



115947

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
AĞIZ DIŞ ÇENE HASTALIKLARI VE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

**FARKLI KONUMLARDA YERLEŞTİRİLEN DİSTRAKTÖRLERİN
AKTİVE EDİLDİKLERİNDE OLUŞTURDUKLARI STRESLERİN
SONLU ELEMANLAR STRES ANALİZİ YÖNTEMİ (FEM) İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hasan KÜÇÜKKOLBAŞI

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ
115047**

Danışman
Doç. Dr. M. Necip MUTLU

KONYA - 2002

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
AĞIZ DIŞ ÇENE HASTALIKLARI VE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

FARKLI KONUMLARDA YERLEŞTİRİLEN DİSTRAKTÖRLERİN AKTİVE
EDİLDİKLERİNDE OLUŞTURDUKLARI STRESLERİN SONLU ELEMANLAR
STRES ANALİZİ YÖNTEMİ (FEM) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ

Hasan KÜÇÜKKOLBAŞI

Prof.Dr.Derviş YILMAZ

Prof.Dr.Adnan ÖZTÜRK

Prof.Dr.Gürcan ESKİTAŞCIOĞLU

Doç.Dr. M.Necip MUTLU

Yrd.Doç.Dr. Ercan DURMUŞ

Yrd.Doç.Dr. Hanife ATAÖĞLU

İÇİNDEKİLER

1-GİRİŞ	1
2-LİTERATÜR BİLGİ	3
2.1.Kraniyofosiyal Osteotomiler.....	4
2.2.İskeletsel Fiksasyon.....	5
2.3.Mandibular Distraksiyon.....	5
2.3.1.Mandibular Distraksiyon Uygulamaları.....	6
2.3.1.1.Aygıtlar ve Teknikler.....	6
2.3.1.1.A.Ekstraoral Distraktörler.....	7
2.3.1.1.B.İntraoral Distraktörler.....	8
2.3.2.Kemik Transferi.....	9
2.4.Alveoler Distraksiyon.....	11
2.5.Distraksiyon Osteogenezisin Başarısını Etkileyen Faktörler.....	12
2.5.1.Biyolojik Faktörler.....	12
2.5.2.Biyomekanik Faktörler.....	12
2.6.Distraksiyon Rejenerasyonu.....	12
2.7.Distraksiyon Parametreleri.....	15
2.8.Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi ile Yapılan Araştırmaların Tarihçesi.....	18
2.9.Sonlu Elemanlar Stres Analiz Metodu ve Elastisite İle İlgili Bazı Terim ve Kavramlar.....	22
2.9.1.Dış Kuvvet.....	22
2.9.2.Gerilme.....	23
2.9.3.Şekil Değiştirme.....	23
2.9.4.Deformasyon.....	23
2.9.5.Hooke Kanunu.....	24
2.9.6.Elastisite Modülü.....	24
2.9.7.Poisson Oranı.....	24
2.9.8.Kayma (Shear) Modulus.....	25

2.10.Stress Analiz Yöntemleri ve Sonlu Elemanlar İle Analiz	25
2.11.Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri	27
2.11.1.Sürekli Ortamın Ayrışık Parçalara Bölünmesi.....	28
2.11.2.Eleman Özelliklerinin Tayini	31
2.11.3.Eleman Özelliklerinin Toplanarak Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi	31
2.11.4.Denklemelerin Çözümleri	32
2.11.5.Eleman Biçiminin Seçimi	32
3-MATERYAL VE METOD	34
3.1.İncelenen Mandibula'nın 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması.....	35
4-BULGULAR.....	39
4.1.Angulus Bölgesi.....	39
4.1.1.Angulus bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	39
4.1.2.Angulus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	40
4.1.3.Angulus bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	40
4.2.Ramus Bölgesi	41
4.2.1.Ramus bölgesinde anterior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	41
4.2.3.Ramus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	42
4.2.4.Ramus bölgesinde posterior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	43
4.3.Korpus Bölgesi.....	43
4.3.1.Korpus bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	43
4.3.2.Korpus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	44
4.3.3.Korpus bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	45

4.4.Simfiz Bölgesi.....	45
4.4.1.Simfiz bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	45
4.4.2.Simfiz bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular	46
5-TARTIŞMA ve SONUÇ.....	75
5.1.Angulus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi.....	79
5.2.Ramus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi.....	80
5.3.Korpus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi.....	81
5.4.Simfiz bölgesine iki farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi.....	82
6-ÖZET	83
7-SUMMARY	84
8- LİTERATÜR LİSTESİ.....	85
9- ÖZGEÇMİŞ	104
10-TEŞEKKÜR.....	105

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir malzeme için gerilme-birim deformasyon grafiği.....	24
Şekil 2.2. Bir yönlü gerilme durumu	25
Şekil 2.3. Sonlu elemanlar metodunda eleman türleri	29
Şekil 2.4. a) Üç sonlu elemana ayrılmış bir boyutlu bir cisim b) İki boyutlu bir cisim c) Üç boyutlu bir cismin sonlu elemanlara ayrılması	30
Şekil 2.5. İki sonlu elemanın düğümlerle birbirine bağlanması.....	30
Şekil 2.6. Üçgen ve dikdörtgen elemanlara bölünmüş bir düzlemsel şekil	33
Şekil 3.1. Model oluşturmak için kullanılan CT görüntüleri	35
Şekil 3.2. Mandibulanın CT kesitinden şablonunun elde edilmesi.....	36
Şekil 3.3. 1 mm aralıklarla geometrik şeklin elde edilmesi.....	36
Şekil 3.4. Geometrik şeklin Shell elemanlarla örülmüş hali.....	37
Şekil 3.5. Geometrik şeklin CT görüntüsü ile eşleştirilmesi	37
Şekil 3.6. Kesim düzleminde deplasmanın elde edilmesi.....	38

RESİM LİSTESİ

Resim 4.1. Angulus bölgesi; kesitin 10 mm aktive edilmiş hali	47
Resim 4.2. Angulus, superior bölge yüksek seviye gerilmeler	47
Resim 4.3. Angulus, superior bölge orta seviye gerilmeler.....	48
Resim 4.4. Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler	48
Resim 4.5. Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	49
Resim 4.6. Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)	49
Resim 4.7. Angulus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler	50
Resim 4.8. Angulus, orta bölge orta seviye gerilmeler	50
Resim 4.9. Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler.....	51
Resim 4.10. Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	51
Resim 4.11. Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)	52
Resim 4.12. Angulus, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler.....	52
Resim 4.13. Angulus, inferior bölge orta seviye gerilmeler.....	53
Resim 4.14. Angulus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler	53
Resim 4.15. Angulus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	54
Resim 4.16. Angulus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf).....	54
Resim 4.17. Ramus bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali.....	55
Resim 4.18. Ramus, anterior bölge yüksek seviye gerilmeler.....	55
Resim 4.19. Ramus, anterior bölge orta seviye gerilmeler.....	56
Resim 4.20. Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler	56
Resim 4.21. Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	57
Resim 4.22. Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf).....	57
Resim 4.23. Ramus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler.....	58
Resim 4.24. Ramus, orta bölge orta seviye gerilmeler.....	58
Resim 4.25. Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler.....	59
Resim 4.26. Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)	59
Resim 4.27. Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf).....	60
Resim 4.28. Ramus, posterior bölge yüksek seviye gerilmeler.....	60

Resim 4.29. Ramus, posterior bölge orta seviye gerilmeler	61
Resim 4.30. Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler.....	61
Resim 4.31. Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)	62
Resim 4.32. Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf).....	62
Resim 4.33. Korpus bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali	63
Resim 4.34. Korpus, superior bölge yüksek seviye gerilmeler	63
Resim 4.35. Korpus, superior bölge orta seviye gerilmeler	64
Resim 4.36. Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler.....	64
Resim 4.37. Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	65
Resim 4.38. Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)	65
Resim 4.39. Korpus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler	66
Resim 4.40. Korpus, orta bölge orta seviye gerilmeler	66
Resim 4.41. Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler.....	67
Resim 4.42. Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	67
Resim 4.43. Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)	68
Resim 4.44. Korpus, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler	68
Resim 4.45. Korpus, inferior bölge orta seviye gerilmeler	69
Resim 4.46. Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler.....	69
Resim 4.47. Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey).....	70
Resim 4.48. Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)	70
Resim 4.49. Simfiz bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali	71
Resim 4.50. Simfiz, superior bölge yüksek seviye gerilmeler	71
Resim 4.51. Simfiz, superior bölge orta seviye gerilmeler	72
Resim 4.52. Simfiz, superior bölge düşük seviye gerilmeler.....	72
Resim 4.53. Simfiz, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler	73
Resim 4.54. Simfiz, inferior bölge orta seviye gerilmeler.....	73
Resim 4.55. Simfiz, inferior bölge düşük seviye gerilmeler	74

1-GİRİŞ

Son yıllarda baş-boyun bölgesinde deformasyonların rekonstrüksiyonuna yönelik hızlı ve önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Ancak fasiyal kemiklere ait rekonstrüksiyon işlemlerinin klinik uygulamaları sınırlı kalmıştır. Bu bölgedeki kemik defektlerinin onarımına yönelik sıklıkla otojen kemik greftleri tercih edilmektedir. Ancak hastanın genellikle hospitalize olarak tedavisinin yapılması ve verici bölge cerrahisi gerektirmesi, kemik greftin sınırlı miktarda elde edilmesi, rezorbe olması ve istenilen ideal konturun sağlanamaması gibi dezavantajları vardır.

Bütün olumsuz durumları ortadan kaldırmak için arayışa girilmiş ve alloplastik materyaller geliştirilmiştir. Biyomateryallerin kullanımı ile yeterli oranda augmentasyon sağlanabilmesine karşın, büyük defektlerin rekonstrüksiyonu için sınırlı kalmıştır.

Distraksiyon osteogenezis kemik segmentlerin ayrılması ile kademeli olarak yeni kemik formasyonunun elde edildiği bir tekniktir. İlk olarak uzun kemiklere ait deformitelerin tedavisinde kullanılmalarına rağmen, günümüzde kraniyofasiyal bölgede de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle mandibular deformitelerin tedavisinde önceki metodların dezavantajlarına göre, distraksiyon osteogenezisin önemli avantajlara sahip olması, kraniyofasiyal cerrahide uygulanmasını yaygın hale getirmiştir.

Bu teknikle, kemik greftlemeye ihtiyaç olmaksızın yeni kemik formasyonu elde edilebilirken yumuşak dokularda da (kas, damar-sinir paketi) aynı şekilde gelişim görülmektedir. Distraksiyon osteogenezis ile travma yada tümör rezeksiyonu sonrası oluşmuş geniş defektlerin rekonstrüksiyonunda mükemmel estetik ve fonksiyonel sonuçlar elde edilirken, olası komplikasyon riskleri de en aza indirgenmektedir. Bunun yanında, geçmişte tedavileri sınırlı kalan özellikle büyüme gelişim döneminde olan çocuk hastalardaki konjenital yada iskeletsel anomalilerin, distraksiyon osteogenezis ile tedavileri mümkün olmuştur. Ayrıca distraksiyon osteogenezis, konvansiyonel ortognatik cerrahi işlemlere de alternatif bir metod olmuştur.

Çene yüz bölgesine ait deformitelerin düzeltilmesinde, gittikçe tercih edilen tedavi seçeneği olan distraksiyon osteogenezisde, istenilen sonuçların elde edilmesi bazı faktörlere bağlıdır. Yaklaşık on yıldan fazla süredir klinik uygulaması yapılmakta olan

distraksiyon osteogenezis, yeni bir tedavi seçeneği olup, daha yaygın kullanımı için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Vücutun diğer bölgelerine göre daha kompleks bir yapıda olan çene-yüz bölgesine distraksiyon osteogenezis uygulama öncesi, çok iyi tedavi planlaması yapılması gerekmektedir. Çünkü tedavi sırasında distraksiyon sahasındaki oluşacak olan yeni kemik formasyonu ve çevre bölgelerin yanında, yansıyan kuvvetler sonucu, temporomandibular eklem gibi önemli anatomik oluşumların da etkilenmesi kaçınılmazdır. Yerleştirilecek olan aygıtın aktivasyonu ile, mandibulada oluşacak streslerin dağılımı, biyolojik tolerans sınırları içinde olmalıdır. Çünkü oluşan kuvvetler, distraksiyon hattındaki rejenerasyon dokusunun miktarını ve kalitesini direk olarak etkileyecektir. Mandibulanın biyomekaniği gözönüne alındığında distraktörün yerleştirilmesi gereken uygun konumu ile ilgili çalışmalar henüz sınırlı sayıdadır.

Bu alışma; distraksiyon osteogenezisde daha iyi sonuç elde edilebilmesi için, distraktörlerin konumu ve vektörü, daha iyi bir kemik rejenerasyonu ve preoperatif-postoperatif oluşabilecek komplikasyonların minimuma indirgenmesi için planlandı.

2-LİTERATÜR BİLGİ

Distraksiyon osteogenezis, kemik segmentlerinin yüzeyleri arasını kademeli olarak arttırarak yeni kemik formasyonunun elde edildiği bir yöntemdir. Olay kemik segmentlerinin ikiye ayrılması için uygulanan distraksiyon kuvvetleri ile başlar ve bu yapıların uzatılabildiği yere kadar hareket devam eder. Çekme işlemi ile oluşan, kuvvetler distraksiyon vektörüne paralel olacak şekilde yeni kemik oluşumunu stimüle eder (Samchukov 1998a, 1998b).

Distraksiyon osteogenezisde önemli bir nokta, bu işlem sırasında etraftaki yumuşak dokularda da değişimlerin olmasıdır. Hem yumuşak hem de sert dokudaki bu değişimler distraksiyon histogenezisi olarak tanımlanır. Kademeli distraksiyon esnasında oluşan gerilme stresleri sonucu dişeti, deri, fasya, kas, kartilaj, damar-sinir paketlerinde aktif histogenezis meydana gelir. Tüm bu yumuşak dokulardaki değişiklikler geniş iskeletsel hareketlere olanak sağlar (Annino 1994, Labbe 1997).

İskeletsel yetersizliklerin düzeltilmesine yönelik ilk dental uygulamalar 18. yüzyıla dayanmaktadır. 1728'de Fauchard ark teli yardımıyla ekspansiyon gerçekleştirdiğini (Steiner 1933), 1859'da Wescott transversal yönde kuvvet uygulayarak maksilladaki çapraşıklığı düzelttiğini rapor etmiştir (Wescott 1859).

Bir yıl sonra Angell, benzer bir yöntemle damağa yerleştirdiği vidayı açarak iki hafta sonra santral dişlerin ve maksiller kemiğin orta hattan birbirinden ayrıldığını görmüştür (Angell 1860).

1893'de Goddard maksillanın genişletilmesi için kullandığı aygıtı üç hafta boyunca günde iki kez aktive etmiş ve daha sonra tedaviye konsolidasyon periyodunu da ilave etmiştir (Goddard 1893).

Maksillanın genişletilmesine ilaveten kraniyofasiyal deformiteleri düzeltmek için başka ortodontik tekniklerden yararlanılmıştır. 1866'da Kingsley ilk defa ekstraoral bir aygıt yardımıyla maksiller protrüzyonu, 1892 'de ise retrognatik mandibulayı başarıyla tedavi etmiştir (Weinberger 1918).

2.1.Kraniyofosiyal Osteotomiler

Maksillomandibular anomalilerin düzeltilmesinde ortodontik tedavi başarılı olmasına rağmen, aktif büyüme gelişimini tamamlamış bireylerde bu başarı oranı sınırlıdır. Bu durumda cerrahi uygulama kaçınılmaz olacaktır.

Kraniyofosiyal deformiteyi düzeltmek amacıyla ilk cerrahi işlemi 1848'de Hullihen prognatik bir mandibulaya yapmıştır (Hullihen 1848).

Blair 1907'de bilateral horizontal ramus osteotomiyle mandibular ilerletme yapmıştır (Blair 1907). İki yıl sonra Babcock, mandibular prognatizm için benzer bir osteotomi önermiştir (Babcock 1909).

Limberg'e göre 1918'de Brown ve 1921'de Linderman ve Bruhn vertikal mandibular osteotomiyi uygulamışlardır (Limberg 1925, 1928).

Daha sonra ikiye ayrılmış segmentler arasındaki kontak yüzeyini arttırmak ve yeterli kemik fiksasyonundaki stabiliteyi sağlamak amacıyla farklı mandibular osteotomi teknikleri geliştirilmiştir. Bu amaçla Creyer ve Limberg mandibulanın istenilen miktarda hareketini gerçekleştirmek için C ve L oblik osteotomileri gerçekleştirmişlerdir (Limberg 1925). Diğer yandan Eiselberg ve Pehr Gadd mandibulanın hem genişliğini hem de uzunluğunu arttırmaya yönelik osteotemiler uygulamışlardır (Eiselberg 1906, Limberg 1928).

Ancak bu tip osteotomilerle intraoperatif sinir yaralanmaları, kemik segmentlerinin yetersiz fiksasyonu, kötü kemik iyileşmesi, kısmi yada tam relapslar ve kaslara ait birçok komplikasyonlar rapor edilmiştir (Blair 1907, Babcock 1909, Picherhill 1912).

1937'de Kazanjian korpusa modifiye L osteotomi yaparak, simfize bir tel çengel yerleştirmiş ve distrakte edilecek kemik segmente direk fiksasyonu sağlamıştır. Postoperatif üçüncü günde elastik bandlarla kuvvet uygulamış ve mandibular anterior segmenti distrakte etmeyi başarmıştır. Çene istenilen konuma 17. günde geldikten sonra elastik kuvveti uzaklaştırmış, 11 gün konsolidasyonda tutmuştur. Böylece kemiğin kademeli olarak ilerletilebileceğini göstermiştir (Kazanjian 1941).

Crawford 1948'de simfiz kırığı sonucu mediale yer değiştirmiş olan mandibulayı bir vida yardımıyla orijinal pozisyonuna yeniden getirmiştir (Crawford 1948).

Bu ilk distraksiyon osteogenezis uygulamaları maniplasyon sınırlılığı, yeterli düzeyde distraksiyon sağlanamaması, stabilizasyonun tam olarak elde edilememesi gibi nedenlerden dolayı klinik olarak kullanıma girmemiştir.

Mandibular deformitelerin düzeltilmelerine yönelik Trauner ve Obwegeser sagittal split osteomiye tanımlamışlardır (Trauner, Obwegeser 1957).

2.2.İskeletsel Fiksasyon

1941'de Stader geliştirmiş olduğu mandibular eksternal fiksator uygulamasıyla ilk kez anteroposterior yönde distraksiyon sağlamıştır (Shaar 1942).

Wagner uzun kemiklerde monolateral eksternal fiksator yardımıyla 5 mm kadar bir uzatma yapmıştır (Wagner 1971, 1978).

Daha sonra, İlizarov 1988 yılında uzun kemiklerin distraksiyonunu belli bir protokole oturtmuştur. İlizarov'un geliştirdiği yöntemde; periyost ve endosteumun maksimum düzeyde korunduğu kortikotomiyle kemik ikiye ayrılır ve 5 ile 7 gün latent periyodda beklenir, sonra günde toplam 1 mm kademeli olarak kemik segmentleri hareket ettirilir. Distraksiyon periyodu başlar ve distraksiyon sahasında planlanan miktar kadar aktive edilir. Daha sonra kemik formasyonu tamamlanıncaya kadar beklenir (İlizarov 1988).

2.3.Mandibular Distraksiyon

1973'de Synder ve arkadaşları tek taraflı olarak köpek mandibulasından 15 mm kemik segmentini rezeke etmiş ve eksternal yerleştirdikleri aygıtı 7 günlük latent periyod sonrası, günde 1 mm olacak şekilde aktive ederek 14 gün süreyle segmentleri distrakte etmiş ve defekti düzeltmişlerdir. Ayrıca 6 haftalık konsolidasyon periyodundan sonra distraksiyon sahasının iyileşmesini kontrol etmişlerdir. Bu İlizarov'un daha önce koymuş olduğu prensiplere uygun maksillofasial bölgede uygulanan distraksiyon osteogenezisine temel oluşturacak ilk çalışmadır (Synder 1973).

1977'de Michieli ve Miotti birkaç yıl sonra benzer bir uygulama ile, iki köpek mandibulasına intraoral olarak diş-kemik destekli mandibular bir distraktör

yerleştirmişler, birisinde 5 mm, diğerinde 15 mm'lik bir distraksiyon gerçekleştirmişlerdir. İlk çalışmadan farklı olarak histomorfolojik inceleme yapmışlar ve oluşan yeni kemik formasyonunun doğal kemik yapısı ile benzer olduğunu bulmuşlardır (Michielli, Miotti 1977).

1982'de Panikarovsky deneysel bir çalışma ile ilk kez yeni kemik formasyonunun histomorfolojik evrelerini incelemiştir. Distraksiyon bۆlgesinin merkezinde kollojen fibril ve kapillerden oluşan bir fibröz konnektif doku görmüştür. Yeni oluşan kemiğin, o bۆlgedeki ana kemik ve fibröz konnektif dokudan orjin aldığını bulmuştur. Bۆylece yeni kemiğin, uzun kemiklerdekine benzer mekanizma ile oluştuğu göstermiştir (Panikarovsky 1982).

Karp ve arkadaşları periyostu koruyarak yaptıkları deneysel çalışmada, tek taraflı olarak mandibulayı 20 gۆn sۆreyle gۆnde 1 mm distrakte etmişler ve 8 haftalık bir konsolidasyon periyodu sonrası distraksiyon sahasında histomorfolojik olarak fibröz dokulu santral bۆlge, genişlemiş kemik formasyon bۆlgesi, yeni şekillenmekte olan kemik bۆlgesi, matür kemik bۆlgesi olmak üzere 4 bۆlgeye ayırmışlardır (Karp 1990, 1992).

Tüm bu çalışmalar kraniyofosiyal yapılarda da distraksiyon osteogenezis tekniğinin klinik olarak uygulanabilirliğine temel oluşturmuştur.

2.3.1.Mandibular Distraksiyon Uygulamaları

2.3.1.1.Aygıtlar ve Teknikler

Distraksiyon uygulamaları ağız dışı yada ağız içi aygıtlarla yapılabilir. Ağız dışı uygulamalar fiksasyon klemplerine eksternal olarak bağlanmış perkütanöz pinler vasıtası ile mandibulaya fikse edilirler. Distraksiyon yönüne göre ekstraoral aygıtlar kendi arasında üçe ayrılırlar:

1. Tek yönlü
2. İki yönlü
3. Çok yönlü

Ağız içi uygulamalar oral kavite içinden fikse edilirler. Bunlar da kendi aralarında üçe ayrılırlar;

1. Kemik-Kemik
2. Diş-Diş

3. Diş- Kemik

2.3.1.1.A.Ekstraoral Distraktörler

Ekstraoral distraktörlerin gelişimi küçük kemikleri uzatmak için kullanılan mini ortopedik aygıtlar ile başlamıştır. Klinik uygulamada ilk olarak kullanılan eksternal aygıt Hoffman tarafından geliştirilmiştir. Aygıt mandibulanın anatomisine ve büyüklüğüne göre dizayn edilmiştir.

1992’de ilk kez McCarthy ve arkadaşları, konjenital kraniyofosiyal anomalisi olan 4 çocuğa distraksiyon osteogenezisi yapmışlardır. Ekstraoral bir distraktör kullanarak 7 günlük latent periyod sonrası, günde 1 mm (0,5 mmx2/gün) olacak şekilde 18 ile 24 günde distraksiyon yapmışlar ve 8 ile 10 hafta süreyle konsolidasyon periyodunda tutmuşlardır (McCarthy 1992).

McCarthy’den bir süre sonra Klein 1995’de mandibula hypoplazisi olan 9 hastayı aynı şekilde tedavi etmiştir (Klein 1995).

Daha sonra Bitter ve Klein, Hoffman’ın aygıtına benzer şekilde ekstraoral uygulanabilen tek yönlü mandibular distraktörü geliştirmişlerdir (Bitter 1995).

Perrott ve arkadaşları konjenital deformitesi olan hastalarında yumuşak doku ve mandibuladaki yetersizliği tedavi etmek amacıyla “Synthes Mini Lengthening Apparatus” isimli aygıtı geliştirmişler (Perrott 1993).

Pensler ve arkadaşları uzun kemiklerdeki fraktür redüksiyonu için kullandıkları “Orthofix Modül System” aygıtını, çene kırıklarında, kasların etkisiyle segmentlerin yer değiştirmesini engellemek amacıyla kullanmışlardır (Pensler 1995).

Molina ve Ortiz, McCarthy tarafından geliştirilen metodu daha da basitleştirerek sadece mandibulanın laterale kortikotomi uygulamışlar ve semirijit fiksasyon pinleri ile fikse etmişlerdir (Molina ve Ortiz 1995).

Lucas ve arkadaşları mandibular mikrognatisi olan hastaları benzer şekilde tedavi ettiklerini bildirmişlerdir (Lucas 1997).

Molina ve arkadaşları 1990’da mandibulada ilk kez iki yönlü osteodistraksiyonla fasiyal deformiteleri olan 200 hastaya distraksiyon osteogenezisi uygulamışlardır. Bu hastaların 132’si hemifasiyal mikrosomiyalı, 31’i mikrognatili ve 38 hastanın ise maksiller hipoplazili olduğunu rapor etmişlerdir. 12-30 mm arasında

değişen distraksiyonu 3-4 haftada tamamlamışlar ve 6 ile 8 hafta kadar konsolidasyon periyodunda tutmuşlardır. Tüm hastalarda fasiyal asimetrinin düzeldiği ve estetik sonuçların mükemmel olduğunu rapor etmişlerdir. Böylece hem horizontal, hem de vertikal olarak hareket edebilen eksternal aygıtlar yardımı ile mandibular ramus ve korpusa ait deformateleri olan hastalar tedavi edilebilmiştir (Molina 1996).

Klasik ortognatik cerrahi tekniklerle istenilen düzeyde düzeltilemeyecek mandibular deformatesi olan hastalarda distraksiyon ostogenezi artık kabul edilebilir bir tedavi yöntemi olmaya başlamıştır. Bunda da en büyük gelişim iki yönlü distraksiyon uygulamaları ile kendini göstermiştir (Molina, Ortiz 1995, Molina 1996).

Mandibuladaki deformatelerin bu iki yönlü tedavisi yanında, çok yönlü distraksiyon uygulamaları da geliştirilmiştir. Bu sayede sagittal, vertikal ve koronal planda olmak üzere deformateler tedavi edilebilmiştir (McCarthy 1997, McCarthy 1998).

2.3.1.1.B.İntraoral Distraktörler

İntraoral mandibular distraktörlerin gelişimi iki şekilde olmuştur:

1. Ortodontik ekspansiyon aletlerinin modifikasyonu,
2. Eksternal aygıtların daha küçültülmeleri (Cope 1999a).

1987'de ilk intraoral diş-kemik destekli distraktör Guerrero tarafından mandibular simfiz bölgesine uygulanmış ve transversal yetmezliği olan 11 hastayı tedavi ettiklerini bildirmiştir (Guerrero 1990).

1994'de McCarthy ağız içinden uygulanabilen ve kemik-kemik destekli "Tek yönlü Mandibular Distraktör"ü geliştirmiştir (McCarthy 1994).

Aynı zamanda intraoral uygulanabilen başka bir kemik-kemik destekli mandibular distraktör Wangerin ve Gropp tarafından geliştirilmiştir (Wangerin 1994).

Geliştirilmiş olan bu distraktörlerle intraoral yöntem daha uygulanabilir şekle gelmiştir. En önemli avantajları ise görünmemeleri ve fasiyal skara neden olmamalarıdır (Guerrero 1990, Wangerin 1994).

Fransız cerrahlardan Diner ve Vazquez anatomik lokasyonlara uygun mandibular korpus ve ramusa uygulanabilen iki farklı kemik-kemik destekli intraoral mandibular distraktör geliştirmişlerdir (Diner, Vazquez 1997a, 1997b, 1997c). 1997'de

Kollar, Diner ve Vazquez'in geliştirmiş olduğu bu intraoral distraktörle 16 hastada ortalama 18.1 mm' lik bir distraksiyon elde etmiş ve 2 yıla yakın takip sonucunda ise herhangi bir relapsın olmadığını görmüştür (Kollar 1997).

Guerrero ve Bell mandibulanın her yerine uygulanabilir tarzda "Dynaform Intraoral Distraktör" geliştirmişlerdir. Önceki avantajların yanında, ayrıca intraoperatif adaptasyon kolaylığı ve mandibular sinir hasarının minimal düzeye indirilmesi sayılabilir (Bell, Guerrero 1997).

Cohen orta yüz, kraniyum ve mandibulayı içeren kraniyofasiyal iskelet yapılarına uygulanabilen "Modüler İnternal Distraksiyon Sistemi" geliştirilmiştir. Özellikle bu aygıt, cerraha intraoperatif planlama ve osteotomide rahat çalışma imkanı sağlamıştır (Cohen 1995, 1997). Gropp ve arkadaşları, Cohen'nin geliştirdiği modüler intraoral distraktörle 23 mikrosomiyalı hastayı tedavi etmişlerdir (Gropp 1997).

Benzer şekilde Hoffmeister, mandibular korpusa standart ve istenilen pozisyonda yerleştirilebilen, ramusa ise üç farklı uzunlukta (15 mm, 20 mm ve 25 mm) uygulanabilen iki farklı distraktör geliştirmiştir (Hoffmeister 1998).

Razdolsky diş-kemik destekli ROD-I ve ROD-II aygıtları geliştirmiştir. ROD-I Class I yada Class II maloklüzyonlarda, ROD-II ise şiddetli mandibular yetmezliği olan Class II maloklüzyonlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Razdolsky 1998).

Rachmiel ve arkadaşları intraoral distraksiyon tekniği ile hemifasiyal mikrosomiyalı hastaların tedavisini gerçekleştirmişler ve bu tekniğin avantajları arasında özellikle karışık dentisyondaki çocuklarda güvenle uygulamanın mümkün olduğunu, inferior alveoler sinir hasarı komplikasyonu oranının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir (Rachmiel 2001).

2.3.2.Kemik Transferi

İlk kez İlizarov konjenital, travma, rezeksiyon yada onkolojik nedenlerden dolayı meydana gelmiş olan uzun kemiklerdeki defektlerin rekonstrüksiyonuna yönelik distraksiyon osteogenezis tekniğini uygulayarak üç alt gruba ayırmıştır. Bunlar, monofokal, bifokal ve trifokal' dir. (İlizarov 1988, Annino 1994)

Monofokal osteogenezis tek bir bölgeden yapılan osteogenezisi, bifokal defekte komşu iki farklı bölgeden yapılan osteogenezisi ve trifokal ise proksimal ve

distal kemik segmentlerinden iki trasport diskin defekt ortamına distrakte edilmesi esasına dayanan tekniktir.

Constantino ve arkadaşları bifokal distraksiyon osteogenezis ile 2,5 cm' lik bir defekti günde 1 mm distrakte ederek rekonstrükte ettiklerini rapor etmişlerdir. (Constantino 1990). Daha sonra fonksiyonel, morfolojik ve biyomekanik sonuçlarını incelemişlerdir. Eksternal aygıtın çıkartılmasından sonra 1 yıl içinde mandibular fonksiyonun normal hale döndüğünü, yeni şekillenmiş kemik yapının makroskopik ve histolojik değerlendirmesi sonucu normal kortikal yapıya sahip olduğunu bulmuşlardır. Biyomekanik test sonucu ise distrakte edilen kemiğin %77 oranında gerilme kuvvetine cevap verdiğini görmüşlerdir (Constantino 1993).

Ganey ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada, bifokal distraksiyon osteogenezis sonrası oluşan yeni kemik formasyonunun doğal kemik yapısı ile aynı olduğunu görmüşlerdir (Ganey 1994). Deneysel olarak oluşturulan patolojik kemik defektlerinin rekonstrüksiyonu için yapılan diğer hayvan çalışmalarında da benzer bulgular elde edilmiştir (Kloeth 1995). Gantous daha önce radyoterapi uygulanmış hayvan modelindeki mandibulaya distraksiyon osteogenezisini başarıyla gerçekleştirmiştir (Gantous 1994).

Kemik transferinin ilk klinik uygulamasını 1995'te Constantino ve arkadaşları kanser rezeksiyonu sonrası radyoterapi almış hastaya mandibular defekti düzeltmek amacıyla uygulamışlardır (Constantino 1995).

Bir yıl sonra Block mandibular defekti olan 4 hastada başarıyla distraksiyon osteogenezisi yaptığını bildirmiştir (Block 1996).

Daha sonra Labbe, Fedotov, Sawaki ve Yonehara kemik rezeksiyonu yada travma nedeniyle defektleri olan hastaları distraksiyon osteogenezi ile tedavi etmişlerdir (Fedotov 1997, Labbe 1997, Sawaki 1997, Yonehora 1997).

Basa ve arkadaşları geniş tek taraflı mandibular defekti olan hastalarına bifokal osteogenezis uygulayarak ekstraoral bir distraktör kullanımıyla tedavi etmişlerdir (Basa 2000).

2.4. Alveoler Distraksiyon

Alveoler defektler çeşitli patolojik nedenler sonucu gelişebilir:

1. Gelişimsel anomaliler; damak-dudak yarığı yada konjenital diş eksikliği,
2. Maksillofasiyal travma; çene kemiği ve dişleri içine alan travmalar,
3. Kemik yada diş kaybına neden olabilen periodontal hastalıklar.

Bu tip deformiteler çeşitli cerrahi uygulama teknikleri ile düzeltilebilirler. Bunlar arasında otojen kemik greftlemesi, alloplastik augmentasyon yada yönlendirilmiş doku rejenerasyonu sayılabilir. Ancak bu yöntemlerin çeşitli dezavantajları vardır. Bu tip defektlerin rekonstrüksiyonu için alternatif en uygun yöntem distraksiyon osteogenezisidir (Chin 1997, 1998).

1996'da Chin ve Toth travma nedeniyle alveoler kemikte defekti olan 17 yaşındaki bir hastaya ilk vertikal mandibular distraksiyon osteogenezisini uygulamışlar ve 6 hafta sonra rekonstrükte edilmiş alveol kemiğine implant yerleştirmişlerdir (Chin, Toth 1996).

Block yapmış olduğu deneysel bir çalışmanın sonucunda alveoler distraksiyon osteogenezisi ile yaklaşık 8.85 mm bir vertikal augmentasyon elde etmiş ve histomorfolojik inceleme sonrasında distraksiyonun vertikal yönüne paralel yeni kemik formasyonunun geliştiğini rapor etmiştir (Block 1996).

Benzer olarak Soares tavşanlarda vertikal yönde mandibular segmenti distrakte etmiş ve benzer sonuçları elde ettiğini bildirmiştir (Soares 1997a). Ayrıca Soares atrofik mandibulası olan 12 hastasına alveoler distraksiyon yapmış, toplam 5 ile 10 mm arasında bir alveoler kret yüksekliği elde etmiş ve sonrasında yeni kemiğe implantlar yerleştirerek rekonstrüksiyonu bitirmiştir (Soares 1997b).

Chin ve arkadaşları yaşları 13 ile 65 yaş arasında travma, periodontal hastalık ve konjenital anomali nedeniyle defekti olan toplam 35 hastada alveoler segmenti yaklaşık 8 ile 20 mm kadar distrakte etmişlerdir. Distraksiyon sonrasında dental protez ve implant yerleştirilmesi için gerekli yeterli kemik yüksekliği ve yumuşak doku elde etmişlerdir. Chin alveolar distraksiyonun gelecekteki kullanımının çok daha yaygın olacağını vurgulamıştır (Chin 1998).

Gaggl ve Rainer travmatik diş kaybı nedeniyle alveoler defekti olan kretlerde vertikal alveoler distraksiyonu sağlamak amacıyla kendilerinin geliştirmiş oldukları “SIS Distraksiyon Aygıtı”ını kullanmışlardır (Gaggl, Rainer 1998).

Hidding ve arkadaşları segmental tümör rezeksiyonu yada travma sonrası mandibulasında defekt olan 10 hastaya vertikal distraksiyon osteogenezisi uygulamışlardır (Hidding 1998).

2.5.Distraksiyon Osteogenezisin Başarısını Etkileyen Faktörler

Distraksiyon osteogenezisin başarılı olarak uygulanması biyolojik ve biyomekanik faktörlere bağlıdır.

2.5.1.Biyolojik Faktörler

1. Osteotomi sırasında periyost ve endosteal kan yapılarının maksimum düzeyde korunması,
2. Latent periyot,
3. Distraksiyonun ritmi ve oranı,
4. Yeni kemik formasyonunun gelişimi için gerekli olan konsolidasyon dönemi.

2.5.2.Biyomekanik Faktörler

1. Distraktörle ilişkili faktörler,
2. Doku ile ilişkili faktörler,
3. Distraktörün yeri,
4. Distraksiyonun yönü.

2.6.Distraksiyon Rejenerasyonu

Distraksiyon planlanılan bölgedeki osteotomiyi takiben kallus formasyonu oluşacak ve daha sonra bu yapı mekanik kuvvetler altında yeniden şekillenecektir (Harvey 1988, Giunazarova 1991, Schenk, Hunziker 1994).

Fraktür iyileşmesi 6 safhadan oluşur (Brington 1984, Frost 1989):

1. Etkileşim,
2. İndüksiyon yada başlangıç,
3. Enflamasyon,

4. Yumuşak kallus,
5. Sert kallus,
6. Yeni kemik formasyonunun şekillenmesi.

Etkileşim safhası; ortaya çıkan enerji ile meydana gelen streslerin kemik tarafından absorbe edildiği safhadır.

İndüksiyon safhası; yeniden yapılanmada etkili olan hücrelerin uyarılmasının sağlandığı safhadır.

Enflamasyon safhası; doku devamlılığının bozulmasına bağlı kemik segmentleri arasında hematoma oluşur. Hematom pıhtıya dönüşür ve fraktür segmentlerinin distallerinde kemik nekrozu meydana gelir. Kan desteğinin yeniden sağlanması ile hücresel proliferasyon gerçekleşir (McKibbin 1978, Frost 1989, Schenk, Hunziker 1994, Landry 1996). Bu safha 1 ile 3 gün içinde sonuçlanır. Pıhtı yerini enflamatuvar hücre, fibroblast ve kollajenden meydana gelmiş granülasyon dokusuna bırakır (Brington 1984, Hulth 1989, Andrew 1994).

Yumuşak kallus safhası; enflamasyonu takiben oluşan yumuşak kallus safhası üç hafta sürer. 5. günden sonra proksimal ve distal segmentler boyunca kapiller yapılar, gelişim gösterir (Irianov 1996a, 1996c). Yeni şekillenmiş kapiller yapılar içine osteojenik hücreler yerleşir. Bu safhada granülasyon dokusu fibroblastlarca fibröz dokuya dönüştürülür (Postacchini 1995). Bu da daha sonra fibro-kartilaj granülasyon dokusuna dönüşür ve santral bölgeden periferik gelişim gösterir. Bu fibro-kartilaj doku sert kallus içindeki osteoblastlarca şekillenir ve primer kemik oluşmuş olur (Brighton 1984).

Sert kallus safhası; remodelasyon safhasını takiben birçok fraktürlerde 3 ile 4 ay sonra oluşur. Primer kemik yavaş yavaş lameller kemiğe dönüşür ve medullar kanal yeniden oluşur. Medullar kanalın tamamen şekillenmesiyle remodelasyon safhası tamamlanmış olur (Brighton 1984).

Distraksiyon osteogenezis yumuşak kallusun kademeli olarak çekilmesi (traksiyonu) ile oluşturulur. Yumuşak kallus dokusuna uygulanan gerilme stresi ile bir aktivasyon elde edilir (Delloye 1990, White, Kenwright 1991). Gerilme stresi hücresel seviyelerdeki değişiklikleri stimüle eder ve bu değişikliklere “büyümeyi stimüle edici

etki yada yeniden formasyonu sağlayıcı etki” diye isimlendirilir (Kallio 1994, Holbein 1995, Mosheiff 1996, Asanova 1996).

Gerilme sonucu segmentler arasındaki konnektif doku aktive olur . Bunun sonucunda;

1. Dokuların beslenmesi çok daha iyi olur,
2. Fibroblast proliferasyonu gerçekleşir.

Tüm bu faktörlerin sonucunda yeni doku formasyonu distraksiyon hattına paralel olarak gelişim göstermeye başlar (Aronson 1989b, Aronson 1994, Asanova 1996).

Distraksiyonun 3. ve 7. günleri arasında fibröz doku içinde kapiller damarlanma artar ve böylece oluşan vasküler yapı hem distraksiyon hattının merkezinde hem de kemik segmentlerin medullar kanalları boyunca genişler. Yeni şekillenen kapiller yapılar distraksiyon aksına paralel olacak şekilde gelişim gösterirler (Irianov 1996a, 1996c). Distraksiyon bölgesindeki yeni şekillenen damarlar dairesel (spiral) bir yola ve oldukça hızlı bir büyüme karakterine sahiptirler. Normal fraktür iyileşmesi sırasındaki damarlanmadan tam 10 kat daha hızlı büyüme kabiliyetindedirler. Kapiller yapılar aktif olarak fibröz dokuyu istila ederler ve fibroblastlara, kondroblastlara ve osteoblastlara farklılaşırlar (Irianov 1996b).

Distraksiyonun II. haftasında, primer osteonlar form almaya başlar (Maffuli 1996). Osteoid üreten osteoblastlar, osteoid doku üzerinde oluşurlar ve osteoid yapıların apozisyonu ile yeni kemik formasyonuna dönüşmeye başlarlar (Aronson 1989b). Osteogenezis mevcut kemik duvarlarında başlar ve distraksiyon boşluğunun merkezinden çevreye doğru ilerler. İkinci haftanın sonunda osteoid doku mineralize olmaya başlar (Schenk, Gachter 1994).

Bu dönemde distraksiyon bölgesinin ortası, oldukça zayıf mineralize bir yapıya ve radyografik olarak da radyolüsent bir görüntüye sahiptir (fibröz interzon). Ayrıca bu bölgedeki gerilme streslerinin etkisi maksimumdur (Yasui 1993). Hayli yüksek oranda, organize, uzunlamasına yerleşmiş fibroblast benzeri hücreler bu bölgede paralel olarak konumlanmıştır. Bu fibröz bölgenin periferinde ise uzunlamasına konumlanmış, silindirik primer osteonlar yer alır. (Schenk, Gachter 1994; Irianov 1996b).

Üçüncü olarak yeni şekillenen dokular üzerine distraksiyonun yönünün etkilerini ortaya koymuştur. Yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda distraksiyon boşluğundaki yeniden şekillenmenin çekme uygulanan kuvvetler boyunca gerçekleştiğini bulmuştur.

Bir sonraki deneysel çalışmada ise kemik rejenerasyonu ve formasyonu üzerine distraksiyon oranının ve ritminin ne kadar olacağını araştırmıştır.

Başarılı bir distraksiyon osteogenezisi uygulanan distraksiyon kuvvetinin oranına ve ritmine bağlıdır. Eğer distraksiyon oranı günlük 0,5 mm' den az olursa, kemikte erken dönem konsolidasyon oluşabilir. Eğer bu oran günlük 1 mm'den fazla olursa distraksiyon bölgesinde lokal iskemi sonucu pseudoartroz oluşur. Distraksiyonun optimal oranı günlük 1 mm olmalıdır. İlizarov'a göre distraksiyon sırasındaki bu oran rejenerasyon formasyonu lehinedir ve daha az yumuşak doku problemlerine neden olacağı yönündedir.

En son çalışmasında ise kan desteği ve mekanik yükleme arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Mekanik yüklemenin sonucunda yeterli kan desteğinin olmasının, kemiğin şekil ve hacmine direk etkisinin olduğunu bulmuştur. Hatta yeterli fonksiyonun elde edilebilmesi için sağlanacak olan kan desteğinin mekanik yükleme ile orantılı olması gerektiğini vurgulamıştır (İlizarov 1988).

Al Ruhaimi distraksiyon oranını değerlendirmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmış ve sonucunda günde 1mm ve günde iki kez 0.5 mm' lik aktivasyonlar arasında önemli bir fark olmadığını ancak günde iki kez 1 mm ve bir kez 2 mm yapılan aktivasyonları sonucunda osteogenezisin tam olarak gerçekleşmediğini ve fibröz bir yapının meydana geldiğinin histomorfolojik olarak göstermiş, dolayısıyla distraksiyon oranının günde toplam 1 mm olması gerekliliğini birdirmiştir (Al Ruhaimi 2001).

Cope ve Samchukov basit radyografik teknikler ve dijital subtraksiyon radyografi tekniğini kullanarak distraksiyon osteogenezis sırasında oluşan rejenerasyonu değerlendirmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen dokuları konsolidasyon periyodu sonrası klinik ve radyografik olarak incelemişler ve sonucunda distraksiyon bölgesinde farklı tipte rejenerasyon bulgularını tespit etmişlerdir. Bu bölgelerin tespit edilmesinde ise en ideal radyografik yöntem olarak dijital subtraksiyon radyografik tekniğini önermişlerdir (Cope 2001).

Gerilme vektörü boyunca kemik formasyonu primer osteonlarca gerçekleştirilir. Böylece bu bölgeler distraksiyonun “büyüme merkezi” olarak fonksiyon görür. Bu yeni şekillenmiş dokular distraksiyon periyodunun sonuna kadar kalır (Aronson 1990). Distraksiyon bittikten sonra fibröz bölge (interzone) yavaş yavaş ossifiye olur ve tamamen distraksiyon boşluğu ile bir köprü oluşturur.

Rejenerasyon olgunlaştığında primer zone osteonları azalır ve daha sonra da tamamen rezorbe olurlar. Birinci ay sonunda ilk oluşmaya başlamış kemik yapısı lameller kemikle desteklenir, kortikal kemik ve kavite yeniden restore edilmeye başlanır. Kortikal kemiğin rekonstrüksiyonu ile normal kemik yapısı halini alır (Tajana 1989, Saleh 1993). Tam olarak kemik formasyonunun gerçekleşmesi bir yıl yada daha fazla bir zamanda tamamlanmış olur (Schenk, Gachter 1994).

İlizarov distraksiyon osteogenezisin biyolojik ilkelerini şu şekilde belirtmiştir:

1. Kademeli olarak oluşan stresle canlı dokuların stimülasyonu söz konusudur. Bununla yeni şekillenen kemik formasyonu hızla doğal kemik yapısı halini alır.

2. Kemik yapıların yeniden şekillenmesi mekanik yüklemeye karşı bölgedeki kan desteğinin sağlaması ile olacaktır. Eğer kan desteği yetersiz olur yada mekanik yüklemeye artış söz konusu ise daha sonra oluşacak olan kemik yapı atrofik yada dejeneratif değişikliklere maruz kalacaktır (İlizarov 1989).

2.7.Distraksiyon Parametreleri

İlizarov sadece distraksiyon osteogenezisinin biyolojik ilkelerini açıklamakla kalmamış, aynı zamanda başarılı bir şekilde klinik uygulamanın parametrelerini de ortaya koymuştur.

İlk olarak kemik segmentlerin yeterli fiksasyon stabilitesine sahip olmaları gerektiğini vurgulamıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışmalarda yetersiz fiksasyon sonucu oluşan yeni kemik formasyonunun istenilen düzeyde olmadığını görmüştür.

İkinci olarak osteotomi sırasında osteojenik dokuların (periyostun, damar sinir paketinin ve kemik iliğinin) maksimum düzeyde korunması gerekliliğini bildirmiştir. Yeni kemik formasyonu üzerine tüm bu yapıların korunmasının önemli olduğunu söylemiştir.

Randolph intraoral distraktörün tork kuvvetini belirlemek amacıyla distraksiyon vektörüne paralel yerleştirdikleri aygıtların günde iki kere 0.5 mm çevirmekle elde edilen tork kuvvetinin 4.2 ± 1.6 Newton cm olarak tespit etmişler ve bu değer 35.6 Newton' luk bir kuvvete eşdeğer olduğunu bulmuşlardır. Bu değer üzerinde uygulanacak kuvvetlerin distraksiyon bölgesindeki kemik rejenerasyonunun bozulmasına neden olacağını bildirmişlerdir (Randolph 2001).

Demann ve Haug, yumuşak dokuların ve farklı pozisyonlarda distraktör yerleşiminin distraksiyonun yönü üzerine etkilerini poliüretan bir model üzerinde değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak distraksiyonun yönü üzerine distraktörün pozisyonunun tek başına değil, yumuşak dokularla birlikte etkili olduğunu bildirmişlerdir (Demann 2002).

Distraksiyonun biomekanik parametreleri üç grup altında incelenmektedir:

1. Fiksatorle ilişkili faktörler; kemik segmentin fiksasyonunun stabilitesi ve distraksiyon aletinin mekanik özellikleri ile ilişkilidir. Fiksasyon pinlerinin çapı, uzunluğu ve sayısı, distraktörün stabilitesi, aygıtın materyal özellikleri de bu parametreler arasında sayılabilir.
2. Doku ile ilişkili faktörler; distraksiyon sahasındaki kemik, yumuşak doku ve kas yapılarındaki değişikliklerle ilgilidir.
3. Distraksiyon osteojenezisinin başarısını etkileyen oldukça kritik ve önemli bir diğer biyomekanik parametre de distraktörün konumudur. Distraksiyon yönü de distraktörün yerine göre şekillenecektir (Samchukov 1998c, Cope 1998).

Cope distraktörlerin aktivasyonları ile biyomekanik etkilerini değerlendirmek amacıyla yapmış olduğu deneysel çalışmada, mandibulanın kendisine ve distraksiyon aksına paralel iki farklı konumda distraktör yerleştirmiştir. Distraksiyon aksına paralel yerleştirilmiş distraktörlerde, minimal düzeyde komplikasyonla karşılaşıldığını, buna karşın mandibulanın kendisine paralel yerleştirilmiş distraktörlerin aktivasyonu sonrasında kemikte rezorbsiyonlar, fiksasyon vidalarında kayıpların olduğunu bildirmiştir (Cope 1999b).

Mandibulanın distraksiyonu sırasında oluşan klinik problemlere yönelik bir çok çalışma bildirilmiştir. Bunlar fiksasyon vidalarının kaybını içeren komplikasyonlar (McCarthy 1992, Klein, Howaldt 1996), distraktörün stabilizasyonunun bozulması

(Havlik, Bartlett 1994, Corcoran 1997), kemik segmentlerin orantısız ilerletilmeleri (Perrott 1993), relaps (McCarthy 1992) ve temporomandibular eklem rahatsızlıklarıdır (Molina 1995, Kocabalkan 1995).

Samchukov sagittal planda yapılan distraksiyonun biyomekanik etkilerini değerlendirmiş ve mandibulanın inferioruna ve maksiller oklüzal düzleme paralel olmak üzere iki farklı konumda distraktör yerleştirmiştir. Maksiller düzleme paralel yerleştirilmiş distraktörlerde distal segmentte rotasyon, temporomandibular eklem rahatsızlıkları ve anterior bölgede open-bite ile karşılaşılabileceğini vurgulamıştır (Samchukov 1999).

2.8.Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi ile Yapılan

Araştırmaların Tarihçesi

Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi, çeşitli mühendislik bilimlerinde (makine, inşaat, gemi, jeofizik vb.) yaygın olarak kullanılmış, biyomekanik ile uğraşan araştırmacıların ilgisini çekmiş, tıp ve dişhekimliğinde de bu analiz yöntemiyle pek çok araştırmalar yapılmıştır (Wilson1992).

Dental araştırmalarda sonlu eleman yönteminin kullanıldığı ilk çalışma Noonan'ın gümüş amalgam doldurduğu kavitelerde restorasyon merkezine kuvvet uygulayarak stres dağılımını incelemesi olmuştur. Haskins, Haack ve Ireland (1954), Mahler ve Peyton (1955), Lehman ve Hampson (1962) matematiksel diş modellerini gerçekleştirerek dişhekimliğinde sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. 1967 yılında Craig ve arkadaşları iki boyutlu stres analiz yöntemini kullanarak, inley, kron ve pinli restorasyonlarda stres yoğunluklarını incelemek için bir dizi çalışma yapmışlardır (Farah 1973).

1974 yılında Yang ve Baldwin ortodontide kullanılan "loop"lar ile oluşan kuvvetlerin analizinde, 1975 yılında Farah ve Craig porselen ve metal destekli jaket kronlardaki stres dağılımını sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelemişlerdir (Yang 1974, Farah ve Craig 1975) .

1976 yılında Weinsten ve arkadaşları implant çevresinde oluşan gerilim lokalizasyonunu aynı yöntemle araştırmışlardır (Weinstein 1976).

1977 yılında Aydınlik bölümlü protezlerde silikon ara tabakanın destek dokularda neden olduğu boyutsal farklılıkları, Dayangaç ise oniki değişik MOD kavite şeklinde yapılan amalgam dolguların kırılmasını sonlu elamanlar stres analiz yöntemi kullanarak incelemişlerdir (Aydınlik 1977, Dayangaç 1983).

1978'de Takahashi ve Kitagami doğal diş ve blade-vent implant destekli sabit köprülerde destekleyici dokulardaki gerilimlerin analizini, Wright ve Yetram mandibuler ikinci molar dişin amalgam restorasyonu ve ısıl gerilme sırasındaki mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Aynı yıl Craig ve arkadaşları hareketli parsiyel protezlerin distal uzantılarındaki yükleri incelemişlerdir (Takahashi 1978, Wright 1978, Craig 1978).

1982 de Cook ve arkadaşları dental implantların çevresinde oluşan stres dağılımını iki boyutlu stres analiz yöntemiyle incelemişlerdir (Cook 1982).

1983 yılında Irei ve arkadaşları çiğneme sırasında maksilla ve mandibulada oluşan streslerin "overbite" ve "overjet" açısından incelenmesinde (Irei 1983), Doğan çeşitli inley kavite tasarımlarında tutucuların köprü protezlerindeki mekanik yeterliliklerinin incelenmesinde sonlu elemanlar stres analiz yöntemini kullanmışlardır (Doğan 1986). Aynı yıl Rubin, Krishnamurthy ve Capilouto mandibular birinci molardaki çiğneme kuvvetleri ile oluşan stresi üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ile incelemişlerdir (Rubin 1983). Cook ve Weinstein karbon ve alüminyumoksit dental implantlarda kemik ile implant ara yüzeyindeki stresleri incelemişlerdir. Cook ve Weinstein karbon ve alüminyumoksit dental implantlarda kemik ile implant ara yüzeyindeki stresleri incelemişlerdir (Cook 1983).

1984 yılında Mohammed ve arkadaşları implant destekli köprülerde (Mohammed 1984), Reinhart ve arkadaşları oklüzal travmanın mekanik açıdan incelenmesinde bu yöntemin uygun olduğunu belirtmişlerdir (Reinhart 1984) . Wree ve arkadaşları molar diş restorasyonlarında kullanılan farklı bir kavite tipindeki stres dağılımını (Wree 1984), Feridun rapit palatal ekspansiyon uygulamalarında kullanılan üç değişik aygıtın maksilladaki etkisini sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelemişlerdir (Feridun 1984).

1986 yılında Kavsaoglu kanin distalizasyonunda kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırmasında sonlu elemanlar stres analiz yöntemini kullanmıştır (Kavsaoglu 1986).

1987 yılında Ishida ve arkadaşları mandibulada stres dağılımını incelemişler (Ishida 1987), Miyasaka ve arkadaşları kraniofasial kemiklerin üç boyutlu modelinin oluşturulmasında (Miyasaka 1987), Anusavice ve Hojjatie metal-seramik kronlar ile yüzeyel porselen marjindeki stres dağılımını incelemede sonlu elemanlar stres analiz yönteminden yararlanmışlardır (Anusavice 1987).

1988 de Rieger kök formundaki implantların stres dağılımını (Rieger 1988) , Ress ve Williams restore dişlerdeki tüberkül fleksibiletisini incelemede (Rees 1988), Charton ve arkadaşları ise post-core tasarımlarını üç boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemi kullanarak incelemişlerdir (Charton 1988). Aynı yıl Darendeliler mine preparasyon teknikleri, pin kullanımı, ön diş restorasyonlarının kıyaslanmasında ve kırılma olasılığı en az olan restorasyon tipinin saptanmasında sonlu elemanlar yönteminden yararlanmışlardır (Darendeliler 1988).

Tanne ve arkadaşları 1989'da alt birinci premolar dişin üç boyutlu modeli üzerinde uygulanan ortodontik kuvvetlerin periodontal dokular üzerindeki etkisini (Tanne 1989), aynı yıl Rieger ve arkadaşları kemiğe adapte ve kemiğe biyoaktif kaplamalarla uygulanmış endosseus implantları, ayrıca üç tip implantın kemikteki stres dağılımını karşılaştırmışlardır (Rieger 1989).

1990 yılında Rees ve arkadaşları üst total protezlerdeki labial frenilum çentiğinin stres dağılımına etkisini (Rees 1990), aynı yıl Williams ve arkadaşları osteointegre implantlara uygulanmış sabit protezlerin iki boyutlu stres dağılımını sonlu elemanlar stres analiz yöntemi kullanarak araştırmışlardır (Williams 1990).

Rieger ve arkadaşları altı endosseous implantın ve ikinci bir araştırmada onbir endosseous implantın stres dağılımını incelemişlerdir (Rieger 1990a, 1990b).

1990 yılında Middleton ve arkadaşları ortodontik diş hareketlerini (Middleton 1990), Goel ve arkadaşları çiğneme yükleri karşısında mine ve dentindeki etkileri incelemede üç boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yönteminden faydalanmışlardır (Goel 1990). Aynı yıl Yuasa ve arkadaşları kroşelerde uzunluk ve esneklik arasındaki ilişkiyi (Yuasa 1990), Charkawi ve arkadaşları distal uzantılı protezler için osseointegre

implant modifikasyonlarını iki boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelemişlerdir (Charkawi 1990).

Eskitaşcıoğlu doğal dişler ve protetik restorasyonlu dişlerde farklı sentrik kontakt tiplerinde oluşan fonksiyonel gerilimleri incelemiştir (Eskitaşcıoğlu 1991).

Mihalko ve arkadaşları dental implantlar etrafında kemikte oluşan stresleri iki boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelemişlerdir (Mihalko 1992).

Akagawa ve arkadaşları osteointegre implantlarda kemik yüzeyinde oluşan gerilimleri üç boyutlu stres analiz yöntemi kullanarak araştırmışlardır (Akagawa 1992).

Mejer ve arkadaşları dişsiz mandibulada dental implantların etrafındaki kemikte, gerilimleri üç boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile araştırmışlardır (Meijer 1994).

1994 yılında Holmes ve arkadaşları ve 1990 yılında Rossen ve arkadaşları IMZ implant sisteminde stres dağılımı ile temporomandibular ekleme olan etkisini karşılaştırmışlardır (Holmes 1994, Rossen 1990).

Sertgöz üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ile kemik bloğuna eğimli yerleştirilmiş implant ve çevre kemik dokusundaki oluşan stresleri incelemiştir (Sertgöz 1995).

Meijer mandibulaya yerleştirilmiş implantlar çevresindeki stresleri incelemek için iki ve üç boyutlu model oluşturmuş , üç boyutlu olarak elde ettiği model üzerindeki sonuçların daha gerçeğe yakın olduğunu bildirmiştir (Meijer 1998).

İşeri rapid maksiller ekspansiyon ile meydana gelen stres yığılmalarının olduğu bölgeleri üç boyutlu elde ettiği model üzerinde sonlu elemanlar stres analizi ile değerlendirmiştir (İşeri 1998).

Jeon ortodontik kuvvetler sonucu maksiller birinci molar dişin periodonsiyumunda oluşan stresleri değerlendirmek amacıyla sonlu elemanlar stres analizi kullanmış, meydana gelen stres sonucu biyolojik dokulardaki değişikliklerin analizinde iyi bir yöntem olduğunu bildirmiştir (Jeon 1999).

Toparlı farklı restoratif materyallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini karşılaştırmak amacıyla yapmış olduğu çalışmada, iki ve üç boyutlu model oluşturmuş,

üç boyutlu olarak elde ettiği model üzerindeki sonuçların daha gerçeğe yakın olduğunu bildirmiştir (Toparlı 1999).

Maurer sagittal split ramus osteotomisinde farklı bikortikal vidaların biomekanik yükler karşısındaki klinik bulgularını sonlu elemanlar stres analizi ile değerlendirmiş ve bu deneysel çalışmanın klinik için rehber bir metod olduğunu vurgulamıştır (Maurer 1999).

Roychowdhury elde ettiği üç boyutlu temporomandibular eklem modelinde sonlu elemanlar stres analizinin, yüz kemikleri gibi kavisli yapılarıdaki kullanımın gerçeğe daha yakın ve güvenli sonuçlar verdiğini bildirmiştir (Roychowdhury 2000).

James DeVocht fonksiyonel kuvvetler sonucu temporomandibular eklem üzerindeki streslerin değerlendirilmesi amacıyla kadavra üzerinde ve bilgisayar ortamında oluşturduğu model üzerinde karşılaştırmalı olarak bir çalışma yapmış, elde edilen verilerin birbirleri ile uyumlu olduğunu görmüştür. Bunun sonucunda sonlu elemanlar stres analizinin kompleks sistemlerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini değerlendirmede çok daha hızlı, güvenilir ve daha basit bir yöntem olduğunu rapor etmiştir (James DeVocht 2001).

Maurer bilateral sagittal split ramus osteotomisinde kullanılan dört farklı rezorbe olabilen osteosentez vidaların postoperatif dönemde çiğneme kuvvetlerine karşı dirençlerini görmek amacıyla sonlu elemanlar stres analizini kullanmış ve klinik uygulamalarda yönlendirici olması bakımından son derece güvenli bir metod olduğunu bildirmiştir (Maurer 2002).

2.9.Sonlu Elemanlar Stres Analiz Metodu ve Elastisite İle İlgili Bazı

Terim ve Kavramlar

2.9.1.Dış Kuvvet

İncelenen cisme, diğer cisimlerin yaptığı etki dış yük olarak tanımlanabilir. Bu etkiler örneğin, ağırlık kuvvetleri gibi bilinen, verilmiş kuvvetler, cisimler arasındaki bağdan doğan reaksiyonlar olabilir. İç kuvvet ise cismin zihnen düşünülen çeşitli parçaları arasındaki etki ve tepkidir. Mühendislikte cismin tümü incelenirken cisim parçalara ayrılır ve her parça sanki diğerinden bağımsızmış gibi ayrı bir cisim olarak

düşünülür. Bu şekilde cismin parçalarından, birinden diğerine geçen etkinin hesaba katılması iç kuvvet fikrini ortaya çıkarır (Zaimoğlu 1993).

2.9.2. Gerilme

Herhangi bir cisme dışardan kuvvet uygulandığında cismin iç yapısında moleküler düzeyde bir kuvvet oluşur. Yüzeye dağılmış durumdaki iç kuvvetin, birim alandaki şiddetine “gerilme” adı verilir. İncelenen alana dik yönde olan normal gerilmeler, alana teğet yönde olanlar kayma (shear) olarak adlandırılır. Dik gerilme çekme (tension) (pozitif) veya sıkışma (compression) (negatif) olarak yönüne göre sınıflandırılabilir (Eskitaşcıoğlu 1991).

2.9.3. Şekil Değiştirme

Bir cismin çeşitli noktalarının birbirine göre göreceli durumunun değişmesi olarak tanımlanır. Gerçekte var olan bütün cisimler, üzerine etki eden kuvvetler altında şekil değiştirmeye uğrar. Şekil değiştirme cismi meydana getiren maddesel noktaların yerdeğiştirme vektörlerinin bir fonksiyonudur.

Şekil değiştirme, cismin geometrisi değişmeden kendisine benzer kalarak sadece kenar boylarının değişmesi dolayısıyla hacimsel şekil değiştirme veya kenarları bozulmadan sadece açıların değişmesi ile ortaya çıkan biçimsel şekil değiştirme şeklinde de olabilir. Şekil değiştirmeyi ölçmek için bir uzunluk değişimi veya kısaca uzama, diğerleri de açı değişimi veya kısaca kayma olmak üzere iki farklı unsur kullanılır.

Yer değiştirmede ise iki ana unsur söz konusudur. Sürekli cismin bir bütün olarak yer değiştirmesi veya dönmesidir. Bu bileşenlere rijit cisim hareketi denir (Eskitaşcıoğlu 1991).

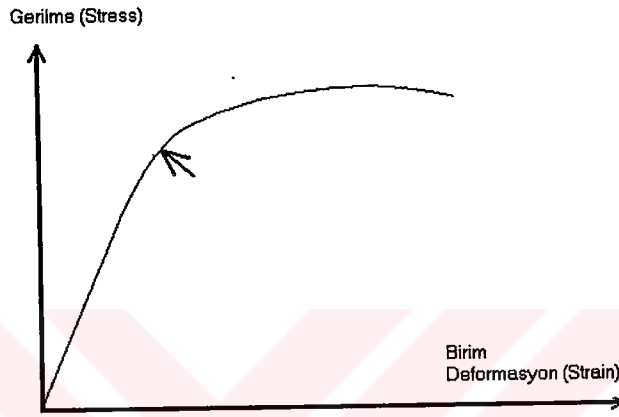
2.9.4. Deformasyon

Deformasyon birim boyut başına uzunluk değişimidir. Deformasyon elastik veya plastik şeklinde yada her iki halde birden olabilir. Elastik deformasyon dönüşümlüdür yani gerilim ortadan kalkınca cismin şekli eski haline döner. Deformasyon ifade ederken 2 grup tanım yapılır. 1. Grupta cismin içindeki maddesel noktaları birleştiren çizgilerin boy değiştirmesi bulunur. Bunlar dik birim deformasyon

olarak adlandırılır. İkinci grupta ise maddesel noktaları birleştiren çizgilerin arasındaki açılar değişmesidir. Bir kayma birim deformasyonu adını taşır (Eskitaşcıoğlu 1991) .

2.9.5.Hooke Kanunu

Birim şekil değiştirmeler ile gerilmeler arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul eden bir kanundur (Robert Hooke 17. yy). Belirli gerilme sınırlarını aşmamak şartı ile cisimlerin davranışını doğru olarak ifade eder. Şekil 2.1'de okla gösterilen noktaya kadar olan şekil değiştirmeler ve gerilmeler doğrusaldır (Craig 1986).



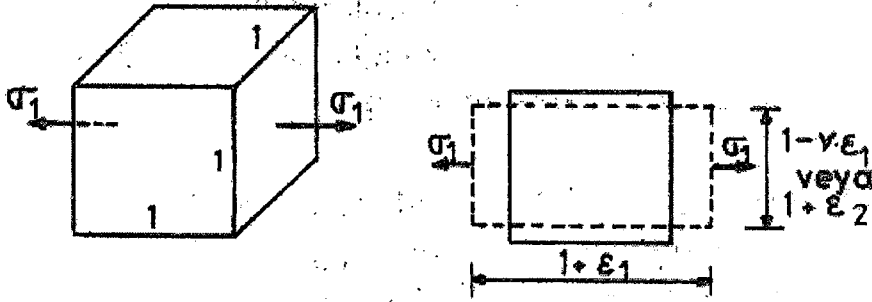
Şekil 2.1. Bir malzeme için gerilme-birim deformasyon grafiği

2.9.6.Elastisite Modülü

Sadece bir yönde etki eden gerilme durumunda birim şekil değiştirme (ϵ) ile gerilim arasındaki (σ) doğrunun eğimi (ϵ/σ) şekil değiştirmeye direncin bir ölçüsüdür ve her malzeme için farklıdır ve elastisite modülü diye adlandırılır (Baran 1995).

2.9.7.Poisson Oranı

Sadece bir yönde etki eden gerilme durumunda (Şekil 2.2) kuvvete dik doğrultudaki enine birim şekil değiştirmenin kuvvet doğrultusundaki şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanır. Poisson oranı 0 ile $\frac{1}{2}$ arasında bir değerdir ve her maddenin ayırtıcı bir özelliğidir. $\gamma=1/2$ hacmin sabit kalması haline karşılık gelir ve kauçukta bu değere yakındır. Uzarken yanal şekil değiştirmeye en az hassas cisim mantardır ($\gamma=0$) (Eskitaşcıoğlu 1991).



Şekil 2.2. Bir yönlü gerilme durumu

2.9.8. Kayma (Shear) Modulus

Elastisite modülü gibi cisimlerin açısız şekil değiştirmeye karşı direncin ölçüsüdür.

Kayma Modülü $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ olarak tanımlanır (Baran 1995).

2.10. Stres Analiz Yöntemleri ve Sonlu Elemanlar İle Analiz

Bir makine, cisim veya binanın elemanlarının maruz kalabileceği yükler altında maruz kalacağı gerilmeleri ve kuvvetleri görmek ve tasarım aşamasında dayanımında fazla zorlanan elemanları tekrar dizayn ile daha güçlü seçmek, bir cismin üzerine gelen kuvvetler altında gerilmelerin yoğunlaştığı bölgeleri görmek ve o cismin ideal şeklini saptayabilmek amacıyla stres analiz yöntemleri kullanılır.

Günümüzde diş hekimliğinde biyolojik tedavi malzemelerinde fonksiyonel malzemelerin analizini sağlayan yöntemler;

Kırılabilir vernikle kaplama tekniği

Foto elastik analiz yöntemi

Gerilim ölçer kullanılarak yapılan stres analizi yöntemi

Termografik stres analiz yöntemi

Lazer ışını ile stres analiz yöntemi

Sonlu Elemanlar Metodu ile stres analiz yöntemi olarak sıralanabilir.

Canlı doku ve organlarda stres analizi yapmak çok zordur. Bu nedenle stres analiz çalışmaları canlı malzemenin bir modeli üzerinde yapılır. Mühendislikte

karmaşık analitik sistemlerin çözümünde kullanılan sonlu elemanlar metodu dış hekimliğinde de avantajları nedeniyle tercih edilmektedir.

Bilgisayarda sayısal bir metod olan sonlu elemanlar stres analiz yöntemi kullanılarak yapılar üzerinde mekanik bir yükleme esnasında oluşan stres dağılımı ve deplasmanlar belirlenebilir.

Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi günümüzde sürekli ortam mekaniğinin bütün alanlarında ve biyolojik bilimlerde kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu diğer metodlara göre avantajları şöyle sıralanabilir.

- Karmaşık geometriye sahip katılar modellenebilir.
- Gerçekçi malzeme kabulleri ile gerçeğe yakın modeller hazırlanabilir.
- İstenilen sayıda değişik malzeme ile model oluşturulabilir.
- Stress dağılımı ve deplasmanlar duyarlı olarak elde edilebilir.
- Deneysel aracın kontrolü ve sınır koşullarının, uygulanan kuvvetlerin, malzeme özelliklerinin, geometrinin kolayca değiştirilip analizin zahmetsizce gerçekleştirilebilmesi mümkündür (Eskitaşçıoğlu 1991).

Diğer sayısal metodlar özellikle de sonlu farklar metodu daha eski ve güvenilir olduğu halde, sonlu eleman metodunun tercih edilmesinin nedenleri:

1. Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cisim temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.

2. Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.

3. Değişik malzeme ve/veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme non-lineeriteleri, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri, kolaylıkla gözönüne alınabilir.

4. Sebep-sonuç bağıntılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş “kuvvetler” ve “yerdeğiştirmeler” cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.

5. Sınır şartları kolayca uygulanır.

6. Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metodlardan daha hassas sonuç verir.

Bilim adamları ve mühendisler alışılmış analitik metodlarla çözümü çok zor hatta imkansız fiziksel problemlerle sık sık karşılaşır. Örneğin bir dış kuvvet takımı etkisinde üç boyutlu bir elastik cisim düşünelim. Bu kuvvetlere cismin “kesin” tepkisini hesaplamak için deformasyonlar cinsinden yazılmış denklemlerin bir “kapalı form” çözümünü aramak zorundayız. Bununla birlikte genellikle kompleks geometrik şekilli uygulama problemlerinin böyle bir çözümü elde etmek aşırı ölçüde zor ve çoğunlukla imkansızdır. Bu tip problemle karşılaşan çözümleyici doğal olarak “sayısal” adı verilen çözüme başvuracaktır. Başka metodlarla çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılabilen çok sayıda sayısal yol vardır. Sonlu eleman metodu bunlardan biridir. Sonlu eleman metodu yeni bir çözüm yöntemi olup kendisini diğerlerine üstün kılan seçkin özelliklere sahiptir.

Sonlu eleman metodunda son yıllarda çok büyük gelişme kaydedilmiştir. Esas itibarıyla basit olan bu zarif ve güçlü metod, bilim adamlarına ve mühendislere tamamen yeni bir alan açmıştır. Çok yakın geçmişte zor ve kompleks olarak bilinen problemler bu metotla daha kolay çözülebilmektedir (Baran 1995).

Sonlu elemanlar yönteminin temel kavramı, sürekli ortamların daha küçük parçalara ayrılarak analitik şekilde model elde edilmesi ve böylece oluşturulan elemanlar ile ifade edilmesi esasına dayanır (Baran 1995).

2.11.Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri

Bu metotta cismin sonlu sayıda “elemana” ayrıldığı düşünülür. Metodun adı da buradan gelmektedir. Cisim uzayda $n(=1,2,)$ boyuta sahip, n -boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır.

Genel olarak, “cisim” terimi yapı, sürekli ortam veya problemin bölgesi anlamında kullanılmaktadır. İncelenen yapının bir, iki veya üç boyutlu olarak analizi yapılabilir. Bu yapı eleman adı verilen belirli sayıda geometrik şekillere bölünür ve bu parçalar birbirlerine düğüm noktalarından bağlanırlar. Kuvvet dağılımı her eleman için ayrı ayrı bulunacağından duyarlı analiz yapılabilmesi için eleman sayısı çoğaltılmalıdır.

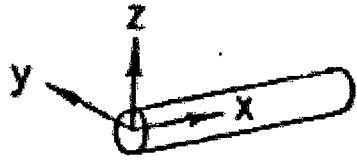
Bu yöntem sürekli ortamın (incelenen yapı) küçük parçalara veya alanlara ayrılmış her bir kısmında sınır koşullarını da dikkate alarak çözmeyi sağlar. Çözömlenen değişken basınç, sıcaklık, yer değiştirme, gerilme veya benzeri bir fiziksel olay olabilir. Yöntem şöyle bir uygulamaya sahiptir (Eskitaşçıoğlu 1991).

2.11.1.Sürekli Ortamın Ayrışık Parçalara Bölünmesi

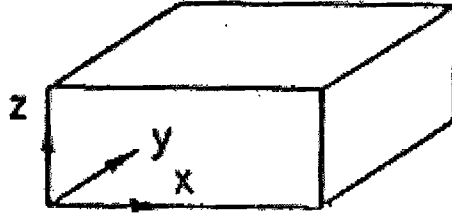
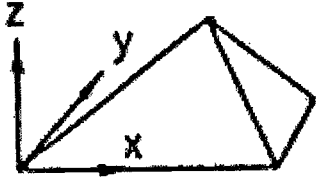
Bu işlem için öncelikle yapının geometrisinin tanımlanması gerekmektedir. Analiz edilecek yapının modeli iki veya üç boyutta gerçek boyut ve orantılarda geometrik olarak hazırlanır. Koordinat sisteminde, yapısal öğeleri oluşturacak noktalar lokalize edilir. “Eleman” olarak adlandırılan her küçük alan için diğer elemanlara veya sınırlara bağlı olduğu yerlerde düğüm noktaları (“mode”, “joint”) tanımlanır ve alan değişkenin bu düğüm noktaları arasındaki değişimi yazılır. Farklı şekillere aynı tür elemanlar kullanılabilceği gibi değişik türden elemanlarda kullanılabilir.

Noktalar düğümlerle (Şekil 2.3, Şekil 2.4), bir boyutlu cisimler çizgilerle, iki-boyutlu cisimler düzlemlerle, üç boyutlu cisimler tuğlarla (brick) sonlu elemanlara ayrılacaktır. Gerilme analizinde incelenecek cisim, sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır.

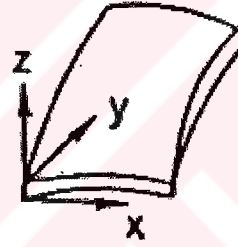
Sonlu elemanların düğümlerle bağlanış durumu Şekil 2.5’deki gösterimde en iyi şekilde anlaşılmaktadır. Burada düzgün, birim kalınlıklı biri-üçgen diğer dikdörtgen iki düzlem sonlu eleman vardır (Baran 1995).



(a) Çerçeve Elemanı

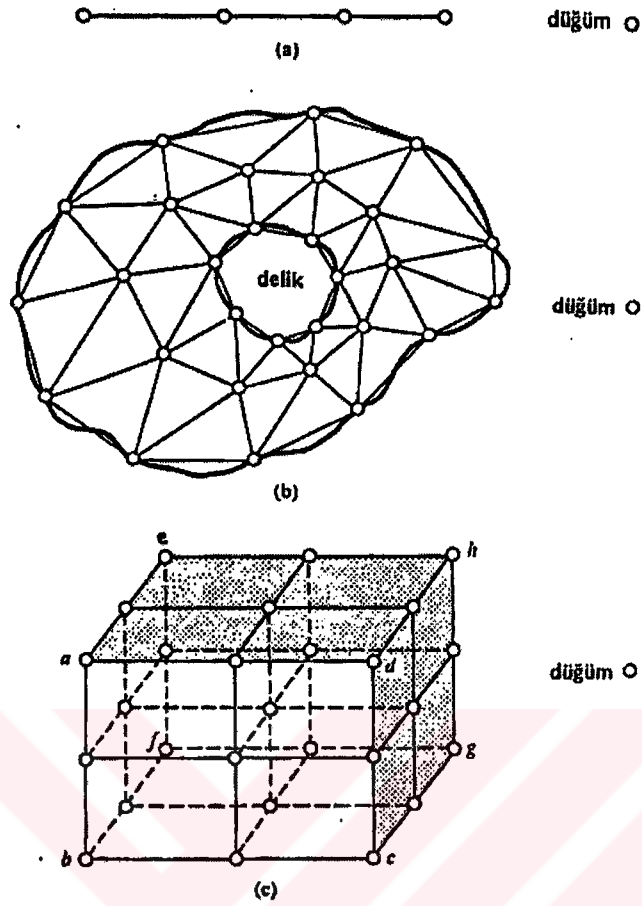


(b) Üç Boyutlu Eleman

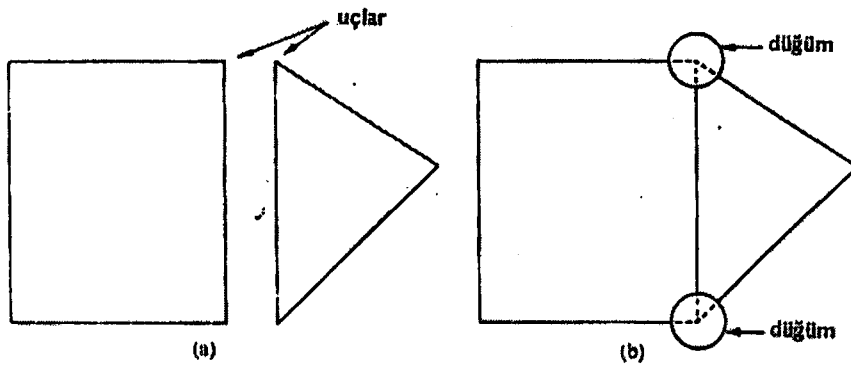


(c) Kabuk Eleman

Şekil 2.3. Sonlu elemanlar metodunda eleman türleri



Şekil 2.4. a) Üç sonlu elemana ayrılmış bir boyutlu bir cisim b) İki boyutlu bir cisim
c) Üç boyutlu bir cismin sonlu elemanlara ayrılması



Şekil 2.5. İki sonlu elemanın düğümlerle birbirine bağlantısı

Şekilde elemanlar ayrı ayrı, birbirine bağlanmamış biçimde gösterilmiştir. Düğümler Şekil 2.5' deki gibi komşu sonlu elemanları uçlarından birbirine bağlayan ve

onları birarada tutan “somun-civata” bağlantısı gibi düşünebiliriz. Öyleki düğümler kaldırıldığında elemanlar birbirinden ayrılırlar.

2.11.2. Eleman Özelliklerinin Tayini

Her eleman için gerek doğrudan doğruya gerekse varyasyonel hesap ve başka yöntemlerle çıkartılan eleman özellikleri genelde bir eleman “rijitlik” matrisi şeklinde ifade edilir. Yapıyı oluşturan malzemelerin elastik modülü ve poisson oranları verilerek analizlerde yapının fiziksel tepkileri vermesi sağlanır (Baran 1995).

2.11.3. Eleman Özelliklerinin Toplanarak Sistem Özelliklerinin

Belirlenmesi

Her bir elemanın rijitlik matrisleri toplanarak tüm sistem için geçerli sistem matrisi oluşturulur. Bu matris malzeme özelliklerine ve elemanın geometrisine bağlıdır. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetlerle birlikte bu sistem matrisi bir denklem dizisi haline getirilir. Bu denklem takımında her nokta için x,y,z yönlerindeki deplasmanlar ve rotasyonlar bilinmeyenlerdir. Bir noktada 3 deplasman (x,y,z yönlerinde) ve 3 adet rotasyon (x,y,z eksenleri etrafında) bilinmeyenler olarak karşımıza çıktığına göre 3 boyutlu bir problemde toplam “(düğüm noktası sayısı) x 6” adet bilinmeyen olacaktır.

Elde edilen deplasman ve rotasyonlar herbir eleman için oluşturulan alt denklem takımlarında yerine konularak tüm elemanların iç gerilmeleri tespit edilir. Bu işlem basamakları çok sayıda denklemi çözmeyi gerektirdiği için bilgisayar ortamında yapılması kaçınılmazdır.

Eleman direngenlik matrisleri, “parçalara ayrılmış cismin tamamına ait “tümel direngenlik matrisi”ni (overall stiffness matrix) oluşturmak üzere toplanır. Bu toplamada, cismin sonlu eleman modelindeki bütün düğümlerde kuvvetlerin dengesi ve yerdeğiştirmelerin sürekliliği sağlanır. Buradan şu matris denklemine ulaşılır.

$$[K]\{\delta\} = \{P\} \quad (1.1)$$

[K], cismin tümel direngenlik matrisini tanımlar. Tümel kuvvet vektörü {P}, bütün düğümlere uygulanan dış kuvvetleri, {δ} ise, bütün düğümlerin yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Denk (1.1) incelenirse, [K] nitelik bakımından, parçalara ayrılmış cisimde birim yerdeğiştirme oluşturacak kuvveti ifade eder. Buradan cismin sonlu eleman

modelini bir yaya eşdeğer olarak düşünürsek cismin “direngenliği” $[K]$ nın “yay sabitine” karşılık olacağı açıktır. Dolayısıyla sonlu eleman metodu, esas itibariyle, cismin “direngelik” açısından analizinin yapıldığı bir metottur.

2.11.4. Denklemlerin Çözümleri

Alan değişkenin düğüm noktalarındaki değerleri denklem takımının çözülmesi ile elde edilir. Bu aşama özellikle genel amaçlı bilgisayar kodlarında çözüm bulmaya yöneliktir.

Cisme etkiyen belirli bir dış kuvvetler ve belirli bir sınır şartları takımı için, Denklem (1.1)’den çözüm olarak düğüm yerdeğiştirmeleri $\{\delta\}$ bulunur. Yerdeğiştirmelerden de, gerilmeler ve zorlanmalar hesaplanabilir.

Özetlenirse, verilen bir problemin sonlu eleman metodu ile çözmek için sırası ile aşağıdaki işlemlerin uygulanması gerekir:

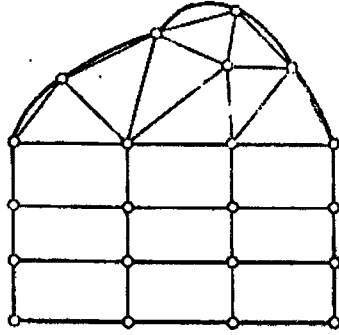
1. Cismi bir sonlu elemanlar sistemi halinde “parçalanma” (bölme).
2. Cismi temsil eden elemanların herbirinin “eleman direngelik matrisi” ve diğer özelliklerinin çıkarılması.
3. “Tümel direngelik matrisi” $[K]$ ve “tümel kuvvet vektörü” $\{P\}$ nin toplama işlemi.
4. $\{\delta\}$ yı tayin etmek için, belirlenmiş sınır şartlarıyla denklem’in çözümü.
5. Hesaplanan düğüm yerdeğiştirmeleri $\{\delta\}$ dan elemanların zorlanmalarının ve gerilmelerinin hesaplanması.

Uygulamada bilimsel ve mühendislik problemlerinde, genellikle, büyük $[K]$ matrisleri doğar. Bu yüzden, denklemi çözmek için bilgisayar kullanılması kaçınılmaz hale gelir. Yukarıdaki işlemleri otomatik hale getirmek için basit programlar yazılabilir. Gerçekten sonlu eleman metodu, otomatik hesaplama ile birleştirilmekle, çözümü çok zor hatta olanaksız karmaşık fiziksel problemleri hassas olarak çözmekte çok etkin ve zarif bir araç oluşturur.

2.11.5. Eleman Biçiminin Seçimi

Şekillerde tipik bazı eleman biçimlerini göstermektedir. Verilen bir cismin nasıl bölüneceğinin (elemanlara ayırma) belirlenmesinde cismin geometrisi, özellikle iç

ve dış sınırların biçimi, geniş ölçüde yol gösterici olacaktır. İki-boyutlu cisimlerde, elemanın biçimi, cismin biçimine bağlı olarak bulunur. Eğri ve düzgün olmayan sınırlarda, üçgen ve dörtyüzlü (üçgen prizma), dikdörtgen prizmadan daha elverişlidir. Cismin şekline bağlı olarak, uygulamada karışık bölme yapma belli bir eleman kullanmaktan daha uygun olabilir. Şekil 2.6 bir düzlem cismi temsil eden böyle bir kombinasyonu göstermektedir.



Şekil 2.6. Üçgen ve dikdörtgen elemanlara bölünmüş bir düzlemsel şekil

3-MATERYAL VE METOT

Araştırmada uyguladığımız “Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi”, günümüzde sürekli ortam mekaniğinin bütün alanlarında, uygulamalı matematikte ve biyolojik bilimlerde kullanılmaktadır.

Kompleks yapıların lineer statik ve dinamik analizlerinde etkili ve genel amaçlı bir stres analiz programı olarak kullanılan SAP 2000 programı, pek çok araştırmaların ve deneylerin sonucunda ortaya çıkmıştır.

İlk olarak 1970 de Wilson tarafından SAP “Genel Yapı Analizi Programı” adı altında yayınlanan program 1972 de geliştirilerek SAPII yada SOLİD SAP ve SAPIII olarak yayınlanmış, 1974 de ise ilave edilen yeni eleman tipleri ile program daha da etkin hale getirilmiş ve SAPIV adı ile kullanıma sunulmuştur. Daha sonra SAP80 ve SAP90 gibi analiz detayları arttırılmış programlar sunulmuştur. Bu programların alternatif yazılımları da mevcuttur (Wilson 1992).

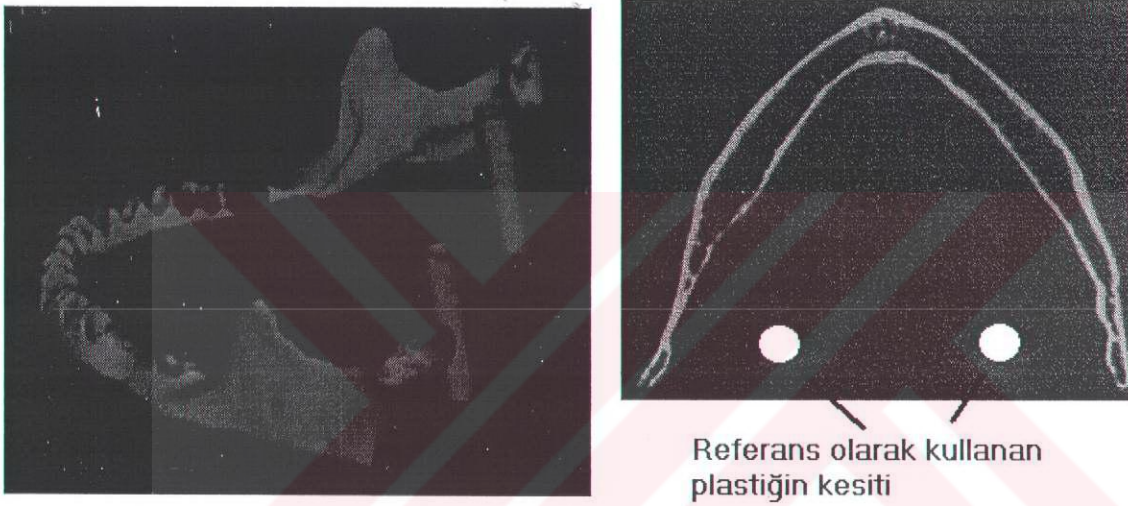
Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile ilgili bilgisayar programları kişisel bilgisayarlarda da kullanılmaktadır. SAP90 programı MS-DOS temeline dayanan bilgisayar sistemlerinde kullanılabilirken, SAP2000 Windows işletim sisteminde de kullanılabilir. 32 MB hafıza ve 10 GB hard diske sahip bilgisayarlarda düğüm sayısı sınırlaması olmadan kullanılabilir. Büyük problemler için hafıza arttırılmalıdır.

SAP2000 programı yapı mühendisliğinde üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi teknolojisinde, Windows 95/98/NT/2000 ile birlikte kullanılır. Ayrıca analitik tekniklerde grafik tasarımlarında kullanım kolaylığı sağlar. Windowsa dayalı grafik tasarımı ile çabuk ve hızlı modelleme imkanı sağlar. Modellerin oluşturulması ve modifikasyonu, analizin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi tümüyle interaktif olarak kullanıcı tarafından gerçekleştirilmesi mümkündür.

Elementlerin tipleri, çerçeve/kafes, solid olabilir. Shell elementler üç boyutludur, rotasyonel hareketlere sahiptirler hem 3 hem de 4 düğüm element kullanılabilir. Solid elementler ise 8 düğümlüdür ve anizotropik materyal özellikleri ile 8 düğüm tuğla şeklindedir (SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures).

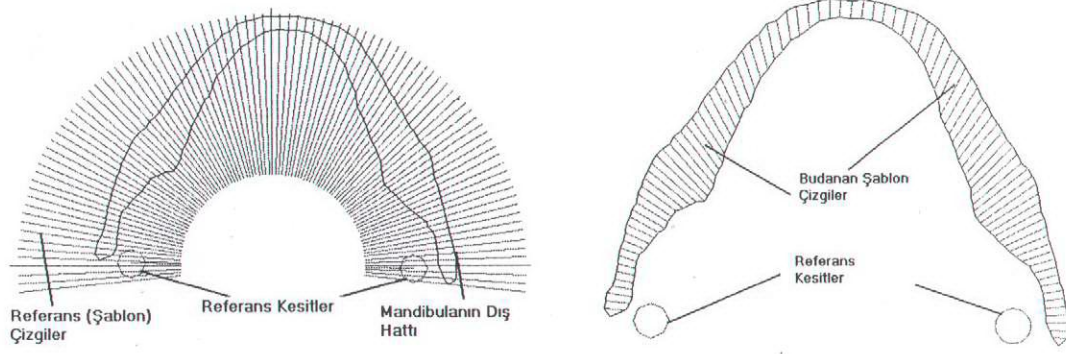
3.1.İncelenen Mandibula'nın 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada sonlu elemanlar analizinde kullanılacak modeli oluşturacak noktaları tanımlamak için incelenen 22 yaşındaki erkek mandibulasının CT (Computer Tomography) görüntülerinden yararlanılmıştır. Mandibulanın CT datası elde edilirken kesitleri bilgisayarda 3 boyutta elde etmek için gerekli olacak referans noktaları sağlamak amacı ile kesiti değişmeyen plastik çubuklar mandibulanın yanına yerleştirilmiştir. Mandibuladan 1 mm ara ile aksiyal planda CT kesitleri alınmıştır. Elde edilen kesitler scanner ile taranarak BMP formatında AutoCad çizim programına aktarılmıştır (Şekil 3.1).



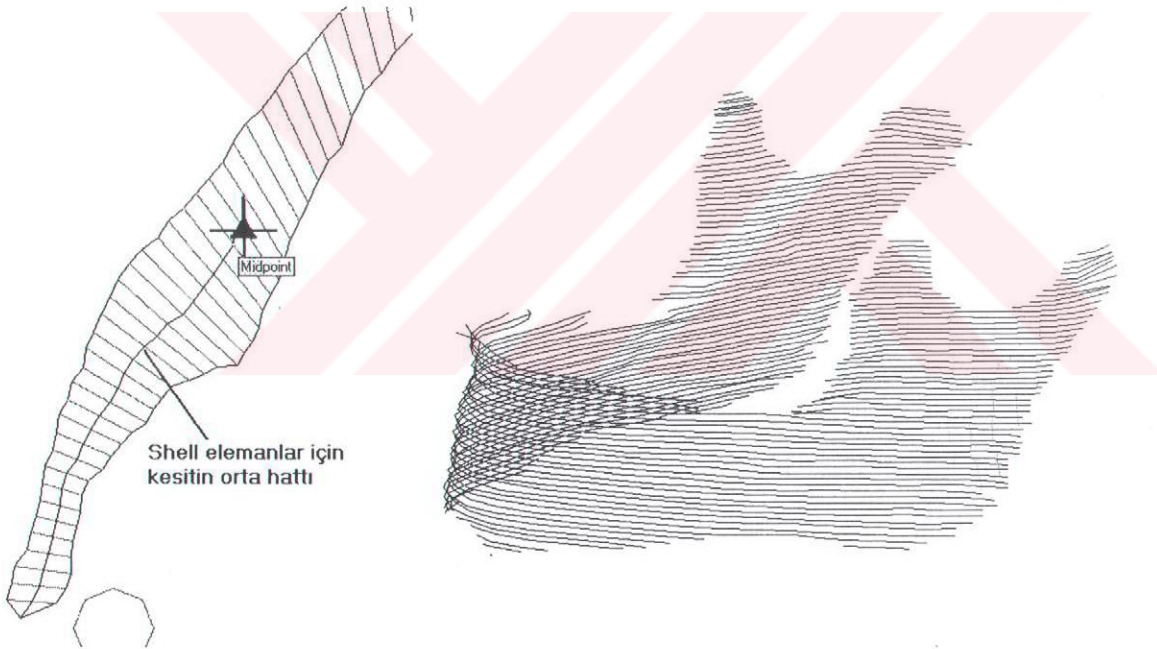
Şekil 3.1. Model oluşturmak için kullanılan CT görüntüleri

Tüm kesitlerin en dış hattından AutoCad programında çizgi ile geçilerek dış konturlar çizim dosyası haline dönüştürülmüştür. Bu yapılmadan önce şablon olarak kullanılacak yardımcı çizgiler her kesit üzerine referans kesit (plastik çubuğun kesiti) kullanılarak yerleştirilmiştir. Dış kontur çizilirken CT kesitinden belirli olan mandibulanın dış hattı ile bu düzleme yerleştirilmiş olan yardımcı çizgilerin kesişim yerleri tutulmaya çalışılmıştır. Dış kontur çizildikten sonra yardımcı çizgilerin dışında kalan parçaları çıkartılmıştır (Şekil 3.2). Daha sonra bu kapalı dış konturun orta çizgisini temsil eden hat tüm kesitlerde çizilmiştir (çıkartıldıktan sonra kalan yardımcı çizgilerin ortaları birleştirilmiştir). Shell elemanlarla modelleme yapmak için dış konturlar kaldırılmıştır.

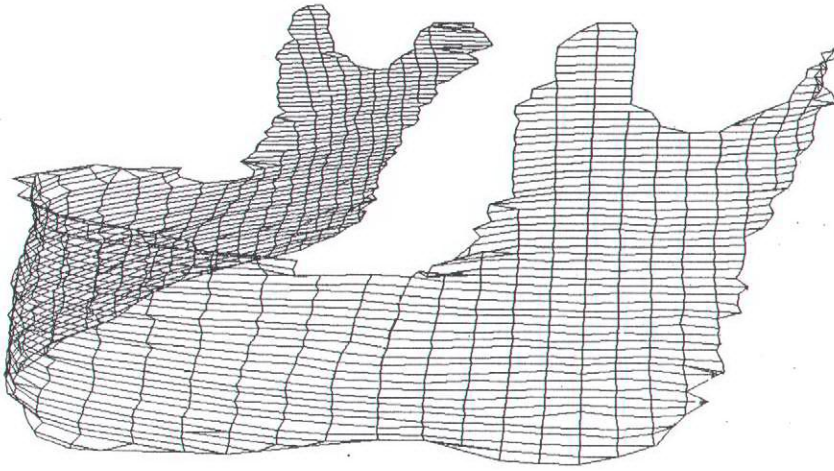


Şekil 3.2. Mandibulanın CT kesitinden şablonunun elde edilmesi

Elde edilen orta çizgiler daha önceden belirlenen referans noktalarından tutularak 1 mm ara ile üst üste konularak bir geometrik model oluşturulmuştur (Şekil 3.3).

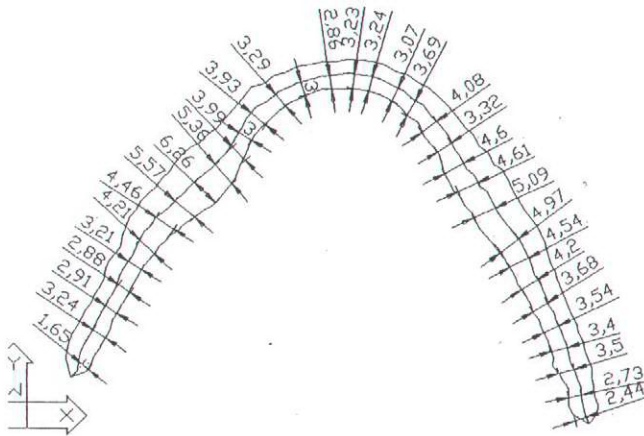


Şekil 3.3. 1 mm aralıklarla geometrik şeklin elde edilmesi



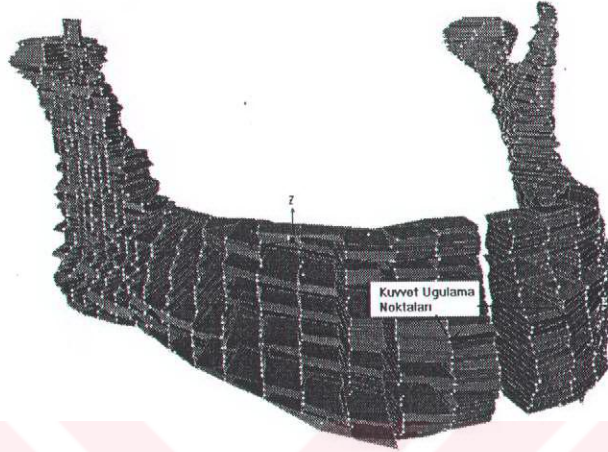
Şekil 3.4. Geometrik şeklin Shell elemanlarla örülmüş hali

Bu model dxf formatında genel amaçlı SAP2000 sonlu elemanlar programına aktarılarak bu orta konturlar arasına Shell elemanlar örülmüştür (Şekil 3.4). Her Shell elemanın kalınlığı CT görüntülerinin üzerinden ölçülen kalınlıklara uygun olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.5). İşeri ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, tüm shell elemanlar için ortalama bir kalınlık belirlenerek yerleştirildiğini belirtmişlerdir, biz de İşeri'nin belirttiği şekilde aynı yolu izledik (İşeri 1998). Programın özelliğinden dolayı bu kalınlıklar grafiksel olarak gösterilemediği için sonuçta elde edilen model mandibulanın ortasından geçen bir kağıt görünümündedir. Model kondil başlarından her yönde sabitlenmiştir. Kullanılan malzemenin elastisite modülü ve poisson oranı olarak, literatürde belirtilen değerler kullanılmıştır (Elastisite Modülü $E= 14000$ kN/mm² , Poisson oranı $\gamma =0.15$) (Baran 1995). Model toplam 1560 düğüm noktası (joint) ve 1468 shell (kabuk) elemanından oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Geometrik şeklin CT görüntüsü ile eşleştirilmesi

Model üzerinde kesimin yapılp distraktörün uygulanacağı düzlem tespit edilerek düğümler arası bağ kaldırılmış ve distraktör geometrisine uygun olarak kuvvet uygulama noktaları belirlenmiştir. Kesim düzleminde istenilen deplasman elde edilinceye kadar kuvvet artırılarak gerekli kuvvetler deneme-yanılma yoluyla tespit edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kesim düzleminde deplasmanın elde edilmesi

Bilgisayar ortamında hazırlanan model üzerinde angulus, ramus, korpus ve simfiz bölgesinden düzgün bir hat oluşturacak şekilde kesi yapıldı. Daha sonra anatomik oluşumlar da gözönüne alınarak ramusta anterior, orta ve posterior, angulus ve korpusta superior, orta ve inferior, simfizde ise superior ve inferior bölgelere olmak üzere farklı konumlarda distraktör yerleştirildi. Herbir bölgedeki distraktör 10 mm aktive edildikten sonra mandibula üzerinde oluşan stresler Von Misess stres analizi ile incelendi.

Distraktörün superior, orta ve inferior pozisyonlarda yerleştirilmesinde 1-5 mm' lik aktivasyon sonucu meydana gelen gerilmeler 10 mm aktivasyon sonucu elde edilen gerilme dağılımları ile karşılaştırıldığında gerilme değerlerinin %10-%50 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuç çözümün ve malzemenin lineer elastik olduğu kabul edildiği hatırlanırsa beklenen bir sonuçtur. Çünkü kesite uygulanan deplasman %50 oranında azaltılırsa uygulanan kuvvet de %50 oranında azalacak dolayısıyla gerilmelerde de aynı miktarda düşüş gözlenecektir. Bu nedenle biz çalışmamızda 10 mm' lik aktivasyon sonucu elde edilen gerilme dağılımlarını değerlendirdik.

4-BULGULAR

4.1.Angulus Bölgesi

4.1.1.Angulus bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular: (Resim 4.1: Angulus bölgesinin 10 mm'lik aktivasyon hali)

*Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:*SVM (Stress Von Misess)
(0-250), (164-19).

Angulus bölgesinden 10 mm' lik aktivasyon sonrası VM (Von Misess) gerilme diagramından distrikte edilen tarafta sadece kondil boynunun altındaki lokalize bir bölgede gerilme yığılması gözlenmektedir. Karşı tarafta ise, ramusun posterior bölgesinde yoğun olan bu yığılma, kondile ve ramusun anterior bölgesine ve insisura mandibulaya doğru giderek azalmaktadır (Resim 4.2).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75).

Orta seviyeli gerilmelere bakıldığında, distrikte edilen taraftaki ramusun posterior sınırı ve kondil boynundan başlayan gerilme yığılmalarının angulus, insisura mandibula ve kondile doğru azaldığı görülmektedir. Karşı tarafta ise, kondil boynundan başlayan yığılmalar angulusa ve insisura mandibulaya doğru artmış ve kondil boynunun alt seviyesinden itibaren yüksek seviyeye ulaşmıştır. Foramen mandibularenin bulunduğu bölgeden itibaren orta seviyedeki gerilmeler ramusun anterior sınırına, angulusa, korpus bölgesinin üst sınırı boyunca ve koronoid prosese doğru azalarak devam etmektedir (Resim 4.3).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-20), (58-19)

Distrikte edilen bölgede distraktörün hem anteriorunda, hem de posteriorunda (modelde kuvvet uygulanan noktalarda) kondil boynu, ramusun posterior sınırı ve insisura mandibulaya doğru gerilmelerin artarak devam ettiği görülmektedir. Distrikte edilen bölgenin korpusu boyunca gerilmeler çok düşük seviyede kalmış ve bu düşük seviyedeki gerilmeler mental foramen bölgesinden başlayarak karşı taraftaki korpus boyunca angulusa doğru artarak devam etmektedir.Karşı tarafta da koronoid proses, insisura mandibula ve kondil başlarında düşük seviyedeki gerilmelerin yoğunlaştığı gözlenmiştir (Resim 4.4, 4.5, 4.6).

4.1.2. Angulus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular:

Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-250), (164-19).

Orta bölgeye yerleştirilmiş distraktörün 10 mm'lik aktivasyonu sonrası meydana gelen yüksek gerilme yığılmaları distrakte edilen tarafta superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörle aynı eğilimi göstermekle birlikte lokalize bir noktada meydana gelmiş yığılmanın olmadığı dikkati çekmektedir. Karşı taraftaki ramusun posterior bölgesindeki gerilme dağılımının daha dar bir alanda (superior pozisyonda meydana gelen gerilmelere göre) etkili olduğu görülmektedir (Resim 4.7).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Orta seviye gerilme dağılımları yine superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktöre göre aynı eğilimi göstermekle beraber, özellikle distraksiyon tarafındaki ramusun posterior bölgesi ve kondil boynunun alt seviyesindeki gerilmelerin daha dar bir alanda etkili olduğu görülmektedir. Karşı tarafta ramus ve korpus bölgesi boyunca çok belirgin bir farklılık gözlenmemektedir (Resim 4.8).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-20), (58-19)

Distrakte edilen bölgede distraktörün sadece posterior bölgesinde (modelde kuvvet uygulanan noktalarda) kondil boynu, ramusun posterior sınırı ve insisura mandibulaya doğru gerilmelerin artarak devam ettiği görülmektedir. Korpus boyunca gerilmeler çok düşük seviyede kalmış ve bu düşük seviyedeki gerilmeler mental foramen bölgesinden başlayarak karşı taraftaki korpus boyunca angulusa doğru artarak devam etmektedir. Karşı tarafta da koronoid proses, insisura mandibula ve kondil başlarında düşük seviyedeki gerilmelerin yoğunlaştığı gözlenmiştir (Resim 4.9, 4.10, 4.11).

4.1.3. Angulus bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular:

Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-250), (164-19).

Distrakte edilen tarafta superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörle aynı eğilimi göstermekle birlikte orta pozisyondaki distraktöre benzer olarak lokalize bir noktadaki yığılmanın olmadığı dikkati çekmektedir. Karşı taraftaki ramusun posterior

bölgesindeki gerilme dağılımının daha dar bir alanda (superior ve orta pozisyonda meydana gelen gerilmelere göre) etkili olduğu görülmektedir (Resim 4.12).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Orta seviye gerilmelerde de yığılma alanlarının daha daralmış olduğu dikkati çekmektedir. Özellikle distraksiyon tarafında insisura mandibula ve kondil boynu altında daha lokalize izlenmektedir (Resim 4.13).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-20), (58-19)

Distraksiyon tarafındaki kondil, insisura mandibula bölgesinde daha lokalize ve dar bir alanda stres yığılmaları izlenirken, ramusun orta bölgesi ve korpusun alt seviyelerinde bir miktar artışın olduğu görülmekte. Karşı tarafta ise belirgin bir farklılık dikkati çekmemektedir (Resim 4.14, 4.15, 4.16).

4.2.Ramus Bölgesi

4.2.1.Ramus bölgesinde anterior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular: (Resim 4.17: Ramus bölgesinin 10 mm'lik aktivasyon hali)

Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:SVM (0-250), (164-19).

Distraksiyon tarafında yüksek seviye gerilmeler kondil boynunun anterior ve posteriorunda lokalize olarak izlenmektedir. Karşı tarafta insisura mandibula bölgesinde başlayan yığılmanın, angulusa paralel olacak şekilde ramusun posterior sınırına doğru bir band oluşturarak devam ettiği ve posterior sınırda maksimuma ulaştığı görülüyor. Yığılma ramusa, angulusa ve kondile doğru azalarak, paralel olacak şekilde devam etmektedir (Resim 4.18).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Distrakte edilen tarafın kondil boynunun etrafında orta seviyeli yığılmalar gözlenmektedir. Karşı tarafta kondil bölgesinde, ramusun tümünde orta seviyede devam etmekle birlikte ramusdan korpusa doğru bu yığılmanın azalarak devam ettiği izleniyor. Ayrıca korpus boyunca simfize kadar orta seviyeli gerilmeler aynı düzeyde yayılım göstermektedir (Resim 4.19).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15), (58-19)

Distrakte edilen tarafta kondil, insisura mandibula ve ramusun posterior sınırında yoğun stres yığılmaları dikkati çekmektedir. Ayrıca distraktörün fikse edildiği bölge çevresinde de stres alanları görülmektedir. Korpusun üst ve alt kenarı boyunca anterior bölgeye doğru yine stres yığılmaları izlenmektedir. Karşı tarafta ise koronoid proses ve kondilin tepe noktasında, angulus, korpusun posterior bölgesinde oldukça yoğun yığılmalar mevcut olup, anterior bölgeye doğru azalarak devam ettiği dikkati çekmektedir (Resim 4.20, 4.21, 4.22).

4.2.3.Ramus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular:

Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-250), (164-19).

Distrakte edilen tarafta anterior bölgede konumlandırılmış distraktörün aktivasyonu sonucu kondil boynuna yakın bölgelerdeki lokalize stres alanlarının kaybolduğu dikkati çekmektedir. Karşı tarafta ise kondil, insisura mandibula ramusun posterior sınırı ve ramus bölgelerindeki stres yığılmalarının bir miktar daha daraldığı görülüyor (Resim 4.23).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Distrakte edilen tarafta kondil bölgesindeki stres alanlarının biraz daha daralmış olduğu görülüyor. Karşı tarafta ise önemli bir değişikliğin olmadığı izlenmektedir (Resim 4.24).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15), (58-19)

Distrakte edilen tarafta kondil, insisura mandibula bölgesinde yoğun bir stres yığılmasının varlığı söz konusu olmakla birlikte anterior pozisyona göre daha daralmış bir bölgede olduğu dikkati çekmektedir. Yine distraktörün fikse edildiği bölge çevresinde ve korpusun üst ve alt sınırındaki stres alanlarının varlığı mevcuttur. Karşı tarafta koronoid proses, kondil başında ve angulustan korpusa doğru olan stres yayılımı gözlenmektedir (Resim 4.25, 4.26, 4.27).

4.2.4.Ramus bölgesinde posterior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular

*Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:*SVM (0-250), (164-19).

Distrakte edilen tarafta orta bölgedeki distraktörün aktivasyonunda olduğu gibi kondil boynuna yakın bölgelerdeki lokalize stres alanlarının kaybolduğu dikkati çekmektedir. Karşı tarafta ise kondil, insisura mandibula ramusun posterior sınırı ve ramus bölgelerindeki stres yığılmalarının oldukça dar bir alanda kaldığı görülmektedir (Resim 4.28).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75).

Distrakte edilen tarafta kondil bölgesindeki stres alanlarının noktasal olarak varlığı dikkati çekmektedir. Karşı tarafta ise önemli bir değişikliğin olmadığı izlenmektedir (Resim 4.29).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15), (58-19)

Distrakte edilen tarafta kondil, insisura mandibula bölgesinde yoğunluğunu kaybetmiş bir stres yığılmasının varlığı söz konusu olmakla birlikte anterior ve orta pozisyona göre daha daralmış bir bölgede kaldığı dikkati çekmektedir. Yine distraktörün fikse edildiği bölge çevresinde ve korpusun üst ve alt sınırındaki stres alanlarının varlığı mevcuttur. Karşı tarafta koronoid proses, kondil başında ve angulustan korpuse doğru olan stres yayılımı gözlenmektedir (Resim 4.30, 4.31, 4.32).

4.3.Korpus Bölgesi

4.3.1.Korpus bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular: (Resim 4.33: Korpus bölgesinin 10 mm'lik aktivasyon hali)

*Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:*SVM (0-250), (164-19).

Distrakte edilen tarafta kondil boynunun altında, ramusun posterior sınırına doğru lokalize stres yığılmasının olduğu alan görülmektedir. Karşı tarafta ise özellikle ramusun posterior bölgesinde kondil boynunun altında ciddi oranda streslerin olduğu dikkati çekmekte, bu yığılmanın angulusa doğru ise giderek azaldığı izlenmektedir (Resim 4,34).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Distrakte edilen tarafta kondil bölgesinde ramusun posterior sınırı boyunca yüksek oranda görülen stres yığılmalarının angulusa doğru azalma gösterdiği izlenmektedir. Karşı tarafta ise kondil boynu, ramus bölgesindeki yığılmanın angulus ve korpus boyunca azalarak devam etmekte olduğu görülmektedir (Resim 4.35).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15) (58-19)

Distrakte edilen tarafta distraktörün distal kısmından başlayan düşük seviyeli stresler ramus boyunca devam ederek insisura mandibula bölgesinde maksimuma ulaştığı görülmektedir. Ayrıca lokalize olarak kondil başında da stres yığılması izlenmektedir. Karşı tarafta ise kondil başı ve koronoid proses bölgesinde görülen yığılma, angulustan başlayarak, korpus ve simfiz bölgesine doğru azalan oranda devam ettiği görülmektedir. Özellikle ciddi anlamda stres varlığı angulus ve molar dişler bölgesinde bulunmaktadır (Resim 4.36, 4.37, 4.38).

4.3.2.Korpus bölgesinde orta pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm' lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular

Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:SVM (0-250), (164-19).

Distrakte edilen tarafta superiora pozisyona göre kondil bölgesindeki stres yığılmasının sadece ramusun posterior bölgesinde lokalize küçük bir alanda varolduğu görülmekte. Karşı tarafta ise kondil boynunun altındaki ve ramusun posterior bölgesindeki yaygın stres varlığının daha dar bir alana çekildiği gözlenmektedir (Resim 4.39).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Distrakte edilen tarafta kondil ve ramusun posterior bölgesindeki yüksek orandaki stres varlığının superiora pozisyona göre daha azalmış olduğu görülmektedir. Karşı tarafta ise belirgin bir değişiklik izlenmemektedir (Resim 4.40).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15) (58-19)

Distrakte edilen tarafta özellikle superior pozisyonda görülen distraktörün distalindeki stres varlığının önemini yitirmiş olduğu ve sadece fiksasyon bölgesinde noktasal bir alanda kaldığı görülmektedir. Ayrıca ramus bölgesindeki yığılmanın daha posteriora doğru yer değiştirdiği dikkati çekmektedir. Karşı tarafta ise yine aynı

bölgelerde stres yığılması görülmekle beraber kaydadeğer farklılık görülmemektedir (Resim 4.41, 4.42, 4.43).

4.3.3.Korpus bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular

*Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:*SVM (0-250), (164-19).

Distrikte edilen tarafta belirgin şekilde kondil bölgesinde diğer iki pozisyonda yerleştirilmiş distraktörlere göre önemli oranda stres kaybının varlığı dikkati çekmektedir. Karşı tarafta ise belirgin bir farklılık görülmemekle birlikte aynı bölgelerde yığılmanın daha dar bir alana çekilmiş olduğu görülmektedir (Resim 4.44).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-75)

Distrikte edilen tarafta diğer iki pozisyonda yerleştirilmiş distraktöre oranla ramusun posteriorunda var olan önemli sayılabilecek stres yığılmasının ortadan kalktığı ve daha dar bir alana sıkıştığı görülmektedir. Karşı tarafta ise belirgin bir farklılık dikkati çekmemektedir (Resim 4.45).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-15) (58-19)

Distrikte edilen tarafta distraktör etrafındaki stresin tamamen ortadan kalkmış olması önemli bir bulgu olarak dikkati çekmektedir. Ayrıca heriki pozisyonda yerleştirilmiş distraktöre göre kondil ve ramus bölgesindeki stres yığılmasının halen var olduğu ancak daha sınırlı bir alanda kaldığı görülmektedir. Karşı tarafta ise minimal düzeydeki farklılıklarla beraber genelde aynı seyirde devam ettiği izlenmektedir (Resim 4.46, 4.47, 4.48).

4.4.Simfiz Bölgesi

4.4.1.Simfiz bölgesinde superior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular: (Resim 4.49: Simfiz bölgesinin 10 mm'lik aktivasyon hali)

*Yüksek seviye gerilmelerin değerlendirilmesi:*SVM (0-150), (164-19).

Simfiz bölgesinde yapılan distraksiyon neticesinde stres alanlarının simetrik olarak mandibulanın heriki tarafında oluştuğu görülmektedir. Bu bölgeler heriki tarafta ramustan başlayarak insisura mandibula ve kondilin büyük bir kısmını içine aldığı

dikkati çekmektedir. Stres yoğunluğunun en fazla olduğu bölgenin ise ramusun posterior sınırında olduğu izlenmektedir (Resim 4.50).

Orta seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-150)

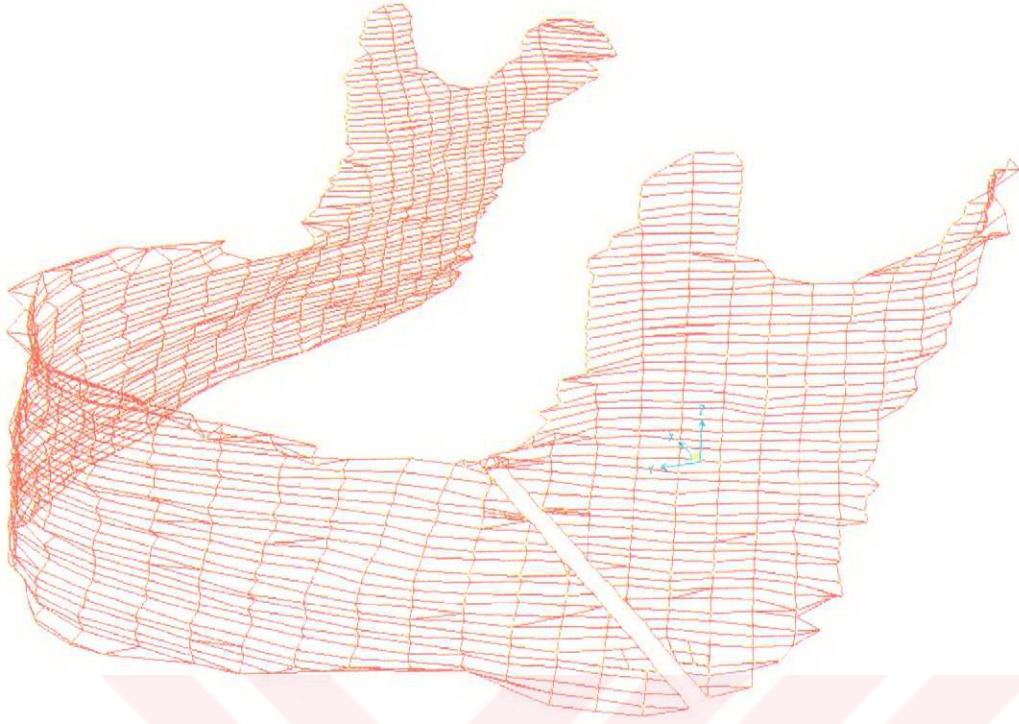
Stres yığılma alanlarının yine simetrik olarak ramusun tümünde koronoid proses ve kondilin tamamına doğru yer değiştirdiği, ayrıca korpus bölgesinde molar dişler hizasına doğru yayılma eğiliminde olduğu dikkati çekmektedir (Resim 4.51).

Düşük seviye gerilmelerin değerlendirilmesi: SVM (0-150)

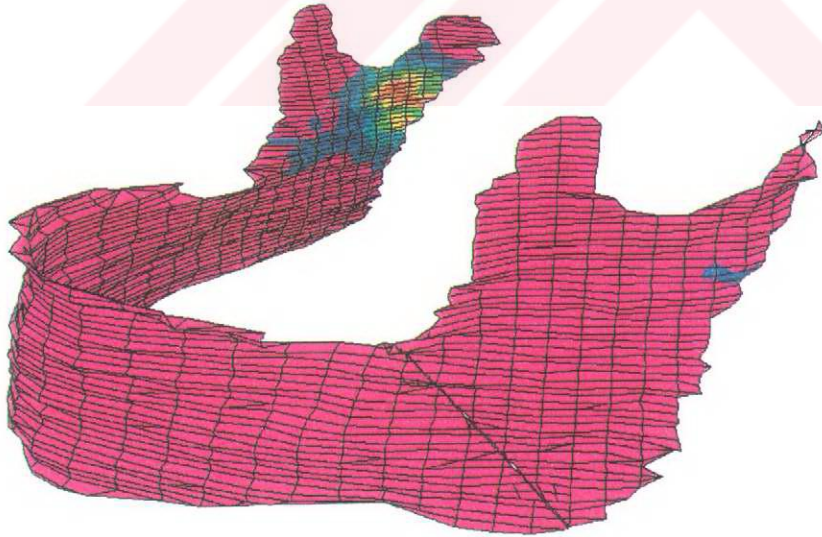
Distraktörün etrafından başlayan stres alanları korpusun tamamında giderek artan düzeyde olup angulus bölgesinde ise yüksek oranda olduğu görülmektedir. Ayrıca bu yoğunluğun koronoid proses ve kondil başlarında da simetrik olarak meydana geldiği dikkati çekmektedir (Resim 4.52).

4.4.2.Simfiz bölgesinde inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün 10mm'lik aktivasyonu sonrası elde edilen bulgular:

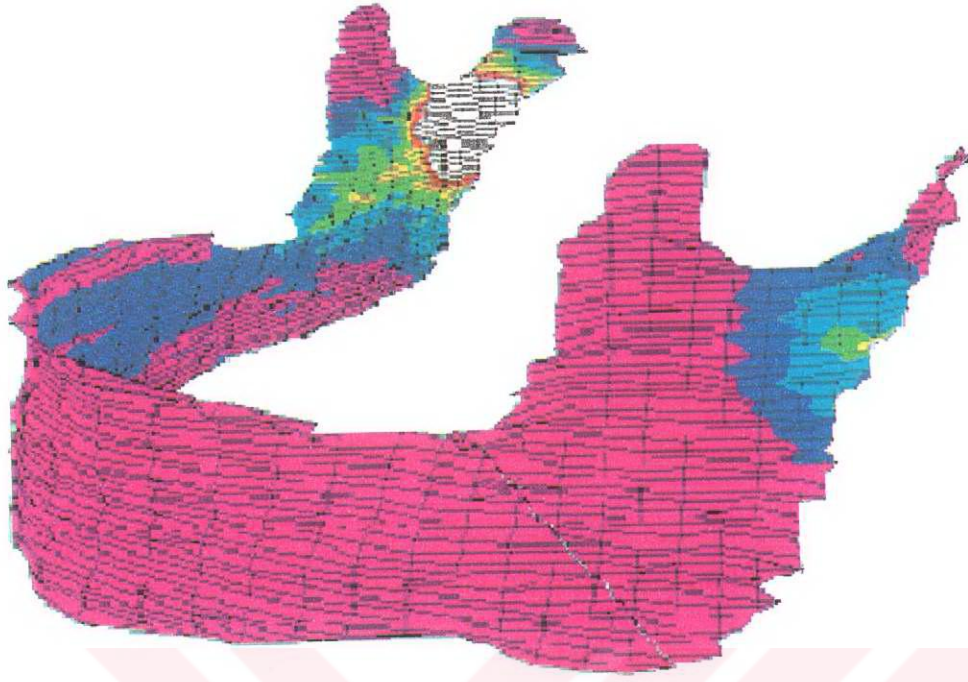
İnferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün aktivasyonu sonucu yüksek, orta ve düşük seviye gerilmeler incelenildiğinde superior pozisyona göre aynı bölgelerde stres alanlarının oluştuğu ve belirgin bir farklılık olmamasına karşın özellikle düşük seviye gerilme alanları incelenildiği zaman angulus bölgesinde ki yoğunluğun çok az miktarda azalmış olduğu dikkati çekmektedir (Resim 4.53, 4.54, 4.55) .



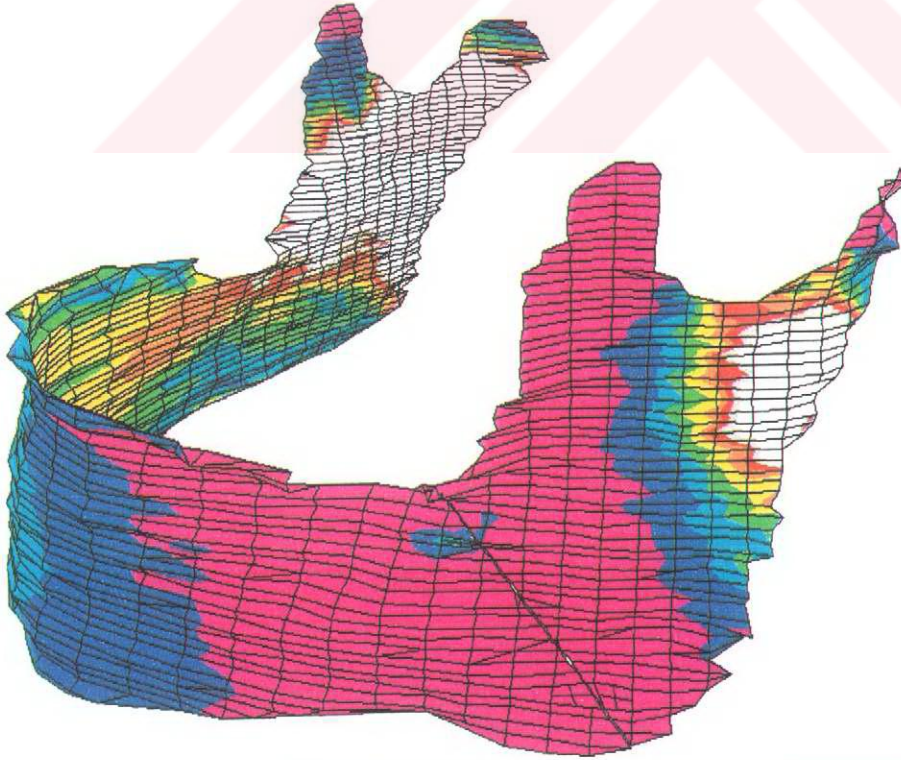
Resim 4.1.: Angulus bölgesi; kesitin 10 mm aktive edilmiş hali



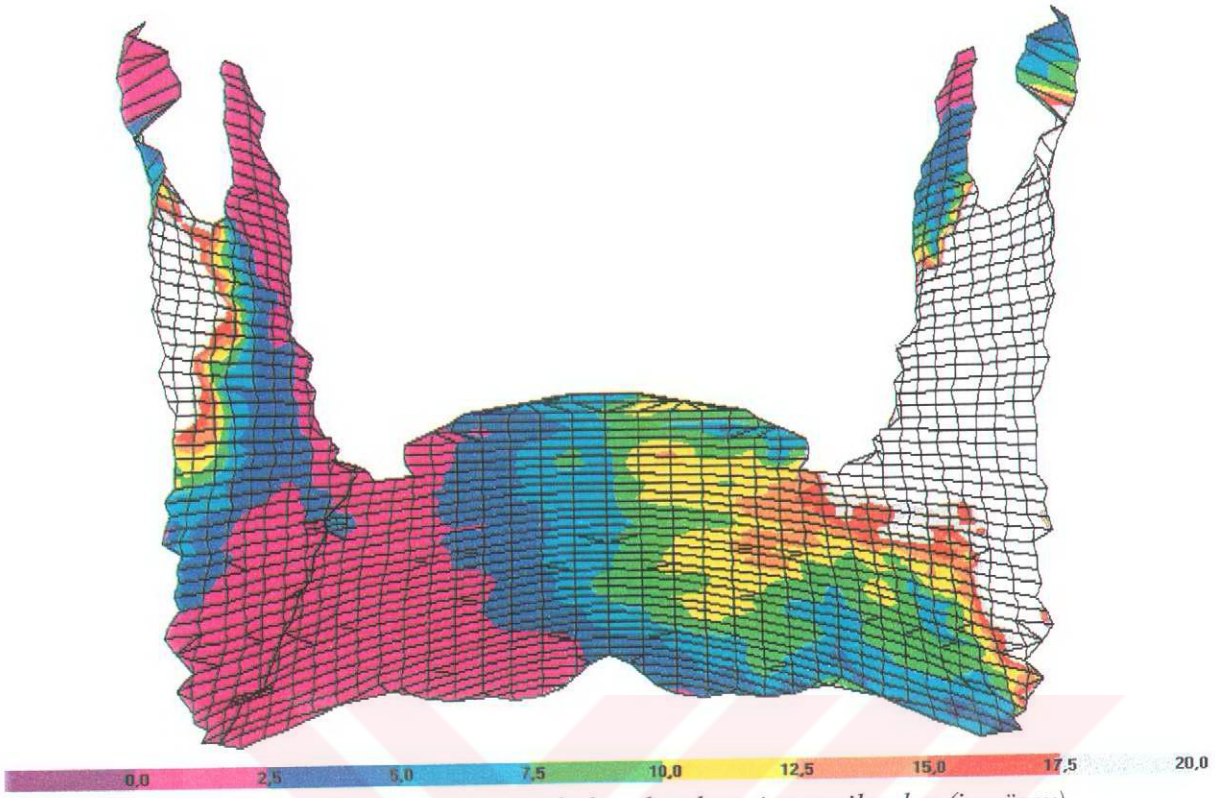
Resim 4.2.: Angulus, superior bölge yüksek seviye gerilmeler



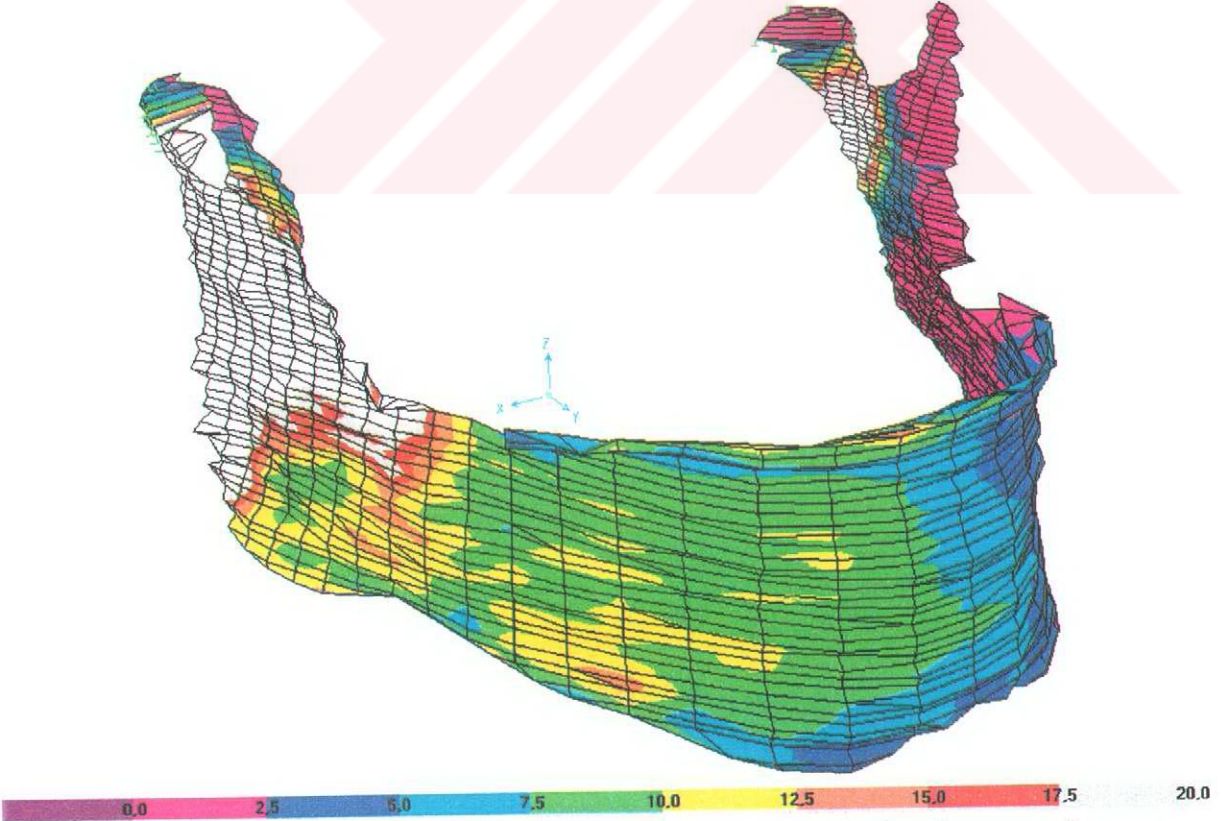
Resim 4.3.: Angulus, superior bölge orta seviye gerilmeler



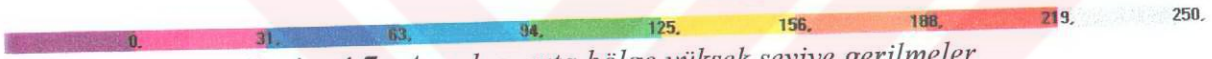
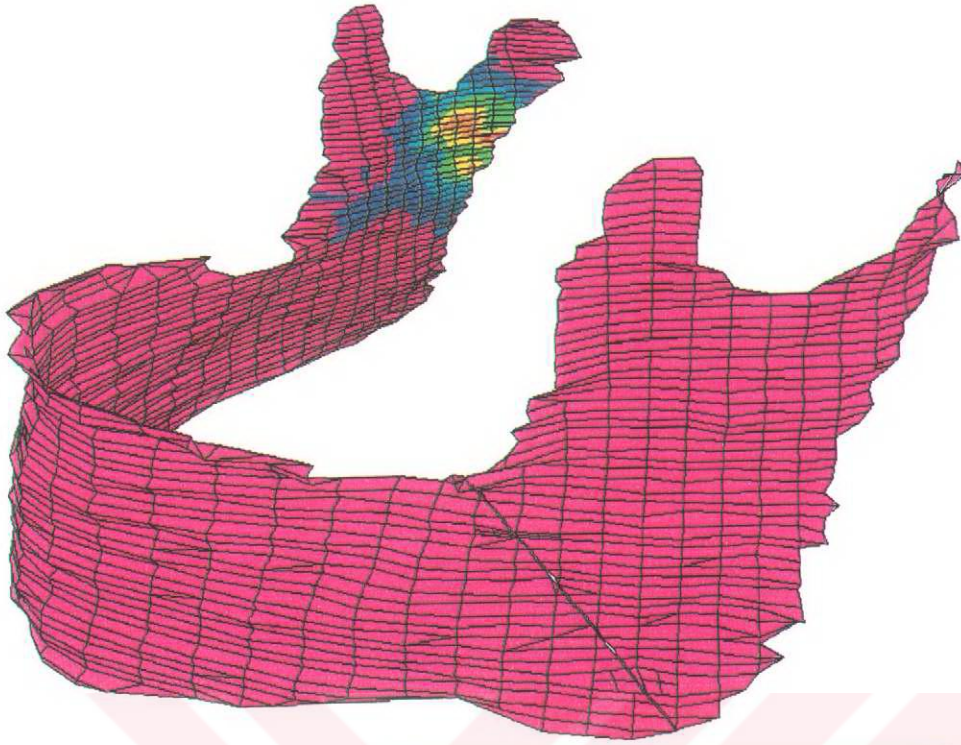
Resim 4.4.: Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler



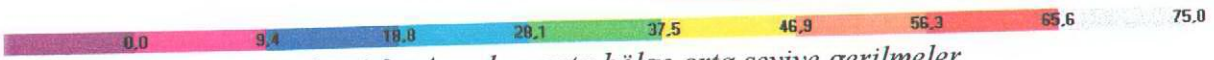
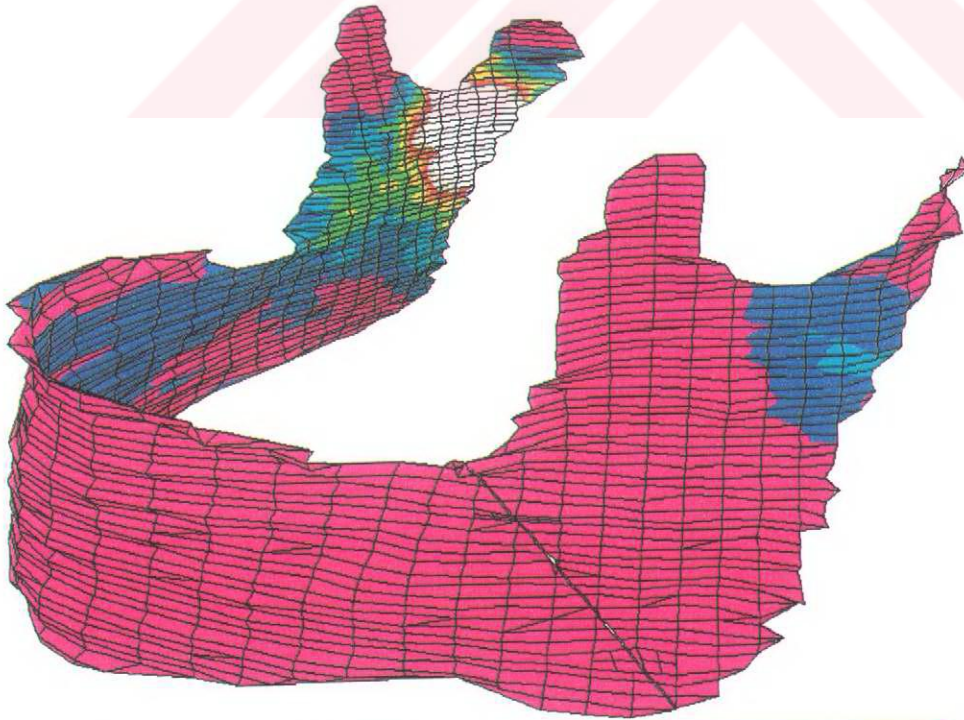
Resim 4.5.: Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



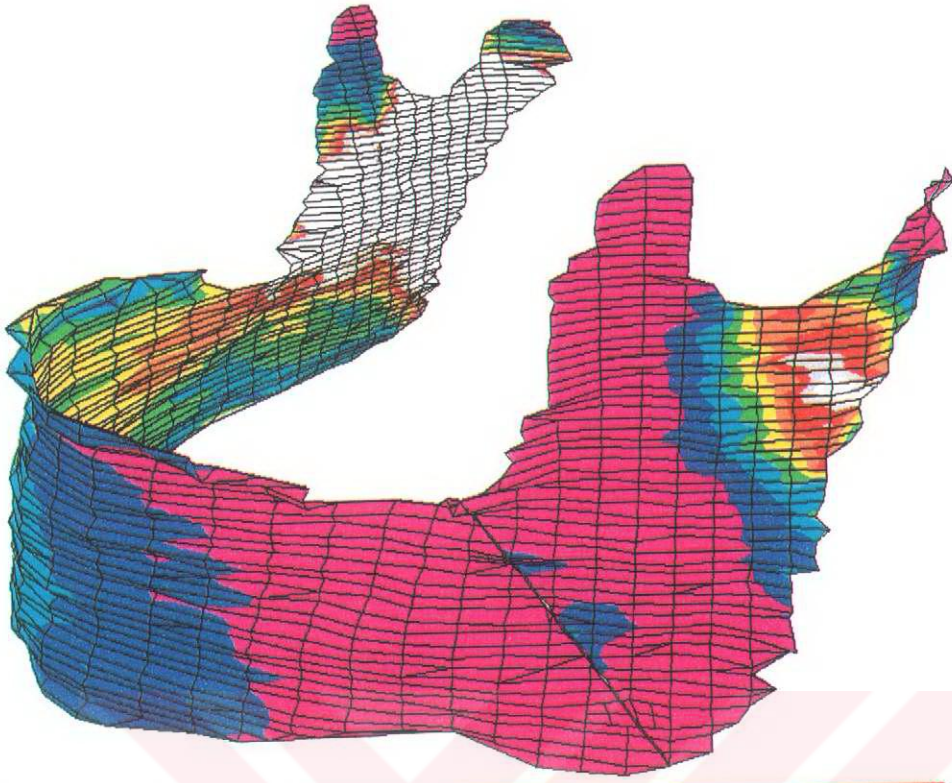
Resim 4.6.: Angulus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



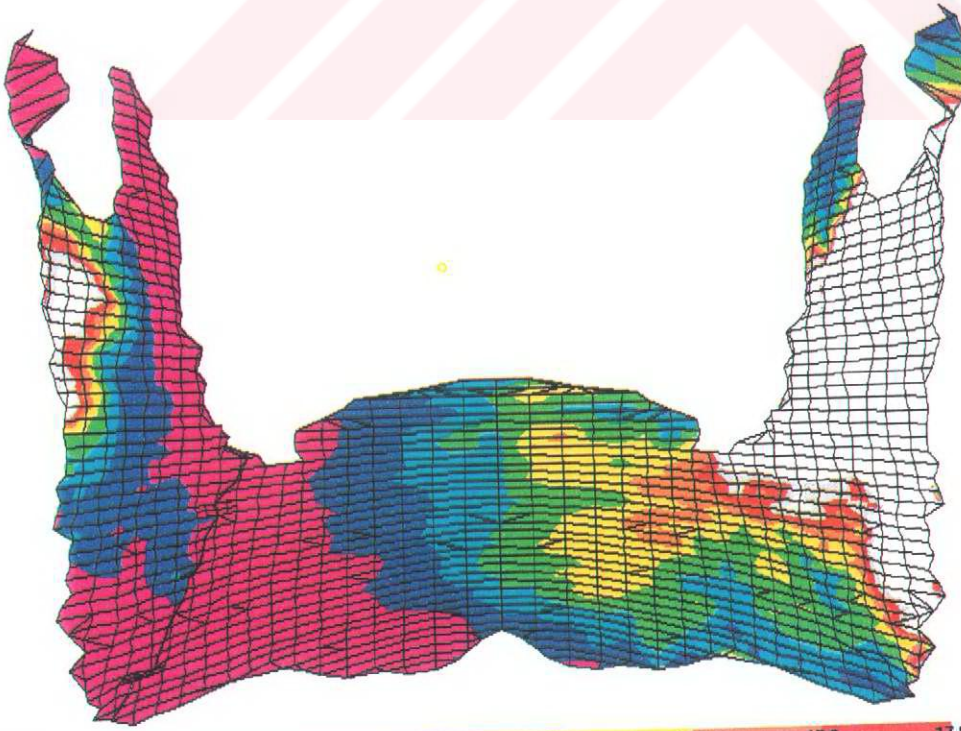
Resim 4.7.: Angulus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler



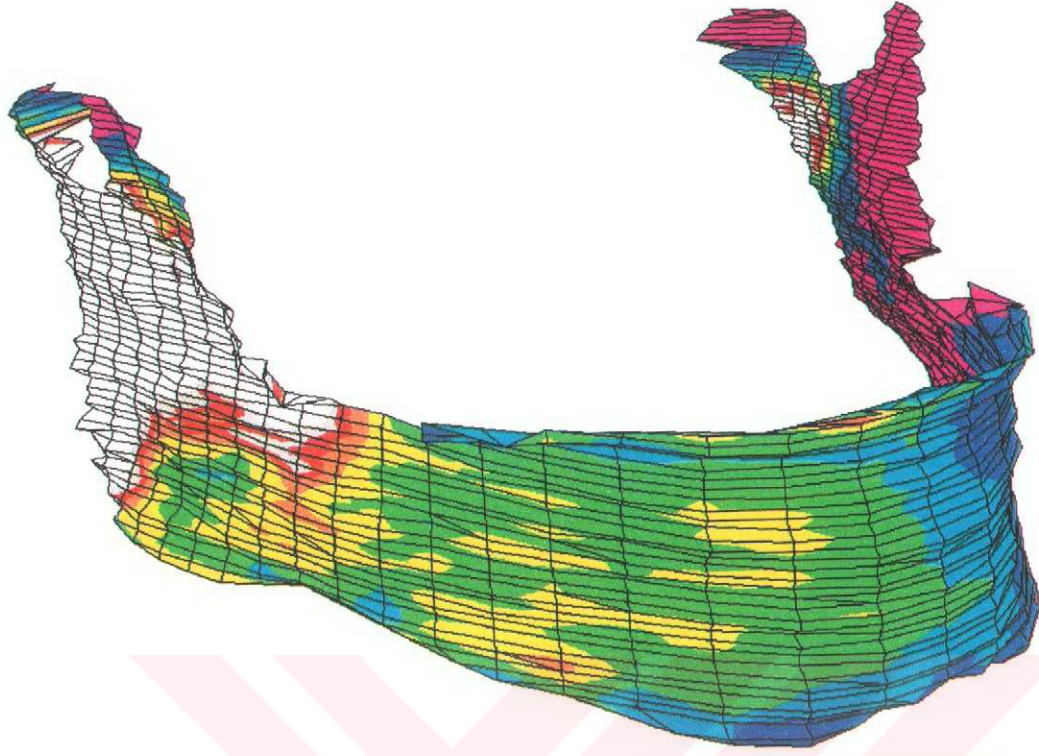
Resim 4.8.: Angulus, orta bölge orta seviye gerilmeler



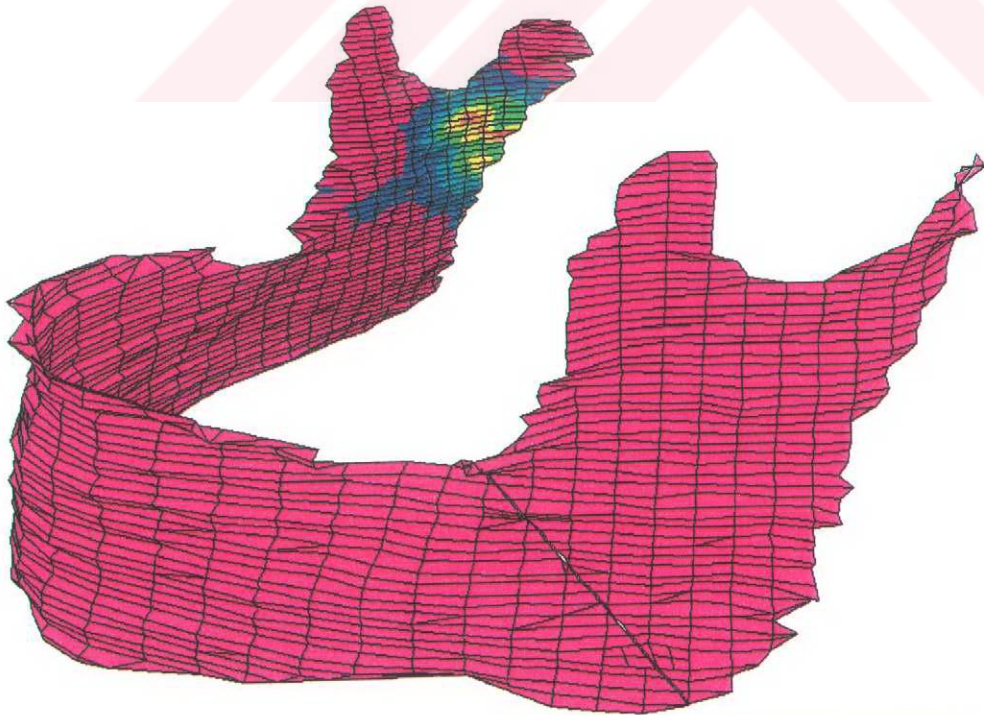
Resim 4.9.: Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler



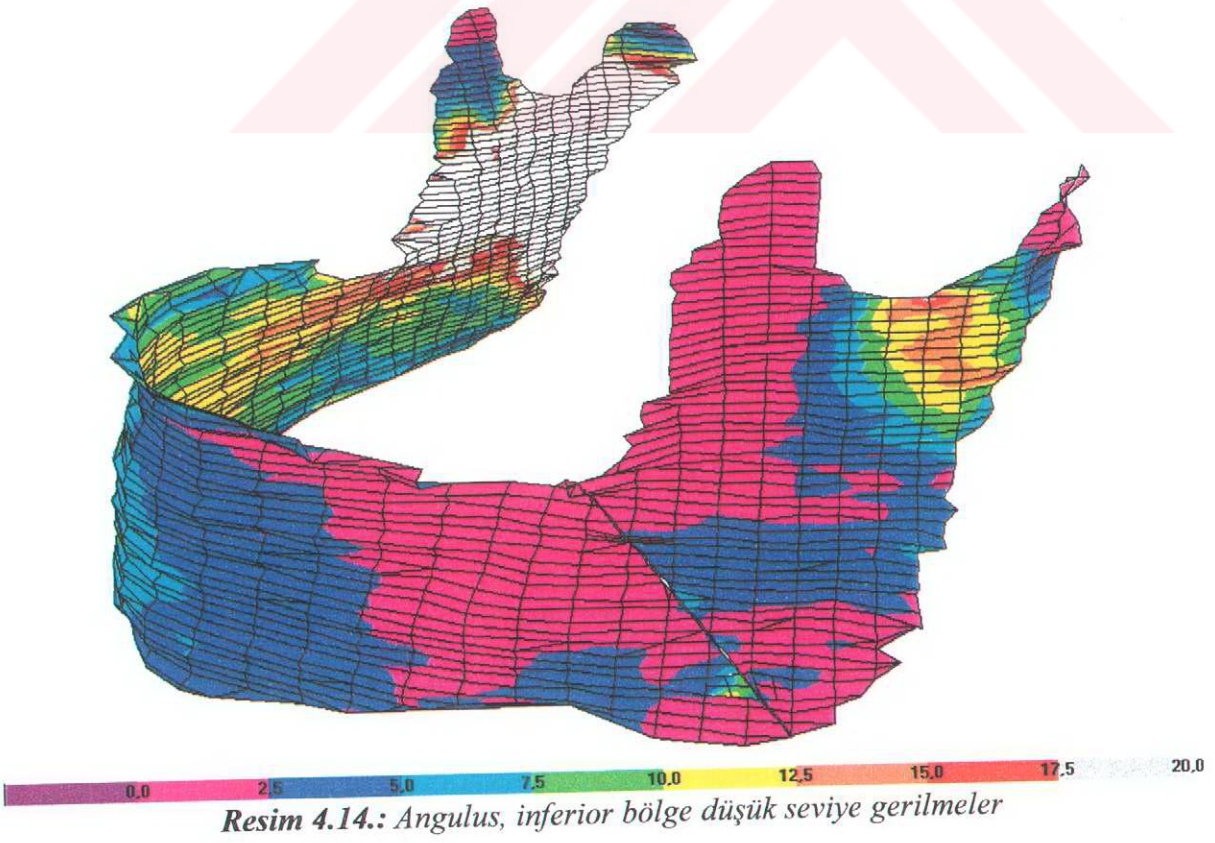
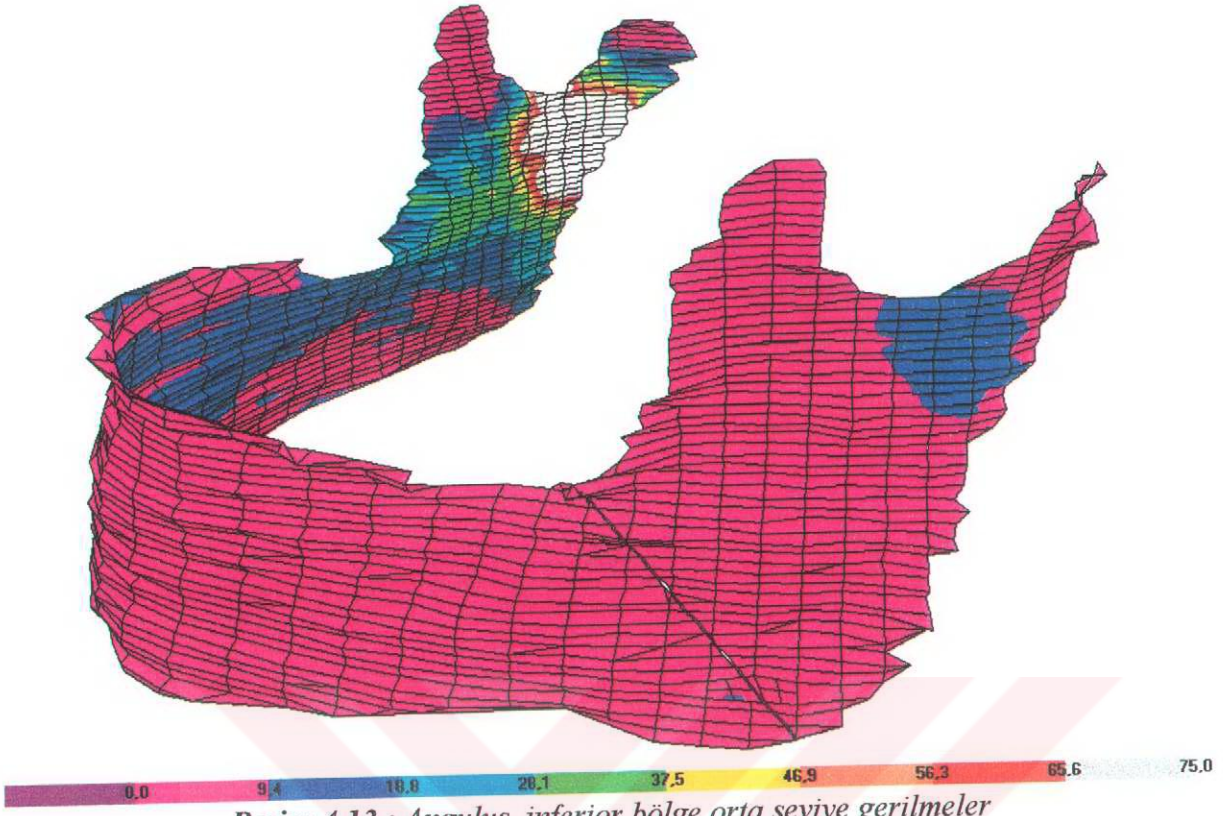
Resim 4.10.: Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)

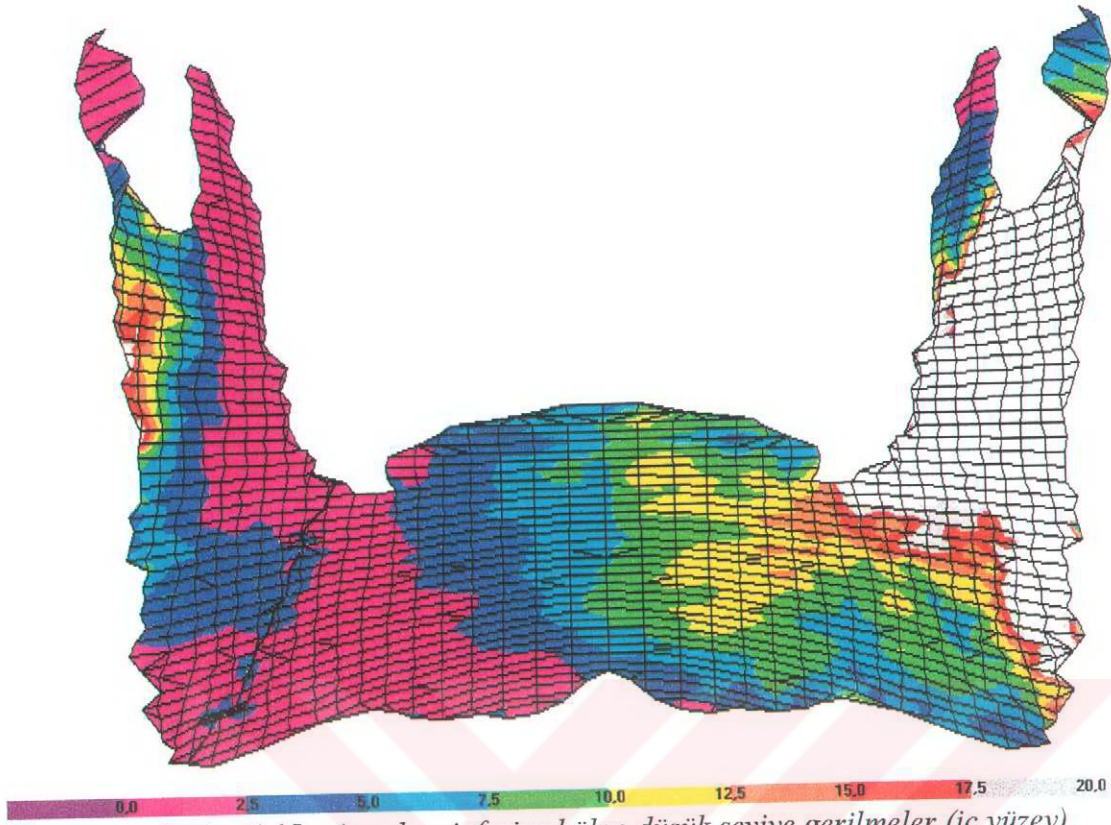


Resim 4.11.: Angulus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)

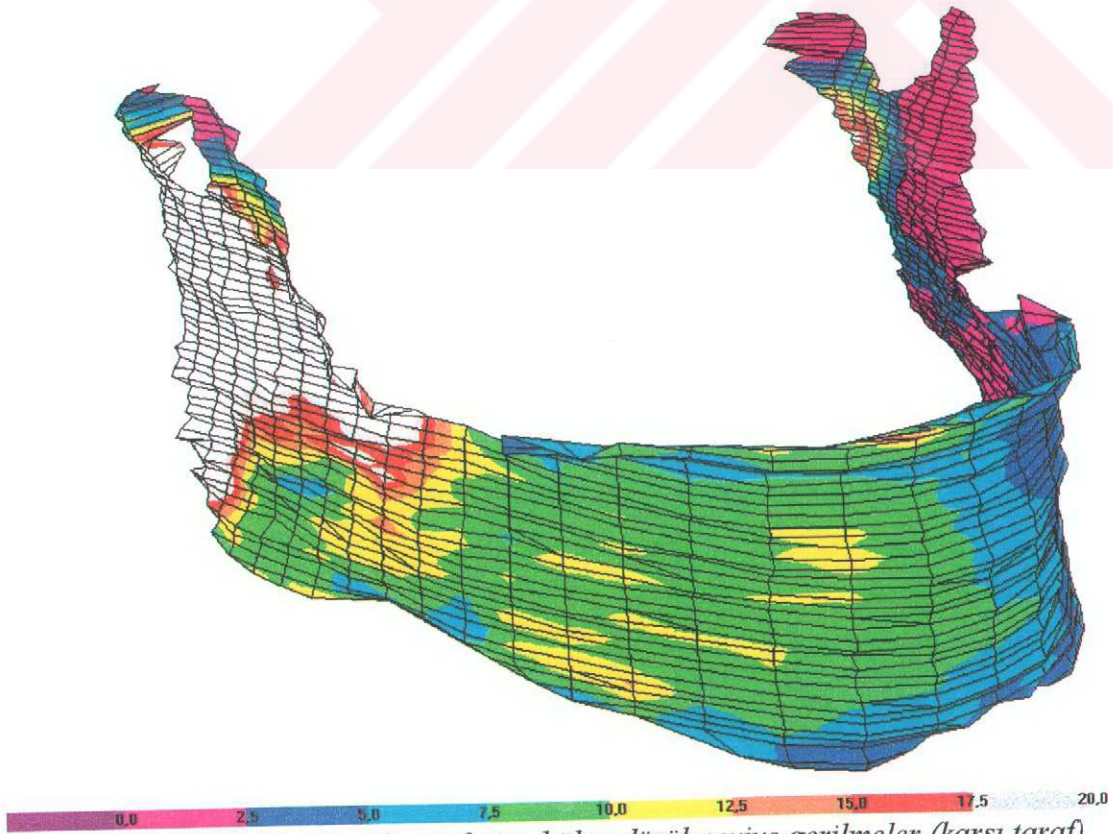


Resim 4.12.: Angulus, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler

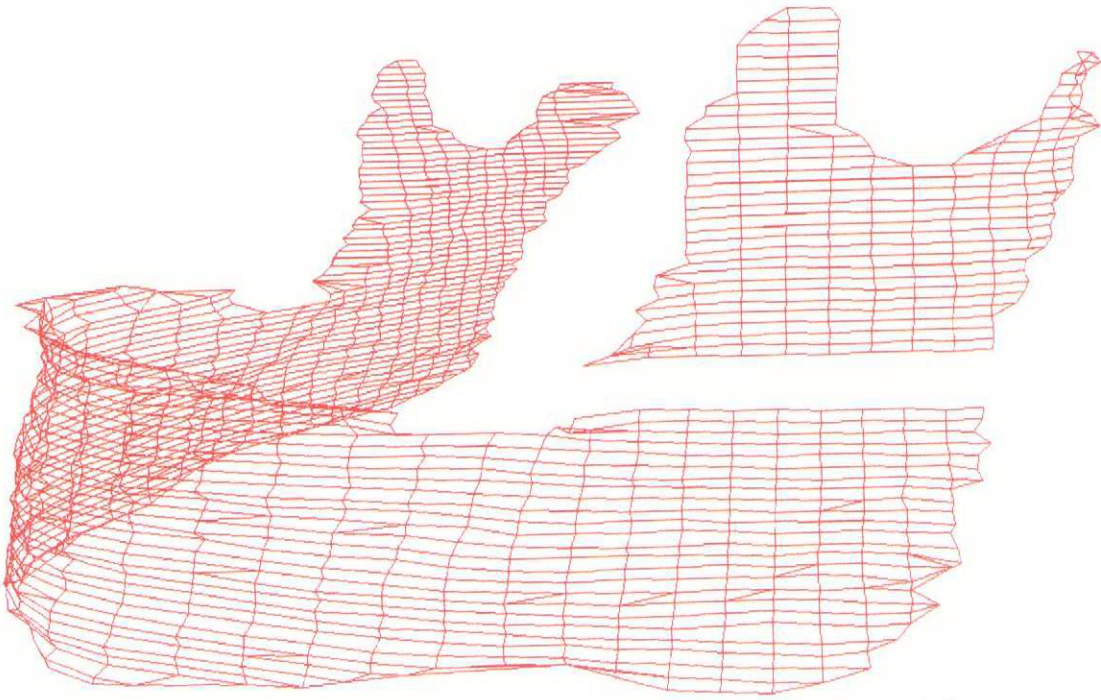




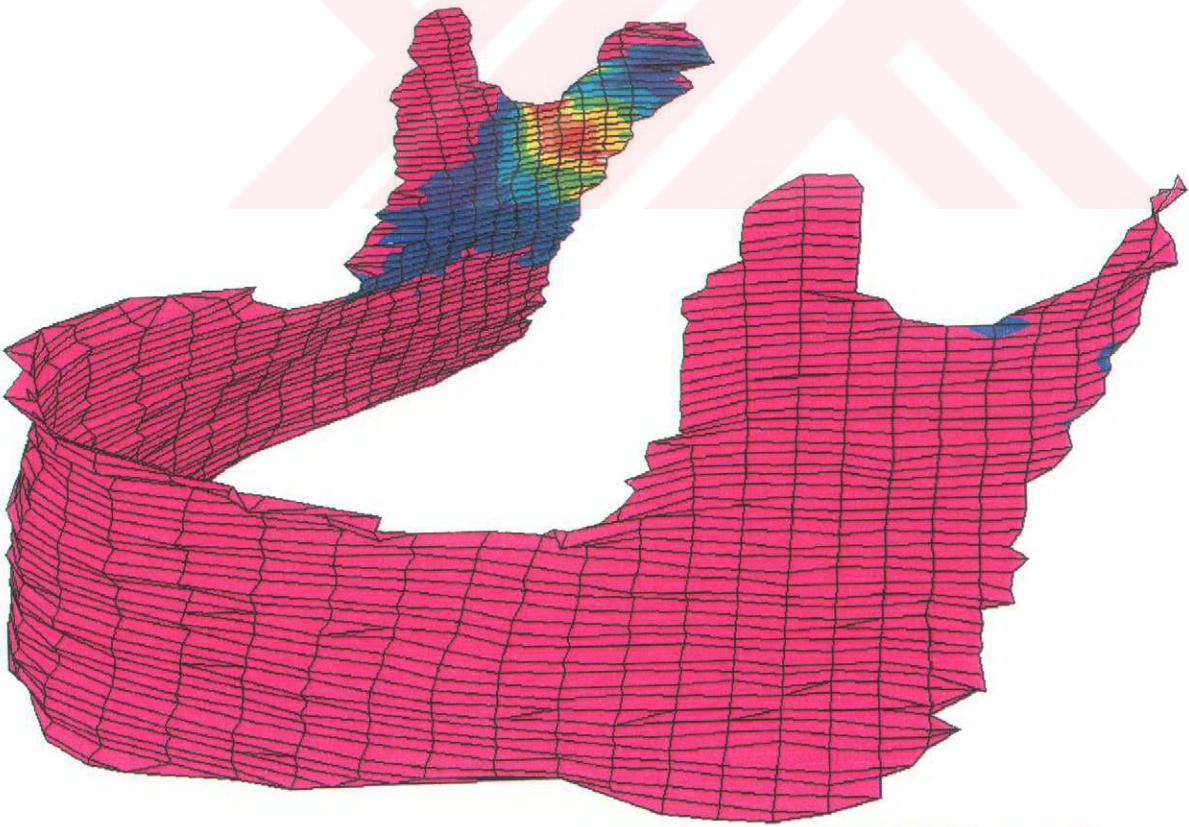
Resim 4.15.: Angulus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



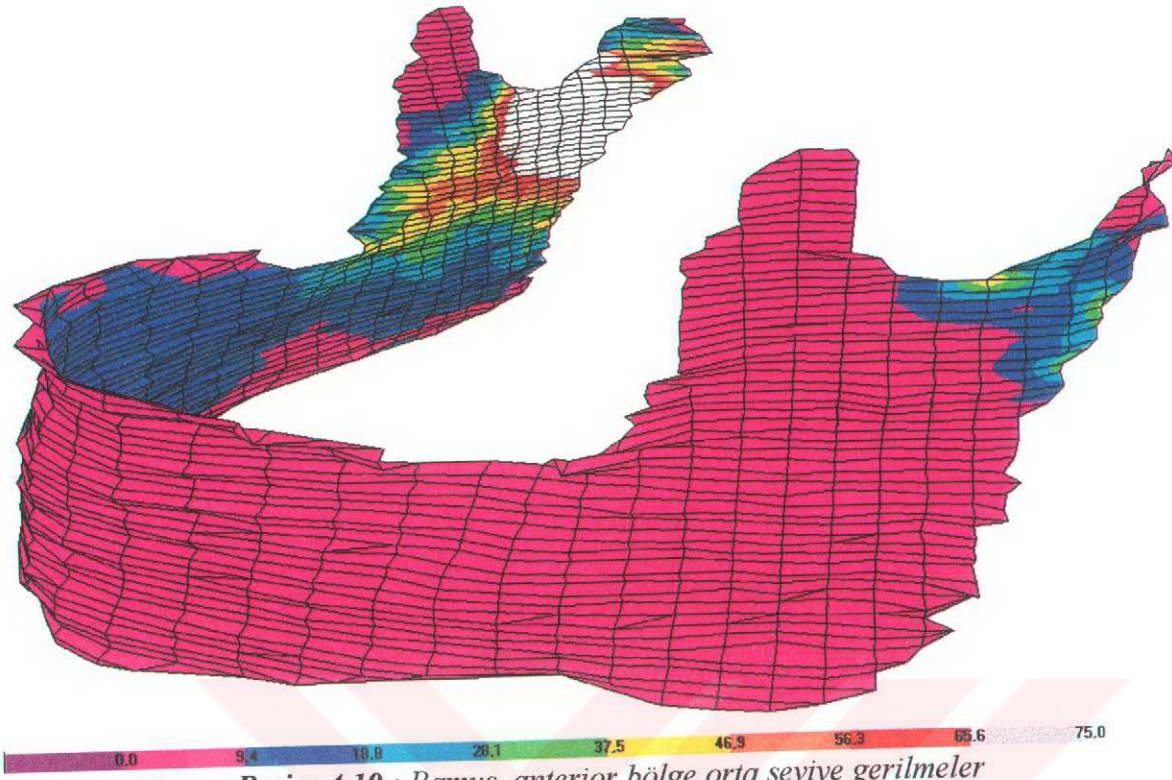
Resim 4.16.: Angulus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



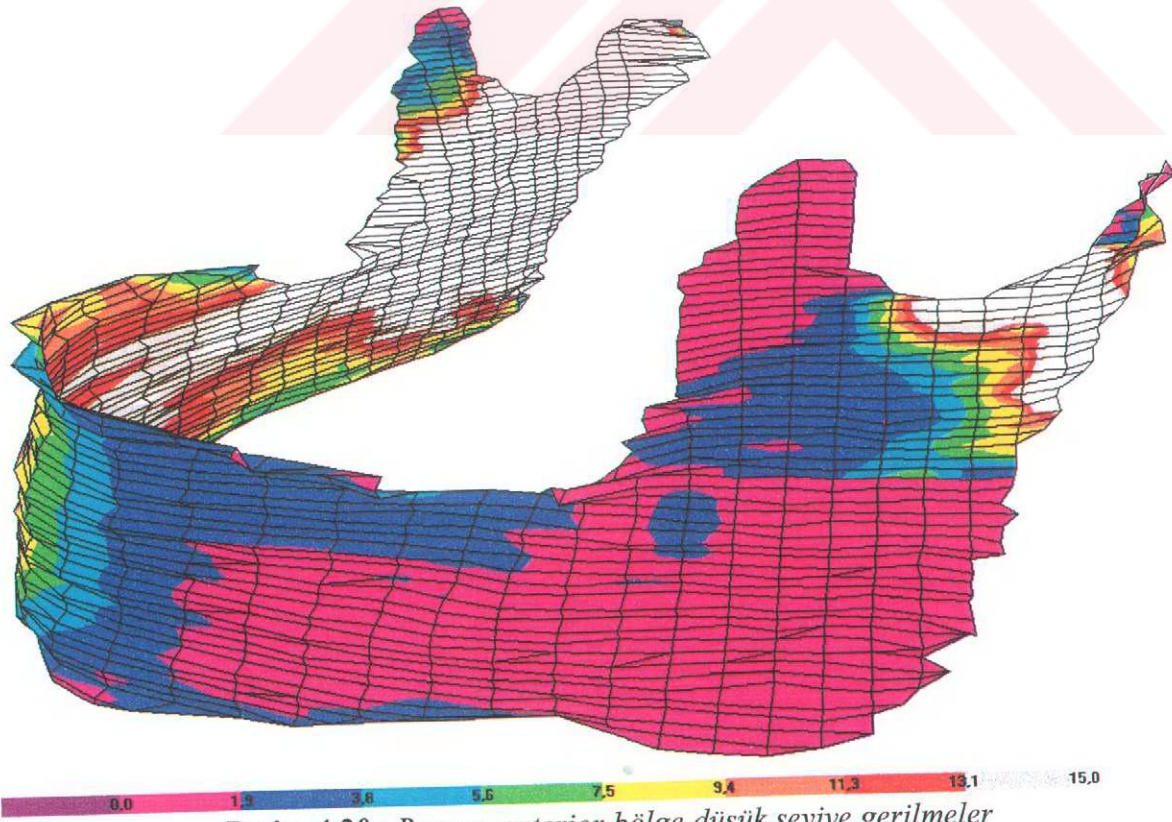
Resim 4.17.: Ramus bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali



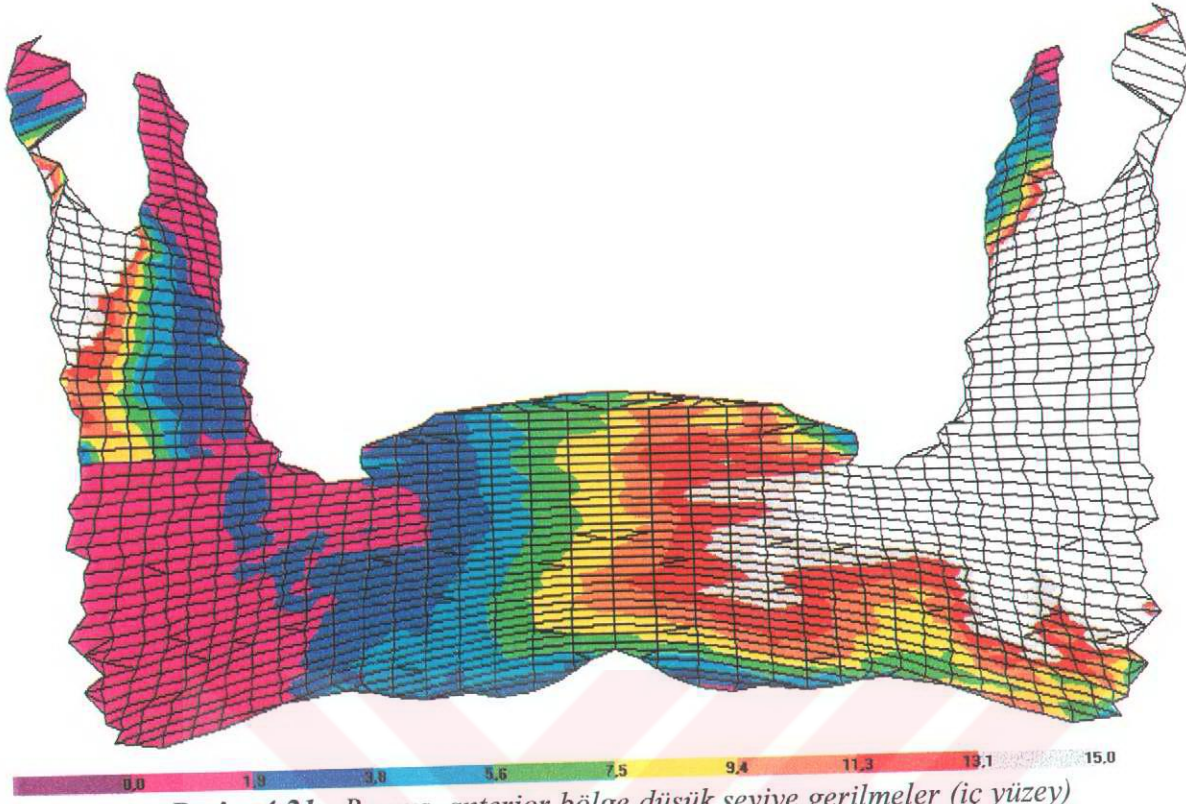
Resim 4.18.: Ramus, anterior bölge yüksek seviye gerilmeler



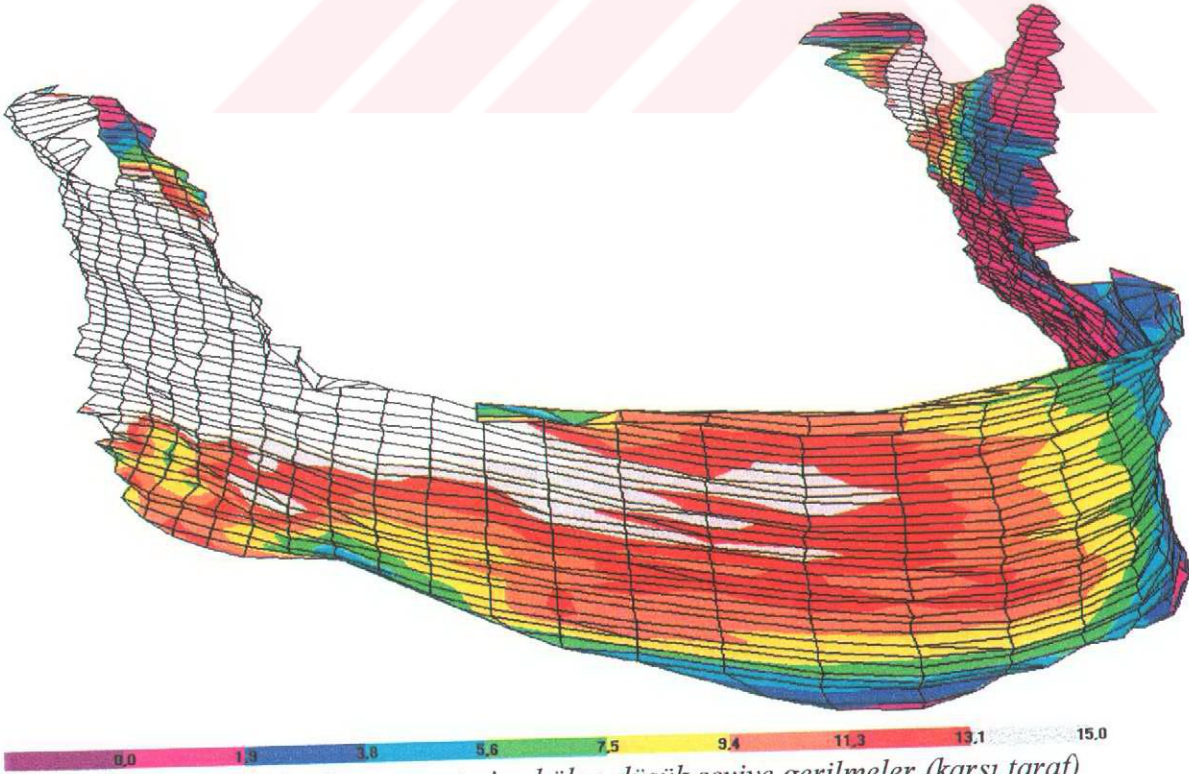
Resim 4.19.: Ramus, anterior bölge orta seviye gerilmeler



Resim 4.20.: Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler



Resim 4.21.: Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



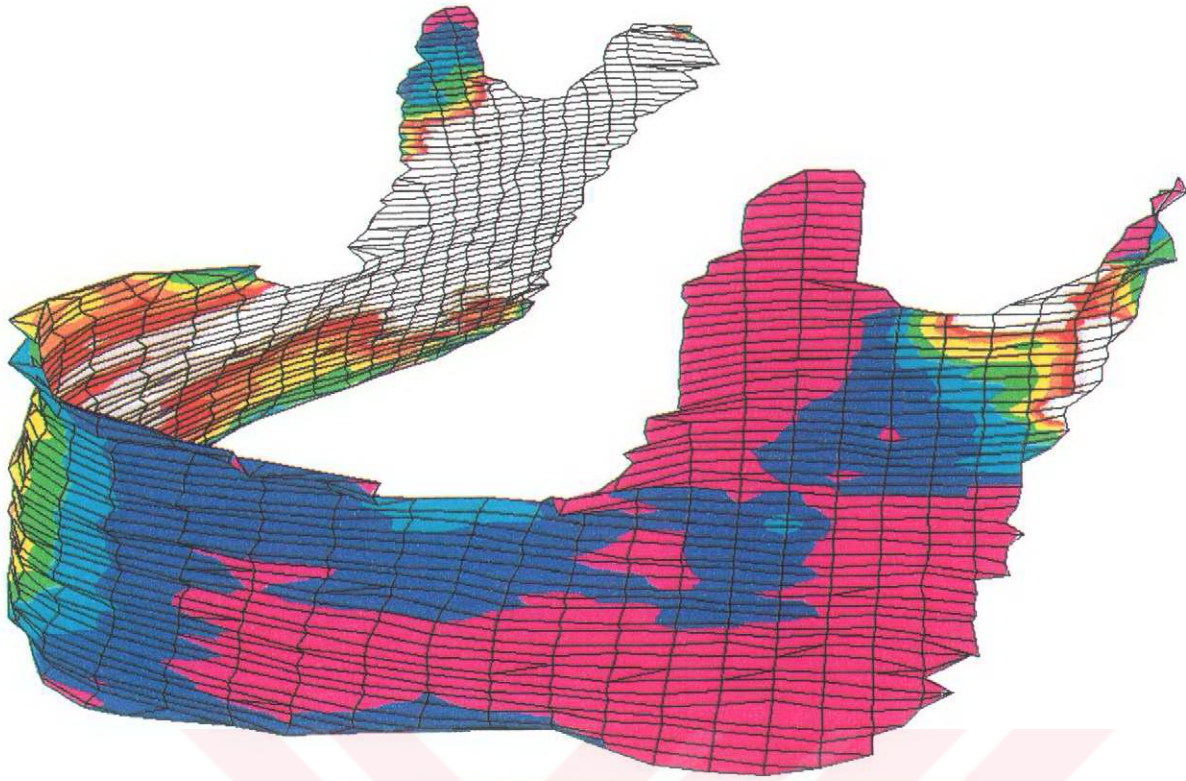
Resim 4.22.: Ramus, anterior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



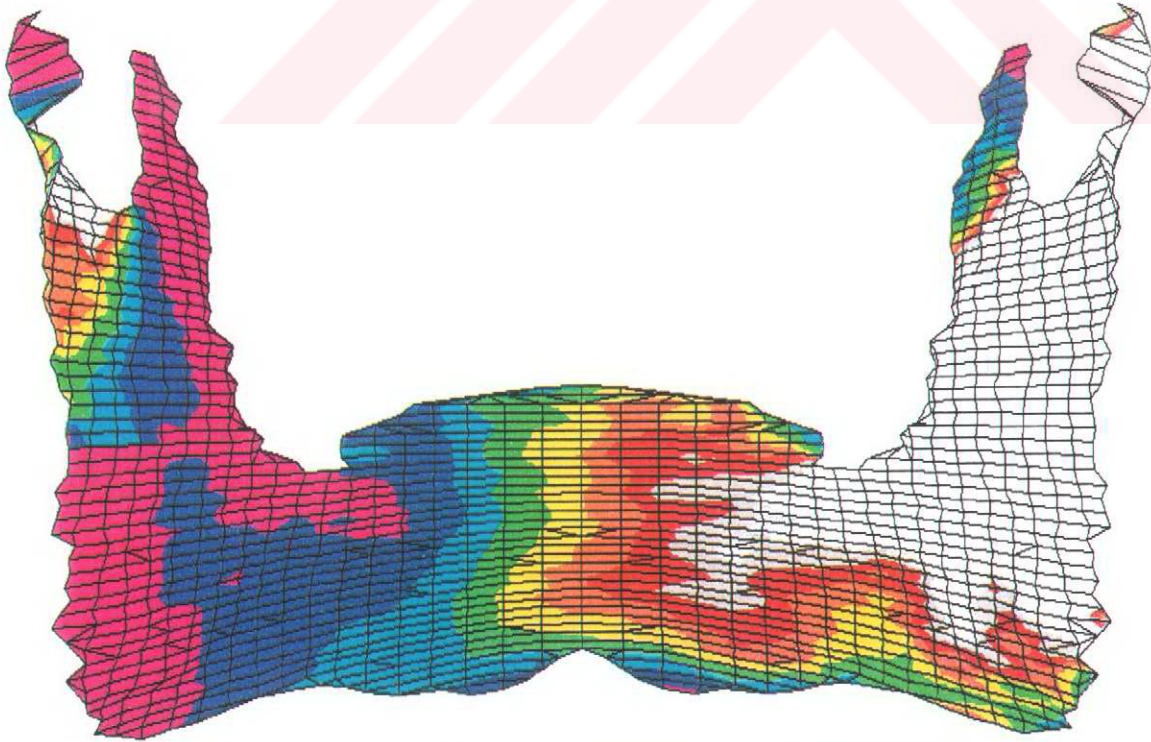
Resim 4.23.: Ramus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler



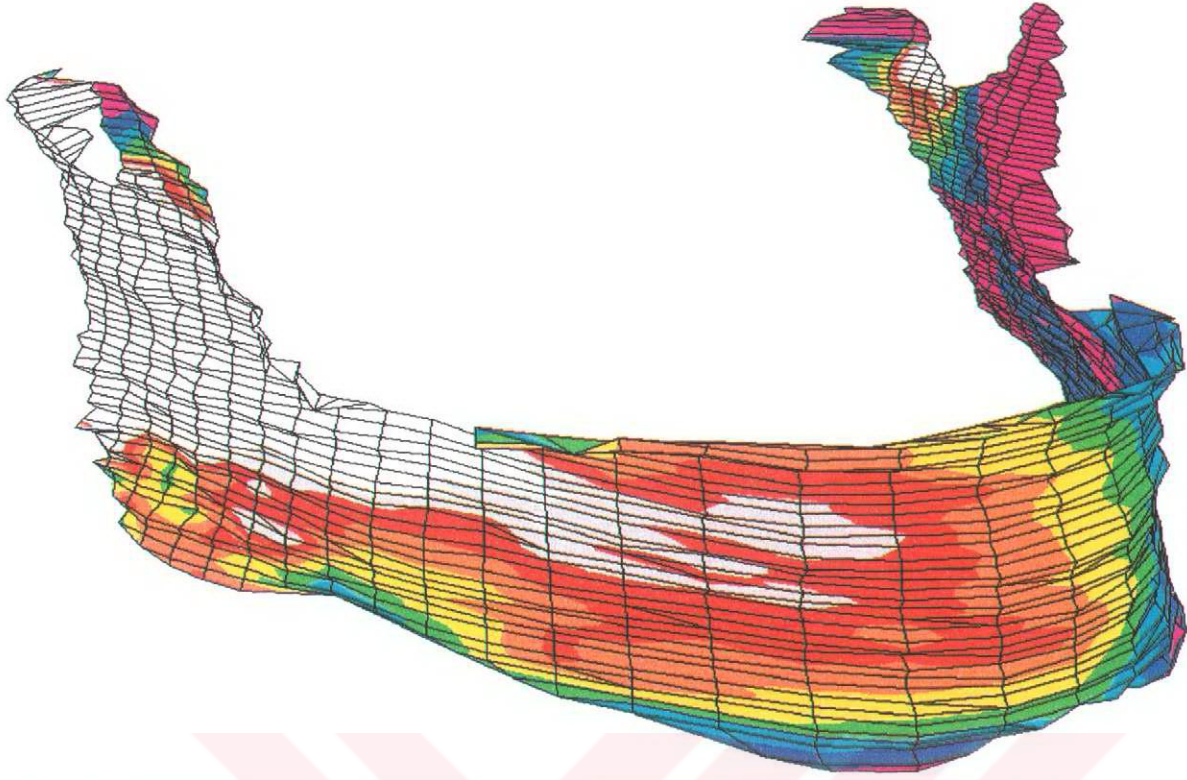
Resim 4.24.: Ramus, orta bölge orta seviye gerilmeler



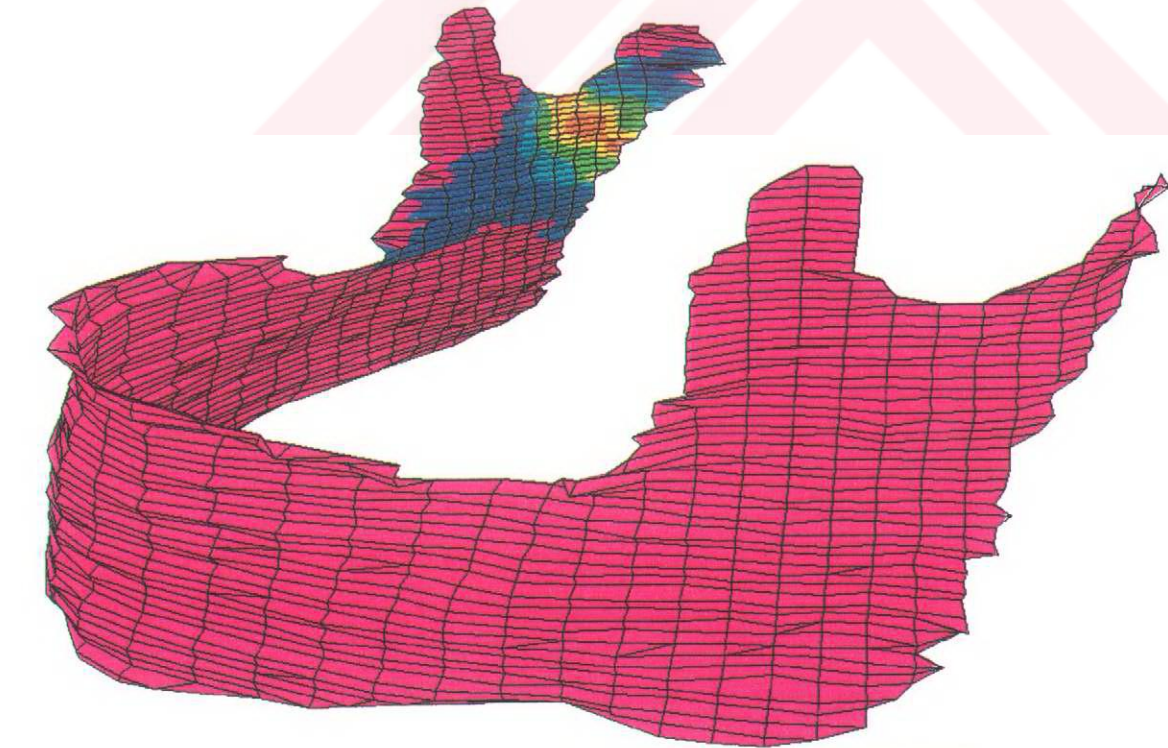
Resim 4.25.: Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler



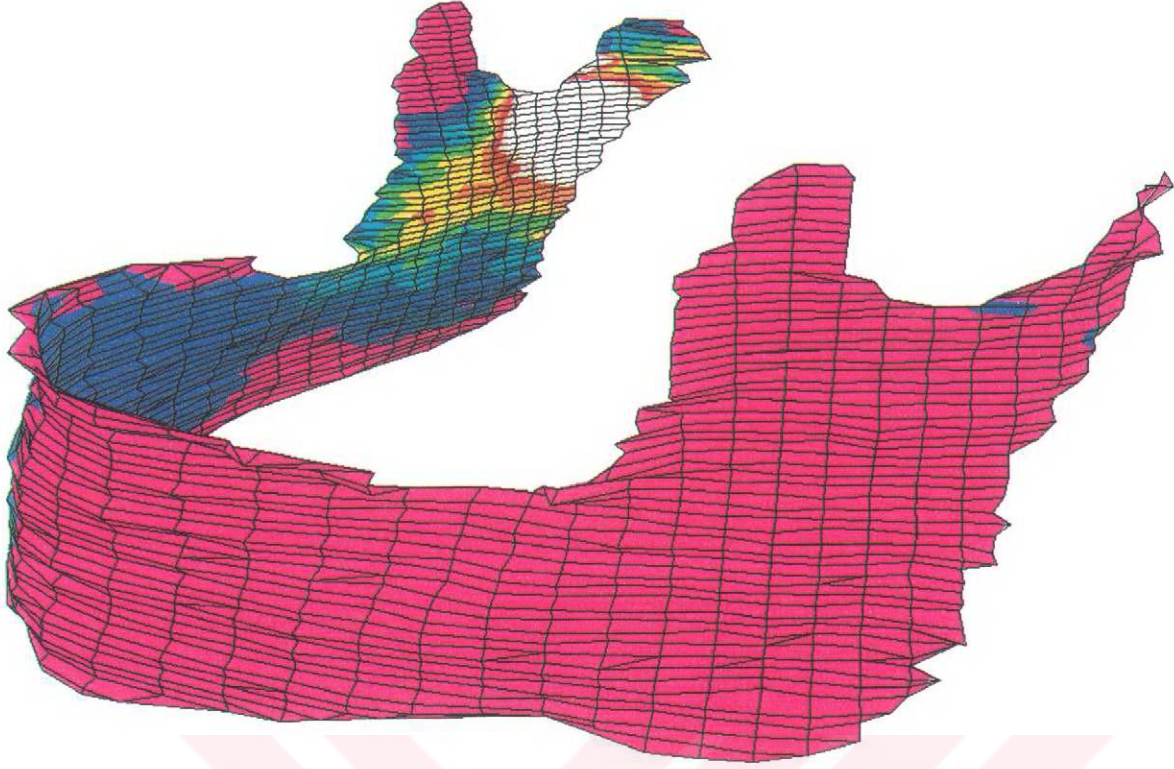
Resim 4.26.: Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



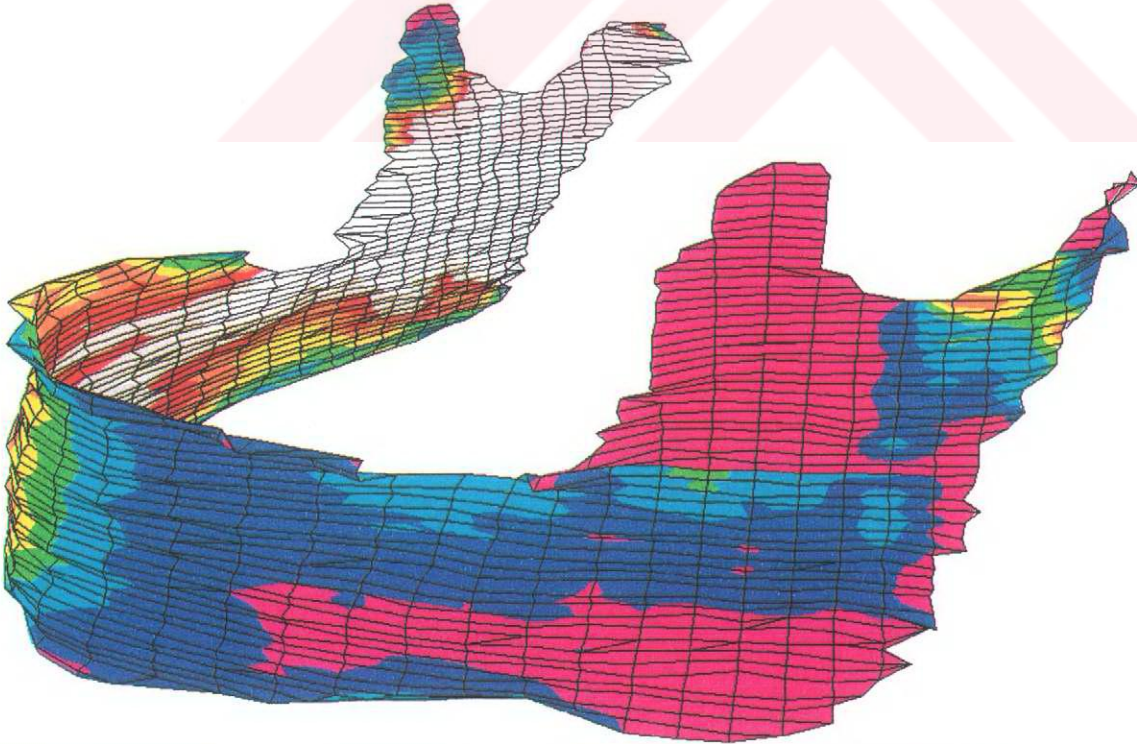
Resim 4.27.: Ramus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



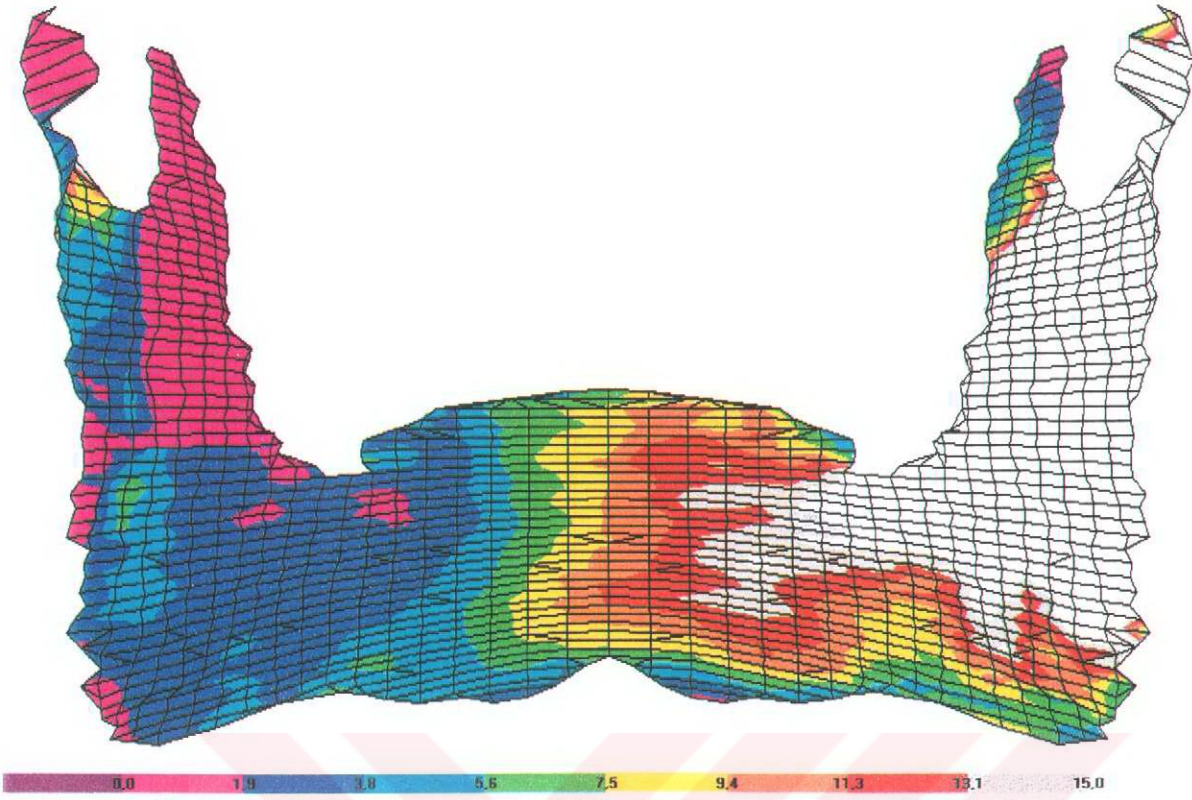
Resim 4.28.: Ramus, posterior bölge yüksek seviye gerilmeler



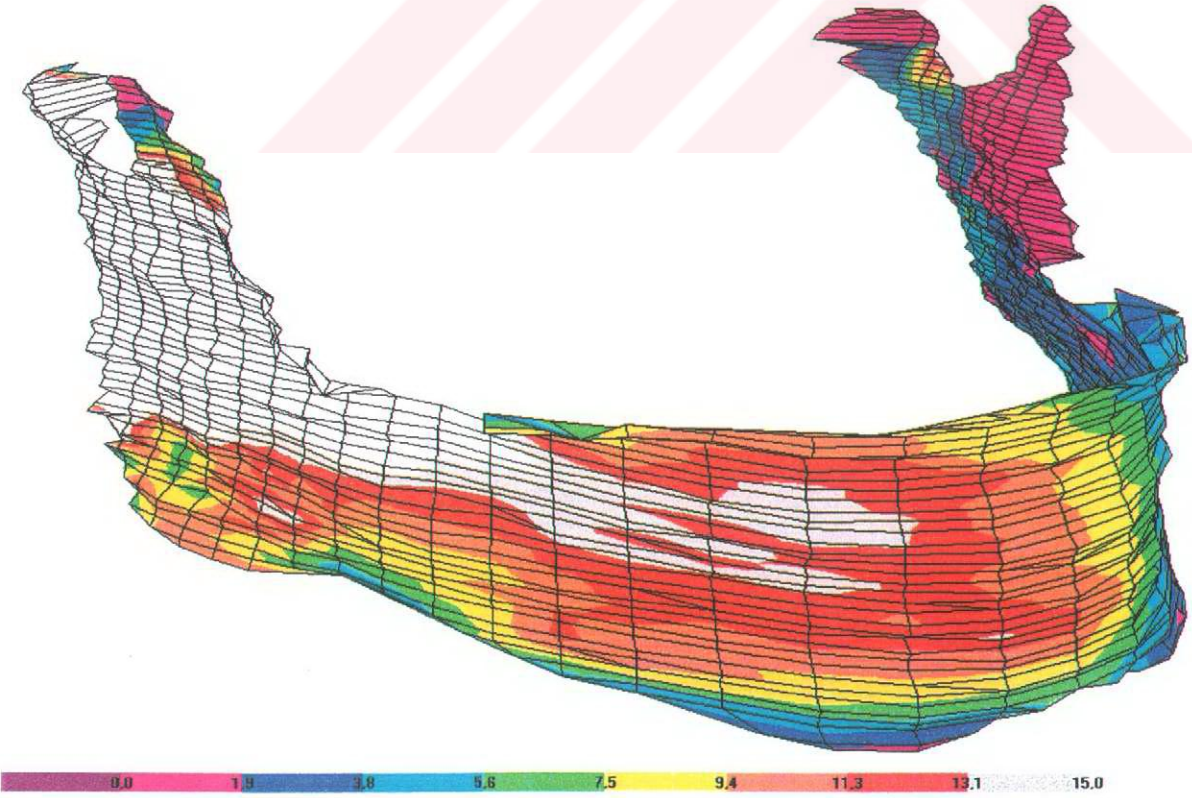
Resim 4.29.: Ramus, posterior bölge orta seviye gerilmeler



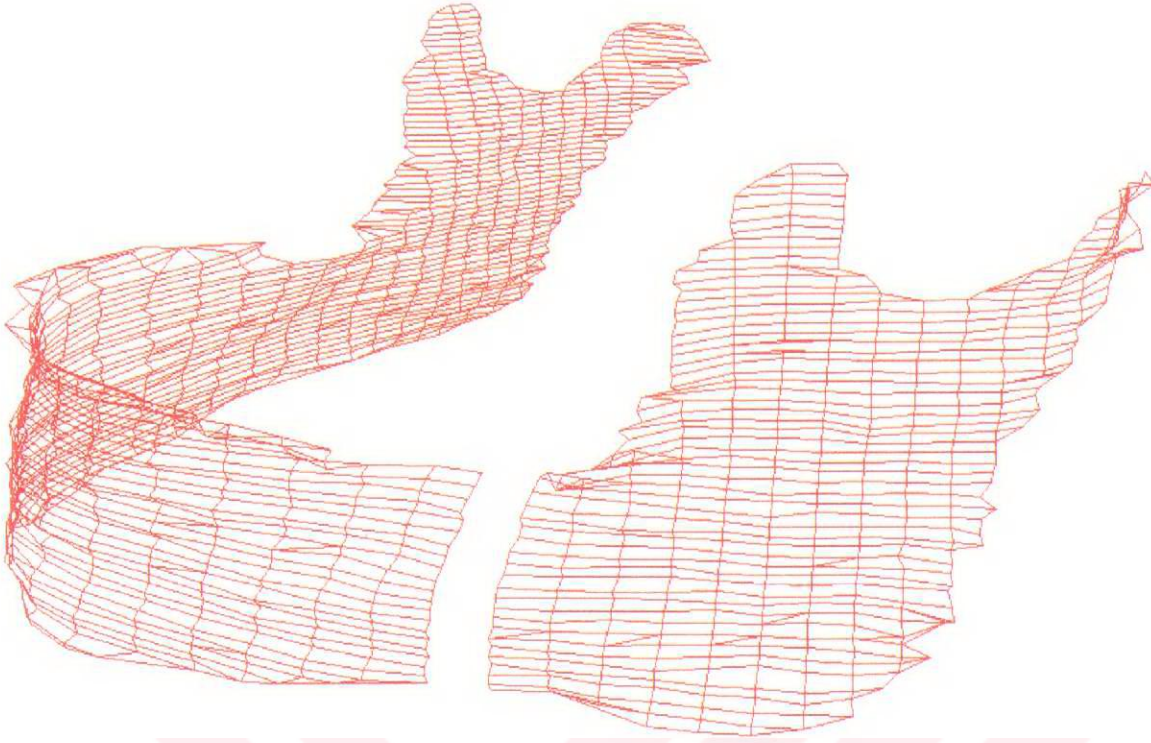
Resim 4.30.: Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler



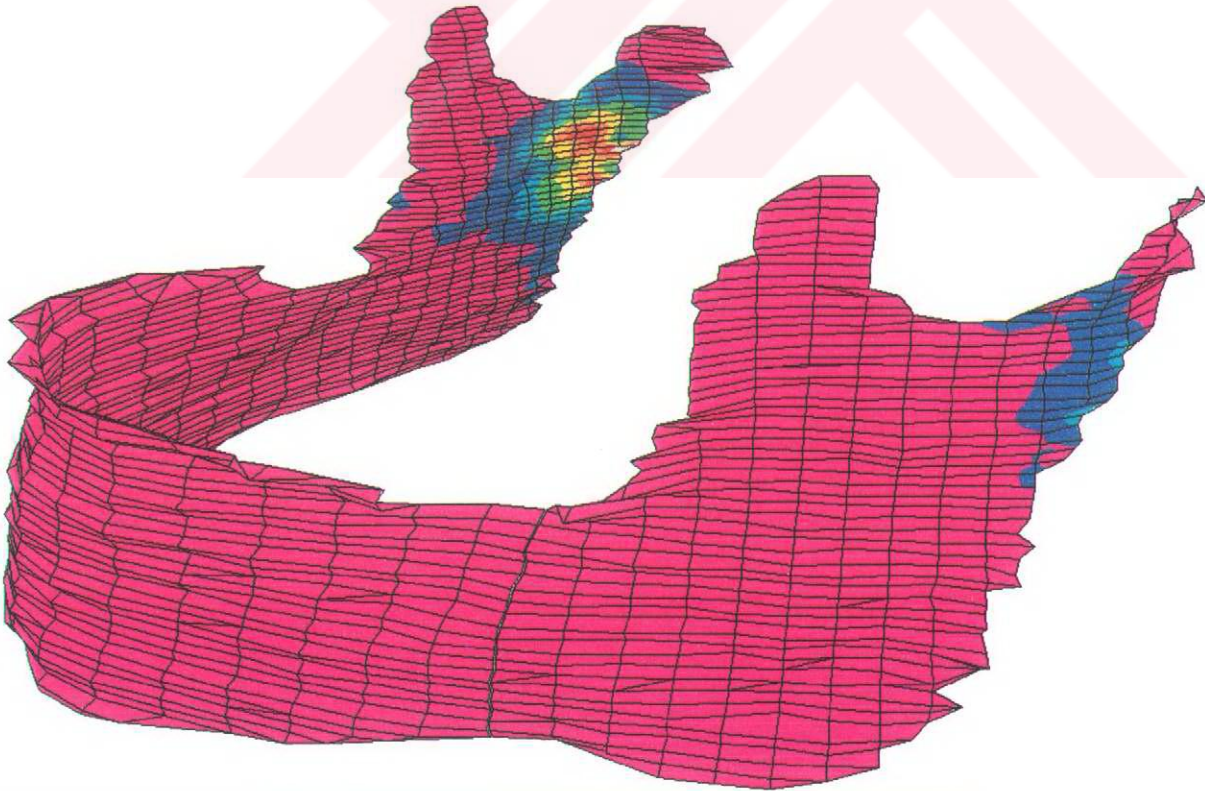
Resim 4.31.: Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



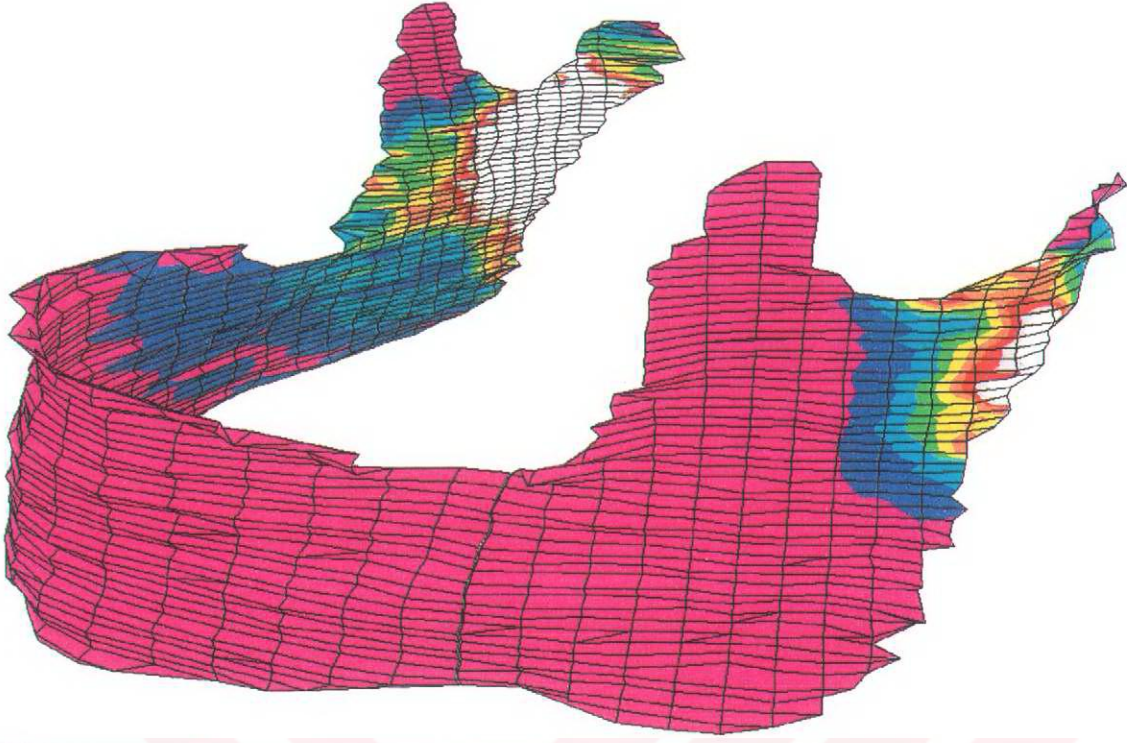
Resim 4.32.: Ramus, posterior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



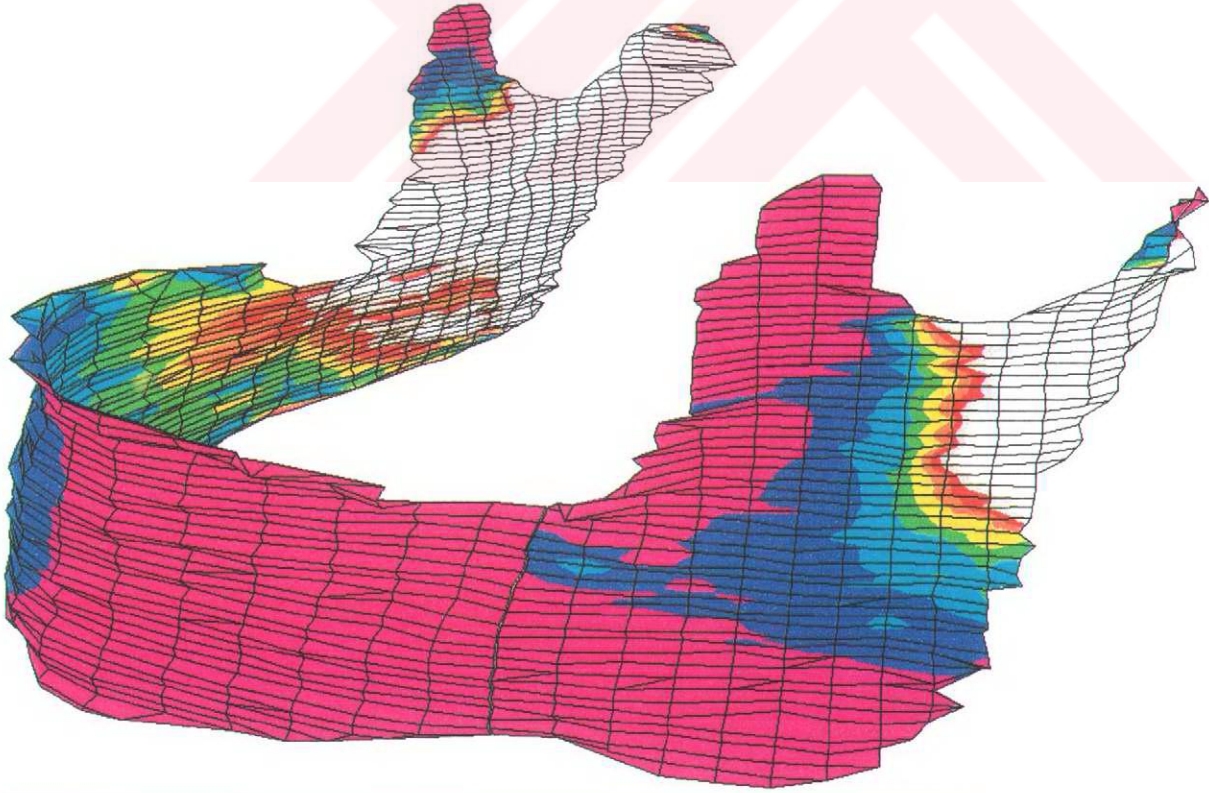
Resim 4.33.: Korpus bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali



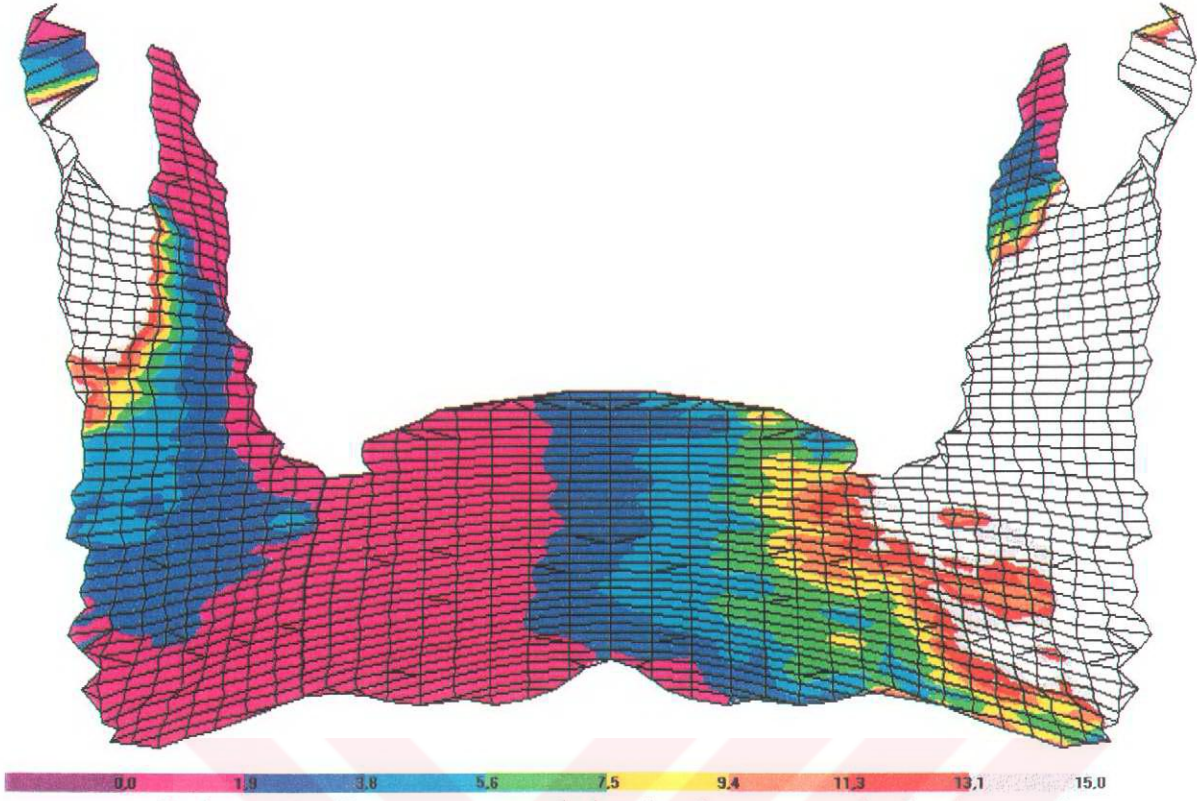
Resim 4.34.: Korpus, superior bölge yüksek seviye gerilmeler



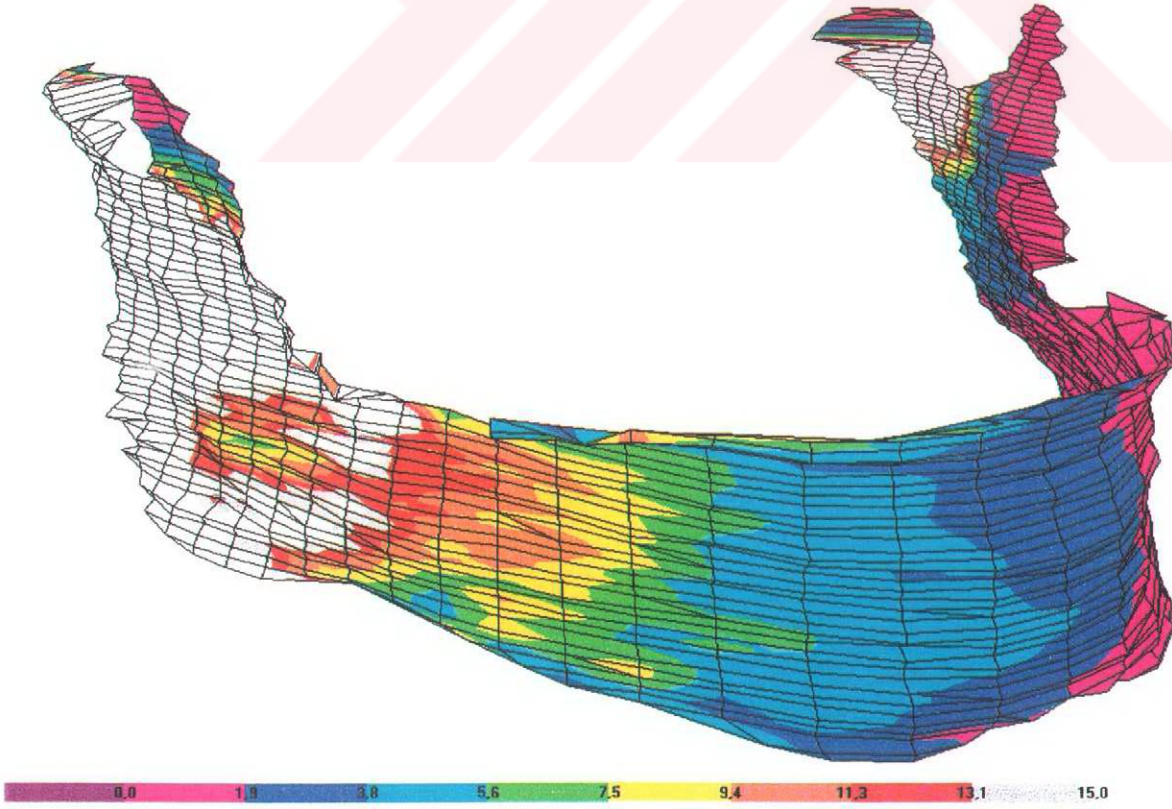
Resim 4.35.: Korpus, superior bölge orta seviye gerilmeler



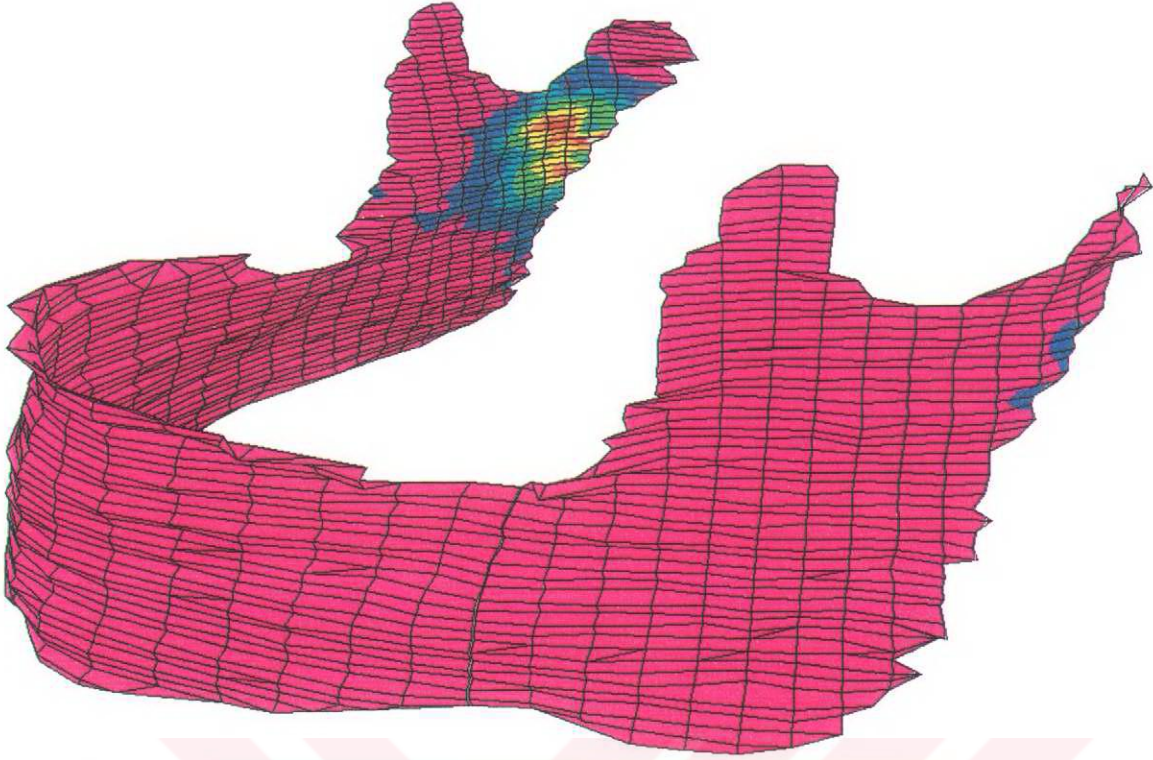
Resim 4.36.: Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler



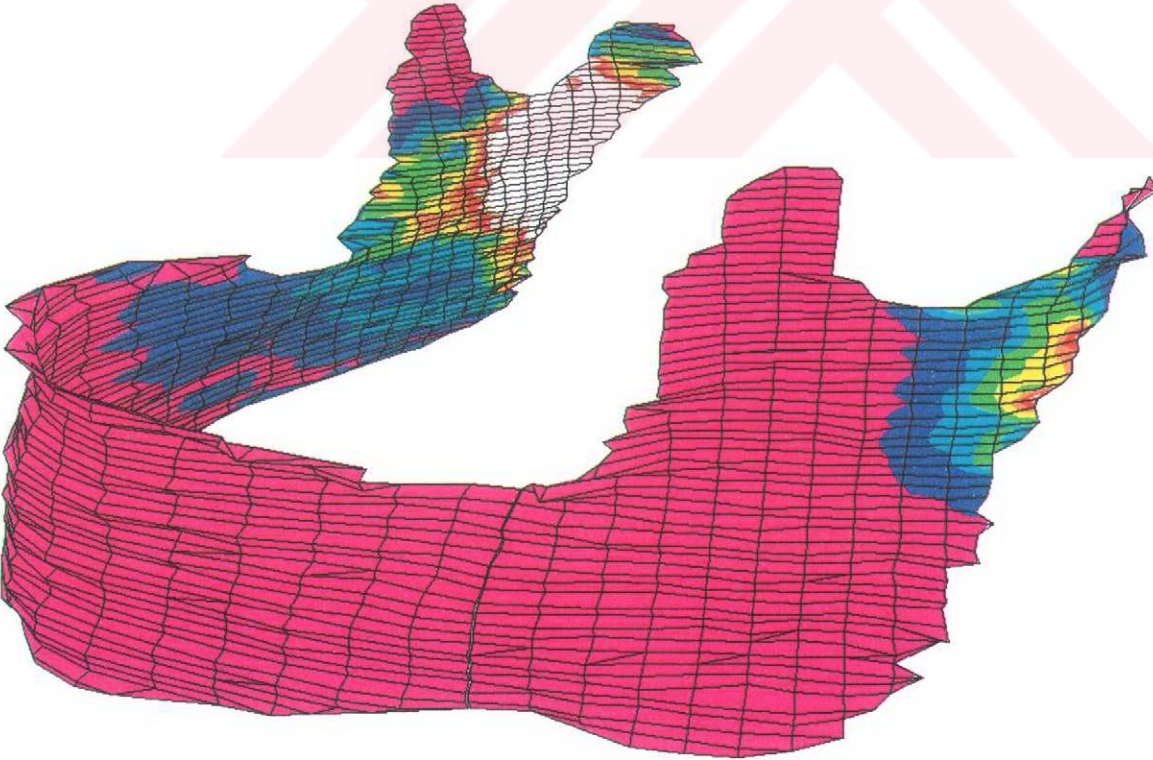
Resim 4.37.: Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



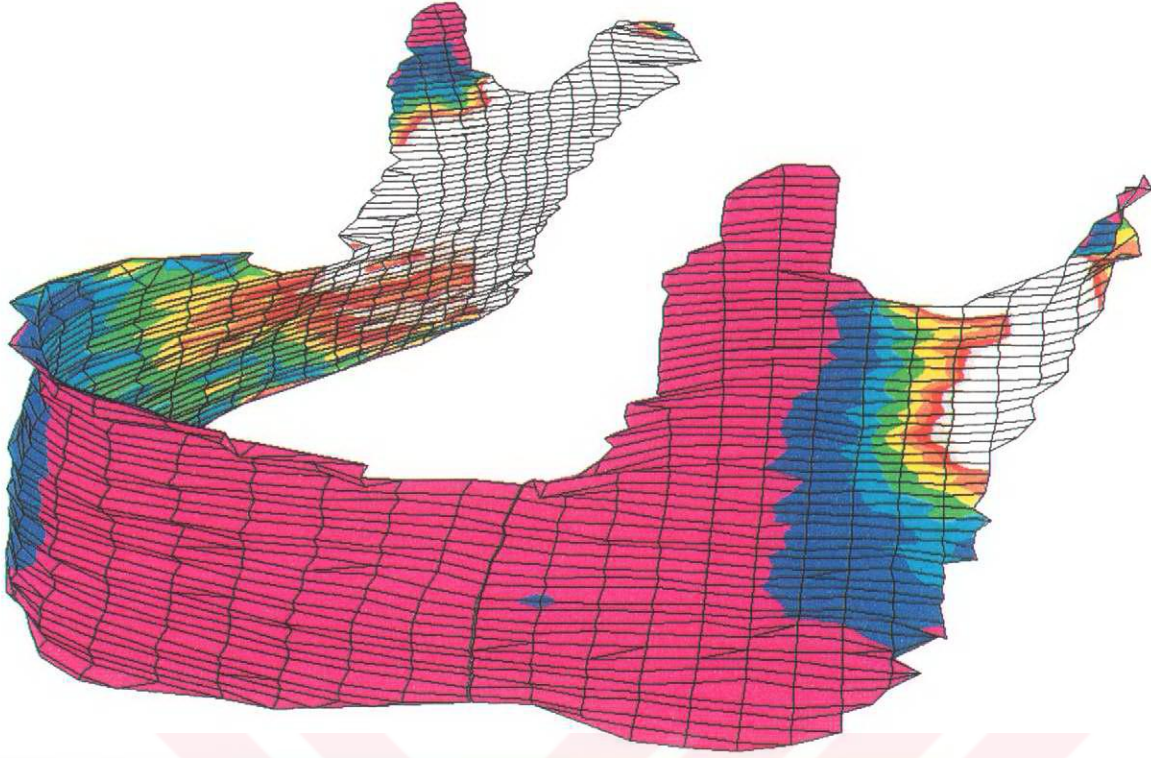
Resim 4.38.: Korpus, superior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



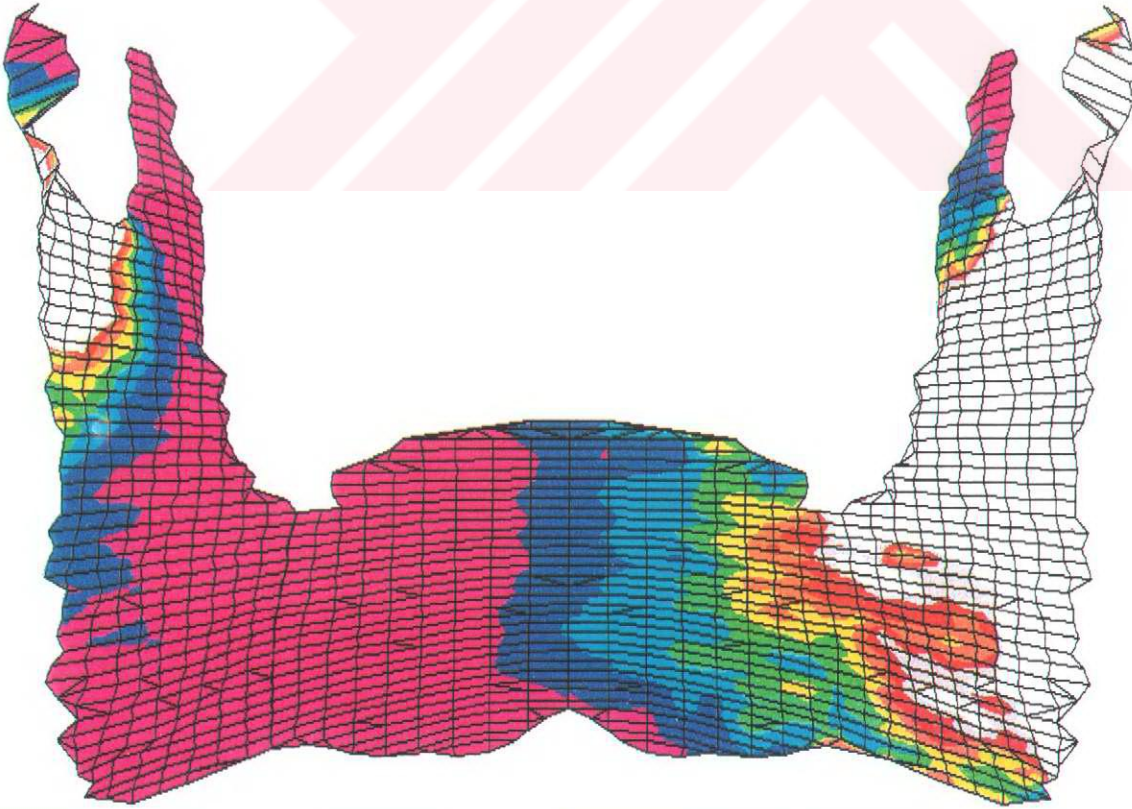
Resim 4.39.: Korpus, orta bölge yüksek seviye gerilmeler



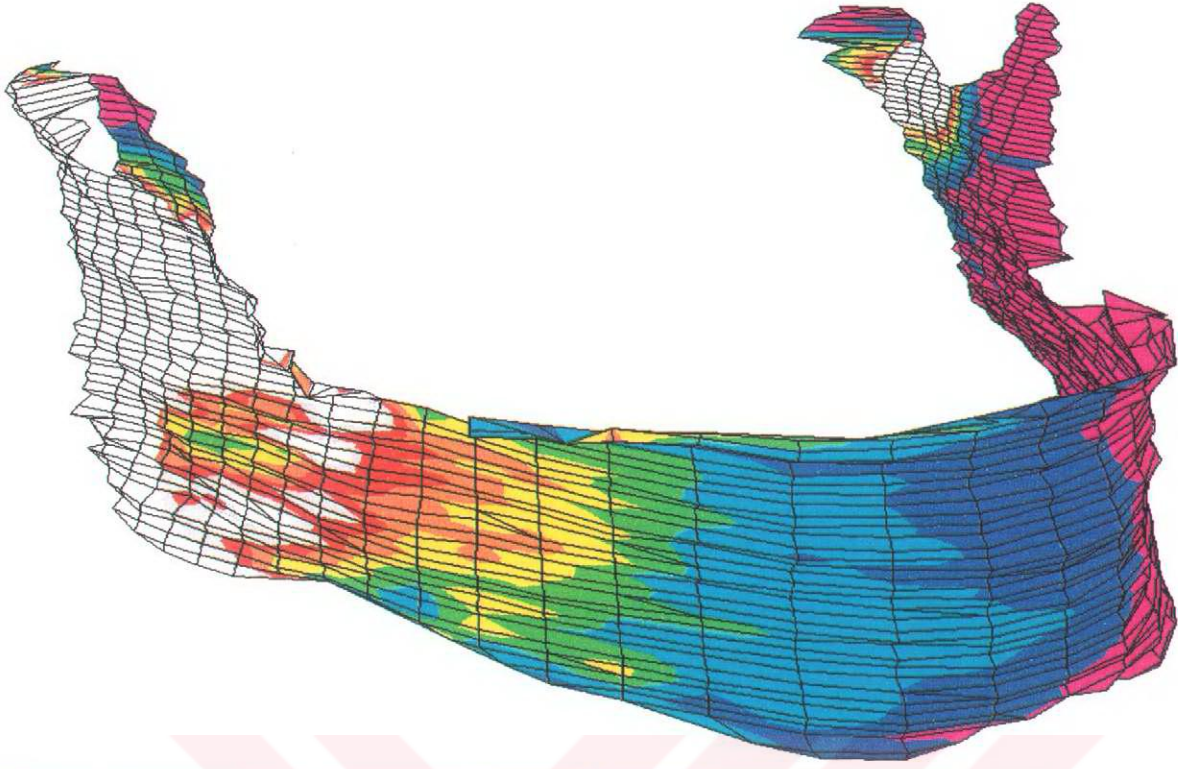
Resim 4.40.: Korpus, orta bölge orta seviye gerilmeler



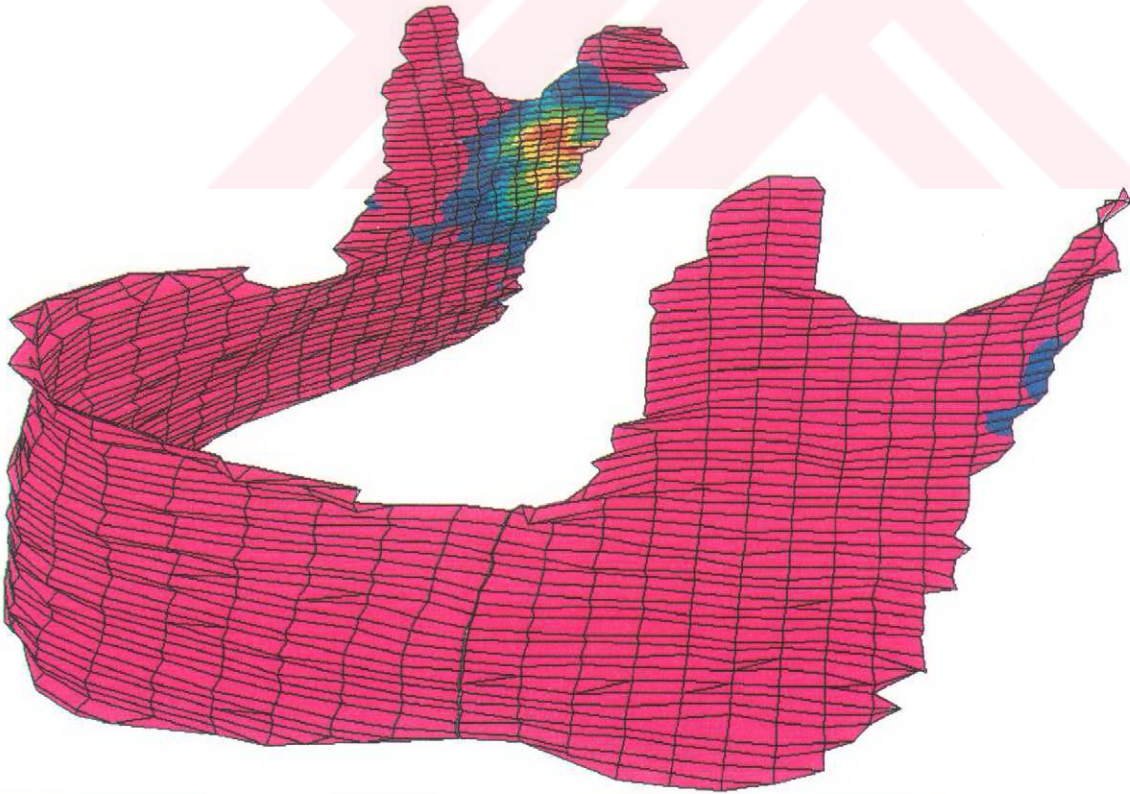
Resim 4.41.: Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler



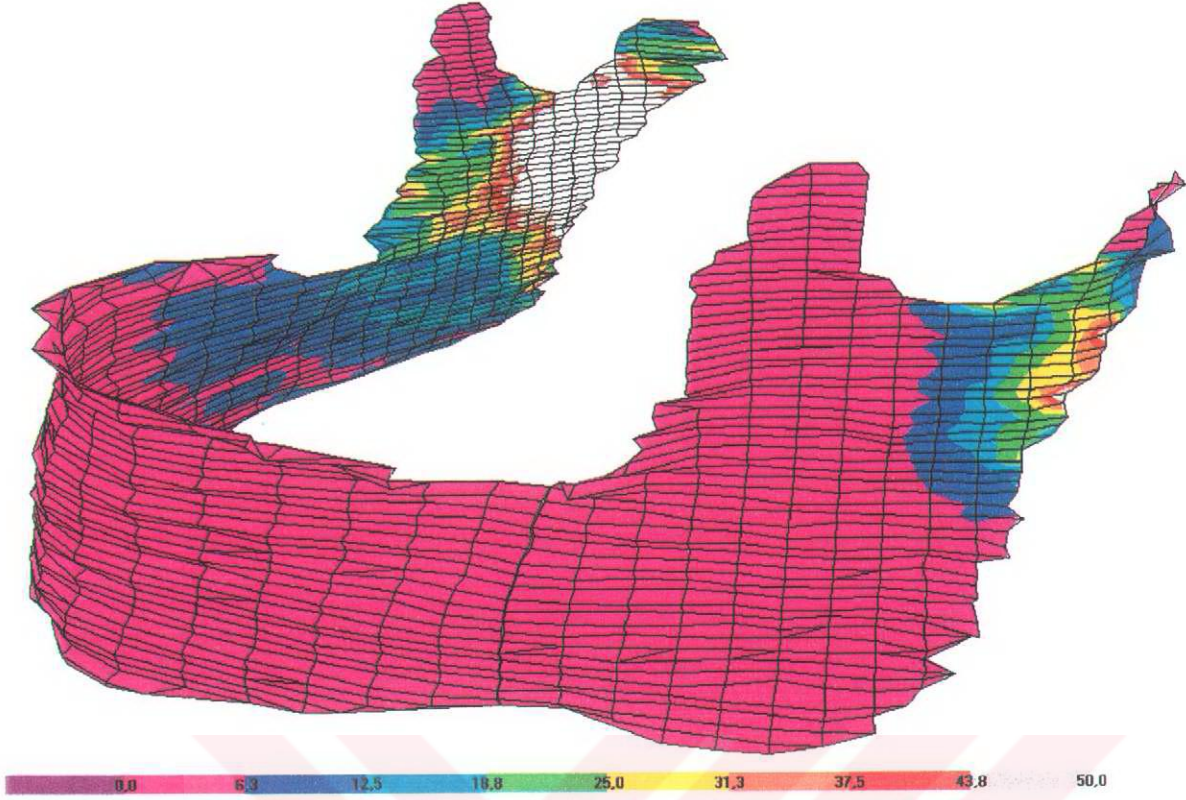
Resim 4.42.: Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



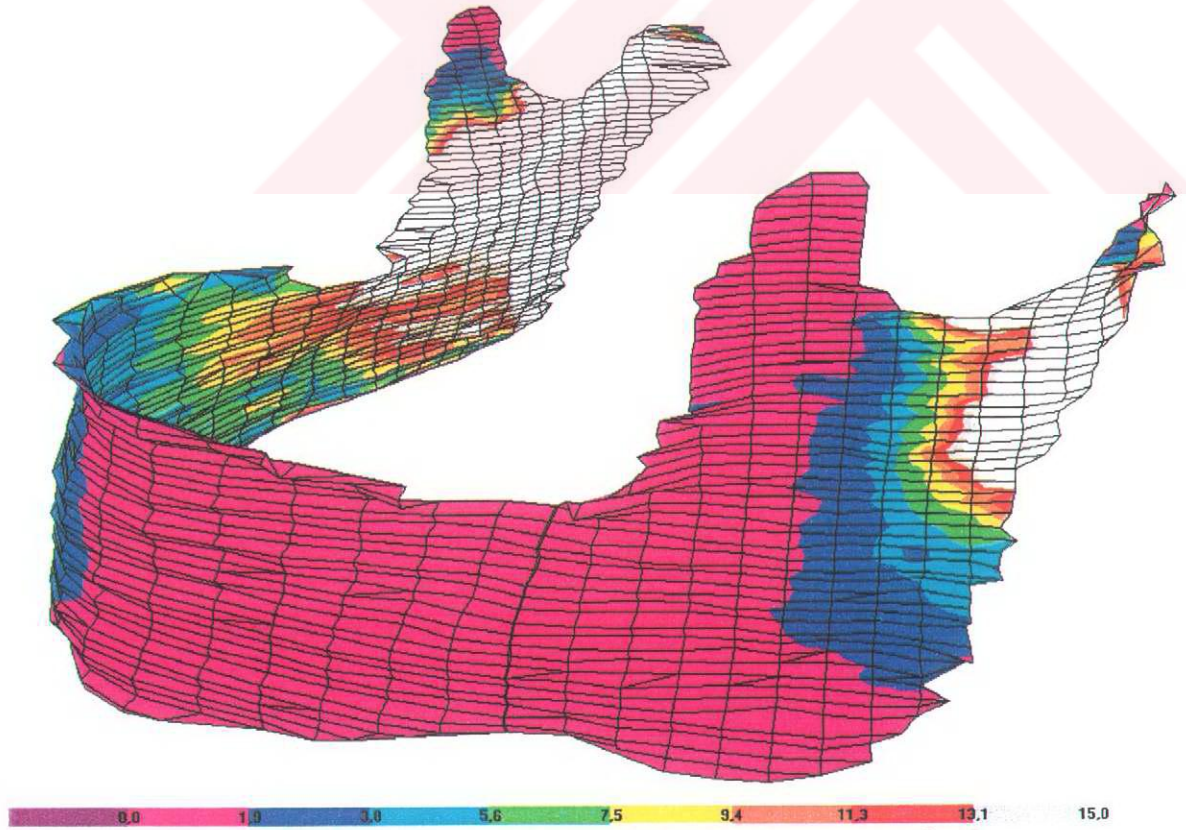
Resim 4.43.: Korpus, orta bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



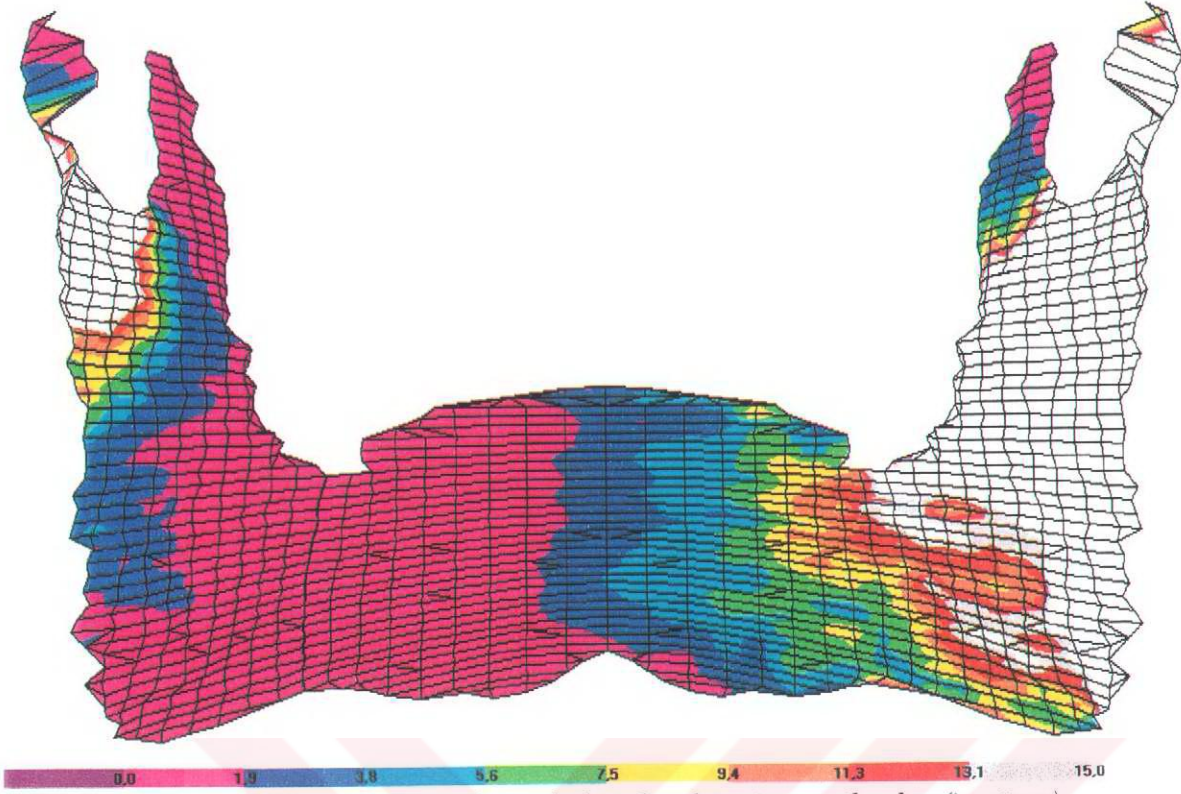
Resim 4.44.: Korpus, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler



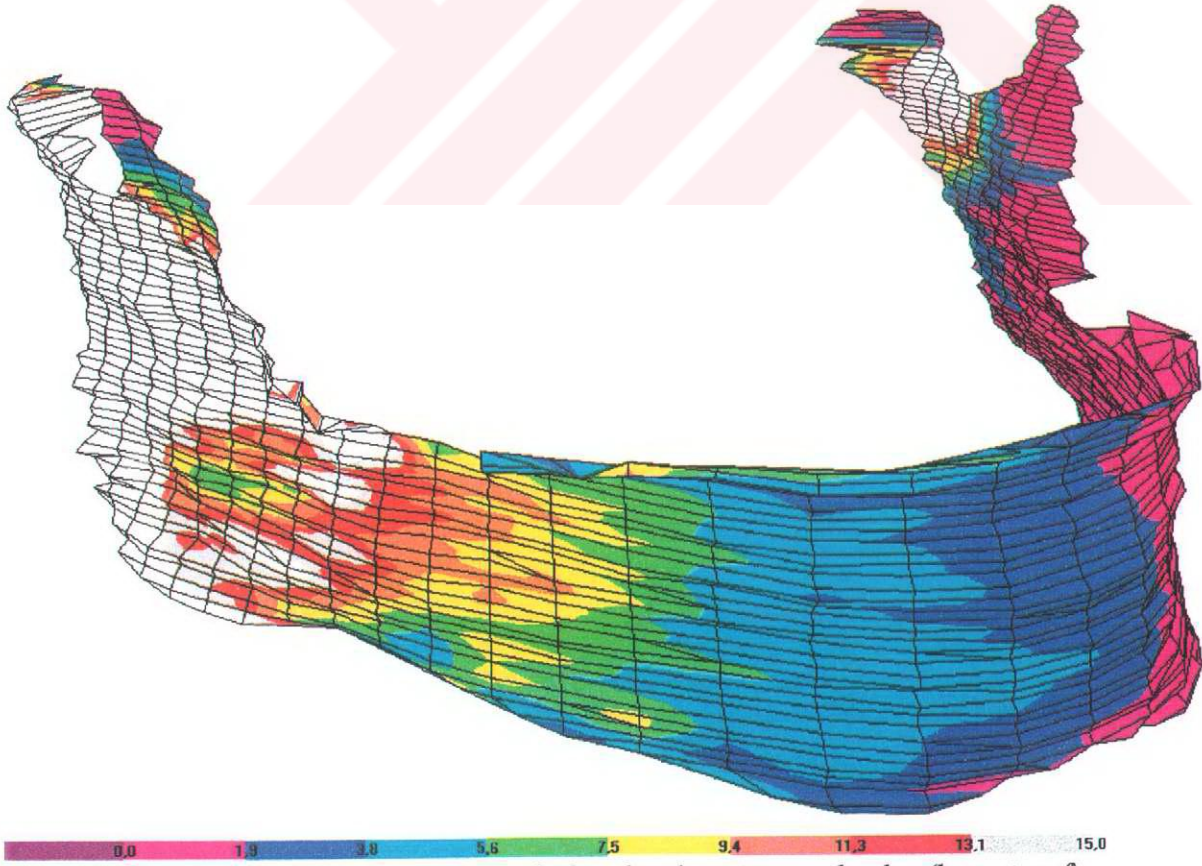
Resim 4.45.: Korpus, inferior bölge orta seviye gerilmeler



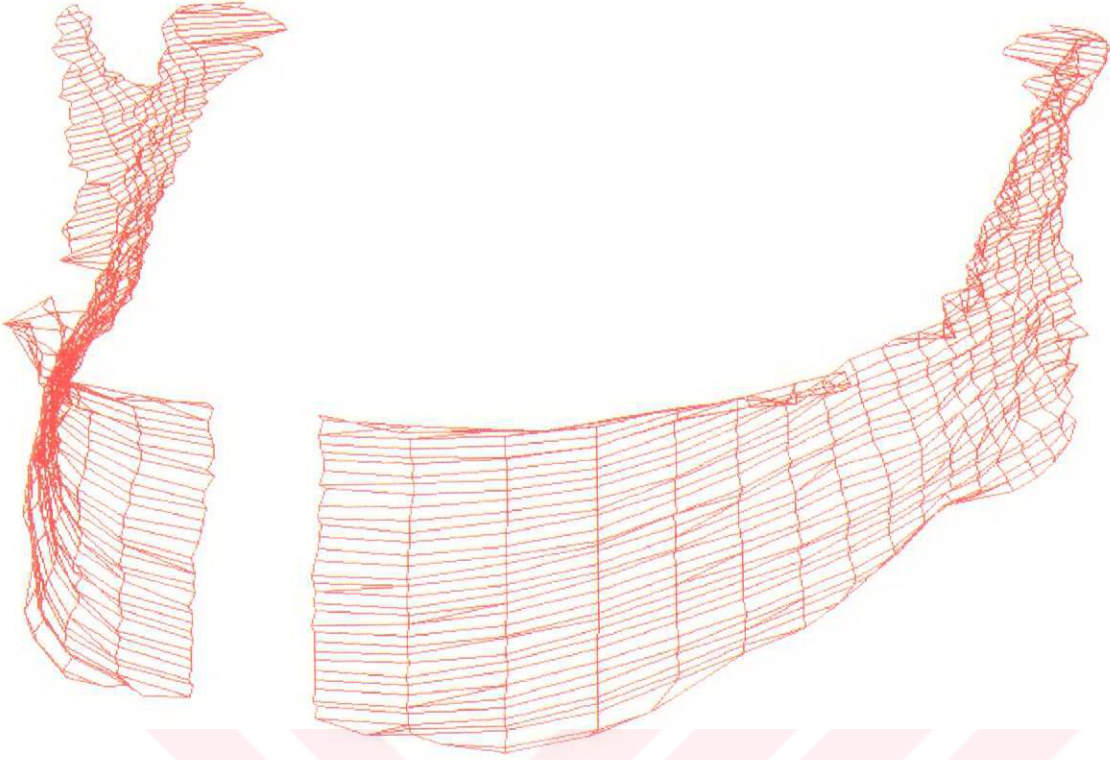
Resim 4.46.: Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler



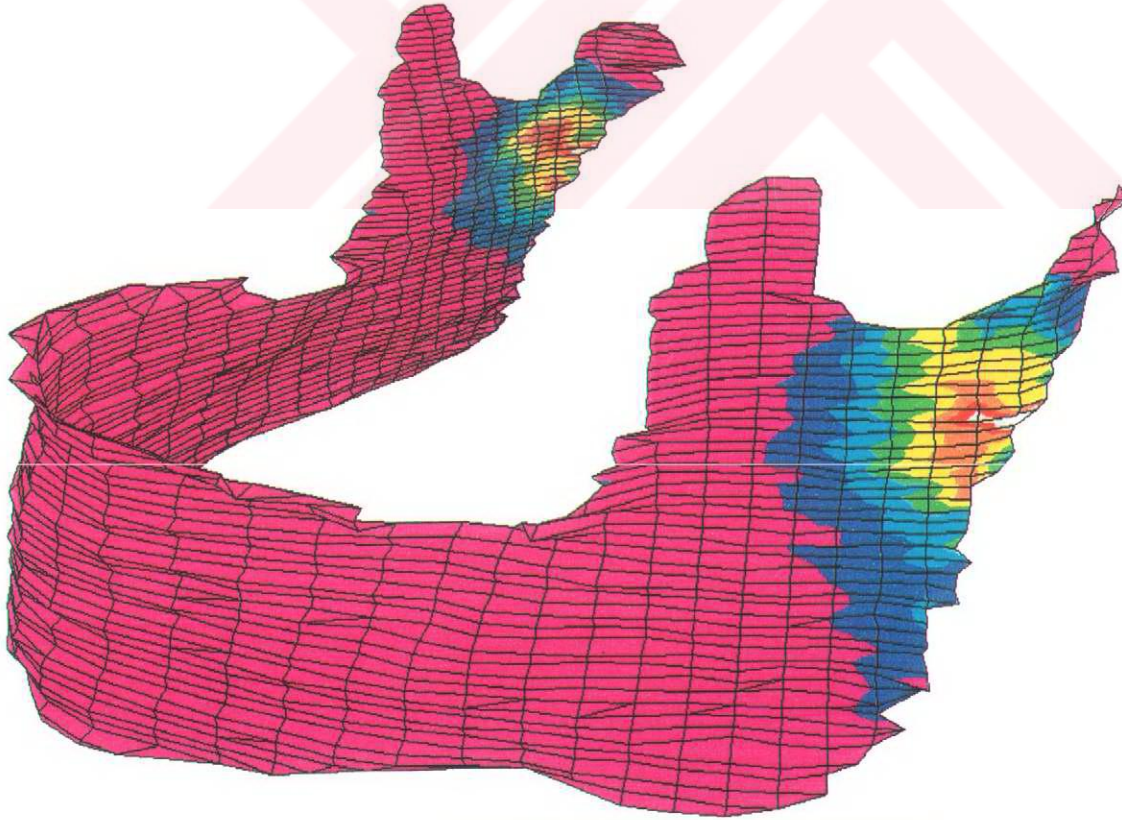
Resim 4.47.: Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (iç yüzey)



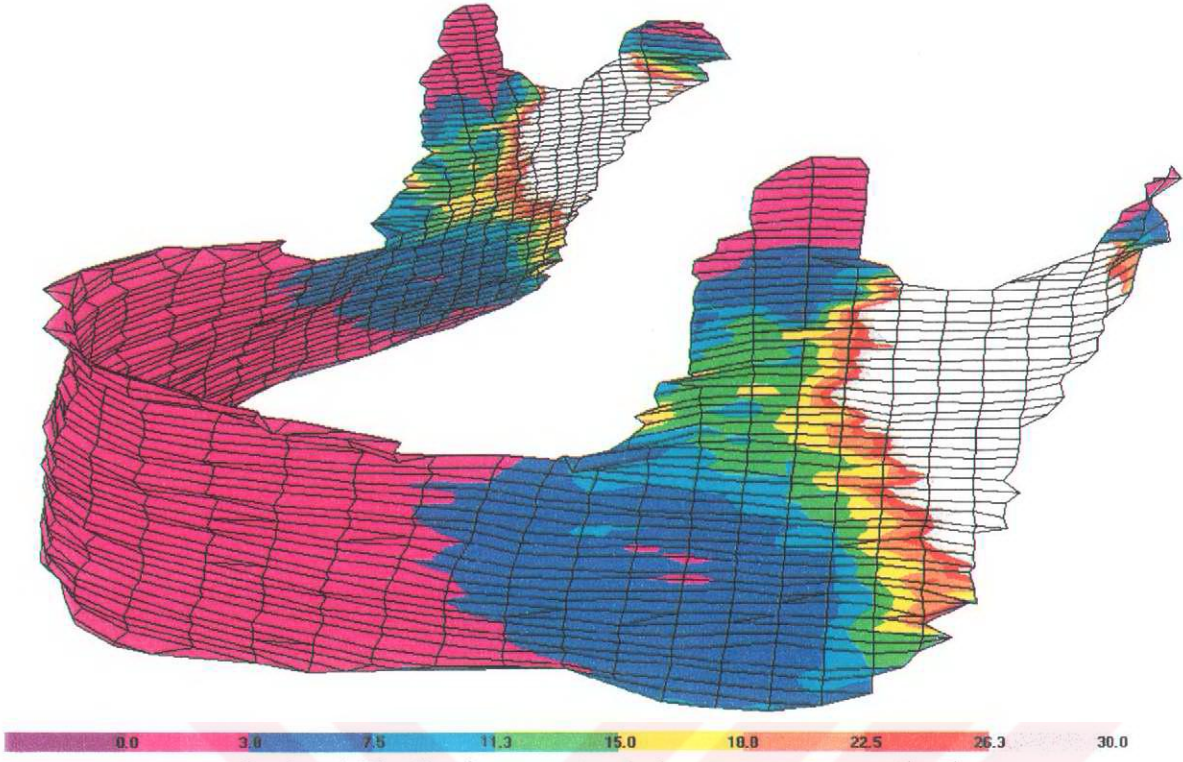
Resim 4.48.: Korpus, inferior bölge düşük seviye gerilmeler (karşı taraf)



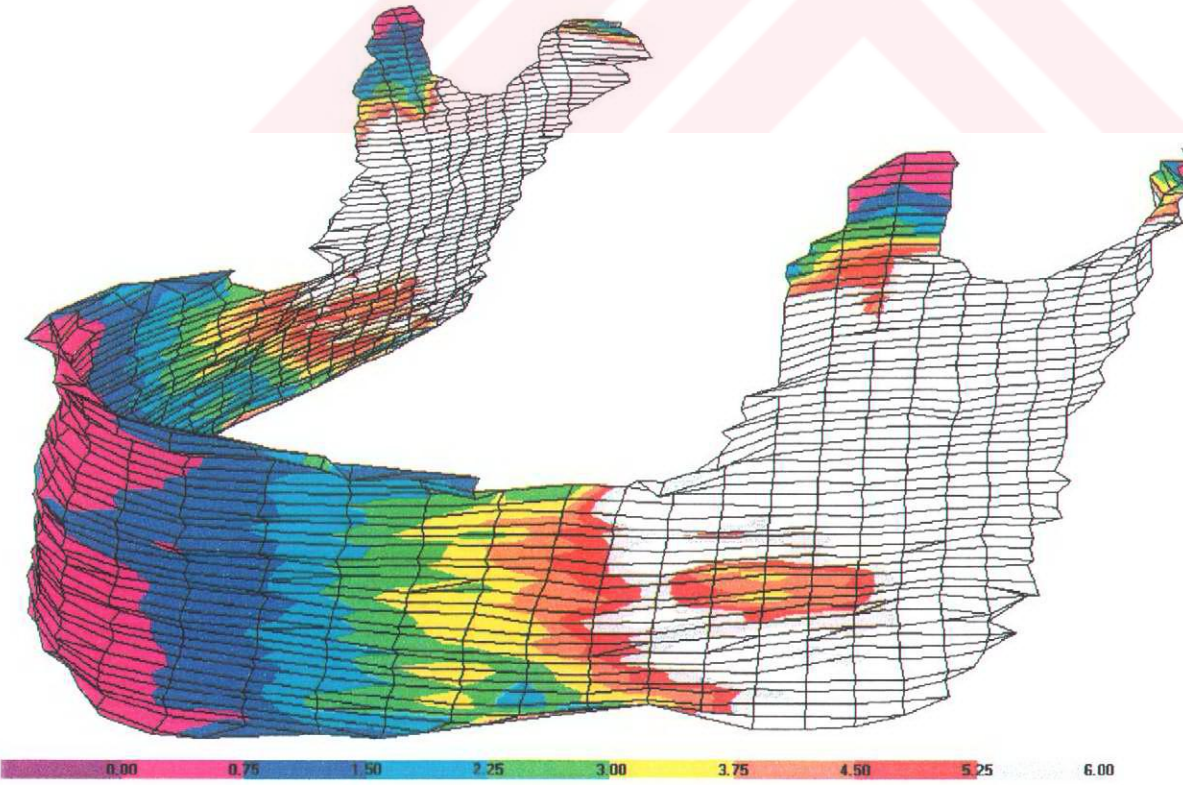
Resim 4.49.: Simfiz bölgesi, kesitin 10 mm aktive edilmiş hali



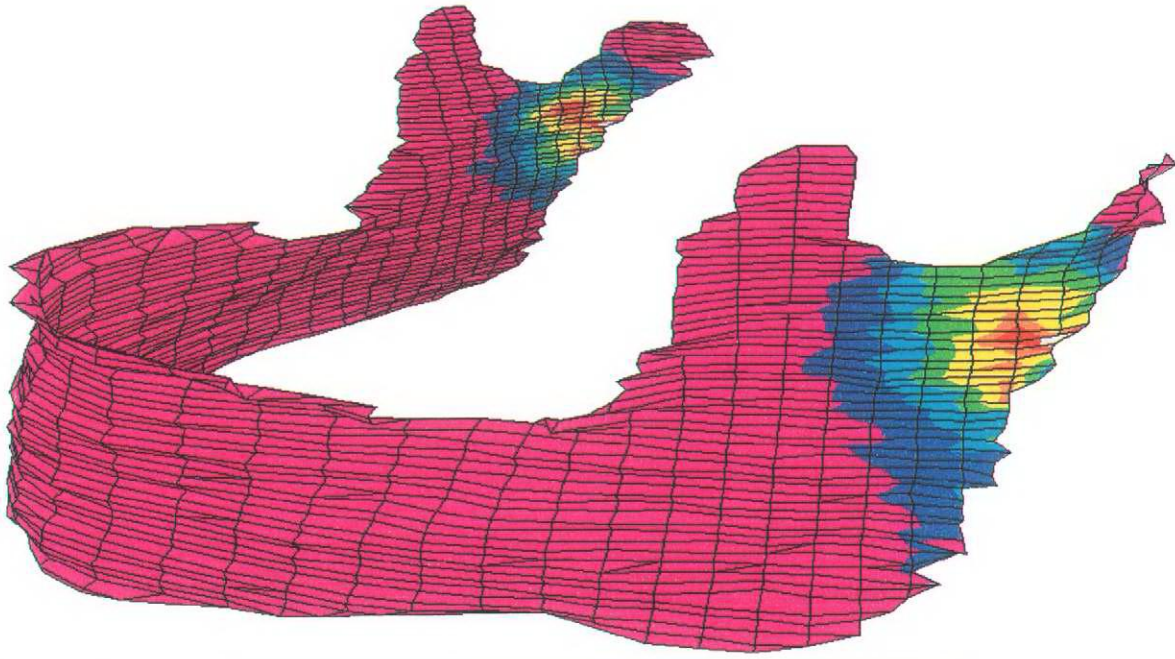
Resim 4.50.: Simfiz, superior bölge yüksek seviye gerilmeler



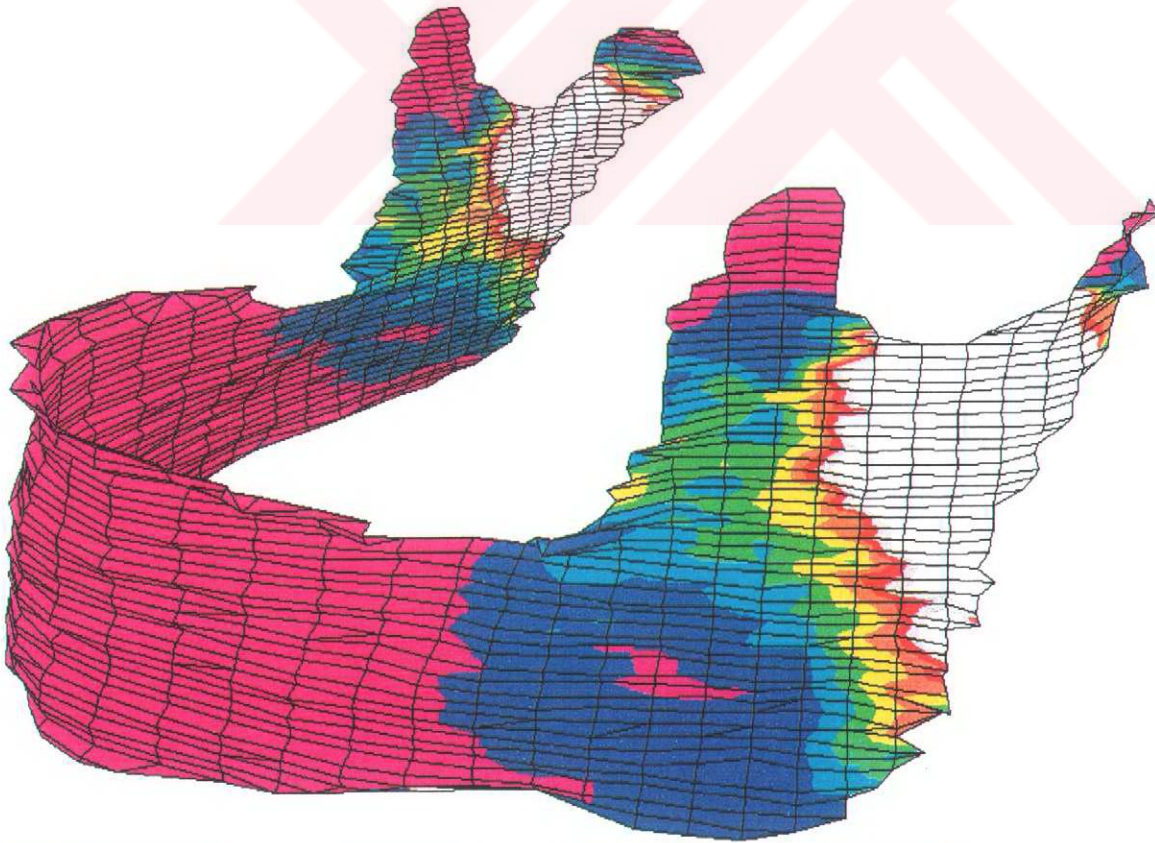
Resim 4.51.: Simfiz, superior bölge orta seviye gerilmeler



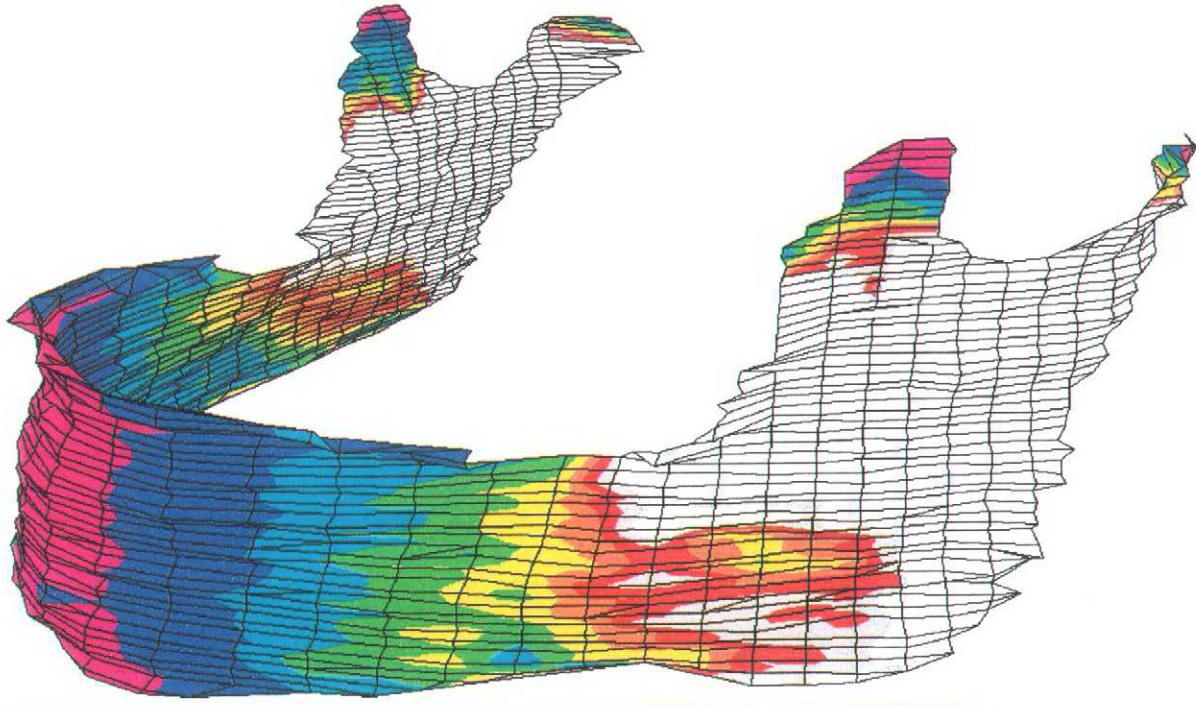
Resim 4.52.: Simfiz, superior bölge düşük seviye gerilmeler



Resim 4.53.: Simfiz, inferior bölge yüksek seviye gerilmeler



Resim 4.54.: Simfiz, inferior bölge orta seviye gerilmeler



Resim 4.55.: Simfiz, inferior bölge düşük seviye gerilmeler

5-TARTIŞMA ve SONUÇ

Mandibula, kompleks bir sinerji içerisinde çalışan, dişlerin, kasların ve eklemnin bulunduğu bir yapıdır. Mandibulanın fonksiyonu ve formu oldukça yüksek oranda gelişmiş çiğneme sistemine uyum gösterir. Mandibulanın biyomekanik etkiler karşısındaki davranışı, çeşitli klinik uygulamalarda oldukça önemli bir yer tutar. Bunlar arasında implant, miniplak veya rekonstrüksiyon plağı, distraksiyon aygıtı en önemlileri arasındadır.

Biyomekanik ve morfoloji arasındaki ilişkiyi “ kemik dokunun fonksiyonel adaptasyonu” olarak tanımlayan ilk kişi 1892’de Wolf’dür (Vollmer 2000). Daha sonra Frost kemiğe uygulanan stres miktarı ile buna karşı sonradan gelişen biyolojik reaksiyon arasında önemli bir ilişkinin olduğunu göstermiştir (Frost 1990a, 1990b).

Diş hekimliğinde canlı doku ve organlarda stres analizi yapmanın güçlüğü nedeniyle çalışmalar canlı dokunun modeli üzerinde yapılır. Tüm analiz yöntemlerinde elde edilecek olan model canlı dokuyu ne kadar çok iyi taklit ederse o kadar doğru sonuçlar alınabilir (Baran 1995).

Mandibulanın biyomekanik ve fiziksel davranışı farklı yaklaşımlarla araştırılmıştır. Mandibulanın fonksiyonel karakterini değerlendirmek için temeli antropomorfik esaslara dayanan çalışmalar yapılmıştır (Kummer 1985). İntraoral uygulamalarla deformasyonların indirek ölçümleri yapılmıştır Ancak deformasyon yapısı bilinmeden yüzey üzerindeki streslerin ölçülmesi tam olmayacaktır (Ahmad 1982). Bu deneysel çalışmaların dezavantajı, yapı içerisinde oluşan streslerin tanımlanmasında yetersiz kalması şeklindedir. Bu amaçla kemik yapıların biyomekanik davranışlarını tam olarak görmek ve değerlendirmek amacıyla non-invasiv bir yöntem olarak sonlu elemanlar metodu tercih edilmektedir (Volmer 2000). Biz de bu avantajları gözönünde bulundurarak çalışmamızda sonlu elemanlar stres analizi yöntemini kullandık.

Richards osteotomi planlamasının 0° ’den 45° ’ye çıkarmanın makaslama geriliminin artmasına sonuç olarak da kemik miktarında azalmaya yol açtığını saptamıştır (Richards 1998).

Distraksiyon osteogenezisin başarısında biyolojik ve biyomekanik parametreler çok önemlidir. Distraksiyon sahasındaki kallus dokusuna gelen direk kuvvetler, kemik

marjinlerinin kenarlarında öncü osteoblast hücrelerin farklılaşması ve proliferasyonunu stimüle eder. Bu kuvvetler biyolojik tolerans sınırları içinde ise yeni oluşan kemik formasyonu istenen kalitede olurken, kuvvet yansımaları biyolojik tolerans sınırını geçerse istenen kemik kalitesi ve hacmi elde edilemeyecektir. Ayrıca distraksiyon sahası dışındaki dişler, kemik doku, kaslar ve eklem bölgesine gelen kuvvet yansımaları dokular tarafından tolere edilemeyecek ve dejeneratif değişiklikler olacaktır (Samchukov 1998).

Tek taraflı distraksiyon uygulamalarında stres sonucu distraksiyon aygıtına en yakın tarafta kemik formasyonunun azalacağı bildirilmiştir (Windhager 1995, Aronson 1989b). Ayrıca Cope tarafından distraksiyon aksına paralel olarak yerleştirilecek aygıtlarla bu tip problemlerin minimuma indirileceği gösterilmiştir (Cope 2000).

Mandibulada distraksiyon sahasında oluşan kuvvetler, distraksiyon hattındaki rejenerasyon dokusunun miktarını ve kalitesini direkt olarak etkileyecektir. Bir başka deyişle yerleştirilecek olan distraktör mandibulada biyolojik tolerans sınırları içinde minimum stres oluşturmalıdır. Kemikte oluşan stresler ile kemiğin yeniden şekillenmesi arasında önemli bir ilişki vardır. Kemik dokuda oluşan düşük gerilme streslerinin rezorbsiyona neden olduğu, bunun yanında sıkışma streslerinin ise kemik gelişimini arttırdığı ileri sürülürken, karşıt görüşte ise sıkışma ve gerilme streslerinin etkilerinin benzer olduğunu ileri sürmüşlerdir (Fung 1981).

Bu anlamda, farklı konumlarda yerleştirilmiş distraktörlerin aktivasyonları sonucu distraksiyon sahası ve komşu bölgelere gelen yansıyan kuvvetlerin oluşturduğu streslerin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Şuana kadar bunları içeren çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Çalışmamızın sonucunda mandibuladaki simfiz, korpus, angulus ve ramus bölgelerindeki kesilere farklı konumlarda yerleştirilmiş distraktörlerin operasyon sahası ve çevre dokulardaki oluşturduğu stres değerlendirilmiş ve ideal olması gereken konum belirlenmeye çalışılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi kuvvet analizleri çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Fotoelastik kuvvet analizi ve sonlu elemanlar stres analizi yöntemi yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fotoelastik kuvvet analiz yöntemi ve sonlu elemanlar stres analiz yöntemi diğer yöntemlere oranla modelin tümünde iç baskıların doğrudan

gözlenmesine imkan vermesi, geometrik olmayan cisimlerde stres analizinin yapılabilmesi nedeniyle tercih edildiği bildirilmiştir (Ulusoy 1988).

Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi Craig, Farah, Takahashi ve birçok araştırmacı tarafından kullanılarak fotoelastik ve diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Farah 1973, Craig 1978, Takahashi 1979).

Sonlu elemanlar yönteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Düzgün geometri göstermeyen katılar ile farklı özelliklere sahip karmaşık yapılara uygulanabilir.
- İstenilen malzeme kullanılabilir, yapay bir model materyali veya malzeme kullanmadan oluşturacağımız yapı matematiksel özellikleri ile aslına uygun şekilde elde edilebilir.
- Gerçek yapıya çok yakın bir model elde edilebilir.
- Deneysel materyal kolaylıkla kontrol edilebilir ve sınır koşulları değiştirilebilir.
- Stres tip, dağılım ve deplasmanları birarada ve oldukça duyarlı elde edilebilir.

Sonlu elemanlar metodu sahip olduğu avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Malzemelerin mekanik özellikleri çok kompleks olduğu için basitleştirme idealleştirmeler yapılmaktadır ve analiz bu idealleştirmelere dayanır. Bu gibi nedenler çözüme mutlaka hatalar yüklemektedir (Middleton 1990, Williams 1990, Sakaguchi 1991).

Bu dezavantajlardan ilk olarak malzemenin homojen, izotropik ve doğrusal elastik olduğu gerçeğidir. Fakat gerçek hayatta hiçbir malzeme tam olarak doğrusal elastik değildir. Malzemeler belli bir sınıra kadar elastik, daha sonrada plastik deformasyon gösterirler. Ancak pratikte diş ve çene dokularını plastik deformasyona dönüştürebilecek kuvvetlerin gerçekleşmesi çok zordur (Eskitaşcıoğlu 1991).

Hiçbir malzeme %100 homojen ve de izotrop değildir. Aynı cinsten iki organizmaya ait her bir dokunun iç yapısı ve izotropi özelliği dahi belli sınırlar içinde sayılamayacak kadar çok etkenle sürekli değişebilmektedir. Bu durumda malzeme değerlerini ortalama değer olarak homojen ve izotrop kabul etmek çok geniş bir

popülasyon için varılan deney sonuçlarının gerçeğe yaklaşımını etkilemeyecektir. Ayrıca, özellikle biyomekanikle ilgili olarak, malzeme özellikleri ve incelenen canlı dokunun geometrik özellikleri kişiden kişiye değişmektedir (Eskitaşcıoğlu 1991).

Analiz sonuçları gerçek değerlere yalnızca bir yaklaşım olarak kabul edilmelidir. Gerek sonlu elemanlar gerekse diğer stres analiz yöntemlerinde bulguların değerlendirilmesi kantitatif değil kalitatif olarak yapılmalıdır (Baran 1995).

Çevre dokuların ve dişlerin streslere dirençleri çeşitli etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Elde edilen sonuçlara bakarak, herhangi bir implant yapıya ve çevre dokulara zararlı olabilecek stres değerlerine ait sınırların söylenebilmesi zordur (Baran 1995).

Araştırmamızda oluşturulan sistem çevresindeki elemanların sabit olduğu varsayılmıştır. Eğer sistemi gerçekte olduğu gibi, çevre yumuşak doku, kas ve kemik dokularının tamamını içine alabilecek biçimde daha büyük ve gerçeğe daha yakın hazırlayıp, sabit sınırı birçok doku ve kemik elemanlarından sonra konulabilseydi, stresler ve deplasmanlar azalabilirdi. Ancak incelenen yapının kompleks oluşu ve uygulama güçlüğü sınırlamalar getirmektedir. Bu nedenle çalışmamızda mandibulanın kemik yapısı gözönüne alınmıştır.

İşeri ve arkadaşları kafatası ve mandibulanın modellenmesinde shell elemanların kullanılması gerektiğini, çünkü bu elemanların hem membran hem de eğilme etkilerini alabileceğini vurgulamışlar, Tanne çalışmasında ise kullandığı solid (tuğla) elemanların eğilme etkisi alamayacağını söylemektedir (Tanne 1987, İşeri 1998). Bu nedenle bu çalışmada aynı CT datası üzerinde shell elemanlarla modeller oluşturulmuş ve aynı yüklemeler uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar stres analizi metodunda elde edilen analitik sonuçlar oluşturulan modele bağlıdır. Bu nedenle pek çok açıdan gerçeğe en yakın model elde edilmelidir (İşeri 1998). Bu yönden elde edilecek sonuçların genelleştirilmesi çelişkili gibi görünmektedir. Ancak kraniyofasiyal komplekste sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ile rapid maksiller ekspansiyonu inceleyen İşeri ve arkadaşları farklı bir model üzerinde aynı çalışmayı yapan Tanne'nin sonuçlarını karşılaştırmışlar ve minimal düzeydeki farklılıklarla beraber mekanik tepkinin aynı şekilde tespit edildiği sonucuna ulaşmışlardır (Tanne 1987, İşeri 1998).

Çalışmamızda mandibulaya, kondil başlarından tutularak yüklemeler uygulanmıştır. Fakat bu noktalar tam olarak hareketsiz değildir. Bu nedenle koronoid proses bölgesinde çok az bir gerilme gözlenmiştir. Ayrıca mandibulanın hareketini etkileyen kasların ve yumuşak dokunun varlığı da mekanik davranışı değiştirecektir. Bu nedenle kondil başlarının böyle operasyon sırasındaki gerçek yer değiştirmesi deneysel olarak tespit edilebilir ve mandibulaya bağlanan kaslar yaya benzetilerek modellenirse daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilecektir.

Analizin en zor kısmı şüphesiz doğru modeli oluşturmaktır. Ancak doğru analiz çıktı yorumu da iyi bir yapısal modelin hazırlanması kadar önemlidir. Sonuçların değerlendirilmesi ve yapıyı doğru olarak idealize etmek kullanıcının sorumluluğundadır (Eskitaşcıoğlu 1991).

Yapılan çalışmalar üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yönteminin iki boyutluya göre daha üstün bir modelleme olduğunu ortaya koymuştur (İsmail 1987, Darbar 1994). Bu nedenle çalışmamızda 3 boyutlu model tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar stres analizinin hassasiyeti kullanılan eleman sayısı ile doğru orantılıdır. Diğer yandan eleman sayısı arttıkça çözümlenmesi gereken denklem sayısı artacak ve de çözüm zamanı uzayacaktır. Bu nedenle çözüm için gerekli optimum eleman sayısı başlangıçta tespit edilmelidir (İşeri 1998).

Sonlu elemanlar çalışmalarının sonuçlarının deneysel sonuçlarla desteklenmesi ve korelasyonu gerekmektedir. Bu sonuçların gerçek değerlerle ne derece uygunluk içinde olduğu ancak deneysel çalışmalarla değerlendirilebilir. Vollmer ve arkadaşları deneysel olarak elde ettikleri gerilim değerlerini sonlu elemanlar stres analizi yöntemi sonuçları ile karşılaştırmışlar ve benzer sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir (Vollmer 2000).

Bu çalışma; distraksiyon osteogenezisinde daha iyi sonuç elde edilebilmesi için, distraktörlerin konumu ve vektörü, daha iyi bir kemik rejenerasyonu ve preoperatif-postoperatif oluşabilecek komplikasyonların minimuma indirgenmesi için planlandı.

5.1. Angulus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi

Angulus bölgesine superior, orta ve inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörlerin aktivasyonları sonucu, stres alanlarının daha detaylı olarak görüldüğü

düşük seviye gerilmeler incelendiğinde (Resim 4.4, 4.9, 4.14) genel olarak yığılmaların distrikte edilen tarafta distriktör çevresi, ramusun posterior sınırı, insisura mandibula ve kondil bölgesinde olduğu görülmektedir. Ancak özellikle superior bölgede yerleştirilmiş distriktörün aktivasyonu sonucu kondil boynu ve ramusun posteriorunda yüksek oranda ve daha geniş bir alanda stres yığılması dikkati çekerken bu yığılmanın orta pozisyondaki distriktörde biraz azaldığı, inferior pozisyondakinde ise önemli ölçüde yoğunluğun kaybolduğu ve daha dar bir alanda kaldığı görülmektedir. Bunun yanında inferior pozisyondaki distriktörün çevresinde ve korpusun alt sınırında ise minimal düzeyde bir artışın olduğu izlenmektedir.

Karşı tarafta ise (Resim 4.6, 4.11, 4.16) stres yığılma alanlarının kondil, koronoid proses ve angulus hizasında yüksek oranda oluştuğu, korpus bölgesinden simfize doğru giderek yoğunluğunu azalttığı görülmektedir.

İlgili bölgelerdeki bu stres yoğunluğunun inferior pozisyonda yerleştirilmiş distriktörün aktivasyonu sonucunda diğer iki pozisyondaki (superior ve orta) distriktöre göre minimal düzeyde azaldığı görülmüştür.

Bu bulguların sonucunda angulus bölgesine distriksiyon osteogenezis için yerleştirilecek olan distriktörün mandibula üzerinde daha az stres yoğunluğu oluşturması bakımından inferior pozisyonda fikse edilmesinin daha doğru olacağı düşüncesindeyiz.

5.2.Ramus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distriktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi

Ramus bölgesine anterior, orta ve posterior pozisyonda yerleştirilen distriktörlerin 10 mm'lik aktivasyonları sonucu, stres alanlarının daha detaylı olarak görüldüğü düşük seviye gerilmeler incelenildiğinde, distrikte edilen tarafta genel olarak yığılmaların (Resim 4.20, 4.25, 4.30) distriktör çevresi, ramusun üst kısmından insisura mandibulayı da içine alarak kondilin tamamına doğru yayıldığı görülmektedir. Ancak özellikle anterior bölgede yerleştirilmiş distriktörün aktivasyonu sonucu kondil, insisura mandibulanın ortasından ramusun posterioruna kadar bir hat oluşturacak şekilde yüksek oranda ve daha geniş bir alanda stres yığılması dikkati çekerken, bu yığılmanın orta pozisyondakinde biraz azaldığı, posterior pozisyonda ise önemli ölçüde yoğunluğun kaybolduğu ve daha dar bir alanda kaldığı görülmektedir. Bunun yanında anterior

pozisyondaki distraktörün çevresinde angulus ve korpusu da içine alan minimal düzeyde bir stres artışının olduğu izlenmektedir.

Karşı tarafta ise (Resim 4.22, 4.27, 4.32) stres yığılma alanlarının kondilin tam tepe noktasında, koronoid proses boyunca ve angulus hizasında yüksek oranda olduğu, korpusun alt sınırına ve simfize doğru giderek yoğunluğunu azalttığı görülmektedir.

İlgili bölgelerdeki bu stres yoğunluğunun posterior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün aktivasyonu sonucunda diğer iki pozisyondaki (anterior ve orta) distraktöre göre minimal düzeyde azaldığı görülmüştür.

Bu bulguların sonucunda ramus bölgesine distraksiyon osteogenezis için yerleştirilecek olan distraktörün mandibula üzerinde daha az stres yoğunluğu oluşturması bakımından posterior pozisyonda fikse edilmesinin daha doğru olacağı düşüncesindeyiz.

5.3.Korpus bölgesine üç farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi

Korpus bölgesine superior, orta ve inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm'lik aktivasyonları sonucunda stres alanlarının daha detaylı olarak görüldüğü düşük seviye gerilmeler incelendiğinde, distrikte edilen tarafta (Resim 4.36, 4.41, 4.46) genel olarak yığılmaların ramusun posterior kısmını, insisura mandibulayı ve kondili içine alarak yayıldığı görülmektedir. Ancak özellikle superior ve orta bölgede yerleştirilmiş distraktörün aktivasyonu sonucu distraktör çevresinde oluşan stresin inferior pozisyondaki distraktör çevresinde tamamen ortadan kalkıp minimal düzeyde kaldığı önemli bir bulgudur. Ramus, insisura mandibuladaki yoğunluğun orta ve inferior pozisyonda daha dar bir alana çekildiği izlenmektedir.

Karşı tarafta ise (Resim 4.38, 4.43, 4.48) stres yığılma alanlarının kondilin tam tepe noktasında, koronoid proses boyunca ve angulus bölgesinde yüksek oranda olduğu, korpusun tamamını içine alacak şekilde simfize doğru giderek yoğunluğunu azalttığı görülmektedir.

İlgili bölgelerdeki bu stres yoğunluğunun inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün aktivasyonu sonucunda diğer iki pozisyondaki (superior ve orta) distraktöre göre minimal düzeyde azaldığı görülmüştür.

Bu bulguların sonucunda korpus bölgesine distraksiyon osteogenezis için yerleştirilecek olan distraktörün mandibula üzerinde daha az stres yoğunluğu oluşturması bakımından inferior pozisyonda fikse edilmesinin daha doğru olacağı düşüncesindeyiz.

5.4.Simfiz bölgesine iki farklı konumda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm' lik aktivasyonları sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi

Simfiz bölgesine superior ve inferior pozisyonda yerleştirilmiş distraktörlerin 10 mm'lik aktivasyonları sonucunda stres alanlarının daha detaylı olarak görüldüğü düşük seviye gerilmeler incelenildiğinde (Resim 4.52, 4.55) distraktörlerin çevresinde başlayan gerilmelerin simetrik olarak, korpusun tamamını içine alacak şekilde ve artan tarzda angulusa kadar yayıldığı ve angulusun ortasındaki lokalize bir bölgede maksimuma ulaştığı görülmektedir.Ayrıca yine simetrik olarak heriki koronoid proses ve kondilin tamamında stres yığılması izlenmektedir.

İlgili bölgelerdeki bu stres yoğunluğunun heriki pozisyonda yerleştirilmiş distraktörün aktivasyonu sonucunda (superior ve inferior) kaydadeğer bir farklılık görülmemiştir.

Sonuç olarak;

Angulus bölgesine distraksiyon osteogenezis için yerleştirilecek olan distraktörün mandibula üzerinde daha az stres yoğunluğu oluşturması bakımından inferior, ramusta posteriora, korpusta ise inferior pozisyonda fikse edilmesinin daha doğru olacağı düşüncesindeyiz.

Simfiz bölgesinde ise, superior ve inferior bölgelere yerleştirilmiş distraktörler arasında önemli bir farklılık görülmemiştir.

6-ÖZET

S.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Ağız-Diş-Çene Hastalıkları ve Cerrahisi Anabilim Dalı

DOKTORA TEZİ / KONYA – 2002

Dt. Hasan KÜÇÜKKOLBAŞI

Farklı Konumlarda Yerleştirilen Distraktörlerin Aktive Edildiklerinde Oluşturdukları Streslerin Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi (FEM) ile Değerlendirilmesi

Bu çalışmada mandibulaya distraksiyon osteogenezis için farklı konumlarda yerleştirilmiş distraktörlerin aktivasyonları sonucu, meydana gelen stres dağılımlarının değerlendirilerek, distraktörün yerleştirilmesi gereken en uygun konumun belirlenmesi amaçlandı.

Bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak bir mandibula modeli elde edildi. Angulus, ramus, korpus ve simfiz bölgelerinde düzgün bir hat üzerinde kesi oluşturuldu. Ramusta anterior, orta, posterior, angulusta ve korpusta superior, orta ve inferior pozisyonlarda olmak üzere farklı konumlarda distraktörler yerleştirildi. Daha sonra farklı konumlarda yerleştirilmiş olan bu distraktörlerin herbiri 10 mm aktive edildi.

Çalışmada sonlu elemanlar stres analizi yöntemi kullanıldı. Bu amaçla SAP2000 stres analizi programından yararlanılarak, Von Misess stres analizi ile mandibula üzerinde oluşan stresler incelendi.

Sonuç olarak, ramusta posterior, angulus ve korpusta inferior bölgeye yerleştirilecek olan distraktörlerin aktivasyonları sonucu oluşan stres dağılımının diğer pozisyonlari göre daha az olduğu görüldü. Simfiz bölgesinde ise superior ve inferior pozisyonlarda yerleştirilmiş distraktörlerin aktivasyonları sonucu oluşan stres dağılımı arasında belirgin bir farklılık görülmedi.

7-SUMMARY

FEM (Finite Element Method) Evaluation of The Stresses Produced By Activation of Distractors Placed In Different Locations

This study aims to clarify the best positioning for mandibular distractors by evaluating stress distributions caused by activation of distractor located in various positions.

A 3-D model of mandible was constructed on computer media. Straight virtual cuts were done on angulus, ramus, corpus and symphysis. Virtual distractors were placed on anterior, middle and posterior positions on ramus and superior, middle and inferior positions on corpus and angulus. These distractors were virtually activated 10 mm Finite element stress analysis of mandible was performed with SAP2000 software using Von Misess.

Posterior location in ramus and inferior locations in corpus and angulus revealed less stress values compared to other locations. No significant differences were found between inferiorly or superiorly placed distractors on symphysis.

8- LITERATÜR LİSTESİ

- Ahmad R, Bates JF, Lewis TT (1982)** *Measurement of strain rate behaviour in complete mandibular dentures*, *Biomaterials*, 3, 87-92.
- Akagawa Y, Sato Y, Tsuru H (1992)** *The three dimensional bone interface of an osteointegrated implant*, *J Proshet Dent*, 68, 813-816.
- Al Ruhaimi KA (2001)** *Comparison of different distraction rates in the mandible. An experimental investigation*, *Int J Oral Maxillofacial Surg* 30, 220-227.
- Andrew JG, Andrew SM, Freemont AJ, Marsh DR (1994)** *Inflammatory cells in normal human fracture healing*, *Acta Orthop Scand*, 65(4), 462-466.
- Angell EH (1860)** *Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth*. In: *Larry J. Peterson, Principles of Oral and Maxillofacial Surgery*, Lippincott Raven Pub 1992, *Dental Cosmos*, 1, 540-544.
- Annino DJ, Goguen LA, Karmody CS (1994)** *Distraction osteogenesis for reconstruction of mandibular symphyseal defects*, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 120, 911-916.
- Anusavice KJ, Hojjatie B (1987)** *Stress Distribution in Metal-Ceramic Crowns with a Facial Porcelain Margin*, *J Dent Res*, 66, 1493-1498.
- Aronson J, Harrison BH, Stewart CL (1989)a** *The histology of distraction osteogenesis using different external fixators*, *Clin Orthop*, 241, 106.
- Aronson J, Harrison BH, Stewart CL, Harp JH (1989)b** *The histology of distraction osteogenesis using different external fixators*, *Clin Orthop Rel Res*, 241, 106-116.
- Aronson J, Good B, Stewart C, Harrison B, Harp J (1990)** *Preliminary studies of mineralization during distraction osteogenesis*, *Clin Orthop Rel Res*, 250, 43-49.
- Aronson J (1994)** *Experimental and clinical experience with distraction osteogenesis*, *J Cleft Palate Craniofac*, 31, 473-481.
- Asonova SN (1996)** *Morphogenesis mechanisms of limb connective tissue structures in the conditions of gradual distraction*, *Genij Ortopedii*, 124, 2-3.

- Aydınlık E (1977)** *Bölümlü Protezlerde Silikon Ara Tabakanın Destek Dokularda Neden Olduğu Boyutsal Değişikliklerin ve Streslerin İncelenmesi*, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara.
- Aydınlık E, Şahin E (1977)** *Dişhekimliğinde Stres Analizleri*, H.Ü. Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 1, 78-85.
- Babcock WW (1909)** *The surgical treatment of certain deformities of the jaw associated with malocclusion of the teeth. In: Derek Henderson, a colour and textbook of orthognathic surgery of facial skeletal deformity, Wolfe Medical Pub,1985, JAMA, 53(11), 833-839.*
- Baran İ (1995)** *İki tip silindirik endosteal implant alt yapı üzerine hazırlanmış üç değişik tüberkül eğimli krön tasarımlarına uygulanan vertikal kuvvetlerin oluşturduğu gerilimlerin FEM yöntemi ile incelenmesi*. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik diş tedavisi anabilim dalı, Ankara.
- Basa S, Üner E, Çitir M, Aras K (2000)** *Reconstruction of a large mandibular defect by distraction osteogenesis: A case report*, J Oral Maxillofacial Surgery, 58, 1415-1428.
- Bell WH, Gonzales M, Guerrero C, Samchukov ML (1997)** *Intraoral widening of the mandible by distraction osteogenesis: Histologic and radiographic assessment*, J Oral Maxillofac Surg, 55(8, Suppl 3), 97.
- Bitter K, Klein C (1995)** *ACE/Normed bi-directional and multi-directional distractors for craniomaxillofacial callus distraction*, Catalog, Jacksonville, KLS-Martin, LP 1995.
- Blair VP (1907)** *Operations of the jaw-bone and face. In: Derek Henderson, a colour and textbook of orthognathic surgery of facial skeletal deformity, Wolfe Medical Pub,1985, Surg Gynecol Obstet, 4, 67-78.*
- Block MS, Chang A, Crawford C (1996)** *Mandibular alveolar ridge augmentation in the dog using distraction osteogenesis*, J Oral Maxillofac Surg, 54, 309-314.

- Block MS, Otten J, McLaurin D, Zoldos J (1996)** *Bifocal distraction osteogenesis for mandibular defect healing: Case reports*, J Oral Maxillofac Surg, 54, 1365-1370.
- Brighton CT (1984)** *Principles of fracture healing*. In: Murray JA (ed). *Instructional course lectures*, AAOS, Volume 33. St. Louis, Mosby, 60-106.
- Charkawi HG, Wakad MT, Naser ME (1990)** *Modification of Osseointegrated Implants for Distal Extension Protheses*, J Prosthet Dent, 64, 469-72.
- Charton G, Charlesworth SH (1988)** *Three Dimensional Finite Element Methods Applied to the Design of Post Cores*, J Dent Res 67, 668-73.
- Chin M. (1988)** *Clinical Profile*, In: *The Exchange*. Freiburg, Germany, Howmedica Leibinger, GmbH & Co.KG, (1), 4.
- Chin M, Toth BA (1996)** *Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: Review of five cases*, J Oral Maxillofac Surg, 54, 45-53.
- Chin M (1997)** *Alveolar process reconstruction using distraction osteogenesis*. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). *International congress on cranial and facial bone distraction processes*, Paris, France, June 19-21, 1997, Bologna, Italy: Monduzzi Editore S P A., 51-54.
- Chin M (1998)** *Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery*. In: Lynch SE, Genco RJ, Marx RE (eds). *Tissue engineering. Applications in maxillofacial surgery and periodontics*, Carol Stream, Illinois, Quintessence Publishing Co, Inc, 147-159.
- Cohen SR, Rutrick RE, Burstein FD (1995)** *Distraction osteogenesis of the human craniofacial skeleton: Initial experience with a new distraction system*, J Craniofac Surg, 6, 368-374 .
- Cohen SR, Lefaiivre JF, Burstein FD, Simms C, Kattos AV, Scott PH, Montgomery GL, Graham L (1997)** *Surgical treatment of obstructive sleep apnea in neurologically compromised patients*, Plast Reconstr Surg, 99, 638-646.
- Cook SD, Weinstein AM (1982)** *Parameters Affecting the Stress Distribution Around LTI Carbon and Aluminum Oxide Dental*, J Biomed Mater Res , 16, 875-87.

- Cook SD, Weinstein AM (1983)** *Quantitative Histologic Evaluation of LTI Carbon Coated Aluminum Oxide and Uncoated Aluminum Oxid Dental Implants*, J Biomed Mater Res, 17, 519-539.
- Cope JB, Healy S, Harper RP, Dechow PC (1998)** *Strain patterns in the mandible during mandibular osteodistraktion*, American association of orthodontists on-site program guide, Dallas, Texas.
- Cope JB, Samchukov ML, Cherkashin AM, Wolford LM, Franco P (1999)a** *Biomechanics of mandibular device orientation: An animal model analysis*, J Oral Maxillofac Surg, 54, 174-177.
- Cope JB, Harper RP, Samchukov ML (1999)b** *Experimental tooth movement through regenerate alveolar bone: A pilot study*, Am J Orthod Dentofac Orthop, 68, 141-144.
- Cope J, Yamashita J, Healy S, Dechow P, Harper R (2000)** *Force level and strain patterns bilateral mandibular osteodistraktion*, J Oral Maxillofacial Surg, 58, 171-178.
- Cope J, Samchukov M (2001)** *Mineralization dynamics of regenerate bone during mandibular osteodistraktion*, Int J Oral Maxillofacial Surg, 30, 234-242.
- Corcoran J, Hubli EH, Salyer KE (1997)** *Distraction osteogenesis of costochondral neomandibles: A clinical experience*, Plast Reconstr Surg, 100, 311-315.
- Costantino PD, Friedman CD, Shindo ML, Houston G, Sisson GA (1993)** *Experimental mandibular regrowth by distraction osteogenesis. Long-term results*, Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 119, 511-516.
- Costantino PD, Shybut G, Friedman CD, Pelzer HJ, Masini M, Shindo ML, Sisson GA (1990)** *Segmental mandibular regeneration by distraction osteogenesis. An experimental study*, Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 116, 535-545.
- Costantino PD, Johnson CS, Friedman CD, Sisson GA (1995)** *Bone regeneration within a human segmental mandible defect: A preliminary report*, Am J Otolaryngol, 16, 56-65.
- Craig RG (1986)** *Restorative Dental Materials*, 9.th Ed The C V Mosby Co , Baltimore, Toronto.

- Craig RG, Farah JF (1978)** *Stress from Loading Distal Extension Removable Partial Dentures*, J Prosthet Dent, 39, 274-277.
- Crawford MJ (1948)** *Selection of appliances for typical facial fractures*. In: Larry J. Peterson, *Principles of Oral and Maxillofacial Surgery*, Lippincott Raven Pub 1992, Oral Surg Oral Med Oral Path, 1, 442-451.
- Darbar RU, Huggett R, Harrison A (1994)** *A Stress analysis techniques in complete dentures*, J Dent , 22, 259-264.
- Darendeliler S (1988)** *Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Yapılan Üç Boyutlu Gerilme Analizi İle Mine Preparasyon Teknikleri ve Pin Kullanımını Kapsayan Çeşitli Ön Diş Restorasyonlarının Kıyaslanarak Kırılma Olasılığı En Az Olan Restorasyon Tipinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara.
- Dayangaç B (1983)** *Sonlu Elemanlar Stress Analiz Yöntemi ile MOD Amalgam Dolgu Kırılma Olasılığını Azaltabilecek Kavite Şeklinin İncelenmesi*, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi, Ankara.
- Delloye C, Delefortrie G, Coutelier L, Vincent A (1990)** *Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening. An experimental study*, Clin Orthop Rel Res, 250, 34-42.
- Demann E, Haug R (2002)** *Do position and soft tissue affect distraction vector? An in vitro investigation*, J Oral Maxillofacial Surg, 60, 149-155.
- DeVoch J, Goel V, Zeitler D, Lew D (2001)** *Experimental validation of a finite element model of the temporomandibular joint*, J Oral Maxillofacial Surg, 59, 775-778.
- Diner PA, Kollar EM, Martinez H, Vazquez MP (1997)a** *Submerged intraoral device for mandibular lengthening*, J Cranio-Maxillofac Surg, 25, 116-123.
- Diner PA, Kollar EM, Viguier E, Maurin N, Vazquez MP (1997)b** *Intraoral submerged bidirectional device for mandibular distraction*. In: *International congress on cranial and facial bone distraction processes*, Paris, France, Paper #017.

- Diner PA, Kollar EM, Viguier E, Maurin N, Vazquez MP (1997)c** *Intraoral submerged bidirectional device for mandibular distraction. In: Diner PA, Vasquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris, France, June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A., 67-74.*
- Doğan OM (1986)** *İnley Kavite ve Tutucuların Köprü Protezlerinde Mekanik ve Biyolojik Yeterlilikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara.*
- Eiselberg FV (1906)** *Ueber plastik bei ektropium des unterkiefers [German], Wiener Klinische Wochenschrift. In: Larry J. Peterson, Principles of Oral and Maxillofacial Surgery, Lippincott Raven Pub 1992, 19(50), 1505-1508.*
- Eskitaşçıoğlu G (1991)** *Doğal ve Protetik Restorasyonlu Dişlerde Farklı Sentrik Kontakt Tiplerinde Oluşan Fonksiyonel Gerilimlerin "Structural Analysis Program" ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş tedavisi Anabilim Dalı, Ankara.*
- Farah JW, Craig RG, Sikarskies DL (1973)** *Photoelastic and Finite Element Stress Analysis of a Restored Axisymmetric First Molar, J Biomechanics, 6, 511-520.*
- Farah JW, Craig RG (1975)** *Distribution of stresses porcelain fused to jacket crowns, J Dent Res, 54, 255-261.*
- Fedotov SN (1997)** *Dosed distraction of the mandible fragments by extra-mouth apparatus in patients with bone defect and mandible fractures. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris, France, June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A , 155-160.*
- Feridun F (1984)** *Sonlu Elemanlar Stress Analizi Yöntemi İle RPE Uygulamaları Sırasında Farklı Apareylerin Maxilla Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Frost HM (1989)** *The biology of fracture healing. An overview for clinicians, Part I. Clin Orthop Rel Res, 248, 283-293.*

- Frost HM (1990)a** *Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolf's law: The bone remodeling problem*, Anat Rec 226, 403-413.
- Frost HM (1990)b** *Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolf's law: The bone remodeling problem*, Anat Rec, 226, 414-421.
- Fung YC (1981)** *Biomechanics mechanical properties of living tissues*, New York Springer-Verlag.
- Gaggl A, Rainer H (1998)** *Vertical alveolar distraction using a new intraoral distractor*, J Craniomaxillofac Surg, 26(Suppl 1), 55.
- Ganey TM, Klotch DW, Slater-Haase AS, Sasse J (1994)** *Evaluation of distraction osteogenesis by scanning electron microscopy*, Otolaryngol Head Neck Surg, 111, 265-272.
- Gantous A, Phillips JH, Catton P, Holmberg D (1994)** *Distraction osteogenesis in the irradiated canine mandible*, Plast Reconstr Surg, 93, 164-168.
- Giul'nazarova SV, Kazak LA, Mashinskaia TM (1991)** *Significance of roentgenologic indications of osteogenesis in the choice of tactics in distraction osteosynthesis using GA Ilizarov's method in rigid pseudarthrosis*, Ortop Traumatol Protez, 9, 21-24.
- Goddard CL (1893)** *Separation of the superior maxilla at the symphysis*. In: Larry J. Peterson, *Principles of Oral and Maxillofacial Surgery*, Lippincott Raven Pub 1992, Dental Cosmos, 35, 880-882.
- Goel VK, Khera SC, Sing K (1990)** *Clinical Implications Response of Enamel and Dentin to Masticatory Loads*, J Prosthetic Dent , 446, 554.
- Gropp H, Wangerin K (1997)** *Intraoral distraction osteogenesis for lengthening of the mandibular ascending ramus*. In: *International congress on cranial and facial bone distraction processes*, Paris, France, Paper #037.
- Gropp H, Wangerin K, Pasello F, Ewers R, Fleiner B, Hammer B, Hardt N, Hoffmeister B, Triaca A, Zeilhofer HF (1998)** *Skeletal stability following*

distraction osteogenesis of the mandible with transorally applied distraction devices, J Craniomaxillofac Surg, 26(Suppl 1), 64.

Guerrero C (1990) *Expansion mandibular quirurgica [Spanish]*, Rev Venez Ortod, 1-2, 48-50.

Harvey JP (1988) *Editorial commen*, Contemp Orthop, 17(2), 11.

Havlik RJ, Bartlett SP (1994) *Mandibular distraction lengthening in the severely hypoplastic mandible: A problematic case with tongue aplasia*, J Craniofac Surg, 5, 305-310.

Hidding J, Lazar F, Zoller JE (1998) *The vertical distraction of the alveolar bone*, J Craniomaxillofac Surg, 26(Suppl 1), 72-73.

Hoffmeister B, Marcks C, Wolff KP (1998) *The floating bone concept in intraoral mandibular distraction*, J Craniomaxillofac Surg, 26 (Suppl 1), 76.

Holbein O, Neidlinger-Wilke C, Suger G, Kinzl L, Claes L (1995) *Ilizarov callus distraction produces systemic bone cell mitogens*, J Orthop Res, 13, 629-638.

Holmes DC, Haganman CR, Aquilino SA (1994) *Deflection of Supersucructure and Stress Concantrations in the IMZ Implant System*, Int J Prosthodont, 7, 239-246.

Hullihen SP (1848) *Case of elongation of the upper jaw and distortion of the face and neck, caused by a burn successfully treated. In: William H Bell, Surgical correction of dentofacial deformities new concepts, W B Saunders Coop, 1985, Am J Dent Science, 9(2), 157-165.*

Hulth A (1989) *Current concepts of fracture healing*, Clin Orthop Rel Res, 249, 265-284.

Hübsch PF, Middleton J, Rees JS, Jacobsen PH (1993) *An Adaptive Finite Element Approach for the Analysis of Dental*, Biomed Eng, 15, 401-408.

Ilizarov GA (1988) *The principles of the Ilizarov method*, Bull Hosp Joint Dis Orthop Inst, 48, 1-11.

- Ilizarov GA (1989)** *The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation*, Clin Orthop Rel Res, 238, 249-281.
- Irei M, Iguchi S, Nishijima K, Maykawa O (1983)** *Stress Analysis of Maxilla and Mandibula While Occluding*, Am J Orthod, 83, 523-28.
- Irianov YM (1996)a** *Peculiarities of angiogenesis in distraction regenerates*, Genij Ortopedii, 2-3, 132.
- Irianov YM (1996)b** *Scanning electron microscopy of distraction regenerate*, Genij Ortopedii, 2-3, 131-132.
- Irianov YM (1996)c** *Spatial organization of a microcirculatory bed in distraction bone regenerates*, Genij Ortopedii, 1, 14-18.
- Ishida J, Soma K, Miura F (1987)** *Three-Dimensional Display of Stress Distribution in Mandibule*, J Dent Res, 66, 926-31.
- İsmail YH, Phauntis LN, Fleming JF (1987)** *Comparison two-dimensional and three-dimensional finite element analysis of a blade implant*, Int Oral Implant, 4, 25-61.
- İşeri H, Tekkaya E, Özden Ö, Bilgiç S (1998)** *Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton studied by the finite element method*, European Journal of Orthodontics, 20, 347-356.
- Jeon D, Turley K, Moon B, Ting K (1999)** *Analysis of stress in the periodontium of the maxillary first molar with a three-dimensional finite element model*, American Journal of Orthodontics and dentofacial orthopedics, 115, 3.
- Kallio TJ, Vauhkonen MV, Peltonen JI, Karaharju EO (1994)** *Early bone matrix formation during distraction, A biochemical study in sheep*, Acta Orthop Scand, 65(4), 467-471.
- Karp N, Thorne CH, McCarthy JG, Sisson GA (1990)** *Bone lengthening in the craniofacial skeleton*, Ann Plast Surg, 24(3), 231-237.
- Karp NS, McCarthy JG, Schreiber JS, Sissons HA, Thorne CH (1992)** *Membranous bone lengthening: A serial histological study*, Ann Plast Surg, 29, 2-7.

- Kavsaoğlu A (1986)** *Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi ile Kanin Distalizasyonunda Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodontik Diş Tedavisi Anabilim Dalı.*
- Kazanjian, VH (1941)** *The interrelation of dentistry and surgery in the treatment of deformities of the face and jaws. In: William H Bell, Surgical correction of dentofacial deformities new concepts, W B Saunders Coop, 1985, Am J Orthod Oral Surg, 27, 10-30.*
- Klein C, Howaldt HP (1995)** *Lengthening of the hypoplastic mandible by gradual distraction in childhood. A preliminary report, J Cranio Max Fac Surg, 23, 68-74.*
- Klein C, Howaldt HP (1996)** *Mandibular micrognathism as a sequela of early childhood capitulum fractures and their treatment using distraction osteogenesis [German], Forts Kiefer Gesic Chirurg, 41,147-151.*
- Klotch DW, Ganey TM, Slater-Haase A, Sasse J (1995)** *Assessment of bone formation during osteoneogenesis: A canine model, Otolaryngol Head Neck Surg, 112,291-302.*
- Knoll D (1988)** *CESL/STSA, Stress Program, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana.*
- Kocabalkan O, Leblebicioglu G, Erk Y, Enacar A (1995)** *Repeated mandibular lengthening in Treacher Collins syndrome: A case report, Int J Oral Maxillofac Surg, 24, 406-408.*
- Kollar EM, Diner PA, Martinez H, Doumit A, Vazquez MP (1997)** *A five-year clinical experience with mandibular distraction. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris, France, June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A, 127-134.*
- Kummer B (1985)** *Anatomie und Biomechanik des Unter kiefers, Fortschr Kieferorthop 46, 335-342.*

- Labbe D, Kaluzinski E, Badie Modiri B, Compere JF (1997)** *Mandibular distraction in adults. Nine case reports. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris, France, June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A, 145-153.*
- Landry PS, Marino AA, Sadasivan KK, Albright JA (1996)** *Bone injury response. An animal model for testing theories of regulation, Clin Orthop Rel Res, 332, 260-273.*
- Limberg A (1925)** *Treatment of open bite by means of plastic oblique osteotomy of the ascending rami of the mandible. In: Larry J. Peterson, Principles of Oral and Maxillofacial Surgery, Lippincott Raven Pub 1992, Dental Cosmos, 67, 1191-1200.*
- Limberg A (1928)** *A new method of plastic lengthening of the mandible in unilateral microgenia and asymmetry of the face. In: Larry J. Peterson, Principles of Oral and Maxillofacial Surgery, Lippincott Raven Pub 1992, J Am Dent Ass, 15, 851-871.*
- Lucas R, Breton P, Ferez C, Genevoix JP, Roger T, Freidel M (1997)** *A new bi-directional distraction device (Experimental study). In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris, France, June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A, 55-60.*
- Maffulli N, Lombardi C, Matarazzo L, Nele U, Pagnotta G, Fixsen JA. (1996)** *A review of 240 patients undergoing distraction osteogenesis for congenital post-traumatic or post-infective lower limb length discrepancy, J Am Coll Surg, 182, 394-402.*
- Maurer P, Holweg S, Schubert J (1999)** *Finite element analysis of different screw diameters in the sagittal split osteotomy of the mandible, Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 27, 365-372.*
- Maurer P, Holweg S, Knoll WD, Schubert J (2002)** *Study by finite element method of the mechanical stress of selected biodegradable osteosynthesis screws in sagittal ramus osteotomy, British Journal Oral and Maxillofacial Surgery, 40, 76-83.*

- McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, Thorne CH, Grayson BH (1992)** *Lengthening the human mandible by gradual distraction*, *Plast Reconstr Surg*, 89, 1-8.
- McCarthy JG (1994)** *The role of distraction osteogenesis in the reconstruction of the mandible in unilateral craniofacial microsomia*, *Clin Plast Surg*, 21, 625-631.
- McCarthy JG (1997)** *Craniofacial microsomia. A primary or secondary surgical treatment program*, *Clin Plast Surg*, 24(3), 459-474.
- McCarthy JG, Williams JK, Grayson BH, Crombie JS (1998)** *Controlled multiplanar distraction of the mandible: Device development and clinical application*, *J Craniofac Surg*, 9(4), 322-329.
- McKibbin B (1978)** *The biology of fracture healing in long bones*, *J Bone Joint Surg*, 60, 150-162.
- Meijer HJA, Starmans FJM, Steen WHA, Bosman F (1994)** *A three-dimensional finite element study on two versus four implants in mandible*, *Int J Prosthodont*, 7, 271-279.
- Meijer HSA, Stermans FJM, Bosman F, Steen WHA (1998)** *A comparison of three finite element models of an edentulous mandible provided with implants*, *Journal of Oral Rehabilitation*, 20, 147-157.
- Michieli S, Miotti B (1997)** *Lengthening of mandibular body by gradual surgical orthodontic distraction*, *J Oral Surg*, 35, 187-192.
- Middleton J, Jones ML, Wilson AN (1990)** *Three-Dimensional Analysis of Orthodontic Tooth Movement*, *J Biomed Eng*, 12, 319-327.
- Mihalko WM, Maş TC, Kay JF, Krause WR (1992)** *Finite Element Analysis of the Interface Geometry Effects on the Crestal Bone Surrounding A Dental Implant*, *Implant Dent*, 1, 212-217.
- Miyasaka J, Tanne S (1987)** *Three-Dimensional Model of Craniofacial Skeleton for Finite Element Method*, *J Dent Res*, 66, 929-934.
- Mohammed H, Tsutimi S (1984)** *Stress Analysis of on Implant Suported Dental Bridge*, *J Dent Res*, 63, 194-98.

- Molina F, Ortiz Monasterio F (1995)** *Mandibular elongation and remodeling by distraction: A farewell to major osteotomies*, *Plast Reconstr Surg*, 96, 825-840.
- Molina F (1996)** *Remodeling the craniofacial skeleton by distraction osteogenesis*, *J Oral Maxillofac Surg*, 54(8, Suppl 3), 3.
- Mosheiff R, Cordey J, Rahn BA, Perren SM, Stein H (1996)** *The vascular supply to bone in distraction osteoneogenesis: An experimental study*, *J Bone Joint Surg*, 78-B, 497-498.
- Panikarovskiy VV, Grigor'ian AS, Kaganovich SI, Osipian EM, Antipova ZP (1982)** *Characteristics of mandibular reparative osteogenesis under compression-distraction osteosynthesis: An experimental study [Russian]*, *Stomatol*, 61, 21-25.
- Pensler JM, Goldberg DP, Lindell B, Carroll NC (1995)** *Skeletal distraction of the hypoplastic mandible*, *Ann Plast Surg*, 34, 130-136.
- Perrott DH, Berger R, Vargervik K, Kaban LB (1993)** *Use of a skeletal distraction device to widen the mandible: A case report*, *J Oral Maxillofac Surg*, 51, 435-439.
- Philips RW (1991)** *Skinner's science of dental materials*, 9 th ed, W B Saunders, Philadelphia.
- Pickerhill HP (1912)** *Double resection of the mandible*. In: *Larry J. Peterson, Principles of Oral and Maxillofacial Surgery*, Lippincott Raven Pub 1992, Dental Cosmos, 54, 114-119.
- Postacchini F, Gumina S, Perugia D, De Marino C (1995)** *Early fracture callus in the diaphysis of human long bones*, *Clin Orthop*, 310, 218-228.
- Rachmiel A, Manor R, Peled M, Laufer D (2001)** *Intraoral distraction osteogenesis of the mandible in hemifacial microsomia*, *J Oral Maxillofac Surg*, 59, 728-733.
- Randolph R, Patrick O, Ginger H (2001)** *Mandibular distraction force : Laboratory data ad clinical correlation*, *J Oral Maxillofacial Surg*, 59, 539-544.

- Razdolsky Y, Pensler JM, Dessner S (1998)** *Skeletal distraction for mandibular lengthening with a completely intraoral toothborn distractor. In: McNamara Jr JA, Trotman CA (eds), Distraction Osteogenesis and Tissue Engineering, Volume 34. Ann Arbor, Michigan, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, 117-140.*
- Rees JS, Jacobsen PH, Williams KR (1988)** *Finite Element Stress Analysis of Cuspal Flexure, J Dent Res, 67, 661-67.*
- Rees JS, Huggett R, Harrison A (1990)** *Finite Element Analysis of the Stress-Concentrating Effect of Fraenal Notches in Complete Dentures, Int J Prosthodont, 3, 238-240.*
- Reinhart RA, Pao YC, Krejci RF (1984)** *Mathematical Analysis of Periodontal Ligament Stresses in Occlusal Traumatism, J Dent Res, 63, 309-311.*
- Richards M, Goulet JA, Weiss JA (1998)** *Bone regeneration and fracture healing, Clin Orthop 355, 191.*
- Rieger MR (1988)** *Finite Element Stress Analysis of Root-Form Implants, J Oral Implantol, 14, 472-487.*
- Rieger MR, Adams WK, Kinzel GL, Brose MO (1989)** *Finite Element Analysis of Bone-Adapted, Bone-Bonded Endosseous Implants, J Prosthet Dent, 62, 636-440.*
- Rieger MR, Adams WK, Kinzel GL (1990)a** *A Finite Element Survey of Eleven Endosseous Implants, J Prosthet Dent, 63, 457-465.*
- Rieger MR, Mayberry M, Brose MO (1990)b** *Finite Element Analysis of Six Endosseous Implants, J Prosthet Dent, 63, 671-676.*
- Rossen IP, Breal HL, Putter C, Grott K (1990)** *Stress-Absorbing Elements in Dental Implants, J Prosthet Dent, 61, 198-205.*
- Roychowdhury A, Pal S, Saha S (2000)** *Stress analysis of an artificial temporomandibular joint, Critical reviews in biomedical engineering, 28, 411-400.*
- Rubin C, Krishnamurthy N, Capilouto E (1983)** *Stress Analysis of Human Tooth Using a Tree-Dimensional Finite Element Model, J Dent Res, 62, 86-89.*

- Sakaguchi RL, Brust EW, Cross M, Long FD, Dauglas WH (1991)** *Independent movement of cusps during occlusal loading*, Dent Mater, 7, 186-190.
- Sakaguchi RL, Cross M, Dauglas WH (1992)** *A Simple Model of Crack Propagation in Dental Restorations*, Dent Mater, 8, 131-136.
- Saleh M, Stubbs DA, Street RJ, Lang DM, Harris SC (1993)** *Histologic analysis of human lengthened bone*, J Pediatr Orthop, 2, 16-21.
- Samchukov ML, Cherkashin AM, Cope JB (1998)** *Distraction osteogenesis: Origins and evolution*. In: McNamara Jr JA, Trotman CA (eds), Distraction Osteogenesis and Tissue Engineering, Volume 34. Ann Arbor, Michigan, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, 1-35.
- Samchukov ML, Cherkashin AM, Cope JB (1998)a** *Distraction osteogenesis: History and biologic basis of new bone formation*. In: Lynch SE, Genco RJ, Marx RE (eds), Tissue engineering. Applications in maxillofacial surgery and periodontics, Carol Stream, Illinois, Quintessence Publishing Co, 131-146.
- Samchukov ML, Cherkashin AM, Cope JB (1998)b** *Distraction osteogenesis: History and biological basis of new bone formation*, in Lynch SE, Genco RJ, Marx RE, Tissue Engineering, Applications in periodontics and oral surgery, Chicago, IL, Quintessence, pp 131-146.
- Samchukov ML, Cope JB, Harper RP, Ross JD (1998)c** *Biomechanical considerations of mandibular lengthening and widening by gradual distraction using a computer model*, J Oral Maxillofac Surg, 56(1), 51-59.
- Samchukov ML, Cope JB, Cherkashin AM (1999)** *Biomechanical considerations of mandibular lengthening by osteodistraction: Sagittal plane correction*, J Oral Maxillofac Surg, 57(2), 61-67.
- Sawaki Y, Hagino H, Yamamoto H, Mizutani H, Ueda M (1997)** *Trifocal distraction osteogenesis for segmental mandibular defect: A case report*. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris (France), June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A, 161-165.

- Schenk RK, Gachter A (1994)** *Histology of distraction osteogenesis, In: Brighton CT, Friedlaender G, Lane JM (eds), bone formation and repair, Rosemont:American Academy of Orthopaedic Surgeons, 387-394.*
- Schenk RK, Hunziker EB (1994)** *Histologic and ultrastructural features of fracture healing, In: Brighton CT, Friedlaender G, Lane JM (eds). Bone formation and repair, Rosemont:American Academy of Orthopaedic Surgeons, 117-146.*
- Shaar CM, Kreuz FP (1942)** *Treatment of fractures and bone and joint surgery with the Stader reduction and fixation splint, Surg Clin N Amer, 22(6), 1537-1583.*
- Sertgöz A, Bişkin T, Demirbaş B (1995)** *Eğimli yerleştirilmiş bir implant ve çevre kemik dokusundaki oluşabilecek streslerin sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelenmesi, Oral İmplantoloji Dergisi, Kasım19-23.*
- Snyder CC, Levine GA, Swanson HM, Browne EZ (1973)** *Mandibular lengthening by gradual distraction. Preliminary report. In: William H Bell, Surgical correction of dentofacial deformities new concepts, W B Saunders Coop, 1985, Plast Reconstr Surg, 51, 506-508.*
- Soares MM (1997)a** *Mandibular augmentation using osteodistraction, Int J Oral Maxillofac Surg, 26(Suppl 1), 75.*
- Soares MM (1997)b** *Increasing vertical height of the mandible using the distraction principle, Int J Oral Maxillofac Surg, 26(Suppl 1), 76.*
- Steiner CC (1933)** *Is there one best orthodontic appliance? In: Derek Henderson, a colour and textbook of orthognathic surgery of facial skeletal deformity, Wolfe Medical Pub,1985, Angle Orthod, 3, 277-298.*
- Tajana GF, Morandi M, Zembo MM (1989)** *The structure and development of osteogenic repair tissue according to Ilizarov technique in man. Characterization of extracellular matrix, Orthop, 12(4), 515-523.*
- Takahashi N, Kitagami T, Komori T (1978)** *Analysis of Stress on a Fixed Partial Denture with a Blade-Vent Implant Abutment, J Prosthodont, 40, 186-191.*

- Takahashi N, Kitagami T, Komori T (1979)** *Effect of Pin Hole Position on Stress Distributions and Interpulpal Temperatures in Horizontal Nonparallel Pin Restorations*, J Dent Res, 58, 2085-2090.
- Tanne K, Hiraga J, Kuniaki K (1987)** *Three-dimensional model of the human craniofacial skeleton. Method and preliminary results using finite element analysis*, Journal of Biomedical Engineering, 10, 246-252.
- Tanne K, Bantleon PH (1989)**. *Spannungsverteilung im Parodontalligament, Hervorgerufen Durch, Orthodontische Kräfte, Anwendung der Finite Element Methode*, J Informationen, 2, 185-194.
- Toparlı M, Gökay N, Aksoy T (1999)** *Analysis of a restored maxillary second premolar tooth by using three-dimensional finite element method*, Journal Oral Rehabilitation, 26, 157-64.
- Toth BA (1997)** *Commentary on the application of distraction technology*, J Craniofac Surg, 8, 186-186.
- Trauner R, Obwegeser H (1957)** *The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. Part I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. In: Derek Henderson, a colour and textbook of orthognathic surgery of facial skeletal deformity, Wolfe Medical Pub,1985, Oral Surg Oral Med Oral Path, 10(7), 677-689.*
- Ulusoy M, Aydın K (1988)** *Bölümlü Protezler*. Ankara Üniversitesi Dişhekimliği Yayınları, Ankara.
- Ünsal MK (1994)** *The Clinical Measurement of Stress and Strain in Duced in Branemark Application of Simulated Functional Loads, The Degree of Doctor, Tphilosophy Department of Restorative Dentistry, The University of Sheffield.*
- Vollmer D, Meyer U, Joos U, Vegh A, Piffko J (2000)** *Experimental and finite element study of a human mandible*, Journal of Cranio Maxillofacial Surgery, 28, 91-96

- Wagner H (1971)** *Operative Beinverlängerung. In: William H Bell, Surgical correction of dentofacial deformities new concepts, W B Saunders Coop, 1985, Der Chirurg, 6, 260-266.*
- Wagner H (1978)** *Operative lengthening of the femur. In: William H Bell, Surgical correction of dentofacial deformities new concepts, W B Saunders Coop, 1985, Clin Orthop, 136:125.*
- Wangerin K, Gropp H (1994)** *Die enorale distraktionsosteotomie des mikrogenen unterkiefers zur beseitigung der atemwegsobstruktion, Deutsch Z Mund Kiefer Gesichts Chir, 18, 236-236.*
- Weinberger BW (1918)** *The history of orthodontia. In: Thomas M Graber, Orthodontics current principles and techniques, Mosby 1985, Part 17. Int J Orthod, 4, 92-116.*
- Weinstein AM, Klawitter JJ, Anand SC, Schuessler R (1976)** *Stress Analysis of Porous Rooted Dental Implants, J Dent Res, 55, 772-777.*
- Wescott A (1859)** *A case of irregularity. In: Derek Henderson, a colour and textbook of orthognathic surgery of facial skeletal deformity, Wolfe Medical Pub, 1985, Dental Cosmos, 1, 60-68.*
- White SH, Kenwright J (1991)** *The importance of delay in distraction of osteotomies, Orthop Clin N Am, 22(4), 569-579.*
- Williams KR, Watson CJ, Murphy WM, Scott J, Greogory M, Sinobab D (1990)** *Finite Element Analysis of Fixed Protheses Attached to Osseointegrated Implants, Quintessence Int ,21, 563-570.*
- Wilson EL, Habibullah A (1992)** *SAP90. A Series Computer Programs for The Finite Analysis of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.*
- Windhager R, Tsuboyama T, Siegl H (1995)** *Effect of bone cylinder length on distraction osteogenesis in the rabbit tibia, J Orthop Res, 13, 620.*
- Wree JHP, Peters MC, Plasschaert AJM (1984)** *The Influance of Modification of Cavity Design on Distribution of Stresses in a Restored Molar, J Dent Res, 63, 1217-1220.*

- Wright KWJ, Wettram AL (1978)** *Finite Element Stress Analysis of a Class I Amalgam Restoration Subjected to Setting and Thermal Expansion*, J Dent Res, 57, 715-723.
- Wright KWJ, Yettram AL (1979)** *Reactive Force Distributions for Teeth When Loaded Singly and When Used as Fixed Partial Denture Abutments*, J Prosthodont, 42, 411-416.
- Yang TY, Baldwin JJ (1974)** *Analysis of Space Closing Springs in Orthodontics*, J Biomechanic, 7, 21-28.
- Yasui N, Kojimoto H, Sasaki K, Kitada A, Shimizu H, Shimomura Y (1993)** *Factors affecting callus distraction in limb lengthening*, Clin Orthop Rel Res, 293, 55-60.
- Yonehara Y, Takato T, Susami T, Komori T, Hikiji H (1997)** *Secondary mandibular lengthening using gradual distraction technique. In: Diner PA, Vazquez MP (eds). International congress on cranial and facial bone distraction processes, Paris (France), June 19-21, Bologna, Italy, Monduzzi Editore S P A, 167-169.*
- Yuasa Y, Sato Y, Ohkawa T, Nagasawa T, Tsuru H (1990)** *Finite Element Analysis of the Relationship Between Clasp Dimension and Flexibility*, J Dent Res, 69,1664-1668.
- Zaimoğlu A, Can G, Ersoy E, Aksu L (1993)** *Dişhekimliğinde Maddeler Bilgisi*, Üniversitesi Basımevi, Ankara.

9- ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Konya’da doğdu. İlkokul eğitimini Seydişehir’de, ortaokul ve lise eğitimini Konya’da tamamladı. 1988 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi’nden 1993 yılında mezun oldu. Askerlik görevini tamamladıktan sonra 1997 yılında Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız-Diş-Çene Hastalıkları ve Cerrahisi A.D.’ da araştırma görevlisi ve doktora öğrencisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



10-TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince, bilgi ve tecrübeleri ile bana her konuda yardımcı olan ve beni teşvik eden sayın danışmanım Doç Dr. M.Necip MUTLU 'ya ve tez izleme komitesinde bulunan bölüm başkanımız ve dekanımız Prof Dr. Adnan ÖZTÜRK'e , dekan yardımcımız sayın Prof Dr. Gürcan ESKİTAŞÇIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmada kullandığım metodun uygulamasında yardımını esirgemeyen Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü Araştırma Görevlisi Hasan Hüsnu KORKMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım süresince, her türlü manevi desteği esirgemeyen, bana karşı büyük bir sabır ve anlayış gösteren eşim ve kızıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

