



T.C.  
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN BALLİSTA SPRİNG VE ELASTİK  
İPLİK YÖNTEMLERİYLE SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR  
METODUYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

Ali Furkan KARAKOYUNLU

UZMANLIK TEZİ

ORTODONTİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÜLEÇ

Tez Danışmanı

Gaziantep 2018



T.C.

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN BALLİSTA SPRİNG VE ELASTİK  
İPLİK YÖNTEMLERİYLE SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR  
METODUYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

Ali Furkan KARAKOYUNLU

UZMANLIK TEZİ

ORTODONTİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÜLEÇ

Tez Danışmanı

Gaziantep 2018

**T.C.**  
**GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN BALLİSTA SPRİNG VE ELASTİK**  
**İPLİK YÖNTEMLERİYLE SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR**  
**METODUYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

**Ali Furkan KARAKOYUNLU**

Tez Savunma Tarihi: 04.01.2018

Diş Hekimliği Fakültesi Onayı:

**Prof. Dr. Kamile ERCİYAS**  
**Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı**

Bu tez çalışmasının bir “Uzmanlık” derecesi için uygun ve yeterli bir çalışma olduğunu onaylıyorum.

**Yrd. Doç. Dr. Merve GÖYMEN**  
**Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı**

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir “Uzmanlık” tezi olarak kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Ayşegül GÜLEÇ**  
**Tez Danışmanı**

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir “Uzmanlık” tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

Doç. Dr. Nihal HAMAMCI

.....

Yrd. Doç. Dr. Merve GÖYMEN

.....

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÜLEÇ

.....

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

04.01.2018

Ali Furkan KARAKOYUNLU

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim sürecince maddi manevi bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, tez yazım aşamasında hiçbir yardımı esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÜLEÇ'e;

Anabilim Dalı başkanımız, tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Merve GÖYMEN'e;

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmam esnasında da her zaman desteğini yanımda hissettiğim biricik eşim Dr.Burcu KARAKOYUNLU'ya;

Gaziantep'teki asistanlığım süresince beni yalnız bırakmayan, sevinci ve hüznü birlikte yaşadığımız çok değerli asistan arkadaşlarıma, özellikle tezlerimizi yazarken beraber çok yol katettiğimiz Dt.Serhat ÖZDEMİR'e;

Bugünlere gelmemde emeklerini asla ödeyemeyeceğim, hayat boyu bana sahip çıkan, derdimi dertleri bilen fedakâr aileme;

Tezime destekte bulunan Gaziantep Üniverditesi BAP koordinasyon birimine teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>ii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ.....</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESİMLER LİSTESİ.....</b>	<b>xiii</b>
<b>SİMGE VE KISALTMALAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>5</b>
2.1. Maksiller Kanin Diş Sürme Fizyolojisi .....	5
2.2.Gömülü Maksiller Kanin Dişler .....	6
2.2.1. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Prevalansı.....	6
2.2.2. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Etiyolojisi.....	6
2.2.3. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Teşhisi .....	9
2.2.4. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Tedavisi.....	13
2.3. Kuvvet Analiz Yöntemleri.....	24
2.3.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge ) Analizi.....	25

2.3.2. Holografik Interferometre Analizi (Lazer Işınli Kuvvet Analizi) .....	25
2.3.3. Fotoelastik Gerilme Analizi .....	25
2.3.4. Kırılğan Vernikle Kaplama Yöntemi .....	25
2.3.5. Sonlu Elemanlar Analizi .....	26
<b>3. MATERYAL METOT .....</b>	<b>37</b>
3.1. Geometrik Modellerin Hazırlanması ve Sınır Ağ Yapının Oluşturulması .....	38
3.2. Braketlerin Modellenmesi .....	40
3.3. Molar Bandı, Transpalatal Ark ve Ark Telinin Modellenmesi .....	40
3.4. Buton, Elastik İplik ve Balista Spring Modellemesi .....	41
3.5. Sem (Spectral Element Method) Modellerinin Oluşturulması .....	42
3.5.1. Ağ Yapının Oluşturulması .....	43
3.5.2. Malzeme Özellikleri .....	43
3.5.3. Sınır Şartları ve Uygulanması .....	44
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>46</b>
4.1. Ballista Spring Modeline Ait Bulgular .....	46
4.1.1. Maksiller Kortikal Kemiğe Ait Bulgular .....	48
4.1.2. Maksiller Spongioz Kemiğe Ait Bulgular .....	54
4.1.3. Maksiller Dişlerdeki Periodontal Ligamente Ait Bulgular .....	60
4.1.4. Maksiller Dişlerde Meydana Gelen Deplasmanlar .....	67
4.2. Elastik İplik Modeline Ait Bulgular .....	75
4.2.1. Maksiller Kortikal Kemiğe Ait Bulgular .....	76
4.2.2. Maksiller Spongioz Kemiğe Ait Bulgular .....	82
4.2.3. Maksiller Dişlerdeki Periodontal Ligamente Ait Bulgular .....	88
4.2.4. Maksiller Dişlerde Meydana Gelen Deplasmanlar .....	95
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>104</b>
5.1. Materyal Metotun Tartışılması .....	104

5.2. Bulguların Tartışılması .....	111
5.2.1. Ballista Spring Modeli ve Elastik İplik Modeli ile Elde Edilen Bulguların Karşılaştırılması.....	111
5.3. Sonuç .....	117
<b>6. KAYNAKÇA .....</b>	<b>119</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>138</b>





## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Modellerin eleman ve nod sayıları .....	43
Tablo 3.2. Kullanılan malzemelerin elastik modül ve poisson katsayıları.....	44



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Tüp kaydırma tekniği. A. Işın kaynağının mesiodistal hareketinin görüntüyü nasıl etkilediği görülüyor. B ışın kaynağının süperinferior hareketinin görüntüyü nasıl etkilediği görülüyor (42).....	11
Şekil 2.2 Gömülü diş üzerine uygulanan 3 boyutlu modellerden elde edilmiş ataşman örnekleri(78). ....	19
Şekil 2.3 Eleman sayısının arttırılmasıyla geometride oluşan değişiklikler (107). ....	28
Şekil 2.4 Deformasyon öncesi ve sonrasında dört düğümlü tetrahedral (A) ve on düğümlü tetrahedral (B) elamanların gösterimi (107). ....	28
Şekil 3.1. Kortikal nokta bulutu.....	39
Şekil 3.2. Kortikal kemik içi sınır ağ yapısı .....	39
Şekil 3.3. 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde MBT braketlerin modele konumlandırılması .....	40
Şekil 3.4. Transpalatal arkın konumlandırılması.....	41
Şekil 3.5. Ark telinin konumlandırılması.....	41
Şekil 3.6. Ballista spring modeli .....	42
Şekil 3.7. Elastik İplik modeli .....	42
Şekil 3.8. Maksillanın sınır şartları.....	44
Şekil 4.2. Ballista spring modeli (sagittal görüntü) .....	47
Şekil 4.1. Ballista spring modeli (palatinal görüntü) .....	47
Şekil 4.3. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü) .....	48
Şekil 4.4. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	49
Şekil 4.5. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (aksiyal görüntü).....	49
Şekil 4.6. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü).....	50

Şekil 4.7. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü).....	51
Şekil 4. 8. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (aksial görüntü) .....	51
Şekil 4.9. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü).....	52
Şekil 4.10. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü).....	53
Şekil 4.11. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (aksiyal görüntü) .....	53
Şekil 4.12. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü) .....	54
Şekil 4.13. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	55
Şekil 4.14. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	55
Şekil 4.15. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü).....	56
Şekil 4.16. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü).....	57
Şekil 4.17. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü).....	57
Şekil 4.18. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü).....	58
Şekil 4.19. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü).....	59
Şekil 4.20. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongios kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü).....	59

Şekil 4.21. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları .....	60
Şekil 4.22. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları .....	61
Şekil 4.23. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p max bulguları .....	61
Şekil 4.24. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları .....	62
Şekil 4.25. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları .....	63
Şekil 4.26. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takibe kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları .....	64
Şekil 4.27. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takibe kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları .....	64
Şekil 4.28. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları .....	65
Şekil 4.29. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları .....	66
Şekil 4.30. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait von Mises bulguları .....	67
Şekil 4.31. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	68
Şekil 4.32. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	69
Şekil 4.33. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	69
Şekil 4.34. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	70

Şekil 4.35. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	71
Şekil 4.36. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	72
Şekil 4.37. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	73
Şekil 4.38. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	74
Şekil 4.39. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları .....	74
Şekil 4.40. Elastik iplik modeli.....	75
Şekil 4.41 Elastik iplik modelinin sagittal görüntüsü.....	75
Şekil 4.42. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü) .....	76
Şekil 4.43. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	77
Şekil 4.44. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (aksial görüntü).....	77
Şekil 4.45. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü).....	78
Şekil 4.46. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü).....	79
Şekil 4.47. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (aksial görüntü) .....	79
Şekil 4.48. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü).....	80
Şekil 4.49. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü).....	81

Şekil 4.50. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (aksial görüntü) .....	81
Şekil 4.51. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü) .....	82
Şekil 4.52. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	83
Şekil 4.53. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü) .....	83
Şekil 4.54. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü) .....	84
Şekil 4.55. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü) .....	85
Şekil 4.56. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü) .....	85
Şekil 4.57. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü) .....	86
Şekil 4.58. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü) .....	87
Şekil 4.59. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü) .....	87
Şekil 4.60. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları .....	88
Şekil 4.61. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları .....	89
Şekil 4.62. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dışın periodontal ligamentine ait p max bulguları .....	90
Şekil 4.63. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları .....	91

Şekil 4.64. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları.....	91
Şekil 4.65. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları.....	92
Şekil 4.66. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları.....	93
Şekil 4.67. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları.....	94
Şekil 4.68. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları.....	94
Şekil 4.69. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait von Mises bulguları.....	95
Şekil 4.70. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	96
Şekil 4.71. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	97
Şekil 4.72. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	98
Şekil 4.73. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	99
Şekil 4.74. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	100
Şekil 4.75. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	100
Şekil 4.76. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	101
Şekil 4.77. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları.....	102

Şekil 4.78. Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dışında Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları ..... 103





## RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Palatinalde gömülü kaninde uygulanan pencere tekniği. (A) kronun açığa çıkartılması, (B,C) braket yerleştirilmesi ve fleksibl ark teli varlığında ortodontik traksiyon (75).....	16
Resim 2.2. Kapalı cerrahi sürdürme tekniği. (A) Tedavi öncesi. (B) Cerrahi olarak dişin ekspozu. (C) 1 hafta sonra ortodontik traksiyon. (D) Tedavi sonrası (78).....	18
Resim 2.3. Ortodontik traksiyon için kullanılan lasso teli (A), threaded pinler, gold chain (B), bantlar, braketler, eyelet (C), mıknatıslar (D) (78).....	19
Resim 2.7. Ballista spring pasif görünümü (A,B) ve aktivasyonu (C,D) (82).....	21
Resim 2.8. Kilroy springin ark reline yerleştirilmesi ve aktiflenmesi (84) .....	22
Resim 2.9. K-9 springni uygulanması (A) ve aktiflenmesi (B) (85) .....	22
Resim 2. 10. Elastik iplik aracılığıyla kanin dişe kuvvet uygulanması (86) .....	23
Resim 2.11. Hareketli apareyden destek alınarak maksiller kanin dişin sürdürülmesi(A,B,C) (87).....	23
Resim 2.12.Hareketli apareye eklenen mıknatıs yardımı ile gömülü maksiller kanin dişin sürdürülmesi (88).....	24

## SİMGE VE KISALTMALAR

% : Yüzde

$\mu$ Sv: Mikro Sievert

3D: Üç Boyut

AIDS: Acquired Immune Deficiency Syndrome

BAP: Bilimsel Araştırma Projesi

BT: Bilgisayarlı Tomografi

E: Gerilme/Gerinim

FOV: Field of View

GB: Gigabayt

GHz: Gigahertz

GPa: Giga Pascal

gr: Gram

KIBT: Konik Işnlı Bilgisayarlı Tomografi

MBT: Mc Laughlin Bennett Trevisi

mm: Milimetre

MPa: Mega Pascal

MR: Manyetik Rezonans

N: Newton

°: Derece

P max: basma gerinimi

P min: çekme gerinimi

P: Basınç

PDL: periodontal ligament

SEM: Spectral Element Method

SI: Uluslararası Birim Sistemi

sn: Saniye

TB: Terabayt

TMA: Titanium Molybdenum Alloy

TPA: Trans Palatal Ark

Vit: Vitamin

## ÖZET

### MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN BALLİSTA SPRİNG VE ELASTİK İPLİK YÖNTEMLERİYLE SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR METODUYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Ali Furkan KARAKOYUNLU  
Uzmanlık Tezi, Ortodonti Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÜLEÇ

04.01.2018, 161 sayfa

Maksiller kanin dişler, üçüncü molar dişlerden sonra en sık gömülü kalan dişlerdir. Gömülü dişlerin ortodontik tedavi ile sürdürülmesi sonucu dişlerin dental arkta yerini alması kadar önemli bir diğer nokta da sürdürme işlemi sırasında çevre periodontal dokulara etkileyen kuvvetin fizyolojik sınırlarda tutularak bu yapıların sağlığının korunmasıdır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi mühendislikte yapıların gerinme gerilme problemlerini çözen ortodonti alanında da dişlerde ve komşu periodontal yapılarda görülen stres dağılımlarının incelenmesinde sıklıkla kullanılan güçlü bir bilgisayarlı simülasyon metodudur. Çalışmamızda kliniğimizde gömülü diş sürdürülmesi için kullanılan yöntemler arasında sık kullanılan ballista spring uygulaması ve elastik iplik uygulaması yöntemlerinin komşu dokular üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla maksiller gömülü kanin diş ark teli üzerinden, elastik iplik ve 0.016 inch paslanmaz çelik telden yapılan ballista spring ile kuvvet uygulanan iki model oluşturulmuştur. Çalışma sonunda her iki modelde de uygulanan kuvvet miktarı eşit olmasına rağmen gömülü kanin ve ankraj dişler ile komşu periodontal dokularda basma ve gerinim değerlerinin elastik iplik modelinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Ballista spring yönteminde ise kuvvet uygulanmasını takiben sol posterior bölgede yoğunlaşan stresler özellikle birinci premolar ve birinci molar dişte devirici kuvvetlere sebep olmaktadır. Sonuç olarak elastik iplik yöntemi ile gömülü kanine komşu dişlerde devrilme hareketi meydana gelmesi bu yöntemin en belirgin dezavantajı olarak ortaya çıkarken ballista spring uygulamasında ise ankraj alınan posterior dişlerde devrilme gözlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** ballista spring, diş sürdürme, elastik iplik, finite element, maksiller gömülü kanin

## ABSTRACT

### COMPARISON OF THE ERUPTION OF THE MAXILLARY IMPACTED CANINE TEETH USING BALLISTA SPRING AND ELASTIC THREAD PROCEDURES BY FINITE ELEMENTH METHOD

Ali Furkan KARAKOYUNLU  
Specialist Thesis, Department of Orthodontics  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayşegül GÜLEÇ  
04.01.2018, 161 pages

The maxillary canines are the most frequently impacted teeth following the third molar. Preserving the surrounding periodontium and keeping the erupting force within the normal physiologic force limit is as important as while traction of impacted tooth. The finite element analysis method has considered to be an effective computerized method in simulation which is frequently used in engineering for solving the stress and strain problems. It has recently been used in orthodontics for determining areas of stress distribution on the teeth and the adjacent periodontal structures. In our study, effects of ballista spring and elastic thread on the surrounding periodontal tissues has been compared, as they both considered to be the most frequently used methods for stimulating eruption of impacted teeth in our clinics . For this purpose, force has been applied to two different impacted canine models by using elastic thread which was attached to the arch wire, and by balista spring which was made from 0.016 inch stainless steel wire. Results were compared by finite element analysis. It has been found that the compression and tensile stress values on the impacted canine, anchor teeth and adjacent periodontal tissues are higher in the elastic thread model than in the balista spring model,inspite of applying equal force in both groups . The concentrated stress in the left posterior region following force application by using ballista spring method, resulted in tipping force especially on the first premolar and the first molar teeth. Thus, tipping movement of the teeth adjacent to the impacted canine was considered to be the most obvious disadvantage of using elastic tread, while in balista spring model tipping of the posterior teeth found to be most significantly happened.

**Key words:** ballista spring, elastic thread, finite element, maxillary impacted canine, tooth eruption.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Maksiller kanin dişler, üst çenede anterior bölgede en son süren dişler olmaları, sürme yollarının uzun olması, gelişim bölgelerinin derinlerde yer alması gibi nedenlerle üçüncü molar dişlerden sonra en sık gömülü kalan dişlerdir (1). Bu dişler labialden (15%) çok palatinal bölgede (85%) gömülü kalma eğiliminde olup 7% vakada çift taraflıdır (2). Özellikle palatinal bölgedeki gömülü dişler, kalın palatinal kortikal kemik ile sıkı ve dirençli bir ilişkisi olan palatinal mukoza nedeniyle, cerrahi girişimle birlikte ortodontik olarak yönlendirilmeye ihtiyaç duyarlar.

Literatürde gömülü dişlerin sürdürülmesi ile ilgili pek çok tedavi alternatifi bulunmaktadır. Bu yöntemler; ballista spring uygulaması, elastik iplik, chain veya ligatür teli ile ark teline bağlayarak diş sürdürme, ana ark telinin üzerinden esnek bir aksesuar (overlay) ark ile diş sürdürücü kuvvet uygulama, Kilroy spring uygulama, K-9 spring uygulama, fleksibl palatinal ark, kantilever sistemi, mikroimplantlar ve sabit ankraj apareyleri aracılığıyla kuvvet uygulama şeklinde sıralanabilir (3).

Kliniğimizde gömülü kanin sürdürülmesi yöntemleri arasında ballista spring uygulaması ve elastik iplik uygulaması yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Ballista spring, 0.014, 0.016 veya 0.018 inch yuvarlak paslanmaz çelik telden ve kendi uzun ekseninde yapılan bir bükümdür. Molar bandının hem edgewise ve hem headgear tüplerinden ankraj alır. Böylece tel, tüp içerisinde rotasyon yapmaz. Telin birinci premolara bağlanan horizontal parçasıyla enerji üretilir. Springin uç kısmı metal ligatür bağlanması için loop şeklinde olup horizontal parçaya dik bir şekilde aşağı doğru uzanır. Bu dik kısım gömülü dişe doğru hareket ettirildiğinde bükülen horizontal metal parça aracılığıyla enerji açığa çıkar. Vertikal kısım serbest bırakıldığında bir “ballista” gibi aşağı doğru hızla hareket eder. Ankraj sağlamak amacıyla 0.9 mm lik telden molar ve premolarlara uzanan bir transpalatinal ark (TPA) yapılır (4).

Elastik iplik ortodontide sıklıkla kullanılan etkinliğini 4 haftaya kadar sürdürebilen kauçuk ve sentetik elastomerlerden yapılan materyallerdir (4). Elastik iplikle gömülü

kanin sürdürme yönteminde rijit ark telleri, minivida ve TPA gibi apareylerden ankraj alınarak gömülü diş sürdürülebilir.

Sonlu elemanlar analizi; mühendislikte yapıların gerinme-gerilme problemlerini çözen gl bir bilgisayarlı simülasyon metodudur. Kısaca “karmaşık sistemleri mantıklı sayılarla elemanlara bölerek gerçeğe yakın sonuçlar elde etmeye dayalı analiz şekli” olarak tanımlanmaktadır (5, 6).

Gömülü dişlerin ortodontik tedavi ile sürdürülmesi sonucu dişlerin dental arkta yerini alması kadar önemli bir diğer nokta da sürdürme işlemi sırasında evre periodontal dokulara etkiyen kuvvetin fizyolojik sınırlarda tutularak bu yapıların sağlığının korunmasıdır. Gömülü diş sürdürülmesi sırasında evre dişlerde ve ankraj alınan dişlerde kök rezorbsiyonları, istenmeyen diş hareketleri, ark formunda deformasyon meydana gelebilmektedir. Literatürde sonlu elemanlar analizi yöntemi ile gömülü kanin sürdürülmesine dair çalışmaya rastlanmadığından bu alanda yapılacak çalışmalar ile konunun aydınlatılmasına ihtiyaç vardır. Çalışmamızda kliniğimizde gömük kanin sürdürme yöntemleri arasından en sık kullanılan balista spring uygulaması ve elastik iplik uygulaması yöntemlerinin gömük dişe komşu dişler ve alveol kemiği üzerindeki etkileri sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiş olup bu uygulamalar esnasında oluşan streslerin dağılımı belirlenerek hangi sürdürme mekanığinin daha zararsız olduğu yorumlanmaya çalışılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Maksiller Kanin Diş Sürme Fizyolojisi

Sürme, dişin alveol kemiğindeki aksiyel hareketiyle nonfonksiyonel durumundan fonksiyonel duruma geçmesi hareketidir. Diş sürmesi kök gelişiminin tamamlanmasını, periodonsiyumun oluşturulmasını ve fonksiyonel okluzyonun sağlanmasını kapsar. Süt ve daimi dişlerin normal sürme zamanları geniş bir kronolojik yaş aralığına sahiptir. Normal erüpsiyonun standartlarını irksal, cinsiyetsel ve kişisel faktörler belirler (4).

1962'de Gron normal şartlar altında erüpsiyonun kökün  $\frac{3}{4}$ 'ü oluştuğunda başlayacağını göstermiştir. Fakat mandibular kaninler ve ikinci molarlar köklerinin  $\frac{3}{4}$  ünden fazlası, mandibular santral ve birinci molarlar ise köklerinin  $\frac{3}{4}$ 'ünden daha azı geliştiğinde sürerler (7).

Diş sürmesi esnasında kök uzunluğu artar, alveoler prosesin yüksekliği artar, diş kemiğe doğru hareket eder ve süt diş köklerinde rezorpsiyon oluşur (7).

Kanin koruyuculu okluzyon ve grup fonksiyonu açısından daimi üst kanin dişi anahtar rol oynar. Geniş kök yüzeyi vertikal ve lateral kuvvetleri karşılamada avantaj sağlarken bazı ortodontik hareketler sırasında dezavantaj oluşturabilmektedir. Üst daimi kanin dişin geniş kök hacmi ve kron şekli genç ve sağlıklı bir gülümseme algısı oluşturan önemli etkidir (8, 9).

Daimi kesici dişlerin sürmesi tamamlandıktan sonra daimi kanin ve premolarlar sürmeye başlar. Üst daimi kanin mesiodistal çapı süt kaninlerden 1 mm büyük olmasına karşın üst ikinci süt azısının mesiodistal çapı ikinci premoların mesiodistal çapından 2 mm büyüktür. Bir yarım çenedeki süt kanin ve süt azıların mesiodistal çapları ile daimi kanin ve premolarların mesiodistal çapları arasındaki farkı ifade eden 'leeway yer rezervi' üst çenede 1 mm dir. Üst çenedeki daimi diş sürme sıralamasına bakılacak olursa daimi kesicilerden sonra önce üst birinci premolar sürer. Sonra daimi üst ikinci premolar ve daimi kanin dişi hemen hemen beraber sürer. Böylece üst daimi kanin için gerekli olan 1 mm lik yer üst süt azısından kalan 2 mm lik fazlalıktan kullanılır. Bunun için ikinci süt azısı düştüğünde daha önce süren daimi üst birinci preolar ikinci süt



azısından kalan 2 mm lik boşluğa yani distale doğru hareket eder. Böylece üst daimi kanin için gerekli olan sağlanmış olur (10, 11).

3 yaşında daimi maksiller kanin, daimi lateral ve santral kesicinin daha yukarısında ve palatinalinde kronu mezialde olacak şekilde konumlanmaktadır. Daimi santral ve lateral dişlerin sürmesinin ardından üst daimi kanin sürmeden önce kronu göz burun açısında, daimi üst yan kesici diş köküne komşu ve bu dişin vestibülünde ve mesial yönde eğimli bir konumda bulunmaktadır. Aynı zamanda daimi üst kanin sürmeden önce birinci premolar dişin mine sement sınırına komşudur. Dolayısıyla üst daimi birinci premolar sürünce üst daimi kanin distale ve aşağı doğru hareket eder. Sürme periyodu esnasında daimi kanin alveolar kemiğin bukkal yüzeyinde palpe edilebilir. Daimi maksiller kanin dişler 11-13 yaşlar arasında sürmesini tamamlamaktadır. Daimi üst kanin dişin uzun bir sürme yolu ve sürme sırasında düzeltilmesi gereken bir mesial eğimi bulunmaktadır. İşte bu aşamada oluşabilecek problemler nedeniyle üst daimi dişi gömülü kalabilir (10, 11).

## **2.2.Gömülü Maksiller Kanin Dişler**

Sürme zamanı gelmesine rağmen çeşitli nedenlerden olayı süremeyip alveol içerisinde gömülü kalan dişlere gömük ya da gömülü diş denir.

### **2.2.1. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Prevalansı**

Gömülü daimi maksiller kanin dişler, üçüncü daimi molar dişlerden sonra en sık gömülü kalma oranına sahiptir. Daimi maksiller kanin dişlerin gömülü kalma prevalansını Dachi ve Howell (12) %0.92 olarak belirtirken, Ericson ve Kurol (13) bu oranı %1.7 olarak rapor etmişler, Thilander ve Myrberg (14) 7-13 yaşlar arasında %2.2 gömülü kalma oranı belirtmişlerdir. Kadınlarda rapor edilen gömülü kanin prevalansı (%1.17) erkeklerdekinden (%0.51) yaklaşık iki kat fazladır (8). Gömülü maksiller kanin dişlerin palatinalde görülme sıklığı, labialde görülme sıklığının iki katıdır (13).

### **2.2.2. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Etiyolojisi**

Maksiller daimi kanin dişin gömülü kalması üzerine pek çok hipotez bulunmaktadır:

### **Süt kanin kökünün rezorbe olmaması**

Diş sürmesi esnasında diş alveolar kemiğe doğru hareket eder ve süt diş köklerinde rezorpsiyon oluşur (7). Süt kaninin kökü rezorbe olmazsa daimi kanin süremeyip palatinalde gömülü kalabilir (15). Kökü rezorbe olmamış süt kaninin çekimini takiben gömülü daimi kanin dişte spontan erüpsiyon görülebilmektedir (13).

### **Travma**

Süt dentisyon zamanında 2-4 yaş ile karma dişlenme zamanında 7- 10 yaşlar arası çocuklarda travmanın en sık görüldüğü dönemdir. Lateral dişin kök gelişimini etkileyen her türlü travma daimi kaninin palatinalde gömülü kalmasına sebep olabilir (16). Aynı şekilde süt kaninin kökünde meydana gelen bir rezidüel enfeksiyon veya kronik irritasyon da daimi kanin dişin gömülü kalmasına sebep olabilir (4).

Travma ektopik erüpsiyona neden olabilir (16, 17). Ayrıca odontogenez safhasında dilaserasyona (18, 19) ve germin deplasmanına neden olabilir (16, 19).

### **Yer darlığı**

Dişlerin mezio distal çapları toplamının diş arkının uzunluğundan fazla olması durumunda yer darlığı gözlenir. McBride (20) şiddetli ark boyut uyumsuzluğu olan vakalarda bölgedeki diş serisinin en son süren dişinin erüpsiyon yolundan sapabileceğini ve gömülü kalabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte Jacoby (21) palatinalde gömülü kanin vakalarının %85'inde kanin dişin erüpsiyonu için yeterli yer olduğunu ancak labialde gömülü kanin dişi vakalarının ancak %17'sinde kanin diş için yeterli yer olduğunu rapor etmiştir. Bu yüzden ark boyut uyumsuzluğu daha çok labialde gömülü kanin diş vakalarıyla ilişkilendirilebilmektedir.

### **Erüpsiyon yolunun uzun olması**

Daimi maksiller kanin dişin germinin göz burun açısında bulunması, uzun ve kıvrımlı bir erüpsiyon yolu izlemesi bu dişin gömülü kalma nedenleri arasında düşünülmektedir (4).

### **Lateral rehberliği**

Daimi santral ve lateral dişlerin sürmesinin ardından üst daimi kanin dişi sürmeden önce daimi üst yan kesici diş köküne komşu ve bu dişin vestibülünde bulunup bu dişin kökünü rehber olarak sürmektedir. Lateral dişin kama şeklinde olması, kök uzunluğunun ve formunun anormal olması ya da konjenital olarak eksik olması durumunda daimi kanin dişi, lateral dişin distal kök yüzeyi ile olan rehberliğini kaybederek palatinalde gömülü kalabilmektedir (21, 22).

### **Periodontal ligamentin devamlılığının bozulması**

Periodontal ligament, sinir ve vasküler bileşenlere sahip fibröz bağ dokusu yapısı olup kökü kaplayan sementi alveol kemiğine birleştirir. Diş hareketine aracılık eden periodontal ligamentin kalsifikasyonu sonucu ankiloz görölmektedir. Ankiloz her türlü ortodontik diş hareketini engeller (23).

Ortodontik diş hareketinin neden olduğu kök rezorpsiyonundan biraz farklı olan invaziv servikal kök rezorpsiyonu gömülü dişi etkiler ve dişin gömülü kalmasından sorumludur (24). İnvaziv servikal kök rezorpsiyonlu dişler cerrahi operasyon sırasında normal mobilite sergiler fakat ortodontik kuvvetlerden etkilenmez. Diş cerrahi olarak ikinci kez açıldığında traksiyonun geniş periyotlarla başarısız bir şekilde uygulanmış olabileceğinden dişte aşırı mobilite gözlenebilir. Bu bölgedeki servikal rezorpsiyon periodontal doku bütünlüğünü bozduğundan dişin sürmesine izin vermez (23).

### **Fiziksel engeller**

Süpernümerer dişler, mukoza bariyeri, skar dokusu ve tümörler gömülü kalmaya neden olan en yaygın fiziksel engellerdir (25). Süpernümerer dişler maksilla ve mandibulada görölebilen genellikle anormal formdaki artı dişlerdir. Komşu diş kökünde rezorpsiyon, daimi dişlerde sürme gecikmesi ve deplasman gibi problemlere sebep olabilmektedir. Özellikle tüberküllü yapıdaki süpernümerer dişlerin gömülü kalmaya neden olduğunun belirtildiği çalışmalar bulunmaktadır (26). Birçok sebepten kaynaklanabilen gingival hiperplazi (vit c eksikliği, fenitoin) yoğun bağ dokusu veya zengin asellüler kollojen nedeniyle oluşmuş mukoza bariyeri diş sürmesine engel olabilir (27). Daimi dişlerin gömülü kalma sebeplerinden biri de vital olmayan süt dişlerin kiste dönüşmesidir (28).

Acquavella (1965) bir diğerk gömülü kalma etkeni olarak mine incilerini rapor etmiştir (29).

### **Diğerk etiyolojik faktörler**

Dudak damak yarığı, diş agenezisi (30), radyasyon (31), fenitoin (32), bazı endokrin bozukluklar (hipotiroidizm, hipoparatiroidizm, psödohipoparatiroidizm) (33), AIDS (34), anemi (35), serebral palsi (36), tütün (37), idiopatik (38), uzun dönem kemoterapi (39) gibi nedenlerle dişler gömülü kalabilmektedir.

Bununla birlikte bazı genetik hastalıkların varlığı da dişlerin gömülü kalma etiyolojisinde rol oynayabilir. Bu hastalıklar arasında Amelogenesis imperfekta, Apert sendromu, Carpenter syndrome, Cherubism, Kleidokranial displazi, Dentin displazisi, Mukopolisakkaridoz (DeLange syndrome), Hurler sendromu, Hurler Scheie sendromu, Hunter sendromu, Down sendromu, Ektodermal displazi, Ekman-Westborg-Julin sendromu, Epidermolizis bülloza, Gardner sendromu, Gaucher hastalığı, Gingival fibromatosis ilgili sendromlar, Nörofibromatozis, Hemifasial microsomi, Osteopetrosis, Osteogenesis imperfekta, Hutchinson-Gilford sendromu, Sklerostozis, SHORT sendromu, Singleton-Merten sendromu, Kondroektodermal displazi (Ellis-van Creveld sendromu) sayılabilir (40).

### **2.2.3. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Teşhisi**

#### **2.2.3.1. İnspeksiyon**

İnspeksiyon gözle izleme anlamına gelmekte olup muayenenin ilk adımı sayılabilir. Daimi maksiller kanin dişi 12 yaş civarında ağızda görülmekte ve yine bu dönemde lateral dişlerdeki çirkin ördek yavrusu görüntüsü daimi kaninin sürmesiyle kaybolmaktadır. Eğer çirkin ördek yavrusu görüntüsü devam ediyorsa daimi kanin gömülü kalabilir ve konumuna göre daimi lateralin kökünün bukkale ya da palatinala itilmesine neden olarak lateral dişte tork ve pozisyon bozukluğuna neden olabilir (4). Ayrıca daimi dişlerin sürme zamanları kontralateral dişlerin sürmesiyle yakın zamanlarda olur. Bir tarafta kanin dişin sürdüğü ancak kontralateral kanin dişin sürmediği durumlarda gömülü kalma ihtimali gözden geçirilmelidir (7).

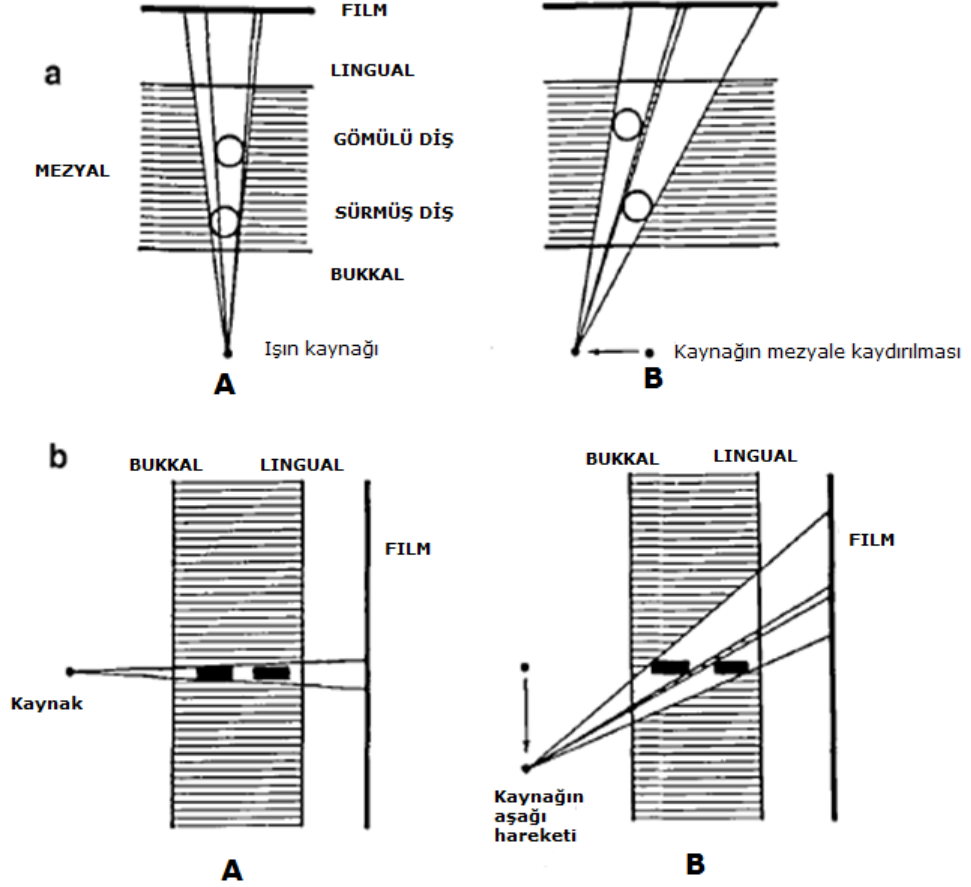
### **2.2.3.2. Palpasyon**

El ile dokunarak yapılan muayene palpasyon olarak tanımlanmaktadır. Maksiller daimi kaninler genellikle 9-10 yaşlarından itibaren labialden palpe edilebilir. Gömülü kaldığı durumda bu bölgede bir konkavlık olabilir, diş palatinalde kabartı şeklinde kendini belli edip palpe edilebilir. Persiste süt kanin dışında bir mobilite olması daimi kaninin normal sürdüğünü, lateral dişte mobilite olması ise daimi kanin dişinin gömülü kaldığını ve lateral dişin kökünde rezorbsiyona neden olduğunu gösterebilir (41).

### **2.2.3.3. Gömülü Kanin Dişlerin Teşhisinde Kullanılan Radyografik Yöntemler**

#### **2.2.3.3.1. Periapikal radyografi**

Periapikal radyografi, gömülü diş hakkında mesiodistal ve superoinferior yönde iki boyutlu bilgi verir. İkinci bir periapikal grafi ile dişin bukkolingual yöndeki konumu hakkında bilgi edinilebilir. Literatürde bununla ilgili iki yöntem bulunmaktadır (42). İlki Clark tekniği ya da parallaks metodu olarak da bilinen tüp yöntemidir. Tüp mezio distal yönde kaydırılarak aynı bölgeden iki periapikal alınır. Pozisyonu tespit edilecek görüntü tüple aynı yönde hareket ediyorsa lingualde, tersi yönde hareket ediyorsa tüpe daha yakın olduğu için bukkaldir (Şekil 2.1 A). İkincisi ise bukkal obje kuralıdır. Tüp vertikal yönde açısı yaklaşık 20 derece değiştirilerek iki periapikal alınır. Görüntü tüp ile aynı yöne hareket ediyorsa lingualde, tersi yönde ise bukkaldir. Bu tekniğin ana prensibi görüntülerin kısalması ve uzamasına dayanır (Şekil 2. 1 B).



**Şekil 2.1** Tüp kaydırma tekniği. A. Işın kaynağının mesiodistal hareketinin görüntüyü nasıl etkilediği görülüyor. B ışın kaynağının süperinferior hareketinin görüntüyü nasıl etkilediği görülüyor (42).

### 2.2.3.3.2. Okluzal radyografi

Okluzal filmler periapikal radyografilerle birlikte gömülü dişlerin bukkolingual pozisyonunu belirler. Bu film iki şekilde elde edilebilir. Bunlardan ilki anterior okluzal filmidir. Maksiller arkta net bir görüntü elde edebilmek için tüp nazal kemik hizasında üst okluzal düzleme dik şekilde konumlandırılır. Bu filmde kökler olduğundan daha kısa görünmektedir ancak daha az süperpozisyon olduğu için net bir görüntü elde edilmektedir. Diğer yöntem ise verteks okluzal filmidir. Daimi kaninin okluzal görüntüsü ışının verteks bölgesinden, santrallerin uzun eksenine paralel verilmesi ile elde edilmektedir. Bu filmde tüm anterior dişler daire şeklinde görülmektedir (8).

#### **2.2.3.3.3. Panoramik radyografi**

Tüm dişler görüldüğü için gömülü dişin vertikal yöndeki pozisyonu ve angulasyonu hakkında bilgi verir. Işın kaynağı başın arkasında olduğu için palatinaldeki gömülü kanin labialdekenden daha büyük görünecektir (43).

Panoramik filmler üzerinde kanin dişin normal konumunu belirlenmesi amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır (44-46). Warford ve ark. (46) (2003) kondillerin en üst noktasından geçen yatay bir referans hattı ile kanin uzun eksenini arasında mesialde kalan açının  $75,2^\circ$  civarında olması gerektiğini, gömülü kaninlerde bu açının  $63,2^\circ$  olarak ölçüldüğünü rapor etmişlerdir.

Lindauer ve arkadaşları (45) ise lateral dişin kökünün tam ortasından ve kökün mesial ve distal yüzeyine teğet olacak şekilde üç vertikal doğru belirlemişlerdir. Bu doğrular arasında kalan alanları distalden mesiale doğru I-II-III-IV olarak numaralandırmışlar ve kanin kronunun I. bölgede olmasının kaninin gömülü kalmayacağı, IV. bölgeye doğru gittikçe ise gömülü kalma riskinin artacağını rapor etmişlerdir (45).

#### **2.2.3.3.4. Sefalometrik radyografi**

Ortodontik tedavi sırasında sefalometrik analiz amacıyla alınan bu röntgen görüntüsü gömülü kanin dişin vertikal ve anteroposterior yöndeki konumu hakkında bilgi verebilmektedir (4).

#### **2.2.3.3.5. Posteroanterior radyografi**

8-9 yaşlarında daimi kaninin kronu nazal kavitenin lateral duvarının altında, lateral dişin apeksi hizasında ve mesiale eğimli olup kökü ise distale eğimli olmalıdır. Bu mesiale eğim artmışsa kanin dişin gömülü kalabileceği düşünülebilir (4).

#### **2.2.3.3.6. Bilgisayarlı Tomografi (BT)**

BT lokalizasyonun saptanmasında en hassas yöntemdir. 3 boyutlu incelemeye olanak sağlar. Fakat pahalıdır ve hasta nispeten daha fazla radyasyona maruz kalır (47).

Maksillofasial bölgede kullanım için uygun olan konik ışınlı bilgisayarlı tomografiler, ortodontide gömülü dişlerin ve dental anomalilerin belirlenmesi, havayolunun

değerlendirilmesi, alveoler kemik hacminin ve yüksekliğinin hesaplanması, temporamandibuler eklem morfolojisinin incelenmesi, ortognatik cerrahi planlaması, asimetrinin ve yumuşak doku profilinin değerlendirilmesi, dudak-damak yarığı vakalarında defektlerin değerlendirilmesi, geçici ortodontik ankraj apareylerin planlanması amacıyla kullanılmaktadır (47, 48). Özellikle gömülü kaninlerin konumunun belirlenmesinde ve keserlerdeki kök rezorbsiyonunun incelenmesi için üç boyutlu BT yöntemlerinin konvansiyonel radyograflardan daha güvenilir olduğu belirtilmektedir (49, 50)

Konvansiyonel BT'lerin diş hekimliğinde kullanımı sırasında oluşturduğu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla 1997 yılında konik ışınli bilgisayarlı tomografiler (KIBT) geliştirilmiştir (51).

KIBT ilk defa anjiografi amacıyla kullanılmıştır (52). Sonraki dönemlerde dental amaçla kullanılmış ve yaygınlaşmıştır. İmplantların cerrahi öncesi değerlendirilmesi, periapikal lezyonların tanısı, kök kırıklarının, kök kanallarının, iç ve dış kök rezorbsiyonlarının teşhisi, periodontal harabiyetin tespiti, çene yüz kırıklarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir (53).

Ortodontide ise dişlerin ve dişsel anomalilerin teşhisi, havayolu hacminin değerlendirilmesi, alveoler kemik genişliğinin ve yüksekliğinin hesaplanması, temporamandibuler eklem yapısının gözlenmesi, ortognatik operasyonların planlaması, asimetrinin ve yumuşak doku profilinin değerlendirilmesi, dudak-damak yarığı hastalarında defektlerin değerlendirilmesi, geçici ortodontik ankraj apareylerin planlanması amacıyla kullanılmaktadır (54). Özellikle gömülü kaninlerin yerinin ve keser kök rezorbsiyonunun teşhisi için KIBT yöntemlerinin konvansiyonel yöntemlerden daha güvenilir olduğu rapor edilmiştir (49, 55).

#### **2.2.4. Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Tedavisi**

Gömülü kanin dişler genellikle asemptomatik olduklarından radyografik muayene sırasında ortaya çıkarlar. Gömülü kanin dişlere müdahale edilmediğinde ya da en azından takip edilmediğinde bazı istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Gömülü kanin dişler radyografilerde foliküllerinin 2-3 mm den geniş olduğu durumlarda kistik değişiklikler gösterebilirler (40). Uzun süreli gömülü kalma durumlarında yer değiştirme rezorbsiyonu denilen olay gerçekleşebilir ve gömülü dişin kronunun



minesinde deformasyon olabilir (56). Daimi kanin dişin gömülü kaldığı durumlarda ark boyutu azalacak, özellikle süt kanin düştüyse daimi kanin için gerekli boşluk komşu dişler tarafından işgal edilecektir. Gömülü kanin dişlerin oluşturduğu basınç nedeniyle keser dişlerin hatta zaman zaman birinci premolar dişin köklerinde rezorbsiyona rastlanabilmektedir (49, 57).

Erken dönemde (8-9 yaşlarında) maksiller daimi kanin dişin gömülü kalacağından şüpheleniliyorsa uygulanması tavsiye edilen bir kaç prosedür vardır. Bunlar; süt kanin dişin çekimi, süt kanin çekimini takiben servikal headgear kullanımı ve üst çene genişletmesidir (58, 59). Ericson ve Kurol (60) 11 yaşından önce süt kanin çekildiğinde daimi kanin lateral kökünün distalindenyse dişin sürme şansının %91, lateral kökünün mesialinde ise bu oranın %64 olduğunu belirtmişlerdir. Yine erken dönemde süt kaninin çekilmesini takiben servikal headgear uygulanması gömülü kanin dişin sürme oranı %80-87,5 a yükselmektedir (61, 62). Hızlı üst çene genişletmesi ile dişin sürme oranı %67,5 a ulaşmaktadır (63).

Gömülü kanin dişin tedavisi için alternatifler şunlardır (8):

1. Gömülü kanin dişin çekilmesi ve diş boşluğu mevcut ise bu boşluğun restorasyon ya da implant yapılarak doldurulması.
2. Gömülü kaninin çekilerek eğer diş boşluğu varsa bu boşluğun ortodontik olarak kapatılması: Okluzyonun kabul edilebilir olduğu durumlarda yapılabilir.
3. Gömülü kaninin ototransplantasyonu: Gömülü kanin dişin çekilip, aynı bireyin daimi kanin diş için hazırlanmış boşluğuna, cerrahi yöntemler ile diş socketinin hazırlanarak gömülü kanin dişin bu sokete nakil edilmesidir. Dişin ankiloz olmadığı durumlarda yapılabilir (64).
4. Hiçbir tedavi seçeneğini istemeyen hastalarda herhangi bir patolojik değişiklik açısından gömülü kaninin periyodik olarak radyografik kontrolü (9).
5. Gömülü kanin dişin ortodontik traksiyonla sürdürülmesi.

Hasta süt dişlenme döneminde ise tedavi seçenekleri genellikle fiziksel engelin uzaklaştırılması, ender durumlarda ise ortodontik traksiyon ve gömülü dişin çekimidir (25, 65). Hasta daimi dentisyonda ise sürme yolundaki fiziksel engelin kaldırılması ön

plana çıkar. Bazen daimi dişlerin önündeki fiziksel engeller süt dişleri olur (66, 67). Çoğu vakada süt dişlerin çekimiyle gömülü dişin kendiliğinden sürdüğü gözlenir.

Gömülü kalmanın nedeni neoplazma ise cerrahi yaklaşım tümörün biyolojik davranışına göre şekillenir. Etkilenen diş kemiğin derinlerinde ise etrafındaki folikül sağlam bırakılmalıdır. Etkilenen diş yüzeysel tümör çıkarılırken mine açığa çıkarılabilir (19, 30, 66). Bazen etkilenen diş çekilmelidir. Çeşitli cerrahi yaklaşımlar mevcuttur. McDonald ve Avery (68) fiziksel engelin cerrahi olarak çıkartılması esnasında gömülü dişin de üzerinin açılmasını ve ataçman uygulanmasını önermişlerdir. Houston ve Tulley (113) de engeli cerrahi olarak kaldırıp dişin spontan sürebilmesi için yer açılmasını önermişlerdir. İkinci durumda %54-75 oranında dişler sürmüş fakat sürme zamanları biraz uzamıştır. Dibiase (69) ye göre eğer cerrahi sırasında diş deplase olmamış, folikül zarar görmemiş ve dişin sürebilmesi için arka yeterli yer varsa gömülü diş ortalama 18 ayda sürer. Eğer diş cerrahi olarak açılmışsa okluzyona getirmek için ortodontik traksiyon uygulanabilir de, uygulanmayabilir de (66, 70).

Son seçenek olan gömülü kanin dişin çekimi için değerlendirilmesi gereken durumlar şunlardır:

1. Ankilozsa ve transplante edilemiyorsa,
2. İnternal ve eksternal rezorpsiyon varsa,
3. Kökünde ciddi dilasasyon varsa,
4. Kritik bir yerde gömülü ise (santral ve lateral köklerinin arasındaysa ve ortodontik hareket bu dişlere bir tehdit oluşturacaksa),
5. Kabul edilebilir bir okluzyon varsa,
6. Patolojik bir durum varsa ve hasta ortodontik tedavi istemiyorsa (kist, enfeksiyon) (8).

#### **2.2.4.1. Gömülü Kanin Dişin Ortodontik Traksiyonla Sürdürülmesi**

Klinisyen detaylı bir değerlendirmeden sonra tedavi yöntemine karar vermektedir. Gömülü maksiller kaninlerin diş arkı üzerindeki ideal yerine ortodontik traksiyon ile sürdürülmesi bu tedavi seçenekleri içinde en kabul edilebilir olanıdır (71).

Gömülü maksiller kaninlerin ortodontik tedavi aşamaları, arkın seviyelenmesi ve kanin için yeterli yerin açılması, ankrajın arttırılması, gömülü kaninin cerrahi olarak üzerinin

açılması ve ataçman yapıştırılması, traksiyon kuvveti uygulanması ve final detaylandırmadan oluşmaktadır (71).

Gömülü dişlerin cerrahi olarak açılmasına yönelik genel olarak iki yaklaşım vardır: Açık cerrahi sürdürme ve kapalı cerrahi sürdürme. Bu prosedürlerin estetik ve fonksiyonel sonuçları (örneğin dişeti yüksekliği, klinik kron boyu, yapışık dişeti kalınlığı, potansiyel relaps riski ve ataşman seviyesi) değerlendirilerek uygun cerrahi yöntem seçilmelidir (72).

#### 2.2.4.2. Cerrahi Teknikler

**Açık Sürdürme Tekniği:** Gömülü dişin üzerini saran yumuşak dokunun çıkarılması veya repoze edilip, daha sonra dişin açık halde bırakılması tekniğine açık sürdürme tekniği denir (22, 44). Açık sürdürme tekniğinin avantajı ortodontistin dişi sürerken gözlemleyebilmesi ve dişin daha hızlı sürmesidir (73). Labialdeki gömülü dişlerin cerrahi olarak açılmasında en sık apikale pozisyone flep ve eksizyonel gingivektomi tekniği kullanılır. Labial gömüklükte kapalı sürdürme tekniği çok az kullanılır (72).

Açık sürdürme tekniğinin bir modifikasyonu olan pencere tekniği gömülü dişin üstünü örten mukoza ve ince kemiğin cerrahi sirküler eksizyonudur. Pencere tekniği yaklaşımının maksiller kaninlerde istatistiksel olarak anlamlı derecede ataşman kaybı, dişeti çekilmesi ve gingival inflamasyona neden olduğu bildirilmiştir (74).



**Resim 2.1.** Palatinalde gömülü kaninde uygulanan pencere tekniği. (A) kronun açığa çıkartılması, (B,C) braket yerleştirilmesi ve fleksibl ark teli varlığında ortodontik traksiyon (75)

Pencere tekniğinde gömülü dişler cerrahi olarak açıldıktan sonra ortodontik tedavinin sürdürme aşamasında komplikasyonlar (dişlerin devitalizasyonu, marjinal kemik kaybı, dişeti çekilmesi, komşu dokulara gelen travma) gerçekleşebilir (41).

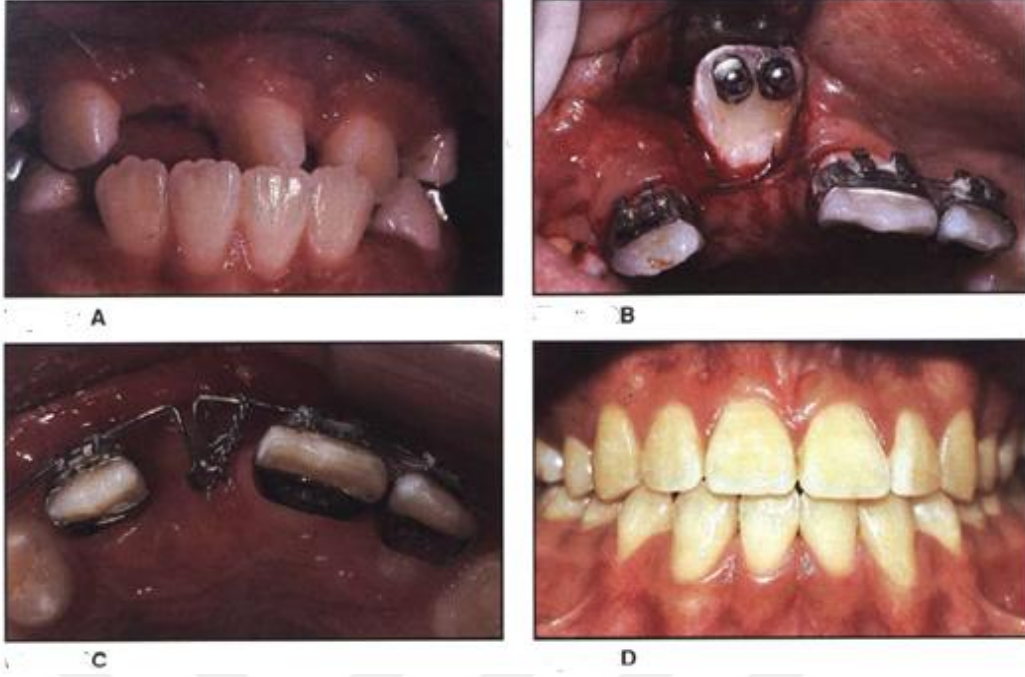
Kokich 30 yaş civarındaki hastalar ve kompleks gömülü kanin vakalarında tedavi süresini kısaltmak için pencere yöntemini önermiştir (75).

Özetle operasyon sırasında ortodontiste ihtiyaç olmaması, ataşman düşerse yeni bir cerrahi operasyona ihtiyaç olmaması ve gömülü dişin hızlı sürmesi açık sürdürme tekniğinin avantajları arasında sayılabilir (73).

Açık sürdürme tekniğinin dezavantajları ise, enfeksiyon riskinin fazla olması, periodontal iyileşmenin geç olması (76), dişeti çekilmesinin bu yöntemde daha çok görülmesi (73), kemik kaybı görülme riskinin fazla olması (73), keratinize dişeti kalınlığında azalma olması (77), konforsuz olması, fonksiyon sırasında zorluk görülebilmesi, kemik ekspozunun geniş olması, ağızda kötü tat ve kötü koku oluşması, bonding güvenilirliğinin zayıf olması ve başlangıç traksiyonunun geç uygulanması (76) şeklinde özetlenebilir.

### **Kapalı Sürdürme Tekniği**

Kapalı sürdürme tekniği; flep kaldırıp, gömülü dişe bir ataşman yapıştırıp daha sonra flebi orijinal pozisyonuna yeniden konumlandırma işlemidir. Eğer diş alveolar bölgenin ortasındaysa krestal insizyon yapılır, bukkal ve palatinal flepler dışsız bölgeden kaldırılır. 0.010 inch lik ligatür teli, altın zincir pin veya meşe asılıp, arka bağlanır. Flep yine eski konumuna getirilip kapatılır. Tel veya zincir flebin altından geçer ve midkrestal insizyondan dışarı çıkar. Ortodontist genelde 1 hafta içinde kuvvet uygulamaya başlar (72).



**Resim 2.2.** Kapalı cerrahi sürdürme tekniği. (A) Tedavi öncesi. (B) Cerrahi olarak dişin ekspoza. (C) 1 hafta sonra ortodontik traksiyon. (D) Tedavi sonrası (78)

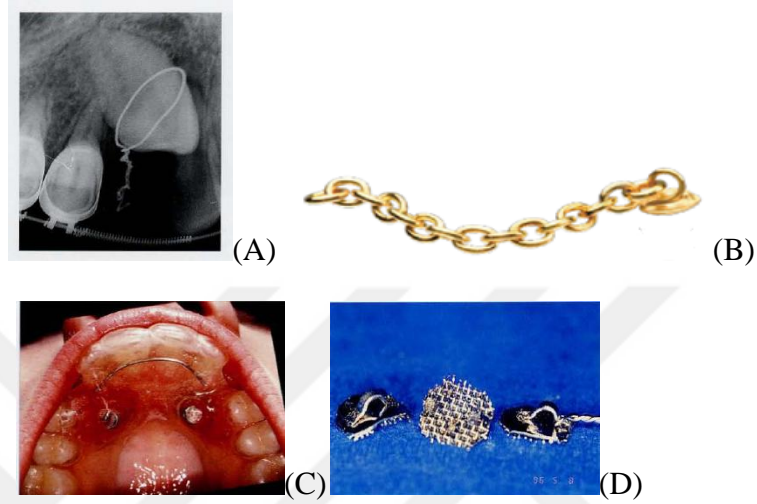
Kapalı sürdürme tekniği, gömülü diş mukogingival birleşim hattına yakınsa, nazal spina yakınlarındaysa veya alveolün derinlerindeyse, apikale pozisyone flep tekniği uygulanması imkansız ya da çok zorsa kullanılır (70).

Kapalı sürdürme tekniğinin bir modifikasyonu olan Crescini tünel traksiyon yöntemi gömülü diş sürdürülmesi için uygulanabilir. Tünel traksiyon metodu, süt dişlerinin varlığında, alveol kretinin ortasında doğal bir intraosseöz tünel oluşturması bakımından gömülü maksiller kaninlerin tedavisinde avantajlı bir yaklaşımdır (79). Bu metodla süt kanin persiste ise süt kaninin alveol soketi gömülü kaninin sürmesi için bir tünel gibi kullanılabilir.

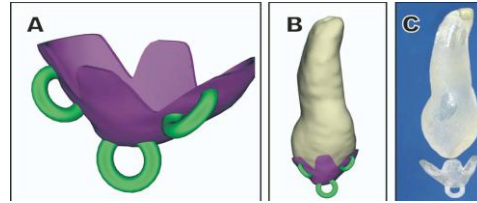
Kapalı sürdürme tekniğinin, açık sürdürme tekniğine göre hızlı iyileşme, hastaya daha az rahatsızlık verme, post operatif kanlanmanın iyi olması, fonksiyona daha az engel olma, kemiğin konservatif bir şekilde kaldırılması, immadiate kuvvet uygulanabilmesi, bonding emniyeti, daha estetik sonuçlar elde edilmesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır (72, 76). Diğer yandan ortodontistin operasyon sırasında bulunma gerekliliği ve yapıştırılan ataşmanın düşmesi durumunda dişin üzerinin tekrar açılması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

### 2.2.4.3. Sürdürmede Kullanılan Ataşmanlar

Ortodontik traksiyon için lasso teli, threaded pinler, gold chain, bantlar, braketler, eyelet, mıknatıslar, 3 boyutlu modellerden elde edilmiş prototipler gibi bazı ataşmanlar gömülü diş üzerine uygulanmaktadır (78).



**Resim 2.3.** Ortodontik traksiyon için kullanılan lasso teli (A), threaded pinler, gold chain (B), bantlar, braketler, eyelet (C), mıknatıslar (D) (78)



**Şekil 2.2** Gömülü diş üzerine uygulanan 3 boyutlu modellerden elde edilmiş ataşman örnekleri(78).

Lasso teli dişin servikalini sarar. Fakat bu yöntemde teli yerleştirebilmek için çok fazla kemik kaldırılması gerekir. Komşu dişin zarar görmesine neden olabilir. Dahası bu teknik kullanıldığında eksternal kök rezorpsiyonu insidansı %8-14 civarında olur (3). Ayrıca bu dişlerde ortodontik tedavi boyunca ankiloz görülme sıklığının arttığı rapor edilmiştir. Eksternal kök rezorpsiyonuyla birlikte ankiloz gözlenirse dişin çekilmesi önerilir (8).

Geçmişte amalgam veya kompozit dolgulara retansiyon sağlamak için diş uygulanan Threaded pinler sonrasında gömülü dişleri sürdürmek için de uygulanmışlardır (80). Fakat günümüzde gömülü dişlerin geniş pulpa odalarına pin yerleştirilirken pulpa odasının zarar görme ihtimaline karşı geçerliliğini yitirmiş bir yöntemdir. Ayrıca yerleştirilmesi için dişlerde yuva açılması gerekir (76).

Eyeletler; meşli bir tablası olan, yapışma yüzeyine kolay adapte edilebilen yüksek bağlanabilme özelliğine sahip, yumuşak ve genelde küçük ataşmanlardır (76).

Altın zincir dünya genelinde çok rağbet görmesine ve bu amaç için yeterince sağlam ve rahat olmasına rağmen gerçekte gereksiz pahalı ve geniş kullanım olanağı olmayan bir üründür. Öne çıkan tek özelliği materyalin fiziksel özelliğinden dolayı biyouyumlu olmasıdır (76).

#### **2.2.4.4. Ortodontide Kullanılan Sürdürme Teknikleri**

Güncel literatür incelendiğinde gömülü dişlerin sürdürülmesi ile ilgili pek çok tedavi alternatifi bulunduğu görülmektedir. Bu yöntemler; ballista spring uygulaması, elastik iplik, chain veya ligatür teli ile ark teline bağlayarak diş sürdürme, ana ark telinin üzerinden esnek bir aksesuar (overlay) ark ile diş sürdürücü kuvvet uygulama, Kilroy spring uygulama, K-9 spring uygulama, fleksibl palatinal ark, kantilever sistemi, mikroimplantlar ve sabit ankraj apareyleri aracılığıyla kuvvet uygulama, hareketli aparey ile diş sürdürme, magnetler ile diş süedürme şeklinde sıralanabilir (81).

Bazı vakalarda ise quad heliks ya da transpalatal ark apareyi ankraj amaçlı kullanılabilir. Maksiller arktan ankraj alınamıyorsa mandibular ark ankrajı düşünülebilir (8).

#### **Ballista Spring Uygulaması**

Ballista spring, 0.014, 0.016 veya 0.018 inch yuvarlak paslanmaz çelik telden ve kendi uzun ekseninde yapılan bir bükümdür. Molar bandının hem edgewise hem headgear tüplerinden ankraj alır. Böylece tel, tüp içerisinde rotasyon yapmaz. Telin birinci premolara bağlanan horizontal parçasıyla enerji üretilir. Springin uç kısmı metal ligatür bağlanması için loop şeklinde olup horizontal parçaya dik bir şekilde aşağı doğru



uzanır. Bu dik kısım gömülü dişe doğru hareket ettirildiğinde bükülen horizontal metal parça aracılığıyla enerji açığa çıkar. Vertikal kısım serbest bırakıldığında bir “ballista” gibi aşağı doğru hızla hareket eder. Ankraj sağlamak amacıyla 1,1 mm lik telden molar ve premolarlara uzanan bir transpalatinal ark yapılıdır (21).



**Resim 2.4.** Ballista spring pasif görünümü (A,B) ve aktivasyonu (C,D) (82)

### **Kilroy spring Uygulaması**

Palatinalde ve bukkalde konumlanmış dişler için farklı iki tipte üretilen “Kilroy spring” ilk olarak 2003 yılında Bowman ve Carano (83) tarafından tanıtılmış, daha sonra yapılan çalışmalarda da etkinliği ortaya konmuştur. Kilroy I ve Kilroy II olmak üzere iki farklı tipte üretilen bu prefabrik springlerin birbirlerinden temel farkı uyguladıkları kuvvetin yönüdür. Kilroy II, Kilroy I’den farklı olarak daha çok vertikal kuvvet oluşturmakta ve bu sayede bukkalde konumlanmış gömülü kaninlerin sürdürülmesinde tercih edilmemektedir (84).

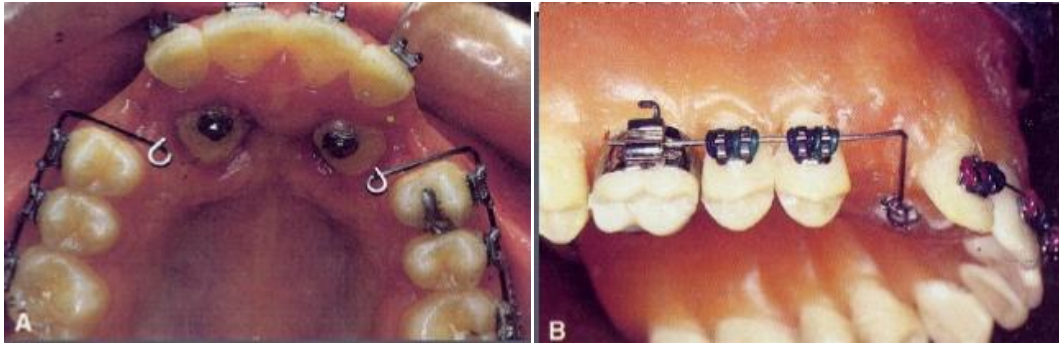




**Resim 2.5.** Kilroy springin ark reline yerleştirilmesi ve aktiflenmesi (84)

#### **K-9 Spring Uygulaması**

0.017 x 0.025 TMA telinden bükülen, horizontal ve vertikal iki kolu olan springin horizontal kısmı molar tüpüne ve premolar braketlerin slotuna yerleşir. Vertikal kolu ise buna 90° açıyla premolar braketinden 7 mm uzaklıkta ve 11 mm boyunda olup uç kısmında bir heliks ile sonlanır. Bu vertikal kısım palatine doğru 20° açılır (85).



**Resim 2.6.** K-9 springni uygulanması (A) ve aktiflenmesi (B) (85)

### **Elastik İplik Uygulaması**

Elastik iplik ortodontide sıklıkla kullanılan etkinliğini 4 haftaya kadar sürdürebilen kauçuk ve sentetik elastomerlerden yapılan materyallerdir. Ark teli, quad helix, TPA gibi ankraj bölgelerinden destek alınarak elastik iplik ile gömülü diş sürdürülebilir (4).



**Resim 2. 7.** Elastik iplik aracılığıyla kanin dişe kuvvet uygulanması (86)

### **Hareketli Aparey ile Diş Sürdürme**

Hareketli apareylerden yararlanarak gömülü kanin üzerine yapıştırılan ataçman aracılığıyla diş arktaki normal pozisyonuna sürdürülebilir (87).



**Resim 2.8.** Hareketli apareyden destek alınarak maksiller kanin dişin sürdürülmesi(A,B,C) (87)

### **Magnetler ile Diş Sürdürme**

Ortodontide kullanımı giderek artan mıknatıs alaşımının gömülü diş tedavisinde kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir. Akrilik içinden uzanan bir tele sabitlenmiş mıknatıs ile gömülü diş sürdürülebilmektedir. Gerektiğinde magnetin sabitlendiği tel üzerinde bükümler yapılarak magnetin konumu değiştirilebilir. Böylece aktivasyon sağlanabilmektedir (88).



**Resim 2.9.**Hareketli apareye eklenen mknatis yardımı ile gömülü maksiller kanin dişin sürdürülmesi (88)

### 2.3. Kuvvet Analiz Yöntemleri

Kuvvet analiz yöntemleri, bir cisme gelen kuvvetlerin dağılımını ve buna göre cismin şeklinde meydana gelen deformasyonları gösteren yöntemlerdir.

Diş hekimliğinde kuvvet analiz yöntemleri, tedavi sırasında uygulanan kuvvetlerin biyolojik yapılar üzerinde oluşturduğu stres, çekme ve gerilme kuvvetlerinin, bunların yoğunlaştığı bölgelerin, diş ve çevre dokularda meydana gelebilecek deformasyonların izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (6, 89).

Diş hekimliğinde kullanılan kuvvet analiz yöntemlerinden bazıları şunlardır (90):

1. Gerinim ölçer (strain gauge) analizi,
2. Holografik interferometre analizi (Lazer ışınlı kuvvet analizi),
3. Fotoelastik analizi,
4. Kırılğan vernikle kaplama yöntemi,
5. Sonlu elemanlar stres analizi,

### **2.3.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge ) Analizi**

Gerinim ölçerler, bazı yapılara statik ve dinamik yüklemeler uygulayarak bu yapılarda oluşan doğrusal değişiklikleri belirlemede kullanılır. İletken yapının elektrik direncindeki değişmeyi baz alarak çalışır. Bu yöntemde gerinime duyarlı uçların çeşitli bölgelere yerleştirilerek kalibre edilmiş elektriksel direnç elemanları sayesinde stres altındaki boyutsal değişiklikler incelenmektedir (91).

### **2.3.2. Holografik Interferometre Analizi (Lazer Işınlı Kuvvet Analizi)**

İncelenen modelin üç boyutlu görüntüsünün lazer ışını aracılığıyla holografik film üzerinde kaydedildiği optik bir yöntemdir. İki lazer ışın demeti aracılığıyla model üzerindeki deformasyon miktarını ölçen interferometre adı verilen bir alet kullanılmaktadır (92).

### **2.3.3. Fotoelastik Gerilme Analizi**

Kuvvet uygulanan modelin iç yapısındaki ve yüzeyindeki gerilim dağılımının görülebilir ışık taslakları haline dönüştürülerek değerlendirildiği bir yöntemdir (5).

Öncelikle incelenen modelin fotoelastik yapıda bir kopyası hazırlanmakta, sonra polariskop cihazı ile gerilme bölgeleri değerlendirilmektedir. Bu yöntemde tek dalga boylu bir ışının kırılması aracılığıyla modeldeki deformasyonlar ve iç gerilmeler saptanmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için özel olarak elde edilen modeller, donanımlı ekipman ve cihazlar gerekmektedir (91, 93).

### **2.3.4. Kırılğan Vernikle Kaplama Yöntemi**

İncelenen yapının yüzeyine ince bir tabaka vernik uygulanması ve belli bir yönde ve miktarda uygulanan kuvvete bağlı olarak bu verniğin kırılğanlığının değerlendirilmesi ile kuvvet dağılımının saptandığı bir yöntemdir (94). Vernik üzerinde oluşan çatlakların sıklığı kuvvetin dağılımını ve doğrultusunu göstermektedir (95).

### 2.3.5. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizi; mühendislikte yapıların gerinme-gerilme problemlerini çözen güçlü bir bilgisayarlı simülasyon metodudur. Kısaca “karmaşık sistemleri mantıklı sayılarla elemanlara bölerek gerçeğe yakın sonuçlar elde etmeye dayalı analiz şekli” olarak tanımlanmaktadır (5, 6). Sonlu elemanlar analizi metodunun kabul edilirliliği de son dönemlerde yapılan karşılaştırmalı çalışmalarla desteklenmiştir (96).

Gerinim ölçer (strain gauge) analizi, holografik interferometre analizi (Lazer ışıklı kuvvet analizi), fotoelastik analizi, kırılğan vernikle kaplama benzeri kuvvet analiz yöntemlerinden pek çoğunun, metabolik ve yapısal ihtiyaçlara cevap verebilen, canlı ve kompleks bir doku olarak tanımlanan kemik yapısının iç birimlerindeki stres dağılımını ve yer değiştirmeleri değerlendirmede sınırlı kaldığı belirtilmektedir. Bu durum biyomekanik davranışların daha ayrıntılı olarak tanımlanmasına gereksinim olduğunu göstermektedir. Sonlu elemanlar stres analizi ile analitik çözümü bulunmayan problemlere yaklaşık çözüm bulunabilmekte; bu nedenle de deneysel metotlara alternatif yeni bir simülasyon ve deney aracı olarak kullanılabilir (94).

Görüntüleme tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde ortodontik tedavi planlamaları daha kolay yapılır hale gelmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinden üç boyutlu görüntüler elde edilebilmektedir. Üç boyutlu görüntüler bilgisayar ortamına aktarılarak sanal modeller haline getirilebilmektedir. Sanal modeller haline getirilen bu görüntülerden Sonlu elemanlar analizi için kullanılacak modeller elde edilebilir. Elde edilen model üzerinde bilgisayar ortamında uygulanacak kuvvetler simüle edilir (96).

Sonlu elemanlar analizi ilk defa 1956’da uçak endüstrisinde kullanılmaya başlanmış olup günümüzde inşaat, makine mühendisliği gibi birçok mühendislik bölümünde sık olarak başvurulan bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ile alan problemleri, gerilme, gerinme, yer değiştirme, sıcaklık dağılımı gibi parametrelerin araştırıldığı, diferansiyel ya da integral denklemler ile tanımlanabilen sayısal problemler kabul edilebilir bir yaklaşık değerle çözülebilmektedir. Sonlu elemanlar analizi asıl olarak uçaklara ait karmaşık yapılardaki gerilmelerin hesaplanması için geliştirilmiş olsa da, sonraları ısı transferi, akışkanlar mekaniği, akustik,

elektromanyetizma, medikal ve biyomekanik gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (5, 6).

Diş hekimliğinde sonlu elemanlar analizi ile ilgili yapılan ilk çalışma Ledley ve Huang'ın 1968 yılında yaptıkları araştırmadır. Bu çalışmada, matematik modeli oluşturulmuş bir dişe çeşitli yönlerde kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetlerin dişi destekleyen kemik dokusunda meydana getirdikleri gerilmeler değerlendirilmiştir (97).

Ortodontide bu yöntemin kullanımı 1971 yılında Davidian'ın (98) üst orta kesici dişin teorik rotasyon merkezini bulmak için gerçekleştirdiği diş modeli ile başlamıştır. Bu çalışmada dişe uygulanan kuvvet sonucu periodonsiyumdaki mekanik cevap incelenmiş, rotasyon ve direnç merkezinin yerlerinin değişimi gözlenmiştir (98). Thresher ve Saito (99) 1973'te, sonlu elemanlar analizini kullanarak dişlerdeki gerilmeleri incelemişlerdir. Sonrasında bu yöntemin ortodontik kuvvetlerin dişler, periodontal ligamentler ve alveol kemikte neden oldukları gerilimlerin değerlendirilmesi (100, 101) ortodontik diş hareketlerine neden olan farklı ortodontik apareylerin biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesi (102, 103), farklı ortopedik kuvvetler uygulayan apareylerin kraniyofasiyal yapılardaki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesi (104), hızlı üst çene genişletmesi için kullanılan apareylerin kraniyofasiyal yapılardaki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesi (105) ve ankraj amacıyla kullanılan mini vidaların etrafında oluşan gerilimlerin değerlendirilmesi (106) gibi farklı birçok alanda kullanıldığı görülmektedir.

### **2.3.5.1. Sonlu Elemanlar Analiziyle İlgili Temel Kavramlar**

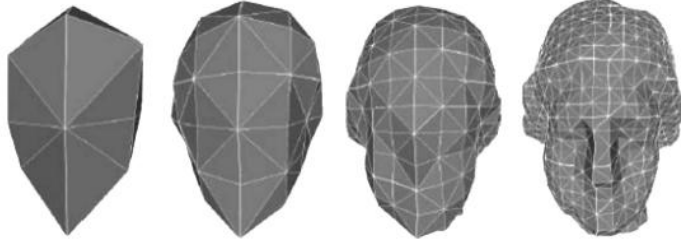
#### **Homojen Cisim**

Homojenite aynı veya birbirine yakın değerleri, nitelikleri içeren bir bütünlüğü tanımlamak için kullanılmaktadır. Homojen cisim, cismin kendi homojen elastik özelliklere sahip olmasını ifade eder (6).



## Eleman (Element)

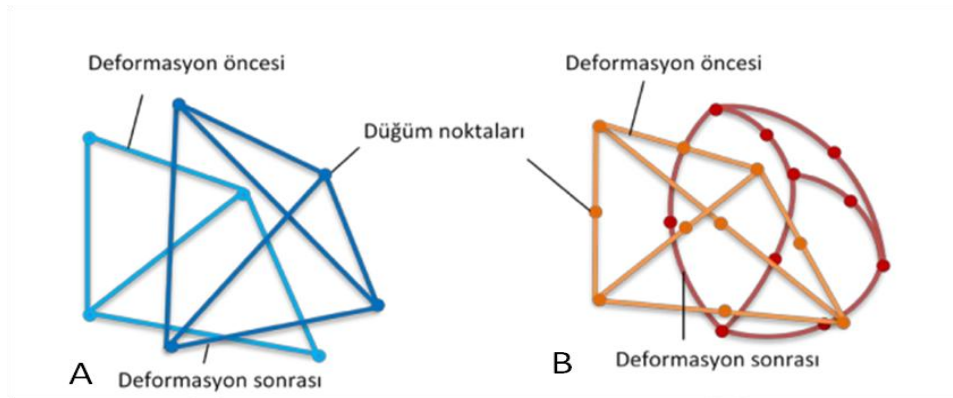
Sonlu elemanlar analiziyle elde edilen geometrik model, "eleman" (element) adı verilen geometrik şekillere ayrılır. Elemanlar, geometrik şekil (üçgen, paralel kenar, dörtgen), boyut (tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu) ve düğüm sayısı gibi özelliklere göre sınıflandırılırlar (5, 6).



Şekil 2.3 Eleman sayısının artırılmasıyla geometride oluşan değişiklikler (107).

## Düğüm Noktası (Node)

Sonlu elemanlar analizinde bölünen modellerle oluşan sonlu sayıda eleman belli noktalarda birbirleriyle bağlanmakta ve bu noktalara düğüm (node) adı verilmektedir. Modeller içerisindeki elemanlarda meydana gelen yer değiştirmeler bu düğüm noktalarının yer değiştirmesiyle bağlantılıdır. Sonlu elemanlar analizinde modelin bütünlüğü açısından bu düğüm noktalarının belirli yerlerden birbirlerine sabitlenmesi gereklidir (108).



Şekil 2.4 Deformasyon öncesi ve sonrasında dört düğümlü tetrahedral (A) ve on düğümlü tetrahedral (B) elemanların gösterimi (107).

## **Ağ Yapısı (Mesh) Oluşturma**

Ağ yapısı, düğüm noktaları ile elemanların koordinatlarıdır. Ağ yapısı oluşturulurken genellikle daha fazla değişiklik beklenen bölgelere, birim alana daha fazla eleman düşecek şekilde yerleştirme yapılır. Modelin en doğru şekilde elemanlara ayrılması önemlidir (108). Ağ yapısı oluşturulduktan sonra, modelin sabitlendiği yeri ve kuvvet uygulanan noktaları gösteren sınır şartları belirlenir.

## **Sınır Şartları (Boundary Conditions)**

Gerilme ve deplasmanların sınırlarını ifade eder. Cismin nereden sabitlendiğini ve kuvvetin nereden uygulandığını gösterir (108).

## **Kuvvet**

Kuvvet doğrultusu, yönü, süresi ve şiddeti olan vektörel bir büyüklüktür. Kuvvet birimi SI (Uluslararası Birim Sistemi) sisteminde "Newton"(N)'dur. Ortodonti literatüründe kuvvet miktarı genellikle "gram" cinsinden ifade edilmektedir. 1 newton, 101.97 gram-kuvvet'e eşittir (109).

Bir cisme diğer cisimlerin yaptığı etki dış kuvvet, cismin çeşitli parçaları arasındaki etki ve tepki ise iç kuvettir. Biyomekanikte dış yapısı üzerine etkiyen bir dış kuvvet, önce periodontal ligamente oradan da kemiğe iletilir ve bu iletimler sırasında iç kuvvetler oluşmaktadır (89, 110).

## **Gerilme (Stress)**

Bir cisme kuvvet uygulandığı zaman, uygulanan bu kuvvete karşı cisim içinde birim alanda oluşan tepkidir. Dış kuvvete içeriden uygulanan tepki, dış kuvvete eşit ancak zıt



yöndedir. Her iki kuvvet cismin tüm alanı üzerinde dağılır. Buna göre cismin içindeki gerilme, birim alana gelen kuvvet olarak ifade edilir (111) .

Gerilme= Kuvvet / Alan olarak formüle edilir.

Gerilme birimi Paskal (P veya  $N/m^2$  -Newton/Metrekare-) 'dır. Diş hekimliğinde ise genellikle Megapaskal (MPa veya  $N/mm^2$  -Newton/Milimetrekare-) kullanılmaktadır.  $1Mpa=10^6 N/m^2$ ' dir.

Çekme gerilimi, basma gerilimi, makaslama gerilimi olmak üzere üç temel gerilme tipi meydana gelir (111).

Çekme gerilimi (Tensile stress): Cismin moleküllerini birbirinden ayrılmaya zorlayan, aynı doğrultuda, fakat ters yönde iki kuvvetin etkilemesi ile oluşan gerilme tipidir (111).

Basma gerilimi (Compressive stress): Cismin moleküllerini birbirine yaklaştırmaya zorlayan, aynı doğrultuda ve ters yönde iki kuvvetin etkilemesi ile oluşan gerilme tipidir (111).

Makaslama ya da kayma gerilimi (Shear stress): Cismin moleküllerini birbiri üzerinde kaymaya zorlayan farklı seviyelerde yüzeye paralel ve ters yönde olan iki kuvvetin cismi aynı anda etkilemesi ile oluşur (111).

### **Asal Gerilmeler (Principal Stress)**

Bütün düzlemlerde makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve sadece alana dik olan normal gerilmelerden oluşan gerilmeler asal gerilmeler (Principal stress) adını alır (112). Maksimum, orta (intermediate) ve minimum olmak üzere 3 tip asal gerilme vardır (113).

Maksimum asal gerilme (Maximum principle): Maksimum asal gerilmeler pozitif değerdedir ve en yüksek çekme gerilmelerini ifade eder.

Minimum asal gerilme (Minimum principle): Minimum asal gerilmeler negatif değerdedir ve en yüksek basma gerilmelerini ifade eder, mutlak değer olarak yüksek olan sayı daha fazla kuvveti gösterir.

Analiz sonuçlarında elde edilen pozitif değerler çekme şeklinde gerilmeleri, negatif değerler ise basma şeklinde gerilmeleri (sıkışma) ifade etmektedir. Mutlak değeri daha büyük olan gerilme, bir düğüm noktasında etkin olan gerilme şeklidir (113).

### **Von Mises Gerilmesi**

Von Mises gerilmesi, belirli bir kuvvet uygulanan cisimde oluşan gerilme dağılımının gösterilmesi için kullanılmaktadır (114). Von Mises gerilmesi "bir yapının belli bir bölümündeki iç enerji belli bir değeri aşarsa, yapı bu noktada şekil değiştirecektir" prensibi ile elde edilmiş bir kriterdir. Çekilebilir (ductile) zelliği olan maddeler için şekil değiştirmenin başlama anıdır (111).

Von Mises gerilme değerleri ayrıca gerilmenin dağılımı ve yoğunlaşma bölgeleri hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla değerlendirilebilmektedir (114).

### **Gerinim (Strain)**

Gerinim, belirli bir kuvvetin bir cisme etki etmesi sonucu cismin birim boyutunda oluşan deformasyondur. Kuvvetin cisim üzerinde gerilim oluşturması gerinimi de beraberinde getirmektedir. Herhangi bir ölçü birimi ve yönü yoktur (111).

Hooke Kanunu' na göre belli sınırlar içinde cisimdeki gerilim, gerinim ile doğru orantılı olarak artar (111).

Gerinim (strain) = Boyuttaki değişim / Orjinal boyut olarak formüle edilir.

İki tür gerinim (şekil değiştirme) bulunmaktadır:

Elastik şekil değiştirme: Cismin kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar başlangıç durumuna dönmesidir.

Plastik şekil değiştirme: Cismin kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar başlangıç durumuna dönmemesidir (115).

### **Elastiklik-Viskoelastiklik**

Bir cismin, uygulanan kuvvet ortadan kalktıktan sonra ilk baştaki şekline dönme özelliği o cismin elastiklik özelliğidir. Elastik materyallere belirli sınırlar içerisinde yük uygulandığında şekil değiştirirler ve yük ortadan kalktığında gecikmeden eski şekillerini alırlar.

Viskoelastik materyaller ise şekil değiştirirken hem elastik hem de yapışkan (visköz) özellik gösterirler. Bu materyaller yapışkanlık özellikleri sayesinde zamana bağlı olarak artan bir gerinim gösterirler ve bu materyaller yük ortadan kaldırıldığında tekrar ilk baştaki şekillerine gecikmeli olarak dönerler (116, 117).

### **Elastiklik Modülü (Elastisite Modülü-Young Modülü)**

En basit ifadeyle gerilimin gerinime (strain/stres) oranı olan elastiklik modülü, cismin elastikiyet sınırları içerisinde dayanıklılığını gösteren bir katsayıdır (109). Elastiklik modülü arttıķça cismin katılığı da aynı oranda artış göstermektedir (111).

Yüksek elastisite modülüne sahip bir cisim, aynı kuvvet altında, düşük elastisite modülüne sahip bir cisimden daha az deformasyona uğramaktadır (111).

$E$  (Elastiklik Modülü) = Gerilme/Gerinim ile formüle edilmektedir. Birimi Gigapaskal (GPa)'dır (111).

## **Poisson Oranı (Poisson's Ratio)**

Çekme veya basma kuvvetleri altında cisimlerin, elastik sınır içerisinde, enindeki birim boyut değişiminin boyundaki birim boyut değişimine oranıdır (118). Poisson oranı, bütün maddeler için 0 ile 0.5 arasında değişkenlik gösterir ve elastisite modülü gibi cisme ait ayırıcı bir özelliktir. Örnek olarak bir cisme uygulanan çekme kuvveti etki sonucu yükün geldiği yönde boyda uzama olurken, yüke dik olan diğer boyutlarda ise kısılma olmaktadır (118).

## **İzotropi ve Anizotropi**

İzotropi, bir cismin farklı doğrultularda aynı elastik özellikleri göstermesidir (5). İzotrop cisimler farklı doğrultulardan uygulanan kuvvetler sonucu oluşan çekme, basma ve makaslama gerilmelerinde aynı elastiklik modülüne sahiplerdir. Anizotrop cisimler ise farklı elastiklik modülüne sahiplerdir (103, 117).

### **2.3.5.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Aşamaları**

Sonlu elemanlar analizinin aşamalarında ilk olarak üç boyutlu modelin bilgisayar ortamında simüle edilmesinden söz etmek gerekir. Genel olarak bilgisayar ortamında üç boyutlu model oluşturmada, magnetik rezonans (MR) ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılması, üç boyutlu modelleme programları kullanılarak cismin araştırmacı tarafından çizilmesi, modellenmesi istenen cismin yüzey tarayıcıları ile taranıp bilgisayar ortamına aktarılması gibi yöntemlerinden biri kullanılmaktadır (119, 120). TPA, spring ve implant gibi cisimler ya teknik çizimlerinden faydalanılıp bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak ya da yüzey tarayıcıları yardımı ile oluşturulmaktadır (119, 120).

Bilgisayar ortamında üç boyutlu model oluşturulduktan sonra elde edilen geometrik model bir ağ yapıya dönüştürülür. Bu yapıya matematiksel model denilmektedir. Matematiksel model; belirli sayıda düğüm noktaları içeren basit geometrik şekle sahip sonlu (belirli) sayıda elemandan oluşur (5, 6). Ağ yapıyı oluşturan elemanların düzgün

sıralanması, uygun büyüklüğe ve geometriye sahip olması analiz sonucunun gerçeğe yakınlığında önemlidir (6).

Kuvvet dağılımının hassas olarak ölçülebilmesi için mümkün olduğunca çok sayıda eleman kullanılması gerekmektedir. Model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse detay o ölçüde artmakta ve oluşturulan model gerçeğe o ölçüde benzemektedir (121, 122).

Tüm düğümlerin koordinatları belirli bir başlangıç noktasına göre X, Y, Z düzlemleri üzerinde saptanarak bilgisayara aktarılır. Ağ yapıya sahip modelin nereden sabitlendiği, kuvvet uygulama noktaları gibi sınır bölgelerindeki belirleyici koşulları tanımlanarak matematiksel model hazır hale gelir. Modelin oluşturulmasından sonra sistemin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi işlemi, sonlu elemanların materyal özelliklerini belirleyen Poisson Oranı ve elastiklik modülü (Young Modülü) gibi değerlerin analiz programına aktarılması ile yapılmaktadır (6).

Analiz aşamasında; oluşturulan matematiksel modelde istenilen düğüm noktalarından kuvvet uygulanmasıyla, ağ yapıyı oluşturan diğer düğüm noktalarında meydana gelen değişiklikler için matrisler oluşmakta, bu matrisler bilgisayar yardımı ile hesaplanmaktadır. Bu sayede her bir elemandaki ve dolayısıyla elemanların oluşturdukları cismin tamamındaki gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirmeler belirlenmektedir (5, 6).

Belirlenen veriler, tablolar, grafikler, yer değiştirme görüntüleri (büyütülmüş olarak) ve renklendirilmiş görüntüler olarak elde edilmektedir (6). Tablolar veya grafikler ile ortaya koyulan sayısal değerler kritik noktalarda bulunan düğümlerdeki yer değiştirmeleri ve uygulanan kuvvetlerin oluşturduğu gerilme değerlerini vermektedir. Renklendirilmiş görüntülerde ise tüm modele ait gerilme ve yer değiştirmeler, görüntü üzerinde renklerin denk geldiği değer aralığını belirten bir ölçek ile farklı açılardan gösterilmektedir. Büyütülmüş görüntüler ve animasyonlarda ise aslında çok küçük değerlerdeki yer değiştirmeler, eşit miktarda büyütülüp daha anlaşılır hale getirilmektedir (99).

### 2.3.5.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Avantaj ve Dezavantajları

Sonlu elemanlar analizinin sağladığı başlıca avantajlar şunlardır (5, 123, 124):

1. Düzgün geometriye sahip olmayan katılara ve farklı malzeme özelliklerine sahip karmaşık yapılara uygulanıp gerçek yapıya çok yakın bir modelin hazırlanabilmesi,
2. Gerilme, gerinim ve yer değiştirmelerin hassas bir şekilde tespit edilebilmesi,
3. Isı transferi, manyetik alan gibi birçok alanda kullanılabilmesi,
4. Karmaşık yapılarda, analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç vermesi,
5. Çeşitli katmanlardan oluşan nesnelere, katmanların fiziksel özelliklerini ve katmanlar arası birleşim özelliklerini yansıtabilecek şekilde modellenmesi,
6. Prototip olarak denenmesi mümkün olmayan veya tehlikeli olan tasarımların simülasyonuna olanak sağlaması,
7. Farklı yüzeyler arasındaki yapışma, sürtünme ve temasların gerçeğe yakın şekilde belirlenebilmesi,
8. Oluşturulan modelin geometrisi, sınır şartları, kuvvetin yükleme yönü ve miktarı gibi özellikleri değiştirilip, analizin istendiği kadar tekrarlanabilmesidir.

Çok sayıda avantajına rağmen yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır (111, 123, 125):

1. Modelleri oluşturulan malzemelerin izotropi, homojenite ve elastiklik gibi özelliklerinin varsayıma dayandırılması, malzemenin tam bir temsilini oluşturmamaktadır.
2. Modellenen yapılar, ağız içinde statik durumdan çok dinamik yükler altındadır. Yapıların analizinin bu yöntem ile dinamik olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmasına rağmen zordur.

3. Yöntemin gerçeği yansıtabilmesi, malzemenin analiz programına tanıtılan fiziksel özelliklerinin doğruluğuna bağlıdır. Bu nedenle fiziksel özelliklerin tanıtılması son derece hassas yapılmalıdır.

4. Analizin yapılabilmesi için ciddi bilgi birikimi, teknoloji ve yeterli zaman gereklidir.

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

Dezavantajlarına rağmen sonlu elemanlar yöntemi, deneysel olarak incelenmesi çok güç veya olanaksız olan birçok yapının bilinmeyen davranışlarının belirlenebilmesi için kullanılan önemli bir yöntemdir (111). Sonlu elemanlar analizinde izlenecek ilk adım, incelenecek biyolojik cismin geometrik özellikleri aynı olacak şekilde modellenmesidir. Biyolojik yapılar geometrik olarak çok karmaşık ve standart boyutları olmayan cisimler olduğu için bu aşama analiz sırasındaki en zor aşamadır (6, 126). Oluşturulan geometrik modelin gerçeğe yakınlığı, analizin sonuçlarının doğruluğunu belirleyen en önemli faktörlerdendir (5, 6, 127).

### 3. MATERYAL METOT

Çalışmamızda ballista spring uygulaması ve elastik iplikle diş sürdürme yöntemlerinin oluşturdukları kuvvet ve stres dağılımları sonlu elemanlar metoduyla ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Araştırmamız Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve Gürsan Ltd. Şti. tarafından, Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) desteği ile gerçekleştirilmiştir (Proje no: DHF.UT.17.04).

Çalışmamızda gömülü maksiller kaninin sürdürülmesi amacıyla simüle edilen biyomekanik modeller şu şekilde tasarlanmıştır;

#### 1. Ballista spring uygulaması;

Üç boyutlu sanal model üzerinde. 0.016 inch yuvarlak paslanmaz çelik telden elde edilmiştir. Birinci molardan birinci premolara doğru uzanan tel üzerinde 90° açı yapacak şekilde bir büküm yapıp springin ucu palatine yani gömülü dişe doğru uzatılmıştır. Springin uç kısmı metal ligatür bağlanması için loop şeklinde bükülmüş ve horizontal parçaya dik bir şekilde aşağı doğru uzatılmıştır. Ballista spring, molar bandının hem edgewise hem headgear tüplerinden ankraj almıştır. Böylece telin tüp içerisinde rotasyon yapması engellenmiştir. Vertikal kısım pasif haldeyken aşağı doğru konumlanmıştır. Bu dik kısım gömülü dişe doğru hareket ettirilerek aktiflenmiştir.

#### 2. Ark teli üzerinden elastik iplik uygulanması;

Çalışmamızda kullanılan diğer mekanik için yine aynı üç boyutlu sanal model üzerinde gömülü diştten 0.019 x 0.025 paslanmaz çelik arkteli üzerine elastik iplik bağlanarak gömülü maksiller kanin dişin sürdürülmek istendiği yöne doğru kuvvet uygulanmıştır.

Her iki modelde de tüm dişlere 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde MBT braketler ve 0.019 x 0.025 inch paslanmaz çelik ark teli uygulanmıştır. Ayrıca ankraj sağlamak



amacıyla 0.9 mm lik telden birinci molarlar arasında uzanan bir transpalatinal ark yapılmıştır. Her iki modelde de gömülü maksiller kanin dişine 80 gr kuvvet uygulanmıştır.

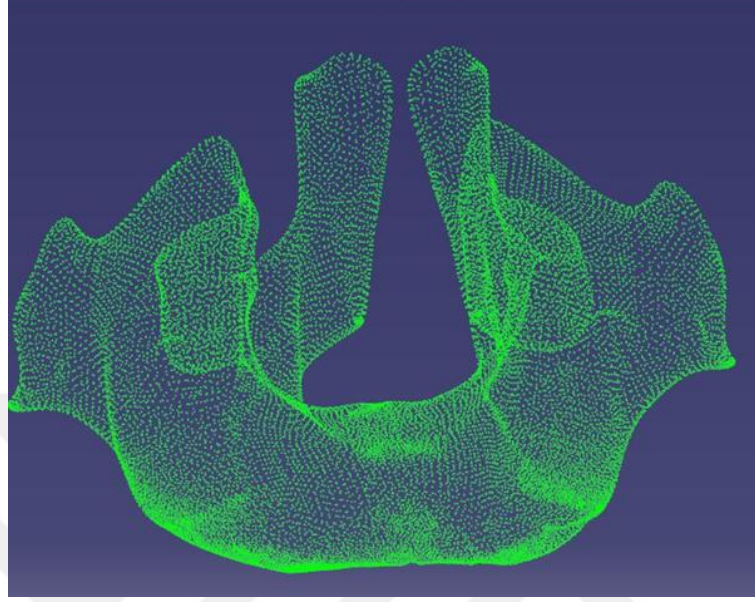
Çalışmamızda yapılan tüm SEM hesaplamaları ve modellemeler için INTEL İ7 2.8 GHZ 1 TB Harddisk ve 32 gb ram kapasiteli Win7 pro işletim sistemli bir bilgisayar kullanılmıştır. Yapılan işlemler sırasıyla; maksiller gömülü kaninlerin sürdürülmesinde kullanılan sanal modellerin ve uygulanan gömülü diş sürdürme mekaniklerinin dizayn edilmesi, sanal modele yerleştirilmesi ve sanal ortamda diş sürdürme işlemine başladıktan sonra oluşan stres bölgelerinin sonlu elemanlar analizi ile tespitinin yapılmasıdır.

### **3.1. Geometrik Modellerin Hazırlanması ve Sınır Ağ Yapının Oluşturulması**

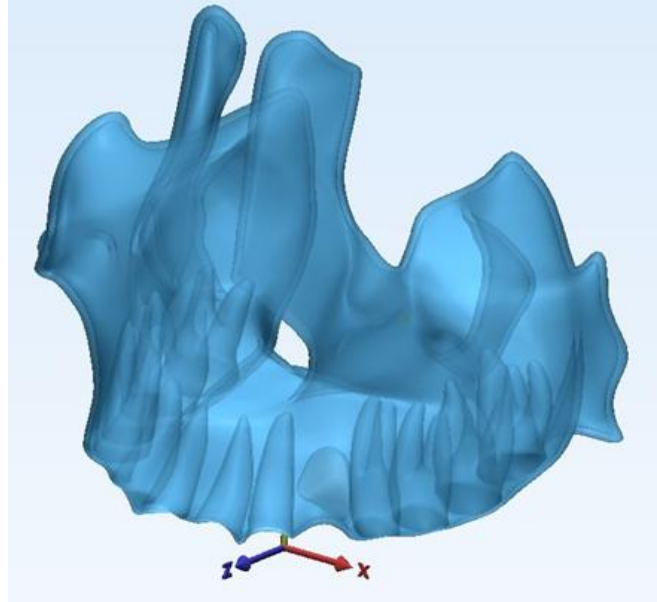
Modellerin hazırlanması için sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

1. Sobotta insan anatomisi atlası baz alınarak maksiller kemik ve tüm maksiller dişlerin 3D plastik modeli oluşturulmuştur.
2. Elde edilen 3D model Steinbichler marka 3D tarama cihazında taranarak nokta bulutu çıkarılmıştır (Şekil 3.1.).
3. Nokta bulutu üçgenleştirilip Catia yazılımına alınmış ve sınır ağ yapısı oluşturulmuş ve kortikal kemik elde edilmiştir.
4. Bu oluşturulan ağ yapı 0.2 mm ofsetlenip kemik seviyesinden kesilerek periodontal ligamentler oluşturulmuştur.
5. Diş soketlerini oluşturmak amacı ile periodontal ligament ile kortikal kemik arasında boolean uygulamasıyla diş soketleri elde edilmiştir.
6. Soketli haldeki kortikal kemik ofsetlenerek sponginoz kemik elde edilmiştir.

7. Çalışmamızda gömülü maksiller kanin için sol maksiller yarıda palatinal bölgede orta hat ile 25° açı yapacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan boşluğa daha önceden modellenen sol maksiller kanin dişi yerleştirilmiştir (Şekil 3.2.).



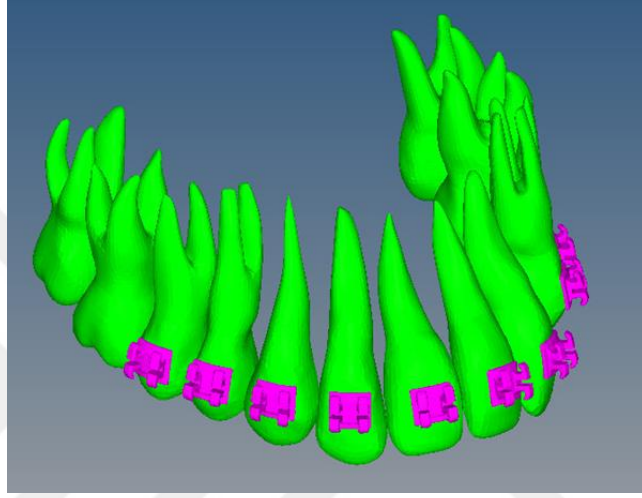
Şekil 3.1. Kortikal nokta bulutu



Şekil 3.2. Kortikal kemik içi sınır ağ yapısı

### 3.2. Braketlerin Modellenmesi

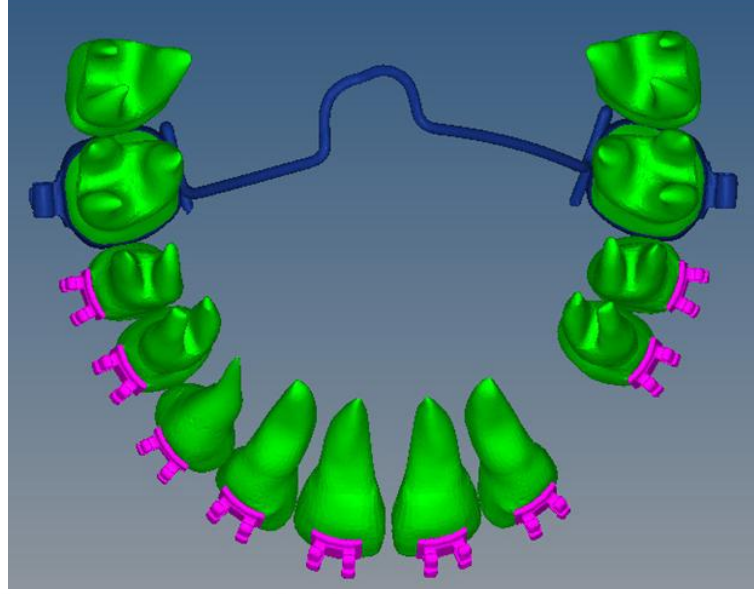
Çalışmamızda kullanılan 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde MBT braket ve tüpler, Steinbichler marka optik tarayıcı ile taranarak nokta bulutu elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu üçgenleştirilip bir ağ yapı elde edilmesi amacı ile CATIA yazılımı içerisine alınmış, elde edilen ağ yapı daha sonra stl formatında Hypermesh yazılımı içerisine stl data olarak aktarılıp dişler üzerine yerleştirilmiştir.



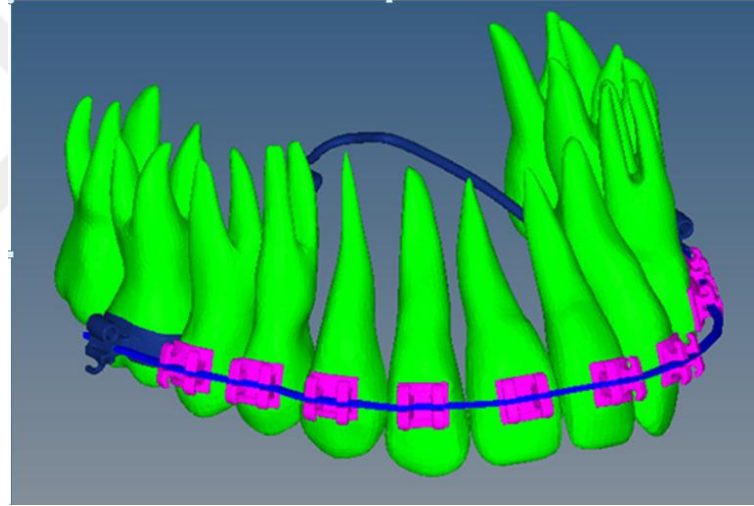
**Şekil 3.3.** 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde MBT braketlerin modele konumlandırılması

### 3.3. Molar Bandı, Transpalatal Ark ve Ark Telinin Modellenmesi

Steinbichler marka optik tarayıcı ile elde edilen TPA nokta bulutu CATIA yazılımı içerisinde üçgenleştirildikten sonra Hypermesh yazılımı içerisinde dişler ile uyumlu hale getirilmiştir. 0.019 x 0.025 inch genişliğindeki paslanmaz çelik ark teli braket slotları referans alınarak CATIA yazılımı içerisinde çizilmiş, geometrik olarak elde edilen ark teli Hypermesh yazılımı içerisine alınmıştır. Geometrik datalar SEM analizlerinde herhangi bir anlam ifade etmediğinden ark teli için ağ yapı oluşturulmuş ve braket slotlarından geçecek şekilde konumlandırılmıştır.



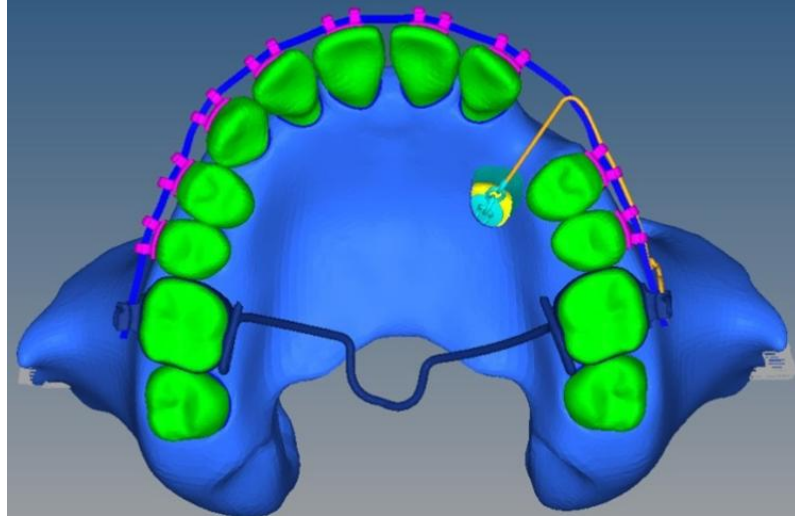
**Şekil 3.4.** Transpalatal arkin konumlandırılması



**Şekil 3.5.** Ark telinin konumlandırılması

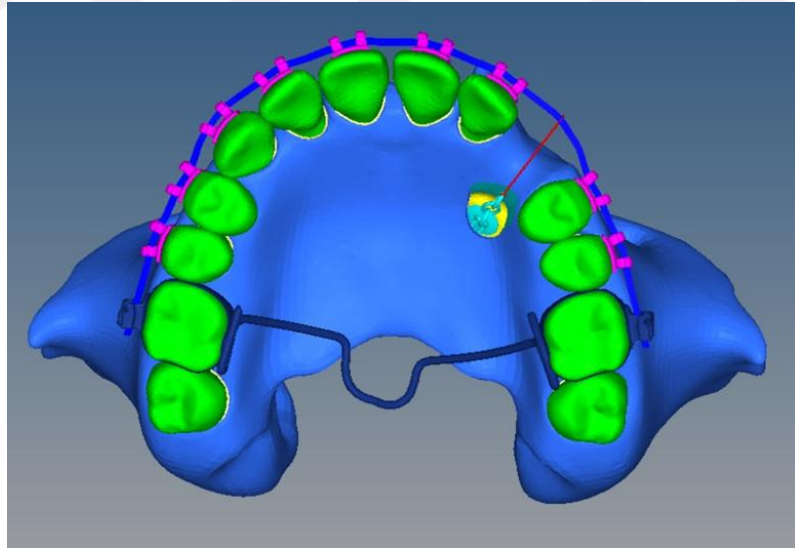
### **3.4. Buton, Elastik İplik ve Balista Spring Modellemesi**

Buton ve elastik iplik, kumpas ile alınan ölçülere göre CATIA yazılımında manuel olarak çizilmiştir. Elde edilen geometrik data Hypermesh yazılımı içerisinde ağ yapı oluşturularak model üzerine yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.6.** Ballista spring modeli

Ballista spring için konumlandırılmış olan braket, bant ve dişler arasındaki mesafeler ölçülerek Catia yazılımı içerisinde bükülmüş halde çizilmiştir. Hypermesh yazılımı içerisinde ağ yapı oluşturularak istenen konuma yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.7.** Elastik İplik modeli

### **3.5. Sem (Spectral Element Method) Modellerinin Oluşturulması**

SEM analizlerinin yapılabilmesi için elde edilen modelin sırasıyla;

1. Analiz edilecek yapıya göre uygun eleman tiplerinin seçilmesi ve uygulanması (ağ yapının oluşturulması),
2. Malzeme özelliklerinin bilinmesi ve uygulanması,
3. Sınır şartlarının uygulanması gerekmektedir.

### 3.5.1. Ağ Yapının Oluşturulması

Çalışmada farklı alanlarda farklı yoğunluk değerlerine sahip kemik yapıları daha iyi yansıtabilmek amacıyla düğüm elemanlardan (nodes) oluşan bir mesh sistemi kullanılmıştır. Gerek kemik yapı gerekse diğer bileşenlerin bulk yapıları gereği 3 boyutlu katı elemanlar ile modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple bu aşamaya kadar Hypermesh yazılımı içerisinde sınırları kabuk ağ yapı ile temsil edilen bileşenler 4 nodlu tetrahedral elemanlar kullanılarak modellenmiştir.

**Tablo 3.1.** Modellerin eleman ve nod sayıları

MODEL	ELEMAN SAYISI	NOD SAYISI
ELASTİK IPLIK	1676541	336240
BALISTA SPRING	1714797	341976

### 3.5.2. Malzeme Özellikleri

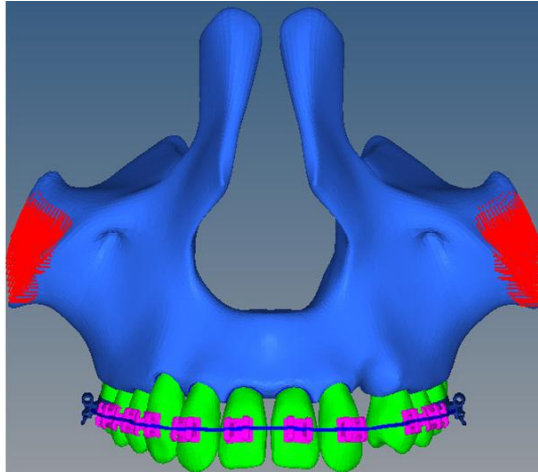
Malzeme modeli belirlenirken, modellenen elemanların sadece lineer, elastik, homojen ve izotropik özelliklere sahip olduğu kabul edilmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan malzemeler lineer olarak modellenmiştir. Lineer olarak modellenen malzemelerde Elastik modül ve Poisson oranı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

**Tablo 3.2.** Kullanılan malzemelerin elastik modül ve poisson katsayıları

MALZEME	ELASTİK MODUL(MPa)	POISSON
KORTİKAL	13700	0.3
SPONGİÖZ	1370	0.3
DİŞLER	20000	0.3
PDL	50	0.3
ÇELİK	210000	0.3

### 3.5.3. Sınır Şartları ve Uygulanması

Çalışmamızda yapılan analizler lineer statik olarak yapılmıştır. SEM analizinin yapılabilmesi için modelin serbestlik derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda maksilla kemiğinin sabit olarak durduğu ve hareket etmediği varsayılmıştır.



**Şekil 3.8.** Maksillanın sınır şartları

Çalışmamızda uygulanan mekaniklerin aktivasyonu sonucu başlangıç etkileri ölçülmüş, oluşan gerilme ve deplasman değerleri kaydedilmiştir. Palatinaldeki maksiller gömülü

kanin dişlere elastik iplik ve ballista spring ile 3D model üzerinde başlangıç kuvveti uygulanması sonucu;

- Maksiller gömülü kanin dişi ve çevre periodontal dokularda oluşan stres, gerilim dağılımı,
- Ankraj alınan dişler ve çevre periodontal dokularında oluşan stres, gerilim dağılımı,
- Maksiller gömülü kanin dişlerde X (transversal), Y (sagittal) ve Z (vertikal) düzlemlerinde oluşan başlangıç hareketi,
- Maksillada ankraj alınan dişlerde X (transversal), Y (sagittal) ve Z (vertikal) düzlemlerinde oluşan başlangıç hareketi değerlendirilmiştir.





## 4. BULGULAR

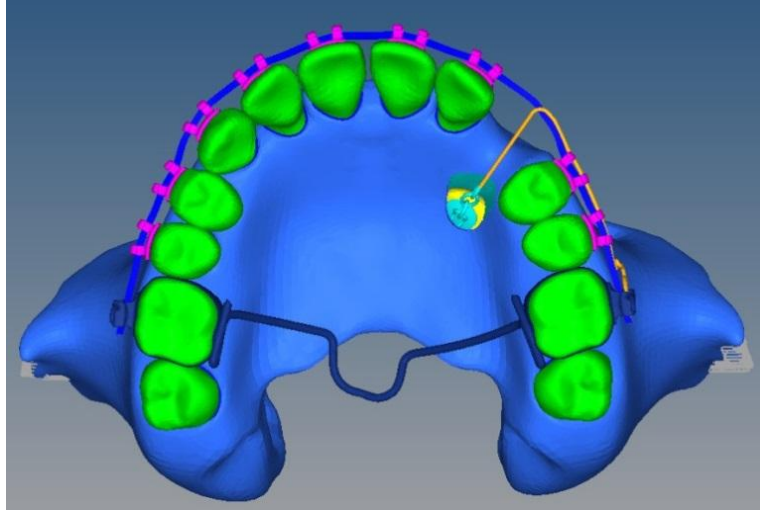
Çalışmamızda, gömülü kanin dişe uygulanan kuvvetler sonrası kanin dişin ve diğer maksiller dişlerin kron ve kök yüzeylerinde, dişlerin periodontal ligamentlerinde, maksiller kortikal ve spongiöz kemiklerde meydana gelen baskı ve gerilme değerleri, uzayın 3 düzleminde meydana gelen hareketler (X eksenini transversal yönü, Y eksenini sagittal yönü ve Z eksenini de vertikal yönü temsil etmektedir) ve von Mises kuvvetleri değerlendirilmiştir.

Tüm ölçümlere ait sonuçlar, renklendirilmiş görüntüler olarak kaydedilmiştir. Bu görüntülerde her renk sayısal bir değer aralığına karşılık gelmektedir. Değer aralıklarına karşılık gelen renk kodları ise, görüntülerin sol tarafındaki skalada belirtilmiştir.

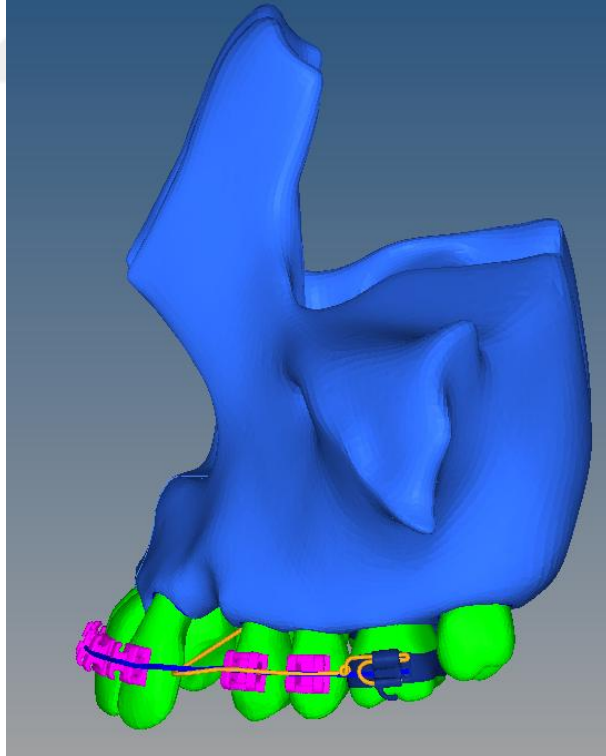
Çalışmamızda maksimum asal gerileme ( $p_{max}$ ), minimum asal gerilme ( $p_{min}$ ) ve von Mises değerleri MPa, yer değiştirme değerleri ise milimetre (mm) cinsinden ifade edilmiştir.

### 4.1. Ballista Spring Modeline Ait Bulgular

Bu modelde ballista spring aktiflenerek gömülü maksiller kanin dişe 80 gr kuvvet uygulanmıştır.



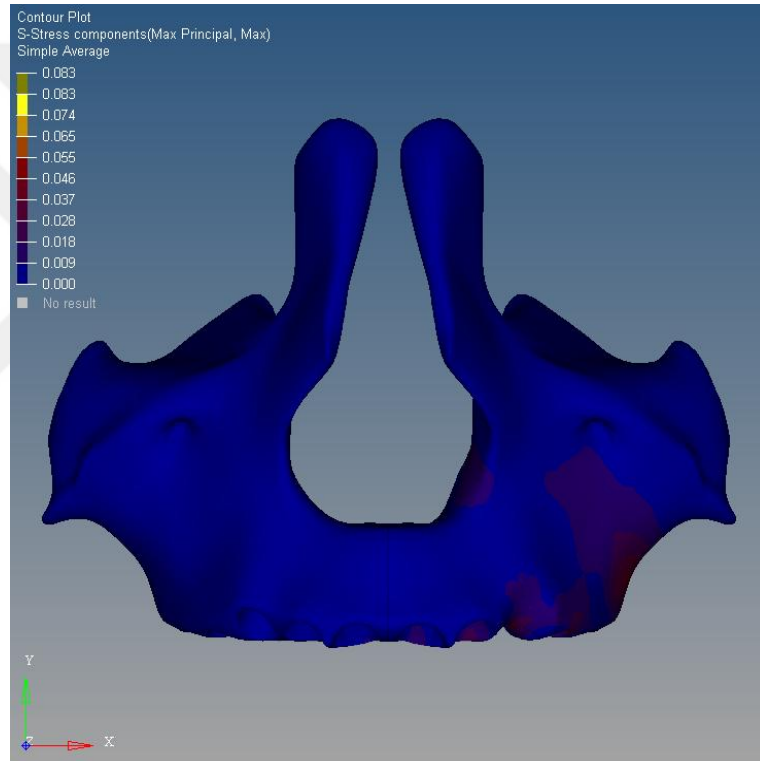
Şekil 4.1. Ballista spring modeli (palatinal görüntü)



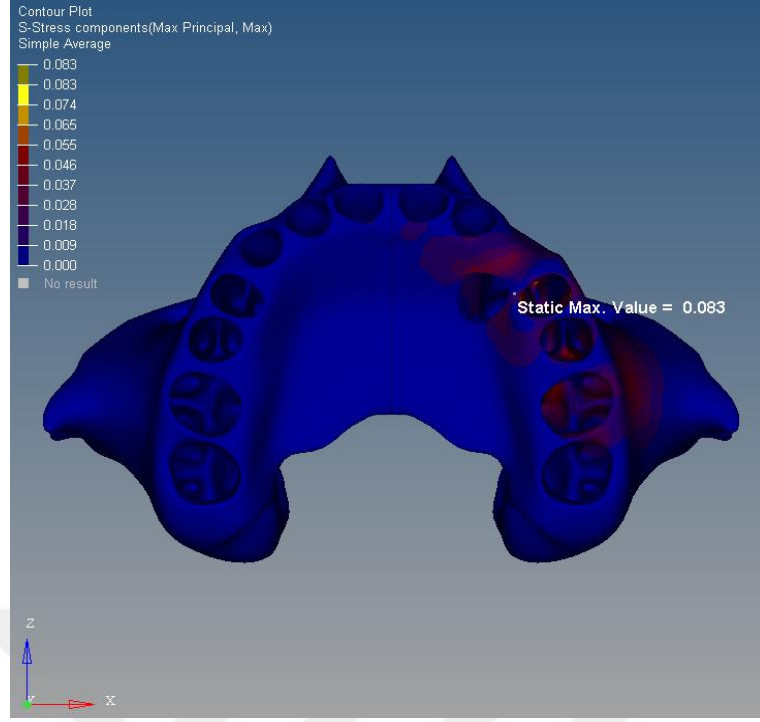
Şekil 4.2. Ballista spring modeli (sagittal görüntü)

#### 4.1.1. Maksiller Kortikal Kemiğe Ait Bulgular

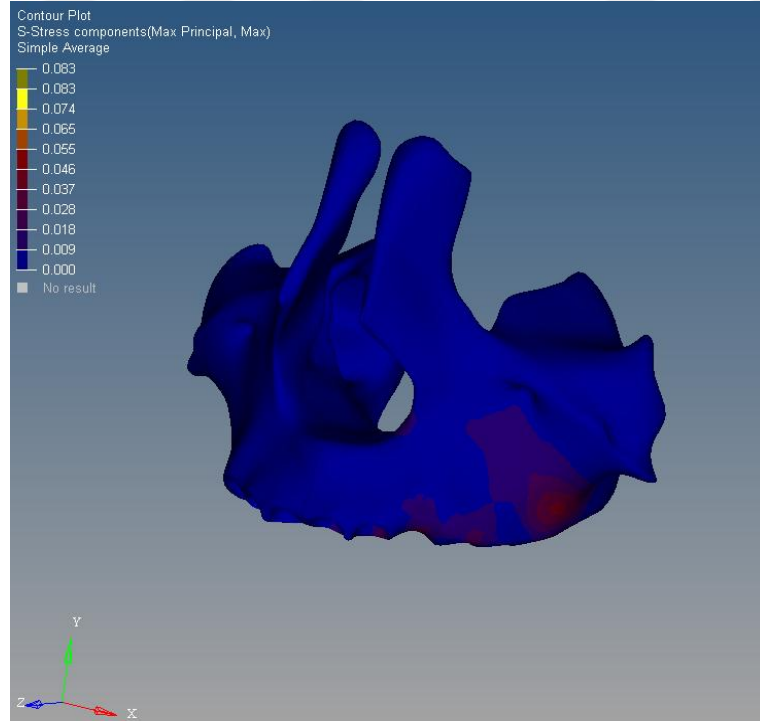
Ballista spring modelinde yapılan analiz sonucu maksiller kortikal kemikte oluşan en yüksek p max değeri, 0.083 MPa olarak gömülü maksiller kanin dişe komşu premolar dişin mesiopalatinalindeki kortikal kemikte ölçülmüştür. Kanin dişin sürdürülmesi hedeflenen kret tepesi ile birinci premolar arasındaki bölge ve ballista springin destek aldığı birinci molar dişin bukkalindeki kortikal kemik bölgelerinde yüksek p max değerleri ölçülmüştür. Gömülü kanin dişe komşu santral ve lateral dişlerin palatinalindeki kortikal kemikte ise p max 0.042 MPa ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü)



**Şekil 4.4.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)

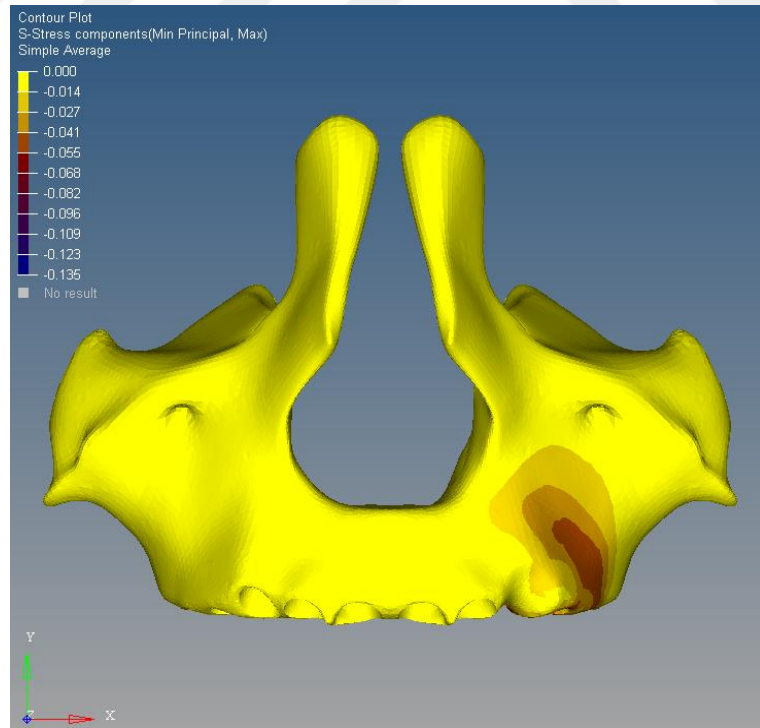


**Şekil 4.5.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (aksiyal görüntü)

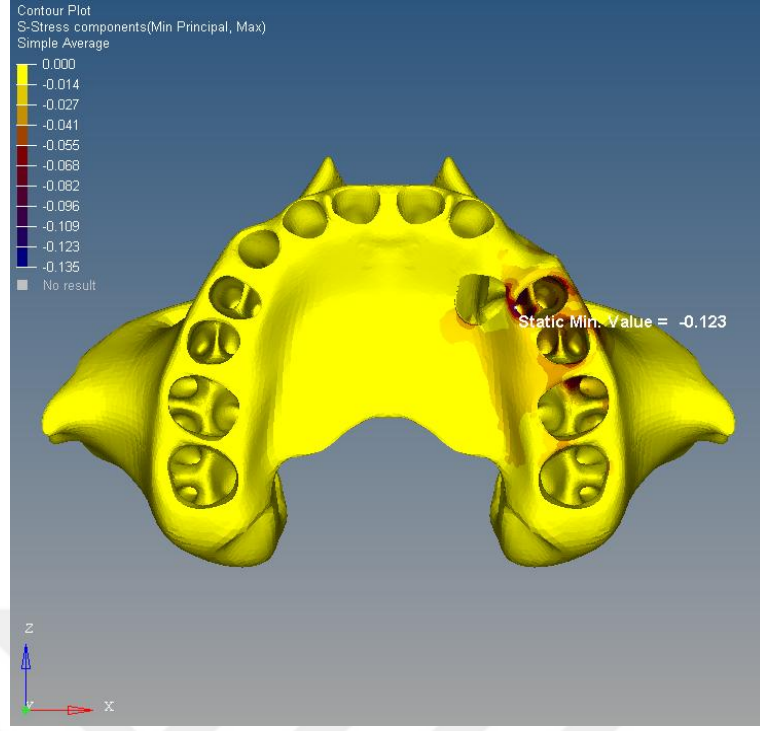
Kanin dişin sürdürülmesi planlanan kret tepesinden uzaklaştıkça p max değerleri azalmaktadır. Ballista springin destek aldığı birinci molar dişin bukkalinden zygomaya doğru ilerledikçe artan p max değerinin zygomanın alt sınırından itibaren azaldığı görülmüştür. Gömülü maksiller kanin dişin kontralateralindeki maksiller yarım çenede düşük p max değerleri ölçülmüştür.

Ballista spring modelinde maksiller kortikal kemikte oluşan en yüksek basma kuvvetini gösteren p min değeri -0.123 MPa olarak gömülü maksiller kanine komşu premolar dişin palatinalindeki kortikal bölgede ölçülmüştür. Birinci ve ikinci premolar dişin bukkalindeki kortikal kemikte yüksek kuvvetler gözlenmiştir. Bu bölgeden zigomatik prosese doğru ilerledikçe basma kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür.

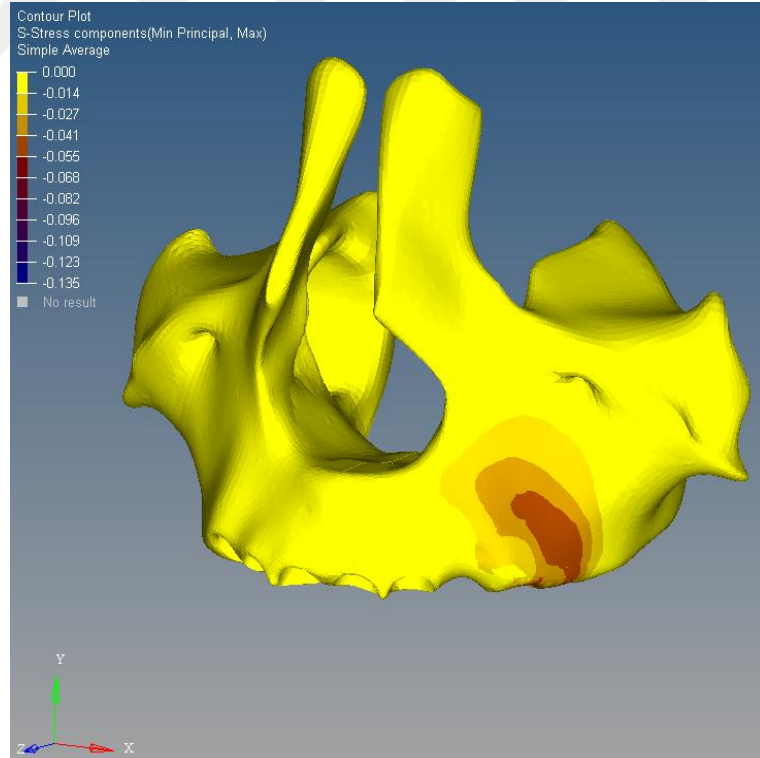
Gömülü maksiller dişin ve komşu birinci premolar dişin palatinalindeki kortikal kemikte yüksek basma kuvvetleri ölçülmüştür. Birinci molar dişin alveol soketinde mesiobukkal kök bölgesinde p min değeri -0.088 MPa olarak ölçülmüştür.



**şekil 4.6.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulgularını (frontal görüntü)

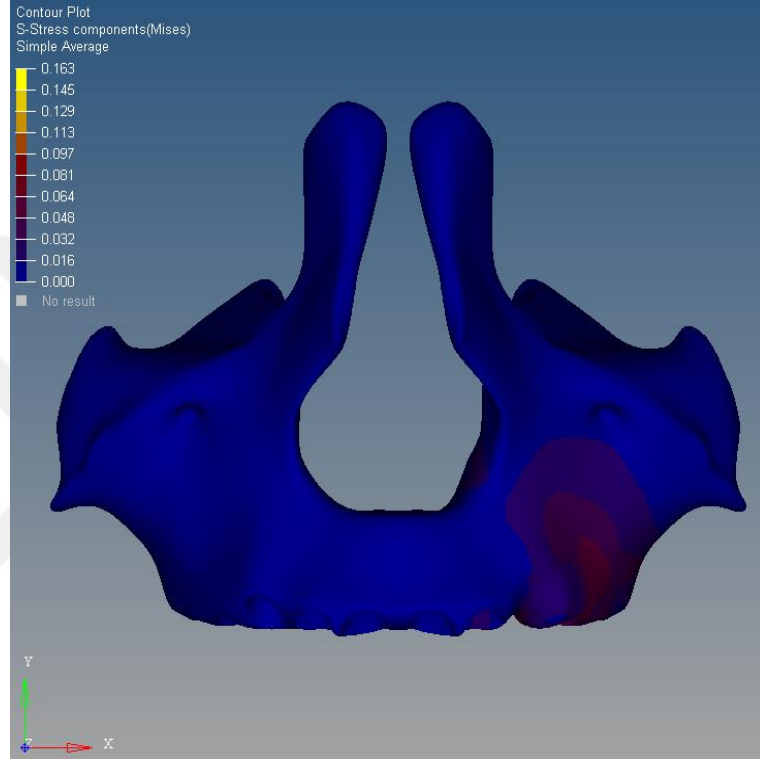


**Şekil 4.7.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)

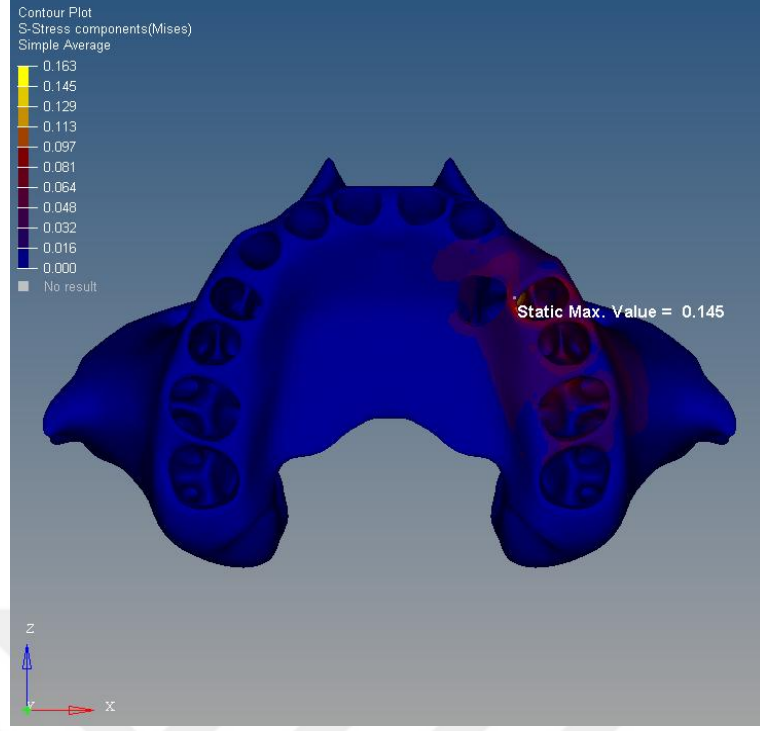


**Şekil 4.8.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (aksial görüntü)

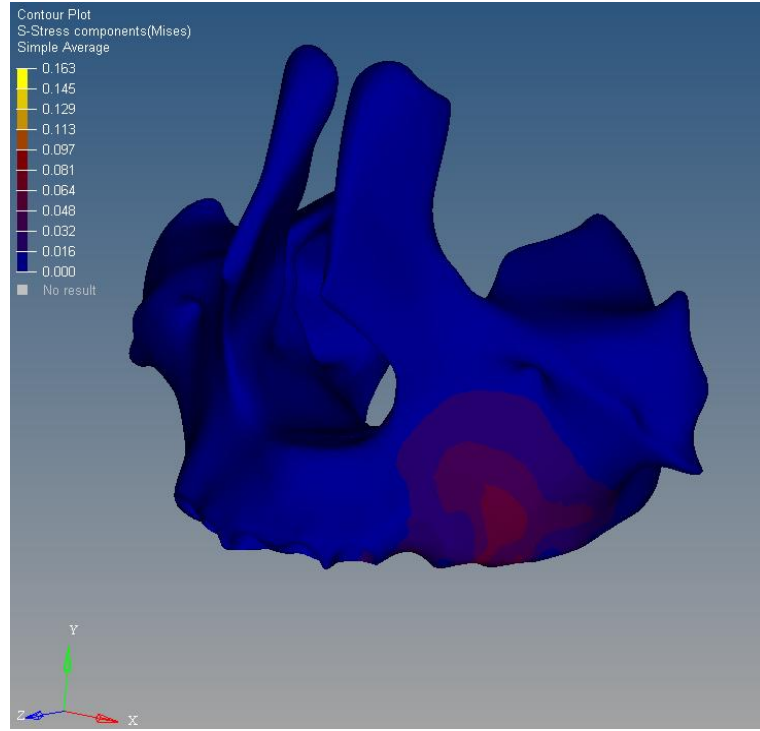
Ballista spring modelinde maksiller kortikal kemikte en yüksek von Mises gerilme değeri gömülü maksiller kanine komşu premolar dişin mesiopalatinalinde 0.145 MPa bulunmuştur. Premolar ve molar dişler etrafında özellikle birinci premolar diş çevresinde yüksek gerilim değerleri gözlenmiştir. Bu değerler 0.081 MPa ile 0.113 MPa arasında değişmektedir. Birinci premolar dişin vestibülündeki kortikal kemikte 0.120 MPa olarak ölçülen von Mises değerleri dişten uzaklaştıkça azalmaktadır.



**Şekil 4.9.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü)



**Şekil 4.10.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)

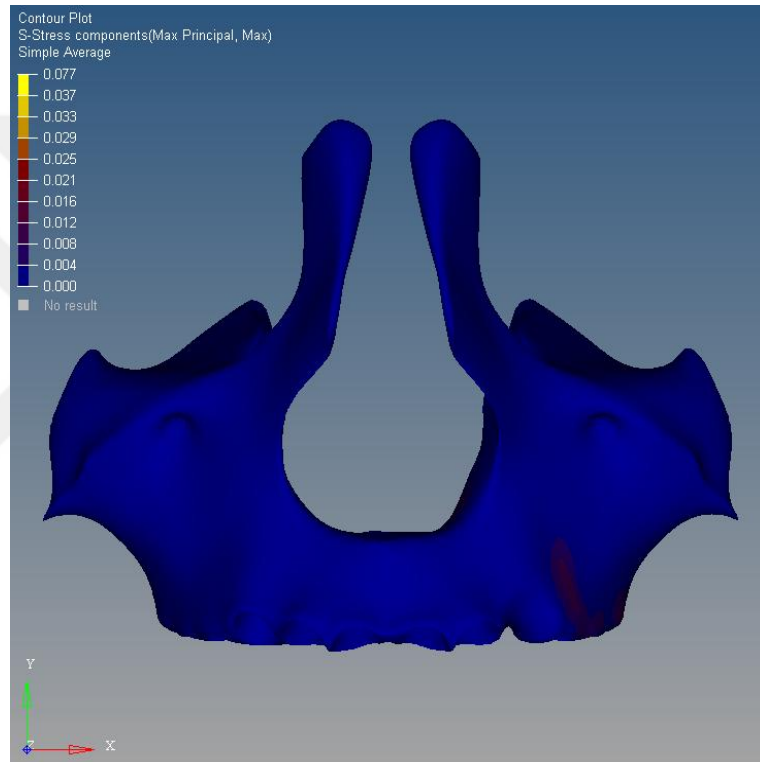


**Şekil 4.11.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (aksiyal görüntü)

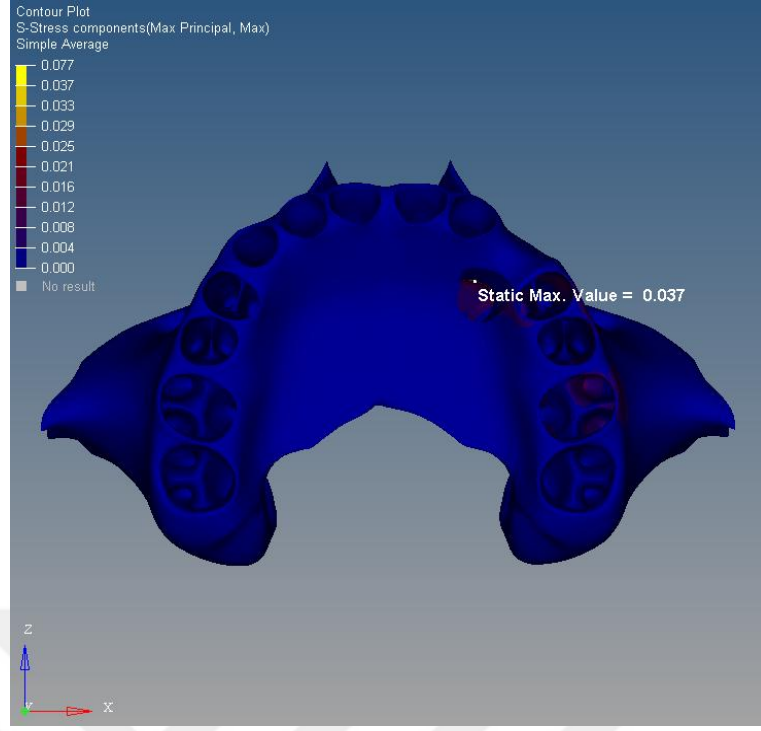


#### 4.1.2. Maksiller Spongioz Kemiğe Ait Bulgular

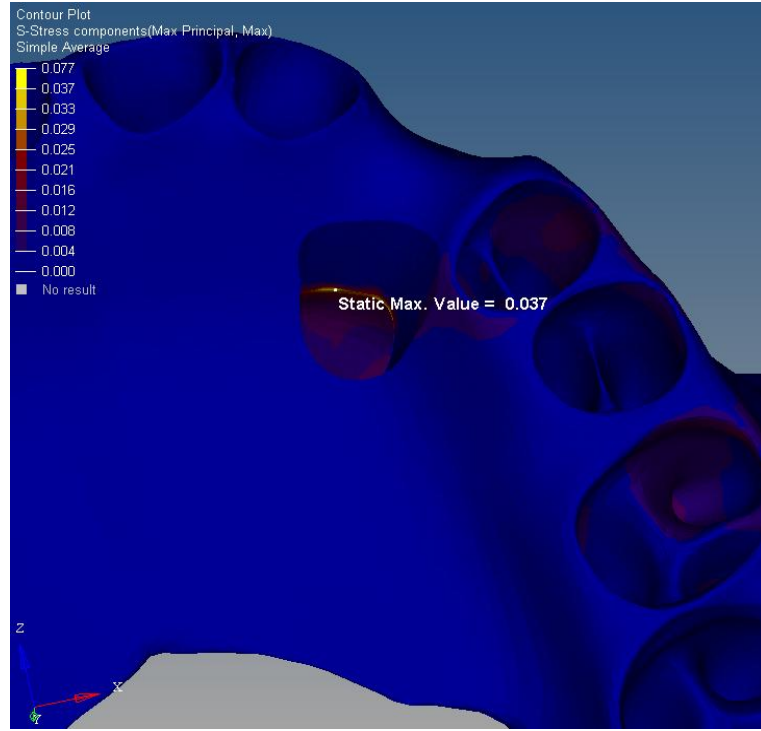
Ballista spring modelinde maksiller spongioz kemikte oluşan en yüksek p max değeri 0.037 MPa olarak gömülü maksiller kanin dişin mesiobukkalinde ölçülmüştür. Ballista springin destek aldığı birinci molar diş soketinde de benzer sonuçlar görülmüştür. Gömülü kanin dişe komşu premolar ve molar dişlerin vestibül yüzeylerinde bulunan spongioz kemikte p max değerleri 0.04-0.028 MPa arasında olup bu değerler zigomatik prosese doğru ilerledikçe azalma göstermektedir. Gömülü kanin dişin kontralateralindeki maksiller yarım çenede ise düşük p max değerleri gözlenmiştir.



**Şekil 4.12.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü)

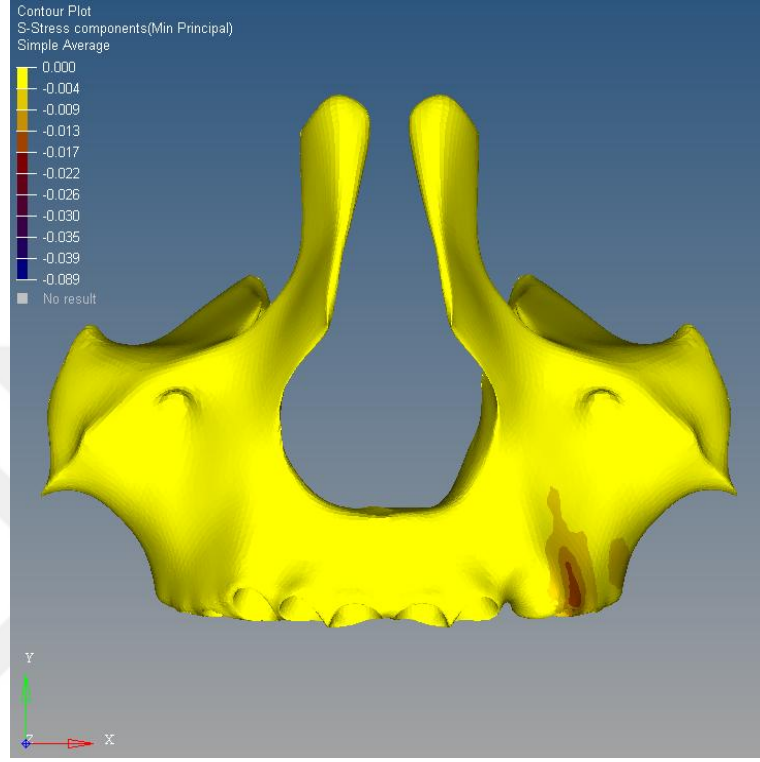


**Şekil 4.13.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)

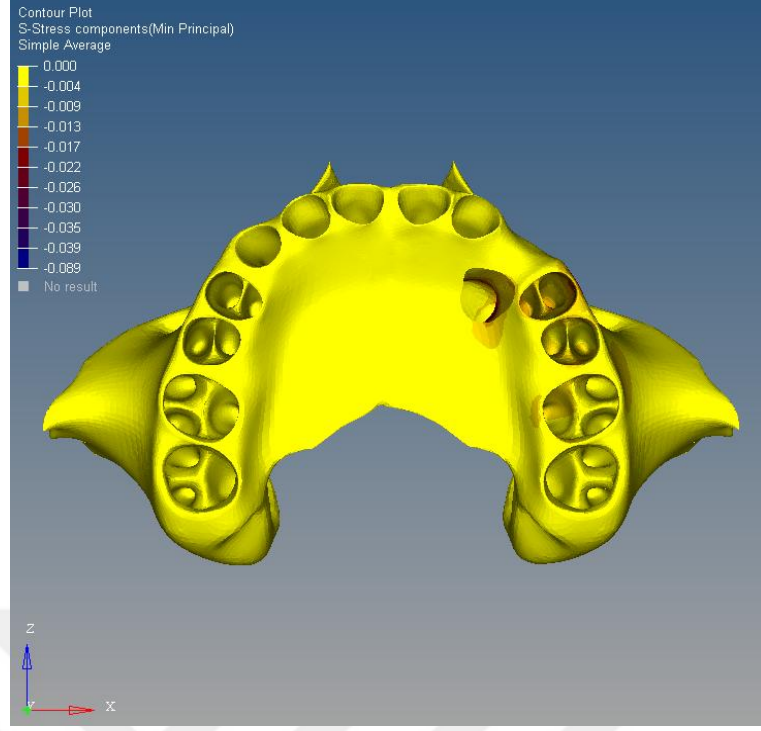


**Şekil 4.14.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)

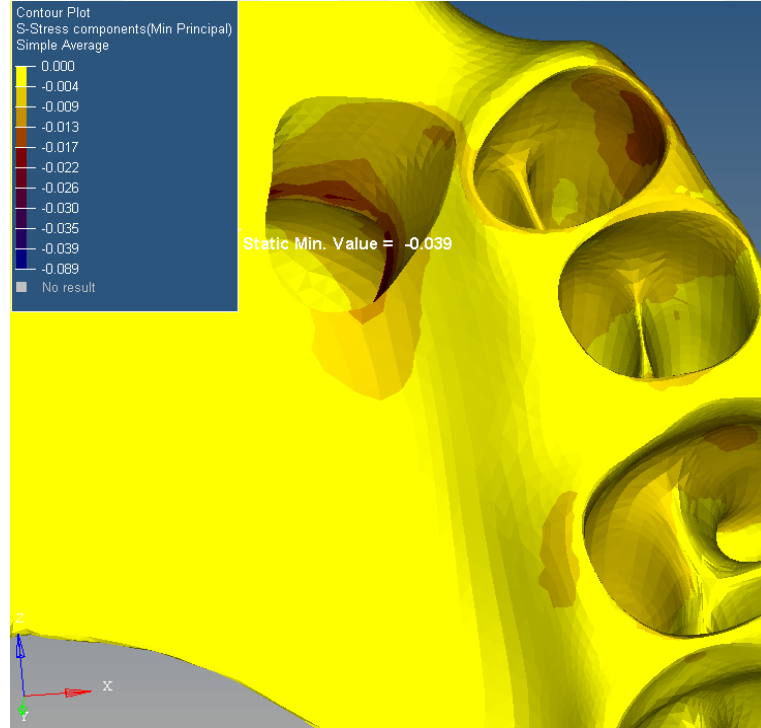
Spongioz kemikte en yüksek basma kuvveti gömülü kanin dişin bukkalinde  $-0.039$  MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü kanin dişe komşu birinci premolar dişin çevresindeki spongioz kemikte de benzer p min değerleri ölçülmüştür. Bu bölgeden uzaklaştıkça basma kuvvetleri azalmıştır.



**Şekil 4.15.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü)

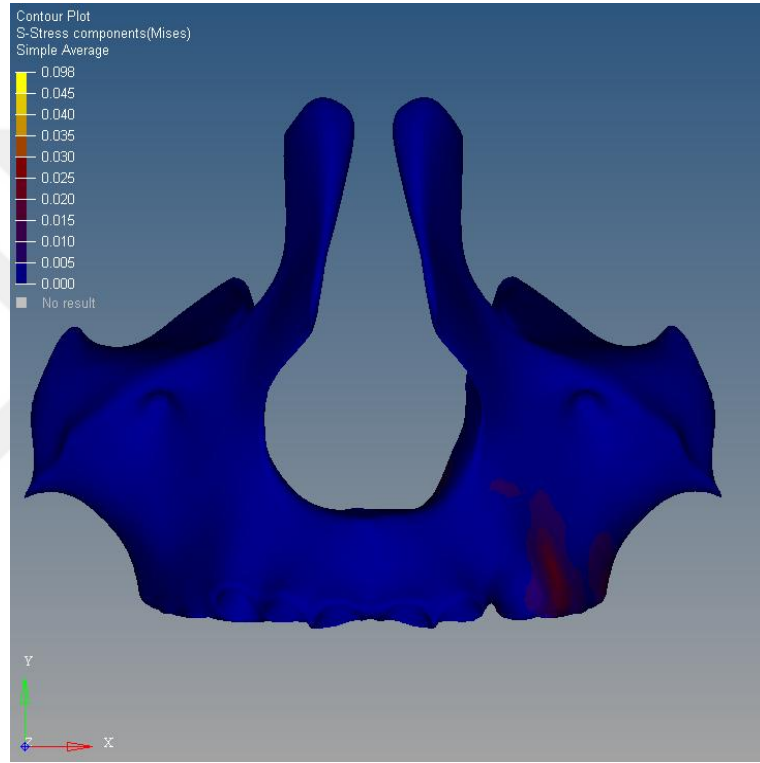


**Şekil 4.16.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)

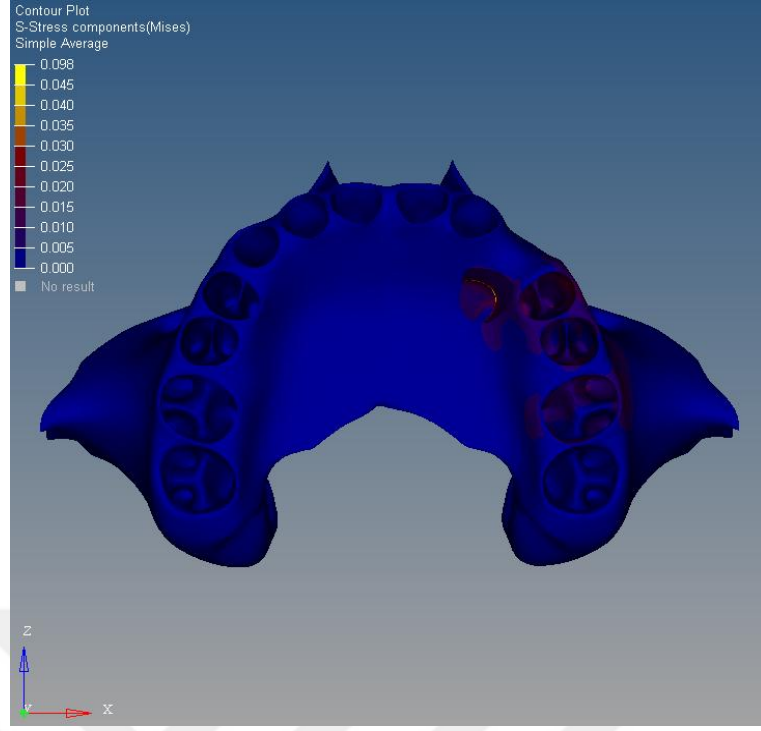


**Şekil 4.17.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)

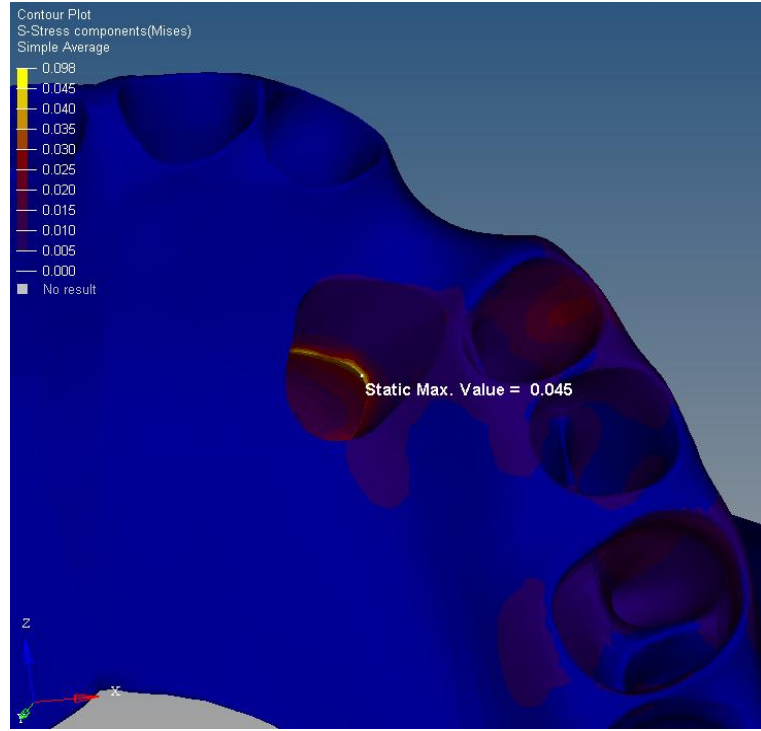
Ballista spring modelinde maksiller spongioz kemikte ölçülen en yüksek von Mises gerilme değeri gömülü kanin dişin bukkalinde 0.045 MPa olarak ölçülmüştür. Özellikle gömülü kanin diş ve birinci premolar diş etrafındaki spongioz kemikte yüksek gerilim değerleri görülmüştür. Spongioz kemikte ölçülen von Mises değerleri birinci premolar diştten ikinci premolar dişe doğru azalırken birinci molar dişe doğru tekrar artış göstermiştir. Birinci molar dişin vestibülündeki spongioz kemikte ölçülen von Mises değeri 0.032 MPa'dır. Aynı dişin palatinalinde ölçülen von Mises değerleri daha düşüktür.



**Şekil 4.18.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü)



**Şekil 4.19.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)

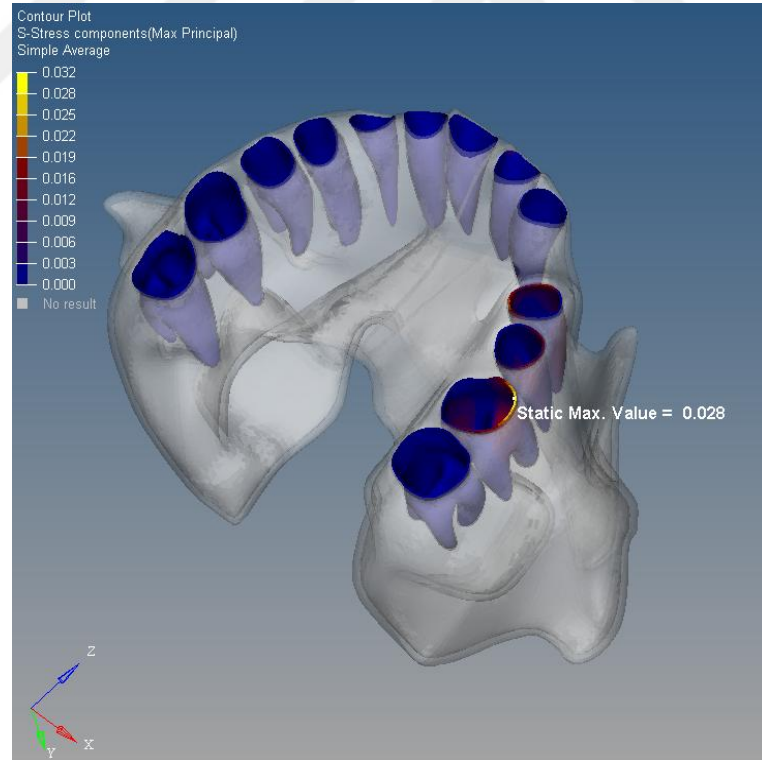


**Şekil 4.20.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)

### 4.1.3. Maksiller Dişlerdeki Periodontal Ligamente Ait Bulgular

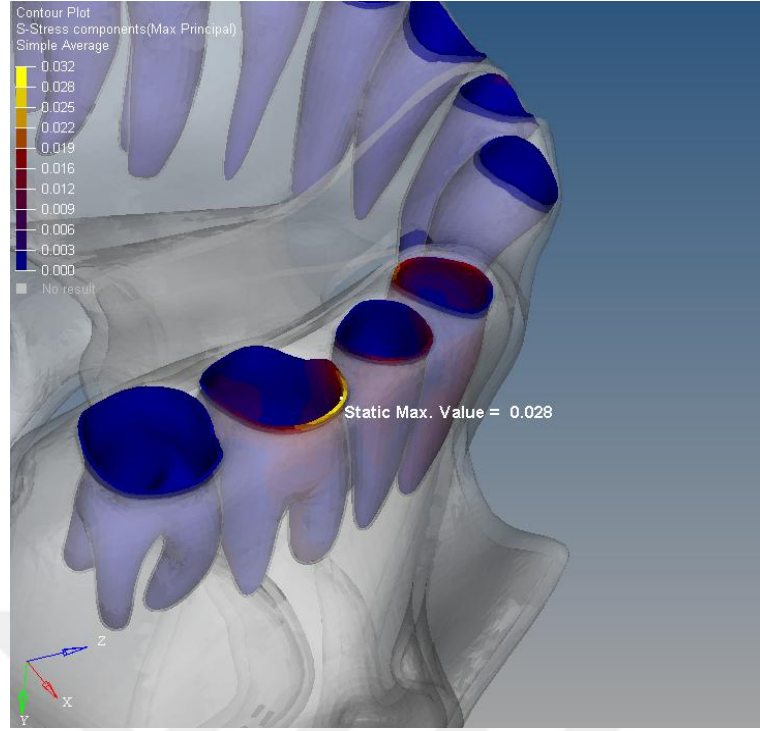
Ballista springin aktiflenmesi sonucu maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinde oluşan p max değerleri 0 ile 0.028 MPa arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek p max değeri gömülü kanine komşu birinci molar dişin bukkal kole bölgesinde ölçülmüştür. Sol premolar ve molar dişlerin periodontal ligamentinde 0.019 ile 0.028 MPa arasında ölçülen p max değerleri korondan apikale doğru azalma göstermiştir. Birinci premolardan posteriora doğru periodontal ligamentte ölçülen p max değerleri palatinalde azalırken bukkalde artmıştır. Sol ikinci premoların palatinalinde daha düşük p max değerleri görülürken bukkalinde daha yüksek değerler ölçülmüştür.

Gömülü kanine komşu santral ve lateral dişlerin periodontal ligamentinde düşük p max değerleri ölçülmüştür. Koronalde 0.016 MPa olarak ölçülen p max değeri apikal bölgede 0 MPa a kadar düşmektedir.

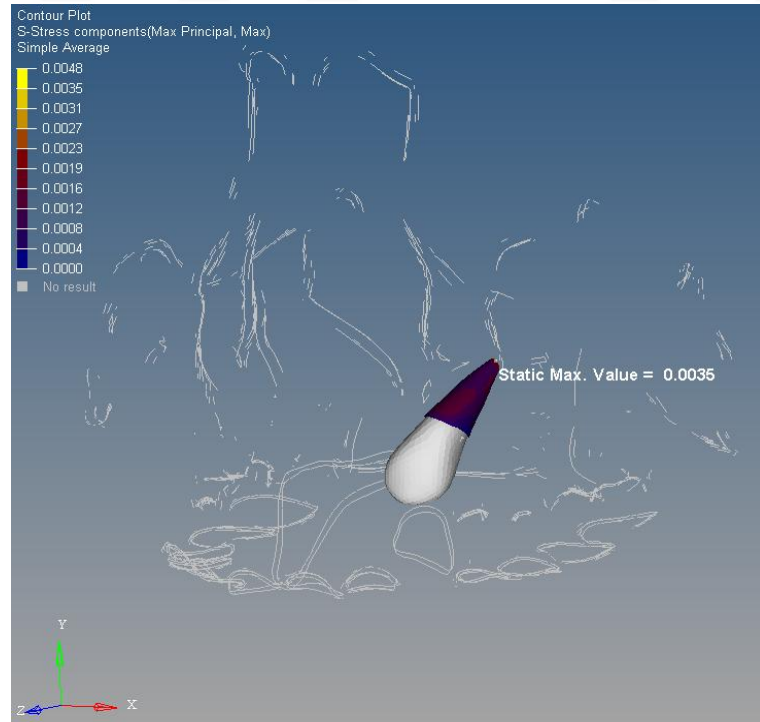


**Şekil 4.21.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları





**Şekil 4.22.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları

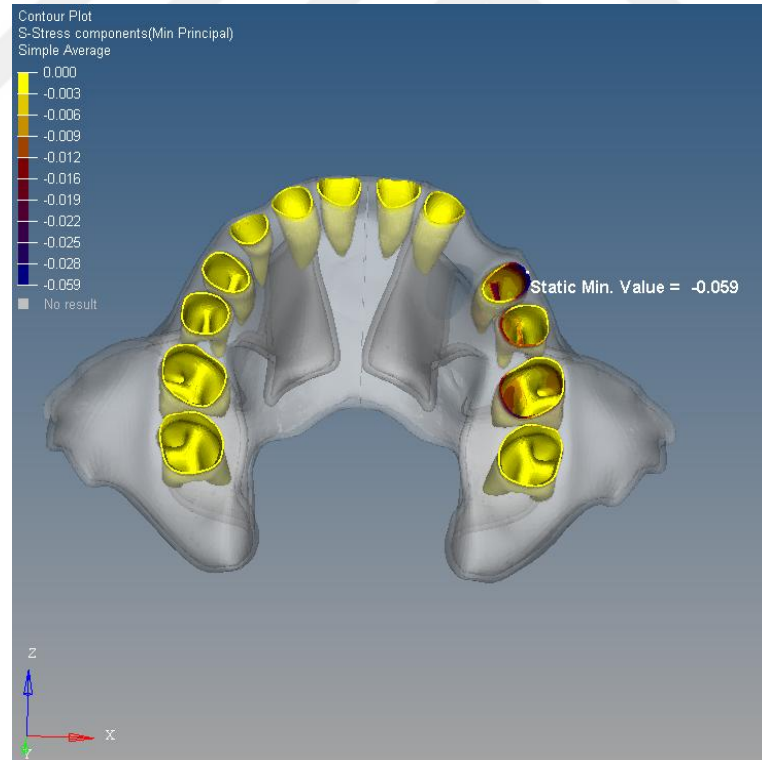


**Şekil 4.23.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p max bulguları

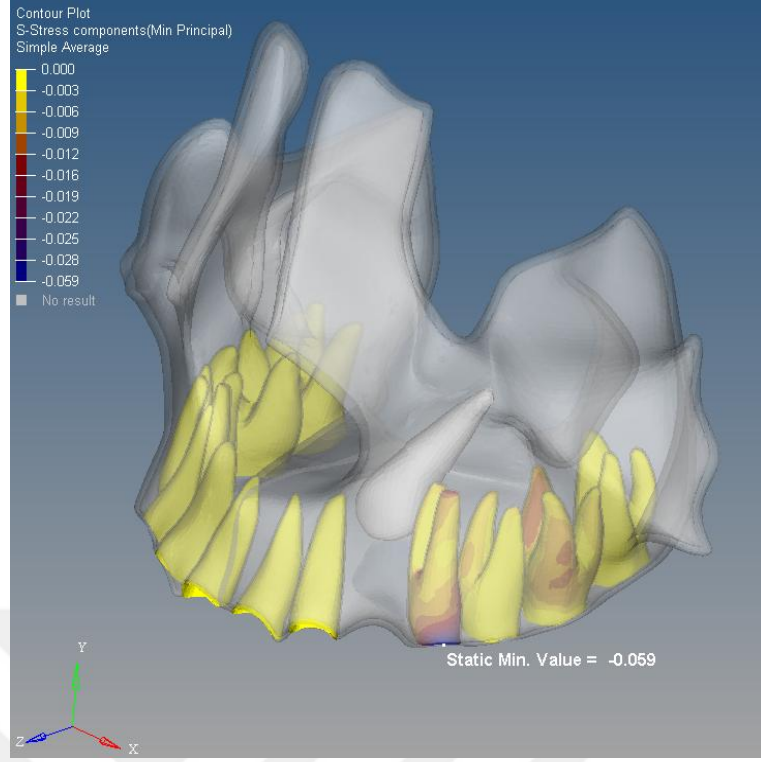


Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen p max değerleri diğer dişlerde ölçülenin aksine apikalden koronale doğru azalma göstermiştir. Ölçülen en yüksek değer kökün apeksinde olup 0.0035 MPa dır.

Ballista springin aktiflenmesi sonucu maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinde oluşan p min değerleri 0 ile -0.059 MPa arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek basma kuvveti gömülü kanine komşu birinci premolar dişin bukkal kole bölgesinde ölçülmüştür. Birinci premolar dişin periodontal ligamentinin koronalinde görülen yüksek basma değerleri, kökün ortasına doğru 0' a yaklaşmış apeks bölgesinde ise tekrar artmıştır. Birinci premolar dişin bukkalindeki periodontal ligamentte palatinalle oranla daha yüksek basma kuvveti ölçülmüştür. Aynı bölgede ikinci premolar dişte ölçülen p min değerleri 0'a yaklaşırken birinci molar dişe doğru tekrar negatif değerler göstermiştir. Birinci molar dişin palatinal kökünün koronalindeki periodontal ligamentte ölçülen en düşük p min değeri -0.053 MPa dır. P min değerleri palatinalden furkasyona doğru 0' a yaklaşırken bukkale doğru tekrar negatif değerler göstermiştir.

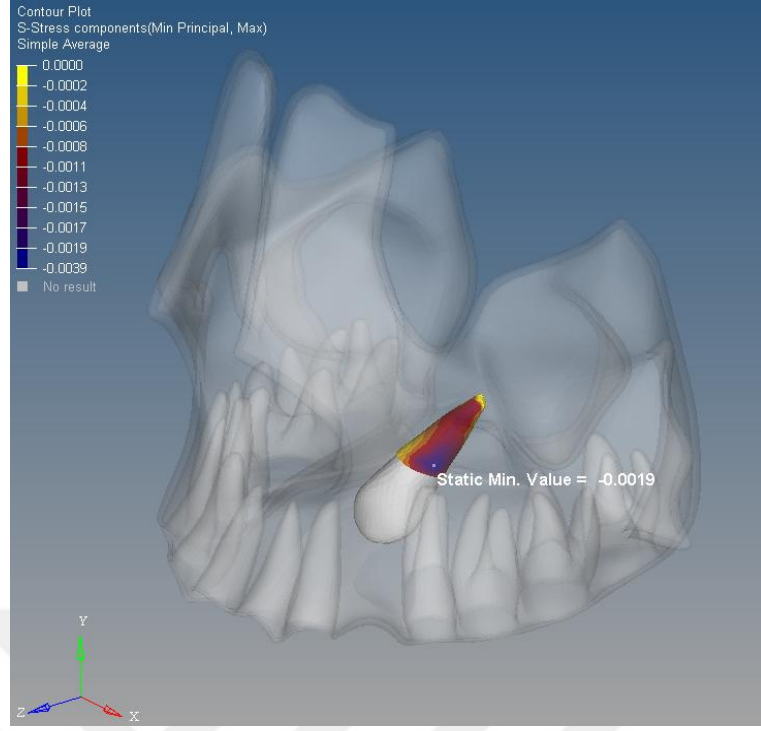


**Şekil 4.24.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları

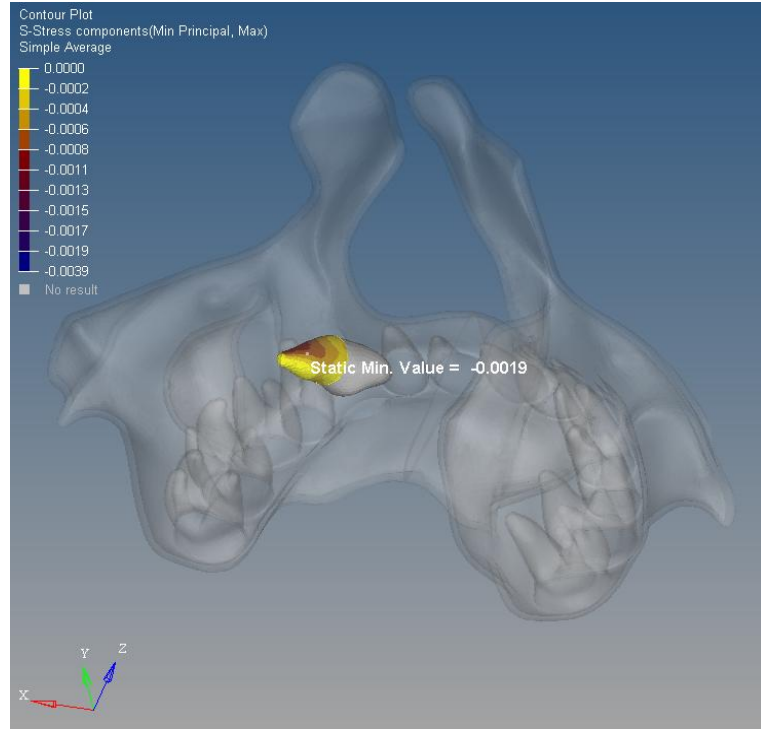


**Şekil 4.25.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları

Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen en yüksek basma kuvveti kökün distobukkalindeki koronal üçlüde -0.0019 MPa dır. Bu değer apekse doğru azalmış ve mesiopalatinaline doğru 0 MPa a yaklaşmıştır.

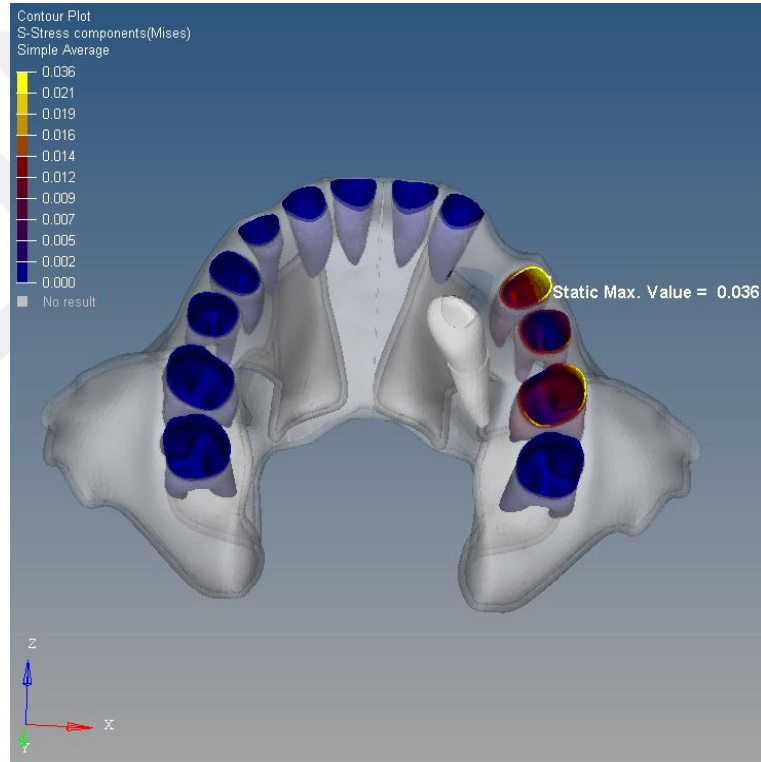


**Şekil 4.26.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takibe kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları

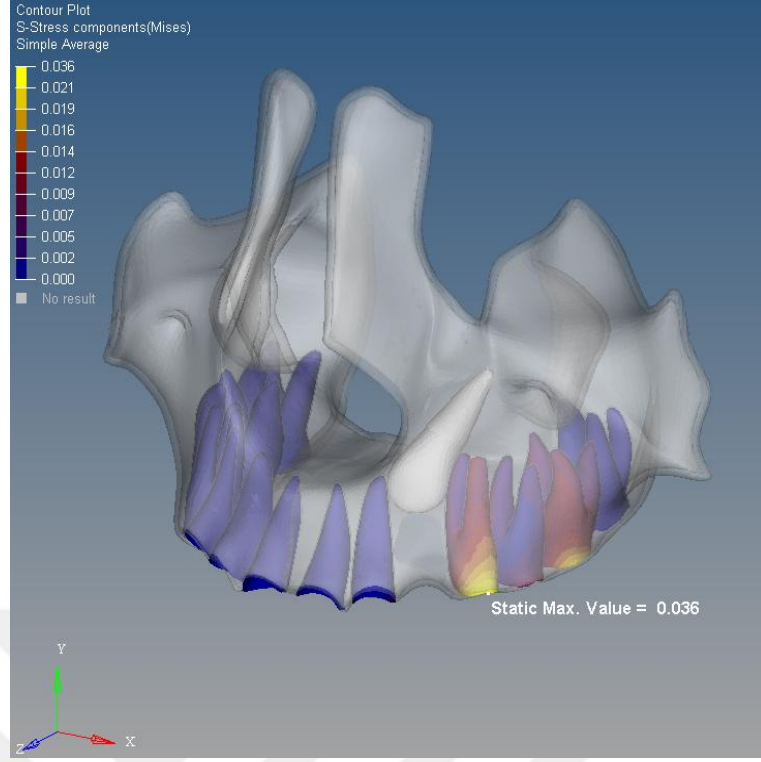


**Şekil 4.27.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takibe kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları

Ballista springin aktiflenmesi sonucu gömülü kanine komşu birinci premolar ve birinci molar dişlerin periodontal ligamentlerinde yüksek von Mises gerilme değerleri ölçülmüştür. Ölçülen en yüksek değer 0.036 MPa ile gömülü kanine komşu birinci premolar dişin bukkal kole bölgesindedir. Birinci premolar dişin bukkal kökünde ölçülen değerler 0.036 MPa ile 0.009 MPa arasında iken palatinal bölgede ölçülen değerler 0.020 MPa ile 0.002 MPa arasındadır. İkinci premolarda azalan von Mises değerleri birinci molarda tekrar artış göstermiştir. Birinci molarda ölçülen en yüksek von Mises değeri 0.034 MPa dır.

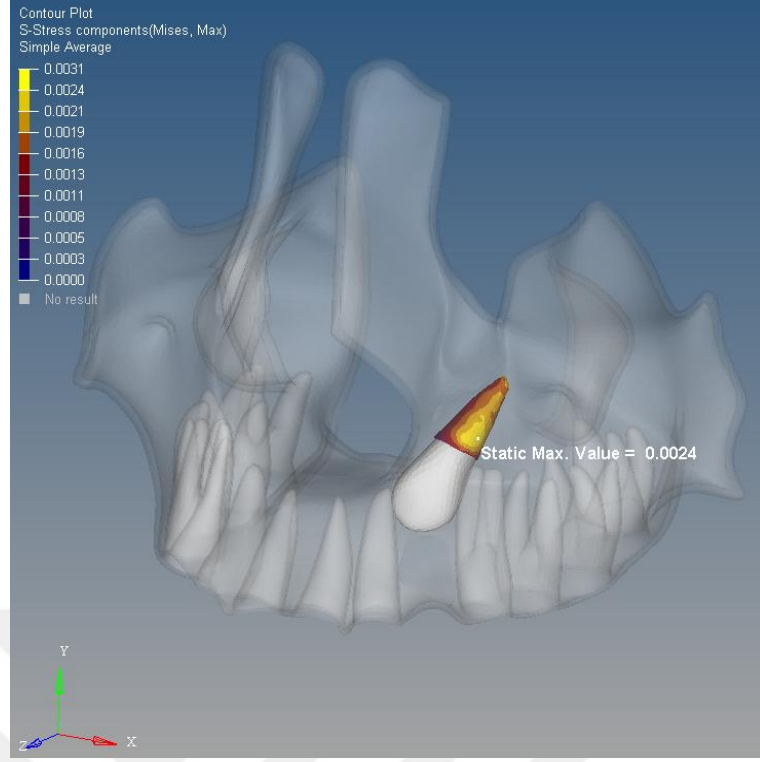


**Şekil 4.28.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları



**Şekil 4.29.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları

Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçüleri en yüksek von Mises değeri kökün distobukkalinde 0.0024 MPa dır.

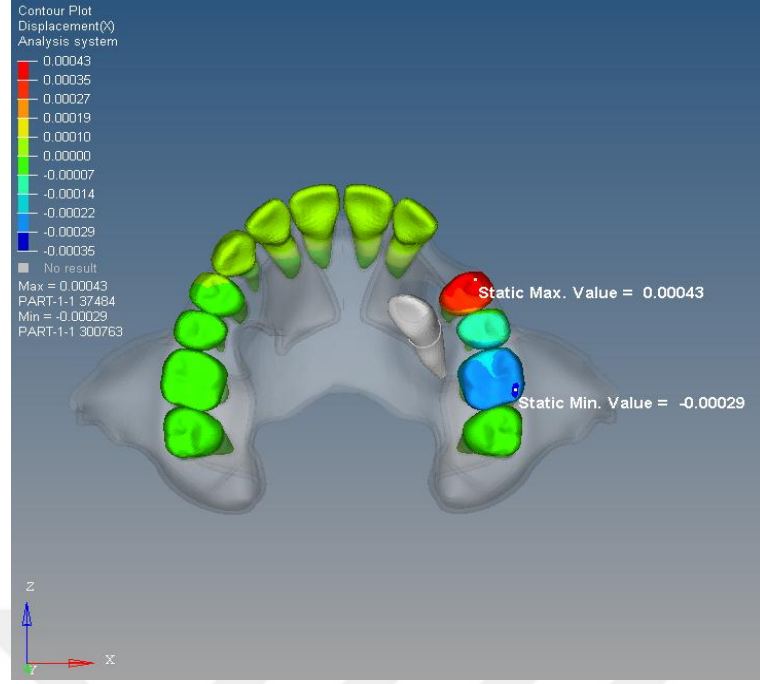


**Şekil 4.30.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait von Mises bulguları

#### **4.1.4. Maksiller Dişlerde Meydana Gelen Deplasmanlar**

##### **4.1.4.1. Maksiller Dişlerde X Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar**

X düzlemi, maksiller anterior dişler için mesio-distal yönü gösterirken posterior dişler için bukko-palatinal yönü göstermektedir.

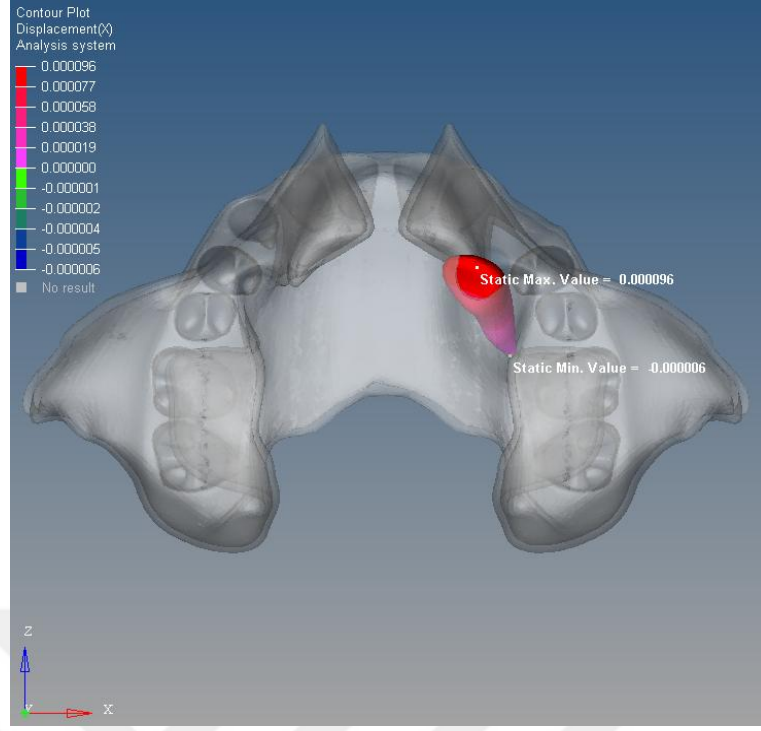


**Şekil 4.31.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

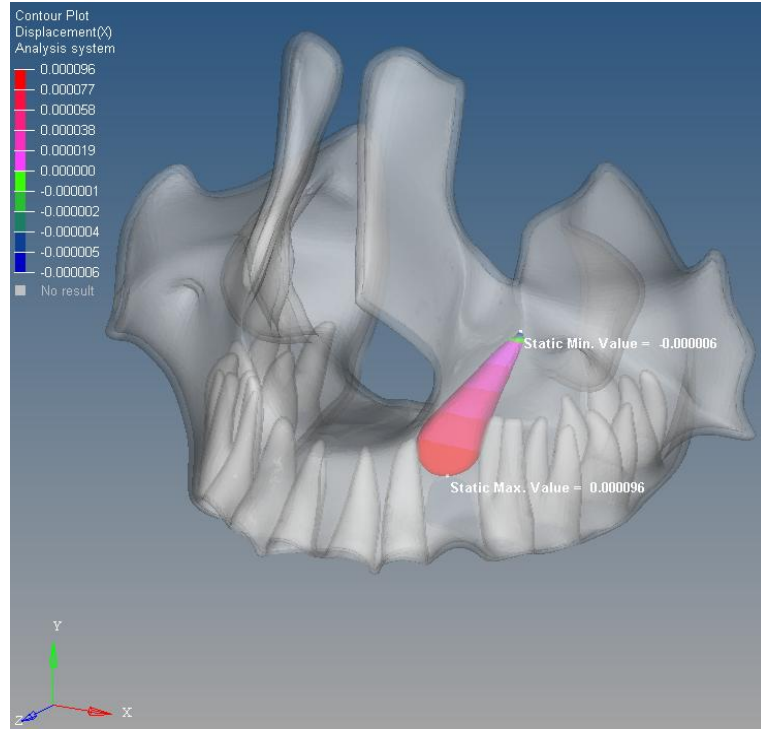
Ballista spring modelinde yapılan analiz sonucu X düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanin dişe komşu birinci premolar dişte meydana gelmiştir. Birinci premolar dişin kronunda 0.00043 mm palatinal hareket görülmüştür. Birinci premolar dişten posterioara ilerledikçe hareketin yönü bukkale doğru değişmiştir. İkinci premolar dişte hareket miktarı 0.00005 mm bukkale doğru iken birinci molar dişte bukkale doğru hareket 0.00029 mm dir. Bu dişlerin kronlarında görülen hareket miktarı köklerinde görülen hareket miktarından daha fazladır. Anterior dişler çok az da olsa X düzleminde gömülü dişe doğru hareket etmiştir. Gömülü maksiller kaninin kontralateralindeki posterior dişler X düzleminde hiç hareket etmemişlerdir.

Gömülü maksiller kanin dişte X düzleminde en fazla deplasman dişin kronunda 0.000096 mm bukkal yönde görülmüştür. Kanin dişin köküne doğru ilerledikçe deplasman miktarı azalmakta ve kök üzerinde hareket yön değiştirmektedir. Kök apeksinde palatinal yönde 0.000006 mm deplasman görülmüştür.





**Şekil 4.32.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

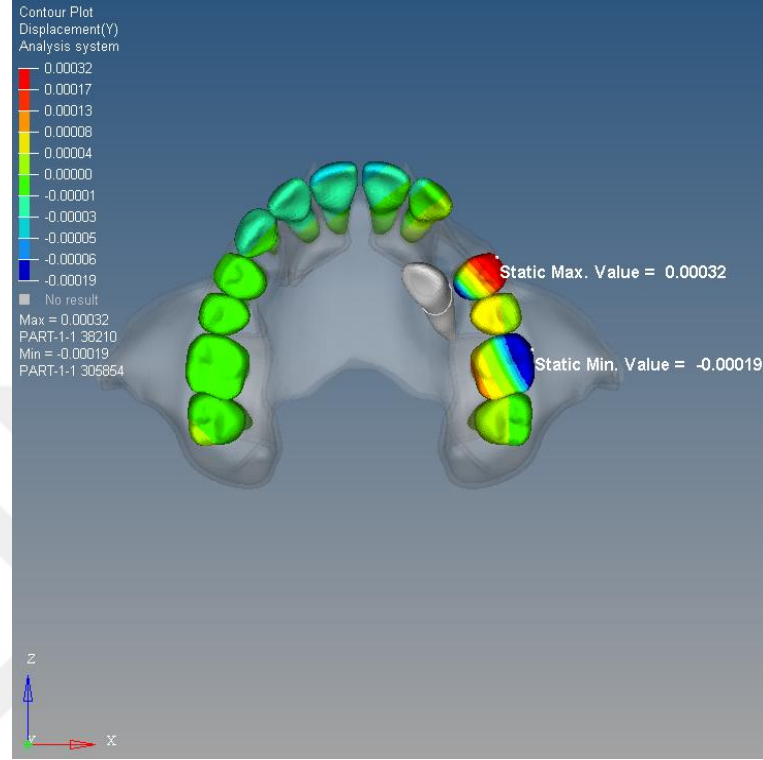


**Şekil 4.33.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları



#### 4.1.4.2. Maksiller Dişlerde Y Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar

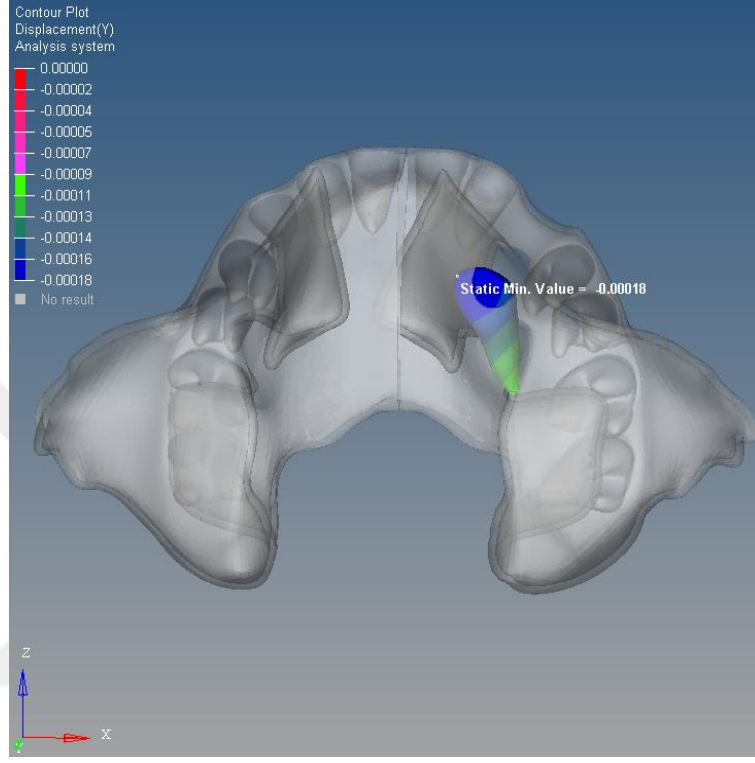
Y düzlemi, tüm maksiller dişler için vertikal yöndeki hareketleri (intrüzyon-ekstrüzyon) göstermektedir.



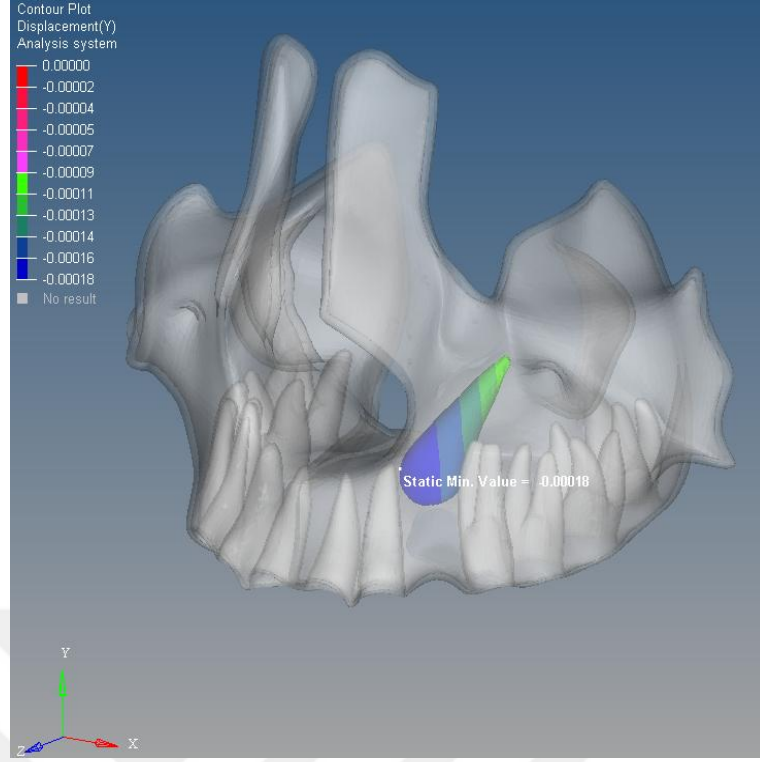
**Şekil 4.34.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

Ballista spring modelinde yapılan analiz sonucu Y düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanin dişe komşu birinci premolar dişte görülmüştür. Birinci premolar dişin bukkalinde 0.00032 mm ekstrüzyon, palatinalinde 0.00017 mm intrüzyon meydana gelmiştir. İkinci premolar dişin bukkalinde az miktarda ekstrüzyon meydana gelirken palatinalinde bukkale oranla daha fazla ekstrüzyon hareketi meydana gelmiştir. Y düzleminde en çok intrüzyon gömülü maksiller kanine komşu birinci molar dişin bukkalinde meydana gelmiştir (0.00019 mm). Aynı dişin palatinaline doğru ilerledikçe hareket ekstrüzyon olarak yön değiştirmiştir. Anterior dişlerin gömülü dişe bakan kısımlarında ekstrüzyon meydana gelirken gömülü dişten uzak kısımlarında ise intrüzyon hareketi meydana gelmiştir. Gömülü maksiller kaninin kontralateralindeki posterior dişler Y düzleminde hiç hareket etmemişlerdir.

Gömülü maksiller kaninde Y düzleminde en fazla deplasman kronunun mesialinde ekstrüviz yönde 0.00018 mm olarak ölçülmüştür. Dişin kronunda meydana gelen anlık hareket kökünden daha fazladır.



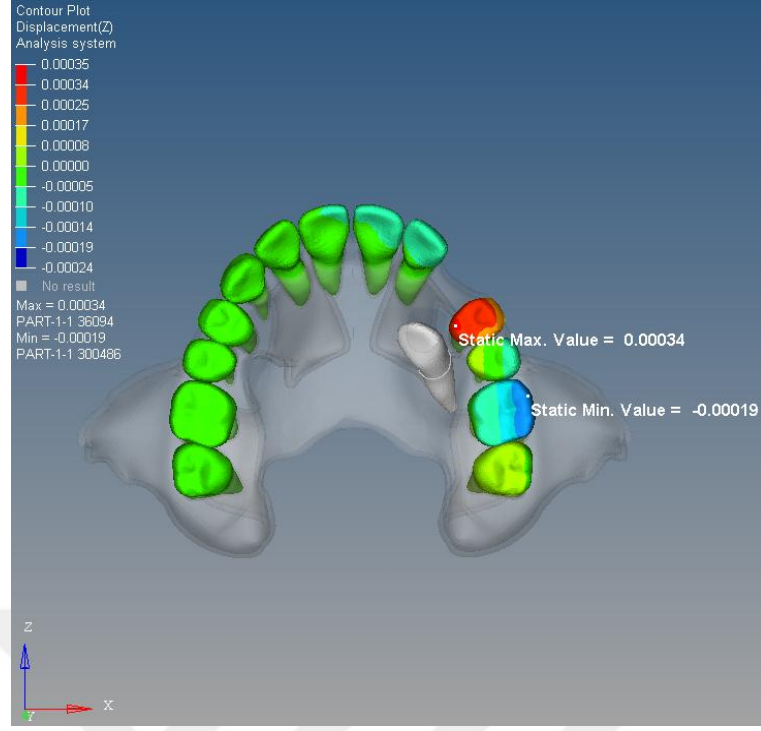
**Şekil 4.35.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları



**Şekil 4.36.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

#### 4.1.4.3. Maksiller Dişlerde Z Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar

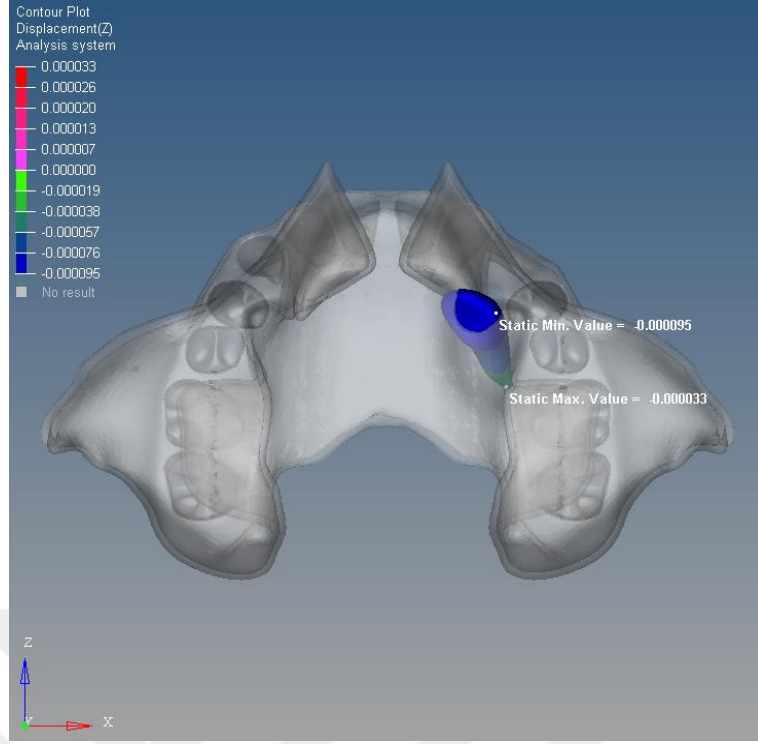
Z düzlemi, maksiller anterior dişler için bukko-palatinal yönü gösterirken posterior dişler için mesio-distal yönü göstermektedir.



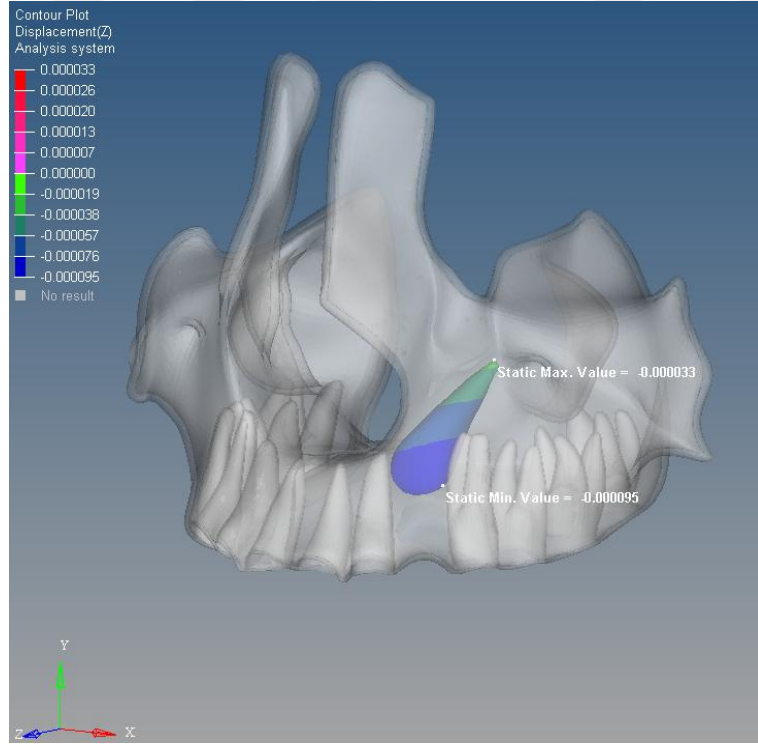
**Şekil 4.37.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

Ballista spring modelinde yapılan analiz sonucu Z düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanine komşu birinci premolar dişin mesiopalatinalinde 0.00034 mm olarak ölçülmüştür. Aynı dişin distaline doğru Z düzlemindeki hareket miktarı azalmıştır. Gömülü maksiller kanine komşu birinci premolar dişten posteriora doğru hareketin yönü değişmiştir. Birinci premolar dişten ikinci premolar dişe doğru hareket miktarı azalırken birinci molar dişe doğru hareket miktarı tekrar artış göstermiştir. Birinci molar dişte gömülü kanine doğru 0.00019 mm hareket ölçülmüştür. Birinci molar dişin bukkalindeki hareket miktarı palatinaline göre daha fazladır. Gömülü maksiller kaninin kontralateralindeki posterior dişler Z düzleminde hiç hareket etmemişlerdir.

Gömülü maksiller kanin dişinde Z düzleminde en fazla deplasman dişin mesialinde meydana gelmiştir. Bu noktada 0.000095 mm anterior yönde hareket oluşmuştur. Kanin dişin kökünde deplasman miktarı azalmış ve yön değiştirmiştir. Kök apeksinde deplasman miktarı 0.000033 mm ile posterior yöndedir.



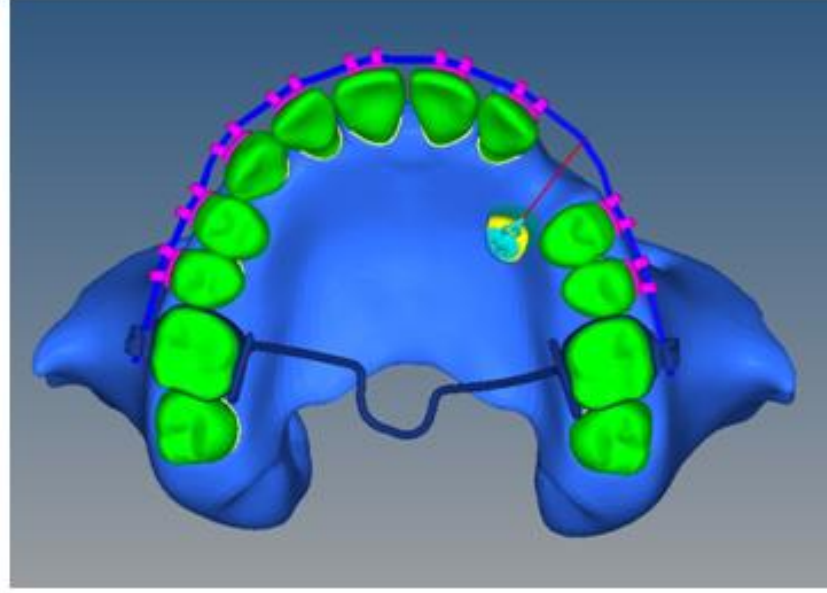
**Şekil 4.38.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları



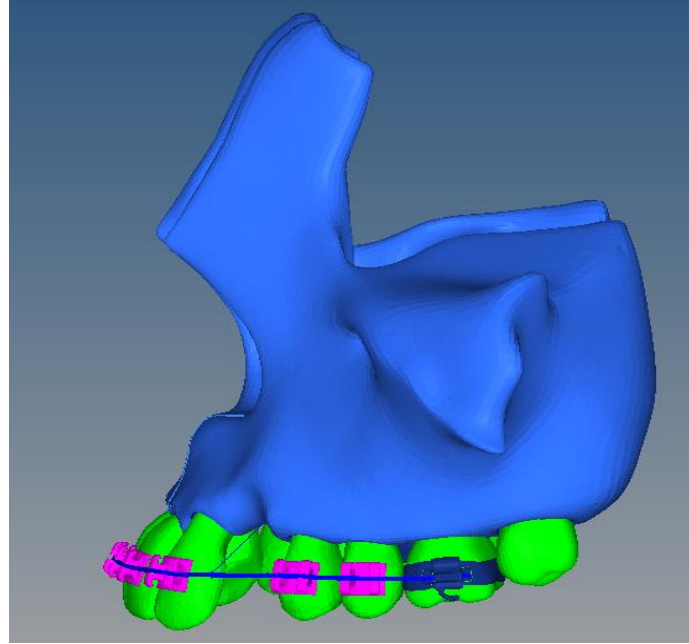
**Şekil 4.39.** Ballista spring modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

## 4.2. Elastik İplik Modeline Ait Bulgular

Bu modelde gömülü maksiller kanin dişin butonundan ark teline elastik iplik bağlanarak dişe 80 gr kuvvet uygulanmıştır.



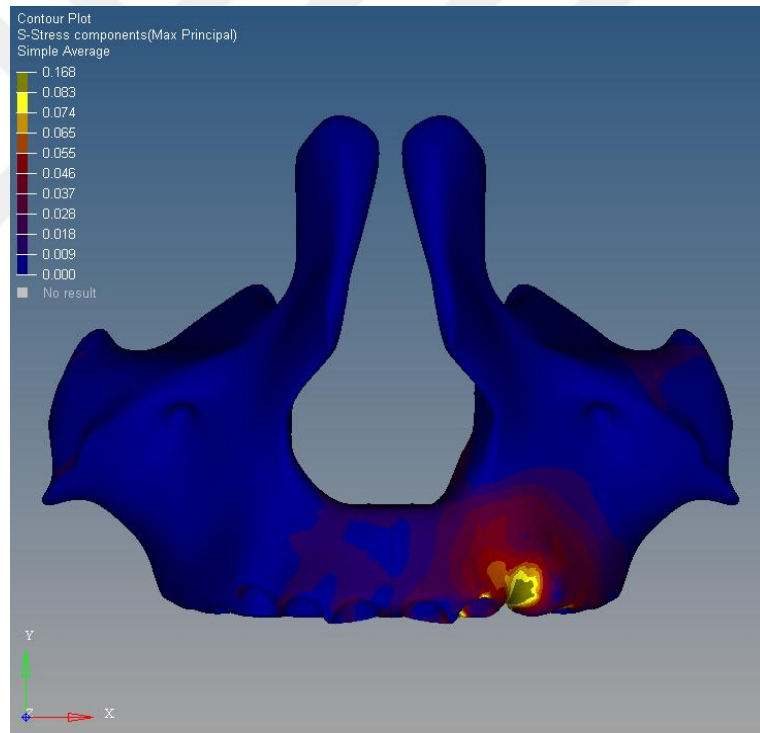
Şekil 4.40. Elastik iplik modeli



Şekil 4.41 Elastik iplik modelinin sagittal görüntüsü

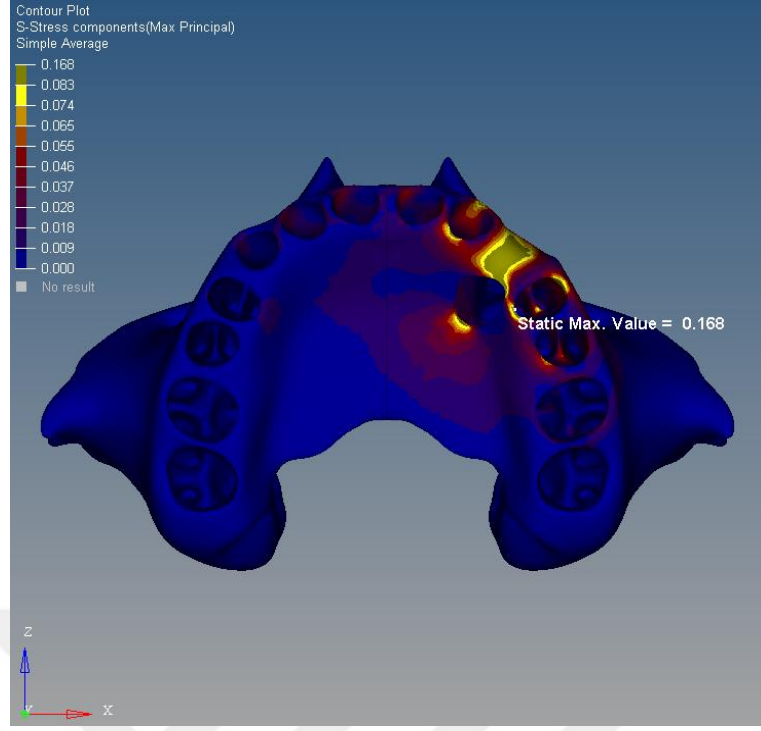
#### 4.2.1. Maksiller Kortikal Kemiğe Ait Bulgular

Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucu maksiller kortikal kemikte oluşan en yüksek p max değeri, gömülü maksiller kanin dişe komşu birinci premolar dişin palatinalinde 0.168 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü kanin dişe komşu lateral diş çevresi, kanin dişin sürdürülmesi hedeflenen kret tepesi, birinci premolar çevresi ve gömülü kanin dişin palatinalinde bulunan kortikal kemik bölgelerinde yüksek p max değerlerinin görülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu birinci premolar dişten posteriora doğru ve kret tepesinden zigomaya doğru ilerledikçe kortikal kemikte ölçülen p max miktarı azalmaktadır. Gömülü maksiller kanin dişten sutura palatina mediaya doğru ölçülen değerler azalmakta ve kontralateral kanin diş hizasında sıfırlanmaktadır. Gömülü maksiller kanin dişin kontralateralindeki maksiller yarım çenede düşük p max değerleri ölçülmüştür.

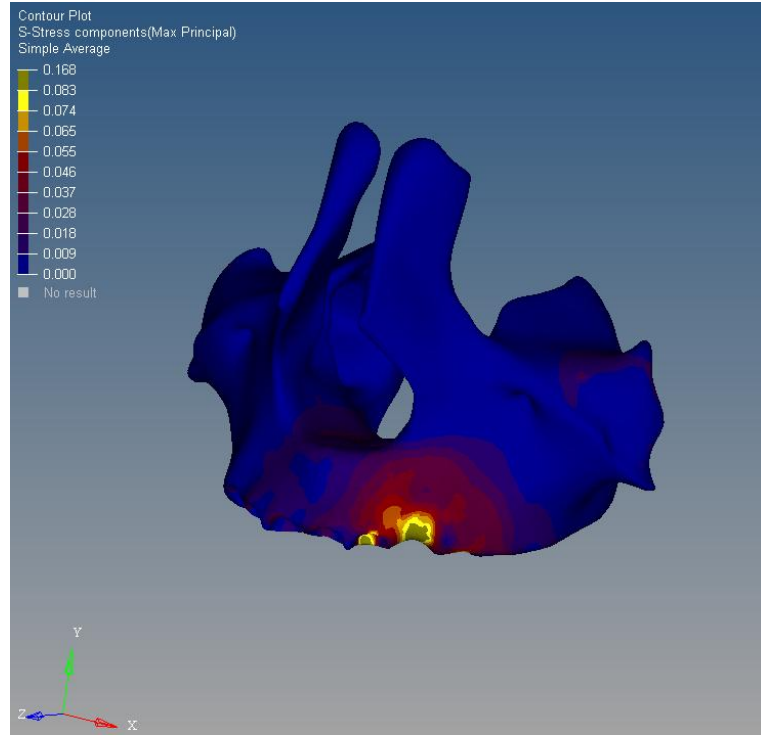


**Şekil 4.42.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü)





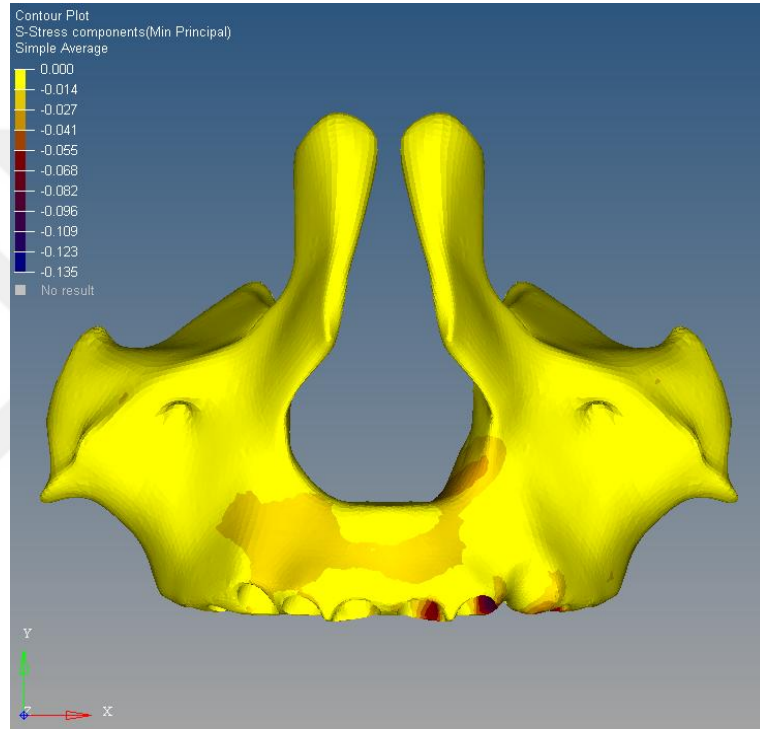
**Şekil 4.43.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)



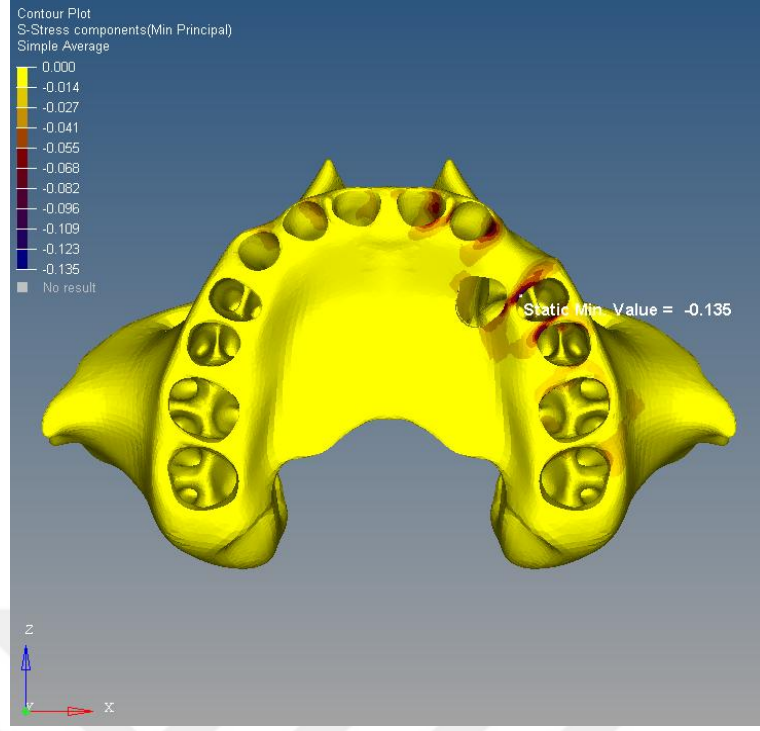
**Şekil 4.44.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p max bulguları (aksial görüntü)



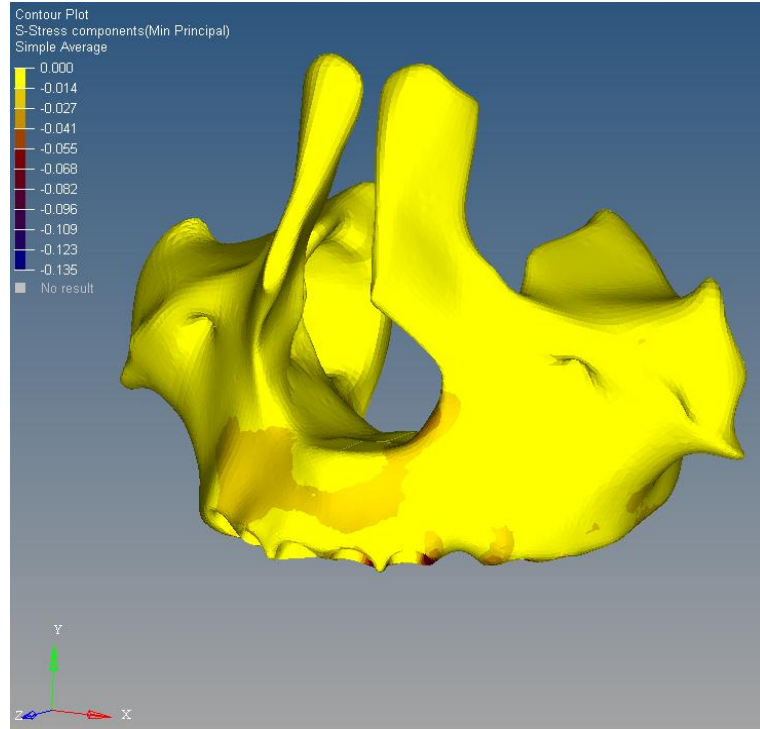
Elastik iplik modelinde maksiller kortikal kemikte oluşan en yüksek basma kuvveti gömülü maksiller kanine komşu premolar dişin mesialinde bulunan kortikal bölgede -0.135 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanin dişe komşu santral ve lateral dişlerin distalinde, birinci ve ikinci premolar dişlerin mesialinde bulunan kortikal kemikte yüksek basma kuvvetleri yoğunlaşmıştır. Gömülü diştan uzaklaştıkça ölçülen p min değerleri 0 MPa a yaklaşmaktadır. Gömülü maksiller kanin soketinde özellikle distalde ve gömülü maksiller kanin tarafında burun tabanında negatif değerler ölçülmüştür (bu bölgede en düşük -0.098 MPa).



**Şekil 4.45.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü)

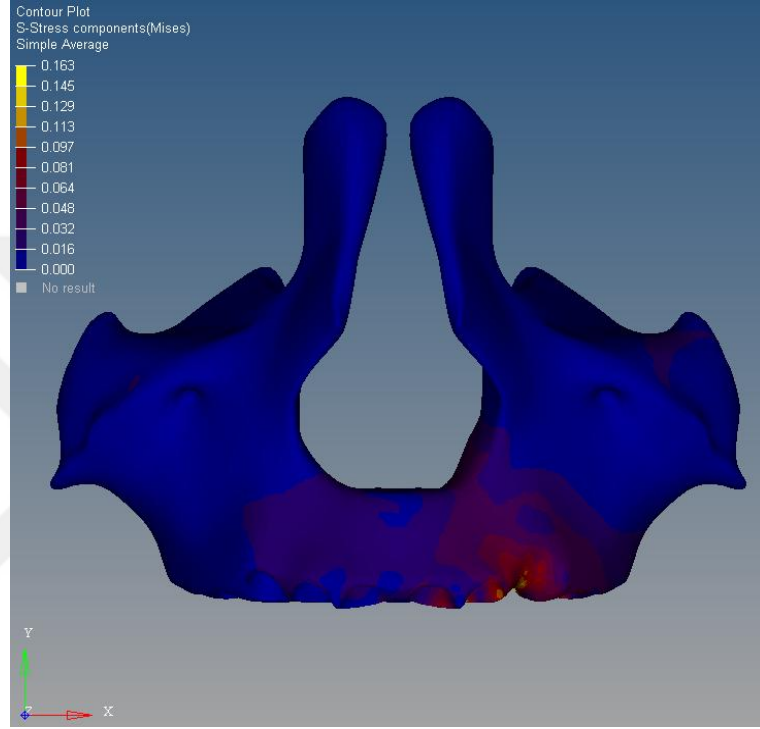


**Şekil 4.46.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)

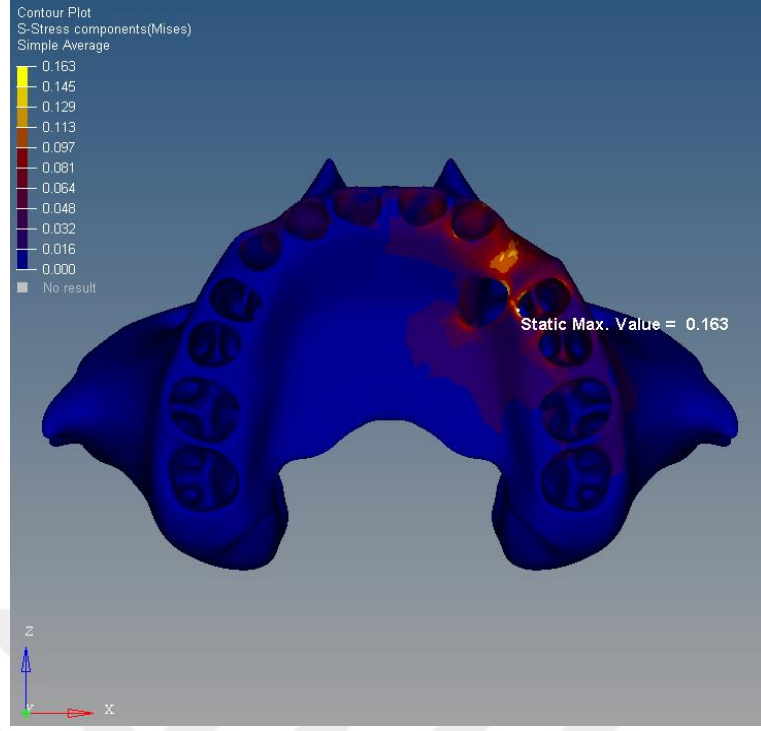


**Şekil 4.47.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait p min bulguları (aksial görüntü)

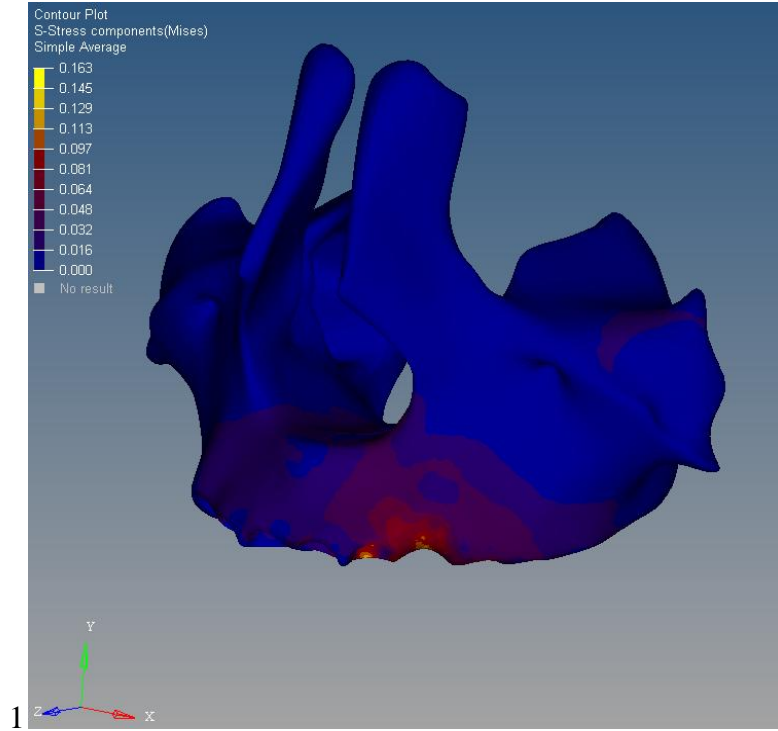
Elastik iplik modelinde maksiller kortikal kemikte en yüksek von Mises gerilme değeri gömülü maksiller kanine komşu premolar dişin palatinalinde 0.163 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu santral, lateral, birinci premolar ve ikinci premolar dişler etrafında, özellikle gömülü kaninin sürdürülmesi planlanan kret tepesi etrafında yüksek von Mises değerleri ölçülmüştür. Bu değerler bukkalde zigomatik prosese, palatinalde sutura palatina media ya yaklaştıkça azalmaktadır.



**Şekil 4.48.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü)



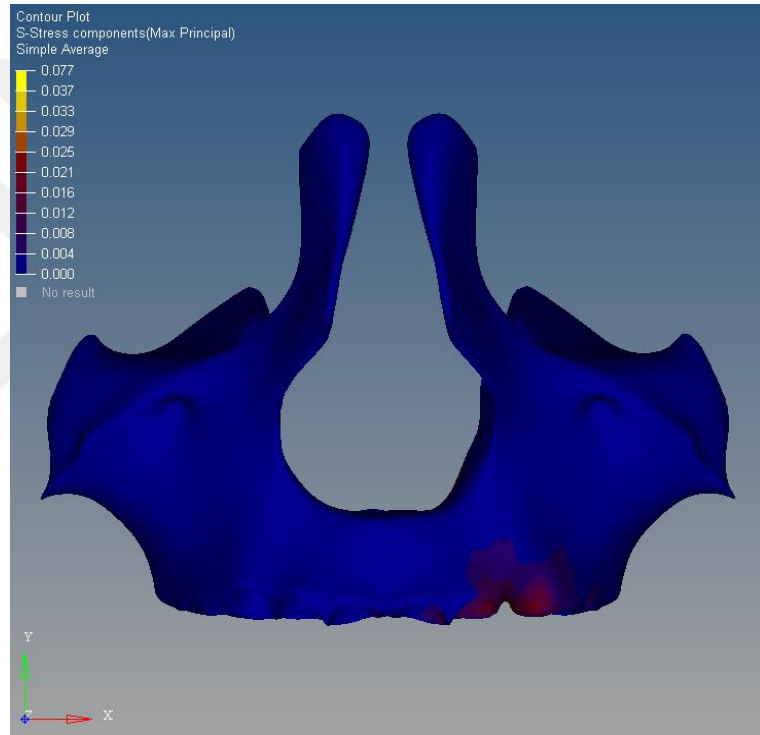
**Şekil 4.49.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)



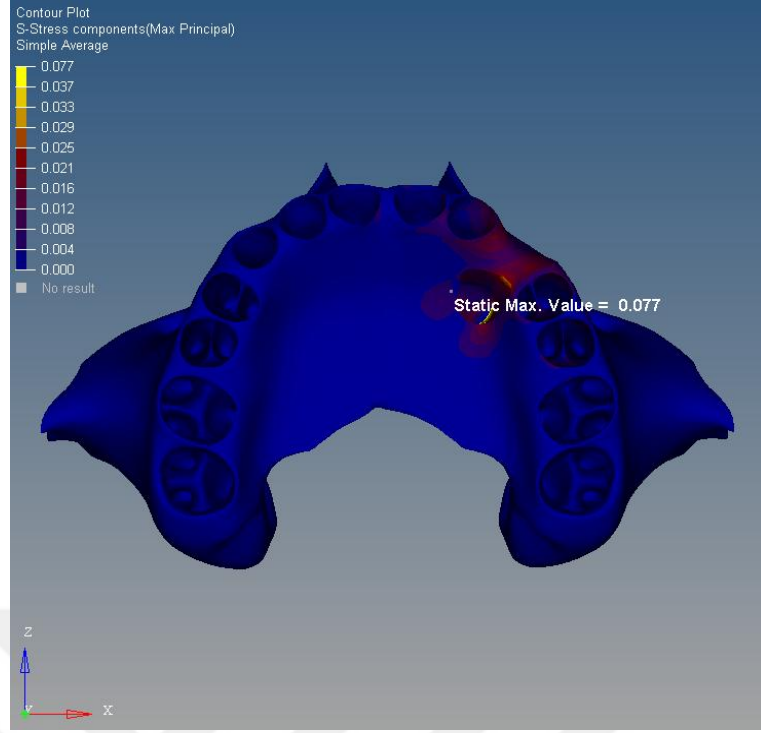
**Şekil 4.50.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kortikal kemiğe ait von Mises bulguları (aksial görüntü)

#### 4.2.2. Maksiller Spongioz Kemiğe Ait Bulgular

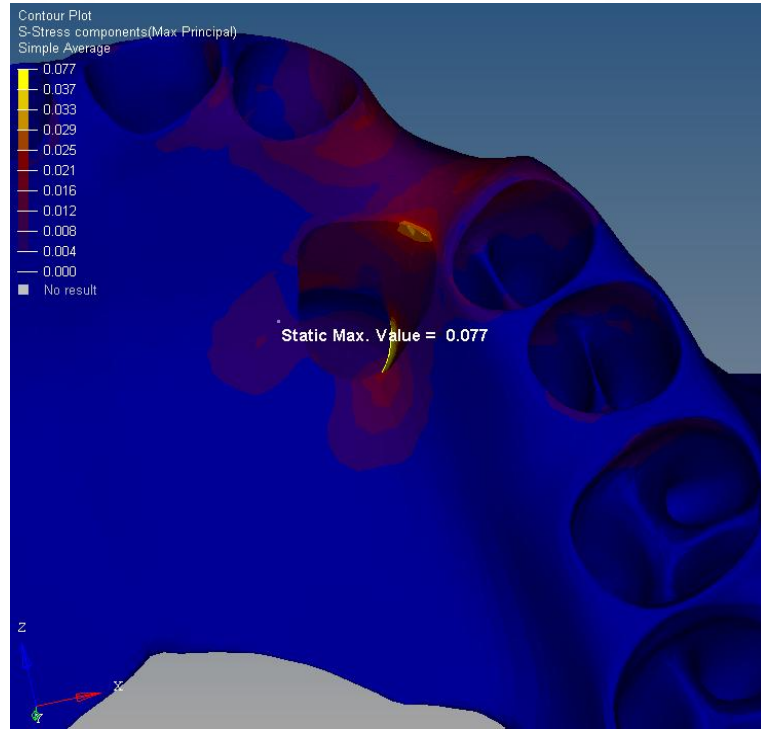
Elastik iplik modelinde maksiller spongioz kemikte oluşan en yüksek p max değeri gömülü maksiller kanin dişin palatinalinde 0.077 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu lateral ile birinci premolar arasında yüksek değerler ölçülmüştür. Gömülü maksiller kaninin anteriorundaki dişlerin distalinde, posteriorundaki dişlerin mesialinde bulunan spongioz kemikte yüksek değerler ölçülmüştür (0.04-0.058 MPa). Maksimum asal gerilme değerleri, kret tepesinden zigomatik prosese doğru ilerledikçe azalma göstermektedir. Gömülü kanin dişin kontralateralindeki maksiller yarım çenede düşük p max değerleri ölçülmüştür.



**Şekil 4.51.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (frontal görüntü)

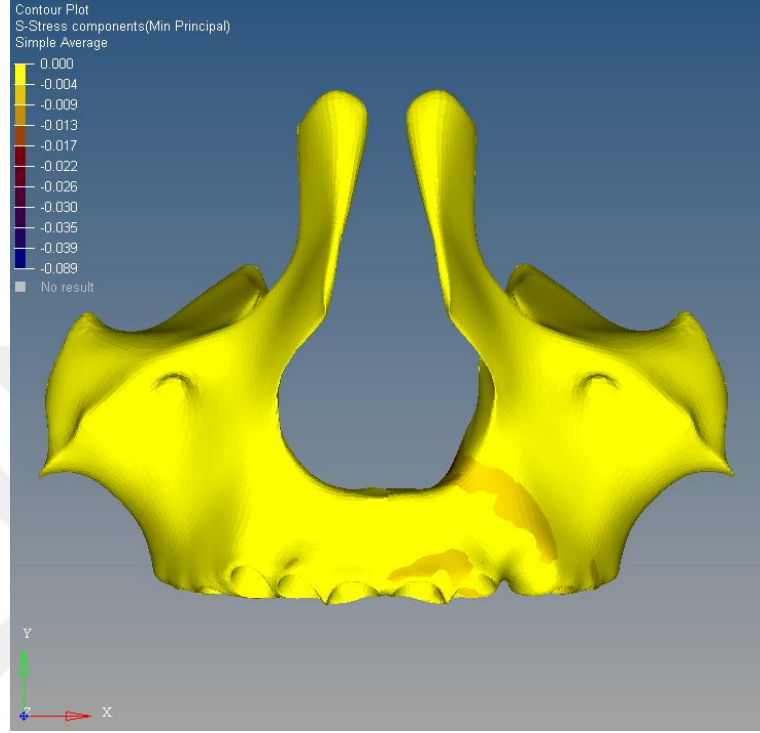


**Şekil 4.52.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)



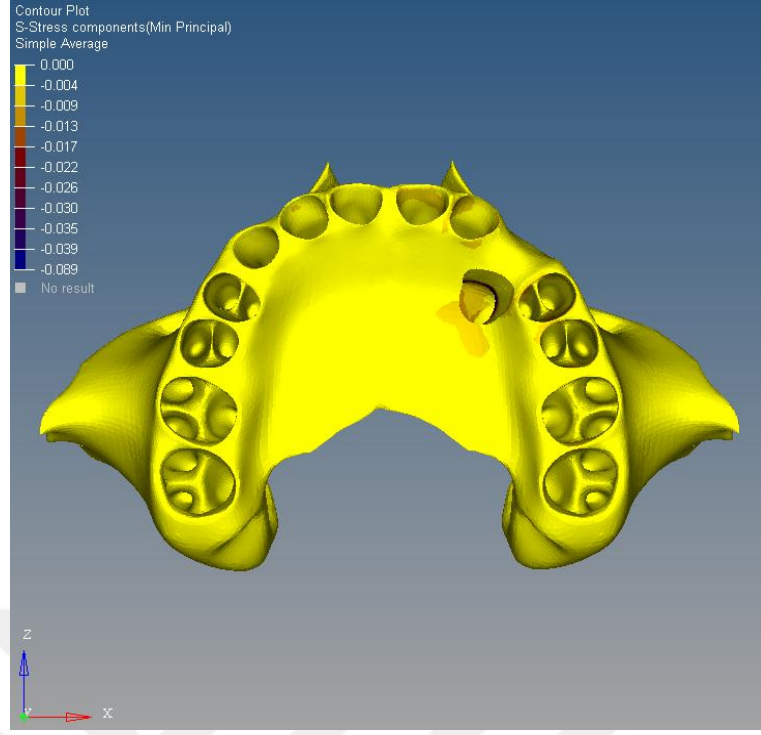
**Şekil 4.53.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p max bulguları (palatinal görüntü)

Elastik iplik modelinde en yüksek basma kuvveti gömülü kanin dişin bukkalindeki spongioz kemikte  $-0.089$  MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu santral, lateral, birinci premolar, ikinci premolar dişler etrafında ve burun tabanında basma kuvvetleri görülmüştür.

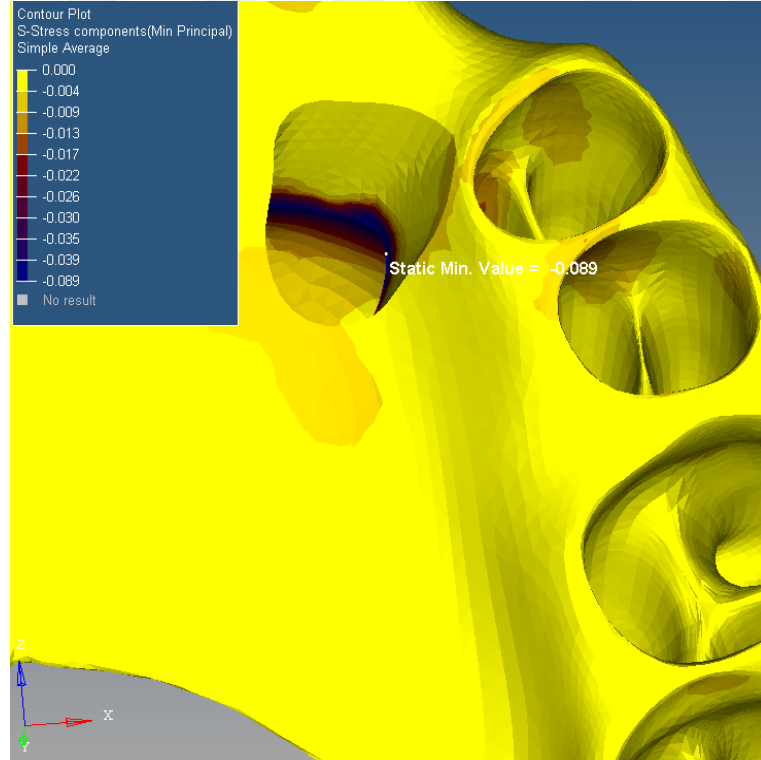


**Şekil 4.54.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (frontal görüntü)





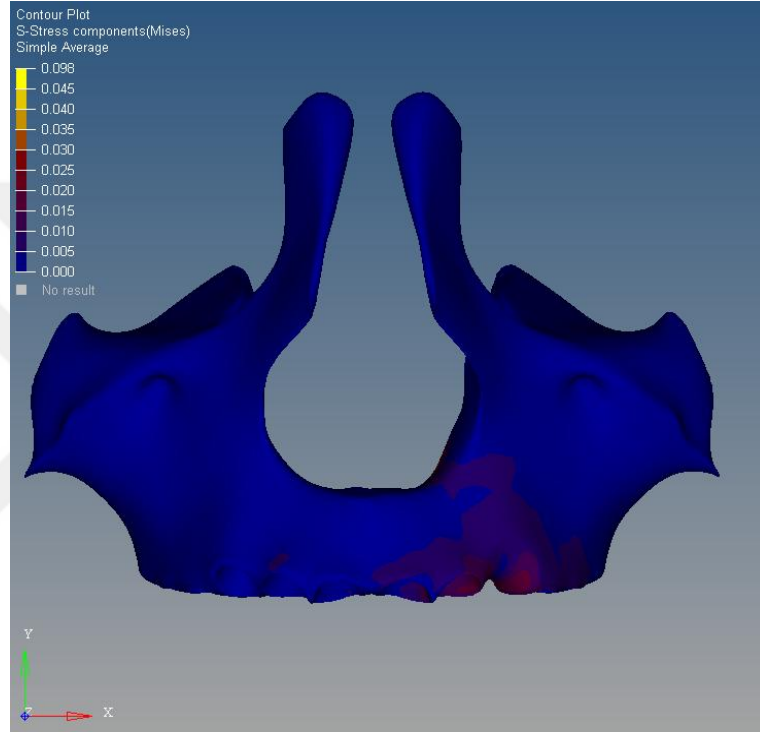
**Şekil 4.55.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)



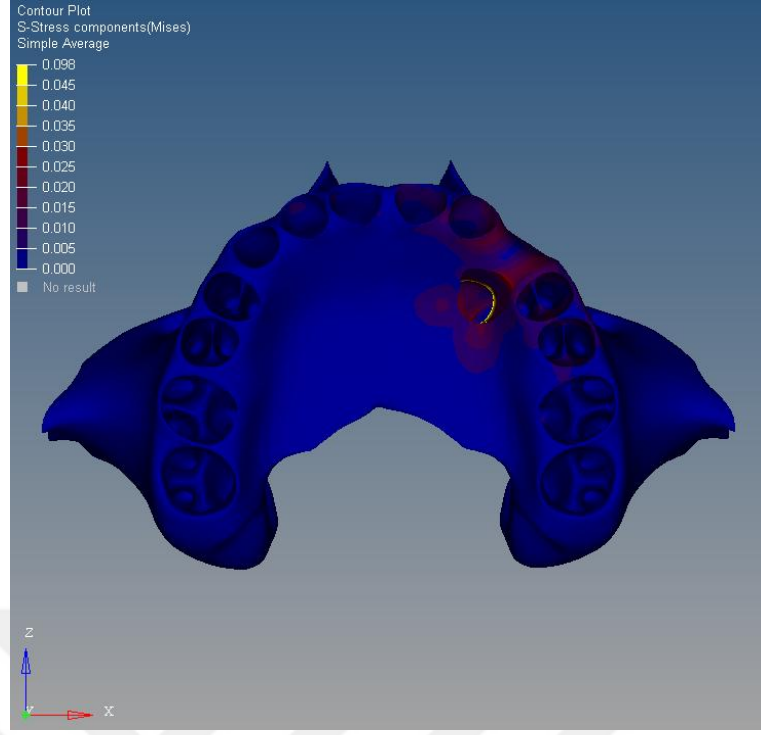
**Şekil 4.56.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait p min bulguları (palatinal görüntü)



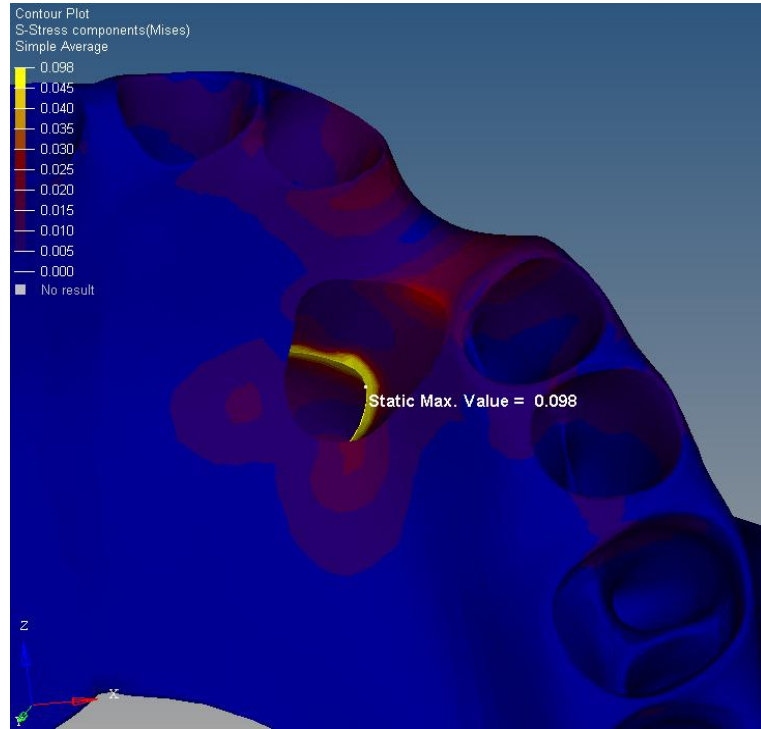
Elastik iplik modelinde maksiller spongiöz kemikte en yüksek von Mises gerilme değeri gömülü kanin dişin bukkalinde 0.098 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu lateral diş ile birinci premolar diş arasındaki spongiöz kemikte yüksek gerilim değerleri görülmüştür. Spongiöz kemikte ölçülen von Mises değerleri gömülü diştan uzaklaştıkça azalarak sol tarafta birinci premoların distalinde sağ tarafta lateral diş bölgesinde sıfırlanmaktadır. Frontalden bakıldığında von Mises gerilmesinin kret tepesinden burun tabanına kadar azalarak devam ettiği görülmektedir.



**Şekil 4.57.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongiöz kemiğe ait von Mises bulguları (frontal görüntü)



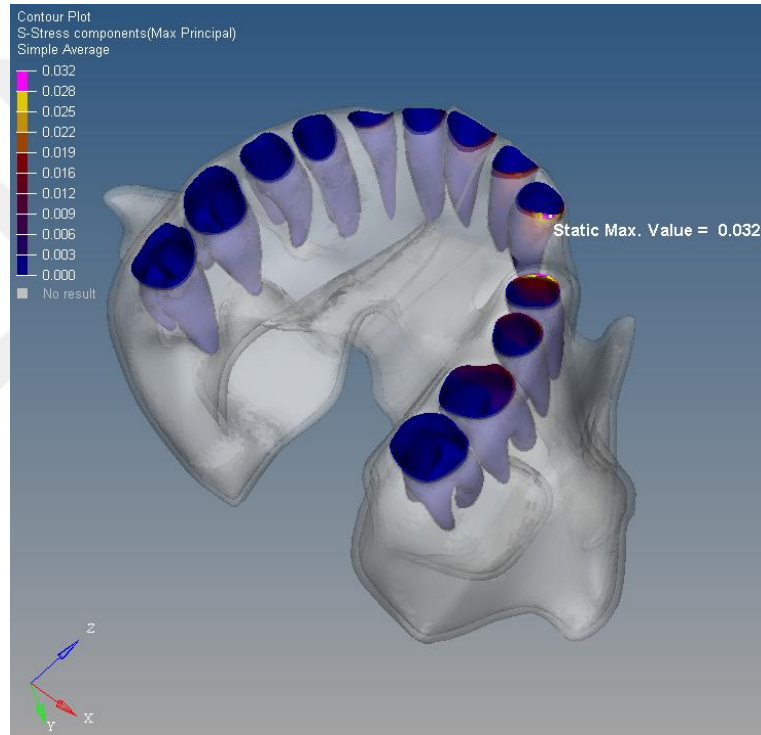
**Şekil 4.58.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)



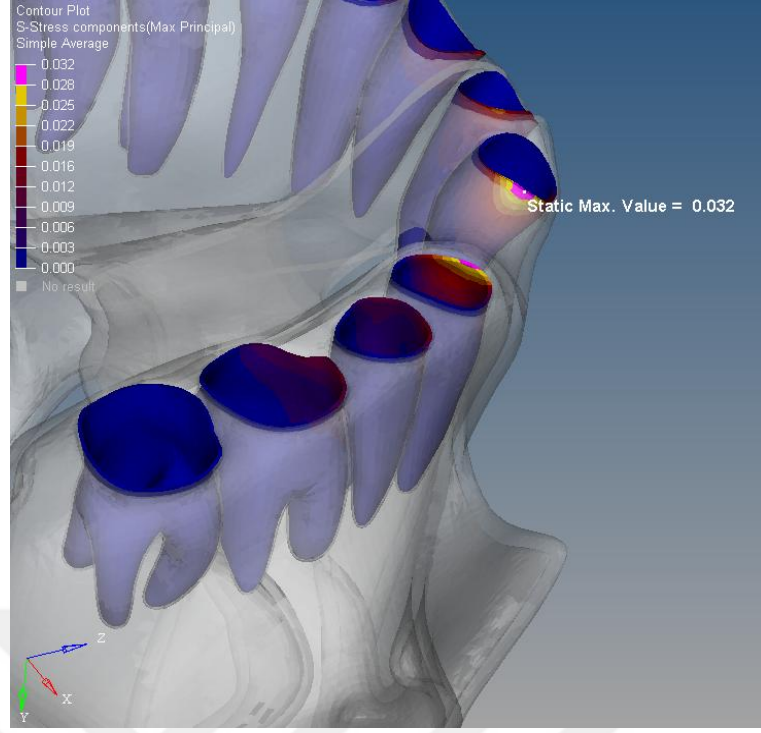
**Şekil 4.59.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben spongioz kemiğe ait von Mises bulguları (palatinal görüntü)

### 4.2.3. Maksiller Dişlerdeki Periodontal Ligamente Ait Bulgular

Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucu maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinde oluşan en yüksek p max değeri gömülü kanine komşu lateral dişin distal kole hizasında 0.032 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü kanine komşu birinci premolar dişin mesial kole bölgesinde de yüksek değerler ölçülmüştür. Bu iki dişin gömülü maksiller kanine bakan koronal üçlüsünde ölçülen p max değerleri 0.022 MPa ile 0.032 MPa arasında olup apikale doğru azalma göstermektedir. Sol maksiller yarım çenedeki dişlerin gömülü maksiller kanine bakan periodontal ligamentlerinde ölçülen değerler dişlerin gömülü dişe uzak tarafında ölçülen değerlerden daha fazladır.

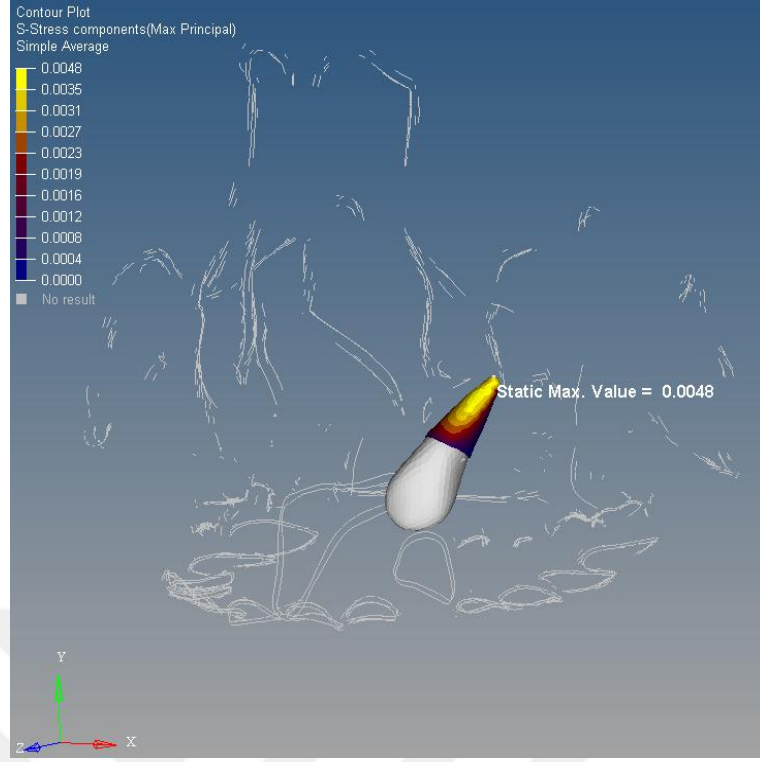


**Şekil 4.60.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları



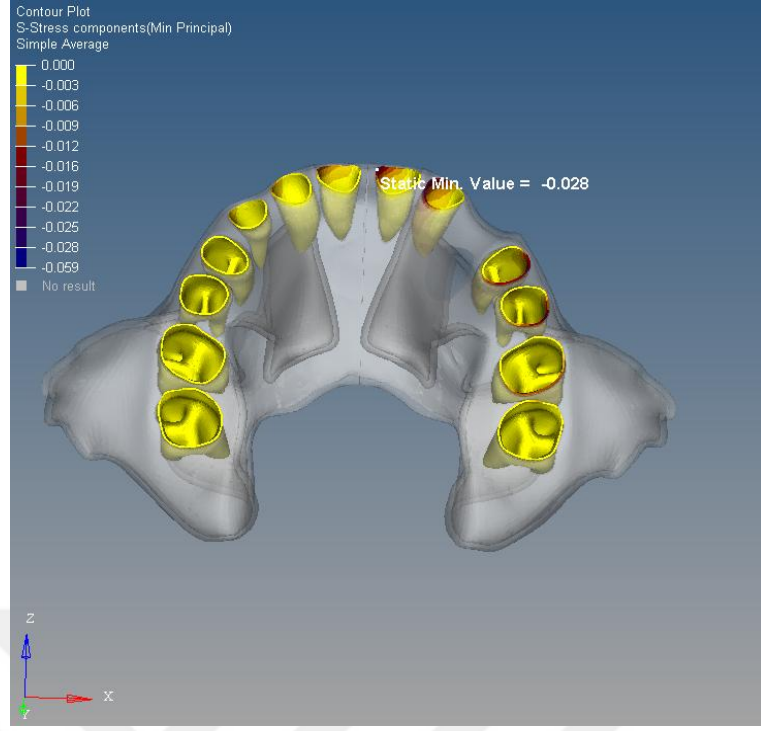
**Şekil 4.61.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p max bulguları

Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen p max değerleri diğer dişlerde ölçülenin aksine apikalden koronale doğru azalma göstermektedir. Ölçülen en yüksek değer dişin apeksinde 0.0048 MPa olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda ölçülen değerler mesiobukkalden distopalatine doğru azalmaktadır.

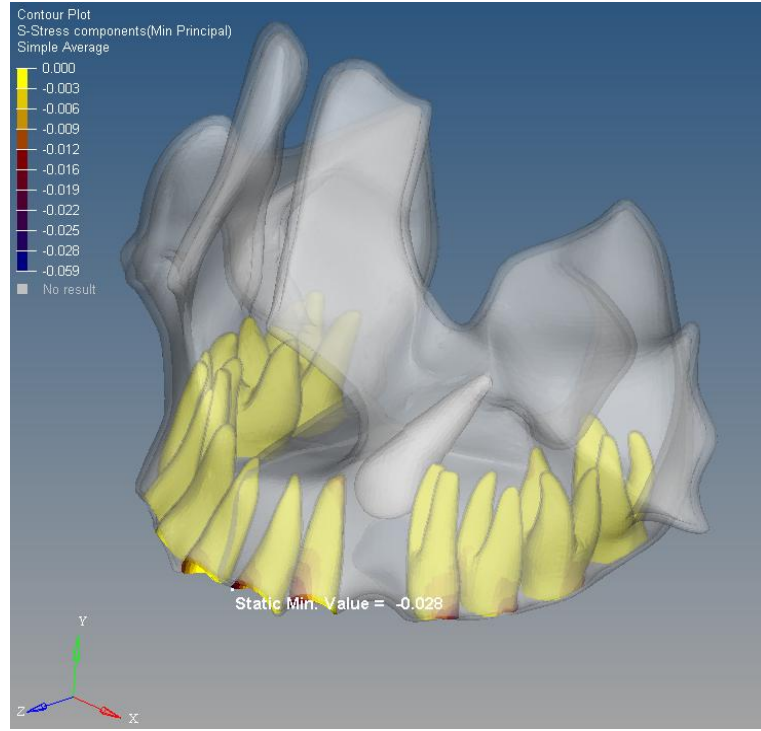


**Şekil 4.62.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p max bulguları

Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucunda maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinde oluşan p min değerlerinin 0 ile -0.028 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek basma kuvveti gömülü maksiller kanine komşu santral dişin mesial kole bölgesindeki periodontal ligamente ölçülmüştür. Gömülü maksiller kanine komşu santral, lateral ve birinci premolar dişlerin periodontal ligamentlerinde diğer dişlere oranla daha yüksek basma kuvvetleri ölçülmüştür. Maksiller dişlerin gömülü kaninden uzak kısımlarında, yakın kısımlarına göre daha fazla basma kuvveti oluştuğu görülmüştür. Periodontal ligamentin koronal üçlüsünde basma kuvvetleri daha fazladır.

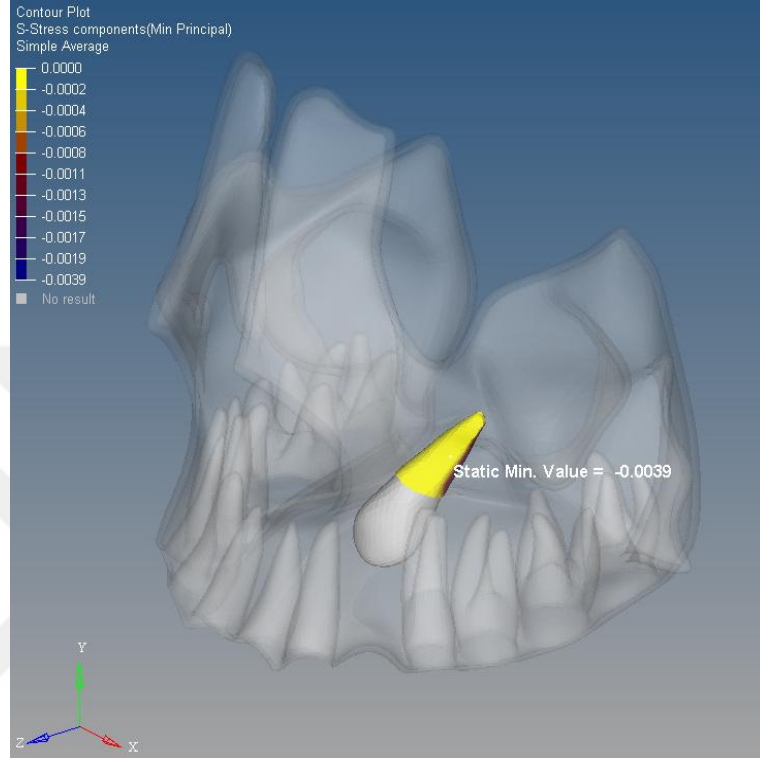


**Şekil 4.63.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları

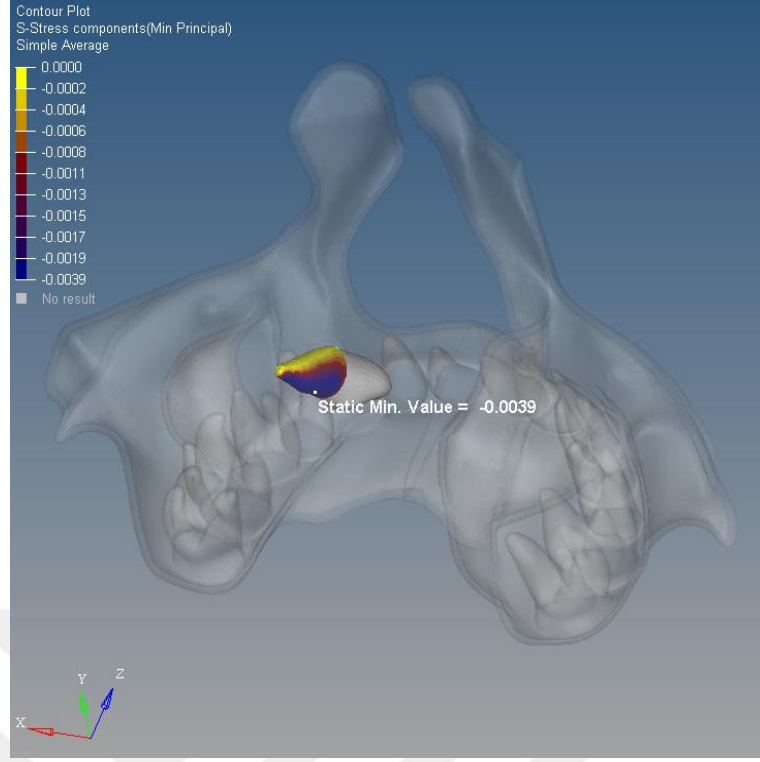


**Şekil 4.64.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait p min bulguları

Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen en fazla basma kuvveti kökün distopalatinalinde  $-0.0039$  MPa dır. Kanin kökünün distopalatinalinde apikalden koronale yoğunlaşan negatif minimum asal gerilme değerleri mesiobukkale doğru azalmakta ve  $0$  MPa a yaklaşmaktadır.



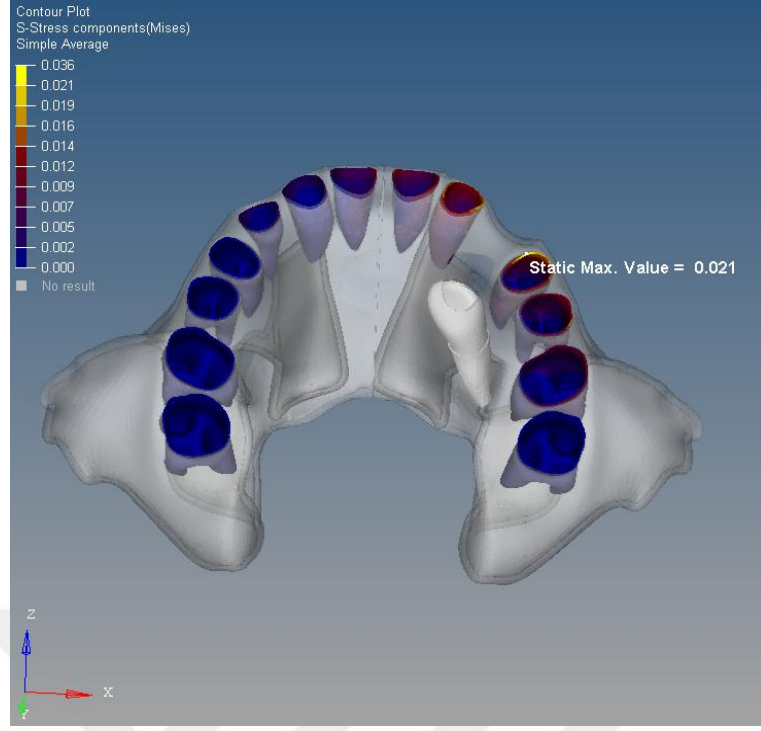
**Şekil 4.65.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları



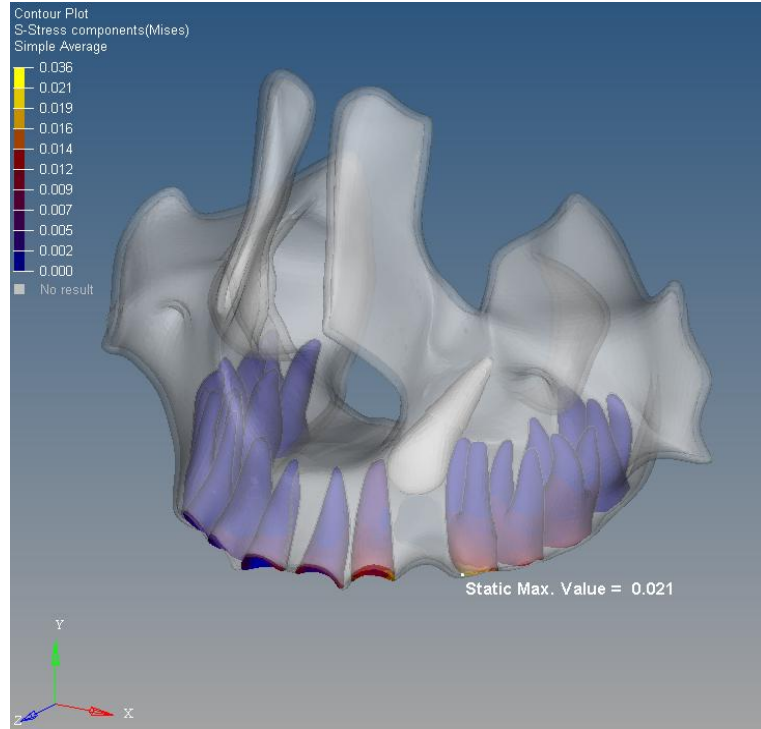
**Şekil 4.66.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait p min bulguları

Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucu ölçülen en yüksek von Mises gerilme değeri gömülü kanine komşu birinci premolar dişin mesiokoronal üçlüsündeki periodontal ligamentte 0.021 MPa olarak ölçülmüştür. Yüksek gerilim değerleri anteriorda sol maksiller lateral diştten sağ maksiller kanin dişe doğru, posteriora ise komşu birinci premolar diştten distale doğru azalarak devam etmektedir.



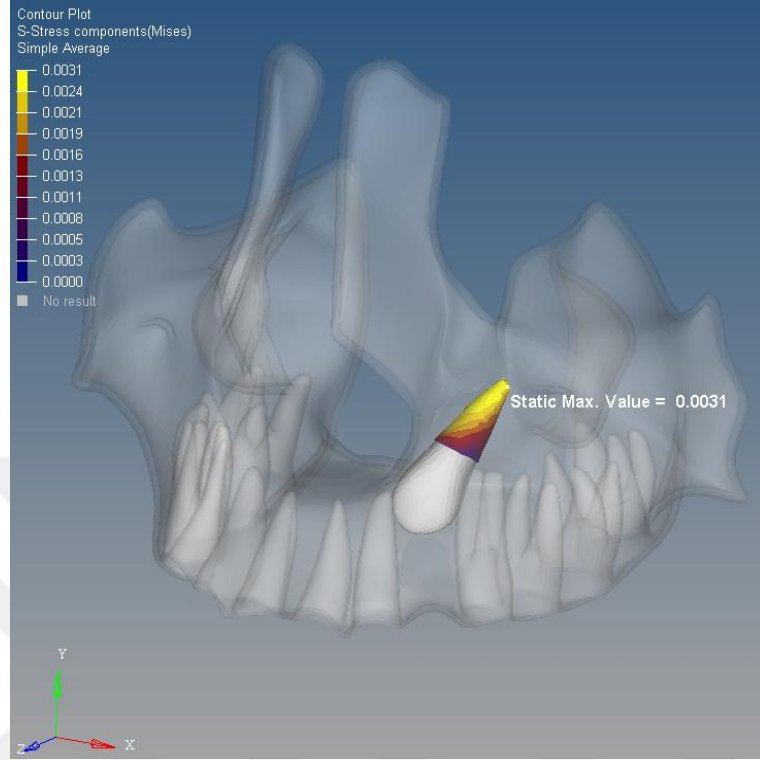


**Şekil 4.67.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları



**Şekil 4.68.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamente ait von Mises bulguları

Gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen en yüksek von Mises değeri diş kökünün apikalinde 0.0031 MPa olarak ölçülmüştür.

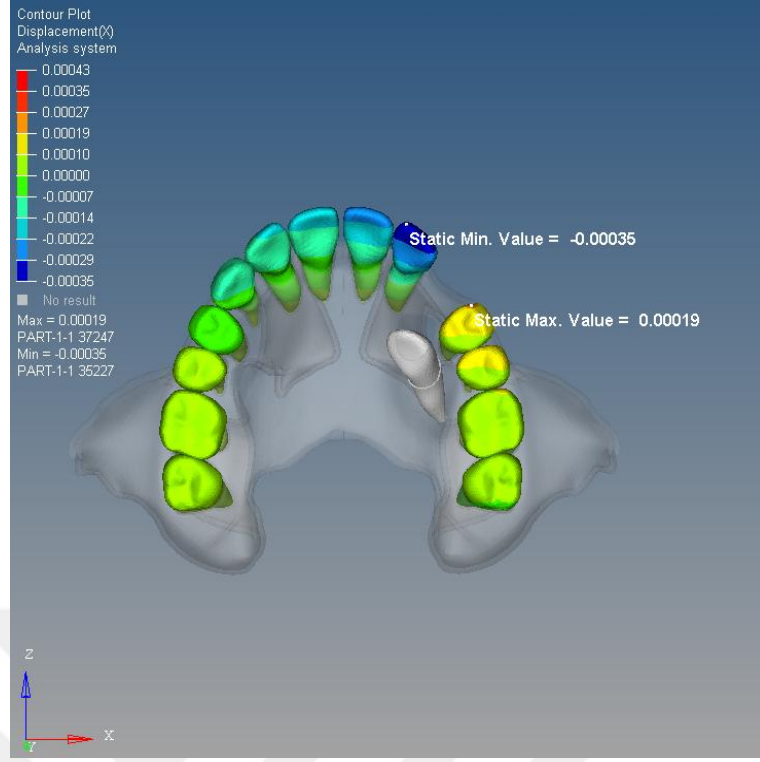


**Şekil 4.69.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişin periodontal ligamentine ait von Mises bulguları

#### 4.2.4. Maksiller Dişlerde Meydana Gelen Deplasmanlar

##### 4.2.4.1. Maksiller Dişlerde X Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar

X düzlemi, maksiller anterior dişler için mesio-distal yönü gösterirken posterior dişler için bukko-palatinal yönü göstermektedir.

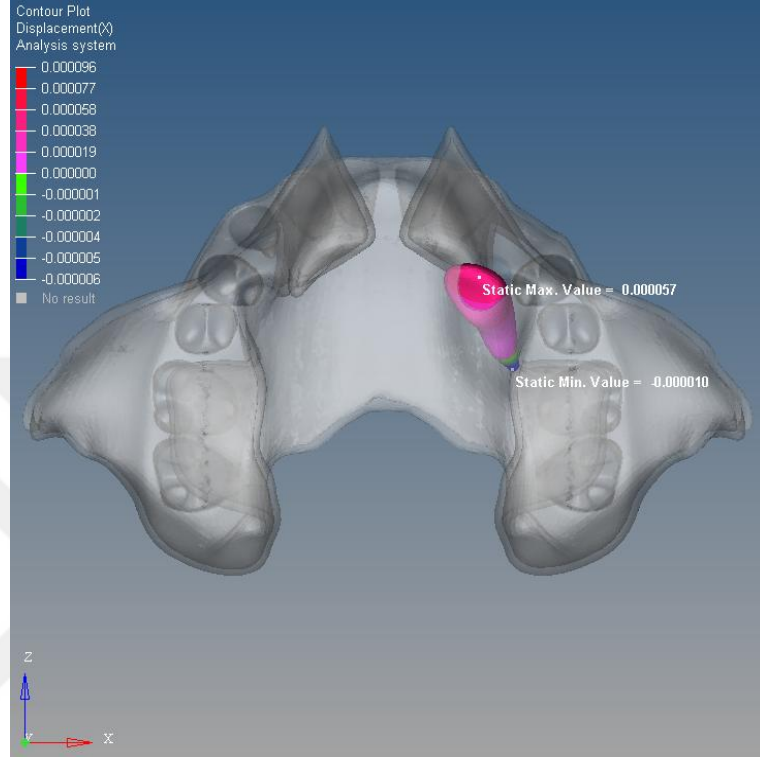


**Şekil 4.70.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

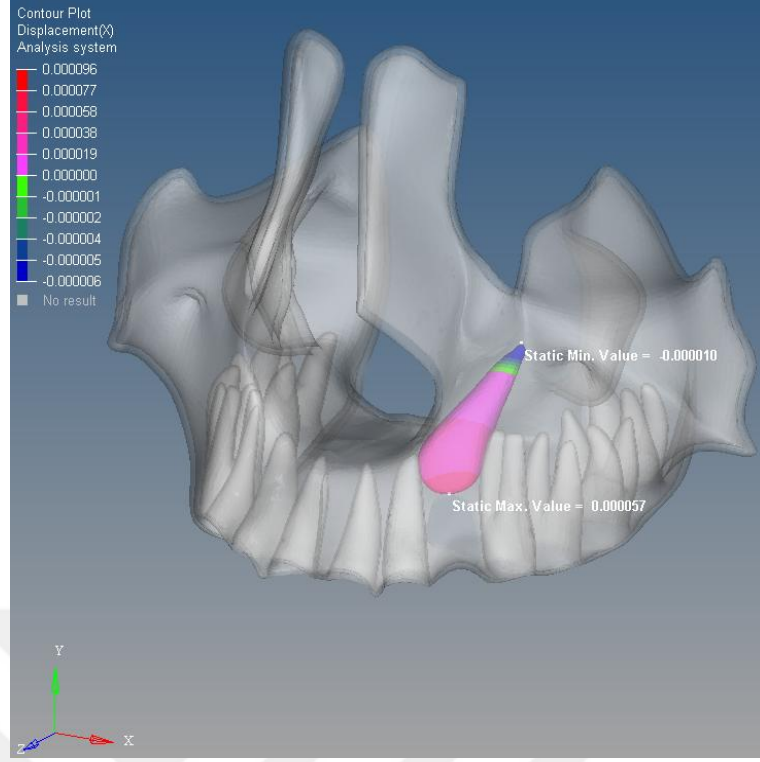
Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucu X düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanin dişe komşu lateral dişin kronunda distal yönde 0.00035 mm olarak ölçülmüştür. Aynı dişin kökünde hareket miktarı daha azdır. Tüm maksiller anterior dişler X düzleminde gömülü kanine doğru hareket etmişlerdir. Anterior dişlerdeki hareketin miktarı sol lateral dişten sağ kanin dişe doğru azalmaktadır. Maksiller sol birinci ve ikinci premolar dişler X düzleminde palatinala doğru hareket etmişlerdir. Posterior dişlerdeki hareket miktarı anterior dişlere oranla daha azdır. Birinci premolar kronunda ölçülen hareket miktarı 0.00019 mm dir. Anterior dişlerde olduğu gibi posterior dişlerde de kronunda ölçülen hareket miktarı köktekinden daha fazladır. Gömülü maksiller dişin kontralateralindeki posterior dişlerde X düzleminde hareket miktarı çok azdır.

Gömülü maksiller kanin dişinde X düzleminde en fazla deplasman kron tepesinde 0.000057 mm bukkal yönde meydana gelmiştir. Kanin dişin köküne doğru inildikçe

deplasman miktarı azalmakta ve kök üzerinde hareket yön değiştirmektedir. Kök apeksinde deplasman miktarı 0.000010 mm ile palatinal yöndedir.



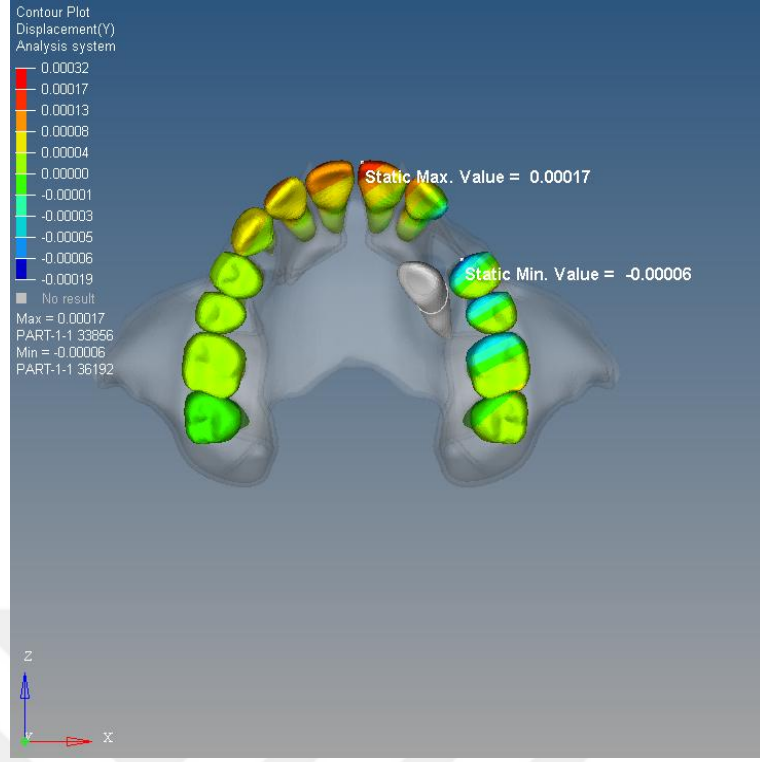
**Şekil 4.71.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları



**Şekil 4.72.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde X düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

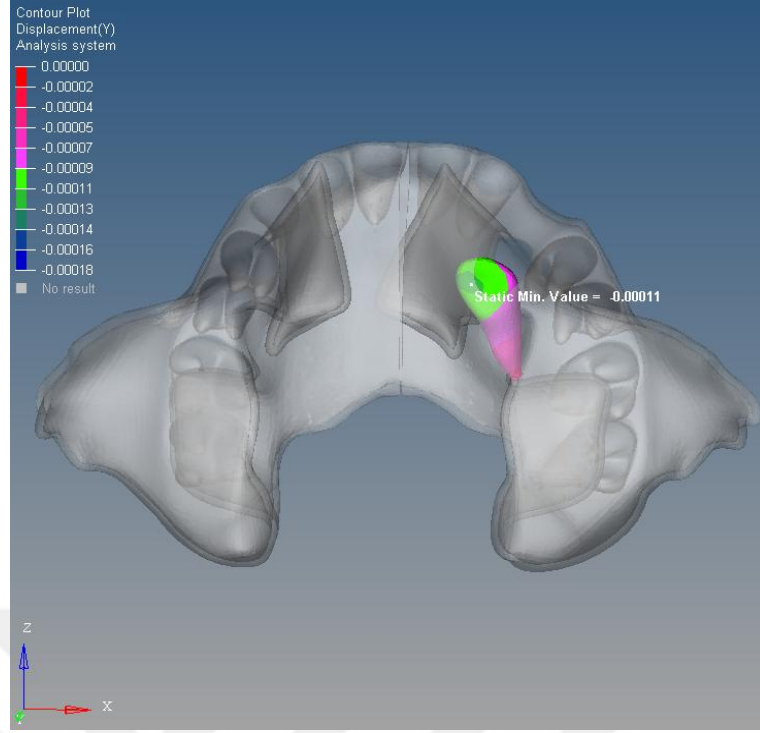
#### 4.2.4.2. Maksiller Dişlerde Y Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar

Y düzlemi, tüm maksiller dişler için vertikal yöndeki hareketleri (intrüzyon-ekstrüzyon) göstermektedir.

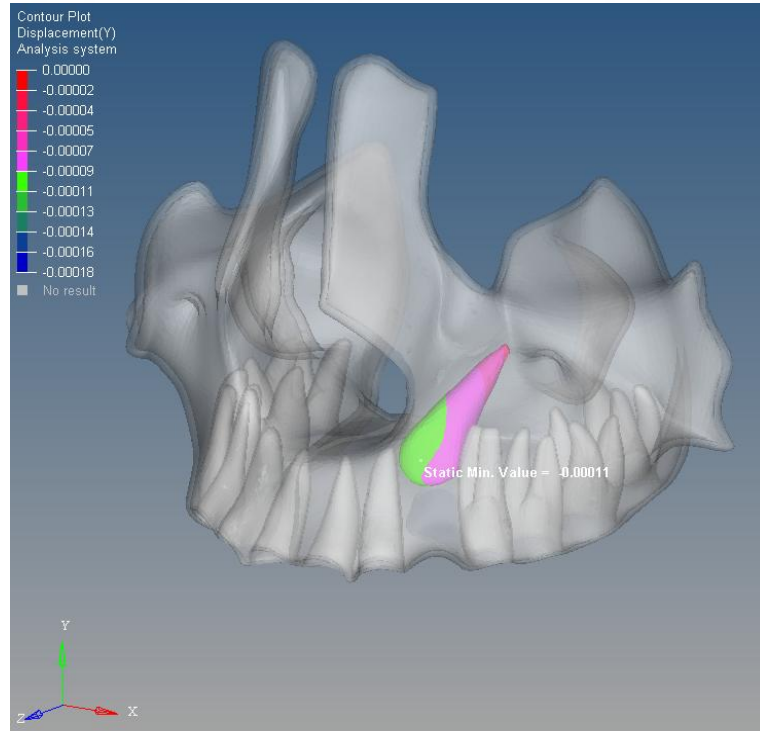


**Şekil 4.73.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

Elastik iplik modelinde yapılan analiz sonucu Y düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanin tarafında bulunan santral dişin mesialinde 0.00017 mm ekstrüzyon şeklinde ölçülmüştür. Aynı dişin distalinde ise 0.00003 mm intrüzyon meydana gelmiştir. En fazla intrüzyon hareketi ise sol birinci premolar dişin mesialinde 0.00006 mm dir. Aynı dişin distalinde 0.00006 mm ekstrüzyon hareketi ölçülmüştür. Sol anterior dişlerin distal kısımlarında intrüzyon meydana gelirken mesial kısımlarında ekstrüzyon meydana gelmiştir. Sağ anterior dişlerde ise bukkal kısımlarda ekstrüzyon hareketi meydana gelirken palatine doğru bu hareket intrüzyon olarak yön değiştirmiştir. Sol posterior dişlerde ise mesial kısımlarda intrüzyon meydana gelirken distal kısımlarda bu hareket ekstrüzyon olarak yön değiştirmiştir. Sağ maksiller posterior dişlerde çok az da olsa ekstrüzyon hareketi mevcuttur.



**Şekil 4.74.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

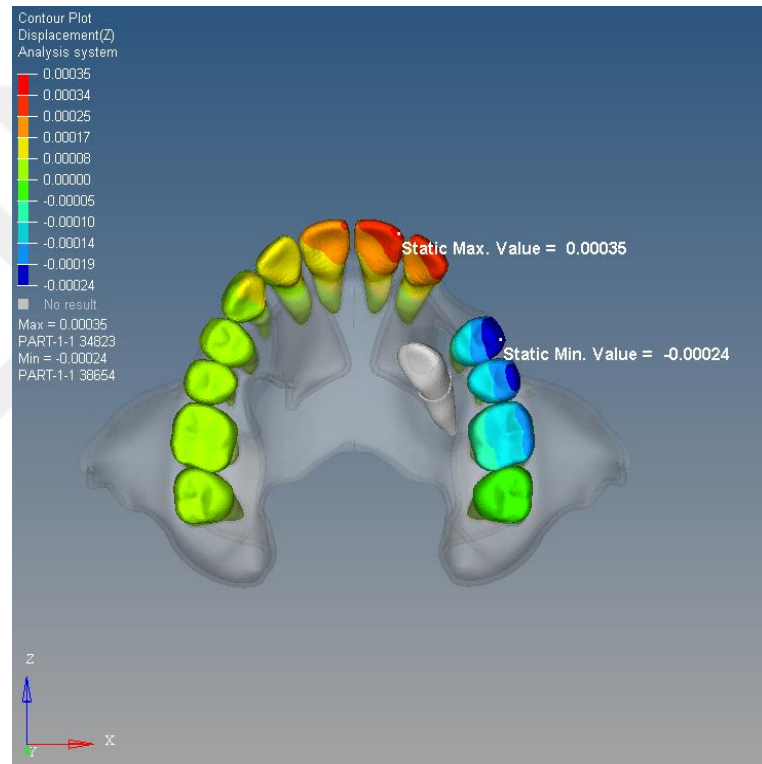


**Şekil 4.75.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Y düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

Gömülü maksiller kanin dişinde Y düzleminde en fazla deplasman dişin kronunun mesialinde 0.00011 mm ekstrüzyon şeklinde meydana gelmiştir. Dişin kronunda meydana gelen anlık hareket kökünden daha fazladır.

#### 4.2.4.3. Maksiller Dişlerde Z Düzleminde Meydana Gelen Deplasmanlar

Z düzlemi, maksiller anterior dişler için bukko-palatinal yönü gösterirken posterior dişler için mesio-distal yönü göstermektedir.



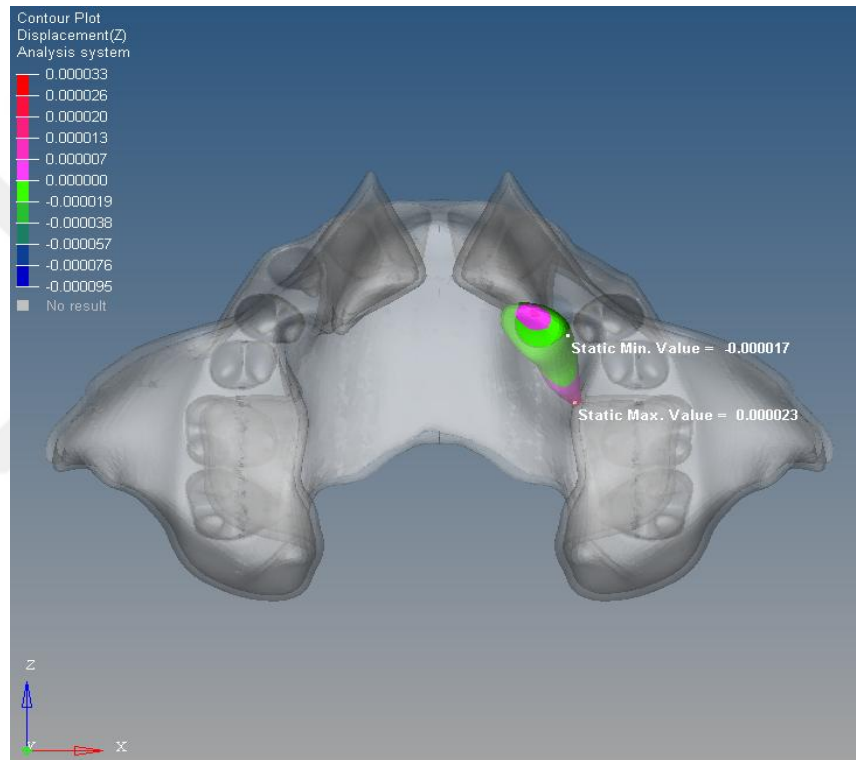
**Şekil 4.76.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben dişlerde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

Ballista spring modelinde yapılan analiz sonucu Z düzleminde en fazla yer değişikliği gömülü kanin tarafındaki santral dişin distoinsizal kenarında 0.00035 mm palatinal yönde meydana gelmiştir. Maksiller anterior dişler palatinala doğru hareket ederken sol posterior dişlerde hareket mesiale doğrudur. Z düzleminde en fazla mesial yönlü hareket 0.00024 mm ile sol birinci premolar dişin bukkalinde ölçülmüştür. Bu hareket birinci

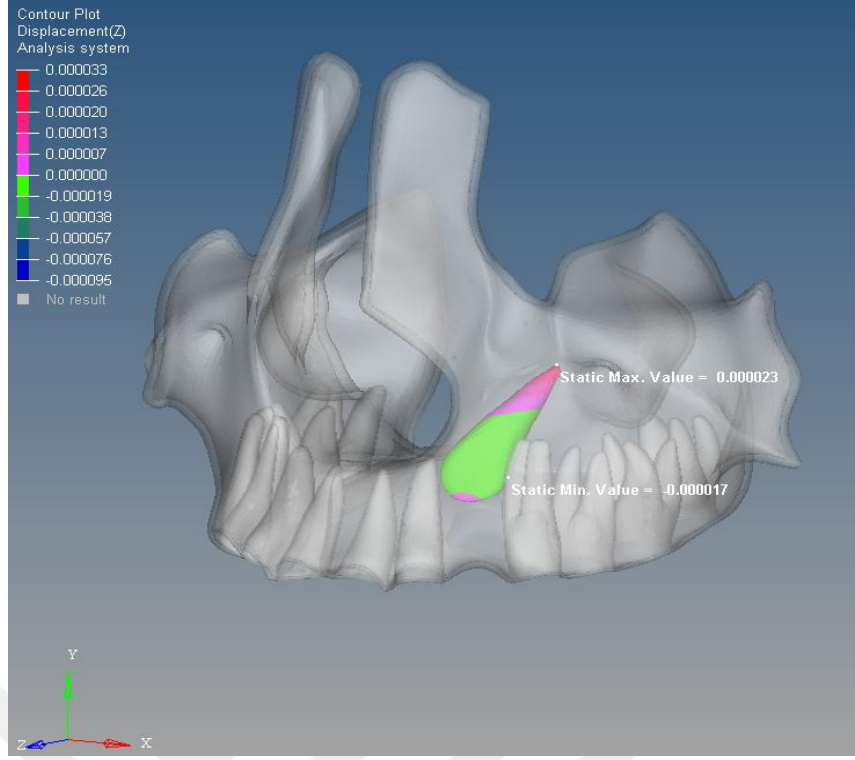


premolar dişten posteriora doğru azalmaktadır. Gömülü maksiller dişin kontralateralindeki posterior dişler Z düzleminde hiç hareket etmemişlerdir.

Gömülü maksiller kanin dişin kronunda Z düzleminde en fazla deplasman distalde 0.000017 mm anterior yönde meydana gelmiştir. Kanin dişin köküne doğru deplasman yn değiştirmektedir. Kök apeksinde deplasman miktarı posterior yönde 0.000023 mm dir.



**şekil 4.77.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları



**Şekil 4.78.** Elastik iplik modelinde kuvvet uygulamasını takiben kanin dişinde Z düzleminde meydana gelen deplasman bulguları

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmamızda palatinalde gömülü maksiller kaninin sürdürülmesi amacıyla kullanılan ballista spring uygulaması ve elastik iplik yöntemlerinin maksiller kemik, maksiller dişler ve çevre periodontal dokular üzerindeki etkileri ve maksiller dişlerde görülen başlangıç hareketleri sonlu elemanlar analiz yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Gömülü dişlerin ortodontik tedavi ile sürdürülmesi sonucu dişlerin dental arkta yerini alması kadar önemli bir diğer nokta da, sürdürme işlemi sırasında çevre periodontal dokulara etkileyen kuvvetin fizyolojik sınırlarda tutularak bu yapıların sağlığının korunmasıdır. Güncel literatür incelendiğinde diş sürdürmek amacıyla kullanılan ballista spring ve elastik iplik yöntemlerinin maksiller kemik, maksiller dişler ve çevre periodontal dokular üzerindeki etkilerini inceleyen kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle çalışmamızda, ballista spring ve elastik iplik yöntemlerinde, dişlerde ve komşu periodontal yapılarda görülen stres dağılımlarının incelenmesi hedeflenmiş ve bu amaçla son yıllarda kullanımı giderek artan sonlu elemanlar analiz yöntemi tercih edilmiştir.

### 5.1. Materyal Metodun Tartışılması

Gömülü diş; sürme zamanı geçmesine rağmen hala ağızda görülmeyen, klinik ve radyografik değerlendirme sonucu tespit edilen diş olarak tanımlanmaktadır (128). Üçüncü molar dişlerden sonra en sık gömülü kalan dişler, %1-3 prevalans ile maksiller kaninlerdir (129, 130). Bu dişlerin gömülü kalması; enfeksiyon, kistik formasyon, komşu dişlerde migrasyon, keser köklerinde rezorbsiyon, ark boyu kaybı gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir (8, 56, 131). Ortodontik amaçlı vertikal ve sagittal yönde uygulanan kuvvetler periodontal dokularda değişen derecelerde hasara sebep olabilmektedir (132, 133). Bazı çalışmalarda dişlerin sürdürülmesi esnasında periodontal dokularda minör değişiklikler meydana geldiği belirtilmesine rağmen (77, 134, 135), farklı kaynaklarda gömülü diş ve komşu dişlerin fazla miktarda zarar görebileceği rapor edilmiştir (136). Gömülü kanin tedavisi sırasında kök rezorbsiyonuna

neden olan kuvvet ortadan kaldırıldığında veya azaltıldığında tamir olabilmektedir (137).

Maksiller kaninler kızlarda ortalama 12,3 yaş; erkeklerde 13,1 yaş civarında sürmektedir (138). Bu sebeple seçilen hastalarda maksiller kaninlerin sürme potansiyellerini kaybettiğinden ve dolayısıyla gömülü diş tedavisi gerektirdiklerinden emin olmak için alt sınır 13 yaş olarak düşünülebilir. Yaş ile artan kemik maturasyonunun tedavi süresini ve prognozunu etkilediği bilinmektedir (139). Bununla birlikte gömülü diş olan pek çok hasta, bu durumun yetişkin dönemde farkına varmaktadır. Gömülü dişin sürdürülmesinin yaşla birlikte giderek kompleksleşmesi ve bu yaş grubundaki hastalarda gömülü dişle sıklıkla karşılaşılması nedeniyle çalışmamızda yetişkin bir bireyin maksillasının 3D modellenmesi yapılmıştır.

Maksiller kaninler; hem estetik hem çiğneme sistemindeki fonksiyonları, hem de temporomandibular eklem sağlığı açısından büyük önem taşımaktadırlar. Bu nedenle tedavi seçenekleri arasında en çok tercih ve tavsiye edileni gömülü maksiller kaninin ortodontik tedavi ile arkta olması gereken yere sürdürülmesidir (140).

Tedavi sırasında ankraj alınan komşu lateral ve premolar dişler farklı yönlerde kuvvetlere maruz kalmaktadır (135). Bu kuvvetlerin oluşturduğu stres, periodontal dokularda alveoler kemik kaybı ve cep derinliğinin artması, komşu dişlerde istenmeyen hareketler ve diş arkında deformasyon gibi değişikliklere yol açabilmektedir (141).

Gömülü kaninlerin palatinalde ya da labialde gömülü olmaları; hangi cerrahi tekniğin uygulanacağı, ortodontik tedavi mekaniğinin ne şekilde dizayn edileceği ve tedavi süresi açısından önem taşımaktadır (74, 133). Palatinalde konumlanmış gömülü kaninler labialde konumlananlardan yaklaşık 2 kat daha fazla görülmektedir (74, 133). Bununla birlikte çoğu maksiller gömülü kanin vakasında gömülü diş ile orta hat arasındaki açının  $25^\circ$  ve altında olduğunu rapor eden çalışmalar bulunmaktadır (22, 142-144). Bu nedenle çalışmamızda palatinalde konumlanmış ve orta hat ile  $25^\circ$  açılı bir gömülü maksiller kanin modeli hazırlanmıştır.

Literatürde gömülü maksiller kaninin sürdürülmesi amacıyla pek çok ortodontik aparey kullanılmıştır (80, 83, 85, 145, 146). Ballista spring uygulaması, basit ve kolay bükülebilen bir spring olması; kuvvet yönü vertikal olduğu için keser köklerine zarar

verme olasılığının az olması; kuvvetin kolayca kontrol ve modifiye edilebilmesi, segmental olması ve bu sayede anterior dişlerden destek almaması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmiştir (147). Jacoby' nin 1979 yılında yayınladığı çalışmasında ilk defa ballista spring adlı bir aparey ile gömülü kanin sürdürülmüştür (147). Springin özelliğinin sürekli kuvvet üretmesi olduğunu ve komşu dişlerin köküne herhangi bir baskı olmadan dişin vertikal yönde sürdürülebildiğini belirtmiştir. Bu springin kolayca modifiye edilebilmesi ve kuvvet yönünün kontrolünü sağlamadaki başarısı gibi avantajları vardır. Çalışmacı anterior dişlerde braketlemeyi daha geç yaptığı için tedavinin önemli bir kısmında diğer sürdürme yöntemlerine göre estetik açıdan üstünlük sağladığını belirtmiştir.

Elastik iplik modelinde ise uygulamasının kolay olması, uygulama yönünün ve şeklinin kolayca modifiye edilmesi, diğer elastik materyallere oranla aktivasyon süresinin daha uzun olması ve son yıllarda kullanımının artması gibi nedenlerle de elastik iplik ile diş sürdürme işlemi sonlu elemanlar analizi ile simüle edilmiştir (148).

Her iki sonlu elemanlar analizi modelinde de TPA (transpalatal ark) kullanılmıştır. TPA kullanılmasındaki amaç; ankrajin arttırılması ve molar dişlerde uzayın 3 yönünde kontrolün sağlanmasıdır (4, 15, 149).

Çalışmamızda her iki modelde de 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde MBT braketler ve 0.019 x 0.025 inch kalınlığında paslanmaz çelik teller kullanılmıştır. Literatürde slot genişliğinin 0.018 inch ten 0.022 inch e çıkarılması ile birlikte sürtünme kuvvetinin azaldığı rapor edilmiştir (150, 151). Öte yandan daha kalın kesitli ark teli kullanılması sonucu sürtünme miktarı artmasına rağmen daha kontrollü diş hareketi elde edilmektedir ayrıca maksimum ankraj kullanılacak vakalarda ark telinin kalınlığının artması diş hareketini zorlaştıracığından ankraj kontrolü açısından avantaj sağlamaktadır (152). Bu yüzden çalışmamızda 0.022 x 0.028 inch slot genişliğinde braketler ve 0.019 x 0.025 inch kalınlığında paslanmaz çelik tel kullanılması tercih edilmiştir (153).

Literatürde gömülü dişin sürdürülmesi için farklı kuvvetler uygulanmıştır. Teorik olarak tavsiye edilen ekstrüzyon kuvveti 30-50 gr arası olmakla birlikte, gömülü kanin dişin sürdürülmesi için gerekli kuvvet miktarı daha önce literatürde net bir şekilde

belirtilmemiştir. Yadav ve arkadaşları (154) yaptıkları çalışmada, kilroy spring ile yaklaşık 240 gr, elastik chain ile yaklaşık 260 gr ve ligatür teli ile yaklaşık 280 gr kuvvet uygulamışlardır. Çalışmacılar uyguladıkları kuvvetin tavsiye edilen aralığın üzerinde olduğunu ancak gömülü kaninin sürdürülmesi için doğru kuvvet miktarının yaklaşık bu değerlerde olması gerektiğini belirtmişler ve literatür bilgisinin revize edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir (154). Kocsis ve Seres'in (155) 2012 yılında 63 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada gömülü maksiller kanin dişi başarılı bir şekilde tedavi etmişlerdir. Çalışmacılar, gömülü dişe 80 gr kuvvet uygulayarak dişin angulasyonunu düzeltmiş ve sürdürmüşlerdir. Bizim çalışmamızda gömülü kaninin sürdürülmesi için Kocsis ve Seres'in (155) 2012 yılında yaptıkları çalışmada uyguladıkları gibi 80 g lık kuvvet simüle edilmiştir. Daha fazla kuvvet uygulanması kök rezorbsiyonuna neden olabilmektedir (156).

Çalışmamızda kullanılan ballista spring 0.016 inch paslanmaz çelik telden büküldüğünde 60-80 g arası, 0.018 inch paslanmaz çelik telden büküldüğünde ise 120-150 g arası kuvvet uygulayabilmektedir (147). Buna binaen 0.016 inch kalınlığında paslanmaz çelik tel kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometriye sahip yapıların gerilme, gerinme ve yer değiştirmelerini hassas ve kantitatif olarak inceleyen matematiksel bir yöntemdir (157).

Çalışmamızda kuvvet analiz yöntemi olarak üç boyutlu nonlineer sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Maksiller kemik, maksiller dişler ve çevre periodontal yapılar üç boyutlu olarak modellenerek ballista spring ve elastik iplik uygulamalarının simülasyonları yapılmıştır.

Kuvvet analiz yöntemi olarak gerinim ölçer analiz yöntemi, fotoelastik analiz yöntemi, holografik interferometre analiz yöntemi, kırılğan vernikle kaplama yöntemi ve sonlu elemanlar stres analiz yöntemi gibi yöntemler birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (94, 158-160).

Diş hareketlerinin incelenmesinde gerinim ölçer analiz yönteminin güvenilir olmasıyla birlikte dokuların içinde oluşan gerinimlerin belirlenebilmesi için gerinim ölçerlerin doku içine yerleştirilmesi gerekliliği bu yöntem için büyük bir dezavantaj

oluşturmaktadır (160, 161). Ayrıca elde edilen yapıların fiziksel özellikleri gerçek dokuların fiziksel özelliklerini tam olarak yansıtamamaktadır (161).

Holografik interferometre analiz yöntemi ile yüzey deformasyonları hassas bir şekilde kaydedilebilmektedir. Ancak bu yöntemle canlı dokularda meydana gelen gerilme bölgeleri ve ağız ortamında oluşan termal etkilerin meydana getirdiği etkiler incelenememektedir (157).

Kırılgan vernikle kaplama yöntemini uygulayabilmek için hassas ve pahalı aygıtlardan oluşan bir düzenek gerekmektedir. Ayrıca hazırlanmış olan model tekrar kullanılamamakta ve canlı dokular üzerinde oluşan stresler değerlendirilememektedir (157).

Fotoelastik analiz yönteminde, incelenecek materyalin fotoelastik malzemeden modeli hazırlanmaktadır. Fakat hazırlanan modelin karmaşık geometrileri yansıtabilecek düzeyde ayrıntılı oluşturulamaması gerçeğe yakın sonuçlar elde edilememesine yol açmaktadır (160, 162).

Miyakawa ve ark. (163) sonlu elemanlar analiz ile ortodontik aparey, dişler ve çevre periodontal dokuları değerlendirdikleri çalışmalarında, bu analiz yöntemini ortodontik diş hareketini sistematik ve kantitatif bir şekilde değerlendirdiği için fotoelastik yöntemle göre daha üstün olduğunu rapor etmişlerdir.

Araştırmamızda; diğer kuvvet analiz yöntemlerinin karmaşık yapıları ayrıntılı bir şekilde modelleyememesi, fiziksel özellikleri tam olarak yansıtamaması, in vitro ortamda doku içine yerleştirilen aygıt kullanımı ve deney düzeneği gerektirmeleri gibi dezavantajlarından dolayı sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Aynı zamanda sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometriye sahip yapıların bilgisayarda oluşturulan ayrıntılı modellerini kullanarak stres ve deplasmanların hassas ve sayısal değerlerle incelenmesini sağlayan matematiksel bir yöntem olup, modeli oluşturan parçaların her birine fiziksel özellikler kazandırılarak analizlerin gerçeğe uygun bir şekilde yapılmasına olanak sağladığı için araştırmamızda analiz yöntemi olarak kullanılmıştır (5). Jin Shu-Mei ve arkadaşlarının (164) 2010 yılında yaptıkları çalışmada palatinalde gömülü maksiller kanin ve çevre periodontal dokuların spiral BT, Mimics, UG ve MSC

kullanılarak gömülü kanin ve destek dokuların FEM modeli elde edilmiştir. Elde edilen modelin yüksek oranda gerçeğini yansıttığı görülmüştür.

Araştırmamızda maksiller kemik ve tüm maksiller dişler Sobotta insan anatomisi atlasına dayanılarak üretilen plastik modelin Steinbichler marka 3D tarama cihazıyla taranarak elde edilmiştir (165). Modellemede radyasyonun zararlı etkileri gibi etik nedenlerden dolayı canlı bireyden elde edilen bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılmamıştır (166).

Çalışmamızda ballista spring uygulamasının simüle edildiği üç boyutlu üst çene modelinin oluşturulmasında 341976 düğüm noktası ve tamamı tetrahedron olmak üzere 1714797 eleman, elastik iplik modelinde ise 336240 düğüm noktası ve yine tamamı tetrahedron olmak üzere 1676541 eleman kullanılmıştır. Araştırmamızda matematiksel model elde edebilmek için kullanılan solid-tetrahedral eleman özelliğinin insan vücudunda bulunan diş ve çevre dokular için ideal olduğu bildirilmiştir (167).

Tanne ve ark. (168) 1989 yılında toplam 2918 düğüm ve 1776 eleman kullandıkları çalışmalarında cranium ve maksillayı 3D modellemişlerdir. Katada ve Isshiki (169) 2005 yılında yaptıkları çalışmalarında toplam 2902 düğüm ve 2560 eleman kullanarak cranium ve mandibulayı modellemişlerdir. Yu ve ark. (170) 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında toplam 22236 eleman ve 71714 düğüm kullanarak cranium ve maksillayı modellemişlerdir. Gautam ve ark. (167) 2009 yılında yaptıkları çalışmada 108799 eleman ve 193633 düğüm kullanarak cranium ve maksillayı 3D modellemişlerdir. Tanne ve ark. (171) 1996 yılında yaptıkları çalışmada 2088 düğüm ve 1105 eleman kullanarak mandibulayı 3D modellemişlerdir. Panigrahi ve ark. (172) 2009 yılındaki çalışmalarında toplam 13590 eleman ve 18582 düğüm kullanarak craniumu modellemişlerdir.

Kullanılan materyal özelliklerinin ve model geometrisinin doğru belirlenmesine bağlı olarak sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçların güvenilirliği değişmektedir (173). Sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların doğruluğu, büyük oranda, analizde kullanılan model ve uygulanan modelleme işleminin hassasiyetine bağlıdır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan eleman ve düğüm nokta sayısı ne kadar fazla ise elde edilen verinin güvenilirliği de o



ölçüde fazladır. Fakat eleman ve düğüm nokta sayısındaki aşırı artış analiz zamanını arttırmakta ve kullanılan bilgisayarın sınırlarını aştığından analiz imkansız hale gelebilmektedir. Ayrıca, belirli bir eleman sayısından sonra sonuçlarda klinik olarak anlamlı olmayan minimum değişiklikler meydana gelmektedir.

Çalışmamızdaki düğüm ve eleman sayıları diğer sonlu elemanlar analizi çalışmaları ile kıyaslandığında; çalışmamızda oluşturulan modelin oldukça hassas ölçümleri gerçekleştirerek, gerçeğe en yakın şekilde değerlendirme yapabilecek nitelikte olduğu görülmektedir.

Sonlu elemanlar analizi ile asal gerilmeler, Von Mises gerilmeleri ve başlangıç yer değiştirme değerleri belirlenebilmektedir. Gerilme değerleri çalışılacak materyalin mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Kırılgan materyaller (kemik, diş vb.) için asal gerilme sonuçları, çekilebilir materyaller (minivida, metal restorasyonlar vb.) için ise Von Mises gerilmeleri kullanılmalıdır (99). Von Mises değerleri, oluşan gerilmelerin dağılımı ve yoğunluğunu belirtirken, gerilmenin karakterini ve hangi bölgede etkin olduğunu belirlemede yetersizdir. Asal gerilmeler ise gerilmenin karakterini ve hangi bölgede etkin olduğunu belirtirken gerilmenin toplam yoğunluğunu göstermede yetersizdir. Bu yüzden çalışmamızda hem asal gerilmelere (maks/min) hem von Mises gerilmelerine yer verilmiştir.

Maksimum asal gerilmeler modelde oluşan en yüksek çekme tipi gerilmeleri, minimum asal gerilmeler ise modelde oluşan en yüksek basma tipi gerilmeleri belirtmektedir. Mutlak değeri daha büyük olan gerilme, hangi karakterde gerilmenin daha etkin olduğunu ifade etmektedir (155).

Analizde kullanılan malzemenin ve dokunun yapısı, kuvvet dağılımını etkileyecek en önemli etkenlerdir. Bu yapıların karakteristiği, bu yapılara ait elastikiyet modülü ve Poisson oranı ile ilgilidir (155). Araştırmamızda literatürdeki çalışmalardaki ile benzer elastikiyet modülü ve Poisson oranları kullanılmıştır (174, 175).

Gerçekte herhangi bir yapının ve materyalin tamamen homojen ve izotrop olması mümkün olmamakla birlikte çalışmamızda hazırlanan model, kullanılan yapıların homojen, izotropik ve lineer elastik olduğu varsayılarak elde edilmiştir (121). Bu nedenle çalışmamızda elde edilen veriler üzerinden yaptığımız genellemeler

gerçeklerden biraz farklılık gösterecektir. Bununla birlikte çalışmamızda kullanılan modellerdeki malzemelerin mekanik özellikleri ve uygulanan kuvvet miktarları sabit tutulduğu ve apareyler birbirlerine göre değerlendirildiği için araştırmamızın bilimsel açıdan uygun olduğunu düşünmekteyiz.

## **5.2. Bulguların Tartışılması**

Üzerine kuvvet uygulanan kemiklerde stres miktarı ile doğru orantılı olarak gerilim ve gerinimler meydana gelmektedir (176, 177).

Farklı kuvvet değerleri, farklı sınır koşulları, farklı düğüm ve eleman sayıları, asal gerilmeler yerine von Mises gerilmelerinin değerlendirilmesi gibi faktörler farklı gerinme değerlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle sonlu elemanlar analizi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya çıkan gerinimlerin büyüklükleri apareylerin kendi aralarında karşılaştırılması ile daha anlamlı sonuç vermektedir. Ayrıca gerinimin tipinin (basma, çekme) değerlendirilmesi ile daha anlamlı veriler elde edilmektedir.

### **5.2.1. Ballista Spring Modeli ve Elastik İplik Modeli ile Elde Edilen Bulguların Karşılaştırılması**

#### **5.2.1.1. Kortikal Kemiğe Ait Bulguların Karşılaştırılması**

Bulguları karşılaştıracak olursak;

Ballista spring modelinde ortaya çıkan çekme gerinim değerleri, sadece ballista springin uygulandığı dişler çevresinde gözlemlenmiştir. Elastik iplik modelinde ise kuvvet direk ark teli üzerinden uygulandığından en yüksek çekme kuvveti değeri ballista spring modeline oranla daha fazla bulunmuştur.

Ballista spring modelinde elde edilen en yüksek basma kuvveti ile elastik iplik modelinde elde edilen en yüksek basma kuvveti birbirine oldukça yakındır. Elastik iplik

modelinde kuvvet direk ark teli üzerinden uygulandığından sol maksiller segmentte bulunan dişlerin gömülü kanine bakan yüzeylerindeki kortikal kemikte basma kuvvetleri yoğunlaşmıştır. Bu nedenle elastik iplik modelinde ark formunun bozulabileceği düşünülebilir.

Von Mises değerleri,  $p_{max}$  ve  $p_{min}$  değerlerinin formülize edilmesiyle hesaplanan ve cisme gelen toplam kuvvet hakkında bilgi veren değerlerdir.

Ballista spring modelinde elde edilen en yüksek von Mises değeri ile elastik iplik modelinde elde edilen en yüksek von Mises değeri birbirine oldukça yakındır. Her iki modelde de ortaya çıkan von Mises gerinimleri gömülü maksiller kanin etrafında yoğunlaşmakla birlikte elastik iplik modelinde oluşan toplam gerinim miktarının daha fazla olduğu saptanmıştır. Von mises değerleri, bölgeye etkiyen toplam kuvvet hakkında bilgi verdiğinden, elastik iplik yönteminde uygulanan kuvvet miktarı iyi hesaplanmadığında fizyolojik olmayan kuvvetlerin ortaya çıkacağı düşünülebilir. Spuntarelli ve arkadaşları 2015 yılında yaşları 14 ile 16 arasında değişen 3 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada gömülü maksiller kanin dişi ark teli üzerinden hafif kuvvet uygulayarak periodontal dokulara zarar vermeden sürdürmüşlerdir (178). Diş sürdürmesi esnasında hafif kuvvetler uygulamak patolojik durumların ortaya çıkmasını engelleyecektir.

#### **5.2.1.2. Spongioz Kemiğe Ait Bulguların Karşılaştırılması**

Spongioz kemikte çekme kuvvetleri Gömülü maksiller kanin çevresinde yoğunlaşmıştır. Elastik iplik modelinde ballista spring modeline göre daha fazla çekme kuvveti oluşmuştur.

Ballista spring modelinde elde edilen en yüksek basma gerinimi, elastik iplik modelinde elde edilen en yüksek basma gerinimine oranla daha azdır. Elastik iplik modelinde gömülü kanin çevresinde mavi ile gösterilen alanlar yüksek basma kuvvetlerini göstermektedir.

Ballista spring modelinde elde edilen en yüksek von Mises gerinimi , elastik iplik modelinde elde edilen en yüksek von Mises gerinimine oranla oldukça azdır. Her iki

modelde de ortaya çıkan von Mises gerinimleri gömülü maksiller kanin etrafında yoğunlaşmıştır. Çekme ve basma kuvvetleri kortikal kemikte absorbe olduğu için her iki modelde de spongiöz kemikte oluşan toplam gerinim değeri kortikal kemiktekine oranla daha azdır.

### **5.2.1.3. Periodontal Ligamente Ait Bulguların Karşılaştırılması**

Ballista spring ve elastik iplik modelleri için gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen maksimum asal gerilme değerleri diğer dişlerde ölçülen aksine apikalden koronale doğru azalma göstermektedir. Aynı zamanda elastik iplik modelinde elastik ipliğin çekme yönünden dolayı ölçülen en yüksek çekme gerinim değerleri mesiobukkalden distopalatine doğru azalmaktadır.

Ballista spring modelinde yalnızca ankraj dişler ve gömülü kanin dişe ait periodontal ligamentte çekme kuvveti oluşurken elastik iplik modelinde ise gömülü kanin tarafındaki dişler etkilenmekle kalmayıp kontralateral dişlerin periodontal ligamentinde de çekme kuvvetleri oluşmuştur.

Kırmızı ve mavi ile gösterilen yüksek basma kuvvetleri. Ballista spring modelinde basma kuvvetlerinin ankraj alınan dişlerin periodontal ligamentinin kök ucunda yoğunlaşması rezorbsiyon ihtimalini akla getirmektedir. Ballista spring modelinde ölçülen basma kuvvetleri ballista springin aktivasyon sırasında çizdiği eğri nedeniyle disto-bukkalden mesio-palatine doğru azalma göstermektedir.

Ballista spring modelinde ankraj alınan dişlerde von mises kuvvetlerinin yoğunlaşması bu dişlerde rezorbsiyon ihtimalini düşündürmektedir. Silva ve arkadaşları 2017 yılında tek taraflı palatinalde gömülü kanine sahip 16 hastanın gömülü maksiller kaninini sürdürdükleri çalışmada, tedavi sonrası gömülü kanin ve komşu dişlere ait kök boyunu KIBT görüntüleri üzerinden karşılaştırmışlardır. Çalışmacılar gömülü kanini sürdürmek için 0.019x0.025 inch kalınlığında TMA telden segmental ark aracılığıyla kanine 60 gr kuvvet uygulamışlardır. Ayrıca ankrajı sağlamak amacıyla 0.8 mm lik paslanmaz çelik telden pasif TPA uygulamışlardır. Çalışma sonucunda gömülü kanin tarafındaki lateral dişte kök boyunun ortalama 0.56 mm, kanin dişte 0.95 mm, birinci premolar dişin

bukkal kökünde 0.64 mm, palatinal kökünde ise 0.4 mm daha kısa olduğunu belirtmişlerdir (179). Diş sürdürülmesi esnasında gömülü diş ve ankraj dişlerde oluşan kök rezorbsiyonlarına dikkat edilmelidir.

Elastik iplik yönteminde kuvvetlerin ankraj dişlerin gömülü dişe bakan kısımlarında yoğunlaşması ark formunda bozulma ihtimalini, ayrıca gömülü kaninin apeksinde yoğunlaşan kuvvetler kök rezorbsiyonu ihtimalini akla getirmektedir.

Ballista spring modelinde gömülü maksiller kanin dişin periodontal ligamentinde ölçülen en yüksek von mises gerinimi 0.0024 MPa iken elastik iplik modelinde bu değer 0.0031 MPa ile dişin apeksindedir. Bu bulgular Hui Jifang ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada periodontal ligamentte elde ettikleri von Mises değerlerinden farklılık göstermektedir. Çalışmacılar labialde gömülü maksiller santral diş ve periodontal dokuları finite element yöntemi ile incelemişler, farklı büyüklükte kuvvetler uygulayarak farklı von Mises kuvvet dağılımları bulmuşlardır. Periodontal ligamentteki stres dağılımı kuvvet ile birlikte artmıştır. Çalışmacılar gömülü maksiller santral diş için 30 gr a karşılık 0.0028 MPa von mises gerinimi elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Bu değerler bizim çalışmamızda elde edilen von Mises değerlerinden daha düşüktür. Bu farklılığın kuvvet uygulanan diş ve komşu periodontal dokuların farklı anatomik yapılarla sahip olmasından ve bizim gömülü kanin diş için uyguladığımız kuvvet miktarının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### **5.2.1.4. Deplasman Bulgularının Karşılaştırılması**

Ballista springin pasif durumdayken aşağı bakan uç kısmı aktiflendiğinde palatinala doğru hareket ettirildiği için ilk ankraj aldığı diş olan birinci premolarda X düzleminde palatinala doğru bir harekete neden olmuştur. Bu hareketin sonucunda ankraj alınan son diş olan sol maksiller birinci molar dişte bukkal yönde resiprokal etki ortaya çıkmıştır. Bu hareketi önlemek için Ankrajı arttırıp oluşan streslerin etkisini azaltmak amacıyla birinci molar ve ikinci molar dişler üzerinden iki adet TPA uygulanması düşünülebilir. Birinci molardan uygulanan tpa'nın premolara kadar uzatılması devrilme hareketini

büyük oranda azaltabilir. Shastri ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları çalışmada palatinalde gömülü maksiller kanini K9 spring ile 60-90 gr kuvvet uygulayarak sürdürmüşlerdir. Sürdürme sırasında ark formunda ve komşu dişlerdeki devrilme hareketleri gibi yan etkileri ortadan kaldırmak amacıyla premolar ve molar bölgeye bukkal kron torqu uygulamışlardır. Bu sayede yan etkileri en aza indirerek periodontal sağlığı koruduklarını belirtmişlerdir. Ballista spring uygulamasında da benzer bükümlerin yapılması düşünülebilir (180).

Ark teli üzerinden elastik iplik ile gömülü kanine uygulanan kuvvet sonucu, lateral dişte gömülü kanine en yakın dişlerden biri olduğu ve dişin kök yüzeyi daha küçük olduğu için birim alana düşen kuvvet miktarı artmış, bunun sonucunda da en fazla hareket bu dişte görülmüştür. Anterior dişlerin sağ posterior dişler ile beraber sekiz ligatür ile bağlanmasının bu hareketi engelleyeceği düşünülebilir. Yadav ve arkadaşları gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesinde uygulanan 3 farklı yaklaşımı (kilroy spring, elastik chain, ligatür teli) biomekanik açıdan üç boyutlu olarak karşılaştırdıkları çalışma neticesinde, palatinalde bulunan dişlerin sürdürülmesinde kilroy spring'in düşük load-deflection oranına sahip olduğunu ve daha az sayıda aktivasyon ile uzun süreli sürekli kuvvet elde edildiğini, ankraj alınan dişlerde ise daha az yan etki oluşturduğunu rapor etmişlerdir (154). Çalışmamızda kullanılan ballista spring ile diş sürdürme yöntemi de kilroy springe benzer şekilde düşük load-deflection oranına sahip olduğundan ankraj dişlerde daha az yan etki beklenmektedir.

Elastik iplik modelinde kuvvetin ark teli üzerinden uygulanması nedeniyle gömülü kanin çevresindeki maksiller dişlerde, gömülü kanine doğru bir devrilme hareketi meydana gelmiştir. Gömülü diştan uzaklaştıkça azalan bu devrilme hareketi, maksiller ark formunda deformasyonu akla getirmektedir. Nakandakari ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları çalışmada palatinalde gömülü maksiller kanin dişini TMA telden yapılmış bir segmental ark ile başarılı bir şekilde sürdürmüşler ve bu tür segmental arklar kullanılarak hafif ve sürekli kuvvet uygulamanın devamlı ark kullanımıyla meydana gelen yan etkilerin minimuma indirilebileceğini belirtmişlerdir. Ankraj alınan dişlerde minimum etki oluşması sonucunda hiç istenmeyen jiggling etkisinin en aza indirildiğini bildirmişlerdir (181). Devamlı ark teli ile diş sürdürülmesi esnasında ark formunun bozulmaması için ekstra önlemler alınarak dikkat edilmelidir.

Her iki modelde de kuvvet uygulanmasını takiben gömülü maksiller kaninde bukkal yönlü devrilme hareketi görülmüştür. Ballista spring modelinde anlık kron hareketi elastik iplik modelindeki hareketin yaklaşık iki katı iken, kök hareketinin elastik iplik modelinde daha fazla olması maksiller kanin dişin, farklı modellerde, farklı rotasyon merkezleri üzerinde hareket ettiğini göstermektedir.

Ballista springin uç kısmının palatinaline doğru aktiflenmesi ile ilk ankraj aldığı diş olan birinci premoların bukkal tüberkülünde ekstruzyon hareketi, palatinal tüberkülünde intruzyon hareketi oluşmuştur. Bu hareket sonucunda sol maksiller birinci molar dişin bukkal tüberküllerinde intruzyon, palatinal tüberküllerinde ise ekstruzyon olacak şekilde resiprokal etki ortaya çıkmıştır.

Elastik iplik grubunda X düzleminde oluşan hareketlere benzer şekilde Y düzleminde de gömülü maksiller kanin çevresindeki dişlerde devrilme hareketi görülmüştür. Kuvvet uygulanan bölgeye bakan anterior diş yüzeylerinde intruzyon zıt yüzeylerde ekstruzyon görülmüştür. Sol posterior maksiller dişlerin gömülü kanine bakan mesial yüzeylerinde intruzyon hareketi meydana gelirken distal yüzeylerinde daha az olmakla birlikte ekstruzyon hareketi görülmüştür. Gömülü kaninin sürdürülmesi planlanan bölgede ark teline open coil uygulanması ile bu devirici kuvvetlerin önüne geçilmesi düşünülebilir

Gömülü maksiller kanin dişe kuvvet uygulanmasını takiben her iki modelde de Y düzleminde ekstruzyon hareketi görülmüştür. Ballista spring modelinde ekstruzyon hareketinin daha fazla olması kuvvetin uygulama yönünden kaynaklanmaktadır. Ballista springe uygulayacağımız bükümler sayesinde kuvvetin doğrultusunun ayarlanabileceği düşünülmektedir.

Ballista springin aktive edilmesiyle sol birinci premolar diş palatinaline doğru hareket ederken aynı zamanda bir miktar da distal yönde hareket etmektedir. Resiprokal etki sonucu birinci molar diş de bukkale doğru hareket ederken bir miktar da mesiale doğru kaymaktadır.

Elastik iplik grubunda Z düzleminde gömülü maksiller kanin dişten uzaklaştıkça hareket miktarının azaldığı görülmüştür. Kuvvetin uygulanma noktası anterior dişlerin palatinalinde olduğu için bu dişlerde palatinal yönde hareket görülmüştür. Daha kalın bir ark teli kullanılmasıyla bu devrilme hareketinin önüne geçilebilir.

Her iki modelde de kuvvet uygulanmasını takiben gömülü maksiller kanin dişte Z düzleminde anteriora doğru devrilme hareketi görülmüştür. Ballista spring modelinde anlık kron hareketinin elastik iplik modelinden daha fazla olmasında, ballista springin kuvvet yönünün yay şeklinde olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Dişin sürdürülmesi sırasında kullanılan apareyin aktivasyon aralığı da dişin hareketi için önemlidir. Yadav ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kilroy springin 13 mm, ligatür telinin 1 mm ve elastik chain in 12 mm aktivasyon aralığına sahip olduğunu belirtmişler bu açıdan bakıldığında kilroy spring ve elastik chainin ligatür telinden daha üstün olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte elastik chainin aktivasyonunda zamanla azalma olacağı için daha sık aktiflenmesi gerektiğini rapor etmişlerdir. Çalışmaya göre en sık aktivasyon gerektiren mekanik ise ligatür teli yöntemidir (154). Çalışmamızda kullanılan elastik iplik ve ballista spring benzer aktivasyon aralıklarına sahiplerdir.

### 5.3. Sonuç

Farklı sürdürme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen gömülü maksiller kanin sürdürülmesi sırasında, kuvvetin uygulandığı ilk andaki değişimlerin değerlendirildiği araştırmamızdan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Kuvvetin uygulanmasını takiben her iki yöntemde de çevre kortikal ve spongiöz kemikler üzerinde stresler oluşmaktadır. Her iki modelde de uygulanan kuvvet miktarı eşit olmasına rağmen gömülü kanin ve ankraj dişler ile çevre periodontal dokularda basma ve çekme gerininim değerlerinin elastik iplik modelinde daha yüksek olduğu görülmüştür.

2. Elastik iplik yönteminde stresler daha fazla alana yayılmasına rağmen gömülü maksiller kanin çevresinde daha fazla devirici kuvvet oluşturmuştur. Özellikle anterior dişlerde kök yüzey alanının daha küçük olmasından dolayı  $mm^2$  ye düşen stres miktarı daha fazla olmaktadır. Bu stresler elastik iplik yönteminde ark formunu daha fazla deforme etmektedir.



3. Ballistaspring yönteminde kuvvet uygulanmasını takiben sol posterior bölgede yoğunlaşan stresler özellikle birinci premolar ve birinci molar dişte devirici kuvvetlere sebep olmaktadır.

4. Gömülü maksiller kanin dişinde meydana gelen anlık deplasman bulguları incelendiğinde X, Y, Z düzlemlerinin tümünde ballista spring modelinde daha fazla deplasman meydana gelmiştir.

5. Ballistaspring modelinde sol posterior diş köklerinde kuvvet apikal bölgede yoğunlaşmıştır.

Çalışmamızda elde edilen bulgulardan yola çıkılarak gömülü diş sürdürülürken uygulanan kuvvetler sonucu ortaya çıkan gerilim ve stresler yorumlanmıştır. Ballista spring yönteminin en büyük avantajı gömülü dişin başlangıç hareketinin daha fazla olmasıdır. Ankraj dişlerin kök yüzeylerinde aşırı stres yoğunlaşması ise bu yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır. Bu bulgulardan yola çıkılarak ballista spring yöntemi ile diş sürdürülürken kök rezorpsiyonu açısından uygulanan kuvvet miktarı göz önünde bulundurulmalıdır.

Elastik iplik uygulamasında ise ankraj dişlerin kök yüzeylerinde daha az stres yoğunlaşması ve pratik bir yöntem olması bu yöntemin avantajını oluşturmakla birlikte ark formunda deformasyon bu yöntemin en büyük dezavantajıdır. Elastik iplik ile diş sürdürürken hafif kuvvetler uygulanması, kalın ark teli ile çalışılması, ark teline open coil uygulanması gibi tedbirler alınarak ark formu korunmaya çalışılmalıdır.

## 6. KAYNAKÇA

1. Bass T. Observations on the misplaced upper canine tooth. *The Dental practitioner and dental record*. 1967;18(1):25.
2. Inspection V. A review of impacted permanent maxillary cuspids—diagnosis and prevention. *J Can Dent Assoc*. 2000;66:497-501.
3. Suda N, Hiyama S, Kuroda T. Relationship between formation/eruption of maxillary teeth and skeletal pattern of maxilla. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2002;121(1):46-52.
4. Becker A. *Orthodontic treatment of impacted teeth*: John Wiley & Sons; 2012.
5. Hughes TJ. *The finite element method*. 1987. Prentice-Hall, New Jersey.
6. Moaveni S. *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS*, 3/e: Pearson Education India; 2011.
7. Suri L, Gagari E, Vastardis H. Delayed tooth eruption: pathogenesis, diagnosis, and treatment. A literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;126(4):432-45.
8. Bishara SE. Impacted maxillary canines: a review. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 1992;101(2):159-71.
9. Bishara SE. Clinical management of impacted maxillary canines. *Seminars in orthodontics*. 1998;4(2):87-98.

10. Ülgen M. Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim, tanı: Yeditepe Üniversitesi; 2000.
11. Oliver R, Moxham B. The development of dental occlusion. *Current Paediatrics*. 2000;10(4):295-300.
12. Dachi SF, Howell FV. A survey of 3,874 routine full-mouth radiographs: II. A study of impacted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1961;14(10):1165-9.
13. Ericson S, Kurol J. Radiographic assessment of maxillary canine eruption in children with clinical signs of eruption disturbance. *European journal of orthodontics*. 1986;8(3):133-40.
14. Thilander B, Myrberg N. The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *European Journal of Oral Sciences*. 1973;81(1):12-20.
15. Lappin MM. Practical management of the impacted maxillary cuspid. *American journal of orthodontics*. 1951;37(10):769-78.
16. Brin I, Ben - Bassat Y, Zilberman Y, Fuks A. Effect of trauma to the primary incisors on the alignment of their permanent successors in Israelis. *Community dentistry and oral epidemiology*. 1988;16(2):104-8.
17. Hawes RR. Traumatized primary teeth. *Dental clinics of North America*. 1966:391-404.
18. Andreasen J, Sundström B, Ravn J. The effect of traumatic injuries to primary teeth on their permanent successors. *European Journal of Oral Sciences*. 1971;79(3):219-83.
19. Andreasen J, Andreasen F. Root fracture. *Essentials of Traumatic Injuries to the Teeth: A Step-by-Step Treatment Guide, Second Edition*. 1994:63-75.

20. McBride LJ. Traction--a surgical/orthodontic procedure. American journal of orthodontics. 1979;76(3):287-99.
21. Jacoby H. The etiology of maxillary canine impactions. American journal of orthodontics. 1983;84(2):125-32.
22. BECKER A, SMITH P, BEHAR R. The incidence of anomalous maxillary lateral incisors in relation to palatally-displaced cuspids. The Angle orthodontist. 1981;51(1):24-9.
23. Becker A, Chaushu G, Chaushu S. Analysis of failure in the treatment of impacted maxillary canines. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 2010;137(6):743-54.
24. A B. The orthodontic treatment of impacted teeth. 2007:1–228.
25. Flaitz CM, Hicks J. Delayed tooth eruption associated with an ameloblastic fibro-odontoma. Pediatric dentistry. 2001;23(3):253-9.
26. Foster T, Taylor G. Characteristics of supernumerary teeth in the upper central incisor region. The Dental practitioner and dental record. 1969;20(1):8.
27. Katz J, Guelmann M, Barak S. Hereditary gingival fibromatosis with distinct dental, skeletal and developmental abnormalities. Pediatric dentistry. 2002;24(3):253-6.
28. Yawaka Y, Kaga M, Osanai M, Fukui A, Oguchi H. Delayed eruption of premolars with periodontitis of primary predecessors and a cystic lesion: a case report. International journal of paediatric dentistry. 2002;12(1):53-60.
29. Acquavella FJ. Delayed eruption. Why? The New York state dental journal. 1965;31(10):448-9.
30. Neville B, Damm D, Allen C, Bouquot J. Bone pathology. Oral and maxillofacial pathology. 2002;3:646-8.

31. Piloni M, Ubios A. Impairment of molar tooth eruption caused by x-radiation. *Acta odontologica latinoamericana: AOL*. 1995;9(2):87-92.
32. APPLETON RE, LEACH H. Delayed eruption of secondary dentition associated with phenytoin therapy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1991;33(12):1117-20.
33. Kjellberg H, Beiring M, Wikland KA. Craniofacial morphology, dental occlusion, tooth eruption, and dental maturity in boys of short stature with or without growth hormone deficiency. *European journal of oral sciences*. 2000;108(5):359-67.
34. Ramos - Gomez F, Petru A, Hilton J, Canchola A, Wara D, Greenspan J. Oral manifestations and dental status in paediatric HIV infection. *International journal of paediatric dentistry*. 2000;10(1):3-11.
35. Giglio M, Sanz A, Bozzini C. Depressed eruption rate of the rat maxillary incisor in a drug-induced uncompensated hemolytic state model. *Journal of dental research*. 1990;69(3):906-8.
36. Pope J, Curzon M. The dental status of cerebral palsied children. *Pediatric dentistry*. 1991;13(3):156-62.
37. Kieser J, Groeneveld H, Da Silva P. Delayed tooth formation in children exposed to tobacco smoke. *The Journal of clinical pediatric dentistry*. 1996;20(2):97.
38. Kaban LB, Needleman HL, Hertzberg J. Idiopathic failure of eruption of permanent molar teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1976;42(2):155-63.
39. Minicucci EM, Lopes LF, Crocci AJ. Dental abnormalities in children after chemotherapy treatment for acute lymphoid leukemia. *Leukemia research*. 2003;27(1):45-50.
40. Shafer WG HM, Levy BM. . *Textbook of oral pathology*. 1983.

41. Ngan P, Hornbrook R, Weaver B, editors. Early timely management of ectopically erupting maxillary canines. *Seminars in orthodontics*; 2005: Elsevier.
42. Langland OE, Sippy FH, Langlais RP. *Textbook of dental radiology* 2 Ed: Charles C Thomas Pub Limited; 1984.
43. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. Reliability of a method for the localization of displaced maxillary canines using a single panoramic radiograph. *Clinical orthodontics and research*. 1999;2(4):194-9.
44. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. The use of panoramic radiographs to localize displaced maxillary canines. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1999;88(4):511-6.
45. Lindauer SJ, Rubenstein LK, Hang WM, Andersen WC, Isaacson RJ. Canine impaction identified early with panoramic radiographs. *The Journal of the American Dental Association*. 1992;123(3):9195-297.
46. Warford JH, Grandhi RK, Tira DE. Prediction of maxillary canine impaction using sectors and angular measurement. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2003;124(6):651-5.
47. Jacobs SG. Radiographic localization of unerupted teeth: further findings about the vertical tube shift method and other localization techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2000;118(4):439-47.
48. Palomo JM, Kau CH, Palomo LB, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in dentistry. *Dentistry today*. 2006;25(11):130.
49. Ericson S, Kurol J. Incisor root resorptions due to ectopic maxillary canines imaged by computerized tomography: a comparative study in extracted teeth. *The Angle orthodontist*. 2000;70(4):276-83.

50. Preda L, La Fianza A, Di Maggio E, Dore R, Schifino M, Campani R, et al. The use of spiral computed tomography in the localization of impacted maxillary canines. *Dentomaxillofacial Radiology*. 1997;26(4):236-41.
51. White SC. Cone-beam imaging in dentistry. *Health physics*. 2008;95(5):628-37.
52. Robb RA, Sinak L, Hoffman E, Kinsey J, Harris L, Ritman EL. Dynamic volume imaging of moving organs. *Journal of medical systems*. 1982;6(6):539-54.
53. Drage NA, Sivarajasingam V. The use of cone beam computed tomography in the management of isolated orbital floor fractures. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2009;47(1):65-6.
54. Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. *Dental clinics of North America*. 2008;52(4):809-23.
55. Heimisdottir K, Bosshardt D, Ruf S. Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs? A case report with histology. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;128(1):106-9.
56. Miloglu O, Goregen M, Akgul HM, Harorli A. Generalized Familial Crown Resorptions in Unerupted Teeth. *European journal of dentistry*. 2011;5(2):206.
57. Rimes RJ, Mitchell C, Willmot D. Maxillary incisor root resorption in relation to the ectopic canine: a review of 26 patients. *European journal of orthodontics*. 1997;19(1):79-84.
58. McConnell T, Hoffman D, Forbes D, Janzen E, Weintraub N. Maxillary canine impaction in patients with transverse maxillary deficiency. *ASDC journal of dentistry for children*. 1995;63(3):190-5.
59. Olive RJ. Orthodontic treatment of palatally impacted maxillary canines. *Australian orthodontic journal*. 2002;18(2):64.

60. Ericson S, Kurol J. Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. *European journal of orthodontics*. 1988;10(4):283-95.
61. Leonardi M, Armi P, Franchi L, Baccetti T. Two interceptive approaches to palatally displaced canines: a prospective longitudinal study. *The Angle orthodontist*. 2004;74(5):581-6.
62. Baccetti T, Leonardi M, Armi P. A randomized clinical study of two interceptive approaches to palatally displaced canines. *The European Journal of Orthodontics*. 2008;30(4):381-5.
63. Baccetti T, Mucedero M, Leonardi M, Cozza P. Interceptive treatment of palatal impaction of maxillary canines with rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;136(5):657-61.
64. Sagne S, Lennartsson B, Thilander B. Transalveolar transplantation of maxillary canines an alternative to orthodontic treatment in adult patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1986;90(2):149-57.
65. Järvinen S. Unerupted second primary molars: report of two cases. *ASDC journal of dentistry for children*. 1993;61(5-6):397-400.
66. Andreasen JO, Peterson J, Laskin DM. Textbook and color atlas of tooth impactions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;112(3):354.
67. Kurol J. Early treatment of tooth-eruption disturbances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2002;121(6):588-91.
68. Avery DR, McDonald RE. *Dentistry for the child and adolescent*: Mosby; 2004.
69. Di Biase D. Mucous membrane and delayed eruption. *The Dental practitioner and dental record*. 1971;21(7):241.



70. Kokich VG, Mathews D. Impacted teeth: surgical and orthodontic considerations. *Orthodontics and dentofacial orthopedics* Ann Arbor, Mich. 2001.
71. Chew MT, Ong MM-A. Orthodontic-surgical management of an impacted dilacerated maxillary central incisor: a clinical case report. *Pediatric dentistry*. 2004;26(4):341-4.
72. Vermette ME, Kokich VG, Kennedy DB. Uncovering labially impacted teeth: apically positioned flap and closed-eruption techniques. *The Angle Orthodontist*. 1995;65(1):23-32.
73. Vanarsdall RL, Corn H. Soft-tissue management of labially positioned unerupted teeth. *American journal of orthodontics*. 1977;72(1):53-64.
74. Boyd R. Clinical assessment of injuries in orthodontic movement of impacted teeth: II. Surgical recommendations. *American journal of orthodontics*. 1984;86(5):407-18.
75. Kokich VG, editor *Preorthodontic uncovering and autonomous eruption of palatally impacted maxillary canines*. *Seminars in orthodontics*; 2010: Elsevier.
76. Becker A, Shpack N, Shteyer A. Attachment bonding to impacted teeth at the time of surgical exposure. *The European Journal of Orthodontics*. 1996;18(1):457-63.
77. Kohavi D, Becker A, Zilberman Y. Surgical exposure, orthodontic movement, and final tooth position as factors in periodontal breakdown of treated palatally impacted canines. *American journal of orthodontics*. 1984;85(1):72-7.
78. Faber J, Berto PM, Quaresma M. Rapid prototyping as a tool for diagnosis and treatment planning for maxillary canine impaction. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2006;129(4):583-9.
79. Yordanova M, Yordanova S, Vladimirov B. SURGICAL UNCOVERING AND STIMULATION OF PHYSIOLOGICAL ERUPTION OF PALATALLY IMPACTED

MAXILLARY CANINES&58; Case reports. Journal of IMAB: Annual Proceeding (Scientific Papers). 2011;17(2):114-9.

80. Becker A, Zilberman Y. A combined fixed-removable approach to the treatment of impacted maxillary canines. Journal of clinical orthodontics: JCO. 1975;9(3):162.

81. KAMAK G, KAMAK H. Multidisipliner Yaklaşım ile Tedavi Edilmiş Çok Sayıda Gömülü Diş. Türkiye Klinikleri Dishekimliği Bilimleri Dergisi. 2014;20(3).

82. Oz AZ, Akcan CA, El H, Ciger S. Evaluation of the soft tissue treatment simulation module of a computerized cephalometric program. European journal of dentistry. 2014;8(2):229.

83. Bowman S, Carano A. The Kilroy spring for impacted teeth. Journal of Clinical Orthodontics. 2003;37(12):683-8.

84. Bicakci A, Gocturk C, Mertoglu S. Kilroy spring kullanılarak gömülü üst kanin sürdürülmesi. Cumhuriyet Dental Journal. 2013;16(4):319-26.

85. Kalra V. The K-9 spring for alignment of impacted canines. Journal of clinical orthodontics: JCO. 2000;34(10):606.

86. Aksu M, Tülin T. The Treatment of a Palatally Impacted Maxillary Canine by Tunnel Traction Method. Hacettepe Dişhekimliği Fakültesi Dergisi. 2006;30(2):48-58.

87. M. OMB. Gömülü Kaninlerin Ortodontik Tedavisi. Türk Ortodonti Dergisi. 2005;2005;18(18):163-73.

88. Li LC, Wong RW, King NM. Orthodontic traction of impacted canine using magnet: a case report. Cases journal. 2008;1(1):382.

89. Holzapfel GA, Ogden RW. Mechanics of biological tissue: Springer Science & Business Media; 2006.

90. Ulusoy M, Aydın K. Bölümlü protezler: Ankara Üniversitesi; 1988.

91. Caputo AA, Standlee JP. Biomechanics in clinical dentistry: Quintessence Publishing (IL); 1987.
92. Akın C. Farklı marjinal bitim tiplerinin seramik kronların kenar sızıntısına etkisi: Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2014.
93. Unvanlar A, Lisans YY, Tezleri D. i i dönemi.
94. Eskitaşçıoğlu G, Elemanlar YBDHS. Stres Analiz Yöntemi. AÜ Diş Hek Fak Derg. 1995;22:201-5.
95. Kydd WL, Daly CH. The biologic and mechanical effects of stress on oral mucosa. The Journal of prosthetic dentistry. 1982;47(3):317-29.
96. Provatidis C, Georgiopoulos B, Kotinas Aa, McDonald J. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo/in vitro and finite element studies. The European Journal of Orthodontics. 2008;30(5):437-48.
97. Ledley RS, Huang HK. Linear model of tooth displacement by applied forces. Journal of dental research. 1968;47(3):427-32.
98. Davidian EJ. Use of a computer model to study the force distribution on the root of the maxillary central incisor. American journal of orthodontics. 1971;59(6):581-8.
99. Thresher RW, Saito GE. The stress analysis of human teeth. Journal of biomechanics. 1973;6(5):443-9.
100. Cattaneo P, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. Journal of dental research. 2005;84(5):428-33.
101. Fennis WM, Kuijs RH, Kreulen CM, Verdonshot N, Creugers NH. Fatigue resistance of teeth restored with cuspal-coverage composite restorations. International Journal of Prosthodontics. 2004;17(3):313-7.

102. Bourauel C, Freudenreich D, Vollmer D, Kobe D, Drescher D, Jäger A. Simulation of orthodontic tooth movements. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1999;60(2):136-51.
103. Provatidis CG. A comparative FEM-study of tooth mobility using isotropic and anisotropic models of the periodontal ligament. *Medical engineering & physics*. 2000;22(5):359-70.
104. Field C, Ichim I, Swain MV, Chan E, Darendeliler MA, Li W, et al. Mechanical responses to orthodontic loading: a 3-dimensional finite element multi-tooth model. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(2):174-81.
105. Holberg C, Holberg N, Schwenzer K, Wichelhaus A, Rudzki-Janson I. Biomechanical analysis of maxillary expansion in CLP patients. *The Angle orthodontist*. 2007;77(2):280-7.
106. Gracco A, Cirignaco A, Cozzani M, Boccaccio A, Pappalettere C, Vitale G. Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage. *The European Journal of Orthodontics*. 2008;31(1):12-20.
107. Mackerle J. Finite-element modelling of non-destructive material evaluation, an addendum: a bibliography (1997–2003). *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 2004;12(5):799.
108. Geng J-P, Tan KB, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;85(6):585-98.
109. Tosun Y. Sabit ortodontik apareylerin biyomekanik prensipleri. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi. 1999:6-7.
110. Asaro R, Lubarda V. *Mechanics of solids and materials*: Cambridge University Press; 2006.

111. O'Brien WJ. Dental materials and their selection: Quintessence Publ. Chicago; 1997.
112. Kutz M. Mechanical Engineers' Handbook, Volume 1: Materials and Engineering Mechanics: John Wiley & Sons; 2015.
113. Shigley JE, Mischke CR, San Juan MMND, Toronto SST. Machine Design. 1996.
114. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: a finite element study. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2003;123(4):367-73.
115. Ülgen M. Ortodontik tedavi prensipleri: İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi; 1993.
116. Marghitsu DB. Mechanical engineer's handbook: Academic Press; 2001.
117. Toms SR, Dakin GJ, Lemons JE, Eberhardt AW. Quasi-linear viscoelastic behavior of the human periodontal ligament. Journal of biomechanics. 2002;35(10):1411-5.
118. Shaw A, Sameshima G, Vu H. Mechanical stress generated by orthodontic forces on apical root cementum: a finite element model. Orthodontics & craniofacial research. 2004;7(2):98-107.
119. Jeon PD, Turley PK, Ting K. Three-dimensional finite element analysis of stress in the periodontal ligament of the maxillary first molar with simulated bone loss. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2001;119(5):498-504.
120. Kusnoto B, Evans CA. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2002;122(4):342-8.

121. İLGÜN A, KORKMAZ HH, MALKOÇ S, BAŞÇİFTÇİ FA. İNSAN MANDİBULASINDA SONLU ELEMANLAR METODU KULLANILARAK GERİLME ANALİZİ YAPILMASI. 2004.
122. Ulusoy Ç, Darendeliler N. Çenelik uygulamasının mandibula üzerinde oluşturduğu gerilmenin üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. *Acta Odontologica Turcica*. 2008;25(2):25.
123. Owen DRJ, Hinton E. A simple guide to finite elements: Pineridge Press Limited; 1980.
124. Lang LA, Wang R-F, Kang B, White SN. Validation of finite element analysis in dental ceramics research. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;86(6):650-4.
125. Cheung YK, Yeo MF. A practical introduction to finite element analysis: Pitman; 1979.
126. Nicholson DW. Finite element analysis: Thermomechanics of solids: CRC press; 2008.
127. Tanne K, Sakuda M. Biomechanical and clinical changes of the craniofacial complex from orthopedic maxillary protraction. *The Angle orthodontist*. 1991;61(2):145-52.
128. Thilander B, Jakobsson S. Local factors in impaction of maxillary canines. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1968;26(1-2):145-68.
129. Ericson S, Kurol J. Incisor resorption caused by maxillary cuspids: a radiographic study. *The Angle Orthodontist*. 1987;57(4):332-46.
130. Stewart JA, Heo G, Glover KE, Williamson PC, Lam EW, Major PW. Factors that relate to treatment duration for patients with palatally impacted maxillary canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;119(3):216-25.

131. Vlaskalic V, Boyd RL, Baumrind S, editors. Etiology and sequelae of root resorption. Seminars in orthodontics; 1998: Elsevier.
132. Boyd R. Clinical assessment of injuries in orthodontic movement of impacted teeth: I. Methods of attachment. American journal of orthodontics. 1982;82(6):478-86.
133. Wisth P, Norderval K, Bøe O. Comparison of two surgical methods in combined surgical-orthodontic correction of impacted maxillary canines. Acta Odontologica Scandinavica. 1976;34(1):53-7.
134. Crescini A, Clauser C, Giorgetti R, Cortellini P, Prato GP. Tunnel traction of infraosseous impacted maxillary canines. A three-year periodontal follow-up. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1994;105(1):61-72.
135. Woloshyn H, Årtun J, Kennedy DB, Joondeph DR. Pulpal and periodontal reactions to orthodontic alignment of palatally impacted canines. The Angle orthodontist. 1994;64(4):257-64.
136. Heaney T, Atherton J. Periodontal problems associated with the surgical exposure of unerupted teeth. British journal of orthodontics. 1976;3(2):79-85.
137. Ramanathan C, Hofman Z. Root resorption in relation to orthodontic tooth movement. ACTA MEDICA-HRADEC KRALOVE-. 2006;49(2):91.
138. Power SM, Short MB. An investigation into the response of palatally displaced canines to the removal of deciduous canines and an assessment of factors contributing to favourable eruption. British Journal of Orthodontics. 1993;20(3):215-23.
139. Becker A, Chaushu S. Success rate and duration of orthodontic treatment for adult patients with palatally impacted maxillary canines. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2003;124(5):509-14.
140. Manfredini D, Lombardo L, Siciliani G. Temporomandibular disorders and dental occlusion. A systematic review of association studies: end of an era? Journal of Oral Rehabilitation. 2017.

141. Zasciurinskiene E, Bjerklin K, Smailiene D, Sidlauskas A, Puisys A. Initial vertical and horizontal position of palatally impacted maxillary canine and effect on periodontal status following surgical-orthodontic treatment. *The Angle orthodontist*. 2008;78(2):275-80.
142. Crescini A. *Trattamento chirurgico-ortodontico dei canini inclusi*: Martina; 1998.
143. Baccetti T. A controlled study of associated dental anomalies. *The Angle orthodontist*. 1998;68(3):267-74.
144. Petrovska J, Zuzelova M, Jusufi G, Kanurkova L. Diagnostic opportunities of orthopantomography (OPG) in localization of impacted maxillary canines. *Apolonia*. 2016.
145. Halicioglu K, Kiki A, Yavuz İ, Baydas B. Palatinale gömülü maksiller kanin dişlerin sabit ve hareketli apareyler ile sürdürülmesi: olgu sunumu. *Cumhuriyet Dental Journal*. 2011;14(2):125-32.
146. Park H-S, Kwon O-W, Sung J-H. Micro-implant anchorage for forced eruption of impacted canines. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2004;38:297-302.
147. Jacoby H. The “ballista spring” system for impacted teeth. *American journal of orthodontics*. 1979;75(2):143-51.
148. HOWARD RS, NIKOLAI RJ. On the relaxation of orthodontic elastic threads. *The Angle Orthodontist*. 1979;49(3):167-72.
149. Zablocki HL, McNamara JA, Franchi L, Baccetti T. Effect of the transpalatal arch during extraction treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;133(6):852-60.
150. Andreasen GF, Quevedo FR. Evaluation of friction forces in the 0· 022× 0· 028 edgewise bracket in vitro. *Journal of biomechanics*. 1970;3(2):151IN1153-152IN3160.



151. Rock W, Wilson H. The effect of bracket type and ligation method upon forces exerted by orthodontic archwires. *British journal of orthodontics*. 1989;16(3):213-7.
152. Kusy RP. Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. *The Angle Orthodontist*. 2000;70(5):366-76.
153. Burstone C, Tanne K. Biomechanical basis of tooth movement. *Nihon Kyōsei Shika Gakkai zasshi= The journal of Japan Orthodontic Society*. 1986;45(4):541.
154. Yadav S, Chen J, Upadhyay M, Jiang F, Roberts WE. Comparison of the force systems of 3 appliances on palatally impacted canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;139(2):206-13.
155. Kocsis A, Seres L. Orthodontic screws to extrude impacted maxillary canines. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2012;73(1):19-27.
156. Datana S, Londhe S, Kumar P, Mathur V. Orthodontic Guidance of an Impacted Maxillary Canine: A Review. *Journal of Oral Health & Community Dentistry*. 2014;8(2).
157. Güngör MA DM, Artunç C. Dişhekimliğinde Gerilme Analiz Yöntemleri. *EÜ Dişhek Fak Derg* 2005;26(107):116.
158. Asundi A, Kishen A. A strain gauge and photoelastic analysis of in vivo strain and in vitro stress distribution in human dental supporting structures. *Archives of oral biology*. 2000;45(7):543-50.
159. Clifford PM, Orr JF, Burden DJ. The effects of increasing the reverse curve of Spee in a lower archwire examined using a dynamic photo-elastic gelatine model. *The European Journal of Orthodontics*. 1999;21(3):213-22.
160. Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987;92(6):499-505.

161. Andersen KL, Pedersen EH, Melsen B. Material parameters and stress profiles within the periodontal ligament. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1991;99(5):427-40.
162. Mahler D, Peyton F. Photoelasticity as a research technique for analyzing stresses in dental structures. *Journal of Dental Research*. 1955;34(6):831-8.
163. Miyakawa O, Shiokawa N, Matsuura T, Hanada K. A new method for finite element simulation of orthodontic appliance-teeth-periodontium-alveolus system. *Journal of biomechanics*. 1985;18(4):277-84.
164. Shu-mei J, Yuan W, Xu-sheng R, Li-na Z, Jun Z. The establishment of three dimensional finite element model of a maxillary impacted canine and its support tissues. *Shanghai Journal of Stomatology*. 2010;19(1).
165. sobotta. *Sobotta Atlas of Human Anatomy*. beta yayınları. 2016.
166. Melot C, Boursier Y, Aujol J-F, Anthoine S. Some proximal methods for Poisson intensity CBCT and PET. *Inverse problems and Imaging*. 2012;6(4):p. 565-98.
167. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Skeletal response to maxillary protraction with and without maxillary expansion: a finite element study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(6):723-8.
168. Tanne K, Hiraga J, Kakiuchi K, Yamagata Y, Sakuda M. Biomechanical effect of anteriorly directed extraoral forces on the craniofacial complex: a study using the finite element method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989;95(3):200-7.
169. Katada H, Katada H, Isshiki Y. Changes in orthodontic cephalometric reference points on application of orthopedic force to jaw: three-dimensional finite element analysis. *The Bulletin of Tokyo Dental College*. 2005;46(3):59-65.

170. Yu HS, Baik HS, Sung SJ, Kim KD, Cho YS. Three-dimensional finite-element analysis of maxillary protraction with and without rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*. 2007;29(2):118-25.
171. Tanne K, Tanaka E, Sakuda M. Stress distribution in the temporomandibular joint produced by orthopedic chincup forces applied in varying directions: a three-dimensional analytic approach with the finite element method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1996;110(5):502-7.
172. Panigrahi P, Vineeth V. Biomechanical effects of fixed functional appliance on craniofacial structures. *The Angle orthodontist*. 2009;79(4):668-75.
173. Al - Sukhun J, Kelleway J, Helenius M. Development of a three - dimensional finite element model of a human mandible containing endosseous dental implants. I. Mathematical validation and experimental verification. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2007;80(1):234-46.
174. Welsch G, Boyer R, Collings E. *Materials properties handbook: titanium alloys*: ASM international; 1993.
175. Liang W, Rong Q, Lin J, Xu B. Torque control of the maxillary incisors in lingual and labial orthodontics: a 3-dimensional finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(3):316-22.
176. Choi D-S, Cha B-K, Jang I, Kang K-H, Kim S-C. Three-dimensional finite element analysis of occlusal stress distribution in the human skull with premolar extraction. *The Angle Orthodontist*. 2012;83(2):204-11.
177. Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *The Angle Orthodontist*. 1994;64(3):175-88.
178. Spuntarelli M, Cecchetti F, Arcuri L, Testi D, Melone P, Bigelli E, et al. combined orthodontic-surgical approach in the treatment of impacted maxillary canines: three clinical cases. *ORAL & implantology*. 2015;8(2-3):63.

179. SILVA ACd, Capistrano A, ALMEIDA-PEDRIN RRd, Cardoso MdA, CONTI ACdCF, Capelozza Filho L. Root length and alveolar bone level of impacted canines and adjacent teeth after orthodontic traction: a long-term evaluation. *Journal of Applied Oral Science*. 2017;25(1):75-81.
180. Shastri D, Nagar A, Tandon P. Alignment of palatally impacted canine with open window technique and modified K-9 spring. *Contemporary clinical dentistry*. 2014;5(2):272.
181. Nakandakari C, Gonçalves JR, Cassano DS, Raveli TB, Bianchi J, Raveli DB. Orthodontic traction of impacted canine using cantilever. *Case reports in dentistry*. 2016;2016.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Ali Furkan Karakoyunlu

**Ünvanı:** Araş.Gör.Dt.

### **Öğrenim Durumu:**

	<b>Mezun Olduğu Kurumun Adı</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
<b>Lise</b>	Gaziantep Vehbi Dinçerler Fen Lisesi	2006
<b>Lisans</b>	Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2012

**Yabancı Dil:** İngilizce

### **Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler:**

Türk Diş Hekimleri Birliği

Türk Ortodonti Derneği

### **Katıldığı Panel/Konferans/Sempozyum/Kurs**

3-4 Nisan 2014 - Diş Hekimliği'nde Karşılaşılabilecek Acil Durumlar Sempozyumu

18 Eylül 2014 – Myofonksiyonel Ortodonti Semineri

12-13 Kasım 2014 – İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi

20 Kasım 2014 - Temporomandibular Eklem Sempozyumu

25-26 Mayıs 2015 – Interarch Treatment Mechanics (Part I) Class II Treatment

20-21 Ekim 2015 – Damon System kursu

02-04 Kasım 2015 – 14.Uluslararası Türk Ortodonti Derneği Sempozyumu

4 Kasım 2015 – Ortognatik Cerrahi ve Yüz Estetiği kursu

1-5 Ekim 2016 – 15.Türk Ortodonti Derneği Kongresi

5 Ekim 2016 – Ortognatik Cerrahi kursu

### **Bildiri/Sunum**

Treatment of Baby with Piere Robin Syndrome Using Modified Nutrition Plate: A Case Report-Poster (20 th Congress of The Bass – 23-26 Nisan 2015- Romania)

İskeletsel Sınıf III Anomaliye Sahip Bir Vakada Ortopedik Tedavi Yaklaşımı (14. TOD Sempozyumu – 2-4 Kasım 2015 – Eskişehir)

İskeletsel Sınıf III Malokluzyona Sahip Bir Hastada Y Plate Kullanımının Etkinliği: Olgu Sunumu (14. TOD Sempozyumu – 2-4 Kasım 2015 – Eskişehir)

İskeletsel Sınıf III Malokluzyona ve Dik Yön Büyümesine Sahip Bir Olguda RME ve Nanda Tipi Yüz Maskesinin Etkinliği: Vaka Raporu (14. TOD Sempozyumu – 2-4 Kasım 2015 – Eskişehir)