



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

**GELENEKSEL YÖNTEM VE DİJİTAL
YÖNTEMLER KULLANILARAK FARKLI
MATERYALLERDEN YAPILAN YER
TUTUCULARIN BAĞLANTI DAYANIMI VE
STRES DAĞILIMLARININ 3 BOYUTLU
SONLU ELEMENLAR ANALİZİ
KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

MÜNEVVER ÇAĞLA ASLAN

UZMANLIK TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜDÜK

TRABZON-2025



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

**GELENEKSEL YÖNTEM VE DİJİTAL
YÖNTEMLER KULLANILARAK FARKLI
MATERYALLERDEN YAPILAN YER
TUTUCULARIN BAĞLANTI DAYANIMI VE
STRES DAĞILIMLARININ 3 BOYUTLU
SONLU ELEMENLAR ANALİZİ
KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

MÜNEVVER ÇAĞLA ASLAN
ORCID: 0000-0002-2049-3880

UZMANLIK TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜDÜK
ORCID: 0000-0003-0930-4935

TRABZON-2025

ONAY SAYFASI

Bu Tez Uzmanlık Tezi Standartlarına Uygun Bulunmuştur.

Prof. Dr. Tamer TÖZÜNER

Pedodonti Anabilim Dalı Başkanı

Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı Uzmanlık öğrencisi Arş. Gör. Dt. Münevver Çağla ASLAN'ın hazırladığı "Geleneksel Yöntem ve Dijital Yöntemler Kullanılarak Farklı Materyallerden Yapılan Yer Tutucuların Bağlantı Dayanımı ve Stres Dağılımlarının 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi" başlıklı tez Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca kapsam ve bilimsel kalite yönünden değerlendirilerek oy birliği ile Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi	: 31.07.2025
Danışman Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜDÜK	: _____
Jüri Üyesi Prof. Dr. Tamer TÖZÜNER	: _____
Jüri Üyesi Doç. Dr. Nagehan YILMAZ	: _____

Bu çalışma yukarıdaki jüri tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tamer TAŞDEMİR
Dekan

Temmuz – 2025
TRABZON

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun olarak hazırlanarak yazıldığını, tezin akademik ve etik kurallara bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş özgün bir bilimsel araştırma eserim olduğunu, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

31.07.2025

Münevver Çağla ASLAN

TEŞEKKÜR

Bu süreci en başından itibaren sabırla yöneten, rehberliğini hiçbir zaman esirgemeyen bilgi ve birikimiyle bana ışık tutan, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜDÜK ‘e;

Çalışmam boyunca akademik ortamın sağlıklı bir şekilde yürütülmesini sağlayan, her zaman çözüm odaklı yaklaşımı ve samimi desteğiyle yol gösterici olan Sayın Prof. Dr. Tamer Tüzüner ‘e;

Bilgisi kadar içtenliği, samimiyeti ve iyi niyetli yaklaşımıyla akademik hayatımda tanıdığım için kendimi şanslı hissettiğim Sayın Prof. Dr. Özgül Baygın’a;

Bilgisini paylaşmaktan çekinmeyen ve zarif duruşu ile her zaman desteğini hissettiğim Sayın Doç. Dr. Nagehan Yılmaz’a;

Analiz sürecinde destekleri için KTÜ METAM’ da Sayın Doç.Dr. Mustafa Aslan, Öğr. Gör Dr. Kutay Çava ve Öğr. Gör. Dr. Altuğ Uşun’a;

Asistanlık yıllarımı güzel hatırlamamı sağlayan, yorulduğumda destekleyen, endişelendiğimde içimi rahatlatan, hayatımda oldukları için çok mutlu olduğum, sevgilerini her zaman hissettiren Merve Yaz, Hüsna Selin Takaoğlu, Hilal Şenocak ve bir tanecik kankam Neslihan Kar’a;

Emekleriyle çalışma hayatımı kolaylaştıran, güler yüzleriyle bana neşe katan, çok sevdiğim bölüm personellerimiz Zehra Kumaş, Gülay Yılmaz, Merve Albayrak, Ayşegül Kaplan, İsmail Turgut, Ömer İskender ve İbrahim Türkyılmaz ‘a;

Birlikte vakit geçirmekten çok keyif aldığım, sıcakkanlılıkları, neşeleri ve enerjileriyle ortamı güzelleştiren sevgili stajyer arkadaşlarıma;

Sevgimi tarif edecek kelime bulmakta zorlandığım, hayatımın her anında yanımda olan, varlıklarıyla beni her zaman güçlü kılan, hayatım boyunca bana koşulsuz sevgiyle yaklaşan, canım anneme, canım babama ve beni her zaman güldürüp, neşelendirmeyi başaran, motivasyon kaynağım biricik kardeşime;

Ve son olarak...

Gözlerindeki merakla dünyayı anlamaya çalışan, gülüşleriyle hayatı güzelleştiren çocuklara, saf sevgileri ve ilhamları için *tüm kalbimle teşekkür ederim...*

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK SAYFASI

ONAY

BEYAN

iii

TEŞEKKÜR

iv

İÇİNDEKİLER

v

TABLolar DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

x

RESİMLER DİZİNİ

xi

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

xii

ÖZET

xiv

SUMMARY

xvi

1. GİRİŞ ve AMAÇ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1. Diş Gelişim Dönemleri

3

2.1.1. Dişsiz Dönem (0-6 ay arası)

3

2.1.2. Süt Dişlenme Dönemi

3

2.1.3. Karışık Dişlenme Dönemi

6

2.1.3.1. Karışık Dişlenmenin Birinci Dönemi

6

2.1.3.2. Karışık Dişlenmenin İkinci Dönemi

7

2.1.4. Daimi Dişlenme Dönemi

7

2.2. Okluzal Rehberlik

7

2.3. Yer Kaybı Nedenleri

9

2.3.1. Süt Keser Diş Kaybında Oklüzyonda Oluşabilecek Problemler

9

2.3.2. Birinci Süt Azı Dişlerin Erken Kaybında Oluşabilecek Problemler

9

2.3.3. İkinci Süt Azı Dişlerin Erken Kaybında Oluşabilecek Problemler	10
2.4. Yer Tutucular	10
2.4.1. Yer Tutucu Apareylerde Bulunması Gereken Özellikler	11
2.4.2. Yer Tutucu Uygulamasında Kararı Etkileyen Faktörler	11
2.4.2.1. Çekimden Sonra Geçen Süre	11
2.4.2.2. Mevcut Yer	11
2.4.2.3. Daimi Diş Germi Üzerindeki Kemik Miktarı	12
2.4.2.4. Yer Kaybının Miktarı	12
2.4.2.5. Hastanın Diş Yaşı	12
2.4.2.6. Dişlerin Sürme Sırası	12
2.4.2.7. Daimi Dişin Konjenital Olarak Eksikliği	13
2.4.2.8. Boşlukların Kapanış Yönü	13
2.4.2.9. Anormal Oral Alışkanlıklar	13
2.4.2.10. Daimi Dişin Sürmesinde Gecikme	13
2.4.2.11. Yer Tutucu Apareylerin Dezavantajları	13
2.4.2.12. Yer Tutucu Apareylerin Kontrendike Olduğu Durumlar	13
2.4.3. Sabit Yer Tutucular	14
2.4.3.1. Band Loop Yer Tutucu	14
2.4.3.2. Kron Loop Yer Tutucu	16
2.4.3.3. Distal Uzantılı Aparey	16
2.4.3.4. Lingual Ark	17
2.4.3.5. Nance Apareyi	17
2.4.3.6. Transpalatal Ark	18
2.4.3.7. Kompozit Resin ile Yapıştırılan Yer Tutucular	18
2.4.3.8. EZ Space Maintainer	19
2.4.4. Hareketli Yer Tutucular	19
2.5. Materyaller	22

2.5.1. Paslanmaz Çelik	22
2.5.2. Polietereeterketon (PEEK)	23
2.5.3. Titanyum	24
2.5.4. Ti-6Al-4V	25
2.5.5. 3B Baskılı Kompozit Reçine	25
2.5.6. Geleneksel Cam İyonomer Siman	26
2.5.7. Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman	27
2.5.8. Rezin Simanlar	28
2.5.8.1. Total Etch Rezin Simanlar	28
2.5.8.2. Self Etch Rezin Simanlar	28
2.5.8.3. Self Adeziv Rezin Simanlar	28
2.6. Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim	29
2.6.1. CAD/CAM Sistemlerinin Avantajları	30
2.6.2. CAD/CAM Sistemlerinin Dezavantajları	30
2.7. Lazer Sinterleme	30
2.8. Sonlu Elemanlar Analizi	31
2.8.1. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi Avantajları	32
2.8.2. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi Dezavantajları	33
2.8.3. Sonlu Eleman Analiziyle İlgili Kavramlar	33
2.8.3.1. Eleman (Element)	33
2.8.3.2. Düğüm (Node)	33
2.8.3.3. Ağ Yapının (Mesh) Oluşturulması	33
2.8.4. Sonlu Eleman Analizi Aşamaları	33
2.8.4.1. Hazırlık Aşaması	33
2.8.4.2. Verilerin Yüklenmesi	33
2.8.4.3. Analizin Çözümlemesi	34
2.8.4.4. Sonlu Eleman Analizinde Sonuçların Değerlendirilmesi	34

3. GEREÇ ve YÖNTEM	35
3.1. Yüzey Modelinin Hazırlanması	35
3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması	38
4. BULGULAR	44
5. TARTIŞMA	51
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 1. Süt Dişlerinin Sürme ve Eksfoliasyon Zamanları	8
Tablo 2. Süt Dişlerinin Erken Kaybı Sonucu Kullanılacak Yer Tutucular ve Sonuçları	21
Tablo 3. Daimi Dişlerin Erken Kaybı Sonucu Kullanılacak Yer Tutucular ve Sonuçları	22
Tablo 4. PEEK, Titanyum ve Anatomik Yapıların Fiziksel Özellikleri	24
Tablo 5. Analizde Kullanılan Materyal ve Grupların Dağılımı	41
Tablo 6. Analizde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	42
Tablo 7. Kullanılan Materyal ve Siman Tiplerine Göre Dişler ve Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Maksimum Von-Mises Gerilme Değerleri	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.	Terminal Düzlem İlişkisinin Daimi Molar Dişler Arasındaki Oklüzal İlişkiye Etkisi	5
Şekil 2.	Çalışma Modeli Verilerinden Elde Edilerek Yüzey Modeline Dönüştürülmüş Anatomik Geometri	36
Şekil 3.	Anatomik Verilere Uygun Şekilde Tasarlanan Yer Tutucu	37
Şekil 4.	Anatomik Verilere Uygun Şekilde Tasarlanan Yer Tutucunun Modele Yerleştirilmiş Görüntüsü	37
Şekil 5.	Dayanak Diş Ağ Yapısı	39
Şekil 6.	Hazırlanan Model Geometrisi	40
Şekil 7.	Analizde Uygulanan Kuvvetlerin Gösterimi	43
Şekil 8.	Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri	45
Şekil 9.	Siman Tabakası Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri	46
Şekil 10.	Dayanak Diş Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri	47
Şekil 11.	Dentin Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Dağılımı	49
Şekil 12.	Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Dağılımı	50

RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa
Resim 1.	Band Loop Yer Tutucu	15
Resim 2.	Reverse Band Loop Yer Tutucu	15
Resim 3.	Distal Uzantılı Yer Tutucu	16
Resim 4.	Lingual Ark Yer Tutucu	17
Resim 5.	Nance Apareyi	18

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

BT	Bilgisayarlı Tomografi
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
CFR-PEEK	Karbon Fiber Takviyeli Polietereterketon
CİS	Cam İyonomer Siman
Cr	Krom
Co	Kobalt
Fe	Demir
SEA	Sonlu Eleman Analizi
GFR-PEEK	Cam Fiber Takviyeli Polietereterketon
GPa	Gigapaskal
HEMA	2- hidroksietil metakrilat
KIBT	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
KR	Kompozit Reçine
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
LS	Lazer Sinterleme
METAM	Medikal Cihaz Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi
mm	Milimetre
Mn	Manganez
Mo	Molibden
MPa	Megapaskal
N	Newton
Ni	Nikel
PAEK	Poliariliterketon
PÇ	Paslanma Çelik
PEEK	Polietereterketon
PDL	Periodontal Ligament
RMCİS	Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman
RS	Rezin Siman
TME	Temporomandibular Eklem

Ti	Titanyum
Ti6Al4V	Titanyum 6 Alüminyum 4 Vanadyum
3B	3 Boyutlu

Simgeler

°	Derece
%	Yüzde
° C	Santigrat Derece
α	Alfa
β	Beta

ÖZET

Geleneksel Yöntem ve Dijital Yöntemler Kullanılarak Farklı Materyallerden Yapılan Yer Tutucuların Bağlantı Dayanımı ve Stres Dağılımlarının 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Süt dişleri fonksiyonel ve estetik açıdan önemli bir göreve sahipken, daimi dişler için de arkta boşluğu korumaktadırlar. Erken süt dişi kayıplarında daimi dişlerde sürme ve pozisyon anomalileri ve arkta asimetri gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu durumun önüne geçmek adına yer tutucu apareylerle ark boyutu korunmaya çalışılmaktadır. Tez çalışmamız Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi (KTÜ) ve KTÜ Medikal Cihaz Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (METAM) iş birliği ile yapılmıştır. Bu çalışmada, dört farklı materyal ve üç çeşit siman ile oluşturulan 10 grup üzerindeki stres dağılımlarının, sonlu elemanlar analizi kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma modeli taraması sonucu elde edilen verilerle üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Bu modeller üzerinde polietereeterketon (PEEK), kompozit reçine, titanyum, paslanmaz çelik ile üretilen yer tutucular, cam iyonomer, rezin modifiye cam iyonomer ve rezin simanlarla yapıştırılmış ve çiğneme kuvveti sonucu oluşan stres birikimi sonlu elemanlar analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak anatomik geometrinin oluşturulması sürecinde Materialise Mimics ve Materialise 3-matic (Materialise, Leuven, Belçika) yazılımlarından yararlanılmıştır. Tasarımı tamamlanan modeller, Materialise 3-Matic programından “. stl” uzantılı yüzey modeli dosyaları olarak dışa aktarılmıştır. Mesh kalitesinin ve ağ yapısının homojenliğinin sağlanabilmesi amacıyla, ilk iyileştirme ve düzenleme işlemleri Nomad Sculpture yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dosyalar detaylı ağ düzenlemeleri için Hypermesh yazılımına aktarılmıştır. Elemanların maksimum oranı (aspect ratio) 2.5'in altında tutulmuş, üçgen açıları 30 ila 120 derece arasında olacak şekilde düzenlenmiş, Jacobian değeri 0.8'in üzerinde ve skew değeri 40'ın altında olacak biçimde yapılandırılmıştır. Ağ yapısı, Hypermesh programı kullanılarak oluşturulduktan sonra, analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla LS-DYNA yazılımına “. k” uzantılı anahtar dosyası formatında aktarılmıştır. Çalışmada, yalnızca lineer elastik davranış bölgesi içerisinde kalınarak gerilme dağılımları incelendiğinden, malzeme tanımlamaları MAT_001-ELASTIC kartı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kart ile her bir malzeme için

elastik modül (Young modülü) ve Poisson oranı gibi temel mekanik özellikler tanımlanmıştır.

Analizde sınır şartı olarak, modelin karşıt dişle temas eden bölgesi ve modelin taban yüzeyi sabitlenmiştir. Kuvvet uygulamasında ise daha gerçekçi bir simülasyon elde edebilmek amacıyla, idealize edilmiş tek nokta yükü yerine, çiğneme sırasında oluşan çoklu temas bölgeleri dikkate alınarak yükleme yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde klinik duruma daha yakın bir gerilme dağılımı elde edilmesi amaçlanmıştır. Toplam uygulanan kuvvet 150 N (Newton) olup, bu kuvvet hem diş üzerine hem de yer tutucu üzerindeki temas noktalarına dağıtılarak uygulanmıştır.

Tüm malzeme ve siman kombinasyonlarında, kortikal ve kansellöz kemiklerde oluşan gerilmelerin neredeyse sabit kaldığı; kortikal kemikte yaklaşık 20 MPa (megapaskal), kansellöz kemikte ise 3 MPa civarında olduğu gözlemlenmiştir. Destek dişte oluşan gerilmeler değerlendirildiğinde ise paslanmaz çelik yer tutucular 41 MPa ile en düşük gerilimi göstermiştir, bu durum diş yapısına zarar verme potansiyelini en aza indirmek adına daha düşük gerilme oluşturan metalik yer tutucuların tercih edilmesinin daha uygun olacağını göstermektedir. Yapıştırıcı siman tipleri karşılaştırıldığında ise, rezin modifiye cam iyonomer siman, tüm yer tutucu malzemeleri ile en düşük gerilme değerlerini sergilerken; cam iyonomer siman, en yüksek gerilme değerlerini göstermiştir.

Çalışmamızdan elde edilen verilere göre destek dişte en düşük gerilimi oluşturmak ve dayanak dişte en homojen gerilimi elde etmek adına paslanmaz çelik yer tutucuların tercih edilmesi gerektiği, yapıştırıcı tabakasında en düşük gerilimin ise rezin modifiye cam iyonomer simanların tercih edilmesi ile oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sonlu Eleman Analizi, Yer Tutucu, CAD/CAM, PEEK, Siman

SUMMARY

Evaluation of the Bond Strength and Stress Distribution of Space Maintainers Fabricated from Different Materials Using Conventional and Digital Methods by

Three-Dimensional Finite Element Analysis

Primary teeth play an important role both functionally and aesthetically, while also maintaining the arch space for permanent teeth. Premature loss of primary teeth may lead to problems such as eruption and positional anomalies in permanent dentition, as well as arch asymmetry. To prevent such complications, space maintainers are used to preserve the arch length. The present thesis study was conducted in collaboration between the Faculty of Dentistry, Karadeniz Technical University (KTÜ), and the KTÜ Medical Device Design and Manufacturing Application and Research Center (METAM). The aim of this study was to evaluate the stress distribution on ten experimental groups, created from four different materials and cemented with three types of dental cements, using finite element analysis (FEA).

Three-dimensional models were generated from the data obtained by scanning the study model. Space maintainers fabricated from polyetheretherketone (PEEK), composite resin, titanium, and stainless steel were cemented with glass ionomer, resin-modified glass ionomer, and resin cements, and the stress accumulation resulting from masticatory forces was analyzed using FEA.

During the process of generating the anatomical geometry for finite element analysis, Materialise Mimics and Materialise 3-matic (Materialise, Leuven, Belgium) software were utilized. The completed designs were exported from Materialise 3-Matic as “.stl” surface model files. To ensure mesh quality and uniformity, initial refinement and adjustments were performed using Nomad Sculpture software. The files were then transferred to Hypermesh for detailed mesh optimization. The maximum element aspect ratio was kept below 2.5, triangular angles were arranged between 30° and 120°, the Jacobian value was maintained above 0.8, and the skew value below 40. After the mesh structure was generated in Hypermesh, it was exported to LS-DYNA in “.k” key file format for analysis. Since the study focused only on the linear elastic behavior region, material properties were defined

using the MAT_001-ELASTIC card in LS-DYNA. This card allowed for the definition of essential mechanical properties for each material, such as Young's modulus and Poisson's ratio.

As a boundary condition in the analysis, both the occlusal contact area with the opposing dentition and the basal surface of the model were fixed. For the force application, in order to achieve a more realistic simulation, instead of an idealized single-point load, loading was performed by considering multiple contact areas that occur during mastication. This approach aimed to obtain a stress distribution closer to actual clinical conditions.

The total applied load was 150 N (Newtons), and this load was distributed to the contact points on both the tooth and the space maintainer. In all material and cement combinations, the stresses generated in the cortical and cancellous bone remained nearly constant; approximately 20 MPa in the cortical bone and around 3 MPa in the cancellous bone. When evaluating the stresses occurring in the abutment tooth, stainless steel space maintainers exhibited the lowest stress values at 41 MPa, suggesting that metallic space maintainers producing lower stresses would be more appropriate to minimize potential damage to tooth structure. When comparing adhesive cement types, resin-modified glass ionomer cement exhibited the lowest stress values with all space maintainer materials, while glass ionomer cement produced the highest stress values.

Based on the findings of the present study, to achieve the lowest stress on the abutment tooth and the most homogeneous stress distribution in the supporting tooth, stainless steel space maintainers should be preferred. Furthermore, the lowest stress within the adhesive layer was observed when resin-modified glass ionomer cements were used.

Keywords: Finite Element Analysis, Space Maintainer, CAD/CAM, PEEK, Cement



1. GİRİŞ ve AMAÇ

Süt dişleri; fonasyon, çiğneme ve estetik fonksiyonlarının yanında, yerlerine sürececek daimi dişler için boşluk koruyucu olarak da görev almaktadır, ayrıca daimi dişlerin doğru oklüzyonda sürmesi için rehberlik ederek, ideal oklüzyonun oluşmasına yardımcı olmaktadır (1).

Çürükler, pulpa patolojileri, dental apseler, travmalar gibi nedenlerle erken diş kaybı yaşanan durumlarda daimi dişlerde ektopik sürme, ark uzunluğunda azalma, kapanışın bozulması, periodontal dokularda problemler, fonetik bozukluklar, estetik sorunlar, TME (temporomandibular eklem) rahatsızlıkları ve arkta asimetri gibi istenmeyen durumlarla karşılaşılabilir (2–4). Bu problemleri önlemek ve yer kayıplarının önüne geçmek için yer tutucuların kullanılması gerekmektedir.

Yer tutucular, süt dişlerinin erken kaybı sonucu oluşan boşluklara, komşu dişlerin devrilmesiyle oluşacak ark uzunluğu kaybını engellemek ve yapay diş eklenmesi halinde hastanın çiğnemesine yardımcı olmak amacıyla da kullanılabilen apareylerdir (5).

Rutinde sıklıkla kullanılan geleneksel yer tutucuların ölçü alma zorluğu, uzun laboratuvar süreçleri ve zayıf estetikleri gibi sınırlamalarının üstesinden gelmek amacıyla araştırmacılar çeşitli teknikler geliştirmişlerdir. Bu tekniklerin bazı örnekleri arasında prefabrik yer tutucu kitleri, doğrudan bağlı yer tutucular, fiber takviyeli kompozit rezin yer tutucular ve zirkon, metal, PEEK ve rezin gibi malzemelerle bilgisayar destekli tasarım/üretim (CAD/CAM) ve 3 boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen yer tutucular yer almaktadır (6, 7).

Diş hekimliğinde CAD/CAM kullanımının frezeleme yöntemleriyle başladığı, daha sonra 3 boyutlu yazıcıların da kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Lazer sinterleme teknolojileri günümüzde diş hekimliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (8).

CAD/CAM ve 3B baskı yöntemleri yer tutucuların tek parça olarak üretilmesine olanak tanıyarak lehim kırılması sorunlarını ortadan kaldırıp zirkonyum ve titanyum gibi biyouyumlu malzemelerin daha fazla kullanılmasına olanak sağlamaktadır (6, 9). Ayrıca dijital iş akışı çocuklardan ölçü alma sürecini basitleştirir ve taramanın veri olarak laboratuvara aktarılması sırasında bozulmanın önlenmesine yardımcı olur.

Yer tutucuların sağkalım süreleri üzerine yapılan araştırmalar, en sık başarısızlık görülen bölgenin bant-siman arayüzü olduğunu ortaya koymaktadır (10). Bu nedenle,

retansiyonu iyileştirmek için metal-siman arayüzünde bağ mukavemetini güçlendirmeye yönelik yöntemler üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu sayede arayüzdeki bağ kuvvetinin artırılması bant gevşemesi riskini azaltacaktır.

Bu çalışmamız PEEK, kompozit reçine, titanyum ve paslanmaz elik yer tutucu apareylerin geleneksel cam iyonomer, rezin modifiye cam iyonomer ve rezin simanlarla yapıştırılması sonrası, çiğneme kuvvetlerinin oluşturduğu stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu amaç doğrultusunda; çalışmanın hipotezi farklı materyal ve siman kombinasyonları ile üretilen yer tutucular arasında stres dağılımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığıdır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Diş Gelişim Dönemleri

2.1.1. Dişsiz Dönem (0-6 ay arası)

Dişsiz dönem doğumla başlar ve ilk süt dişlerinin sürmesiyle sona ermektedir. Üst ve alt çenede diş etleri süt dişlerinin süreceği konuma uygun olarak tepeler ve çukurlar oluşturmaktadır. Yenidoğanda diş yerine iki adet dişsiz dişeti yastıkçığı (gum pad) bulunmaktadır. Anterior bölgede üst ve alt dişetleri arasında açık kapanış varken, posteriorda dişetleri temas halindedir.

Sagittal eksenenden değerlendirildiğinde üst çenenin alt çeneden önde konumlandığı görülmektedir. Bu durum overjet olarak tanımlanmaktadır ve yaklaşık 5 milimetreyi bulabildiği görülmektedir. Ön bölge vertikal olarak değerlendirildiğinde oluşan açıklık openbite olarak tanımlanmakta ve yaklaşık 0.5 milimetreyi bulabildiği bildirilmektedir (11). Bebeklik döneminde çenelerin küçük olması ve mandibulanın, maksillaya göre daha geride konumlanması nedeniyle, dilin konumlanması gereken alan daralmaktadır. Bu nedenle dil çeneler arasına girip dudak ve yanaklarla temas halindedir. Alveol kemiğinin uzayın üç düzleminde büyümesiyle dile ve süt dişlerine yer sağlanmış olur. Bu dönemde büyüme, doğum sonrası dönemlerle kıyaslandığında oldukça hızlı gerçekleşmektedir (12).

2.1.2. Süt Dişlenme Dönemi

Süt dişlenme döneminde; maymun diastemaları bulunmaktadır, overbite azdır veya hiç yoktur, dişler ve bazal kemik arasında neredeyse 90°'lik ve kesici dişler arası 180°'ye yakın bir ilişki vardır, üst kanin dişler; alt kanin ve alt birinci premolar diş ile kapanışta, düz bir oklüzal düzlem bulunmaktadır, diş arkları ovoid şekildedir, spee eğrisi yoktur, düz bir oklüzal düzlem hattı bulunmaktadır (5, 13).

Overjet; maksiller santral dişin insizal kenarının, mandibular santral dişin vestibül yüzeyine, oklüzal düzlemden paralel olarak ölçülen uzaklığıdır. Overbite; maksiller ve mandibular santral dişlerin, insizal kenar noktalarının oklüzyon düzlemine dik uzaklığıdır. Alt çene üst çeneden geride olduğu için overjet miktarı fazla olmaktadır (11). Süt kesici dişlerin sürmesi tamamlandığında üst kesici dişler alt kesici dişlerin beşte dördünü örttüğü için overbite miktarı da fazla olmaktadır. Süt azılar sürme dönemine girdiğinde, alveol kemiğin yüksekliğini arttırdıkları için, overbite miktarı azalmaktadır (13).

Süt dişlenme ilk süt dişinin sürmesiyle başlayıp altı yaşlarında daimi birinci molar dişlerinin veya daimi keserlerin sürmesiyle bitmektedir. Bu dönem kesici dişlerin sürmesiyle başlar, bunu süt birinci molar, kanin dişler ve süt ikinci molarlar takip etmektedir (10, 12).

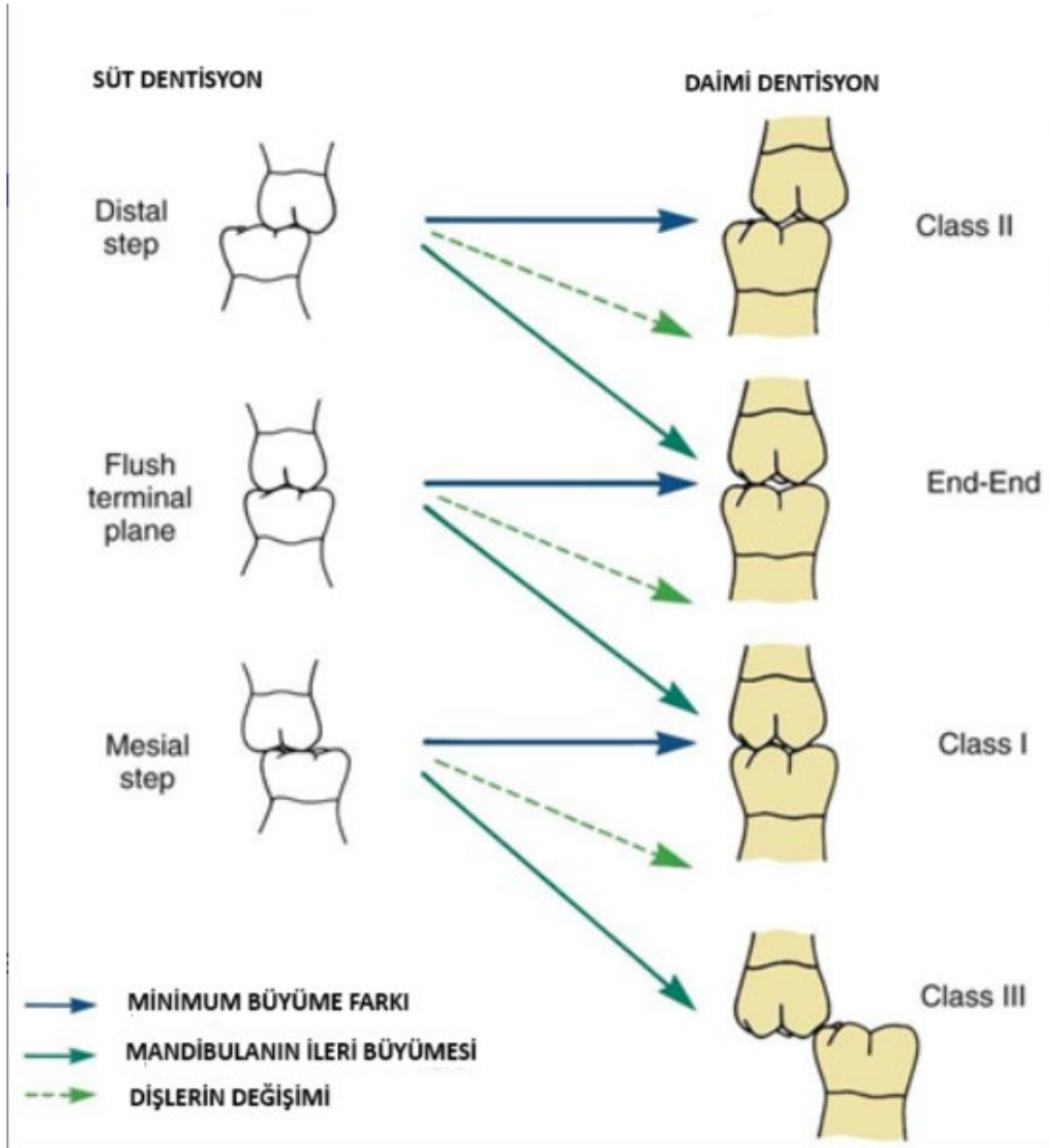
Süt dişlenme döneminde genellikle maloklüzyon görülmemektedir. Bu dönemde kapanış ilişkisi dengededir. Süt dişlenme ve karışık dişlenme dönemi arasındaki zaman dilimi çocuğun gelecekte sahip olacağı oklüzyon ilişkisinin belirlenmesinde büyük bir öneme sahiptir (5).

Süt dişleri, çocuğun morfolojik, fonksiyonel ve psikososyal gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Çiğneme, estetik, fonasyon, daimi dişler için ark uzunluğunun korunması ve oklüzyonun sağlanması gibi güçlü etkilere sahiptirler (14). Oklüzal rehberliği sağlamada çenelerin büyüme oranları, dişlerin boyutları, çürükler, süt dişlerinin erken kaybı gibi çeşitli faktörler de rol oynamaktadır.

Sürmekte olan daimi birinci büyük azı dişlerinin hangi tip oklüzyona geçeceği komşulukta oldukları süt ikinci azı dişlerinin oklüzyondaki konumuna bağlıdır. Bu noktada herhangi bir bozukluk olduğunda, sonrasında sürmesi beklenen daimi küçük azı dişler, kanin dişler, ikinci ve üçüncü büyük azı dişlerde de sorunlu oklüzyon devam edecektir (12, 15, 16).

Süt dişlenme döneminde, üst ve alt çene ikinci süt molar dişlerinin distal yüzeyleri arasındaki ilişkiye terminal düzlem denilmektedir. Üst ve alt ikinci süt azı dişlerin distal yüzeylerinin birbirleriyle ilişkisi 3 farklı şekilde olmaktadır (Şekil1). Flush terminal düzlem, üst ve alt ikinci süt molar dişlerinin distal yüzeylerinin aynı düzlem üzerinde olduğu konumdur; mezial tip oklüzyon, üst süt ikinci azı dişin distal yüzeyinin, alt süt ikinci azı dişin distal yüzeyinden, daha distalde yer aldığı konumdur; distal tip oklüzyon, üst süt ikinci azı dişin distal yüzeyinin, alt süt ikinci azı dişin distal yüzeyine göre mezialde yer aldığı konumdur (11, 17, 18).

Şekil 1. Terminal düzlem ilişkisinin daimi molar dişler arasındaki oklüzal ilişkiye etkisi (Moyers'den ,14).



Süt ikinci azılarda mezial step var ise üst daimi birinci büyük azılar arasında sınıf 3 ilişki görülme olasılığı %42'dir; distal step varlığında üst daimi birinci molar dişler sınıf 2 ilişkide sürmektedirler (16). Süt ikinci azılar flush terminal düzlemde ise sınıf 1 kapanışa gelebilmesi adına alt daimi birinci molar dişlerinin, üst daimi birinci molar dişlere göre 3-5 milimetre öne doğru hareket etmesi gerekmektedir.

Dört mekanizma ile bu hareket sağlanmaktadır; üst çenede süt kanin ve lateral, alt çenede ise süt kanin ve süt birinci molar dişler arasında var olan boşluklar maymun diasteması olarak tanımlanmaktadır. Alt daimi birinci molar dişlerin sürme döneminde oluşan itme kuvveti, süt azı dişlerinin maymun diastemalarını kullanmalarını sağlayarak, daimi birinci büyük azı dişlerinin nötral oklüzyona geçmelerini sağlamaktadır (15, 19).

Üst ve alt çenenin gelişimi öne ve aşağı yönde olmaktadır. Alt çenenin gelişimi, üst çeneye göre daha öne ve aşağıya doğru olmaktadır, böylelikle daimi birinci büyük azı dişlerini sınıf 1 kapanışa getirmektedir (11, 20).

Süt kanin ve süt molar dişlerinin meziodistal genişliklerinin toplamının, sürececek olan daimî kanin ve premolar dişlerin meziodistal genişliklerinden fazla olmasının sonucu Leeway yer rezervi olarak tanımlanmaktadır. Yaklaşık olarak alt çenede 3,4 milimetre, üst çenede ise 1,8 milimetrelik bir leeway yer rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin alt çenede üst çeneden daha çok olması sonucu, alt daimi birinci azı dişleri sınıf 1 kapanışa geçiş sergileyebilmektedirler, geç mezializasyon olarak tanımlanan bu durum ve sınıf I kapanışın oluşması için gerekmektedir (11, 14, 15, 21).

Oklüzal kuvvetler sonucu süt dişlerinin fossa-tüberkül ilişkilerinin silikleşmesi, alt çenenin daha fazla mezialize olarak daimi birinci molar dişlerinin sınıf 1 ilişkiye geçişini sağlayabilmektedir. Bu aşınmaların görülmediği süt dişlerinde sagittal ve transversal yönlerde kapanış sorunlarının görülebildiği bildirilmektedir (5).

2.1.3. Karışık Dişlenme Dönemi

Süt ve daimi dişlerin birlikte bulunduğu dönem olarak tanımlanmaktadır. İki gruba ayrılır;

2.1.3.1. Karışık Dişlenmenin Birinci Dönemi

Daimi birinci molar dişlerin sürmesi ile başlayıp, tüm daimi kesici dişlerin sürmesi ile son bulmaktadır. Bu dönem yaklaşık olarak erkeklerde 2, kızlarda ise 1,5 yıl sürmektedir. İkinci süt molarların kapanış ilişkisi, daimi birinci molarların kapanış ilişkisini belirlemektedir. Daimi birinci molar dişler sürerken, ikinci süt molarları mezialize ederek, maymun diastemalarını kullanırlar, böylece erken mezializasyon gerçekleşmiş olur. Daimi üst kesici dişler protruze olarak sürmekte iken, daimi alt kesici dişler protruze olmadan sürmektedir ve bu durum overjetin artmasına neden olmaktadır. Alt çenenin üst çeneye göre daha öne doğru büyümesi ile artan overjet düzeltilmektedir (22, 23).

2.1.3.2. Karışık Dişlenmenin İkinci Dönemi

Daimi küçük azı dişlerinin sürmesi ile başlayıp bütün süt dişlerinin düşerek daimi kanin ve ikinci büyük azıların sürmesiyle son bulmaktadır. Bu dönemde sürmekte olan daimi üst ve alt kaninlerin meziodistal boyutları, süt kanin dişlere göre yaklaşık bir milimetre daha büyüktür. Daimi kaninler için gerekli yer ihtiyacı leeway yer rezervi ile karşılanmaktadır (22, 23).

Süt dişlerinin kaybedilerek daimi dişlerin sürdüğü bu dönemde, daimi kesici dişlerin ebatlarının süt kesici dişlere göre daha büyük olması sonucu ilk kez çapraşıklık görülebilmektedir. Bu durumun önüne geçmek için; fizyolojik diastemalar, kesici dişlerin eğimlerine bağlı olarak diş arkı uzunluğunun artışı ve büyümeyle beraber interkanin mesafedeki artış kullanılmaktadır (12, 16, 17).

Karışık dişlenme döneminde birinci büyük azıların başa baş ya da sınıf II kapanıştan ideal oklüzyona gelmeleri için; süt dişi aşınmaları, maymun diastemaları, leeway yer rezervi kullanılmaktadır (12, 15).

2.1.4. Daimi Dişlenme Dönemi

Bu dönem, son süt dişinin düşmesi ile başlayıp üçüncü büyük azı dişleri hariç daimi dişlerin sürmesi ile sona ermektedir.

Normal büyüme ve gelişim sürerken, süt azı dişlerinde arayüz çürüklerinin görülmesi, nötral oklüzyonun oluşmasını tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle süt dişlerinde oluşan çürükler meziodistal çaplarında değişiklik oluşturmada restore edilmelidir. Restore edilemeyecek durumda olan süt dişlerinin erken kaybı büyüme ve gelişimi olumsuz yönde etkilemektedir (12).

2.2. Okluzal Rehberlik

Süt dişleri; fonasyon, çiğneme ve estetik fonksiyonları ile beraber daimi dişlenme için yer tutucu olarak da hizmet etmektedir.

Koruyucu diş hekimliği gittikçe popülerleşmesine rağmen çürükler, pulpal patolojiler, travma gibi nedenlerle süt dişlerinin erken kayıplarına çok sık rastlanmaktadır. Süt dişlerini erken kaybeden hastalarda; ark boyutlarında azalma, orta hatta sapma, kapanış ilişkilerinde bozulma ve daimi dişlerde çapraşıklık gibi problemlerle karşılaşmaktadır (25).

Süt dişlerinin gelişim ve sürmesine rehberlik etmek stabil, fonksiyonel ve estetik açıdan kabul edilebilir bir daimi oklüzal ilişkinin gelişimine katkı sağlarken, dentofasiyal büyümenin de normal şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır (25). Bu nedenle çocuk diş hekimlerinin, malokluzyonların erken teşhisi ve tedavileri, oklüzal ilişkiler ve kraniyofasiyal gelişimle ilgili bilgi sahibi olmaları gerekmektedir.

Oklüzal rehberlik, kraniyofasiyal büyüme ve gelişim sırasında gözlenebilecek sorunların doğru zamanda belirlenerek tedavi edilmesine yönelik yapılan koruyucu, durdurucu ve düzeltici müdahaleler olarak tanımlanmaktadır. Çocuk diş hekimliğinin en önemli amaçlarından biri oklüzal rehberliği sağlayarak, hastanın sağlıklı oklüzyonunu sağlamaktır. Yer tutucu apareylerin kullanılması ve doğru zamanda planlanan diş çekimleri pasif oklüzal rehberlik kapsamındayken; yer kayıplarının geri kazanılması, ektopik sürmelerin tedavisi ve anormal ağız alışkanlıklarının kontrolü aktif oklüzal rehberlik kapsamında yer almaktadır (26). Oklüzyona doğru müdahaleyi uygulayabilmek için Tablo 1 'de de gösterildiği gibi dişlerin sürme ve dökülme zamanlarının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Tablo 1.Süt Dişlerinin Sürme ve Eksfoliasyon Zamanları (27)

MAKSİLLER DİŞLER	ERÜPSİYON	EKSFOLİASYON
SANTRAL KESERLER	8-12 AY	6-7 YAŞ
LATERAL KESERLER	9-13 AY	7-8 YAŞ
KANİN	16-22 AY	10-12 YAŞ
1. MOLAR	13-19 AY	9-11 YAŞ
2. MOLAR	25-33 AY	10-12 AY
MANDİBULAR DİŞLER	ERÜPSİYON	EKSFOLİASYON
SANTRAL KESERLER	6-10 AY	6-7 YAŞ
LATERAL KESERLER	10-16 AY	7-8 YAŞ
KANİN	17-23 AY	9-12 YAŞ
1. MOLAR	14-18 AY	9-11 YAŞ
2. MOLAR	23-31 AY	10-12 YAŞ

2.3. Yer Kaybı Nedenleri

Süt dişlerinin erken kaybı, tedavi edilmemiş arayüz çürükleri, uygun boyutlarda yapılmamış restorasyonlar, travma sonrası yaşanan diş kayıpları, konjenital diş eksiklikleri, sürme gecikmeleri ve kama lateral gibi boyut anomalileri gibi nedenlerle ark boyutlarında kayıplar yaşanmaktadır (3, 28). Yer kayıplarının en sık nedeninin süt dişlerinin erken kaybı olduğu belirtilmektedir (29). Erken süt dişi kaybının en sık nedenleri arasında diş çürüğü, travma, iatrojenik hatalar, konjenital bozukluklar, ektopik erüpsiyon, ortodontik nedenler sayılabilmektedir (30, 31).

Çocuk diş hekimliğinin karşılaştığı en büyük zorluklar arasında, erken süt dişi kaybı sonucu oluşan yer kaybının yönetimi sayılabilir. Süt ve karışık dişlenme döneminde oklüzyonda bir bozukluk oluştuğunda daimi dişlenmenin oklüzal durumu da etkilenebilmektedir (32). Süt dişi erken kaybı sonucu yer tutucu apareyler yapılmadığı durumlarda; diş ark boyutunda azalma, ektopik erüpsiyon, orta hatta sapma, kapanış ilişkilerinde problemler, daimi diş germinin gömülü kalması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (3, 33). Erken süt dişi kaybı sonucu oluşabilecek bu problemler, çene- yüz kaslarının kuvveti, arkin mevcut boyutları, daimi diş sürme zamanı ve sırası, büyüme ve gelişimi gibi birçok faktöre bağlanmaktadır (3). Kaybedilen dişin bulunduğu çene, hangi diş olduğu ve diş yaşı gibi faktörler de daimi dişlenme döneminde oluşabilecek anomalilerin şiddetini etkilemektedir (34).

2.3.1. Süt Keser Diş Kaybında Oklüzyonda Oluşabilecek Problemler

Süt keser dişlerin erken kaybı sonucu oluşabilecek yer kaybı genellikle dudak ve çevresindeki kasların etkisi ile komşu dişlerin meziolingual olarak devrilmesi sonucu oluşabilmektedir (28).

Süt dişlenmede döneminde; alt çene süt kanin dişlerin erken kaybı sonrası, birinci süt azı dişlerinin meziale hareket etmesi ve daimi kesici dişlerin distolingual yönde sürmeleri sonucu yer kaybı oluşabilmektedir. Karışık dişlenme döneminde; süt kanin dişlerin erken kaybı ile daimi kesici dişlerin distolingual yönde devrilmesi sonucu yer kaybı olabilmektedir (3).

2.3.2. Birinci Süt Azı Dişlerin Erken Kaybında Oluşabilecek Problemler

Birinci süt azı dişlerinin erken kaybında; daimi birinci büyük azı dişi sürmemiş ise sürme dönemine girdiğinde ikinci süt azı dişin mezializasyonunu arttıracak için yer tutucu

yapılması gerektiği, daimi birinci büyük azı dişi sürmüş ve sınıf 1 kapanışta ise süt birinci azı dişi ile daimi birinci küçük azı dişinin meziodistal genişliklerinin benzer olmasının da etkisiyle, hastanın mevcut yerinin belirli aralıklarla takip edilmesinin yeterli olacağı bildirilmiştir (34, 35).

Daimi yan kesici dişlerin aktif olarak sürdüğü dönemden önce birinci süt azılar kaybedildiğinde, süt kanin dişlerin distalize olması sonucu mevcut yerin kaybedilebildiği görülmüştür (36).

2.3.3. İkinci Süt Azı Dişlerin Erken Kaybında Oluşabilecek Problemler

İkinci süt azıların erken kaybının sonuçlarının, birinci süt azı dişlerin erken kaybından daha önemli olduğu bildirilmektedir (34).

Maksillada; üst daimi ikinci küçük azı dişi ile üst daimi kanin dişin sürme zamanları aynı olduğu için üst süt ikinci azı dişi erken kaybedilip yer tutucu yapılmadığında, üst daimi kanin dişin daha vestibülde sürmesine veya gömülü kalmasına neden olabilmektedir (12, 28).

Mandibulada; daimi ikinci küçük azı, daimi kaninden 1.5-2 yıl sonra sürmektedir, süt ikinci azının yeri korunamadığında, daimi ikinci küçük azı vestibül veya lingual pozisyonda sürebilir veya daimi birinci büyük azı ile daimi birinci küçük azı arasında gömülü kalabilmektedir (12).

Hastalarda süt ve karma dentisyonda, doğru tanı konulup uygun tedaviler yapıldığında, maloklüzyonların düzeltilebileceği, ortodontik tedavi ihtiyacının azaltılabileceği ve çenelerin büyüme-gelişiminin doğru seyredeceği bildirilmektedir (17, 21).

Koruyucu diş hekimliği uygulamalarındaki artışa rağmen, günümüzde erken kaybedilen dişlere hala sıklıkla rastlanılmaktadır. Güncel tedavi rehberinde, oklüzal rehberlik esas alınarak yer tutucuların uygulanması ile ark uzunluğu ve genişliğindeki yer kayıplarının engellenebileceği, böylelikle koruyucu ve maloklüzyonu azaltıcı etkileri olduğu bildirilmiştir (20, 21, 33).

2.4. Yer Tutucular

Yer tutucu apareyler, erken kaybedilen süt dişlerinin yerine sürmesi beklenen daimi dişler için ark uzunluğunu korumak, çiğnemenin bozulduğu durumlarda çiğnemeye yardımcı

olmak ve anterior diş kaybı sonucu bozulan estetik nedeniyle oluşabilecek psikolojik hasarın önüne geçmek amacıyla yapılan apareylerdir (5).

Yer tutucular, hem kaybedilen estetiği ve fonksiyonları yerine getirirken hem de oluşabilecek ortodontik anomalilerin önüne geçmek amacıyla yapılması nedeniyle koruyucu ve durdurucu ortodontik apareylerdir (5).

2.4.1. Yer Tutucu Apareylerde Bulunması Gereken Özellikler

Çocuk diş hekimliğinde sıklıkla kullanılan yer tutucu apareyler; meziodistal olarak çekim boşluğunu korumalı, laboratuvar süreci kısa ve uygun maliyetli olmalı, kraniyofasiyal olarak büyüme ve gelişmeyi kısıtlamamalı, destek dişlerde istenmeyen hareketlere neden olmamalı, fonksiyonel ve estetik olarak kabul edilebilir olmalı ve hasta tarafından rahatça kullanılabilir olmalıdırlar (37).

Yer tutucu apareyler uygulanırken; hastanın yaşı, mental gelişimi, hasta-hekim ve hasta-ebeveyn arası kooperasyon, hastanın sistemik durumu ve sosyoekonomik faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir (25).

2.4.2. Yer Tutucu Uygulamasında Kararı Etkileyen Faktörler

2.4.2.1. Çekimden Sonra Geçen Süre

Yer kayıpları daha çok çekimden sonraki altı ay içerisinde görülmektedir. Bu nedenle, daimi dişin sürmesine altı aydan fazla bir süre varsa yer tutucu yapılması gerekmektedir (5, 38).

Süt diş erken kaybı sonrasında altı ay içerisinde yer tutucu yapılmayıp yer kaybının meydana geldiği durumlarda, hastanın yer ve profil analizleri yapılarak yer tutucu yapıp yapılmayacağına karar verilmelidir. Yer kaybına rağmen arkta daimi dişin süreceği yer varsa veya daimi diş çekimi yapılmasını gerektirecek kadar yer kaybı oluşmuşsa yer tutucu kontrendikedir (39).

2.4.2.2. Mevcut Yer

Mevcut boşluğu, daimi dişlerin sürme zamanlarındaki değişiklik, dişler arası tüberkül ilişkileri, arayüz çürükleri, kas kuvvetleri gibi faktörler etkileyebilmektedir (3,38). Yer tutucu yapılmadan önce, yer kaybının çürüğe bağlı mı yoksa gelişimsel bir yetersizlikten mi kaynaklandığı belirlenmelidir. Gelişimsel bir sorun varsa öncelikle yer kazanımı için tedavi planlanması yapılması gerekmektedir (2).

2.4.2.3. Daimi Diş Germi Üzerindeki Kemik Miktarı

Süt dişi enfeksiyon nedeniyle kaybedildiğinde daimi dişin sürmesi genellikle hızlanmaktadır (38). Çalışmalarda daimi dişin üzerinde yer alan kemik miktarının her bir milimetresi için dişin sürmesine yaklaşık altı ay olduğu görülmüştür (39).

2.4.2.4. Yer Kaybının Miktarı

Üst çene posterior bölgede yer kaybı, boşluğun distalindeki dişin meziale doğru gövdesel hareketi ve palatinal kök etrafındaki meziopalatinal rotasyonla gerçekleşirken; alt çenede bu durum, meziale tipping ve anterior dişlerin distale hareketi ile gerçekleşir. Bu nedenle yapılan birçok çalışmada üst çenede gerçekleşen yer kayıplarının, alt çeneden daha çok olduğu bildirilmiştir (3).

Breakspear'a göre; maksiller süt birinci molar kaybindan sonra yer kaybı 0,8 mm iken mandibula da yer kaybı 0,9 mm'dir. Maksiller süt ikinci molar kaybindan sonra yer kaybı 2,2 mm iken mandibula da yer kaybı 1,7 mm'dir ve hastanın yaşı ne kadar küçük ise alan kaybının o kadar fazla olacağı sonucuna varmıştır (23).

2.4.2.5. Hastanın Diş Yaşı

Yer tutucu planlanırken, hastanın kronolojik yaşından ziyade diş gelişim yaşının önemli olduğu bilinmektedir (38). Kronolojik yaş ile kemik yaşı paralellik göstermeyebilmektedir (5).

Diş yaşı, dişlerin kron ve köklerinin kalsifikasyonları ve sürme zamanıyla ilgili bir durumdur. Yer tutucu planlaması yaparken dişlerin sürme sırası ve zamanları bilinmelidir ancak mutlaka bölgenin röntgen filmleri incelenerek karar verilmelidir. Daimi kanin dişlerin kök oluşumunun dörtte üçü, premolar dişlerin kök oluşumunun üçte biri tamamlandığında sürmeye başladığı görülmüştür (5).

2.4.2.6. Dişlerin Sürme Sırası

Yer tutucu seçimi yaparken dişlerin sürme sırası da iyi bilinmelidir. Örneğin; süt ikinci azı dişi erken kaybedilip, daimi ikinci büyük azı dişinin, daimi ikinci küçük azı dişinden önce sürdüğü durumda ikinci büyük azı dişi, sürme döneminde daimi birinci büyük azı dişi mezialize eder ve böylece yer kaybı oluşmaktadır (2).

2.4.2.7. Daimi Dişin Konjenital Olarak Eksikliği

Konjenital olarak eksik diş olan durumlarda mevcut yeri koruyan süt dişinin çekimi yapılarak, arkasındaki diş mezialize edilebilir veya oluşan boşluk yer tutucu ile korunarak ileride sabit protez planlanabilmektedir (5).

2.4.2.8. Boşlukların Kapanış Yönü

Steawart FS, maksillada 12 çekim boşluğundan bir tanesi hariç diğerlerinde, boşluğun distalindeki dişlerin meziale devrilmesi ile kapandığını, mandibulada ise 2 milimetreden büyük yer kayıplarının çoğunun boşluğun mezialindeki dişlerin distal hareketi ile gerçekleştiğini bildirmiştir (23).

2.4.2.9. Anormal Oral Alışkanlıklar

Besleyici olmayan emme, bruksizm, dil itme, obstrüktif uyku apnesi ve parmak emme gibi alışkanlıkları içermektedir. Dişlere ve dento-alveoler yapılara negatif kuvvetler uygulayabilmektedirler ve bu durum seçilecek yer tutucunu tipini etkileyebilmektedir (4).

2.4.2.10. Daimi Dişin Sürmesinde Gecikme

Daimi dişlerin sürme sürecini etkileyen lokal faktörler arasında süpernumere diş, primer dentisyondaki dişin retansiyonu, ankilozu veya füzyonu, travma ve kist gibi patolojik faktörler, karşıt arktaki dişin overerüpsiyonu gibi oklüzal engeller, arktaki çapraşıklıklar, aşırı kontürlü veya uyumu kötü restorasyonlar, uygun planlanmamış veya yanlış yerleştirilmiş yer tutucular sayılabilmektedir (3).

2.4.2.11. Yer Tutucu Apareylerin Dezavantajları

Yer tutucuların daimi dişler için ark boyutunu korumak adına çok önemli görevleri olsa da hasta kooperasyonu gerektirmesi, kullanım hatası sonucu kaybolan ve kırılan apareyler, destek dişte istenmeyen hareketler, çürük oluşumuna neden olması, ağrı ve daimi dişin sürmesine engel olması gibi birçok dezavantajları da bulunmaktadır (23).

2.4.2.12. Yer Tutucu Apareylerin Kontrendike Olduğu Durumlar

İdeal oklüzyonu sağlamaya yardımcı olmak için yer tutucular tercih edilse de bunları uygulamak her zaman mümkün olmayabilmektedir. Hasta ve ebeveyn iş birliği sağlanamadığında, arkta daimi dişlerin sürmesi için yeterli yer olduğunda, mevcut boşluk kaybedildiğinde, oral hijyeni zayıf hastalarda ve daimi dişin birkaç ay içerisinde sürmesi beklendiği durumlarda yer tutucu yapımı kontrendikedir (40).

Kaybedilen diş sayısı, bulunduğu ark, destek dişin durumu ve hasta kooperasyonu gibi faktörler seçilecek yer tutucu tipini etkilemektedir.

2.4.3. Sabit Yer Tutucular

Tek veya çift taraflı, fonksiyonel veya nonfonksiyonel, aktif veya pasif olarak üretilmektedirler.

Bu apareylerin, kooperasyon sağlamanın zor olduğu hastalarda kullanılabilmesi, tasarıma bağlı olarak daimi dişin sürmesine izin vermeleri ve diş ilavesi halinde çiğneme fonksiyonunu geri kazandırmaları gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak kullanılan simanın zamanla bozulması, diş üzerinde dekalsifikasyonlara neden olabilmeleri, destek dişlerde istenmeyen hareketler oluşturabilmeleri, bazı durumlarda dayanak dişte preperasyon gerektirmeleri ve apareylerin dişetine gömülmesi gibi dezavantajları olduğu da unutulmamalıdır (3, 23).

2.4.3.1. Band Loop Yer Tutucu

Tek diş kaybında posterior segmentte yeri korumak amacıyla uygulanan fonksiyonel olmayan, pasif, sabit apareylerdir (Resim1).

Genellikle aynı bölgede tek diş eksikliği olduğunda, kalıcı keser dişler sürmeden önce süt 1. azı diş bilateral kaybedildiğinde lingual ark yerine, daimi birinci molar sürmeden önce süt birinci azının çift ya da tek taraflı kaybında kullanılmaktadırlar.

Aparey genellikle çekim boşluğunun distalinde yer alan dişe simante edilen bant ve boşluğun mezialine uzanan telden oluşmaktadır. Destek dişe uygun bant seçilir. Destek dişe bitişik dişler olduğunda bandın takılmasını kolaylaştırmak adına ölçü alınmadan 1-2 hafta önce, dişler arasına separatör yerleştirilebilir. Loop genişliğinin daimi dişin sürmesine izin verecek genişlikte olması gerekmektedir.

0,9 mm'lik telden bükülen loop dişeti dokusundan 1mm uzaktan geçecek şekilde ve dişsiz kenara paralel olmalıdır. Komşu dişe kontakt noktasından temas etmeli ve bukkal mukoza ve dile dokunmamalıdır (40).

Geleneksel band loop üzerinde modifikasyonlar yapılabilir. Süt 2. azı dişin kaybında, daimi 1. Molar diş yeterince sürmemişse reverse band loop yapılabilir (Resim2).

Reverse band-loop; süt birinci molar dişe yerleştirilen bant ve bant üzerinden distale doğru uzanarak, daimi birinci molar dişin mezial yüzeyine temasta olan büküm uygulanmış ortodontik telden oluşur. Bu aparey, süt birinci molar diş, daimi ikinci premolar diş sürmeden önce düştüğü için sınırlı bir kullanım alanı bulmaktadır (41, 42).



Resim 1. Band Loop Yer Tutucu (Soxman'dan,42)



Resim 2. Reverse Band Loop Yer Tutucu (Soxman'dan,42)

Band loop yer tutucular, üretim kolaylığı, çeşitli modifikasyonlar yapılabilmesi, yüksek başarı oranı ve hastalar tarafından kolay tolere edilmesi gibi birçok avantajının yanında, çok sayıda diş eksikliğinde uygulanamaması, fonksiyonel olmaması, karışık dişin overerupsiyonunu engelleyememesi, plak birikimine neden olabilmesi ve siman çözünmesi gibi dezavantajlara da sahiptirler (23, 39).

2.4.3.2. Kron Loop Yer Tutucu

Band loop apareylerin bir çeşididirler. Tek dişin kaybedildiği ve madde kaybının fazla olduğu veya okluzogingival boyutu korumak adına, paslanmaz çelik kron uygulanması gereken durumlarda tercih edilen yer tutucu tipidir (40).

Destek diş paslanmaz çelik kron için prepare edilir, uygun kron seçilir, ölçü alınır ve alçı modelde loop teli krona lehimlenir. Uyumu bozulan apareylerin tamiri için kron kesilir ve yeniden kron ve loop yapılması gerekir. Band loop daha kolay tamir edilebilir olduğu için, kron yapılıp üzerine band loop uygulanabilmektedir (39, 43).

Kron looplar, band looplardan farklı olarak destek dişi kapladığı için çürük riskini azaltmaktadır, destek dişte geniş madde kaybı varsa kullanışlıdır, yumuşak dokuda sıkışma oluşturmamaktadırlar (44).

2.4.3.3. Distal Uzantılı Aparey

İkinci süt azının erken kaybında, daimi birinci azı diş tam olarak sürmemişse, süt birinci azı dişe bant uygulanır ve loop teli daimi birinci molara uzanmaktadır (Resim3).

Uygulama zorluğu, lokal anestezi ile yumuşak dokuda insizyon gerektirmesi, kırılabilir yapısı nedeniyle klinik pratikte pek fazla kullanım alanı bulamamaktadır. Enflamasyona açık bir alan oluşturduğu için sistemik olarak riskli, profilaksi ihtiyacı olan hastalarda kullanımı kontrendikedir (45).



Resim 3. Distal Uzantılı Yer Tutucu (Soxman'dan, 42)

2.4.3.4. Lingual Ark

Bilateral, nonfonksiyonel, pasif veya aktif olarak kullanılabilen alt çenenin sabit apareyidir (Resim4). Boşluğun distalindeki dişlerin meziale ve linguale hareketini ve ön dişlerin linguale devrilmesini önleyerek, ark çevresinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Azı dişlere simante edilen bant ve mandibular keserlerin singulumlarından geçen telden oluşmaktadır. Tel yumuşak dokulardan 1-1,5 mm uzaktan geçmelidir. Genellikle alt keser dişlerin sürmesi sonrası, mandibular arkta birden çok diş eksikliği olduğunda tercih edilmektedir (23). Daimi keserler sürmeden önce yapıldığında, tel lingualden sürmekte olan dişlerin gelişimine engel olabilmektedir (32).

Yer tutucular ile ilgili yapılan çalışmalarda, ağızda kalma süresi en kısa olan yer tutucu lingual ark olarak bulunmuştur. Bunun nedenleri arasında çiğneme sırasında apareyde oluşan stresler, simantasyon sırasında izolasyonun zor olması ve hastaların apareyi diliyle çıkarmaya çalışması sayılabilmektedir (46).

Lingual arklar üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılabilmektedir; tele 'U' büküm yapılarak aktif hale getirilip azılarda distalizasyon ve keserlerde proklinasyon yapılabilir, kanin dişlerin distalizasyonunu önlemek için tırnak eklenebilir, bantlara tüp eklenerek yarı sabit hale getirilebilmektedirler (47).



Resim 4. Lingual Ark Yer Tutucu (Soxman'dan, 42)

2.4.3.5. Nance Apareyi

Üst çenede, çift taraflı, sabit, pasif, fonksiyonel olmayan apareylerdir (Resim5). Aparey iki molar dişe uygulanan bant ve dayanak dişlerin meziale göçünü engellemek için

damak mukozasına yerleştirilen akrilik plaktan oluşmaktadır (40). Kesici dişlerden destek almadığı için tüm dişlenme dönemlerinde kullanılabilir (2). Akrilik düğme gıda artıklarının birikimine neden olabildiği için ağız hijyenini zorlaştırmaktadır, bakteri ve yemek artıklarının birikmesi sonucu palatal inflamasyon görülebilmektedir, ayrıca akrilik parçanın yumuşak dokuya gömülmesi de dezavantajlarından sayılabilmektedir (48). Transpalatal arka göre avantajı, üst azı dişlerin meziale hareketini engellemek amacıyla palatinalden destek almasıdır (40).



Resim 5. Nance Apareyi (Soxman'dan,42)

2.4.3.6. Transpalatal Ark

Bilateral, pasif, nonfonksiyonel sabit apareydir. Maksiller süt azıların erken kaybında nance apareyi yerine kullanılabilir (23). Azı dişlerine yerleştirilen bant ve dayanak dişler arasında uzanan telden oluşmaktadır. Tel yumuşak dokudan 3-5 mm uzaktan geçmelidir (48). Genellikle tek taraflı çoklu molar diş kayıplarında, ark genişliğini korumak amacıyla, maksiller molarların sürmesinin kontrolünde ve tek taraflı çapraz kapanışların düzeltilmesinde tercih edilmektedir (48).

2.4.3.7. Kompozit Rezin ile Yapıştırılan Yer Tutucular

Çekim boşluğunun mezial ve distalindeki dişlere kompozit rezin ile farklı materyallerin yapıştırılması ile uygulanmaktadırlar.

Kompozit Rezin ile Yapıştırılan Ortodontik Telden Oluşan Direkt Bonded Yer Tutucular

Birinci ve ikinci süt molar dişlerin kaybında, çapı 0,7-0,9 mm olan ortodontik telin, çekim boşluğuna komşu dişlerin bukkal yüzeylerine yapıştırılmasıyla, ark boyu korunmaya çalışılmaktadır. Uygulaması kolay ve maliyetleri azdır. Tel dişetinden 1 mm uzaklıkta olmalı, oklüzal kuvvetlerle temas halinde olmamalı ve daimi dişlerin sürmesini engellememesi gerekmektedir (46).

Fiber ile Güçlendirilmiş Kompozit Rezin ile Yapıştırılan Yer Tutucular

Cam fiber, termoplastik polimer ve ışıkla sertleşen rezin matriksin, dental polimerin güçlendirilmesi için eklendiği yarı işlenmiş bir materyal olan fiber ile güçlendirilmiş kompozit rezin kullanılmaktadır.

Direkt bonded yer tutucular gibi birinci ve ikinci süt azı dişlerin erken kaybında, çekim boşluğunun mezial ve distal komşuluğunda dişler bulunduğu uygulanabilmektedirler (49).

Paslanmaz Çelik Kronun Vestibül Yüzüne Açılan Pencereye ve Destek Dişe Kompozit Rezin ile Yapıştırılan Ortodontik Telden Oluşan Yer Tutucular

Birinci ve ikinci süt azı dişlerin erken kaybında dayanak dişlerde paslanmaz çelik kron endikasyonu varsa uygulanabilirler. Kronun bukkal yüzeyine açılan pencereye ve diğer destek dişe yapıştırılan ortodontik telden oluşmaktadır (50).

2.4.3.8. EZ Space Maintainer

Geleneksel yer tutuculara göre daha ucuz ve daha az zaman alıcıdır. Ölçü alma ve laboratuvar aşaması gerektirmemektedir.

EZ space maintainer; iki adet 1mm'lik paslanmaz çelik tel kol, 1.2 mm'lik iç çapa sahip tüp segmentleri ve iki adet çekim boşluğuna komşu dişlerin bukkal yüzeylerine sabitlenen yapıştırma tabanından oluşmaktadır. Çekim boşluğunun meziodistal boyutuna göre ayarlanıp, sabitlenmektedir (51).

2.4.4. Hareketli Yer Tutucular

Çoklu ve çift taraflı diş eksikliklerinde hastanın yaşı hareketli aparey kullanımına uygun olduğunda tercih edilmektedirler. Akrilik bağlayıcı ve retansiyon amaçlı konulan kroşelerden oluşmaktadır. Akrilik plak kalınlığı 2 mm'yi geçmemelidir ve daimi dişlerin

erüpsiyonuna izin vermek için, düzenli kontroller sonucu, sürme yolundaki akrilik kaldırılmalıdır. Estetik ve fonksiyon amaçlı yapay diş ilave edilebilmektedir (3).

Yapımlarının kolay olması, daha çok doku destekli olduklarından komşu dişlere daha az zarar vermeleri, diş eklenmesiyle estetik fonksiyon kazanabilmeleri ve antagonist dişlere temas ederek vertikal boyutun korunmasına yardımcı olmaları gibi avantajlarının yanında; hastanın kooperasyonunu sağlamanın zorluğu, kırılma riski, kaybolma ihtimali gibi dezavantajları aparey seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır (52).

Hareketli yer tutucuların ilk 24 saat sürekli olarak kullanılması gerekmektedir. Birkaç gün tükürük artışı gözlemlenebilmektedir. Bir hafta sonra kontrole çağırılmalı ve 3 aylık kontrollerle takip edilmelidir (48).

Dişlenme dönemlerine göre, erken kaybedilen dişler için uygulanması önerilen yer tutucu tipleri ve olası sonuçlar Tablo 2-3'te özetlenmiştir.

Tablo 2.Süt Dişlenme Döneminde Dişlerin Erken Kaybı Sonucu Kullanılacak Yer Tutucular ve Sonuçları (23)

Kaybedilen süt dişi	Önerilen tedavi	Sonuç
Maksiller keser dişler	Yer tutucu gerekmez	Eğer süt köpek dişleri sürmeden önce kaybedilirlerse yer kaybı görülebilir
Maksiller kanin dişi	Band loop yer tutucu	Orta hattın kayma olasılığını azaltır
Maksiller süt birinci molar dişi	Band/kron loop yer tutucu	Ark boyunda azalmayı önler
Maksiller süt ikinci molar dişi	Distal shoe yer tutucu	Daimi birinci molar dişin doğru pozisyonda sürmesini sağlar Ark boyunda azalmayı önler
Mandibular keser dişi	Yer tutucu gerekmez	Eğer süt kanin dişin sürmesinden önce kaybedilirse yer kaybı görülebilir Kesici dişlerin linguale tipingi görülebilir
Mandibular kanin dişi	Band loop yer tutucu	Orta hattın kayma olasılığını azaltır
Mandibular süt birinci molar dişi	Band/kron loop yer tutucu	Ark boyunda azalmayı önler
Mandibular süt ikinci molar dişi	Distal shoe yer tutucu	Daimi birinci molar dişin doğru pozisyonda sürmesini sağlar Ark boyunda azalmayı önler

Tablo 3.Karma Dişlenme Döneminde Dişlerin Erken Kaybı Sonucu Kullanılacak Yer Tutucular ve Sonuçları (23)

Kaybedilen süt dişi	Önerilen tedavi	Sonuç
Maksiller keser dişler	Daimi lateral sürmeden önce kaybedilirse, hareketli yer tutucu yapılır	Orta hat kayması olasılığını azaltır
	Daimi lateral dişler sürdükten sonra yer tutucu çıkarılır	Daimi lateral kesici dişlerin doğru pozisyonda sürmesini sağlar
Maksiller süt birinci molar diş	Daimi lateral dişin sürmesinden önce kaybedilirse, nance apareyi yapılır	Ark boyunda azalmayı önler
Maksiller süt ikinci molar diş	Nance apareyi	Ark boyunda azalmayı önler
Mandibular keser dişler	Daimi lateral sürmeden önce kaybedilirse, hareketli yer tutucu	Orta hat kayması olasılığını azaltır
	Daimi lateral dişler sürdükten sonra yer tutucu çıkarılır	Orta hat kayması olasılığını azaltır Daimi keserlerin linguale devrilmesini önler
Mandibular süt birinci molar diş	Daimi lateral kesici dişler sürmeden önce kaybedilirse, band/kron loop yer tutucu	Ark boyunda azalmayı önler Daimi keserlerin sürmesini etkilemez
	Daimi lateral kesici dişler sürdükten sonra kaybedilirse, lingual ark yer tutucu	Ark boyunda azalmayı önler Daimi keserlerin sürmesini etkilemez
Mandibular süt ikinci molar diş	Daimi lateral kesici dişler sürmeden önce kaybedilirse, band/kron loop yer tutucu	Ark boyunda azalmayı önler Daimi keserlerin sürmesini etkilemez
	Daimi lateral kesici dişler sürdükten sonra kaybedilirse, lingual ark yer tutucu	Daimi 1. molar dişin meziale devrilmesini önler Ark boyunda azalmayı önler

2.5. Materyaller

2.5.1. Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelik (PÇ), içeriğinde ağırlıkça minimum %11 krom (Cr) bulunan, nikel (Ni), molibden (Mo) ve manganez (Mn) de içerebilen, demir (Fe) bazlı bir alaşımdır. Yüksek

korozyon direnci sayesinde deniz suyu, yiyecekler ve insan vücudu gibi agresif ortamlarda tercih edilmektedir (53).

Paslanmaz çelikler genellikle ferritik, martensitik veya ostenitik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Korozyon dirençleri ve kabul edilebilir mekanik özellikleri sayesinde ostenitik paslanmaz çelikler en çok tercih edilen biyomedikal metal malzemelerdir. Paslanmaz çelikler osteotomi konnektörü, kompresyon plakası, yapay vertebra gövdesi gibi yapay eklem ve kırık fiksasyon ekipmanı olarak sıklıkla tercih edilmektedir (54).

Paslanmaz çeliğin ağız içerisinde kullanım alanları arasında, ortodontik teller ve bantlar, yer tutucular, kronlar ve endodontik kanal eğeleri sayılabilmektedir.

Geleneksel band loop yer tutucular, paslanmaz çelik teller kullanılarak üretilmektedir. Bu işlem birkaç adımdan oluşmaktadır; hastanın destek dişine uygun bant seçimi yapılır, eksik dişin mesiodistal olarak kapladığı boşluğu koruyacak şekilde paslanmaz çelikten halka oluşturulur, halka banda lehimlenerek sabitlenir ve polisajla yüzeyi düzenlenerek bitirilir. Üretim, zahmetli ve uzun bir süreç olmasının yanında teknisyenin becerisini de gerektirmektedir.

Uygun bandın bulunması için farklı boyutlarda bantlar denenmesi, denen bantların tekrar steril edilmesi gerekliliği, geleneksel ölçünün özellikle çocuklarda yarattığı zorluk, uzun laboratuvar süreci gibi dezavantajları nedeniyle günümüzde 3 boyutlu yazıcı ile üretilen yer tutucular tercih edilmeye başlanmıştır (55).

2.5.2. Polietereeterketon (PEEK)

Biyouyumlu polimerler diş, ortopedik ve kardiyovasküler cihazlar dahil olmak üzere birçok medikal uygulama için diğer alaşımlara alternatif olarak düşünülmüştür (56).

Poliarilterketon (PAEK) ailesine üye olan polietereeterketon (PEEK), son yıllarda yüksek biyouyumluluğu, bozunmalara kimyasal direnci ve estetik özellikleri nedeniyle tercih edilen bir materyal olmuştur. PEEK, difenil sülfon içinde çözülmüş flor benzen keton hidrokinon ve sodyum karbonat veya potasyum karbonattan yapılan bir termoplastik reçinedir (57, 58). PEEK yüksek sıcaklıklara direnç gösterir (erime noktası 343 ° C), suda çözünürlüğü düşüktür (%0,5) ve vücut sıvıları içinde biyokorozyonu minimuma indirerek sitotoksisiteyi önlemektedir. Hidrolize edilememesiyle karbon fiberden daha üstün bir malzemedir. Yüksek radyasyon kararlılığına sahiptir (59). Bunların yanında aromatik

kimyasal yapısı sayesinde sterilizasyon için kullanılan gama ve elektron ışınlarına karşı dirençlidir (60). Radyolusenttir ve çok az artefakt oluşturmaktadır. Diğer metal alaşımlarına kıyasla insan kortikal kemiğine daha yakın düşük young modülü (3-4 GPa) ile daha iyi mekanik özellikler sunmaktadır (56). PEEK üstün biyouyumluluk sergilemektedir, insan fibroblastları ve osteoblastları için invitro ve invivo olarak mutajenik ve toksik değildirler (61, 62). Ancak geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında PEEK 'in çekme dayanımı (110 MPa), yük taşıma stresini sürdürmek için yeterli değildir ve mekanik özellikleri geliştirmek adına cam elyaflar (GFR-PEEK) veya karbon elyaflarla (CFR-PEEK) karıştırılarak daha büyük eğilme mukavemeti ve daha iyi renk stabilitesine sahip olması sağlanmaya çalışılmaktadır (Tablo 4) (63, 64).

Tablo 4.PEEK, Titanyum ve Anatomik Yapıların Fiziksel Özellikleri (65)

Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	PEEK	GFR-PEEK	CFR-PEEK	Ti6Al4V	Kortikal Kemik	Dentin
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.31	1.51	1.41	4.34	1.92	-
Young Modülü (GPa)	3-4	12	18	110-130	14	18.6
Çekme Dayanımı (MPa)	110	97	131	976	104-121	104
Çekme Elastik Modülü (GPa)	4.3	6.9	7.6	113	13.6-28.3	-
Çekme Uzaması (kopma anında)	40	2	5	6-10	1-3	-

(PEEK: Polietereketon, GFR-PEEK: Cam Elyaf Takviyeli, CFR-PEEK: Karbon Elyaf Takviyeli Polietereketon)

2.5.3. Titanyum

Titanyum (Ti), atom numarası 22 ve atom kütlesi 47,90 olan, Ti sembolü ile gösterilen bir kimyasal elementtir. Hafif, güçlü, metalik beyaz renkli, parlak, korozyona dayanıklı ve oda sıcaklığında katı bir geçiş metalidir (66). Düşük ısı iletkenliği, yüksek elektrik iletkenliği, rijit yapısı, düşük özgül ağırlığı ve yüksek ısılara dayanıklılığı sayesinde sanayi sektöründe tercih edilmiş, bu özelliklerinden biyomedikal alanlarda da yararlanmak için materyal işlenerek eklem protezleri, splintler, koroner stent, dental implantlar, kron-köprü ve parsiyel protezlerde de kullanılmaya başlanmıştır.

Titanyum biyouyumluluğu, düşük elastisite modülü, korozyona direnci gibi özellikleri ile diş hekimliğinde özellikle implant uygulamalarında çokça tercih edilen bir materyal olmaktadır (67).

Titanyum oldukça reaktif bir materyaldir. Düşük sıcaklıklarda sıkı paketli altıgen yapılı α fazında bulunan ve 885 ° C nin üstünde body centered cubic yapısına (β fazına) dönüşen allotropik bir elementtir. β fazlı titanyum alaşımları α - fazlı alaşımlara göre daha dirençli ancak daha kırılgandır. Titanyumun dayanıklılığı, yakın alanlı altıgen kristal kafes şekline ve kristalografik oryantasyonuna, biyouyumluluğu ise stabil, pasif oksit tabakasına bağlanmaktadır (68). Diş hekimliği alanında en çok ilgiyi farklı titanyum alaşımlarından, saf titanyum ile Ti-6Al-4V alaşımı çekmektedir (66, 69).

2.5.4. Ti-6Al-4V

Titanyum alaşımının direncini yükseltmek için alüminyum ve vanadyum eklenmektedir. Bu yeni alaşımda vanadyum B fazın stabilizasyonunda, alüminyum ise α fazın stabilizasyonunda rol oynamaktadır. Böylece oda sıcaklığında hem α hem de β formları meydana gelmektedir (70, 71). Titanyum implantlar kortikal kemikten yaklaşık olarak 1,5 kat, Ti-6Al-4V alaşımı ise kortikal kemikten 6 kat daha sağlamdır. Uygun mekanik özellikleri ve korozyona karşı direncinin yüksek olması nedeniyle en yaygın kullanılan implant malzemeleridir.

2.5.5. 3B Baskılı Kompozit Reçine

Kompozit reçineler (KR), hastaların estetik beklentileri ve bu materyallerin mekanik özellikleri nedeniyle giderek daha çok tercih edilen bir materyal haline gelmektedir. Günümüzde 3 boyutlu yazıcıların avantajlarından yararlanarak, baskı reçineleri ile cerrahi

kılavuzlar, okluzal splintler, çalışma modelleri, hareketli bölümlü protez iskeletleri, tam protezler, geçici kron ve köprüler üretilebilmektedir (72-75).

Reçine içeren materyaller ağız içerisinde yaygın kullanılmalarına rağmen fiziksel ve kimyasal etkiler nedeniyle yapılarındaki monomerleri serbest bırakabilmektedirler. Yapılarındaki bisfenol-A glisidilmetakrilat, trietilen glikol dimetakrilat ve ürean dimetakrilatın hücreler üzerinde sitotoksik etkilere neden olduğu bildirilmektedir (76).

2.5.6. Geleneksel Cam İyonomer Siman

Cam iyonomer simanlar (CİS), 1970'lerden beri yaygın olarak restoratif materyal olarak kullanılmış olup, daha sonra yavaş yavaş yapıştırıcı madde olarak da kullanılmaya başlanmıştır.

Geleneksel cam iyonomer simanlar "asit-bazlı simanlar" olarak sınıflandırılmaktadırlar. Asit-baz reaksiyonu ile sertleşmeleri karakteristik özellikleridir. Bu materyal iyi basınç dayanımına ve çekme dayanımına ve düşük termal genleşme katsayısına sahiptir ve diş dokularına yapışması polikarboksilat simanlara benzemektedir (77).

Toz ve likit karışımından oluşan geleneksel cam iyonomer simanın toz içeriğinde alüminyum oksit, kalsiyum florür, silisyum oksit ve fluoro-alüminasilikat cam partikülleri bulunurken; likit içeriğinde su, maleik asit, tartarik asit, itakonik asit, poliakrilik asit ve su bulunmaktadır (78). İtakonik asit, sıvı kısmın viskozitesini düşürerek moleküller arası hidrojen bağları sonucu oluşan jelleşmeyi önlemektedir. Tartarik asit, toz kısmından iyonların ekstraksiyonunu kolaylaştırarak sertleşme süresinin kısaltılmasını sağlamaktadır. Maleik asit ise daha iyi yapışmayı sağlamaktadır (79).

Poliakrilik asit ile cam partiküllerinin yüzeyinden kalsiyum ve alüminyum iyonları salınır ve silika hidrojel oluşmaktadır. İlk oluşan kalsiyum iyonları poliakrilik asit ile birleşerek kalsiyum poliakrilik asit zincirleri oluşur ve oluşan polikarboksilat tuzları ile simanda ilk sertleşme reaksiyonları başlamaktadır. Salınan alüminyum ile simanın büyük kısmı suda çözünür hale gelmektedir.

Cam iyonomer tozu ve sıvısı manuel olarak karıştırılabilir veya kapsül formuna getirilebilmektedir. Manuel olarak karıştırırken, toz / sıvı oranlarına dikkat etmek oldukça önemlidir. Simanın çalışma süresi, karıştırıldıktan sonra, yüzey parlaklığını yitirdiği zamana kadar olmakta ve karıştırma işlemi tamamlandıktan itibaren en az 2 dakika olması gerekmektedir (80). Kapsüllenmiş cam iyonomerlerin avantajı, manuel karıştırmadan

kaynaklanan hataları azaltması ve kapsül aplikatörü sayesinde kaviteye uygulamayı kolaylaştırmasıdır.

Cam iyonomer simanlar, restoratif materyallerin altında astar, yapıştırıcı ve restorasyon materyali gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Geleneksel cam iyonomer simanların bazı dezavantajları bulunmaktadır. Düşük pH'a (yaklaşık 3,5) sahiptirler ve bu uygulamadan sonra aşırı duyarlılık nedeniyle bir miktar rahatsızlıkla ilişkilendirilebilmektedir, ayrıca simanın, sertleşmenin erken döneminde suya maruz kalması sonucu mukavemeti azalmaktadır (81).

2.5.7. Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman

Geleneksel cam iyonomer simana benzer şekilde simanın karboksil grubu ile dentin ve minenin apatitinin kalsiyum ve fosforu arasındaki şelatlama sonucu oluşan iyonik bağlar ile diş yüzeyine yapışmaktadırlar. Asit baz reaksiyonuna ilave edilen rezinin polimerizasyonu ile ışıkla sertleşen cam iyonomer siman olarak da isimlendirilmektedirler.

Rezin modifiye cam iyonomer siman (RMCİS), geleneksel cam iyonomer simanlara göre iyileştirilmiş estetik, ışıkla hızlandırılmış sertleşme, daha yüksek gerilme kuvveti ve kırılma dayanıklılığı gibi özelliklere sahiptir.

Rezin modifiye cam iyonomer simanların toz kısmını; floroalüminosilikat oluştururken, likit kısmını; 2- hidroksietil metakrilat (HEMA), metakrilat grupları, tartarik asit, poliakrilik asit ve %8 oranında su oluşturmaktadır (82).

Asit-baz reaksiyonu, toz ve sıvının karıştırılmasıyla başlar ve malzemenin polimerizasyondan sonra bile devam etmektedir. Polimerizasyon sırasında, ışık reaksiyonu ve daha sonra kavitenin içinde bir asit-baz reaksiyonu (karanlık reaksiyon) meydana gelmektedir (79).

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar, geleneksel cam iyonomer simanlar gibi kimyasal bağ ile dişe bağlanmakla birlikte mikromekanik bağlanma ile de mine ve dentinde hibrit tabaka oluşturmaktadırlar. Bu çift adezyon sayesinde tutunmaları artarken, marjinal geçirgenlikleri azalmaktadır.

RMCİS, biyouyumlu, diş dokusuna kimyasal bağlanabilen, flor salabilen, hidrofilik, estetik olarak iyi, manipülasyonu kolay ve ağız içi ortamda düşük çözünürlüklü malzemeler olarak tanımlanmaktadır (83).

2.5.8. Rezin Simanlar

Rezin simanlar (RS), 1950'li yıllarda üretilen ve yıllar içerisinde estetik seramik restorasyonlara talebin artmasıyla yeniden formülasyona uğramış ve iyileştirilmişlerdir.

Basma ve çekme kuvvetlerine dayanımı, yüksek bağlanma kuvveti, ağız içi sıvılarda düşük çözünürlük ve estetik özellikleri geleneksel simanlara göre üstün yanlarıdır. Ancak rezin simanların film kalınlığının fazla olması, pulpal reaksiyona neden olması, teknik hassasiyetinin yüksek olması ve artıklarının temizlenmesinin zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (84).

Rezin simanının organik matrisi bis fenol glisidil metakrilat, trietilen glikol dimetakrilat ve üretan dimetakrilat gibi inorganik dolduruculardan oluşmaktadır.

Bağlanma mekanizmasına göre üç gruba ayrılmaktadırlar:

2.5.8.1. Total Etch Rezin Simanlar

%30-40 ortofosforik asitin mine ve dentini pürüzlendirmesi sonrası uygulanan sistemlerdir. Asit uygulama sonrası hidrofilik monomerlerden oluşan primer, demineralizasyon sonrası oluşan boşluklara penetre olarak rezin-dentin interdifüzyon bölgesinin oluşmasını sağlamaktadırlar (85). Primer uygulamasından sonra adeziv rezin uygulanmaktadır.

Çalışmalar üç aşamalı total etch sistemlerin yüksek bağlanma kuvveti gösterdiğini bildirmesine rağmen çoklu aşama sonucu teknik hassasiyet göstermeleri dezavantajlarıdır (86).

2.5.8.2. Self Etch Rezin Simanlar

Fosforik asidin dentinde kullanılması sonucu postoperatif hassasiyet riskini azaltmak için aşındırma yapan asidik monomer içeren primerden oluşmaktadır. Tek adımlı veya iki adımlı olarak uygulanabilir. Self etch rezin simanlar, intertübüler dentindeki açığa çıkan kollajen liflere mikromekanik bağlanma sağlamaktadır (72, 85).

2.5.8.3. Self Adeziv Rezin Simanlar

Aşındırma, primer ve bond gibi aşamalar gerektirmeden diş dokularına bağlanabilen simanlardır. Tek adımda kolayca uygulanabilme kolaylığı nedeniyle klinik uygulamada tercih edilmektedirler.

Başlangıçta pH seviyesi düşük olmasına rağmen mine ve dentinde yüzeyel demineralizasyon sağlamaktadır. Fosfat grupları ve dişin hidroksiapatit tabakası arasındaki reaksiyon ile rezinin asitliği nötralize edilerek pH seviyesinde 7,0 'a kadar artış olmaktadır. Kimyasal bağlanma yeni geliştirilen rezinlerin ana bağlanma mekanizmasıdır (83).

Yapılan çalışmalarda self adeziv rezin simanların, rezin modifiye cam iyonmer siman ve cam iyonmer siman ile karşılaştırıldığında daha az postoperatif hassasiyet oluşturduğu görülmüştür. Ancak total etch simanlarla karşılaştırıldığında mine ve dentine daha düşük adezyonla bağlanma kuvveti sergilemektedirler (84–86).

2.6. Bilgisayar Destekli Tasarım/ Bilgisayar Destekli Üretim

1980' lerde dental alanda kullanılmaya başlanan bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli üretim (CAM) birçok alanda tasarım ve üretim yapmak için kullanılmaktadır. Dental alanda kullanıma sunulan ilk CAD CAM sistemi CEREC' dir.

Son yıllarda bu alanda birçok gelişme olmuştur. Dental yapıların verileri optik kameralar, lazer taramalarıyla toplanmaya başlanmıştır. Geleneksel kesim diskler, farklı elmas uçlarla değiştirilmiştir. Üretim için alüminyum oksit, zirkonyum oksit gibi materyaller geliştirilmiştir (87).

CAD CAM, kronlar, inleyler, onleyler, implantlar, protezler ve ortodontik apareylerin yapımında doğrudan ve dolaylı olarak dijitalleşmeyi kullanarak restorasyonların tasarım ve üretim sürecini iyileştirebilmek için kullanılan sistemin kısaltmasıdır.

CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), bilgisayar sistemleri kullanılarak bir ürünün tasarlanmasına, CAM (Bilgisayar Destekli Üretim), tasarım sonucu elde edilen verilerle üretim yapılmasına denilmektedir.

CAD/CAM sistemi üç bileşenden oluşur. İlki, geometriyi bilgisayar tarafından işlenebilen bilgilere dönüştüren bir tarayıcıdır. İkinci bileşen, mevcut bilgileri işleyen, ürünün bilgilerini ve verilerini sağlayan yazılımdır. Üçüncü bileşen ise, bilgileri ürüne dönüştüren frez cihazıdır (88).

Üretim yöntemlerine göre üç gruba ayrılmaktadırlar;

Ofis Sistemi; diş hekiminin hazırlanan diş dijital olarak tarayarak, restorasyonu koltuk başında tasarladığı sistemdir.

Laboratuvar Sistemi; alçı modelden veya ölçü üzerinden tarama yapıp, CAD/CAM kullanarak restorasyonların üretilbildiği sistemdir.

Merkezi Sistem; diş hekiminin koltuk başında dijital ölçüler alıp, internet üzerinden laboratuvara veri gönderdiği sistemdir.

Ofis içi CAD/CAM sistemleri, diş hekimlerinin aynı seans içerisinde estetik olarak tatmin edici restorasyonlar üretmesini sağlamaktadır. Geleneksel ölçü ve geçici restorasyonlara olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Bu sistem azalmış sandalye süresi ve iyileştirilmiş estetik dışında daha başarılı bir marjinal adaptasyon ve klinik uzun ömre sahiptir.

Avantajlarına rağmen maliyet, bakım bedeli, bilinmeyen bir sisteme duyulan korku, ek eğitim almak gerekmesi, kullanıcı sayısının az olması, restorasyon kalitesi üzerine endişeler gibi dezavantajları bulunmaktadır.

2.6.1. CAD/CAM Sistemlerinin Avantajları

CAD/CAM sistemlerinin gelişmesiyle geleneksele kıyasla hastalar için ölçü almak daha konforlu hale gelmektedir, daha kısa sürede üretim yapılmakta, dijitalleşmenin etkisiyle üretici kaynaklı hatalar azaltılmaktadır, seans sayısı azaldığından zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır, ayrıca laboratuvar sürecinde restorasyonun tasarım ve üretim aşamasında da kolaylık sağlamaktadır.

2.6.2. CAD/CAM Sistemlerinin Dezavantajları

Mevcut birçok avantajlarına rağmen CAD/CAM sistemlerinin üretim maliyetinin yüksek olması, kullanılan monokromatik blokların her zaman estetik beklentiyi karşılamaması, subgingival marjine sahip diş kesimlerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında sorunlar yaşanabilmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (89).

2.7. Lazer Sinterleme

Son yıllarda, malzemelerin tabaka tabaka işlenmesiyle oluşturulan 3 boyutlu modeller birçok alanda kullanılmaktadır.

Lazer Sinterleme (LS) terimi, en eski 3B baskı yöntemini ifade etmektedir. LS çok çeşitli ham maddelerle çalışma, hızlı üretim, düşük üretim maliyetleri gibi avantajlar sunmaktadır. Endüstri, tıp, uzay, havacılık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Polimerin toz parçacıklarını sinterlemek için lazer kullanılmaktadır. Bileşenin tüm parçaları LS' de taranmaktadır, toz hazne polimerin erime noktasının biraz altındaki sıcaklığa ısıtılmakta, üretim alanı ince bir toz tabakasıyla kaplanmaktadır, polimer parçalar seçici olarak CO2 lazer kullanılarak sinterlenmekte, parça tamamlanana kadar işlem tekrarlanmaktadır, baskı işlemi bitirildikten sonra oluşturulan parçalar sinterlenmemiş toz ile kaplanmakta, soğumaya bırakılan parçalar, püskürtme veya basınçlı hava ile temizlenerek, kullanıma hazır hale getirilmektedir (90).

2.8. Sonlu Elemanlar Analizi

Son yıllarda diş yapılarını ve materyallerini kuvvetlendirmek amacıyla üzerlerinde oluşan stresi belirlemek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu stresi ölçebilmek için yararlanılan tekniklerden biri de sonlu elemanlar analizi yöntemidir. Sonlu eleman analizi yöntemi, fiziki olayları bilgisayar üzerinde analiz etmeye yarayan sayısal bir tekniktir. Bu teknikle ürün tasarımlarında, standart koşullar altında, fiziksel prototiplere olan ihtiyaçları ortadan kaldırarak, daha iyi ürünler üretilebilmektedir. Birçok alanda fiziksel olayları analiz edebilmek için matematiksel modeller oluşturulması esasına dayanmaktadır (91).

Sonlu elemanlar analizi (SEA), laboratuvarlarda veya klinikte hastalar üzerinde yapılacak olan birçok araştırmada kullanılabilmektedir. Dokuların, sağlıklı ve patolojik durumlarda, farklı koşullar altında, uyarılara tepkisini değerlendirilebilmektedir.

SEA kullanılarak bir problemin çözülmesi belirli adımlarla gerçekleştirilmektedir. Öncelikle test edilecek cismin sayısal olarak bir modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu modeller konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) mikro tomografi, intra ve ekstraoral tarayıcılar ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak elde edilen görüntülerden tasarlanmaktadır. SEA'da, ağ adı verilen karmaşık düğüm ve eleman sistemi kullanılmaktadır. Tasarımda oluşturulan düğümler x, y, z eksenleri üzerinde belirlenen koordinatlara aktarılmaktadır. Sonrasında oluşturulan model de ortak düğüm noktaları ile birbirine bağlı elemanlara ayrılmaktadır. Burada oluşan her elemanın Young modülü ve Poisson oranı sisteme girilerek, kuvvetler farklı yönlerden uygulanır ve oluşan gerilim ve zorlanmalar değerlendirilmektedir (92).

Sonlu eleman analizi yönteminde ANSYS yazılımı kullanılmaktadır. Bu programla von Mises gerilimi, gerilimlerin yoğunlaştığı alanlar ve oluşturdukları yer değiştirmeler tespit edilebilmektedir (93).

Farklı materyallerin ve karmaşık geometrilerin birleşimi diş üzerinde biriken stres dağılımını incelemeyi zorlaştırmaktadır bu nedenle SEA, son yıllarda diş hekimliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analiz ile restorasyonların mekanik davranışını etkileyen pek çok faktörün eş zamanlı etkileşimi bilgisayar üzerinden incelebilmektedir. Araştırmacıların yeni fikirlerini klinik uygulamada zaman harcamadan ve maliyeti azaltarak test edebilmelerini sağlamaktadır. Laboratuvar çalışması gerektiren çalışmalara kıyasla çeşitli avantajları vardır ancak laboratuvar gereksinimini tamamen ortadan kaldıracığını düşünmemek gerekmektedir. Çalışmadaki değişkenler kolayca değiştirilebilmekte, simülasyon canlı dokulara gerek olmadan gerçekleştirilebildiğinden, standardizasyonu sağlamak kolaylaşmaktadır. Uygun modelleme yapıldığında stresin biriktiği alanlar ve yer değiştirme bölgeleri açıkça gösterilebilmektedir (94).

2 boyutlu ve 3 boyutlu modelleme olarak ikiye ayrılmaktadır. 2 boyutlu modelleme daha basitken, 3 boyutlu modelleme karmaşık olsa da daha doğru sonuçlar vermektedir. (95). Diş yapısı düzensizdir ve simetrik değildir bu nedenle 2 boyutlu olarak incelenememektedir. Diş anatomisini incelemek için 3 boyutlu SEA tercih edilmelidir. Ancak 3 boyutlu model elde edebilmek için oluşturulan görseller geometrinin hassas bir şekilde oluşturulmasına izin vermeyip, kaba bir ağ görüntüsü ortaya çıkarmaktadır. Bu durumu düzeltebilmek için anatomik yapıların ayrıntılı verileri mikro ölçekli bilgisayarlı tomografilerden elde edilmektedir (96).

2.8.1. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi Avantajları

- Karmaşık geometriye sahip yapıların üzerinde oluşan stresin belirlenmesinde kullanılmaktadır,
- Sonuçların hassasiyeti oldukça yüksektir,
- Model oluşumundan sonra analiz sonuçları kısa sürede elde edilmektedir,
- Analiz sonucunda aynı anda birçok bilgiye ulaşılabilmektedir,
- Simetrik olmayan yapılar dahi rahatlıkla incelebilmektedir,
- Analizin değişkenleriyle rahatlıkla oynanabilmekte, canlı deneklere gerek duyulmamaktadır,
- Cismin konumu, kuvvetin yönü gibi sınır faktörleri sistemde kolayca belirlenebilmektedir (97).

2.8.2. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi Dezavantajları

- Analiz de kullanılan bilgisayar programlarının maliyeti yüksektir ve sık sık güncelleme yapılması gerekmektedir,
- Analizler genellikle uzmanlar tarafından yapılmaktadır,
- Verilerin yanlış yüklenmesinden kaynaklanan hatalar varılacak sonucu negatif etkilemektedir (97).

2.8.3. Sonlu Eleman Analiziyle İlgili Kavramlar

2.8.3.1. Eleman (Element)

SEA da çizimin geometrisi sonlu noktalar, çizgiler ve hacimlerle modelize edilmektedir. Oluşturulan bu geometrik parçalar eleman olarak adlandırılmaktadır. Elemanların kuvvet altında sergiledikleri özellikler sonucunda modelin davranışı ile ilgili çıkarımlarda bulunmaktadır. Model üzerinde eleman sayısı arttıkça bulunan değerlerin gerçeklik oranı da o kadar artmaktadır (98).

2.8.3.2. Düğüm (Node)

Oluşturulan elemanlar birbirlerine düğümlerle bağlanmaktadır. Matriks bütünlüğünü sağlamak için eleman ve düğümler numaralandırılmaktadır.

2.8.3.3. Ağ Yapının (Mesh) Oluşturulması

Sistem üzerinde oluşturulan tüm eleman ve düğüm noktalarına ağ denir. Model üzerinde oluşturulan koordinatlar, ağ yapının oluşturulması sonucu elde edilmektedir.

2.8.4. Sonlu Eleman Analizi Aşamaları

2.8.4.1. Hazırlık Aşaması

Model oluşturmak için bilgisayar destekli tasarım programlarından ya da üç boyutlu tarayıcılardan yararlanılmaktadır. Gerçeğe en yakın sonuca ulaşmak için model mümkün olan en küçük parçalara ayrılmaktadır. Gerçek bir yapının geometrik modeli olduğundan tüm detayların oluşturulması mümkün olmayabilmektedir. Başarılı bir analiz için öncelikle modelin iyi oluşturulması gerekmektedir (98, 99).

2.8.4.2. Verilerin Yüklenmesi

Üzerinde çalışılacak materyallerin özellikleri, sınır şartları ve değerlendirmek istenen kuvvet analiz programına yüklenmektedir. Değerlendirme yapabilmek için Poisson oranı ve

Young modülü sisteme girilmektedir. Oluşturulan modelin belirli düğüm noktalarından sabitlenmesiyle yer değiştirme ve yükleme koşulu sınır şartları sağlanmaktadır.

2.8.4.3. Analizin Çözümlemesi

Programlar aracılığıyla modeldeki her bir elemanın gösterdiği özelliklerden yapının tamamı çözümlenmektedir. Elde edilen verilerden istatistiksel analizler yapılamamaktadır ancak stres birikimin nerede olduğu ve ne kadar olduğu sorusuna cevap alınabilmektedir.

2.8.4.4. Sonlu Eleman Analizinde Sonuçların Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarında, kesitlerin alınması sonrası, düğümlerdeki stres dağılımı ve miktarı değerlendirilmektedir (100). Modelin tamamında oluşan makaslama kuvveti değerleri Von Misses ile değerlendirilirken, asal gerilimler ile kırılma materyaller hakkında bilgi sahibi olunmaktadır (97).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

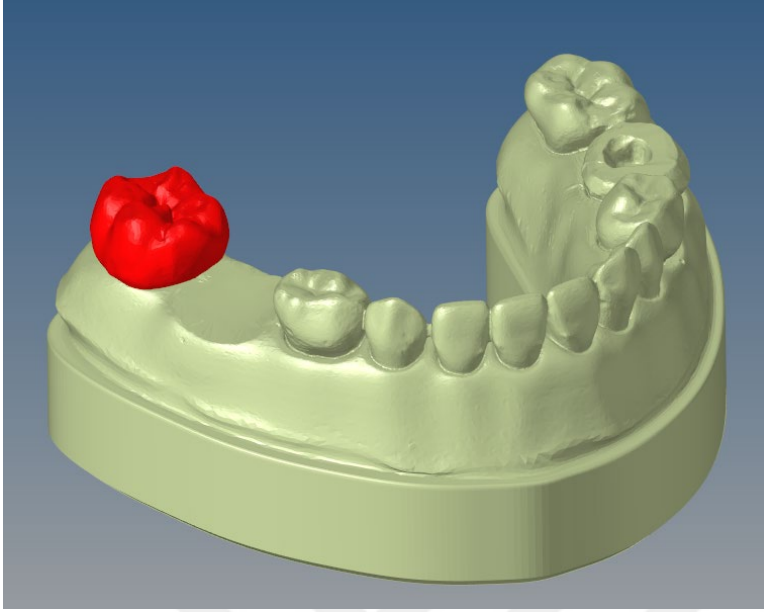
Bu çalışma kapsamında, çocuk hastalarda daimi dişlerin ideal konumlarını korumak amacıyla kullanılan sabit yer tutucular incelenmiştir. Yer tutucular, süt dişlerinin erken kaybı durumunda daimi dişlerin doğru konumda sürmesini sağlamak ve olası ortodontik bozuklukları önlemek için kullanılan önemli apareylerdir. Bu sayede çene gelişimi, diş arkının sürekliliği ve oklüzyon fonksiyonu korunur. Sabit yer tutucuların üretiminde farklı malzemeler ve simanlar tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, söz konusu malzeme ve simanların mekanik davranışları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve KTÜ METAM iş birliği ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada dört farklı materyal ve üç çeşit siman tipi modellenerek sanal ortamda toplamda on farklı model oluşturulmuştur.

3.1. Yüzey Modelinin Hazırlanması

Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak anatomik geometrinin oluşturulması sürecinde, Materialise Mimics ve Materialise 3-matic (Materialise, Leuven, Belçika) yazılımlarından yararlanılmıştır. Bu yazılımlar sayesinde çalışma modellerinden elde edilen veriler, üç boyutlu yüzey modellerine dönüştürülmüştür (Şekil 2). Elde edilen bu yüzey modelleri üzerinde gerekli tasarım işlemleri gerçekleştirilerek analiz için uygun hale getirilmiştir. Gerçek anatomik veriye dayalı modelleme kullanılmasının sebebi, analiz sonuçlarının biyolojik gerçekliğe yakınlığını artırarak çalışmanın doğruluğunu güçlendirmektedir.

Şekil 2.Çalışma modeli verilerinden elde edilerek yüzey modeline dönüştürülmüş anatomik geometri

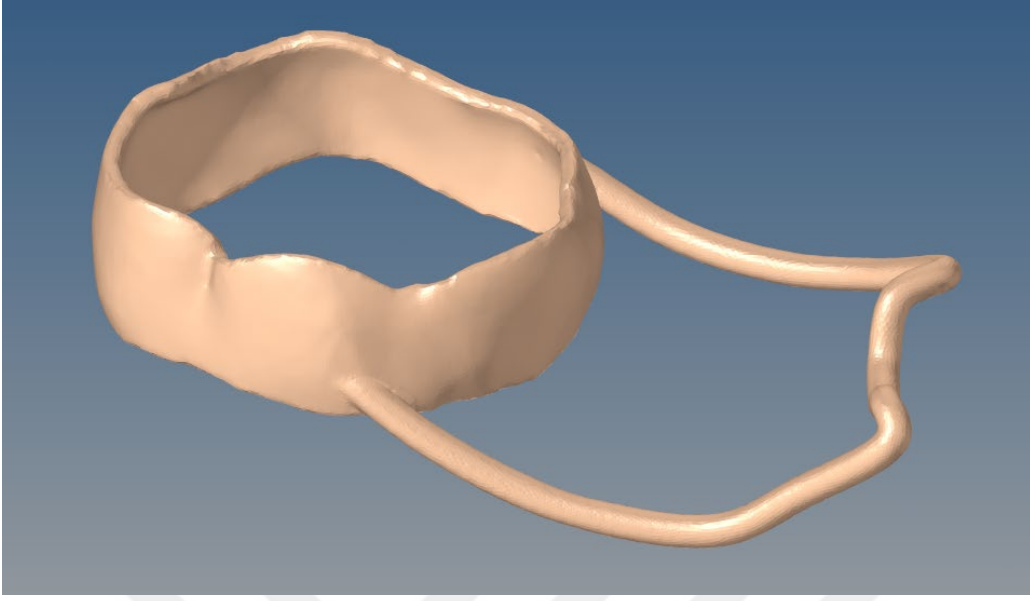


Yer tutucunun sabitleneceği, mandibular sağ birinci molar diş kırmızı renkle gösterilmiştir. Yer tutucu geometrisi Materialise 3-Matic (Materialise, Leuven, Belçika), kullanılarak tasarlanmıştır. Bant kalınlığı 0,5 mm, genişliği ise 3 mm ve loop çapı 1 mm olarak belirlenmiş, diş ile bant arasında 0,1 mm'lik siman boşluğu bırakılmıştır (103).

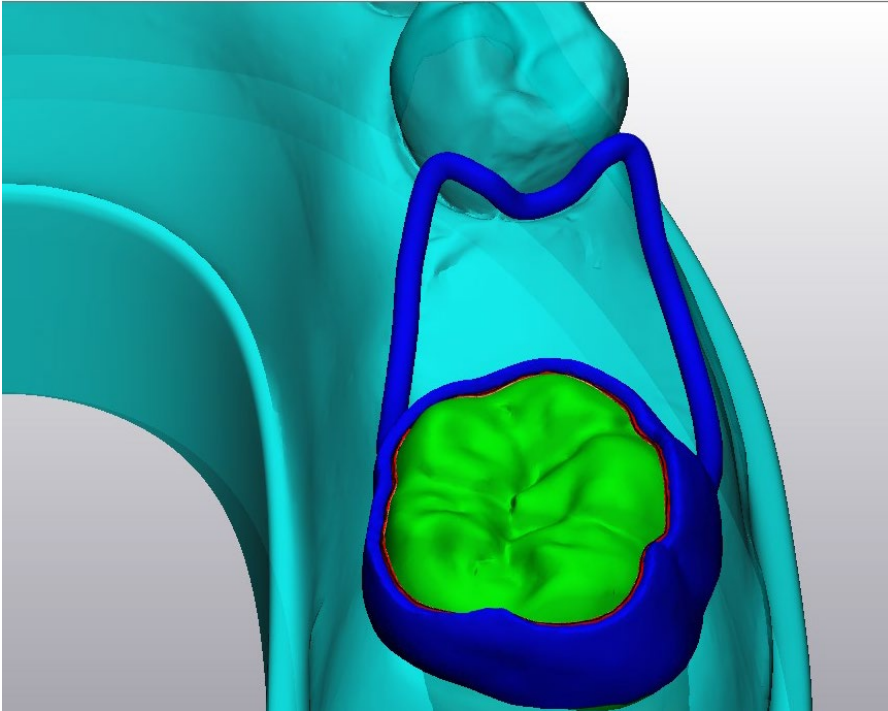
Analiz için seçilen dişe uygun olarak tasarlanan yer tutucu modeli Şekil 3-4'te sunulmuştur. Yer tutucunun tasarımı, dayanak diş olan mandibular sağ birinci süt azı ile uyumlu olacak şekilde şekillendirilmiş; dişetinden 1 mm uzaktan geçecek, temas etmeyecek biçimde, biyomekanik uyumluluğu gözetilerek oluşturulmuştur. Yapısal analizde temas koşullarının daha gerçekçi modellenebilmesi amacıyla, diş ile yer tutucu arasında 0.1 mm kalınlığında siman tabakası tanımlanmış ve bu tabaka analize dahil edilmiştir (101).

Bunun yanı sıra, dişin çevresel anatomik yapıları da modele entegre edilmiştir; 2 mm kalınlığında kortikal kemik, 0.2 mm kalınlığında periodontal ligament (PDL) ve 5 mm kalınlığında kansellöz kemik üç boyutlu olarak modellenmiş ve analiz ortamına eklenmiştir. Bu detaylı biyomekanik modelleme sayesinde, farklı yer tutucu malzemelerinin diş köküne ilettiği gerilme dağılımları incelenebilmiş ve malzeme seçiminin biyomekanik etkileri değerlendirilebilmiştir.

Şekil 3.Anatomik verilere uygun şekilde tasarlanan yer tutucu



Şekil 4.Anatomik verilere uygun şekilde tasarlanan yer tutucunun modele yerleştirilmiş görüntüsü



3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması

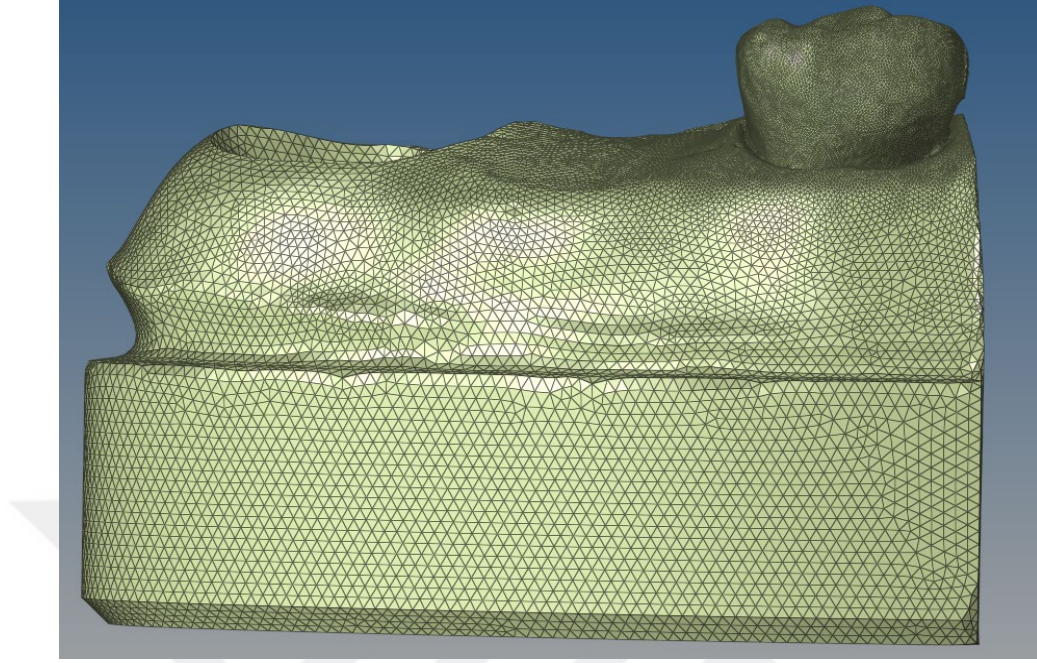
Tasarımı tamamlanan modeller, Materialise 3-Matic (Materialise, Leuven, Belçika) programından “. stl” uzantılı yüzey modeli dosyaları olarak dışa aktarılmıştır. Mesh kalitesinin ve ağ yapısının homojenliğinin sağlanabilmesi amacıyla, ilk iyileştirme ve düzenleme işlemleri Nomad Sculpture (Fransa) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dosyalar detaylı ağ düzenlemeleri için Hypermesh (Amerika Birleşik Devletleri) yazılımına aktarılmıştır.

Ağ yapısı, belirlenen kalite kriterlerine göre incelenmiş ve iyileştirilmiştir. Ağ yapısındaki en ufak kusurlar bile analiz sonuçlarını ciddi oranda etkilediğinden tüm elemanların uygun koşullarda modellenmiş olması gerekmektedir. Elemanların maksimum oranı (aspect ratio) 2.5'in altında tutulmuş, üçgen açıları 30 ila 120 derece arasında olacak şekilde düzenlenmiş, Jacobian değeri 0.8'in üzerinde ve skew değeri 40'ın altında olacak biçimde yapılandırılmıştır. Bu kriterlere uygunluğu sağlamak amacıyla hem otomatik hem de manuel düzenlemeler yapılmıştır. Böylece ağ yapısının analiz sonuçları üzerindeki olumsuz etkisi en aza indirilmiş ve sonuçların güvenilirliği artırılmıştır.

Yüzey modellemede üçgen (triangular) elemanlar tercih edilmiştir. Elemanların doğruluğu sağlandıktan sonra yüzey ağı, üç boyutlu hacim elemanlarına dönüştürülmüştür. Son olarak, ağ yapısı üzerinde yumuşatma işlemleri uygulanarak daha homojen ve hassas bir ağ yapısı elde edilmiştir.

Modelde eleman boyutu olarak 0.3 mm tercih edilmiştir. Karşıt diş geometrisinin büyük olması ve bu bölgedeki temasın analiz sonuçlarına doğrudan etki etme potansiyeli nedeniyle, temas bölgesi ince olacak şekilde ağ yapısı adaptif olarak detaylandırılmıştır. Elde edilen dayanak dişe ait sonlu elemanlar ağı Şekil 5'te sunulmuştur.

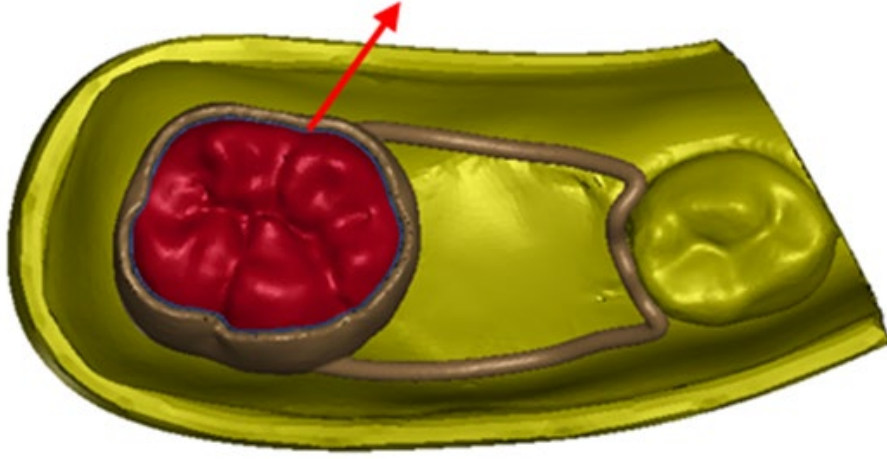
Şekil 5.Dayanak Diş Ağ Yapısı



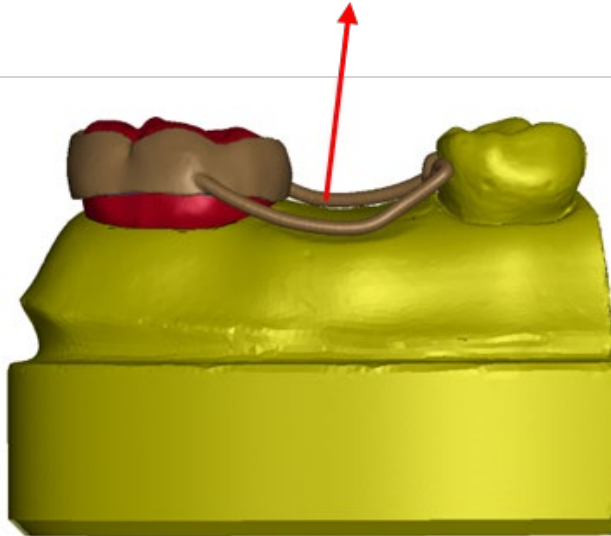
Hazırlanan sonlu elemanlar modelinin tamamı ise Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil 6’dan da görülebileceği üzere, modelde yer tutucu yapısı için dört farklı malzeme (kompozit reçine, PEEK, titanyum ve paslanmaz çelik) ve siman katmanı için üç farklı malzeme (rezin modifiye cam iyonomer siman, cam iyonomer siman, rezin siman) tanımlanarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6. Hazırlanan Model Geometrisi

Yapıştırıcı (rezin modifiye cam, cam iyonomer siman, rezin siman)



Yer tutucu (kompozit reçine, PEEK, titanyum, paslanmaz çelik)



Analizlerde, kompozit reçine ve PEEK malzemeleri için üç farklı siman türü (rezin modifiye cam iyonomer siman, cam iyonomer siman ve rezin siman) kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Titanyum ve paslanmaz çelik yer tutucu malzemeleri için ise, yalnızca rezin modifiye cam iyonomer siman ve cam iyonomer siman yapıştırıcıları tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen bu farklı malzeme kombinasyonlarına ait analiz grupları Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 5.Analizde Kullanılan Materyal ve Grupların Dağılımı

Grup	Yer Tutucu Malzemesi	Siman Malzemesi	Analiz Kodu
1	Kompozit reçine	Rezin modifiye cam iyonomer siman	KR-RMCİS
		Cam iyonomer siman	KR-CİS
		Rezin siman	KR-RS
2	PEEK	Rezin modifiye cam iyonomer siman	PEEK-RMCİS
		Cam iyonomer siman	PEEK-CİS
		Rezin siman	PEEK-RS
3	Titanyum	Rezin modifiye cam iyonomer siman	Tİ-RMCİS
		Cam iyonomer siman	Tİ-CİS
4	Paslanmaz Çelik	Rezin modifiye cam iyonomer siman	PÇ-RMCİS
		Cam iyonomer siman	PÇ-CİS

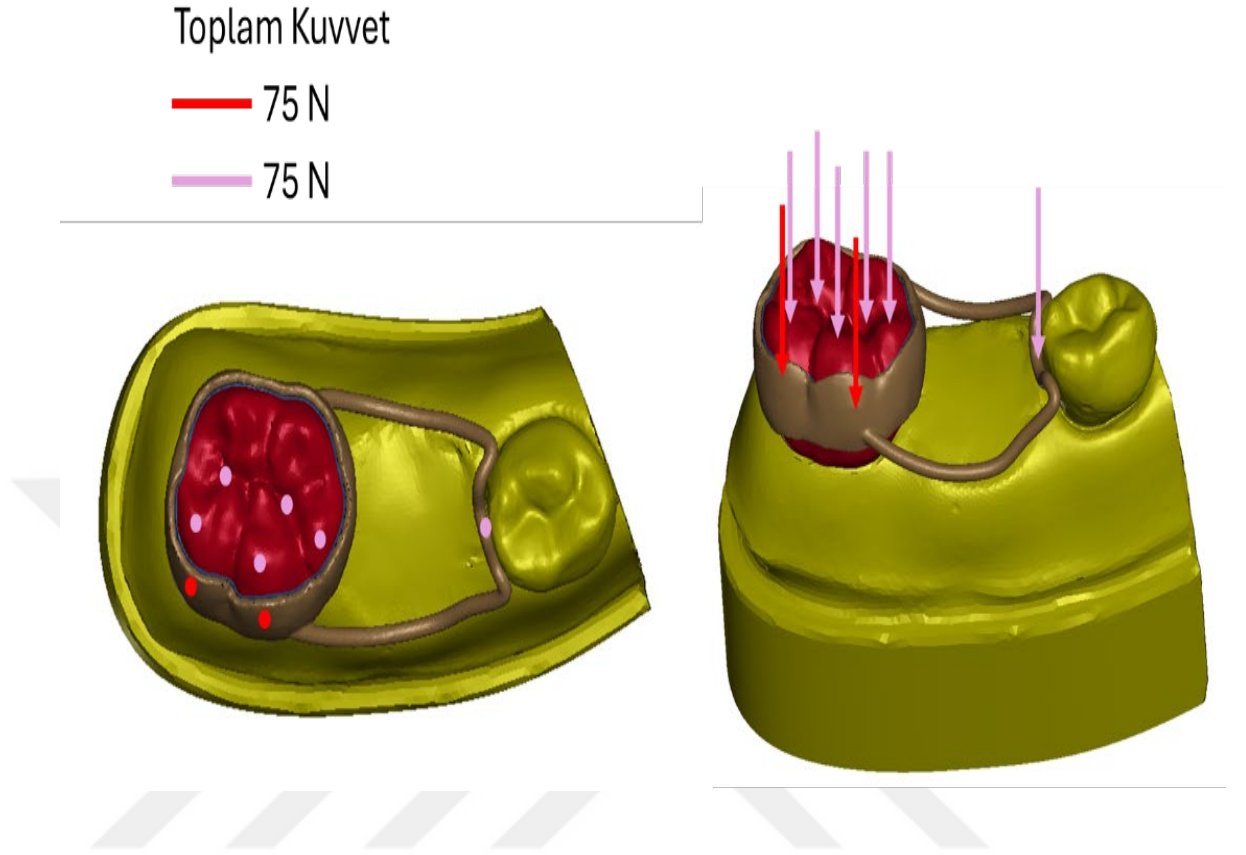
Ağ yapısı, Hypermesh programı kullanılarak oluşturulduktan sonra, analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla LS-DYNA yazılımına “. k” uzantılı anahtar dosyası formatında aktarılmıştır. Çalışmada, yalnızca lineer elastik davranış bölgesi içerisinde kalınarak gerilme dağılımları incelendiğinden, malzeme tanımlamaları MAT_001-ELASTIC kartı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kart ile her bir malzeme için elastik modül (Young modülü) ve Poisson oranı gibi temel mekanik özellikler tanımlanmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler Tablo 6’ da özetlenmiştir

Tablo 6. Analizde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri (102-106)

Malzeme	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Mine	84.11	0.3
Dentin	18.6	0.31
Kortikal Kemik	13.7	0.3
Kansellöz Kemik	1.37	0.3
Paslanmaz Çelik	210	0.33
Kompozit Reçine	4.26	0.3
Polietereterketon	4.1	0.4
Titanyum	114	0.33
Cam iyonomer siman	12	0.25
Rezin modifiye cam iyonomer siman	4	0.30
Rezin siman	7	0.27
Periodontal Ligament	0.069	0.45

Analizde sınır şartı olarak, modelin karşıt dişle temas eden bölgesi ve modelin taban yüzeyi sabitlenmiştir. Kuvvet uygulamasında ise daha gerçekçi bir simülasyon elde edebilmek amacıyla, idealize edilmiş tek nokta yükü yerine, çiğneme sırasında oluşan çoklu temas bölgeleri dikkate alınarak yükleme yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde klinik duruma daha yakın bir gerilme dağılımı elde edilmesi amaçlanmıştır. Toplam uygulanan kuvvet 150 N olup (107), bu kuvvet hem diş üzerine hem de yer tutucu üzerine gerçekçi temas noktalarına dağıtılarak uygulanmıştır. Uygulama bölgeleri ve kuvvet yönleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Belirtilen toplam kuvvet gösterilen oklara eşit olarak bölünüp uygulanmıştır.

Şekil 7. Analizde uygulanan kuvvetlerin gösterimi



4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan farklı yer tutucu ve siman kombinasyonlarına göre elde edilen maksimum von Mises gerilme değerleri Tablo 7’de sunulmuştur.

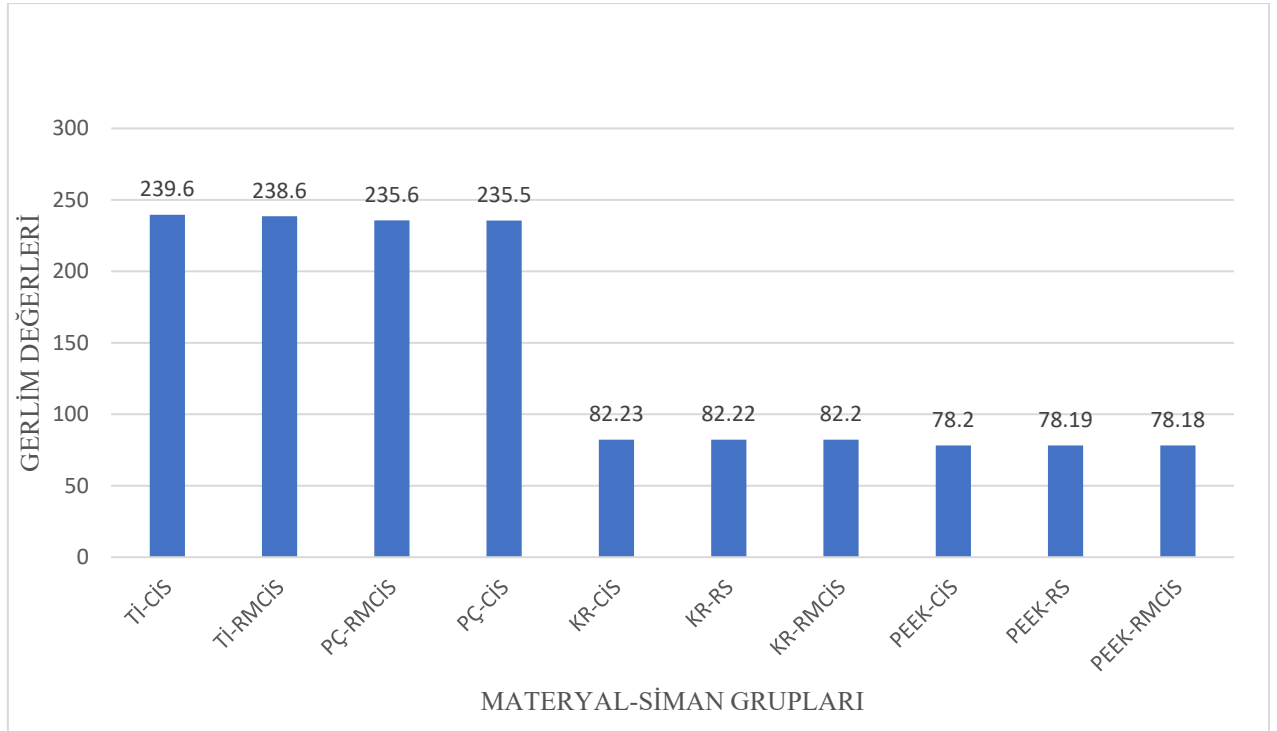
Tablo 7.Kullanılan Materyal ve Siman Tiplerine Göre Dişler ve Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Maksimum Von-Mises Gerilme Değerleri

Model	Yer Tutucu	Dentin	Siman Tabakası	Kortikal Kemik	Kansellöz Kemik	Dayanak Diş
KR-RMCİS	82,20	18,21	19,16	19,57	2,97	75,49
KR-CİS	82,23	18,21	29,89	19,57	2,97	75,52
KR-RS	82,22	18,21	23,81	19,57	2,97	75,50
PEEK-RMCİS	78,18	18,21	18,96	19,57	2,97	76,97
PEEK-CİS	78,20	18,21	29,55	19,57	2,97	76,99
PEEK-RS	78,19	18,21	23,49	19,57	2,97	76,98
Tİ-RMCİS	238,60	18,27	9,69	19,62	2,98	54,45
Tİ-CİS	239,60	18,27	17,27	19,62	2,98	54,56
PÇ-RMCİS	235,90	18,25	9,67	19,62	2,99	41,17
PÇ-CİS	235,50	18,25	16,87	19,62	2,99	41,10

(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereterketon, Tİ: Titanyum, PÇ: Paslanmaz Çelik, RMCİS: Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman, CİS: Cam İyonomer Siman, RS: Rezin Siman)

Dentin üzerinde oluşan stres değerleri tüm gruplarda 18,21 ve 18,27 MPa arasında değişmiş, büyük farklılıklar göstermemiştir. Kortikal kemik üzerindeki maksimum gerilme değerleri 19,57 MPa ile 19,62 MPa arasında değişmiş, en yüksek değer 19,62 MPa ile metal içerikli tutucularda gözlenmiştir. Kansellöz kemik yapısında ise maksimum gerilme değerleri oldukça düşük seviyelerde seyretmiş, tüm modellerde yaklaşık olarak 2,97–2,99 MPa aralığında kalmıştır (Tablo 7).

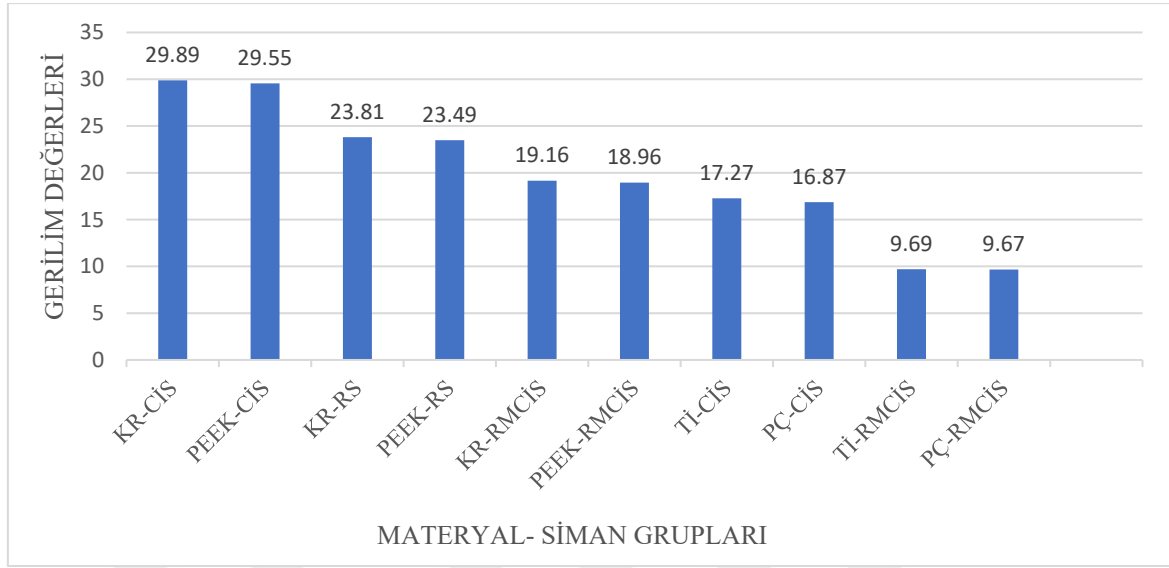
Şekil 8.Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri



(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereeterketon, Tİ: Titanyum, PÇ: Paslanmaz Çelik, RMCİS: Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman, CİS: Cam İyonomer Siman, RS: Rezin Siman)

Yer tutucu üzerindeki maksimum gerilme değerleri incelendiğinde, en yüksek değer 239,60 MPa ile Tİ-CİS kombinasyonunda, en düşük değer ise 78,18 MPa ile PEEK-RMCİS kombinasyonunda elde edilmiştir (Şekil 8).

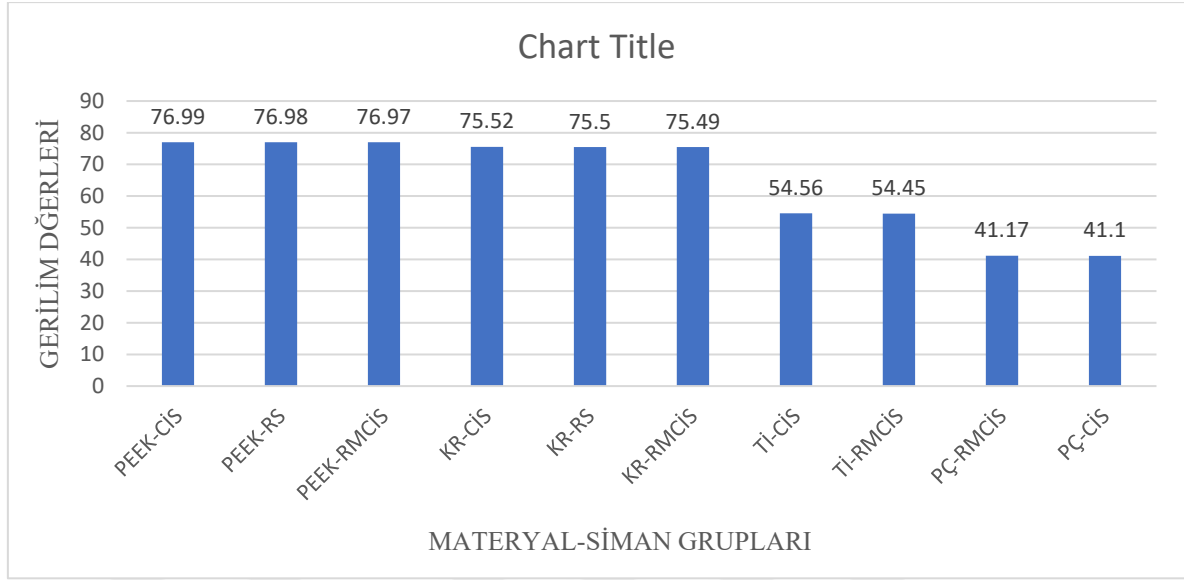
Şekil 9. Siman Tabakası Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri



(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereeterketon, Tİ: Titanyum, PÇ: Paslanmaz Çelik, RMCİS: Resin Modifiye Cam İyonomer Siman, CİS: Cam İyonomer Siman, RS: Resin Siman)

Siman tabakası üzerindeki maksimum gerilme değerleri, modeller arasında küçük farklarla değişkenlik göstermiştir. En düşük siman tabakası gerilme değeri 9,67 MPa ile PÇ-RMCİS modelinde, en yüksek değer ise 29,89 MPa ile KR-CİS modelinde ölçülmüştür (Şekil 9).

Şekil 10. Dayanak Diş Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Değerleri



(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereterketon, Tİ: Titanyum, PÇ: Paslanmaz Çelik, RMCİS: Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman, CİS: Cam İyonomer Siman, RS: Rezin Siman)

Dayanak diş üzerindeki maksimum gerilme değerleri bakımından, en yüksek değer 76,99 MPa ile PEEK-CİS modelinde, en düşük değer ise 41,10 MPa ile PÇ-CİS modelinde elde edilmiştir. Aynı materyal, farklı siman ile yapıştırıldığında dayanak diş üzerindeki stres değerlerinin benzer olduğu görülmüştür (Şekil 10).

Yer tutucunun bağlandığı diş üzerindeki gerilme dağılımları Şekil 11’de, yer tutucunun kendisinde oluşan gerilme dağılımları ise Şekil 12’de sunulmuştur. Destek diş üzerindeki gerilme değerleri incelendiğinde, farklı siman ve yer tutucu malzemeleri kullanılmış olmasına rağmen, elde edilen gerilme seviyelerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak dikkat çekici bir farklılık olarak, metalik yer tutucuların, diğer malzemelere kıyasla daha homojen bir gerilme dağılımı sağladığı görülmektedir. Kompozit reçine ve PEEK malzemelerinden yapılan yer tutucularda ise, yer tutucunun yapıştırıldığı bölge üzerinde gerilmelerin yığıldığı görülmektedir.

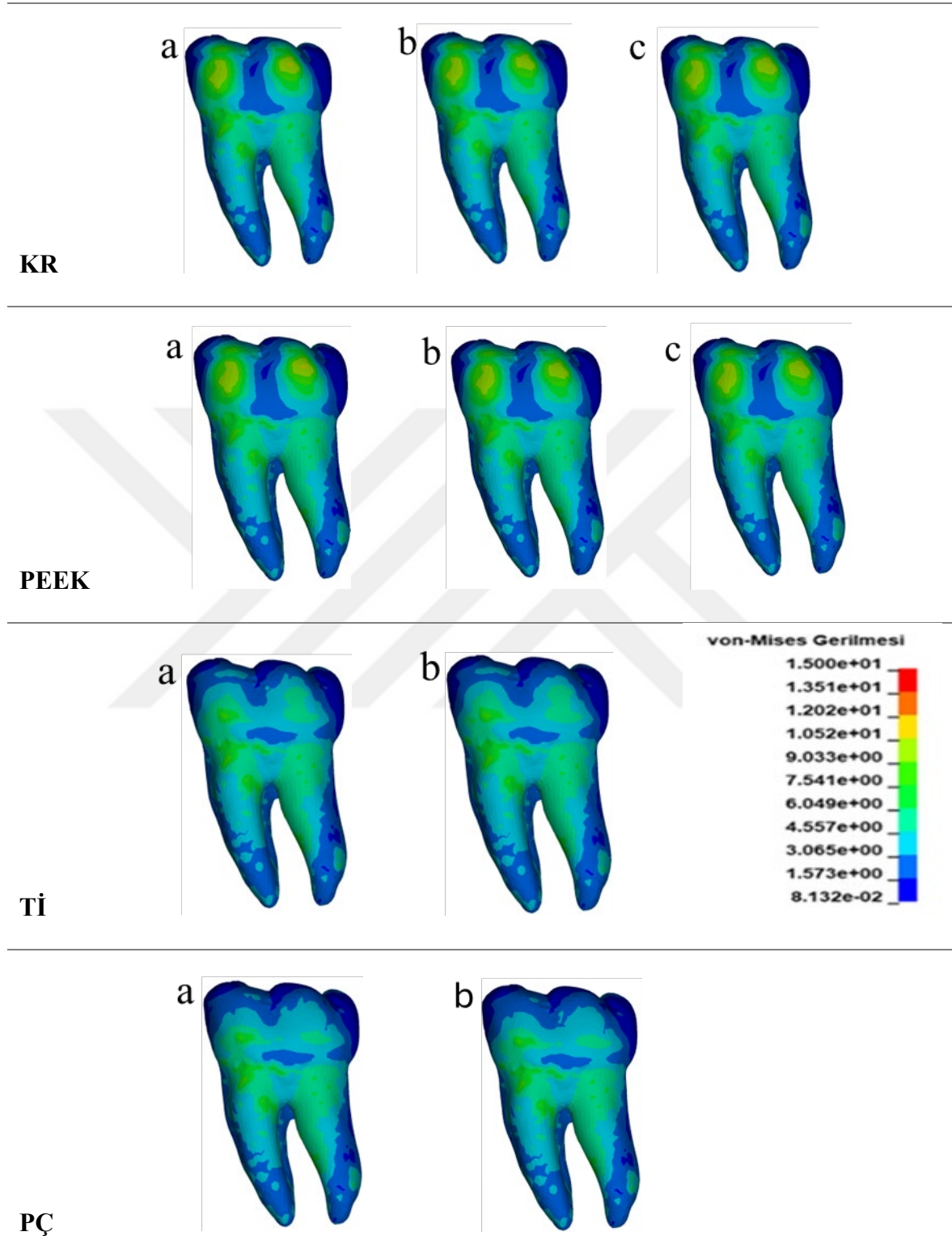
Şekil 12’de sunulan yer tutucular üzerindeki gerilme değerleri incelendiğinde ise, metalik malzemelerde oluşan maksimum gerilmelerin diğer malzemelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Gerilme değerleri malzemeye göre farklılık gösterse de tüm yer tutucu türlerinde gerilme dağılımının benzer bir şekilde dayanak dişin distal yüzeyine temas eden bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir. Gerilme değerleri, uygulanan kuvvetin alana

bölünmesiyle tanımlanan gerilme formüllerine göre değerlendirildiğinde, yer tutucunun bu bölgede sahip olduğu küçük kesit alanı (düşük çap) nedeniyle gerilmelerin yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bu da hem tasarımda malzeme seçiminin hem de kesit geometrisinin, biyomekanik yük aktarımı açısından kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca, karşıt dişin temas ettiği varsayılarak yük uygulanan bölgelerde, lokal gerilme yığılmaları meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra, bir diğer önemli gerilme yoğunluğu ise yer tutucu loopunun başlangıç noktasında, yani kuvvet koluna en uzak noktada gözlemlenmiştir.

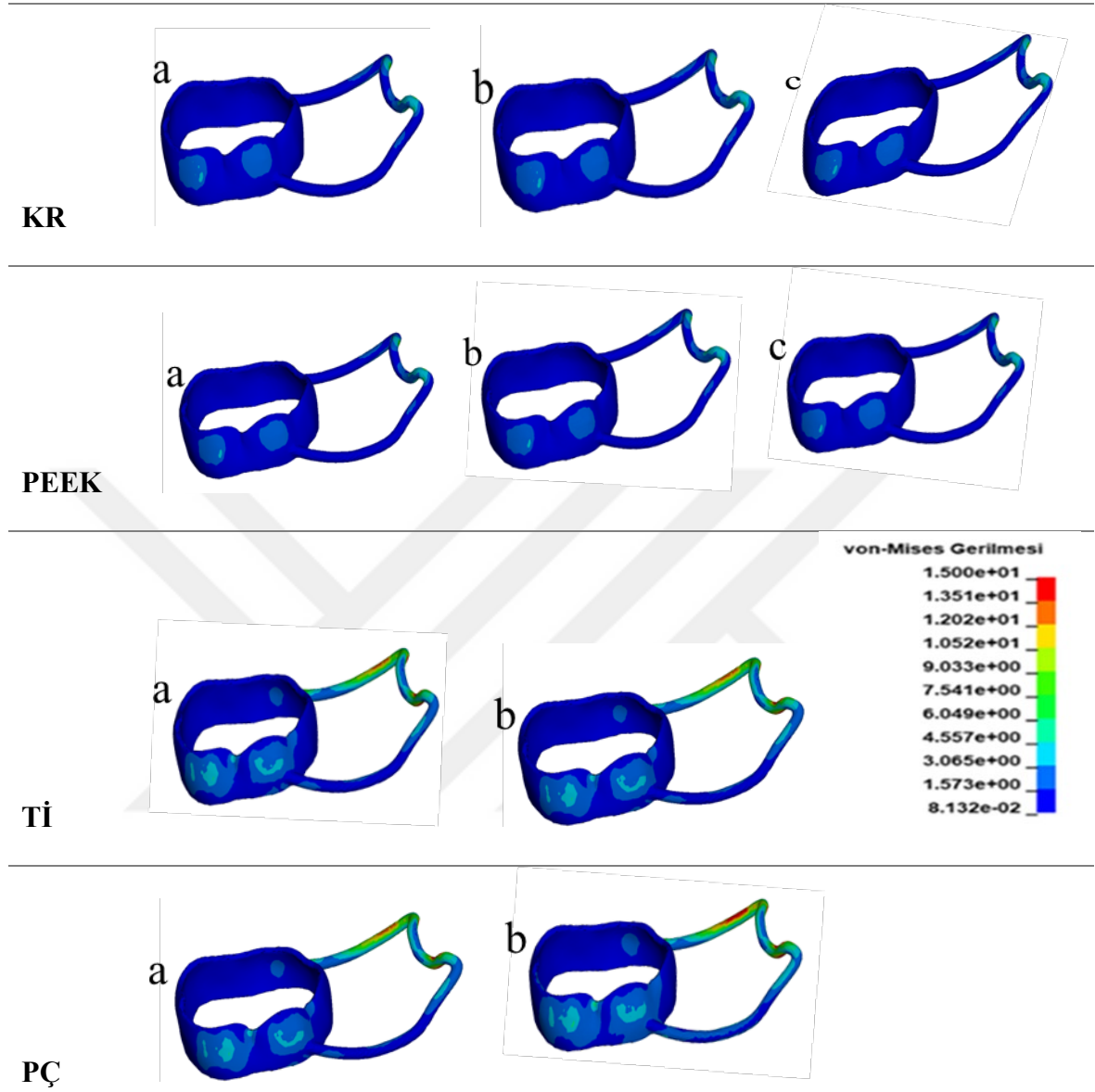


Şekil 11. Dentin Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Dağılımı



(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereterketon, Tİ: Titanyum, ST: Paslanmaz Çelik, a: Resin Modifiye Cam İyonomer Siman, b: Cam İyonomer Siman, c: Resin Siman)

Şekil 12. Yer Tutucu Üzerinde Oluşan Von-Mises Gerilim Dağılımı



(KR: Kompozit Reçine, PEEK: Polietereeterketon, Tİ: Titanyum, ST: Paslanmaz Çelik, a: Resin Modifiye Cam İyonomer Siman, b: Cam İyonomer Siman, c: Resin Siman)

5. TARTIŞMA

Yer tutucular diş eksikliği durumunda oklüzyonun korunması ve ortodontik tedavilerin önüne geçilebilmesi için oldukça önemli görülmektedir (5). Ark için en uygun yer tutucuyu seçmek adına literatürde apareylerin tasarımı, dişeti sağlığına etkileri, sağkalım süreleri, kullanım kolaylığı, üretileceği materyal üzerine birçok çalışma vardır (108). Günümüzde hastaların estetik beklentilerinin artması, gelişen ölçü alma ve üretim teknikleri ile farklı materyallerle apareyler üretilmeye başlanmış, hasta başında ve laboratuvarında geçen süre de kısaltılmıştır. Hasta memnuniyetini sağlamak amacıyla en uygun malzeme ve siman seçimi için çalışmamızda 4 farklı yer tutucu materyali, 3 farklı simanla kombine edilerek toplam 10 grup oluşturulmuştur. Uygulanan kuvvet sonucu oluşan stres birikimleri sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiştir. Bildiğimiz kadarıyla literatürde PEEK, kompozit reçine, titanyum ve paslanmaz çelikte üretilip rezin, rezin modifiye cam iyonomer ve geleneksel cam iyonomer siman ile yapıştırılan yer tutuculara uygulanan kuvvetlerin stres dağılımlarını inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmayla beraber en yüksek dayanıma sahip materyal ve siman kombinasyonunun bulunması amaçlanıp, yer tutucuların ağızda sağkalım oranı arttırılarak, hastaların klinik ziyaretini azaltmak ve buna bağlı olarak da zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlayarak, hastanın konforunu arttırmak amaçlanmaktadır.

Yaşanan erken süt diş kayıplarında en uzun ömürlü ve hasta için konforlu olacak yer tutucuyu seçmek klinisyen tarafından değerlendirilmektedir. Kaybedilen dişin bulunduğu bölge, eksik diş sayısı, hastanın kooperasyon durumu yer tutucu seçiminde önemli rol oynamaktadır. Araştırmacılar yer tutucularda, aparey planlaması ve aparey yapımının, hasta uyumu ve mental gelişiminden daha önemli olduğunu belirtmişlerdir (109). Uygun apareyin seçilebilmesi için klinik tecrübe, ağız içi değerlendirme, büyüme ve gelişimin bilinip değerlendirilmesi gerekmektedir (2).

Shi ve ark. (106), dört farklı kök gelişim evresindeki (1/2,2/3,3/4, tam gelişmiş kök) mandibular daimi birinci molar ve bu dişe bağlanmış yer tutucu üzerinde normal çiğneme kuvvetlerinin oluşturduğu stres dağılımını sonlu eleman analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan yükleme koşulları, klinik gerçekliğe en yakın şekilde modellenmiş; kuvvet büyüklüğü olarak karma dişlenme döneminde bildirilen ortalama çiğneme kuvveti değerleri esas alınmıştır (113-115). Bu bağlamda 154 N'lik kuvvetin seçilmesi hem biyolojik

olarak anlamlı hem de klinik koşulları temsil edebilecek bir değer sunmaktadır. Shi ve ark. (106), yüklemeyi yalnızca dikey yönde değil, aynı zamanda 45° eğik açıyla da gerçekleştirmiş; böylece oklüzal temas sırasında meydana gelebilecek hem eksenel (dikey) hem de oblik (eğik) kuvvet bileşenlerinin biyomekanik etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmişlerdir. Bu yaklaşım, çiğneme sırasında diş ve yer tutucu üzerine gelen kuvvetlerin çoğunlukla saf dikey değil, farklı açılardan gelen bileşenler içerdiği gerçeğine dayanmaktadır. Bu metodolojik tercih, çalışmamızda benimsenen yükleme senaryosu ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Bizim SEA modelimizde de 150 N'lık kuvvet büyüklüğü, karma dişlenme dönemine ait literatür değerleri esas alınarak belirlenmiş; kuvvet yönleri ise hem dikey hem de eğik olacak şekilde seçilmiştir. Böylece, yalnızca statik ve tek yönlü bir yükleme yerine, klinik gerçeklikte karşılaşılan farklı kuvvet vektörlerinin bağlantı bölgelerinde ve materyal kütlesinde oluşturabileceği stres yoğunlaşmaları ayrıntılı olarak incelenebilmiştir. Shi ve arkadaşlarının çalışması (106), SEA'nın yalnızca kuvvet büyüklüklerinin değil, aynı zamanda kuvvet yönlerinin de biyomekanik sonuçlar üzerindeki etkilerini ortaya koyabilen güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, çalışmamızda SEA kullanımının, farklı materyal-siman kombinasyonlarının klinik dayanıklılığını değerlendirirken gerçekçi ve çok yönlü yükleme senaryoları oluşturabilme imkânı sunması, metodolojik açıdan önemli bir avantaj sağlamaktadır. Böylece, yalnızca bağlantı dayanımı değerleri değil, bu dayanımın klinikte karşılaşılabilecek çeşitli kuvvet yönleri altındaki davranışı da öngörülebilir hale gelmektedir.

Sabeti ve ark'nın (102), süt ikinci molar dişlerin erken kaybını takiben gelişim sürecindeki daimi birinci molar dişlerde meydana gelen gerilmeler ile diş yer değişim miktarını sonlu eleman analizi yöntemi aracılığıyla incelemişlerdir. Erken diş kaybında yer tutucu uygulanmadığında, daimi birinci molar dişlerde anlık yer değiştirme miktarının 4-5 kat arttığı bu hareketliliğin daha çok kron bölgesinde mezial yönde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca çalışmada daimi birinci molar diş sürerken, süt ikinci molar dişle temas halinde olmadığında ark uzunluğunun kaybedileceği ve boşluğun zamanla kapanacağı ifade edilmiştir. Çalışma SEA'nın kompleks orofasiyal biyomekanik süreçlerin üç boyutlu olarak modellenmesine olanak tanıyarak, farklı klinik senaryoların gerçeğe yakın koşullar altında simüle edilmesini mümkün kıldığını göstermektedir. Bu yöntem, özellikle doğrudan klinik ortamda ölçülmesi güç veya imkânsız olan parametrelerin (kuvvet büyüklüğü, yönü, dağılımı ve gerilme konsantrasyonları gibi) yüksek doğrulukla belirlenmesine imkân

sağlamaktadır. Söz konusu metodolojik yaklaşım, çalışmamızda farklı materyal ve siman kombinasyonlarının yer tutucular üzerindeki bağlantı dayanımı ve stres dağılımına etkilerini değerlendirmek amacıyla SEA yönteminin tercih edilmesinin bilimsel gerekçesini desteklemektedir. Nitekim, analizlerimizde SEA kullanımı, geleneksel mekanik test yöntemleri ile elde edilmesi güç olan lokal gerilme dağılımı, von mises gerilmesi gibi ayrıntılı biyomekanik parametrelerin nicel olarak değerlendirilmesine imkân tanımıştır. Bu bağlamda, Sabeti ve ark.'nın (102) çalışması, SEA'nın diş hekimliğinde biyomekanik problemlerin anlaşılması, tedavi planlamalarının optimize edilmesi ve farklı klinik yaklaşımların öngörülebilir şekilde karşılaştırılması açısından yüksek geçerliliğe sahip bir yöntem olduğunu ortaya koymakta; dolayısıyla, çalışmamızda benimsenen metodolojik tercihin geçerliliğini ve güvenilirliğini pekiştirmektedir.

Çalışmamızda PEEK materyalinin tercih edilmesinin temel nedeni, sunduğu üstün biyomekanik ve biyouyumluluk özellikleridir. Düşük elastik modülü ile dentine yakın bir rijitlik sergileyen PEEK, uygulanan kuvvetlerin destek diş ve periodontal dokulara daha homojen şekilde iletilmesini sağlayarak lokal gerilme birikimini azaltmaktadır. Ma ve ark. (116) tarafından gerçekleştirilen üç boyutlu sonlu eleman analizinde, farklı malzemelerden üretilen kron loop ve band loop yer tutucuların von mises gerilme dağılımları incelendiğinde, PEEK materyali hem dikey hem de eğik yükleme koşullarında metal alaşımlara kıyasla belirgin biçimde daha düşük gerilme değerleri üretmiştir. Örneğin, dikey yükleme senaryosunda PEEK, kobalt-krom ve titanyum alaşımlarına oranla daha düşük von mises değerleri sergileyerek, destek dişler ve çevre dokular üzerindeki lokalize gerilme birikimini anlamlı ölçüde azaltmıştır. Araştırmacılar bu bulguyu, PEEK'in düşük elastik modülü sayesinde uygulanan kuvvetleri daha geniş yüzey alanına yayabilmesi ve böylece gerilme konsantrasyonunu minimize edebilmesi ile açıklamaktadır. Bu sonuçlar, çalışmamızda elde ettiğimiz bulgularla yüksek oranda örtüşmektedir. Bizim çalışmamızda da elastik modülü görece düşük olan materyal ve siman kombinasyonlarının von mises gerilmelerini anlamlı ölçüde düşürdüğü görülmüştür. PEEK'in bu biyomekanik avantajı, stresin kritik bölgelerde yoğunlaşmasını engelleyerek diş, periodontal ligament ve alveol kemiği gibi destek yapıların korunmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, gerilmenin homojen dağılımı, biyomekanik uyumun artmasına ve olası materyal yorgunluğunun gecikmesine olanak tanımaktadır. PEEK'in Von Mises değerlerindeki bu üstün performansı, özellikle uzun dönem kullanımda biyomekanik açıdan önemli bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Daha

rijit metal alaşımların aksine, PEEK yükleri absorbe edebilme ve çevre dokulara zarar vermeden aktarabilme kapasitesine sahiptir. Bu özellik, yer tutucuların klinik başarısını artırma potansiyeline sahip olup, hasta konforunun korunması ve komplikasyon riskinin azaltılması açısından da önem taşımaktadır. Bununla birlikte, Ma ve ark.'nın (116) çalışmasında da vurgulandığı üzere, PEEK'in deformasyon eğilimi rijit malzemelere kıyasla daha yüksek olabilir. Bu nedenle, düşük von mises değerlerinin sağladığı gerilme azaltıcı etkinin yanında, uzun dönem stabilite için tasarım optimizasyonu ve uygun klinik endikasyonların belirlenmesi önemlidir.

Çalışmamızda, farklı materyal ve siman kombinasyonlarının biyomekanik performansları değerlendirildiğinde, PEEK'in özellikle yer tutucu üzerinde biriken von mises gerilme değerlerini anlamlı şekilde düşürdüğü, gerilme dağılımını homojenleştirdiği görülmüştür. PEEK'in bu biyomekanik avantajı, elastik modülünün düşük olmasına bağlı olarak uygulanan yükleri daha geniş bir yüzeye yayabilmesi ve böylece kritik bölgelerde oluşabilecek gerilme konsantrasyonlarını azaltabilmesi ile açıklanabilir. Bu sayede, destek dokuların korunması ve biyomekanik uyumun artırılması mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, elastik modülün düşüklüğü, rijitlik açısından metal bazlı kombinasyonlara kıyasla daha esnek bir yapı sergilenmesine ve deformasyon eğiliminin artmasına neden olabilmektedir. Aktaş ve Atabek'in (117) geleneksel paslanmaz çelik, 3B baskı ile üretilmiş metal, reçine ve PEEK materyallerinden üretilmiş band-loop yer tutucuların kırılma dayanımlarını karşılaştırmış. Araştırma sonucunda, en yüksek kırılma dayanımı 3B baskı ile üretilen metal grubunda (922.35 ± 145.43 N) elde edilmiş olup, bu değer diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde yüksektir ($p < 0.001$). Ancak, 3B PEEK (262.34 ± 41.50 N), 3B reçine ve konvansiyonel gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Bu bulgu, PEEK'in yalnızca estetik avantajları ile değil, mekanik dayanıklılığıyla da klinik olarak kabul edilebilir bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. İki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, PEEK'in uygun bağlantı materyali ile kombinasyonunun hem dayanıklılık hem de doku dostu stres yönetimi açısından klinik uygulamalarda güçlü bir alternatif sunduğu, özellikle estetik beklentisi olan hatalarda yer tutucu tasarımlarında öncelikli olarak değerlendirilebileceği söylenebilir (117).

Baroni ve ark.'ı (110), yer tutucuların ağızda kalma süresi ve bu süreyi etkileyebilecek faktörleri retrospektif olarak değerlendirdikleri çalışmalarında, 1986–1991 yılları arasında İtalya'nın Bolonya Üniversitesi'ne başvuran, 5–9 yaş aralığındaki 61 hastayı

incelemişlerdir. Toplam 88 yer tutucu (36'sı lingual ark, 33'ü band-loop, 19'u ise Nance apareyi) polikarboksilat siman ile simante edilerek takip edilmiştir. Ortalama takip süresi 23,6 ay olup, maksimum 53 ay olacak şekilde izlenmiştir. Tüm hastalar 6 aylık periyotlarla kontrole çağrılmış, bu kontroller sırasında apareyler sökülerek destek dişler değerlendirilmiştir. Farklı tipte yer tutucuların klinik ömürlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, tasarım ve uygulama farklılıklarının cihazların ağızda kalma süreleri üzerinde belirleyici olduğunu rapor etmişlerdir. Özellikle bağlantı bölgelerindeki başarısızlıklar ve siman kayıpları, yer tutucuların erken kaybının en önemli nedenleri arasında gösterilmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda farklı materyal ve siman kombinasyonlarının bağlantı dayanımı ve stres dağılımına etkisini değerlendiren sonlu eleman analizi sonuçları ile uyumludur. Analizlerimizde yüksek gerilme yoğunlaşmalarının görüldüğü bölgeler, klinik başarısızlıkların sıklıkla rapor edildiği bağlantı alanları ile örtüşmektedir. Ayrıca, siman tipine bağlı olarak değişen bağ dayanımı değerleri, klinikte rapor edilen yer tutucu ömürlerindeki farklılıkları açıklayabilecek potansiyel bir mekanik faktör olarak değerlendirilebilir. Bu açıdan, Baroni ve ark.'nın (110) klinik gözlemleri, çalışmamızın mekanik analiz bulguları ile birlikte yorumlandığında, yer tutucu tasarımı ve materyal seçiminde hem klinik hem de biyomekanik verilerin birlikte dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır (110).

Rajab ve ark. (111), 1996-2000 yılları arasında Ürdün Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesine başvuran, 3-9 yaş arası, 358 hastaya uygulanan, 387 yer tutucuyu incelemişlerdir. Çalışma sonunda 119 yer tutucuda başarısızlık görülmüştür. Baroni ve ark.'nın yaptığı çalışmanın sonuçlarına benzer olarak en sık başarısızlık nedeninin %49,6 ile lehim kırılmasında olduğu görülmüştür. Bu durum yer tutucu olarak paslanmaz çelik dışında materyaller üzerine de araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. İkinci en sık başarısızlık nedeninin %32,8 ile siman kaybında olduğu görülmüştür. Araştırmada, özellikle bağlantı bölgelerinde meydana gelen siman kaybı ve kırılmaların yer tutucuların ömrünü kısalttığı belirtilmiştir. Bu klinik bulgular, çalışmamızda sonlu eleman analizi ile elde edilen mekanik verilerle örtüşmektedir. Analizlerimizde, belirli materyal-siman kombinasyonlarında bağlantı bölgelerinde daha yüksek Von Mises gerilmeleri saptanmış, bu durumun klinikte rapor edilen erken başarısızlıklarla ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, siman tipine göre değişen bağlantı dayanımı değerleri, Rajab'ın klinik sonuçlarında gözlenen performans farklılıklarının olası mekanik açıklamasını sunmaktadır. Bu bağlamda,

Rajab'ın uzun dönemli klinik değerlendirmeleri, çalışmamızda ortaya konan biyomekanik bulgularla birlikte değerlendirildiğinde, yer tutucuların tasarım ve materyal seçiminde hem klinik hem de laboratuvar temelli verilerin bütüncül şekilde ele alınmasının önemini desteklemektedir (111).

Sasa ve ark. (112), cam iyonomer simanla simante edilen band-loop yer tutucuların klinik başarısını prospektif bir yaklaşımla değerlendirmiştir. Çalışmaya, yaşları 3,4 ile 7,3 arasında değişen 40 çocuk dahil edilmiş ve hastalar 4 ila 6 aylık periyotlarla toplam 40 ay boyunca takip edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, yer tutucuların ortalama ağızda kalma süresi 19,9 ay olarak hesaplanmıştır. Ancak takip süresinin sonunda olguların %57,5'inde başarısızlık saptanmış ve bu başarısızlıkların %82'sinin desimantasyon kaynaklı olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, tek tip siman kullanılmasına rağmen, cihazların ağızda kalma süresinin uygulama tekniği, hasta kaynaklı faktörler ve özellikle bağlantı bölgelerinde meydana gelen başarısızlıklar ile yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir. Elde edilen bu bulgular, farklı siman tiplerinin bağlantı dayanımı ve stres dağılımına etkilerini inceleyen çalışmamızın sonlu eleman analizi verileriyle uyum göstermektedir. Analizlerimizde, cam iyonomer simanın diğer siman türlerine kıyasla daha düşük bağlantı dayanımı sergilediği ve belirli bölgelerde daha yüksek stres konsantrasyonlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Sasa ve arkadaşlarının (112), klinik gözlemlerinde rapor ettikleri erken başarısızlıkların olası biyomekanik açıklamasını sunduğu düşünülebilir. Dolayısıyla, söz konusu klinik bulgular ile çalışmamızda elde edilen mekanik veriler birlikte değerlendirildiğinde, siman seçiminin yer tutucuların uzun dönem başarısında kritik bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Siman çeşitlerinin, farklı kimyasal özelliklerinin, yer tutucu bantlarının bağlanma dayanımına etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan çalışmada, Kaur ve ark. (10), 80 adet çekilmiş dişi 4 gruba ayırarak incelemiştir. Çalışmada, rezin modifiye cam iyonomer siman, geleneksel cam iyonomer siman ve rezin simanlar test edilmiş; sonuçlar rezin bazlı simanların bağlanma dayanımı açısından da anlamlı derecede üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, özellikle rezin bazlı simanların bağlantı yüzeyinde daha yüksek retansiyon sağladığını, bu durumun ise klinikte cihazın yerinde kalma süresini artıracak potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bu bulgular, çalışmamızda sonlu eleman analizi ile elde edilen mekanik verilerle doğrudan örtüşmektedir. Analizlerimizde, reçine bazlı siman kullanılan modellerde daha homojen bir stres dağılımı gözlenmiş ve kritik

bağlantı bölgelerinde oluşan gerilme konsantrasyonlarının diğer siman türlerine göre belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın, cam iyonomer siman kullanılan modellerde bağlantı bölgelerinde daha yüksek Von Mises gerilme değerleri saptanmış, bu durumun potansiyel olarak bağlantı başarısızlığına zemin hazırlayabileceği değerlendirilmiştir. Bu çalışma, yalnızca bağlanma dayanımının sayısal olarak ölçülmesi ile kalmayıp, farklı siman türlerinin klinik performans açısından sahip olabileceği avantaj ve dezavantajlara da ışık tutmaktadır. Bu yönüyle, çalışmamızın biyomekanik modelleme ile ortaya koyduğu stres dağılımı verileri, Kaur ve ark.'nın (10), deneysel bulgularını desteklemekte ve siman seçiminin yer tutucuların uzun dönem başarısında belirleyici bir faktör olduğunu güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, her iki çalışmanın ortak değerlendirmesi, sabit yer tutucu tasarımı ve siman tipinin birlikte optimize edilmesinin hem klinik hem de mekanik açıdan başarı oranlarını artırabileceğini göstermektedir (10).

Cantekin ve ark.'ı (118), sabit yer tutucuların simantasyonu sırasında kullanılan farklı tip simanların bağlanma kuvveti ve mekanik stres altındaki performansını incelemiştir. Bu amaçla 75 adet çekilmiş diş kullanılarak, 5 farklı siman ile band loop uygulaması yapılmış; bantların bağlanma dayanımları ve sağkalım süreleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ilk bağlanma anında cam iyonomer simanlar daha yüksek bağlanma gücüne sahipken; mekanik yorgunluğa karşı rezin ve kompomer simanların daha uzun süreli dayanım gösterdikleri ve rezin modifiye cam iyonomer simanlarla aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Çalışmamızın bulguları da bu verilere paralellik göstermekte olup, yer tutucu simantasyonunda geleneksel cam iyonomer siman yerine rezin içerikli simanların tercih edilmesinin klinik başarısızlığı azaltılabileceği gösterilmektedir (118).

Yer tutucuların başarı oranını arttırmak amacıyla, farklı simanların yapıştırma özellikleri üzerine pek çok çalışma yapılmış; günümüzde gelişen dijital ölçü teknikleriyle birlikte farklı materyaller kullanılarak yer tutucu üretimi konusunda araştırmalar hız kazanmıştır. Bizim çalışmamızda olduğu gibi bu araştırmaların temel hedefi; hasta için hem konforlu hem de dayanıklı yer tutucu materyalini belirlemektir. Bu doğrultuda lazer sinterleme yöntemi ile hazırlanan yer tutucularla ilgili ilk çalışma Pawar (119) tarafından yayınlanmıştır. 7 yaşında hastanın mandibular sol süt ikinci azı dişine 3 boyutlu yazıcılarla üretilmiş yer tutucu uygulanmış ve 3. Ay klinik kontrolünde problem saptanmamıştır (119).

Rana ve ark. (120), 3 boyutlu yazıcılarla ürettikleri yer tutucuları, 7 ve 8 yaşlarındaki iki hastanın mandibular süt ikinci azı dişine simante etmişler ve 3.,6. ve 9. Ay kontrollerinde yer tutucuların, retansiyon, hastanın kullanım rahatlığı ve ebeveyn memnuniyeti açısından yeterli olduğu sonucuna varmışlardır (120).

Watson ve ark.'ı (121), 3 boyutlu yazıcılarla üretilmiş yer tutucuların, geleneksel paslanmaz çelik yer tutucularla karşılaştırılmalı olarak değerlendirildiği in vitro çalışmalarında; çekilmiş süt dişlerine rezin modifiye cam iyonomer simanlar ile uyguladıkları yer tutucular incelenmiş ve çalışma sonucunda 3 boyutlu yazıcılarla üretilen apareylerin dikey yükler altındaki dayanımlarının, geleneksel yer tutuculara alternatif oluşturabilecek düzeyde olduğunu ortaya koymuştur. Ancak apareylerin tutuculuk düzeylerinin, geleneksel band looplara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kopmaların genellikle bant-siman arayüzünde gerçekleştiği, bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda bizim çalışmamızda olduğu gibi bu temas bölgesi üzerinde durulması gerektiği vurgulanmıştır (121).

Çalışmamız sonucu elde edilen veriler ışığında, yer tutucu planlaması yapılırken metalik yer tutucuların kullanımı hem yapıştırıcı malzemenin ömrünü uzatmak hem de dayanak dişte oluşabilecek bölgesel aşınmaları önlemek açısından daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Siman türleri açısından değerlendirildiğinde, metal yer tutucularla kullanılan modellerde simanda oluşan gerilmelerin daha düşük olduğu ve bu durumun daha uzun ömürlü klinik kullanım performansı sağlayabileceği öngörülmektedir. Cam iyonomer siman kullanılan modellerde siman tabakası üzerindeki maksimum gerilme değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, klinik başarısızlıkların önemli nedenlerinden biri olan desimantasyon riskini destekler niteliktedir. Resin modifiye cam iyonomer (RMCİS) ise hem siman tabakasında hem de yer tutucu bileşenlerinde daha dengeli ve düşük stres seviyeleri sunarak biyomekanik açıdan daha avantajlı bir profil sergilemiştir. Bu veriler doğrultusunda, stresin yer tutucu ve siman yapıları üzerinde yoğunlaştığı durumların uzun dönem başarısızlıklara zemin hazırlayabileceği, bu nedenle hem materyal seçiminin hem de siman tipinin klinik başarı üzerinde belirleyici rol oynadığı söylenebilir.

Çalışmamızın bazı limitasyonları bulunmaktadır. Sonlu elaman analizi, in vitro ve in vivo deneylerin koşullarını tam olarak yansıtamamakta ve elde edilen sonuçlar

doğrultusunda en tutucu veya sağkalım süresi en yüksek siman-materyal kombinasyonu belirtilememektedir. Yapılacak in vitro ve in vivo çalışmalarla bu sonuçların doğrulanması gerekmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma farklı yer tutucu materyalleri ve farklı simanlar kullanılarak uygulanan apareylerin, çiğneme kuvveti sonucu oluşan stres dağılımlarını göstermekte ve klinik uygulamalarda hekimlere materyal seçimi konusunda kararlarını destekleyecek bilimsel veriler sunmaktadır.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

PEEK, titanyum, paslanmaz çelik ve kompozit reçine ile üretilen yer tutucuların, rezin siman, rezin modifiye cam iyonomer siman ve geleneksel cam iyonomer siman ile yapıştırıldığında çiğneme kuvveti sonucu dişte ve yer tutucuda oluşan stresi incelemeyi amaçlayan sonlu elemanlar analizi çalışmamızın sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Yer tutucu materyalleri incelendiğinde, dayanak diş yapısına zarar verme potansiyelini en aza indirmek amacıyla, daha düşük gerilme oluşturan metalik yer tutucuların tercih edilmesi daha uygun olabilir.
- Siman türleri karşılaştırıldığında ise, rezin modifiye cam iyonomer siman, tüm yer tutucu malzemeleri ile en düşük gerilme değerlerini sergilerken; cam iyonomer siman, en yüksek gerilme değerlerini göstermiştir.
- Diş üzerindeki gerilme değerleri incelendiğinde, tüm gruplarda elde edilen gerilme seviyelerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak metalik yer tutucular, diğer malzemelere kıyasla daha homojen bir gerilme dağılımı sağlamıştır. Kompozit ve PEEK kullanıldığında ise yer tutucunun yapıştırıldığı bölge üzerinde gerilmelerin yığıldığı görülmüştür.
- Yer tutucular üzerindeki gerilme değerleri incelendiğinde ise, metalik malzemelerde oluşan maksimum gerilmelerin, diğer malzemelere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun, metallerin yüksek elastik modülü (rijitliği) nedeniyle olduğu düşünülmektedir.
- Tüm yer tutucu türlerinde gerilme dağılımının, benzer bir şekilde dayanak dişe temas eden bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu gerilme yoğunlaşması, hem bu bölgeye doğrudan kuvvet uygulanması hem de yer tutucunun dayanak diş ile sıkıştığı temas alanı olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Tez çalışmamız, hasta konforu ve sağkalım süresi açısından en başarılı materyal ve siman kombinasyonu ile ilgili klinik pratikte hekimlere faydalı olabilecek bilimsel veriler sunmaktadır. Çalışmamızın pratikte uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi için in-vitro ve iv-vivo araştırmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Brothwell Dj (1997). Guidelines On The Use Of Space Maintainers Following Premature Loss Of Primary Teeth. J Can Dent Assoc 63: 764–856.
2. Terlaje Rd, Dkj (2001). Treatment Planning For Space Maintenance In The Primary And Mixed Dentition. Asdc J Dent Child 68: 109–114.
3. Ghafari J (1986). Early Treatment Of Dental Arch Problems. I. Space Maintenance, Space Gaining. 17: 423–432.
4. Mcdonald Re Adr (2016). Managing The Developing Occlusion. In: Ja Dean, Dr Avery, Re Mcdonald, Eds. Mcdonald And Avery's Dentistry For The Child And Adolescent, 10th Ed.
5. Tosun Y (2003). Serbest Diş Hekimliğinde Ortodonti. Titizler Grafik ve Ofset Baskı Hizmetleri.
6. Beretta M (2017). Metal Free Spacemaintainer For Special Needspatients. Advances In Dentistry & Oral Health 6.
7. Kher Ms, Rao A (2019). Space Maintenance In The Primary Dentition: Custom Made And Prefabricated. Contemporary Treatment Techniques In Pediatric Dentistry 141–174. Doi:10.1007/978-3-030-11860-0_6.
8. Mangano F, Mangano C (2023). Laser Sintering In Dentistry. Handbook Of Surgical Planning And 3d Printing: Applications, Integration, And New Directions 203–227. Doi:10.1016/B978-0-323-90850-4.00005-3.
9. Soni Hk (2017). Application Of Cad-Cam For Fabrication Of Metal-Free Band And Loop Space Maintainer. Journal Of Clinical And Diagnostic Research : Jcdr 11: Zd14.
10. Kaur J, Singh A, Sadana G, Mehra M, Mahajan M (2021). Evaluation Of Shear Peel Bond Strength Of Different Adhesive Cements Used For Fixed Space Maintainer Cementation: An In Vitro Study. International Journal Of Clinical Pediatric Dentistry 14: 175.
11. Bishara Se (2001). Development Of The Dental Occlusion. Textbook Of Orthodontics .
12. Ülgen M. (2006). Ortodonti: Anomaliler, Sefalometri, Etiyoloji, Büyüme ve Gelişim, Tanı. Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları.
13. Tollaro A (2005). Primary Occlusion. In: Early Orthodontic Treatment. Early Orthodontic Treatment 17–19.

14. Moyers Re. (1988). Handbook Of Orthodontics (Vol. 4), Year Book Medical Publishers.
15. Baume Lj (1950). Physiological Tooth Migration And Its Significance For The Development Of Occlusion. 2. The Biogenesis Of Accessional Dentition. J Dent Res 29: 331–337.
16. Patti A, Dgp (2005). Early Orthodontic Treatment. Quintessence Quintessence.
17. Proffit Wr (2007). Early Stages Of Development. In: Contemporary Orthodontics. St. Louis: Mosby Year Book.
18. Jones Ml, Map, Bta (1993). Evaluation Of Occlusion, Trauma, And Dental Anomalies İn African-American Children Of Metropolitan Headstart Programs. J Clin Pediatr Dent.
19. Sandallı N Kçşhn (2009). Çocuklarda Kapanış İlişkileri Ve Oklüzyon. C Ü Diş Hek Fak Der 12: 91–97.
20. Proffit Wr. (2013). Early Stages Of Development. (F. H. S. D. Proffit Wr, Editor) (Vol. 5), Contemporary Orthodontics.
21. Ngan P Mw (2015). Evolution Of Class 3 Treatment İn Orthodontics. . American Journal Of Orthodontics And Dentofacial Orthopedics 148: 22–36.
22. Nowak Aj (2019). Pediatric Dentistry: Infancy Through Adolescence. Elsevier, 6 Ed (Vol. 6),
23. Marwah N (2014). Textbook Of Pediatric Dentistry, Jaypee Brothers Medical, 3rd Ed., 424–454.
24. Ngan P, Alkire Rg, Fields H (1999). Management Of Space Problems İn The Primary And Mixed Dentitions. Journal Of The American Dental Association 130: 1330–1339.
25. Best Practices: Developing Dentition And Occlusion The Reference Manual Of Pediatric Dentistry. Management Of The Developing Dentition And Occlusion İn Pediatric Dentistry (N.D.).
26. Nakata Minoru, Wei Shy. (1988). Occlusal Guidance İn Pediatric Dentistry. 104.
27. For The Dental Patient. Tooth Eruption: The Primary Teeth. (2005). Journal Of The American Dental Association (1939) 136: 1619.
28. Kapala Jt (1980). Space Management And Interceptive Orthodontics. Textbook Of Pediatric Dentistry.

29. Davenport Ib (1887). The Significance Of The Natural Form And Arrangement Of The Dental Arches Of Man, With A Consideration Of The Changes Which Occur As A Result Of Their Artificial Derangement By Filling Or By The Extraction Of Teeth. *Dent Cosmos* 29: 413–439.
30. Owais A1 R. (2011). Effectiveness Of A Lower Lingual Arch As A Space Holding Device. *Eur J Orthod* 33: 37–42.
31. Chang Jz Cpksc (1999). An Appliance To Replace Prematurely Lost Maxillary Anterior Teeth Using Double Stainless Steel Crowns On Abutment Teeth. *J Clin Pediatr Dent* 23: 285–288.
32. Mcdonald Re., Avery Dr., Dean Ja. (2011). *Mcdonald And Avery's Dentistry For The Child And Adolescent* Mosby/Elsevier.
33. Hoffding J, Ke (1978). Premature Loss Of Primary Teeth: Part I, Its Overall Effect On Occlusion And Space In The Permanent Dentition. *Asdc J Dent Child* 45: 279–283.
34. Miyamoto W, Ccs, Ypk (1976). Effect Of Premature Loss Of Deciduous Canines And Molars On Malocclusion Of The Permanent Dentition. *J Dent Res* 55: 584–590.
35. Norton La, Wna, Gme (1975). Space Management In The Mixed Dentition. . *Asdc J Dent Child* 42: 112–118.
36. Padma Kumari B, Rn (2006). Loss Of Space And Changes In The Dental Arch After Premature Loss Of The Lower Primary Molar: A Longitudinal Study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 24: 90–96.
37. Khanna P, Ss, Ms (2015). Keep My Space. *International Journal Of Oral Health Dentistry* 1: 11–15.
38. Dean Ja, Mre, Adr (2000). Managing The Developing Occlusion. (Vol. 7), *Dentistry For The Child And Adolescent*.
39. Christensen Jr Fhjsrd (2019). Christensen Jr, Fields Hw, Jr, Sheats Rd. Treatment Planning And Management Of Orthodontic Problems. In: Nowak Aj, Christensen Jr, Mabry Tr, Townsend Ja, Wells Mh, Eds. *Pediatric Dentistry Infancy Through Adolescence*. 6th Ed. Philadelphia, Pa.: Elsevier; 2019: 522-4.
40. Laing E, Ashley P, Naini Fb, Gill Ds (2009). Space Maintenance. *International Journal Of Paediatric Dentistry* 19: 155–162.

41. Law Cs (2013). Management Of Premature Primary Tooth Loss In The Child Patient. . J Calif Dent Assoc 612–618.
42. Soxman Ja. (2022). Handbook Of Clinical Techniques In Pediatric Dentistry Wiley-Blackwell, Pp 235–249.
43. Lindemeyer Rg, Ggg (1996). Space Maintainer For The Loss Of Apermanent Molar In The Adolescent Patient: Report Of Case. Asdc J Dentchild 63: 213–215.
44. Dimri M Ja (2001). Stainless Steel Crown Bridge Replacing Permanent Molar In The Adolescent Patient: A Case Report. Journal Of The Indian Society Of Pedodontics And Preventive Dentistry 19: 74–76.
45. Brill Wa. (2002). The Distal Shoe Space Maintainer: Chairside Fabrication And Clinical Performance. Pediatric Dentistry 24: 561–565.
46. Tulunoglu O, Ut, Gy (2005). An Evaluation Of Survival Of Space Maintainers: A Six-Year Follow-Up Study. The Journal Of Contemporary Dental Practice 6: 74–84.
47. Rao A (2012). Principles And Practice Of Pedodontics. (Vol. Jp Medical Ltd.).
48. Kupietzky A (2007). Clinical Technique: Removable Appliance Therapy For Space Maintenance Following Early Loss Of Primary Molars. Eur Arch Paediatr Dent.
49. Kargül B, Çe, Ku (2003). Glass Fiber Reinforced Composite Resin Space Maintainer: Case Reports. J Dent Child 70: 258–261.
50. Yılmaz Y, Kme, Bn (2006). Fixed Space Maintainers Combined With Open-Face Stainless Steel Crowns. J Contemp Dent Pract 7: 95–103.
51. Güleç, S., Dogan, M., Seydaoglu, G., (2014). Clinical Evaluation Of A New Bonded Space Maintainer. Journal Of Clinical Orthodontics,784-790.
52. Hill Cj, Shw, Mjr (1975). Space Maintenance In A Childdental Care Program. J Am Dent Assoc 90: 811–815.
53. Hedberg Ys, Odnevall Wallinder I (2016). Metal Release From Stainless Steel In Biological Environments: A Review. Biointerphases 11.
54. Hu Cy, Wan Xl, Zhang Yj, Deng Xt, Wang Zd, Misra Rdk (2021). The Synergistic Effect Of Grain Boundary And Grain Orientation On Micro-Mechanical Properties Of Austenitic Stainless Steel. Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials 118: 104473.

55. Metkar S, Thakur B, Wahjuningrum Da, Assiry Aa, Alshamrani K, Varma Sr, Pawar Am, Karobari M₁ (2025). Conventional Vs. 3d Printed Band And Loop Space Maintainers: A Fracture Strength Analysis. *3d Printing In Medicine* 11: 14.
56. Da Cruz Mb, Marques Jf, Peñarrieta-Juanito Gm, Costa M, Souza Jcm, Magini Rs, Miranda G, Silva Fs, Caramês Jmm Da Mata Adsp (2021). Bioactive-Enhanced Polyetheretherketone Dental Implant Materials: Mechanical Characterization And Cellular Responses. *Journal Of Oral Implantology* 47: 9–17.
57. Peng Ty, Ogawa Y, Akebono H, Iwaguro S, Sugeta A, Shimoe S (2020). Finite-Element Analysis And Optimization Of The Mechanical Properties Of Polyetheretherketone (Peek) Clasps For Removable Partial Dentures. *Journal Of Prosthodontic Research* 64: 250–256.
59. Blanch-Martínez N, Arias-Herrera S, Martínez-González A (2021). Behavior Of Polyether-Ether-Ketone (Peek) In Prostheses On Dental Implants. A Review. *Journal Of Clinical And Experimental Dentistry* 13: E520.
60. Buck E, Li H, Cerruti M, Buck E, Li H, Cerruti M (2020). Surface Modification Strategies To Improve The Osseointegration Of Polyetheretherketone And Its Composites. *Macromolecular Bioscience* 20: 1900271.
61. Peng Ty, Shih Yh, Hsia Sm, Wang Th, Li Pj, Lin Dj, Sun Kt, Chiu Kc, Shieh Tm (2021). In Vitro Assessment Of The Cell Metabolic Activity, Cytotoxicity, Cell Attachment, And Inflammatory Reaction Of Human Oral Fibroblasts On Polyetheretherketone (Peek) Implant–Abutment. *Polymers* 2021, Vol 13, Page 2995 13: 2995.
62. Gheisarifar M, Thompson Ga, Drago C, Tabatabaei F, Rasoulboroujeni M (2021). In Vitro Study Of Surface Alterations To Polyetheretherketone And Titanium And Their Effect Upon Human Gingival Fibroblasts. *The Journal Of Prosthetic Dentistry* 125: 155–164.
63. Najeeb S, Khurshid Z, Zohaib S, Zafar Ms (2016). Bioactivity And Osseointegration Of Peek Are Inferior To Those Of Titanium: A Systematic Review. *Journal Of Oral Implantology* 42: 512–516.
64. Nahar R, Mishra Sk, Chowdhary R (2020). Evaluation Of Stress Distribution In An Endodontically Treated Tooth Restored With Four Different Post Systems And Two Different Crowns- A Finite Element Analysis. *Journal Of Oral Biology And Craniofacial Research* 10: 719–726.

65. Wang B, Huang M, Dang P, Xie J, Zhang X, Yan X (2022). Peek in Fixed Dental Prostheses: Application and Adhesion Improvement. *Polymers* 2022, Vol 14, Page 2323 14: 2323.
66. Wang Rr Fa (1996). Titanium For Prosthodontic Applications: A Review Of The Literature. *Quintessence Int* 401–408.
67. Yüzügüllü B A (2008). Maksiller Anterior Bölgede Estetik İmplant Dayanak Seçimi. *Ado Klin Bilim Derg* 116–122.
68. Randolph R. Resnik (2020). *Misch's Contemporary Implant Dentistry* 4th Edition. Elsevier Health Sciences 279–282.
69. Mark Jj Wa (2007). *Surface Engineered Surgical Tools And Medical Devices*. New York, Springer 533–576.
70. Van Noort R. (2002). *Introduction To Dental Materials*. Edinburgh; New York: Mosby.
71. Jorge Jr. Bva, Dja, Et Al. (2013). Titanium in Dentistry: Historical Development, State Of The Art And Future Perspectives. *J Indian Prosthodont Soc* 71–77.
72. Perdigão J (2020). Current Perspectives On Dental Adhesion: (1) Dentin Adhesion- Not There Yet. *The Japanese Dental Science Review* 56: 190–207
73. Miotti Ll, Follak Ac, Montagner Af, Pozzobon Rt, Da Silveira Bl, Susin Ah (2020). Is Conventional Resin Cement Adhesive Performance To Dentin Better Than Self-Adhesive? A Systematic Review And Meta-Analysis Of Laboratory Studies. *Operative Dentistry* 45: 484–495.
74. Salmi M (2016). Possibilities Of Preoperative Medical Models Made By 3d Printing Or Additive Manufacturing. *Journal Of Medical Engineering* 2016: 1–6.
75. Barutçigil K, Dündar A, Batmaz Sg, Yıldırım K, Barutçugil Ç (2021). Do Resin-Based Composite Cad/Cam Blocks Release Monomers? *Clinical Oral Investigations* 25: 329–336.
76. Geurtsen W, Lehmann F, Spahl W, Leyhausen G (1998). Cytotoxicity Of 35 Dental Resin Composite Monomers/ Additives in Permanent 3t3 And Three Human Primary Fibroblast Cultures. *J Biomed Mater Res* 41: 474–480.
77. Francisconi Lf, Scaffa Pmc, De Barros Vr Dos Sp, Coutinho M, Francisconi Pas (2009). Glass Ionomer Cements And Their Role in The Restoration Of Non-Carious Cervical Lesions. *Journal Of Applied Oral Science: Revista Fob* 17: 364–369.

78. Sidhu S, Nicholson J (2016). A Review Of Glass-Ionomer Cements For Clinical Dentistry. *Journal Of Functional Biomaterials* 7: 16.
79. Pavelić B (2004). Staklenoionomerni Cementi – Provjerite I Nadopunite Vaše Znanje. *Sonda: List Studenata Stomatološkog Fakulteta Sveučilišta U Zagrebu* 10: 39–42.
80. Šutalo I Sur (1993). *Patologija I Terapija Tvrdih Zubnih Tkiva*. Naklada Zadro.
81. Heboyan A, Vardanyan A, Karobari M₁, Marya A, Avagyan T, Tebyaniyan H, Mustafa M, Rokaya D, Avetisyan A (2023). Dental Luting Cements: An Updated Comprehensive Review. *Molecules* 28: 1619.
82. Köroğlu A, Ekren O, Kurtoğlu. C (2012). Geleneksel ve Adeziv Dental Simanlar Hakkında Bir Derleme Çalışması. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2012: 205–216.
83. Croll Tp, Nicholson Jw (2002). Glass Ionomer Cements in Pediatric Dentistry: Review Of The Literature. *Pediatric Dentistry* 24: 423–429
84. Hill Ee (2007). Dental Cements For Definitive Luting: A Review And Practical Clinical Considerations. *Dental Clinics Of North America* 51: 643–658.
85. Alshabib A, Aldosary K, Algamaiah H (2024). A Comprehensive Review Of Resin Luting Agents: Bonding Mechanisms And Polymerisation Reactions. *The Saudi Dental Journal* 36: 234–239.
86. Burgess Jo, Ghuman T, Cakir D (2010). Self-Adhesive Resin Cements. *Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry: Official Publication Of The American Academy Of Esthetic Dentistry*. [Et Al] 22: 412–419.
87. Liu P-R (2005). A Panorama Of Dental CAD/CAM Restorative Systems. *Compendium Of Continuing Education İn Dentistry*
88. Mörmann Wh (2006). The Evolution Of The Cerec System. *Journal Of The American Dental Association* (1939) 137 Suppl.
89. Karaalioğlu O Dz (2008). Diş Hekimliğinde Uygulanan CAD/CAM Sistemleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 25–32.

90. Balasankar A, Anbazhakan K, Arul V, Mutharaian Vn, Sriram G, Aruchamy K, Oh Th, Ramasundaram S (2023). Recent Advances In The Production Of Pharmaceuticals Using Selective Laser Sintering. *Biomimetics* 2023, Vol 8, Page 330 8: 330.
91. Stein E (2014). History Of The Finite Element Method – Mathematics Meets Mechanics – Part I: Engineering Developments 399–442. Doi:10.1007/978-3-642-39905-3_22.
92. Lisiak-Myszke M, Marciniak D, Bieliński M, Sobczak H, Garbacewicz Ł, Drogoszewska B (2020). Application Of Finite Element Analysis in Oral And Maxillofacial Surgery—A Literature Review. *Materials* 2020, Vol 13, Page 3063 13: 3063.
93. Güler M, & Şs (2016). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 56–66
94. Zarone F, Apcella D, Sorrentino R, Ferro V, Aversa R, Apicella A (2005). Influence Of Tooth Preparation Design On The Stress Distribution in Maxillary Central Incisors Restored By Means Of Alumina Porcelain Veneers: A 3d-Finite Element Analysis. *Dental Materials* 21: 1178–1188.
95. Sreirekha A, Bashetty K (2010). Infinite To Finite: An Overview Of Finite Element Analysis. *Indian Journal Of Dental Research* 21: 425–432.
96. Magne P (2007). Efficient 3d Finite Element Analysis Of Dental Restorative Procedures Using Micro-Ct Data. *Dental Materials* 23: 539–548.
97. Ramoğlu S, Ozan O (2015). Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 9: 175–180
98. Shetty P, Hegde A, Rai K (2010). Finite Element Method- An Effective Research Tool For Dentistry. *Journal Of Clinical Pediatric Dentistry* 34: 281–285.
99. Taşkınısel E, & Gh (2015). Sonlu Elemanlar Stres Analizi ve Restoratif Diş Hekimliğinde Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 131–135.
100. Gokhale Ns. (2008). Practical Finite Element Analysis. Finite To Infinite.
101. Qingzhao Q, Jia H, Xiaoxian C, Bingqing S, Zixiang G, Yujia Z, Aonan W, Yong W, Yijiao Z (2024). Chairside Digital Design And Manufacturing Method For Children's Band And Loop Space Maintainers. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi / West China Journal Of Stomatology* 42: 234–241.

102. Sabeti Ak, Karimizadeh Z, Rafatjou R (2020). Maximum Equivalent Stress Induced And The Displacement Of The Developing Permanent First Molars After The Premature Loss Of Primary Second Molars: A Finite Element Analysis. *Dental And Medical Problems* 57: 401–409.
103. Fabris D,Moura J,Fredel M,Souza J,Silva F,Henriques B. (2022). Biomechanical Analyses Of One-Piece Dental Implants Composed Of Titanium, Zirconia, Peek, Cfr-Peek, Or Gfr-Peek: Stresses, Strains, And Bone Remodeling Prediction By The Finite Element Method. *Journal Of Biomedical Materials Research- Part B Applied Biomaterials*,79-88.
104. Shetty, S., Prasad, D. K., Kumar, R. (2024). Efficacy Of Save: A Novel Maxillary Protraction Device—A Finite Element Analysis. *International Journal Of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(12), 1377–1382.
105. Tribst J,Veerman A,Pereira G,Kleverlaan C,Dal Piva A. (2024). Comparative Strength Study Of Indirect Permanent Restorations: 3d-Printed, Milled, And Conventional Dental Composites. *Clinics And Practice*,Vol. 14,1940-1952.
106. Waly As, Souror Yr, Yousief Sa, Alqahtani Wms, El-Anwar M1 (2021). Pediatric Stainless-Steel Crown Cementation Finite Element Study. *European Journal Of Dentistry* 15: 77–83.
107. Shi H, Kang Ff, Liu Q (2024). Stress Induced On Permanent Mandible First Molar And Space Maintainer Under Normal Masticatory Forces: A Finite Element Study. *Peerj* 12: E17456.
- 108.Arikan, V., Kizilci, E., Ozalp, N. Ve Ozcelik, B. (2015). Effects Of Fixed And Removable Space Maintainers On Plaque Accumulation, Periodontal Health, Candidal And Enterococcus Faecalis Carriage. *Medical Principles And Practice*, 24(4), 311-317.
109. Qudeimat Ma, Fsa (1998). The Longevity Of Space Maintainers: A Retrospective Study. *Pediatric Dentistry*, 267–272.
110. Baroni C Farl (N.D.). Survival Of Different Types Of Space Maintainers. *Pediatr Dent* 360–361.
111. Rajab Ld (2002). Clinical Performance And Survival Of Space Maintainers: Evaluation Over A Period Of 5 Years. *Asdc Journal Of Dentistry For Children* 69: 156–60, 124.

112. Sasa Is, Hasan Aa, Qudeimat Ma (2009). Longevity Of Band And Loop Space Maintainers Using Glass Ionomer Cement: A Prospective Study. *European Archives Of Paediatric Dentistry: Official Journal Of The European Academy Of Paediatric Dentistry* 10: 6–10.
113. Castelo PM, Gavião MBD, Pereira LJ, Bonjardim LR. Masticatory Muscle Thickness, Bite Force, And Occlusal Contacts In Young Children With Unilateral Posterior Crossbite. *European Journal Of Orthodontics*. 2007;29(2):149–156.
114. Tetsuya K, Toshiyoshi T, Hiroyuki N (2005). A Determination Of Bite Force In Northern Japanese Children. *European Journal Of Orthodontics*,53–57.
115. Sonnesen L, Bakke M (2005). Molar Bite Force In Relation To Occlusion, Craniofacial Dimensions, And Head Posture In Pre-Orthodontic Children. *European Journal Of Orthodontics*,58–63.
116. Ma L, Teng Y, Wang Y, Zhao Y, Zhang X, Qin Q, Yin D (2025). Three-Dimensional Finite Element Analysis Of Digital Wire Loop Space Maintainers For Missing Deciduous Teeth. *Beijing Da Xue Xue Bao. Yi Xue Ban = Journal Of Peking University. Health Sciences*,376-383.
117. Aktaş, N. Ve Atabek, D. (2024). Fracture Resistance Of Space Maintainers Produced Using 3D Printable Materials. *European Journal Of Paediatric Dentistry*, 25(4), 264–269.
118. Cantekin K, Delikan E, Cetin S (2014). In Vitro Bond Strength And Fatigue Stress Test Evaluation Of Different Adhesive Cements Used For Fixed Space Maintainer Cementation. *European Journal Of Dentistry* 8: 314–319.
119. Pawar Ba (2019). Maintenance Of Space By Innovative Three-Dimensional-Printed Band And Loop Space Maintainer. *Journal Of Indian Society Of Pedodontics And Preventive Dentistry* 37: 205–208.
120. Rana V, Srivastava N, Kaushik N, Kapoor S (2022). 3D Space Management In Mixed Dentition. *Journal Of Positive School Psychology* 6: 4207–4210.114.
121. Watson L, Danley B, Versluis A, Tantbirojn D, Brooks J, Wells Mh (2023). A Structural Analysis Of 3d Printed Pediatric Space Maintainers.

