

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ORTODONTİK ŞEFFAF PLAK MATERYAL VE KALINLIK
FARKLILIKLARININ ANKRAJ ATAŞMANINA UYUMUNUN
KARŞILAŞTIRILMASI: BİR İN VİTRO ÇALIŞMA**

UZMANLIK TEZİ

İlter Burak KÖSE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Eyüp Burak KÜÇÜK

HATAY-2023

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ORTODONTİK ŞEFFAF PLAK MATERYAL VE KALINLIK
FARKLILIKLARININ ANKRAJ ATAŞMANINA UYUMUNUN
KARŞILAŞTIRILMASI: BİR İN VİTRO ÇALIŞMA**

UZMANLIK TEZİ

İlter Burak KÖSE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Eyüp Burak KÜÇÜK

HATAY-2023

Kabul ve Onay

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

ORTODONTİK ŞEFFAF PLAK MATERYALİ VE KALINLIK FARKLILIKLARININ
ANKRAJ ATAŞMANINA UYUMUNUN KARŞILAŞTIRILMASI: BİR İN VİTRO
ÇALIŞMA

UZMANLIK TEZİ
İlter Burak KÖSE

Bu tez aşağıda isimleri yazılı tez jürisi tarafından 29/11/2023 günü sözlü olarak yapılan tez savunma sınavında oyçokluğu/oybirliği ile kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:

Jüri başkanı: Doç. Dr. Mehmet UĞURLU

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Eyüp Burak KÜÇÜK

Üye: Doç. Dr. Fundagül BİLGİÇ ZORTUK

Bu tez, Dekanlığımız Ortodonti Ana Bilim Dalında hazırlanmıştır.

29/11/2023

Prof. Dr. Mustafa ZORTUK

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca öğrettikleri, kattıkları ve emekleri için tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Eyüp Burak KÜÇÜK'e,

Klinik eğitimimde deneyimlerini benimle paylaşan ve emek veren anabilim dalı başkanımız Doç. Dr. Fundagül BİLGİÇ ZORTUK ile bölüm hocalarımız Dr. Öğr. Üyesi Hakkı YILMAZ ve Öğr. Gör. Dr. Mohammed ALRAAWI'ye,

Özellikle uzmanlık eğitimimin başında olmak üzere tüm süreçlerde beni yalnız bırakmayan kıdemli asistanlarım ve arkadaşlarım Abdullah KAYA ve Gökay ÜSTDAL'a,

Acısıyla tatlısıyla bunca zaman geçirdiğim ve güzel anılar biriktirdiğim tüm mesai arkadaşlarıma,

Tez sürecimin en başından beri bana destek olan ve beni cesaretlendiren; aynı zamanda fikir ve katkılarından dolayı Şahin BARIŞ ve Mustafa ÖZCAN'a,

Bugünlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan, tek bir an bile beni yalnız bırakmayan, maddi manevi var gücü ile benim iyi olmam için çabalayan canım annem-babam Gönül-Sıtkı KÖSE'ye ve biricik ablam Gamze'ye, artık ikinci ailem olan ve özellikle eğitimimin son dönemlerinde desteklerini unutmayacağım GÖKÇE ailesine,

Ve tüm bu güzelliklerin olmasını mümkün kılan canım eşim, yoldaşım, hayat arkadaşım Eda'ya sonsuz teşekkürlerimle...

Son olarak hayatta en büyük hazinenin sağlık olduğunu bir kez daha vurgulamak isterim. Başarı; çabayla değil, aşkla ilgilidir. Aşkınız hiç bitmesin. Unutmayın ki, kader gayrete âşıktır. Bu tezin bilime katkı sunması ve bu alanda çalışma yapmak isteyen tüm meslektaşlarıma bir nebze yol göstermesi dileğiyle...

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Estetiğin Tanımı ve Tarihçesi	3
2.1.1 Dental Estetik.....	3
2.1.2 Ortodontide Estetik	3
2.2 Şeffaf Plakların Tarihçesi.....	4
2.2.1 Birinci Nesil Şeffaf Plak Sistemleri	5
2.2.2 İkinci Nesil Şeffaf Plak Sistemleri.....	5
2.2.3 Üçüncü Nesil Şeffaf Plak Sistemleri.....	5
2.3 Şeffaf Plaklarla Tedavi Sistemleri.....	6
2.3.1 Essix Sistemleri.....	6
2.3.2 CAD/CAM Sistemleri.....	6
2.4 Şeffaf Plak Tedavisinin Endikasyon, Kontrendikasyon, Avantaj ve Dezavantajları.....	7
2.4.1 Şeffaf Plak Tedavisinin Endikasyon ve Kontrendikasyonları	7
2.4.2 Şeffaf Plak Tedavisinin Avantaj ve Dezavantajları	9
2.5 Ataşmanlar	10
2.5.1 Ataşman Tipleri.....	11
2.5.1.1 Konvansiyonel Ataşmanlar	11
2.5.1.2 Optimize Ataşmanlar	12
2.5.2 İşlevlerine Göre Ataşmanların Sınıflandırılması.....	13

2.5.2.1 Retansiyon.....	13
2.5.2.2 Dış Hareketini Kolaylaştırma.....	14
2.5.2.3 Ankraj.....	17
2.6 Şeffaf Plakların Üretimi	17
2.6.1 Dijital Veri Toplama	18
2.6.1.1 Ağız Dışı Tarayıcılar.....	18
2.6.1.2 Ağız İçi Tarayıcılar	19
2.6.2 CAD/CAM Yazılımı ile Tasarım	20
2.6.3 Rezin Modellerin Üretimi	20
2.6.4 Şeffaf Plakların Isıyla Şekillendirilmesi	22
2.7 Ortodontik Şeffaf Plaklarda Uyum Değerlendirme Yöntemleri	23
2.7.1 Çekme Makinesi Yöntemi.....	23
2.7.2 Silikon Replika Tekniği	24
2.7.3 Optik Tarama Yöntemi	24
2.7.4 Koordinat Ölçüm Makinesi Yöntemi.....	24
2.7.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
2.7.6 Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT).....	25
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	28
3.1 Çalışmada Kullanılacak Örnek Sayısının Belirlenmesi	28
3.2 Deney Gruplarının Tanımlanması.....	28
3.3 Şeffaf Plakların Üretimi	29
3.3.1 Sanal Modelin Oluşturulması.....	30
3.3.2 Ataşman Tasarımı	31
3.3.3 Master Modelin Hazırlanması ve Üretimi.....	32
3.3.4 Şeffaf Plakların Basılması.....	34
3.4 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Taraması	36
3.5 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin Analize Hazırlanması.....	37
3.6 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin Analizi.....	38
3.7 İstatistiksel Analiz	42
4. BULGULAR.....	43
4.1 Üç Boyutlu Analiz Bulguları.....	43
4.2 İki Boyutlu Analiz Bulguları.....	43

4.2.1 Frontal Düzlemde Yapılan İki Boyutlu Ölçümlere Ait Bulgular	44
4.2.2 Sagital Düzlemde Yapılan Ölçümler	45
4.2.3 Transversal Düzlemde Yapılan Ölçümler	46
4.2.4 Üç Düzlemde Kesit Ortalamalarının Karşılaştırılması	47
5. TARTIŞMA	48
5.1 Kullanılan Gereç ve Yöntemin Tartışması	48
5.2 Bulguların Tartışması	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
7. KAYNAKLAR	64
EKLER	72
EK-1	72
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Konvansiyonel ataşmanlar	12
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan üç boyutlu ağız içi modeli	30
Şekil 3.2. Ortho Analyzer 3D programı	31
Şekil 3.3. Vertikal rektanguler ataşman (cephe, oblik ve profilden görünüm)	31
Şekil 3.4. Dijital modelin hazırlanması	32
Şekil 3.5. Ataşmanların yazılım aracılığıyla dişlere aktarılması	32
Şekil 3.6. Yerleştirilen ataşmanların karşıdan ve oklüzalden görünümü	32
Şekil 3.7. Ataşmanların diş yüzeyine adapte edilmesi (oklüzalden ve karşıdan görünüm)	33
Şekil 3.8. Formlabs Form 3+ üç boyutlu yazıcı (Orthodigi, İzmir).....	33
Şekil 3.9. %91 izopropil alkol içeren yıkama kabı.....	34
Şekil 3.10. Kullanıma hazır üç boyutlu rezin model	34
Şekil 3.11. Erkopress şeffaf plak ısıyla şekillendirme cihazı	35
Şekil 3.12. Isıyla şekillendirme prosedürü sonrası ilk basılmış şeffaf plak	36
Şekil 3.13. Çalışmada taramalar için kullanılan Skyscan 1172 Mikro-bt sistemi.....	36
Şekil 3.14. CTVox ile ataşman-plak ikilisinin üç boyutlu modellemesi	37
Şekil 3.15. NRcon 1.6.10.6 (Skyscan, Konitch, Belgium) programında görüntünün analize hazırlanması	38
Şekil 3.16. Dataviewer 1.6.0.0 (Skyscan, Konitch, Belgium) programı ile konumsal hataların giderilmesi.....	38
Şekil 3.17. Ataşmanın başladığı (bukkal), ortanca (frontomedian) ve bittiği (palatinal) kesit (frontal düzlem)	39
Şekil 3.18. Ataşmanın başladığı (mezial), ortanca (sagitomedian) ve bittiği (distal) kesit (sagital düzlem).....	39
Şekil 3.19. Ataşmanın başladığı (gingival), ortanca (transversomedian) ve bittiği (oklüzal) kesit (transversal düzlem)	39
Şekil 3.20. Bölgesel ayrıştırma işlemi (Region of Interest) (transversal ve frontal kesit) ..	40
Şekil 3.21. Siyah-beyaz görüntü sayfası (Binary Page)	40
Şekil 3.22. Özel işlemler sayfası (Custom Processing)	40

Şekil 3.23. CTAn 1.20.8.0 programı ile iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (transversal düzlem)	41
Şekil 3.24. CTAn 1.20.8.0 programı ile yapılan iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (sagital düzlem).....	42
Şekil 3.25. CTAn 1.20.8.0 programı ile yapılan iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (frontal düzlem)	42



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deney grupları.....	29
Çizelge 4.1. Plak- ataşman arasındaki hava boşluğu hacmine ait (mm ³) bulgular.....	43
Çizelge 4.2. Frontal düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk bulguları (mm)	44
Çizelge 4.3. Sagital düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk ölçümleri (mm).....	45
Çizelge 4.4. Transversal düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk ölçümleri (mm)	46
Çizelge 4.5. Frontal, sagital ve transversal düzlemlerin ortalama boşluk genişliği (mm) bulguları.....	47



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

2B	: iki boyutlu
3B	: üç boyutlu
ABA	: copolyester, thermoplastic elastomer and copolyester
BMP	: bit map picture
BT	: bilgisayarlı tomografi
DICOM	: digital Imaging and communications in medicine
DLP	: dijital ışıık işleme
EOS	: ağız dışı tarayıcı
IOS	: ağız içi tarayıcılar
kV	: kilovolt
mA	: miliamper
Mikro-BT	: mikro bilgisayarlı tomografi
mm	: milimetre
mm³	: milimetreküp
Mp	: megapiksel
PET	: polietilen tereftalat
PET-G	: glükol modifiye polietilen tetraftalat
psi	: pounds per square inch
SEM	: taramalı elektron mikroskobu
SLA	: stereolitografi
STL	: standart triangle language
TIF	: tagged image file
µm	: mikrometre
%	: yüzde
°	: derece
±	: eksiği veya fazlası
<	: küçüktür
>	: büyüktür
=	: eşittir

ÖZET

Ortodontik Şeffaf Plak Materyal ve Kalınlık Farklılıklarının Ankraj Ataşmanına Uyumunun Karşılaştırılması: Bir İn Vitro Çalışma

Giriş ve Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı kalınlık ve materyalden üretilen ortodontik şeffaf plakların rektangüler ankraj ataşmanına uyumunun in vitro olarak karşılaştırılmasıdır. **Gereç ve Yöntem:** Çalışmada her bir grupta 10; toplam 40 adet CA Clear Aligner marka şeffaf plak materyali kullanılmıştır. Master model üzerinde birinci ve ikinci küçük azı dişlerine aynı formda iki adet vertikal rektangüler ataşman yerleştirilerek her bir grupta 10 plak üzerinde toplam 20 ataşmanın uyumu değerlendirilmiştir. Çalışmada; 0,5mm CA-Soft, 0,625 mm CA-Medium, 0,75 mm CA-Hard PET-G ve 0,75 mm CA PRO-Hard ABA Three Layer Material olmak üzere 4 farklı materyal ve kalınlıkta plak kullanılmıştır. Plaklar tek bir rezin modele basılmış; ölçümler için mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanılmıştır. Üç boyutlu (3B) analiz için ataşman ile plak arasındaki hava boşluğu hacmi; iki boyutlu (2B) analizler için de frontal, sagittal ve transversal düzlemde ataşmanın başladığı, bittiği ve ortanca kesitte 8 noktada ataşman ile plak arasındaki mesafe ölçülmüştür. Sonrasında ölçülen 8 noktanın ortalaması alınarak o kesitin ortalama boşluk genişliği (OBG) hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri ile yapılmıştır. Grup içinde tekrarlayan ölçümlerde karşılaştırmalar ANOVA ve LSD testi ile değerlendirilmiştir.

Bulgular: 3B analiz sonuçlarına göre ataşman-şeffaf plak arasında kalan boşluk hacmi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. 2B analiz sonuçlarına göre frontal düzlemde; palatinal kesitte CA PRO-Hard grubunda OBG diğer gruplardan daha düşüktür. Grup içi kıyaslamalarda; tüm çalışma gruplarında bukkal kesitin OBG palatinal kesite göre daha düşük bulunmuştur. Sagittal düzlemde; mezial kesitte gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır. Sagitomedian ve distal kesitte CA PRO-Hard grubunda OBG; diğer gruplardan daha düşük bulunmuştur. Grup içi kıyaslamalarda; CA PRO-Hard grubunda kesitler arasında OBG açısından fark gözlemlenmemiştir. Diğer gruplarda mezial ve distal kesit OBG; sagitomedian kesite göre daha düşük bulunmuştur. Transversal düzlemde; gingival ve transversomedian kesitte CA PRO-Hard grubunda OBG diğer çalışma gruplarına göre daha düşük bulunmuştur. Oklüzal kesitte gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır. Grup içi kıyaslamalarda; CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grubunda oklüzal kesitten gingival kesite doğru daha büyük OBG gözlemlenmiştir. CA PRO-Hard grubunda OBG gingival kesit, oklüzal kesite göre daha düşük bulunmuştur. Düzlem ortalamalarında ise gruplar arasında, her üç düzlemde de CA PRO Hard grubu OBG diğer gruplara göre daha düşük bulunmuştur.

Sonuç: 3B analiz sonuçlarına göre tüm gruplarda plak-ataşman uyumu birbirine benzer bulunmuştur. 2B analiz sonuçlarına göre genel olarak diş-ataşman birleşiminde ve gingival bölgede uyum kaybı gözlemlenmiştir. CA PRO-Hard tüm ataşman yüzeylerinde daha iyi uyum göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: şeffaf plak uyumu, ataşman, mikro-bt

ABSTRACT

Micro-CT Comparison of Aligner Fitting on Anchorage Attachment: an In Vitro Study

Introduction and Aim: The aim of this study was to compare in vitro the fitting of orthodontic clear aligners of different thicknesses and materials to the anchorage attachment.

Material and Methods: In the study, 10 in each group and a total of 40 CA Clear Aligner brand clear aligners were used. Two vertical rectangular attachments of the same form were placed on the first and second premolars on the master model and the fitting (gap between aligners and tooth surface) of a total of 20 attachments on 10 plates in each group was evaluated. In the study; 4 different aligners were used; 0.5mm CA-Soft, 0.625 mm CA-Medium, 0.75 mm CA-Hard PET-G and 0.75 mm CA PRO-Hard ABA Three Layer Material. The aligners were printed on a single resin model and the micro-computed tomography method was used to measure the air gap volume and gap width between the clear aligner and the attachment. For three-dimensional (3D) analysis, the air gap between the attachment and the aligner was measured; for two-dimensional (2D) analysis, the distance between the attachment and the aligner was measured at 8 points at the beginning, ending and median section of the attachment in the frontal, sagittal and transversal planes. The average gap width (AGW) of that section was then measured by averaging the 8 measured points. Comparisons between groups were made with one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey HSD multiple comparison tests. Within-group comparisons in repeated measurements were evaluated by ANOVA and LSD test.

Results: According to the 3D analysis results, there is no statistically significant difference between the groups in terms of the gap volume between the attachment and the clear aligner. According to the 2D analysis results, in the frontal plane; AGW in the CA PRO-Hard group in the palatal section is lower than the other groups. In within-group comparisons, the OBG of the buccal section was found to be lower than the palatal section in all study groups. In the sagittal plane; there is no statistically significant difference between the groups in the mesial section. In the sagitomedian and distal sections, AGW in the CA PRO-Hard group was found to be lower than the other groups. In within-group comparisons, no difference was observed in terms of AGW between sections in the CA PRO Hard group. In other groups, mesial and AGW of distal section was found to be lower than sagitomedian section. In the transversal plane; in the gingival and transversomedian sections, AGW was found to be lower in the CA PRO-Hard group compared to the other study groups. In within-group comparisons, OBG gingival section was found to be lower than occlusal section in CA PRO-Hard group. In the other groups, a larger OBG was observed from occlusal to gingival sections. In the plane averages, AGW of CA PRO Hard group was found to be lower than the other groups in all three planes.

Conclusion: According to the 3D analysis results, the fitting of all groups was similar to each other. According to the results of the 2D analysis, a loss of fitting was generally observed at the tooth-attachment junction and in the gingival area. CA PRO-Hard showed a better fitting on all attachment surfaces.

Keywords: clear aligner fitting, attachment, micro-ct

1. GİRİŞ

Birçok hastanın özellikle de gençlerin ve genç erişkinlerin ortodontik tedavi ihtiyacı, çapraşık dişlerin düzeltilmesi ve yüz görünümünün güzelleştirilmesi arzusundan kaynaklanmaktadır. Ortodontik tedavi denilince akla gelen ilk seçenek metal braketler ve sabit ortodontik sistemlerdir. Ancak günümüzde hem estetik beklentileri karşılamak hem de tedavi seçeneklerini artırmak için üreticiler tarafından estetik braketler ve teller, lingual ortodonti tekniği ve şeffaf plaklar gibi çeşitli çözümler geliştirilmiştir.¹ Şeffaf plaklar; istenilen tedavi hedeflerini elde etmek için oluşturulmuş şeffaf ve takıp çıkarılabilir aygıtlardır ve son yıllarda estetik arayışında olan hastalar için giderek talep edilen bir tedavi seçeneği olarak karşımıza çıkmaktadır.²

Labial sabit ortodonti etkili bir tedavi sistemi olmasına rağmen, kullanıcıların isteksizliği esas olarak metal görünümü, kötü estetik algısı ve ağrı korkusundan kaynaklanmaktadır. Şeffaf plaklar, labial sabit cihazlarla yeterince estetik olmayan ortodontik tedaviye mükemmel bir alternatif sunar. Bu nedenlerle şeffaf plaklarla yapılan ortodontik tedavi giderek gelişen, etkinliği ve kullanımı hızla artan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şeffaf plak tedavisi başlarda basit diş çekimsiz vakalarda etkili ve kullanılmakta iken yıllar içinde sistem gelişmiştir.^{3, 4} Günümüzde ise distalizasyon, çekim boşluklarının kapatılması gibi hareketlerin yapıldığı karmaşık vakalarda bile etkili bir şekilde kullanılmaktadır.⁵ Şeffaf plak tedavisinde diş hareketini kolaylaştırmak ve tedavinin öngörülebilirliğini artırmak için ataşmanlar, ağız içi elastikler ve interproksimal aşındırma gibi yardımcı eleman ve uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.³ Bu nedenle ataşmanlar ortodontik hareketi düzenlemek veya ankraj ünitelerini yönetmek için kullanılabilir.

Son teknolojik gelişmeler artık ortodontistleri ölçü alımında, model yazdırılmasında, ataşman tasarlanmasında ve plak üretimi aşamasında dijital sistemleri kullanmasına olanak tanır. Şeffaf plaklarla ortodontik tedaviye artan talep ile birlikte birçok ortodontist, CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim) teknolojisinin yardımıyla kendi ofis içi şeffaf plaklarını üretmeye başlamıştır.^{6, 7} Farklı şeffaf plak sistemleri arasındaki varyasyonlar (laboratuvar işlemleri, çevrimiçi plak üretimi ve dijital/manuel kurulumlar) ortodontistlerin tercih ettikleri sistemleri seçmelerine olanak tanır. Ortodontistler, şeffaf

plaklarla istenen diş hareketini elde etmek için piyasada bulunan farklı termoplastik malzemeler ve kalınlıkta plaklar kullanılmaktadır.

Bilinçli bir karar verebilmek için ortodontistlerin plağın özellikleri konusunda bilinçli olması gerekir. Şeffaf plak tedavisinde dişlerin hareketi, ankraj ve retansiyon plak ile diş arasındaki yakın temasa bağıdır. Model ve plak arasındaki olası bir uyumsuzluk beklenen hareketin gerçekleşmemesine ve istenmeyen hareketlerin oluşmasına neden olabilir. Bu durum da tedavinin öngörülebilirliğini azaltmaktadır.⁸ Bu sebeple plak ve dişler arasındaki uyum çok önemlidir. Geçmişten günümüze şeffaf plaklarının uyumunun değerlendirmek ve ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde şeffaf plakların ortodontik tedavi amacıyla kullanımın yaygınlaşması ve sistemin gelişmesi ile plakların uyumunu değerlendirilmesinde de yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-bt); plak uyumunun değerlendirmesinde kullanılan, yenilikçi ve çok yönlü bir yöntemdir. Bu tarama yöntemi ile plak materyali ve rezin modele herhangi bir zarar vermeden plak ile diş arasındaki ilişki hakkında bilgi edinilebilmektedir.⁹ Sistemin en belirgin avantajı, taranan örneğin üç boyutlu (3B) yapısı üzerinde hem sayısal hem de nitelik bakımından kesin bilgiler sağlamasıdır. Yöntemin bir diğer avantajı, incelenen örneğin içyapısının fiziksel bir işleme tabi tutulmadan, hasar verilmeden ve zararlı ajanlar kullanmadan detaylı bir şekilde incelenebilir. Böylece örnek, tarama sonrası gerekli görüldüğünde ek testlere tutulabilmektedir.¹⁰ Yapılan literatür incelememizde, şeffaf plakların ataşmanlara olan uyumunu 3B incelemek için kullanılan mikro bilgisayarlı görüntüleme tekniğı ile yapılan yeterli çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Geçmişte, plak uyumunun incelenmesi için taranan numunenin kesitlere ayrıldıktan sonra değerlendirme yapılan iki boyutlu (2B) taramalı elektron mikroskobu çalışmaları yapılmıştır.^{11, 12} Fakat şeffaf plakların uyumunun tam olarak değerlendirilebilmesi için 3B ve farklı kesitlerden ölçüm yapılan farklı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmamızda bir adet rezin üst çene modeli 3B yazıcı ile üretilecek; ardından farklı kalınlık ve hammadde yapısına sahip dört grup şeffaf plak ısıyla şekillendirme yöntemi ile elde edilecektir. Plaklarla ankraj ataşmanı arasındaki uyum mikro-bt analizi ile değerlendirilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Estetiğin Tanımı ve Tarihçesi

Estetik kelimesi, ilk defa 1750 yılında Alman filozof Alexander Gottlieb Baumgarten tarafından kullanılmıştır.¹³ Yunan dilinde ‘aesthesia’ sözcüğünden türemiştir. Estetik, duyuşsal bilginin bilimi şeklinde tanımlanmıştır. Güzel olana ulaşmaya çalışmak şeklinde tarif edilmiştir.

2.1.1 Dental Estetik

Diş hekimliği biliminde estetik; diş ve çevre dokuların sağlıklı olması, dinlenme hali ve gülümsemede diş, diş eti ve dudaklar arasındaki ilişki ve tüm değişkenlerin yüz ile uyum halinde olması şeklinde tarif edilmektedir.^{14, 15} Estetik ve etkileyici gülümsemenin psikolojik açıdan ve sosyal yaşam konusunda olumlu bir katkısı olduğu düşünülmektedir.¹⁴⁻¹⁶

2.1.2 Ortodontide Estetik

Estetik, diş hekimliğinin pek çok dalında olduğu gibi ortodontide de kritik ve temel bir kavramdır. Ortodontik aletlerin estetik halde üretimi ve tasarımı ile hastalar sadece dişler değil yüz görünümlerini de iyileştirecek çözümler aramaya başlamıştır.¹⁷ Erişkin bireylerin artan estetik beklentileri, onları olabildiğince az metal görüntüsü olan ortodontik tedavi seçeneklerine yönlendirmiştir. Bu talep ve beklentiler doğrultusunda firmalar tarafından teflon kaplamalı teller, seramik, vinil, plastik, zirkon ve polikarbon braketler üretilmiştir. Plastik ve seramik braketler, estetik gereksinim talebi ile üretilen ilk braketler olmuştur.¹⁸ Şeffaf ve beyaz renkte tasarlanan bu braketlerle estetik beklentisi karşılanamayan hastalar, dişlerin lingual yüzeylerine uygulanan lingual braket sistemleri ya da şeffaf plaklar gibi seçenekleri talep etmeye başlamıştır. Bu yöntemler ile tedavi edilen hastaların estetik görünümlerinde ve tedavi sırasında özgüvenlerinde artış meydana gelmektedir.¹⁹

2.2 Şeffaf Plakların Tarihçesi

Şeffaf plaklarla dişlerin hareket ettirilebileceği fikri ilk defa H.D. Kesling tarafından "Kesling kurulumu" şeklinde literatürde tarif edilmiştir. Bu teknikte, tedavinin sonlarına doğru hastadan her iki çenesinin ölçüleri alınır. Sıklıkla birinci molardan itibaren dişler bir kıl testere aracılığıyla modellerde ayrıştırılır ve sonra "bitim kurulumu" olarak adlandırılan mükemmel bir kapanışa gelecek şekilde tekrar yerleştirilir. Son olarak final hali üzerinde plastik positioner (plak) üretilir ve dişler başlangıç aşamasında hedeflenmiş konuma yönlendirilir. Bu sistem, küçük nüksleri düzeltmek için bir retansiyon apareyi olarak, ayrıca dişleri istenen yerlere yönlendiren aktif bir aparey olarak kullanılmıştır.²⁰

Kesling kurulumu, tedavi öncesi modellerde kullanıldığında popüler olarak 'Kesling teşhis kurulumu' olarak adlandırılır ve ortodontik tedavi planlamasında bazal kemikler üzerindeki son diş pozisyonlarını görselleştirmek için bir araç olarak kullanılır. Bu kurulum çekimli veya çekimsiz tedavi seçenekleri için olası bir öngörü sunar. Kesling tanisal kurulumu ayrıca çeşitli diş çekimi kombinasyonlarında nihai oklüzyonu gösterir ve bu yöntem şeffaf plaklarla tedavinin ilk kullanım şekli olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şeffaf aparey uygulamaları 'Vacuum Former' (basınçlı kalıplama) adı verilen cihazın kullanılmasıyla devam etmiştir. Cihaz Marshall ve Horvay tarafından 1959 yılında üretilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Nahoum, 1960 yılında mevcut cihaz aracılığıyla ilk kez 'şeffaf plak' üretmiş ve hastaya uygulamıştır.²¹ Zaman geçtikçe birçok araştırmacı benzer yöntemler bulmuş ve kullanıma sunmuştur.²²

Şeffaf termoplastik apareylerin en çok tanınanı Raintree Essix tarafından keşfedilen Essix'tir (Dentsply, RaintreeEssix, Metairie, LA, ABD).²³ Essix, hem diş hareketi için hem de ortodontik tedaviyi takiben retansiyon aygıtı olarak dişlerin üzerine takılan hafif, şeffaf ve dışarıdan bakıldığında fark edilmesi zor bir apareydir. Bu aparey, aşınmaya dirençli ve sert termoplastik malzemeden üretilir. Ponitz, 1971 yılında 'invisible retainer' adını verdiği başka bir apareyi tanıtmıştır ve bu aparey aracılığıyla belli bir seviyede diş hareketi sağlandığını göstermiştir.²⁴

Sheridan ve ark. labiolingual şeffaf plastik retainer yardımıyla alt keser diş çapraşıklığının giderilmesi ve dişlerin hizalanması için interproksimal diş redüksiyonu tekniğini tanıtmıştır. Apareyin "Essix apareyi" adıyla tanıtıldığı bu yöntemde, her bir apareyi imal etmek için hastanın o seanstaki mevcut halinin çalışma modelini almak gerekir ki bu işlemler tekniği hasta, ortodontist ve laboratuvar teknisyeni için külfetli ve zaman alıcıdır.²⁵

Essix apareyi, hafif çapraşıklık ve maloklüzyonların düzeltilmesi için tercih edilebilir. Materyalin sertliğinden dolayı tek bir şeffaf plakla küçük diş hareketleri elde edilebilmektedir. Mevcut plakla daha büyük diş hareketi yapılmak hedeflendiğinde yeniden plak üretilmeli veya plağın tekrar şekillendirilmesi gerekmektedir. Plak, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında şekli çeşitli penslerle değiştirilerek daha büyük diş hareketi elde etmek mümkün olmaktadır. Teknik ve uygulamadaki zorluklar, materyalin yapısı ve sınırlı miktarda hareket imkânından dolayı bu yöntem kompleks sorunlara çözüm oluşturamamıştır. Bu da çok fazla diş hareketi ihtiyacı olan vakalarda kullanılmak üzere dişleri belirli bir sırada hareket ettiren bir dizi apareyden oluşan tekniklerin geliştirilmesine yol açmıştır.²⁶ Şeffaf plak sistemleri, ilk çıktığı zamandan bu yana sistemin ilerlemesi bakımından 3 gruba ayrılır:

2.2.1 Birinci Nesil Şeffaf Plak Sistemleri

Birinci nesil şeffaf plak sistemleri, sadece dişleri hizalama amacıyla tasarlanmıştı. Yardımcı hiçbir mekanik, eleman ve aparey dâhil edilmemiştir. Birinci nesil şeffaf plaklarla elde edilen diş hareketini değerlendiren çalışmalar sınırlıdır.²⁷

2.2.2 İkinci Nesil Şeffaf Plak Sistemleri

Diş hareketlerini kolaylaştırmak ve daha etkin hale getirmek için ataşmanlardan faydalanılır. Ortodontistler, kompozit ataşman ve butonların dişlere uygulanmasını talep edebilir ve intermaksiller elastikleri kullanabilirler.

2.2.3 Üçüncü Nesil Şeffaf Plak Sistemleri

Üretici yazılımı tarafından ataşmanlar ekstrüzyon, rotasyonların düzeltilmesi ve kök hareketlerine ihtiyaç duyulan yerlerde otomatik şekilde yerleştirilir. Plaklardaki girintiler, kök torkunun gerekli olduğu yerlerde üretilir.²⁷ Güncel olarak günümüzde aktif olarak kullanılan şeffaf plak sistemleri bu kategoride yer almaktadır.

2.3 Şeffaf Plaklarla Tedavi Sistemleri

Şeffaf plaklarla tedavi sistemleri 'Essix sistemleri' ve 'CAD/CAM sistemleri' olarak 2 gruba ayrılmıştır:

2.3.1 Essix Sistemleri

Bu tedavi yönteminde plaklar hasta modeli üzerinde; her plak için özel ısı ve basınç ayarında şekillendirilir.²⁵ Plaklarla diş hareketi sağlanabilse de her seansta ölçü alınması gerekmektedir. Bu da yöntem için bir dezavantajdır. Sheridan'a göre dişte hareket elde etmek için plakla diş arasında belirli bir boşluk, kuvvet ve kuvvetin etki edebileceği bir süre gerekmektedir. Essix sisteminde Hilliard Thermoplier (Dr. Keith Hilliard, Lakeland, Florida) adı verilen alet aracılığıyla plakta çıkıntılar veya dişte kompozit ataşmanlar yapılarak ortodontik kuvvet oluşturulmaktadır. Gerekli yerlerde blackout yapılarak diş hareketi için yer elde edilmeke veya özel aletlerle plağın içinde pencere oluşturulmaktadır. Plaklar yemekler hariç tüm gıntakılı kalmalıdır.²⁵ Essix sisteminde aylık 1'er mm'lik diş hareketi hedeflenir. Aynı plak ile 2-3 mm hareket elde edildikten sonra başka hareket gerekirse yeni plak üretilmesi gerekmektedir.²⁸ Essix ile tork hareketi, intrüzyon, ekstrüzyon, tipping hareketi yaptırılabilir ve rotasyon düzeltimi sağlanabilir.²⁹

2.3.2 CAD/CAM Sistemleri

Bu sistemde hem laboratuvar teknikleri hem de CAD/CAM teknolojisinin birleşimi ile daha karmaşık diş hareketleri yaptırılabilir.³⁰ Bu teknikte önce modellerin dijital taraması yapılmakta; ardından 3B yazılım programlarında tedavi planı oluşturulmakta ve son olarak, plakların üretimi de sistem üzerinden ortodontist onayının ardından başlamaktadır.³¹ Bu plaklar geniş bir hasta yelpazesine uygulanmakla birlikte daha çok daimi dentisyondaki genç yetişkinler ve yetişkinler için önerilmektedir. Birçok şeffaf plak firması, uygulayıcının sertifika almış olmasını zorunlu tutmaktadır ve klinisyenlerin önce basit tedavilerle başlaması önerilir.³² Günümüzde CAD/CAM teknolojisini kullanan şeffaf plak sistemi geliştirilmiştir. Bazı sistemler tek kalınlık ve sertlikte yani tek aşamalı olabildiği gibi bazı sistemler de git gide kalınlığı ve sertliği artan üç aşamalı şekilde de olabilmektedir.

İlk CAD/CAM şeffaf plak sistemi olan Invisalign sistemi 1997’de bilgisayar mühendisliği öğrencileri Zia Chisti ve Kelsey Wirth tarafından tasarlanmıştır.³³ Geçmişte sabit ortodontik tedavi görmüş Chisti, tedavi sonrasında verilen şeffaf plakları kullanmadığı zaman dişlerinde çapraşıklık oluştuğunu; tekrar kullanmaya başladığında ise dişlerinin düzeldiğini görmüştür. Bu tecrübeden yola çıkarak 3B görüntüleme yöntemlerini ortodontiye entegre etmek amacıyla da Align Technology (AlignTechnology, Inc, SantaClara, Calif) firmasını kurmuşlardır. Firmanın tasarım ekibi eski sistemlerin dişleri hareket ettirme prensiplerini CAD/CAM teknolojisi ile birleştirerek diş hareketi elde edebilen bir dizi plak üretmişlerdir. Invisalign sistemi de Align Technology tarafından 1998’de tanıtılmış, tedavi amaçlı kullanılmaya da 2000 yılında başlanmıştır.³⁴ Invisalign sisteminde sanal kurulum, ClinCheck programı aracılığıyla klinisyene gönderilmektedir. Klinisyenin onayı alınmasının ardından, CAD/CAM yöntemi ile üretilen şeffaf, 1mm’den ince, patentli materyalden bir dizi şeffaf plak üretilmektedir. Bu plaklar derinlere uzanmamakta; kron ve marjinal dişetini örtmekte ve her plak ile maksimum 0,25-0,30 mm’lik hareketler elde edilmektedir.³⁵

Şeffaf plakların hastalar tarafından tercih edilme oranının artması, pazar payının artması ve plak teknolojisinin giderek gelişmesiyle birçok firma bu sektörde hizmet vermeye başlamıştır. Dünya çapında yüzlerce firma şu anda şeffaf plakları üretmektedir ve bu firmaların sayısı her geçen yıl artmaktadır. Bazı şirketler ise ‘in-office’ şeffaf plak platformları sağlamaktadır ve uygulama üzerinden bir marka oluşturmaktadır. Bu sistemlerde klinisyen, platform ve yazılım aracılığıyla tedavi planını oluşturur, plakları direkt kliniğinde üretir ve uygular. Şu anda CAD/CAM sistemi ile üretim yapan birçok şeffaf plak firması; değişik tipleri ve tedavi yöntemleri ile uzun zamandır 6 milyondan fazla hastaya ulaşmıştır.³⁶

2.4 Şeffaf Plak Tedavisinin Endikasyon, Kontrendikasyon, Avantaj ve Dezavantajları

2.4.1 Şeffaf Plak Tedavisinin Endikasyon ve Kontrendikasyonları

Şeffaf plak sisteminde tedavide başarının en önemli kriterleri; doğru vaka seçimi, kullanılan sistemin sınırları ve klinisyenin tecrübesidir. Klinisyenler tecrübelerine uygun

vaka seçmeli, sistemde tecrübesi arttıkça daha karmaşık vakalara yönelmelidir. Sistemler arası farklılıklar olsa da genel manada şeffaf plaklarla tedavinin endikasyon ve kontrendikasyonları şunlardır:^{35, 37-39}

Endikasyonlar:

- İleri seviye çapraşıklık veya boşluğu olmayan Sınıf I maloklüzyon
- Hafif çapraşıklıkla sahip Sınıf II maloklüzyon (yarım tüberkül)
- Hafif seviye Sınıf III maloklüzyon
- Derin kapanış
- Ön açık kapanış
- Transvers yönde darlık problemleri
- Alt tek keser çekimi
- Premolar çekimli tedaviler
- Gömülü dişler
- Ortognatik cerrahi
- Preprotetik tedavi
- Periodontitise bağlı hafif derecede ataşman kaybı olan hastalar
- Relaps vakaları
- Dudak damak yarıkları

Kontrendikasyonlar:

- İleri derecede rotasyonlu dişler
- Aşırı kron boyu azalmış dişler
- Restorasyon gerektiren dişler
- Eğimi 45°'den fazla olan dişler
- Plakların tam sağlayamayacak seviyede kama şekilli dişler
- Aşırı uzamış dişler
- Ortodontik tedaviye engel olabilecek sağlık sorunları
- Psikolojik problemi olan ve kooperasyonu düşük hastalar
- Küçük yaştaki hastalar
- Sentrik ilişki sentrik oklüzyon uyumsuzlukları
- Oligodonti vakaları

Herhangi bir ortodontik problemde olduğu gibi problemin şiddeti arttıkça tedavinin zorluk derecesi de artmaktadır. Buna ek olarak geçmişte yapılan çalışmalarla belirtilen bazı limitasyonlar bugün rahatlıkla tedavi edilebilmektedir. Bazı durumlarda bu dezavantajlı durumlar (ör: şiddetli rotasyon) çeşitli mekaniklerle düzeltildikten sonra tedaviye başlanmaktadır. Şeffaf plaklar her zaman sadece tek başına uygulanmamakta, gerektiğinde tedavi öncesi fonksiyonel apareyler ve genişletme apareyleri kullanılmakta, ardından şeffaf plaklarla tedaviye başlanmaktadır. Kimi durumlarda, belli bir seviyeye kadar şeffaf plak uygulanıp daha sonra sabit ortodontik sistem uygulanmakta, kimi durumlarda ise her iki teknik farklı arklarda beraber kullanılabilir. ^{40, 41}

Şeffaf plak sistemi, son 20 yılda iyileştirilmiştir ve gelişimi sürdürülmektedir. Bu gelişmelere rağmen şeffaf plaklarla tedavinin endikasyonları, kontrendikasyonları, limitasyonları ve etkinliği ile alakalı bilimsel kanıtlar yetersizdir. Bu nedenle ek araştırmalara ve çalışmalara ihtiyaç vardır. ⁴²

2.4.2 Şeffaf Plak Tedavisinin Avantaj ve Dezavantajları

Şeffaf plak sistemlerinin avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir: ^{35, 37, 38, 40, 43-}

48

Avantajlar:

- Daha az ağız içi yaralanmaya sebep olur.
- Takıp çıkarılabilir ve kullanımı kolaydır.
- Yüksek oranda şeffaf ve görünmez olması hastanın daha rahat gülümsemesi sağlar.
- Diğer sistemlere kıyasla uygulama tekniği daha kolaydır.
- Uzun başlangıç ve bitiş seansları gerektirmemektedir.
- Oral hijyen daha rahat sağlanabilir.
- Periodontal problem ve mine dekalsifikasyon riski daha azdır.
- Takıp çıkarılabilir olduğu için hasta daha rahat yemek yiyebilir.
- Diyet protokolü daha kolaydır.
- Nüks vakaları için idealdir.
- Seans süreleri daha azdır.
- Randevu sıklığı gerekli durumlarda azaltılabilir.

- Tedavi sırasında parafonksiyonel alışkanlık nedeniyle oluşan atrizyon daha azdır.
- TME problemi olan hastalarda plak kalınlığından dolayı oluşan dişlerin disartikülasyonu bir avantajdır.
- Özel yazılımlar aracılığıyla geleneksel göre tedavi süresi ve sonucu hakkında daha rahat tahmin yapılabilir.
- Tedavide kullanılan plaklarla diş beyazlatma işlemi de yapılabilmektedir.

Dezavantajlar:

- Yüksek derecede hasta kooperasyonu gerekir.
- Plakların kirlenme ve kırılma riski mevcuttur.
- Etkin bir uygulama için hekim tecrübesi gerekir.
- Tedavinin etkinliği diş morfolojisi ve pozisyonuna doğrudan bağlıdır.
- Çeneler arası ilişkinin düzeltimi sınırlıdır.
- Sistem hem klinisyen hem de hasta için maliyetlidir.
- Bisfenol A salınım riski vardır.
- Plaklar belli bir kalınlıkta olduğundan oklüzal temasları engelleyebilir.
- Paralel diş hareketi ve kök kontrolü zordur.
- Aparey kalınlığından dolayı posterior bölgede istenmeyen intrüzyon görülebilmektedir.

2.5 Ataşmanlar

Ataşmanlar, belirli diş yüzeyleri üzerindeki stratejik konumlara bağlanan ve yapıştırılan; aynı zamanda şeffaf plak malzemesi tarafından kavranacak diş yüzeyini artıran, özel olarak şekillendirilmiş kompozit rezin çıkıntıları tanımlamak için kullanılan bir terimdir.¹²

Şeffaf plakların dişlere tam uyması ve dişleri tamamen sarması, sistemin ana prensibidir. Bu nedenle hastadan iyi bir kayıt almak çok önemli hale gelmektedir. Ataşmanlar, gelişmekte olan şeffaf plak sistemi ile kullanıma girmiş multifonksiyonel elemanlardır.

Şeffaf plak tedavisinin başarısı için uygun ataşmanların kullanımı kritik öneme sahiptir. Ataşmanların boyutu ve işlevleri göz önüne alındığında bunların tam boyut, şekil ve konumlarına sahip bir şablon ve yazılım kullanılarak oluşturulması; oluşturulan

ataşmanın da doğru yapıştırılması çok önemlidir. Ataşmanların oluşturulması, yapıştırılması veya uyumundaki herhangi bir hata, planlanan bir hareketin aksamasına veya planlanmayan bir hareketle sonuçlanmasına neden olabilir.

2.5.1 Ataşman Tipleri

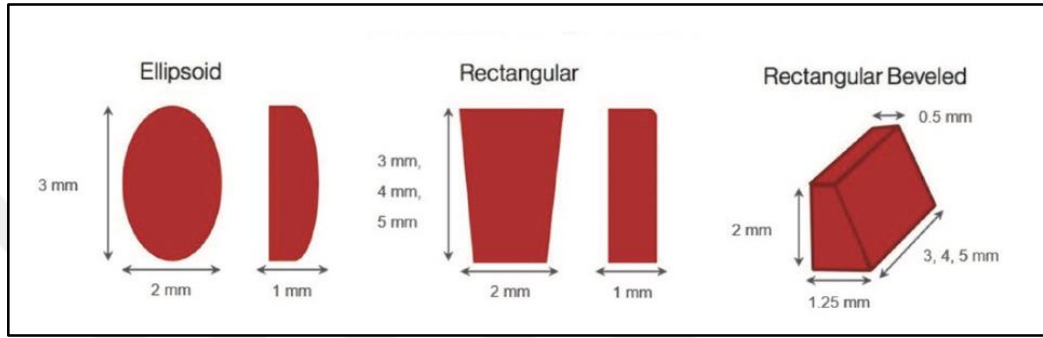
Kullanılacak ataşmanların tasarımı ve tipi; diş hareketinin çeşidine, dişlerin kök formuna ve plak materyalinin uygulayacağı kuvvete göre düzenlenir.⁴⁹ Ataşmanlar konvansiyonel ataşmanlar ve optimize ataşmanlar olmak üzere ikiye ayrılır.³⁸

2.5.1.1 Konvansiyonel Ataşmanlar

Konvansiyonel ataşmanlar dişlere pasif olarak oturur ve esas olarak şeffaf plakların dişe adaptasyonunu artırır. Yazılım tarafından otomatik veya ortodontist tarafından manuel şekilde yerleştirilebilir. Üç tip konvansiyonel ataşman vardır (Şekil 2.1):

- a) Elipsoid ataşmanlar: Şeffaf plakların ilk zamanlarından bu yana kullanılan temel ataşmanlardır. Dişlere pasif olarak yerleşir. Ekstrüzyon, ankraj artırma ve retansiyonu kuvvetlendirme amacıyla kullanılırlar. 2 mm genişlik, 3mm yükseklik ve 0,75-1 mm kalınlığa sahiptir. Genellikle keser, kanin ve premolar dişlerde kullanılırlar. Günümüzde özellikle maksiller lateral keser dişler ya da linguale eğimli mandibular ikinci molar dişlerin lingual kısmında kullanılmaktadır. Rotasyonların düzeltiminde tek, kök hareketinin gerektiği durumlarda çift halinde kullanılır.
- b) Dikdörtgen ataşmanlar: Dikdörtgen ataşmanlar da dişlere pasif olarak oturur. Bu ataşmanlar 2 mm genişliğinde, 3, 4 ya da 5 mm yüksekliğinde ve 0,5-1 mm kalınlığındadır; ayrıca yatay ve dikey yönde de kullanılabilir. Dikey olan tipleri rotasyon düzeltiminde, çekim boşluğunun yönetiminde, kök kontrolünde ve büyük meziodistal hareketler yapılacağı zaman kullanılır. Yatay olan tipleri de retansiyon, kök kontrolü, ekstrüzyon ve intrüzyon amaçlı kullanılırlar. Ayrıca dikey dikdörtgen ataşman kullanımına izin vermediği durumlarda (kısa klinik kron ve oklüzal interferensler) kullanılmaktadır.

- c) Eğimli ataşmanlar: Yatay ve dikey ataşmanlar modifiye edilerek eğimli halde kullanılabilir. Genellikle intrüzyon ihtiyacı olan durumlarda ankraj kuvvetlendirmek ve ekstrüzyon hareketi için kullanılırlar. Bu ataşmanlar 2mm yüksekliğinde; 3, 4 ya da 5 mm genişliğinde ve 0,25-1,25 mm kalınlığında olabilirler. Eğimli yüzeye ‘aktif yüzey’ adı verilir ve plağa hedeflenen diş hareketi için alan sağlar. Örneğin intrüzyon için oklüzale eğimli; ekstrüzyon için ise gingivale eğimli yatay bir ataşman kullanılır.



Şekil 2.1. Konvansiyonel ataşmanlar⁵⁰

2.5.1.2 Optimize Ataşmanlar

Optimize ataşmanlar, otomatik olarak yazılım tarafından yerleştirilir. Her bir dişe özel olarak tasarlanır. Optimize ataşmanların tamamının dişin morfolojisine göre değişen geometrileri ve aktif yüzeyleri bulunmaktadır. Şeffaf plak teknolojisi gelişmekte olup ataşmanların şekilleri ve uygulama protokolü değişmektedir. Neticede ataşmanların temel prensibi şeffaf plağın dişleri hareket ettirmesi için plağa bir bağlantı ve kuvvet uygulama yüzeyi sağlamaktır. Amaç; her bir dişe özel kuvvet uygulama noktası, yönü ve miktarını sağlamaktır.

2.5.2 İşlevlerine Göre Ataşmanların Sınıflandırılması

Şeffaf plak tedavisinde ataşmanların kullanımı üç ana amaca hizmet etmektedir. Bunlar; retansiyonu artırmak, diş hareketini kolaylaştırmak ve daha iyi tasarlanmış momentler elde etmektir.

2.5.2.1 Retansiyon

Ataşmanların kullanıldıkları en temel klinik durum plağa tutuculuk sağlamaktır. Öngörülen hareketleri tam olarak oluşturmak için plakların tam oturması gerekir. Şeffaf plakların diş hareketi oluşturması için takılırken bir miktar esnemesi gerekir ve bu esneme miktarı tolere edilir. Bu durum, krona kuvvet çifti uygulandığında (rotasyon, tork, angulasyon) dişlerin plağa kilitlenmesini sağlar.^{51, 52} Ek olarak plağın distalde sonlandığı kısmın kurona tam oturmasını sağlamak için çoğunlukla molar dişlere retansiyon ataşmanı yerleştirilir ve plağa gerektiğinde elastik kullanımı için yarıklar eklenir.¹² Ağız içi elastik uyguladığı kuvvetin dikey bileşeni, plağı yerinden çıkarmaya çalışan bir etki oluşturur. Bu etkiyi önlemek için retansiyon ataşmanının kullanılması gerekmektedir. Retansiyon ataşmanları her zaman pasiftir ve tek amaçları plağın dişe bağlanmasını artırmaktır.^{52, 53} Başka bir deyişle, plakların dişleri hareket ettirmesi için plağa bir tutunma noktası görevi görürler.

Şeffaf plak sisteminde bu amaç için iki geleneksel ataşman tipi vardır. Bunlar elipsoid ve rektanguler ataşmandır. Elipsoid ataşmanlar; şeffaf plakların ilk zamanlarından kalma orijinal ataşmanlardır ve özellikle diş yüzey alanı sınırlı olduğunda, örneğin maksiller lateral keser dişlerin labial yüzeyi veya linguale eğimli mandibular ikinci molar dişin lingual yüzeyi gibi durumlarda hala kullanılmaktadır.

İkinci geleneksel ataşman rektanguler ataşmandır. Bu ataşmanlar plak retansiyonunda pasif olarak tasarlandıysa dikey veya yatay olabilir. Vertikal rektanguler ataşman, kök kontrolü için de kullanılabilir. Yazılımdaki çakışmalar nedeniyle optimize kök kontrol ataşmanı ve alt keser diş çekimi vakalarında kök düzletmesi ihtiyacı olan alt keser dişlere eklenebilir. Horizontal rektanguler ataşman; kısa bir klinik kronun veya oklüzal interferensten dolayı vertikal rektanguler ataşmanın yerleştirilmesine izin vermediği

durumlarda kullanılabilir. Ayrıca, özellikle molar dişlerde bukkal kök torkunu kontrol etmek için bukkolingual boyutta kök kontrolü için kullanılabilir.

Ataşmanların eklenmesinden sonra plak retansiyonunun artması Dasy ve ark.'nın sonuçlarıyla örtüşmektedir.⁵¹ Çalışmada iki farklı ataşmanı (elipsoid ve eğimli rektanguler) hiç ataşmanı olmayan bir kontrol grubuyla karşılaştırmışlardır. Ataşmanların kullanımının retansiyonu önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir. Ayrıca eğimli rektanguler ataşmanların elipsoid ataşmanlardan önemli ölçüde üstün olduğunu da eklemişlerdir. Bu bulgu, Al Noor ve ark.⁵² tarafından belirtilen sonuçlarla örtüşmektedir. Eğimli rektanguler ataşmanlar eklemenin retansiyona önemli bir artışa yol açtığını belirlemiştir.

2.5.2.2 Diş Hareketini Kolaylaştırma

Ataşmanların kullanımının ikinci amacı, plağın itme hareketi için aktif bir yüzey sağlamak üzere dişin şeklini değiştirerek diş hareketini kolaylaştırmaktır. Bu durum, istenen diş hareketini oluşturmak için üretilen momentleri artıracaktır.³ Bu amaçla kullanılan ataşmanların yüzey geometrisi, plağın aynı anda ekstrüzyon yaparken, rotasyon yaparken veya kök kontrolü sağlarken istenen kuvvetleri iletmek için iteceği yönlendirilmiş aktif, düz bir yüzey sağlamak üzere değiştirilmiştir. Bu tip durumlar için konvansiyonel eğimli rektanguler ataşmanlar önerilmektedir. Hem vertikal hem de horizontal ataşmanlar eğimli şekilde tasarlanabilir.

Ataşmanın eğimli yüzeyi aktif yüzey olarak adlandırılır. Eğim, plağın istenen diş hareketini oluşturmak üzere dişi itmesi için düz bir yüzey sağlar. Ekstrüviz diş hareketleri için gingivale eğimli bir horizontal ataşman etkili olacaktır. Aynı şekilde, molar intrüzyonu için ise oklüzale eğimli bir horizontal ataşmanın kullanılması tavsiye edilir.

Kuvvet uygulama noktasını, kuvvetin yönünü ve uygulanan kuvvet miktarını kontrol etmek için her bir diş için özelleştirilmiş optimize edilmiş ataşmanlar kullanılabilir. Optimize edilmiş tüm ataşmanlar, her bir dişin özgün morfolojisine bağlı olarak geometrisi değişen aktif bir yüzeye sahiptir.

Hemi-elipsoid ataşmanlar, ya yalnızca derotasyonlar için ya da kök hareketlerinin denendiği durumlarda çiftler halinde kullanılır; bu sayede, distalizasyon sırasında kanin veya premolar dişlerinin köklerini dikleştirmek için bir çift momentinin üretilmesine izin verirler.²⁷

Literatürde, hareket eden dişlerde plakların etkinliğini değerlendirmek için yapılan tüm çalışmalar, diş hareketlerinin doğruluğunu ve tedavi öngörülebilirliğini iyileştirmek için ataşmanların kullanımını desteklemiştir. Rossini ve ark.³, farklı ortodontik diş hareketlerini kontrol etmek için şeffaf plakların etkinliği hakkında sistematik bir inceleme yürütmüştür. Çalışma sonucunda şeffaf plakların ataşmanlar olmadan tek başlarına kullanıldıklarında anterior intrüzyonu, posterior bukkolingual eğimi ve yaklaşık 1,5 mm'lik üst molar translasyonunu kontrol etmede etkili oldukları ancak anterior ekstrüzyonu, anterior bukkolingual eğimi ve yuvarlak dişlerin rotasyonunu kontrol etmede etkili olmadıkları sonucuna varmıştır. Ayrıca şeffaf plak tedavisi yapılırken ortodontik hareketlerin öngörülebilirliğini artırmak için ataşmanlar kullanarak diş geometrisini değiştirmek gerektirdiğini vurgulamışlardır. Retrospektif çalışmalarında Simon ve ark.^{54, 55} şeffaf plak sistemi kullanılarak yapılan ortodontik tedavinin keser diş torku, premolar derotasyonu ve molar distalizasyonu açısından etkinliğini araştırmış ve ayrı bir çalışmada aynı hareketler için plakların oluşturduğu kuvvet sistemini incelemiş; şeffaf plak sistemi tarafından üretilen kuvvetlerin ve momentlerin ortodontik kuvvetler aralığında olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca çalışma, doğru bir şekilde uygulandığında ataşman uygulamasına bakılmaksızın 'power ridge' kullanılarak molar distalizasyonu ve keser torku uygulanabileceğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, özellikle bu dişlerin kısa kuronları ve az sayıda undercutları varsa, premolar derotasyonun bir ataşman ile desteklenmesini tavsiye etmişlerdir.

Ravera ve ark.⁵⁶ ve Garino ve ark.⁵⁷ sınıf II tedavilerde molar distalizasyonu sırasında kök kontrolünü iyileştirmek için posterior dişlerde vertikal rektanguler ataşmanların kullanılmasının önemini vurgulamıştır. Ayrıca bu ataşmanların kullanımının molar ekstrüzyonunu kontrol etme, distal kron tippingi ve anterior ankraj kaybını azaltmadaki rolünü belirtmişlerdir. Gomez ve ark.⁴⁹ ataşmanların yokluğunun kanin distalizasyonu simülasyonu sırasında kontrolsüz tippinge neden olduğunu ve ataşmanların varlığının kütleli hareketin sağlamada etkili olduğunu doğrulamıştır. Comba ve ark.⁵⁸ ataşmansız veya dikdörtgen ataşmanlı kanin distalizasyonunun intrüzyona ve distal kron devrilmesine neden olacağını belirtmiş; optimize ataşmanların yerleştirilmesi bir miktar intrüzyona rağmen kütleli translasyona neden olurken bu durumun sınıf II elastiklerin doğrudan ataşmana uygulanmasıyla önlenilebileceğini bildirmişlerdir. Costa ve ark.⁵⁹ her bir ataşmanın aktif yüzeyini değiştirerek elipsoid, dikdörtgen ve eğimli ataşmanlardan modifiye edilmiş geometrik olarak farklı üç ataşman tarafından üst orta kesici dişlerin ekstrüzyonu sırasında

üretilen kuvveti 3B olarak incelemiş; çalışma sonucunda ataşman şeklinin kuvvetin yoğunluğunu ve yönünü etkileyebileceği sonucuna varmışlardır.

Goto ve ark.⁶⁰ çekim boşluğunu kapatırken ataşmanların şekil, boyut ve konumunu değiştirmenin kanin dişinin distalizasyonunun öngörülebilirliği üzerindeki olası etkisini analiz etmiştir. Ataşman şekil, boyut veya konumunun değiştirilmesinin, boşluğun kapanması sırasında kanin dişin devrilmesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını bildirmiştir. Ancak çalışma, ataşmanların yalnızca kaninin bukkal yüzeyine yerleştirilmesini araştırmış olup ataşmanın etkisinin kron morfolojisine daha fazla bağlı olabileceğini de varsaymıştır. Buna karşılık, Chen Zhouyan ve ark.⁶¹ maksiller kanin dişlerin rotasyonunu düzeltmek için rektanguler ataşmanların kalınlıklarını ve konumlarını değiştirmenin etkisini karşılaştırmıştır. Sonuçlar, ataşman kalınlığının artmasının periodontal bağların stres değeri ve dolayısıyla kaninin yer değiştirmesi ile doğrudan bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ataşman konumunun dikey olarak değiştirilmesinin kanin rotasyonunun kontrolünde önemli bir etkiye sahip olduğunu, oklüzale doğru yerleştirilmiş ataşmanın apikal olarak yerleştirilmiş olanlara göre daha iyi kontrol sağladığını, mesial ve distal yönlerdeki değişikliklerin sonuçlarının ise düzensiz olduğunu doğrulamıştır. Bununla birlikte, yukarıda bahsedilen iki çalışma lingual yüzeyi veya dişi ele almamış ve araştırmayı yalnızca bukkal yüzeyin farklı konumlarındaki ataşmanları incelemekle sınırlı kalmıştır. Buna karşılık Kim ve ark.⁶² hem bukkal hem de lingual yüzeylerde ekstrüzyon, intrüzyon, rotasyon ve tork hareketleri sırasında alt kanin dişine yerleştirilecek ataşmanların optimal şeklini ve konumunu incelemiştir. Çalışma sonucunda ataşmanların dişin lingual yüzeyine yerleştirilmesinin, bukkal yüzeye göre optimal tork kontrolü ve etkili diş hareketi sağladığını öne sürmüştür. Ayrıca, silindirik ataşmanın kullanımının ataşman ile plak arasında daha iyi bir temas açısı ve dolayısıyla daha iyi bir stres dağılımı sağladığını da sözlerine eklemiştir. Savignano ve ark.⁶³ şekil ve konum bakımından farklı üç ataşman tasarımı (rektanguler palatinal, rektanguler bukkal ve elipsoid bukkal ataşman) kullanan şeffaf plakların santral keser dişe ekstrüzyon hareketi uygulamadaki performansını ataşman kullanmayanla karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda ataşmanlar olmadan santral keser diş ekstrüzyonunun elde edilemeyeceğini doğrulamış; rektanguler palatinal ataşmanının konfigürasyonunun kullanılmasının keser diş ekstrüzyonu uygulamak için en iyisi olduğunu vurgulamış ve ataşman pozisyonunun şekline kıyasla sonuç üzerinde daha önemli etki ettiğini bildirmiştir. Bu çıkarım, daha önce Cai ve ark.⁶⁴ tarafından verilen sonuçları desteklemektedir. Çalışma,

ataşmanların verdiği kuvvet sistemini analiz etmiş ve ataşmanın dışın etkili bir şekilde hareket etmesine yardımcı olacak şekilde optimize edilebileceğini göstermiştir. Ataşman verimliliğini etkileyen en önemli faktörün, hareketin ihtiyaç duyduğu moment-kuvvet oranıyla optimize edilebilen aktif yüzey yönü olduğu bildirilmiştir.

2.5.2.3 Ankraj

Ankraj, istenildiği yerde harekete izin verirken istenmediğinde dış hareketini önlemek için gerekli direnci ifade eder. Ataşmanların kullanıldığı üçüncü klinik durum, bazı dış hareketlerini önlemek için ankraj sağlamak ve plak yerinden çıkmadan anterior dişlerin intrüzyonu gibi diğer hareketlerin gerçekleşmesine izin vermektir. Ankraj kontrolü, tedavinin erken aşamalarından başlayarak uzayın üç düzleminde istenmeyen dış hareketinin önlenmesi anlamına gelir.⁶⁵ Ataşmanlar, ortodontik dış hareketini kontrol etmek ve ankraj ünitelerini yönetmek için etkili elemanlardır. Ankraj ünitesine, çekim boşlukları kapatırken anterior segmentin retraksiyonu sırasında, arka dişlerin sıralı distalizasyonu sırasında veya dijital planın sadece mandibular keser dişlerin intrüzyonunu içerebileceği spee eğrisinin seviyelenmesi sırasında ihtiyaç duyulabilir.^{38, 56, 57}

Anterior retraksiyon sırasında posterior ankrajı güçlendirmek için ankraj ünitesine rektanguler ataşmanlar eklenebilir.^{56, 57} Mantovani ve ark.¹² ankraj ataşmanı üzerine plak uyumunu analiz ettikleri çalışmada plakların termoplastik malzeme bileşimindeki farklılıklara rağmen, incelenen her plağın ankraj ataşmanlarına uyumunun mükemmel olduğunu göstermişlerdir.

2.6 Şeffaf Plakların Üretimi

Şeffaf plak sistemi; belli bir dijital iş akışı ve tedavi protokolüne sahiptir. Tedavi başlangıcında öncelikle klinik muayene yapılır ve ön teşhis koyulur. Ardından hastanın kayıtları toplanır, ölçüleri alınır; bu bilgiler ışığında hastanın kesin tanısı koyulur ve tedavi planı belirlenir. Belirlenen plan doğrultusunda bilgisayar destekli özel yazılım kullanılarak uygulanacak ataşmanlar yerleştirilir, plakların sırası ve tasarımı yapılır. Her şeffaf plak sisteminin iş akışı ve klinisyenden talep edilen kayıtlar farklılık göstermektedir.

Şeffaf plak tedavisi, bir dizi plak ile dişleri istenen konuma getirerek hedeflenen düzeltmeyi yapmayı amaçlar. Şeffaf plak tekniği; planlama ve üretim aşamasında belli bir protokolü izleyen, ayrıntılı ve tekniğe duyarlı bir tedavi yöntemidir. Etkili bir tedavi ve öngörülebilir sonuçlar için tüm üretim aşamasına özen gösterilmeli ve ağza tam oturan uyumlu plaklar üretilmelidir. Şeffaf plakların üretimi şu aşamalardan oluşur:

- Dijital veri toplama
- CAD/CAM yazılımı ile tasarım
- 3B yazıcılar ile modellerin üretimi
- Şeffaf plakların ısıyla şekillendirilmesi

2.6.1 Dijital Veri Toplama

Şeffaf plak üretiminin ilk aşaması, ağız içi kaydının alınması ve dijital ortama aktarılmasıdır.⁷ Bu işlem, geleneksel ölçüyü tarayarak dijital veriye çeviren ağız dışı tarayıcı (EOS) veya direkt ağız içini tarayarak dijital veriyi elde eden ağız içi tarayıcılar (IOS) kullanılarak yapılır. Özetle dijital veri toplama işlemi ağız içi ve ağız dışı tarayıcılar olmak üzere ikiye ayrılır.

2.6.1.1 Ağız Dışı Tarayıcılar

Hastanın alçı modellerinin dijital ortama aktarılmasında kullanılan tarayıcılardır. Ölçü alma işlemi iki aşamada yapılır. Önce yüksek viskoziteli silikon kullanılarak birinci ölçü alınır. Ardından alınan ölçüye düşük viskoziteli silikon eklenerek ikinci ölçü alınır. Alınan ölçü dökülerek alçı model elde edilir. Daha sonra elde edilen alçı model EOS ile taranır ve dijital ortama aktarılır. Ölçü alma işlemi zaman alıcı bir işlem olduğundan bu yöntem yerine sıklıkla ağız içi tarama yöntemi tercih edilir.⁶⁶

2.6.1.2 Ağız İçi Tarayıcılar

İlk ağız içi tarayıcı 1980'lerin sonunda Dr. Werner Mormann ve Marco Brandestini tarafından CEREC 1 adıyla tanıtıldı.⁶⁷ Dijital tarama teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla teknisyenler ve hekimler geleneksel alçı model yerine dijital modellerle çalışmaya başlamıştır. Dijital modeller üzerinde çalışmanın avantajları tedavi seans süresinin kısalması, alçı modelin üretilmemesi nedeniyle kullanım süresinin kısalması, modellerin saklanması gerek olmaması ve ölçünün yırtılma, bozulma gibi eksikliklerinin giderilmesidir.^{68, 69} Ağız içi tarayıcılardan elde edilen dijital ölçü sadece hastalar için iyi bir pazarlama aracı olmaktan öte birçok faydası vardır. Özellikle öğürme refleksi, trismus ve mobil dişleri olan hastalarda hasta konforunu artırmaktadır.

Dijital ağız içi tarayıcıların kullanıma girmesi ile dişsel yapılar 3B görüntülenebilmektedir. Bu yöntemin geleneksel ölçülere duyulan ihtiyacı gelecekte ortadan kaldıracabileceği düşünülmektedir.⁷⁰ Günümüzde Trios (3Shape, Kopenhag, Danimarka), Lava COS (3M ESPE, Seefeld, Almanya) ve iTero (Align Technologies, San Jose, Calif) dijital görüntüleme amacıyla, 'in-office' üretim için ise CEREC AC (Sirona, Bensheim, Almanya) ve E4D (D4D Technologies, Richardson, Tex) en çok kullanılmakta olan dijital ağız içi tarama cihazlarıdır.⁷¹ Gelişen teknolojiyle dijital modeller; yüksek güvenilirlik, doğruluk ve tekrarlanabilirlik ile geleneksel alçı modeller kadar güvenilir bulunmaktadır. Üstelik malzeme maliyeti, zaman ve saklama alanı açısından avantajları ile mevcut uygulamada yeni altın standart olarak kabul edilebilirler.⁷²

Ağız içi tarayıcı kullanmanın pek çok avantajı vardır. Taramanın silikon ölçüden daha hassas olması; dişlere daha uyumlu ve iyi oturan plaklar elde edilmesini sağlar. Tarama işleminde elde edilen yumuşak doku detayları silikon ölçülere göre daha fazladır. Tarayıcı yazılımları dijital ölçünün bütünlüğünü sağlamak için doğruluğa ulaşılmayan noktaları bazı renk kodları ile gösterir. Bu da o noktalarda tekrardan tarama yapılmasını sağlayarak doğruluk oranını artırır. Ağız içi tarayıcıların bir diğer avantajı da zamandır. Uzun tedavi süreci, klinisyenin gün içerisinde baktığı hastalar ve tekrarlayan ölçülerin gerekebildiği düşünüldüğünde ağız içi tarama zaman kazancı sağlar.⁷³

2.6.2 CAD/CAM Yazılımı ile Tasarım

Tarayıcıdan içe aktarılan bir dijital tarama, yazdırılmaya hazır değildir ve yazıcıya gönderilmeye uygun hale getirilebilmesi için bazı değişiklikler yapılması gerekir. Bu nedenle, taranan veriler bir CAD yazılım programına aktarılır ve burada görüntüdeki fazlalıklar, yarıklar ve yanlış oluşturulmuş görüntüler giderilerek düzenlenir. Bir dijital modelin düzenleme ve ek düzeltme işlemi, yazılım programı tarafından otomatik veya manuel olarak yapılabilir. Daha sonra modele bir taban eklenmesi ve katı bir yüzeye dönüştürülmesi işlemine geçilir. Son işlem, tarama dosyası yazıcının kaldıramayacağı kadar büyükse işlem sürelerini hızlandırmak veya internet üzerinden bir dış laboratuvarına iletimini kolaylaştırmak için tarama ağının veya çokgen sayısının azaltılmasıdır.

Bu iş akışı şeffaf plak tedavisi için büyük bir avantaj yaratır çünkü klinisyen artık dişleri bir alçı modelden incelemek ve hareketin her aşaması için onları mumda sıralamak zorunda değildir. Bunun yerine diş hareketi aşamaları, diş segmentasyonu ve ardından dişlerin sıralı bir hareketle istenen düzene taşınmasını sağlayan CAD yazılımı kullanılarak dijital olarak planlanabilir. Her kurulum için, müteakip plak üretimi için 3B baskı teknolojisi kullanılarak bir dijital model oluşturulmalıdır.⁷⁴ Ayrıca, teknisyenin veya pratisyenin rafine edilmiş modele ataşmanlar eklemesine izin vererek şeffaf plak teknolojisini destekler. Kullanılacak ataşmanların şekli, boyutu ve konumu, ortodontistin tercihine ve bilgisine göre seçilmeli ve bu ataşmanların yerine getireceği hareket veya işlev türüne göre belirlenmelidir. Artık rafine edilmiş ve tasarlanmış model basılmaya hazır olduğundan genellikle STL dosyasına dışa aktarılır.

2.6.3 Rezin Modellerin Üretimi

Üç boyutlu baskının geçmişi, Charles Hull'un ilk 3B stereolitografiyi icat ettiği 1984 yılına kadar dayanmaktadır.⁷⁵ Bu yöntemde nesneler ultraviyole ışık kullanarak katman katman yazdırılır. Daha sonra yeni teknolojisini daha da geliştirmek ve daha ticari hale getirmek için 1986 yılında 3D Systems'i kurmuştur. Günümüze gelindiğinde, baskı teknolojisi çok gelişmiş ve birkaç mikrona kadar hassasiyet sunabilir hale gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle bu yöntem tıpta ve diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Farklı diş hekimliği şirketlerinin teknolojik gelişmedeki hızlanma ile

senkronize olma çabasıyla, baskı teknolojisinde emek yoğun birçok iş akışını tamamen dijital iş akışıyla değiştirme şansı bulmuşlardır.^{69, 76, 77}

3B baskının sunduğu ana avantaj kişiselleştirmedir. Özel gereksinimlere göre özelleştirilmiş cihazlar ve modifikasyonlar elde edilebilir. Ayrıca, bu teknolojinin doğası, atık malzeme miktarının azaltılmasına ve dolayısıyla malzeme çıkarma tekniklerine kıyasla üretim maliyetinin düşürülmesine izin verir. Geleneksel laboratuvar üretimi ile karşılaştırıldığında baskı teknolojisinin kullanımı doğruluğu artırmış, üretim süresini ve insan kaynağı ihtiyacını azaltmıştır. 3B baskı teknolojisi ile yapılan modeller, alçı modellere göre daha düşük ağırlık, daha düşük hasar olasılığı, daha iyi dayanıklılık ve daha yüksek aşınma direnci gibi çeşitli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, bazı baskı teknikleri için son işleme aşamasına ihtiyaç duyulması bir dezavantajdır. Basılı nesneler, 3B yazıcının doğruluğuna göre üretim sapmaları içerebilir. "Hassasiyet" kavramının iki bileşeni vardır: doğruluk ve kesinlik. "Doğruluk", bir dizi ölçüm ortalamasının gerçek değere yakınlığıdır ve "kesinlik", bir dizi içindeki ölçümlerin kendi aralarındaki uyumunun yakınlığıdır.⁷⁸

Her 3B baskı teknolojisi, farklı malzemeleri farklı şekillerde işleyebilir. Ortodontik uygulama için kabul edilebilecek en yaygın baskı teknolojisi, rezin bazlı baskı teknolojisi veya bir ışık kaynağıyla sertleştirilecek bir tank veya teknede ışığa duyarlı bir polimer kullanan malzeme polimerizasyon baskı teknolojisidir. Stereolitografi (SLA) ve dijital ışık işleme (DLP); en yaygın rezin bazlı baskı teknolojisini kullanılan baskı teknikleridir. Hem DLP hem de SLA, ışıkla başlatılmış rezinle dolu bir tanka batırılmış metal bir platform kullanır. Modeli oluşturmak için rezin çökeltirilir ve katman katman kürlenirken, model tanktan dışarı çekilen metal platforma yapışır. DLP ve SLA arasındaki fark, DLP'nin rezini sertleştirmek için görünür bir ışık projektörü kullanması, SLA'nın ise bir ultraviyole lazer kullanmasıdır.⁷⁹

Rezin modeller üzerinde şeffaf plakları ısıyla biçimlendirmek için, modellerin yeterli fiziksel özelliklere ve boyutsal doğruluğa sahip olması gerekir. Fiziksel özellikleri ve boyutsal doğruluğu etkileyebilecek faktörler; yapı oryantasyonu, katman kalınlığı, baskı yönü, model temel şekli ve baskı sonrası işlemlerdir.⁸⁰ Yatay olarak basılan modeller, dikey olarak basılan modellerden daha doğrudur, çünkü ikincisi ön dişlerin düz yüzeyinin alt yapısı ve arka dişlerin distal yüzeyi ile ilişkilidir.⁸¹

Şeffaf plakların üretimini kolaylaştırmak ve rezin kullanımını azaltmak için modeller genellikle at nalı şeklinde bir tabanla yazdırılır. Yazdırılan modelin sonradan ek işlemlere

tabi tutulması gerekir. Basılı modellerde kalan monomer hasta ve personel için zararlı olabilir ve çıkarılmalıdır.⁸² Ek olarak, artık monomer birikebilir ve küreme sonrası süreçten sonra modelin yüzeyine bağlanabilir ve boyutsal doğruluğu olumsuz yönde etkileyebilir.⁸³ Artık monomer, izopropil alkol gibi bir çözücü banyosu kullanılarak uzaklaştırılabilir. Çözücü banyosunda kalan monomeri çıkardıktan sonra, optimal fiziksel özellikleri sağlamak için modeller daha fazla polimerize edilmelidir. Bu işlem, modeli belirli sıcaklık ve zaman ayarlarında ultraviyole ışığın altına yerleştirilerek yapılmaktadır.⁸⁴

2.6.4 Şeffaf Plakların Isıyla Şekillendirilmesi

Şeffaf plaklar bir ısıyla şekillendirme süreci sonucunda nihai halini alırlar.⁸⁵ Aynı zamanda plak malzemeleri farklı üretim süreçlerinden (basınçla vakumlama, soğutma, trimleme, kesme) etkilenebilir.⁸⁶ Polietilen tereftalat (PET) ve poliüretan plaklarla ilgili yakın tarihli bir in vitro çalışmanın sonuçları ısıyla şekillendirmeden sonra özellikle plağın inceltildiği bukkogingival plak kalınlığında %50'ye varan bir azalma olduğunu göstermiştir.⁸⁷ Bu azalmış kalınlığın da bazı hareketlerde azalamaya yol açabileceği literatürde bildirilmiştir.^{88, 89} Son zamanlarda yapılan araştırmalar, 3B baskılı plakların analizine odaklanmasına rağmen ısıyla şekillendirme, plakların üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.^{83, 90}

Bir şeffaf plağı ısıyla şekillendirmek için polimer plak ısıtılır ve ardından bir model üzerine basılır. İlk olarak polimer, polimerin mekanik veya optik özelliklerini değiştirmeden modele kalıplanmasına ve ince detayların yakalanmasına izin verecek belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır.⁹¹ Isıtılmış polimeri kalıplamak için vakumla şekillendirme ve basınçla şekillendirme olmak üzere iki yöntem vardır.⁷ Vakum oluşturma yöntemi 4-16 psi (pounds per square inch) arasında negatif basınçlar kullanır ve daha kolay ve daha uygun maliyetlidir; oysa basınç oluşturma yöntemi 100 psi'ye ulaşan pozitif basınçlar kullanır ve bu da daha doğru bir uyum sağlar. Bununla birlikte, basınçla şekillendirme yöntemi termoplastik malzemenin kalınlığını değiştirir, ancak vakumla şekillendirme yöntemi değiştirmez.⁹²

Şeffaf plak malzemesi olarak kullanılabilecek farklı şeffaf termoplastik polimer vardır. Plak malzemesi şeffaf kalmalı, yeterli aşınma direnci sergilemeli biyolojik olarak güvenli kalmalı ve gerekli miktarda sürekli kuvvet üretmelidir.^{93, 94} Plaklar ağız ortamında yaşlandıkça biyofilm biriktirirler ve şeffaflık azalır.⁹³ Ayrıca, su emme, termoplastik

polimerlerin mekanik özelliklerini bozar.⁹⁵ En yaygın olarak kullanılan plaklar ya poliüretan bazlıdır ya da polietilen tereftalattan (PET) yapılmıştır.⁹⁶

Şeffaf plak materyalleri tarafından oluşturulan başlangıç kuvvetleri, ortodontik diş hareketi için önerilen fizyolojik kuvvetlerin üç ila beş katıdır; ancak, bir plak tarafından diş iletilen kuvvet, iki haftalık kullanımdan sonra ilk kuvvetinin yaklaşık dörtte birine düşer.⁹⁷ ⁹⁸ Ayrıca plak tesliminden önce plak malzemesinin kesilmesi ve modelden çıkarılması gerekir. Daha yüksek trim kenar boşlukları, şeffaf plakların daha fazla retansiyonuyla ilişkilidir.⁹⁹

2.7 Ortodontik Şeffaf Plaklarda Uyum Değerlendirme Yöntemleri

Ortodontik şeffaf plakların uyumu doğru bir şekilde ölçmek ve değerlendirmek için uygun ölçüm teknikleri gereklidir. Hâlihazırda yöntemlerin pek çoğunda dişin kesitlendirilmesi ve bölgelere ayrılması gerekmektedir. Bu işlemleri takiben görüntüleme analiz yapılmaktadır. Şeffaf plak ve diş/ataşman arasındaki boşluk genişliğinin homojen olmadığı için bir veya birkaç kesitte ölçülen boşluk tüm örneği temsil edemediği için genellikle tutarlı olmayan sonuçlar alınmaktadır. Oldukça zahmetli bir iş olsa da plak-diş/ataşman numunesini yukarıdan aşağıya doğru ayırmak ve her bir enine kesiti taramak, uyumun daha doğru bir ölçümünü sağlayabilir. Günümüze kadar şeffaf plaklarda boşluk genişliğini ve uyumu ölçmek amacıyla pek çok yöntem kullanılmıştır. Bu tekniklerin bir özeti aşağıda sunulmaktadır.

2.7.1 Çekme Makinesi Yöntemi

Bu yöntemde incelenecek numune belli yerlerden ölçülerek çekme makinesindeki alana sabitlenir. Sabitlenen numunenin üzerinden makine aracılığıyla çekilerek kuvvet miktarı not edilir. Yönteme göre daha fazla kuvvet gereken madde daha uyumlu ve retantif kabul edilir. Yöntemin dezavantajı genel geçer bilgi sağlaması, bölgesel ölçüm yapılamaması ve üç boyutlu bilgi sağlayamamasıdır.⁵¹

2.7.2 Silikon Replika Tekniği

Silikon replika tekniğinde, numune ile ağız-diş yapıları arasına sıvı halinde bir silikon ölçü materyalinin yerleştirilir ve numune ağız-diş yapısı üzerine yerleştirilir. Ölçü materyali numune ile oral yapı arasındaki boşluğu ayarladığında, silikon ölçü materyali tarafından kopyalanır. Silikon replika tekniğinin bazı dezavantajları vardır. Bunlardan biri silikon filmin dayanıksız olması ve ölçülmesinin zor olmasıdır.⁹⁶ Ayrıca, yalnızca iki boyutlu mesafeleri değerlendirmek için kullanılabilir.¹⁰⁰ Bir başka ve en önemli dezavantaj ise ataşman ve plak arasındaki beklenen boşluk miktarı göz önüne alındığında yöntemin yeterince detay verememesidir.

2.7.3 Optik Tarama Yöntemi

Optik tarama yöntemi, numunenin boşluklarını ve ardından hastanın ağız yapısını taramak için üç boyutlu bir tarayıcı kullanır.¹⁰¹ Bu taramalar hacimsel veri noktalarına dönüştürölür ve özel bir yazılım ile üst üste çakıştırılır.¹⁰² Daha sonra ilgi alanlarındaki mesafeler ve hacimler ölçülebilir.

2.7.4 Koordinat Ölçüm Makinesi Yöntemi

Koordinat ölçüm makineleri, alçı modellerde ve bunlara karşılık gelen test numunelerinde mesafeleri ölçmek için kullanılmıştır.¹⁰² Bu cihazlar, tam boyutları yüksek derecede doğrulukla ölçmek için tasarlanmıştır ve çeşitli diş hekimliği çalışmaları için “altın standart” olarak kullanılmıştır.¹⁰³⁻¹⁰⁶ Bu yöntemin bir dezavantajı, ölçülen alanla temas etmesi gereken bir prob kullanmasıdır. Probdan gelen basınç, test örneğini deforme edebilir veya prob ölçülen alanın içine sığmayabilir (örn. bir dişin santral fossası).¹⁰⁷

2.7.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Bu yöntemde, test örneği ilgili bir bölgede mekanik olarak kesilir ve ana model ile numune arasındaki boşluğu ölçmek için özel bir mikroskop kullanılır.^{11, 12, 108} Bu tekniğin

dezavantajları arasında yalnızca iki boyutlu ölçümlerin mümkün olması ve numunenin kesit alma sırasında tahrip olması yer alır.¹⁰²

2.7.6 Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT)

Yazılım ve bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle deneysel araştırmalarda dijital teknikler ön plana çıkmaya başlamıştır. Konvansiyonel elektron veya optik mikroskopisi, örnek yüzeyinin ve ince kesitlerin iki boyutlu görüntülenmesine izin verir. Ancak, birçok durumda orijinal 3B yapı hakkında 2B bilgi ile sonuca varılamaz.

Bilgisayarlı tomografi (BT) cihazı, X-ışını ve bilgisayar teknolojisinin bir birleşimidir. Bu yöntem genellikle klinik tıp dallarında vücudu kesitler halinde görüntülemek için kullanılmaktadır. Bu görüntüleme sisteminde genellikle 1-2 mm'lik kalınlıkta kesitler alınır. Alınan kesit sayısı arttıkça kesit kalınlığı incelmekte; böylece elde edilen görüntünün çözünürlüğünü artmakta ve örnekten daha fazla bilgi elde edilmektedir.^{109, 110}

İlk 3B görüntüleme tekniklerinde görüntü; 2B aksiyel kesitlerin birbirleri üzerine eklenmesiyle üç boyutlu rekonstrüksiyonlarının oluşturularak mümkün olmuştur.¹¹¹ Bu yöntemin bazı dezavantajları vardır. Bunlardan bazıları çalışma zamanının uzun olması, görüntü distorsiyonları ve artefakt oluşma ihtimalidir. Ayrıca görüntünün çözünürlüğü de düşüktür. Genellikle konvansiyonel medikal bilgisayarlı tomografinin (BT) uzaysal çözünürlüğü, 1-10 mm vokselle boyutuna karşılık gelen 1-2,5 mm aralığındadır. Bilgisayarlı X ışını mikroskobu ve mikrotomografi uzaysal çözünürlüğü artırmaya olanak sağlamıştır. Mikro-bt sisteminde 1×10^{-7} kübik mm vokselle boyutuna karşılık gelen 5 μ m uzaysal çözünürlüğe ulaşılabilir.¹¹² Bu yöntemde BT tarayıcılarda olduğu gibi internal yapılar yeniden şekillendirilebilir ve görüntüde bozulma oluşmadan analiz edilebilir. Teknoloji geliştikçe zamanla daha az radyasyon yayan veren ve daha iyi görüntü kalitesi sunan cihazlar geliştirilmiştir.

1980'lerin başında Jim Elliott tarafından mikro-bt cihazları geliştirilmiştir. Bu teknoloji sayesinde 5-50 mikronluk kalınlıkta kesitlerle, çözünürlüğü yüksek taramalar yapmak mümkün hale gelmiştir.^{109, 110} Mikro-bt cihazı genel olarak BT'ye benzer. Cihazın ana unsurları adım motoru, görüntü yoğunlaştırıcı, X-ışını tüpü, üzerine düşen X-ışınlarını görüntü verisine dönüştüren bir CCD (charge coupled device) kamera, görüntü

toplayıcısı ve tüm bunların kontrolünü sağlayan bilgisayardan oluşmaktadır.^{110, 113} Mikro-bt sistemlerinde; çözünürlüğü yüksek dedektörler ve mikrofokal X-ışını kaynakları kullanılır. Çözünürlük, vokselle (hacim elemanı) ile ifade edilmektedir. Mikro-bt, uzaysal çözünürlük ile 1×10^{-6} mm³ voksel boyutuna denk gelen, 10 µm' den daha küçük bir uzaysal çözünürlüğe ulaşmaya izin vermektedir. Geleneksel tıbbi BT tarayıcılarında ise bu çözünürlük yalnızca 1-2 mm'dir. Bu değer, 1-10 mm³ voksel boyutuna denk gelir. Konvansiyonel BT cihazlarla benzer şekilde, örnekte bozulma olmaksızın tekrarlanan analizler mümkündür.

Mikro-bt taramasında taranan nesne kendi etrafında belirlenmiş bir dar açıyla toplamda 180° ya da 360° döner. Dönüş esnasında örnekten alınan seri kesitsel görüntüler birleştirilip rekonstrükte edilerek üç boyutlu modeller oluşturulur. Nesne dönerken gönderilen ışın demetlerinden gölge görüntüler oluşur. Oluşan bu görüntüler TIF (Tagged Image File) formatında kaydedilir. Elde edilen 16 bitlik gölge görüntülerin sayısı, nesnenin her dönüşünde kaç derecelik açı ile hareket ettiği ile doğru orantılıdır. Dönüş açısı küçüldükçe elde edilen gölge görüntü sayısı artar; böylece oluşan üç boyutlu görüntünün kalitesi de artar. Mikro-bt günümüze kadar mikrotomografi, metalurji, elektronik, jeoloji, ağaç ya da kompozit polimerlerin incelenmesi gibi farklı bilim dallarında başarı ile kullanılmış olup biyoloji alanında ise, kemik ya da diş gibi sert kalsifiye yapıların incelenmesi için kullanılmaktadır.¹¹⁴ Sistemin en büyük avantajı, incelenen yapı üzerinde hem nitelik hem de nicelik bakımından kesin bilgiler sağlamasıdır. Taranan örneklerin içyapısı herhangi bir işleme tabi tutulmadan oldukça detaylı bir şekilde incelenebilir. Üstelik, taramadan sonra örnek herhangi bir zarar görmediği için başka testlere tabi tutulabilir. Yıkıcı olmaması, noninvaziv olması, aynı örneğin tekrar tekrar görüntülerinin alınabilmesi veya örneğe farklı testler uygulanabilmesi bu sistemin avantajlarıdır.¹¹⁵ Günümüzde herhangi bir yardımcı ajan kullanmadan nesnelerin üç boyutlu görüntüsünün alınabildiği ve bu görüntüler üzerinde ölçüm yapılabilen tek sistem BT'dir.

Jim Elliott mikro-bt cihazıyla ilk olarak tropik bir yılan cinsini görüntülemiştir.¹⁰⁹ 1999 yılında Rhodes mikro-bt cihazını ilk kez endodontide kullanmıştır.¹¹³ 1980'li yıllardan günümüze mikro-bt teknolojisinde çok büyük gelişim kaydedilmiştir. Diş hekimliğinde kafa yüz iskeletinin ve gelişiminin incelenmesi^{116, 117}, minede kalınlık ölçümü¹¹⁸, diş yapılarının mineral konsantrasyonunun belirlenmesi¹¹⁹, beyaz nokta lezyonlarının incelenmesi¹²⁰, kök kanal morfolojilerinin değerlendirilmesi^{121, 122}, kök kanal preperasyonunun ve dolgularının değerlendirilmesi¹²³, implant etrafındaki kemiğin değerlendirilmesi¹²⁴, restoratif

materyallerde mikrosızıntıların incelenmesi¹²⁵, braket diş arasındaki adezivlerin mikrosızıntılarının değerlendirilmesi¹²⁶ gibi alanlarda mikro-bt ile in vitro çalışmaları yapılmıştır.

Mikro-bt, ortodonti alanında şeffaf plakların değerlendirmesinde kullanılan, yeni ve gelişen bir teknolojidir. Bu tarama yöntemi ile plakların yapısına herhangi bir zarar vermeden materyalin yapısı ve diş/ataşman ile ilişkisi hakkında bilgi edinilmektedir.¹²⁷ Geçmişten günümüze şeffaf plakların uyumunun değerlendirilmesi¹²⁸⁻¹³⁰, şeffaf plakların üretim sonrası kalınlık homojenitesi¹³¹, şeffaf plakların üretim tekniklerinin karşılaştırılması¹³² ve model yüksekliklerinin şeffaf plakların kalınlığına etkisi¹³³ gibi konularda çalışmalar yapılmıştır.

Mikro-bt yönteminin avantajları; invaziv olmaması, örneklerin zarar görmemesi, örnekten tekrarlanan görüntülerin alınabilmesi, 3B inceleme yapılabilmesi, yöntemin güvenilir olması ve örneğe birbirinden farklı testler uygulanabilmesi olarak sıralanabilir.¹¹² Bununla birlikte mikro-bt çalışmalarında incelenecek her bir örneğin tarama ve 3B görüntü rekonstrüksiyonu için uzun bir süre ve çaba gerekmektedir. Bu sebeple mikro-bt çalışmalarında örnek sayısının az olması sistemin dezavantajlarından biri olarak sayılabilir.^{134, 135}

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmanın yapılabilmesi için Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Ata Sökmen Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 16.06.2022/04 protokol numarası ile etik kurul onayı alınmıştır (Ek-1).

3.1 Çalışmada Kullanılacak Örnek Sayısının Belirlenmesi

Örneklem büyüklüğü tespiti için G*Power 3.1.9.7 (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany) programı kullanılarak power (güç) analizi yapılmıştır. Güç % 80, hata düzeyi 0,05 (%5) ve hipotez çift yönlü olarak belirlenmiştir. Şeffaf plak ve ataşman arasındaki boşluk hacmi ve boşluk genişliği için yapılan analiz sonucunda; dört bağımsız grupta ölçülecek parametreler için test öncesi yapılan güç analizinde etki büyüklüğü (effect size) 0,42 (large) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda yapılan hesaplamalarda, çalışmanın bağımsız her grupta en az 17 (n) olmak üzere toplam 68 örnek üzerinden yapılması gerektiği hesaplanmıştır. Güç analizi dikkate alınarak olası materyal kaybı ve üretim riski göz önünde bulundurularak çalışmada her bir grup için 20 olmak üzere toplam örneklem sayısı 80 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada ‘farklı şeffaf plak kalınlıklarının ve hammaddelerinin plak ile ataşman arasındaki uyum üzerine etkisi vardır’ şeklinde kurulmuş olan başlangıç hipotezinin doğruluğu incelenecektir.

3.2 Deney Gruplarının Tanımlanması

Çalışmada her bir grupta 10 adet olmak üzere toplam 40 adet CA Clear Aligner marka (Sheu Dental, Iserlohn, Germany) termoform şeffaf plak materyali kullanılmıştır. Master model üzerinde birinci ve ikinci küçük azı dişlerine aynı formda 2 ataşman yerleştirilmiş, her bir plak üzerinde 2 ataşmanın uyumu değerlendirilmiştir. Her bir grupta 10 plak üzerinde 2 farklı ataşman olmak üzere, toplamda 20 ataşmanın uyumu değerlendirilmiştir. Çalışmamızda; grup 1; 0,5mm PET-G (CA-Soft), grup 2; 0,625 mm

PET-G (CA-Medium), grup 3; 0,75 mm PET-G (CA-Hard) ve grup 4; 0,75 mm ABA Three Layer Material (CA PRO-Hard) olmak üzere 4 farklı grup oluşturulmuştur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Deney grupları

Gruplar	Örnek Sayısı (n)	Üretici Firma	Materyal Bileşeni	Kalınlık (mm)
CA Soft	20	Scheu Dental, Iserlohn, Germany	PET-G (glikol modifiye polietilen tetraftalat)	0,50
CA Medium	20	Scheu Dental, Iserlohn, Germany	PET-G (glikol modifiye polietilen tetraftalat)	0,625
CA Hard	20	Scheu Dental, Iserlohn, Germany	PET-G (glikol modifiye polietilen tetraftalat)	0,75
CA PRO Hard	20	Scheu Dental, Iserlohn, Germany	ABA Three Layer Material (copolyester, thermoplastic elastomer and copolyester)	0,75

3.3 Şeffaf Plakların Üretimi

Şeffaf plaklar aşağıdaki aşamalardan geçerek üretilmiştir:

- Sanal modelin oluşturulması
- Ataşman tasarımı
- Master modelin hazırlanması ve üretimi
- Şeffaf plakların basılması

3.3.1 Sanal Modelin Oluşturulması

Çalışmamıza Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ortodonti Ana Bilim Dalında daha önceden ortodontik tedavi görmüş, hafif seviye çapraşıklığa sahip sınıf I ortodontik maloklüzyona sahip hastalardan rastgele bir tanesi seçilmiş ve üç boyutlu ağız içi modeli kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Örnek hastanın seçiminde dikkat edilen kriterler şunlardır:

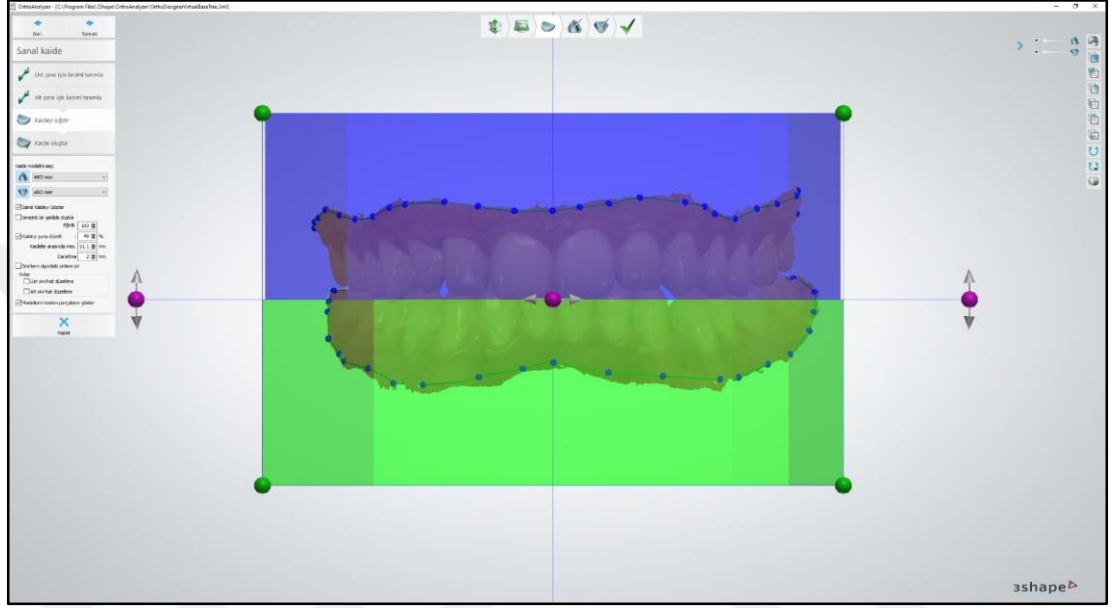
- İskeletsel sınıf I ilişkiye sahip olması
- Her iki çenede de hafif-orta seviye çapraşıklığı olması (2-5 mm)
- Diş eksikliği olmaması (konjenital eksiklik, gömüklük ve yirmi yaş dişleri hariç)
- Daimi dentisyonda olması
- Diş ve çevre dokularda herhangi bir problem olmaması
- Dişlerde herhangi bir boyut ve şekil anomalisi olmaması



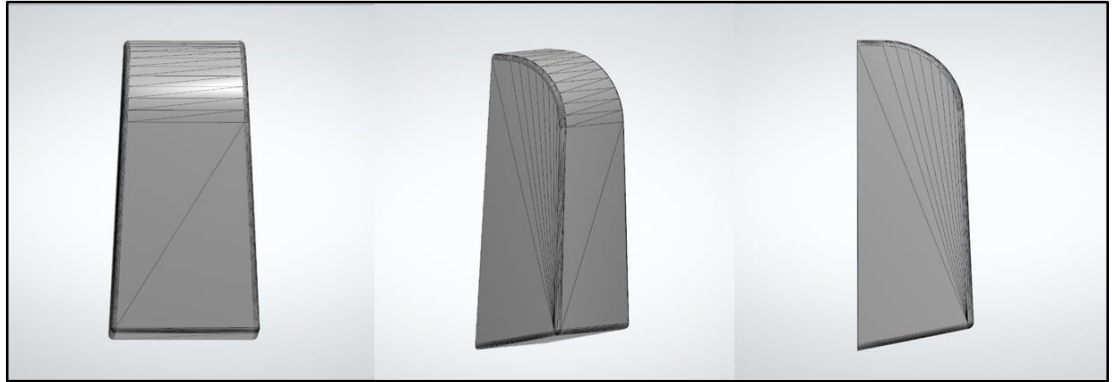
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan üç boyutlu ağız içi modeli

3.3.2 Ataşman Tasarımı

Çalışmamızda kullanıcıya hazır ataşman konfigürasyonları sağlayan Ortho Analyzer 3D yazılımı (3Shape A/S, Kopenhag, Danimarka) kullanılmış; 3 mm yükseklik, 2 mm genişlik ve 1 mm derinlikte vertikal rektanguler ataşman tercih edilmiştir (Şekil 3.2, 3.3).



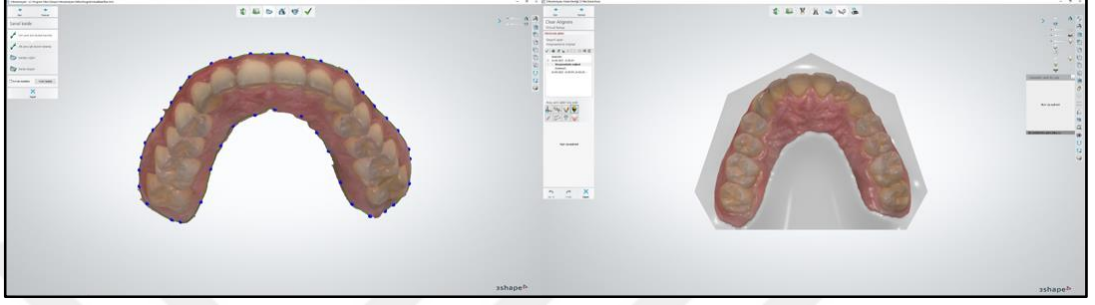
Şekil 3.2. Ortho Analyzer 3D programı



Şekil 3.3. Vertikal rektanguler ataşman (cephe, oblik ve profilden görünüm)

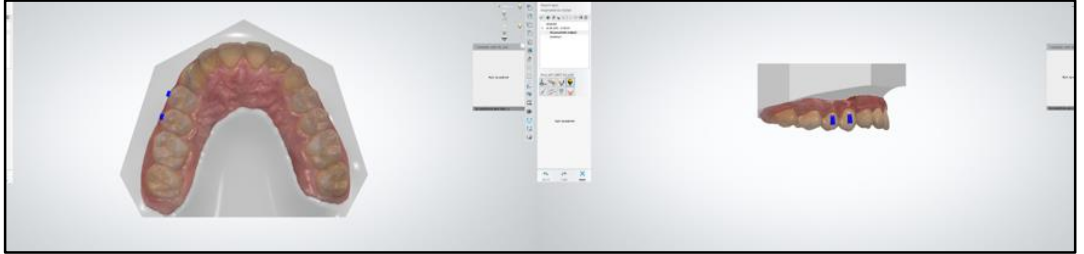
3.3.3 Master Modelin Hazırlanması ve Üretimi

Üç boyutlu model oluşturmak için ilk aşamada tarama görüntüleri Ortho Analyzer programına aktarılmıştır. Dijital modelde eksiklikler ve gereksiz kenar boşlukları silinmiş; boşluklar doldurulmuş ve model için altlık eklenmiştir (Şekil 3.4).

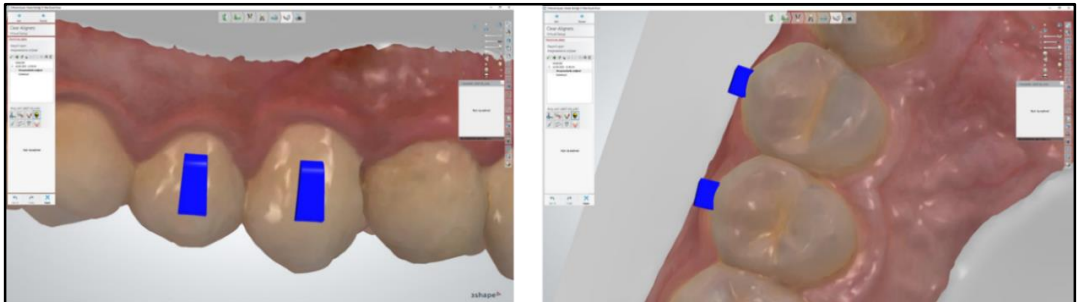


Şekil 3.4. Dijital modelin hazırlanması

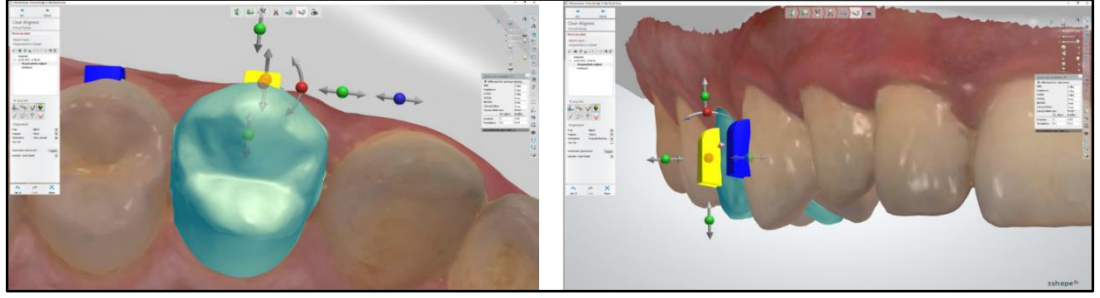
Rektanguler ataşmanlar Ortho Analyzer programına aktarıldıktan sonra premolar dişlerin meziodistal ve oklüzogingival olarak tam orta kısımdaki dışbükey alana yerleştirilmiştir (Şekil 3.5, 3.6, 3.7).



Şekil 3.5. Ataşmanların yazılım aracılığıyla dişlere aktarılması

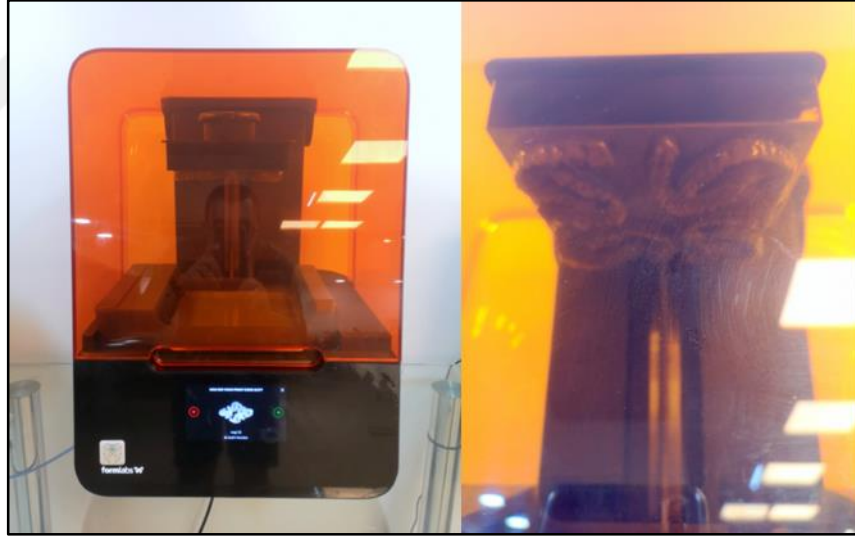


Şekil 3.6. Yerleştirilen ataşmanların karşıdan ve oklüzalden görünümü



Şekil 3.7. Ataşmanların diş yüzeyine adapte edilmesi (oklüzalden ve karşıdan görünüm)

Çalışmada kullanılacak model SLA yöntemi ile üretim yapan Form 3+ (Formlabs, Somerville, MA) üç boyutlu yazıcı kullanılarak Orthodigi (İzmir, Türkiye) laboratuvarında yazdırılmıştır (Şekil 3.8). Üretim farklılıklarından kaynaklı problemleri engellemek ve standardizasyonu sağlamak amacıyla çalışmadaki tüm örnekler için tek bir rezin model üretilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Formlabs Form 3+ üç boyutlu yazıcı (Orthodigi, İzmir)

Elde edilen çalışma modeli rezin üreticisinin yönergelerine göre 5 dakika boyunca %91 izopropil alkole batırılmıştır. Bu uygulama ile model temizlenmiş ve sertleşmemiş rezini baskı yüzeyinden uzaklaştırılmıştır. Son aşamada çalışma modeli ultraviyole ışık ile polimerize edilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.9, 3.10).



Şekil 3.9. %91 izopropil alkol içeren yıkama kabı



Şekil 3.10. Kullanıma hazır üç boyutlu rezin model

3.3.4 Şeffaf Plakların Basılması

Şeffaf plakların basımı için Erkopress ci motion (Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Germany) cihazı kullanılmıştır. Erkopress, termal olarak kontrol edilen bir kızılötesi ısıtıcı kullanan; plaklara uygulanan ısıtma süresi, soğutma süresi ve sıcaklık

derecesi otomatik olarak ayarlanıp uygulanabilen bir pozitif basınç oluşturucu cihazdır (şekil 3.11).



şekil 3.11. Erkopress şeffaf plak ısıyla şekillendirme cihazı

Basılacak şeffaf plak materyali, kelepçeleme çerçevesine sabitlendikten sonra ısıtma ünitesine yerleştirilmiştir. Programlanan ısıtma süresinin ardından, kilitleme kolu baskı platformuna doğru kaydırılmış ve hava basıncı etkinleştirilmiştir. Programlanan basınç ve ısıtma süreleri tamamlanmış; bölme serbest bırakılmış ve ısıyla şekillendirilen plak çıkarılmıştır (şekil 3.12). Plaklar, her işlem sırasında aşırı ısınmayı ve üretim tutarsızlığını önlemek için üretim koduna göre ısıyla şekillendirilmiştir.

Üretilen plak bir şeffaf plak makası aracılığıyla servikal diş etinin 2-3 mm üzerinden kesilerek deformasyona uğratılmadan çıkarılmıştır. Tüm bu işlemler örneklerin hepsi için tekrarlanmış ve örnekler taramaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Isıyla şekillendirme prosedürü ilk üretilen şeffaf plak

3.4 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Taraması

Çalışmamızda şeffaf plak ve ataşman arasındaki hava boşluğu hacmi ve boşluk genişliği ölçümleri için mikro-bt yöntemi kullanılmıştır. Mikro-bt çekimleri her bir numune için aynı süre ve standart pozisyonda standart çekim prosedürü ve analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

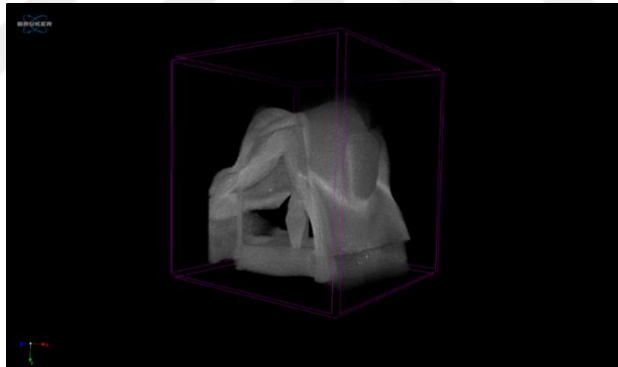
Çalışmada kullanılan masaüstü tip SkyScan 1172 (Kontich, Belgium) Mikro-bt sistemi; yüksek voltajla desteklenen bir mikro odaklanma tüpü, hassas manipülatöre sahip bir numune taşıyıcı, görüntü yakalayıcıya bağlı bir X-ray CCD (Charge-Coupled Device) kamera ve Dual Intel Xenon (Intel, LA, USA) işlemciye sahip bir bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Çalışmada taramalar için kullanılan Skyscan 1172 Mikro-bt sistemi

Rotasyonel tarama sırasında x ışın tüpü-diş mesafesini değiştirecek ve dışın ekspoz alanının dışına çıkmasına neden olabilecek aksiyel konumlardaki sapmaları önlemek için sabitleme işlemi sırasında örneğin vertikal olarak olabildiğince merkezi, açılanma yapmadan yerleştirilmesine dikkat edilmiş; daha sonra tarama işlemine geçilmiştir.

Örnekler tarama için mikro-bt cihazına yerleştirilerek 100 kV güç, 100 mA akımla, 0,5 mm alimünyum filtre kullanılarak 11 Mp kamera yardımıyla, her bir örnekten yaklaşık olarak 13,68 mikrometre kalınlığında toplam ortalama 1300 kesit görüntüsü alınmıştır. Şeffaf plakların taranmasında 180 derece rotasyon kullanılırken, rotasyon adımı 0,40 derece olarak belirlenmiştir. Bu ayarlarda tarama süresi yaklaşık olarak her bir çekim için 55 dakika sürmüştür. Kesitlerden alınan DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) uyumlu görüntüler BMP (Bit Map Picture) formatına dönüştürülmüştür. Her bir kesit görüntüsünün çözünürlüğü 2000x2000 piksel ve piksel boyutu 13,68 mikrometre olarak elde edilmiştir. Tarama sonrası bu kesitlerin birleştirilmesi ile CTVOx (SkyScan, Kontich, Belgium) programı kullanılarak üç boyutlu görüntüler elde edilmiştir (Şekil 3.14).

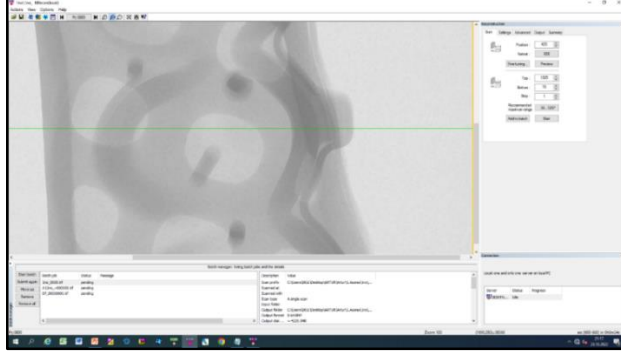


Şekil 3.14. CTVOx ile ataşman-plak ikilisinin üç boyutlu modellemesi

3.5 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin Analize Hazırlanması

Mikro-bt taraması sonrası elde edilen ham radyolojik görüntüler NRecon 1.6.10.6 (SkyScan, Kontich, Belgium) programına aktarılmıştır. Program aracılığıyla görüntü yumuşatma (Smoothing) 3 birim, halkasal görüntü hatalarının düzeltimi (Ring Artifact Correction) 20 birim ve x ışını sertleştirme (Beam Hardening Correction) için %90 düzeltme

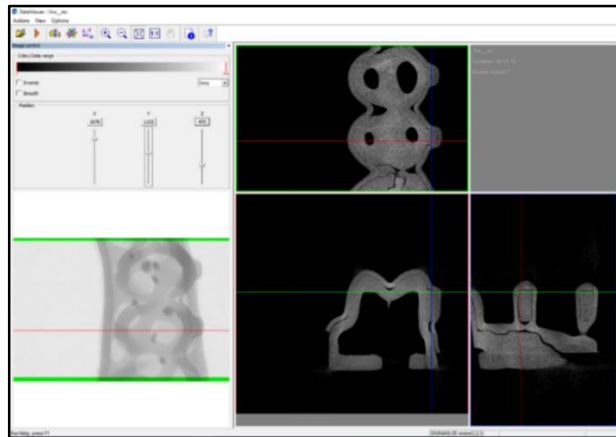
oranı kullanılarak görüntü kirlilikleri ve radyolojik artefaktlar elimine edilmiş ve görüntü matematiksel analize uygun hale getirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. NRcon 1.6.10.6 (Skyscan, Konitch, Belgium) programında görüntünün analize hazırlanması

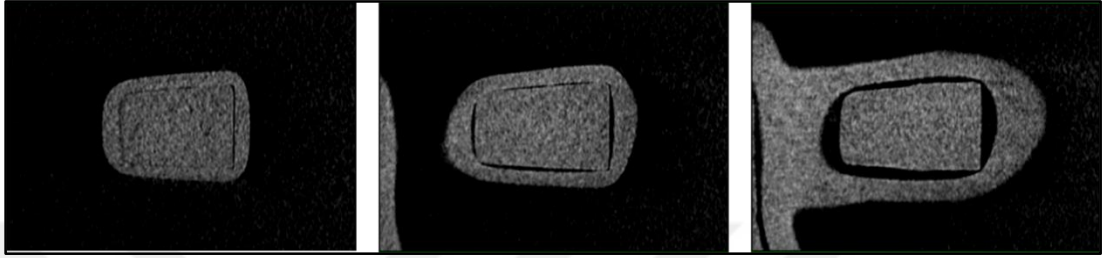
3.6 Mikro Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin Analizi

Görüntülerin analizi için yüksek kapasiteli bir çalışma istasyonu (Dell Precision T5500, Dell Company, Austin, Texas, SA) kullanılmıştır. İşlenen radyolojik görüntülerin SkyScan Dataviewer 1.6.0.0 64 bit (SkyScan, Kontich, Belgium) programı kullanılarak sagittal, transversal ve frontal olmak üzere uzayın üç düzleminde konumsal hataları giderilmiştir. Radyolojik görüntü alanları dışındaki gereksiz bölgeler uzaklaştırılarak görüntü boyutları küçültülmüş ve bilgisayarda matematiksel analizin daha hızlı yapılmasına uygun hale getirilmiştir (Şekil 3.16).

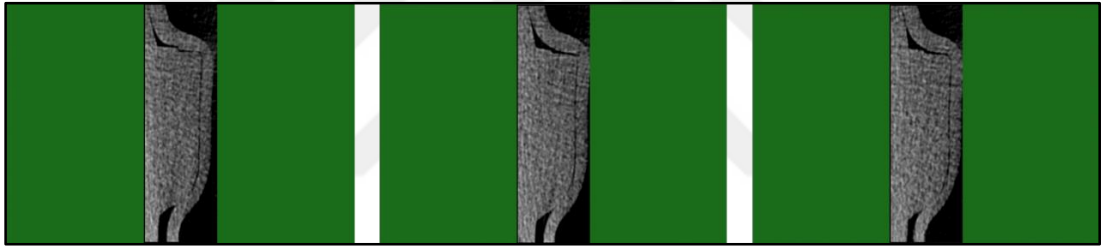


Şekil 3.16. Dataviewer 1.6.0.0 (Skyscan, Konitch, Belgium) programı ile konumsal hataların giderilmesi

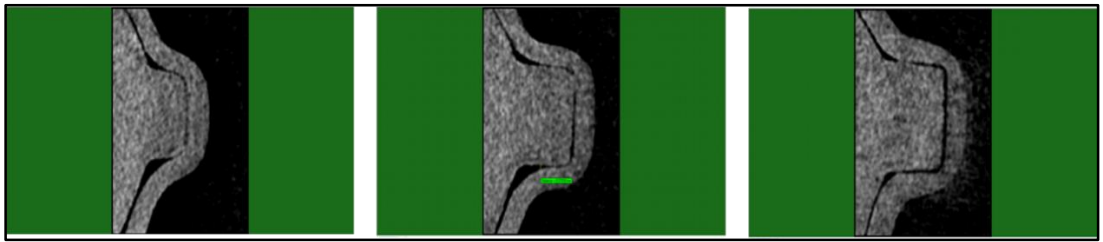
Ardından sagittal kesitte meziyodistal, transversal kesitte insizogingival yönde, frontal kesitte ise bukkopalatinal yönde ataşmanın başladığı ilk kesit ve bittiği son kesit belirlenerek aktif inceleme alanı sınırlandırılmıştır. Aktif inceleme alanının tam ortasına denk gelen kesit, ortanca kesit olarak belirlenmiştir (CTAn 1.20.8.0, SkyScan, Kontich, Belgium) (Şekil 3.17, 3.18, 3.19).



Şekil 3.17. Ataşmanın başladığı (bukkal), ortanca (frontomedian) ve bittiği (palatinal) kesit (frontal düzlem)

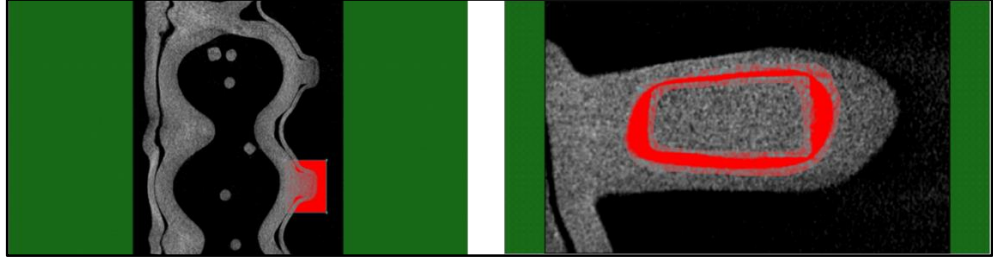


Şekil 3.18. Ataşmanın başladığı (mezial), ortanca (sagitomedian) ve bittiği (distal) kesit (sagittal düzlem)



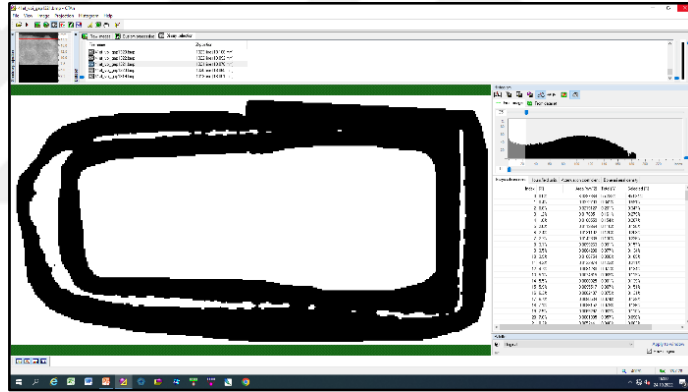
Şekil 3.19. Ataşmanın başladığı (gingival), ortanca (transversomedian) ve bittiği (oklüzal) kesit (transversal düzlem)

Daha sonra ataşman sınırları Bölgesel Ayırıştırma (Region of Interest) fonksiyonu ile her bir kesitte çizilerek etraftaki diş dokusundan ve dış yüzeydeki hava boşluğundan ayırıştırılmıştır (Şekil 3.20).

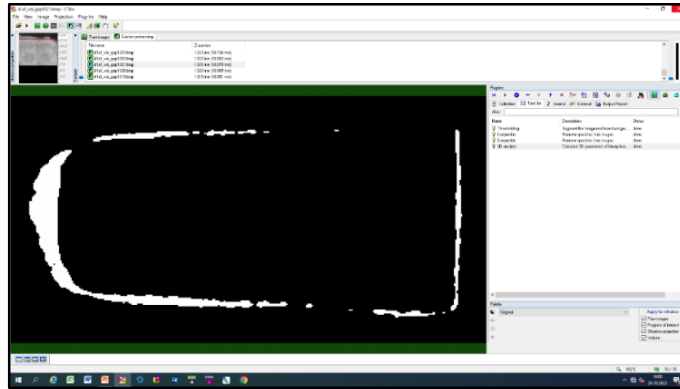


Şekil 3.20. Bölgesel ayrıştırma işlemi (Region of Interest) (transversal ve frontal kesit)

İkinci aşamada siyah-beyaz görüntü (Binary Page) sayfasına geçilip ataşman-plak arasındaki hava boşluğu hacmini belirlemek için uygun çalışma aralığı (Theresholding) belirlenmiştir. Son aşamada özel işlemler sayfasına (Custom Processing) geçilmiş ve standart olarak her numune için aynı görev listesi (Task List) kullanılarak ataşman plak arasındaki hava boşluğu mm^3 cinsinden hesaplanmıştır (Şekil 3.21, 3.22).

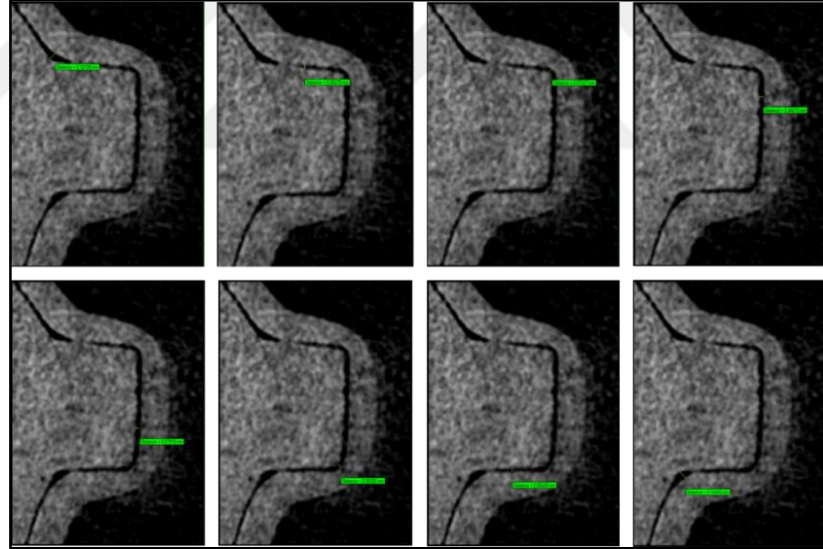


Şekil 3.21. Siyah-beyaz görüntü sayfası (Binary Page)

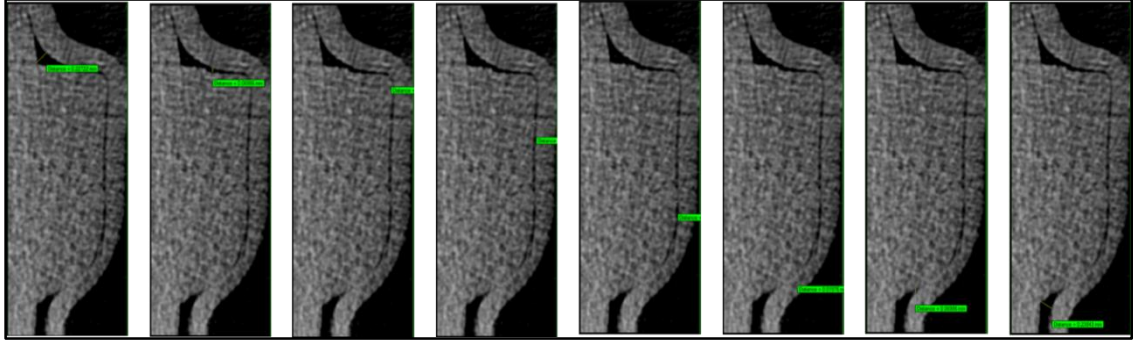


Şekil 3.22. Özel işlemler sayfası (Custom Processing)

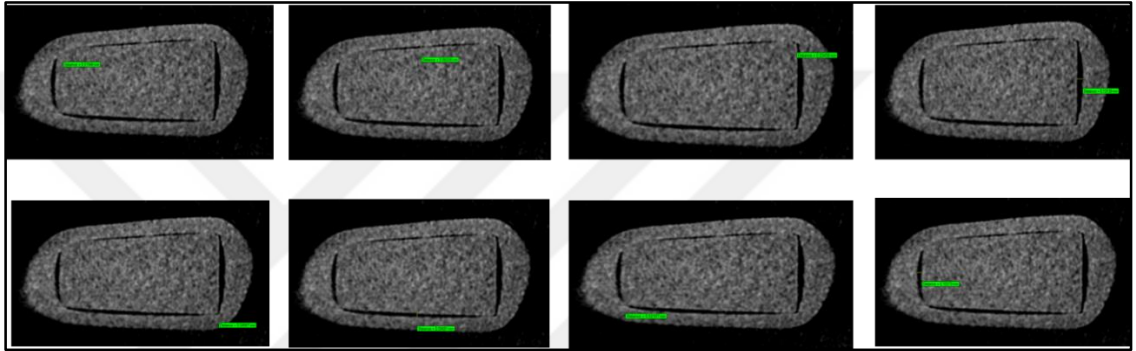
İki boyutlu analizler için de CTAn 1.20.8.0 (SkyScan, Kontich, Belgium) programında uzayın üç düzleminde ataşmanın başlangıç, bitiş ve ortanca kesitinde aynı 8'er noktada ataşman ve plak arasındaki mesafe ölçülmüştür. Transversal düzlemde ataşmanın oklüzale en yakın kısmındaki kesite oklüzal kesit, gingival sonlanım bölgesindeki kesite gingival kesit ve bu iki kesitin tam ortasındaki kesite ise transversomedian kesit adı verilmiştir. Sagital düzlemde ataşmanın mezial yaklaşım bölgesindeki kesite mezial kesit, distal yaklaşım bölgesindeki kesite distal kesit ve bu iki kesitin tam ortasındaki kesite ise sagitomedian kesit adı verilmiştir. Frontal düzlemde ataşmanın başladığı yani en dıştaki kesite bukkal kesit, bittiği yani dişe en yakın kısmındaki kesite palatinal kesit ve bu iki kesitin tam ortasındaki kesite ise frontomedian kesit adı verilmiştir. Sonrasında ölçülen 8 noktanın ortalaması alınarak o kesitin ortalama boşluk genişliği (OBG) mikrometre cinsinden hesaplanmıştır. Analizler tüm örnekler için aynı araştırmacı tarafından, kör olarak yapılmıştır (Şekil 3.23, 3.24, 3.25).



Şekil 3.23. CTAn 1.20.8.0 programı ile iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (transversal düzlem)



Şekil 3.24. CTAn 1.20.8.0 programı ile yapılan iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (sagital düzlem)



Şekil 3.25. CTAn 1.20.8.0 programı ile yapılan iki boyutlu ölçüm yapılan sekiz nokta (frontal düzlem)

3.7 İstatistiksel Analiz

Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile gruplar arasında parametrelerin varyans homojenliği Levene testi ile araştırılmıştır. Normal dağılıma sahip verilerin gruplar arası karşılaştırılması Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri ile yapılmıştır. Grup içinde frontal düzlemde palatinal, frontomedian ve bukkal; sagital kesitte mezial, sagitomedian ve distal; transversal düzlemde okluzal, transversomedian ve gingival kesitteki tekrarlayan ölçümlerde karşılaştırmalar Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ve LSD testi ile değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistik olarak sayısal değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma, kategorik değişkenler için ise sayı ve % değerleri verilmiştir. İstatistiksel analizler için SPSS Windows version 24.0 (IBM SPSS, Türkiye)¹³⁶ paket programı kullanılmış ve $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Üç Boyutlu Analiz Bulguları

Çalışmada dört farklı grup için ataşman ile şeffaf plak arasındaki hava boşluğu hacmi parametresine ait üç boyutlu verinin ortalama değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Plak- ataşman arasındaki hava boşluğu hacmine ait (mm³) bulgular

	CA Soft Ort±SS	CA Medium Ort±SS	CA Hard Ort±SS	CA PRO Hard Ort±SS	p
Hava Boşluğu Hacmi	0,27±0,16	0,27±0,16	0,24±0,14	0,23±0,09	0,726

p değeri Tek Yönlü Varyans Analizinden elde edilmiştir. SS: Standart Sapma

Üç boyutlu analiz sonuçlarına göre CA PRO-Hard grubu diğer gruplara kıyasla daha düşük hava boşluğu hacmine sahiptir. Ancak bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı değildir ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (p=0,726).

4.2 İki Boyutlu Analiz Bulguları

Çalışmada dört farklı grup için ataşman ile şeffaf plak arasındaki boşluk genişliği parametresine ait iki boyutlu verilerin ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Uzayın üç düzleminde de ataşmanın başladığı, ortanca ve bittiği kesitte Şekil 3.23, 3.24 ve 3.25’de gösterilen 8’er noktada boşluk genişliği ölçülüp ortalaması alınmış ve o kesite ait OBG (ortalama boşluk genişliği) değeri elde edilmiştir.

4.2.1 Frontal Düzlemde Yapılan İki Boyutlu Ölçümlere Ait Bulgular

Frontal düzlemdeki palatinal, frontomedian ve bukkal kesitte yapılan plak ve ataşman arasındaki boşluk ölçümlerine ait verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

İki boyutlu analiz sonuçlarına göre gruplar arasında, palatinal kesitte OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. CA PRO-Hard grubunun palatinal kesit OBG; diğer çalışma gruplarından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Diğer gruplar arasında palatinal kesit OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$). Frontomedian ve bukkal kesit OBG açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p=0,304$; $p=0,064$).

Çizelge 4.2. Frontal düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk bulguları (mm)

		CA Soft (n=20)	CA Medium (n=20)	CA Hard (n=20)	CA PRO Hard (n=20)	p ¹
		Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	
Ortalama Boşluk Genişliği	Palatinal	^b 0,12±0,05 [†]	^b 0,14±0,04 [‡]	^b 0,14±0,04 [‡]	^a 0,07±0,02 [†]	<0,001
	Frontomedian	0,04±0,03*	0,05±0,02 [†]	0,04±0,01 [†]	0,04±0,01*	0,304
	Bukkal	0,03±0,03*	0,03±0,01*	0,03±0,01*	0,04±0,02*	0,064
	p ²	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

p¹: Tek yönlü Varyans Analizi (gruplar arası), p²: Tekrarlayan ölçümlerde Tek Yönlü Varyans Analizi (grup içi)
SS: Standart sapma

a, b, c: Satırlarda Tukey HSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

*, †, ‡: Sütunlarda LSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Frontal düzlemde yapılan grup içi kıyaslamalarda, CA-Soft ve CA PRO-Hard gruplarında OBG açısından kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. Bukkal ve frontomedian kesit OBG değeri, palatinal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Bukkal ve frontomedian kesit arasında ise istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

CA-Medium ve CA-Hard gruplarında da OBG açısından kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. Bukkal kesit OBG değeri; frontomedian ve palatinal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$).

Frontomedian kesit OBG de palatinal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$).

4.2.2 Sagital Düzlemde Yapılan Ölçümler

Sagital düzlemdeki mezial, sagitomedian ve distal kesitte yapılan plak ve ataşman arasındaki boşluk ölçümlerine ait verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.3'te görülmektedir.

İki boyutlu analiz sonuçlarına göre gruplar arasında, mezial kesitte OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p=0,061$). Sagitomedian ve distal kesit OBG açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p<0,001$; $p=0,005$). Bu iki kesitte CA PRO-Hard grubunun OBG değeri; diğer çalışma gruplarından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Sagital düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk ölçümleri (mm)

		CA Soft (n=20) Ort±SS	CA Medium (n=20) Ort±SS	CA Hard (n=20) Ort±SS	CA PRO Hard (n=20) Ort±SS	p ¹
Ortalama Boşluk Genişliği	Mezial	0,09±0,01*	0,09±0,01*	0,08±0,02*	0,07±0,02	0,061
	Sagitomedian	^b 0,10±0,02 [†]	^b 0,10±0,02 [†]	^b 0,10±0,02 [†]	^a 0,07±0,02	<0,001
	Distal	^b 0,09±0,01*	^b 0,09±0,02*	^b 0,09±0,02*	^a 0,07±0,02	0,005
	p ²	<0,001	<0,001	<0,001	0,759	

p¹: Tek yönlü Varyans Analizi (gruplar arası), p²: Tekrarlayan ölçümlerde Tek Yönlü Varyans Analizi (grup içi)

SS: Standart sapma

a, b, c: Satırlarda Tukey HSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

*, †, ‡: Sütunlarda LSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Sagital düzlemde yapılan grup içi kıyaslamalarda CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard gruplarında OBG açısından kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. Mezial ve distal kesit OBG değeri; sagitomedian kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). CA PRO-Hard grubunda OBG açısından mezial, sagitomedian ve distal kesit arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p=0,759$).

4.2.3 Transversal Düzlemde Yapılan Ölçümler

Transversal düzlemde gingival, transversomedian ve oklüzal kesitte yapılan plak ve ataşman arasındaki boşluk ölçümlerine ait verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.4'te görülmektedir. Çalışma grupları arasında, gingival kesit OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. Gingival kesitte CA PRO-Hard grubunun OBG değeri; diğer çalışma gruplarından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). CA-Hard grubunun OBG değeri de CA-Soft grubundan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Diğer gruplar arasında gingival kesit OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Çizelge 4.4. Transversal düzlemde plak-ataşman arasındaki boşluk ölçümleri (mm)

		CA Soft (n=20) Ort±SS	CA Medium (n=20) Ort±SS	CA Hard (n=20) Ort±SS	CA PRO Hard (n=20) Ort±SS	p ¹
	Gingival	^c 0,08±0,01 [‡]	^{bc} 0,08±0,01 [†]	^b 0,07±0,01 [‡]	^a 0,04±0,01 [*]	<0,001
Ortalama	Transversomedian	^b 0,06±0,01 [†]	^b 0,06±0,01 [*]	^b 0,06±0,01 [†]	^a 0,05±0,01 ^{*†}	<0,001
Boşluk	Oklüzal	0,05±0,01 [*]	0,06±0,01 [*]	0,05±0,01 [*]	0,05±0,01 [†]	0,299
Genişliği						
	p ²	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	

p¹: Tek yönlü Varyans Analizi (gruplar arası), p²: Tekrarlayan ölçümlerde Tek Yönlü Varyans Analizi (grup içi)
SS: Standart sapma

a, b, c: Satırlarda Tukey HSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

*, †, ‡: Sütunlarda LSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Transversomedian kesit OBG açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır. CA PRO-Hard grubunun OBG değeri; diğer çalışma gruplarından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$). Oklüzal kesit OBG açısından değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p=0,299$).

Transversal düzlemde yapılan grup içi kıyaslamalarda CA-Soft ve CA-Hard gruplarında OBG açısından kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır.

Her iki grupta da oklüzal kesit OBG değeri; transversomedian ve gingival kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Transversomedian kesit OBG de gingival kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$).

CA-Medium grubunda oklüzal ve transversomedian kesit OBG, gingival kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,001$). Oklüzal ve transversomedian kesit arasında ise istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

CA PRO-Hard grubunda OBG açısından kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p=0,002$). CA PRO-Hard grubunda diğer üç gruptakinin tam tersine gingival kesit OBG, oklüzal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

4.2.4 Üç Düzlemde Kesit Ortalamalarının Karşılaştırılması

Çalışmada değerlendirilen dört farklı grup için frontal, sagittal ve transversal düzlemde üçer kesitte yapılan ölçümlerin ortalaması alınıp her bir düzlem için ortalama değer hesaplanmıştır. Her bir düzlem için hesaplanan OBG ölçümlerine ait verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.5'te görülmektedir.

Çalışma grupları arasında, her üç düzlemde de CA PRO Hard grubunun OBG değeri diğer gruplardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Frontal, sagittal ve transversal düzlemlerin ortalama boşluk genişliği (mm) bulguları

2B Analiz		CA Soft (n=20) Ort±SS	CA Medium (n=20) Ort±SS	CA Hard (n=20) Ort±SS	CA PRO Hard (n=20) Ort±SS	p
Düzlemlerin Ortalama Boşluk Genişliği	Frontal	^b 0,07±0,02	^b 0,07±0,02	^b 0,07±0,02	^a 0,05±0,01	0,003
	Sagittal	^b 0,09±0,01	^b 0,09±0,02	^b 0,09±0,01	^a 0,07±0,02	<0,001
	Transversal	^b 0,07±0,01	^b 0,06±0,01	^b 0,06±0,01	^a 0,05±0,01	<0,001

p: Tek yönlü Varyans Analizi (gruplar arası), SS: Standart sapma

a, b, c: Satırlarda Tukey HSD testi sonucuna göre istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

5. TARTIŞMA

Şeffaf plak tedavisi ilk uygulanmaya başlandığı zamanlarda basit vakalarda kullanılırken yıllar içinde sistem gelişmiş ve uygulama alanı artmıştır.^{3, 4} Günümüzde ise distalizasyon, çekim boşluklarının kapatılması gibi hareketlerin yapıldığı karmaşık vakalarda bile etkili bir şekilde kullanılmaktadır.⁵ Şeffaf plak tedavisinde diş hareketini kolaylaştırmak ve tedavinin öngörülebilirliğini artırmak için ataşmanlar, ağız içi elastikler ve interproksimal aşındırma gibi yardımcı eleman ve uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.³ Bu nedenle ataşmanlar ortodontik hareketi düzenlemek veya ankraj ünitelerini yönetmek için kullanılabilir. Ortodontik diş hareketini planlarken ankraj önemlidir. Şeffaf plak tekniğinin başarısı ankraj yönetimine bağlı olduğundan, tekniğin etkinliği ve verimliliği ile ilgili literatür artmasına rağmen ankraj ataşmanlarına ve dişlere plağın oturması ile ilgili hiçbir kanıt bulunmadığına dikkat etmek önemlidir.³ Konu ile ilgili araştırma ve girişimler olsa da yöntemin, örneklem ve çalışma grupları açısından sınırlamaları vardır.^{11, 12, 51, 128-133} Bu in vitro çalışma, farklı tip plakların ve aynı tip ama farklı kalınlıktaki plakların ankraj ataşmanına uyumunu ölçmek ve karşılaştırmak için bilgimiz dahilinde yapılan ilk çalışmadır.

Çalışmamızda 3B yazıcı ile elde edilmiş bir rezin üst çene modele farklı kalınlık ve hammadde yapısına sahip dört grup şeffaf plak uygulanmış; ardından plaklarla ankraj ataşmanı arasındaki uyum mikro-bt analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışma, farklı tip plakların ataşmana uyumunu mikro-bt ile değerlendiren ilk çalışmadır. Bu çalışmadan elde edilen sayısal sonuçlar, ideal şeffaf plak kalınlığı ve materyali seçimi için plak hammadde üreten firmalara ve daha efektif şeffaf plak tedavisi yapabilmesi için ortodontistlere kılavuz oluşturabilir.

5.1 Kullanılan Gereç ve Yöntemin Tartışması

Şeffaf plaklarla tedavi, günümüzde birçok klinik durum için olası bir ortodontik seçenek haline gelmiştir.¹³⁷ Çok sayıda üretici firma, çeşitli özelliklere sahip şeffaf plak sistemi geliştirmiştir. Örneğin, Invisalign (AlignTechnology, San Jose, Calif), tedavi boyunca aynı plak malzemesi ve kıvrımlı marjin tasarımı kullanır. CA Clear Aligner

(ScheuDental, Iserlohn, Almanya) tedavinin her aşaması için üç farklı kalınlıkta (0,5 mm, 0,625 mm ve 0,75 mm) ve uzatılmış marjin tasarımı plak sunar. Dasy ve ark.⁵¹ kenarsız şeffaf plakların daha geniş kenarlı olanlardan önemli ölçüde daha düşük kuvvetler ürettiğini bildirmiştir. Şeffaf plak materyalinin kalınlığı plak tarafından üretilen kuvvet ve momentleri etkileyebilir; üstelik bu kuvvetler optimal kuvvetleri de aşabilir. Örneğin; tipping (0,5-0,75 N) ve intrüzyon (0,1–0,25 N) için kabul edilebilir kuvvetlerin on kat kadar aşılabileceği bildirilmiştir.¹³⁸⁻¹⁴¹ Bu nedenlerden dolayı Kwon ve ark.¹⁴² programlanmış hareketlerin 0,2–0,5 mm aralığında tutulmasını tavsiye etmekte ve Elkholy ve ark.¹⁴³ şeffaf plak tedavisinin erken evrelerinde tipik olan periodontal dokulardaki başlangıç aşırı yüklenmeyi en aza indirmek için 0,4 mm nominal kalınlıkta plakların kullanılmasını önermektedir. Bu nedenle şeffaf plak tedavisinde plak kalınlığının seçimi önemli bir konudur.

Farklı şeffaf plak sistemleri arasındaki varyasyonlar (laboratuvar ve çevrimiçi plak üretimi veya dijital ve manuel kurulumlar gibi) klinisyenlerin tercih ettikleri marka, plak kalınlığı ve plak malzemesini seçmelerine olanak tanır. Literatür incelendiğinde bazı çalışmalar farklı malzeme kalınlıklarının dişler üzerinde farklı kuvvetler oluşturduğunu bildirirken bazı çalışmalar da malzeme kalınlığının tedaviyi tamamlama ve seviyelemedeki iyileştirmeler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir.^{51, 144, 145} Hahn ve ark.⁹⁷ değişen plak kalınlıklarının tedavinin öngörülebilirliğini etkilediğini; Kohda ve ark.¹⁴⁶ ise şeffaf plakların açığa çıkardığı kuvvetin plağın sertliği ve elastik modülü ile güçlü bir korelasyona sahip olduğunu belirtmiştir. Lombardo ve ark.¹⁴⁷ 2017 yılında yaptığı çalışmada şeffaf plakları visköz ile elastik materyaller skalasında orta grupta nitelendirmiş; ayrıca şeffaf plakların mekanik özelliklerinin ve klinik performansının materyal tipinden etkilendiğini bildirmiştir.

Çalışmamızda Dasy ve ark.⁵¹ tasarımından yola çıkarak üç farklı kalınlık ve iki farklı materyal yapısı kıyaslanmıştır. Mantovani ve ark.¹¹ 2018 yılında SEM kullanarak yaptığı çalışmada Invisalign ve CA-Clear Aligner firmasının farklı kalınlıkta plaklarını farklı dişlerde kıyaslamış ve uyumlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda plakların uyumunda belirgin farklar bulunmasına rağmen farklı firmaların patentli ve gizli üretim aşamaları, sonuçlar için bir limitasyon oluşturmuştur. Mantovani ve ark.¹² başka bir çalışmada farklı plakların ankraj ataşmanlarına uyumunu SEM yöntemi ile incelemiştir. Bu çalışmada firmalar arası üretim farklılıkları, şeffaf plakların kenar tasarımı farklılıkları ve aynı materyale ait farklı plakların incelenmemesi çalışmanın sınırlamaları olarak göze çarpmıştır.

Lombardo ve ark.¹²⁸ ilk kez mikro-bt yöntemi ile aynı kalınlıkta altı plak markasını kıyasladıkları çalışmanın sonunda çeşitli kalınlık ve ataşman tiplerinin incelenmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle çalışmamızda diğer çalışmaların aksine firmalar arası gizli patent, üretim teknikleri ve kenar tasarımı tiplerini elimine etmek için sadece CA-Clear Aligner markasının üç farklı kalınlık ve iki farklı materyal yapısında plakları karşılaştırılmıştır. Böylece hangi değişenin plakların uyumuna etki ettiği sonucuna varılmak istenmiştir. Aynı zamanda çalışmamızda gruplar arasında standardizasyon sağlanmış olup ataşmana uyum konusunda plak kalınlığı ve materyal farklılıklarının etkisinin net bir şekilde görülmesi amaçlanmıştır.

Şeffaf plakların ankraj dişlerine uyumu, ortodontik tedavide başarı için çok önemli bir faktördür. Plagın yeterince retantif olmaması veya ankraj bloğuna mümkün olduğunca çok sayıda diş dâhil etmemek, ankraj kaybının yaygın nedenleridir.⁶⁵ Ataşmanlar, ankraj birimlerini yönetmek ve kontrollü ortodontik diş hareketi sağlamak için güçlü araçlardır.³ Ankraj ataşmanlarına takılan plaklara ilişkin tek çalışma Mantovani ve ark. tarafından yapılmıştır.¹² Çalışmada firmaların farklı hammadde ve kalınlıktaki plakları SEM yöntemi ile incelenmiştir. Ancak çalışmada hem yöntem, hem örneklem büyüklüğü hem de aynı malzemeye ait farklı plakların incelenmemesi gibi eksiklikler mevcuttur. Bu yüzden ankraj ataşmanlarına uyumun daha kapsamlı incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Dasy ve ark.⁵¹ tarafından yapılan bir in vitro çalışmada ataşman şeklinin retansiyonu etkilediği gösterilmiş; rektanguler ataşmanların elipsoid ataşmanlardan daha retantif olduğunu belirtilmiştir. Mantovani ve ark.¹² da bu sonuçtan hareketle rektanguler ataşman kullanılarak şeffaf plakların uyumunu SEM yöntemi ile değerlendirmiştir. Ravera ve ark.⁵⁶ ile Garino ve ark.⁵⁷, sınıf II tedavilerde molarların distalizasyonunda kök kontrolünü iyileştirmek için dikdörtgen ataşman kullanmanın önemini göstermişlerdir. Bu yüzden çalışmamızda rektanguler ankraj ataşmanı tercih edilmiştir. Bir in vitro çalışmada Simon ve ark.¹⁴⁸ ataşman kullanılmadan şeffaf plaklardan dişlere yük transferinin sadece sınırlı bir ölçüde mümkün olduğunu göstermiştir. Ataşmanların konumu ve yapılandırması temel belirleyicilerdir. Tekniğin yaygın kullanımına rağmen, ankraj ataşmanlarında plakların uyumu ile ilgili veriler yetersizdir. Mantovani ve ark.¹² 2018 yılında SEM yöntemi kullanarak ankraj ataşmanlarında üç pasif şeffaf plagın uyumunu değerlendirmiştir. Çalışma, farklı plaklar ve dişler arasında uyumun bazı bölgelerde değişiklik gösterse de genel olarak benzer olduğunu göstermiştir. Ancak çalışmada aynı malzemenin çeşitli kalınlıkları test edilmemiş ve yöntem

olarak SEM kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmamızda hem farklı malzemeler hem de aynı malzemeye ait değişik kalınlıklar test edilmiştir. Aynı zamanda daha güvenli ve birçok kesitten ölçüm yapmaya imkân tanıyan mikro-bt yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmamızda geçmiş çalışmalar^{11, 12, 51, 128, 129} referans alınarak hafif-orta düzey çapraşıklığı bulunan sınıf I ortodontik maloklüzyona sahip hasta modeli örnek olarak seçilmiştir. Ankraj dişleri için çalışmalarda farklı seçimler yapılmıştır. Dasy ve ark.⁵¹ retansiyonu incelediği çalışmasında üst birinci ve ikinci premolar dişleri referans almış; Mantovani ve ark.¹¹ da SEM kullanarak ankraj dişlerine uyumu incelediği çalışmasında üst ve alt çene santral, birinci premolar ve birinci molar dişleri incelemiştir. Yine Mantovani ve ark.¹² bir başka çalışmada ankraj ataşmanına uyumu değerlendirmiş; diş olarak üst ve alt birinci premolar ve birinci molar dişleri referans almıştır. Lombardo ve ark.¹²⁸ da altı farklı plak markasının farklı dişlere uyumunu incelemiş; analiz için santral, kanin ve birinci molar dişleri kullanmıştır. Çalışmamızda önceki çalışmalar^{11, 51} referans alarak üst premolar dişler kullanılmıştır.

İhsen ve ark.¹³³ yaptığı çalışmada rezin model yüksekliklerinin ısıyla şekillendirme işlemi sonunda plak kalınlığına etki ettiğini ortaya koymuştur. Dasy ve ark.⁵¹ 2015 yılında yaptığı çalışmada farklı şeffaf plak firmaları, kalınlıkları ve materyal tiplerinin retansiyonunu karşılaştırmış; önce polivinilsiloksan ölçü maddesi ile kalıbı elde edip alçı modeli elde etmiş; ardından dişlere ataşmanı ekleyip inceleyeceği dişleri metal olanlarla değiştirmiş ve tek bir model üzerinden çalışmıştır. Mantovani ve ark.¹¹ da farklı şeffaf plakların ankraj dişlerine uyumunu incelediği çalışmasında farklı üretim süreçleri olan plak sistemleri ve farklı çeneleri incelediği için her grup için farklı rezin model kullanmıştır. Yine Mantovani ve ark.¹² şeffaf plakların ankraj ataşmanına uyumunu değerlendirmiş; her bir grup için farklı rezin modeller kullanmıştır. Lombardo ve ark.¹²⁸ altı şeffaf plak markasının dişlere uyumunu mikro-bt ile incelediği çalışmasında aynı çekincelerden ötürü tek rezin model kullanmıştır. Palone ve ark.¹²⁹ da ısıyla şekillendirme işlemi sonrası farklı plakların kalınlık ve uyumlarını karşılaştırdığı çalışmasında tek rezin model kullanmıştır. Çalışmamızda standardizasyonu sağlamak amacıyla her numune için birden fazla rezin modeli yerine tek bir rezin model oluşturulmuştur. Mikro-bt yönteminin incelenen modele zarar vermemesi tek master model kullanımına olanak sağlamıştır.

Şeffaf plaklarla tedavide klinik sonuçların öngörülebilirliğini etkileyebilecek başka bir faktör de plak ile dokular arasındaki uyumdur. Uyum; ısıyla şekillendirme süreci (basınç

ve sıcaklık), kullanılan malzemelerin elastik modülü, yarıkların veya ataşmanların varlığı ve tükürük ile temas halinde oluşan higroskopik genişleme tarafından belirlenir.^{11, 12, 149} Nitekim plak ile diş/ataşman arası boşluk, sabit ortodontik sistemdeki ark teli/braket slotu ilişkisine benzer olarak düşünülebilir ve bu istenen diş hareketini elde etmek için gerekli kuvvetlerin ve momentlerin aktarımı ile doğrudan ilişkilidir.¹⁵⁰ Bu nedenle, diş yüzeyi ile plak iç yüzeyi arasındaki yakın temas sayesinde daha uyumlu bir plağın daha kolay moment ve kuvvet uygulayacağı düşünülebilir. Diş-ataşman-plak arasındaki boşluğun dar olması, özellikle ilk aşamada başlangıç kuvvetinin daha az kaybolmasını sağlar, bu da şeffaf plak tedavisini daha öngörülebilir hale getirecektir. Konuya odaklanan iki çalışmada, bir kesme makinesi tarafından oluşturulan ve rezin modellere takılan pasif şeffaf plakların bukkolingual bölümlerinin mikrofotografını elde etmek için SEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.^{11, 12} Bu çalışmalardan ilki, hem Invisalign (Align Technology, San Jose, CA, ABD) hem de CA-Clear Aligner (Scheu-Dental, Iserlohn, Almanya) sistemlerinin belli bölgelerde farklılıklar olsa da genel olarak benzer ve iyi uyum sağladığı sonucuna varmıştır.¹¹ İkinci çalışmada ise aynı yöntem ile Invisalign, CA-Clear Aligner ve F22 markalarının ankraj ataşmanına uyum değerlendirilmiştir.¹² Çalışma sonucunda dişin farklı bölgelerinde uyum farklılıkları görülse de genel uyumun benzer olduğunu saptamıştır. Bu iki çalışma literatürde yeni ve önemli bilgiler sunsa da analiz metodu, çalışma tasarımı, örneklem sayısı ve plak çeşitliliği açısından bazı sınırlamaları vardır.

Lombardo ve ark.¹²⁸ şeffaf plakların uyumu konusunda ilk kez mikro-bt yöntemi ile girişimde bulunmuştur. Çalışmada altı farklı plak markasının santral, kanin ve birinci molar dişe uyumunu incelemiştir. Ancak çalışmada sadece aynı kalınlıkta plak kullanılması, ataşmanların incelenmemesi, firmalar arası üretim farklılıkları ve yetersiz örneklem büyüklüğünden dolayı bazı sınırlamalar yer almaktadır. Bu konuda ikinci girişim olarak Palone ve ark.¹²⁹ da ısıyla şekillendirme işlemi sonrası farklı plakların kalınlık ve uyumlarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın tasarımı da Lombardo ve ark.'nın tasarımı ile aynı olduğu için benzer sınırlamalara sahiptir. Ammann ve ark.¹³⁰ da NaturAligner® (Bottmedical AG, Basel, İsviçre) adı verilen ve mikroplastiklerin zararlarını elimine etmek için biyouyumlu malzemelerden üretilmiş yeni bir şeffaf plak markasının farklı kalınlık ve sıcaklıklarda üretildiği zaman uyumlarındaki farklılıkları mikro-bt yöntemi ile incelemiştir. Ancak bu çalışmada piyasada kullanım alanı kısıtlı ve henüz yeni geliştirilmekte olan bir materyal incelendiğinden sonuçların temsiliyeti ve genellenebilirlik açısından soru işaretleri

bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen çalışmalardaki tüm bu sınırlamaların üstesinden gelmek için çalışmamızda invaziv olmayan mikro-bt yöntemi kullanarak dört plak çeşidinin uyumunu araştırmak ve elde edilen veriler üzerinde hem 3B hem de 2B karşılaştırmalı analizler yapmak için yola çıkılmıştır.

Şeffaf plaklar bir ısıyla şekillendirme süreci sonucunda nihai halini alırlar.⁸⁵ Aynı zamanda plak malzemeleri farklı üretim süreçlerinden (basınçla vakumlama, soğutma, trimleme, kesme) etkilenebilir.⁸⁶ Mantovani ve ark.¹³¹ Invisalign plaklarının kalınlık homojenitesini incelediği çalışmasında gingival-lingual kısımdaki plak kalınlığının oklüzal bölgeye göre daha ince olduğunu; bu inceliğin de uygulanan kuvvet ve uyumu etkileyebileceğini bildirmiştir. Yine bir başka çalışmada polietilen tereftalat ve poliüretan plaklarla ilgili yakın tarihli bir in vitro çalışmanın sonuçları, ısıyla şekillendirmeden sonra özellikle plağın inceltildiği bukkogingival plak kalınlığında %50'ye varan bir azalma olduğunu göstermiştir.⁸⁷ Ihhsen ve ark.¹³³ da farklı rezin model yüksekliklerinin ısıyla şekillendirme işlemi sonunda plak kalınlığına etkisini incelediği çalışmasında dişin bukkal yüzünde oklüzalden servikale doğru kalınlıkta bir incelmeye olduğunu ortaya koymuştur. Bu azalmış kalınlığın da bazı hareketlerde azalamaya yol açabileceği literatürde bildirilmiştir.⁸⁸

89

Son zamanlarda yapılan araştırmalar 3B baskılı plakların analizine odaklanmasına rağmen ısıyla şekillendirme, plakların üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.⁸³ 90 Ihhsen ve ark.¹³³ da mikro-bt yöntemi ile yaptığı çalışmada manuel ısıyla şekillendirme işleminin güvenli bir yöntem olduğunu bildirmiştir. Isıyla şekillendirilmiş plaklarda uyum, üretim süreçlerine (ayarlanan sıcaklık ve basınç), kullanılan malzemelerin elastik modülüne, yarıkların ve ataşmanların varlığına ve plak tükürük veya suyla temas ettiğinde higroskopik genişleme olayına bağlıdır.^{11, 12, 149} Çalışmamızda, plak kalınlığı ve özelliği değil de plak uyumu değerlendirildiği için plaklar ısı ile şekillendirilmiş ve homojenite farkının çalışmamızın sonuçlarını etkilemeyeceği düşünülmüştür.

Çalışmamızda her bir grupta 10'ar adet olmak üzere toplam 40 plak kullanılmıştır. Adaptasyon ise her plakta 2 ataşman, yani her çalışma grubunda 20 denek, toplamda 80 denek üzerinde çalışılmıştır. Isıyla biçimlendirme sıklıkla eğitimli bir teknisyen tarafından manuel olarak yapıldığından, plaklar aynı kalıp üzerinde üretilseler bile mükemmel homojen olmayabilir.⁸³ Plakların manuel olarak üretilmesi, kaçınılmaz olarak belirli bir hata derecesine yol açar. Örneğin plak kenarlarının manuel olarak kesilmesi, uzunluk

farklılıklarına neden olur ve plağın ısıyla şekillendirme modelinden manuel olarak çıkarılması, şekil deformasyonlarına yol açabilir.¹³³ Bu nedenle incelenen parametrelerin etkisini ve sonuçların temsiliyeti için plak sayısı önem arz etmektedir. Literatür incelendiğinde uyumla ilgili birçok çalışma az sayıda denek üzerinde yapılmış ve bu durum limitasyon olarak bildirilmiştir.^{11, 12, 51, 128, 129, 131} Bu bağlamda çalışmamız literatürde fark yaratmaktadır.

5.2 Bulguların Tartışması

Çalışmanın 3B analiz sonuçlarına göre; ataşman ve plak arasında kalan toplam hava boşluğu hacmi; CA-Soft grubunda $0,27 \pm 0,16 \text{ mm}^3$, CA-Medium grubunda $0,27 \pm 0,16 \text{ mm}^3$, CA-Hard grubunda $0,24 \pm 0,14 \text{ mm}^3$ ve CA PRO-Hard grubunda $0,23 \pm 0,09 \text{ mm}^3$ olarak bulunmuştur. CA PRO-Hard grubunun hava boşluğu hacmi diğer gruplara göre daha düşük bulunmasına rağmen istatistiksel olarak gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuçlara göre tüm gruplarda aynı rezin model ve üretim prosedürü uygulanan çalışmamızda; belli kalınlık ve materyal kombinasyonu kullanıldığında benzer uyumun elde edilebileceği düşünülmüştür. Dasy ve ark.⁵¹ ataşman eklemenin her halükarda retansiyonu artırmadığını; eklenen ataşman türlerinin farklı kalınlık ve materyallerle kombine edildiğinde farklı sonuçlar elde edildiğini bildirmiştir. Mantovani ve ark.¹¹ şeffaf plakların ankraj dişlerine uyumunu incelemiş; çalışma sonucunda dişler arası uyumun farklı olduğunu, aynı zamanda dişlerin belli bölgelerinde farklılıklar olsa da genel uyumun benzer olduğunu bulmuştur. Yine Mantovani ve ark.¹² yaptığı bir başka çalışmada farklı şeffaf plakların ankraj ataşmanına uyumunu incelemiş; farklı çenelerde ve ataşmanın belli bölgelerinde farklılıklar olsa da plakların benzer ve karşılaştırılabilir bir uyum sergilediğini göstermiştir. Lombardo ve ark.¹²⁸ 3B olarak ilk kez farklı marka plakların farklı dişlere uyumunu incelemiştir. Çalışma sonucunda farklı markalar arasında boşluk hacmi, ortalama boşluk genişliği ve maksimum boşluk genişliği değerleri bulunmuştur. Çalışma sonucunda $0,75 \text{ mm}$ kalınlıkta farklı markalar arasında $160,2\text{-}402,3 \text{ mm}^3$ arasında değişen aralıklarda toplam boşluk hacmi ortaya çıkmıştır. Lombardo ve ark. çalışmasında üst diş arkının sol yarısındaki toplam boşluk hacmi ölçülmüş olup bizim çalışmamızda sadece ataşmanlı diş ile plak arası boşluk hacmi ölçüldüğünden aradaki fark bu duruma atfedilebilir. Aynı zamanda çalışmamızla örneklem sayısı, plak kalınlıkları, marka ve materyal farklılıkları anlamlı bir

kıyaslama yapılmayı zorlaştırmaktadır. Çalışmamızda, rektanguler ataşman ile plak arasındaki hava boşluğu ilk kez üç boyutlu olarak ölçülmüş olup literatür için yeni bilgiler sunmaktadır.

Palone ve ark.¹²⁹ mikro-bt yöntemi ile farklı plakların uyumunu incelediği çalışmasında farklı dişleri incelemiştir; incelediği her bir diş için tek kesitte ve sagittal düzlemde ölçüm yapmıştır. Lombardo ve ark.¹²⁸ 3B ve 2B inceleme yaptığı çalışmasında her bir diş için tek kesitte ve sagittal düzlemde ölçüm yapmıştır. Çalışmamızda ise 2B analiz kısmında uzayın üç düzleminde başlangıç, ortanca ve bitiş kesitlerinde sekiz noktada yapılan ölçümlerin ortalaması alınıp her kesit için OBG değeri elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışmamızda uygulanan 2B analiz yöntemi diğer çalışmalara göre daha fazla detay içermektedir.

Frontal düzlemde yapılan 2B analiz sonuçlarına göre bukkal ve frontomedian kesitte OBG tüm gruplarda benzer olup aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuçlara göre ısıyla şekillendirme prosedürü ve ataşman geometrisi göz önüne alındığında ataşmanın başlangıç kısımlarında uyumun benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Palatinal kesitte OBG açısından CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. CA PRO-Hard grubunda ise palatinal kesit OBG diğer çalışma gruplarından düşük bulunmuş olup aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlara göre ataşmanın her bölgesinde aynı oranda uyumun olmadığı; başlangıç ve orta kısımlarında uyumun benzer olduğu sonucuna varılmıştır. CA-Soft ile CA-Hard arasında fark olmayıp CA-Hard ile CA PRO-Hard arasında oluşan fark bize daha kalın materyal kullanımından ziyade üç katmanlı plak materyali kullanımının ataşmanın dişe yakın kısmında uyumu artırdığını ve esnediğini düşündürmüştür. Lombardo ve ark.¹²⁸ yaptığı çalışmada zor anatomik bölgelerde ısıyla şekillendirme prosedürü, üretim parametreleri ve materyallerin viskoelastik farklılıklarından dolayı uyum farklılıkları görülebileceğini bildirmiştir. Lombardo ve ark.¹⁴⁷ 2017 yılında yaptığı çalışmada şeffaf plakların materyal yapısının klinik performansı ve uygulanan kuvvetleri etkilediğini ortaya koymuştur. Şeffaf plakların uyumunun klinik performansa etkisi göz önüne alındığında çalışmamızın bulguları bu sonucu desteklemektedir. Dasy ve ark.⁵¹ 2015 yılında çekme makinesi yöntemi kullanarak üç farklı plak kalınlığı ve iki farklı plak materyalini kıyasladığı çalışmada daha kalın plak kullanımının retansiyonu artırdığını bulmuştur. Aynı çalışma bulgularına göre aynı ataşman ve kalınlık değerlerine ancak farklı

materyal yapısına sahip plakların retansiyonunu farklı bulmuştur. Çalışmamızdaki CA-Hard ile CA PRO-Hard arasındaki uyum farkı bu çalışmanın bulguları ile paraleldir. Dasy ve ark.'nın çalışmasında aynı kalınlığa sahip (0,75 mm) CA-Hard ve Essix ACE plaklar kıyaslanmış ancak iki plak arasında marjin tasarımı farkı bulunmaktadır. CA-Hard'ın uzatılmış marjin tasarımının sertliği artırdığını, bundan dolayı da kuvvet farkının oluşabileceğini bildirmiştir. Bu bulgular materyal farklılığının net olarak kıyaslanmasını zorlaştırmaktadır. Çalışmamızda aynı marjin tasarımına ve kalınlığa sahip plaklar kıyaslandığı için sonuç tam olarak materyal farklılığına atfedilebilir. Ancak farklı kalınlıkların etkisi konusunda zıt sonuçlar bulunmuştur. Bu farklılık yöntem farklılığına atfedilebilir. Hahn ve ark.¹³⁹ 2010 yılında aynı kalınlığa sahip üç farklı şeffaf plak tarafından rotasyon sırasında üst santral dişe iletilen kuvvetleri ve momentleri belirlemek için yaptığı çalışmada üretilen kuvvet ve oluşan hareket miktarının materyal yapısından etkilendiğini bildirmiştir. Çalışmamızdaki CA-Hard ile CA PRO-Hard arasındaki uyum farkı Hahn'ın çalışmasını desteklemekte ve materyal seçiminin önemine vurgu yapmaktadır. Mantovani ve ark.¹¹ 2018 yılında yaptığı çalışmada SEM yöntemi kullanarak santral, premolar ve molar dişlere farklı kalınlık ve materyal yapısına sahip plakların uyumunu incelemiştir. Çalışma sonucunda dişler arasında uyumun aynı olmadığını; hatta dişin her bölgesinde uyumun aynı olmadığı sonucuna varmıştır. Çalışmamızda ataşmanın her bölgesinde uyumun aynı olmamasının bu çalışmanın sonuçları ile benzerlik gösterdiği düşünülebilir. Palone ve ark.¹²⁹ da ısıyla şekillendirme işlemi sonrası farklı plakların kalınlık ve uyumlarını karşılaştırdığı çalışmada molar dişlerin oklüzal bölgesindeki uyumun gingival bölgeye göre daha kötü olduğunu bildirmiştir. Gingival bölgedeki dezavantajlara rağmen oklüzal bölgenin uyumunun kötü olması diş morfolojisinin ve karmaşık yüzeylerin uyuma etkisini göstermektedir. Çalışmamızda palatinal kesitteki uyum kaybı bu çalışma ile paraleldir. Aynı zamanda literatürde şeffaf plakların ataşman veya dişlere uyumunun frontal düzlemde incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızın sonuçları literatüre yeni bilgiler kazandırmıştır.

Sagittal düzlemde yapılan 2B analiz sonuçlarına göre OBG açısından mezial kesitte gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Sagitomedian ve distal kesitte ise CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard gruplarında anlamlı bir fark olmayıp bu üç gruba ait boşluk değeri CA PRO-Hard grubuna göre yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ataşmanın her bölgesinde aynı oranda uyumun olmadığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar Mantovani ve

ark.'nın yaptığı çalışmalar ile paraleldir.^{11, 12} Bunun dışında kesitler arasında uyum konusunda kalınlıktan ziyade materyal kaynaklı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu bulgu Dasy ve ark.'nın çalışması ile uyumludur.⁵¹ Lombardo ve ark.¹²⁸ yaptığı çalışmada plakların ön bölgeden arka bölgeye gidildikçe uyumun azaldığını; bundan dolayı uyumun ısıyla şekillendirme ve malzemelerin özelliklerine kıyasla diş morfolojisinden etkilendiğini bildirmiştir. Palone ve ark.¹²⁹ da molar dişlerin oklüzal bölgesindeki uyumun gingival bölgeye göre daha kötü olduğunu bildirmiştir. Gingival bölgedeki dezavantajlara rağmen oklüzal bölgenin uyumunun kötü olması diş morfolojisinin ve karmaşık yüzeylerin uyuma olumsuz etkisini göstermektedir. Aynı çalışmada aynı kalınlıktaki bazı plak firmalarında önden arkaya doğru uyumun aynı, bazılarında da azaldığını bildirilmiştir. Bu da üretim tekniği ve malzeme farkına atfedilebilir.

Goto ve ark.⁶⁰ çekim boşluğunu kapatırken kanin dişlerinin distalizasyonu üzerinde ataşmanların şeklini, boyutunu ve konumunu değiştirmenin olası etkisini değerlendirdiği çalışmada; ataşman şeklinin, boyutunun veya konumunun değiştirilmesinin boşluğun kapanması sırasında kanin dişinin devrilmesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını not etmiştir. Ancak bu çalışmada ataşmanlar kaninin yalnızca bukkal yüzeyine yerleştirilmiştir. Ayrıca ataşmanın etkisinin kron morfolojisine daha fazla bağlı olabileceğini de varsaymıştır. Buna karşılık, Zhouyan ve ark.⁶¹ maksiller kanin dişlerin rotasyonunu düzeltmek için rektanguler ataşmanların kalınlıklarını ve konumlarını değiştirmenin etkisini karşılaştırdığı çalışmada ataşman kalınlığının artmasının periodontal bağların stres değeri ve dolayısıyla kaninin yer değiştirmesi ile doğrudan bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca ataşman konumunun dikey olarak değiştirilmesinin kanin rotasyonunun kontrolünde önemli bir etkiye sahip olduğunu; oklüzale doğru yerleştirilmiş ataşmanın apikal olarak yerleştirilmiş olanlara göre daha iyi kontrol sağladığını, mesial ve distal yönlerdeki değişikliklerin sonuçlarının ise düzensiz olduğunu doğrulamıştır. Bununla birlikte, önceki iki çalışma lingual yüzeyi veya dişi ele almamış ve araştırmayı yalnızca bukkal yüzeyin farklı konumlarındaki ataşmanları incelemekle sınırlandırmıştır. Buna karşılık, Kim ve ark.⁶² hem bukkal hem de lingual yüzeylerde ekstrüzyon, intrüzyon, rotasyon ve tork hareketleri sırasında alt kanin dişine yerleştirilen ataşmanların optimal şeklini ve konumunu incelemiştir. Ataşmanların dişin lingual yüzeyine yerleştirilmesinin, bukkal yüzey yerine optimal tork kontrolü ve etkili diş hareketi sağladığını öne sürmüştür. Ayrıca silindirik ataşman kullanımının, ataşman ile plak

arasında daha iyi bir temas açısı ve dolayısıyla daha iyi bir stres dağılımı sağladığını da bildirmişlerdir.

Transversal düzlemde yapılan 2B analiz sonuçlarına göre OBG açısından oklüzal kesitte gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Yapılan literatür incelemesinde Mantovani ve ark. ataşmansız modellerde 0,5 mm CA-Clear Aligner plaklar ile 0,75 mm Invisalign plakların uyumlarını karşılaştırmıştır.¹¹ Çalışma sonucunda oklüzal kısımda yapılan nokta analizinde keser ve premolar dişlerde benzer uyum bulunmuştur. Farklı kalınlık ve materyale sahip bu plakların benzer uyum göstermesi çalışmamızın bulguları ile paraleldir. Yine aynı çalışma molar dişlerin oklüzal kısmında farklı uyum tespit etmiştir. Bu farklılık dişler arasındaki uyum, referans alınan kesit ve inceleme yöntemindeki farklılığa atfedilebilir. Bu çalışmada kullanılan yöntemde tek noktadan ölçüm yapılmıştır, çalışmamızda ise 8 farklı noktadan ortalama mesafe ölçümü yapılmıştır. Yöntemin gücünden dolayı çalışmamızın sonuçlarının daha güvenilir olduğunu düşünülebilir. Mantovani ve ark.¹² bir başka çalışmada ankraj ataşmanına farklı kalınlık ve materyale sahip plakları kıyaslamış; oklüzal bölgedeki uyumu incelemiştir. Çalışma sonucunda aynı kalınlığa (0,75 mm) sahip Invisalign ve F22 plaklar ile farklı kalınlığa sahip 0,5 mm CA-Clear Aligner plaklar arasında uyum farkı bulmuştur. Ancak çalışmada tek bir referans noktasının bulunması ve firmalar arası üretim, materyal ve marjin tasarımı farklılıklarının bulunması limitasyonlar oluşturmaktadır. Çalışmamız ile bu sonuçların farklılıkları yukarıdaki sebeplere atfedilebilir. Transversomedian kesitte CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grubu arasında OBG açısından anlamlı bir fark bulunmamış; bu üç grupta OBG CA PRO-Hard grubuna göre yüksek bulunmuştur. Transversomedian kesitle oklüzal kesit arasındaki tek fark CA PRO-Hard diğer gruplar ile kıyaslamalarda görülmüştür. Bu da ısıyla şekillendirme prosedüründen dolayı uyum kaybı beklenen bir bölgede CA PRO-Hard'ın materyal bileşiminin daha iyi uyum sağladığını göstermektedir. Yapılan literatür incelemesinde Mantovani ve ark.¹¹ premolar dişlerde farklı kalınlık ve materyale sahip plakları kıyaslamış ve premolar dişin bukkal-orta kısımlarında plaklar arasında benzer uyum gözlemlemiştir. Mantovani ve ark.¹² bir başka çalışmada farklı kalınlık ve materyal yapısına sahip 0,5 mm CA-Clear Aligner ile 0,75 mm F22 plaklar arasında benzer; 0,75 mm kalınlığa sahip Invisalign ve F22 plaklar arasında uyum farkı bulmuştur. Aynı kalınlıkta fakat farklı materyal yapısına sahip bu plaklar arasındaki fark çalışmamızın bulguları ile paraleldir.

Fakat CA-Clear Aligner plak ile F22 plaklar arasındaki benzer uyum çalışmamızın bulguları ile örtüşmemektedir.

Çalışmamızda gingival kesitte CA-Soft ve CA-Medium grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Aynı zamanda CA-Medium ve CA-Hard grubu arasında anlamlı fark olmayıp CA-Soft grubunun OBG CA-Hard grubuna göre yüksek bulunmuştur. Son olarak CA PRO-Hard grubunda tüm gruplara göre OBG düşük bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ataşmanın her bölgesinde aynı oranda uyumun olmadığı; aynı zamanda gruplar arasında belli bölgelerde fark olduğu sonucuna varılmıştır. Oklüzal bölgede benzer uyumun olup orta ve gingival bölgede farklılıkların görülmesi oklüzalden gingivale doğru inildikçe uyumun azaldığını ve kalınlıkları aynı olan bazı plakların daha esnek olduğunu ve daha iyi uyum sağladığını düşündürmektedir. Aynı zamanda plak kalınlığı da arttıkça uyumun arttığı görülmektedir. Kalınlıkla ilgili bu bulgular diğer düzlemlerin aksine Dasy ve ark.'nın⁵¹ çalışmasına paralel bulunmuştur. Aynı zamanda materyal farklılığının da etkisi aynı çalışma ile uyumlu bulunmuştur. Mantovani ve ark.¹¹ üst birinci premolar dişin palatinal yüzünün gingival sonlanım bölgesinde CA-Clear Aligner ile Invisalign plakları arasında uyum farkı olduğunu; daha esnek olan şeffaf plak malzemesinin daha iyi oturduğunu bildirmiştir. Aynı çalışmada dişin diğer yüzeylerinde uyumu benzer bulmuştur.¹¹ Mantovani ve ark.¹² bir başka çalışmada ataşmanın gingival kısmında aynı kalınlığa sahip (0,75 mm) F22 ve Invisalign plaklar arasında uyum farklı gözlemlemiştir. Çalışmamızdaki CA-Hard ile CA PRO-Hard arasındaki fark bu çalışma ile benzerdir. Mantovani ve ark.¹³¹ Invisalign plaklarının kalınlık ve homojenliğini incelediği çalışmasında gingival-lingual kısımdaki plak kalınlığının oklüzal bölgeye göre daha ince olduğunu; bu inceliğin de uygulanan kuvvet ve uyumu etkileyebileceğini bildirmiştir. Polietilen tereftalat ve poliüretan plaklarla ilgili bir başka in vitro çalışmanın sonuçları, ısıyla şekillendirmeden sonra özellikle plağın inceltildiği bukkal- gingival plak kalınlığında %50'ye varan bir azalma olduğunu göstermiştir.⁸⁷

Bu çalışmada düzlemlerin ortalama boşluk genişlikleri incelendiğinde frontal, sagittal ve transversal olmak üzere her üç düzlemde de CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grupları arasında OBG açısından anlamlı derecede bir fark bulunmamıştır. Aynı zamanda CA PRO-Hard grubunda her üç gruba göre OBG değeri anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Bu sonuçlara göre uyumun materyal kalınlığından ziyade materyal tipinden etkilendiği düşünülmektedir. Literatür incelendiğinde geçmiş çalışmalar da kalınlıktan ziyade materyal tipine vurgu yapmıştır.^{144, 145, 147} Her üç düzlem arasındaki sonuçların birbirine paralel ve

tutarlı olması sonuçların güvenilirliğini artırdığı gibi aynı zamanda kullanılan analiz yöntemini ve bu yöntemin uygulama doğruluğunu da düşündürmektedir.

Çalışmamızda 3B hava boşluğu verisine göre gruplar arasında uyum benzer bulunmuş ancak 2B farklı düzlemlerde yapılan ölçümlerde CA PRO-Hard grubunun diğer gruplara göre daha uyumlu olduğu bulunmuştur. 3B incelemede ataşman plak arasındaki toplam boşluğun ortalamasının alınmasının, 2B incelemede ise farklı düzlemlerde boşluk ölçülmesinin aradaki farklılığı oluşturduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda her ne kadar 3B analiz yöntemi ile total bir değerlendirme yapılsa da, ataşmanın farklı bölgelerindeki farkın anlaşılabilmesi 2B ölçümler ile mümkün olmuştur. İki ve üç boyutlu analiz ile yaptığımız ölçümler ve bunların sentezi yine çalışmamızı diğer çalışmalardan ayırmaktadır.

Çalışmamızda gruplar arası karşılaştırmaların yanı sıra grup içi karşılaştırmalar da yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre frontal düzlemde tüm gruplarda bukkal kesitteki OBG palatinal kesite göre istatistiksel olarak düşük bulunmuştur. Yine tüm gruplarda frontomedian kesitteki OBG de palatinal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük bulunmuştur. CA-Medium ve CA-Hard gruplarında frontomedian kesitteki OBG palatinal kesite göre istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük bulunmuş olup CA-Soft ve CA PRO-Hard gruplarında iki kesit arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuçlara göre ısıyla şekillendirme prosedüründen dolayı plak şekillendirilmeye başladığı yönden bittiği yöne doğru uyum ve esneklik kaybına uğramaktadır. Frontomedian ve palatinal kesit arasındaki bu farkın CA-Soft grubunda plak kalınlığı en düşük boyutta olduğu için plağın bir miktar esnemesi sonucu; CA PRO-Hard grubunda ise materyal özelliğinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Hahn ve ark.⁹⁷ 2009 yılında yaptığı çalışmada ısıyla şekillendirme prosedüründen kaynaklı olarak özellikle gingival bölgede uyumun azalabildiğini, bunun da plağın dişe uyguladığı kuvveti etkileyebileceğini bildirmiştir. Yine Lombardo ve ark.¹²⁸ yaptığı çalışmada ısıyla şekillendirme işleminden sonra plakların kalınlığının azaldığını; bunun arka dişlerde ön dişlere göre daha fazla olduğunu ve bu kalınlık azalmasının arka dişlere plak diş arası boşluk olarak yansıdığını, bu yansımanın da uyum ve öngörülebilirlik azalması olarak yansıdığını bildirmiştir.

Sagittal düzlemde CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grubunda mezial ve distal kesitler arasında OBG açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Yine bu üç grupta mezial ve distal kesitlerin OBG değeri; sagitomedian kesite göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Bu bulgulardan farklı olarak CA PRO-Hard grubunda üç kesitte OBG

diğer üç gruba göre düşük bulunmuş olup grup içinde üç kesit arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Bu durumun ısıyla şekillendirme işleminin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. CA PRO-Hard grubunda ise materyal farklılığının plak uyumuna olumlu etki ettiği düşünülmektedir. Lombardo ve ark.¹²⁸ aynı kalınlıktaki plakların aynı bölgelerde farklı uyum gösterebildiğini bildirmiştir. Bu farklılığın malzeme farkı ve üretim yöntemindeki farklılıktan kaynaklanabileceğini bildirmiştir. Çalışmamızda üretim yönteminin ve plak markalarının aynı olması malzeme farkının etkisini tam olarak ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda transversal düzlemde dikkat çekici bulgular elde edilmiştir. CA-Soft ve CA-Hard gruplarında yapılan ölçümlerde oklüzal kesit OBG transversomedian ve gingival kesitten; transversomedian kesit de gingival kesite göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur. CA-Medium grubunda oklüzal ve transversomedian kesit OBG arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmayıp gingival kesite göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur. CA PRO-Hard grubunda ise dikkat çekici sonuçlar elde edilmiştir. Oklüzal kesit OBG de gingival kesite göre anlamlı derece büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre kesitler arasındaki farkın ısıyla şekillendirme prosedürüne bağlı olarak aşağıya doğru inildikçe vakumlamadan dolayı beklenen uyum kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hahn ve ark.⁹⁷ 2009 yılında yaptığı çalışmada ısıyla şekillendirme prosedüründen kaynaklı olarak özellikle gingival bölgede uyumun azalabildiğini bildirmiştir. Yine Lombardo ve ark.¹²⁸ ısıyla şekillendirme işleminden sonra plakların kalınlığının azaldığını; bunun da uyum ve öngörülebilirlik azalması olarak yansıdığını bildirmiştir. Kohda ve ark.¹⁴⁶ da şeffaf plakların oluşturduğu kuvvetin malzemelerin sertliği ve elastik modülü ile güçlü bir korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. CA PRO-Hard grubundaki sonuçların farklılığı ise materyal farklılığına bağlanabilir. Esnek materyal yapısından dolayı CA PRO-Hard gingival bölgede bile iyi uyum sağlamıştır. Mantovani ve ark.¹³¹ Invisalign plaklarının kalınlık ve homojenliğini incelediği çalışmasında gingival-lingual kısımdaki plak kalınlığının oklüzal gölgeye göre daha ince olduğunu bildirmiştir. Yine polietilen tereftalat ve poliüretan plaklarla ilgili bir in vitro çalışmanın sonuçları, ısıyla şekillendirmeden sonra özellikle plağın inceltildiği, bukkal-gingival plak kalınlığında %50'ye varan bir azalma olduğunu göstermiştir.⁸⁷ Çalışmamızın sonuçlarına göre ‘farklı şeffaf plak kalınlıklarının plak ile ataşman arasındaki uyum üzerine etkisi vardır’ şeklinde kurulan hipotez reddedilmiş; ‘farklı

şeffaf plak hammaddelerinin plak ile ataşman arasındaki uyum üzerine etkisi vardır' şeklinde kurulan hipotez doğrulanmıştır.

Mevcut çalışma ile ilgili; yalnızca üst çene modelinin kullanılmış olması, tek tip ataşman üzerinde ölçümlerin yapılmış olması limitasyonlar olarak düşünülebilir. Ölçümler laboratuvar ortamında yapıldığından, ağız ortamının ısı değişimleri ve tükürüğün etkisi de göz ardı edilmiştir. Gelecekteki klinik çalışmalar vücut ısısının, tükürüğün ve oklüzal kuvvetlerin plakların uyumu üzerindeki etkisini içermelidir. Çalışmamız, şeffaf plakların uyumuna katkıda bulunan iki faktörü analiz ederken gelecekteki çalışmalar plakların uyumunu etkileyebilecek ek faktörleri araştırmalıdır. Çalışmamız model üretimi, plak basımı, marka, inceleme yöntemi açısından standardize edilmiş olup ileride yapılacak çalışmalar için referans olarak kabul edilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızın sonuçlarına göre:

1. CA PRO-Hard grubunda tüm ataşman yüzeylerinde en düşük plak-ataşman arası boşluk genişliği bulunmuştur. Bu sonuç CA PRO-Hard plak materyali ile en etkili tedavi sonucuna ulaşılabileceğini düşündürür.
2. CA-Soft, CA-Medium ve CA-Hard grupları arasında boşluk genişliği açısından belirgin fark yoktur. Çalışmamızın bu bulgusuna göre şeffaf plakların ataşmana uyumunda plak kalınlığının etkisi yoktur.
3. CA PRO-Hard grubunda CA-Hard grubuna göre daha düşük plak-ataşman arası boşluk genişliği bulunmuştur. Bu sonuca göre kullanılan plak materyali, ataşman-plak uyumunda etkili bir faktördür.
4. Üç boyutlu analiz sonuçlarına göre gruplar arasında ataşman-plak arası toplam hava boşluğu hacmi birbirine benzer olmasına rağmen iki boyutlu analiz sonuçlarına göre diş-ataşman birleşiminde ve gingival bölgede uyum kaybı gözlenmiştir.
5. Çalışmamızda iki ve üç boyutlu ölçüm sonuçlarının farklı olması; her iki ölçüm yönteminin birbirini desteklemek için kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.
6. Mikro-bt yöntemi aynı numune üzerinde iki ve üç boyutlu ölçüm-analiz yapma imkânı sağladığından dolayı bu tür çalışmalarda tercih edilebilecek bir yöntemdir.

Çalışmamızda ısıyla şekillendirme prosedürü ve malzeme bileşeninden ötürü bazı bölgelerde uyumun azaldığı gözlemlenmiştir. Şeffaf plakların uyumu, tedavideki önemi göz önüne alındığında geliştirilmesi gereken bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, gelecekte ideal materyal özelliklerine sahip plaklarla, tek bir plakta çeşitli kalınlıkların var olmasını sağlayan ve yöntemle bağlı uyumsuzlukları elimine edebilen modern üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak önlenabilir.

7. KAYNAKLAR

1. **Acar YB, Kovan A, Ates M, Biren S.** How Efficient Are Clear Aligners? Clear Aligners Vs Traditional Orthodontic treatment: A Systematic Review. *Turk J Orthod*, **2014**, 27(3): 106-10.
2. **Vasu MS.** Orthodontics without braces and wires!!.... A new paradigm. *Indian j dent adv*, **2011**, 3(2): 508-12.
3. **Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL.** Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod*, **2015**, 85(5): 881-89.
4. **Papadimitriou A, Mousouleas S, Gkantidis N, Kloukos D.** Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod*, **2018**, 19(1): 1-24.
5. **Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, et al.** Creative adjuncts for clear aligners, part 3: Extraction and interdisciplinary treatment. *J Clin Orthod*, **2015**, 49(4): 249-62.
6. **Rosvall MD, Fields HW, Ziuchkovski J, Rosenstiel SF, Johnston WM.** Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2009**, 135(3): 276. e1-76. e12.
7. **Weir T.** Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*, **2017**, 62: 58-62.
8. **Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT.** Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2014**, 145(4): S82-S91.
9. **Elhila H.** X-ray microscopy and microtomography: Application in biology. *J Phys IV*, **1996**, 6: 739-45.
10. **Arslan Malkoç M.** Yapıştırıcı simanlarda polimerizasyon sonrası oluşan hava kabarcıkları, çözünürlük, su emilimi ve sıkışma direncinin incelenmesi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye, **2010**.
11. **Mantovani E, Castroflorio E, Rossini G, Garino F, Cugliari G, et al.** Scanning electron microscopy evaluation of aligner fit on teeth. *Angle Orthod*, **2018**, 88(5): 596-601.
12. **Mantovani E, Castroflorio E, Rossini G, Garino F, Cugliari G, et al.** Scanning electron microscopy analysis of aligner fitting on anchorage attachments. *J Orofac Orthop*, **2019**, 80(2): 79-87.
13. **Mohanraj M, Prabhu VR, Senthil R.** Diagnostic methods for early detection of dental caries-A review. *Int J Pedod Rehabil*, **2016**, 1(1): 29.
14. **Esper LA, Sbrana MC, da Silva Cunha MJ, Moreira GS, de Almeida ALPF.** Esthetic composition of smile in individuals with cleft lip, alveolus, and palate: visibility of the periodontium and the esthetics of smile. *Plast Surg Int*, **2012**, 2012: 563734.
15. **Bhuvaneshwaran M.** Principles of smile design. *J Conserv Dent*, **2010**, 13(4): 225.
16. **Rinck M, Telli S, Kampmann IL, Woud ML, Kerstholt M, et al.** Training approach-avoidance of smiling faces affects emotional vulnerability in socially anxious individuals. *Front Hum Neurosci*, **2013**, 7: 481.
17. **Cunningham SJ, Hunt NP.** Quality of life and its importance in orthodontics. *J Orthod*, **2001**, 28(2): 152-58.
18. **Ghafari J.** Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. *Angle Orthod*, **1992**, 62(2): 145-52.
19. **Jeremiah H, Bister D, Newton J.** Social perceptions of adults wearing orthodontic appliances: a cross-sectional study. *Eur J Orthod*, **2011**, 33(5): 476-82.

20. **Kesling HD.** The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg*, **1945**, 31(6): 297-304.
21. **Nahoum HI.** The vacuum formed dental contour appliance. *NY State Dent J*, **1964**, 9: 385-90.
22. **Lindauer SJ.** Comparison of Essix and Hawley retainers. *J Clin Orthod*, **1998**, 32: 95-97.
23. **McNamara JA.** Invisable retainers. *J Clin Orthod*, **1985**, 19: 570-78.
24. **Ponitz RJ.** Invisible retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **1971**, 59(3): 266-72.
25. **Sheridan JJ, Hillard K, Armbruster P.** The Essix appliance technology: applications, fabrication and rationale. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2003**, 124(6): 749.
26. **Proffit WR, Fields H, Sarver D.** Contemporary orthodontics 4th ed. *Philadelphia: Mosby*, **2007**.
27. **Hennessy J, Al-Awadhi EA.** Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod*, **2016**, 43(1): 68-76.
28. **Sheridan J, LeDoux W, McMinin R.** Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod*, **1993**, 27(1): 37-45.
29. **Sheridan JJ.** Essix appliances: minor tooth movement with divots and windows. *J Clin Orthod*, **1994**, 28: 659-63.
30. **Boyd RL, Miller R, Vlaskalic V.** The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. *J Clin Orthod*, **2000**, 34(4): 203-12.
31. **Wong BH.** Invisalign a to z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2002**, 121(5): 540-41.
32. **Boyd RL.** Esthetic orthodontic treatment using the invisalign appliance for moderate to complex malocclusions. *J Dent Educ*, **2008**, 72(8): 948-67.
33. **Deeming G, Cobourne MT.** Some thoughts on Invisalign. *J Orthod*, **2022**, 49(4): 491-94.
34. **Boyd R.** John Valentine Mershon Lecture. Paper presented at: AAO annual meeting, San Diego, **1999**.
35. **Phan X, Ling PH.** Clinical limitations of Invisalign. *J Can Dent Assoc*, **2007**, 73(3): 263-6.
36. **Gierie WV.** Clear aligner therapy: An overview. *J Clin Orthod*, **2018**, 52(12): 665-74.
37. **Bouchez R.** *Clinical Success in Invisalign Orthodontic Treatment*. Quintessence International, Paris, **2011**, 14-21.
38. **Tai S.** *Clear Aligner Technique*. Quintessence Publishing Company, Incorporated, **2018**,
39. **Bous RM, Kochenour N, Valiathan M.** A novel method for fabricating nasoalveolar molding appliances for infants with cleft lip and palate using 3-dimensional workflow and clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2020**, 158(3): 452-58.
40. **Joffe L.** Invisalign®: early experiences. *J Orthod*, **2003**, 30(4): 348-52.
41. **Kim T-W, Echarrri P.** Clear aligner: an efficient, esthetic, and comfortable option for an adult patient. *World J Orthod*, **2007**, 8(1): 13-8.
42. **Lagravère MO, Flores-Mir C.** The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *The Journal of the American Dental Association*, **2005**, 136(12): 1724-29.
43. **Mehta F, Mehta S.** Aligners: The rapidly growing trend in orthodontics around the world. *Indian J Basic Appl Med Res*, **2014**, 3: 402-09.
44. **Ahmed N, Ashwini B, Sidiqha N, Suryavanshi S.** Clear Aligners. *IP Indian J Orthod Dentofacial Res*, **2019**, 5(4): 121-25.
45. **Muggiano F, Quaranta A.** The aesthetic alternative in orthodontics with sequential aligners: the invisalign system. *WebmedCentral ORTHODONTICS*, **2013**, 4(10): WMC004434.
46. **Thukral R, Gupta A.** Invisalign: invisible orthodontic treatment-a review. *J Med Dent Sci Res*, **2015**, 3(5): S42.
47. **Sharma R, Rajput A, Gupta K, Sharma H.** Clear aligner: invisalign: A review. *Indian J of Orthod Dentofac Res*, **2018**, 4(4): 173-75.
48. **Ansari FM, Kanish Aggarwal D, Brar RS, Tiwari RV, Gautam N, et al.** Invisalign: Boom in New Era of Orthodontia: A Review. *Saudi J Oral Dent Res*, **2020**, 5(9): 431-33.

49. **Gomez JP, Peña FM, Martínez V, Giraldo DC, Cardona CI.** Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments: A three-dimensional finite element analysis. *Angle Orthod*, **2015**, 85(3): 454-60.
50. **Chang M, Chen C, Chang C, Lin J, Chang C, et al.** Introduction to Invisalign® smart technology: attachments design, and recall-checks. *J Digital Orthod*, **2019**, 54(1): 81-94.
51. **Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee H-F, et al.** Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod*, **2015**, 85(6): 934-40.
52. **Al Noor HSS, Al-Joubori SK.** Retention of different orthodontic aligners according to their thickness and the presence of attachments. *Int J Med Res Health Sci*, **2018**, 7(11): 115-21.
53. **Sheridan J.** Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod*, **1993**, 27: 37-45.
54. **Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C.** Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2014**, 145(6): 728-36.
55. **Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C.** Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*, **2014**, 14: 68.
56. **Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Daher S, Cugliari G, et al.** Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. *Prog Orthod*, **2016**, 17: 1-9.
57. **Garino F, Castroflorio T, Daher S, Ravera S, Rossini G, et al.** Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners. *J Clin Orthod*, **2016**, 50(6): 341-47.
58. **Comba B, Parrini S, Rossini G, Castroflorio T, Deregibus A.** A three-dimensional finite element analysis of upper-canine distalization with clear aligners, composite attachments, and class II elastics. *J Clin Orthod*, **2017**, 51(1): 24-28.
59. **Costa R, Calheiros FC, Ballester RY, Gonçalves F.** Effect of three different attachment designs in the extrusive forces generated by thermoplastic aligners in the maxillary central incisor. *Dental Press J Orthod*, **2020**, 25: 46-53.
60. **Goto M, Yanagisawa W, Kimura H, Inou N, Maki K.** A method for evaluation of the effects of attachments in aligner-type orthodontic appliance: Three-dimensional finite element analysis. *Orthod Waves*, **2017**, 76(4): 207-14.
61. **Chen Z.** Effects of the changes of thickness and placement position of rectangular attachment on canine tooth torsion correction. *Chinese J Tissue Eng Res*, **2020**, 24(16): 2513-19.
62. **Kim W-H, Hong K, Lim D, Lee J-H, Jung YJ, et al.** Optimal position of attachment for removable thermoplastic aligner on the lower canine using finite element analysis. *Materials*, **2020**, 13(15): 3369.
63. **Savignano R, Valentino R, Razionale A, Michelotti A, Barone S, et al.** Biomechanical effects of different auxiliary-aligner designs for the extrusion of an upper central incisor: a finite element analysis. *J Healthc Eng*, **2019**, 2019.
64. **Cai Y, He B, Yang X, Yao J.** Optimization of configuration of attachment in tooth translation with transparent tooth correction by appropriate moment-to-force ratios: Biomechanical analysis. *Bio-Med Mater Eng*, **2015**, 26(s1): S507-S17.
65. **Roberts-Harry D, Sandy J.** Orthodontics. Part 9: anchorage control and distal movement. *Br Dent J*, **2004**, 196(5): 255-63.
66. **Jacob HB, Wyatt GD, Buschang PH.** Reliability and validity of intraoral and extraoral scanners. *Prog Orthod*, **2015**, 16: 1-6.
67. **Abad-Coronel C, Valdiviezo O, Naranjo O.** Intraoral scanning devices applied in fixed prosthodontics. *Acta Sci Dent Sci*, **2019**, 3(7): 44-51.

68. **Fleming P, Marinho V, Johal A.** Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*, **2011**, 14(1): 1-16.
69. **Gonçalves F, Kawano Y, Braga RR.** Contraction stress related to composite inorganic content. *Dent Mater*, **2010**, 26(7): 704-09.
70. **Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE.** Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2014**, 146(5): 673-82.
71. **Mehl A, Ender A, Mörmann W, Attin T.** Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int J Comput Dent*, **2009**, 12(1): 11-28.
72. **Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL.** Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2016**, 149(2): 161-70.
73. **Siqueira R, Galli M, Chen Z, Mendonça G, Meirelles L, et al.** Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig*, **2021**, 25(12): 6517-31.
74. **Shotell MD.** The proliferation of clear aligner orthodontics: Workflows, materials, and designs. *Compend Contin Educ Dent*, **2020**, 41(6): 340-41.
75. **Su A, Al'Aref SJ.** History of 3D printing. In: *3D Printing applications in cardiovascular medicine*: Elsevier, **2018**:1-10.
76. **Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ.** Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2003**, 124(1): 101-05.
77. **Zaharia C, Gabor A-G, Gavrilovici A, Stan AT, Idorasi L, et al.** Digital dentistry—3D printing applications. *J Interdiscip Med*, **2017**, 2(1): 50-53.
78. **Malik HH, Darwood AR, Shaunak S, Kulatilake P, Abdulrahman A, et al.** Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. *J Surg Res*, **2015**, 199(2): 512-22.
79. **Cousley RR.** Introducing 3D printing in your orthodontic practice. *J Orthod*, **2020**, 47(3): 265-72.
80. **Huettig F, Kustermann A, Kuscu E, Geis-Gerstorfer J, Spintzyk S.** Polishability and wear resistance of splint material for oral appliances produced with conventional, subtractive, and additive manufacturing. *J Mech Behav Biomed Mater*, **2017**, 75: 175-79.
81. **Short MM, Favero CS, English JD, Kasper FK.** Impact of orientation on dimensional accuracy of 3D-printed orthodontic models. *J Clin Orthod*, **2018**, 52(1): 13-20.
82. **Gautam R, Singh RD, Sharma VP, Siddhartha R, Chand P, et al.** Biocompatibility of polymethylmethacrylate resins used in dentistry. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, **2012**, 100(5): 1444-50.
83. **Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P.** Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2019**, 156(5): 694-701.
84. **Riolo CS, Bayirli B.** In-house orthodontic workflow using 3D printing. *Embracing Novel Technologies in Dentistry and Orthodontics*, **2020**, 56: 22-35.
85. **Ekşi O, Karabeyoğlu SS.** The effect of process parameters on thickness distribution in thermoforming. *J Adv Sci Technol Res*, **2017**, 11(2).
86. **Elkholy F, Lapatki BG.** Recommendation of a novel film-thickness sequence, 0.4, 0.5 and 0.75 mm, for aligner systems. *J Align Orthod*, **2018**, 4: 295-304.
87. **Krey K-F, Behyar M, Hartmann M, Corteville F, Ratzmann A.** Behaviour of monolayer and multilayer foils in the aligner thermoforming process. *J Aligner Orthod*, **2019**, 3(2): 139-45.
88. **Grünheid T, Loh C, Larson BE.** How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthod*, **2017**, 87(6): 809-15.

89. Houle J-P, Piedade L, Todescan Jr R, Pinheiro FHL. The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthod*, **2017**, 87(1): 19-24.
90. Bucci R, Rongo R, Levatè C, Michelotti A, Barone S, et al. Thickness of orthodontic clear aligners after thermoforming and after 10 days of intraoral exposure: a prospective clinical study. *Prog Orthod*, **2019**, 20(1): 1-8.
91. Yamada J, Maeda Y. Thermoforming process for fabricating oral appliances: influence of heating and pressure application timing on formability. *J Prosthodont*, **2007**, 16(6): 452-56.
92. Mizuhashi F, Koide K. Formation of vacuum-formed and pressure-formed mouthguards. *Dent Traumatol*, **2017**, 33(4): 295-99.
93. Lombardo L, Arreghini A, Maccarrone R, Bianchi A, Scalia S, et al. Optical properties of orthodontic aligners—spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Prog Orthod*, **2015**, 16: 1-8.
94. Ahn H-W, Kim KA, Kim S-H. A new type of clear orthodontic retainer incorporating multi-layer hybrid materials. *Korean J Orthod*, **2015**, 45(5): 268-72.
95. Gerard Bradley T, Teske L, Eliades G, Zinelis S, Eliades T. Do the mechanical and chemical properties of Invisalign TM appliances change after use? A retrieval analysis. *Eur J Orthod*, **2016**, 38(1): 27-31.
96. Sifakakis I, Zinelis S, Eliades T. Aligners for orthodontic applications. In: *Orthodontic Applications of Biomaterials*: Elsevier, **2017**:275-85.
97. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2009**, 136(1): 12. e1-12. e7.
98. Barbagallo LJ, Shen G, Jones AS, Swain MV, Petocz P, et al. A novel pressure film approach for determining the force imparted by clear removable thermoplastic appliances. *Ann Biomed Eng*, **2008**, 36: 335-41.
99. Cowley DP, Mah J, O'Toole B. The effect of gingival-margin design on the retention of thermoformed aligners. *J Clin Orthod*, **2012**, 46(11): 697-702; quiz 05.
100. Klages U, Zentner A. Dentofacial aesthetics and quality of life. *Semin Orthod*, **2007**, 13(2): 104-15.
101. Lee J-W, Park J-M, Park E-J, Heo S-J, Koak J-Y, et al. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: A clinical study. *J Prosthet Dent*, **2017**, 118(4): 468-74.
102. Son K, Lee S, Kang SH, Park J, Lee K-B, et al. A comparison study of marginal and internal fit assessment methods for fixed dental prostheses. *J Clin Med*, **2019**, 8(6): 785.
103. Johal A, Sharma NR, McLaughlin K, Zou L-F. The reliability of thermoform retainers: a laboratory-based comparative study. *Eur J Orthod*, **2014**, 37(5): 503-07.
104. Cauchick-Miguel P, Kinga T, Davis J. CMM verification: a survey. *Measurement*, **1996**, 17(1): 1-16.
105. Alsharbaty MHM, Alikhasi M, Zarrati S, Shamschiri AR. A clinical comparative study of 3-dimensional accuracy between digital and conventional implant impression techniques. *J Prosthodont*, **2019**, 28(4): e902-e08.
106. Lagravère MO, Carey J, Toogood RW, Major PW. Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2008**, 134(1): 112-16.
107. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*, **2016**, 115(3): 313-20.
108. Apicella D, Veltri M, Chieffi N, Polimeni A, Giovannetti A, et al. Implant adaptation of stock abutments versus CAD/CAM abutments: a radiographic and Scanning Electron Microscopy study. *Ann Stomatol (Roma)*, **2010**, 1(3-4): 9-13.
109. Elliott JC, Dover S. X-ray microtomography. *J Microsc*, **1982**, 126(2): 211-13.

110. **Şahin FÜ, Topuz Ö.** Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontol Turc*, **2014**, 31(2): 114-20.
111. **Morris P, Perkins A.** Physics and Medicine 2: Diagnostic imaging. *Lancet*, **2012**, 379(9825): 1525.
112. **Küçük EB.** Farklı yöntemlerle tedavi edilen başlangıç çürük lezyonlarındaki iyileşmenin Mikro-BT analizi ile değerlendirilmesi. Doktora tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya/Türkiye, **2014**.
113. **Rhodes J, Ford TP, Lynch J, Liepins P, Curtis R.** Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J*, **1999**, 32(3): 165-70.
114. **Davis GR, Wong FS.** X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiol Meas*, **1996**, 17(3): 121.
115. **Diekwisch T.** The developmental biology of cementum. *Int J Dev Biol*, **2004**, 45(5-6): 695-706.
116. **Renders G, Mulder L, Van Ruijven L, Van Eijden T.** Porosity of human mandibular condylar bone. *J Anat*, **2007**, 210(3): 239-48.
117. **Guldborg RE, Lin AS, Coleman R, Robertson G, Duvall C.** Microcomputed tomography imaging of skeletal development and growth. *Birth Defects Res C Embryo Today*, **2004**, 72(3): 250-59.
118. **Spoor CF, Zonneveld FW, Macho GA.** Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *Am J Phys Anthropol*, **1993**, 91(4): 469-84.
119. **Anderson P, Elliott J, Bose U, Jones S.** A comparison of the mineral content of enamel and dentine in human premolars and enamel pearls measured by X-ray microtomography. *Arch Oral Biol*, **1996**, 41(3): 281-90.
120. **Kucuk EB, Malkoc S, Demir A.** Microcomputed tomography evaluation of white spot lesion remineralization with various procedures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2016**, 150(3): 483-90.
121. **Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S.** External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J*, **1999**, 32(1): 3-9.
122. **Oi T, Saka H, Ide Y.** Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J*, **2004**, 37(1): 46-51.
123. **Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P.** A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J*, **2001**, 34(5): 390-98.
124. **Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P.** Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent*, **2004**, 24(4): 316-25.
125. **Carrera CA, Lan C, Escobar-Sanabria D, Li Y, Rudney J, et al.** The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dent Mater*, **2015**, 31(4): 382-90.
126. **Öztürk F, Ersöz M, Öztürk SA, Hatunoğlu E, Malkoç S.** Micro-CT evaluation of microleakage under orthodontic ceramic brackets bonded with different bonding techniques and adhesives. *Eur J Orthod*, **2016**, 38(2): 163-69.
127. **Elliot J, Davis G, Anderson P, Wong FS, Dowker SE, et al.** Application of laboratory microtomography to the study of mineralized tissues. *Anales de Quimica*, **1997**, 93: 429-33.
128. **Lombardo L, Palone M, Longo M, Arveda N, Nacucchi M, et al.** MicroCT X-ray comparison of aligner gap and thickness of six brands of aligners: an in-vitro study. *Prog Orthod*, **2020**, 21(1): 1-12.
129. **Palone M, Longo M, Arveda N, Nacucchi M, De Pascalis F, et al.** Micro-computed tomography evaluation of general trends in aligner thickness and gap width after

- thermoforming procedures involving six commercial clear aligners: An in vitro study. *Korean J Orthod*, **2021**, 51(2): 135-41.
130. **Ammann R, Tanner C, Schulz G, Osmani B, Nalabothu P, et al.** Three-dimensional analysis of aligner gaps and thickness distributions using advanced laboratory-based hard x-ray tomography. *Developments in X-Ray Tomography XIII*, **2021**, 11840: 28-38.
 131. **Mantovani E, Parrini S, Coda E, Cugliari G, Scotti N, et al.** Micro computed tomography evaluation of Invisalign aligner thickness homogeneity. *Angle Orthod*, **2021**, 91(3): 343-48.
 132. **Koenig NL.** *Accuracy of Fit of Direct Printed Aligners Versus Thermoformed Aligners*, Saint Louis University, **2020**.
 133. **Ihsen BA, Kerberger R, Rauch N, Drescher D, Becker K.** Impact of dental model height on thermoformed PET-G aligner thickness—an in vitro micro-CT study. *Appl Sci*, **2021**, 11(15): 6674.
 134. **Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F.** Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res*, **2000**, 79(6): 1405-09.
 135. **Magne P.** Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dent Mater*, **2007**, 23(5): 539-48.
 136. **IBM C.** IBM SPSS Statistics for windows, version 24.0. Armonk, NY, USA. **2016**.
 137. **Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C.** Design of the Invisalign system performance. *Semin Orthod*, **2017**, 23(1): 3-11.
 138. **Lombardo L, Arreghini A, Maccarrone R, Bianchi A, Scalia S, et al.** Optical properties of orthodontic aligners—spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Prog Orthod*, **2015**, 16(1): 1-8.
 139. **Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Fialka-Fricke J, et al.** Initial forces and moments delivered by removable thermoplastic appliances during rotation of an upper central incisor. *Angle Orthod*, **2010**, 80(2): 239-46.
 140. **Proffit W.** Mechanical principles in orthodontic force control. *Contemporary orthodontics*, **1986**: 228-69.
 141. **Gao L, Wichelhaus A.** Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *Angle Orthod*, **2017**, 87(4): 534-41.
 142. **Kwon J-S, Lee Y-K, Lim B-S, Lim Y-K.** Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2008**, 133(2): 228-34.
 143. **Elkholy F, Schmidt F, Jäger R, Lapatki BG.** Forces and moments applied during derotation of a maxillary central incisor with thinner aligners: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2017**, 151(2): 407-15.
 144. **Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T.** Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: ability to complete treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2003**, 124(5): 496-501.
 145. **Clements KM, Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, et al.** Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: dental improvements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2003**, 124(5): 502-08.
 146. **Kohda N, Iijima M, Muguruma T, Brantley WA, Ahluwalia KS, et al.** Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *Angle Orthod*, **2013**, 83(3): 476-83.
 147. **Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, et al.** Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthod*, **2016**, 87(1): 11-18.
 148. **Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C.** Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **2014**, 145(6): 728-36.

149. **Ryokawa H, Miyazaki Y, Fujishima A, Miyazaki T, Maki K.** The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthod Waves*, **2006**, 65(2): 64-72.
150. **Arreghini A, Lombardo L, Mollica F, Siciliani G.** Torque expression capacity of 0.018 and 0.022 bracket slots by changing archwire material and cross section. *Prog Orthod*, **2014**, 15: 1-18.



EKLER

EK-1

HMKÜ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL
KARAR FORMU

	Karar No: 04	Tarih: 16/06/2022
KARAR BİLGİLERİ	KARAR 04- Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı Dr.Öğr. Üyesi Eyüp Burak KÜÇÜK'ün (Dt:İlter Burak KÖSE'in uzmanlık tezi) "Şeffaf plak materyali ve kalınlık farklılıklarının ankraj ataşmanına uyumunun karşılaştırılması: Bir in vitro çalışma" isimli çalışması görüşülmüş olup; çalışma gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve etik kurallara uygun bulunmuş olup; çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu üyelerinin oy birliği ile karar verilmiştir.	
ETİK KURUL ÜYELERİ		
Çalışma Esası:	İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu	
Etik Kurul Başkanı	Prof.Dr.İbrahim Halil ÇERÇİ	

ETİK KURUL ÜYELERİ							
Ünvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki	Katılım	İmza	
Prof.Dr.İbrahim Halil ÇERÇİ Başkan	Veteriner	HMKÜ Veteriner Fakültesi	E	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Prof.Dr.Hülya YALÇIN Başkan Yrd.	Nükleer Tıp	HMKÜ Tıp Fakültesi	K	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Prof.Dr. A.Güler OKYAY Başkan Yrd.	Kadın Hast. Ve Doğum	HMKÜ Tıp Fakültesi	E	E ☐ H ☒	E ☐ H ☒		
Prof.Dr.Alper ASLAN Üye	Beden Eğitimi	HMKÜ BESYO	E	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Prof.Dr.Tumay ÖZGÜR Üye	Patoloji	HMKÜ Tıp Fakültesi	K	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Doç.Dr.Cengiz ARLI Üye	Kulak Burun Boğaz	HMKÜ Tıp Fakültesi	E	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Doç.Dr. Fatma ÖZ Üye	Anatomi	HMKÜ Tıp Fakültesi	K	E ☐ H ☒	E ☐ H ☒		
Doç.Dr Fundagül B. ZORTUK Üye	Diş Hekimi	HMKÜ Diş Hekimliği Fakültesi	K	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Doç.Dr. Oğuzhan ÖZCAN Üye	Tıbbi Biyokimya	HMKÜ Tıp Fakültesi	E	E ☐ H ☒	E ☐ H ☒		
Doç.Dr. Oğuz AKKUŞ Üye	Kardiyoloji	HMKÜ Tıp Fakültesi	E	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		
Doç.Dr.Sibel SEVİNÇ Üye	Hemşirelik	HMKÜ Sağlık Hiz. YO.	K	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐		

