



KUZEY KIBRIS TÜRK CUMHURİYETİ  
YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞEFFAF PLAKLARLA MOLAR DİSTALİZASYONU  
SIRASINDA FARKLI KOMPOZİT ATAŞMAN KULLANIMININ  
DİŞ HAREKETİ ÜZERİNE ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR  
ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

**CENGİZ AYIDAĞA**

**DOKTORA TEZİ**

**Ortodonti Anabilim Dalı**

**Yrd. Doç. Dr. Beste KAMILOĞLU**

**Lefkoşa  
2021**



KUZEY KIBRIS TÜRK CUMHURİYETİ  
YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞEFFAF PLAKLARLA MOLAR DİSTALİZASYONU  
SIRASINDA FARKLI KOMPOZİT ATAŞMAN KULLANIMININ  
DİŞ HAREKETİ ÜZERİNE ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR  
ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

**CENGİZ AYIDAĞA**

**DOKTORA TEZİ**

**Ortodonti Anabilim Dalı**

**Yrd. Doç. Dr. Beste KAMILOĞLU**

**Lefkoşa  
2021**

## Tez Onayı

YDÜ Doktora Programı Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jürimiz tarafından Ortodonti programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Adı - Soyadı

İmza

**Juri Başkanı :**

Doç. Dr. Levent VAHDETTİN.

Yakın Doğu Üniversitesi, Ortodonti Anabilim Dalı

.....

**Üye:** Prof. Dr. Mete ÖZER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ortodonti Anabilim Dalı

.....

**Üye:** Prof. Dr. Selma Elekdağ TÜRK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ortodonti Anabilim Dalı

.....

**Üye:** Doç. Dr. Lokman Onur UYANIK.

Yakın Doğu Üniversitesi, Cerrahi Anabilim Dalı.

.....

**Danışman:**

Yrd. Doç. Dr. Beste KAMILOĞLU.

Yakın Doğu Üniversitesi, Ortodonti Anabilim Dalı

.....

**Onay;**

Bu tez, Yakın Doğu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav

Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun

görölmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla Kabul edilmiştir.

...../...../2021

Prof. Dr. K. Hüsnü Can BAŞER

**Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü**

## Bildirim

Öğrencinin Adı ve Soyadı : Diş Hek Cengiz AYIDAĞA

Öğrenci Numarası :

Program : Ortodonti Anabilim Dalı

Tezsiz Yüksek Lisans  Tezli Yüksek Lisans  Doktora

Bu kural ve davranışın gerektirdiği şekilde, bu esere özgün olmayan tüm materyalleri tam olarak alıntıladığımı ve referans verdiğimi beyan ederim. Akademik kuralların ve ilgili etik davranışların herhangi bir şekilde ihlalinin intihal olarak değerlendirileceğini ve üniversiteden atılma ile sonuçlanabilecek disiplin soruşturmasına yol açacağını ve ayrıca başka yasal işlemler gerektireceğini de beyan ederim.

Ad Soyad: Diş Hek Cengiz AYIDAĞA

Tarih: 18.11.2021

İmza:

## Teşekkür

Yıllardır büyük bir emek ve özveri ile hazırladığım doktora tezini tamamlamanın heyecanını ve gururunu yaşıyorum. Bu yolda emeklerini ve zamanını benden hiç esirgemeyen ve motive ederek yolumu kolaylaştıran herkese teşekkür etmek için bir fırsat olduğunu düşünmekteyim.

Öncelikle danışmanlığımı üstlenen, yardımlarını esirgmeden ve konu seçiminden araştırmanın yürütülmesine dek beni hiç sınırlamayan ve bu çalışmayı mümkün kılan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Beste KAMILOĞLUNA sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine doktora sürecinde desteklerini benden esirgemeyen öncelikle bölüm başkanımız Doç. Dr. Levent VAHDETTİN hocama, akademik kurumumuz üyelerinden saygıdeğer Prof. Dr. Ulaş ÖZ hocama ve katkılarından dolayı değerli Doç. Dr. Lokman Onur UYANIK hocama sonsuz teşekkürlerim sunarım. Doktora sürecinde iyi günümde ve kötü günümde yanımda olan başta Hikmet sönmez abim olmak üzere tüm kıdemdaşlarımda ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim sürecince bilgileriyle yoluma ışık tutan Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğretim üyesi tüm hocalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve haklarını asla ödeyemeyeceğim kıymetli annem babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

## Özet

### Şeffaf Plaklarla Molar Distalizasyonu Sirasında Farklı Kompozit Ataşman Kullanımının Diş Hareketi Üzerine Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi

Bu çalışmada, maksiller birinci azı dişinin gövdesel paralel hareketi esnasında şeffaf plaklar ve kompozit ataşmanlar tarafından ortaya çıkan stres ve yer değiştirme paternlerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Alveolar kemiğin, azı dişinin, periodontal ligamentin, plağın ve kompozit ataşmanların simüle edilmesi için üç adet sonlu eleman modeli tasarlanmıştır. Birinci modelde herhangi bir kompozit ataşman bulunmamakta olup, ikinci modelde bir dikey dikdörtgen ataşman, üçüncü modelde ise çalışmaya özgün bir ataşman tasarımı eklenmiştir. Plağın molar distalizasyonunu taklit eden bir yükleme metodu geliştirilmiştir. Modellerde, periodontal ligamentin lineer olmayan mekanik özellikleri kabul edilmiştir. Von Mises stres düzeyleri ve dişin yer değiştirme paternleri özel yazılımlar kullanılarak analiz edilmiştir. Bütün konfigürasyonlar, distal harekete ek olarak saat yönünde gerçekleşen bir çeşit dönüş hareketi göstermiştir. Dişin kron kısmı üç modelin hepsinde maksimum düzeyde yer değiştirme göstermiştir. Ancak ataşmanın bulunmadığı durumda kök ucu, kontrolsüz devrilme hareketi ile uyumlu bir biçimde zıt yönde hareket etmiştir. Ataşmanın bulunduğu simülasyonlar, hareket paternleri bakımından en iyi performansı sergilemiştir. Yeni bir tasarıma sahip olan üçüncü grubun stres dağılımı (asal stres ve Von Mises stresleri) bakımından en iyi performansı sergilemesinin yanı sıra bu grup, periodontal ligament ve diş üzerinde de daha yüksek stres düzeyleri sergilemiştir. Şeffaf plağa bir dikey dikdörtgen ataşmanın eklenmesi sonucunda molar distalizasyon esnasında mesio-distal devrilme eğilimde bir azalma gerçekleşmiştir. Yer değiştirme paterni ve stres dağılımı göz önüne alındığında, üçüncü model en etkili model olmuştur. Üçüncü modelde ortaya çıkan stres düzeyinin gelecek çalışmalarda daha detaylı bir şekilde araştırılması gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Molar distalizasyonu. şeffaf plak. Ataşmanlar. Sonlu eleman analizi

## **Abstract**

### **Effects of variable composite attachment shapes in controlling upper molar distalization with aligners. A non-linear Finite Element-Study**

The objective of the present study is to describe the stress and displacement patterns created by clear aligners and composite attachments bonded with the acid-etch technique on the labial surface of the maxillary first upper molar during its distalization. Maxillary molar distalization is a clinical orthodontics procedure used to move the first maxillary molar distally. The procedure is useful in patients with some Class II malocclusion allowing the first molar to move into a Class I relationship and the correction of associated malocclusion features. Three finite element models were designed to simulate the alveolar bone, molar tooth, periodontal ligament, aligner, and composite attachments. The first model had no composite attachment, the second model had a vertical rectangular attachment, and the third model had a newly designed attachment. A loading method was developed that mimicked the aligner's molar distal movement. PDL was set as a viscoelastic material with a nonlinear mechanical response. von Mises and maximum principal stresses and tooth displacement patterns were analyzed using dedicated software. All the configurations showed some form of clockwise rotation in addition to the distal movement. The crown portion of the tooth showed maximum displacement in all three models; however, in the absence of attachment, the root apex moved in the opposite direction which was compatible with uncontrolled tipping movement. Simulations with attachments exhibited the best performance regarding the movement patterns. The third group, with the newly designed attachment, exhibited the best performance concerning stress distribution (principal stress and von Mises stresses) and higher stresses in the periodontal ligament and tooth. Incorporating a vertical rectangular attachment in a clear aligner resulted in the reduction of mesiodistal tipping tendency during molar distalization. The third model was the most efficient considering both displacement pattern and stress distribution. The level of stress generated by the third model needs to be further investigated in future studies.

**Keywords:** Molar distalization. transparent plaque. Attachments. Finite element analysis

## İçindekiler

Tez Onayı .....	
Bildirim .....	
Teşekkür .....	iii
Abstract .....	v
İçindekiler .....	vi
Tablolar Dizini .....	viii
Şekiller Dizini .....	ix
1. BÖLÜM .....	1
Giriş.....	1
1.1 Mevcut Problemin Açıklaması .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	3
1.3 Çalışma Soruları ve Hipotezleri .....	3
1.4 Çalışmanın Önemi .....	3
1.5 Kısıtlamalar .....	4
2. BÖLÜM .....	5
Genel Bilgiler .....	5
2.1 Diş hareketinin biyomekaniği .....	5
2.2 Sınıf II tanı ve tedaviye dair önemli hususlar.....	8
2.2.1 Konvansiyonel apareyler ile molar distalizasyonun sınırlamaları ve tedavi etkenliği .....	14
2.2.2 Mini vida destekli apareyler ile maksiller molar distalizasyon .....	16
2.3 Şeffaf Plak Tedavisinin Gelişimi.....	17
2.4 Sınıf II maloklüzyonların şeffaf plaklar ile tedavisi.....	20
2.5 Plak tedavisi üzerine yapılan biyomekanik çalışmalar.....	23
2.5.1 Sonlu Eleman Metodu çalışmaları .....	24
2.6 Şeffaf plaklar ile molar distalizasyon .....	25
2.6.1 Sonlu eleman çalışmaları .....	26
2.6.2 Klinik çalışmalar.....	26



3. BÖLÜM .....	28
Materyal ve Metot .....	28
3.1 Kemiğin ve periodontal ligamentin geometrik rekonstrüksiyonu .....	28
3.1.1 Plağın ve yardımcı araçların modellenmesi .....	31
3.2 Sonlu Eleman Yöntemiyle Modelleme .....	36
3.3. Mekanik materyal özellikleri .....	38
3.4 Yükleme ve sınır koşulları .....	40
3.5 Analiz Ortamları .....	42
4. BÖLÜM .....	44
Bulgular ve Tartışma .....	44
5. BÖLÜM .....	70
Sonuç ve Öneriler .....	70
5.1. Sonuç .....	70
5.2. Uygulamaya Dönük Öneriler .....	70
5.3. İleri Araştırmalara Dönük Tavsiyeler .....	71
Kaynakça .....	73
Ekler .....	82
İntihal Raporu .....	84

**Tablolar Dizini**

Tablo 1.Çalışma içindeki yapıların mekanik özellikleri	40
Tablo 2.Azami asal PDL stresi (N/mm <sup>2</sup> )	49
Tablo 3.Von Mises stres seviyeleri (N/mm <sup>2</sup> )	55
Tablo 4.Y ekseninde yer değiştirme büyüklüğü (mm)	56
Tablo 5.Z ekseninde yer değiştirme büyüklüğü (mm)	56

## Şekiller Dizini

Şekil 1. Kök şekillerini ve boyutları içeren bireysel diş anatomileri.	29
Şekil 2. Alveolar kemikten çıkarılmış kök şekilleri.	30
Şekil 3. Diş ve çene kemiği geometrilerinden oluşan tam model.	30
Şekil 4. 0,2 mm'lik üniform kalınlıkta bir katman olarak modellenen PDL geometri tasarımı.	31
Şekil 5. Plak geometrisinin tasarımı: a) Ataşmansız grup b) Dikey dikdörtgen ataşmanlı grup c) Kılavuz ataşmanlı gruplar.	32
Şekil 6. Kompozit ataşmanların ölçüleri.	33
Şekil 7. Dikey dikdörtgen ve kılavuz ataşmanın farklı görünüşleri.	34
Şekil 8. Her bir gruba ait kemik dokusunun, periodontal ligamentlerin, diş şekillerinin ve ilgili plak ve kompozit ataşmanların modelleme işlemlerinden edinilen her bir bileşenin birleştirilmesi.	35
Şekil 9. – Diş üzerinde dikey ataşman ve plağın bulunduğu simülasyonlarda kullanılan, meshing işleminden geçmiş modeller.	36
Şekil 10. Diş üzerinde kılavuz ataşmanın bulunduğu simülasyonlarda kullanılan, meshing işleminden geçmiş modeller.	37
Şekil 11. Maksiller birinci molar köklerinin ve destek yapılarının sonlu eleman modeli.	37
Şekil 12. Diş ve destek yapılarının sonlu eleman modeli.	38
Şekil 13. 1, 2 ve 3'üncü gruplar için sınır koşulları.	41
Şekil 14. Bukkal açıdan sınır koşulları	42
Şekil 15. Mesial açıdan sınır koşulları	43
Şekil 16. Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.	45
Şekil 17. Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (palatal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.	46
Şekil 18. Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (distal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.	47

- Şekil 19. Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (mesial görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 48
- Şekil 20. Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü üzerinde Von Mises stres dağılımı (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 50
- Şekil 21. Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 51
- Şekil 22. Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (palatal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 52
- Şekil 23. Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (distal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 53
- Şekil 24. Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (mesial görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 54
- Şekil 25. Üç grup için birinci maksiller moların y ekseninde diş kökü ve kronu üzerinde yer değiştirme paterni: (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı. 57

# 1. BÖLÜM

## Giriş

### 1.1 Mevcut Problemin Açıklaması

Ortodontik tedavinin şeffaf plaklar ile gerçekleştirilmesi yöntemi, 90'lı yılların sonlarında Align Technology (Align Technology Inc, Kaliforniya, ABD) tarafından sabit labial apareylere yönelik estetik bir alternatif olarak sunulmuştur. Diş hareketleri ilk olarak bir ölçüye kadar analiz ve tedavi planlamasında da kullanılabilen bir yazılım aracılığıyla sanal bir ortamda simüle edilmiştir. Birden fazla dental yapı üretilmiş olup, son yapı istenen ve planlanan nihai oklüzyona karşılık gelecek şekilde oluşturulmuştur. Diş hareketleri genellikle çıkarılabilir, vakum ile şekillendirilmiş termoplastik bir aparat ile evrenmiş ve klinik olarak uygulanmıştır. Şeffaf plaklar başta sadece anterior dişler ile sınırlı hafif veya orta çapraşıklıkta olduğu Sınıf I maloklüzyonların sabit aparatlar ile tedavisine bir alternatif olarak sunulmuş olup, hedef popülasyon bakımından kısıtlı endikasyonlara sahip olmuş, diğer bir deyişle yetişkin hastalarda devrilme ve düşük düzeyde rotasyon hareketleri ile sınırlı kalmıştır. Bu sistemlerin ilk formları sonuçların elde edilebilmesi için sadece plaklara dayanmıştır. İkinci nesil plakların geliştirilmesi ile beraber üreticiler diş hareketinin iyileştirilmesi için ataşmanların kullanılmasını teşvik etmeye başlamıştır. Günümüzde Sınıf II ve Sınıf III maloklüzyonlar gibi daha karmaşık maloklüzyonlar hem büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda hem de yetişkin hastalarda plaklar ile tedavi edilmektedir.

Sınıf II maloklüzyon, büyük ve heterojen bir maloklüzyon grubunu temsil etmektedir. Moyers (1980) sagittal (yatay) dental ve iskeletsel değişkenleri göz önünde bulundurarak altı adet Sınıf II alt grubu tanımlamıştır (Moyers, 1980). Söz konusu sınıflandırma yöntemine göre Tip A maloklüzyon iskeletsel uyumsuzluğun eksikliği ile karakterize olmaktadır. Maloklüzyonun başlıca özelliği maksiller dentoalveolar protrüzyon ile karakterize olmakta, bu sebeple Sınıf I molar-kanin ilişkisinin ve normal bir overjet'in elde edilebilmesi için maksiller dentisyonun distalizasyonunu gerekli kılmaktadır. Maksiller molar dişin distal yönde gövdesel paralel translasyonu, kuvvetin ilgili direncin merkezine uygulanması gerektiğinden dolayı elde edilmesi zor bir harekettir. Kompozit ataşmanlar yardımcı eleman görevi görmekte olup, diş momentinin kalitesinin kontrol edilmesinde kullanılmaktadır.

Plakların tek başına ya da ataşmanların da kullanılmasıyla oluşturulan kuvvet sisteminin gövdesel paralel hareketi gerçekleştirebilmesi ya da sadece devrilme ve intrüzyon hareketleri ile sınırlı kalıp kalmadığı açıklığa kavuşturulmamıştır.

Sınıf II maloklüzyonlar, maksiller molar dişlerin distalizasyonu yoluyla Sınıf I molar ilişkisinin elde edilebilmesi için şeffaf plaklar ile düzeltilebilmektedir. Retrospektif bir klinik çalışmada molar distalizasyon kesici diş torqu ve premolar derotasyonuna kıyasla en yüksek doğruluk seviyesine (%87) ulaşmıştır (Simon ve ark., 2014). Doğru evrelemenin (hareket plağı) yanı sıra ataşmanların kullanılmaması klinik etkinliği anlamlı derecede etkilemiştir. (Simon ve ark., 2014). Olgu raporları genellikle Sınıf II maloklüzyonların düzeltilmesinin plak kullanımıyla ataşman dahi kullanılmadan üst molar distalizasyonu ile gerçekleştirilmesi ihtimalini rapor etmiş, buna karşın olgulardaki ciddiyet oldukça hafif düzeyde olmuştur (Schupp, 2010; Boyd, 2007). Olgu kontrolü ve retrospektif kohort çalışması olan iki adet çalışmada ise kompozit ataşmanların kullanımının kuvvet seviyesini ve diş hareketini etkilediği, molar distalizasyonun etkililiğinin artırılmasında ise önem taşıdığı bulunmuştur. (Garino ve ark., 2016; Ravera ve ark., 2016) Dikey ataşmanlar üst molar dişlerin, distalize edilmiş molar dişlerin devrilmesine yol açmadan distal olarak hareket etmesine yol açmıştır. (Ravera ve ark., 2016). Bu klinik çalışmalarda gövdesel moment, ölçüm hatalarına müsait olan tedavi öncesi ve sonrası alınan sefalogramların çakıştırılması (superimposition) ile değerlendirilmiştir.

Deney modellerinden alınan veriler, plak kullanımı ile gövdesel paralel hareketin mümkün olduğunu öne sürmektedir. Simon ve ark. gerçekleştirdikleri deneysel bir çalışmada plaklar ile oluşturulan kuvvet sistemini incelemiş ve plakların dişlerde paralel hareketin elde edilmesi için gerekli kuvvet sistemini sağlayabileceğini tespit etmiştir. (Simon ve ark., 2014) Sonlu Eleman analizi, dişin paralel hareketinin biyomekaniğinin ve yer değiştirme patenlerinde kompozit ataşmanların görevinin değerlendirilmesi amacıyla başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Gomez ve ark. ataşmanların bulunduğu durumda dişin paralel hareketinin gerçekleşmesinin daha muhtemel olacağını öne sürmüştür. (Gomez ve ark., 2014) Plak segmentinin ataşmanlar olmadan distal olarak yer değiştirmesinde oluşan devrilme eğilimine karşı ataşmanların bu eğilime zıt bir moment yarattığı öne sürülmüştür. Comba ve ark. üst kanin diş distalizasyonunda kompozit ataşmanların

Sınıf II elastikleri ile birlikte kullanımının etkilerini incelemiştir. Dikey dikdörtgen ataşman kullanımının devrilme hareketine yol açmasının yanında, optimize edilmiş ataşmanların gövdesel paralel hareket sağladığı tespit edilmiştir (Comba ve ark., 2017). Yokoi ve ark. diastema kapatılması sırasında kompozit ataşmanların orta kesici dişlerin paralel hareketi üzerine etkisini araştırmış, ataşmanların paralel hareketin elde edilmesinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Molar distalizasyonu değerlendiren tek sonlu eleman analizi, ataşman kullanımının kuvvet seviyesini ve dişteki yer değiştirme miktarını etkilemiş olmasına rağmen bu etkinin üst molar dişlerin distalizasyonunun sağlanması için tek başına yeterli olmadığını ortaya koymuştur. (Rossini ve ark., 2020)

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Mevcut çalışmada bir SE (Sonlu Eleman) modeli kullanılarak üst çene molar distalizasyonu sırasında plaklar ve kompozit ataşmanlar tarafından oluşturulan stres ve yer değiştirme paternleri ile bu hareketin kontrolünde özgün bir kompozit ataşman şekli ve oryantasyonunun etkisinin açıklanması amaçlanmıştır.

## 1.3 Çalışma Soruları ve Hipotezleri

Bu çalışmada test edilen başlıca hipotezler şu şekildedir:

- Ataşman yardımı olmadan molar diş, mesio-distal eksen üzerinde devrilecektir.
- Konvansiyonel dikdörtgen ataşmanın bulunduğu konfigürasyonlar devrilme hareketlerine engel olamamıştır.
- Optimize edilmiş guide-line ataşmanın bulunduğu konfigürasyon ise gövdesel paralel translasyon hareketi oluşturmuştur.

## 1.4 Çalışmanın Önemi

Şeffaf plaklar gibi ortodontik apareylerin onlarca yıldır kullanılmasına rağmen bu apareylerin biyomekanik özelliklerinin değerlendirilmesi zorluk teşkil etmiştir. Bu apareyler ve yardımcı elemanları tarafından yaratılan mekanik değişikliklerin in vivo olarak incelenmesi oldukça zordur. Sonlu eleman analizi, periodontal ligament ve kemik üzerinde tetiklenen fizyolojik değişiklikler bakımından detaylı veri sunabilir. SEA (Sonlu Eleman Analizi) diş üzerinde

değişkenlik gösteren yük koşullarına yönelik stres değerlerinin, yer değiştirme paternlerinin, deformasyonların ve kuvvet sistemlerinin hesaplanmasında kullanılmakta olup, bu çalışmanın amaçlarının yerine getirilmesi için uygun görülmüştür.

### **1.5 Kısıtlamalar**

SEA, ortodonti alanındaki karmaşık biyomekanik problemlerin çözülmesine dair bir çözüm olarak öne sürülmüştür. Örnek verilecek olursa SEA, direnç merkezinin, diş hareketine dair biyomekanik unsurların, sabit ve çıkarılabilir apareylerin ve iskeletsel kemik ankrajı gibi hususların değerlendirilmesinde uygulanmıştır. SEA'nın güvenilirliği, yapının materyal özellikleri ve geometrik koşulları gibi birçok faktöre bağlı olmaktadır. Mümkün olan durumlarda SEA'nın deneysel olarak doğrulanması gerekmektedir.



## 2. BÖLÜM

### Genel Bilgiler

#### 2.1 Diş hareketinin biyomekaniği

Diş uygulanan bir uç yük (ortodontik kuvvet), esasında ilişkili yapılar olan periodontal ligamentin (PDL) ve alveolar kemiğin biyolojik tepkisinin bir sonucu olan diş hareketini tetiklemektedir (Lindauer, 2001). Ortodontik tedavide destekleyici yapıların tepkilerine dair bilgimiz, söz konusu değişikliklerin analizinde kullanılan histolojik yöntemlerin teşkil ettiği kısıtlamalar sebebiyle halen tam değildir. Optimal ortodontik hareket, PDL'nin sıkıştırılmış bölgelerdeki kemik rezorpsiyonu ve gergin taraflardaki kemik apozyonu ile belirlenmektedir. Ortodontik kuvvetler diş soketinin kemiksi konturunu yeniden şekillendiren biyokimyasal ve hücrel olayları başlatan kan akışını ve lokalize elektrokimyasal ortamı etkilemektedir (Krishnana ve Davidovitchb, 2006).

Diş kronu seviyesinde bir kuvvetin uygulanması, diş çevresindeki dokularda biyolojik tepkiye yol açarak dişin ortodontik hareketiyle sonuçlanmaktadır. Ortodontik diş hareketi temelinde inflamasyon benzeri birçok tepkiyi barındırmaktadır. Diş kronuna devamlı bir kuvvetin uygulanması durumunda diş, periodontal membranın özellikle marjinal alanda daralmasıyla gözlemlenebileceği üzere, diş soketi içerisinde hareket etmektedir (Melsen, 2013). Kuvvetin uygulanmaya başlandığı anda periodontal membran alanının sıkıştırılarak kısıtlanması, hücrelerde ve vasküler yapılarda bozulmaya sebep olmaktadır. Söz konusu doku nekrozu alanı dejenerasyon, tahrip edilmiş dokunun eliminasyonu ve yeni bir diş ataşmanın oluşumu şeklinde üç ana aşama ile karakterize olmaktadır. Hafif kuvvetlerin, kemiğin frontal rezorpsiyonuna yol açabildiği öne sürülmüştür. Öte yandan, şiddetli kuvvetler sıklıkla PDL'nin nekrozuna (hiyalinizasyon) ve kemik rezorpsiyonunun kötüleşmesine yol açmaktadır.

Burstone (1962) diş hareketi hızını geçen zaman üzerinde incelemiş ve diş hareketinde başlangıç, duraklama ve duraklama sonrası şeklinde 3 fazın bulunduğunu öne sürmüştür. Şiddetli kuvvetin diş uygulamasından hemen sonra başlayan birinci faz, hızlı diş hareketi ile karakterize olmaktadır. İlk kuvvet uygulaması, PDL bölgesindeki liflerin ve hücrelerin sıkışması ve gerilmesi ile

kompleks bir doku ve hücrel tepki sürecini başlatmaktadır (Krishnana ve Davidovitchb, 2006). Hiyalinize bölgeler baskı alanlarında mevcuttur. Bu fazı, dişteki yer değiştirmenin, sıkışmanın olduğu alanlardaki PDL'nin hiyalinizasyonunun olası bir sonucu olarak görece az olduğu veya hiç olmadığı duraklama fazı takip etmektedir. Bu faz 4 ila 20 gün arasında sürmekte olup, nekrotik dokuların sıkışmış PDL alanlarından ve bitişik alveolar kemikten giderilmesi sonrasında diş hareketi devam etmektedir. PDL geriliminin bulunduğu alanlarda osteoblastlar yeni kemik matriksi üretimine başlar. Üçüncü faz, ilk kuvvetin uygulanmasından yaklaşık 40 gün sonra başlamakta olup, hareket hızında aşamalı veya ani bir artış ile karakterize edilmektedir. Yakın zamanda gerçekleştirilen çalışmalar diş hareketi eğrisini 4 faza ayırmıştır. Üçüncü ve dördüncü aşamalar, ortodontik tedavi esnasında gerçekleşen diş hareketinin çoğunluğunu oluşturmaktadır (Krishnana ve Davidovitchb, 2006). Hafif kuvvet uygulaması tatminkâr bir diş hareketi sağlarken, şiddetli bir kuvvetin uygulanması ilk gerilim, duraklama fazı ve aşamalı diş hareketinden oluşan tipik 3 fazlı tepkiye yol açmaktadır. Bu sebeple, hiyalinizasyon gelişiminin kuvvetin büyüklüğü ile ilişkisi bulunurken, diş hareketinin hızı ile ilişkisi bulunmamaktadır. Bu durum, kemiğin yeniden yapılanmasının kuvvet büyüklüğünden bağımsız olarak belirli bir hızda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Hafif kuvvet uygulamasının, hasta için daha az rahatsızlığa ve acıya yol açmasından dolayı klinik açıdan da önemi bulunmaktadır.

*Kuvvet, bir gövdenin diğerine karşı uyguladığı, diğer gövdenin dinlenme veya hareket halini değiştirebilen eylem olarak tanımlanabilir.* Dişin öngörülebilir bir şekilde hareket ettirilmesi için bir kuvvetin istenen yönde ve büyüklükte, diş üzerinde uygun bir konumda uygulanması gerekmektedir (Lindauer, 2001). Kuvvetin büyüklüğü ve yönü, diş üzerinde oluşacak yer değiştirmenin kalitesini etkileyecek olup, bu konseptin oldukça sezgisel olduğu düşünülmektedir. Kuvvetin uygulanma noktasının da diş hareketinin kalitesi üzerinde etkisi vardır. Diş üzerinde, dişi kuvvet yönünde devrilme veya rotasyon hareketine yol açmadan hareket ettirecek nitelikte bir kuvvetin uygulanabileceği tek bir nokta vardır. Bu noktaya direnç merkezi adı verilmekte olup, bu noktaya uygulanacak kuvvet dişin salt translasyonunu sağlamaktadır. Dişlerin periodontal ligament tarafından tutulması sebebiyle direnç merkezinin konumu diş büyüklüğü ve şeklinin yanı sıra destek yapılarının kalitesi ve düzeyine göre değişkenlik göstermektedir. Sağlam yapılı PDL'ye sahip sağlıklı bir

dişte direnç merkezinin, alveolar kretten kök ucuna doğru olan alanın 1/3'lük ve 1/2'lik kısımları arasında olduğu düşünülmektedir. Ataşman kaybının mevcut olduğu, periodontal olarak risk taşıyan dişlerde direnç merkezi daha çok kök ucu kısmına doğru konumlanmaktadır (Lindauer, 2001).

Herhangi bir kuvvetin direnç merkezinin dışında başka bir noktaya uygulanması durumunda direnç merkezinin kuvvet yönünde hareket ettirilmesinin yanı sıra bir moment de oluşturulmaktadır. Moment dönme eğilimi olarak tanımlanmakta olup, ortodontik terminolojide rotasyon, devrilme veya tork hareketi anlamına gelebilmektedir. Direnç merkezinin bukkal kısmına distal bir kuvvetin uygulandığı durumlarda direnç merkezi distal olarak hareket edecek olup, diş ise mesiobukkal olarak rotasyon hareketinde bulunacaktır. Kuvvet genellikle büyüklük, yön ve sürenin yanı sıra uygulanma noktası gibi özellikler ile nitelendirilmektedir (Lindauer, 2001). Olumsuz doku tepkileri bakımından süre, kuvvetin büyüklüğüne kıyasla daha önemli bir unsur olarak dikkate alınmaktadır. Klinik deneyimlere dayalı olarak, başarılı bir diş hareketi için kuvvetin her gün 6 saat kadar bir süreyle uygulanması gerektiği söylenebilir. Kuvvetin yönü, diş hareketinin türünde farklılıklara yol açar (Lindauer, 2001).

Diş hareketlerinin tümü, rotasyon ve translasyona dayanarak nitelendirilebilmektedir; ancak kuvvetler ve hareketler sıklıkla devrilme, tork, paralel hareket, intrüzyon, ekstrüzyon ve rotasyona göre nitelendirilmektedir. Devrilme hareketleri diş kronunun hareket ederken kök ucunun sabit kaldığı hareketler olarak nitelendirilebilirken, gövdesel paralel hareketler kronun ve kökün birlik içinde hareket etmesi olarak nitelendirilebilir (Profit ve ark., 2013). Oluşturulan hareketin türünün, uygulanan kuvvetin direnç merkezi ile ilişkisiyle dişin rotasyon merkezinin konumuna bağlı olarak değiştiği varsayılmıştır. Direnç merkezi, diş üzerinde yer alan, üzerine bir kuvvetin uygulanması durumunda salt translasyon hareketinin oluşacağı nokta olarak tanımlanmaktadır. Tek köklü bir diş için direnç merkezinin kök eksenini boyunca alveolar krete doğru kök ucu yönünde, kök uzunluğunun üçte birini kapsayan kısım olduğu belirlenmiştir (Burstone ve Pryputniewicz, 1980).

Rotasyon merkezi, gövdenin ilk ve son pozisyonlarına dayalı olarak belirlenen, gövdenin rotasyona uğradığı noktadır (Smith ve Burstone, 1984). Bu

nokta, uygulanan kuvvete göre değişim göstermektedir. Dişin hareket ettirilmesi için sadece brakete bir kuvvetin uygulandığı sabit apareyli olgularda, direnç merkezi üzerindeki eşdeğer kuvvet sistemi uygulanan kuvvet ile diş kronunu kuvvet yönünde deviren bir momentten oluşmaktadır. Dişin kuvvet yönünde devrilme eğilimini etkisiz hale getirecek kuvvetin bulunmaması durumunda dişin direnç merkezi kuvvetin yönü doğrultusunda hareket etmekte, kron direnç merkezinden uzağa yönelmekte ve kök ucu ise kuvvetin zıt yönünde hareket etmeye başlamaktadır. Dişin direnç merkezinin kök ucuna yakın bir noktası etrafında döndüğü görülebilmektedir. Salt gövdesel paralel hareketin elde edilebilmesi için uygulanan kuvvetin doğrudan direnç merkezinin içinden geçmesi gerekmektedir. Ancak kuvvetin dişin bukkal yüzeylerindeki ataşmanlara uygulanmasından dolayı kuvvet, direnç merkezine göre koronal ve periferal bir hal almaktadır (Iwasaki ve ark., 2000). Bu ikili durum devrilme eğilimini tamamen etkisiz hale getirirse bile diş kuvvet yönünde ilerlemeye devam etmektedir. Uygulamanın 10/1 değerinde bir M/K oranı ile gerçekleştirilmesiyle diş kuvvet yönünde devrilmeden translasyon hareketinde bulunacaktır. Bu duruma genel olarak salt translasyon adı verilmektedir.

Sabit apareylerin direnç merkezine doğrudan bir kuvvet uygulayamıyor oluşuna rağmen, kuvvetin gerekli hareket yönünde ataşmana uygulanması ve aynı zamanda devrilmeyi önleyecek zıt bir hareketin gerçekleştirilmesi ile gövdesel paralel hareket gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumun birinci ve ikinci nesil plaklarda mevcut olmadığı görülmektedir. Yakın geçmişte plaklar, kuvvet momenti (MoF)/ikiz kuvvet momenti (MoC) oluşumuna yönelik ataşmanların geliştirilmesi ile gelişim göstermiş olup, Andrew'ın özel dişler için önceden ayarlanmış ataşmanların oluşturulması konseptine daha da yaklaşmaktadır.

## **2.2 Sınıf II tanı ve tedaviye dair önemli hususlar**

Sınıf II maloklüzyonlar, iskeletsel, dental veya fonksiyonel bileşenlere/karakter özelliklere sahip olarak tanımlanmaktadır (Bishara, 2006). Düzeltme işlemi için kullanılacak tedavi mekaniğinin belirlenmesindeki başlıca husus, maloklüzyonun iskeletsel veya dental türlerden hangisinin olduğunun bilinmesidir (Tai, 2018). Doğru tedavi yaklaşımı tercihinde hasta yaşı da belirleyici bir faktördür. Büyüme ve gelişim dönemindeki hastalara dair alternatif tedavi yöntemleri arasında intermaksiller elastikler ve/veya diş çekimiyle birlikte uygulanan

ağız dışı headgear'lar, fonksiyonel apareyler ve sabit apareyler yer almaktadır. Yetişkinlerde orta dereceli Sınıf II maloklüzyon intermaksiller elastikler ve/veya diş çekimi ile birlikte uygulanan sabit apareyler ile, ciddi derecedeki maloklüzyonlar ise sabit apareyler ve ortognatik cerrahi ile düzeltilebilmektedir (Papadopulos, 2015).

Dental karakter özelliklere dayalı olarak Sınıf II, maksiller orta kesici dişlerin inklınasyonuna göre Sınıf II Divizyon 1 ve Sınıf II Divizyon 2 şeklinde sınıflara ayrılmıştır (Bishara, 2006). E. H. Angle tarafından öne sürülen ilk tanıma göre Sınıf II Divizyon 1, "Maksiller ark ile kıyasla distal veya normal olan mandibular ark; bilateral olarak distal, protrüze üst kesici dişler" ile, Sınıf II Divizyon 2 ise "Maksiller ark ile kıyasla distal veya normal olan mandibular ark; bilateral olarak distal, retrüze üst kesici dişler" ile karakterize olmaktadır (Angle, EH, 1907). Sınıf II Divizyon 1 ve 2 maloklüzyonlarda molar ilişki unilateral veya bilateral olabilmektedir. Unilateral olgular, etkilenmiş tarafın bir "subdivizyonu" olarak sınıflandırılmaktadır (Bishara, 2006). Sınıf II Divizyon 2'nin tedavisi genellikle maksiller kesici dişlerin proklinasyonu aracılığıyla maloklüzyonun Sınıf II Divizyon 1'e dönüştürülmesi, sonrasında da bir Divizyon 1 maloklüzyon olarak tedavi edilmesiyle gerçekleştirilmektedir (Tuncay ve Tulloch, 1992).

Sınıf II maloklüzyonlar, maksilla ve mandibula arasındaki iskeletsel uyumsuzluğu yansıtan büyük bir ANB açısı ve Wits Değerlendirmesi ile karakterize olmaktadır. İskeletsel uyumsuzluk bulunan Sınıf II maloklüzyonda maksilla prognatik olabilir, mandibula retrognatik olabilir veya her iki durum da aynı anda mevcut olabilir (Tai, 2018). Bununla birlikte, Sınıf II maloklüzyonun en yaygın karakter özelliği maksiller protrüzyondan ziyade mandibular retrognatidir (McNamara, 1981). Anteroposterior iskeletsel uyumsuzluklar, derin kapanıştan açık kapanışa uzanan dikey uyumsuzluk ile birlikte de gözlemlenebilmektedir (Bishara, 2006). Söz konusu unsurlar, oklüzal ilişkiler, anteroposterior ve dikey iskeletsel uyumsuzluklar, fasiyal yumuşak doku ilişkileri ile herhangi bir anormal fonksiyonun mevcudiyeti, her bir hasta için uygun bir tedavi planının formüle edilebilmesi amacıyla ayrı olarak belirlenmelidir.

Sınıf II maloklüzyon tedavisinde göz önüne alınması gereken en önemli husus ise altta yatan iskeletsel bir problemin olup olmadığıdır (Ghafari ve ark., 2014). Sınıf II maloklüzyonun kendini büyüme ile düzeltemiyor olması sebebiyle,

büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda tedavinin amacı çeneler arasındaki iskeletsel ilişkinin normalleştirilmesidir (Stahs ve ark., 2008). Bu tür olgularda tedavi iki faz halinde yürütülür. İskeletsel uyumsuzluğun mandibular retrognatizm ile bağlantılı olduğu durumlarda tedavinin odak noktası, mandibular büyümenin tercih edilmesi veya fonksiyonel apareylerin kullanımıyla "stimüle edilmesi" iken, maksiller büyümenin sınırlandırılmasıdır (Ghafari ve ark., 2014). Maksiller prognatizm tanısının bulunduğu durumlarda ise tedavinin odak noktası genelde maksiller kompleksin distalize edilmesi ya da en azından stabilize edilmesidir (De Lima ve ark., 2014). Bu durum headgear kullanımı ile, bazı zamanlarda da diş çekimi (çoğunlukla premolar dişler) yoluyla mümkün olmaktadır (Ghafari ve ark., 2014). Büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda iskeletsel Sınıf II maloklüzyonun düzeltilmesine dair mekanizmada, alt ve üst çene arasında zamanla normal olarak gelişen büyüme farkının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Ghafari ve ark., 2014). Sınıf II maloklüzyonların düzeltilmesi için ideal zamanın pubertal gelişim atılımı olduğu ya da bu atılımın hemen sonrasında geçen zaman olduğu görülmektedir (Baccetti ve ark., 2000). Tedavi, kalıcı dentisyon döneminde tam veya parsiyel sabit ortodontik apareylerle ya da şeffaf plaklar ile tamamlanmaktadır.

Genel olarak bakıldığında, maksiller molar distalizasyon yöntemleri ile tedavi edilecek olan prospektif hastaların Sınıf II dental ilişki veya hafif iskeletsel Sınıf II ilişki sergilemeleri gerektiği bilinmektedir. Hastada mandibular ark uzunluğu uyumsuzluğu minimum derecede olmalı veya hiç olmamalı, bununla birlikte hasta tercihen mezofasiyal ya da brakifasiyal tipe sahip olmalı, geride büyüme potansiyeli kalmış olmalıdır.

- Arklar arası sabit apareyler, Sınıf II maloklüzyonların maksiller dişlerin geriye, mandibular dişlerin öne doğru hareket etmesiyle çekimsiz bir şekilde tedavi edilmesinde kullanılmaktadır. Bu apareyler Sınıf II elastiklere bir alternatif olarak görülebilmektedir. Bu apareylere yönelik yaygın bir endikasyon ise retrüze mandibular kesici dişler ve derin overbite'in görüldüğü Sınıf II dental oklüzyondur. Bu apareylerin ortopedik bir etkisinin bulunup bulunmadığı konusunda henüz ortak bir düşünce ortaya konulmamıştır.
- Molar dişlerin, sonra premolar dişlerin ve anterior dişlerin ardışık distalizasyonu. Büyük mandibular düzlem açılarında molar dişlerin distal hareketinin, ekstrüviz kuvvet bileşeni sebebiyle kapanışı açacak olmasından

dolayı küçük bir mandibular düzlem açısı uygun olmaktadır. Hasta iş birliğinin gerekli olduğu ve olmadığı apareyler dahil olmak üzere çeşitli türde apareyler kullanılmaktadır.

- Molar distalizasyon için büyüme modifikasyonuna ek olarak headgear kullanımı da mümkündür. Bu amaç doğrultusunda headgear 6 ay veya daha az bir süre boyunca, maksiller ark üzerinde geriye kalan dişlerin retraksiyonu için ark boşluğunun açılması amacıyla kullanılmaktadır.

Maksiller molar distalizasyonu, Sınıf II maloklüzyonun düzeltilmesinde en sık kullanılan çekimsiz tedavi yöntemidir. Söz konusu tedavi, ilk olarak maksiller molarları distalize ederek Sınıf I molar ve kanin diş ilişkileri oluşturmayı amaçlamaktadır. Maksiller molarların ikinci moların sürmeye başlamasından önce distal olarak daha kolay hareket edebilmesi sebebiyle, distal molar hareketinde maksiller ikinci molar dişlerin mevcudiyeti göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur (Feldmann ve Bondemark, 2015). Öte yandan, tedaviye ikinci molar dişin sürmeye başlamasından önce başlanıldığı durumlarda sürmeye başlamamış ikinci molar dişlerin birinci molar dişlere göre pozisyonunu değerlendirmek için radyografi incelemesinin gerektiği gömme (impaction) riski mevcuttur (Feldmann ve Bondemark, 2015). İkinci kalıcı molar dişlerin kronlarının, birinci molar diş köklerinin kök ucu üçlüsünün ötesinde sürmüş olduğu durumlarda optimal kondisyon kabul edilmektedir. (Bishara, 2006)

Headgear kullanımı ile ağız dışı çekme ise geleneksel yaklaşım olarak görülmektedir. Yüz arkı gibi bir headgear molar distalizasyon gibi sadece dişleri etkilememekte, tedavinin amaçlandığı dereceye bağlı olarak maksiller gelişimi de etkilemektedir (Papadopoulos, 2006). Apareyin uygulanması için hastanın büyük ölçüde uyum sağlaması gereklidir. İlaveten, maksiller çapraşıklığın sebep olduğu Sınıf II maloklüzyonlarda headgear kullanımı istenmeyen başa baş kesici diş ilişkilerine ve hatta anterior çapraz kapanış durumuna yol açabilmektedir (Papadopoulos, 2006). Hasta iş birliğine olan ihtiyacı asgari düzeye indirgeyen tedavi yöntemleri ve apareyler, daha güvenilir ve öngörülebilir bir tedavi alternatifi sunmaktadır.

Papadopoulos (2006), uyum gerektirmeyen molar distalizasyon apareylerini etki şekillerine ve ankraj türlerine göre intermaksiller ve intramaksiller altı kategori

şeklinde sınıflandırmıştır. İnamaksiller uyum gerektirmeyen apareyler intramaksiller veya sabit ankraja sahip olup, molar dişleri distal olarak hareket ettirmek için sadece maksilla üzerinde etki etmektedir (Papadopoulos, 2015). Söz konusu araçlar, palatal ya da bukkal olarak ya da her iki şekilde konumlandırılan fleksibl kuvvet sistemi, palatal olarak konumlandırılan rijit kuvvet sistemi ile, rijit bukkal kuvvet sistemi ile fleksibl palatal kuvvet sistemini birleştiren hibrit apareyler şeklinde, maksiller molar dişlerin distalize edilmesi için kullanılan kuvvet sistemine göre de sınıflandırılabilir. (Papadopoulos, 2015).

- Palatal olarak konumlandırılmış fleksibl distalizasyon kuvvet sistemli apareyler. Pendulum apareyler ve Distal Jet apareyler, palatal olarak konumlandırılmış fleksibl molar distalizasyon kuvvet sistemi kullanan, uyum gerektirmeyen apareyler arasında en yaygın olanlardır. (Papadopoulos, 2015).
- Bukkal olarak konumlandırılmış fleksibl distalizasyon kuvvet sistemli apareyler. Jones Jig apareyi, uyum gerektirmeyen Sınıf II ortodontik tedavide en yaygın kullanılan bukkal konumlu fleksibl distalizasyon kuvvet sistemli apareylerden biridir. Bimetrik Distalizasyon Arkı, Molar Distalizasyon Arkı ve Akriklik Distalizasyon Splintleri diğer apareylere örnek olarak gösterilebilir (Papadopoulos, 2015).
- Hem palatal hem de bukkal olarak konumlandırılmış çift fleksibl distalizasyon kuvvet sistemi bulunan apareyler. Bu grup içerisinde, NiTi açık sarmal yaylar ve köşeli tel apareyi ile bir arada kullanılan Piston ve Nance apareyleri şeklinde iki adet aparey sınıflandırılmıştır (Papadopoulos, 2015).
- Palatal olarak konumlandırılmış rijit distalizasyon kuvvet sistemli apareyler. Veltri Distalizörü ve New Distalizörü, palatal olarak konumlandırılmış rijit distalizasyon kuvvet sistemi olarak genişletme vidaları kullanan apareyler arasında en yaygın olanlardır (Papadopoulos, 2015).
- Bukkal olarak konumlandırılmış rijit distalizasyon kuvvet sistemi ile palatal olarak konumlandırılmış fleksibl sistemi birlikte kullanan hibrit apareyler. First-Class Apareyi, bukkal olarak konumlandırılmış bir rijit distalizasyon kuvvet sistemi ile palatal olarak konumlandırılmış fleksibl bir sistemin beraber kullanıldığı tek hibrit apareydir (Papadopoulos, 2015.) Apareyde bir vestibular çerçeve, bir palatal çerçeve ve dört adet bant mevcuttur (Leoni,



Floransa, İtalya). Apareyde bukkal ve palatal olarak konumlandırılmış bilateral vidalar şeklinde iki aktif birim bulunmaktadır.

- Molar rotasyon ve/veya distalizasyon için kullanılabilen transpalatal arklar. Transpalatal bar'ın ortaya çıkmasından bu yana, lehimli (sabit) ve çıkarılabilir birçok tasarım mevcut hale gelmiştir (Papadopoulos, 2015). Bu apareyler, distalizasyonun ve derotasyonun dental arkın her iki yanında da aynı olduğu durumlarda kullanışlı olmaktadır (Papadopoulos, 2015). Lehimli (sabit) ve çıkarılabilir çok sayıda tasarım mevcuttur.

İntermaksiller uyum gerektirmeyen apareyler intermaksiller ankraja sahip olup, mandibulayı daha ileri bir konuma getirmek için hem maksilla hem de mandibula üzerinde etki eder. Herbst apareyi, Jasper Jumper, Adjustable Bite Corrector Apareyi ve Eureka Yay bu apareylere örnek olarak gösterilebilir (Papadopoulos, 2005).

Yetişkinlerde iskeletsel ilişki sadece ortodontik tedavi ile anlamlı düzeyde iyileştirilememekte olup, bundan dolayı tedavi cerrahi ve ortodontik yaklaşımların kombinasyonu aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (Bishara, 2006). Maksiller birinci premolar dişlerin çekimi, iskeletsel uyumsuzluğu bulunan yetişkin hastalardaki overjetin düzeltilmesini mümkün kılmaktadır. Genel olarak, mandibular dentisyon hafif derecede çapraşık olmadığı sürece maksiller molar diş çekimi Sınıf II molar ilişkiyi düzeltmemekte, ikinci premolar dişlerin çekimi ve birinci molarların protraksiyonu molar ilişkisinin düzeltilmesine yardımcı olmaktadır (Bishara, 2006). Ancak, mandibular ark üzerindeki çekimler overjeti arttıracığından ve tedavinin tamamlanması için daha ileri üst anterior diş gerektireceğinden dolayı ciddi iskeletsel uyumsuzluğun olduğu Sınıf II Divizyon 1 olgularda sıklıkla kontrendike olmaktadır. Sınıf II Divizyon 2 maloklüzyonun tedavisi için çekimsiz bir yaklaşım endikedir. Sınıf II Divizyon 2 maloklüzyonlu ve fasiyal ve iskeletsel problemlerin (brakisefalik fasiyal patern eğilimli derin kapanış ve zayıf yumuşak doku profili) de bulunduğu yetişkin hastalarda ortodontik tedavi ve cerrahi müdahalenin birlikte kullanıldığı bir yaklaşım en uygun düzeyde bir yaklaşım olabilir (Yousefian ve ark., 2005).

Yetişkin hastalarda molar distalizasyon, maksiller birinci molarların ikinci ve üçüncü molar dişlerin tamamen sürmesinden sonra distal olarak hareketinin zorluğu, mandibular gelişimin ve kemik matürasyonunun yokluğu sebepleri başta olmak üzere

birçok sebepten dolayı zorlu bir süreç olarak değerlendirilmiştir (Fontana ve ark., 2015).

### **2.2.1 Konvansiyonel apareyler ile molar distalizasyonun sınırlamaları ve tedavi etkinliği**

Headgear, Sınıf II maloklüzyona sahip büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Headgear'ın hem maksiller gelişimi inhibe ettiği hem de üst moları distalize ettiği görülmektedir. Headgear ile tedavinin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla en az üç adet meta analizli sistematik derleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Maksillanın anterior büyümesini inhibe etmeyi amaçlayan bu tedavinin etkinliği uzun yıllardır tartışmalara konu olmuştur. Meta analizli bir sistematik derleme çalışması, Sınıf II maloklüzyona sahip büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda fonksiyonel apareyli (aktivatörler veya twin blok), ağız dışı çekme veya kombine apareyli (hem fonksiyonel hem de ağız dışı çekme bileşenli apareyler) tedavi sonrası kısa vadeli iskeletsel ve dental etkileri değerlendirmiştir (Antonarakis ve Kiliaridis, 2007). Yazarlar, Sınıf II maloklüzyona sahip büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda fonksiyonel apareylerin ve/veya ağız dışı çekme işleminin uygulanmasında, değişimin en çok iki çeneden birinde belirgin olduğu (aktivatörler için mandibula ve ağız dışı çekme için kombine apareyler ve maksilla) sonucuna varmıştır. Twin blok grubu her iki çenede de değişiklik göstermiştir. (Antonarakis ve Kiliaridis, 2007). Sınıf II maloklüzyonlu büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda headgear ile tedavi sonrası oluşan kısa vadeli iskeletsel ve dental etkiler meta analizli bir sistematik derleme çalışmasında değerlendirilmiştir (Nucera ve ark., 2017). Yazarlar sadece randomize ve randomize olmayan prospektif deneylerden türetilmiş verileri kullanmıştır. Nihai analize sadece 6 adet uygun deney dâhil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, ortalama SNA açısındaki anlamlı düşüş ve kısıtlanmış maksiller anterior yer değiştirmeden de görüldüğü üzere headgear yönteminin sagittal maksiller gelişimi inhibe etmekte etkili olduğu ortaya çıkmıştır (Nucera ve ark., 2017). Çalışmada apareyin sagittal mandibular gelişimde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Dental etkiler bakımından, headgear ile tedavi edilmiş hastalarda overjet değerinde anlamlı derecede (ortalama overjet değerinde her yıl -1,31 mm azalma) gözlemlenmiştir. Öte yandan, overbite üzerinde (ve dolayısıyla dikey boyutta) anlamlı herhangi bir etki görülmemiş olup, palatal düzlem inklinasyonu tespit edilememiştir (Nucera ve ark.,

2017). Meta analizli başka bir sistemik derleme çalışması ise kontrollü klinik çalışmalar üzerinden erken headgear tedavisinin etkilerini değerlendirmiştir (Papageorgiou ve ark., 2016). Erken headgear tedavisi kısa vadede SNA açısında anlamlı bir azalma ile ilişkilendirilmiştir. Yazarlar, tedavinin maksiller prognatizmlı Sınıf II hastalarda kısa vadede maksilla üzerindeki gelişimde değişime sebep olduğu sonucuna varmıştır (Papageorgiou ve ark., 2016).

Ağız dışı çekme yönteminin kullanımının, maksiller ikinci moların sürmesinden önce özellikle birinci molar distalizasyonu bakımından daha etkili olduğu görülmüştür. Maksiller ikinci molar dişin sürmesinin tamamlanmasından sonra distalizasyon daha yavaş bir hızda gerçekleşmektedir (Shpack ve ark., 2014).

Uyum gerektirmeyen ağız içi apareylerin kullanımı, büyüme ve gelişim döneminde olmayan hastalarda molar distalizasyon için daha etkili olmaktadır. Elde edilen sonuç genellikle distal kron hareketinin ve devrilme hareketinin bir kombinasyonudur. Uyum gerektirmeyen intramaksiller apareylerde ankraj kaybı molar distalizasyon esnasında yaygın olarak ortaya çıkan bir durumdur. Premolarların mesial hareketi ve kesici dişlerin labial devrilmesi, genellikle molar distalizasyonun olumsuz etkileri olarak ortaya çıkmaktadır. İlaveten, uyum gerektirmeyen ağız içi apareylerin kullanımında dikey boyutta hafif bir artış da görülmektedir.

2020 yılında yayınlanan bir sistematik derleme çalışmasında sabit uyum gerektirmeyen ortodontik araçların molar distalizasyonda ve ilgili diğer diş hareketlerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Quinzi ve ark., 2020). Çalışmada ortaya çıkan başlıca sonuçta, sınıf II ilişkinin düzeltilmesi için üst birinci molar distalizasyonuna ihtiyaç duyan, büyüme ve gelişim döneminde olan ve olmayan hastalarda molar distalizasyon ve devrilme için tedavi sonucu bakımından minimal düzeyde değişkenlik görülmüş olup, bununla birlikte ankraj kaybı bakımından değişken bir etki gözlemlenmiştir (Quinzi ve ark., 2020). Bundan dolayı, farklı bir tasarımın ankraj kaybındaki etkiyi değiştirebileceği düşünülmektedir.

Molar distalizasyon, büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda yaygın olarak uygulanmaktadır ancak yetişkin hastalara dair az sayıda çalışma yayınlanmıştır. Yayınlanan çalışmaların çoğu olgu raporlarıdır. Yetişkin bir hasta,

maksiller molarların distalize edilmesi için önce Jones Jig ve ısırma plağı ile, ardından premolarların ve kanin dişlerin retraksiyonuna destek olma amacıyla straight-pull headgear ile tedavi edilmiştir. Maksiller molar distalizasyon ve mandibular molar mesializasyon ile Sınıf II düzeltimi elde edilmiştir (Vaughan, 1999). Sabit bir aparey ile J-Hook headgear kullanımı ile maksiller molar distalizasyon sayesinde sagittal molar ilişkide anlamlı derecede düzelme gerçekleşmiştir (Horiuchi ve ark., 2006). Lateral sefalometrik çakıştırmaya göre, birinci maksiller moların paralel distalizasyonu, üst moların kron ve kök seviyelerinde distalizasyon miktarlarının sırasıyla 5 mm ve 4,5 mm olması sebebiyle, anlamlı distal kron devrilmesi olmadan gerçekleşmiştir (Horiuchi ve ark., 2006). Headgear ile birlikte sabit aparey kullanılan yetişkin bir hastanın yayınlanmış olgu raporunda bu kombinasyon sadece ankraj kontrolü için kullanılmamış, aynı zamanda bütün maksiller arkı distalize etmede de kullanılmıştır (Li ve ark., 2021). Son oklüzyondan hareketle yazarlar, güçlü hasta iş birliği ile birlikte, headgear'ın yetişkin hastalarda molar distalizasyon için mükemmel ve çok etkili bir seçenek olabileceği sonucuna varmıştır (Li ve ark., 2021). Sınıf II yetişkin hastalarda intramaksiller mekaniklerin kullanıldığı konvansiyonel ankraj molar distalizasyon tedavisi sonrasında oluşan dentoalveolar ve iskeletsel değişiklikler, retrospektif çok merkezli bir çalışmada değerlendirilmiştir (Fontana ve ark., 2015). Ağız içi distalize edici apareylere ek olarak (Pendulum, Distal Jet, Fast Back) hastalar ayrıca sıkıştırılmış NiTi sarmallar ve Loca-System tellerle de tedavi edilmiştir.

### **2.2.2 Mini vida destekli apareyler ile maksiller molar distalizasyon**

Yetişkin hastalarda maksiller molar distalizasyon iskeletsel ankraj cihazları (TADs) ile elde edilebilmektedir. Modifiye C-Palatal Plağın (MCCP) yetişkinlerde maksiller dentisyonun başarılı bir şekilde distalize olmasıyla sonuçlandığı rapor edilmiştir (Kook ve ark., 2014). Mini vidalar distalizasyon için seçilmiş biyomekanik sisteme göre maksiller kemik üzerinde farklı bölgelere yerleştirilmiştir. Midpalatal sütür çevresindeki yerleştirme noktaları, diş kökünden uzak olmaları sebebiyle daha güvenli olmaktadır. Midpalatal sütürün halen açık olabileceği büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda sütüra yakın bir konum tercih edilebilmektedir (Ghislanzoni ve Piepoli, 2012). Yakın zamanda, Sınıf II maloklüzyonda mini vida destekli apareyin maksiller molar distalizasyon üzerindeki etkilerini inceleyen bir sistematik derleme çalışması yayınlanmıştır. Yazarlar, mini vida destekli apareylerin asgari

düzeyde distal devrilme ve ankraj kaybı sebebiyle molar distalizasyonda etkili olduğu sonucuna varmıştır (Mohamed ve ark., 2018).

### 2.3 Şeffaf Plak Tedavisinin Gelişimi

Ortodonti alanında şeffaf plak konseptinin çıkışı 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Isıl şekillendirme ile oluşturulmuş apareyler dişlerin hareket ettirilmesinde 1940'lı yıllardan bu yana kullanılmaktadır (Morton ve ark., 2017). Bu apareyler ile elde edilen diş hareketleri kronların devrilmesi ve küçük rotasyonlar ile sınırlı kalmıştır. Bu apareyler ile gerçekleştirilen hareketlere dair mekanik unsurlara ait bilinenler de sınırlı olmuştur. Align Technology, 1997 yılında Invisalign ile estetik ve rahat kullanımlı bir plak apareyi sunmayı amaçlamıştır. Align Technology ve araştırmacılar arasında gerçekleşen iş birliği geçen zaman zarfında apareyin kabiliyetini ve tedavi edilebilen maloklüzyonların karmaşıklığını büyük orada arttırmıştır. Günümüzde Invisalign 90 ülkede mevcut olup, hekimler tarafından 3,5 milyon hastanın tedavi edilmesi için kullanılmıştır (Morton ve ark., 2017).

Şeffaf dental plaklar, farklı aşamalar için plak modellerinin geliştirilmesiyle bozuk sıralı dişlerin iyileştirilmesi için estetik bir çözüm olarak ortodonti alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bajaj ve ark., 2018). Üretim yöntemlerinden hareketle şeffaf plak sistemleri iki geniş kategoriye göre gruplandırılabilir: Bunlar termoplastik malzemeler kullanılarak manuel kurulum ile yapılan plaklar ile plak tasarımı ve üretimi için CAD-CAM teknolojilerinin kullanıldığı sistemler ile üretilen plaklardır. Manuel kurulum, dişlerin el yordamıyla yeniden konumlandırılmasının, mum ayarının ve vakum ile şekillendirilmiş pekiştirme apareylerinin gerekli olduğu yoğun işçilik gerektiren bir süreçtir (Tamer ve ark., 2019). Öte yandan, bu yaklaşım uygun maliyetli olup tedavi sonrası takip sürecini kolaylaştırmaktadır (Tamer ve ark., 2019). Çalışma kalıbı genellikle polivinil siloksan malzeme ile alınan ölçüler kullanılarak geliştirilmektedir. Hareket ettirilmesi gereken dişler 0,25 mm testere aracılığıyla kalıptan çıkartılmaktadır. Sonrasında hedeflenen dişler istenilen konuma getirilmekte ve doldurma mumu (block-out wax) ile sabitlenmektedir. Son aşamada ise plastik levhalar basınçlı kalıp makinesi veya vakum makinesi yardımıyla kurulum modeli üzerinde biçimlendirilmektedir. Bir adet ölçü seti ile iki ya da üç adet plak üretilmektedir. Plaklar farklı kalınlıklarda oluşturulmaktadır (0,020 inç, 0,025 inç veya 0,030 inç). Her bir plak 10 ila 15 gün

arasında kullanılmaktadır. Çalışma kalıbı için yeni bir plak setinin oluşturulması için her muayenede yeni bir ölçü alınmaktadır.

Dijital tedavi planlaması, farklı tedavi seçeneklerinin bilgisayar yazılımı üzerinde hazırlanmasına imkân tanımaktadır. Dijital tedavi planlaması, diş hekimlerinin ortodontik ve disiplinler arası tedavileri planlama yöntemleri bakımından devrim niteliğinde olmuştur. İlâveten, dijital tedavi planlaması daha yüksek doğruluk seviyelerinde ölçümlerin yapılmasına olanak tanıyarak ortodonti ile bağlantılı restoratif prosedürlerin doğru bir şekilde hazırlanmasını da sağlamıştır (Morton ve ark., 2016). Ek olarak, kullanılan yazılımlar sayesinde her türlü tedavi yaklaşımı görselleştirilip karşılaştırılabilmekte, böylelikle tedavi alternatiflerine dair karar verme süreci kolaylaştırılmaktadır. Günümüzde plak yazılımları ilk kapanış pozisyonunu, ark üzerindeki dişlerin istenen nihai pozisyonunu ve klinisyen tarafından sağlanan reçeteye bağlı olarak diş hareketlerinin evrelendirilmesini otomatik olarak gerçekleştirmektedir (Morton ve ark., 2016). Bu süreç klinisyenin tedavi süreci boyunca tedavi planını değiştirebilmesini mümkün kılmakta, diş hareketini takip edebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıyeten, bir ağız içi tarayıcının kullanılması ile tarama verilerinin herhangi bir otomatik kapanış ayarlama aracına ihtiyaç duyulmadan doğrudan kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Morton ve ark., 2016). Evreleme, diş hareketlerinin ilk pozisyondan son pozisyona kadar adım adım ilerletilmesi olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, Sınıf II Divizyon 2'deki bilinen haliyle retrüze kesici dişlerin bulunduğu bir olguda algoritma, diş hareketinin ilk olarak proklinasyon şeklinde olmasını, sonradan dişlere intrüzyon uygulanmasını ve sonrasında da üst kesici dişlerde retraksiyonun elde edilmesini sağlayacak şekilde evreler oluşturmakta, böylelikle bu hareketlerin aynı anda gerçekleştirilmesine kıyasla daha öngörülebilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Morton ve ark., 2016). Sınıf II olgulara dair başka bir örnek olarak, aynı anda en fazla iki dişin hareket ettirilmesi koşuluyla dişlerin teker teker hareket ettirildiği evreleme paterni olan "ardışık distalizasyon" verilebilir. Uzun süren tedavi sürecine rağmen ardışık distalizasyonun etkili olduğu doğrulanmıştır (Morton ve ark., 2016).

2005 yılında, Lagrave`re ve Flores-Mi (2005) şeffaf plaklar ile ortodontik tedavinin etkinliğini değerlendiren ilk sistemik derleme çalışmasını yayınlamıştır. Çalışmanın kabul kriterlerine sadece iki adet çalışma uyum göstermiş olup, dâhil

edilen çalışmaların metodolojik sorunlar içermesinden dolayı yazarlar bahse konu zaman içerisinde bu tür bir ortodontik tedavinin etkinliği bakımından herhangi bir anlamlı çıkarımda bulunulamayacağı sonucuna varmıştır (Lagrange`re ve Flores-Mi, 2005). 2014 yılında ise şeffaf plak tedavisi hakkında mevcut bulgulara dair bilinenleri güncellemek amacıyla başka bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Rossini ve ark., 2014). Çalışma için 11 adet çalışma tespit edilmiş; bu çalışmalardan dokuzunun gözlemsel (prospektif veya retrospektif tasarımlı) çalışma olduğu, geri kalan iki çalışmanın ise randomize kontrollü deneyler olduğu görülmüştür. Yazarlar plakların basit maloklüzyonlarda kullanımının önerildiğini göstermiştir (Rossini ve ark., 2014). Zaman ve materyal sertliğinin CAT ortodontik hareketin etkinliği üzerinde etkilerinin araştırılması amacıyla 51 hasta üzerinde gerçekleştirilmiş olan bir randomize klinik çalışmada plakların dikey bukkal oklüzyonun kontrolünde başarı gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Peer Assessment Rating [PAR] skoru: 5,0) (Clements ve ark., 2003).

Kravitz ve ark. (2009) 23 yetişkin hastanın bulunduğu örneklem grubunda anterior bölgede öngörülen ve elde edilen hareketlerin ölçümlerinin niceliğini belirlemiştir (Kravitz ve ark., 2009). 4 En yüksek doğruluk seviyesinde intrüzyon maksiller (%45) ve mandibular (%47) orta kesici dişlerde elde edilmiştir. En düşük doğruluk seviyesinde intrüzyon ise maksiller lateral kesici dişlerde (%33) elde edilmiştir. Denenmiş ortalama doğru intrüzyon miktarı 0,72 mm olarak tespit edilmiştir (Kravitz ve ark., 2009). Doğru kesici diş intrüzyonu, derin overbite ve dikey büyüme eğilimlerine sahip hastalarda tercih edilen bir tedavi yöntemidir (Burstone, 1977). Büyüme ve gelişim döneminde olmayan olgularda elde edilen ortalama doğru intrüzyon değerlerinin devamlı ark tekniğinde elde edilen değerler ile kıyaslanabilir olduğu görülmüştür. Bu bulguya dayanarak Rossini, şeffaf plakların hafif overbite uyumsuzluğu bulunan basit maloklüzyonların tedavisi için tavsiye edilebileceğini öne sürmüştür (Rossini ve ark., 2014). Khosravi ve ark. şeffaf plakların overbite kontrolünde göreceli olarak başarılı olduğunu belirtmiştir (Khosravi ve ark., 2017). Yazarlar, derin kapanışlı hastalarda ortalama 1,5 mm değerinde overbite azalması tespit etmiştir (Khosravi ve ark., 2017).

Şeffaf plaklar ile en az doğruluk seviyesinin elde edildiği diş hareketi ekstrüzyon olmuştur (%30 öngörülebilirlik) (Kravitz ve ark., 2009). Maksiller (%18)

ve mandibular (%25) orta kesici dişler en düşük doğruluk seviyesine sahip olmuştur. Denenmiş ortalama ekstrüzyon miktarı 0,56 mm olarak tespit edilmiştir. Etkililikte görülen söz konusu eksiklik apareyin doğasında bulunan dişleri anlamlı bir şekilde ekstrüde etmek için yeterli kuvvetleri oluşturmaya dair kısıtlaması olabilir, bundan dolayı şeffaf plaklar açık kapanışın tedavisi için önerilmeyebilir (Rossini ve ark., 2014).

Maksiller kanin dişlerde rotasyon doğruluğu %32 olup, maksiller orta kesici dişler (%55) ve mandibular lateral kesici dişlere (%52) ait seviyelerden daha az olmuştur. En düşük doğruluk seviyesi mandibular kanin dişlerde (%29) tespit edilmiştir. 15'dan büyük rotasyonlar için maksiller kanin hareketi doğruluğu anlamlı derecede azalmıştır (Kravitz ve ark., 2009).

#### **2.4 Sınıf II maloklüzyonların şeffaf plaklar ile tedavisi**

Büyüme ve gelişim dönemindeki bir hastada iskeletsel maloklüzyonun mevcut olması, iskeletsel uyumsuzluğun giderilmesi için gelişim modifikasyonunu gerekli kılmaktadır (Tai, 2018). Bu maloklüzyonun büyüme ve gelişim dönemindeki hastalardaki en yaygın özelliği mandibular retrüzyondur (Julyan ve Coetsee, 2018). Bilindiği üzere, büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda Sınıf II iskeletsel uyumsuzluğa yönelik gelişim modifikasyonu yöntemleri arasında servikal ve oksipital headgear; Bionator, Frankel veya Twin Blok gibi fonksiyonel apareyler ve MARA (Mandibular Anterior Repositioning Appliance), Carriere ve Forsus gibi sabit Sınıf II düzelticiler yer almaktadır (Tai, 2018). Bahse konu durumlarda plaklar tedavinin ikinci aşamasında, gelişim modifikasyonu gerçekleştirildikten sonra maloklüzyonda kalmış olan diğer uyumsuzlukların düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Align Technology™ (San José, CA, ABD) ise büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda mandibular retrognatili Sınıf II iskeletsel maloklüzyonların düzeltilmesinde büyük ümit vadeden mandibular ilerletme (MA) özelliğini ortaya çıkarmıştır (Tai, 2018). Aparey, mandibulayı ileri bir konumda tutan plaklara entegre edilmiş hassas kanatlar ile bir şeffaf plaktan oluşmaktadır. Apareyin bu amaç dahilindeki etkinliğine yönelik az sayıda çalışma yayınlamıştır. MA protokolünün mandibular retrüzyonlu Sınıf II hastalarda kullanılmasına dair klinik gereksinimler arasında en az 6 mm'lik overjet, en az üçte ikisi sürmüş kalıcı birinci molar dişler ile iki veya daha fazla kesici diş, aktif MA fazı sırasında hassas kanatlar altında ve



yanında mevcut ve sabit dişler ile bukkal kanatlar için yeterli kron büyüklüğü ve arklar arası boşluk yer almaktadır (Giancotti ve ark., 2020).

Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda retrüviz mandibulaya sahip iskeletsel Sınıf II maloklüzyonun tedavisi için mandibular ilerletme özelliğinin kullanıldığı iki olgu raporu, bir olgu serisi ve iki klinik çalışma tespit edilmiştir. Büyüme ve gelişim dönemindeki Sınıf II maloklüzyona sahip bir çocuğun olgu raporunda, mandibula gelişiminin kolaylaştırılmasının yanı sıra aynı zamanda dentisyonun hizalanması amacıyla maksiller arkın ekspansiyonu ve Spee eğrisinin düzeltilmesi için Invisalign mandibular ilerletme cihazı kullanılmıştır. Tedavinin sonunda overbite, overjet, molar ilişki ve fasiyal profilde düzeltme elde edilmiştir (Brabant, 2018). Büyüme ve gelişim döneminde olmayan bir hastaya ait diğer bir olgu raporunda, mandibular ilerletme fazından önce şeffaf plakların kullanıldığı bir sıralama fazı yer almıştır. MA öncesi fazda üst kanin dişlerin arka doğru sıralanması ve tüm dişlerin hizalanması için alanın yaratılması amaçlanmıştır. Kalıcı üst kanin dişler için, üst kesici dişlerde asgari düzeyde flaring formu ile yeterli boşluğun hazırlanması amacıyla üst posterior dişler distalize edilmiştir. Sınıf II ankraj elastiklerinin mevcut olduğu distalizasyon mekanikleri üst kesici dişlerde flaring'in önlenmesi için planlanmıştır. Çok sayıda distalizasyon evreleme modeli mevcuttur; bu olguda standart bir yaklaşım olan, herhangi bir zamanda 2 dişin distalizasyonu yaklaşımı tercih edilmiştir (Iwasiuk, 2020). Söz konusu olguda ektopik kanin dişler de görülmüş olduğundan bağlı butonlar ve Sınıf II elastikleri kanin dişlerin yerlerine yönlendirilmesinde yardım amaçlı kullanılmıştır. Sınıf II elastikler ayrıca ilave bir anteroposterior düzeltmenin gerektiği anda, MA sonrası sonlandırma fazında da kullanılmıştır (Iwasiuk, 2020). Oklüzyonun detaylandırılması için mandibular ilerletme sonrasında ilave plaklar kullanılmıştır (Iwasuik, 2020). Bir olgu serisinde, karışık dentisyonlu, retrognatik mandibulalı iskeletsel Sınıf II ilişki tanısı konulmuş 10 yaşındaki iki hasta MA apareyi ile tedavi edilmiştir (Giancotti ve ark., 2020). Aktif tedavi süresi 10 ay sürmüş olup, tedavi sonunda molar Sınıf II ilişki ve ciddi overjet düzeltilmiştir (Giancotti ve ark., 2020). Maksiller kesici diş inklinasyonu azalırken, mandibular kesici diş inklinasyonu artmıştır. İlk hastada, SN/GoGn açısındaki azalmayla görüldüğü üzere dikey iskeletsel uyumsuzlukta bir iyileşme görülürken, diğer hastada bu azalma görülmemiştir (Giancotti ve ark., 2020).

Retrospektif sefalometrik bir çalışmada Mandibular İlerletme özellikli Invisalign ile tedavi edilen Sınıf II maloklüzyonlardaki kısa vadeli iskeletsel, dental ve yumuşak doku etkileri, Twin Blok tedavisi ile karşılaştırılmıştır (Blackham, 2020). İkinci faz şeffaf plak tedavisi veya tam sabit köşeli tel apareyler ile tamamlanmıştır. Mandibular ilerletme grubunda overjet, üst kesici dişlerin retraksiyonu ve alt kesici dişlerin protrüzyonu ile düzeltilmiştir (Blackham, 2020). Ancak, alt kesici dişler Twin Blok grubunda anlamlı derecede procline ve protrüde olmuştur. Yazarlar, mandibular ilerletme apareyinin olduğu tedavinin alt kesici dişlerde Twin Blok apareyine kıyasla daha az proklinasyona sebep olacağı sonucuna varmıştır (Blackham, 2020). Caruso ve ark. (2021), Mandibular İlerletme apareyi ve twin blok apareyinin büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda Sınıf II iskeletsel tedavi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için retrospektif bir çalışma gerçekleştirmiştir (Caruso ve ark., 2021). Her iki aparey, sebebi SNB açısındaki artışa bağlanabilecek şekilde iskeletsel Sınıf II maloklüzyonların düzeltilmesinde etkili olmuşlardır. Maksiller pozisyon bakımından SNA açısı üst kesici dişlerin retroinklinasyonu ile ilişkili olarak sadece twin blok grubunda azalma göstermiştir (Caruso ve ark., 2021). Şeffaf plaklar, üst kesici dişlerin inklinasyonunda mükemmel düzeyde kontrol sağlamıştır (Caruso ve ark., 2021).

Büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda hafif ve psödo Sınıf II maloklüzyonlar için maksiller molar rotasyon, molar distalizasyon veya plak tedavisi molar ilişkiyi iyileştirebilir. Büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda Sınıf II intermaksiller elastiklerin kullanımı başlıca dentoalveolar kompanzasyonun kesilmesi sebebiyle maloklüzyonun düzeltilmesine katkı sağlamakta, molar distalizasyon esnasında ankrajı ilaveten desteklemektedir (Bowman ve ark., 2015). Daher tarafından savunulan elastik destekli ardışık molar distalizasyon, plakların kullanımı ile klinik başarı sergilemiştir (Daher, 2013). Daher 4 mm veya daha az Sınıf II maloklüzyonun Invisalign kullanılarak ardışık distalizasyon ile tedavi edilebileceğini öne sürmüştür. Yazar, ardışık distalizasyonu üst posterior dişlerin birer birer distal olarak hareketi olarak tanımlamıştır. İkinci molar veya son posterior diş orta dereceye kadar distalize edildiği zaman bir sonraki dişin distalizasyonuna başlanmaktadır (Daher, 2013). Yazara göre distalizasyon, gençler ve yetişkinler için uygundur ancak büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda ardışık distalizasyonun programlanması her zaman gerekli olmamaktadır. Elastiklerin kullanımına genellikle

birinci distal diş orta seviyede distalize edildiğinde ve ikinci dişin distalize edilme zamanında başlanılmıştır (Daher, 2013). Sınıf II elastiklerin kullanımına bu zamanda başlanması ankrajı arttırmakta olup, dişlerin hareketinin kolaylaştırılması ile kapanışın düzeltilmesine ek olarak anterior segmentin ilerleme ihtimalini en aza indirmektedir (Daher, 2013).

Salt elastik destekli Sınıf II düzeltmenin öngörülebilirliği hakkındaki endişeler ortodonti uzmanlarının molar distalizasyonun sonrası için plak tedavisini düşünmesine sebep olmuştur (Bowman ve ark., 2015).

Dental Sınıf II maloklüzyon veya çok hafif iskeletsel uyumsuzluk bulunan, büyüme ve gelişim döneminde olmayan hastalarda tedavi Sınıf II elastik ilaveli şeffaf plaklar ile maksiller molarların ardışık distalizasyonu ile gerçekleştirilmektedir (Tai, 2018). Her ne kadar yetişkin hastalarda elastik kullanımı üzerinde bir görüş birliği olmamasına karşın, yetişkin hastalar üzerinde Sınıf II düzeltmenin gelişimden ziyade başlıca diş hareketinden kaynaklanmasından dolayı daha fazla ankraj kontrolü gerekmektedir (Bowman ve ark., 2015).

Patterson (2021) yetişkin Sınıf II hastalarında plak kullanımı ile tedavinin etkisini ölçmüştür. End-on ve full-step molar dişlere sahip Sınıf II hastalar ve unilateral Sınıf II hastalar çalışmaya dâhil edilmiştir. İlk plak setinin ve Sınıf II elastiklerinin yaklaşık 7 ay boyunca kullanımıyla tedavi tamamlanmış olup, sonrasında diş hareketi doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada overjetin azalması bakımından herhangi bir anlamlı Sınıf II düzeltmesi elde edilmemiş, tespit edilen overbite düzeltmesi ise yazılım yordamıyla öngörülen seviyenin yarısından az olmuştur (Patterson ve ark., 2021).

## **2.5 Plak tedavisi üzerine yapılan biyomekanik çalışmalar**

Maloklüzyonların şeffaf plak tabanlı tedavisi üzerine yayınlanmış çalışmaların çoğunluğu, apareyin biyomekanik özelliklerine dair net bir açıklama buldurmeyen, başlıca tedavi süreci boyunca edinilen gözlemleri, tedavinin etkinliğine dair değerlendirmeleri ve klinik sonuçları ortaya koyan çalışmalardır.

Şeffaf plakların diş yüzeylerine nasıl bir kuvvet ve moment uyguladığına dair bilgi, daha verimli ortodontik diş hareketinin ve daha iyi tedavi sonuçlarının elde

edilmesini mümkün kılacak optimize edilmiş apareylerin tasarlanabilmesini sağlayacağından dolayı önem taşımaktadır (Barone ve ark., 2017).

### 2.5.1 Sonlu Eleman Metodu çalışmaları

Analitik ve numerik yaklaşımlar, olayları fiziki bir örnek ile doğrudan ölçmek yerine tahmini bir geometri ve kullanıcı tanımlı özellikleri kullandığından dolayı deneylere karşı zıt bir haldedir (Romanyk ve ark., 2020). Söz konusu modeller geometri, sistemin deforme olma şekli ve materyal özellikleri gibi varsayımlara dayanmaktadır; analizden doğru sonuçların çıkarılabilmesi için bahse konu varsayımların uygun bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Materyal özellikleri ve hususları (ör. lineer elastik, izotropik, homojen vs.) gerilmeden oluşan stresin doğrudan hesaplanmasında kullanılan temel denklemleri etkilemektedir (Romanyk ve ark., 2020). Özellikle bilgisayar gücü ve yazılım kullanışlılığı bakımından yaşanan gelişmeler sayesinde sonlu eleman metotları, araştırmacıların diş hekimliği ve ortodonti alanıyla ilgili olan problemlerin de yer aldığı birçok katı mekaniği problemini çözebilmelerine olanak tanımıştır (Romanyk ve ark., 2020). Söz konusu gelişmeler sayesinde, ortodontik tedavide kemiğin yeniden şekillenmesine bağlı periodontal ligamentin mekanik tepkisi veya ortodontik ark tellerinin lineer olmayan mekaniğinin incelenmesi gibi problemlerin taşıdığı zorluk oldukça azalmıştır. Genel olarak, numerik simülasyon metotları da plak ile tedavi esnasında görülen biyomekanik tepkiye dair nicel veri sağlayabilmektedir. Sonlu eleman metodu ortodontik biyomekanizmanın analiz edilmesi ve aparey tasarımının optimize edilmesine yönelik bilhassa yararlı bir çözüm teşkil etmektedir.

Fonksiyonel yükleme sonrasında oral ve dental yapılarda oluşan stres ve gerilmelerin analizi 75 yıldan fazla bir süredir rapor edilmektedir (Romanyk ve ark., 2020). PubMed üzerinde 2008 yılından günümüze kadar olan zaman aralığında [(“finite element analysis” OR “finite element model” OR “finite-element” OR “FEA”) AND “Dentistry”] şeklindeki arama terimleri ile yapılan literatür aramasında 1866 makale tespit edilmiştir. Ortodonti alanında halihazırda yayınlanmış olan çalışmaların çoğunluğu sabit teller ile gerçekleştirilen tedaviler üzerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, modelleme süreci şeffaf plak kullanımında mevcut olan sürece kıyasla oldukça büyük bir fark göstermektedir (Barone ve ark., 2014). Yük uygulama bölgesi, iki metot arasındaki ana fark olarak kabul edilebilir

(Barone ve ark., 2014). Sabit apareylerde kuvvetlerin önceden belirlenmiş noktalara odaklandırılarak basitleştirilebilmesi ve tel geometrisinin yok sayılması mümkünken, şeffaf plaklarda kullanılan geometri ve materyaller temas yüzeyinin geneline aktarılan kuvvetten sorumlu olmaktadır. Dental yapıların mekanik özellikleri ağırlıklı olarak temel lineer elastik modellerin kullanımı ile şekillendirilmiştir. Sert dokularda (kemik ve diş) bu durum kabul edilebilirken, PDL'nin mekanik tepkisini açıklamaya yeterli olmayabilir (Dorow ve ark., 2003). Kompleks yapısı sebebiyle PDL'nin mekanik davranış biçiminin anlaşılması ve modellenmesi zordur. PDL biyomekaniği alanındaki araştırmalar temel olarak dört yapısal temel modelleme yaklaşımı üzerine odaklanmıştır: lineer elastik modeller, bilineer elastik modeller, çok fazlı modeller ve viskoelastik modeller (Fill ve ark., 2012). Lineer elastik modellere dair araştırmacılar tarafından hesaplanan elastisite modülünde ağırlıklı olarak 0,059 MPa ile 1750 MPa arasında değişen büyük bir farklılık bulunmaktadır (Fill ve ark., 2012). Bununla birlikte, çok fazlı modeller ve viskoelastik modellerin PDL davranışını tahmin etmede daha iyi olduğu görülmektedir (Barone ve ark., 2014). Ortodontik tedavilerde şeffaf plakların davranış biçimleri hakkında çok az sayıda çalışma yayınlanmıştır.

## 2.6 Şeffaf plaklar ile molar distalizasyon

Mevcut durumda şeffaf plaklar Sınıf II molar ilişkisinin maksiller molarların distalizasyonu ile düzeltilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Retrospektif bir klinik çalışmada molar distalizasyon, kesici diş tork hareketi ve premolar derotasyona kıyasla yaklaşık %87'lik bir değerle en yüksek doğruluğu sunmuştur (Simon ve ark., 2014). Doğru evrelemenin (hareket plağı) uygulanmasına karşın ataşmanların kullanılmamış olması klinik verimliliği anlamlı derecede etkilemiştir (Simon ve ark., 2014). Çoğunlukla olgu raporları olan geçmiş çalışmalar, Sınıf II maloklüzyonların ataşman dahi kullanılmadan, plak kullanımı ile üst molar distalizasyon yoluyla düzeltilme ihtimalini ortaya koymuştur (Schupp ve ark., 2012; Boyd, 2007). Biri olgu kontrolü, diğeri ise retrospektif kohort çalışması olan iki çalışmada, kompozit ataşmanların kuvvet seviyesini ve diş hareketini etkilediği, molar distalizasyonun etkinliğini arttırmada ise önem taşıdığı tespit edilmiştir. (Garino ve ark., 2016; Ravera ve ark., 2016). Dikey ataşmanların kullanılması üst molar dişlerin, distalize edilmiş molar dişlerde anlamlı derecede devrilme yaşanmadan distal hareketine sebep olmuştur (Ravera ve ark., 2016). Bu klinik çalışmalarda gövdesel paralel

moment, ölçüm hatalarına müsait olan tedavi öncesi ve sonrası sefalogramların üst üste koyulması yoluyla değerlendirilmektedir.

### 2.6.1 Sonlu eleman çalışmaları

Plaklar ile paralel diş momentinin biyomekaniği ve kompozit ataşmanların yer değiştirme paternlerinin değerlendirilmesi için sonlu eleman analizleri kullanılmıştır (Gomez ve ark., 2015; Comba ve ark., 2017; Yokoi ve ark., 2019; Rossini ve ark., 2020). Gomez ve ark. ataşmanların bulunduğu durumda dişin paralele hareketinin gerçekleşmesinin daha muhtemel olacağını öne sürmüştür. (Gomez ve ark., 2015) Plak segmentinin ataşmanlar olmadan distal olarak yer değiştirmesinde oluşan devrilme eğilimine ataşmanlar bu eğilime zıt bir moment yaratmıştır. (Gomez ve ark., 2014) Comba ve ark. üst kanin distalizasyonunda Sınıf II elastikler ile birlikte kullanılan kompozit ataşmanların etkisini incelemiştir. Dikey dikdörtgen ataşmanların kullanımı devrilme hareketine yol açarken, optimize edilmiş ataşmanların kullanımı paralele hareket oluşturmuştur. (Comba ve ark., 2017) Yokoi ve ark. diastema kapatılması sırasında kompozit ataşmanların orta kesici dişlerin paralele hareketi üzerine etkisini araştırmış, ataşmanların paralele hareketin elde edilmesinde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Yokoi ve ark., 2019). Molar distalizasyonu değerlendiren tek sonlu eleman analizi, ataşman kullanımının kuvvet seviyesini ve dişteki yer değiştirme miktarını etkilemiş olmasına rağmen bu etkinin üst molar dişlerin distalizasyonunun sağlanması için tek başına yeterli olmadığını ortaya koymuştur. (Rossini ve ark., 2020)

### 2.6.2 Klinik çalışmalar

Şeffaf plaklarla Sınıf II düzeltmesi üzerine geçmiş çalışmalar olgu raporlarıdır. Schupp (2010), büyüme ve gelişim dönemindeki hastalarda unilateral Sınıf II maloklüzyonun, hastaların birinde Invisalign ve elastik kullanımı ile, diğerinde ise tedavi öncesi distalizör ve Invisalign kullanımı ile tedavisini tartışmıştır. Elastik kullanımının Sınıf II düzeltmesi bakımından önemli olduğunun düşünülmesinin yanı sıra çalışmada kancalar, elastiklerin dikey kuvvetlerinin plakları kolaylıkla yerinden oynatabiliyor olması sebebiyle plaklara bağlanmamış, doğrudan üst kanin dişlere ve alt birinci veya ikinci molar dişlerde bağlanmıştır. Ek olarak, bir dikey dikdörtgen ataşmanın kanin kronlarına bağlanması ile bu dişlerde istenmeyen rotasyonların engellenmesi amaçlanmıştır. Bir olgu serisinde Fischer (2010),

yardımcı araç kullanmadan Sınıf II olguların Invisalign sistemi ile tedavisine dair bir yöntemi ortaya koymuştur. Yazar çalışmasında elastik, headgear veya mekanik distalizörler gibi yardımcı araçlar olmadan sadece plak kullanımı ile maksiller molarların nasıl distalize edilebileceğini göstermiştir. Yazar, her bir plak üzerinde oluşturulan distal basıncın uygulama alanının arttırılması için elipsoit veya dikdörtgen bir ataşmanın distalize edilen her bir molar dişin bukkal yüzeyine bağlanmasını öne tavsiye etmiştir. Molar hareket her bir yöntem için zorluk teşkil etmektedir, bu sebeple yazarlar iki önemli öneride bulunmuştur: a) molar distalizasyonun plak aşamasında erkenden başlatılması ve her bir plağın sebep olduğu hareket hızının asgari düzeyde tutulması; b) üçüncü moların sürme durumu ve konumu veya sfenoid kemiğin pterigoid plakalarının anterior sınırlarının yakınlığı gibi anatomik durumlardan doğan sınırlamaların göz önünde bulundurulması.

### 3. BÖLÜM

#### Materyal ve Metot

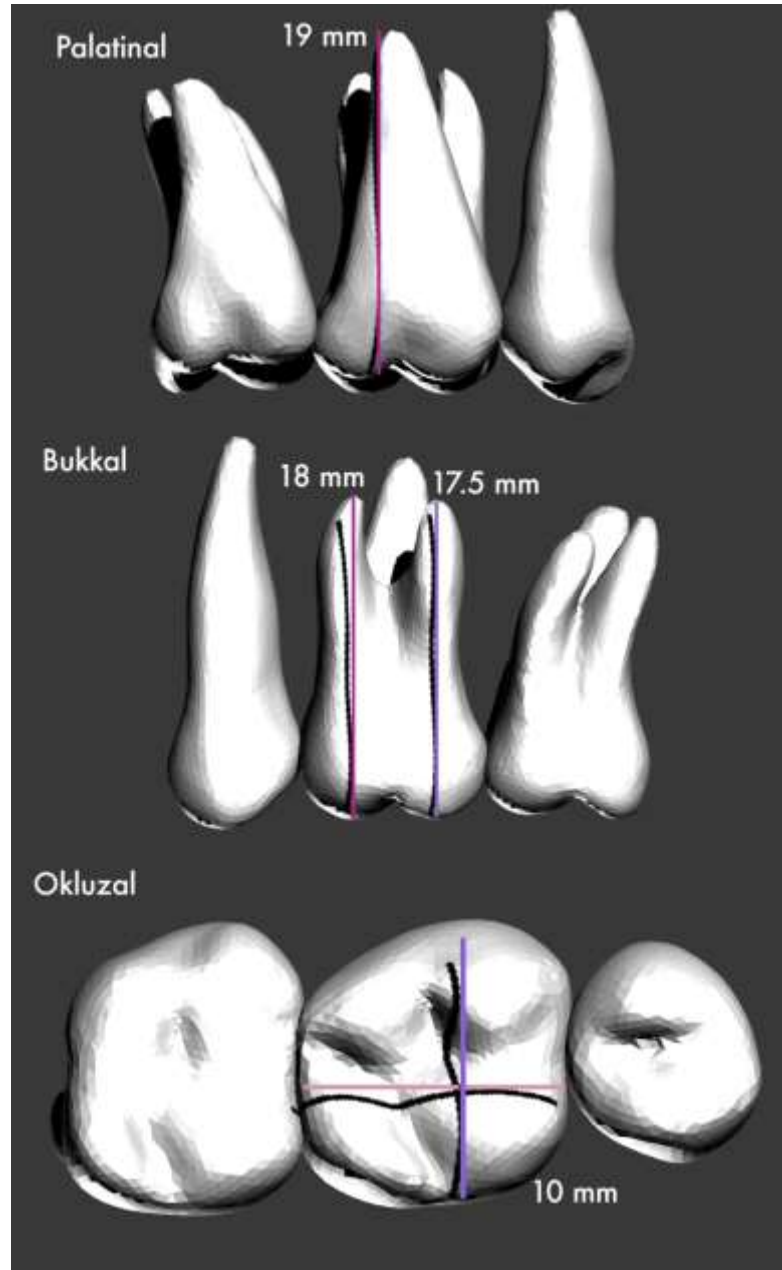
Farklı plak konfigürasyonlarının stres değerlerinin ve yer değiştirme paternlerinin analiz edilmesi için kullanılan iş akışı aşağıdaki adımlara göre tasarlanmıştır:

- (1) Hastanın sert dokularının dijital rekonstrüksiyonu
- (2) Diş, plak ve yardımcı öğelerin tasarlanması
- (3) Sonlu eleman modelinin tanımlanması
- (4) Mekanik özelliklerin tahsisi
- (5) Sınır koşulların tanımlanması
- (6) Sonlu eleman analizi

#### 3.1 Kemiğin ve periodontal ligamentin geometrik rekonstrüksiyonu

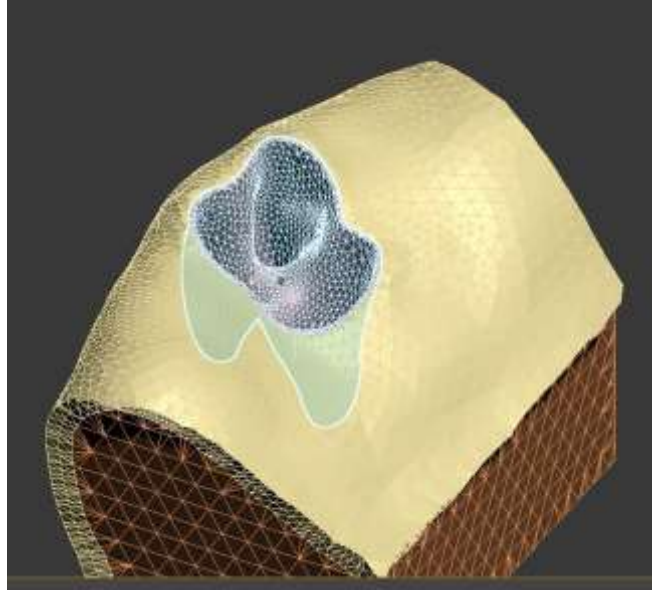
Alveolar kemikten oluşan anatomik model, total dişsiz hastanın KIBT taramasından elde edilen maksillaya ait bilgiler ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan maksillanın bir kısmı konik ışıklı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile taranmıştır. KIBT verilerinden edinilen görüntüler kullanılarak alveolar kemiğin rekonstrüksiyonu gerçekleştirilmiştir. Total dişsiz bir yetişkin hastanın üst çene kemiği KIBT kullanılarak taranmıştır (ILUMA, Orthocad, CBCT, 3M Imtec, Oklahoma, ABD). Prosedür Helsinki Deklarasyonuna (2000) uygun bir şekilde yürütülmüştür. KIBT verileri 3D-Doctor yazılımı aracılığıyla işlenmiştir. Çene modelinin boyutsal ve topografik ayarlamaları VRMesh yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Virtual Grid Inc, Bellevue City, WA, ABD). Normal anatomi, boyut ve oryantasyon doğrultusunda diş kronunun ve kökünün tasarımı için BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) prosedürleri kullanılmıştır (Şek. 2). Kök şekilleri alveolar kemik modelinden çıkarılmış olup, her bir dişin birbirinden bağımsız olarak manipüle edilebileceği bir şekilde tasarlanmış model ile değiştirilmiştir (Şek. 3). Plak ve ataşman şekillerinin tasarlanması için BDT prosedürlerinden yararlanılmıştır. Kemik modelleme işlemi, diş soketi etrafında ortalama 0,25 mm kalınlıkta olduğu olan kortikal kemiğin ve süngerimsi kemiğin arasında yer alan bölgenin göz önünde bulundurulmasıyla gerçekleştirilmiştir (Borak ve ark., 2011). (Şek. 3).





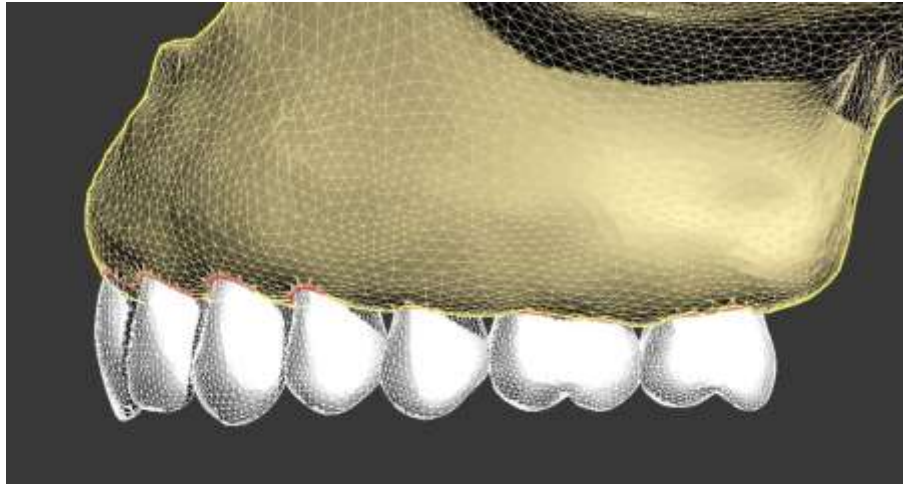
Şekil 1.

*Kök şekillerini ve boyutları içeren bireysel diş anatomileri.*



Şekil 2.

*Alveolar kemikten çıkarılmış kök şekilleri.*

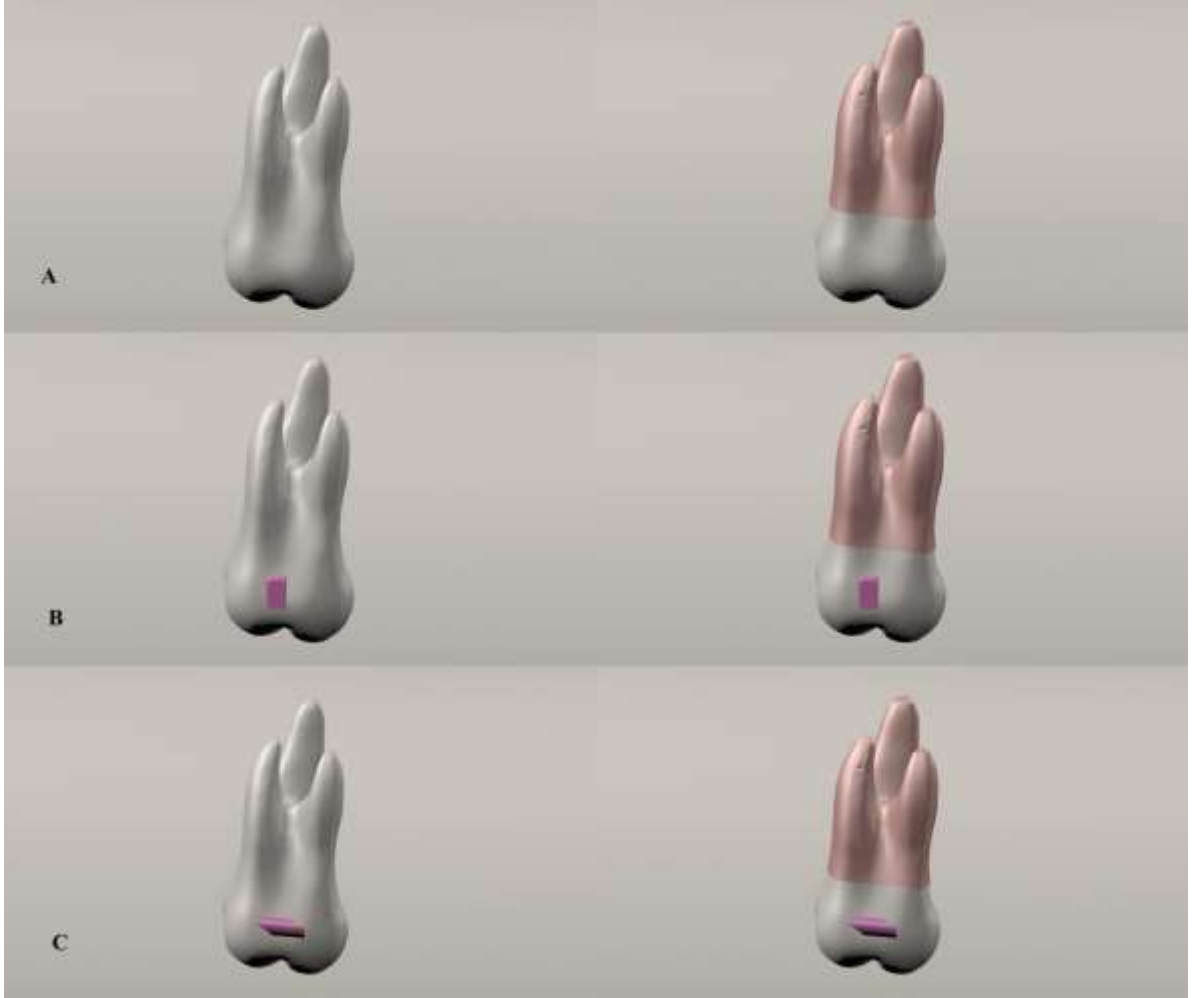


Şekil 3.

*Diş ve çene kemiği geometrilerinden oluşan tam model.*

Kesit kalınlığının ligament boşluğu ile benzer, hatta kıyasla daha büyük olması sebebiyle (0,2 mm kadar) PDL geometrileri kolaylıkla görselleştirilememekte ve yeniden oluşturulamamaktadır (Dorow ve ark., 2003). PDL, değişken kalınlığının göz ardı edilmesiyle basitleştirilmiş ve 0,2 mm'lik üniform kalınlıkta bir katman olarak modellenmiştir (Viecelli ve ark., 2008). PDL, kemik ve diş modellerinin arasında yer alan ara yüze 0,2 mm'lik bir kabuğun eklenmesi ile modellenmiştir.

Sonradan, kabuk hacmi PDL'nin tanımlanması için alveolar kemikten çıkarılmıştır. (Şek. 4)



Şekil 4.

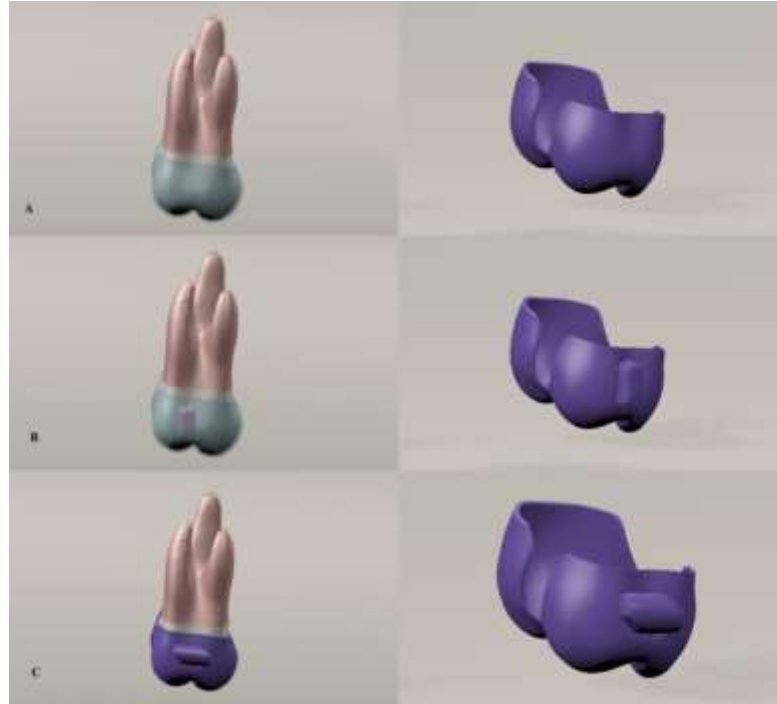
*0,2 mm'lik üniform kalınlıkta bir katman olarak modellenen PDL geometri tasarımı.*

### 3.1.1 Plağın ve yardımcı araçların modellenmesi

Plaklar genel olarak Hızlı Prototip Oluşturma işlemi ile üretilen 3 boyutlu fiziki diş kalıpları üzerine uygulanan vakumlu ısıyla şekillendirme işlemi aracılığıyla elde edilmektedir. Plak kalınlığının, termoplastik diskin ısıyla şekillendirme işlemi öncesindeki ortalama kalınlığından (0,75mm) hareketle 0,7 mm olması öngörülmektedir (Royakawa ve ark., 2006). Ancak, mevcut simülasyon için plağın 0,3 mm üniform kalınlığa sahip olması ileri çalışmalar ile karşılaştırmanın mümkün olabilmesi için Gomez ve arkaların kalınlık varsayımı kullanılmıştır. (Gomez ve ark., 2014). (Şek. 5) Üniform kalınlık varsayımı, üniform olmayan özelleştirilmiş kalınlık

değerlerinde plak üretiminin mümkün olmadığı mevcut üretim süreci gerekçesiyle makul kabul edilmiştir.

Barone ve ark. (2017) üniform olmayan bir plak kalınlığının, plak tarafından labiolingual devrilme esnasında mandibular orta kesici dişlere ve rotasyon esnasındamaksiller orta kesici dişlere uygulanan kuvvet-moment sistemleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar üniform olmayan kalınlıktaki apareyin beklenen moment bakımından daha fazla bir büyüklüğü ortaya çıkardığını, M/K parametresinde elde edilen yüksek değerlerden de anlaşılacağı üzere daha iyi hareket kalitesi sağladığını ortaya koymuştur (Barone ve ark., 2017). Yazarlar çalışmanın ön sonuçlarına dayanarak plağın doğrudan üretimi için alternatif bir yöntemin kullanılmasının daha iyi olacağını öne sürmüştür. Örnek verilecek olursa, CNC makineleri ile frezeleme işlemi ile veya tek ya da birden fazla polimerik materyalin katmanlar halinde yazdırılması yoluyla ince cidarlı üniform olmayan polimerik ortodontik plakların üretilmesi mümkün olacaktır (Barone ve ark., 2017).



Şekil 5.

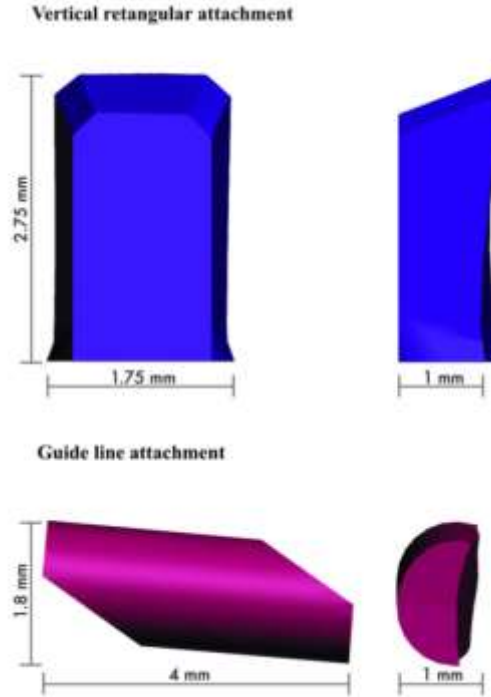
*Plak geometrisinin tasarımı: a) Ataşmansız grup b) Dikey dikdörtgen ataşmanlı grup c) Kılavuz ataşmanlı gruplar.*

Plak geometrisi, diş kronu yüzeyi ile tamamen uyuşan bir katmanın tanımlanmasıyla oluşturulmuştur. (Şek. 5) Eşsiz bir katmanın oluşturulması için kök

geometrileri silinmiş, kesilmiş hacimler manuel olarak kaldırılmıştır. Birleştirilmiş diş geometrileri hacimden çıkartılmış olup, geriye kalan geometrinin en dış yüzeyi plağın iç şeklinin modellenmesi amacıyla kaldırılmıştır. Bu prosedür, diş kronları ile apareyin temas yüzeyleri arasında optimal düzeyde uyumun temin edilmesi için gerçekleştirilmiştir (Barone ve ark., 2016).

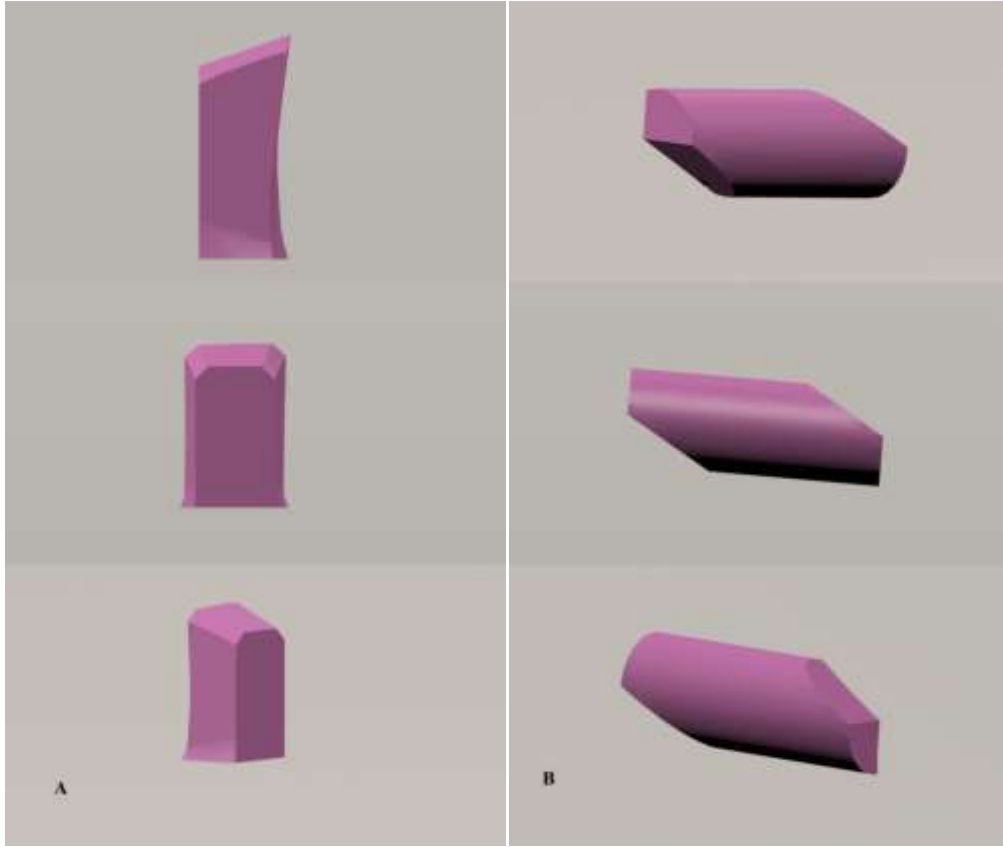
Üst birinci moların distalizasyon hareketinin simüle edilmesi için üç farklı plak ataşman konfigürasyonu karşılaştırılmıştır. Yardımcı elemanı bulunmayan standart plak, aşağıdaki özelliklere göre tasarlanmış iki plak (Şek. 6) ile karşılaştırılmıştır:

- 2,75 mm yüksekliğe, 1,75 mm genişliğe ve 1 mm kalınlığa sahip dikey dikdörtgen ataşmanlar (Şek. 7A)
- 1,8 mm yüksekliğe, 4 mm genişliğe ve 1 mm kalınlığa sahip kılavuz ataşman (Şek. 7B)



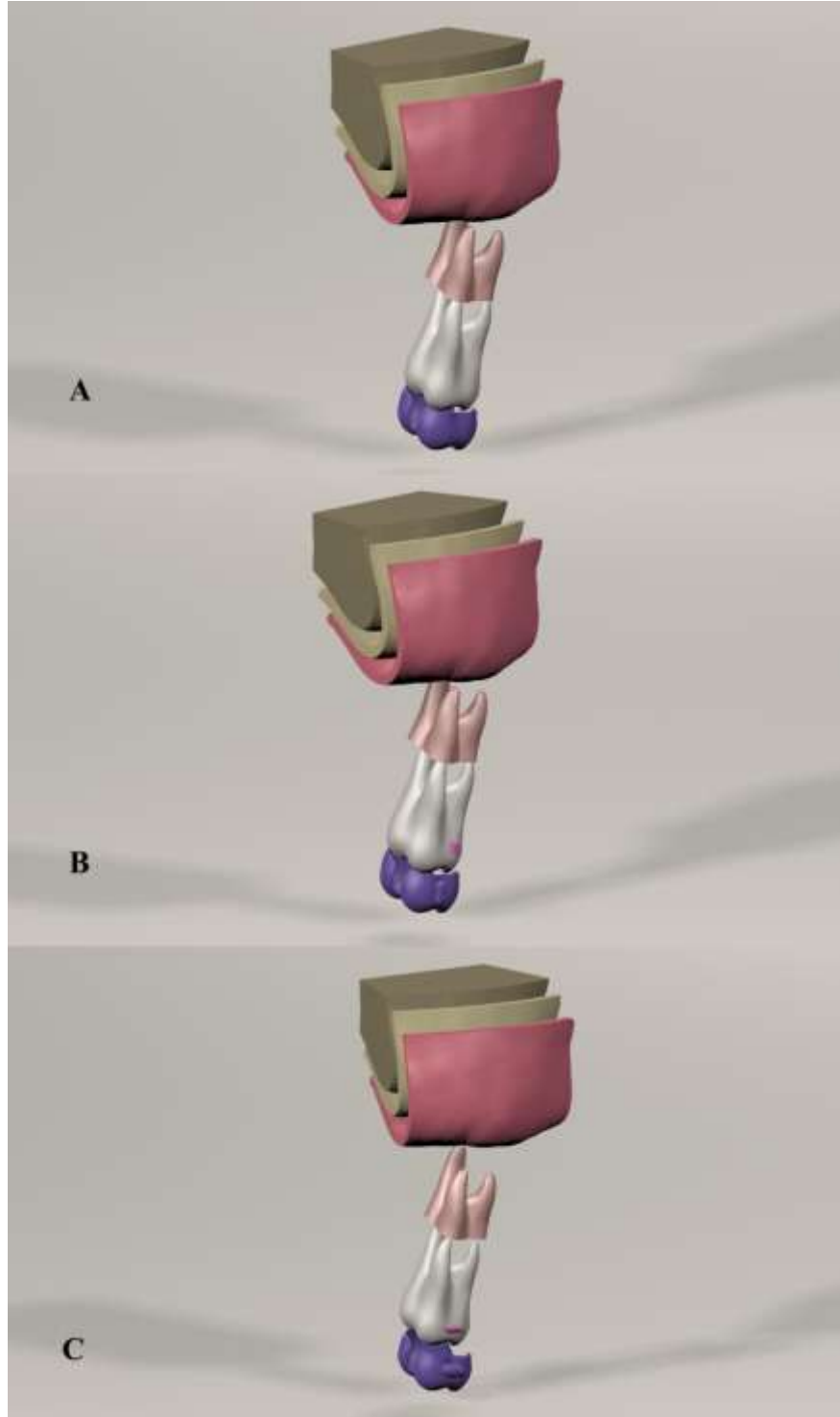
Şekil 6.

*Kompozit ataşmanların ölçüleri.*



Şekil 7.

*Dikey dikdörtgen ve kılavuz ataşmanın farklı görünimleri.*



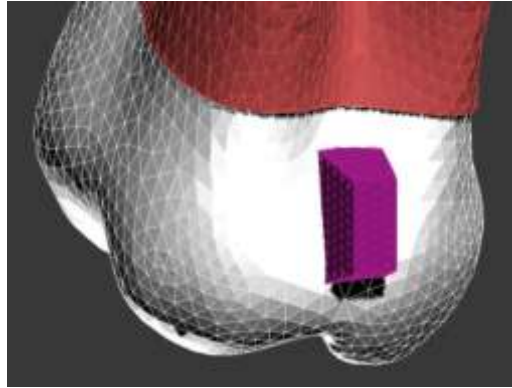
Şekil 8.

*Her bir gruba ait kemik dokusunun, periodontal ligamentlerin, diş şekillerinin ve ilgili plak ve kompozit ataşmanların modelleme işlemlerinden edinilen her bir bileşenin birleştirilmesi.*

Kron ve kök bölgesini oluşturan diş, 5,73 derecelik mesio-distal angülasyon ve -11,3 derecelik labiolingual inklinasyon değerlerine göre, ideal anatomi ve pozisyona dayanılarak tasarlanmıştır. Diş anatomisinin, plak ve ataşman şekillerinin oluşturulmasında BDT prosedürleri kullanılmıştır (Şek. 8).

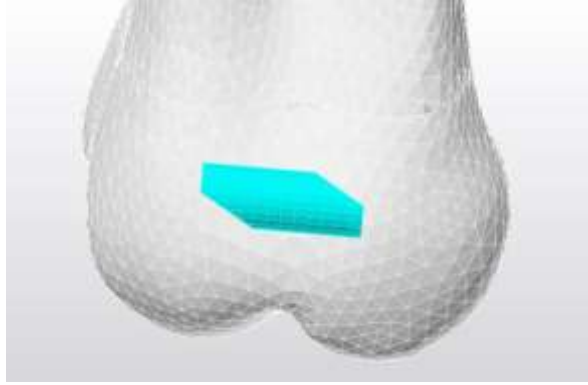
### 3.2 Sonlu Eleman Yöntemiyle Modelleme

Modeller VRMesh yazılımında geometrik olarak oluşturulduktan sonra analiz için hazır hale getirilmek üzere ".stl" dosya biçiminde Algor Fempro (Algor Inc., ABD) yazılımına aktarılmıştır. Söz konusu ".stl" dosya biçimi, 3 boyutlu modelleme programları arasında evrensel olarak kabul edilen bir değerdir. Algoritma yazılımında analizin gerçekleştirilebilmesi için model katı olacak şekilde meshing (sonlu elemanlara ayırma) işleminden geçirilmelidir. Meshing işleminde modeller, mümkün olan durumlarda 8 düğümlü (tuğla türü) elemanlardan oluşturulmuştur. Gerekli durumlarda yapıların merkezlerine yakın bölgelerde yapının tamamlanması için daha az düğümlü elemanlar kullanılmıştır. Bu modelleme yöntemi sayesinde, hesaplamaların kolaylıkla yapılabilmesi amacıyla azami sayıda düğüm elemanları ile en yüksek kaliteye sahip bir ağ yapısının oluşturulmasına çaba gösterilmiştir. Çene modellerinin analizin yürütülmesini zorlaştıran dikey ve dar alanları, lineer elemanların temizlenmesi ile düzenli bir hale getirilmiştir. Burada, modeller Tuğla ve Dört Yüzlü elemanları halinde katı modellere dönüştürülmüştür. Fempro, Tuğla ve Dört Yüzlü katı modelleme sisteminde model üzerinde oluşturabildiği 8 düğümlü elemanları kullanmaktadır. 8 düğümlü elemanların gerekli detaya erişemediği durumlarda 7 düğümlü, 6 düğümlü, 5 düğümlü ve 4 düğümlü elemanlar kullanılmaktadır (Şekiller 9-12).



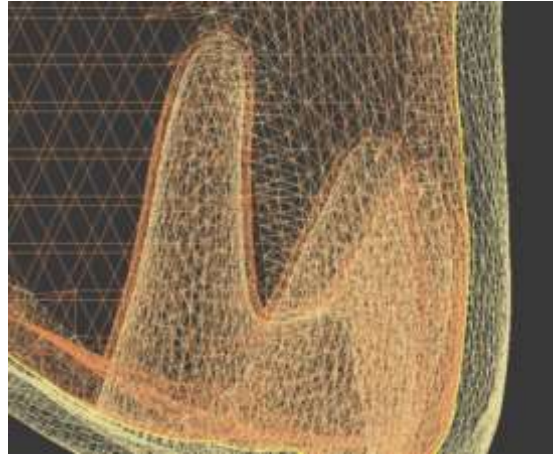
Şekil 9.  
*Diş üzerinde dikey ataşman ve plağın bulunduğu simülasyonlarda kullanılan, meshing işleminden geçmiş modeller.*





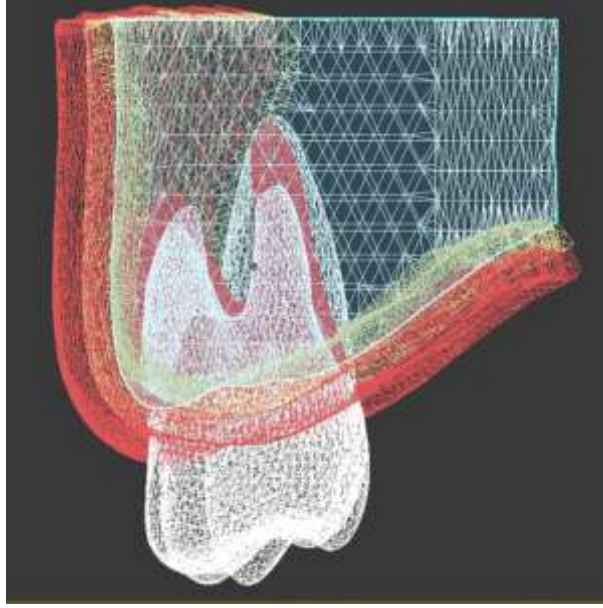
Şekil 10.

*Diş üzerinde kılavuz ataşmanın bulunduğu simülasyonlarda kullanılan, meshing işleminden geçmiş modeller.*



Şekil 11.

*Maksiller birinci molar köklerinin ve destek yapılarının sonlu eleman modeli.*



Şekil 12.

*Diş ve destek yapılarının sonlu eleman modeli.*

### 3.3. Mekanik materyal özellikleri

Sonlu eleman analizinde materyal özelliklerinin seçimi simülasyondan elde edilen sonucun doğruluğunu etkilemektedir (Romanyk ve ark., 2020). Her bir gövdeye tahsis edilen materyal özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Dişin, kemiğin ve diş etinin izotropik ve lineer elastik olduğu varsayılmıştır. Young modülü ve Poisson oranı dentin için sırasıyla 19,6 GPa ve 0,3; diş minesi için sırasıyla 4,1 MPa ve 0,30 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Dental doku üniform bir gövde olarak modellenmemiştir; dolayısıyla dentin, diş minesi ve pulpa şeklindeki bölünme, geçmiş çalışmalarda da görülebileceği (Penedo ve ark., 2010) ve diğer yazarlar tarafından oldukça kabul gördüğü (Gomez ve ark., 2014) üzere, böyle bir basitleştirmeye rağmen simülasyon sonuçlarını etkilememiştir. Buna karşın, kemiğin kortikal ve süngerimsi kemikten oluştuğu göz önünde bulundurulmuş olup, Young modülü ve Poisson oranı kortikal kemik için sırayla 13,7 GPa ve 0,3 olarak, süngerimsi kemik için ise sırayla 1,37 GPa ve 0,30 olarak belirlenmiştir (Liang ve ark., 2009). Bu varsayımın nihai simülasyon sonucu üzerindeki etkisinin az olacağı düşünülmektedir (Dorow ve ark., 2003; Natali ve ark. 2004).

PDL'nin mekanik davranışının in vivo analizi, bu yapının küçük boyutlu olması sebebiyle zordur (0,2 mm kalınlık) (Savignano ve ark., 2019). PDL'nin

mekanik özellikleri deneysel analiz yoluyla incelenmiştir. PDL'nin özelliklerinin açıklanabilmesi için lineer elastik, bilineer elastik, viskoelastik, hiperelastik ve çok fazlı model şeklinde biyomekanik modeller geliştirilmiştir (Fili ve ark., 2011). Cataneo (2005) çalışmasında (Cantaneo ve ark., 2005) ortodontik tepkinin ilk fazının analizinin gerçekleştirilmesinde lineer olmayan PDL tepkisinin ele alınmasının gerekmeyeceğini öne sürmüştür; ancak daha kompleks bir model daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini güvence altına almaktadır. (Barone ve ark., 2014). İlaveten, ilgi bölgesine dair doğru sonuçların elde edilmesi için çalışmanın hedefleri ile açık bir uyum gösteren materyal özelliklerinin seçilmesi önem arz etmektedir (Romanyk ve ark., 2020). Mevcut çalışmada Qian ve ark. (2009) tarafından öne sürüldüğü üzere lineer olmayan, zamana bağlı viskoelastik PDL modeli benimsenmiştir (Qian ve ark., 2009). İlk olarak, periodontal ligamentin (PDL) lineer olmayan viskoelastik davranışının tanımlanması için intrüzyon testleri gerçekleştirilmiştir (Qian ve ark., 2009). Viskoelastik parametreler, ters parametre tanımlama işlemi aracılığıyla elde edilmiştir. Her bir simülasyon için SEA (Sonlu Eleman Analizi) yoluyla edinilmiş değerler deneysel verilerle karşılaştırılmış olup, parametrelerin yakınsanması sağlanana dek güncellenmiştir (Qian ve ark., 2009).

Plaklar, polietilen tereftalat glikol ile modifiye edilmiş termoplastik disk kullanılarak elde edilmiştir. Şeffaf plağın ve kompozit ataşmanların mekanik davranışları lineer elastik izotropik ve homojen olarak varsayılmıştır. Gomez (2014) tarafından gerçekleştirilen deneyler ışığında plak kalınlığı 0.3mm, Young modülü 528 MPa olarak kabul edilmiştir. Değerler, plastik bir plaktan çıkarılan düz örnekler üzerinde sıkıştırma testlerinin (Instron® Evrensel Deneme Aygıtı kullanılarak) gerçekleştirilmesi sonrasında belirlenmiştir (Gomez ve ark., 2014). Poisson oranı polimerlerin tipik bir özelliği olarak (Toms ve Eberhardt, 2003) 0,36 şeklinde (Gomez ve ark., 2014) kabul edilmiştir. Kompozit ataşmanların mekanik özellikleri için ataşman üreticisi tarafından belirtilen özellikler esas alınmıştır (FiltekTMP60, 3M ESPE, 3M, St. Paul, MN, ABD). Çalışmada üçüncü grubun yükleme koşullarını sağlamak için plak özel bir modelleme ile hazırlanmıştır. Üretilen plakta ataşman 5 derecelik ; mesial kısmı apikale distal kısmı okluzale yaklaştırılmış ataşman yuvası halinde hazırlanmıştır.

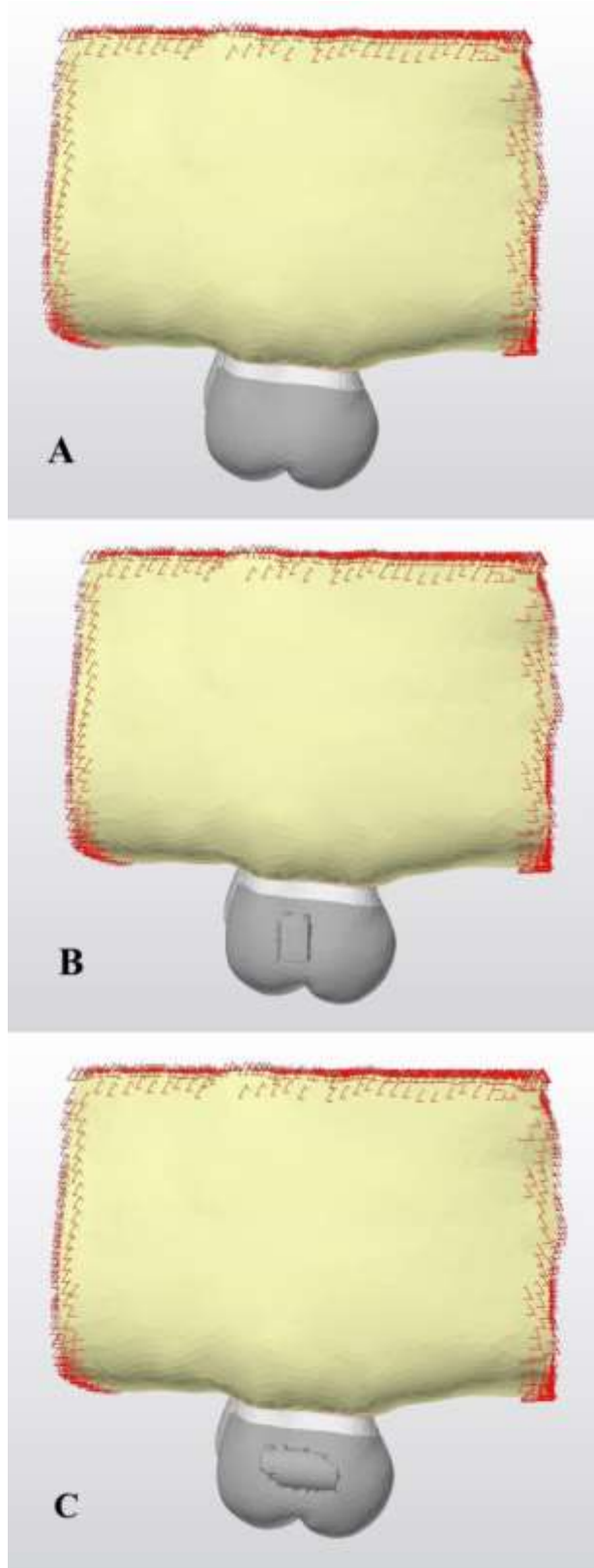
Tablo 1.

*Çalışma içindeki yapıların mekanik özellikleri*

	<b>Young Modülü (MPa)</b>	<b>Poisson Oranı</b>
<b>Kortikal Kemik</b>	13,7 x 10 <sup>3</sup>	0,30
<b>Süngerimsi Kemik</b>	1,37 x 10 <sup>3</sup>	0,30
<b>Dentin</b>	19,6 x 10 <sup>3</sup>	0,30
<b>Diş Minesi</b>	4,1 x 10 <sup>4</sup>	0,30
<b>Kompozit Ataşman</b>	12,5 x 10 <sup>3</sup>	0,36
<b>Plastik Plak</b>	528	0,36

### 3.4 Yükleme ve sınır koşulları

Kemik ekstremiteleri tüm yönlerde belirlenmiştir (Şek. 13). Klinik bir olayın simüle edildiği bu sonlu eleman simülasyonunda, Gomez (2014) tarafından benimsenen yükleme koşullarına dayalı olarak diş kronuna pasif şekilde dâhil edilmiş olan termoplastik plak segmenti üzerinde distal yönde 0,15 mm'lik bir yer değiştirme uygulanmıştır (Şek. 14,15).



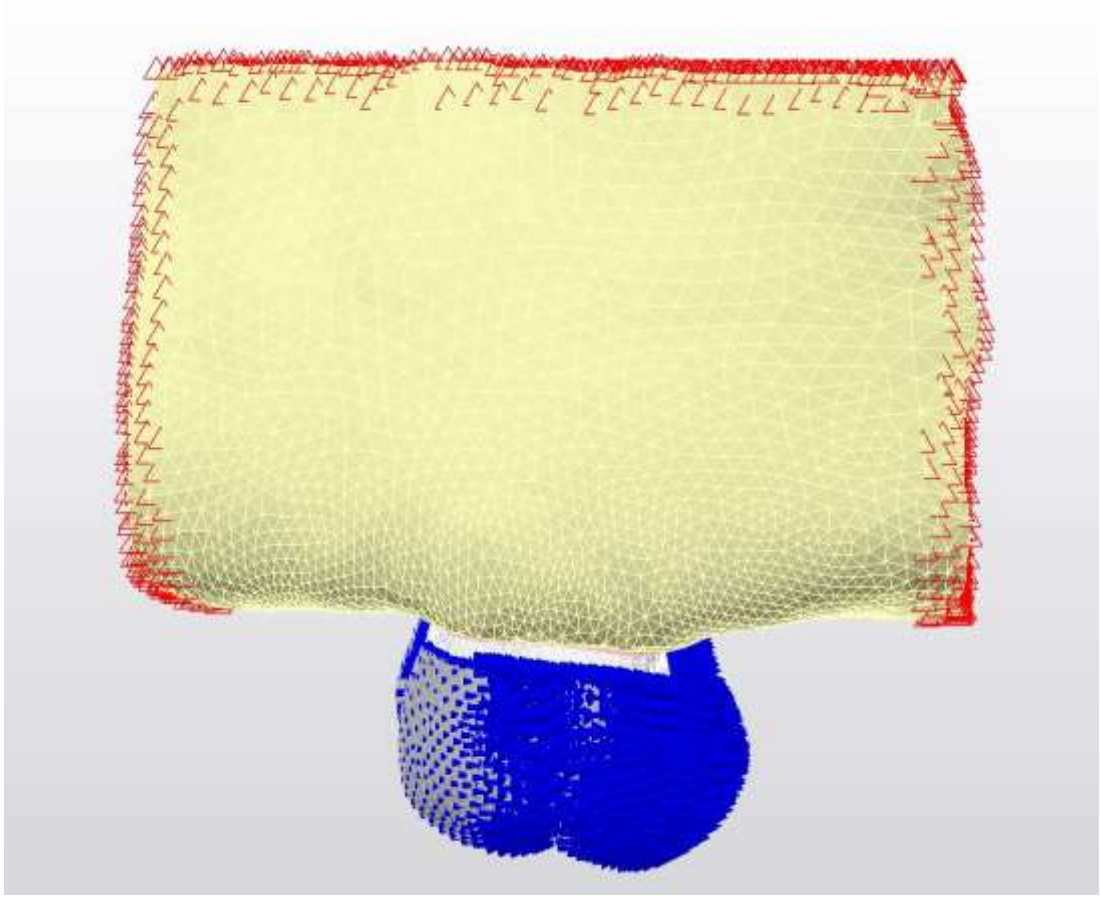
Şekil 13.

*1, 2 ve 3'üncü gruplar için sınır koşulları.*

### 3.5 Analiz Ortamları

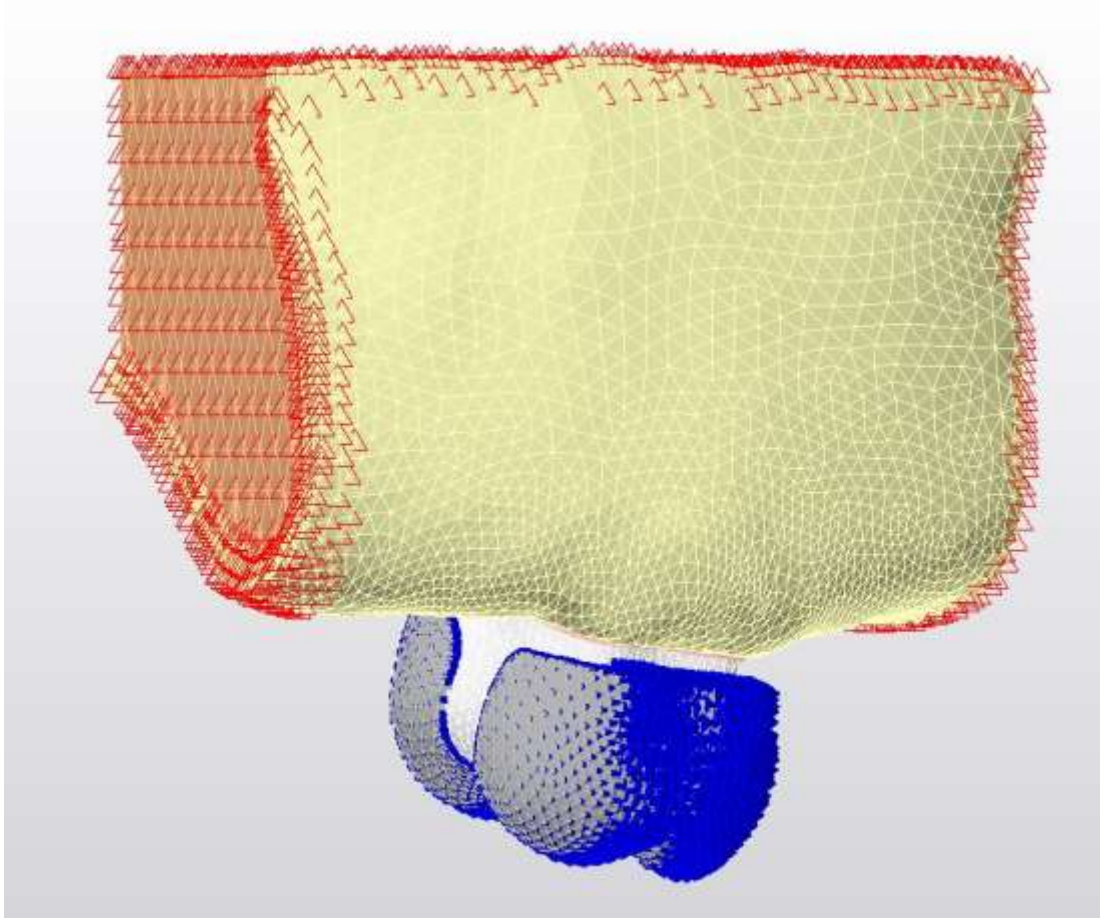
Referans anatomik modellerde bir adet maksiller birinci molar yer almıştır. Ortodontik apareyin farklı koşullar altında gösterdiği mekanik davranışların değerlendirilmesi amacıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Üç farklı durum özellikle analiz edilmiştir:

- Standart (Yardımcı elemanlar olmadan)
- Konvansiyonel (Dikey dikdörtgen ataşman)
- Yeni tasarlanmış (5 derece yönlendirilmiş yatay ataşman)



Şekil 14.

*Bukkal açıdan sınır koşulları*



Şekil 15.

*Mesial açıdan sınır koşulları*

Üst çene birinci molar için yerel koordinat sistemleri tanımlanmıştır. Dişin uzun ekseninin oryantasyonundaki değişikliklerin açıklanabilmesi amacıyla pozitif x eksenini yönlendirilmiştir. Distal hareketin açıklanabilmesi amacıyla pozitif y eksenini yönlendirilmiştir.

Dişin Von Mises stresine ait pik değerleri ve dağılım paternleri, PDL'ye ait asal stres gerilmesi değerleri ve diş yer değiştirme paternleri her bir simülasyon için kaydedilmiştir. Intel Xeon CPU E3-1245 v3@3.40 GHz ve 16 GB RAM tabanlı bir İş İstasyonu kullanıldığında her bir simülasyona ait hesaplama süresi yaklaşık 1 saat sürmüştür.

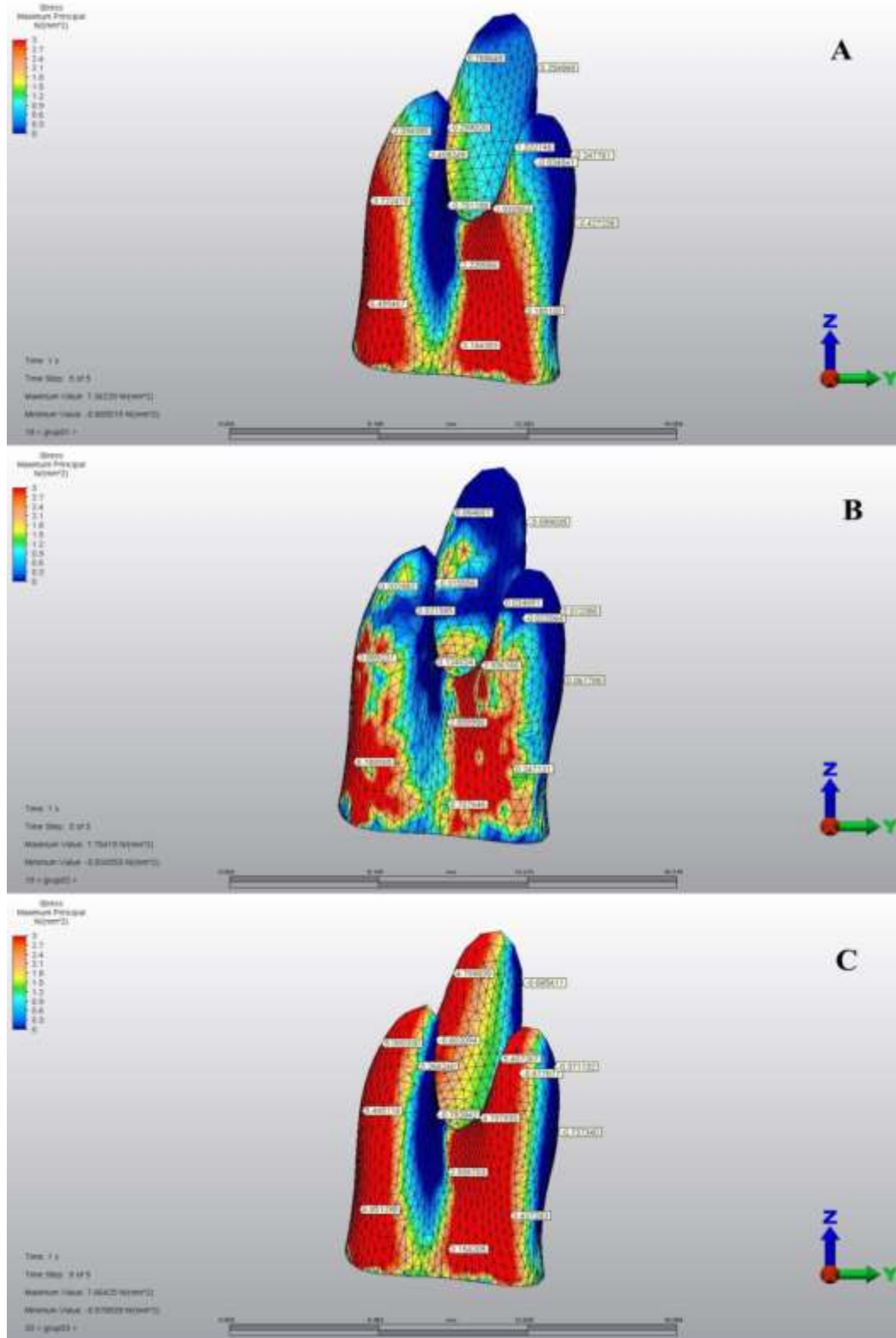
## 4. BÖLÜM

### Bulgular ve Tartışma

Her bir konfigurasyon için sonlu eleman analizi ile elde edilmiş sonuçlar, yer değiştirmenin büyüklüğü, Von Mises stres düzeylerinin diş üzerinde dağılımı ve PDL üzerindeki azami asal stresin birinci üst molar seviyesinde 0,15 mm'lik yer değiştirmenin uygulanmasından sonra karşılaştırılmıştır.

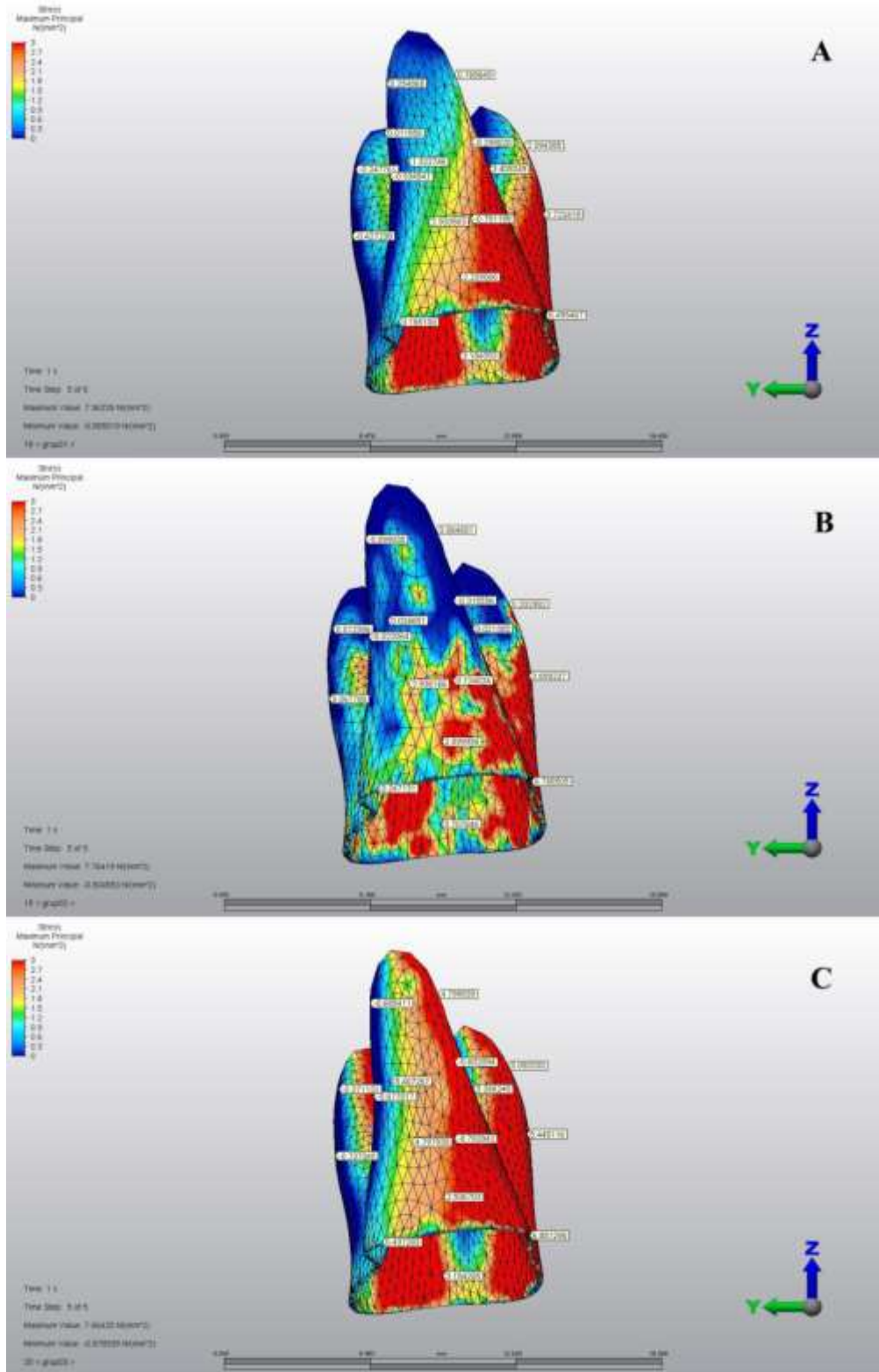
Mevcut çalışmada azami asal stres analizindeki negatif işaret kompresif stresin, pozitif işaret ise tensil stresin göstergesidir. Ataşman bulunmayan birinci grupta tensil stresin, mesial kök yüzeyinin servikal yarısında (6,5 N/m<sup>2</sup>) ve distal kök yüzeyinin servikal üçte birlik kısmında daha yüksek olduğu görülmüştür. Azami kompresif stres ise distal kökün disto-bukkal tarafta konsantre olmuştur (-0,43 N/m<sup>2</sup>) (Tablo 2). Kompresif stres, muhtemelen dişin rotasyonu sebebiyle palatal kökün kök ucu kısmının hem mesial hem de distal tarafında gözlemlenmiştir (Şek. 16-19). Diş kronuna dikey bir ataşmanın eklenmesi sonrasında distal kökün servikal-mesial tarafında benzer tensil stres değerleri gözlemlenmiştir (6,3 N/m<sup>2</sup>). Tensil stres hem mesial hem de distal kökün distal tarafında gözlemlenmiştir. Tensil kuvvetler, birinci gruba kıyasla daha az üniform dağılıma sahip olmuştur. Ayrıyeten, her iki bukkal kökün distal tarafında küçük kompresif kuvvetler ortaya çıkmıştır (Şek. 16, B).





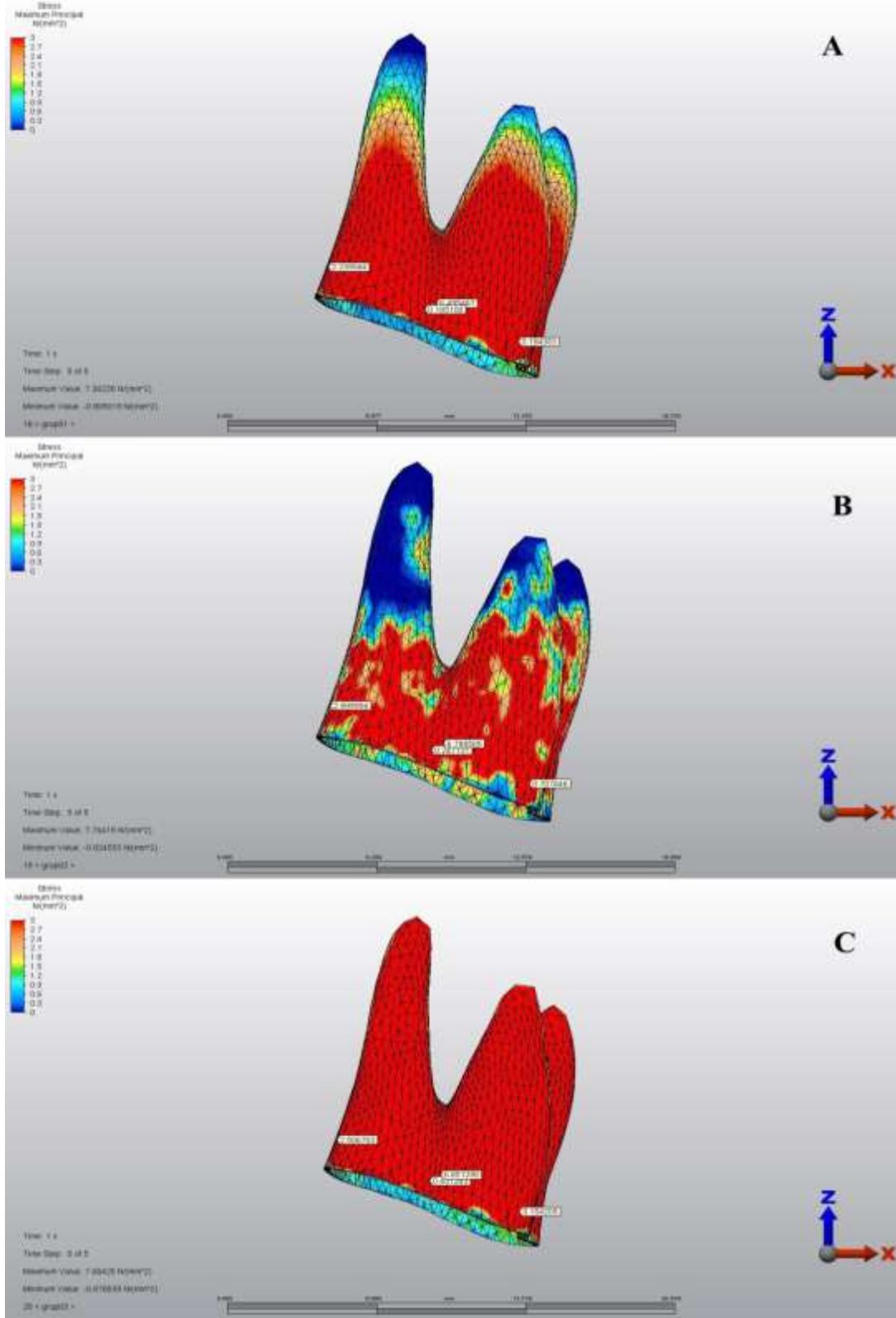
Şekil 16.

Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



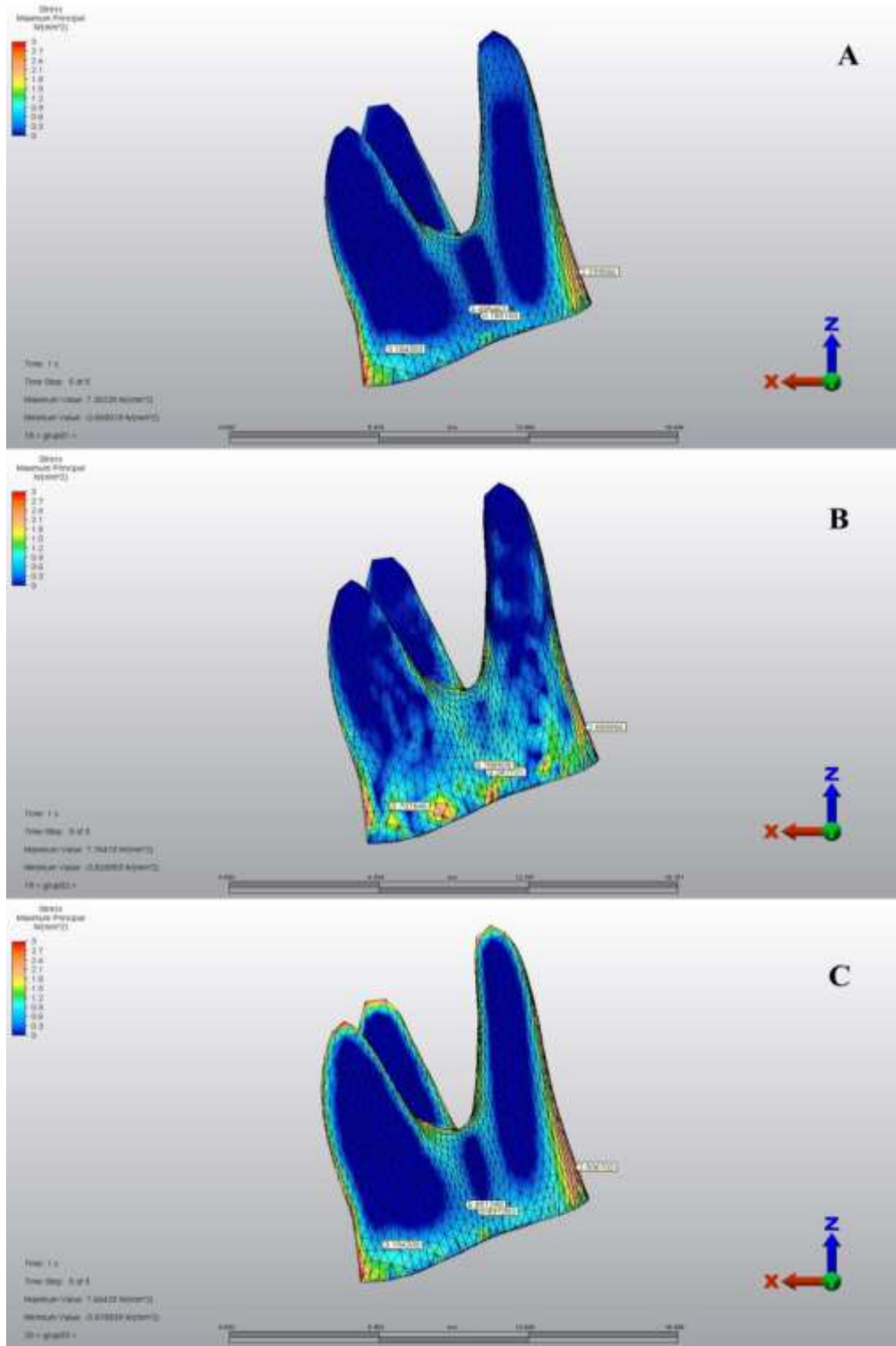
Şekil 17.

Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (palatal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



Şekil 18.

Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (distal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



Şekil 19.

Üç grup için 0,15 mm'lik distalizasyon sırasında birinci maksiller molar periodontal ligamentte azami asal stres (mesial görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.

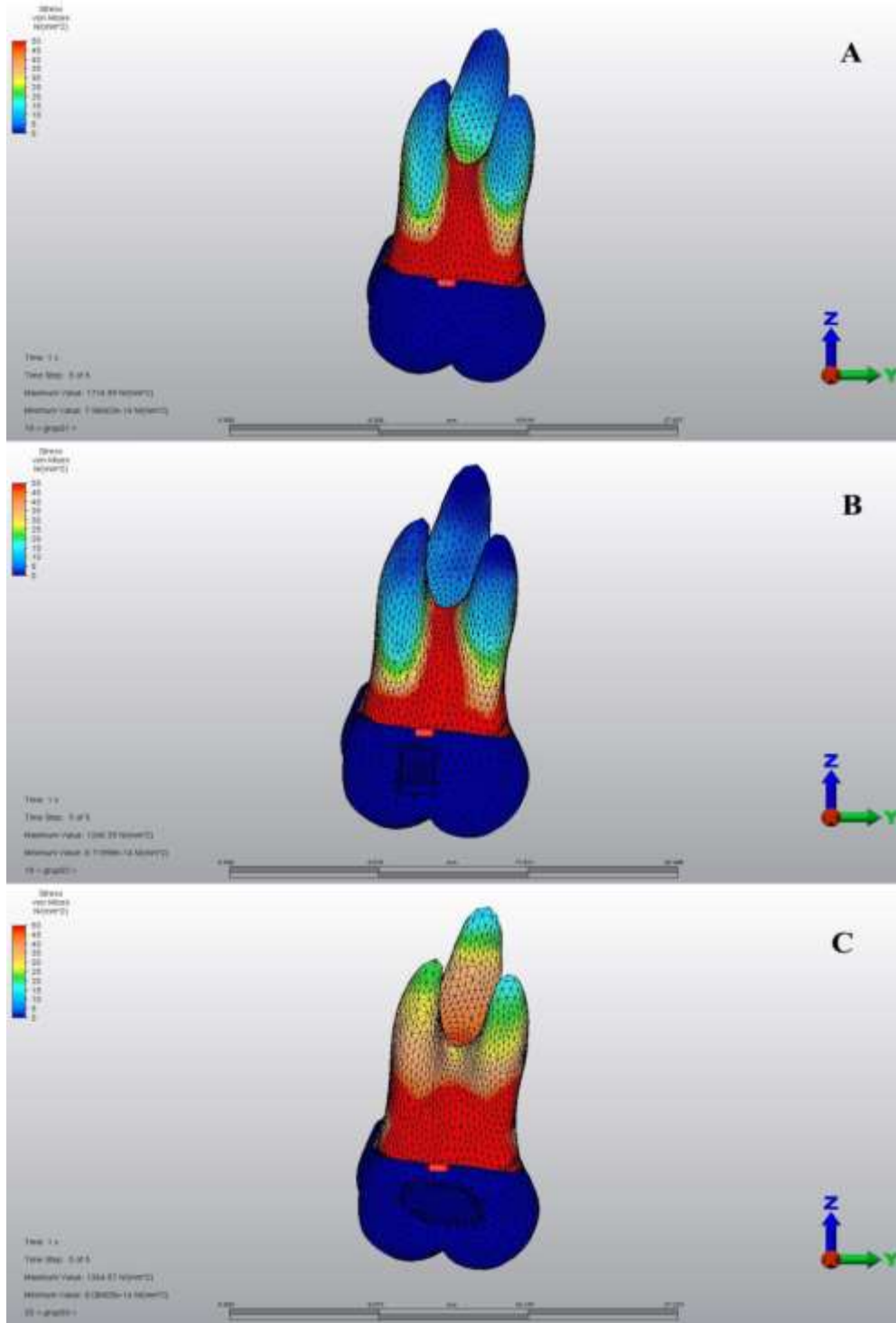
Tablo 2.

Azami asal PDL stresi ( $N/mm^2$ )

	1. Grup	2. Grup	3. Grup
<b>Distal yüzey</b>			
Palatal kök 1/3'lik kök ucu kısmı	0,77	0,06	4,8
Palatal kök 1/3'lik medial kısım	3,40	0,02	4,8
Palatal kök 1/3'lik koronal kısım	3,18	0,24	2,5
Disto-vestibular kök 1/3'lik kök ucu kısmı	2,09	0,2	5,0
Disto-vestibular kök 1/3'lik medial kısım	3,72	3,9	5,4
Disto-vestibular kök 1/3'lik koronal kısım	6,50	6,7	6,9
Mesio-vestibular kök 1/3'lik kök ucu kısmı	1,32	0,02	5,4
Mesio-vestibular kök 1/3'lik medial kısım	2,93	2,9	4,8
Mesio-vestibular kök 1/3'lik koronal kısım	0,19	0,7	3,2
<b>Mesial yüzey</b>			
Palatal kök 1/3'lik kök ucu kısmı	0,25	-0,09	-0,06
Palatal kök 1/3'lik medial kısım			-0,06
Palatal kök 1/3'lik koronal kısım			0,4
Disto-vestibular kök 1/3'lik kök ucu kısmı	-0,30	-0,3	-0,6
Disto-vestibular kök 1/3'lik medial kısım	-0,75	0,02	-0,8
Mesio-vestibular kök 1/3'lik kök ucu kısmı	-0,25	0,01	-0,37
Mesio-vestibular kök 1/3'lik medial kısım	-0,43	0,06	-0,74

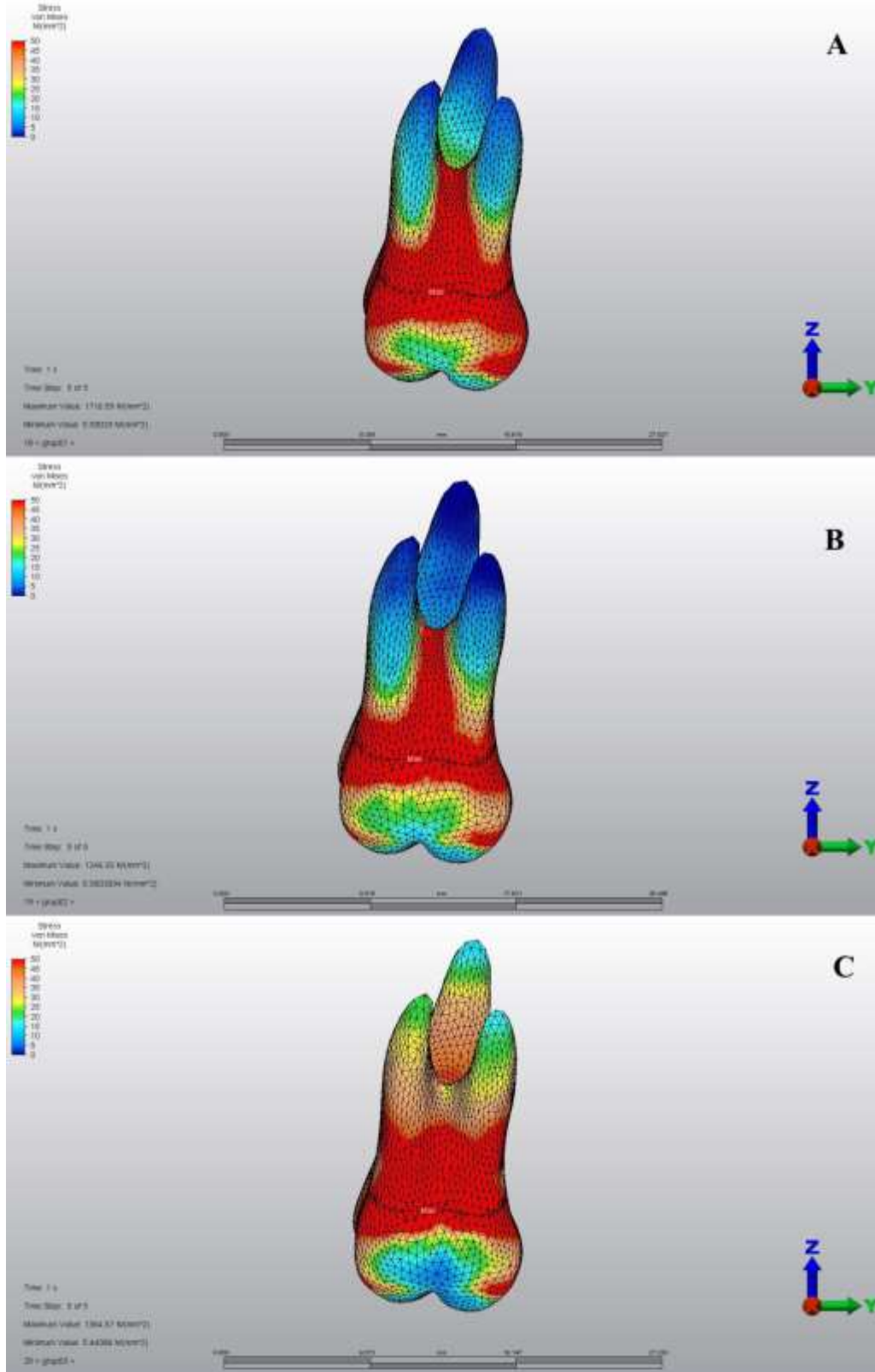
Kompresif stresin kılavuz ataşmanlı üçüncü gruptaki üç kökün distal tarafında da üniform yapıda olduğu görülmüştür. Azami tensil stres mesio-bukkal kökün servikal kısmında kaydedilmiştir (6,8  $N/m^2$ ). Azami kompresif stres her iki bukkal kökün de mesial kısmında kaydedilmiştir. Üçüncü grubun distal tarafında daha düzgün bir dağılım şekli gözlemlenmiştir (Şek. 16, C).

Üç grup için birinci maksiller molara ait Sonlu Eleman modelleri ile tahmin edilmiş diş düzeyindeki Von Mises stres seviyeleri 20-24 numaralı şekillerde sunulmuştur. Von Mises stres seviyeleri ataşmansız grupta dikey ataşmanlı gruba kıyasla üç kök ucunda da anlamlı derecede yüksek olarak kaydedilmiştir (Şek. 20, A, B). İlk iki grupta furkasyon seviyesinde, 29 ve 30  $N/m^2$  değerlerinde yüksek Von Mises stres seviyeleri kaydedilmiştir (Tablo 3). Üçüncü grup için yüksek Von Mises stres seviyeleri kök ucu üzerinde üçüncü simülasyonda öngörülmüştür (Şek. 20, C).



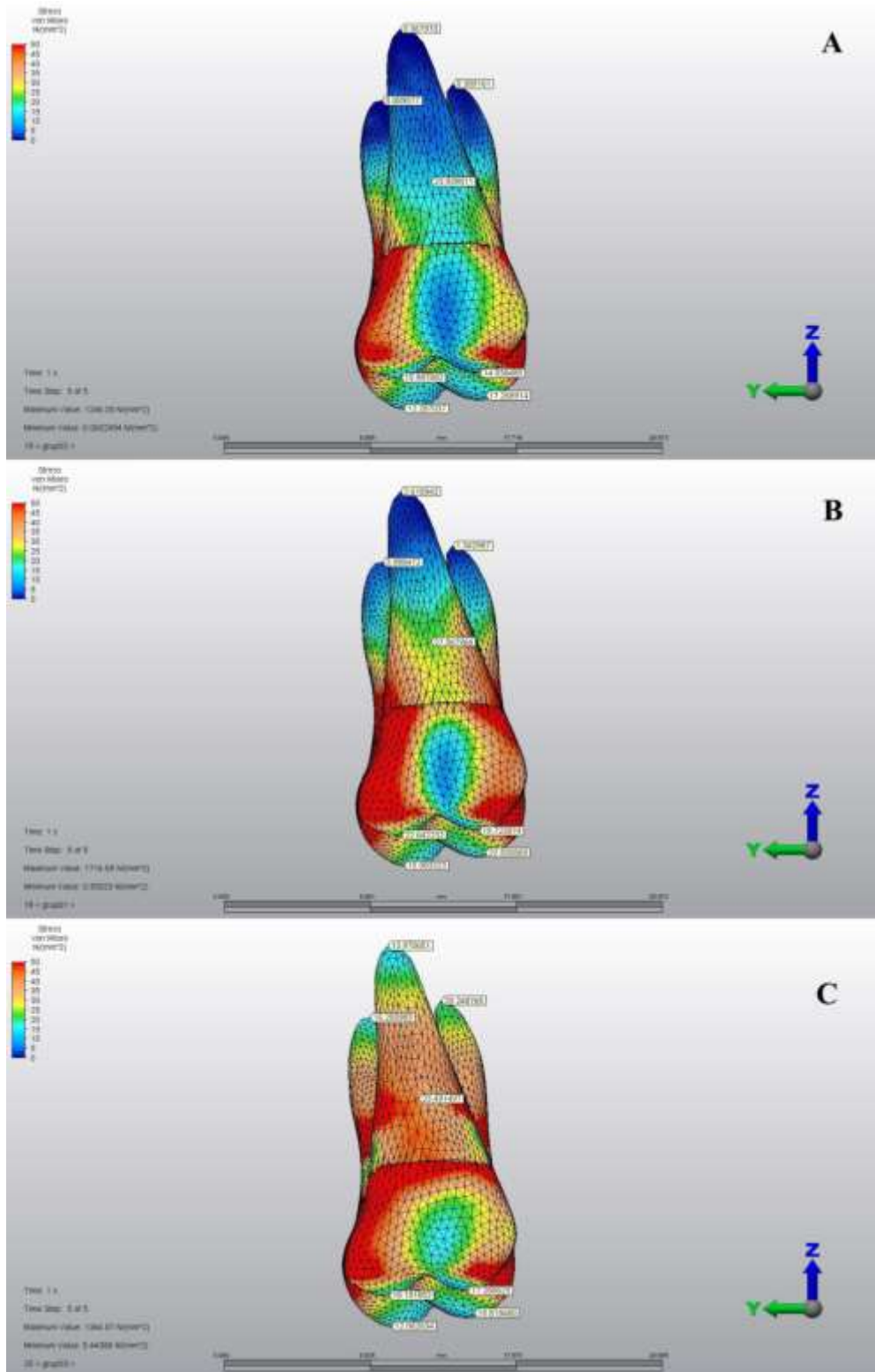
Şekil 20.

Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü üzerinde Von Mises stres dağılımı (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



Şekil 21.

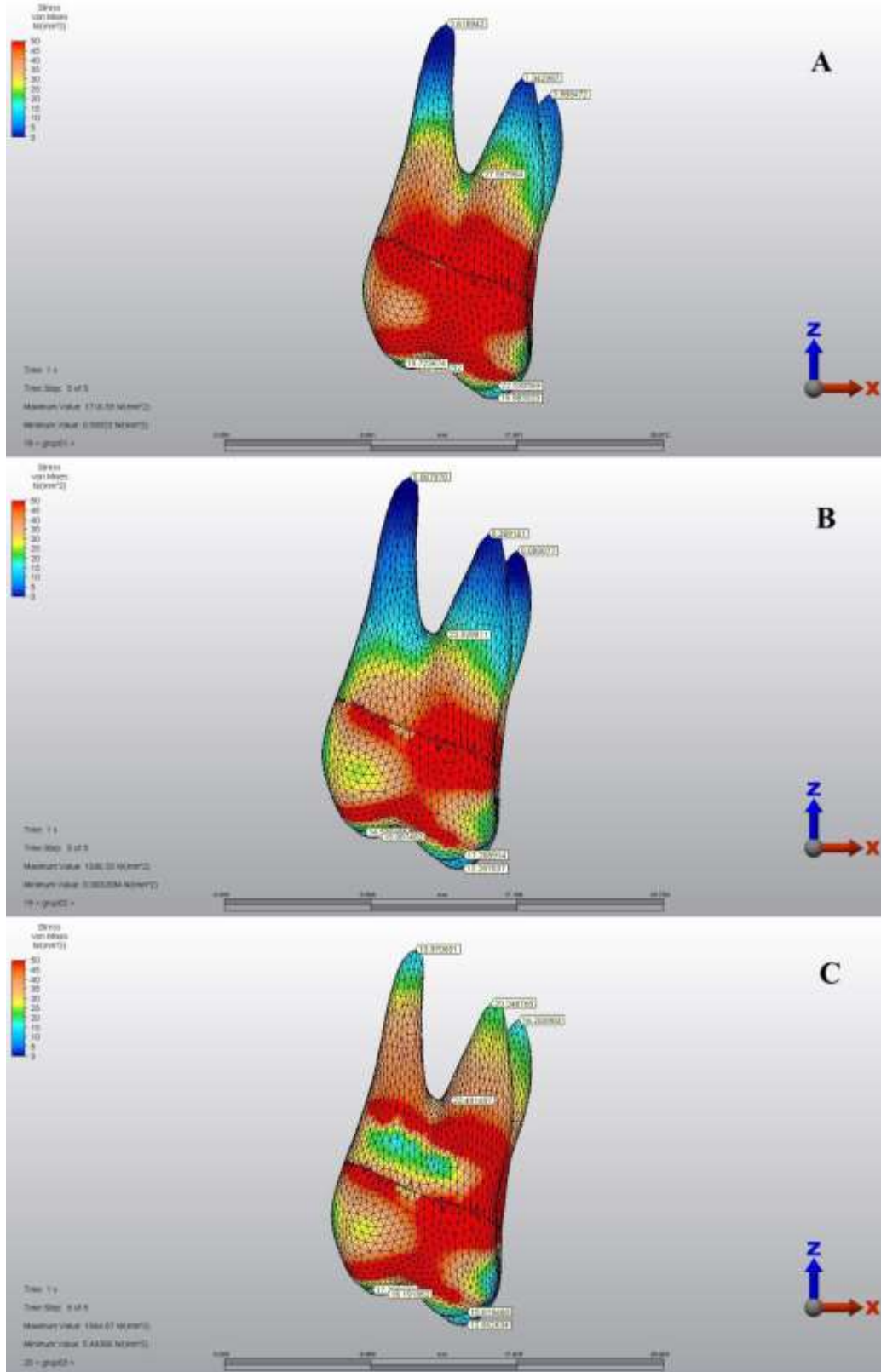
Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (bukkal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



Şekil 22.

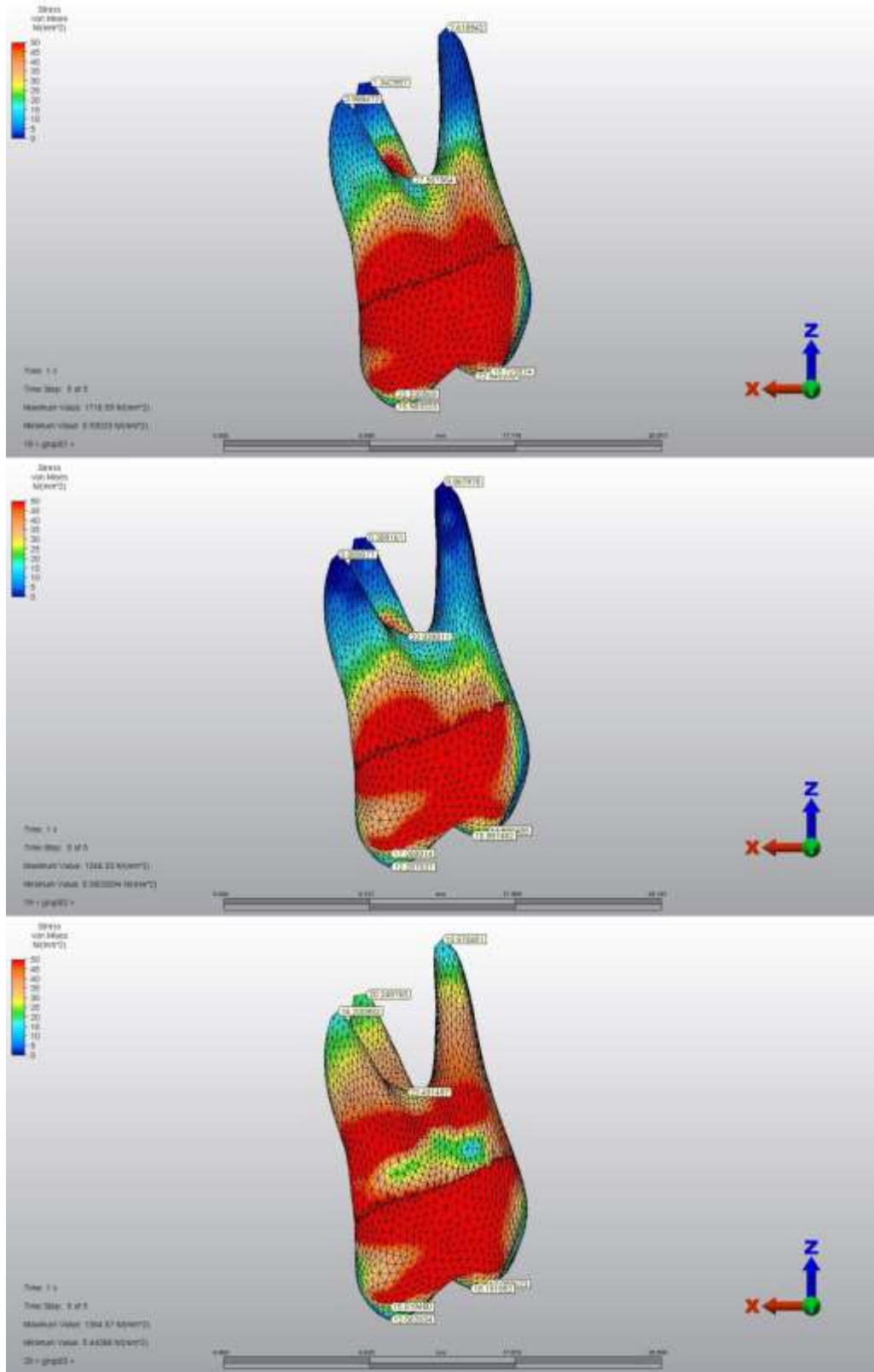
Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (palatal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.





Şekil 23.

Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (distal görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.



Şekil 24.

Üç grup için birinci maksiller molar diş kökü ve kronu üzerinde Von Mises stres dağılımı (mesial görünüm): (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kulavuz ataşmanlı.

Tablo 3.

*Von Mises stres seviyeleri (N/mm<sup>2</sup>)*

	<b>1. Grup</b>	<b>2. Grup</b>	<b>3. Grup</b>
Palatal KU	2,62	0,07	13,97
Mesio-vestibular KU	1,34	0,39	20,25
Disto-vestibular KU	3,99	0,09	16,2
Furkasyon	27,57	23,94	23,49

Tüm gruplarda kron düzeyinde azami miktarda yer değiştirme gözlemlenmiştir (Şek. 25). Maksiller moların fiili yer değiştirme bakımından hareket miktarı 10 misli arttırılmıştır. Ataşman bulunmayan grupta palatal kökün kök ucu kısmı mesial olarak yer değiştirmiş olup, kontrolsüz devrilme hareketi ihtimalini akla getirmiştir (Şek. 25A). Buna rağmen, kılavuzlu ataşman grubunda distal kök hareketi derecesinin, distal kök üzerinde daha belirgin bir şekilde dikey ataşman grubuna kıyasla arttığı görülmüştür; bununla birlikte, kökün kron ve kök ucu kısımları arasındaki yer değiştirme seviyesi farkı üniform yapıda olmamış, belirli bir miktar kontrollü devrilme hareketinin varlığını göstermiştir (Şek. 25 B, C).

Tablo 4'te görüleceği üzere, y eksenini boyunca azami yer değiştirme hareketi bukkal kılavuz ataşman ile koronal seviyede 0,13 mm'lik, furkasyon seviyesinde 0,1 mm'lik, palatal, mesia-vestibular ve disto-vestibular seviyelerin kök ucunda 0,07-0,08 mm arasında translasyon ile elde edilmiştir. Dikey dikdörtgen bukkal ataşmanlar ile yer değiştirme hareketi, koronal seviyede 0,13 mm'lik, furkasyon seviyesinde 0,09 mm'lik ve palatal, mesia-vestibular ve disto-vestibular kök uçlarının her birinde 0,05 mm'lik translasyon ile elde edilmiştir. Dişte asgari düzeyde yer değiştirme ataşmansız standart plak konfigürasyonunda elde edilmiştir. Ataşmansız standart plak konfigürasyonunda yer değiştirme büyüklüğü koronal seviyede 0,12-0,13 mm'lik, furkasyon seviyesinde 0,076 mm'lik, palatal, mesia-vestibular ve disto-vestibular kök uçlarının her birinde 0,01 mm'lik translasyon ile elde edilmiştir. Standart plak konfigürasyonu y eksenini üzerinde beklenen en düşük miktarda translasyona sebep olurken, kontrolsüz devrilme hareketi olarak düşünülebilecek bir şekilde palatal kökün mesial olarak yer değiştirmesi (-0,002 mm) gibi en yüksek miktarda beklenmeyen bir harekete yol açmıştır.

Z eksenini üzerinde diş translasyonu seviyeleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Ataşman bulunmayan standart plak z eksenini üzerinde palatal ve disto-vestibular kök

ucu seviyesinde 0,02 mm'lik, disto-vestibular kök ucu ve furkasyon seviyesinde sırayla 0,003 mm ve 0,004 mm'lik hareket ile en yüksek translasyon seviyesine yol açmış; bununla birlikte konvansiyonel dikey dikdörtgen ataşmanlı plağın, z eksenini üzerinde disto-vestibular ve palatal kök ucu seviyesinde (sırasıyla) sadece minimum 0,002 mm'lik ve maksimum 0,1 mm'lik translasyon hareketine sebep olduğu açıkça görülmüştür. Buna karşın, kılavuz ataşmanlı üçüncü grupta z eksenini üzerindeki translasyon miktarı tüm seviyeler için 0 mm olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçtan hareketle ataşman şeklinin verimliliği etkilediği düşünülebilir. Ataşman bulunmayan standart plak ile dikey dikdörtgen bukkal ataşmanlar oldukça benzer sonuçları ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, lingual yüzeydeki ataşmanın şeklinin değiştirilmesi sonuçta anlamlı derecede iyileşme sağlamıştır.

Bu sonuç ataşmanın aktif yüzeyi ile diş arasındaki açı farklarıyla da ilişkilendirilebilir. Gelecek çalışmaların ataşman konumlandırma kriterlerinin diş hareketi üzerindeki etkilerini de ayrıca incelemeleri, çalışmalarında ataşmanın aktif yüzey miktarına odaklanmaları gerekmektedir.

Tablo 4.

*Y ekseninde yer değiştirme büyüklüğü (mm)*

	<b>1. Grup</b>	<b>2. Grup</b>	<b>3. Grup</b>
Palatal KU	-0,002	0,05	0,07
Mesio-vestibular KU	0,01	0,05	0,08
Disto-vestibular KU	0,012	0,05	0,08
Furkasyon	0,076	0,09	0,1
Koronal	0,12 – 0,13	0,13	0,13

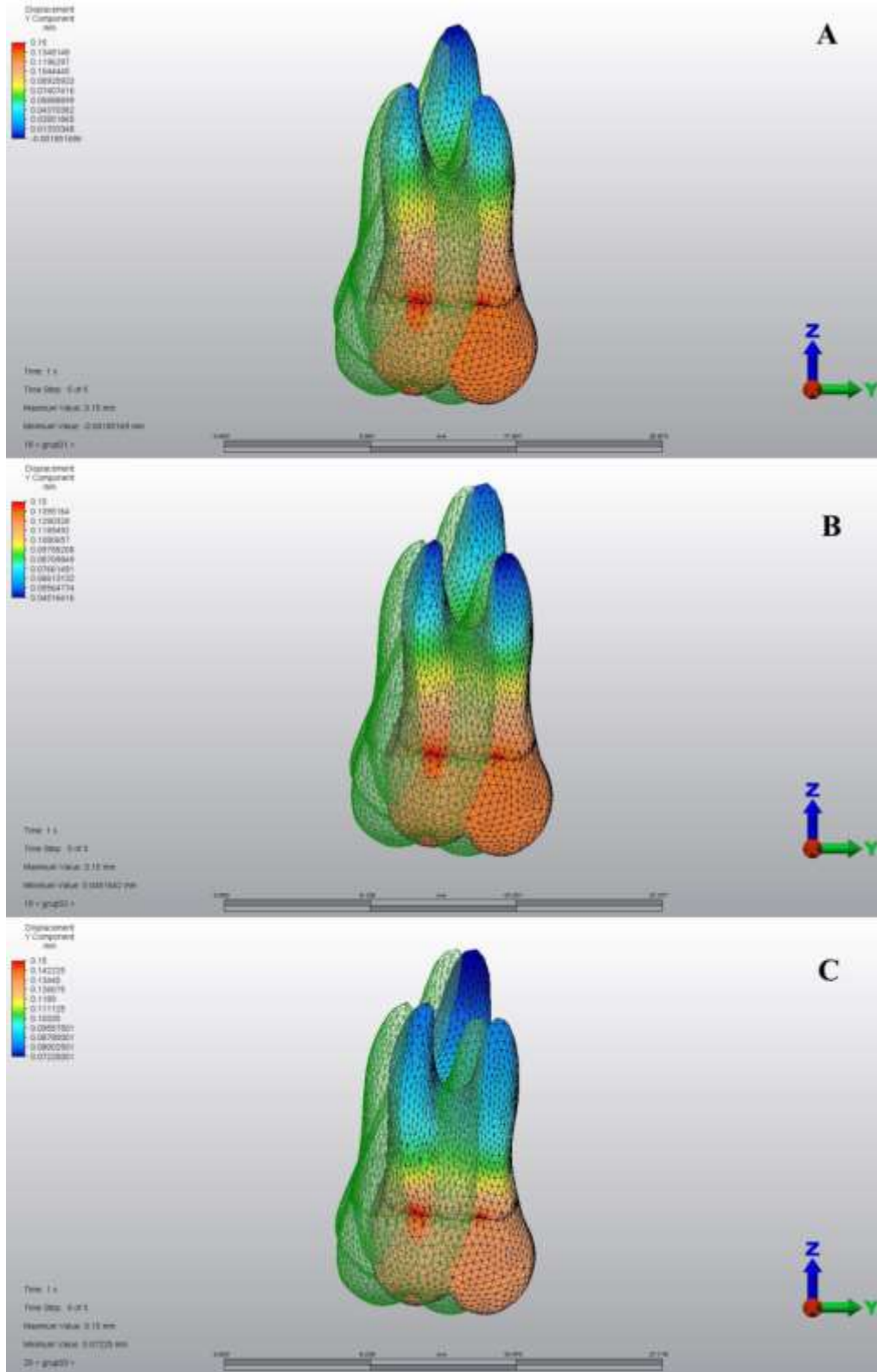
Kısaltmalar: KU: Kök Ucu

Tablo 5.

*Z ekseninde yer değiştirme büyüklüğü (mm)*

	<b>1. Grup</b>	<b>2. Grup</b>	<b>3. Grup</b>
Palatal KU	0,02	0,01	0
Mesio-vestibular KU	0,003	0,002	0
Disto-vestibular KU	0,02	0,01	0
Furkasyon	0,004	0,003	0
Koronal	0	0	0

Kısaltmalar: KU: Kök Ucu



Şekil 25.

Üç grup için birinci maksiller moların y ekseninde diş kökü ve kronu üzerinde yer değiştirme paterni: (A) Ataşmansız, (B) Dikey dikdörtgen ataşmanlı, (C) Kılavuz ataşmanlı.

Mevcut analizden elde edilen sonuçlar, plakların dişi herhangi bir ataşman olmadan hareket ettirdiğinde kontrolsüz devrilme hareketinin ortaya çıktığını öne sürmektedir. Bir dikey dikdörtgen ataşman eklentisinin uygulanması, kök uçlarının distal hareketi ile sonuçlanmıştır. Yine de azami yer değiştirme miktarı ataşman bulunan her iki grupta da kron seviyesinde gözlemlenmiş olup, bir dereceye kadar gerçekleşen mesio-distal devrilme hareketini akıllara getirmiştir. Asal stresler periodontal ligament üzerinde belirlenmiştir. Kılavuz ataşman bulunan üçüncü grupta stres, dişin kökü boyunca daha üniform bir yapıda dağılmış, maksiller birinci molar translasyonunda görülen bir patern sergilemiştir. (Elkholy ve ark., 2015) Analiz edilen tüm konfigürasyonlarda molar distalizasyon esnasında bir raddeye kadar devrilme gerçekleşmiştir. Herhangi bir ortodontik aparey ile devrilmenin tamamen kontrol altına alındığı salt bir gövdesel paralel translasyonun elde edilmesi muhtemelen mümkün olmayacaktır ancak, asıl hedeflenmesi gereken amacın devrilme efektinin ek mekanik prosedürlerin kullanımı ile zaman içinde kontrol edilmesi olmalıdır (Savignano ve ark., 2019).

Diğer deneysel modeller ile kıyaslandığında sonlu eleman analizi PDL'yi hesaba katmakta, böylelikle önceki çalışmalarda da gösterildiği üzere doku özellikleri stres değerlerini ve dağılım paternlerini etkileyebilmektedir. Genel bakımdan lineer model, kökte gerçekleşen asal PDL streslerini ve Von Mises streslerini göz ardı edebilmekte ya da bunların değerlerini kök ortası konumunda olduğundan fazla varsayabilmektedir. (Toms ve ark., 2013) Lineer olmayan modellerde streslerin lineer modellerde hesaplandıklarından daha yüksek olması sebebiyle (Toms ve ark., 2013) stres büyüklüğüne yönelik karşılaştırmalı analiz mevcut çalışmaya eklenmiş olup, mevcut bilgiler dahilinde bu çalışma molar distal hareketin lineer olmayan sonlu eleman analizi ile ele alındığı ilk çalışma olmuştur.

Giderek daha karmaşık bir hal alan maloklüzyonların tedavisinde şeffaf plakların kullanımının git gide artış gösteriyor olmasına rağmen, uygulamalarda ve sanal ortamlarda planlanmış ortodontik hareketlerde sıklıkla bir uyumsuzluk gözlemlenmektedir. İlk olarak, Align Technology (%20 - %30) ile ortodonti uzmanları (%70 - %80) arasında, tedavi öncesi hedeflere ulaşılması için tedavi sürecinin orta evrelerinde düzeltmeye veya iyileştirme uygulamalarına ihtiyaç duyulduğu belirtilen hasta yüzdesinde bir uyumsuzluk gözlemlenmiştir. (Sheridan,

2004). Kravitz ve ortak yazarlar tarafından yayınlanmış geçmiş bir çalışmada (2009) diş hareketinin Invisalign sistemi ile etkinliği incelenmiştir (Kravitz ve ark., 2009). Yazarlar Invisalign tedavisi sonrası elde edilen diş hareketini, ClinCheck (Align Technology, Santa Clara, Kaliforniya) aracılığıyla öngörülen anterior diş hareketleri ile (genişletme, daraltma, intrüzyon, ekstrüzyon, mesiodistal devrilme, labiolingual devrilme ve rotasyon) karşılaştırmıştır (Kravitz ve ark., 2009). Ölçümler Align tarafından sağlanan diş ölçüm yazılımı Tooth Measure kullanılarak, sabit premolarlar ve molarlar üzerinde öngörülen ve elde edilen dijital modellerin üst üste bindirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Miller ve ark., 2003). Yazarlar tedavinin etkililiği bakımından büyük ölçüde değişikliklerin olduğunu ortaya çıkarmıştır. En yüksek doğruluğa sahip hareket lingual daraltma (%47), en düşük doğruluğa sahip hareketler ise kesici diş ekstrüzyonu (%18) ile mandibular kanin rotasyonu (%28) olmuş, ortalama diş hareketi doğruluğu seviyesi %41 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, Invisalign teknolojisinin etkisinin değerlendirildiği ilk prospektif klinik çalışma olma özelliğini kazanmıştır (Kravitz ve ark., 2009). Aynı örneklem ve metodolojiden hareketle yazarlar interproksimal redüksiyonun (IPR) ve elipsoid ataşmanların kanin rotasyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Invisalign kullanımlı söz konusu rotasyona ait ortalama doğruluk değeri %36 olarak bulunmuştur. En yüksek doğruluk seviyesi IPR uygulaması yapılan kanin dişlere ait olmuş, gereken rotasyonel hareketin 15°'den fazla olduğu durumlarda genel doğruluk seviyesi anlamlı derecede düşüş göstermiştir (Kravitz ve ark., 2008).

2012 yılında Krieger ve ark. ark uzunluğu, interkanin mesafe, overbite, overjet ve orta hatlar gibi spesifik maloklüzyon özelliklerini diş hareketlerinin birer birer değerlendirilmesi yerine ilk ve son alçı kalıplarının dijital kumpasla ölçülmesi yoluyla karşılaştırmıştır. Anterior çapraşıklığın kesici diş proklinasyonu ile giderilmesinde Invisalign kullanımı etkili olmuş ancak overbite düzeltmesinin elde edilmesi kolay olmamıştır (Krieger ve ark., 2012). 2014 yılında Simon ve ark. kesici diş torku, premolar rotasyon ve maksiller molar distalizasyonda evreleme (hareket/plak) ile hasta iş birliğinin yanı sıra ataşman ve Power Ridge (güç sırtı) gibi spesifik yardımcı araçların da etkilerini değerlendirmişlerdir (Simon ve ark., 2014). Şeffaf plaklar ile molar distalizasyon ve kesici diş torku gibi diş hareketlerinin etkililiği ilk defa bu çalışmada incelenmiştir. Öngörülen dijital modellerin ve dijitalleştirilmiş alçı modellerinin çakıştırma (superimposition) işlemi için Surfacer

yazılımı kullanılmıştır. En düşük doğruluk seviyesine sahip hareket premolar rotasyon (%40) olmuştur. Nitekim, plakların var olan birtakım kesintiler sebebiyle yerinden oynamaya eğimli olmaları sebebiyle, kanin ve premolar dişler gibi silindirik dişlerin derotasyonu, plak ile gerçekleştirilebilecek en zor hareketlerden biridir. Premolar ve kanin derotasyonuna dair literatürde karşılaşılan sonuçlar %29,1 ile %49,7 arasında değişmektedir (Kravitz ve ark., 2008; Kravitz ve ark., 2009). Öte yandan, molar distalizasyon tedavi esnasında Sınıf II elastiklerin kullanımı olmadan yaklaşık %87 ile en yüksek doğruluk seviyesine ulaşmıştır. Bununla birlikte, baskıların ikinci/birinci moların distalizasyonundan hemen sonra edinilmiş olması sebebiyle anterior dişlerin retrüzyonu esnasında posterior bölgede yaşanan ankraj kaybının hesaba katılmadığı da akılda bulundurulmalıdır. İlaveten, distalizasyon doğruluğunun ölçümü, azami desmodontal ankraj yoluyla gerçekleştirilmiştir (Simon ve ark., 2014). Önceden bahsedildiği üzere bazı yazarlar şeffaf plak kullanımı ile gövdesel paralel hareket veya tork gibi hareketlerin gerçekleştirilebileceği konusunda dahi şüphe bulundurmushlardır (Brezniak, 2008).

Grünheid ve ark. (2017), tüm dişler için Invisalign kullanımının diş hareketi üzerindeki etkisini incelemiştir. Öngörülen sonuç ile elde edilen tedavi sonuçları arasındaki fark, her bir diş türü, yönü ve hareket türüne dair istatistiksel anlamlılık için hesaplanmış ve test edilmiştir. Çakıştırma işlemi için Compare yazılımı (Sürüm 8.1; GeoDigm, Falcon Heights, Minn) ile öngörülen ve elde edilen dijital modellerin en uygun kayıtları kullanılmıştır (Grünheid ve ark., 2017). Mevcut çalışmada kullanılmış olan yazılım bilhassa nesnelere arasındaki farkları altı derece serbestlik alanı içerisinde ölçme kabiliyetine sahiptir. Genel açıdan bakıldığında, öngörülen ve elde edilen sonuçlar arasında en büyük farklara sahip olan hareketler molar tork, mandibular kesici diş intrüzyonu ile, mandibular lateral, kanin ve birinci premolar rotasyonu olmuştur (Grünheid ve ark., 2017). En büyük uyumsuzluk, 2 dereceyi aşan ve dolayısıyla klinik olarak ilişkili kabul edilen maksiller ikinci molar tork hareketine ait olmuştur. Molar dişler genel olarak daha geniş kök yüzeyi alanına sahip olup, diş hareketinin gerçekleştirilmesi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyar; bununla birlikte, benzer farklılıklar geleneksel sabit apareylerde dahi gözlemlenmiştir (Lieber ve ark., 2003). Dahası, maksiller arkta genişletme tam anlamıyla elde edilememiş, molar dişler ise paralel hareket etmek yerine devrilme hareketi sergilemiştir. Bu çalışma kesici dişler ile alakalı, diğer bir deyişle, anterior dişlerin görece daha az doğruluk



seviyelerine sahip olması ile ilgili geçmişte edinilen bulguyu da doğrulamıştır. Charalampakis ve ark. (2018) Invisalign kullanılarak gerçekleştirilen kesici diş, kanin ve premolar hareketlerinin etkililiğini değerlendirmiştir. Önceki çalışma ile benzer bir şekilde, en az doğruluk seviyesine sahip hareketler sırasıyla mandibular kesici diş intrüzyonu, maksiller kanin dişlerin rotasyonu ile mandibular kanin dişlerin hareketi olarak tespit edilmiştir (Charalampakis ve ark., 2018). Elde edilen rotasyon hareketlerinin hepsi öngörülenden daha az olmuş, maksiller kanin dişler ise öngörülen ve elde edilen değerler arasında en büyük farkı sergilemiştir. Kesici dişlerin yatay eksen üzerindeki hareketleri, öngörülen ve elde edilen değerler arasında anlamlı olmayan farklılıklar ile daha yüksek doğruluk seviyelerine sahip olmuştur (Charalampakis ve ark., 2018).

Buna karşın, geçen yıllar zarfında Invisalign sistemi optimize edilmiş ataşmanlar, basınç bölgeleri ve özelleştirilmiş evrelemenin yanı sıra daha geniş kuvvet iletim aralığı ve uyum sağlayan SmartTrack plak materyali (2011) gibi büyük ölçülü değişiklikler geçirmiştir (Haouili ve ark., 2020). Yakın zamanda önceki çalışmaya (Kravitz ve ark., 2009) dair bir güncelleme yayınlanmıştır. Söz konusu çalışmada Invisalign için tüm diş hareketlerine yönelik ortalama doğruluk seviyesi %50 olmuş (Haouili ve ark., 2020), 2009 tarihli çalışmaya kıyasla (Kravitz ve ark., 2009) artış göstermiştir. Posterior dişlerin çalışmaya dahil edilmesi ve diş hareketlerinin daha kapsayıcı olması sebebiyle söz konusu bulgu önem taşımaktadır. En yüksek doğruluk seviyesinde diş hareketi bukkal-lingual kron devrilme (%56) olmuştur (Haouili ve ark., 2020). Plakların dişleri iterek hareket ettirmesi ve kronun bukkal ve lingual taraflarının itme için en geniş yüzey alanını sağlaması göz önünde bulundurulduğunda bu durum anlaşılabilir. Bukkal kron devrilme hareketinin doğruluk seviyesi, başlıca terminal dişlerin kısa kronlarındaki zayıf plak tutuşu sebebiyle düşük (%36) bulunmuştur (Haouili ve ark., 2020). En düşük doğruluk seviyesine sahip diş hareketinin rotasyon (%46) olduğu tespit edilmiştir; bu hareket özellikle kanin, premolar ve molar dişler için zorluk teşkil etmiştir. Söz konusu bulgular diğer çalışmalarda gözlemlenen bulgular ile benzerlik göstermektedir (Simon ve ark., 2014; Charalampakis ve ark., 2018). Rotasyonun yönü, maksiller kanin hareketinin doğruluğunu etkilemiştir; distal rotasyonun doğruluk seviyesi, mesial rotasyondan anlamlı derecede daha az (%37 ve %52) bulunmuştur (Haouili ve ark., 2020).

Maksiller ekstrüzyonunun doğruluk seviyesinin önceki çalışma ile kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Maksiller kesici dişlerin ekstrüzyonunun en yüksek doğruluk seviyesine (%55) sahip olmasına karşın, maksiller ve mandibular molar dişlerin ekstrüzyonu en düşük doğruluk seviyesine (%40) sahip olmuştur (Haouili ve ark., 2020). Optimize edilmiş ekstrüzyon ataşmanlarının kullanımı bu iyileşmenin muhtemel bir sebebi olarak sunulabilir. Bununla birlikte, kesici diş intrüzyonu teşkil ettiği zorluğu korumuştur. Mandibular kesici diş intrüzyonunun düşük doğruluk seviyesinin olmasına dair bir sebep olarak posterior ankrajın eksikliği öne sürülebilir (Haouili ve ark., 2020). Kesici diş ekstrüzyonu veya molar diş intrüzyonu gibi belirli diş hareketlerinin göreceli doğrulukları ve kesici diş intrüzyonu ve molar ekstrüzyonu gibi diğer hareketlerin düşük doğruluk seviyeleri göz önünde bulundurulduğunda, Invisalign sisteminin derin kapanış olgularından ziyade açık kapanış olgularının tedavisinde daha etkili olduğu çıkarımı yapılabilir. Başka bir çalışma Invisalign sistemi ile overbite'da 1,5 mm'lik iyileşmenin beklenebileceğini ve sabit apareyler ile genellikle 3 mm'lik iyileşmenin elde edildiğini belirlemiştir (Khosravi ve ark., 2017). Bu takip çalışmasının yazarları, Invisalign sisteminin gelişmekte olduğunu belirtmekte, bununla birlikte ilk yayından bu yana geçen 11 yıllık sürede sonuçlar üzerinde sadece %9 oranında bir iyileşmenin görülmesi gerçekçilik adına göz önünde bulundurulmalıdır (Bowman, 2018).

Sınıf II maloklüzyonların düzeltilmesi iki ana strateji üzerinden gerçekleşmiştir. İlk stratejide şu şekilde Sınıf II elastiklerin plaklara uygulanması yer almıştır: 1) Butonların plaklar ile bağlanması; 2) Plaklara döner diş frezleri ile çentiklerin atılması; 3) Plastik üzerinde yarıkların açılması için "tırnak makaslarının" kullanılması veya 4) Kesiklerin yapılandırma aşamasında oluşturulması (Bowman, 2018). Sınıf II elastiklerin etkileri genel olarak dentoalveolar niteliktedir (Tai, 2018). Şeffaf plaklar ve elastikler ile gerçekleştirilen Sınıf II tedavisinin faydası olarak ağız içi elastiklerin ilk plakla birlikte, tedavinin başında kullanılabilmesinden bahsedilebilir. Sınıf II bukkal ilişkisinin düzeltilmesinin elastik kullanım süresiyle bağlantılı olması sebebiyle şeffaf plak eklentili Sınıf II elastik tedavisinin sabit apareylere kıyasla daha etkili olduğu bilinmektedir (Tai, 2018). Elastikler maloklüzyon şekline bağlı olarak bilateral veya unilateral şekilde kullanılabilmekte olup, ilk olarak ¼ inç, 2 oz (hafif) elastiklerin kullanımı ile başlanmakta, sonradan ¼ inç, 4,5 oz (orta) elastiklerin kullanımına kadar gidilebilmektedir (Tai, 2018).

Tipik maksiller molar distalizasyon yöntemlerinin taklit edilmesi için ikinci bir seçenek tasarlanmıştır (Bowman, 2018). Ardışık distalizasyon, toplu hareketlerden farklı olarak, plakların her bir dişi teker teker distalize edecek şekilde ayarlanması anlamına gelmektedir. Bu yol ile posterior bölgelerin distalizasyonuna tepki olarak anterior kısımda daha az ankraj gerginliğine sebep olunması, diğer bir deyişle, anterior dişlerin labial devrilme hareketinin azaltılması amaçlanmıştır. Distalizasyon genel olarak üst ikinci molar dişlerde başlamakta olup, ikinci molar distalizasyonunun 2/3 oranında tamamlandığı anda üst birinci molarların, sonrasında premolarların ve diğer dişlerin geriye çekilmesine başlanmaktadır (Daher, 2011). Bu yapılandırma oldukça konservatif bir niteliktedir; şeffaf plaklar ise molar dişlerin, maksiller kesici dişler eş zamanlı şekilde labial olarak hareket ettirilmeden distalize edilmesini sağlamaktadır (Tai, 2018). Kesici dişlerin retraksiyonu esnasında uygun kron torkunun korunması için Invisalign sistemi Power Ridge özelliğini kullanmaktadır (Daher, 2011). Posterior IPR ve/veya Sınıf II elastik simülasyonu ile beraber uygulanmak üzere ardışık distalizasyon da tercih edilebilmektedir (Tai, 2018). Ardışık distalizasyonun Sınıf II elastikleri ile birlikte kullanımı tam tüberkül Sınıf II maloklüzyonun düzeltilmesi için tercih edilebilmektedir. Örneğin, Sınıf I maloklüzyonun tamamen düzeltilmesi amacıyla yarım tüberkül için ardışık distalizasyonun yapılandırılması, diğer yarım tüberkül için elastik simülasyonun eklenmesi mümkündür (Tai, 2018). Ardışık distalizasyonun IPR ile birlikte uygulanması ile Sınıf I molar ve kanin ilişkisinin düzeltilmesi için gereken distalizasyon miktarı azaltılmaktadır (Tai, 2018). Sınıf II elastikler ankrajın güçlendirilmesi ve plaklara halihazırda uygulanmış olan hareketlere katkı sağlanması için kullanılmaktadır (Tai, 2018).

Sınıf II Div. 1 olgularda, üst üçlülerde elastik bağlantısının yapılabilmesi için hassas kesimlerin gerçekleştirilmesi mümkündür. Sınıf II Div. 2 olgularda elastiklerin plak üzerine doğrudan bağlanmasının plağı yerinden oynatabilmesi sebebiyle butonlar üst kanin dişlerin üzerine doğrudan bağlanabilmektedir (Daher, 2013). Maksiller ark üzerinde kanin veya birinci premolar dişlerde hassas kesim yapıldığında ağız içi elastik, plağa doğrudan bağlı olması sebebiyle bütün ark üzerinde distal bir kuvveti ortaya çıkarmaktadır. Yukarıda belirtildiği üzere bu yöntem, Sınıf II Divizyon 1 olgularda veya maksiller kesici dişlerin procline olduğu durumlarda, distal kuvvetin bu dişleri uygun şekilde geriye çekecek ve overjet'i

azaltacak olmasından dolayı etkili olacaktır (Tai, 2018). Maksiller kesici dişlerin retrüze olduğu Sınıf II Divizyon 2 maloklüzyonlarda maksiller ark üzerinde buton kesikleri gerekebilmektedir. Sınıf II maloklüzyon tarafından sergilenen bir örnekte ise maksiller kanin dişler bukkal ve apikal olarak sürmüş, ekstrüzyon gerektirecek hale gelmiştir (Tai, 2018). Bu tür olgularda kesici dişlerin inklinasyonunun düzeltilmesi gerekmekte olup, bundan dolayı Sınıf II maloklüzyonların parmak emme olgularında da olduğu üzere retrüze mandibular kesici dişlerle gözlemlenmesi sebebiyle bütün plak üzerinde bir distal kuvvetin oluşması istenmemektedir. Bu olguda bütün mandibular ark üzerinde mesial bir kuvvetin oluşması tercih edilmekte olup, bu durumda Sınıf II elastik kullanımı için mandibular birinci molar dişler üzerinde hassas kesimli kancalar gerekli olabilmektedir (Tai, 2018). Mandibular kesici dişlerin halihazırda prokline olduğu olgularda Sınıf II elastik kullanımının yaygın bir yan etkisi olan proklinasyonun daha da artması istenmeyen bir durum olmaktadır (Tai, 2018). Bu gibi olgularda mandibular molar dişler için genellikle buton kesikleri gerekli olmaktadır. Bu şekilde elastik kuvvetler nihayet izole edilebilmekte ve mandibular kesici diş inklinasyonunda daha fazla kontrol sağlanabilmektedir (Tai, 2018).

Comba ve ark. (2017), şeffaf plaklar ile üst kanin distalizasyonunun sonlu eleman analizini gerçekleştirdiği çalışmalarında Sınıf II elastiklerin kullanımını simüle etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, anterior dişlerde flaring'in ve ankraj kaybının önlenmesi amacıyla Invisalign sistemi ile birlikte kullanılmasının sıklıkla tavsiye edildiği Sınıf II elastiklerin, optimize edilmiş ataşmanlar ile beraber kullanıldığında intrüzyon kuvvetlerini anlamlı derecede azalttığı tespit edilmiştir (Comba ve ark., 2017). Yazarlar kanin distalizasyonunun desteklenmesi ve distalizasyon esnasında beklenmeyen bir plak deformasyonu sebebiyle gerçekleştiği tahmin edilen kontrol dışı intrüzyonun önlenmesi amacıyla 4 oz Sınıf II elastiklerin kullanımını simüle etmiştir (Gomez ve ark., 2014). Nitekim, Gomez ve ark. distal hareket esnasında bukkal ve palatal plak kısımlarında flaring eğilimi tespit etmiştir. Bu durum intrüziv bir etkinin varlığını da akıllara getirmektedir (Gomez ve ark., 2014). Optimize edilmiş ataşmanların Sınıf II elastikler ile kullanılmasında plağın mükemmel bir şekilde uyum göstermesi sebebiyle distal hareket herhangi bir pasif veya istenmeyen hareket gerçekleşmeden başarılı bir şekilde kontrol edilmiştir (Comba ve ark., 2017). Sınıf II elastiklerin birinci molar distalizasyonundan itibaren

tam zamanlı olarak kullanılması sıklıkla tavsiye edilmekte olsa da mevcut çalışmada Sınıf II elastiklerin kullanımının simüle edilmemesi sebebiyle ne distalizasyon hareketi ne de anterior ankrajın kontrolüne yönelik herhangi bir ilave etki belirlenememiştir.

Plak yoluyla tedavinin iyileştirilmesinde birtakım yenilikler önem teşkil etmektedir (Bowman, 2018). Bu yeniliklerin arasında kronun uzamsal oryantasyonunun kontrolünü arttıran kompozit ataşmanlar tedavi için özellikle daha fazla olanak sunmaktadır. Plakların ilk defa tanıtıldığı dönemde diş hareketleri devrilme ve anterior dişlerin hafif derotasyonu ile kısıtlı olmuştur (Eliades ve ark., 2020). Diş kronlarının devrilmesi ve kesici diş rotasyonu, herhangi bir ataşman kullanılmaksızın gerçekleştirilebilen hareket türleridir. Kompozit ataşmanların yardımı olmadan karmaşık diş hareketlerinin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Ataşman tasarımı, teşhis ve tedavi planlamasının önemli bir unsurudur (Chan ve ark., 2019).

Invisalign sistemi, elipsoid, şevli ve dikdörtgen şeklinde üç adet genel ataşman türü kullanılmaktadır. Ataşmanlar, ekstrüzyon, derotasyon ve kök hareketleri gibi belirli diş hareketlerinin kontrol edilmesi için gerekli olmaktadır (Hennessy ve ark., 2014). Elipsoid ataşmanlar derotasyonlar için tek başına veya kök hareketlerinin uygulanmasında çift halinde kullanılmaktadır. 3 mm yüksekliğe, 2 mm genişliğe ve 0,75 - 1 mm arası kalınlığa sahip olup, kesici dişler, kanin dişler ve premolar dişler için kullanılabilir (Hennessy ve ark., 2014). Premolar dişler dar temas yüzeylerine sahip olup, derotasyon için ataşmana ihtiyaç duymaktadır (Chan ve ark., 2019). Tek kullanılan elipsoid ataşmanlar daha iyi rotasyonel kontrol sağlarken, çift halinde kullanılan elipsoid ataşmanlar köklerin kaldırılması ve gövdesel paralel hareketin sağlanması için gerekli momentin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Hennessy ve ark., 2014). Şevli ataşmanlar sıklıkla dişin ekstrüzyonunda kullanılmakta olup, 3, 4 veya 5 mm genişliğe, 2 mm yüksekliğe ve 0,25 ila 1,25 mm kalınlığa sahip olabilmektedir (Hennessy ve ark., 2014). Dikdörtgen ataşmanlar mesio-distal hareketin lazım olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Bu ataşmanlar 3, 4 veya 5 mm yüksekliğe, 2 mm genişliğe ve 0,5 ila 1 mm kalınlığa sahip olup, genel olarak gövdesel paralel hareketin elde edilmesi için kullanılmaktadır (Hennessy ve ark., 2014).

Üst kesici dişlerin palatal ve labial translasyonundan görülebileceği üzere plaklar tek başlarına gövdesel paralel hareketin sağlanmasında kullanılamamaktadır (Barone ve ark., 2017). Ataşmanlar, karmaşık ortodontik hareketlerin elde edilmesinde gerekli olan yardımcı unsurları sağlamaktadır. Spesifik alanlardaki uyumsuzluğun yerel olarak arttırılması, yük yoğunluğunun ve yönünün doğru kontrolü gibi yollarla bir etki mekanizmasının oluşturulması mümkündür. Gomez ve ark. (2015) dişin bukkal tarafındaki ataşmanların paralele translasyona katkı sağlayan bir karşı moment yaratarak inklinasyon eğilimini etkisiz hale getirdiğini, aynı zamanda ataşman eksikliğinin dişin distal devrilme hareketine yol açan saat yönünde bir moment oluşturduğunu öne sürmüştür (Gomez ve ark., 2015). Ataşman geometrisi/oryantasyonu ile yatay ya da dikey olarak belirlenen konfigürasyonu kuvvet sistemini diş seviyesinde etkilemiştir (Barone ve ark., 2017).

Ataşmanların paralel diş translasyon hareketi sağlamadaki etkinlikleri geçmiş sonlu eleman modeli çalışmalarında gösterilmiştir. (Gomez ve ark., 2014; Comba ve ark., 2017; Yokoi ve ark., 2019; Rossini ve ark., 2020; Kravitz ve ark., 2020) Optimize edilmiş ataşmanlar plak yordamıyla gerçekleştirilen translasyon hareketi esnasında kanin ve orta kesici dişlerin devrilmesini kontrol altına alabilir. Comba ve ark. (2017) ataşmansız, dikdörtgen ataşmanlı, optimize edilmiş ataşmanlı ve optimize edilmiş ataşmanlar ile Sınıf II elastiklerin birlikte kullanıldığı konfigürasyonların PDL stres düzeylerini analiz etmiştir. Ataşmansız ve dikdörtgen ataşmanın bulunduğu konfigürasyonlarda disto-servikal ve mesio-apikal alanlarda kontrolsüz devrilme hareketine atfedilebilen lokalize bir sıkışma gözlemlenmiştir (Comba ve ark., 2017). Optimize edilmiş ataşmanlar ile bütün distal yüzeylerde görülen sıkışma ve bütün mesial yüzeylerde görülen gerilimden de anlaşılabilceği üzere, gövdesel paralel distal hareket tespit edilmiştir. Maksimum stres optimize ataşmanlı konfigürasyonun aktif yüzeylerinde lokalize olmuştur. Yazarlar optimize edilmiş ataşmanların sadece kanin dişlerde gövdesel paralel hareketin oluşturulmasında etkili olmakla kalmadığını, dikey ataşmanın periodontal destek hasarına yol açabilen bukkal kökün yer değiştirmesi olayına da sebep olabileceğini tespit etmiştir (Comba ve ark., 2017). Dikey dikdörtgen ataşmanın kullanıldığı konfigürasyonda bukkal yer değiştirme görülmüş olup, söz konusu yer değiştirme ataşmansız konfigürasyonda az derecede gözlemlenmiştir. Söz konusu bukkal yer değiştirmenin kanin dişte periodontal desteğin zarar görmesiyle sonuçlanabileceği öne sürülmüştür (Comba ve

ark., 2017). Öte yandan, optimize edilmiş bir ataşmanın kullanılması kanin dişin palatal yönde paralel hareket etmesini sağlamıştır. Bu durum periodontal desteğin iyileştirilmesine de katkı sağlayabilmektedir.

Yokoi ve ark. ataşmanların gövdesel paralel hareket üzerindeki etkilerini araştırmıştır(Yokoi ve ark., 2019). Bu amaç doğrultusunda orta kesici dişlerin plak yardımıyla paralele hareket ettiği diastema kapatılması sonlu eleman yöntemi (FEM) ile simüle edilmiştir. Yazarlar plağın eklenmesinden hemen sonra orta kesici dişlerde gerçekleşen hareketin ilk fazlarının plağın elastik deformasyonundan kaynaklandığını, PDL ve orta kesici dişlerin ataşmana bağlı olmaksızın devrilme ve rotasyon hareketi sergilediğini ortaya koymuştur (Yokoi ve ark., 2019). Ataşman, plağın eklenmesinden hemen sonra gerçekleşen kesici diş hareketini oldukça az derecede etkilemiştir. Ancak ataşman kullanılan plak ile yeterli vaktin geçirilmesinden sonra kesici dişin devrilme ve rotasyon açıları sifira yakın bir değer almış ve kesici diş paralele hareket etmiştir (Yokoi ve ark., 2019). Stres ataşmana yakın bir konumda ve plağın orta kısmında konsantre olmuş, dolayısıyla bu bölgeler plağın gücü bakımından zayıf noktalar olarak kabul edilmiştir. Yazarlar ataşmanların ancak yeteri kadar uzun bir süreden sonra etki göstererek kesici dişlerin gövdesel paralel bir biçimde hareket etmesini sağlayacak bir kuvvet sistemi yarattığı sonucuna varmıştır (Yokoi ve ark., 2019).

Rossini ve ark. ikinci maksiller molar distalizasyon sırasında maksiller arkın biyomekaniğini ikinci molar dişten kanin dişe ve birinci molar dişten kanin dişe olacak şekilde iki farklı ortamda analiz etmek için sadece dikdörtgen ataşmanları kullanmıştır (Rossini ve ark., 2020). Maksiller molar distalizasyonu sırasında plakların biyomekanik davranışlarının analizi ilk defa bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Yazarlar söz konusu ataşmanların ikinci molar dişin gövdesel paralel hareketinin kontrolü için zorunlu olduğu sonucuna varmıştır. İlâveten, ataşmanlar sadece aktif diş hareketinde rol oynamakla kalmamış, ankraj birimlerinin güçlendirilmesinde de etki göstermiştir. Çeşitli klinik faktörler ve sonlu eleman analizinin sonuçları göz önüne alındığında, ikinci molar dişten kanin dişe göre belirlenen birinci ataşman konfigürasyonu Sınıf II düzeltmenin maksiller molar distalizasyonla gerçekleştirilmesinin planlandığı klinik ortamlarda en çok ümit vadeden model olmuştur (Rossini ve ark., 2020). Dikey dikdörtgen ataşmanlar klinik

uygulamalarda karmaşık diş hareketlerinin desteklenmesi için rutin olarak kullanılmaktadır ancak etkinliklerini destekler nitelikte yayınlanan bulgular az sayıdadır. Buna ek olarak, maksiller molar dişlerin şeffaf plaklar ile distalizasyonu gibi karmaşık hareketler esnasında yardımcı elemanların etkililiğini araştırmış olan çalışmaların sayısı da azdır. (Garino ve ark., 2016; Ravera ve ark., 2016; Rossini ve ark., 2020; Haouili ve ark., 2020) Çalışmaların çoğu klinik gözlem çalışması şeklinde yürütülmüş olup, şu ana kadar sadece bir adet sonlu eleman analizi yayınlanmıştır (Rossini ve ark., 2020).

İlaveten, mevcut sonlu eleman modelinde analiz tek bir diş ile sınırlandırılmıştır. Sonuçlar, birinci molar dişin ideal angülasyona, inklınasyona ve normal marjinal kemik düzeylerine sahip olduğunu varsaymaktadır. Şeffaf plaklar üzerinde gerçekleştirilen sonlu eleman çalışmalarının çoğunluğu tek bir diş veya zaman zaman dental arkın bir kısmı ile sınırlı olmuş, sadece birkaçı tam dental ark modelleri üzerinde çalışmıştır. Geçmiş çalışmalar, analize dahil edilen kısmın genişletilmesinin, küçük bir raddeye kadar da olsa, PDL'nin biyomekanik tepkisini etkilediğini göstermiştir. (Jeon ve ark., 1999) Bu durum yüksek bir olasılıkla sınır koşullarının belirlenmesindeki farklılıklardan ortaya çıkmıştır. (Jeon ve ark., 1999) Buna karşın analizimizde büyük bir alan modellenmiş olup, sınır koşulları hareket ettirilmesi gereken dişin daha uzağında uygulanmıştır.

İlaveten, mevcut sonlu eleman modelinde analiz tek bir diş ile sınırlandırılmıştır. Sonuçlar, birinci molar dişin ideal angülasyona, inklınasyona ve normal marjinal kemik düzeylerine sahip olduğunu varsaymaktadır. Şeffaf plaklar üzerinde gerçekleştirilen sonlu eleman çalışmalarının çoğunluğu tek bir diş veya zaman zaman dental arkın bir kısmı ile sınırlı olmuş, sadece birkaçı tam dental ark modelleri üzerinde çalışmıştır. Geçmiş çalışmalar, analize dahil edilen kısmın genişletilmesinin, küçük bir raddeye kadar da olsa, PDL'nin biyomekanik tepkisini etkilediğini göstermiştir. (Huang ve ark., 2020) Bu durum yüksek bir olasılıkla sınır koşullarının belirlenmesindeki farklılıklardan ortaya çıkmıştır. (Huang ve ark., 2020) Buna karşın analizimizde büyük bir alan modellenmiş olup, sınır koşulları hareket ettirilmesi gereken dişin daha uzağında uygulanmıştır.

Plaklarla gerçekleştirilebilen tedavi spektrumunun Sınıf I maloklüzyonlarla kısıtlı olduğu ilk zamanlarda ortodontik tedavide asitli aşındırma uygulanmadan



gerçekleştirilen bağlama işleminin yer alması, diş minesinin yapısal bütünlüğünün korunması açısından bir avantaj sunmuştur (Eliades ve ark., 2020). Söz konusu bu avantajın içinde beyaz noktalı lezyonlar bakımından uygun sonuçların elde edilmesi, ayırma işleminden sonra yapışkan kalıntılarının döner araçlar ile kazınmasına ihtiyacın kalmaması ve diş minesinin optik özelliklerinin uzun vadede genel olarak değişmeden kalması gibi olumlu noktalar yer almaktadır (Joo ve ark., 2011). Bununla birlikte, plakların üç düzlemde de diş hareketine dair endikasyon spektrumunun genişlemesi, diş minesi yüzeyinin korumasına dair avantajı önemsiz kılmıştır (Eliades ve ark., 2020). Ayrıyeten, plak ataşmanları her gün bir defadan fazla şekilde yemek yeme esnasında oluşan çiğneme streslerine ve plağın diş üzerindeki bağlantı elemanlarından doğan streslere maruz kalmaktadır (Eliades ve ark., 2020).

## 5. BÖLÜM

### Sonuç ve Öneriler

#### 5.1. Sonuç

Çalışmada gerçekleştirilen sonlu eleman analizi, farklı ataşman konfigürasyonlarının üst maksiller molar dişin gövdesel paralel hareketine olan etkisinin ve ataşmanların genel olarak oynadığı rolün değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Mevcut analizden elde edilen sonuçlar, plakların dişi herhangi bir ataşman olmadan hareket ettirdiğinde kontrolsüz devrilme hareketinin ortaya çıktığını öne sürmektedir. Bir dikey dikdörtgen ataşman eklentisinin uygulanması, kök uçlarının distal hareketi ile sonuçlanmıştır. Yine de azami yer değiştirme miktarı ataşman bulunan her iki grupta da kron seviyesinde gözlemlenmiş olup, bir dereceye kadar gerçekleşen mesio-distal devrilme hareketini akıllara getirmiştir. Kılavuz ataşman bulunan üçüncü grupta stres, dişin kökü boyunca daha üniform bir yapıda dağılmış, maksiller birinci molar translasyonunda görülen bir patern sergilemiştir. Elde edilen sonuçlar, ataşman bulunmayan ve dikey dikdörtgen ataşman bulunan konfigürasyonların molar diş üzerinde mesio-distal yönde inklinasyon oluşturduğunu, kılavuz ataşmanlı konfigürasyonun ise gövdesel paralel harekete oldukça benzer bir stres ve yer değiştirme paterni oluşturduğunu ortaya koymuştur. Dikey eksen bakımından gerçekleşen translasyon hareketi sadece kılavuz ataşmanlı üçüncü grupta, ekstrüzyon hareketlerinin azami düzeyde kontrol edildiğini gösterir şekilde tüm seviyelerde 0 mm olarak gözlemlenmiştir. Mevcut simülasyon sagittal ve dikey düzlemlerdeki stres ve hareketin analizi ile sınırlı olmuştur. Gelecekte yürütülecek simülasyonlar diğer düzlemleri ele almalıdır. Elde edilen klinik deneyimler plakların molar distalizasyon sırasında mandibular sapmayı etkili bir şekilde kontrol edebileceğini öne sürmektedir. Bu durum, anterior açık kapanışlı ve hiperdiverjan büyüme paternli Sınıf II hastaların tedavisi esnasında dikey boyutun kontrol edilmesiyle bilhassa alakalıdır. Analiz edilen tüm konfigürasyonlarda molar distalizasyon esnasında bir raddeye kadar devrilme gerçekleşmiştir.

#### 5.2. Uygulamaya Dönük Öneriler

Sonlu eleman metoduyla (SEM) analiz, plaklar ile ortaya çıkan kuvvet sistemlerini ve ilişkili diş hareketlerini açıklamaktadır. Bununla birlikte, in vitro ve in vivo nitelikteki çalışmalardan edinilen sonuçlar SEM analizinden farklı

olabilmektedir. Sürtünme fenomeni, termoplastik materyal özellikleri, ısıl şekillendirme prosedürleri, apareyin eklenmesi ve çıkartılması gibi çok sayıda faktör plağın mekanik özelliklerine, dolayısı ile SEM analizi sonuçlarına etki etmektedir. Bu faktörlerin çoğunun üretici firmalar tarafından korunması ve açıklanmaması sebebiyle söz konusu faktörler SEM analizlerinin karmaşıklığının arttırılmasında kullanılamamaktadır. Buna ilaveten SEM analizinde, fonksiyonel ve/veya parafonksiyonel temaslardan türeyen, uygulanan ortodontik kuvvetin ve diş hareketinin zamansız bir şekilde etkilenmesine yol açabilecek oklüzal kuvvetler dikkate alınmamaktadır. In vitro doğrulayıcı çalışmaların yürütülmesine gerek duyulabilir. Bunun yanı sıra, bu çalışmalardan elde edilen herhangi bir sonucun klinik ortamlarda rutin olarak kullanımının tavsiye edilmesinden önce SEM analizinden türemiş kuvvetlerin doğrulanması için klinik deneylerin gerçekleştirilmesi gereklidir.

### 5.3. İleri Araştırmalara Dönük Tavsiyeler

Bu simülasyonun sonuçları, ilk diş hareketi sırasında oluşan stresin ve yer değiştirme paternlerinin analizi ile sınırlı kalmıştır. Ancak, diş hareketi kuvvet sisteminin değiştirilmesi ile dokuların mekanik tepkilerinin eşlik ettiği dinamik ve uzun vadeli bir süreçtir. Plaklar ile oluşturulan diş hareketi ve kuvvet sürecin başında azami dereceye ulaşmış olup, hızla düşüş göstermiştir. (Cai ve ark., 2015) Diş hareketi esnasında gerçekleşen kuvvet değişimi azami PDL stresi ve yer değiştirme değerlerindeki değişim tarafından sergilendiği üzere üstel olabilir. Bu durumun birden fazla çıkarımı bulunabilir. Örneğin, Yokoi ve ark. (2019) statik ve dinamik diş hareketi simülasyonlarında orta diastema kapanışı için mesial hareket esnasında orta kesici dişler için farklı bir yer değiştirme paterni tespit etmiştir. Kesici dişler ilk kuvvet uygulaması sırasında devrilme ve rotasyon hareketi yapmış, oldukça uzun bir süre ardından gövdesel paralel hareket belirgin olmuştur (Yokoi ve ark., 2019).

Molar distalizasyonun bütün ark üzerindeki etkisinin ele alınması, ortodontik kuvvetlerin uygulanmasına yönelik çeşitli öğelere dair paha biçilemez nitelikte bilgi sağlayacaktır. Rossini ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada plak kullanımıyla üst molar distalizasyon esnasında farklı ataşman konfigürasyonlarının etkilerini incelemiştir. En yüksek miktarda yer değiştirme ataşmansız modelde yer alan lateral kesici dişlerde gözlemlenmiştir. Molar dişten kanin dişlere kadar yerleştirilmiş

ataşmanların, molar distalizasyon esnasında kesici dişler üzerindeki istenmeyen bukkal flaring'in etkisiz hale getirilmesinde bir ankraj olarak rol oynayacağı varsayılabilir. (Rossini et al, 2020) Ek olarak, Garino ve ark. (2016) ikinci maksiller molarda bir dikey dikdörtgen ataşmanın bulunmadığı bir durumda birinci molar dişin distal hareketinin, birinci molar dişin anlamlı derecede devrilmesiyle sonuçlandığını tespit etmiştir (Garino ve ark., 2016).

Mevcut sonlu eleman modelinin güvenilirliğini doğrulayan deney çalışmalarının yürütülmesi gerekliliğinin yanı sıra, gelecekte oluşturulacak sonlu eleman modelleri bütün arkın üzerindeki etkiyi ve diş hareketinin dinamik doğasını hesaba dâhil edebilir.

### **Kaynakça**

- Angle HE. Treatment of malocclusion of the teeth. Angle's system SS white. Dent Manuf Co. 1907:628. <https://wellcomecollection.org/works/brpcqyv9>.
- Antonarakis GS, Kiliaridis S. Maxillary molar distalization with noncompliance intramaxillary appliances in class II malocclusion: A systematic review. *Angle Orthod.* 2008;78(6):1133-1140. doi:10.2319/101507-406.1
- Antonarakis GS, Kiliaridis S. Short-term anteroposterior treatment effects of functional appliances and extraoral traction on class II malocclusion: A meta-analysis. *Angle Orthod.* 2007;77(5):907-914. doi:10.2319/061706-244
- Baccetti T, Franchi L, Toth LR, McNamara JA. Treatment timing for Twin-block therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2000;118(2):159-170. doi:10.1067/mod.2000.105571
- Bajaj D, Madhav I, Juneja M, Tuli R, Jindal P. Methodology for stress measurement by transparent dental aligners using strain gauge. *World J Dent.* 2018;9(1):13-18. doi:10.5005/jp-journals-10015-1499
- Barone S, Paoli A, Razionale A V., Savignano R. Computer aided modelling to simulate the biomechanical behaviour of customised orthodontic removable appliances. *Int J Interact Des Manuf.* 2016;10(4):387-400. doi:10.1007/s12008-014-0246-z
- Barone S, Paoli A, Razionale A V., Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int j numer method biomed eng.* 2017;33(8). doi:10.1002/cnm.2839
- Barone S, Paoli A, Razionale AV, Savignano R. Modelling strategies for the advanced design of polymeric orthodontic aligners. In: *Communications in Computer and Information Science.* Vol 690. Springer Verlag; 2017:67-83. doi:10.1007/978-3-319-54717-6\_5
- Blackham SS. A study of short term skeletal dental and soft tissue effects of Class II A malocclusions treated with Invisalign ® mandibular advancement feature

- or twin block appliance compared with historical controls. University of British Columbia; 2020. doi:10.14288/1.0392341
- Borák L, Florian Z, Bartáková S, et al. Bilinear elastic property of the periodontal ligament for simulation using a finite element mandible model. *Dent Mater J*. 2011;30(4):448-454. doi:10.4012/dmj.2010-170
- Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, Lin JC hen. Y. Creative adjuncts for clear aligners, part 1: Class II treatment. *J Clin Orthod*. 2015;49(2):83-94.
- Bowman SJ. Drastic Plastic: Improving the Predictability of Clear Aligners. <https://education.aaoinfo.org/aaoinfo/sessions/6698/view>. 2018. Accessed May 18, 2021.
- Boyd RL. Complex orthodontic treatment using a new protocol for the Invisalign appliance. *J Clin Orthod*. 2007;41(9):525–47.
- Brezniak N. The clear plastic appliance. *Angle Orthod*. 2008;78(2):381-382. doi:10.2319/0003-3219(2008)078[0381: TCPA]2.0.CO;2
- Burstone CR. Deep overbite correction by intrusion. *Am J Orthod*. 1977;72(1):1-22. doi:10.1016/0002-9416(77)90121-X
- Caruso S, Nota A, Severino M, et al. Mandibular advancement with clear aligners in the treatment of skeletal Class II. A retrospective controlled study. *Eur J Paediatr Dent*. 2021;22(1):26-30. doi:10.23804/ejpd.2021.22.01.05
- Chan M, Chen C, Chang C, Lin J, Chang C, Roberts W. Introduction to Invisalign® Smart Technology : Attachments Design , and Recall-Checks. *J Digit Orthod*. 2019;54(1):80-95..
- Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;154(1):47-54. doi:10.1016/j.ajodo.2017.11.028
- Clements KM, Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: Dental improvements. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2003;124(5):502-508. doi:10.1016/s0889-5406(03)00577-8

- Dorow C, Schneider J, Sander Fg. Finite Element Simulation Of In Vivo Tooth Mobility In Comparison With Experimental Results . *J Mech Med Biol.* 2003;03(01):79-94. doi:10.1142/s0219519403000661
- Eliades T, Papageorgiou SN, Ireland AJ. The use of attachments in aligner treatment: Analyzing the “innovation” of expanding the use of acid etching–mediated bonding of composites to enamel and its consequences. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2020;158(2):166-174. doi:10.1016/j.ajodo.2020.04.008
- Feldmann I, Bondemark L. The significance of anchorage in orthodontics. In: *Skeletal Anchorage in Orthodontic Treatment of Class II Malocclusion: Contemporary Applications of Orthodontic Implants, Miniscrew Implants and Mini Plates.* Elsevier Ltd; 2015:22-28. doi:10.1016/B978-0-7234-3649-2.00003-8
- Fill TS, Carey JP, Toogood RW, Major PW. Experimentally determined mechanical properties of, and models for, the periodontal ligament: Critical review of current literature. *J Dent Biomech.* 2011;2(1):1-10. doi:10.4061/2011/312980
- Fischer K. Invisalign treatment of dental Class II malocclusions without auxiliaries. *J Clin Orthod.* 2010;44(11). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21488432/>. Accessed April 3, 2021.
- Fontana M, Cozzani M, Mutinelli S, Spina R, Caprioglio A. Maxillary molar distalization therapy in adult patients: A multicentre study. *Orthod Craniofac Res.* 2015;18(4):221-231. doi:10.1111/ocr.12098
- Fontana M, Cozzani M, Caprioglio A. Non-compliance maxillary molar distalizing appliances: An overview of the last decade. *Prog Orthod.* 2012;13(2):173-184. doi:10.1016/j.pio.2011.10.002
- Garino F, Castroflorio T, Daher S, Ravera S, Rossini G, Cugliari G et al Effectiveness of Composite Attachments in Controlling Upper-Molar Movement with Aligners. *J Clin Orthod,* 2016; 50(6), 341–47.
- Gruenheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in Non extraction cases? Are predicted tooth positions achieved? 2017. doi:10.2319/022717-147.1

- Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, Ferguson DJ, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2020;158(3):420-425. doi:10.1016/j.ajodo.2019.12.015
- Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.* 2016;43(1):68-76. doi:10.1179/1465313315Y.0000000004
- Horiuchi Y, Horiuchi M, Soma K. Treatment of severe Class II Division 1 deep overbite malocclusion without extractions in an adult. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133(4 SUPPL.):S121-S129. doi:10.1016/j.ajodo.2006.12.012
- Huanca Ghislanzoni LT, Piepoli C. Upper molar distalization on palatal miniscrews: An easy to manage palatal appliance. *Prog Orthod.* 2012;13(1):78-83. doi:10.1016/j.pio.2011.09.004
- Huang HL, Tsai M T, Yang SG, Su KC, Shen YW, Hsu JT. Mandible integrity and material properties of the periodontal ligament during orthodontic tooth movement: A finite-element study. *Appl Sci*, 2020;10(8):2980.
- Joo HJ, Lee YK, Lee DY, Kim YJ, Lim YK. Influence of orthodontic adhesives and clean-up procedures on the stain susceptibility of enamel after debonding. *Angle Orthod.* 2011;81(2):334-340. doi:10.2319/062610-350.1
- Julyan JC, Coetsee M. Class II Division 1 treatment using a two-phase approach - a case report. *Int Dent South Africa.* 2018;8(5):44-68. <https://pocketmags.com/us/orthodontic-practice-magazine/may-june-2019/articles/580278/class-ii-division-1-treatment-using-a-two-phase-approach-a-case-report-part-1>. Accessed April 3, 2021.
- Khosravi R, Cohanim B, Hujoel P, et al. Management of overbite with the Invisalign appliance. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2017;151(4):691-699.e2. doi:10.1016/j.ajodo.2016.09.022
- Kook YA, Bayome M, Trang VTT, et al. Treatment effects of a modified palatal anchorage plate for distalization evaluated with cone-beam computed



- tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014;146(1):47-54. doi:10.1016/j.ajodo.2014.03.023
- Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with invisalign. *Angle Orthod.* 2008;78(4):682-687. doi:10.2319/0003-3219(2008)078[0682:IOAAIR]2.0.CO;2
- Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;135(1):27-35. doi:10.1016/j.ajodo.2007.05.018
- Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;129(4):469.e1-469.e32. doi:10.1016/j.ajodo.2005.10.00
- Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: A systematic review. *J Am Dent Assoc.* 2005;136(12):1724-1729. doi:10.14219/jada.archive.2005.0117
- Li C, Sfogliano L, Jiang W, et al. Total maxillary arch distalization by using headgear in an adult patient: *Angle Orthod.* 2021;91(2):267-278. doi:10.2319/010320-857.1
- Liang W, Rong Q, Lin J, Xu B. Torque control of the maxillary incisors in lingual and labial orthodontics: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;135(3):316-322. doi:10.1016/j.ajodo.2007.03.039
- Lieber WS, Carlson SK, Baumrind S, Poulton DR. Clinical use of the ABO-scoring index: Reliability and subtraction frequency. *Angle Orthod.* 2003;73(5):556-564. doi:10.1043/0003-3219(2003)073<0556: CUOTAI>2.0.CO;2
- Lindauer SJ. The basics of orthodontic mechanics. *Semin Orthod.* 2001;7(1):2-15. doi:10.1053/sodo.2001.21053

- McNamara JA. Components of class II malocclusion in children 8-10 years of age. *Angle Orthod.* 1981;51(3):177-202. doi:10.1043/0003-3219(1981)051<0177:COCIMI>2.0.CO;2
- Miller RJ, Kuo E, Choi W. Validation of align technology's treat III TM digital model superimposition tool and its case application. *Orthod Craniofacial Res.* 2003;6(SUPPL1):143-149. doi:10.1034/j.1600-0544.2003.247.x
- Mohamed RN, Basha S, Al-Thomali Y. Maxillary molar distalization with miniscrew-supported appliances in Class II malocclusion: A systematic review. *Angle Orthod.* 2018;88(4):494-502. doi:10.2319/091717-624.1
- Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C. Design of the Invisalign system performance. *Semin Orthod.* 2017;23(1):3-11. doi:10.1053/j.sodo.2016.10.001
- Moyers RE, Riolo ML, Guire KE, Wainright RL, Bookstein FL. Differential diagnosis of Class II malocclusions: Part 1. Facial types associated with Class II malocclusions. *Am J Orthod.* 1980;78(5):477-494. doi:10.1016/0002-9416(80)90299-7
- Natali AN, Pavan PG, Scarpa C. Numerical analysis of tooth mobility: Formulation of a non-linear constitutive law for the periodontal ligament. *Dent Mater.* 2004;20(7):623-629. doi:10.1016/j.dental.2003.08.003
- Nucera R, Militi A, Lo Giudice A, et al. Skeletal and Dental Effectiveness of Treatment of Class II Malocclusion With Headgear: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2018;18(1):41-58. doi:10.1016/j.jebdp.2017.07.008
- Papadopoulos MA. Non-compliance approaches for management of Class II malocclusion. In: *Skeletal Anchorage in Orthodontic Treatment of Class II Malocclusion: Contemporary Applications of Orthodontic Implants, Miniscrew Implants and Mini Plates.* Elsevier Ltd; 2015:6-21. doi:10.1016/B978-0-7234-3649-2.00002-6
- Papageorgiou SN, Kutschera E, Memmert S, et al. Effectiveness of early orthopaedic treatment with headgear: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2017;39(2):176-187. doi:10.1093/ejo/cjw041

- Patterson BD, Foley PF, Ueno H, Mason SA, Schneider PP, Kim KB. Class II malocclusion correction with Invisalign: Is it possible? *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2021;159(1):e41-e48. doi:10.1016/j.ajodo.2020.08.016
- Penedo ND, Elias CN, Pacheco MCT, de Gouvêa JP. 3D simulation of orthodontic tooth movement. *Dental Press J Orthod.* 2010;15(5):98-108. doi:10.1590/S2176-94512010000500012
- Qian L, Todo M, Morita Y, Matsushita Y, Koyano K. Deformation analysis of the periodontium considering the viscoelasticity of the periodontal ligament. *Dent Mater.* 2009;25(10):1285-1292. doi:10.1016/j.dental.2009.03.014
- Quinzi V, Marchetti E, Guerriero L, Bosco F, Marzo G, Mummolo S. Dentoskeletal class II malocclusion: Maxillary molar distalization with no-compliance fixed orthodontic equipment. *Dent J.* 2020;8(1). doi:10.3390/dj8010026
- 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).
- Romanyk DL, Vafaeian B, Addison O, Adeeb S. The use of finite element analysis in dentistry and orthodontics: Critical points for model development and interpreting results. *Semin Orthod.* 2020;26(3):162-173. doi:10.1053/j.sodo.2020.06.014
- 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. doi:10.1016/j.odw.2006.03.003
- Santiago De Lima KJR, Henriques JFC, Janson G, Da Costa Pereira SC, Neves LS, Cançado RH. Dentoskeletal changes induced by the Jasper jumper and the activator-headgear combination appliances followed by fixed orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2013;143(5):684-694. doi:10.1016/j.ajodo.2013.01.009
- Sheridan JJ. The Readers' Corner. 2. What percentage of your patients are being treated with Invisalign appliances? *J Clin Orthod.* 2004;38(10):544-545.

- Schupp W, Haubrich J, Neumann I. Class II correction with the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2010;44(1):28-35. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20503653/>. Accessed April 3, 2021.
- Shpack N, Brosh T, Mazor Y, et al. Long- and short-term effects of headgear traction with and without the maxillary second molars. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014;146(4):467-476. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.06.015
- 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.
- 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(1):1-7. doi:10.1186/1472-6831-14-68
- Stahl F, Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Longitudinal growth changes in untreated subjects with Class II Division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;134(1):125-137. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.06.028
- Tai SK. *Clear Aligner Technique.* Quintessence Publishing Company, Inc.; 2018.
- Tamer I, Öztas E, Marsan G. Orthodontic treatment with clear aligners and the scientific reality behind their marketing: A literature review. *Turkish J Orthod.* 2019;32(4):241-246. doi:10.5152/TURKJORTHOD.2019.18083
- Toms SR, Eberhardt AW. A nonlinear finite element analysis of the periodontal ligament under orthodontic tooth loading. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2003;123(6):657-665. doi:10.1016/S0889-5406(03)00164-1
- Tuncay OC, Camilla Tulloch JF. Apparatus criticus: Methods used to evaluate growth modification in Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1992;102(6):531-536. doi:10.1016/0889-5406(92)70070-Q
- van SchroyenLantman M, van de Loo AJAE, Mackus M, Verster JC. Development of a definition for the alcohol hangover: Consumer

descriptions and expert consensus. *Curr Drug Abuse Rev.* 2016;9(2):148-154. doi:10.2174/1874473710666170216125822

Vaughan JL. Orthodontic correction of an adult Angle Class II Division 2 deep bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;116(1):75-81. doi:10.1016/S0889-5406(99)70305-7

Viecilli RF, Katona TR, Chen J, Hartsfield JK, Roberts WE. Three-dimensional mechanical environment of orthodontic tooth movement and root resorption. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133(6): 791.e11-791.e26. doi:10.1016/j.ajodo.2007.11.023

Yousefian J, Trimble D, Folkman G. A new look at the treatment of Class II Division 2 malocclusions. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;130(6):771-778. doi:10.1016/j.ajodo.2005.07.016

Zaher AR, Kassem HE. Diagnostic considerations and conventional strategies for treatment of Class II malocclusion. In: *Skeletal Anchorage in Orthodontic Treatment of Class II Malocclusion: Contemporary Applications of Orthodontic Implants, Miniscrew Implants and Mini Plates.* Elsevier Ltd; 2015:1-5. doi:10.1016/B978-0-7234-3649-2.00001-4

Zybutz T, Drummond R, Lekic M, Brownlee M. Investigation and comparison of patient experiences with removable functional appliances: *Angle Orthod.* March 2021. doi:10.2319/050520-393.1

## Ekler

### ÖZGEÇMİŞ

Adı: Cengiz

Soyad: Ayıdağa

Doğum yeri: Şam.

Doğum tarihi: 20/01/1991

Uyruğu: T.C.

Tel : 05374563203

Email: [dt.cengizeid@gmail.com](mailto:dt.cengizeid@gmail.com)

Eğitim Düzeyi	Mezun Olduğu Kurumun adı	Mezuniyet yılı
Doktora	Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı.	2021
Lisans-Yüksek lisans	Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi.	2016
Lise	Suudi Arabistan Büyükelçiliği Fen lisesi	2008

### İş deneyimi

2016-2017	Özel Ankara Mavi Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği	Mesül Müdür / Diş Hekimi
2017-2021	Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı	Araştırma görevlisi

Yabancı Diller	Okuduğunu anlama	Konuşma	Yazma
Arapça	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
İngilizce	Çok iyi	Çok iyi	iyi

Yabancı Dil Sınavı Notu : Tıp Dil : 76.250

Ales puanı : Sayısal : 61,28042

**Bilgisayar bilgisi :**

<b>Program</b>	<b>Kullanım Becerisi</b>
<b>Mikrosoft office</b>	<b>Iyi</b>
<b>IBM SPSS</b>	<b>Orta</b>

**SCI/SCI-Expanded İndex Yayın**

Ayıdağa, C., & Kamiloğlu, B. (2021). Effects of Variable Composite Attachment Shapes in Controlling Upper Molar Distalization with Aligners: A Nonlinear Finite Element Study. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021.

## İntihal Raporu

### Kapaksız/Kaynaksız

ORJİNALLIK RAPORU

% <b>0</b>	% <b>0</b>	% <b>0</b>	% <b>0</b>
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

<b>1</b>	<b>acikerisim.dicle.edu.tr:8080</b> İnternet Kaynağı	<% <b>1</b>
<b>2</b>	<b>www.scitepress.org</b> İnternet Kaynağı	<% <b>1</b>
<b>3</b>	<b>docs.neu.edu.tr</b> İnternet Kaynağı	<% <b>1</b>

Alıntılanı çıkart    Üzerinde    Eşleşmeleri çıkar    < 3 words  
Bibliyografyayı Çıkart    Kapat