim 2: Aktif retainer teli sebebi ile keserlerde oluşan hareket (Patcas & Pedroli, 2012).	23
Resim 3: Retainer telinin bütünlüğü bozulmadığı halde telin kompozitten ayrılması sonucu dişler arasında oluşan diastema. (Dahl & Zachrisson, 1991).	24
Resim 4: Sağ interkanin bölgenin lingual, sol interkanin bölgenin vestibül inklinasyonu sonucu görülen burulma etkisi (Kučera & Marek, 2016).....	24
Resim 5: Tedavi bitiminden 1 yıl sonra sol kaninde görülen bukkal inklinasyon. A ve B, tedaviden 1 yıl sonrası; C ve D, tedavi öncesi; E ve F, tedavi bitimi. (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007)	25
Resim 6: Komşu iki keserin ters yönlü tork alması. (Kučera & Marek, 2016).....	25
Resim 7: Çekme testi esnasında kaide olarak kullanılan alt bloğun tasarımı.....	30
Resim 8: Kaide bloğunun üç boyutlu görüntüsü	30
Resim 9: Retainer telini konumlamak için kullanılan rehber bloğun tasarımı	31
Resim 10: Rehber bloğun üç boyutlu görüntüsü	32
Resim 11: Alt blok ve rehber bloğun iç içe geçirildiğinde merkezleri çakışacak şekilde tasarlanması.....	33
Resim 12: Alt blok ve rehber bloğun iç içe geçirilmiş üç boyutlu görüntüsü.....	33
Resim 13: Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products, Itasca, IL, ABD).....	34
Resim 14: Co-Ax Six Strand (American Orthodontics, Sheboygan, WI, ABD)	35
Resim 15: Twist Three Strand (American Orthodontics, Sheboygan, WI, ABD)	35
Resim 16: Transbond LR kompozit (3M Unitek, Monrovia, CA, ABD)	36
Resim 17: Üç boyutlu yazıcı S5 Pro Bundle (Ultimaker, Utrecht, Hollanda)	37
Resim 18: FDM yöntemi ile kaide bloklarının üretimi	38
Resim 19: Üç boyutlu yazıcıda üretimi tamamlanan kaide blokları	39
Resim 20: Üç boyutlu yazıcı Form 3B+ (Formlabs, Somerville, MA, ABD)	40
Resim 21: İzopropil alkol banyosu Form Wash (Formlabs, Somerville, MA, ABD)41	
Resim 22: Polimerize edilmemiş artık rezinin uzaklaştırılması	41
Resim 23: Blokların mekanik özelliklerini iyileştirmek için gerçekleştirilen kütleme işlemi (Form Cure, Formlabs, Somerville, MA, ABD)	42
Resim 24: Basımı tamamlanan rehber bloklar	43

Resim 25: Dayanak noktalarından ayrılarak kullanıma hazır hale getirilen rehber blok	43
Resim 26: Rehber bloğun ayaklarının kaide bloğunda yer alan uygun deliklere geçirilmesi sonrasında retainer telinin planlanan biçimde kompozit içerisine yerleştirilmesi.....	44
Resim 27: Kullanılan ışık cihazı (Elipar DeepCure-L, 3M Unitek, Monrovia, CA, ABD).....	45
Resim 28: Işık cihazının güç kontrolü için kullanılan radyometre cihazı (Demetron, Kerr Corporation, Brea, CA, ABD)	45
Resim 29: Rehber blok yardımı ile yerleştirilen retainer teli dik konumlanabilmiştir	46
Resim 30: Işınlamanın ardından rehber blok çıkarılmıştır. Bu uygulama ile retainer teli dik yerleştirilebilmiştir ve çevresinde her yönden en az 1 mm kompozit bulunması sağlanmıştır	47
Resim 31: Retainer tellerinin serbest sonlanan uçlarına verilen büküm	47
Resim 32: 37°C derece ayarlı etüv (Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı).....	48
Resim 33: Ünlversal test cihazı (Autograph AGS-J, Shimadzu, Kyoto, Japonya) ...	49
Resim 34: Ünlversal test cihazının tutucu uçları arasına yerleştirilmiş bir örnek.....	50
Resim 35: Testi tamamlamış bir örnek.....	50
Resim 36: Test esnasında grafiklerin oluşturulması.....	51
Resim 37: Bond A Braid retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiğı	53
Resim 38: Co-ax Six Strand retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiğı	54
Resim 39: Twist Three Strand retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiğı	54
Resim 40: Literatürde “Tünel etkisi” olarak da adlandırılan durumda retainer teli-kompozit arayüzünde gerçekleşen ayrılma sonucunda dişe etkiyen kuvvetlerin retainer teli seviyesinde pivot etkisi yaratması (Kucera, Marek, Hanzelka, & Kamínek, 2015).	65

Resim 41: Tırnak yeme alışkanlığına sahip olan bir hastada parafonksiyona bağlı olarak sağ ve sol alt keserlerde görülen kök hareketleri (Alessandri Bonetti, Incerti Parenti, & Zucchelli, 2012).....	66
Resim 42: Keser rehberliği sırasında oluşan kuvvetlerin retainer teli varlığında sol alt lateral dişte oluşturduğu şiddetli vestibül kök torku hareketi (Farret, Farret, da Luz Vieira, Assaf, & de Lima, 2015).....	67
Resim 43: Sabit pekiştirme apareylerinin geçmiş beş yıllık artışı ve gelecekte öngörülen artış eğilimi (Pratt, Kluemper, Hartsfield, Fardo, & Nash, 2011)	68
Resim 44: Kompozit içerisinden ayrılan retainer tellerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997)	79



Grafikler Dizini

- Grafik 1:** F_{max} , F_{maxmm} ve $Endmm$ değerlerinin kutu grafik ve histogramları. Ortalamalar elmas sembolü ile gösterilmiştir. 58
- Grafik 2:** $Endmm$ ve F_{maxmm} değerleri arasındaki farkların kutu grafik ve histogramları. Ortalamalar elmas sembolü ile gösterilmiştir. 60
- Grafik 3:** Retainer teli-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği mmF_{max} noktası yeşil ile, telin kompozitin içerisinden tamamen çıktığı $Endmm$ noktası kırmızı ile gösterilmiştir. Kompozit içerisinde gerçekleşen çekme mesafesi noktalar arasındaki çizgiler ile gösterilmiştir. 61



Kısaltma Listesi

N: Newton

mm: Milimetre

BISGMA: Bisfenol A glisidil metakrilat

TEGDMA: Trietilen glikol dimetakrilat

FDM: Fused Deposition Modeling

SLA: Stereolitografi

°C: Santigrat



1. Giriş

İnsanların hayat boyu devam eden fizyolojik bir değişim içerisinde bulunduğu ve dentisyonun da bu değişimden yaşam boyu etkilendiği gözlenmiştir. Bu değişimler çocuklukta ve ergenlikte hızlı iken ergenliğin sonlarına gelindiğinde yavaşlar ancak klinik olarak hala kayda değer seviyelerdedir. Yetişkinlikte ise daha az belirgin olmasına ve azalan bir eğilim izlemesine rağmen değişimin etkisi sürmektedir. Ortodontik tedavinin bu fizyolojik değişimin seyrini geçici olarak yavaşlatabileceği ve hatta bir süreliğine bunu tersine çevirebileceği ortaya konulmuştur. Fakat bu fizyolojik değişim aktif ortodontik tedavi sonrasında etkilerini göstermeye devam etmektedir (Horowitz & Hixon, 1969). Aktif ortodontik tedavi sonrasında elde edilen diş konumlarının zaman içerisinde bozulmadan kalabilmeleri için gerçekleştirilen tedavi aşamasına pekiştirme adı verilmektedir. Pekiştirme safhasında, hareketli ve sabit apareyler kullanılabilir. Hareketli pekiştirme aygıtlarının uzun süre hasta kooperasyonu gerektirmesi sebebiyle sabit pekiştirme aygıtlarının kullanımı yaygınlaşmıştır (Atack, Harradine, Sandy, & Ireland, 2007). Sabit pekiştirme apareyleri başlarda yalnızca kanin dişlere uygulanıp keser dişlerin lingualine temas ediyor iken, sonraki yıllarda keser dişlere de adezivler kullanılarak bağlanma sağlanmaya başlanmıştır. Bu dönem aynı zamanda çok sarımlı paslanmaz çelik retainer tellerinin kullanılmaya başlandığı dönemdir (Zachrisson, 1982).

Sabit retainer telleri uzun vadede tedavi sonuçlarının stabilizasyonunu sağlamakta yardımcı olsalar da kullanımları çeşitli komplikasyonlara sebep olabilmektedir (Dahl & Zachrisson, 1991). Sabit pekiştirme apareylerinin kullanımı sırasında ortaya çıkan komplikasyonlar retainer telinin kırılması, kullanılan kompozitin diştten ayrılması, telin kompozitten ayrılması ve retainer telinin dişlere pasif olarak uygulanmaması gibi etkenler ile ortaya çıkabilmektedir. Sabit pekiştirme uygulamalarında en zayıf bağlanmanın retainer teli-kompozit arayüzünde gerçekleştiğini belirten çalışmalar mevcuttur (Cooke & Sherriff, 2010), (Al-Nimri & Al-Nimri, 2015). Arayüzde gerçekleşen bu ayrılma sonrasında retainer telinin bütünlüğünde bir bozulma olmamasına rağmen dişlerin tedavi öncesi konumlarına dönme eğilimi gösterebileceği, dişler arasında diastemalar açılabilmesi, hatta tedavi öncesinde var olmayan yeni maloklüzyonlar oluşabileceği gösterilmiştir (Charavet, Vives, Aroca, & Dridi, 2022), (Kučera & Marek, 2016). Yeni oluşan maloklüzyonların kullanılan çok sarımlı esnek

retainer tellerinin sarım yönüne uygun olarak gerçekleştiğini belirten çalışmalar da mevcuttur (Roussarie & Douady, 2018). Ortodontide sabit pekiştirme apareylerinin yıllardır kullanılmasına rağmen en iyi yöntemin seçiminin hala belirsizliğini sürdürdüğünden ve bu alandaki çalışmaların yeterli olmadığından bahsedilmiştir (Iliadi, Kloukos, Gkantidis, Katsaros, & Pandis, 2015).

Bu çalışmada, sabit pekiştirme uygulamalarında en zayıf bağlanmanın gerçekleştiği düşünülen retainer teli-kompozit arayüzünde yaşanan ayrılmanın kullanılan retainer teli ile ilişkili olabileceği düşünülerek farklı lingual retainer tellerinin kompozitten ayrılma dirençleri karşılaştırılmıştır. Üç farklı çok sarımlı paslanmaz çelik retainer teline dik eksenlerinde çekme testi uygulanmıştır. Test ile öncelikle tellerin içerisinde buldukları kompozitten ayrıldıkları kuvvetler ölçülmüştür. Böylece tel-kompozit arayüzündeki ilk ayrılmaya karşı gösterilen direnç tespit edilmiştir. Ardından tellerin arayüzde ilk ayrılma kuvvetine ulaşıldığı esnada ve kompozitin içerisinden tamamen çıktıkları esnada gerçekleşen çekme miktarları da kayıt edilerek tellerin deformasyon eğilimleri ve kompozit içerisinde hareket ederken gösterdikleri direnç tespit edilmiştir. Bununla birlikte test esnasında oluşturulan grafikler ile retainer tellerinin ilk ayrılma gerçekleşmeden önce ve ayrılma gerçekleştikten sonra izledikleri kuvvet-hareket paternleri de doğrudan gözlenebilmiştir. Çalışmamız retainer tellerine uygulanan çekme testi esnasında çekme mesafelerinin değerlendirildiği ve test sonucunda oluşturulan kuvvet-hareket grafiklerinin gruplar arasında karşılaştırıldığı ilk çalışma olacaktır.

Bu çalışmanın amacı üç farklı retainer telinin kompozitten ayrılmaya ve ayrılma sonrasında kompozit içerisinde hareket etmeye karşı gösterdikleri direnci değerlendirmek ve klinik kullanımda retainer teli-kompozit ayrılmasına bağlı komplikasyon oluşturma riski en düşük olan retainer telini belirlemeye çalışmaktır.

Çalışmanın sıfır hipotezi: “Farklı lingual retainer tellerinin kompozitten ayrılma ve kompozit içerisinde hareket etme dirençleri arasında fark bulunmamaktadır” şeklinde kurulmuştur.

2. Genel Bilgiler

2.1. Ortodontik Tedavi ve Nüks

Ortodontik tedavi sonrasında hastaların uzun dönem takibinin yapıldığı çalışmalarda tedavi sonunda ulaşılan sonuçların ilerleyen dönemlerde değişken ve öngörülemez olduğu; Angle sınıf ilişkisi, hastanın cinsiyeti, tedavinin başlatıldığı yaş, overbite, overjet, ark boyu ve ark genişliği gibi özelliklerin uzun dönem sonuçlara etkisi olmadığı; tedavi öncesindeki kanin genişliğinin korunduğu, genişletildiği veya daraltıldığı vakaların tamamında ark genişliği ve uzunluğunun zamanla azaldığı; yapılan gözlem süresi içerisinde mandibular anterior diş diziliminin hastaların yüzde otuzundan azında kabul edilebilir oranda düzgün kaldığı gözlenmiştir (Little, R. M., Wallen, T. R., & Riedel, R. A, 1981).

Ortodontik tedavi sonrasında dişlerin istenen pozisyonlarında kalması son derece zor olabilir. Ortodontik tedaviden sonra dişlerin orijinal maloklüzyona doğru geri gitmesine nüks adı verilmiştir. Ancak fizyolojik olarak büyüme ve yaşlanma sürecinin normal bir parçası olarak da diş pozisyonlarında farklı değişiklikler meydana gelebilir. Her iki şekilde gerçekleşen değişikliklerin de öngörülmesi mümkün değildir. Bu sebeple her hastanın uzun vadeli değişikliklere açık olduğu varsayılmalıdır (Littlewood, S.J., Kandasamy, S. Huang, G, 2017).

2.2. Tedavi Sonrası Pekiştirme

Oppenheim 1934 yılında yazdığı makalesinde pekiştirmenin ortodontinin en zorlu problemlerinden biri olduğunu söylemiştir (Oppenheim, 1934). Günümüzde bu problem hala çözülmeyi beklemektedir. Dişler hareket ettirildiğinde, periodontal ligament ve diş eti yeni diş pozisyonuna uygun olarak yeniden şekillenir. Bu dokular yeniden şekillenene kadar, dişleri orijinal konumlarına geri döndürme eğilimi gösterirler. Bunlardan yeniden şekillenmesi en uzun sürenler supraalveolar liflerden olan sirkümferral lifler, dento-gingival lifler ve interdental liflerdir (Reitan, 1967). Bu sebeple çevre dokular dişlerin yeni konumuna adapte olana kadar dişlerin çeşitli yöntemler ile son konumlarında tutulmaları gerekmektedir. Literatürde alternatif bir yöntem olarak suprakrestal fiberotomi uygulaması da önerilmiştir. Ancak bu uygulama istenmeyen diş hareketlerini tamamen engelleyememektedir ve alt anterior

çapraşıklıkla önlenmesinde uzun dönem takiplerde başarılı olmadığı gözlenmiştir (Edwards J. G, 1988).

Dişlerin, lingual taraftan dil ve labial taraftan dudaklar ve yanaklar arasındaki yumuşak doku denge alanı içinde konumlandırılması tercih edilir. Bu, protetik olarak nötral bölge olarak adlandırılan bir denge alanıdır. Dilden gelen kuvvetler daha güçlü olmasına rağmen, sağlıklı bir periodonsiyumun aktivitesi dişlerin proklinasyonuna karşı koyacaktır (Proffit W. R., 1978). Dişler bu 'nötr' bölgeden ne kadar uzağa taşınırsa, nükse o kadar yatkın olurlar. Bu özellikle alt anterior segment için geçerlidir. Kesici dişler aşırı derecede prokline veya retrokline ise, nüks olasılığı daha yüksektir.

Bununla birlikte, literatür incelendiğinde bir hastanın orijinal ark formu tedavi sırasında korunursa, retansiyondan sonra kesin stabilite elde edileceği düşüncesinin doğru olmadığı görülmektedir. Uzun vadeli stabilite, hastanın orijinal tedavi öncesi ark formunun minimum düzeyde değiştirilmesi ile de garanti edilememiştir (Cruz de la, A., Sampson, P., Little, R. M., Artun, J., & Shapiro, P. A., 1995). Tedavi değişikliklerine uzun dönem yanıtta gözlemlenen yüksek derecede değişkenlik, pekiştirme tedavisinin ve pekiştirme esnasında kullanılacak yöntemin önemini ortaya koymaktadır.

2.3. Pekiştirme Apareyleri

2.3.1. Hareketli Pekiştirme Apareyleri

1919 yılında Charles Hawley tarafından tasarlanan Hawley apareyi hareketli pekiştirme apareylerinin öncülerindendir (Hawley CA., 1919). Bu apareye pekiştirme tedavisindeki amaçlara göre çeşitli modifikasyonlar yapılabilmektedir. Hawley apareyinin çekim boşluklarını korumakta başarılı olması ve tedavi sonrası gerçekleşen interdijitasyona engel olmaması önemli avantajlarından. 1945 yılında Kesling tarafından dişleri istenilen son konumlarına hareket ettirmek ve bu konumu korumalarını sağlamak için positioner apareyi tanıtılmıştır (Kesling, 1945). Tedaviyi tamamlayıcı bir aparey olması ve pekiştirme safhasında oklüzyonu bozmaması avantajları arasında iken, rotasyon hareketlerini pekiştirmekte yetersiz olması ve büyük hacmi sebebi ile kullanımının zor olması dezavantajlarından.

1971 yılında Ponitz tarafından vakumla şekillendirilmiş termoplastik plaklar tanıtılmıştır. (Ponitz R. J., 1971). Vakumla şekillendirilmiş pekiştirme apareylerinin altı aylık kontrollerinde, tedavi sonundaki diş konumlarını korumada labial segmentte Hawley apareyine göre daha başarılı olduklarını ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Rowland, ve diğerleri, 2007). Bu apareylerin yalnızca geceleri kullanılmasının diş konumlarını korumakta tam zamanlı kullanılmaları kadar etkili olduğu gösterilmiştir (Jäderberg, Feldmann, & Engström, 2012). Vakumla şekillendirilmiş pekiştirme apareyleri estetik olmaları, kolay üretilmeleri ve maliyetlerinin düşük olması sebebiyle klinisyenler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Derin kapanış tedavilerini pekiştirmekte yeterli olmamaları ve ısı değişimlerinden etkilenmeleri dezavantajları arasındadır.

Hastaların çenelerarası iskeletsel düzensizliklerinin tedavisi için kullanılan fonksiyonel apareyler aktif tedavi dönemi sonrasında pekiştirme safhasında da kullanılmaktadırlar. İki yıl süren aktif tedavi dönemi sonrasında üç yıllık yarı zamanlı aparey kullanımını içeren pekiştirme uygulaması ile ulaşılan sonuçların stabil olduğu görülmüştür (Freeman, McNamara, Baccetti, Franchi, & Fränkel, 2009). Hareketli pekiştirme apareylerinin temel avantajları besin birikimine sebep olmamaları böylece ağız hijyeni sağlamanın kolay olmasıdır. En büyük dezavantajları ise hasta kooperasyonuna ihtiyaç duymalarıdır.

2.3.2. Sabit Pekiştirme Apareyleri

Bu apareyler dişlere klinisyen tarafından doğrudan uygulanan ve sürekli hasta ağızında kalan apareylerdir. En büyük avantajları hasta kooperasyonuna ihtiyaç duymamaları ve estetik beklentileri karşılamalarıdır. Dezavantajları ise uygulamanın vakit alması ve teknik hassasiyet gerektirmesidir (Atack, Harradine, Sandy, & Ireland, 2007). Sabit pekiştirme apareyi kullanılan hastaların on yıllık takiplerinde kullanılmayan hastalara göre diş konumlarını daha iyi korudukları gözlenmiştir (Al Yami, Kuijpers-Jagtman, & van 't Hof, 1999). Sabit pekiştirme apareyi kullanan bazı hastalarda plak ve diş taşı oluşumu görülmesine karşın, iyi ağız hijyenine sahip ve altı aylık kontrollerini sürdüren hastalarda bu problemin görülmediği saptanmıştır (Heier, E. E., De Smit, A. A., Wijgaerts, I. A., & Adriaens, P. A., 1997). Sabit pekiştirme apareyleri sadece kanin dişlere yapıştırılıp keserlerin lingualinden pasif şekilde geçecek şekilde

uygulanabildiği gibi, tüm anterior dişlere yapıştırılacak şekilde de uygulanabilir (Profitt, 2013).

2.3.2.1. Sabit Pekiştirme Uygulamalarında Kullanılan Materyaller

2.3.2.1.1. Düz Yuvarlak Paslanmaz Çelik Teller

Pekiştirme safhasında, bantlama yapılmadan dişlerin lingual yüzeylerine doğrudan kompozit ile retainer teli uygulanması 1973'te Knierim tarafından tanıtılmıştır (Knierim, 1973). Genellikle 0,028 inç çapa sahip olan bu teller kalın ve rijit bir yapıdadır. Bu tip retainer telleri sadece kanin dişlere yapıştırılıp keserlerin lingualinden pasif olarak geçecek şekilde uygulanmaktadır (Booth, Edelman, & Proffit, 2008). Bu materyal kullanılarak gerçekleştirilen pekiştirme uygulamalarının uzun dönem takibinde keser dişlerde meydana gelebilecek çapraşıklıkla tam olarak önlenemediği görülmüştür (Renkema, ve diğerleri, 2008).

2.3.2.1.2. Çok Sarımlı Esnek Paslanmaz Çelik Teller

İlerleyen yıllarda Zachrisson tarafından çok sarımlı paslanmaz çelik retainer telleri tanıtılmıştır. Bu teller kaninlerle birlikte tüm keser dişlerin lingual yüzeylerine yapıştırılmaktadır. Bu uygulamanın önerildiği durumlar arasında: Polidiastema düzeltimi, gömülü dişlerin sürdürülmesi, şiddetli rotasyonların düzeltimi, median diastema düzeltimi ve yüksek miktarda tork düzeltimi bulunmaktadır. Hala kullanımda olan bu tellerin elastikiyetleri oldukça yüksektir ve klinik kullanım öncesi modeller üzerinde diş yüzeylerine uyumlama yapmayı gerektirirler (Zachrisson, 1982). Çok sarımlı esnek spiral teller çeşitli kalınlık ve sarım sayılarına sahiptir. Tellerin sahip olduğu çok sarımlı yapının kullanılan rezin içerisinde tutuculuk sağladığı ve telin elastikiyetini arttırarak fizyolojik diş hareketlerine izin verdiği belirtilmiştir (Artun, 1984). Çok sarımlı tellerin, yalnızca kanin dişlere uygulanan rijit tellere göre kesici dişlerin çapraşıklığını önlemede daha başarılı olduğunu ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Störmann & Ehmer, 2002), (Artun, Spadafora, & Shapiro, 1997).

2.3.2.1.3. Dead Soft Teller

Bu tip tellerin üretimi esnasında metal çok yüksek sıcaklıklara çıkartılarak kristal yapısı yeniden düzenlenmektedir. Bu yöntem ile metalin iç gerilimleri azaltılıp daha yumuşak ve bükülebilir bir materyal elde edilir. Ardından metal yavaşça soğutularak bu özellikleri koruması sağlanır. Dead soft tellerin elastikiyetleri düşük; plastik deformasyonları yüksektir. Verilen şekli hemen alabildikleri için hasta başında kullanıma uygundur (Taner & Aksu, 2012), (Gunay & Oz, 2018).

2.3.2.1.4 Fiber Destekli Rezın Pekiştirme Apareyleri

Çelik tellere alternatif olarak fiberle güçlendirilmiş rezin retainer uygulamaları da önerilmiştir (Diamond, 1987). Ancak literatürde pekiştirme apareyinin kaybı ve olumsuz periodontal sonuçlar nedeniyle bu uygulamanın başarılı olmadığını belirten, çok sarımlı paslanmaz çelik tellerin daha doğru bir tercih olduğunu ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Tacken, ve diğerleri, 2010).

2.3.2.1.5. Memotain®

İlk kez 2012 yılında üretilen yeni bir sabit pekiştirme apareyidir. Köşeli nikel titanyumdan oluşturulan bu materyal her hastaya özel olarak bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak üretilmektedir. Nikel titanyum yaprakların hastanın lingual anatomisine uygun olarak kesilmesi ile son ürün elde edilmektedir. Diğer sabit pekiştirme apareyleri gibi aktif büküm noktaları içermemesi, farklı diş anatomilerine uyumlu olması ve uygulama kolaylığı avantajları arasındadır. En büyük dezavantajı yüksek maliyetli olmasıdır. Bu apareyin uzun dönem klinik başarısının değerlendirilmesi için çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Kravitz, Grauer, Schumacher, & Jo, 2017).

2.3.2.2. Sabit Pekiştirme Apareyelerinin Başarısızlıkları

Literatür incelendiğinde sabit pekiştirme apareyelerinin başarısızlık oranlarının çalışmalar arasında fark gösterdiği görülmektedir. Yalnızca kanin dişlere uygulanan düz paslanmaz çelik retainer tellerinin başarısızlıkları %13 ile %37,7 arasında

değişiklik göstermiştir (Kartal & Kaya, 2019), (Booth, Edelman, & Proffit, 2008), (Artun, Spadafora, & Shapiro, 1997). Çok sarımlı paslanmaz çelik tellerin başarısızlıkları %8,8 ile %46 arasında değişiklik göstermiştir (Kartal & Kaya, 2019), (Pandis, ve diğerleri, 2013). Fiber destekli rezin pekiştirme apareylerinin başarısızlıkları ise %11 ile %71 arasında bulunmuştur (Ardeshna, 2011), (Tacken, ve diğerleri, 2010). Yapılan bir kohort çalışmasına göre ilk iki yıl içerisinde başarısızlık göstermeyen retainer tellerinin uzun dönemde başarılı oldukları görülmüştür (Lie Sam Foek, Ozcan, Verkerke, Sandham, & Dijkstra, 2008).

2.3.2.2.1. Retainer Telinin Kırılması

Sabit pekiştirme apareylerinde görülen komplikasyonları oluşturan temel etkenlerden biridir. Retainer tellerinin üst çenede daha sık kırıldığı görülmüştür. Kullanılan tel kalınlığının düşük olması ve telin kullanım süresinin uzun olması kırılma olasılığını arttıran faktörlerdir (Lumsden, K. W., Saidler, G., & McColl, J. H., 1999). Retainer telinin kırılması dişlerin tedavi öncesi konumlarına dönmelerine sebep olabileceği gibi dişler üzerindeki kuvvetler etkisiyle yeni maloklüzyonlar oluşmasına da sebep olabilir (Shaughnessy, Proffit, & Samara, 2016), (Resim 1).



Resim 1: Retainer telini kırılması sonucu diş konumlarında meydana gelen değişim (Shaughnessy, Proffit, & Samara, 2016).

2.3.2.2.2. Retainer Telinin Deformasyonu

Retainer tellerinin uygulama esnasında dişlere pasif olarak temas ettiğinden emin olunmalıdır. Teller pasif olarak uygulanmadıkları takdirde dişlere aktif kuvvetler

uygulayarak maloklüzyonlara sebep olabilmektedir (Patcas & Pedroli, 2012), (Resim 2). Retainer tellerinde gerçekleşen 0,2 mm aktivasyonun 1 Newton ve üzeri kuvvetler oluşturabileceği gösterilmiştir (Sifakakis, ve diğerleri, 2011). Tellerin iki ucundan tutularak aynı kuvvet miktarı altında deforme edildiği bir çalışmada deformasyon miktarının tel tiplerine göre değişiklik gösterdiği görülmüştür (Atagün, 2021).

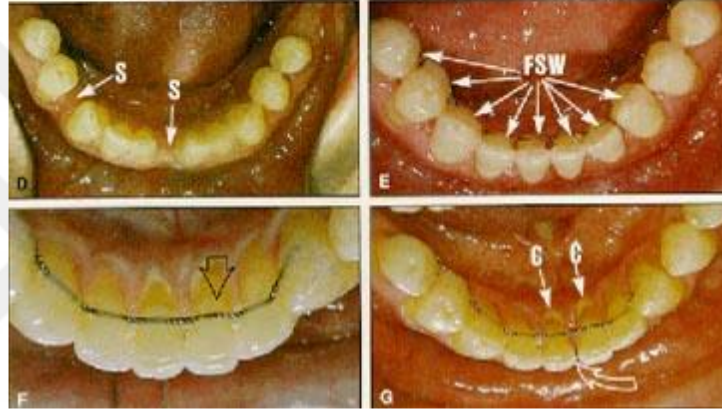


Resim 2: Aktif retainer teli sebebi ile keserlerde oluşan hareket (Patcas & Pedroli, 2012).

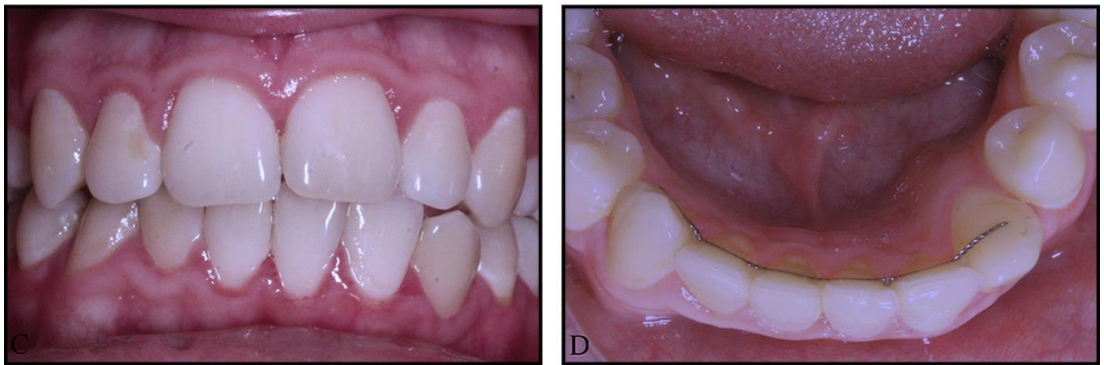
2.3.2.2.3. Adezyona Bağlı Komplikasyonlar

Bu tip komplikasyonlar kullanılan kompozitin mine yüzeyinden ayrılması veya kompozitin retainer telinden ayrılması sebebiyle gerçekleşebilmektedir. Bunlar içerisinde tel-kompozit arayüzünde meydana gelen ayrılmanın sık gerçekleşen önemli bir etken olduğu belirtilmiştir (Bearn, D.R., 1995). Sabit pekiştirme sistemi içinde en zayıf bağlanmanın retainer teli-kompozit arayüzünde gerçekleştiğini belirten çalışmalar da bunu desteklemektedir (Cooke & Sherriff, 2010), (Foek, Yetkiner, & Ozcan, 2013). Gerçekleşen ayrılma sebebiyle retainer teli kırılmasa bile, dişlerin tel üzerinde tedavi öncesi konumlarına doğru hareket ederek diastemaya sebep

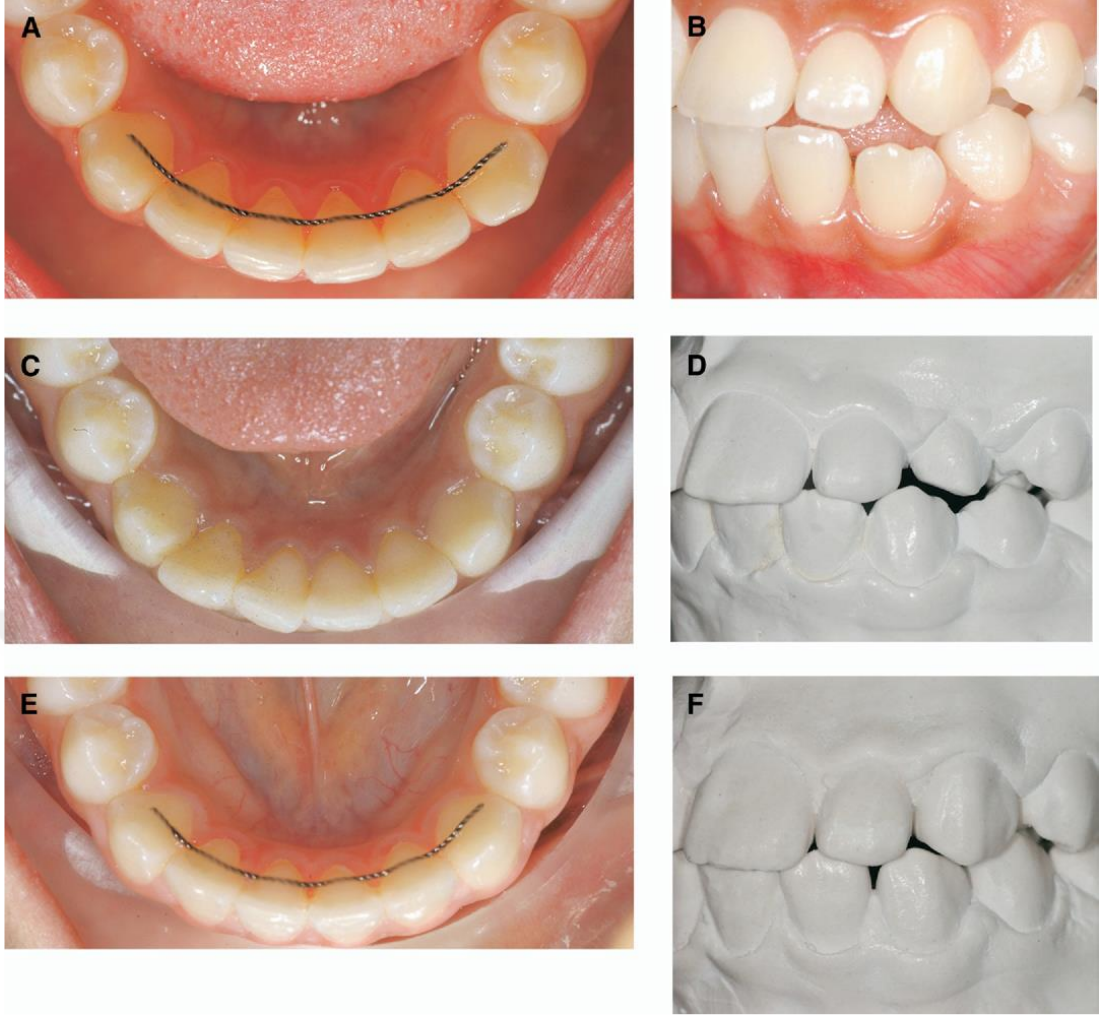
olabildikleri belirtilmiştir (Dahl & Zachrisson, 1991), (Resim 3). İlerleyen yıllarda tel-kompozit arayüzünde gerçekleşen bu ayrılma sonrasında görülen diş hareketlerinin sadece tedavi öncesi diş konumlarına relaps şeklinde olmadığı; dişleri daha önce hiç bulunmadıkları pozisyonlara taşıyacak şekilde gerçekleşebileceği de gösterilmiştir (Kučera & Marek, 2016) (Renkema, Renkema, Bronkhorst, & Katsaros, 2011). Bu komplikasyonlara örnek olarak interkanin bölgenin bir tarafının vestibüle diğer tarafının linguale devrilmesi sonucu görülen burulma etkisi (Resim 4), tek kanin dişin lingual veya bukkal inklinasyonu (Resim 5) ve komşu iki keserin birinin bukkal diğerinin lingual kök torku alması gösterilebilir (Resim 6).



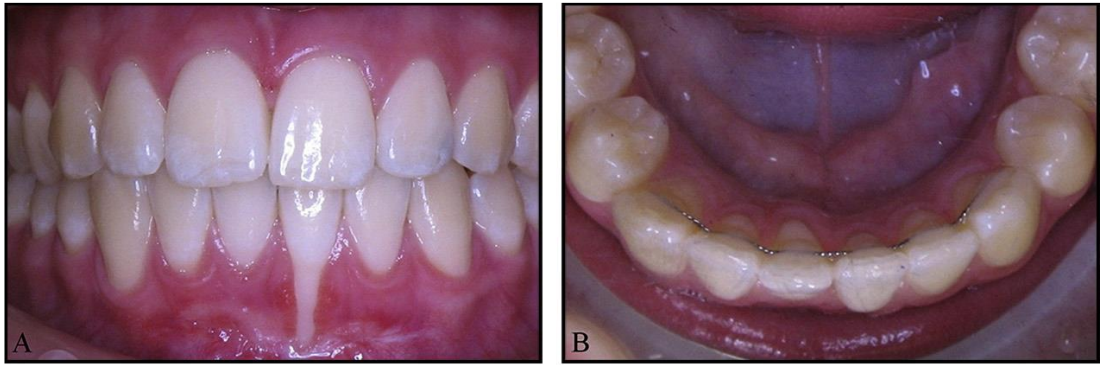
Resim 3: Retainer telinin bütünlüğü bozulmadığı halde telin kompozitten ayrılması sonucu dişler arasında oluşan diastema. (Dahl & Zachrisson, 1991).



Resim 4: Sağ interkanin bölgenin lingual, sol interkanin bölgenin vestibül inklinasyonu sonucu görülen burulma etkisi (Kučera & Marek, 2016).



Resim 5: Tedavi bitiminden 1 yıl sonra sol kaninde görülen bukkal inklınasyon. A ve B, tedaviden 1 yıl sonrası; C ve D, tedavi öncesi; E ve F, tedavi bitimi. (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007)



Resim 6: Komşu iki keserin ters yönlü tork alması. (Kučera & Marek, 2016)

2.3.2.3. Sabit Pekiştirme Apareylerinin Periodontal Etkileri

Sabit pekiştirme apareylerinin ağız ortamında uzun süre bulundurulmaları periodontal sorunlar açısından yıllarca merak konusu olmuş ve araştırılmıştır ancak bu konuda net bir cevap ortaya konulamamıştır. Sabit pekiştirme apareylerinin ağız hijyenini sağlamayı zorlaştırdığını, plak ve diş taşı oluşumunu arttırdığını belirten çalışmalar bulunmaktadır (Butler & Dowling, 2005). Bu apareylerin sondalamada kanama, cep derinliğinde artış ve diş eti çekilmesine sebep olabileceğini belirten çalışmalar da mevcuttur (Pandis, Vlahopoulos, Madianos, & Eliades, 2007), (Levin, Samorodnitzky-Naveh, & Machtei, 2008). Bu bulguların aksine sabit pekiştirme apareylerinin uzun dönem kullanımlarının periodontal sağlığı olumsuz etkilemediğini belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Booth, Edelman, & Proffit, 2008), (Heier, E. E., De Smit, A. A., Wijgaerts, I. A., & Adriaens, P. A., 1997), (Kaji, Sekino, Ito, & Numabe, 2013). Ağızda pekiştirme apareyi bulunan ve bulunmayan hastaların dişeti oluşu sıvısındaki biyobelirteçleri karşılaştıran bir çalışmada pekiştirme apareyi kullanılan hastalarda enflamatuvar biyobelirteçlerin daha fazla bulunduğu fakat bu farkın klinik olarak önem taşımadığı belirtilmiştir (Rody, ve diğerleri, 2011).

2.3.2.4. Klinisyenlerin Pekiştirme Apareyi Tercihleri

Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan ortodontistler arasında 2011 yılında yürütülen bir anket çalışmasına göre üst çenede en sık kullanılan aparey %47 ile Hawley apareyi olurken, ikinci olarak %41 ile vakumla şekillendirilmiş apareyler gelmiştir. Sabit pekiştirme apareylerinin üst çenede kullanımı %11 de kalmıştır. Alt çenede ise en sık kullanılan aparey %42 ile sabit pekiştirme apareyleri olurken bu oranı Hawley ve vakumla şekillendirilmiş apareyler %29 ile eşit olarak izlemiştir (Pratt, Kluemper, Hartsfield, Fardo, & Nash, 2011). 2018 yılında Hollandada yapılan bir çalışmaya göre üst çenede en sık tercih edilen pekiştirme uygulaması %53.6 ile sabit ve hareketli apareylerin kombine kullanımı olmuştur. Alt çenede ise en sık tercih edilen uygulama %82.6 ile sabit pekiştirme apareylerinin tek başına kullanımı olmuştur (Padmos, Fudalej, & Renkema, 2018). 2022 yılında İskandinav ülkelerinde yapılan bir çalışmaya göre üst çenede sabit ve hareketli apareylerin kombine kullanımı; alt çenede ise sadece sabit pekiştirme apareyi kullanımı Norveç (%66) ve Danimarka (%79) için en çok tercih edilen uygulama olmuştur. İsveçte ise en sık tercih edilen uygulama %49 ile üst

çenede yalnızca hareketli aparey kullanımı, alt çenede sadece sabit aparey kullanımı olmuştur (Hamran, Ćirgić, Aiyar, & Vandevska-Radunovic, 2022).

2.4. Bilgisayar Destekli Tasarım

Tasarımların oluşturulma, analiz ve optimizasyon basamaklarının üst seviyede gerçekleştirilmesine yarayan bilgisayar destekli tasarım teknolojisi 1960'ların başında bulunmuştur. İlk örnekleri yalnızca otomotiv ve havacılık sektörü için kullanılmakta olup büyük ve özelleşmiş bilgisayarlar gerektirmekteydi. Günümüzde ise bilgisayar sahibi olan herkesin erişim sağlayabileceği kadar yaygınlaşmıştır ve mühendislik, tıp, diş hekimliği vb. birçok alanda kullanım göstermektedir (Wu, Rosen, Wang, & Schaefer, 2015).

2.5. Üç Boyutlu Baskı

Bilgisayar destekli tasarım kullanılarak oluşturulan dijital objelerin üç boyutlu katı bir nesne haline dönüştürülmesi işlemine üç boyutlu baskı denilmektedir. Objelerin üç boyutlu baskı teknikleri ile üretilmesine eklemeli imalat da denilmektedir. Bu teknikte, ardışık materyal katmanlarının farklı şekillerde yerleştirildiği bir ekleme işlemi kullanılır. Bu işlem, materyalin kesme veya delme gibi yöntemlerle eksiltilmesine dayanan geleneksel işleme tekniklerinden oldukça farklıdır (Górski, ve diğerleri, 2010).

2.5.1. Eriyik Yığıma Modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM)

Üç boyutlu baskı tekniklerinden biridir. Bu teknikte üç ekseninde hareket eden bir ekstrüzyon başlığı, erimiş haldeki materyali sıkıştırarak dışarı doğru itmektedir. (Maidin, 2011). Başlıktan erimiş halde çıkan malzeme, ortam sıcaklığında soğur ve sertleşir. Maliyetinin düşük olması, üretimin kısa sürmesi, malzeme artığı kalmaması avantajları iken; yüzey kalitesinin diğer tekniklere göre daha düşük olması dezavantajdır. (Górski, Kuczko, & Wichniarek, 2013)

2.5.2. Stereolitografi (SLA)

SLA yönteminde fotopolimerizasyon tekniği kullanılmaktadır. Ultraviyole lazer, sıvı reğine ve kompozit malzemeleri katmanlar halinde polimerize ederek istenilen objeyi oluşturur. Baskının doğruluğu, şekil sınırlaması olmaması, oluşturulan modelin mekanik özelliklerinin ve yüzey kalitesinin yüksek olması avantajları arasındadır. Maliyetinin fazla olması ve lazer gibi gelişmiş teknolojilerin hassas olması dezavantajlarındandır (Chockalingam, Jawahar, Chandrasekar, & Ramanathan, 2008).

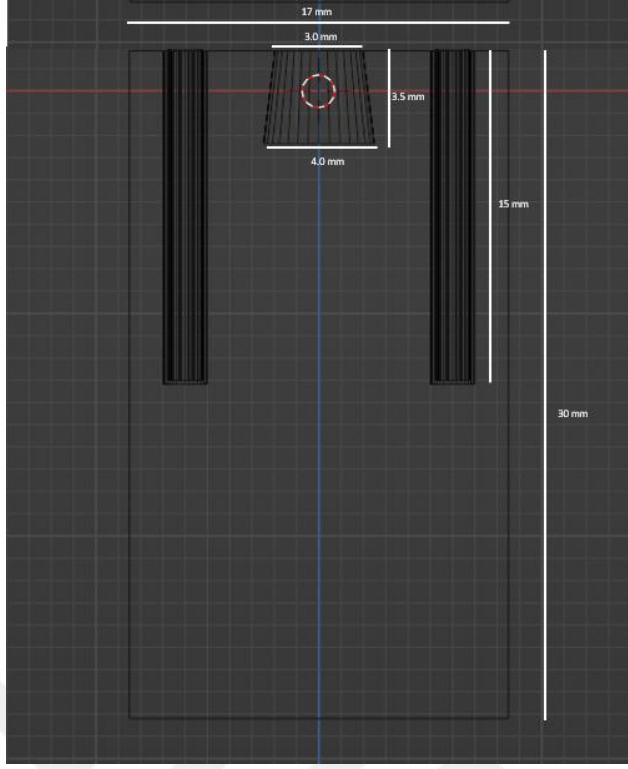


3. Gereç ve Yöntem

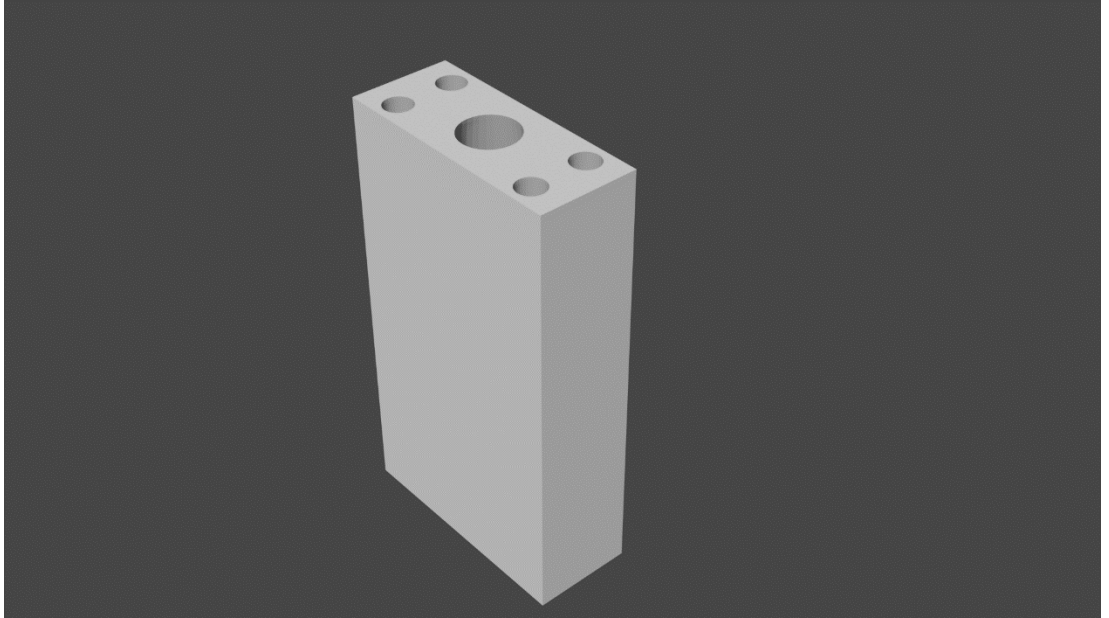
Çalışmamızda retainer tellerinin kompozit içerisinde yer aldığı bir düzenek tasarlanmıştır. Bu düzende örnekler, tellerin bir ucu kompozit içerisinde gömülü iken diğer ucu açıkta bırakılacak şekilde oluşturulmuştur. Bu tasarımın amacı, retainer tellerini universal test cihazında açıkta bırakılan uçlarından tutarak, teller kompozit içerisinde ayrılana kadar dik eksenlerinde çekme testi uygulamaktır. Retainer telleri ile kompozit arayüzünde gerçekleşen ilk ayrılma kuvveti, ilk ayrılmanın gerçekleştiği çekme mesafesi ve telin kompozit içerisinde tamamen çıktığı çekme mesafesi ölçümleri kaydedilmiş ve gruplar arası farklar değerlendirilmiştir.

3.1. Test Düzeneginin Tasarlanması

Çalışma gruplarını oluşturan retainer tellerinin ve kompozitin çekme testinde yer almaları için bir kaideye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple deney düzenegi için test blokları oluşturulmuştur. Blokların tasarımı için bilgisayar destekli tasarım programı olan Blender (Stichting Blender Foundation®, Amsterdam, Hollanda) kullanılmıştır. Kaide olarak kullanılacak olan alt blok, 30 mm yüksekliğinde; 7 mm boyunda ve 17 mm genişliğinde oluşturulmuştur. Bu bloğun merkezinde, içerisinde kompozitin yer alacağı, yüzeyde 3 mm, tabanda 4 mm çapa sahip olan 3,5 mm derinliğinde bir delik tasarlanmıştır (Resim 7 ve 8).

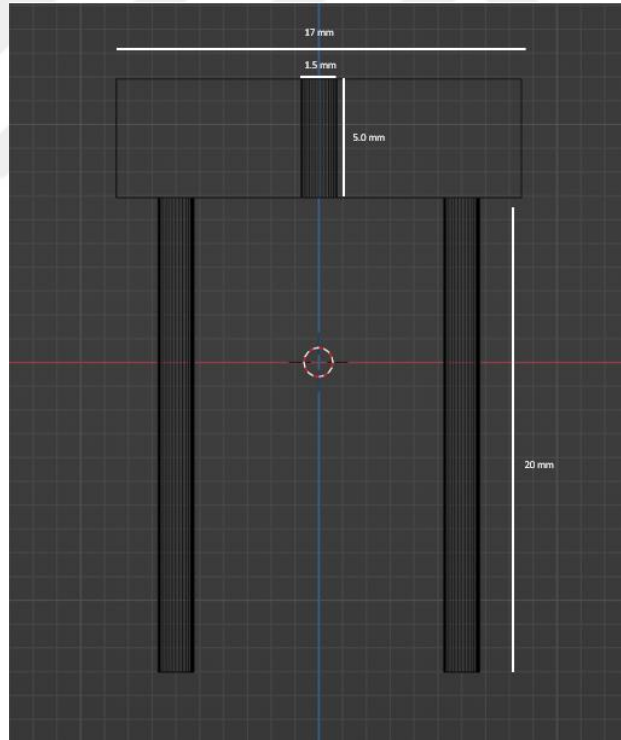


Resim 7: Çekme testi esnasında kaide olarak kullanılan alt bloğun tasarımı

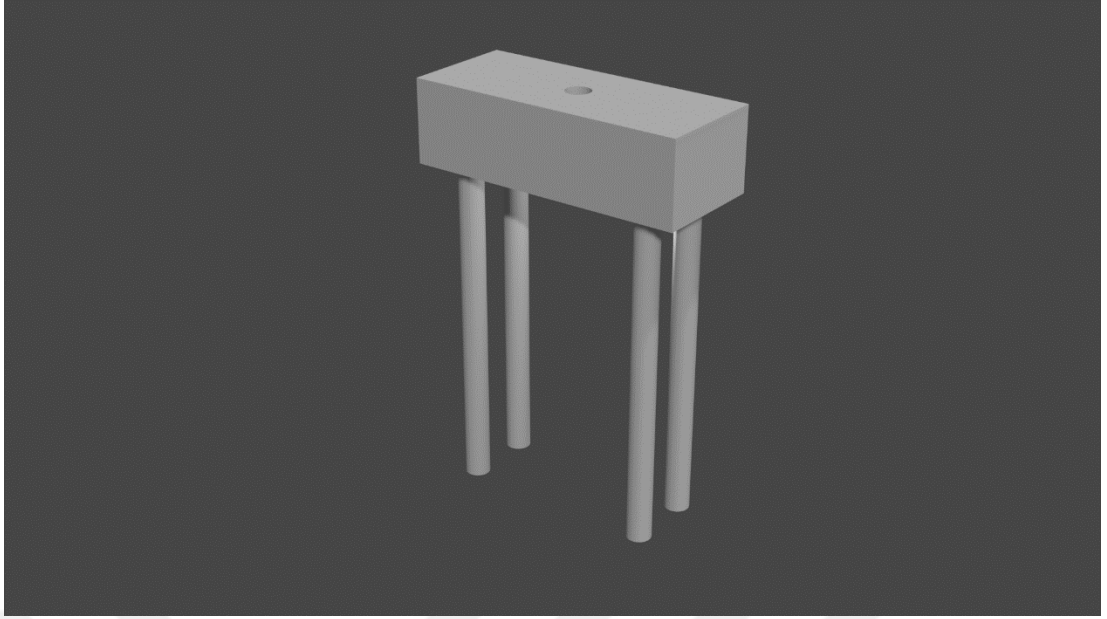


Resim 8: Kaide bloğunun üç boyutlu görüntüsü

Bu deliğin boyutları ağız içerisinde retainer telinin çevresinde bulunan kompozit miktarını temsil etmektedir. Deliğin yüzeyde ve tabanda farklı çaplara sahip olmasının sebebi telin dik ekseninde gerçekleşen çekme testi esnasında retainer telinin kompozit içerisinden ayrılırken, kompozitin kaide bloğundan ayrılmasının istenmemesidir. Bu blokta aynı zamanda üstte yer alacak olan rehber bloğun ayaklarının oturabilmesi için 15 mm derinliğinde dört adet delik bulunmaktadır. Retainer telini, içerisinde kompozit bulunan deliğin tam merkezinde konumlayabilmek için ve telin kompozite giriş aksının dik olduğundan emin olmak için bir rehber blok tasarlanmıştır. 5 mm yüksekliğinde; 7 mm boyunda ve 17 mm genişliğinde olan rehber bloğun merkezinde, retainer telinin içinden geçeceği 1,5 mm çapında bloğu boydan boya geçen bir delik tasarlanmıştır. Bu bloğun altında 20 mm yüksekliğinde dört adet çıkıntı bulunmaktadır. Bu çıkıntılar altta bulunan bloktaki deliklere geçmek için tasarlanmıştır (Resim 9 ve 10).

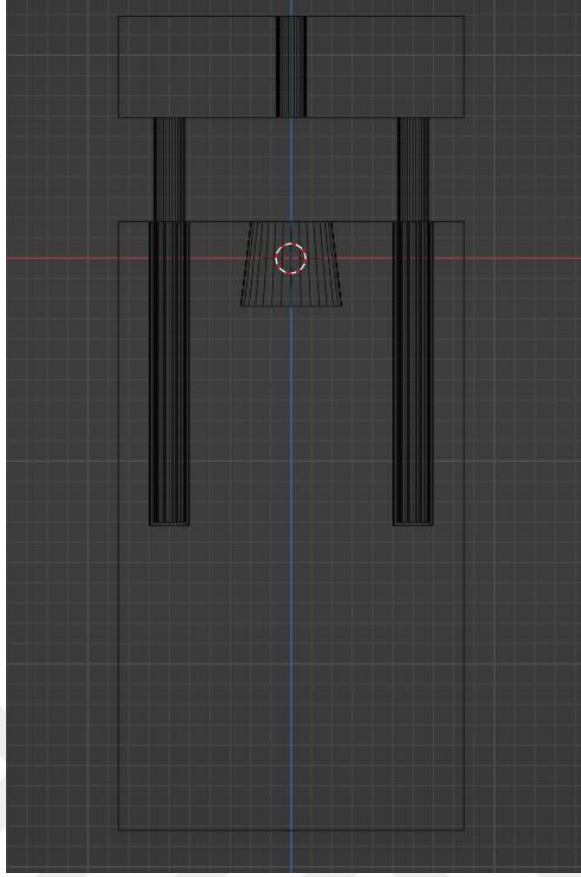


Resim 9: Retainer telini konumlamak için kullanılan rehber bloğun tasarımı

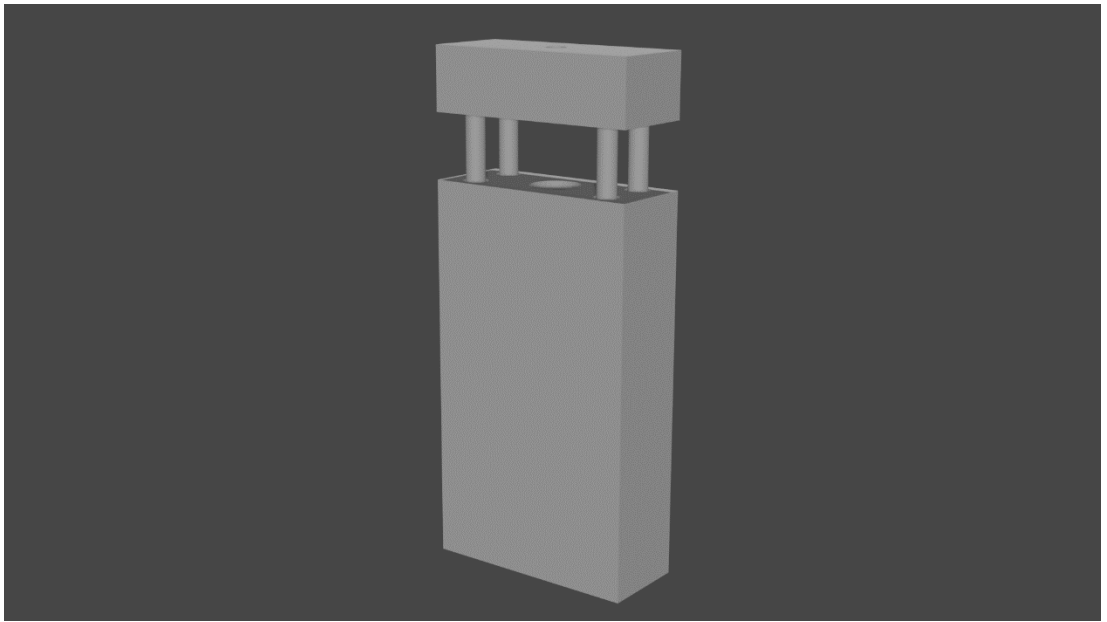


Resim 10: Rehber bloğun üç boyutlu görüntüsü

Üst blok ve alt bloğun iç içe geçirilmesi sonucunda rehber blokta yer alan 1,5 mm çapındaki delik, alt bloktaki 3 mm çapındaki delikle merkezleri çakışacak şekilde üst üste gelmektedir (Resim 11 ve 12).



Resim 11: Alt blok ve rehber bloğun iç içe geçirildiğinde merkezleri çakışacak şekilde tasarlanması



Resim 12: Alt blok ve rehber bloğun iç içe geçirilmiş üç boyutlu görüntüsü

3.2. Kullanılan Retainer Telleri

Çalışmamızda üç farklı retainer teli kullanılmıştır. Bu tellerin ilki olan Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products®, Itasca, IL, ABD) 0,027 x 0,011 inç boyutlarında olup, sekiz adet telin birbiri üzerine sarılması ile oluşan paslanmaz çelik köşeli bir teldir. Üretimi esnasında ısı işlem gören bu tel dead soft özellik göstermektedir. Bu sebeple çok kolay plastik deformasyona uğramaktadır ve elastikiyeti düşüktür. Bu özellikleri ile klinikte hasta başında uygulamaya uygundur (Resim 13).



Resim 13: Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products®, Itasca, IL, ABD)

Kullanılan ikinci tel Co-Ax Six Strand (American Orthodontics®, Sheboygan, WI, ABD) 0,0195 inç çapında, tek bir telin çevresinde 5 adet telin bulunduğu koaksiyel yapıda çok sarımlı paslanmaz çelik bir teldir. Esnek spiral tel (FSW) yapısında olan bu telin elastikiyeti yüksektir ve teli plastik deformasyona uğratmak güçtür. Bu sebeple klinik uygulamadan önce model üzerinde diş yüzeylerine uyumlanması şarttır (Resim 14).



Resim 14: Co-Ax Six Strand (American Orthodontics®, Sheboygan, WI, ABD)

Kullanılan üçüncü tel Twist Three Strand (American Orthodontics®, Sheboygan, WI, ABD), 0,0195 inç çapında olan 3 sarımlı paslanmaz çelik bir teldir. Bu tel de esnek spiral tel (FSW) yapısındadır ve elastik özellik göstermektedir. Klinik kullanımını öncesi model üzerinde hazırlık aşaması gerektirir (Resim 15).



Resim 15: Twist Three Strand (American Orthodontics®, Sheboygan, WI, ABD)

3.3. Kullanılan Kompozit Rezın

Tüm örnekler için kullanılan kompozit Transbond LR (3M Unitek®, Monrovia, CA, ABD) olarak seçilmiştir. Spesifik olarak retainer telleri ile uygulanmak için geliştirilmiş olan bu kompozitin içeriğinde, silanla işlenmiş kuvars; BISGMA; TEGDMA; silanla işlenmiş silika ve N,N-Dimetilbenzokain bulunmaktadır (Resim 16).

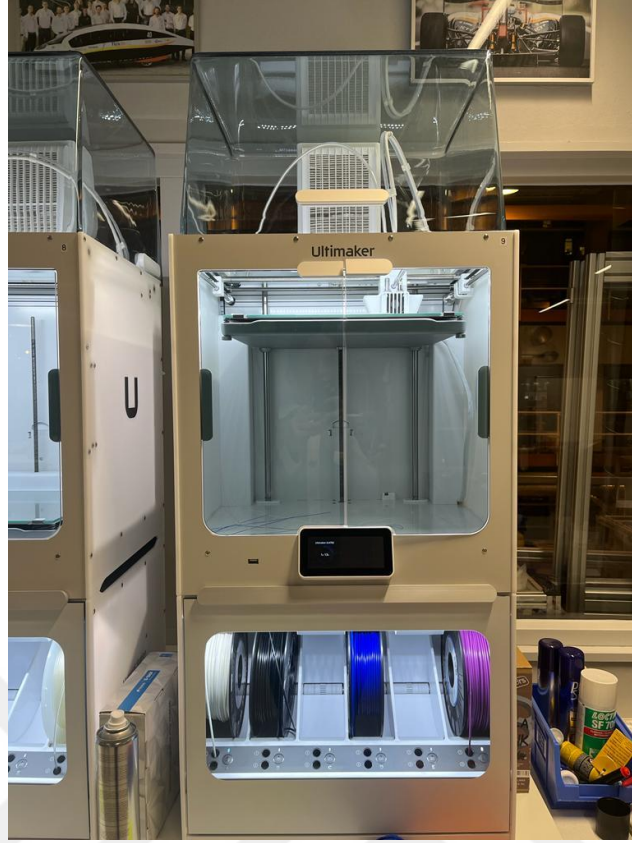


Resim 16: Transbond LR kompozit (3M Unitek®, Monrovia, CA, ABD)

3.4. Örneklerin Hazırlanması

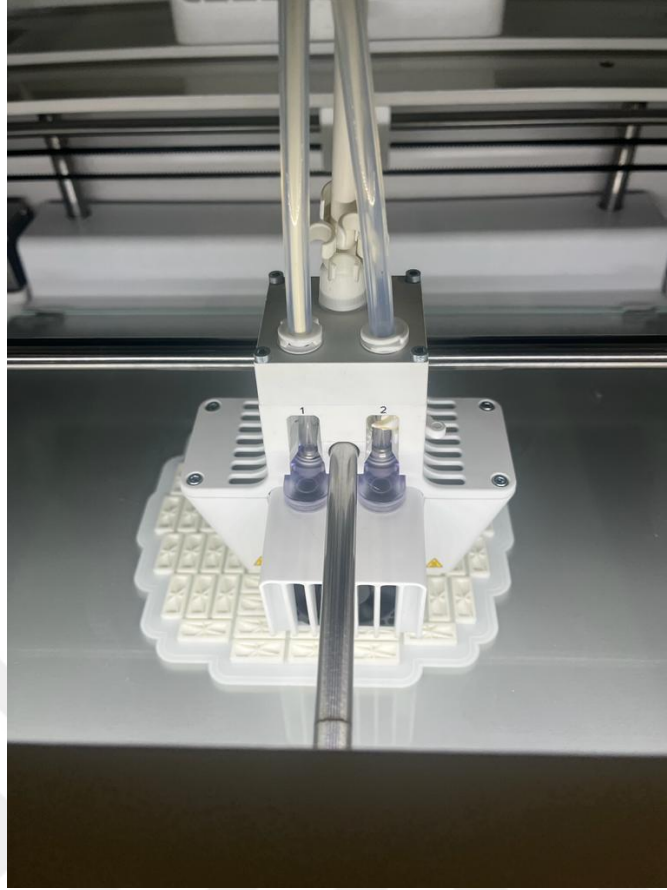
Kuvvet ölçümü için 3 farklı materyal ortalamaları arasında anlamlı fark bulabilmek için tek yönlü varyans analizi altında, $\alpha=0,05$, büyük etki büyüklüğü $f=0,40$ ve %80 güç alınarak minimum gereken örneklem büyüklüğü her grupta 22 olmak üzere toplam 66 olarak hesaplanmıştır. Çalışmaya 72 örnek dahil edilmiştir.

Çekme testinde kullanılmak üzere tasarlanan blokların üretimi Eindhoven Teknik Üniversitesi Üç Boyutlu Baskı Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bloklardan kompozit ve retainer telini barındıracak olan alt blok, üç boyutlu yazıcıda (S5 Pro Bundle, Ultimaker®, Utrecht, Hollanda) eriyik yığıma modelleme [Fused deposition modeling (FDM)] yöntemi ile polilaktik asit (PLA) materyali kullanılarak bastırılmıştır (Resim 17).



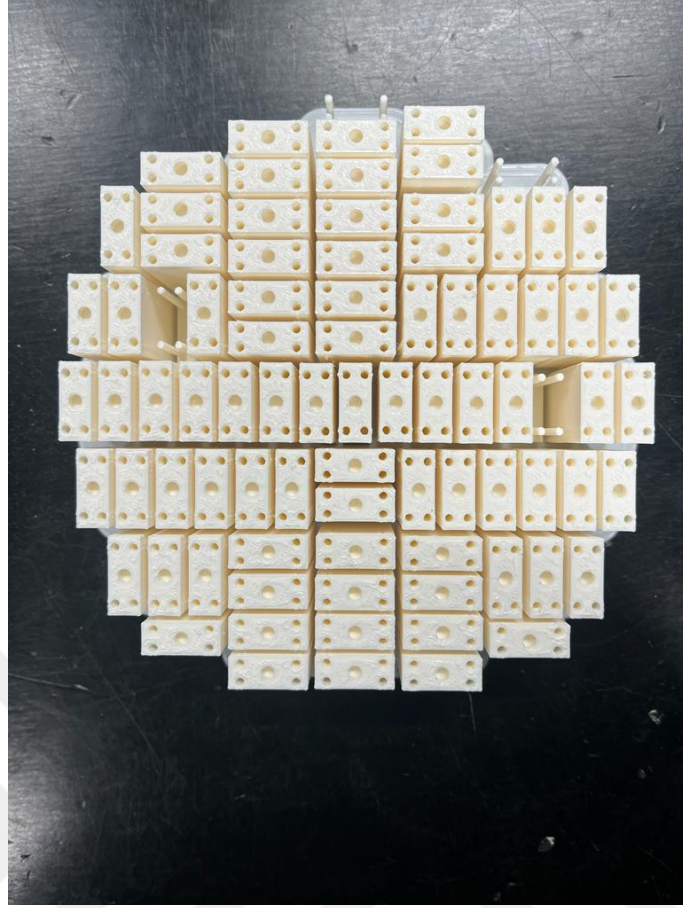
Resim 17: Üç boyutlu yazıcı S5 Pro Bundle (Ultimaker®, Utrecht, Hollanda)

Bu yöntemde termoplastik filamenler yazıcının ısıtılmış ucundan eriyerek çıkmıştır ve test bloğunu istenilen şekilde katmanlar halinde oluşturmuştur (Resim 18).



Resim 18: FDM yöntemi ile kaide bloklarının üretimi

Baskı sonrasında ek bir işleme gerek kalmamıştır ve modeller kullanıma hazır halde üç boyutlu yazıcıdan çıkarılmıştır (Resim 19). Olası kayıpları telafi edebilmek için bastırılan örnek sayısı 90 olarak belirlenmiştir.



Resim 19: Üç boyutlu yazıcıda üretimi tamamlanan kaide blokları

Örnekler hazırlanırken alt bloğun üzerinde yer alması planlanan rehber blok, stereolitografi (SLA) yöntemi ile üç boyutlu yazıcı (Form 3B+, Formlabs®, Somerville, MA, ABD) kullanılarak bastırılmıştır. (Resim 20).



Resim 20: Üç boyutlu yazıcı Form 3B+ (Formlabs®, Somerville, MA, ABD)

Bu yöntemde sıvı rezinin ışıqla polimerize edilmesi ile baskının ilk safhasını tamamlayan bloklar, baskı cihazından alınarak yüzeyde kalan polimerize edilmemiş artık sıvı rezinin uzaklaştırılması için izopropil alkol banyosuna (Form Wash, Formlabs®, Somerville, MA, ABD) konulmuştur. (Resim 21 ve 22).



Resim 21: İzopropil alkol banyosu Form Wash (Formlabs®, Somerville, MA, ABD)



Resim 22: Polimerize edilmemiş artık resinin uzaklaştırılması

Bu aşamayı tamamlayan bloklar, mekanik özelliklerini daha iyi hale getirmek için kürtleme ünitesinde (Form Cure, Formlabs®, Somerville, MA, ABD) ek sertleştirme işlemine tabi tutulmuştur (Resim 23).

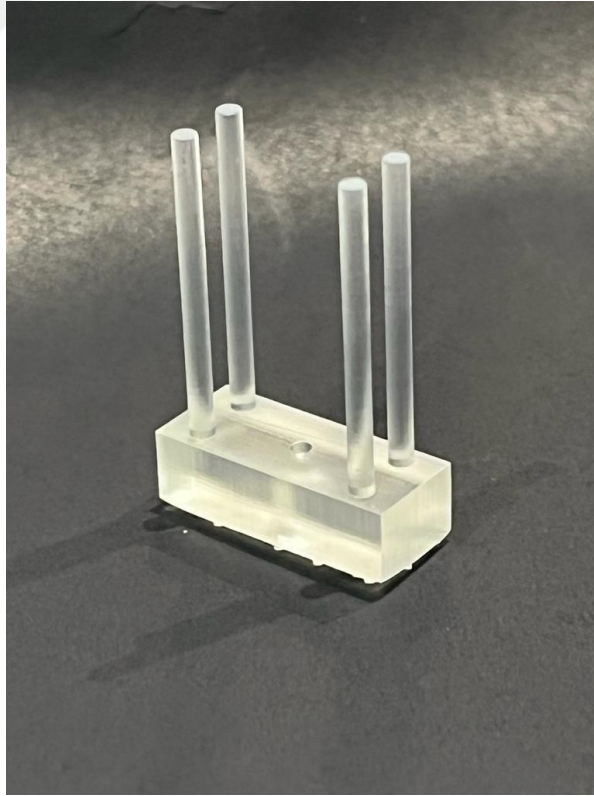


Resim 23: Blokların mekanik özelliklerini iyileştirmek için gerçekleştirilen kürtleme işlemi (Form Cure, Formlabs®, Somerville, MA, ABD)

Tek bir rehber bloğun bütün örneklerin hazırlanmasında kullanılabilecek olmasına rağmen olası bir kaybı telafi edebilmek için 10 adet rehber blok bastırılmıştır (Resim 24). Rehber bloklar dayanak noktalarından ayrılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir (Resim 25).

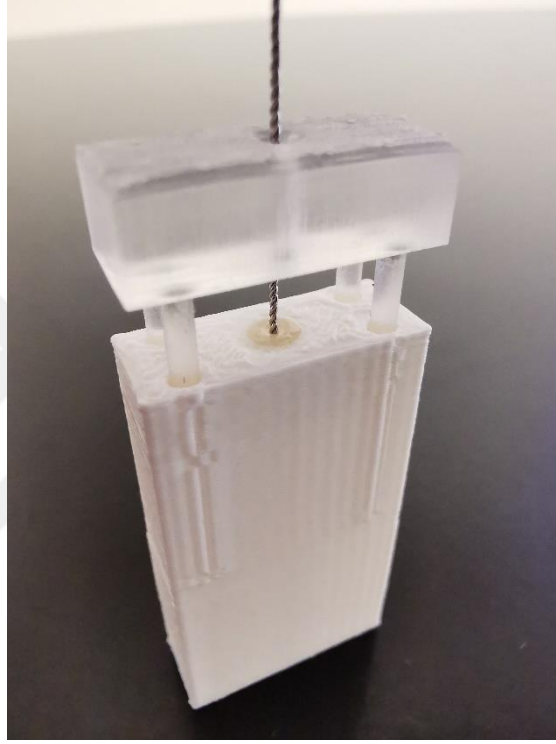


Resim 24: Basımı tamamlanan rehber bloklar



Resim 25: Dayanak noktalarından ayrılarak kullanıma hazır hale getirilen rehber blok

Örneklerin hazırlanmasında ilk safhada alt blokta bulunan delik içerisine Transbond LR kompozit, kendi tabancası kullanılarak uygulanmıştır. Kuru bir bond fırçası ile kompozitin delikten taşmaması sağlanmıştır. Ardından rehber bloktaki çıkıntılar alt bloktaki karşıt deliklere yerleştirilmiş ve test edilecek retainer teli rehber bloktaki 1,5 mm çapındaki delikten geçirilerek alt bloktaki kompozit içerisine gömülmüştür (Resim 26).



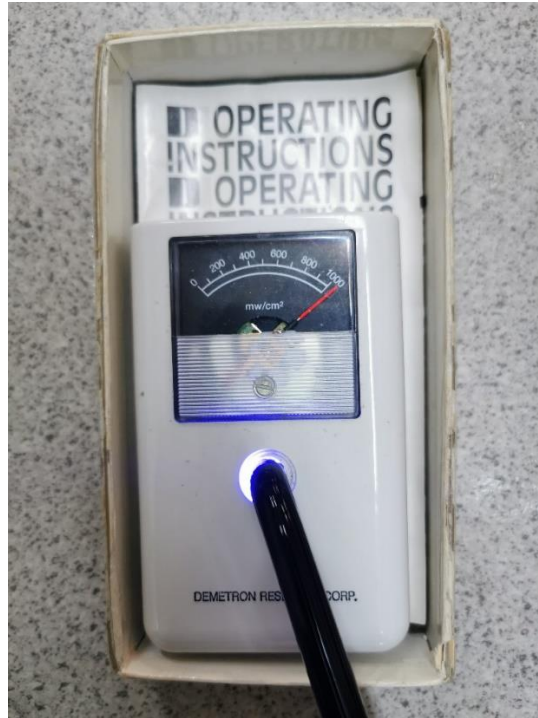
Resim 26: Rehber bloğun ayaklarının kaide bloğunda yer alan uygun deliklere geçirilmesi sonrasında retainer telinin planlanan biçimde kompozit içerisine yerleştirilmesi

Kompozit, ışık cihazı (Elipar DeepCure-L, 3M Unitek®, Monrovia, CA, ABD) (Resim 27) kullanılarak her iki yönden 30 saniye polimerize edilmiştir.



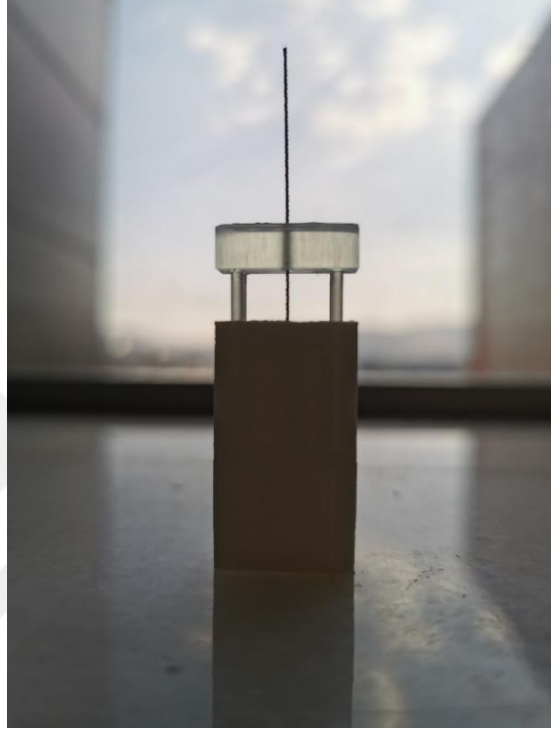
Resim 27: Kullanılan ışık cihazı (Elipar DeepCure-L, 3M Unitek®, Monrovia, CA, ABD)

Işık cihazının 1000 mW/cm^2 güç uyguladığı radyometre cihazı ile (Demetron, Kerr Corporation®, Brea, CA, ABD) kontrol edilmiştir (Resim 28).

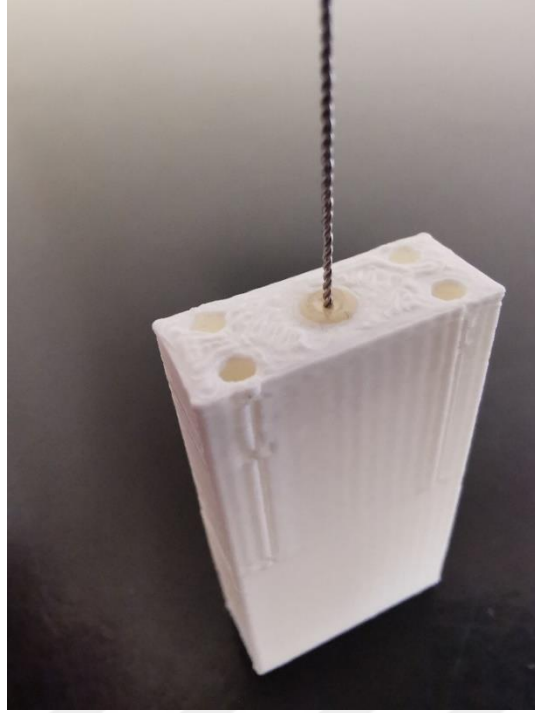


Resim 28: Işık cihazının güç kontrolü için kullanılan radyometre cihazı (Demetron, Kerr Corporation®, Brea, CA, ABD)

Kompozit polimerize edildikten sonra üstte yer alan rehber blok çıkarılmıştır. Bu uygulama ile retainer teli dik bir şekilde yerleştirilebilmiştir telin çevresinde her yönden en az 1 mm kompozit bulunması sağlanmıştır (Resim 29 ve 30).

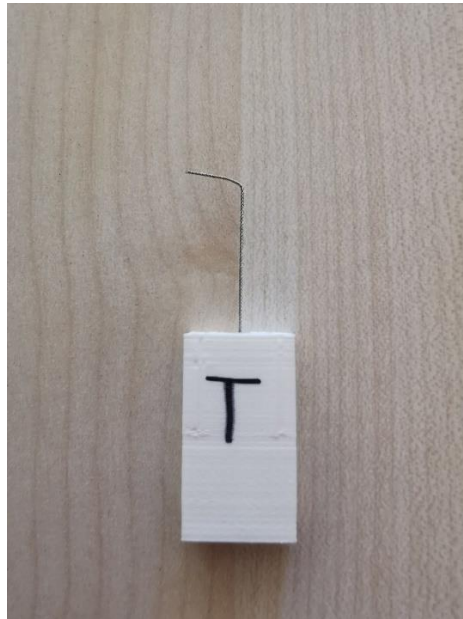


Resim 29: Rehber blok yardımı ile yerleştirilen retainer teli dik konumlanabilmiştir



Resim 30: Işınlamanın ardından rehber blok çıkarılmıştır. Bu uygulama ile retainer teli dik yerleştirilebilmiştir ve çevresinde her yönden en az 1 mm kompozit bulunması sağlanmıştır

Retainer tellerinin serbest sonlanan uçlarına çekme testi esnasında tutuculuğu arttırmak için doksan derecelik büküm verilmiştir (Resim 31).



Resim 31: Retainer tellerinin serbest sonlanan uçlarına verilen büküm

Hazırlanan örnekler kompozitte meydana gelebilecek boyut değişikliklerini standardize etmek için 37°C derece ayarlı etüv içerisindeki distile suda 24 saat bekletilmiştir (Resim 32).



Resim 32: 37°C derece ayarlı etüv (Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı)

3.5. Çekme Testi

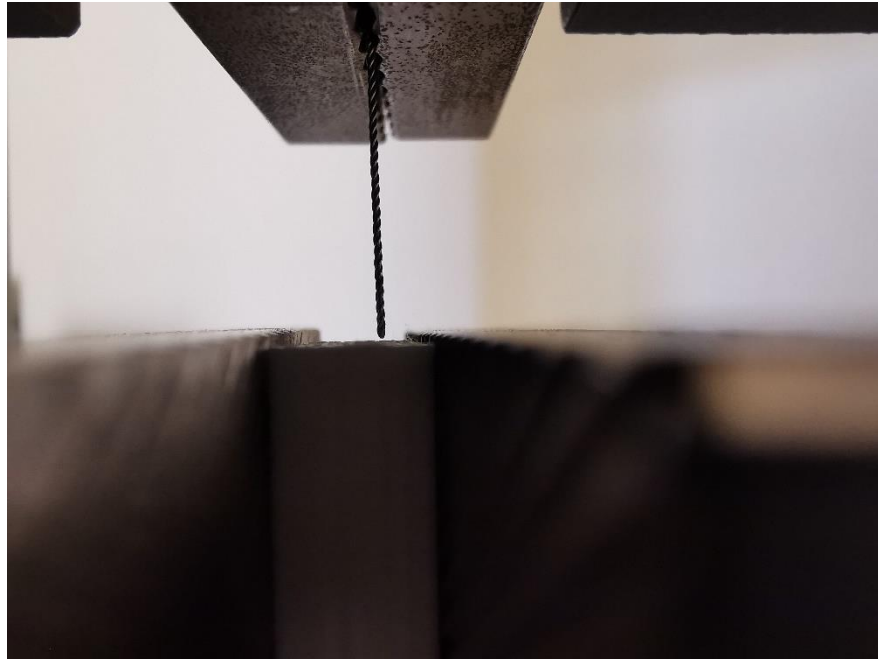
Çekme testleri Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekler, üniversal test cihazının (Autograph AGS-J, Shimadzu®, Kyoto, Japonya) alt tutucu klempleri kaide bloğunu; üst tutucu klempleri test edilecek retainer telini tutacak şekilde cihaza yerleştirilmiştir (Resim 33 ve 34). Çekme hızı 1mm/dk olarak ayarlanmıştır. Çekme testi, retainer tellerinin kompozit içerisinde gömülü bulunan kısımları tamamen kompozitin dışına çıktığında sonlandırılmıştır. (Resim 35).



Resim 33: Üniversal test cihazı (Autograph AGS-J, Shimadzu®, Kyoto, Japonya)



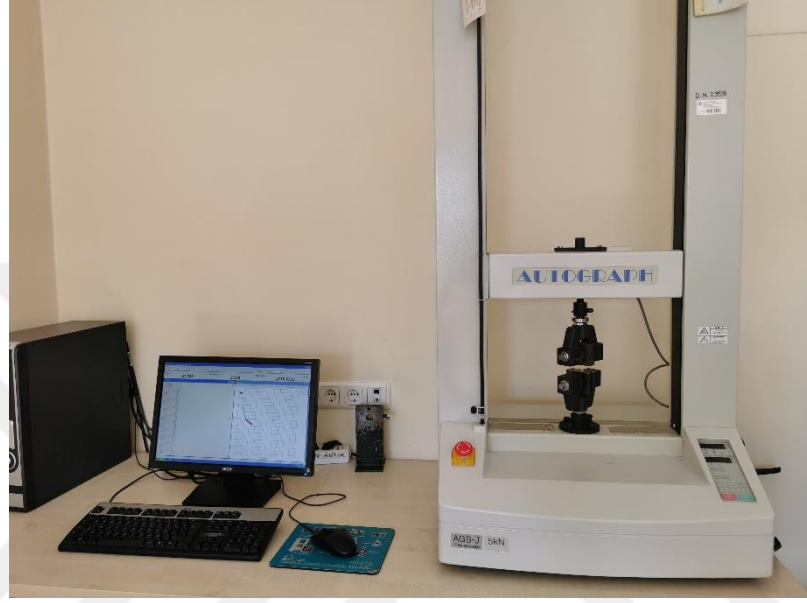
Resim 34: Üniversal test cihazının tutucu uçları arasına yerleştirilmiş bir örnek



Resim 35: Testi tamamlamış bir örnek

3.6. Grafiklerin Oluşturulması

Universal test cihazı ile bağlantılı olan bilgisayar programında (Trapezium, Shimadzu®, Kyoto, Japonya) çekme testi ile eş zamanlı olarak her örnek için kuvvet-hareket grafiği oluşturulmuştur (Resim 36).



Resim 36: Test esnasında grafiklerin oluşturulması

3.7. İstatistiksel Değerlendirme

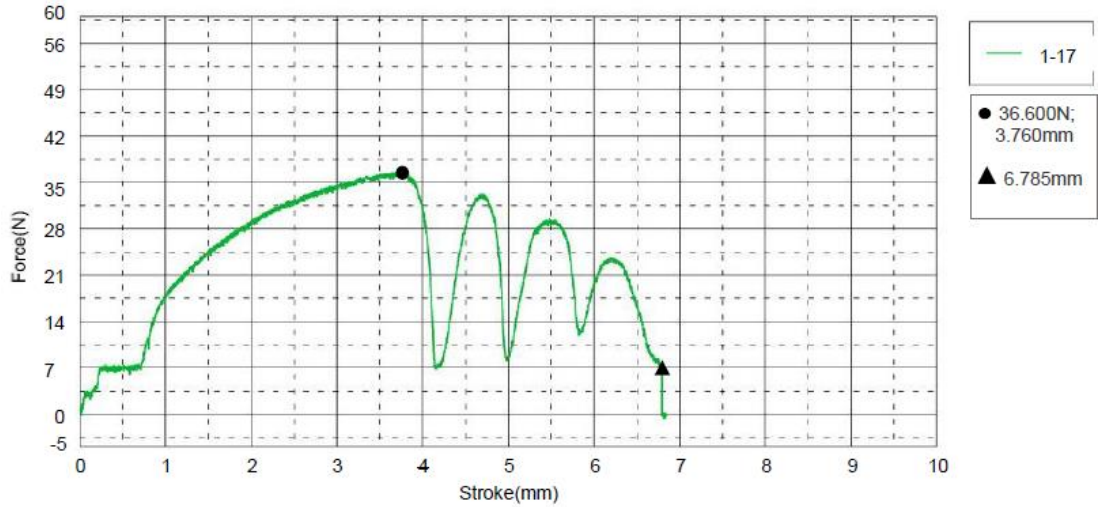
Çalışmada elde edilen verilerin istatistik hesapları Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada nümerik veriler ortalama, standart sapma (SS), medyan, birinci kartil (Q1), ikinci kartil (Q2) değerleri kullanılarak özetlenmiştir. Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi 0,05 olarak belirlenmiş ve R yazılımı (R software, version 4.0.5, R Foundation for Statistical Computing®, Viyana, Avusturya) kullanılmıştır. Nicel değişkenlerde normallik varsayımı karşılaştırma yapılacak gruplarda ayrı ayrı Shapiro-Wilk testi ile kontrol edilmiştir. Shapiro Wilk testi sonucuna uygun olarak gruplar arasında yapılan karşılaştırmalarda varyans analizi (ANOVA) veya Kruskal Wallis testi kullanılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan Kruskal Wallis testi sonrasında, gruplar Dunn testi ile ikişerli olarak karşılaştırılmış sonuçlar Bonferroni düzeltmeli verilmiştir. ANOVA

sonrasında da ikili grup karşılaştırmaları Bonferroni düzeltmesi uygulanarak verilmiştir. Her grup için F_{max} , F_{maxmm} , End_{mm} ölçümleri arasındaki doğrusal ilişki Spearman Korelasyon Testi ile incelenmiştir.

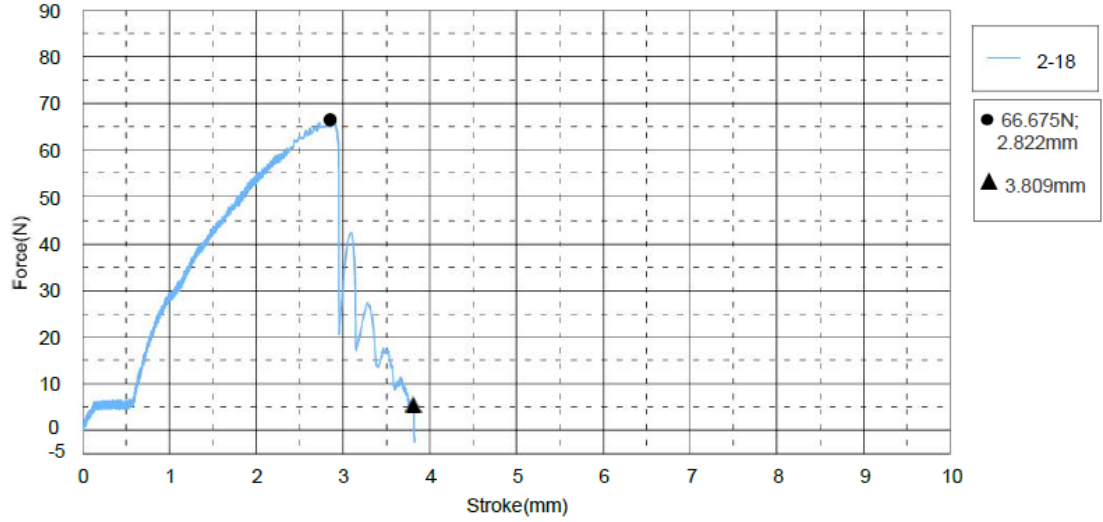


4. Bulgular

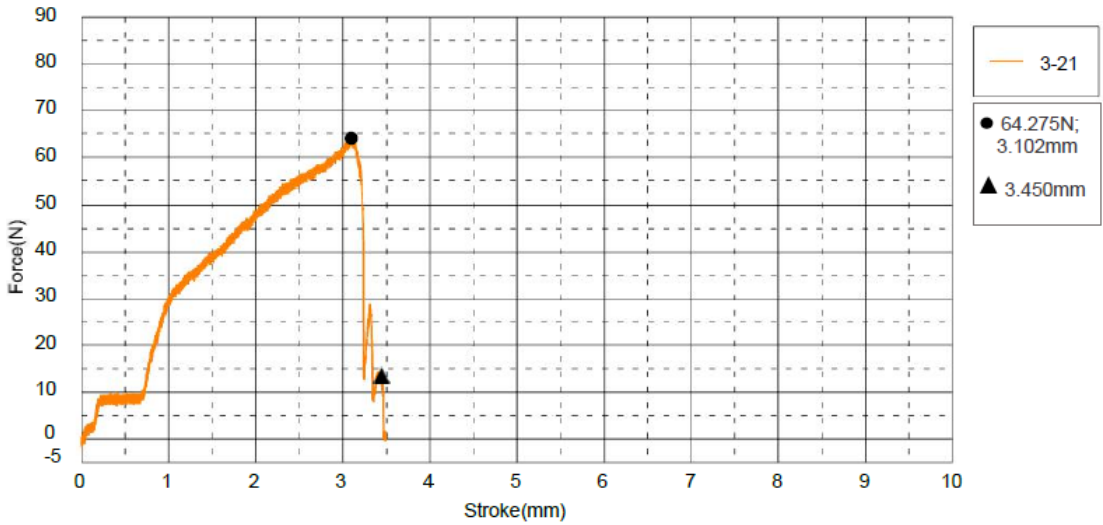
Her gruptan 24 örneğin dahil edildiği çalışmada toplam 72 örnek çekme testine tabi tutulmuştur. Ölçümler, her örnek için çekme testi esnasında oluşturulan kuvvet-hareket grafikleri üzerinden yapılmıştır. Kuvvet birimi Newton; hareket birimi milimetre olarak belirlenmiştir. Bond a Braid grubu için yeşil, Co-ax Six Strand grubu için mavi, Twist Three Strand grubu için turuncu renkte oluşturulan grafikler üzerinde, kompozit-tel arayüzündeki ilk ayrılma noktası daire sembolü ile (●), telin kompozitten tamamen ayrıldığı nokta üçgen sembolü ile (▲) gösterilmiştir. Oluşturulan grafiklerde, kompozit-tel arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği esnada ulaşılan kuvvet (F_{max}); ilk ayrılmanın meydana geldiği çekme mesafesi (F_{maxmm}); ve telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesi ($Endmm$) değerleri saptanarak kayıt edilmiştir. Grupları temsil eden örnek grafikler aşağıda yer almaktadır.



Resim 37: Bond A Braid retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiği



Resim 38: Co-ax Six Strand retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiği



Resim 39: Twist Three Strand retainer teli ile hazırlanan bir örneğe ait kuvvet-hareket grafiği

Grafiklerde incelenebileceği üzere, tüm örneklerin çekme testleri 1mm/dk hızda gerçekleştirilirken retainer tellerinde ve çekme cihazının tutucu klemplerinde tam gerginlik oluşana kadar grafikler yarım milimetre kadar yatay seyretmiştir. Tam gerginlik oluşuktan sonra çekme kuvveti tel-kompozit arayüzüne iletmeye başlamıştır. Grafiklerde yuvarlak sembol ile belirtilen kompozit-tel arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleştiği noktadan sonra her grupta kuvvette ani bir düşüş

gözlenmektedir. Telin kompozit içerisinde serbestlendiği bu aşamanın ardından tel kompozit içerisinde hareket etmeye başlamıştır. Telin kompozit içerisindeki hareketi boyunca kuvvette artan ve azalan bir patern izlenmektedir. Retainer telinin kompozit içerisinden tamamen çıktığı, grafiklerde üçgen sembolü ile belirtilen noktada kuvvetin tamamen düşerek sıfır değerini bulduğu gözlenmektedir.

Grupların Fmax kuvvetlerinin ortalamaları Bond a Braid; Co-ax Six Strand; Twist Three Strand grupları için sırasıyla $34,50 \pm 4,56$; $57,27 \pm 10,06$; $51,35 \pm 9,00$ Newton olarak gözlenmiştir. ANOVA sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,001$). Grupların ikili karşılaştırmaları yapıldığında, retainer teli-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın meydana gelmesi için gereken kuvvet Co-ax Six Strand grubunda, Bond a Braid ($p < 0,001$) ve Twist Three Strand ($p < 0,05$) gruplarına göre anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Twist Three Strand ise Bond a Braid'e göre daha yüksek kuvvet ortaya koymuştur ($p < 0,001$) (Tablo 1). Fmax değerlerinin kutu grafik ve histogramları Grafik 1a'da gösterilmiştir.

Grup	N	Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Minimum	Maksimum	<i>p</i>	
							Grup I	Grup II
Grup I (Bond a Braid)	24	34,50	4,56	35,24	23,55	41,55		<0,001
Grup II (Co-ax Six Strand)	24	57,27	10,06	56,05	40,88	85,00	<0,001	
Grup III (Twist Three Strand)	24	51,35	9,00	52,11	31,35	67,13	<0,001	0,045

ANOVA sonucu $p < 0,001$

Tablo 1: Fmax değerleri

Grupların Fmaxmm değerleri ortalamaları Bond a Braid; Co-ax Six Strand; Twist Three Strand grupları için sırasıyla $4,16\pm 1,10$; $3,32\pm 0,72$; $2,87\pm 0,62$ milimetre olarak gözlenmiştir. Kruskal-Wallis testi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,001$). Grupların ikili karşılaştırmaları yapıldığında, tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği çekme mesafesinin Twist Three Strand grubunda Bond a Braid ($p<0,001$) ve Co-ax Six Strand'e ($p<0,05$) göre anlamlı düzeyde daha az olduğu gözlenmiştir. Bond a Braid ile Coax Six Strand grupları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir (Tablo 2). Fmaxmm değerlerinin kutu grafik ve histogramları Grafik 1b'de gösterilmiştir.

Grup	N	Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Minimum	Maksimum	P	
							Grup I	Grup II
Grup I (Bond a Braid)	24	4,16	1,10	3,92	2,41	6,33		0,062
Grup II (Co-ax Six Strand)	24	3,32	0,72	3,51	1,39	4,31	0,062	
Grup III (Twist Three Strand)	24	2,87	0,62	3,03	1,72	3,79	<0,001	0,029

Kruskal-Wallis testi sonucu $p<0,001$

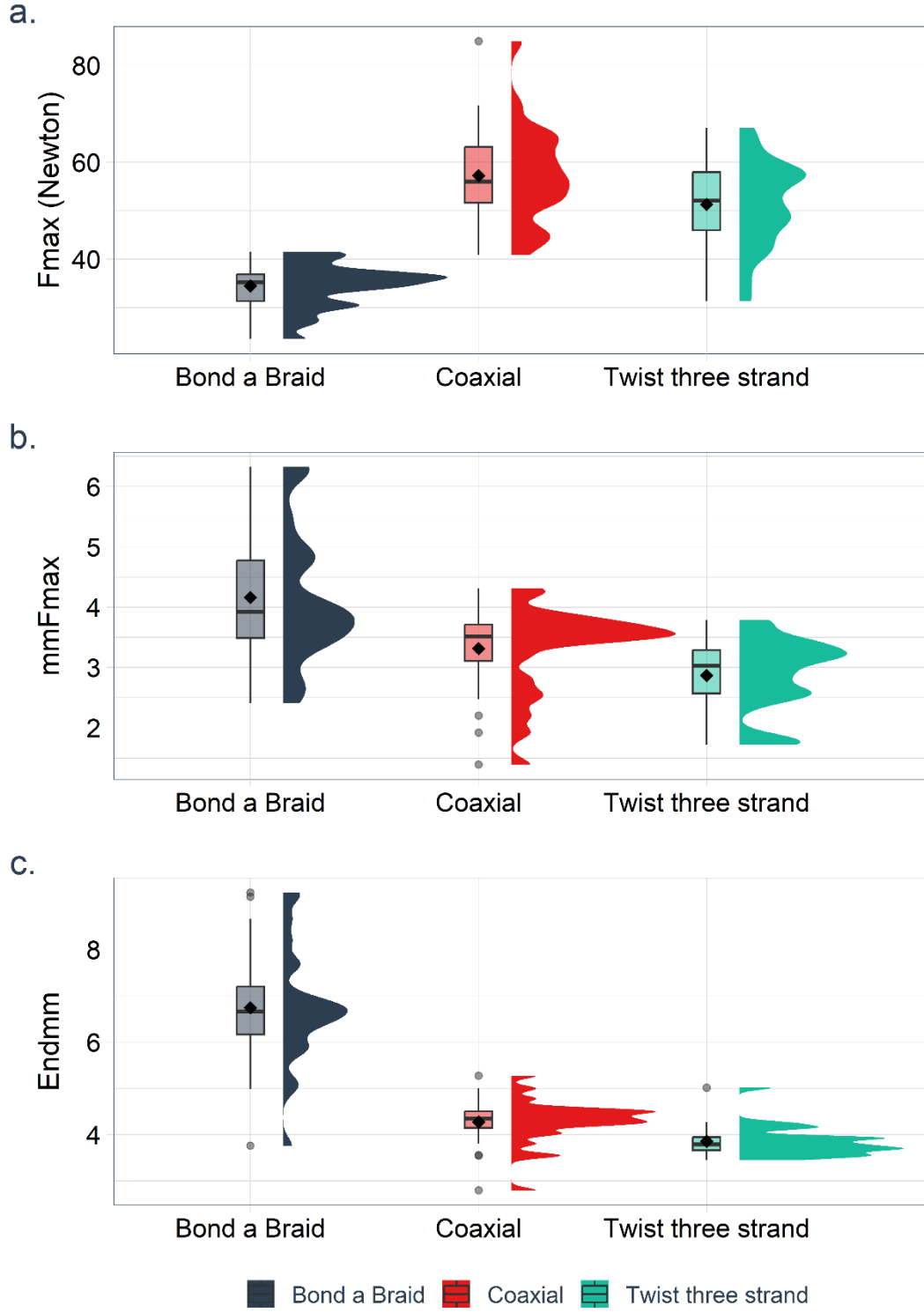
Tablo 2: Fmaxmm değerleri

Grupların Endmm değerleri ortalamaları Bond a Braid; Co-ax Six Strand; Twist Three Strand grupları için sırasıyla $6,74\pm 1,27$; $4,27\pm 0,50$; $3,86\pm 0,34$ milimetre olarak gözlenmiştir. Kruskal-Wallis testi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,001$). Grupların ikili karşılaştırmaları yapıldığında, telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesinin Bond a Braid grubunda Co-ax Six Strand ($p<0,001$) ve Twist Three Strand'e ($p<0,001$) göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Co-ax Six Strand'in çekme mesafesi, Twist Three Strand'e göre daha fazla bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 3). Endmm değerlerinin kutu grafik ve histogramları Grafik 1c'de gösterilmiştir.

Grup	N	Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Minimum	Maksimum	<i>p</i>	
							Grup I	Grup II
Grup I (Bond a Braid)	24	6,74	1,27	6,67	3,76	9,23	<0,001	
Grup II (Co-ax Six Strand)	24	4,27	0,50	4,35	2,80	5,28	<0,001	
Grup III (Twist Three Strand)	24	3,86	0,34	3,79	3,45	5,01	<0,001	0,031

Kruskal-Wallis testi sonucu $p < 0,001$

Tablo 3: Endmm değerleri



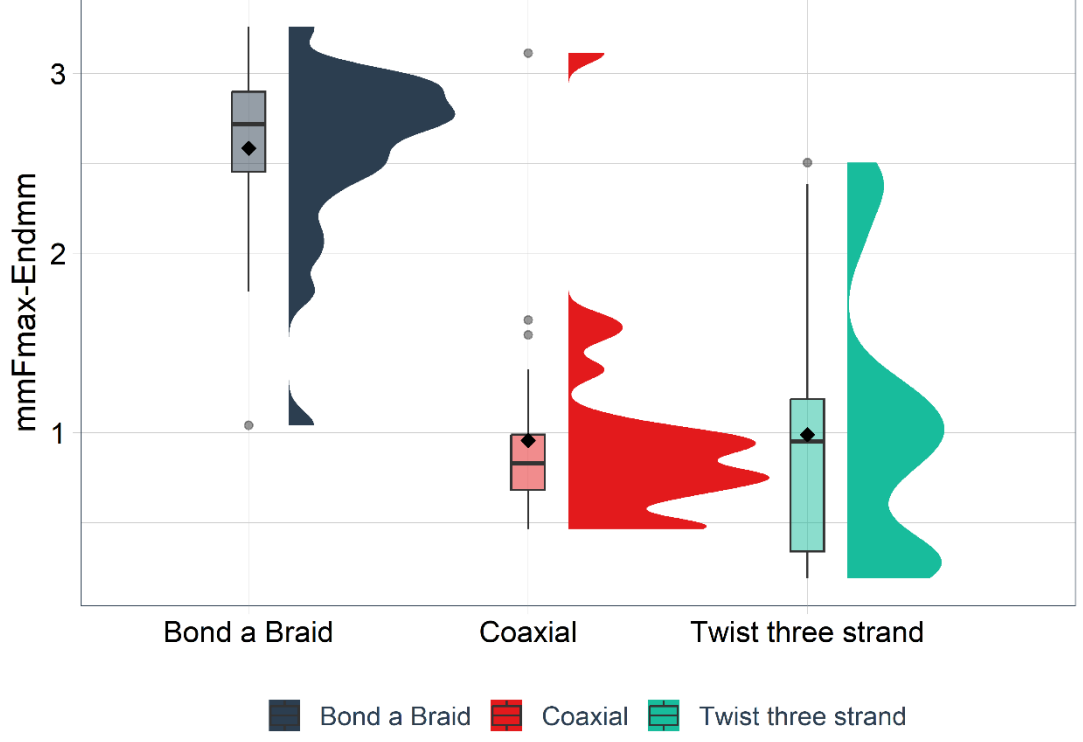
Grafik 1: Fmax, Fmaxmm ve Endmm değerlerinin kutu grafik ve histogramları. Ortalamalar elmas sembolü ile gösterilmiştir.

Grupların Endmm değerlerinden Fmaxmm değerleri çıkarıldığında ulaşılan fark değerlerinin ortalamaları Bond a Braid; Co-ax Six Strand; Twist Three Strand grupları için sırasıyla $2,58 \pm 0,48$; $0,96 \pm 0,55$; $0,99 \pm 0,71$ milimetre olarak bulunmuştur. Kruskal-Wallis testi sonucunda gruplar arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,001$). İkili karşılaştırmalar yapıldığında, tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleştiği andan telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı ana kadar olan çekme mesafesinin Bond a Braid grubunda Co-ax Six Strand ($p < 0,001$) ve Twist Three Strand'e ($p < 0,001$) göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Co-ax Six Strand ve Twist Three Strand grupları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir (Tablo 4). Endmm ve Fmaxmm değerleri arasındaki farkın kutu grafik ve histogramları Grafik 2'de gösterilmiştir. Gruplardaki her bir örneğin Fmaxmm-Endmm noktaları arasında kompozit içerisinde kat ettiği mesafe Grafik 3'de gösterilmiştir.

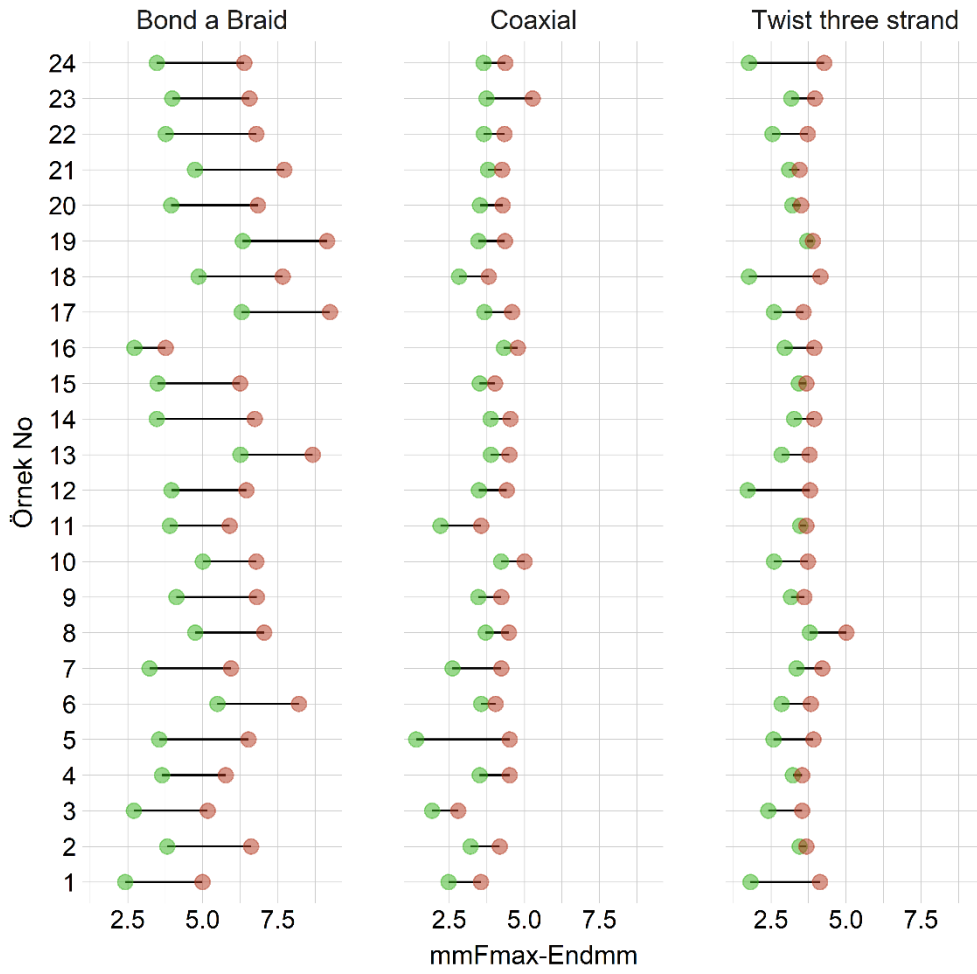
Grup	N	Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Minimum	Maksimum	p	
							Grup I	Grup II
Grup I (Bond a Braid)	24	2,58	0,48	2,72	1,04	3,26	<0,001	
Grup II (Co-ax Six Strand)	24	0,96	0,55	0,83	0,47	3,11	<0,001	
Grup III (Twist Three Strand)	24	0,99	0,71	0,95	0,19	2,50	<0,001	1,000

Kruskal-Wallis testi sonucu $p < 0,001$

Tablo 4: Endmm değerlerinden Fmaxmm değerleri çıkarıldığında ulaşılan fark değerleri



Grafik 2: Endmm ve Fmaxmm değerleri arasındaki farkların kutu grafik ve histogramları. Ortalamalar elmas sembolü ile gösterilmiştir.



Grafik 3: Retainer teli-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği Fmaxmm noktası yeşil ile telin kompozitin içerisinden çıktığı Endmm noktası kırmızı ile gösterilmiştir. Kompozit içerisinde gerçekleşen çekme mesafesi noktalar arasındaki çizgiler ile gösterilmiştir.

Bond a Braid grubunun Fmax, Fmaxmm ve Endmmm değerleri Spearman korelasyon testi ile incelendiğinde tüm değerler arasında anlamlı korelasyon bulunmuştur. Tüm değerler arasında korelasyon yönü pozitifdir (Tablo 5).

	Fmax	Fmaxmm	Endmm
Fmax		r = 0,477 p = 0,019	r = 0,603 p = 0,002
Fmaxmm	r = 0,477 p = 0,019		r = 0,880 p = <0,001
Endmm	r = 0,603 p = 0,002	r = 0,880 p = <0,001	

Tablo 5: Bond a Braid korelasyon tablosu

Co-ax Six Strand grubunun Fmax, Fmaxmm ve Endmmm değerleri Spearman korelasyon testi ile incelendiğinde yalnızca Fmaxmm ve Endmm değerleri arasında anlamlı korelasyon bulunmuştur. Fmaxmm ve Endmm değerlerinin korelasyon yönü pozitifdir (Tablo 6).

	Fmax	Fmaxmm	Endmm
Fmax		r = 0,113 p = 0,599	r = 0,323 p = 0,123
Fmaxmm	r = 0,113 p = 0,599		r = 0,694 p = <0,001
Endmm	r = 0,323 p = 0,123	r = 0,694 p = <0,001	

Tablo 6: Co-ax Six Strand korelasyon tablosu

Twist Three Strand grubunun Fmax, Fmaxmm ve Endmmm değerleri Spearman korelasyon testi ile incelendiğinde değerler arasında anlamlı korelasyon bulunmamıştır (Tablo 7).

	Fmax	Fmaxmm	Endmm
Fmax		r = -0,194 p = 0,364	r = 0,061 p = 0,776
Fmaxmm	r = -0,194 p = 0,364		r = -0,093 p = 0,665
Endmm	r = 0,061 p = 0,776	r = -0,093 p = 0,665	

Tablo 7: Twist Three Strand korelasyon tablosu

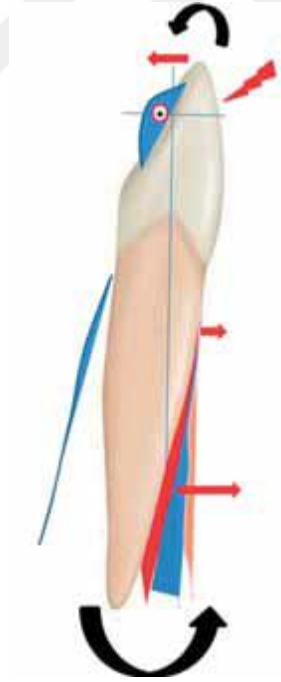


5. Tartışma

5.1. Amacın Tartışılması

Ortodontik tedavi ile elde edilen sonuçların uzun dönemde korunabilmesi için sabit pekiştirme apareylerinin kullanımı sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Sabit pekiştirme apareyi kullanılan hastaların tedavi sonrası on yıllık takiplerinde sabit aparey kullanılmayan hastalara göre önemli derecede daha stabil sonuçlar taşıdıkları gösterilmiştir (Al Yami, Kuijpers-Jagtman, & van 't Hof, 1999). Bununla birlikte bu apareylerin kullanımı bazı riskleri beraberinde getirmektedir. Bu riskler arasında retainer tellerinin kopması, kompozitin dişten ayrılması ya da telin kompozitten ayrılması sonucu dişlerde nüks görülmesi veya retainer tellerinin dişlere aktif kuvvet uygulaması sonucu dişlere ortodontik kuvvet vermesi sayılabilir. Ancak retainer telinin bütünlüğünün bozulmadığı ve pasif halde doğru uygulandığı durumlarda bile yaşanabilecek komplikasyonlar bulunmaktadır. Bunların sonucu olarak dişler tedavi öncesinde buldukları konumdan daha farklı konumlara hareket ederek yeni maloklüzyonlara sebep olabilmektedir (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007), (Shaughnessy, Proffit, & Samara, 2016). Tedavisi biten 221 hastanın beş yıllık takiplerinin yapıldığı bir çalışmada esnek spiral retainer teline sahip 6 hastada bu tip komplikasyonlar görülmüştür (Renkema, Renkema, Bronkhorst, & Katsaros, 2011). Başka bir çalışmada tedavisi biten 3500 hasta incelenmiştir ve beş yıllık takip randevularında 38 hastada bu komplikasyonlar gözlenmiştir (Kučera & Marek, 2016). Klaus ve ark. yaşanan bu komplikasyonların retainer telinin dişlere aktif uygulanması sonucu oluşmadığını belirtmişlerdir. Sebebin retainer telinin aktif uygulanması olması durumunda diş hareketinin birkaç hafta içerisinde gerçekleşmesinin bekleneceğini oysa literatürdeki olgularda komplikasyonların çok daha geç görüldüğü belirtilmiştir (Klaus, Xirouchaki, & Ruf, 2020). Bu komplikasyonların yaşanmasında en önemli etkenlerden birinin retainer teli ile kompozitin birbirinden ayrılması olduğu düşünülmektedir. Pekiştirme uygulamalarında en zayıf bağlanmanın tel-kompozit arayüzünde gerçekleştiğini belirten çalışmalar mevcuttur (Schulz, Mayhew, Oesterle, & Pierson, 1985), (Dahl & Zachrisson, 1991), (Bearn, D.R., 1995), (Cooke & Sherriff, 2010), (Foek, Yetkiner, & Ozcan, 2013), (Al-Nimri & Al-Nimri, 2015). Bu bağlanmanın zayıf olmasının sebepleri arasında, hidrofilik karaktere sahip olan metal

yüzeyinin kompozit ile kimyasal bağ kuramaması, retainer telleri için kullanılan kompozitlerin doğrudan ağız ortamında bulunmaları sebebiyle zamanla madde kaybına uğrayabilmesi ve kompozit ile retainer telinin elastik modüllerinin birbirinden farklı olması sayılabilir (Iliadi, Eliades, Silikas, & Eliades, 2017). Farklı bir çalışmada da mikrosızıntının retainer teli-kompozit arayüzünde mine-kompozit arayüzüne göre çok daha fazla gerçekleştiği belirtilmiştir (Uysal, Baysal, Usumez, & Ulker, 2009). Bağlanmanın zayıf olması sebebiyle retainer teli-kompozit arayüzünde meydana gelen ayrılma sonucunda serbestlenen diş, sağlam haldeki retainer teli üzerinde hareket edebilmektedir. Kullanılan retainer telinin çok sarımlı, yuvarlak kesitli, esnek spiral tel olduğu durumlarda ise, tel üzerinde yer alan dişlere kuvvet etki ettiğinde telin yüzey geometrisi sebebi ile dişlerin lingual veya bukkal yönde tork hareketi yapabileceğinden bahsedilmiştir (Kučera, Littlewood, & Marek, 2021), (Kucera, Marek, Hanzelka, & Kamínek, 2015), (Charavet, Vives, Aroca, & Dridi, 2022) (Resim 40). Bu hareketin telin sarım yönüne uygun olacak şekilde yivler boyunca gerçekleştiğini öne süren çalışmalar da bulunmaktadır (Roussarie & Douady, 2018).



Resim 40: Literatürde “Tünel etkisi” olarak da adlandırılan durumda retainer teli-kompozit arayüzünde gerçekleşen ayrılma sonucunda dişе etkiyen kuvvetlerin retainer teli seviyesinde pivot etkisi yaratması (Kucera, Marek, Hanzelka, & Kamínek, 2015).

Alessandri Bonetti ve ark. çalışmasında çok sarımlı esnek spiral retainer teli kullanılan hastaların tırnak yeme ve benzeri alışkanlıklar göstermesi durumunda beklenmeyen komplikasyonlar oluşabileceği gösterilmiştir (Resim 41). Bu komplikasyonların, parafonksiyona bağlı olarak dişlere etki eden kuvvetlerin retainer telinin varlığı sebebiyle köklerde tork hareketi oluşturması ile görüldüğü belirtilmiştir (Alessandri Bonetti, Incerti Parenti, & Zucchelli, 2012).



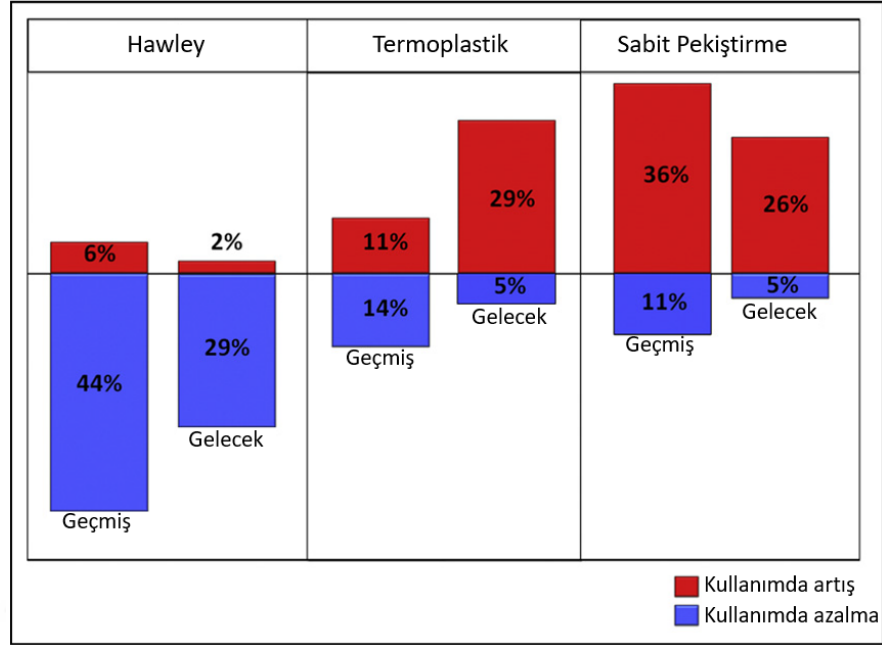
Resim 41: Tırnak yeme alışkanlığına sahip olan bir hastada parafonksiyona bağlı olarak sağ ve sol alt keserlerde görülen kök hareketleri (Alessandri Bonetti, Incerti Parenti, & Zucchelli, 2012)

Farrett ve ark. çalışmasında ise esnek spiral retainer teli kullanılan bir hastada alt kesici dişin keser rehberliği esnasında tüm kuvvete maruz kalması ve retainer teli-kompozit arayüzünde ayrılma yaşanması sonrasında alt keser kökünde şiddetli vestibül kök torku görülmüştür. Gerçekleşen hareket kökün açığa çıktığı büyük bir fenestrasyon ile sonuçlanmıştır (Resim 42). Bu durumun ortaya çıkmasında, kompozitten ayrılan retainer telinin dişe lingual yönde etkiyen kuvvetler altında dönme merkezi şeklinde çalışmasının etkili olduğu belirtilmiştir (Farret, Farret, da Luz Vieira, Assaf, & de Lima, 2015). Bu tip komplikasyonlarda, kullanılan retainer telinin bütünlüğünün bozulmadığı ve dişlerin retainer teli üzerinde hareket ettiği görülmektedir. Yaşanan komplikasyonlar hastaların yeniden ortodontik tedavi görmelerini gerektirecek kadar şiddetli olabilmektedir. Gerçekleşen komplikasyonların tedavilerinde ortodonti, periodontoloji ve endodonti alanları multidisipliner olarak çalışmaktadır.



Resim 42: Keser rehberliği sırasında oluşan kuvvetlerin retainer teli varlığında sol alt lateral dişte oluşturduğu Şiddetli vestibül kök torku hareketi (Farret, Farret, da Luz Vieira, Assaf, & de Lima, 2015)

Pratt ve ark. tarafından yapılan çalışmada sabit pekiştirme apareyi kullanımının geçmiş yıllar içinde artma eğilimi gösterdiği ve gelecekte bu artışın devam etmesinin beklendiği belirtilmiştir (Resim 43) (Pratt, Kluemper, Hartsfield, Fardo, & Nash, 2011). Padmos ve ark. alıŐmasında da ömür boyu sabit pekiştirme apareyi kullanımının artış gösterdiği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte sabit pekiştirme apareyelerinin sebep olduğu istenmeyen diş hareketlerini oluşturan bütün faktörlerin araŐtırılması ve engellenmesi gerekliliği belirtilmiştir (Padmos, Fudalej, & Renkema, 2018).



Resim 43: Sabit pekiştirme apareylerinin geçmiş beş yıllık artışı ve gelecekte öngörülen artış eğilimi (Pratt, Kluemper, Hartsfield, Fardo, & Nash, 2011)

Çalışmamızda sabit pekiştirme uygulamalarında en zayıf bağlanmanın gerçekleştiği düşünülen retainer teli-kompozit arayüzünde meydana gelen ayrılmanın kullanılan retainer teli ile ilişkili olabileceği düşünülmüş ve farklı lingual retainer tellerinin kompozitten ayrılma dirençlerini karşılaştırmaya karar verilmiştir. Çalışmada, retainer tellerine dik eksenlerinde çekme testi uygulanarak içerisinde buldukları kompozitten ayrıldıkları kuvvetler kayıt edilmiştir. Böylece tel-kompozit arayüzündeki ilk ayrılmaya karşı gösterilen direnç tespit edilmiştir. Ardından tellerin arayüzde ilk ayrılma kuvvetine ulaşıldığı esnada ve kompozitin içerisinde tamamen çıktıkları esnada gerçekleşen çekme miktarları da kayıt edilerek tellerin uzun eksenlerindeki deformasyon eğilimleri ve kompozit içerisinde hareket ederken gösterdikleri direnç tespit edilmiştir. Bununla birlikte test esnasında oluşturulan kuvvet-hareket grafikleri ile retainer tellerinin ilk ayrılma gerçekleştikten sonra kompozit içerisinde hareket ederken izledikleri kuvvet-hareket paterni de doğrudan gözlenebilmiştir.

5.2. Gereç ve Yöntemin Tartışılması

5.2.1. Test Düzenegi Tasarımının ve Kullanılan Materyallerin Tartışılması

In vitro çalışmalarda örneklerin standardizasyonu, ulaşılan sonuçların geçerliliği açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Daha önce yapılan çekme testlerine bakıldığında laboratuvarında akrilik bloklar hazırlandığı ve bu bloklara manuel olarak delikler açıldığı görülmektedir (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997), (Baysal, Uysal, Gul, Alan, & Ramoglu, 2012), (Tabrizi, Salemis, & Usumez, 2010), (Iliadi, Eliades, Silikas, & Eliades, 2017). Yapılan denemelerde bu yöntemin geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu kararda rol oynayan faktörler arasında akrilik bloklarda kompozitin yer alması için açılan deliklerin her örnekte milimetrik olarak aynı olmasının çok zor olması, deliklerin andırkata sahip olmaması sonucunda çekme testi esnasında kompozitin blok halinde delikten çıkma riski bulunması, retainer telini kompozitin içerisine yerleştirirken kullanılan rehber akrilik bloğun alttaki blok ile doğru olarak hizalanmasının zor olması sayılabilir. Bu tip zorlukları aşabilmek adına çalışmamızda blokların üretilmesi için bilgisayar destekli tasarım kullanılmıştır. Üretim safhasında ise standardizasyonun sağlanması için üç boyutlu yazıcı kullanımı tercih edilmiştir. Böylece tüm örnekler birbirinin aynısı olacak şekilde çalışma yürütülmüştür.

Bearn ve ark. (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997) yaptıkları çalışmaya göre retainer telinin çevresinde yer alan kompozit miktarının 1mm'ye kadar arttırılmasının tutuculuk üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış yarattığı; ancak kompozit kalınlığında 1mm'nin üzerinde yapılan artışın tutuculuk üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığı bulunmuştur. Biz de çalışmamızın tasarımında, retainer tellerinin rehber bloklar içerisinden geçirilerek kompozite yerleşmesini, böylece her örnekte retainer telinin çevresinde en az 1 mm kalınlığında kompozit bulunmasını ve retainer tellerinin çekme testinde istenildiği üzere kompozit içerisinde dik olarak yer almasını sağladık. Akrilik bloklar kullanılan çalışmalarda rehber blok ile kaide bloğunun metal bir hizalayıcı kullanılarak üst üste getirildikleri belirtilmiştir. Bu yöntemin uygulama hatalarına açık olduğunu düşünerek, çalışmamızda rehber bloklar kaide bloklarında yer alan dört adet deliğe tam oturabilen dört adet ayağa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım sayesinde rehber blok tamamen stabil bir şekilde kaide blok üzerinde yer almaktadır ve retainer telinin uygulanması esnasında hiç hareket

etmeyerek uygulama hatası olasılığını azaltmaktadır. Kaide blokları üzerinde yer alan kompozit deliklerinin birbirine paralel duvarlara sahip olması, çekme testi esnasında delik içerisinde yer alan kompozitin retainer teli ile birlikte bloktan ayrılma riski oluşturmaktadır. Bu sebeple delikler yüzeyde 3 mm tabanda 4 mm çapta andırkathlı olarak tasarlanarak delik içerisinde polimerize edilen kompozitin çekme kuvveti etkisi ise delikten çıkma olasılığının önüne geçilmiştir. Üniversal test cihazının tutucu uçlarının rahatça kavrama sağlayabilmesi için kaide olarak kullanılacak olan alt blok 7 mm boyunda ve 17 mm genişliğinde oluşturulmuştur.

Çalışmamızda kullanılan kaide blokları ve rehber bloklar, üretim teknikleri ve kullanılan materyaller açısından farklılık göstermektedir. İlk yapılan planlamada bütün blokların FDM tekniği ile üretilmesine karar verilmiştir ancak yapılan denemelerde rehber blok ayaklarının bu yöntem ile üretilmesi sonucunda oldukça hassas oldukları ve örneklerin hazırlanması esnasında kırıldıkları gözlenmiştir. Bu sebeple rehber blokların, daha iyi mekanik özelliklere sahip ürünler ortaya koyabilen ve üretim hassasiyeti daha yüksek olan SLA tekniği ile bastırılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada kullanılan retainer tellerinin hepsi çok sarımlı yapıdadır. Co-ax Six Strand ve Twist Three Strand retainer telleri çeşitli çaplarda üretilmektedirler. Çalışmamızda her iki tel de 0,0195 inç olacak şekilde seçilerek, esnek spiral retainer tellerinin çaplarından bağımsız olarak sadece sarım sayısını değiştirmenin tutuculuk üzerinde fark yaratıp yaratmadığı değerlendirilmek istenmiştir.

Literatürde, kompozit kullanılan in vitro testlerde örneklerin 37°C derece distile suda 24 saat bekletilmesinin kompozitte meydana gelebilecek boyut değişikliklerini standart hale getirerek örnekler arası farkları ortadan kaldıracığı belirtilmiştir (Radlanski & Zain, 2004). Biz de çalışmamızda örnekleri belirtilen şekilde distile suda bekleterek standardizasyonu arttırmayı hedefledik.

5.2.2. Çekme Testinin Tartışılması

Mühendisliğin pek çok alanında materyallerin parametrelerini ölçmek için yaygın olarak kullanılan üniversal test cihazı, diş hekimliği ve ortodonti alanında da materyallerin farklı kuvvetler altında dayanıklılığını test etmek, çeşitli kuvvet uygulayıcı apareyler tarafından iletilen kuvvetleri ölçmek, farklı braket ve ark telleri arasındaki sürtünmeyi hesaplamak, rezinlerin kuvvetini değerlendirmek gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 0,001 gramlık kuvvet değişimlerini bile ölçebilecek kadar

hassas olan üniversal test cihazı, kapsamlı bir şekilde test edilmiştir ve istenilen parametreleri ölçmek için evrensel olarak standart kabul edilmektedir (Dinesh, Arun, Sundari, Samantha, & Ambika, 2013). Bizim çalışmamızda da Fmax, Fmaxmm ve Endmm değerlerini ölçmek için üniversal test cihazı kullanılmıştır. Çekme hızı olarak in vitro çalışmalarda sıklıkla kullanılan dakikada 1mm hız tercih edilmiştir.

Ağız içerisinde gerçekleşen komplikasyonları laboratuvar ortamında test etmek bir takım sınırlılıkları beraberinde getirmektedir. Bunlar arasında: Birçok faktöre bağlı olarak ortaya çıkabilen bir durumun sınırlı bir çerçevede incelenmesi ve uzun sürelerde oluşan komplikasyonların in vitro ortamda daha hızlı oluşturulup incelenmesi sayılabilir. Bununla beraber in vitro çalışmalar, klinik pratikte karşılaşılan olguların birbirinden farklı noktalarına ayrı ayrı ışık tutmak, genel resmin parçalarını ortaya koymak açısından önemlidir.

Literatürde retainer tellerine dik eksenlerinde çekme testi uygulanmasının, tellerin içerisinde buldukları kompozit ile yapmış oldukları mikro mekanik adezyonun ölçülmesi için kullanışlı bir yöntem olduğundan bahsedilmiştir (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997), (Baysal, Uysal, Gul, Alan, & Ramoglu, 2012), (Paolone, ve diğerleri, 2015), (Iliadi, Eliades, Silikas, & Eliades, 2017).

Çalışmamızın sınırlılıkları arasında: Retainer tellerinin dişler üzerine uygulanmamış olması, çekme testinin tek doğrultuda uygulanarak tellere yalnızca uzun eksenlerinde kuvvet verilmesi, tellerin ağız içerisinde uygulandıkları şekilde kurvatürlü olarak değil düz olarak yer almaları ve tellerin kompozitten ayrılmasının dışında gerçekleşebilen diğer komplikasyonların incelenmemesi sayılabilir. Bununla birlikte, bu uygulamaların çalışmada üç boyutlu yazdırılan bloklar ile sağlanan standardizasyonu sağlayamayacağı, metot hatalarını arttırabileceği ve farklı değişkenler yaratarak ölçülmek istenilen kompozit-tel arayüzünden veri almayı zorlaştırabileceği de düşünülmelidir.

Çalışmamızda çekme testi ile eşzamanlı olarak her örnek için kuvvet-hareket grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafikler üzerinden gerekli değerler ölçülmüştür. Literatür incelendiğinde yapılan birçok çekme testinde yalnızca gereken kuvvet değerlerinin kayıt altına alındığı ve kuvvet hareket grafiklerinin ayrıca karşılaştırılmadığı görülmektedir. Çalışmamızda, ilk ayrılma sonrasında retainer tellerinin kompozit içerisinde ilerlerken izlediği patern de oluşturulan grafikler üzerinden incelenip karşılaştırılabilmektedir.

5.3. Bulguların Tartışılması

Bulgular incelendiğinde Fmax değerlerinde üç grup arasında da anlamlı bir fark görülmüştür. Co-ax Six Strand (American Orthodontics) ve Twist Three Strand (American Orthodontics, Sheboygan) gruplarının Bond a Braid'e (Reliance Orthodontic Products) göre daha yüksek değerler göstermesi, çalışmamızdaki esnek spiral tel formundaki retainer tellerinin kompozitten ayrılmasının köşeli dead soft retainer teline göre daha fazla kuvvet gerektirdiğini göstermektedir. Esnek spiral teller kendi aralarında karşılaştırıldığında ise Co-ax Six Strand grubu Twist Three Strand grubuna göre daha yüksek kuvvet değerleri göstermiştir.

Bearn ve ark. çalışmasında beş adet koaksiyel altı sarımlı retainer teli ve iki adet üç sarımlı retainer teli dik eksenlerinde yapılan çekme testinde kompozitten ayrılma kuvvetlerine göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Koaksiyel altı sarımlı retainer teli gruplarından biri olan Perform (Orthocare), dik ekseninde yapılan çekme testinde ortalama 85,6 N ile kompozitten ayrılmak için gereken en yüksek kuvveti göstermiştir fakat farklı tel tipleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Koaksiyel altı sarımlı retainer teli olan Penta One (Masel), 0,0175 inç kalınlıktan 0,0215 inç kalınlığa çıkarıldığında ise teli kompozitten ayırmak için gereken kuvvet ortalaması 58,7 N'dan 78,5 N'a yükselmiştir ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmüştür (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997). Çalışmada farklı retainer telleri arasında anlamlı bir fark bulunamamasına her grupta beş örnek kullanılması dolayısı ile örneklem büyüklüğünün yeteri kadar yüksek olmamasının sebep olduğu düşünülmektedir. Çalışmada yer alan 6 sarımlı koaksiyel retainer telleri içerisinde 0,0175 inç kalınlıktaki Penta One, çekme testinde ortalama 58,7 N kuvvet ortaya koymuştur. Bu sonuç, bizim çalışmamızdaki 0,0195 inç kalınlıktaki Co-ax Six Strand grubunun Fmax kuvveti ortalaması olan 57,27 N ile benzerlik göstermektedir. Çalışmadaki üç sarımlı esnek spiral teller olan Forestaflex 3 (Forestadent) ve Wildcat (GAC) ise sırası ile 63,4 N ve 72,2 N ortalama kuvvet göstermiştir. Çalışmamızdaki üç sarımlı tel olan Twist Three Strand ortalama 51,35 N ile bu tellerden daha düşük bir kuvvet ortalaması göstermiştir.

Baysal ve ark. çalışmasında iki adet altı sarımlı koaksiyel retainer teli ve Bond a Braid (Reliance Orthodontic Products) gruplarının dik eksenlerinde kompozitten ayrılma kuvvetleri karşılaştırılmıştır. 0,0215 inç kalınlıkta koaksiyel altı sarımlı retainer teli

olan Penta One için 74,68 N; Bond a Braid için 37,92 N ortalama kuvvet ölçülmüştür. 0,0195 inç kalınlıkta olan koaksiyel altı sarımlı retainer teli Respond için 35,03 N kuvvet ölçülmüştür. Penta One diğer tellere göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek kuvvet değerleri ortaya koymuştur (Baysal, Uysal, Gul, Alan, & Ramoglu, 2012). Çalışmada Bond a Braid için ölçülen 37,92 N, bizim çalışmamızda Bond a Braid için ölçülen 34,5 N Fmax değeri ile yakınlık göstermektedir. Koaksiyel altı sarımlı tellerden Penta One ortalama 74,68 N ile; Respond grubu ise ortalama 35,03 N ile çalışmamızda kullanılan Co-ax Six Strand'in ortalama 57,27 N Fmax değerine yakın değerler göstermemiştir. Koaksiyel altı sarımlı Penta One grubunun Bond a Braid'den istatistiksel olarak daha yüksek çekme kuvvetleri göstermesi çalışmamızın bulguları ile örtüşmektedir.

Çalışmalar incelendiğinde retainer teli kalınlığı arttırıldığında teli kompozitten ayırmak için gereken kuvvetin de arttığı görülmektedir. Aynı sarım sayısına sahip olan tellerde kalınlık arttıkça sarımlar arası girinti derinliğinin artması ve kompozit içerisinde daha çok tutucu alan bulunması buna sebep olabilir. Esnek spiral teller ve Bond a Braid'in Fmax değerleri arasındaki farkın sebebi ise retainer tellerinin yüzeylerinde yer alan sarımlar arası girintilerin esnek spiral tellerde Bond a Braid'e göre çok daha derin olması ve bu girintilere yerleşen kompozitin ayrılmaya karşı tutuculuk sağlaması olarak açıklanabilir. Çalışmamızda esnek spiral teller arasında Co-ax Six Strand, Twist Three Strand'e göre daha yüksek Fmax değerleri göstermiştir. Tel yüzeyleri incelendiğinde Twist Three Strand'in sarımlar arası girintilerinin üç sarımlı olmasından ötürü daha derin olduğu görülmektedir ancak koaksiyel altı sarımlı olan Co-ax Six Strand'in birim uzunlukta yer alan sarımlar arası girinti sayısı Twist Three Strand'e göre daha fazladır (Resim 12 ve 14). Bu bulgulara göre sarımlar arasında yer alan girintiler belirli bir tutuculuk sağlayacak kadar derin olduğunda, kompozit-tel arayüzündeki tutuculuk açısından girinti sayısının girinti derinliğinden daha önemli olduğu sonucuna varılabilir.

Retainer teli-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleştiği çekme mesafesi olan Fmaxmm değerleri karşılaştırıldığında Twist Three Strand grubunda tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın gerçekleşmesi diğer iki tele kıyasla daha kısa bir çekme mesafesinde gerçekleşmiştir. Bond a Braid ile Co-ax Six Strand grupları arasında ise anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bond a Braid telinin dead soft yapısı sebebiyle plastik deformasyon kapasitesinin yüksek olduğu ve çekme kuvvetleri etkisi ile uzun eksende

plastik deformasyona uğradığı; Co-ax Six Strand grubunun ise 6 sarımlı olması sebebi ile elastik deformasyon kapasitesinin yüksek olduğu ve çekme kuvvetleri ile uzun ekseninde elastik deformasyona uğradığı düşünülmektedir. Bu iki grubun üç sarımlı tel grubuna göre arayüzde ilk ayrılma gerçekleşene kadar daha fazla çekme mesafesi göstermesi ve kendi aralarında anlamlı bir fark ortaya koymamaları Bond a Braid'in plastik deformasyonu, Co-ax Six Strand'in ise elastik deformasyonu ile açıklanabilir. Tellerin sarım sayısı arttıkça elastik modüllerinin düştüğü çeşitli kaynaklarda gösterilmiştir (Chiang, 1996). Twist Three Strand retainer telinin üç sarımlı olması dolayısı ile sarım sayısı daha fazla olan diğer retainer tellerine göre rijit bir yapı ortaya koyarak uzun ekseninde daha az deformasyona uğradığı, buna bağlı olarak kuvvetleri doğrudan tel-kompozit arayüzüne ilettiği düşünülmektedir. Twist Three Strand grubunda daha az çekme mesafesi sonrasında arayüzde ayrılma görülmesinde ve F_{max} değerlerinin anlamlı düzeyde daha düşük bulunmasında bu durumun etkili olduğu düşünülmektedir. Sifakakis ve ark. yaptıkları çalışmada retainer telleri ve kompozitlerin maruz kaldıkları kuvvetler elastik deformasyon limitlerini aşmadığında istenmeyen komplikasyonların görülme olasılığının düşük olduğunu belirtmişlerdir. (Sifakakis, Eliades, & Bourauel, 2015). Golshah ve Feyli aralarında üç sarımlı paslanmaz çelik tel ve Bond a Braid de bulunan çeşitli retainer telleri üzerinde yaptıkları in vitro çalışmada üç sarımlı retainer telinin kuvvet altında diğer tellerden daha rijit olduğunu belirtmiştir (Golshah & Feyli, 2022). Samson ve ark. yapmış olduğu in vitro çalışmada da üç sarımlı paslanmaz çelik retainer telinin kuvvet/defleksiyon oranı diğer retainer tellerine göre daha yüksek bulunmuştur (Samson, Varghese, Uma, & Chandrappa, 2018). Zachrisson 2015 yılında yayınlamış olduğu makalede, klinik kullanım süreleri içinde üç sarımlı retainer tellerinin beş sarımlı retainer tellerine göre kompozitten daha fazla ayrıldığını belirtmiştir (Zachrisson, 2015). Bulgularımızı bu çalışmaların bulguları ile bir araya getirdiğimizde Twist Three Strand'in kuvvet etkisi altında kompozit-tel arayüzünde ayrılmaya sebep olarak beklenmedik komplikasyonlara yol açma olasılığının diğer iki gruptan daha yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Retainer telinin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesi olan E_{dmm} değerlerinde Bond a Braid grubu diğer iki gruba göre anlamlı düzeyde daha fazla çekme mesafesi ortaya koymuştur. Bu durumun Bond a Braid'in plastik deformasyon eğiliminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Co-ax Six Strand'in Twist Three

Strand'e göre daha yüksek değerler göstermesinin de koaksiyel telin elastik deformasyonuna bağlı olduğu dūşünülmektedir. F_{maxmm} değerlerinde de bahsedilen deformasyona bağlı ortaya çıkan farklar retainer tellerinin kompozit içerisinden tamamen çıktığı noktada ölçülen toplam çekme mesafelerinde de kendisini göstermektedir. Twist Three Strand grubunda örneklerin neredeyse tamamının $Endmm$ değerleri test bloklarındaki kompozitin derinliği olan 3,5 mm'ye karşılık gelmektedir. Bu bulgu da Twist Three Strand'in rijit bir yapı göstererek minimum deformasyon eğilimi ile doğrudan kompozit içerisinde hareketini tamamladığını ortaya koymaktadır.

$Endmm$ değerlerinden F_{maxmm} değerleri çıkarıldığında ulaşılan farkın, arayüzde ilk ayrılma gerçekleşikten sonra serbestleşen retainer telinin kompozit içerisinde ilerlerken gösterdiği direncin belirlenmesi için kullanışlı bir gösterge olduğunu düşünmekteyiz. Bu fark gruplar arasında karşılaştırıldığında ilk ayrılmanın gerçekleştiği andan telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı ana kadar olan çekme mesafesinin, Bond a Braid grubunda diğer retainer tellerine göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, Bond a Braid'in arayüzde ilk ayrılmanın ardından kompozit içerisinde ilerlemesinin esnek spiral retainer tellerine göre daha zor olduğunu göstermektedir.

Tee ve ark. yaptıkları çalışmada plastik deformasyon özelliği yüksek, zincir yapıda olan Ortho-FlexTech (Reliance Orthodontic Products) retainer teli ile koaksiyel altı sarımlı esnek spiral retainer teli Perform (Orthocare), üzerlerine etki eden kuvvetlerin kompozit-tel arayüzüne dağılımları açısından karşılaştırılmıştır. Perform, üzerine etkiyen kuvvetleri tel-kompozit arayüzüne Orto-Flextech'e göre istatistiksel olarak daha fazla iletmiştir. Araştırmacılar, plastik deformasyona eğilimli olan tellere etkiyen kuvvetin bir kısmının kinetik ve ısı enerjisine dönüşerek kaybolduğunu ve tel-kompozit arayüzüne daha az kuvvet iletildiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında kompozit ile daha fazla yüzey alanında temas halinde olan retainer tellerinin daha fazla sürtünme göstererek istenmeyen diş hareketi oluşturma olasılığını azaltabileceği da belirtilmiştir (Tee, Shahid, Al-Moghrabi, & Fleming, 2023). Bu sonuç, plastik deformasyon eğilimi ve kompozit içerisindeki yüzey alanı esnek spiral tellerden daha fazla olan Bond a Braid için geçerli olup bulgularımızla örtüşür nitelikte olabilir.

Çalışmamızda esnek spiral retainer telleri arasında ise anlamlı bir fark görülmemiştir. Co-ax Six Strand ve Twist Three Strand tellerinin arayüzde ilk ayrılma gerçekleşikten

sonra kompozit içerisinde ilerlerken birbirlerine benzer şekilde düşük direnç ortaya koydukları görülmektedir. Bu bulgu ile F_{maxmm} değeri Twist Three Strand'e göre daha yüksek olan Co-ax Six Strand'in ilk ayrılma noktasına kadar elastik deformasyon göstererek daha fazla çekme mesafesi ortaya koyduğu, ayrılmanın ardından meydana gelen serbestlenme sonrasında ise daha fazla elastik deformasyon göstermediği ve Twist Three Strand ile benzer hareket ettiği sonucuna varılabilir. Bond a Braid grubunda kompozit-tel arayüzünde ilk ayrılmanın tel yüzeyi esnek spiral teller kadar tutucu olmadığı için daha düşük kuvvetlerde gerçekleştiği, ancak ilk ayrılmanın ardından telin kompozit içerisinde ilerlemesinin esnek spiral retainer tellerine göre daha zor olduğu düşünülmektedir. Bond a Braid'in esnek spiral tellerden daha fazla direnç göstermesi telin yüzey alanına, yüzey özelliklerine, dead soft yapıda olmasına ve köşeli olmasına bağlı olabilir. Gelecekte, bu özellikleri ayrı ayrı bulunduran retainer telleri ile yapılacak çalışmaların bu farkın sebebini ortaya koymakta faydalı olacağını düşünmekteyiz.

Yapılan ölçümler Pearson Korelasyon Analizi ile değerlendirildiğinde Bond a Braid grubunda tüm ölçümler arasında pozitif korelasyon görülmüştür. F_{max} ile F_{maxmm} değerlerinin pozitif korelasyon göstermesinin Bond a Braid'de arayüzde ilk ayrılma gerçekleşene kadar kuvvet etkisi ile gerçekleşen plastik deformasyon sebepli olduğu düşünülmektedir. $Endmm$ değeri retainer telinin kompozit içerisinde tamamen çıktığı mesafeyi belirttiğinden içerisinde F_{maxmm} değerini de bulundurmaktadır dolayısı ile bu değerler pozitif korelasyon göstermektedir. Aynı nedenle F_{max} değeri ile $Endmm$ değerleri de pozitif korelasyon göstermiştir.

Co-ax Six Strand grubunda yalnızca F_{maxmm} ve $Endmm$ değerleri pozitif korelasyon göstermiştir. F_{max} ve F_{maxmm} değerlerinde korelasyon görülmemesi, ilk ayrılmaya kadar kuvvet etkisi ile gerçekleşen elastik deformasyonun kuvvet-hareket parametrelerinde korelasyon ortaya koyacak kadar yüksek olmadığını düşündürmektedir. $Endmm$ değeri de aynı nedenle F_{max} değeri ile korelasyon içerisinde değildir.

Twist Three Strand grubunda hiçbir değer arasında korelasyon görülmemiştir. F_{max} değerinin F_{maxmm} ve $Endmm$ değerleri ile korelasyon göstermemesi retainer telinin rijit yapısı sebebiyle kuvvetleri doğrudan tel-kompozit arayüzüne iletmesi ile açıklanabilir. $Endmm$ ve F_{maxmm} değerlerinin korelasyon göstermemesi beklenmedik bir sonuç olarak görülmektedir. Ancak Resim 38'de görülebileceği üzere

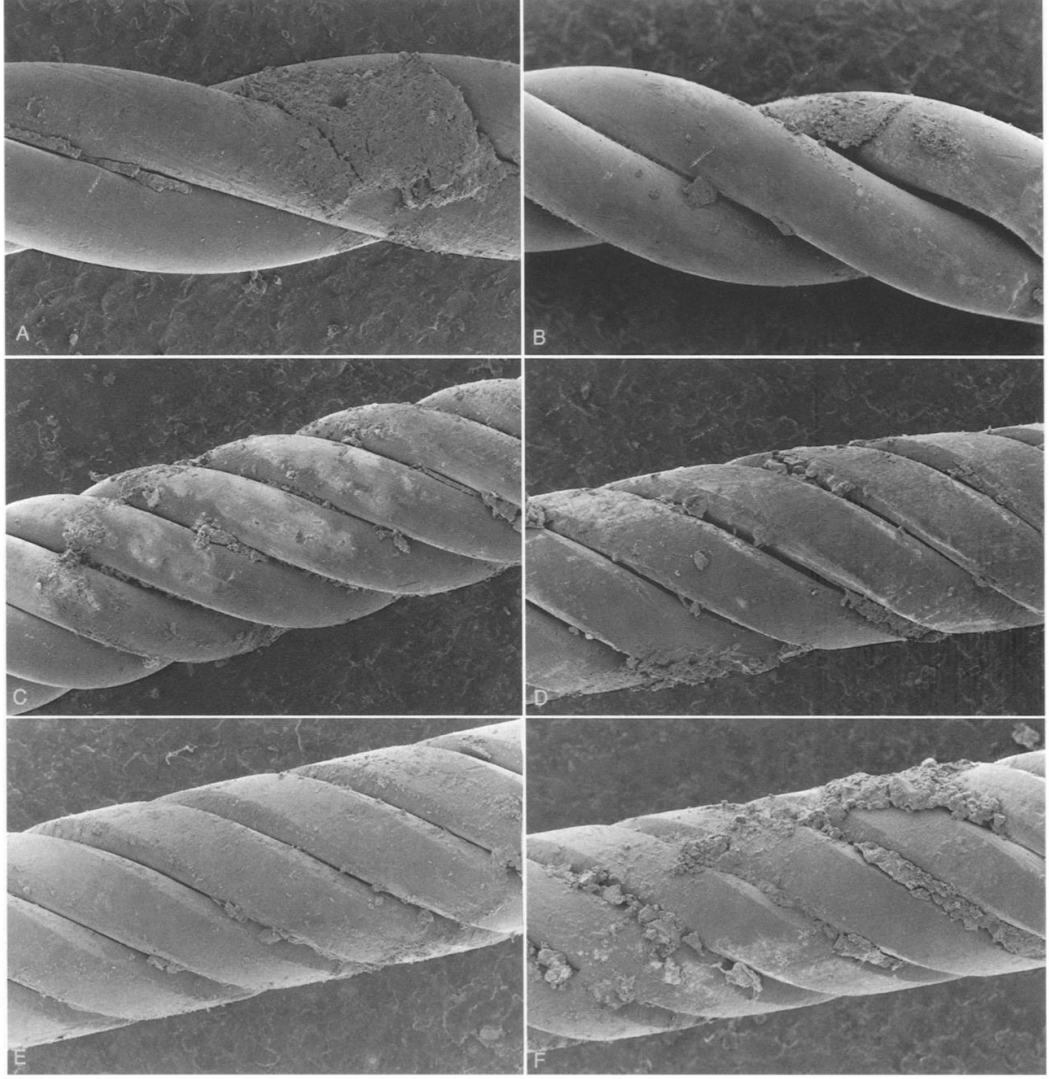
Twist Three Strand grubunda yer alan örnekler arayüzde ilk ayrılmanın ardından çok kısa bir çekme mesafesi sonrasında kompozitin içerisinde çıkmıştır. $E_{dmm} - F_{max}$ farkı ile ortaya koyulan bu mesafenin çok kısa olması iki mesafe ölçümü arasında korelasyon görülmemesinin temel sebebi olabilir.

Çekme testi esnasında eşzamanlı çizilen kuvvet-hareket grafikleri incelendiğinde Bond a Braid grubunun grafiklerinde başlangıçta parabolik bir artış görülmektedir. Bu durum telin plastik deformasyon eğrisini ortaya koymaktadır. Arayüzde ilk ayrılmanın ardından retainer teli serbestlendiği için kuvvette düşüş meydana gelmiştir. Bu düşüşü telin kompozit içerisinde gösterdiği dirence bağlı olarak meydana gelen ardışık iniş çıkışlar izlemiştir. Bu iniş çıkışlarda kuvvette her bir yükseliş bir öncekinden daha az olmuştur. Bu durumun, retainer teli kompozit içerisinde çıktıkça kompozit içinde kalan kısmın azalması ve gittikçe daha az direnç ortaya koyması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Kompozit içerisinde retainer teli kalmayana kadar izlenebilen bu sürecin sonunda retainer teli kompozit içerisinde tamamen çıkmaktadır ve kuvvet tamamen sıfırlanmaktadır. Co-ax Six Strand grubunda grafik daha hafif bir parabolik artış göstermiştir. İlk ayrılma noktasının ardından retainer telinin kompozit içerisinde ilerlemesi Bond a Braid'den daha kolay gerçekleşmiştir ve kuvvette yaşanan iniş çıkışlar daha çabuk son bulmuştur. Twist Three Strand grubunda grafiklerde görülen artış linear'e yakın olarak gözlenmiştir. İlk ayrılmanın ardından kuvvette sert bir düşüş görülmektedir ve kuvvet neredeyse bir iniş çıkış patterni ortaya koymadan düzenli olarak azalır son bulmuştur.

Iliadi ve ark. çalışmasında üç farklı kompozit içerisinde bulunan retainer tellerine uzun eksenlerinde çekme testi uygulanmıştır. Test sonucunda elde edilen kuvvet-hareket grafiklerinde retainer teli-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın ardından çalışmamızdakilere benzer iniş çıkışlar izlenmiştir ancak kuvvetler azalarak son bulmamıştır (Iliadi, Eliades, Silikas, & Eliades, 2017). Bu durumun, kullanılan retainer tellerinin kompozit blok içerisinde tamamen geçirilerek bloğun diğer tarafından tekrar çıkarılması böylece çekme testi devam ettikçe kompozit içerisinde yer alan tel miktarının azalmaması sebebiyle görüldüğünü düşünmekteyiz.

Çalışmamızda, Bond a Braid yukarıda bahsedilen diğer bulgularda da belirtildiği gibi kompozit içerisinde ilerlemeye karşı en fazla direnç gösteren tel olmuştur. Bu durum kuvvet-hareket grafiklerinde de gözlenmiştir. Esnek spiral retainer tellerinin $E_{dmm} - F_{max}$ farkları arasında istatistiksel bir fark bulunmamış olsa da çekme testi

esnasında Twist Three Strand'in kompozitin içerisinde daha az direnç göstererek ilerleme eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Bu eğilim kuvvet-hareket grafiklerinde de izlenebilmektedir. Bu sonuç, Twist Three Strand telinin ayrılma anında yüzey geometrisi sebebiyle daha büyük kompozit parçaları koparmasına, böylece kompozit içerisinde ilerlerken daha serbest bir alanda hareket etmiş olmasına bağlı olabilir. Bearn ve ark. yapmış olduğu çalışmada uzun eksenlerinde çekme testi uygulanan retainer telleri kompozit içerisinden çıktıktan sonra taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Yapılan incelemede en büyük kompozit parçalarının üç sarımlı esnek spiral telde bulunduğu görülmüştür (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997), (Resim 44). Bu bulgu da Twist Three Strand hakkındaki düşüncemizi kuvvetlendirmiştir. Çalışmada aynı zamanda retainer tellerinin yüzey karakteristiğinin tellerin kompozit içerisindeki tutuculuklarına etki ettiği söylenmiştir. Bu düşünce, çalışmamızdaki retainer tellerinin farklarını oluşturan etkiler ile ilgili fikirlerimizi doğrular niteliktedir.



Resim 44: Kompozit içerisinde ayrılan retainer tellerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (Bearn, McCabe, Gordon, & Aird, 1997)

6. Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda üç farklı retainer teli, üç boyutlu yazıcı ile oluşturulan bloklar kullanılarak kompozit içerisine yerleştirilmiştir ve uzun eksenlerinde çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonrasında gruplar için kompozit-tel arayüzünde ilk ayrılmanın meydana geldiği esnada ulaşılan kuvvet (F_{max}), ilk ayrılmanın meydana geldiği çekme mesafesi (F_{maxmm}) ve telin kompozit içerisinden tamamen çıktığı çekme mesafesi ($Endmm$) değerleri ölçülerek retainer tellerinin kompozitten ayrılma dirençlerini değerlendirmek amaçlanmıştır.

Altı sarımlı koaksiyel esnek spiral retainer teli olan Co-ax Six Strand F_{max} değerlerinde en yüksek kuvveti göstermiştir. Onun ardından Twist Three Strand gelmiştir. En düşük kuvveti dead soft yapıda olan Bond a Braid göstermiştir.

Co-ax Six Strand'in en yüksek kuvvet değerini göstermesi sonucunda, retainer teli yüzeyinde sarımlar arasında yer alan girintiler tutuculuk sağlayacak kadar derin olduğunda, kompozit-tel arayüzündeki ilk ayrılmaya karşı gösterilen direnç açısından girinti sayısının girinti derinliğinden daha önemli olduğu düşünülmektedir.

Twist Three Strand, en düşük F_{maxmm} değerini göstermiştir. Burada rol oynayan faktörün diğer retainer tellerine göre daha rijit bir yapıya sahip olması ve çekme kuvvetlerini tel-kompozit arayüzüne daha çabuk iletmesi olduğu düşünülmektedir. Bu durum retainer teli-kompozit arayüzü ayrılmalarına bağlı gerçekleşen komplikasyonlar açısından risk teşkil etmektedir.

Bond a Braid, üzerine etki eden kuvvetleri dead soft yapısı sebebiyle plastik deformasyona uğrayarak sönümleyebilmektedir. Bu özelliği sonucunda telin formu bozulsa bile tel-kompozit arayüzüne yüksek kuvvetlerin iletilmesinin önüne geçmektedir. Bozulan tel formu hastalar tarafından fark edilebildiğinden olası komplikasyonları gerçekleşmeden önleyebilmek için Bond a Braid güvenli bir seçenek olarak görünmektedir.

Tel-kompozit arayüzünde ilk ayrılmanın ardından telin kompozit içerisinde tamamen çıkmasına kadar geçen sürede kompozit içerisinde hareket ederken en fazla çekme mesafesi ortaya koyan tel Bond a Braid olmuştur. Telin yüzey özelliklerinin ve dead soft yapısının kompozit içerisinde ilerlemeyi zorlaştırması ile bu sonucun oluştuğu düşünülmektedir. Bu durum Bond a Braid'in esnek spiral tellere göre daha güvenli görülmesi için başka bir nedendir.

Kuvvet-hareket grafikleri incelendiğinde, tel-kompozit arayüzünde ayrılma gerçekleşikten sonra üç sarımlı olan Twist Three Strand'in sarım sayısı daha fazla olan tellere göre kompozit içerisinde daha kolay hareket ettiği görülmüştür. Bu durum farkedilmeyen retainer teli komplikasyonları için risk ortaya koymaktadır.

Çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde, sıfır hipotezi olan “Farklı lingual retainer tellerinin kompozitten ayrılma ve kompozit içerisinde hareket etme dirençleri arasında fark bulunmamaktadır” ibaresi reddedilmiştir.

Retainer tellerinin içerisinde buldukları kompozitten ayrılmaları sonucunda ortaya çıkan komplikasyonlar farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir. Retainer teli-kompozit arayüzünde meydana gelen ayrılmanın ardından dişlerin farklı retainer tellerinin etkisi ile ne şekilde hareket ettiği ve farklı tel tiplerinin hangi tip komplikasyonlara sebep olduğu gelecekteki in vitro ve in vivo çalışmalar ile araştırılmaya açıktır. Retainer tellerinin sebep olduğu beklenmedik komplikasyonların en aza indirilmesi için hastaların aktif tedavi bitiminde bu konuda bilinçlendirilmesi, sabit apareylere ek olarak hareketli pekiştirme apareylerinin de kullanılması ve tedavisi biten hastaların düzenli aralıklarla kontrol randevularına çağırılması alınabilecek önlemler arasındadır.

Kaynaklar

- Al Yami, E. A., Kuijpers-Jagtman, A. M., & van 't Hof, M. A. (1999). Stability of orthodontic treatment outcome: follow-up until 10 years postretention. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 115(3), 300–304.
- Alessandri Bonetti, G., Incerti Parenti, S., & Zucchelli, G. (2012). Onychophagia and postorthodontic isolated gingival recession: diagnosis and treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 142(6), 872–878.
- Al-Nimri, K., & Al-Nimri, J. (2015). Shear bond strength of different fixed orthodontic retainers. *Australian orthodontic journal*, 31(2), 178–183.
- Ardeshta, A. (2011). Clinical evaluation of fiber-reinforced-plastic bonded orthodontic retainers. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 139(6), 761–767.
- Artun, J. (1984). Caries and periodontal reactions associated with long-term use of different types of bonded lingual retainers. *American journal of orthodontics*, 86(2), 112–118.
- Artun, J., Spadafora, A. T., & Shapiro, P. A. (1997). A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers. *European journal of orthodontics*, 19(5), 501–509.
- Atack, N., Harradine, N., Sandy, J. R., & Ireland, A. J. (2007). Which Way Forward? Fixed or Removable Lower Retainers. *Angle Orthod*, 77 (6): 954–959.
- Atagün, Ç. (2021). Farklı sabit pekiştirme tellerinin kuvvet etkisi altındaki deformasyonlarının in vitro olarak incelenmesi (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi, İzmir.
- Baysal, A., Uysal, T., Gul, N., Alan, M., & Ramoglu, S. (2012). Comparison of three different orthodontic wires for bonded lingual retainer fabrication. *Korean J Orthod.*, Feb;42(1):39-46.
- Bearn, D. R., McCabe, J. F., Gordon, P. H., & Aird, J. C. (1997). Bonded orthodontic retainers: the wire-composite interface. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 111(1), 67–74.
- Bearn, D.R. (1995). Bonded orthodontic retainers: a review. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 108(2), 207–213.

- Booth, F. A., Edelman, J. M., & Proffit, W. R. (2008). Twenty-year follow-up of patients with permanently bonded mandibular canine-to-canine retainers. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 133(1), 70–76.
- Butler, J., & Dowling, P. (2005). Orthodontic bonded retainers. *Journal of the Irish Dental Association*, 51(1), 29–32.
- Charavet, C., Vives, F., Aroca, S., & Dridi, S. M. (2022). "Wire Syndrome" Following Bonded Orthodontic Retainers: A Systematic Review of the Literature. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 10(2), 379.
- Chiang, Y. J. (1996). Characterizing simple-stranded wire cables under axial loading. *Finite Elements in Analysis and Design*, 24(2), 49-62.
- Chockalingam, K., Jawahar, N., Chandrasekar, U., & Ramanathan, K. (2008). Establishment of process model for part strength in stereolithography. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 208, Issues 1–3, Pages 348-365.
- Cooke, M. E., & Sherriff, M. (2010). Debonding force and deformation of two multi-stranded lingual retainer wires bonded to incisor enamel: an in vitro study. *European Journal of Orthodontics*, 32(6), 741–746.
- Cruz de la, A., Sampson, P., Little, R. M., Artun, J., & Shapiro, P. A. (1995). Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.*, 107(5), 518–530.
- Dahl, E. H., & Zachrisson, B. (1991). Long-term experience with direct-bonded lingual retainers. *Journal of clinical orthodontics : JCO*, 25(10), 619–630.
- Diamond, M. (1987). Resin fiberglass bonded retainer. *Journal of Clinical Orthodontics*, 21(3), 182–183.
- Dinesh, S. P., Arun, A. V., Sundari, K. K., Samantha, C., & Ambika, K. (2013). An indigenously designed apparatus for measuring orthodontic force. *Journal of clinical and diagnostic research*, 7(11), 2623–2626.
- Edwards J. G. (1988). A long-term prospective evaluation of the circumferential supracrestal fiberotomy in alleviating orthodontic relapse. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 93(5), 380–387.
- Farret, M. M., Farret, M. M., da Luz Vieira, G., Assaf, J. H., & de Lima, E. M. (2015). Orthodontic treatment of a mandibular incisor fenestration resulting from a

- broken retainer. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 148(2), 332–337.
- Foek, D. L., Yetkiner, E., & Ozcan, M. (2013). Fatigue resistance, debonding force, and failure type of fiber-reinforced composite, polyethylene ribbon-reinforced, and braided stainless steel wire lingual retainers in vitro. *Korean journal of orthodontics*, 43(4), 186–192.
- Freeman, D. C., McNamara, J. A., Baccetti, T., Franchi, L., & Fränkel, C. (2009). Long-term treatment effects of the FR-2 appliance of Fränkel. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 135(5), 570.e1–571.
- Golshah, A., & Feyli, S. A. (2022). Bond Strength and Deflection of Four Types of Bonded Lingual Retainers. . *International journal of dentistry*, 1707520.
- Górski, F., Kuczko, W., & Wichniarek, R. (2013). Influence of Process Parameters On Dimensional Accuracy of Parts Manufactured Using Fused Deposition Modelling Technology. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 7(19), 27-35.
- Górski, F., Wiesła, K., Wichniarek, R., Dudziak, A., Kowalski, M., & Zawadzki, P. (2010). Choosing optimal rapid manufacturing process for thin-walled products using expert algorithm. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Vol. 3, Iss. 2, pp. 408-420.
- Gunay, F., & Oz, A. A. (2018). Clinical effectiveness of 2 orthodontic retainer wires on mandibular arch retention. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 153(2), 232–238.
- Hamran, T., Čirgić, E., Aiyar, A., & Vandevska-Radunovic, V. (2022). Survey on retention procedures and use of thermoplastic retainers among orthodontists in Norway, Sweden, and Denmark. *Journal of the World federation of orthodontists*, 11(4), 114–119.
- Hawley CA. (1919). A removable retainer. *Dental Cosmos*, 61:449-51.
- Heier, E. E., De Smit, A. A., Wijgaerts, I. A., & Adriaens, P. A. (1997). Periodontal implications of bonded versus removable retainers. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 112(6), 607–616.
- Horowitz, S. L., & Hixon, E. H. (1969). Physiologic recovery following orthodontic treatment. *American journal of orthodontics*, 55(1), 1–4.

- Iliadi, A., Eliades, T., Silikas, N., & Eliades, G. (2017). Development and testing of novel bisphenol A-free adhesives for lingual fixed retainer bonding. *European journal of orthodontics*, 39(1), 1–8.
- Iliadi, A., Kloukos, D., Gkantidis, N., Katsaros, C., & Pandis, N. (2015). Failure of fixed orthodontic retainers: A systematic review. *Journal of dentistry*, 43(8), 876–896.
- Jäderberg, S., Feldmann, I., & Engström, C. (2012). Removable thermoplastic appliances as orthodontic retainers--a prospective study of different wear regimens. *European journal of orthodontics*, 34(4), 475–479.
- Kaji, A., Sekino, S., Ito, H., & Numabe, Y. (2013). Influence of a mandibular fixed orthodontic retainer on periodontal health. *Australian orthodontic journal*, 29(1), 76–85.
- Kartal, Y., & Kaya, B. (2019). Fixed Orthodontic Retainers: A Review. *Turkish journal of orthodontics*, 32(2), 110–114.
- Katsaros, C., Livas, C., & Renkema, A. M. (2007). Unexpected complications of bonded mandibular lingual retainers. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 132(6), 838–841.
- Kesling, H. (1945). The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 31(6), 297-304.
- Klaus, K., Xirouchaki, F., & Ruf, S. (2020). 3D-analysis of unwanted tooth movements despite bonded orthodontic retainers: a pilot study. *BMC Oral Health*, 20, 308.
- Knierim, R. W. (1973). Invisible Lower Cuspid to Cuspid Retainer. *Angle Orthod*, 43 (2): 218–219.
- Kravitz, N. D., Grauer, D., Schumacher, P., & Jo, Y. M. (2017). Memotain: A CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 151(4), 812–815.
- Kučera, J., & Marek, I. (2016). Unexpected complications associated with mandibular fixed retainers: A retrospective study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 149(2), 202–211.
- Kučera, J., Littlewood, S., & Marek, I. (2021). Fixed retention: pitfalls and complications. *British Dental Journal*, 230, 703–708.

- Kucera, J., Marek, I., Hanzelka, T., & Kamínek, M. (2015). Unexpected complications of fixed retainers. . *Ortodoncie*, 24, 69-80. .
- Levin, L., Samorodnitzky-Naveh, G. R., & Machtei, E. E. (2008). The association of orthodontic treatment and fixed retainers with gingival health. *Journal of periodontology*, 79(11), 2087–2092.
- Lie Sam Foek, D. J., Ozcan, M., Verkerke, G. J., Sandham, A., & Dijkstra, P. U. (2008). Survival of flexible, braided, bonded stainless steel lingual retainers: a historic cohort study. . *European journal of orthodontics*, 30(2), 199–204.
- Little, R. M., Wallen, T. R., & Riedel, R. A. (1981). Stability and relapse of mandibular anterior alignment-first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. *American journal of orthodontics*, 80(4), 349–365.
- Littlewood, S.J., Kandasamy, S. Huang, G. (2017). Retention and relapse in clinical practice. *Australian Dental Journal*, 62: S1 51– 57.
- Lumsden, K. W., Saidler, G., & McColl, J. H. (1999). Breakage incidence with direct-bonded lingual retainers. *British journal of orthodontics*, 26(3), 191–194.
- Oppenheim, A. (1934). The crisis in orthodontia Part I. *International Journal of Orthodontia and Dentistry for Children*, 542-554.
- Padmos, J. A., Fudalej, P. S., & Renkema, A. M. (2018). Epidemiologic study of orthodontic retention procedures. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 153(4), 496–504.
- Pandis, N., Fleming, P. S., Kloukos, D., Polychronopoulou, A., Katsaros, C., & Eliades, T. (2013). Survival of bonded lingual retainers with chemical or photo polymerization over a 2-year period: a single-center, randomized controlled clinical trial. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 144(2), 169–175.
- Pandis, N., Vlahopoulos, K., Madianos, P., & Eliades, T. (2007). Long-term periodontal status of patients with mandibular lingual fixed retention. *European journal of orthodontics*, 29(5), 471–476.
- Paolone, M. G., Kaitsas, R., Obach, P., Kaitsas, V., Benedicenti, S., Sorrenti, E., & Barberis, F. (2015). Tensile test and interface retention forces between wires and composites in lingual fixed retainers. *International orthodontics*, 13(2), 210–220.

- Patcas, R., & Pedrolì, G. (2012). A bonding technique for fixed maxillary retainers. *Journal of orthodontics*, 39(4), 317–322.
- Ponitz R. J. (1971). Invisible retainers. *American journal of orthodontics*, 59(3), 266–272.
- Pratt, M. C., Kluemper, G. T., Hartsfield, J. K., Fardo, D., & Nash, D. A. (2011). Evaluation of retention protocols among members of the American Association of Orthodontists in the United States. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 140(4), 520–526.
- Proffit W. R. (1978). Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *The Angle orthodontist*, 48(3), 175–186.
- Proffit, W. (2013). Retention. W. Proffit, H. Fields, & D. Sarver içinde, *Contemporary orthodontics. 5th ed.* (s. 615–616). St Louis: Elsevier Mosby-Year Book.
- Radlanski, R. J., & Zain, N. D. (2004). Stability of the bonded lingual wire retainer-a study of the initial bond strength. *Journal of orofacial orthopedics*, 65(4), 321–335.
- Reitan. (1967). Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *American journal of orthodontics*, 53(10), 721–745.
- Renkema, A. M., Al-Assad, S., Bronkhorst, E., Weindel, S., Katsaros, C., & Lisson, J. A. (2008). Effectiveness of lingual retainers bonded to the canines in preventing mandibular incisor relapse. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 134(2).
- Renkema, A. M., Renkema, A., Bronkhorst, E., & Katsaros, C. (2011). Long-term effectiveness of canine-to-canine bonded flexible spiral wire lingual retainers. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 139(5), 614–621.
- Rody, W. J., Akhlaghi, H., Akyalcin, S., Wiltshire, W. A., Wijegunasinghe, M., & Filho, G. N. (2011). Impact of orthodontic retainers on periodontal health status assessed by biomarkers in gingival crevicular fluid. *The Angle orthodontist*, 81(6), 1083–1089.
- Roussarie, F., & Douady, G. (2018). Unwanted tooth movement produced by the bonded retention wire : the “wire syndrome,” observations, theories, clinical

- consequences : second part. *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics.*, 21. 503.
- Rowland, H., Hichens, L., Williams, A., Hills, D., Killingback, N., Ewings, P., . . . Sandy, J. R. (2007). The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers: a single-center randomized controlled trial. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 132(6), 730–737.
- Samson, R. S., Varghese, E., Uma, E., & Chandrappa, P. R. (2018). Evaluation of Bond Strength and Load Deflection Rate of Multi-stranded Fixed Retainer Wires: An In-Vitro Study. . *Contemporary clinical dentistry*, 9(1), 10–14.
- Schulz, R. P., Mayhew, R. B., Oesterle, L. J., & Pierson, W. P. (1985). Bond strengths of three resin systems used with brackets and embedded wire attachments. *American journal of orthodontics* , 87(1), 75–80.
- Shaughnessy, T. G., Proffit, W. R., & Samara, S. A. (2016). Inadvertent tooth movement with fixed lingual retainers. . *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 149(2), 277–286.
- Sifakakis, I., Eliades, T., & Bourauel, C. (2015). Residual stress analysis of fixed retainer wires after in vitro loading: can mastication-induced stresses produce an unfavorable effect? *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*, 60(6), 617–622.
- Sifakakis, I., Pandis, N., Eliades, T., Makou, M., Katsaros, C., & Bourauel, C. (2011). In-vitro assessment of the forces generated by lingual fixed retainers. . *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 139(1), 44–48.
- Störmann, I., & Ehmer, U. (2002). A prospective randomized study of different retainer types. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie*, 63(1), 42–50.
- Tabrizi, S., Salemis, E., & Usumez, S. (2010). Flowable composites for bonding orthodontic retainers. *The Angle Orthodontist*, 80(1), 195–200.
- Tacke, M. P., Cosyn, J., De Wilde, P., Aerts, J., Govaerts, E., & Vannet, B. V. (2010). Glass fibre reinforced versus multistranded bonded orthodontic retainers: a 2 year prospective multi-centre study. *European Journal of Orthodontics*, Volume 32, Issue 2, Pages 117–123,.

- Taner, T., & Aksu, M. (2012). A prospective clinical evaluation of mandibular lingual retainer survival. *European Journal of Orthodontics*, Volume 34, Issue 4, Pages 470–474.
- Tee, S. H., Shahid, S., Al-Moghrabi, D., & Fleming, P. S. (2023). An assessment of the impact of adhesive coverage and wire type on fixed retainer failures and force propagation along two types of orthodontic retainer wires: an in vitro study. *The Angle orthodontist*, 10.2319/110722-765.1. Advance online publication. <https://doi.org/10.2319/110722-765.1>.
- Uysal, T., Baysal, A., Usumez, S., & Ulker, M. (2009). Microleakage between composite-wire and composite-enamel interfaces of flexible spiral wire retainers. Part 1: comparison of three composites. *European journal of orthodontics*, 31(6), 647–651.
- Wu, D., Rosen, D. W., Wang, L., & Schaefer, D. (2015). Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. *Computer-Aided Design*, Volume 59, 1-14.
- Zachrisson, B. U. (1982). The bonded lingual retainer and multiple spacing of anterior teeth. *Swedish dental journal.*, 15, 247–255.
- Zachrisson, B. U. (2015). Multistranded wire bonded retainers: from start to success. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 148(5), 724–727.

Teşekkür

Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda doktora eğitimime başladığım günden beri her aşamada bana destek verip yol gösteren, güler yüzünü ve pozitif enerjisini her zaman hissetmeye devam edeceğim, öğrencisi olmaktan minnet duyduğum sevgili danışman hocam Prof. Dr. Münire Ece Sabah'a,

Tezimin fikir olarak ortaya çıktığı günden tamamlandığı son güne kadar bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan tez komitesi hocalarım Prof. Dr. Özgün Özçaka Yüksel ve Prof. Dr. Aslıhan Mediha Erdinç'e,

Bana in vitro çalışma yapmanın inceliklerini öğreten, laboratuvar aşamasında büyük emeği geçen Prof. Dr. Tijen Pamir'e,

Meslek hayatımda kendime örnek aldığım, başladığım ilk günden beri üzerimdeki katkıları sayısız olan Prof. Dr. Gökhan Önçağ'a,

Doktora sürecimde benim için hem bir hoca hem bir ağabey olan Doç. Dr. Furkan Dindaroğlu'na,

Başta ana bilim dalı başkanımız Prof. Dr. Servet Doğan olmak üzere Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda bulunan, eğitimimde büyük katkıları olan tüm kıymetli hocalarıma,

Tezimin istatistik hesaplarının yapılmasını sağlayan Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı Araş. Gör. Semiha Özgül'e,

Tezimin laboratuvar aşamasında bana destek olan Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı sorumlusu Halil Berber'e,

Aynı yolu yürüdüğümüz, tecrübelerimizi hiç çekinmeden paylaştığımız tüm asistan arkadaşlarıma,

Doktora eğitimimin bana kattığı kıymetli dostlarım Dt. Çağlayan Öztürk'e, Dr. Dt. Meltem Gediz'e, Uzm. Dt. Eda Sarı'ya, Dt. Ezgi Cansu Fırıncıoğulları'na, Dt. Edanur Dark'a,

Gerek hayatımın her alanında, gerekse bizzat tezimin ortaya çıkmasında bana destek olan, kendisine sahip olduğum için ne kadar şanslı olduğumu her geçen gün daha iyi anladığım sevgili kardeşim Deniz Korkmaz'a,

Yaşamımdaki en büyük sevinç kaynağım, bugünkü insan olmamı sağlayan, ne kadar teşekkür etsem az geleceğini bildiğim annem Zahide Korkmaz'a ve babam Tanju Korkmaz'a,

Hayatıma girdiği günden beri onu daha güzel kılan, fiziken yanımda olmadığı zamanlarda bile desteğini yanımda hissettirebilen Miria Rosasen'e,

Teşekkürlerimi sunarım.

İzmir, 5.02.2024

Dt. Cevat Ege KORKMAZ

Özgeçmiş

İlköğrenimimi ODTÜ Geliştirme Vakfı Özel Mersin İlköğretim Okulu'nda 2008 yılında, lise eğitimimi Mersin Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi'nde 2012 yılında tamamladım. 2012-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde lisans eğitimimi tamamladım. 2019 yılında Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimime başladım.

