T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KEMİK DOKUDA VE İMPLANT ÇEVRESİNDEKİ GERİLME DAĞILIMINA FARKLI PROTEZ TASARIMLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gözde Nur NİŞANCİ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Murat YAYLACI

JÜRİ ÜYELERİ
Doç. Dr. Sabit Melih ATEŞ
Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖLMEZ

RİZE-2020
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEMİK DOKUDA VE İMPLANT ÇEVRESİNDEKİ GERİLME DAĞILIMINA FARKLI PROTEZ TASARIMLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Murat YAYLACI danışmanlığında, Gözde Nur NİŞANCİ tarafından hazırlanan bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 27/01/2020 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**Unvanı, Adı Soyadı**	**İmza**
Başkan	: Doç. Dr. Sabit Melih ATEŞ	
Üye	: Doç. Dr. Murat YAYLACI	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖLMEZ	

Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Kemik dokuda ve implant çevresindeki gerilme dağılımına farklı protez tasarımlarının etkisinin incelenmesi konulu tez yapısal çalışmasında Sonlu Elemanlar Yöntemi yardımıyla modellemeler yapılarak statik analizler gerçekleştirildi.

Yüksek lisans tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini esirgemeyen, pozitif düşünceleriyle her zaman motive eden, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve öğreticiliğiyle çalışmamı bilimsel bir düzeye taşıyan Sayın Hocam Doç. Dr. Murat YAYLACI'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın gerçekleşmesi sürecinde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Dr. Sinan KÖSE'ye, Sayın Doç. Dr. Sabit Melih ATEŞ'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖLMEZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan ve fikir alışverişi yaptığım İnşaat Mühendisi Merve TERZİ' ye ve Mimar Gamze Eda TURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Girmiş olduğum bütün yollarda ve hayatımın her aşamasında maddi ve manevi yönden fazlasıyla destek aldığım sevgili annem Hülya NİŞANCİ'ye ve babam Muhammet NİŞANCİ'ye teşekkür ediyorum.

Gözde Nur NİŞANCİ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan "Kemik Dokuda ve İmplant Çevresindeki Gerilme Dağılımına Farklı Protez Tasarımlarının Etkisinin İncelenmesi" başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 27/01/2020

Gözde Nur NİŞANCİ

Uyarı: *Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

KEMİK DOKUDA VE İMPLANT ÇEVRESİNDEKİ GERİLME DAĞILIMINA FARKLI PROTEZ TASARIMLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gözde Nur NİŞANCİ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Murat YAYLACI

Bu çalışmada, farklı protez tasarımlarının kemik dokuda, abutment ve dental implant çevresindeki gerilme dağılımına olan etkisi sonlu elemanlar tabanlı ANSYS paket programının Workbench modülü ile incelenmiştir.

Birinci bölümde, dental implant problemlerinin tarihsel gelişiminden bahsedilmiş ve konuyla ilgili daha önce yapılmış bazı çalışmalar özetlenmiştir. Yine bu bölümde, biyomekanik, dental implantlar, çene kemiği, dişler ve sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, modelin tanımı yapılmış ve çözümü sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilmiştir. Çalışmada alt çene tam dişsiz bir vakada Nobel Biocare firmasının ürettiği Nobel Active implantlar ve abutmentler kullanılmıştır. Yerleşim düzeni olarak biri 3 implantlı ve üçü 2 implantlı olmak üzere toplam 4 farklı durumun analizi yapılmıştır. İmplant ve abutment malzemesi olarak titanyum kullanılıp gerekli sınır şartları ve yüklemeler yapıldıktan sonra gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde, modele ilişkin çeşitli sayısal uygulamalar yapılıp, sonuçlar tablolar ve şekillerle irdelenmiştir. Dördüncü bölümde, bu çalışmadan çıkartılan sonuçlar ve öneriler verilmiştir. Üçlü dental implant tasarımında gerilmelerin, şekil değiştirmelerin ve yer değiştirmelerin diğer yerleşimlere göre daha düşük değerler aldığı sonucuna varılmıştır.

2020, 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik, Dental İmplant, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Gerilme Analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT PROSTHESIS DESIGNS ON GERİLMES DISTRIBUTION IN BONE TISSUE AND IMPLANT ENVIRONMENT

Gözde Nur NİŞANCİ

Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat YAYLACI

In this study, the effect of different prosthesis designs on the stress distribution around the abutment and dental implant in bone tissue was investigated with Workbench module of ANSYS package program using finite element method.

In the first chapter, the historical development of dental implant problems is mentioned and some previous studies are summarized. In this section, some critical informations are also given about biomechanics, dental implants, jaw bone, teeth and finite element method.

In the second chapter, the definition of the model is prapared and the solution is obtained according to the finite element method. In this study, Nobel Active implants and abutments manufactured by Nobel Biocare company were used for complete toothless lower jaw case. Totally 4 different cases, one layout with 3 implants and three layouts with 2 implants, were analyzed. Titanium was used as an implant and abutment malzeme. After the required boundary conditions and loads were applied. The stress, strain and displacement values were determined.

In the third part, various numerical applications are made and the results are examined with tables and figures. In the fourth chapter, the conclusions and recommendations of this study are given. In the design of triple dental implants, it was concluded that stresses, strains and displacements have lower values compared to other layouts.

2020, 61 pages

Keywords: Biomechanics, Dental Implant, Finite Element Method, Stress Analysis

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ II
ÖZET III
ABSTRACT IV
İÇİNDEKİLER V
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
TABLOLAR DİZİNİ X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ XI
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Biyomekanik 2
1.3. Alt Çene Kemiği 3
1.4. Dişler 4
1.5. Dental İmplant 5
1.6. Endosteal İmplantlar-Kemik içi 7
1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi 7
1.8. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları 8
1.9. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları 9
1.10. Dental İmplantolojide Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanılması 9
1.11. Literatür Özeti 10
1.12. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 16
2.1. Modelleme 17
2.1.1. Kemik Dokunun Modellenmesi 17
2.1.2. Diş Protezinin Modellenmesi 19
2.1.3. Dental İmplant ve Abutmentin Modellenmesi 19
2.1.4. Sistem Montaj Yapılarının Oluşturulması ve Yerleşim Düzenleri 22
2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi Çözümü 25
3. BULGULAR 27
3.1. Dental İmplantların Birinci Küçük Azı, İkinci Küçük Azı ve Birinci Büyük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model 27

3.2. Dental İmplantların Birinci Küçük Azı ve Birinci Büyük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model 34
3.3. Dental İmplantların Birinci Küçük Azı ve İkinci Küçük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model 41
3.4. Dental İmplantların Birinci Büyük Azı ve İkinci Küçük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model 47
3.5. Tasarlanan Modellerin Karşılaştırılması 52
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR 56
5. ÖNERİLER 57
KAYNAKLAR 58
ÖZGEÇMİŞ 61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Mandibula(alt çene kemiği) 4
Şekil 2. İnsandaki alt ve üst çene kemiğinde bulunan dişler 4
Şekil 3. Diş anatomisi....5
Şekil 4. Kemikte yerleştirilmiş dental implant örneği 6
Şekil 5. Oluşturulan kemik doku görünümü....18
Şekil 6. Katı modellemesi oluşturulan protez....19
Şekil 7. Klinik olarak kullanılan dental implant örnekleri 19
Şekil 8. Dental implant modellemesi (a)Ön düzlem, (b)Üst düzlem, (c)Üç boyut....20
Şekil 9. Dental implant modellemesi kesit görünümü 21
Şekil 10. Abutment modellemesi....22
Şekil 11. Abutment modellemesi kesit görünüş 22
Şekil 12. 3 implatın sırası ile birinci küçük azı dişinin, ikinci küçük azı dişinin ve birinci büyük azı dişinin altına koyulması 23
Şekil 13. 2 implanttan birinin birinci küçük azı dişinin, diğerinin de birinci büyük azı dişinin altına koyulması 23
Şekil 14. 2 implanttan birinin birinci küçük azı dişinin, diğerinin de ikinci küçük azı dişinin altına koyulması 24
Şekil 15. 2 implanttan birinin ikinci küçük azı dişinin, diğerinin de birinci büyük azı dişinin altına koyulması 24
Şekil 16. Model ağ yapıları (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3, (d) Model 4....26
Şekil 17. Dental implant ve abutment kodlaması 27
Şekil 18. Kemikte gerilme dağılımı 27
Şekil 19. Kemikte şekil değiştirme 28
Şekil 20. Kemikte toplam yer değiştirme....28
Şekil 21. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant (c) 1 numaralı implant....29
Şekil 22. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant, (c) 1 numaralı implant....30
Şekil 23. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant, (c) 1 numaralı implant....31
Şekil 24. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment....32
Şekil 25. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment....33

Şekil 26. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment 34

Şekil 27. Kemikte gerilme dağılımı 35

Şekil 28. Kemikte şekil değiştirme 35

Şekil 29. Kemikte toplam yer değiştirme 36

Şekil 30. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 36

Şekil 31. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 37

Şekil 32. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 38

Şekil 33. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 39

Şekil 34. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 39

Şekil 35. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 40

Şekil 36. Kemikte gerilme dağılımı (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş 41

Şekil 37. Kemikte şekil değiştirme (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş 42

Şekil 38. Kemikte toplam yer değiştirme (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş 42

Şekil 39. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 43

Şekil 40. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 44

Şekil 41. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant 44

Şekil 42. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 45

Şekil 43. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 46

Şekil 44. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment 46

Şekil 45. Kemikte gerilme dağılımı 47

Şekil 46. Kemikte şekil değiştirme 47

Şekil 47. Kemikte toplam yer değiştirme 48

Şekil 48. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant 48

Şekil 49. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant 49

Şekil 50. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant.....50

Şekil 51. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment.....50

Şekil 52. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment.....51

Şekil 53. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment.....52

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Malzeme özellikleri 25
Tablo 2. Kemik için değerler.....52
Tablo 3. Dental implant 1 için değerler 53
Tablo 4. Dental implant 2 için değerler 53
Tablo 5. Dental implant 3 için değerler 53
Tablo 6. Abutment 1 için değerler.....54
Tablo 7. Abutment 2 için değerler.....54
Tablo 8. Abutment 3 için değerler.....54

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SEA	Sonlu Elemanlar Analizi
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
MPa	Megapascal
N	Newton
Mm	Milimetre

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlığın başlangıcından bu yana değişik nedenlerle insanın vücudundaki herhangi bir uzvun işlevini sağlayamaması ya da kaybetmesinin ardından bu uzvun yerini dolduracak yeni ve işlevsel bir unsur arayışı hep var olmuştur.

Mekaniğin ilkelerini kullanarak öncelikli olarak tanı ve tedavi amaçlı olmak üzere tıbbi ve biyolojik problemleri araştırarak çözümler üretmek amacıyla ilerleyen Biyomekanik Ana Bilim Dalı'nda genel olarak solunum, iskelet ve kas, kalp ve damar sistemlerinin biyomekaniği, yumuşak ve sert dokuların, biyolojik sıvıların, protez ve doku-implant ara yüzlerinin, hücrelerin mekaniği konularında çalışılması hedeflenmekle birlikte özelleşmiş konular arasında, kan akışının ve hava akışının mekaniği, akışın doku veya protezle etkileşimi, hücrelerin, hücre zarlarının ve hücre içi yapıların biyomekanik açıdan incelenmesi, mekanik çevrenin hücre ve dokuda oluşturduğu etkinin incelenmesi; diş biyomekaniği, diş doku ve protezlerinin tasarım ve incelenmesi, çiğneme mekaniği, işlevsel doku mühendisliği, yapay dokular da dahil olmak üzere iyileştirici tıbbi yöntemlerde biyomekanik unsurların rolünün araştırılması, yaralanma biyomekaniği, çarpma ve travma mekaniği, insan-makine etkileşiminin dinamiği, moleküler biyomekanik, biyomoleküllerin mekaniğinin incelenmesi, ortopedik biyomekanik, kırılma ve kaynamanın mekaniği, implant ve bunların dokuya bağlanmasının mekaniği, kemik ve eklem mekanikleri, doğal ve yapay eklemlerin yıpranması, rehabilitasyon biyomekaniği, vücut duruşunun incelenmesi, protez ve ortoz mekaniği gibi konular yer almaktadır.

Eski çağlarda kaybolan bir dişin yerine taş, tahta ve hayvan dişinin çene kemiklerinde destek yapı olarak kullanılması arayışa getirilen çözümlerden birkaçı olarak sayılabilir. Dental implantlar, bu çeşit malzemelerden en çok ihtiyaç olanıdır ve günümüzde yapılan çalışmalarla birlikte insan çenelerine uygulanmaktadır. Dental implantlar, herhangi bir nedenden dolayı kayba uğramış diş veya dişlerin yerine çeneler arasında oluşan kuvvetleri eklem noktalarına iletebilmek amacıyla, rijit ya da hareketli protezlerin kemik zarı veya mukoza altına, çene kemiğinin içerisine yerleştirilir. Üretiminde biyouyumlu malzemeler kullanılmaktadır.

Günümüzde dental implantlar için birçok farklı tür ve marka bulunabilmektedir. Bunun yanı sıra dental implant yapımında kullanılan malzemeler de oldukça çeşitlidir. Malzeme seçimi yapılırken öncelikle istenilen kriterlerden biri mekanik özelliklerin sağlanmasıdır. Dental implantların başarısını belirlemede malzeme seçimi ve yapılacak geometrik tasarım oldukça önemlidir. Geometrik tasarımlar sonlu elemanlar metoduyla oluşturulabilirler.

Karmaşık mühendislik problemlerinin basite indirgenerek kontrol edilebilir parçalarla çözümünü sağlayan sonlu elemanlar metodu pek çok mühendislik uygulamasında kullanılan yaygın ve kullanışlı bir çözüm metodudur.

Sonlu elemanlar analizi sadece mühendislik alanında değil dental implant yapımında uygulama öncesinde oluşabilecek sorunları göstermesinden ve implantın üzerine gelecek kuvvetlerle etrafında oluşturacağı gerilmeleri gösterdiğinden dolayı son yıllarda en yaygın kullanılan metotlardan biridir. Sonlu elemanlar analizi, biyomekanik problemlerde karmaşık olan geometriyi küçük parçalara ayırarak çözümleyip, gerçeğe yakın matematiksel sonuçlar elde eden bir simülasyon tekniğidir. Sonlu elemanlar analizi (SEA), matematiksel model içindeki herhangi bir yerde detaylı nicel veri sağlama yeteneğine sahiptir. Böylece SEA, diş hekimliğindeki implant sistemlerinin değerlendirilmesinde değerli bir analitik araç haline gelmiştir.

1.2. Biyomekanik

Biyomekanik özellikle hareket mekaniğine odaklanan hem temel hem de uygulamalı bir bilim dalıdır. Daha büyük olarak kinesiyoloji (insan hareketleri üzerine çalışan bilim dalı) biliminin bir parçasıdır. Araştırmaları ve bulguların pratik kullanımını sağlar. Yalnızca biyoloji ve mühendislik alanlarında değil bu bilimlerin yanı sıra fizik, kimya, matematik, anatomi ve fizyoloji bilimlerinden de destek alır. Birçok farklı alanda kullanılan biyomekanik bilimi üzerine son zamanlarda yapılan çalışmalar artmış ve dikkat çeken bir bilim dalı haline gelmiştir.

Biyomekanik, canlıların sahip olduğu fiziksel mekanizmaların çeşitli sebeplerden dolayı kaybedilen işlevleri belirlemek ve bu işlevlerin tekrar kazanılmasını sağlayacak canlı yapıya en uygun çözümü arayan bilim dalıdır. Bunun yanı sıra, protez ve destek ünitelerinin hem tasarım hem de imalatı için kullanılmaktadır. Mevcut olan anatomik yapıları incelemek için kullanılan biyomekanik bilimi birçok farklı alanda çeşitli bakış

açıları sunan bir alandır. Biyomekanik biliminin fen bilimleri ve mühendislikteki uygulama alanları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Fiziksel yüklemelerin modellenmesi ve simülasyonu,
- Eklem modellemeleri,
- Fiziksel kapasite,
- Spor Biyomekaniği,
- Kas mekaniği,
- Doku mühendisliği,
- Protez, ortoz, implantlar

Birçok farklı alanda kullanım alanına sahip olan biyomekanik bilimi günümüzde özellikle dental implant tasarımlarında kullanılmaktadır. Dental implantların tasarımı sırasında oluşan başlıca sorunlar arasında, alt veya üst çene kemiğine konumlandırılan implantların mekanik davranışlarının insan yapısına olan uyumlulukların belirlenmesi bulunmaktadır.

1.3. Alt Çene Kemiği

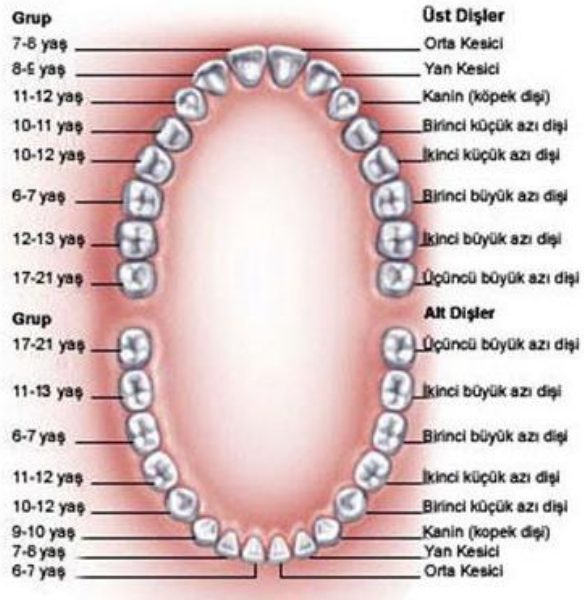
Şekil 1'de gösterilen alt çene kemiği, Latince 'de mandibula adını almaktadır. Kafatası üzerindeki en büyük kemik olan mandibula yine kafatasında tek hareket edebilen kemiktir. Aynı zamanda konuşma ve çiğneme fonksiyonlarını gerçekleştirir. Kafatasına bağlantısı temporomandibular eklemleriyle gerçekleşir. Hareket yeteneğini alt çene kemiğine veren bu eklemlerdir.



Şekil 1. Mandibula (Alt çene kemiği)

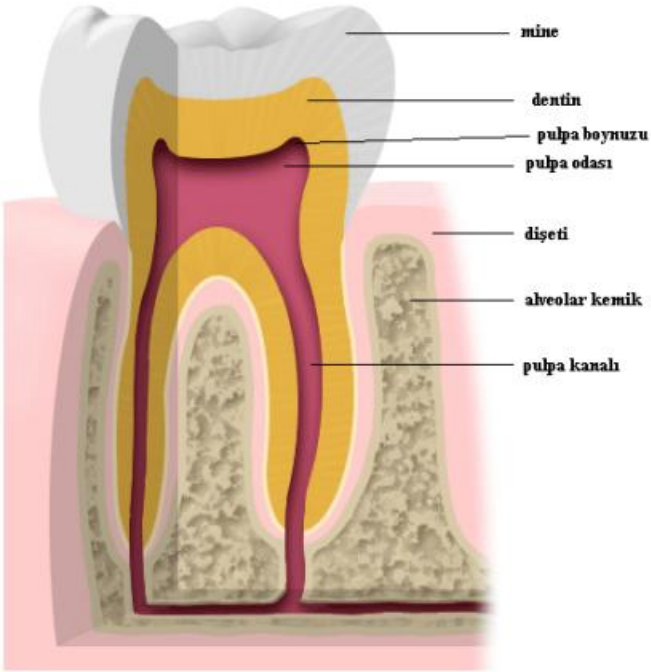
1.4. Dişler

Şekil 2'de gösterilen dişler ağızda bulunan, bir uçları üst ve alt çene kemiklerinin içinde gömülü şekilde olan, diğer uçları ise serbest olan küçük kemik görünümünde ve sertliğindeki oluşumların her biri olup, mekanik sindirimi başlatmak için besinlerin ufalanıp parçalanmasına yardımcı olur. Kendini çevreleyen destek dokuları korur ve gelişmelerini sağlar. Ayrıca konuşmayı ve seslerin doğru bir şekilde çıkmasını sağlarlar.



Şekil 2. İnsandaki alt ve üst çene kemiğinde bulunan dişler

Dişler, şekil 3'te görülen mine, dentin, pulpa ve sement olarak adlandırılan yapılardan oluşur. Mine, vücuttaki en sert maddedir. Doğal dişi en dıştan çevreleyen bir katmandır. Dentin, minenin altındaki tabakadır. Yetişkin bir insanda dişin %75'ini oluşturur. Pulpa, diğer adı diş özü olan dişin orta kısmında bulunan yumuşak dokuya verilen addır. Sement, kökün etrafını kaplayan kemiksi tabakadır. Çok incedir ve diş kökünün çene kemiğine tutunmasını sağlar.

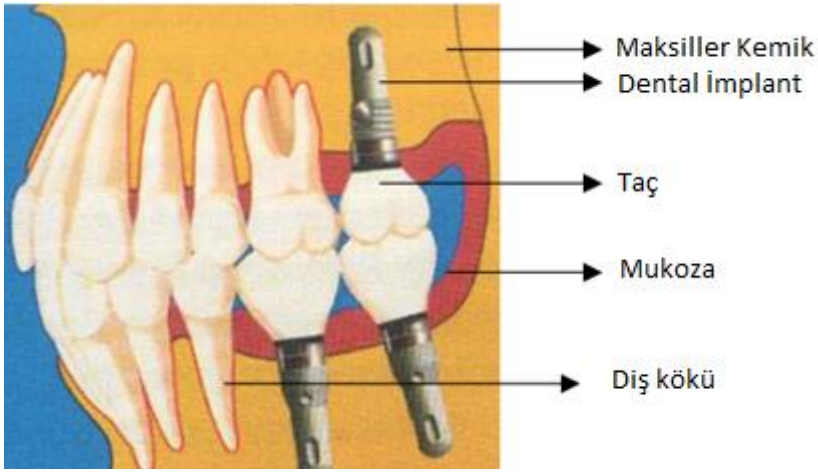


Şekil 3. Diş anatomisi

1.5. Dental İmplant

İmplantasyon, cansız doku veya biyomateryallerin, canlı bir dokuya yerleştirilmesi ya da nakledilmesi anlamında kullanılmaktadır. Nakledilen bu cansız biyomateryaller ise implant adını almaktadır. Başka bir deyişle; vücutta eksik olan cansız dokuyu tamamlamak için kullanılan yapay aygıt olarak tanımlanabilir.

Diş hekimliğinde ağızda eksik diş veya dişlerin yerini alan hareketli ya da sabit protezlere destek olmak amacı ile kemik içine ya da üzerine yerleştirilen implantlara dental implant adı verilmektedir ve şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Kemikte yerleştirilmiş dental implant örneği

Diğer bir deyişle, mukozal periosteal tabakanın altındaki veya kemik içine sabit ya da çıkarılabilir bir protezin tutulmasını ve desteklenmesini sağlamak amacıyla kemik dokularına implante edilmiş bir protez aygıtı veya alloplastik madde olarak tanımlanmaktadır.

Diş implantı tedavisinin uygun entegrasyonunda ve uzun dönem başarılı olması için birçok faktör vardır. Bu faktörler, yüzey topoğrafyası, iplik tasarımı, implant materyali, kemik kalitesi, cerrahi teknik ve implant yükleme koşullarını içermektedir.

Sayısız madde implant olarak kullanılmıştır. Gümüş kapsüller, oluklu porselen ve iridyum tüpleri bunlardan birkaçıdır. Değişen zaman ve artan imkanlar sayesinde dental implantların geliştirildiği materyaller, altın bağ teli, fildişi, krom, kobalt, iridyum ve platine kadar çeşitlilik göstermektedir. Spiral paslanmaz çelik implant tasarımlarından çift sarmal kreasyonlara ve endosöz kök formlarına, diş araştırmacıları tarafından bir zamanlar doğal dişlerin tuttuğu pozisyonları değiştirmek için birçok yapı üretilmiştir.

En yeni laminan kaplama, günümüz implant çalışmalarında odak noktasıdır. Dental implant çalışmasında zaman geçtikçe, materyaller, formlar ve yüzey kaplamaları, tüketicinin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları için diş değiştirme seçeneklerinde en iyisini elde etmesini sağlamak üzere rafine edilmiş ve yeniden yapılandırılmıştır.

Tarih boyunca kullanılmış birçok implant türünden en yaygın olanları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.

1. Endosteal İmplantlar-Kemik içi
2. Subperiostal İmplantlar-Kemik üzeri
3. Transosteal İmplantlar-Kemik boyunca

Günümüzde endosteal implant türü haricinde diğer tüm tipler kısa ömürlü ve çok tercih edilmemektedir. (Richardson, 2010)

1.6. Endosteal İmplantlar-Kemik içi

Dişsiz krete veya çekim soketi boşluğuna implant frezleri yardımıyla yuva açılarak tamamen kemik içerisine yerleştirilerek uygulanan implantlara endosteal implantlar denir. Endosteal implantlar kendi içerisinde dörde ayrılırlar:

a. Vida tipi implantlar
b. Silindirik implantlar
c. Blade implantlar
d. Vent tipi implantlar

Günümüzde en çok tercih edilen implant türü vida tipi implantlardır. Bu implantlar kök formu implantlar olarak da isimlendirilmektedir. Vida tipi implantlarda stabilizasyon yivler vasıtasıyla mekanik olarak gerçekleşmektedir. İmplant türleri arasında primer stabilizasyonu en başarılı olan implant formudur. Vida tipi implantlar üzerlerine gelen kuvvetleri yivler aracılığı ile kemiğe iletmektedir. Yivlerin vasıtasıyla kemiğe gelen kuvvetler hem homojen bir şekilde hem de daha düşük seviyelerde aktarılabilmektedir.

1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi

İlk kez 1960'ların başlarında havacılık ve uzay endüstrisinde yapısal problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Günümüzde ise statik anlalizlerde, akışkanlar mekaniğinde ısı transferlerinin incelenmesinde, elektromanyetik analizlerin yapılması vb. gibi çok sayıda farklı alanda kullanılmaktadır. İnşaat, uçak ve otomotiv gibi sektörlerde de yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analiz yöntemi, analizi için çok pahalı deneysel araç ve yöntemler gerektiren birçok malzemenin kolaylıkla incelenmesini sağlamaktadır. Bu alanlarda üretilmesi gereken protatiplerin üretilmeye başlanmadan önce bilgisayar ortamında yapılan analizlerle en uygun dizayn oluşturulmasını sağlayan bir yöntemdir. Karmaşık bir geometriye sahip materyallerin analizini yapmak oldukça zordur. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometriye sahip materyallerin analizinin kolaylıkla yapılmasını sağlamaktadır.

Bir nevi bilgisayar üzerinde tabiatın taklit edilmesi olarak tanımlanılabilen sonlu elemanlar yöntemi biyomekanik sistemin gerçeğe en yakın matematiksel modelini oluşturup bilgisayar yardımıyla bu modelin çözümlenmesi esasına dayanmaktadır. Çağımızın en modern ve önemli bilimsel tekniklerinden biridir.

Sonlu elemanlar yönteminin dental implantoloji alanında ilk kullanımı 1970'li yıllarda olmuştur. Tesk ve Widera tarafından ilk defa 1973 yılında pin ve blade tipi iki farklı implantı 2 boyutlu olarak modelleme yapılmıştır. Ardından yöntem uygulanarak implant ve implant çevresinde oluşan gerilme dağılımı ölçülmüştür. Bu çalışma, birçok çalışmaya ve çalışmacıya yön gösterici olmuştur.

1.8. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları

Düzgün bir geometriye sahip olmayan karmaşık katı yapılar ve kendi içerisinde farklı malzeme özelliklerine sahip karmaşık yapılar kolaylıkla modellenebilir.

Düzgün geometri göstermeyen katılar ve farklı malzeme özelliklerine sahip çeşitli katmanlardan oluşan nesnelerin, katmanlarının fiziksel özellikleri ve katmanlar arası birleşim özellikleri tam olarak yansıtılarak gerçek yapıya çok yakın model elde edilebilir.

Farklı yüzeyler arasındaki temas, adaptasyon, sürtünme ve yapışma durumları gerçeğe en yakın şekilde belirlenebilir.

Gerilme, şekil değiştime ve yer değiştirme miktarları ayrıntılı bir şekilde elde edilebilir.

Analiz sonuçları hem incelenen objenin bütünü için, hem de istenilirse incelenmek istenen bölgedeki elemanlara ait olarak ayrı ayrı değerlendirilebilir.

Eleman boyutları kullanıcı tarafından ayarlanabilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir.

Oluşturulan modelin geometrisi, sınır şartları, kuvvetin özellikleri gibi değişkenler değiştirilip, analiz istenildiği kadar tekrarlanabilir.

Elde edilen çok sayıdaki verinin anlaşılıp yorumlanabilmesi için, görselleştirme işlemi kullanılabilir. Bu işlemde elde edilen veriler renk kodları olarak, istenen açılarda alınan görüntülerin üzerine işlenmektedir. Bu görüntülerde her renk bir değer aralığını gösterirken, renklerin hangi değer aralığına denk geldiği görüntülerde yer alan bir ölçek

ile gösterilip ölçek renk skalasının modeller üzerinde daha net anlaşılması açısından istenildiği gibi ayarlanabilmektedir.

1.9. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları

Gerçek şartların katı modeller üzerinde uygulanması, bilgisayar donanımı ve sonlu elemanlar analizi yazılım programının kapasitesi ile sınırlıdır.

Analizlerin yapılabilmesi için ihtiyaç olan donanıma sahip bilgisayar ve yazılımların maliyetleri yüksektir.

Gerekli yazılımların kullanılabilmesi için ileri seviye yazılım bilgisine sahip olunması gerekmektedir.

Gelişen teknoloji ile doğru orantılı olarak mevcut olan programların düzenli olarak güncellenmesi gerekmektedir.

Modellenen yapılar, ağız içinde statik durumdan çok dinamik yükler altındadır. Yapıların analizinin bu yöntem ile dinamik olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmasına rağmen uygulanması zor olmaktadır.

1.10. Dental İmplantolojide Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanılması

Dental implantolojide var olan tasarımların değerlendirmesine ve yeni tasarımların modellenmesine biyomekanik prensipler yardımcı olmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi, yapılan fonksiyon sırasında implant üzerinde ya da çevresindeki dokularda oluşacak olan gerilme miktarının cerrahi işlem öncesinde yaklaşık olarak öngörülmesi ve değerlendirilmesi için mühendislik alanından dental implant alanında uyarlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi üzerinde çalışılan implantın karmaşık biyomekaniğini açıklayan, sayısal sonuçlar elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir.

1.11. Literatür Özeti

Farklı geometrik yapıya sahip protezlerin oluşturduğu gerilmelere ilişkin literatürde yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir

Strgaroiu vd. (1998) çalışmalarında implant çevresindeki kemikte restorasyon tipinin gerilme dağılımına etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar analiziyle incelemişlerdir. Üç boyutlu sonlu elemanlar analiz metodu, titanyum implantların etrafındaki kemiğin gerilmeini, eksenel yükler altında kısmen dişsiz bir çene için üç tedavi tasarımı kullanarak değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu yüklerin her biri için, en yüksek gerilme iki implant tarafından desteklenen bir konsol protezi ile modelde hesaplanmıştır. İki implantta geleneksel sabit bir kısmi protez bulunan modelde daha az gerilme bulunmuştur ve üç implant tarafından desteklenen üç bağlantılı kron bulunan modelde en düşük gerilme hesaplanmıştır.

Geng vd. (2001) çalışmalarında SEA kemik implantı arabirimi, implant protezi bağlantısı ve çoklu implant protezleriyle ilişkili kullanımını araştırmışlardır. Yaptıkları analizlerde bazı varsayımlar SEA modelinin doğruluğunu büyük ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Bunlar model geometrisi, malzeme özellikleri, uygulanan sınır koşulları ve kemik implantı arayüzünü içeren varsayımları içermektedir. Daha gerçekçi modeller elde etmek için gelişmiş dijital görüntüleme tekniklerini kullanmışlardır.

Chun vd. (2002) çalışmalarında çevresel çene kemiğinde oluşturulan gerilme dağılımı üzerindeki etkileri incelemek ve gerilme dağılımı için optimal bir diş şekli belirlemek için çeşitli dental implant şekilleri için sonlu elemanlar analizi yapmışlardır. Küçük bir yarıçapa sahip kare şeklindeki diş şeklinin, gerilme dağılımında analizlerde kullanılan diğer dental implantlardan daha etkili olduğu bulunmuştur. İmplantın optimum boyutlarını belirlemek için, önceki analizlerden elde edilen iplik şekli ile, başka uç tasarımları ve çeşitli yük yönleri için diş yüksekliği gibi diğer tasarım parametrelerine yönelik implantlar üzerinde ek analizler yapılmıştır.

Kunavisarut vd. (2002) çalışmalarında dental implant destekli pasif protezlerin, konsol protezlerinin ve çeşitli tıkayıcı kuvvetlerin protezler, implant bileşenleri ve çevresindeki kemikteki gerilme dağılımı üzerindeki etkisini sonlu elemanlar analizini kullanarak araştırmayı amaçlamışlardır.

Watanabe vd. (2003) çalışmalarında bir implant gövdesinin eğim derecesini değiştirerek ve sonlu-gerilme analizi yöntemini kullanarak yükleme pozisyonunu ve

yönünü değiştirmenin neden olduğu gerilme dağılımını analiz etmek için tasarımlar yapmışlardır. Eğimli implantların çevresinde aşırı yük oluşması, kemikte mikro çatlaklara yol açarak implantın gevşemesine ve nihayetinde başarısızlığa neden olduğu görülmüştür.

Bergkvist vd. (2008) çalışmalarında implant destekli sabit ile dişsiz maksilla tedavisinde tek aşamalı cerrahi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Çıkarılabilir protezlerle ilgili sorunlar iyileşmeyi tehlikeye atmaktadır. Mekanik bir bakış açısına göre SEA simülasyonu, splintlemenin hasar oluşumunu azalttığı hipotezini desteklemiş ve kemik dokusunda klinik olarak uygunluğu görülmüştür.

Huang vd. (2008) çalışmalarında implant tasarımlarının kemikteki gerilmesi ve arayüzey kayması analizini doğrusal olmayan sonlu elemanlar analiziyle gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılarak, kemik çevresindeki gerilme ve yüklenmiş implantın boyutlarını araştırmışlardır.

Bonnet vd. (2009) çalışmalarında implant destekli bir protezin biyomekanik davranışını, kemiğin izotropik veya anizotropik özelliklerini kullanarak sonlu eleman analizi ile incelemeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, çiğneme sırasındaki gıda maddesi pozisyonunun etkisi de analiz etmişlerdir. Bu çalışma nümerik simülasyonlarda kemiğin anizotropik davranışının ihmal edilemediğini göstermiştir. Protezin asıl tasarımı, tüm metalik parçaların yükleri destekleme kapasitesiyle ilgili olarak optimal değildir. Çalışma sonucunda, implantların eğilmesinin kemik implant arayüzünde yüksek bir gerilme seviyesine neden olduğu gösterilmiştir.

Ding vd. (2009) çalışmalarında yükleme için dental implantlarla bir mandibulanın 3 boyutlu sonlu eleman modelini oluşturmak ve farklı çaplardaki implantların etrafındaki kemikteki gerilme dağılımını analiz etmeyi amaçlamışlardır. Farklı çaplarda hemen yüklenen implantlarda implant-kemik arayüz gerilme dağılımını üç boyutlu sonlu elemanlar analizini kullanılarak incelemişlerdir.

Hsu vd. (2010) çalışmalarında sonlu elemanlar analizinin diş hekimliğinde uygulamasını incelemişlerdir. Biyomekanik faktörler implant başarısında veya başarısızlığında önemli rol oynar. Okluzal kuvvetlerin uygulanmaması,implant-protez kompleksi içindeki gerilmeleri ve implant etrafındaki kemik yeniden şeklillendirme işlemini etkiler. İmplant destekli protezler için optimize edilmiş biyomekanik koşullar elde etmek için, protez başarısını etkileyen biyomekanik faktörlerin bilinçli bir şekilde

göz önünde bulundurulması önemlidir. Kemik ve diş implantlarındaki gerilimleri incelemek için birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi (SEA), matematiksel model içindeki herhangi bir yerde detaylı nicel veri sağlama yeteneğine sahiptir. Bu yüzden SEA, diş hekimliğindeki implant sistemlerinin değerlendirilmesinde değerli bir analitik araç olarak kullanıldığı anlaşılmıştır.

Kumar vd. (2011) çalışmalarında implant destekli sabit protez tasarımlarında, implant ve diş etrafındaki gerilme dağılımının sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Kemiğe daha az gerilme ileten bir tasarım önermek amacıyla, farklı diş implant destekli sabit protez tasarlamışlardır. Bu tasarım kapsamında oklüzal kuvvetler altında bir implant ve doğal bir diş etrafında oluşan gerilmeleri değerlendirmişlerdir. Bu çalışma, diş ve implant abutmentinin sabit protez destekleri olarak birlikte kullanılması durumunda implant abutment destekli alanda NRC'lerin kullanılmasını önermektedir. İmplant abutment bölgesine yerleştirilen NRC, diş ve implant tarafından desteklenen sabit bir protezde implant ve doğal diş etrafındaki gerilmei azaltır ve her ikisinin de ömrünü uzatır.

Lanza vd. (2011) çalışmalarında abutment olarak kullanılan diş sayısını değiştirirken, arka bölgede yer alan sabit implant destekli takma bir dişi değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İki farklı modelleme yapılarak 100 N'luk bir yük uygulanmıştır. Von Mises gerilme değerleri karşılaştırılmış ve yapılan karşılaştırma sonucunda protezde ek bir diş ile daha az gerilme oluştuğu görülmüştür.

Zmanlou (2011) çalışmasında termal yük altındaki kaplama yapılmış bir insan dişinin zamana bağlı gerilme analizini yapmıştır. Kaplama yapılmış dişte zamana bağlı ve termal yük altında kullanılan yapıştırıcı özelliklerine ve farklı metallere bağlı olarak ortaya çıkan gerilme dağılımı incelenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında çatlak oluşumu ve kaplama (kuron)-yapıştırıcı (siman)-diş sert dokusu (dentin) ara yüzeylerindeki ayrılma olasılıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

Köse (2013) çalışmasında optik tarama metodu kullanarak gerçek bir hastaya ait protez taranmış, elde edilen verilere uygun alt çene kemiği yapısı oluşturulup bu yapıdan çeşitli hasarlı modeller elde edilmiştir. Çalışmanın analiz aşamasında, farklı yükleme şartları altında çene kemiğindeki hasarın, abutment boyu ve protez malzeme dolgusu kullanılarak telafi edilmesiyle oluşturulan yeni modellerin, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerilme analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizler ile hasarsız durumdaki çene kemiğinin gerilme analizlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı

yükleme şartları altında hasarlı yapıların telafisi için uygulanabilir en ideal yöntemin protez malzeme dolgusuyla sağlanabileceği bulunmuştur.

Liu vd. (2013) çalışmalarında üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (SEA) ile periferik kemikteki gerginlik dağılımını, abutmentlerdeki gerginliği ve abutmentlerdeki gerilmeyi ve farklı yükleme koşullarında farklı implantlarla tutturulan mandibular aşırı basınçların protez stabilitesini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İmplant sayısının mandibular implant ile korunan /desteklenen gecikme sürelerinin biyomekanik davranışına etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiştir.

Shahmiri vd. (2013) çalışmalarında implant destekli kısmi protezi sonlu elemanlar analizini kullanılarak incelemişlerdir. Sonlu eleman analizi (SEA) kullanılarak yüklemede aKennedy sınıf I implant destekli çıkarılabilir kısmi protez (IARPD) etkisi incelenmiştir. Standart RPD'ler başlangıçta arkadaki implant yükleme noktasını bulunduracak şekilde tasarlanmamıştır. Arkaya yerleştirilmiş implantların RPD'ye sokulmasının yük dağılımına bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Cicciu vd. (2014) Bu makale çimento ve vida tutulan diş implantının tek diş taç ptotezine karşı FEM değerlendirmesini kapsamaktadır. Eksik diş alanlarını kurtarmak için diş implantlarının uygulaması öngörülebilir bir teknik olmaktadır. Ancak implantın uzaması, kemik dokusu ve protez bileşenleri üzerindeki gerilme dağılımı hakkındaki uzun vadeli klinik sonuçlar için iyice araştırılmalıdır. Bu çalışmanın amacı FEM ve Von Mises analizleri gibi araştırmaların mühendislik sistemleri yoluyla her sistemin tüm mekanik özelliklerini değerlendirmektir. FEM, günümüzde yük ve dayanımlar altında malzeme ve biyomateryal üzerindeki gerilme etkisinin tahmini için kullanışlı bir araçtır. Bu çalışma ile özellikle üç farklı alan değerlendirilmiştir: Kemik ara yüzlü diş taç; geçmeli vida bağlantı alanı; iki farklı taç tipini okluzal yüzeyi, Araştırmada kullanılan malzemelerin elastik özellikleri son literatür verilerinden alınmıştır. Sonuçlar, her iki protez türü için yeterli bir tepki göstermiştir, ancak çimentolu tutulan bir okluzal bölge üzerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Mathieu vd. (2014) çalışmalarında dental implantların stabilitesinin biyomekanik belirleyicilerinin kemik-implant arayüz özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmanın amacı, kemiğin biyomekanik davranışına genel bir bakış sağlamaktır. Diş implantları eksik dişlerin tamamen veya kısmen dişsiz olarak değiştirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama sırasında, olumsuz sonuçlar doğurabilecek olan başarısızlık riskleri hala yaşanmaktadır ve tahmin edilmesi güçtür. Kemik dokusuna

yerleştirilen biyomalzemelerin stabilitesi, biyomekanik (kemik-implant kenetlenmesi) ve biyolojik (mekanik-transdüksiyon) çok ölçekli fenomenine bağlı olduğu görülmüştür.

Aksan vd. (2018) çalışmalarında gerilme analizi teknikleri, diş araştırmalarında uzun süredir kullanılan sonlu elemanlar analizi ve implant destekli protezlerde kullanımı hakkında genel bilgiler vermişlerdir.

Karaman (2018) çalışmasında dental implantların yapısal analizlerini incelemiştir. Çalışmada implantların kemik ile temas yüzey alanını artırarak kararlılıklarını sağlamak için implantlar üstüne açılması muhtemel mikro kanal profilinin çevre kemiğe gerilme transferi üzerine etkilerini araştırmıştır.

Jafarian vd. (2019) çalışmalarında farklı uzunluk ve çaplardaki implantların çevresinde oluşan gerilme dağılımını sonlu eleman analizi ile incelemişlerdir. İmplant yerleştirme derinliğinin azalmasıyla birlikte gerilme miktarının arttığı görülmüştür.

Robau Porrua vd. (2020) çalışmalarında bir dental implantta çap, uzunluk ve elastisite modülünün implant kemiğinde gerilme ve şekil değiştirme dağılımına etkisini üç boyutlu sonlu eleman analiziyle incelemişlerdir. Analiz sonucunda en yüksek Von Mises gerilme değerleri kortikal kemikte gerçekleşmiştir. Simüle edilen üç değişkenin (implant çapı, uzunluğu ve elastisite modülü) etkisi Von Mises gerilme ve şekil değiştirmede anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

1.12. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada farklı geometrik yapıya sahip dental implantların dört farklı şekilde yerleşim düzenine ait meydana gelecek olan gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerlerinin bulunması amaçlanmıştır.

Tezin birinci bölümünde biyomekanik bilim dalının tarihsel gelişimi, dental implantoloji hakkında genel bilgiler ve kullanılan sonlu elemanlar yönteminin içeriği ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tezin ikinci ve diğer bölümlerinde yapılan çalışmalardan ve uygulanan yöntemlerden bahsedilmiştir. Modelleme için kullanılan yazılım programı anlatılmıştır. Modellerin çizilerek nasıl katı hale dönüştürüldüğü, analizlerinin hangi şartlar altında gerçekleştirildiği açıklanmıştır. 50 N'luk yük altında dental implantların farklı yerleşim düzenlerinde sınır şartları, malzeme tipi gibi verileri girilmiş, analizleri

gerçekleştirilerek bunlara ait görsel bulgular, sayısal değerler ve tablolar üçüncü bölümde çalışmaya eklenmiştir. Malzeme olarak bütün analizlerde titanyum kullanılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde bulgulardan elde edilen veriler sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar değerlendirilerek bundan sonra yapılacak olan çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sonlu elemanlar analizine başlanırken birinci adım; üzerinde çalışılacak olan cismin üç boyutlu modelinin çıkarılmasıdır. Bu modeller oluşturulurken cismin karmaşıklığına göre bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans gibi farklı görüntüleme yöntemlerine başvurulabilir. Bu şekilde görüntülerin bilgisayar ortamına aktarılması ve modelin oluşturulması, modellenecek cismin yüzeyinin üç boyutlu tarayıcılar ile her bir detayının taranıp bilgisayar ortamına aktarılması ya da üç boyutlu modelleme programları kullanılarak modeller hazırlanır. Sonlu elemanlar analizinde oluşturulan geometrik model, eleman adı verilen basit geometrik yapılara ayrılır. Elemanların sınıflandırılması geometrik şekillerine, boyutlarına, düğüm sayısı gibi özelliklerine göre yapılır. Oluşturulan elemanlar ana yapının geometrisiyle tam uyumludur ve ana yapının her bölgesinde istenilen tüm mekanik özellikleri taşımaktadır.

Bilgisayar ortamına istenilen model tüm hatlarıyla aktarılıp analizin gerçeğe yakın olarak yapılması ve daha basit bir modele indirgenmesi için elemanlara bölme işlemine ağ yapısı oluşturulması denir.

İkinci adımda ise; bütün cismin elemanlara bölünebilmesi için ağ yapısı oluşturma işlemi ile matematiksel model oluşturulur. Modeli oluşturan elemanların birbirlerine temas ettiği yüzeylerde düğüm noktaları tanımlanır. Yeterli sayıda eleman kullanmak, gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerlerinin daha hassas ölçülmesini sağlamaktadır. Elemanlara ayrılan model için; kullanılan malzeme özellikleri, elastisite modülü ve poisson oranı değerleri programa aktarılır. Bu bilgilerin programa girilmesinin ardından sisteme uygulanacak olan yükleme ve sınır koşulları uygulanarak analiz işlemi gerçekleştirilir. Analiz sonucunda elemanların üzerinde ve cismin tamamında meydana gelen gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerlerine ulaşılmaktadır.

Bu kısımda, sağlıklı bir hastadan elde edilen kemik dokuya, 3,9 mm çapında tasarlanan protez sistemler ve buna ait montajları yapılan abutment sistemlerin farklı geometrik yapıda montajları anlatılmıştır. Elde edilen kemik dokuya tasarlanan protez ve abutment sistemler öncelikle 1. Küçük azı- 2. Küçük azı- 1. Büyük azı dişlerinin altına daha sonra sırasıyla 1. Küçük azı- 1. Büyük azı, 1. Küçük azı- 2. Küçük azı, 1. Büyük azı- 2. Küçük azı şeklinde bağlanmıştır. Yapılan işlemlerin ardından sonlu

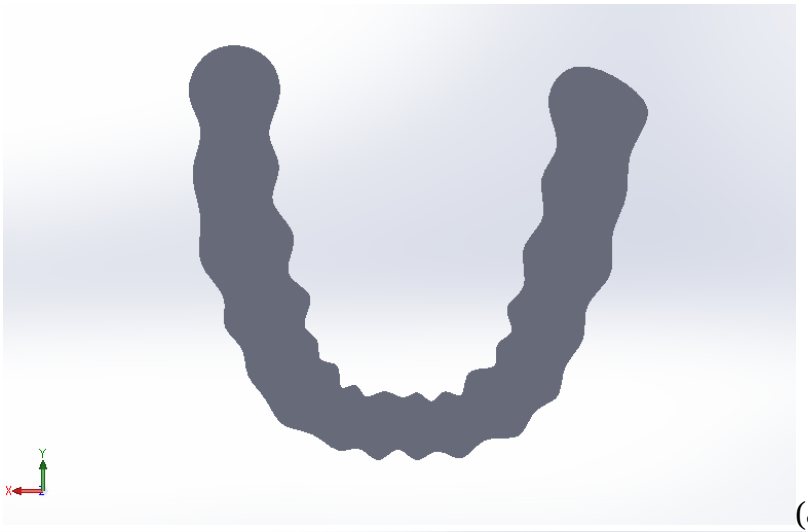
elemanlar yöntemi kullanılarak analiz işlemleri gerçekleştirilmiş ve detayları bu bölümde gösterilmiştir.

2.1. Modelleme

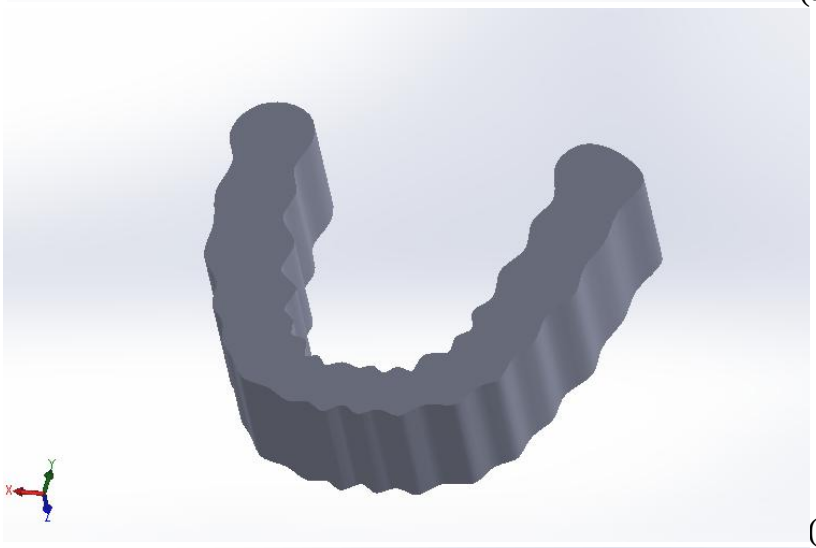
Gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan bilgisayar programları, yapılan hesaplamaların daha hızlı ve gerçeğe dönük bir şekilde çözüm üretmesini sağlamaktadır. Sonlu elemanlar metodu birçok program sayesinde uygulanmaktadır. Bunlardan en bilineni ve sıklıkla kullanılanı ANSYS (2016) programı, katı modelleme için oldukça zahmetli ve düşünülen her detay için net sonuçlar verememesi gerekçesiyle buna yardımcı bilgisayar destekli programlarla ortak bir çalışma içerisine girmektedir. Yapılan bu çalışmada Solidworks (2018) programı kullanılarak, dental implant, abutment ve alt çene kemiği katı modellemesi yapılarak ANSYS Workbench programına aktarılmasıyla sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Kemik Dokunun Modellenmesi

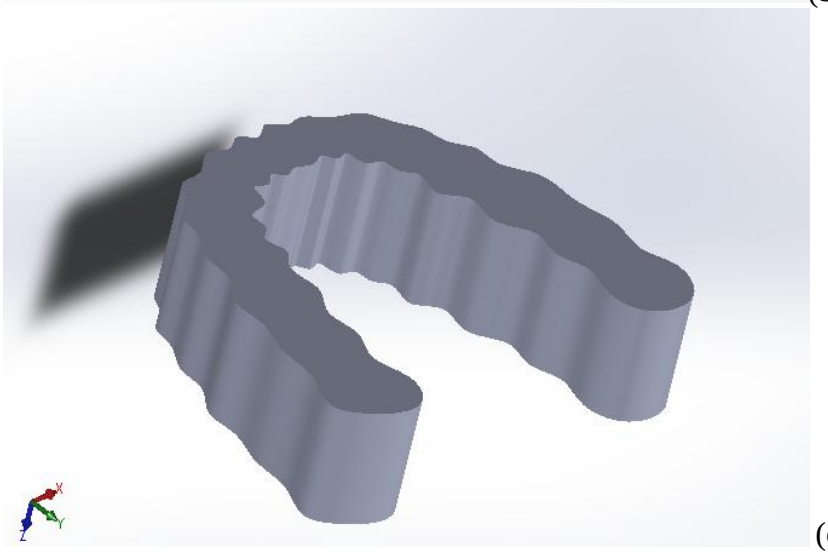
Yapılan çalışmada bilgisayarlı tomografi ile elde edilen kemik doku görüntüsü Solidworks programıyla daha basite indirgenerek katı cisme dönüştürülmüştür (Şekil 5).



(a)



(b)

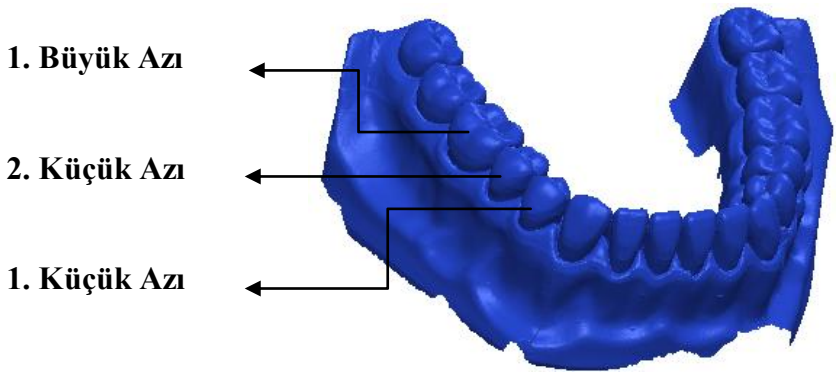


(c)

Şekil 5. Oluşturulan kemik doku görünümü (a) Ön düzlem, (b) Üç boyut, (c) Üç boyut

2.1.2. Diş Protezinin Modellenmesi

Diş protezi de kemik doku gibi bilgisayarlı tomografi görüntüleri basite indirgenerek istenilen ölçüde modellenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Katı modellemesi oluşturulan protez

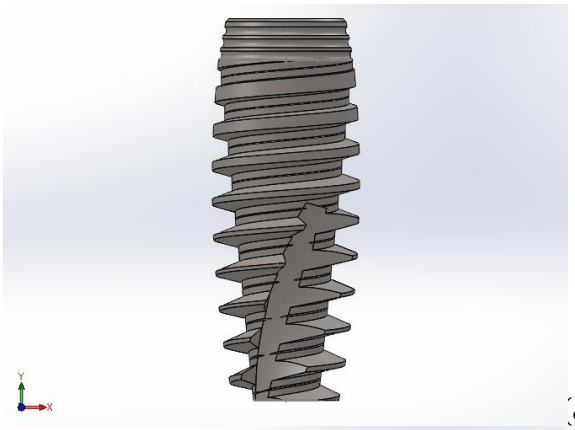
2.1.3. Dental İmplant ve Abutmentin Modellenmesi

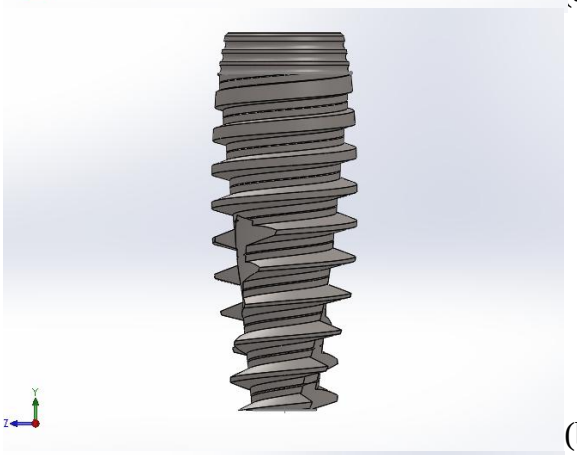
Bir çok farklı firma tarafından çeşitli dental implant modelleri geliştirilmektedir. Firmalara ait oluşturulan ve klinik olarak kullanılan modeller şekil 7'de gösterilmektedir.

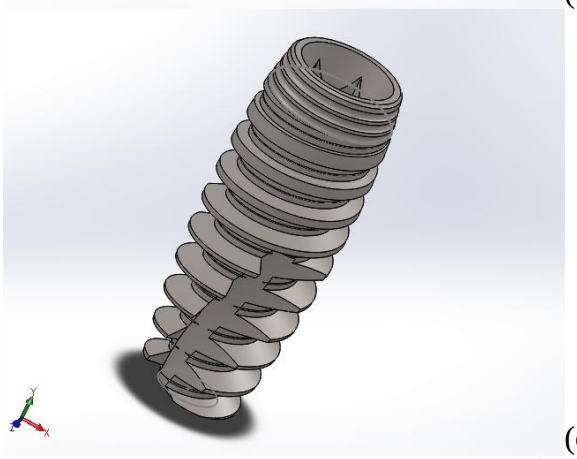


Şekil 7. Klinik olarak kullanılan dental implant örnekleri

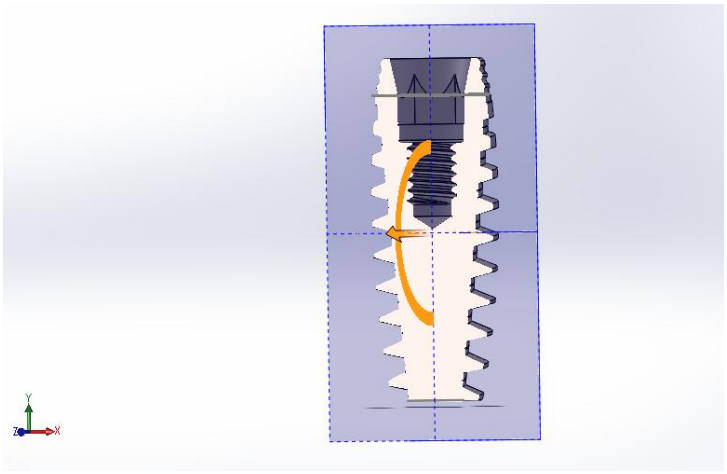
Yapılan çalışmada Nobel Biocare şirketine ait 3,9 mm çapında ve 13 mm boyunda Nobel Active isimli her alanda harika stabilite sağlayan modern yapılı dental implant Solidworks programı ile katı modellemesi yapılarak oluşturulmuştur. Dental implant, çalışmada dört farklı şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 8-9).


(a)

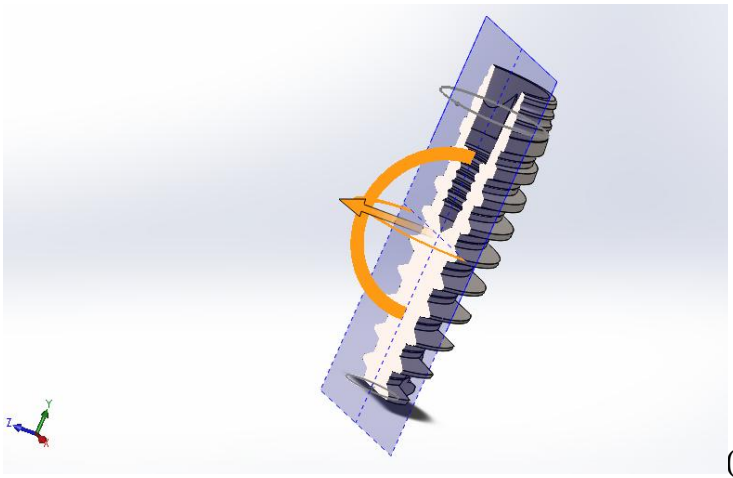

(b)


(c)

Şekil 8. Dental implant modellemesi (a) Ön düzlem, (b) Üst düzlem, (c) Üç boyut



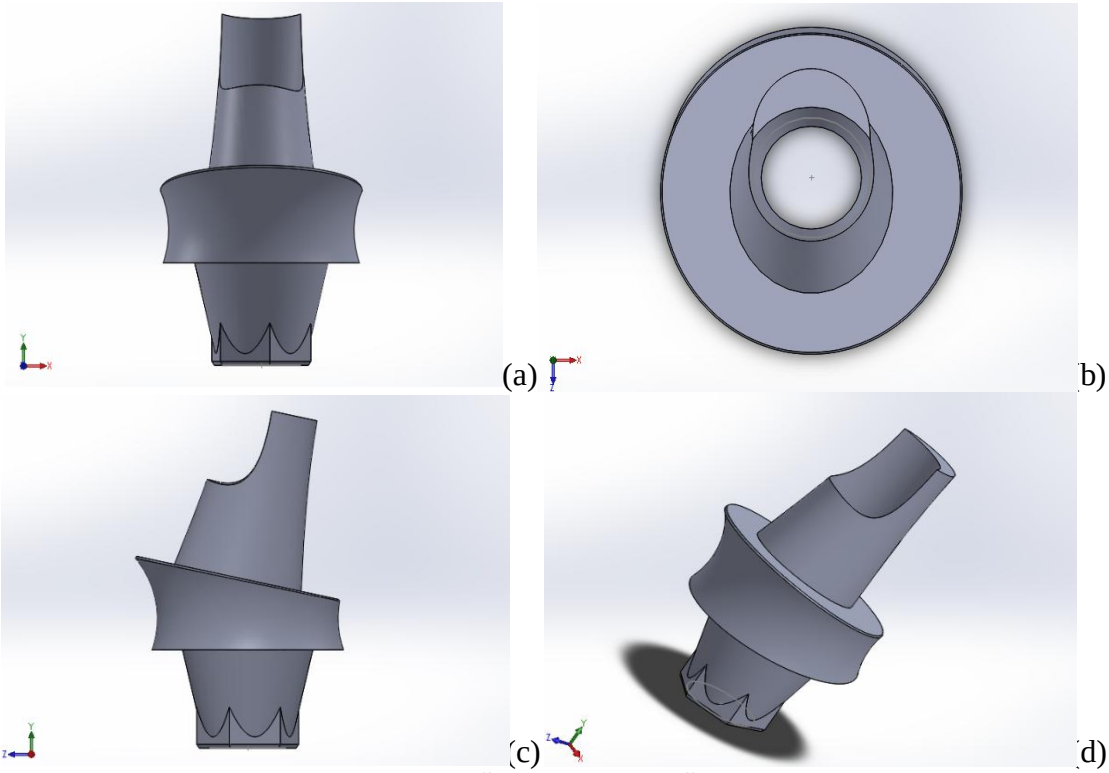
(a)



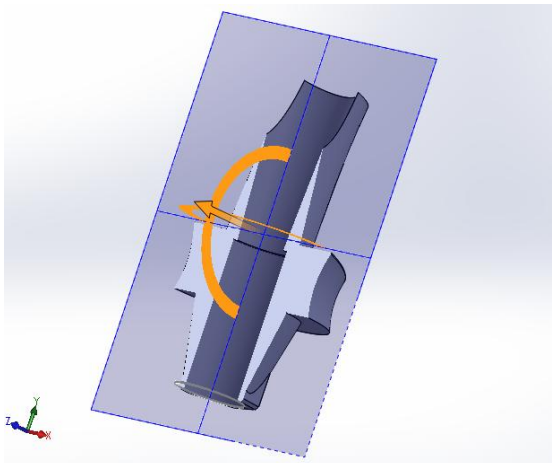
(b)

Şekil 9. Dental implant modellemesi kesit görünümü (a) Ön düzlem, (b) Üç boyut

Oluşturulan dental implant katı modeline göre uygun bir custom abutment (kişiye özel uygulama) tasarlanarak katı modellemesi yapılmıştır (Şekil 10-11).



Şekil 10. Abutment modellemesi (a) Ön düzlem, (b) Üst düzlem, (c) Yan düzlem, (d) Üç boyut

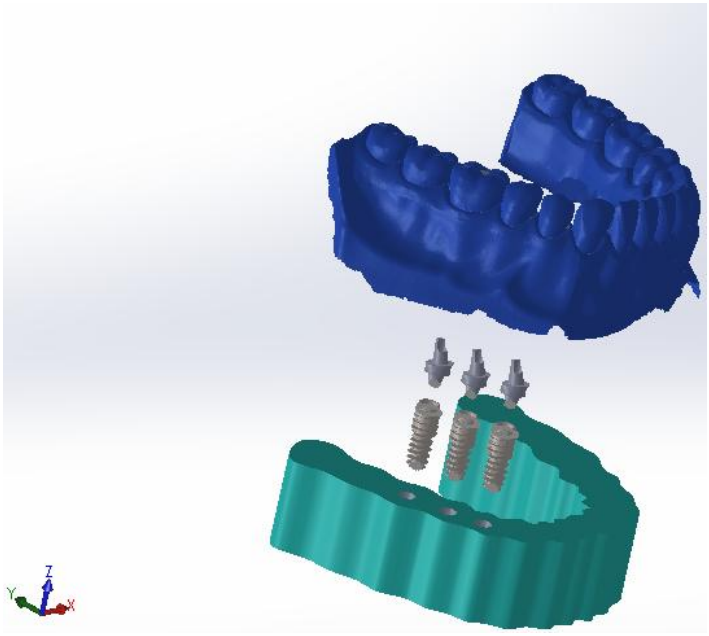


Şekil 11. Abutment modellemesı kesıt görünüş

2.1.4. Sistem Montaj Yapılarının Oluşturulması ve Yerleşim Düzenleri

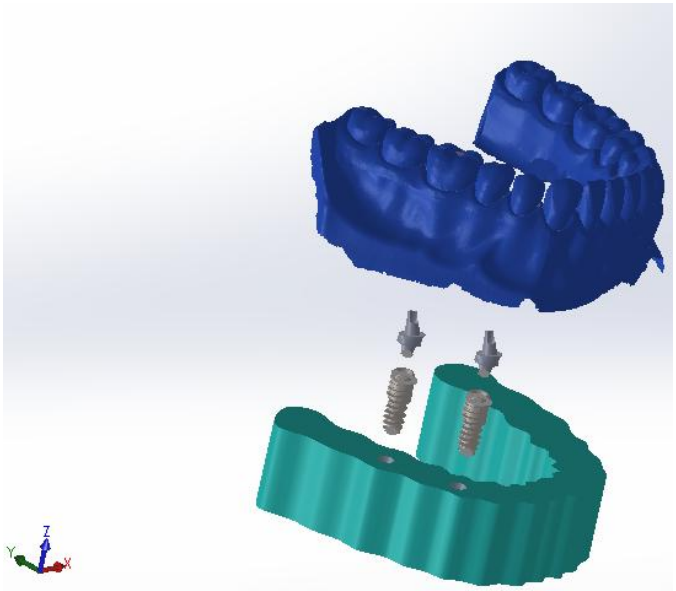
Yapılan çalışma sonucunda montaj işlemleri için yerleşim düzenleri oluşturulmuş olup aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (Şekil 12-15).

MODEL 1



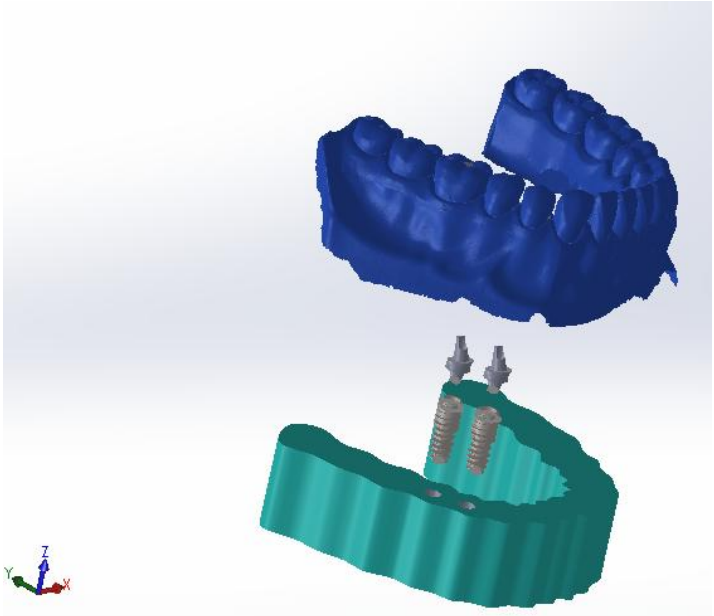
Şekil 12. 3 implantın sırası ile birinci küçük azı dişinin, ikinci küçük azı dişinin ve birinci büyük azı dişinin altına koyulması

MODEL 2



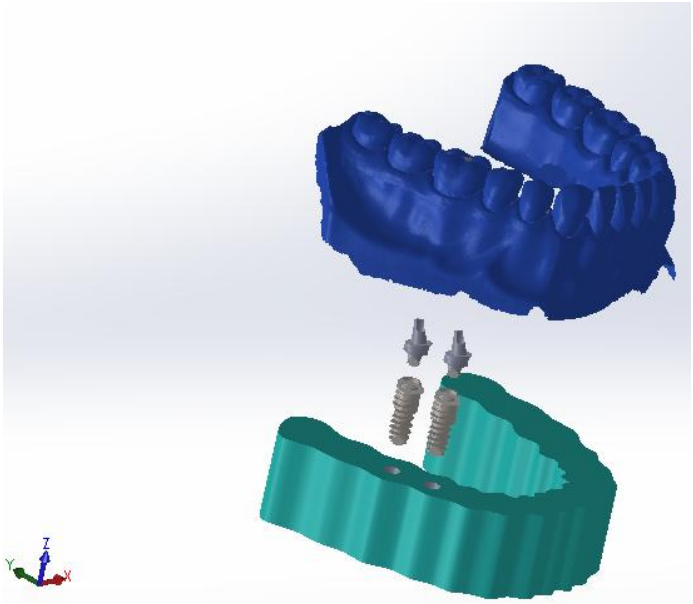
Şekil 13. 2 implanttan birinin birinci küçük azı dişinin, diğerinin de birinci büyük azı dişinin altına koyulması

MODEL 3



Şekil 14. 2 implanttan birinin birinci küçük azı dişinin, diğerinin de ikinci küçük azı dişinin altına koyulması

MODEL 4



Şekil 15. 2 implanttan birinin ikinci küçük azı dişinin, diğerinin de birinci büyük azı dişinin altına koyulması

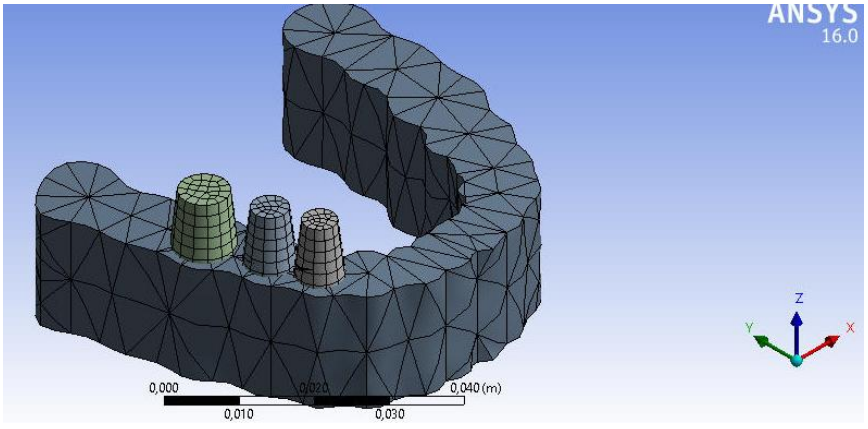
2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi Çözümü

Katı modellemenin oluşturulmasıyla birlikte sayısal çözüm yapılması için model ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. Analizi gerçekleştirmek için sisteme girilmesi gereken veriler tek tek tanıtılmıştır. Elastisiste modülleri ve poisson oranları literatürden temin edilmiştir. Yapılan çalışma da kullanılan veriler Tablo 1'de gösterilmektedir.

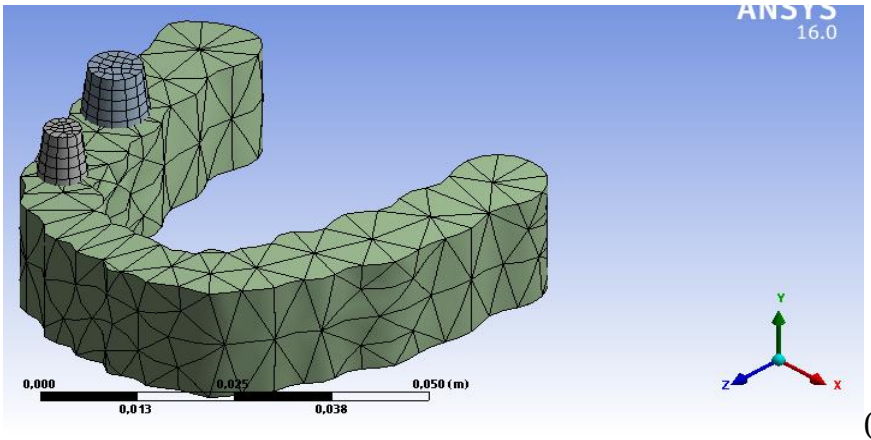
Tablo 1. Malzeme Özellikleri

Malzeme	**Elastisite Modülü (MPa)**	**Poisson Oranı**
Protez	2700	0,30
Sert Kemik	14000	0,30
Yumuşak Kemik	1500	0,30
Titanyum	110000	0,35

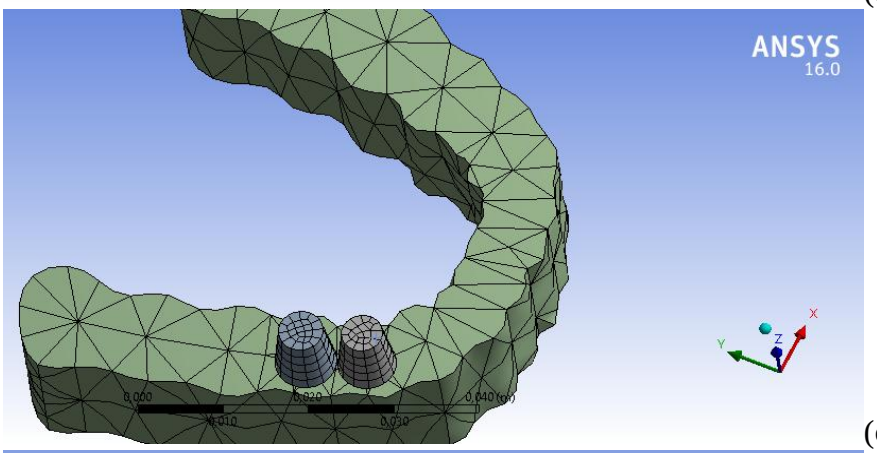
Modellere ait ağ yapıları şekil 16'da gösterildiği gibidir.



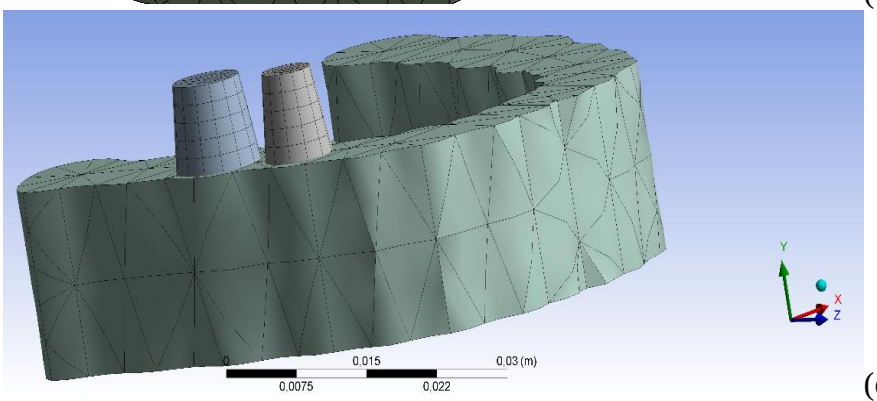
(a)



(b)



(c)

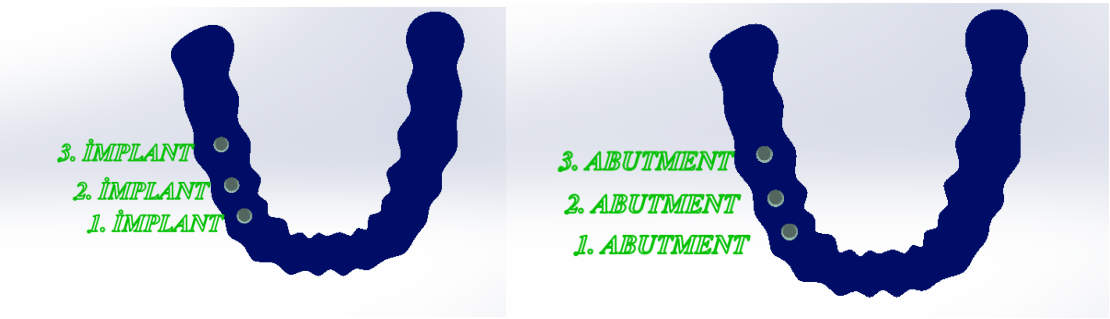


(d)

Şekil 16. Model ağ yapıları (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3, (d) Model4

3. BULGULAR

Modeller için kullanılan dental implantların ve abutmentlerin yerleşimlerini tanımlamak için yapılan isimlendirme şekil 17'de verilmiştir.

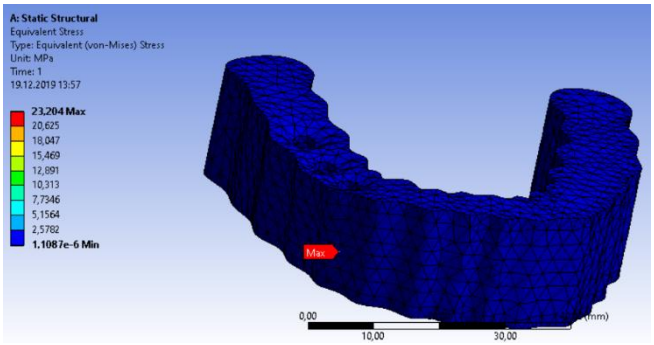


Şekil 17. Dental implant ve abutment kodlaması

Çalışma içerisinde oluşturulan modellerde statik gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Model olarak iki implantlı üç farklı model ve üç implantlı bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellere birinci küçük azı, ikinci küçük azı ve birinci büyü azı dişleri olmak üzere üç farklı dişten yük uygulanmıştır. Dental implant malzemesi olarak titanyum seçilip kullanılmıştır. Toplamda 4 farklı modele ait 69 tane analiz sonucu aşağıda verilmiştir.

3.1. Dental implantların Birinci Küçük Azı, İkinci Küçük Azı ve Birinci Büyük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model

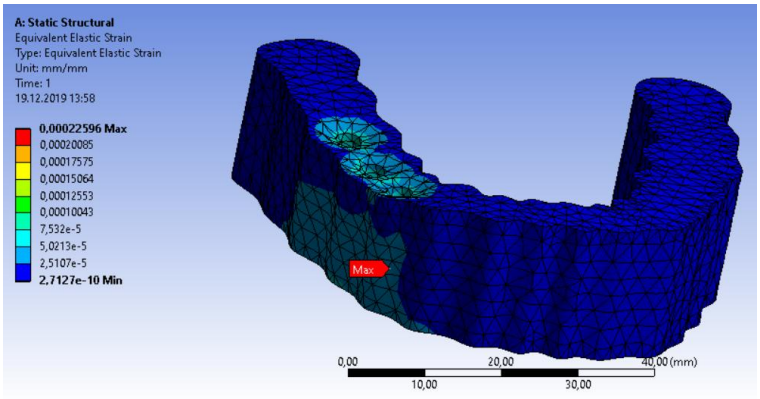
Model 1' de dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Kemikte gerilme dağılımı

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri 1,3981 MPa olduğu tespit edilmiştir.

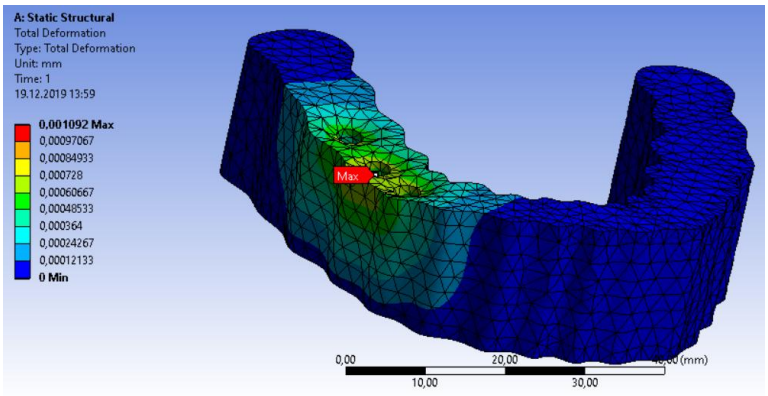
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises şekil değiştirme değerleri şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Kemikte şekil değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri $1{,}0144*10^{-4}$ olduğu tespit edilmiştir.

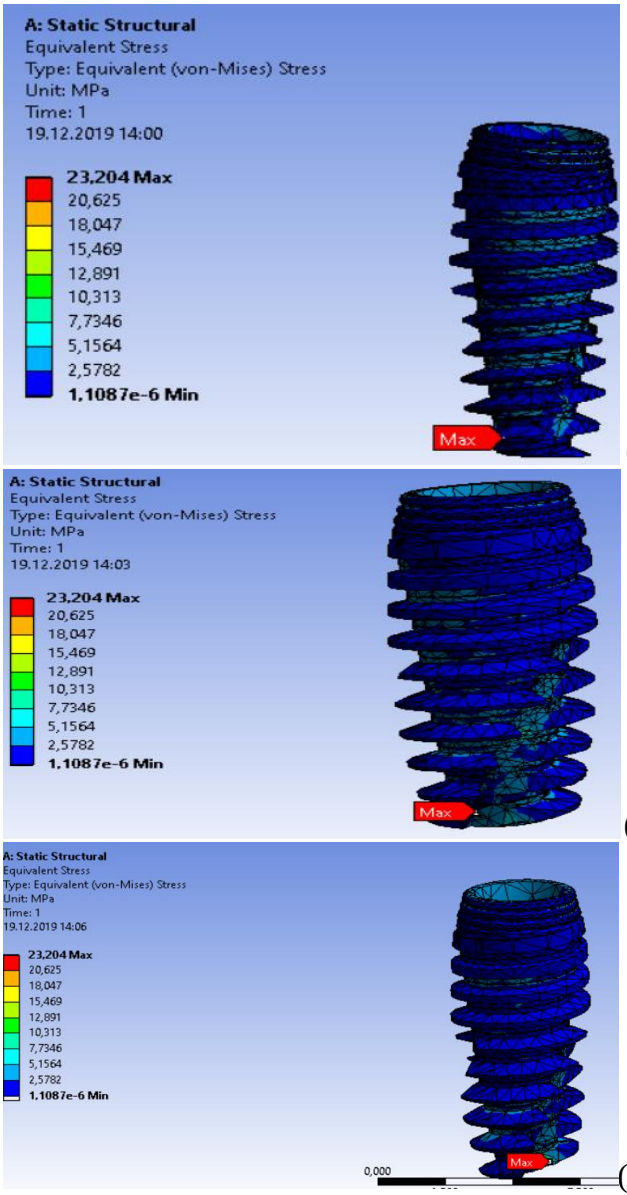
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan toplam yer değiştirme değerleri şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Kemikte toplam yer değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte oluşan toplam yer değiştirme değerleri $7{,}4699*10^{-4}$ mm olduğu tespit edilmiştir.

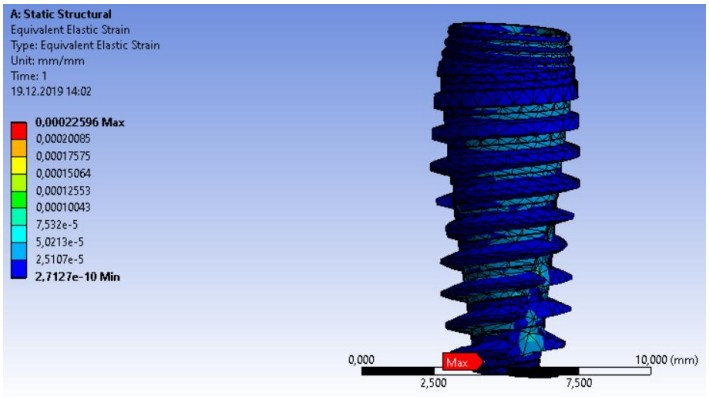
Model 1' de dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 21'de verilmiştir.



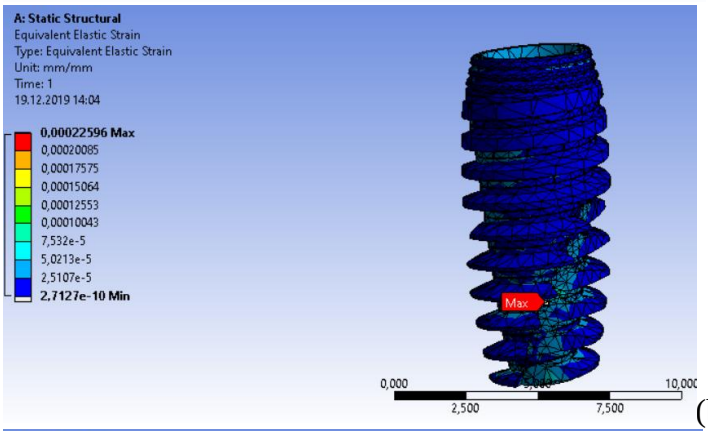
Şekil 21. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant, (c) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan Von mises gerilme değerleri sırasıyla 9,6161 MPa, 8,8032 MPa ve 16,709 MPa'dır.

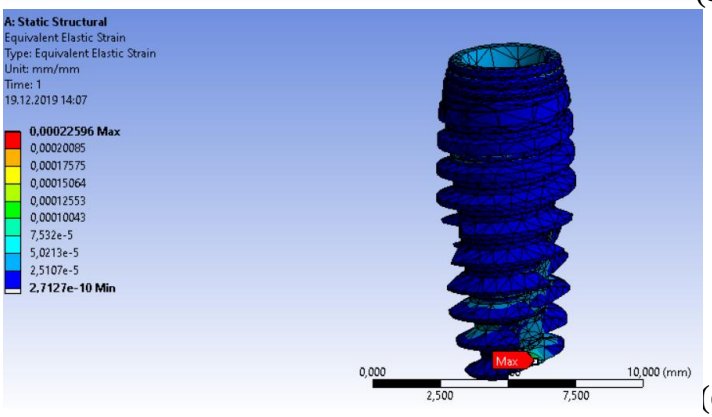
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 22'de verilmiştir.



(a)



(b)

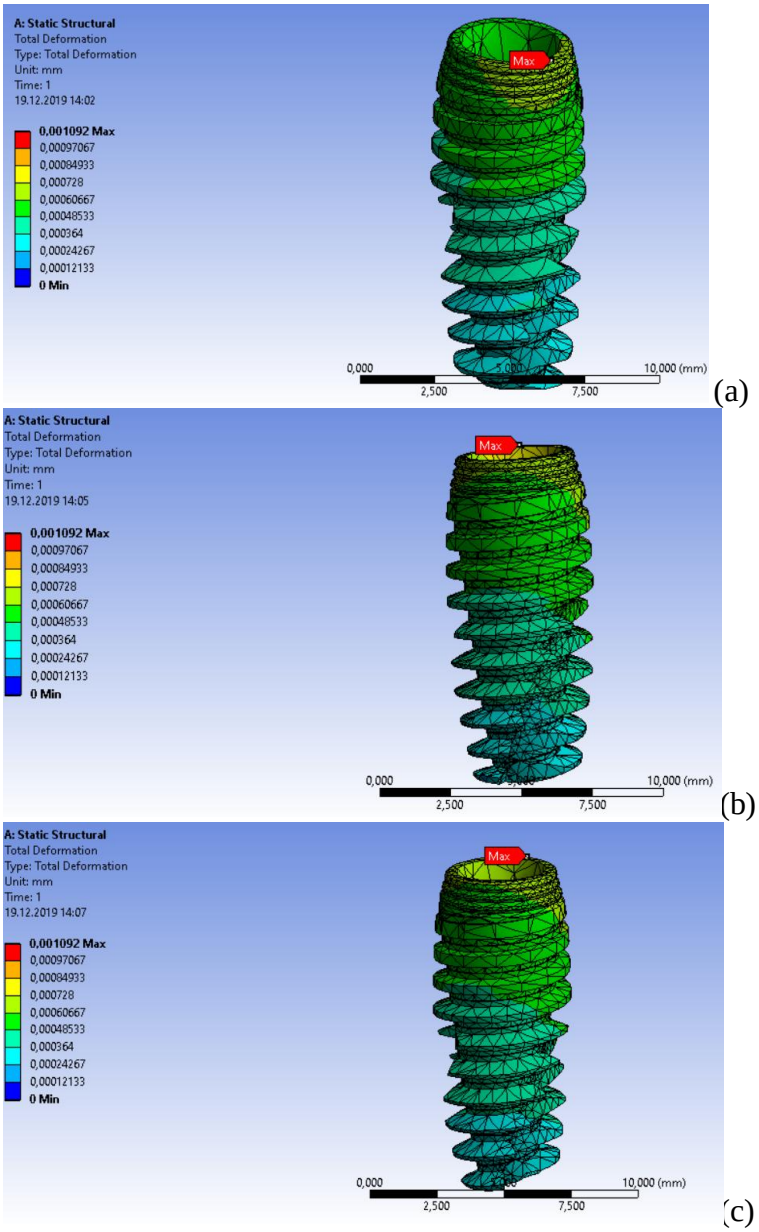


(c)

Şekil 22. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant, (c) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $9{,}1295*10^{-5}$, $8{,}1467*10^{-5}$ ve $1{,}5345*10^{-4}$'tür.

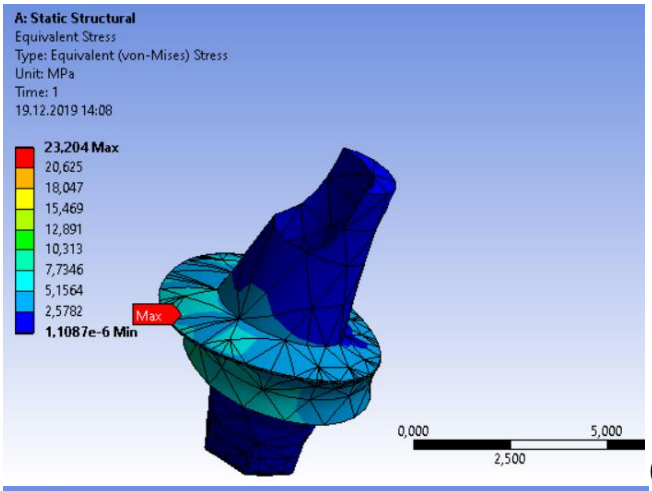
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 23'te verilmiştir.



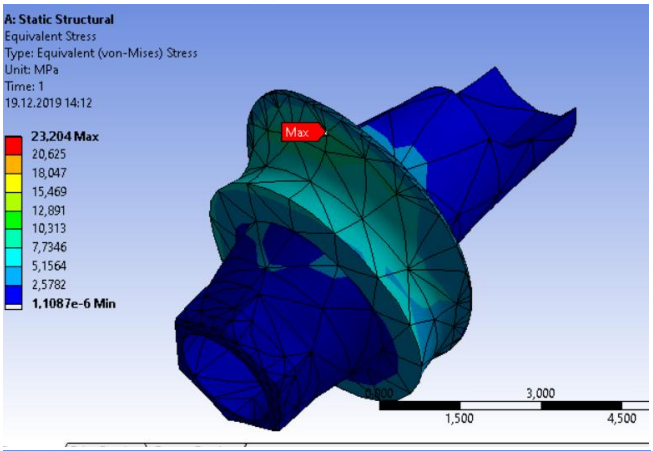
Şekil 23. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant, (c) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $6{,}1572*10^{-4}$ mm, $7{,}3773*10^{-4}$ mm ve $7{,}0568*10^{-4}$ mm'dir.

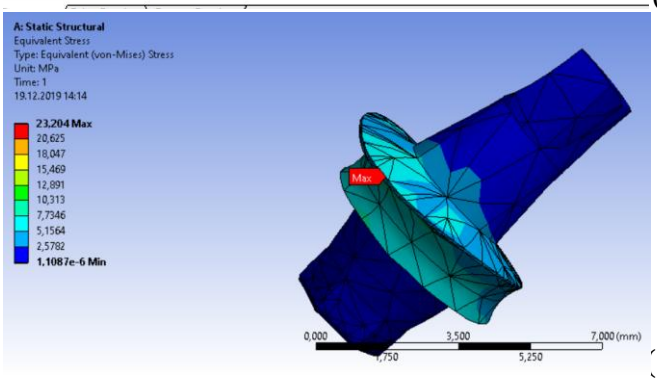
Model 1' de abutment malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 24'te verilmiştir.



(a)



(b)

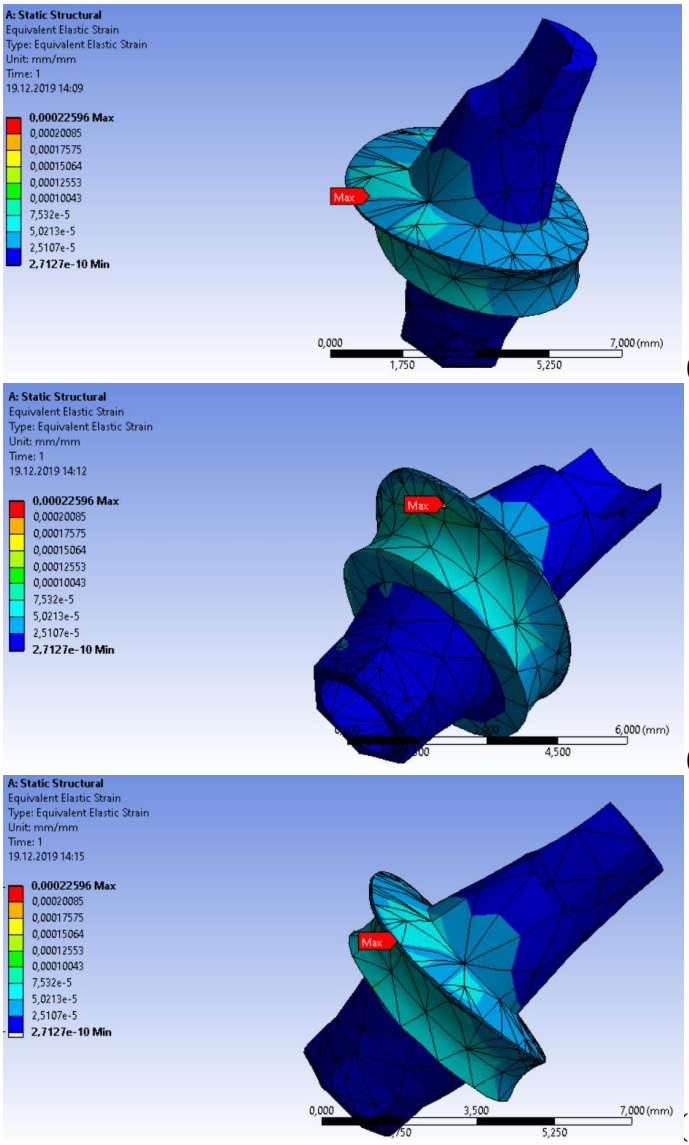


(c)

Şekil 24. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment

Yukarıda kemik içerisine yerleştirilen ve bağlantı elemanı olarak görev yapan abutment etki eden yükler altında eğilme momentine maruz kalmaktadır. Abutmentlerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri 10,581 MPa, 11,932 MPa ve 11,167 MPa'dır.

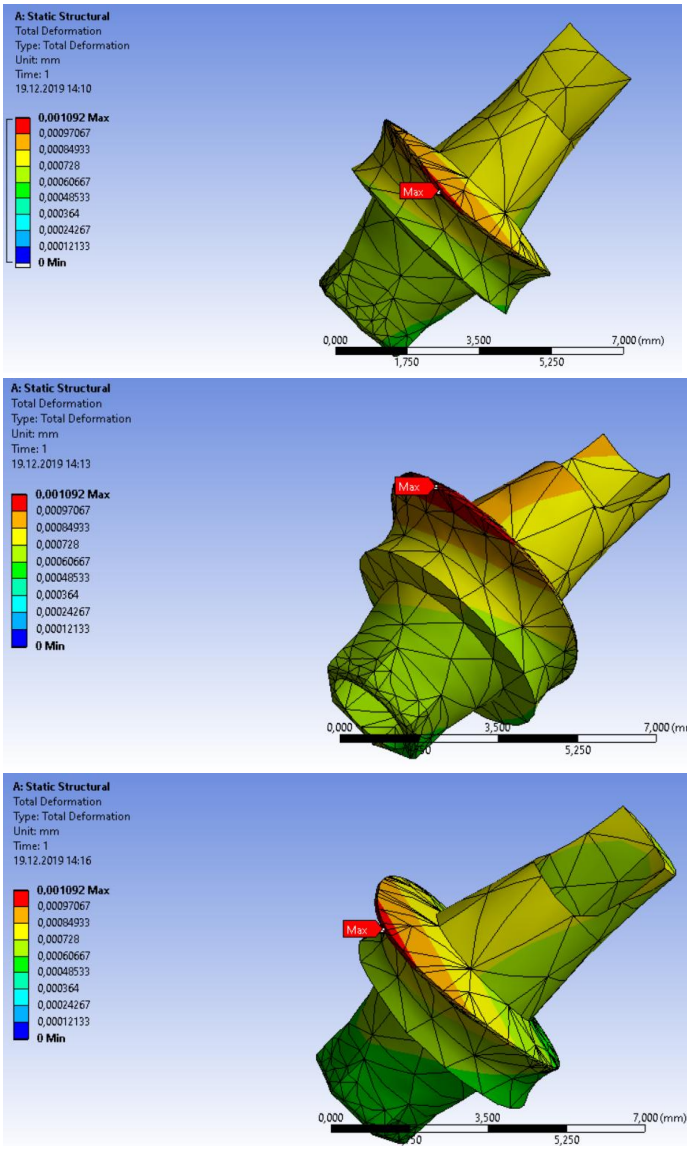
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $5{,}0424*10^{-4}$, $1{,}1721*10^{-4}$ ve $1{,}1098*10^{-4}$ 'tür.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 26'da verilmiştir.

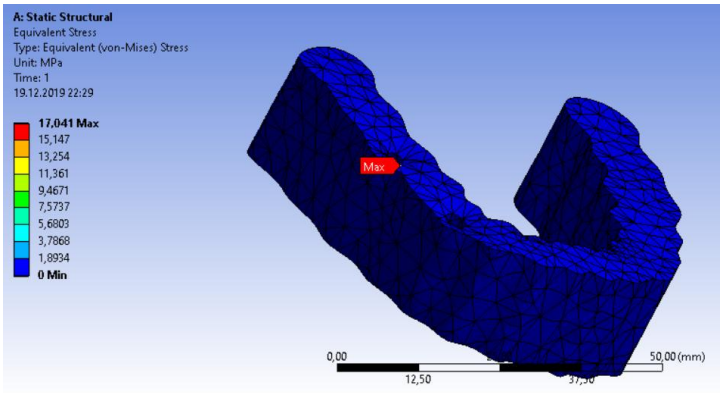


Şekil 26. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment, (c) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $9{,}4376*10^{-4}$ mm, $1{,}061410^{-3}$ mm ve $9{,}5823*10^{-4}$ mm'dir.

3.2. Dental implantların Birinci Küçük Azı ve Birinci Büyük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model

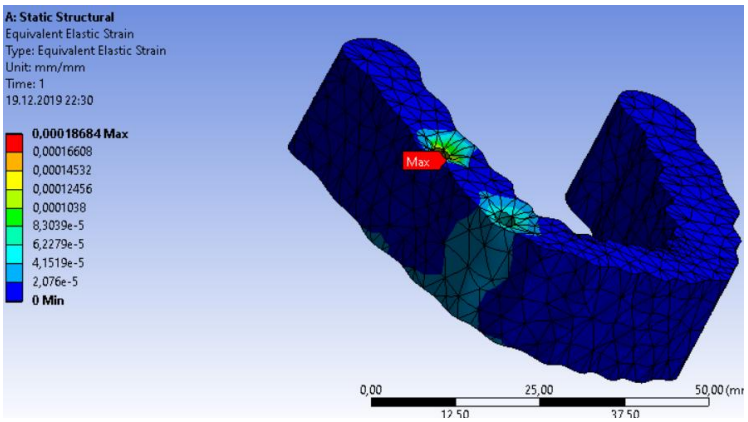
Model 2' de dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. Kemikte gerilme dağılımı

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri 2,4186 MPa olduğu tespit edilmiştir.

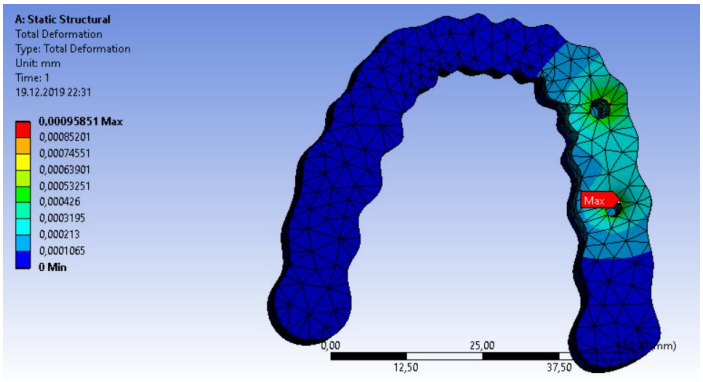
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. Kemikte şekil değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri $1{,}8684*10^{-4}$ olduğu tespit edilmiştir.

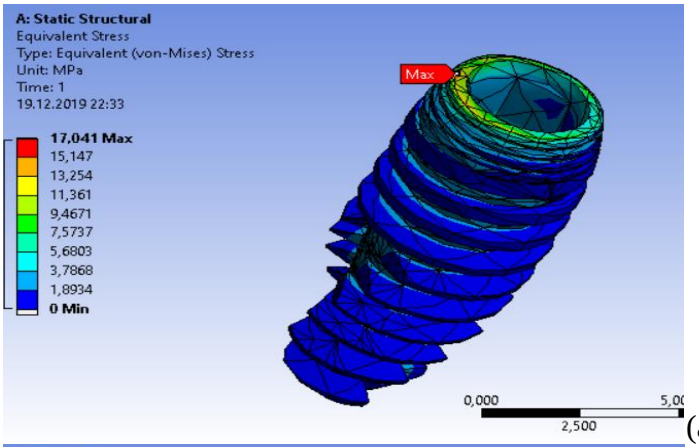
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan toplam yer değiştirme değerleri şekil 29'da verilmiştir.



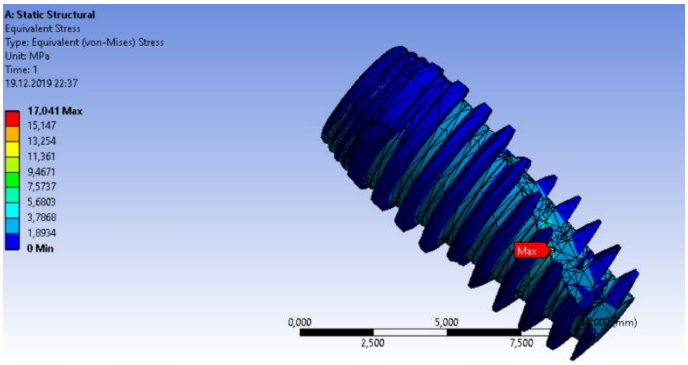
Şekil 29. Kemikte toplam yer değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte oluşan toplam yer değiştirme değerleri $5{,}8766*10^{-4}$ mm olduğu tespit edilmiştir.

Model 2' de dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 30'da verilmiştir.



(a)

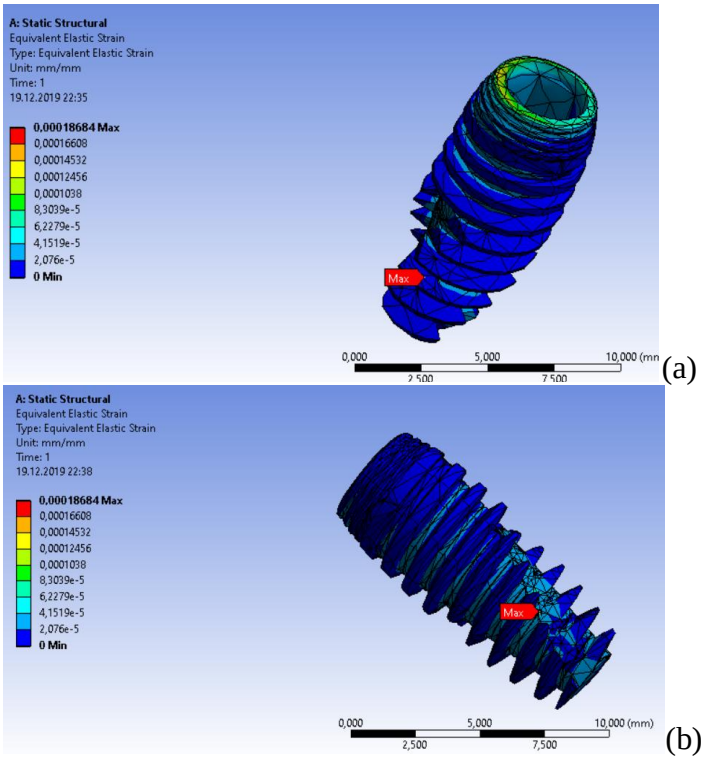


(b)

Şekil 30. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan Von mises gerilme değerleri sırasıyla 17,041 MPa ve 7,0089 MPa'dır.

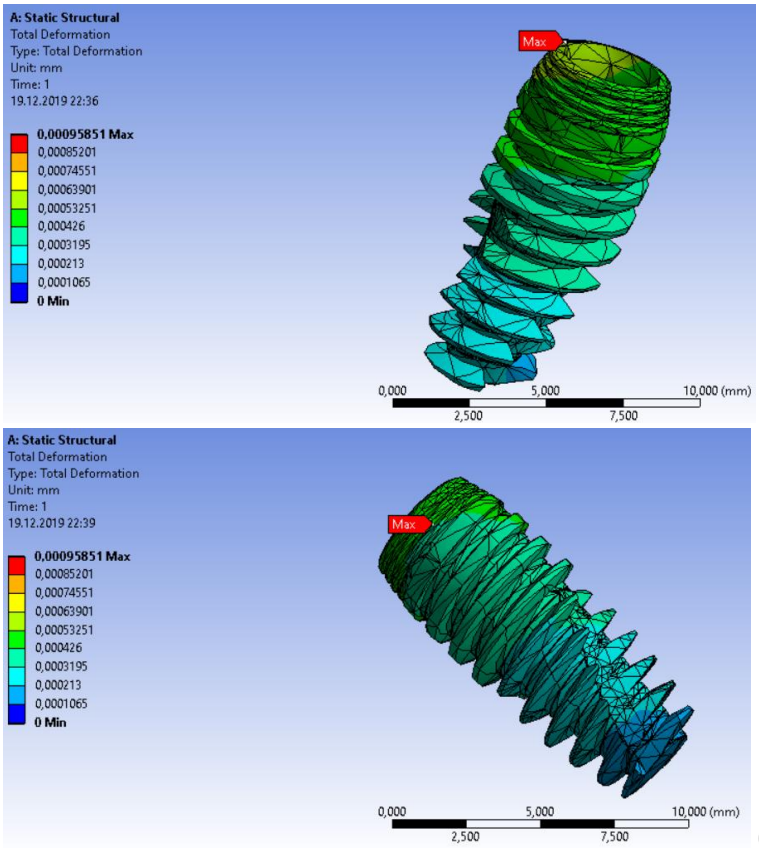
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 31. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $1{,}7195*10^{-4}$ ve $6{,}4884*10^{-5}$ 'tir.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 32'de verilmiştir.

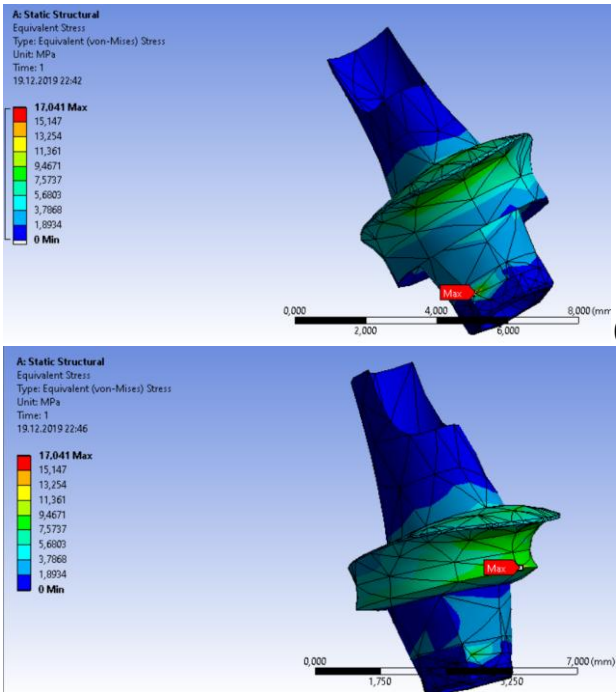


Şekil 32. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $6{,}1651*10^{-4}$ mm ve $5{,}4778*10^{-4}$ mm'dir.

Aşağıda kemik içerisine yerleştirilen ve bağlantı elemanı olarak görev yapan abutment etki eden yükler altında eğilme momentine maruz kalmaktadır. Abutmentlerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri 12,006 MPa ve 10,253 MPa'dır.

Model 2' de abutment malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 33'te verilmiştir.

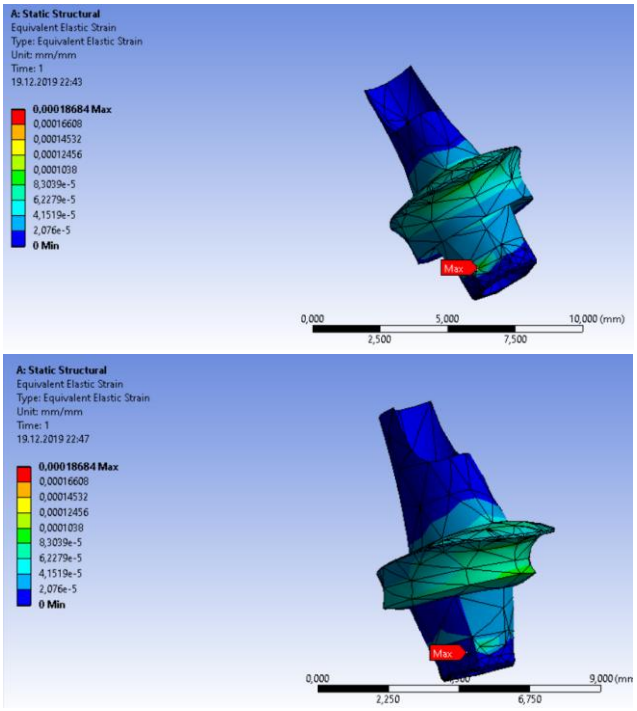


(a)

(b)

Şekil 33. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 34'te verilmiştir.



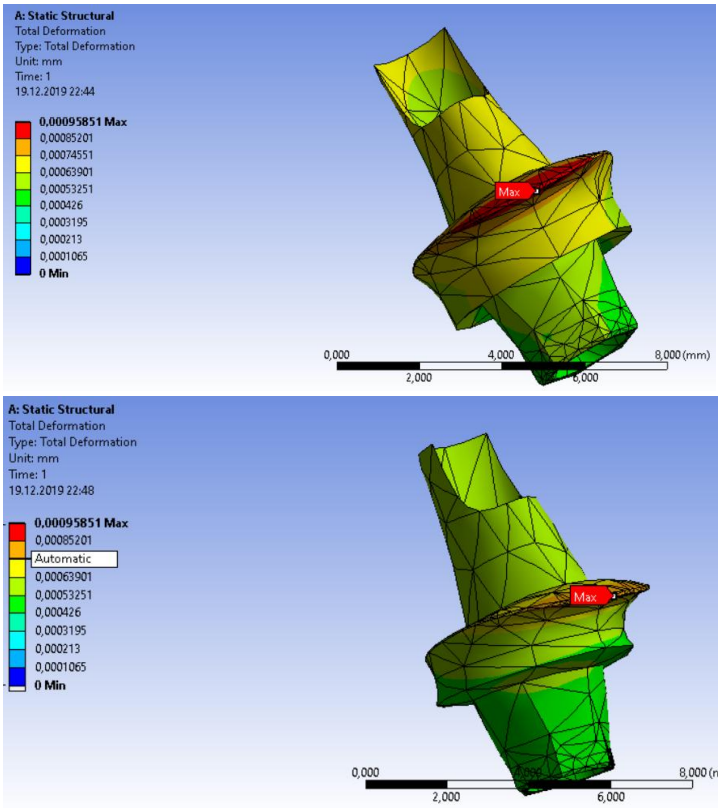
(a)

(b)

Şekil 34. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla 1,1913*10^{-4} ve 9,5229*10^{-5} 'tir.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 35'te verilmiştir.

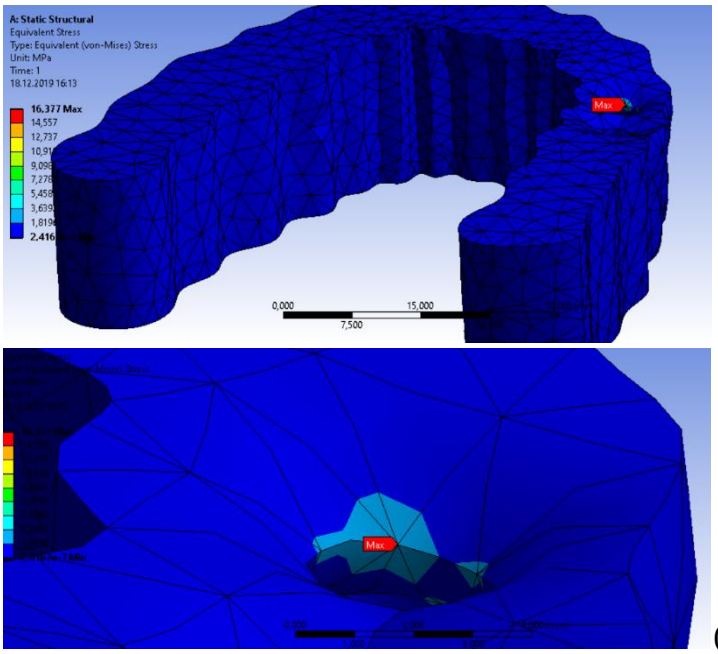


Şekil 35. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla 9,5851*10^{-4} mm ve 8,383*10^{-4} mm'dir.

3.3. Dental implantların Birinci Küçük Azı ve İkinci Küçük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model

Model 3' te dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 36'da verilmiştir.



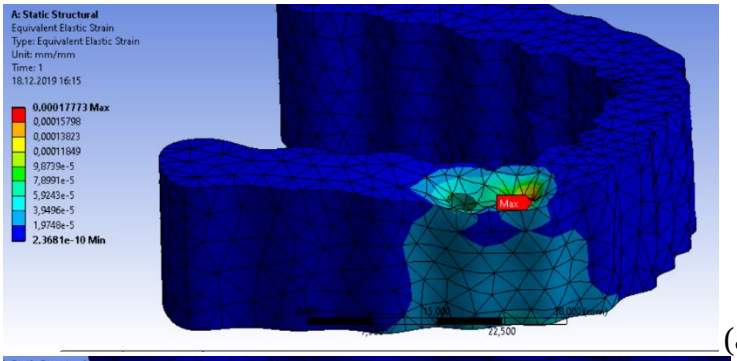
(a)

(b)

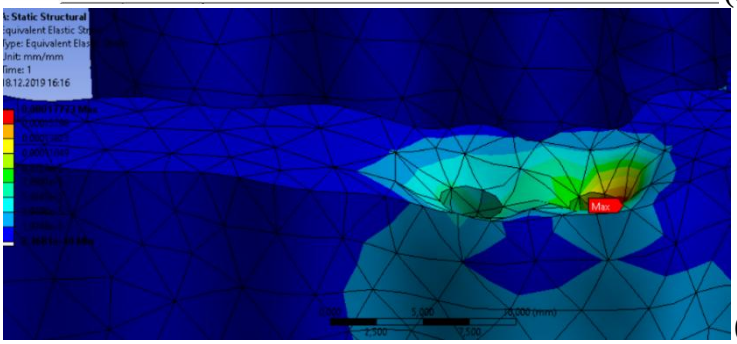
Şekil 36. Kemikte gerilme dağılımı (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri 2,4093 MPa olduğu tespit edilmiştir.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri şekil 37'de verilmiştir.



(a)

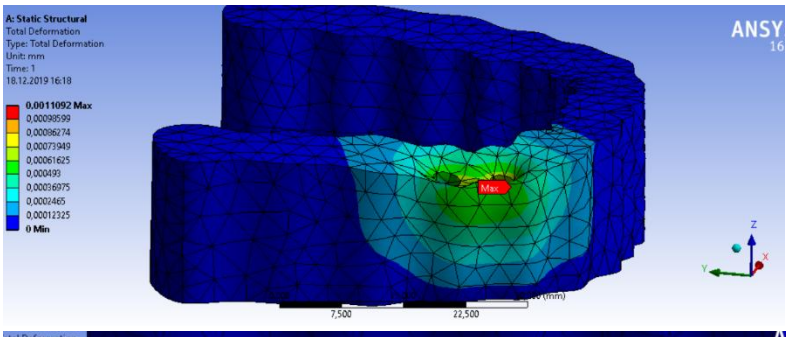


(b)

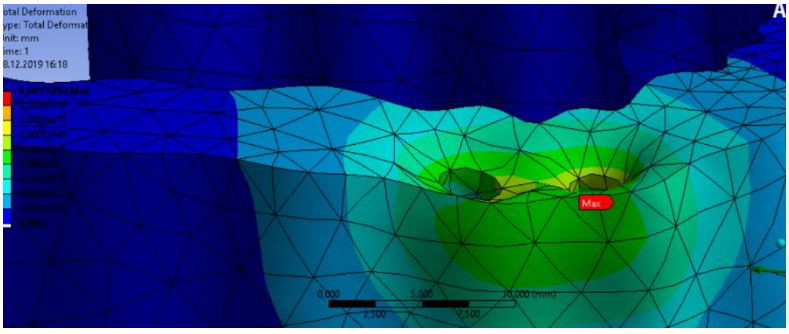
Şekil 37. Kemikte şekil değiştirme (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri $1{,}7773*10^{-4}$ olduğu tespit edilmiştir.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan toplam yer değiştirme değerleri şekil 38'de verilmiştir.



(a)

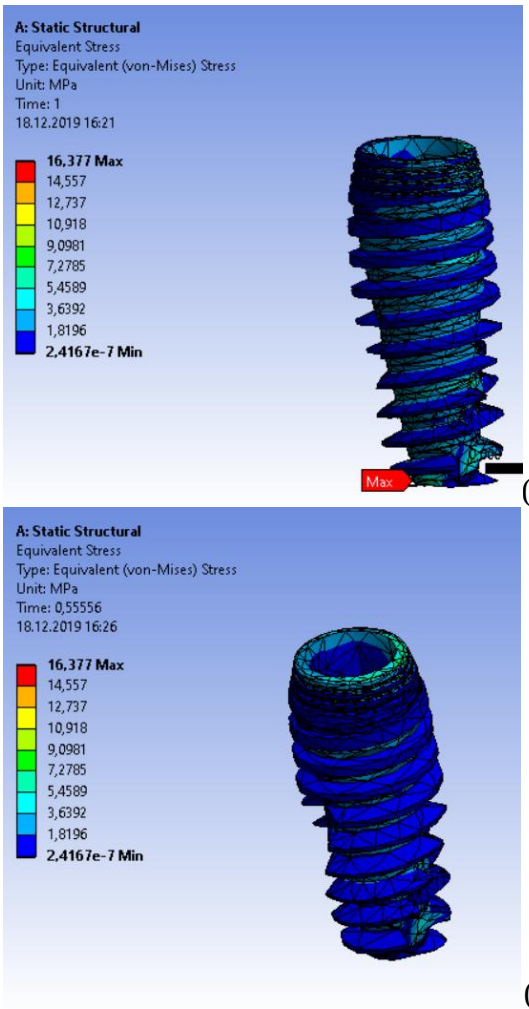


(b)

Şekil 38. Kemikte toplam yer değiştirme (a) Genel görünüş , (b) Detay görünüş

Analiz sonucunda kortikal kemikte oluşan toplam yer değiştirme değerleri $7{,}5232*10^{-4}$ mm olduğu tespit edilmiştir.

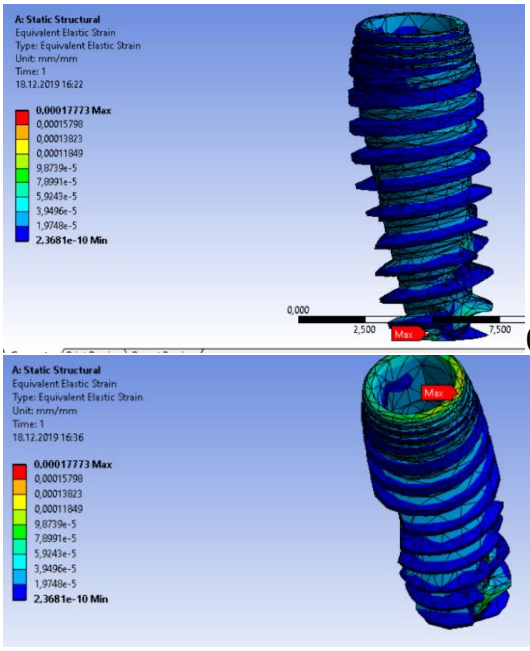
Model 3' de dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan Von mises gerilme değerleri sırasıyla 14,042 MPa ve 16,377 MPa'dır.

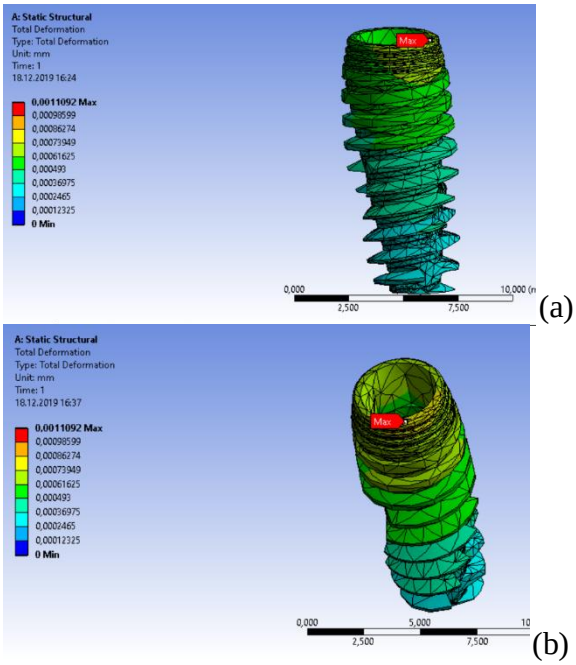
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 40'ta verilmiştir.



Şekil 40. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri $1{,}3748*10^{-4}$ ve $1{,}49*10^{-4}$'tür.

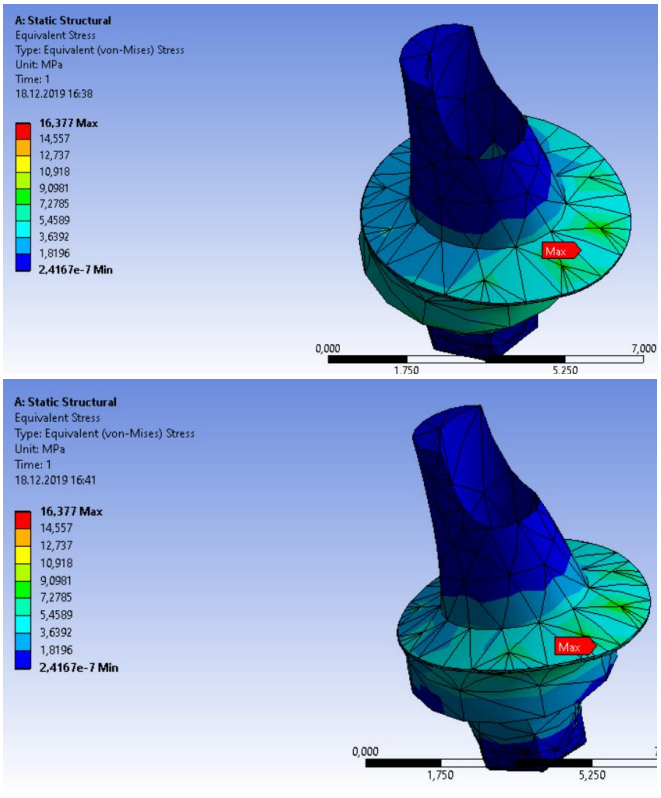
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 41'de verilmiştir.



Şekil 41. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 2 numaralı implant, (b) 1 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $6{,}8087*10^{-4}$ mm ve $7{,}845*10^{-4}$ mm'dir.

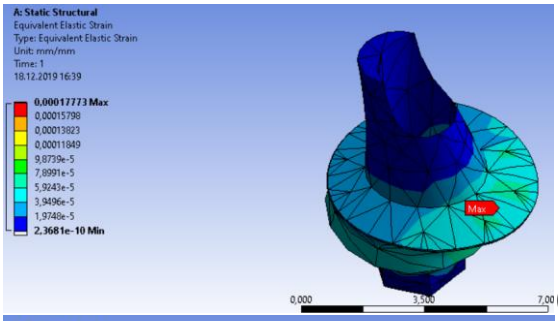
Model 3' de abutmnet malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 42'de verilmiştir.



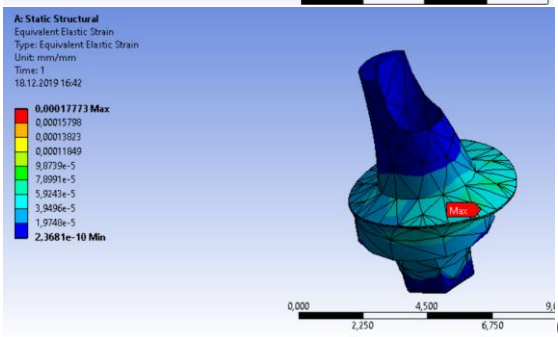
Şekil 42. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Yukarıda kemik içerisine yerleştirilen ve bağlantı elemanı olarak görev yapan abutment etki eden yükler altında eğilme momentine maruz kalmaktadır. Abutmentlerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri 9,2966 MPa ve 9,2542 MPa'dır.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 43'te verilmiştir.



(a)

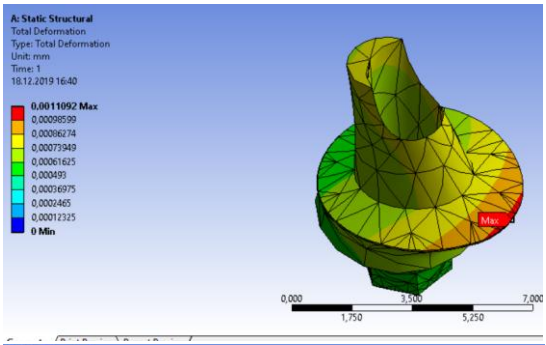


(b)

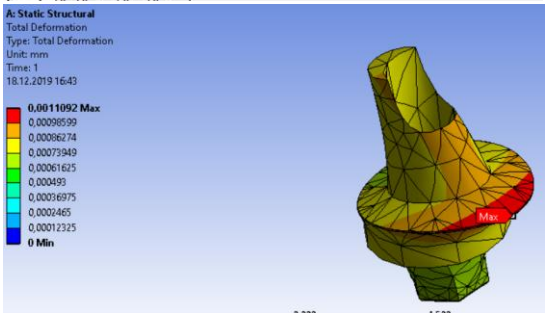
Şekil 43. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $8{,}6092*10^{-4}$ ve $8{,}6335*10^{-5}$ 'tir.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 44'te verilmiştir.



(a)



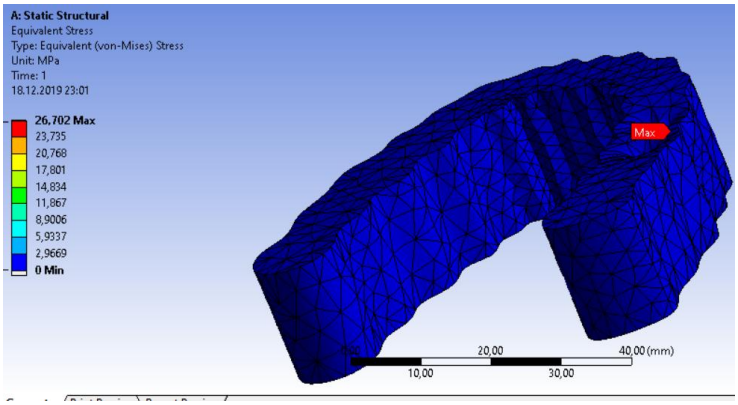
(b)

Şekil 44. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 2 numaralı abutment, (b) 1 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla 1,0166*10^{-3} mm ve 1,109210^{-3} mm'dir.

3.4. Dental İmplantların Birinci Büyük Azı ve İkinci Küçük Azı Dişlerinin Altına Yerleştirildiği Model

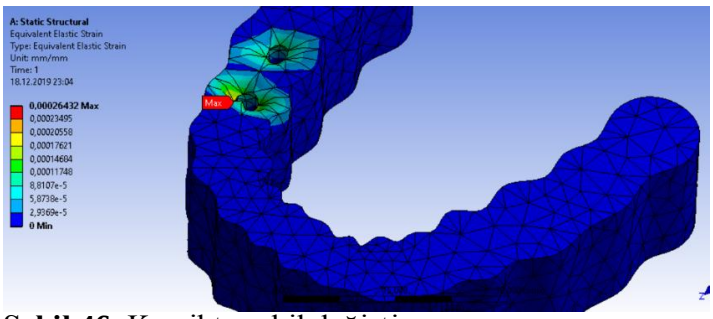
Model 4' te dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 45'te verilmiştir.



Şekil 45. Kemikte gerilme dağılımı

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri 2,261 MPa olduğu tespit edilmiştir.

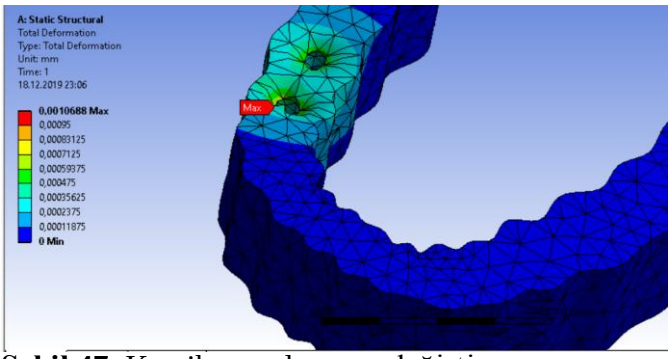
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan Von mises şekil değiştirme değerleri şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 46. Kemikte şekil değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri 2,0067*10^{-4} olduğu tespit edilmiştir.

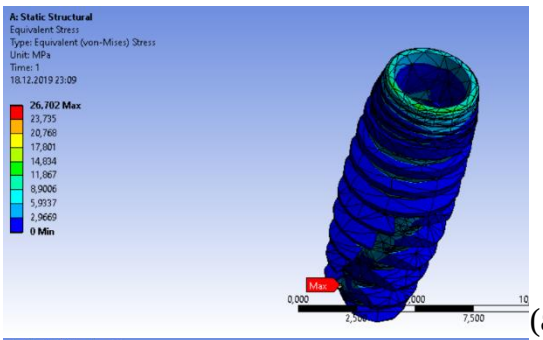
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte kemikte ortaya çıkan toplam yer değiştirme değerleri şekil 47'de verilmiştir.



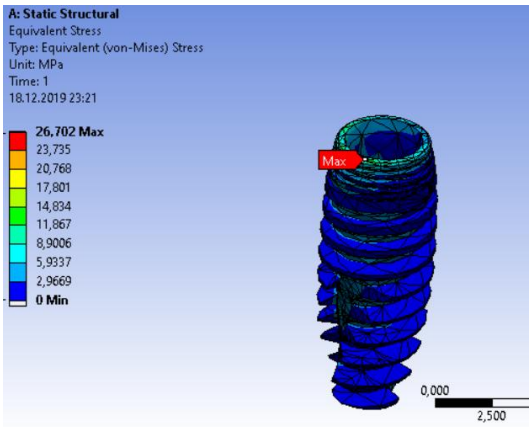
Şekil 47. Kemikte toplam yer değiştirme

Analiz sonucunda kortikal kemikte oluşan toplam yer değiştirme değerleri $7{,}4385*10^{-4}$ mm olduğu tespit edilmiştir.

Model 4' te dental implant malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 48'de verilmiştir.



(a)

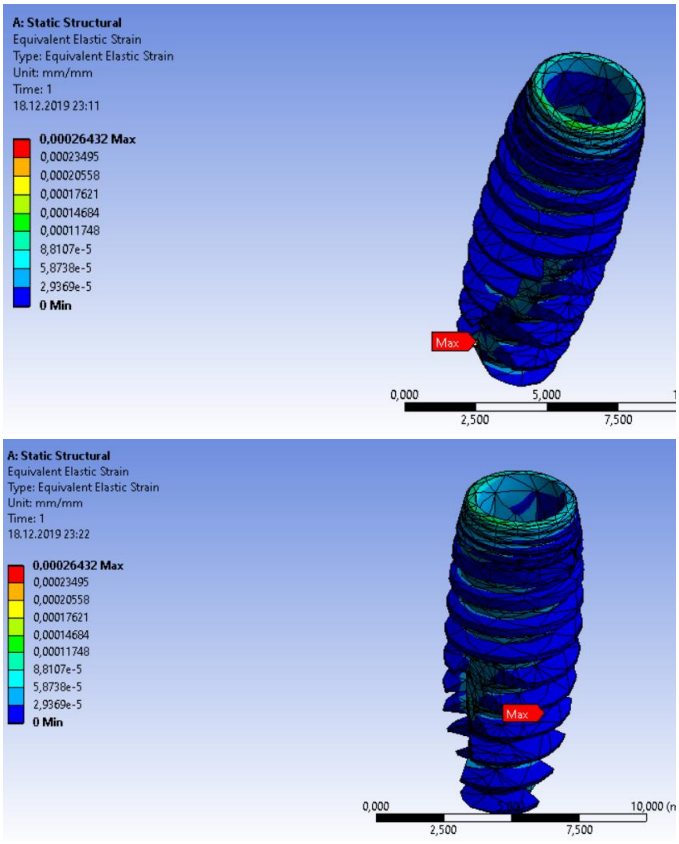


(b)

Şekil 48. Dental implantlardaki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan Von mises gerilme değerleri sırasıyla 26,702 MPa ve 15,969 MPa'dır.

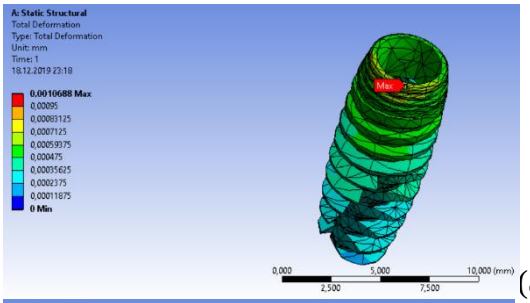
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 49'da verilmiştir.



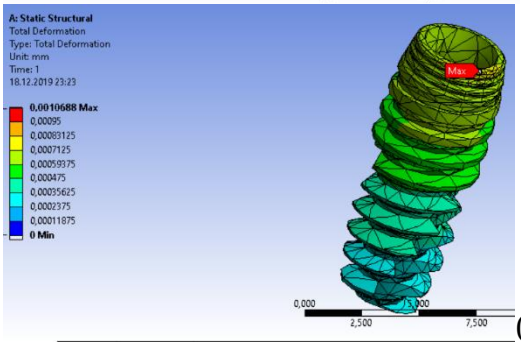
Şekil 49. Dental implantlardaki şekil değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $2,6432*10^{-4}$ ve $1,5023*10^{-4}$'tür.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 50'de verilmiştir.



(a)

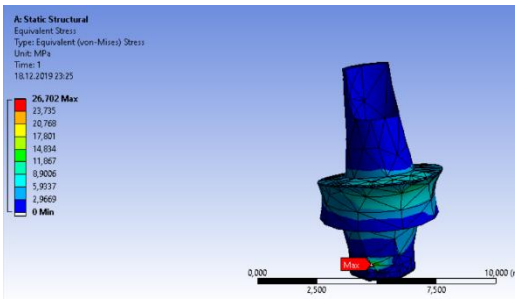


(b)

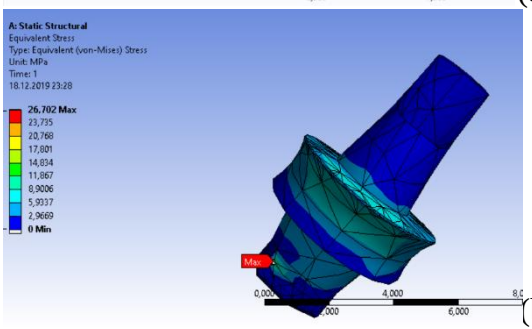
Şekil 50. Dental implantlardaki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı implant, (b) 2 numaralı implant

Yükün uygulanmasıyla birlikte dental implantlarda oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $6{,}5491*10^{-4}$ mm ve $7{,}5063*10^{-4}$ mm'dir.

Model 4' de abutment malzemesi olarak titanyum kullanılmış ve dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde ortaya çıkan Von mises gerilme değerleri şekil 51'de verilmiştir.



(a)

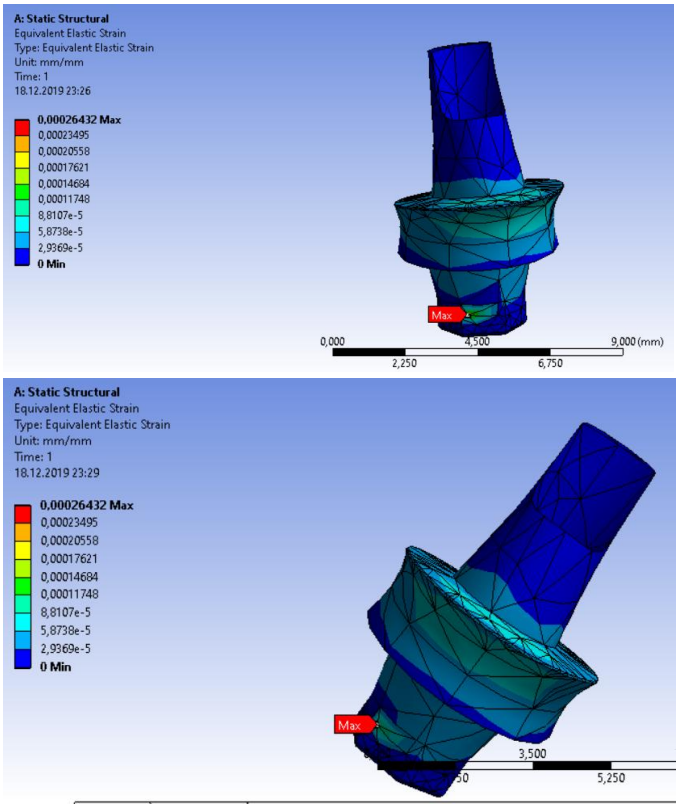


(b)

Şekil 51. Abutmentlerdeki gerilme dağılımı (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment

Yukarıda kemik içerisine yerleştirilen ve bağlantı elemanı olarak görev yapan abutment etki eden yükler altında eğilme momentine maruz kalmaktadır. Abutmentlerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri 17,607 MPa ve 12,581 MPa'dır.

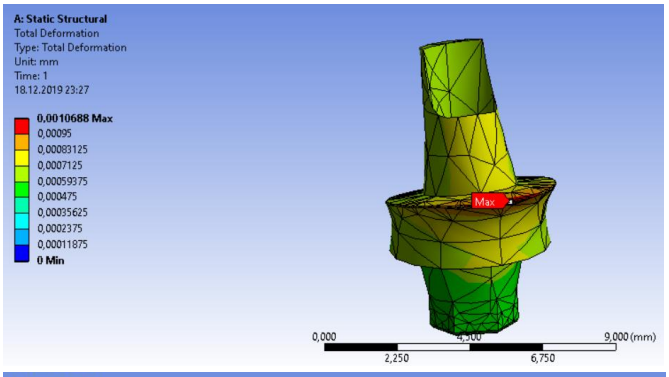
Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri şekil 52'de verilmiştir.



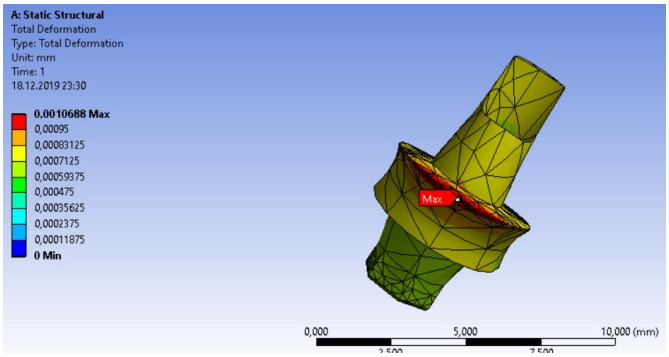
Şekil 52. Abutmentlerdeki şekil değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan şekil değiştirme değerleri sırasıyla $1{,}7118*10^{-4}$ ve $1{,}2684*10^{-4}$ 'tür.

Dişlere 50 N yük uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri şekil 53'te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 53. Abutmentlerdeki toplam yer değiştirme (a) 3 numaralı abutment, (b) 2 numaralı abutment

Yükün uygulanmasıyla birlikte abutmentlerde oluşan toplam yer değiştirme değerleri sırasıyla $1{,}0041*10^{-3}$ mm ve $1{,}0688*10^{-3}$ mm'dir.

3.5. Tasarlanan Modellerin Karşılaştırılması

Analiz sonrası elde edilen sonuçlar dört yerleşim düzenin karşılaştırılması için tablolar halinde aşağıda verilmiştir (Tablo 2-8).

Tablo 2. Kemik için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	1,3981	$1{,}0144*10^{-4}$	$7{,}4699*10^{-4}$
M2	2,4186	$1{,}8684*10^{-4}$	$5{,}8766*10^{-4}$
M3	2,4093	$1{,}7773*10^{-4}$	$7{,}5332*10^{-4}$
M4	2,261	$2{,}0067*10^{-4}$	$7{,}4385*10^{-4}$

Kemikte yapılan yükleme sonucu en düşük gerilme ve şekil değiştirme Model 1'de oluşurken en düşük toplam yer değiştirme değeri Model 2'de olmuştur.

Tablo 3. Dental implant 1 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	16,709	$1{,}5345*10^{-4}$	$7{,}0568*10^{-4}$
M2	7,0089	$6{,}4884*10^{-5}$	$5{,}4778*10^{-4}$
M3	16,377	$1{,}49*10^{-4}$	$7{,}845*10^{-4}$
M4	---	---	---

İmplant için yapılan yüklemede en düşük gerilme, şekil değiştirme ve toplam yer değiştirme değeri Model 2'de oluşmuştur.

Tablo 4. Dental implant 2 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	8,8032	$8{,}1467*10^{-5}$	$7{,}3773*10^{-4}$
M2	---	---	---
M3	14,042	$1{,}3748*10^{-4}$	$6{,}8087*10^{-4}$
M4	15,969	$1{,}5023*10^{-4}$	$7{,}5063*10^{-4}$

İmplant için yapılan yükleme sonucu en düşük gerilme ve şekil değiştirme değeri Model 1'de oluşurken en düşük toplam yer değiştirme değeri Model 3'te oluşmuştur.

Tablo 5. Dental implant 3 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	9,6161	$9{,}1295*10^{-5}$	$6{,}1572*10^{-4}$
M2	17,041	$1{,}7195*10^{-4}$	$6{,}1651*10^{-4}$
M3	---	---	---
M4	26,702	$2{,}6432*10^{-4}$	$6{,}5491*10^{-4}$

Yapılan yükleme sonucu en düşük gerilme, şekil değiştirme ve toplam yer değiştirme değeri Model 1'de oluşurken, üç durum için de en yüksek değerler Model 4'te oluşmuştur.

Tablo 6. Abutment 1 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	11,167	$1{,}1098*10^{-4}$	$9{,}5823*10^{-4}$
M2	10,253	$9{,}5229*10^{-5}$	$8{,}383*10^{-4}$
M3	9,2542	$8{,}6335*10^{-5}$	$1{,}1092*10^{-3}$
M4	---	---	---

Abutment için yapılan yükleme sonucu en yüksek gerilme ve şekil değiştirme değeri Model 1'de, en büyük yer değiştirme da Model 3'te oluşmuştur.

Tablo 7. Abutment 2 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	11,932	$1{,}1721*10^{-4}$	$1{,}0614*10^{-3}$
M2	---	---	---
M3	9,2966	$8{,}6092*10^{-5}$	$1{,}0166*10^{-3}$
M4	12,581	$1{,}2684*10^{-4}$	$1{,}0688*10^{-3}$

Abutment için yapılan yüklemede üç durum için de en büyük değerler Model 4' te oluşmuştur.

Tablo 8. Abutment 3 için değerler

Model	Gerilme (MPa)	Şekil Değiştirme	Toplam Yer Değiştirme (mm)
M1	10,581	$1{,}0424*10^{-4}$	$9{,}4376*10^{-4}$
M2	12,006	$1{,}1913*10^{-4}$	$9{,}5851*10^{-4}$
M3	---	---	---
M4	17,607	$1{,}7118*10^{-4}$	$1{,}0041*10^{-3}$

Abutment için yapılan yükleme sonucu üç durum için de en yüksek değerler Model 4'te oluşmuştur.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan çalışmada dental implant destekli hareketli protezlerin üç ve iki implantla farklı yerleşim düzenlerinde ve tek tip implant malzemesi ile desteklenmesi sonucu oluşacak gerilme dağılımları, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler incelenmiştir. Dental implant yerleşim düzeni olarak iki implantlı 3 model ve üç implantlı bir model oluşturulmuştur. Elde edilen modellerin ANSYS workbench sonlu elemanlar programı yardımıyla analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Üç implantlı modellerde ortaya çıkan gerilme değerleri tüm yükleme koşulları için iki implantlı modellerden daha düşük değerler almıştır. Bunun sebebi olarak uygulanan kuvvetin üç implant tarafından paylaşılması gösterilebilir.
2. İki implantlı modellerde ortaya çıkan maksimum Von mises gerilme, şekil değiştirme ve toplam yer değiştirme değerleri implant yeri ve uygulanan yükün bölgesinin değişimiyle farklılık göstermiştir. Örneğin; model 2'de maksimum gerilme, şekil değiştirme ve toplam yer değiştirme değerleri yükün birinci büyük azı dişine uygulanması sonucunda ortaya çıkarken, model 3'te birinci küçük azı dişinde, model 4'te ise gerilme ve şekil değiştirme değerleri birinci büyük azı dişinde, toplam yer değiştirme değeri ise ikinci küçük azı dişinde oluştuğu görülmüştür.
3. İmplantlarda meydana gelen gerilmeler implant boyun bölgesinde yoğunlaşmış ve en yüksek gerilme değerlerine implant boyun noktasında ulaşmıştır. İmplant boyun bölgesinde yer alan ve implantın kemiğe daha iyi oturmasını sağlayan kanallar ilk yüklemenin implant boyun bölgesi tarafından karşılanmasına ve maksimum gerilme değerlerinin gözlendiği bölgenin implant boyun bölgesi olmasına sebep olmuştur.
4. Abutmentlerde meydana gelen gerilmeler, şekil değiştirmeler ve toplam yer değiştirmeler abutment basamak bölgesinde yoğunlaşmış ve en yüksek değerler yine bu bölgede oluşmuştur.
5. Kemikte ortaya çıkan gerilme değerleri incelendiğinde en yüksek gerilme değerlerinin sert kemik tabakasında oluştuğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Konu üzerinde bundan sonra yapılması önerilecek çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yapılan çalışmalar farklı boyutlardaki ve farklı yoğunluklardaki çene kemikleri için tekrarlanabilir.
2. Alt çene kemiğinde farklı türde dental implantlar kullanılmasıyla, modellerde oluşan gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerleri incelenerek en iyi implant türü seçilebilir.
3. Yapılacak olan çalışmalarda dental implantların uygulama bölgeleri değiştirilerek oluşacak olan sonuçlar değerlendirilebilir.
4. Oluşturulan modeller farklı yazılım programlarıyla analizleri yapılarak çıkacak olan sonuçlar karşılaştırılabilir.
5. Kullanılan protez malzemeleri değiştirilip gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerleri araştırılabilir.
6. Dental implantlar köprü dişlerin altına da farklı yerleşim düzenleriyle uygulanarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
7. Sunulan öneriler de dikkate alınarak, aynı analiz koşullarında üst çene kemiği için de yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Aksan, M.E., Atsü, S., Bulut, A.C. (2018). İmplant-protez bağlantısında sonlu eleman analiz yöntemi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2, 91-97.

ANSYS 16.0, (2016). Swanson Analysis Systems Inc., Houston PA, USA.

Bergkvist, G., Simonsson, K., Rydberg, K., Johansson, E. and Derand, T. (2008). A finite element analysis of gerilmes distribution in bone tissue surrounding uncoupled or splinted dental ımplant. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 10, 40-46.

Bonnet, A.S., Postaire, M. and Lipinski, P. (2009). Biomechanical study of mandible bone suppoting a four- ımplant retained bridge finite element analysis of the ınfluence of bone anisotropy and foodstuff position. *Medical Engineering&Physics*, 31, 206-215.

Cicciu, M., Bramanti, E., Cecchetti, F., Scappaticci, L., Guglielmino, E. and Risitano, G. (2014). FEM and Von Mises analyses of different dental ımplant shapes for masticatory loading distribution. *Oral&Implantology*, 1, 1-10.

Chun, H.J., Cheong, S.Y., Heo, S.J., Chung, J.P., Rhyu, I.C., Choi, Y.C., Baik, H.K., Ku, Y. and Kim, M.H. (2002). Evaluation of design parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis. *Journal of Oral Rehabilitation*, 29, 565–574.

Ding, X., Zhu, X.H., Liao, S.H., Zhang, X.H. and Chen, H. (2009). Implant–Bone ınterface gerilmes distribution in ımmediately loaded ımplants of different diameters: a three-dimensional finite element analysis. *Journal of Prosthodontics*, 18, 393–402.

Geng, J.P., Tan, K.B. and Liu, G.R. (2001). Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(6), 585-98.

Huang, H.L., Hsu, J.T., Fuh, L.J., Tu, M.G., Ko, C.C. and Shen, Y.W. (2008). Bone stress and interfacial sliding analysis of implant designs on an immediately loaded maxillary implant: A non-linear finite element study. *Journal of Dentistry*, 6, 409-417.

Hsu, M.L. and Chang, C.L. (2010). Application of finite element analysis in dentistry. finite element analysis, David Moratal (Ed.), 43-60.

Jafarian, M., Mirhashemi, F.S. and Emadi, N. (2019). Finite element analysis of stress distribution around a dental implant with different amounts of bone loss: An in vitro study. *Dental and Medical Problems*, 56(1), 27-32.

Karaman, H. (2018). Dental implantların yapısal analizi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 117s.

Köse, S. (2013). Hasarlı çene kemiği tedavisinde protez dolgu malzemesinin ve abutment boyunun etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 113s.

Kumar, G.A., Kovoor, L.C. and Oommen, V.M. (2011). Three dimensional finite element analysis of the gerilmes distribution around the ımplant and tooth in tooth ımplant- supported fixed prosthesis designs. *Journal of Dental Implants*, 1(2), 75-79.

Kunavisarut, C., Lisa A. Lang, L.A., Stoner, B.R. and Felton, D.A. (2008). Finite element analysis on dental ımplant- supported prostheses without passive fit. *Journal of Prosthodontics*, 11(1), 30-40.

Lanza, M.D.S., Seraidarian, P.I., Jansen, W.C. and Lanza, M.D. (2011). Stress analysis of a fixed implant – supported denture by the finite element method (FEM) When varying the number of teeth used as abutments. *Journal of Applied Oral Science*, 19 (6), 655-661.

Liu, J., Pan, S., Dong, J., Mob, Z., Fan, Y. and Feng, H. (2013). Influence of implant number on the biomechanical behaviour of mandibular implant-retained/supported overdentures: A three-dimensional finite element analysis. *Journal of Dentistry*, 41, 241-249.

Mathieu, V., Vayron, R., Richard, G., Lambert, G., Naili, S., Meningaud, J.P. and Haiat, G. (2014). Biomechanical determinants of the stability of dental implants: Influence of the bone–implant interface properties. *Journal of Biomechanics*, 47, 3–13.

Richardson, J.P. (2010). Comparative soft and hard tissue responses to titanium and polymer healing aburments. The Degree of Master Of Science. University of Florida, USA, 46 p.

Robau Porrua, A., Perez Rodriquez, Y., Soris Rodriquez, L.M. and Perez Acosta, O. (2020). The effect of diameter, length and elastic modulus of a dental implants on stress and strain levels in peri-implant bone: A 3D finite element analysis. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 30, 5-6, 541-558.

Shahmiri, R., Aarts, J.M., Bannani, V., Atieh, M.A. and Swain, M.V. (2013). Finite element analysis of an ımplant- assisted removable partial denture. *Journal of Prosthodantics*, 1-6.

Stegaroiu, R., Sato, T., Kusakari, H. and Miyakawa, O. (1998). Influence of restoration type on gerilmes distribution in bone around ımplants. A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Journal of Oral Maxillofac Implants*, 13, 82-90.

Tesk, J.A., Widera, G.E.O., Privitzer, E. (1976). Interaction effects among cortical bone, cansellous bone and periodontal menbrane of natural teeth and implants. *Journal of Biomedical Materials Researchs*, 7, 613-623.

Watanabe, F., Hata, Y., Komatsu, S., Ramos, T.C. and Fukuda, H. (2003). Finite element analysis of the influence of implant inclination, loading position, and load direction on gerilmes distribution. *Odontology*, 91, 31–36.

Zmanlou, H. (2011). Kaplama yapılmış insan dişinin termal gerilme analizi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 89 s.

ÖZGEÇMİŞ

Gözde Nur NİŞANCİ 1994 yılında Trabzon Vakfıkebir ilçesinde doğdu. İlkokul ve orta öğrenimini Çarşıbaşı Gazi İlköğretim okulunda tamamladı. 2012 yılında Akçaabat Anadolu Lisesi'nden mezun olup KTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve bölümden 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.