

**KAPLAMA YAPILMIŞ İNSAN DİŞİNİN
TERMAL GERİLME ANALİZİ**

Hamid ZAMANLOU

Y. Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Sadri ŞEN

2011

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Y. LİSANS TEZİ

**KAPLAMA YAPILMIŞ İNSAN DİŞİNİN
TERMAL GERİLME ANALİZİ**

Hamid ZAMANLOU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2011**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

KAPLAMA YAPILMIŞ İNSAN DİŞİNİN TERMAL GERİLME ANALİZİ

Prof. Dr. Sadri ŞEN danışmanlığında, Hamid ZAMANLOU tarafından hazırlanan bu çalışma 08/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sadri ŞEN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yusuf Ziya BAYINDIR

İmza :

Üye : Yrd.Doç.Dr ruhi YEŞİLDAL

İmza :

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAPLAMA YAPILMIŞ İNSAN DİŞİNİN TERMAL GERİLME ANALİZİ

Hamid ZAMANLOU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sadri ŞEN

Diş hekimliği alanında diş protezleri uygulamaları çok sık kullanılan bir yöntemidir.

Diş kaplamalarına yönelik çalışmalarda deneysel ve teorik yöntemler kullanılmıştır. Fakat son zamanlarda yürütülen bu çalışmalara paralel olarak nümerik çalışmalar da yani bilgisayar destekli sayısal çalışmalar bu konuda uygulanmaya başlamıştır. Çabuk sonuç alınması, laboratuvar çalışmalarında yapılamayan/denenemeyen tasarım ve çalışma koşullarının rahatlıkla uygulanabilmesi, bilgisayar ortamında yapıldığı için çeşitli malzeme ihtiyacının olmaması nedeniyle maliyetin düşük olması ve alınan sonuçlarla daha ayrıntılı analiz yapılabilmesi açısından sayısal çalışmalar her alanda olduğu gibi bu alanda da gittikçe önem kazanmaktadır.

Bu çalışma ikinci promolar diş üzerinde uygulanmıştır, üzerinde altı farklı malzeme tanımlaması yapabilen modellerde, kaplama işlemlerinde kullanılan malzemeler için seçilen malzemelerle toplam beş model üzerinde (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4, Model-5) zamana bağımlı olarak termal gerilme analizi yapılmıştır. Modeller ANSYS program paketi ile yapılmış ve elde edilen sayısal değerler sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Modellerin hepsi dönel simetrik (aksisimetrik), özellikleri yöne bağlı olmayan ve elastik kabul edildi.

Yapılan sayısal deneylerin analiz edilmesiyle elde edilen sonuçlara göre; Gerilmelerin şiddet açısından Model4’de hasar oluşum (arayüzeyde ayrılma ve çatlak oluşumu) ihtimali yüksektir. Bunu Model5, Model3, Model1, Model2 takip etmektedir.

2011, 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar, diş kaplaması, termal gerilme dağılımı.

ABSTRACT

Master Thesis

THERMAL STRESS ANALYSIS OF HUMAN COATED TEETH

Hamid ZAMANLOU

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sadri ŞEN

One of the most frequently used applications in the field of dentistry is a method of dental prostheses.

In the studies of tooth crown, experimental and theoretical methods have been used. Besides, recently in parallel with previous studies, numerical studies namely computer aided studies have commenced to be executed in this domain. Due to achieving fast results, ability of application of design and execution condition which cannot be held in the laboratory, being low cost as carried out in computer media so not having necessity of various material and enabling to carry out detail analysis on the achieved results, numerical analysis gains high importance in this domain as well as every field of science.

The axisymmetrical finite element method (FEM) was used to compare stress distribution in a maxillary second premolar restored tooth by ANSYS program packet. The five models (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4, Model-5) were evaluated with different materials. The tooth was assumed to be axisymmetric, nondirectional features and elastic. Thermal stresses were studied in the models for different periods of time and ranges.

According to the results obtained by analyzing the numerical experiments; Because of violence of stresses in Model4, damage (separation and the formation of the interface crack) is likely to occur. Model5, Model3, Model1, Model2 follow it.

2007, 75 pages

Keywords: Finite element, dental coating, thermal stresses distribution.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında destek, öneri ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanı hocam Sayın Prof. Dr. Sadri ŞEN'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Erzurumda olmam için ve Atatürk üniversitesinde dersimin devamı için desteklerin her yönde esirgemeyen Atatürk üniversitesi rektör yardımcısı Sayın Prof.Dr.Fahrettin KORKMAZ'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Hamid ZAMANLOU

Temmuz 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç	5
1.2. Kapsam.....	6
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1. Kuronlar.....	7
2.1.1. Kuron kaplama	7
2.1.2. Kuron (tam kaplama) nedir ve niçin kullanılır?	7
2.1.3. Kuron kaplamalar için en uygun malzeme hangisidir?	7
2.1.4. Bir kron nasıl yerleştirilir?	8
2.1.5. Kuronların bakımı nasıl yapılır?.....	8
2.1.6. Tamamlanmış bir kuronun görünümü nasıldır?	8
2.1.7. Metal destekli porselen kuronlar	12
2.2. Diş Kesiminde Genel Olarak Basamak Tipleri	13
2.3. Yapıştırıcıların Çeşitleri	15
2.3.1. Resin esaslı simanlar ile yapıştırma işleminde dikkat Edilecek Hususlar.....	16
2.4. Kaplama Dişte Oluşan Kuvvetler	16
2.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi	17
2.5.1. Sonlu elemanlar metodunun tarihsel gelişimi	19

2.5.2. Sonlu elemanlarla modelleme	20
2.5.3. SEY’de sınır şartları ne demektir? Neye göre belirlenir?	21
2.5.4. Pre/post işlemler nedir?	21
2.5.5. Eleman nedir? Ne işe yarar?	21
2.5.6. Eleman çeşitleri nelerdir?	22
2.5.7. Düğüm nedir? Ne işe yarar?	22
2.5.8. Kiriş, kafes kiriş ve ankastre kiriş nedir?	22
2.5.9. Simetrik model nedir?	23
2.5.10. Dönelsimetrik model nedir?	23
2.5.11. Statik modelleme nedir?	23
2.5.12. Dinamik modelleme nedir?	23
2.5.13. Termal hesaplama nedir?.....	24
2.5.14. Malzeme modeli ne demektir?	24
2.5.15. Eleman ağı oluşturmada nelere dikkat edilmelidir?	25
2.6. Dışın Modelinin Oluşturulması ve Analizi	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. Çözümlerde Kullanılan Model	27
3.2. Sınır şartları	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	35
4.1. Model-1	35
4.1.1. Model-1’de σ_r analizi	36
4.1.2. Model-1’de σ_θ analizi.....	37
4.1.3. Model-1’de $\tau_{r\theta}$ analizi.....	38
4.1.4. Model-1’de σ_{vm} analizi.....	39
4.2. Model-2	39

4.2.1. Model-2'de σ_r analizi	40
4.2.2. Model-2'de σ_Θ analizi	41
4.2.3. Model 2'de $\tau_{r\Theta}$ analizi	41
4.3. Model-2'de σ_{vm} analizi	42
4.4. Model- 3	43
4.4.1. Model-3'de σ_r analizi	43
4.4.2. Model-3'de σ_Θ analizi	44
4.2.3. Model-3'de $\tau_{r\Theta}$ analizi	45
4.2.4. Model-3'de σ_{vm} analizi	46
4.3. Model-4	47
4.3.1. Model-4'de σ_r analizi	47
4.3.2. Model-4'de σ_Θ analizi	48
4.3.3. Model-4'de $\tau_{r\Theta}$ analizi	49
4.3.4. Model-4'de σ_{vm} analizi	50
4.3.5. Model-5	50
4.3.6. Model-5'de σ_r analizi	51
4.3.7. Model-5'de σ_Θ analizi	52
4.3.8. Model-5'de $\tau_{r\Theta}$ analizi	52
4.3.9. Model-5'de σ_{vm} analizi	53
4.4. Farklı Modellerin Aynı Hatlarda Gerilme Eğrileri	53
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER DİZİNİ

ARY1	Birinci ara yüzey
ARY2	İkinci ara yüzey
ARY3	Üçüncü ara yüzey
D	Düğümlerin yer değiştirme vektörü
F	Yük vektörü
K	Direngenlik matrisi
Model-1	Birinci model
Model-2	İkinci model
Model-3	Üçüncü model
Model-4	Dördüncü model
Model-5	Beşinci model
r	r eksen
ÜSTY	Üst yüzey
y	y eksen
α	Termal genleşme katsayısı
$\Delta T (T-T_0)$	Sıcaklık farkı (Başlangıç-Son sıcaklık)
σ_r	Radyal gerilme
σ_{vm}	von Misses geilmesi
σ_Θ	Teğetsel (Θ) gerilmesi
$\tau_{r\Theta}$	Kayma gerilmesi
Θ	Açısal eksen

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kuronlar ve diş protez uygulama işlemi	9
Şekil 2.2. Kesilmiş diş ile kuronun yerleştirme şekli	11
Şekil 2.3. Kaplama için diş uygulanan basamak tipleri	14
Şekil 2.4. Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanlar	19
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan modelin görünümü	29
Şekil 3.2. Deneyde kullanılan modelin elemanlarına ayrılması	30
Şekil 3.3. Modelin Sınır Şartları ve Ara yüzeylerin durumu	34
Şekil 4.1. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri	36
Şekil 4.2. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri	37
Şekil 4.3. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri	38
Şekil 4.4. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri	39
Şekil 4.5. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri	40
Şekil 4.6. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri	41
Şekil 4.7. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri	41
Şekil 4.8. Model-2'nin ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri	42
Şekil 4.9. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri	43
Şekil 4.10. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri	44
Şekil 4.11. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri	45
Şekil 4.12. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri	46
Şekil 4.13. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri	47
Şekil 4.14. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri	48
Şekil 4.15. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri	49

Şekil 4.16. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri.....	50
Şekil 4.17. Model-5'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri	51
Şekil 4.18. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri.....	52
Şekil 4.19. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri.....	52
Şekil 4.20. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri.....	53
Şekil 4.21. Modellerin ÜSTY'de σ_r değişimi	54
Şekil 4.22. Modellerin ARY1'de σ_r değişimi	55
Şekil 4.23. Modellerin ARY2'de σ_r değişimi	56
Şekil 4.24. Modellerin ARY3'de σ_r değişimi	57
Şekil 4.25. Modellerin ÜSTY'de σ_θ değişimi	58
Şekil 4.26. Modellerin ARY1'de σ_θ değişimi	59
Şekil 4.27. Modellerin ARY 2'de σ_θ değişimi	60
Şekil 4.28. Modellerin ARY3'de σ_θ değişimi	61
Şekil 4.29. Modellerin ÜSTY'de $\tau_{r\theta}$ değişimi	62
Şekil 4.30. Modellerin ARY1'de $\tau_{r\theta}$ değişimi	63
Şekil 4.31. Modellerin ARY2'de $\tau_{r\theta}$ değişimi	64
Şekil 4.32. Modellerin ARY3'de $\tau_{r\theta}$ değişimi	65
Şekil 4.33. Modellerin ÜSTY'de σ_{vm} değişimi	66
Şekil 4.34. Modellerin ARY1'de σ_{vm} değişimi	67
Şekil 4.35. Modellerin ARY2'de σ_{vm} değişimi	67
Şekil 4.36. Modellerin ARY3'de σ_{vm} değişimi	68
Şekil 5.1. Model-4'deki σ_{vm} gerilmeleri	71
Şekil 5.2. Şekil 5.1'in büyütülmüş hali.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Farklı bölgelerden oluşan 5 farklı model ve onlarda kullanılan malzemeler	31
Çizelge 3.2. Modelde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	32
Çizelge 3.3. Farklı yüzeylerin metinde kullanılış simgeleri.	33
Çizelge 3.4. Beş farklı modelin üst yüzey ve arayüzey ayrıntıları.	33

1. GİRİŞ

Diş hekimliği alanında diş protezleri uygulamaları çok sık kullanılan bir yöntemidir, bu arada kuron-köprü protezleri çok önemli bir tedavi yöntemidir. Teknoloji ilerledikçe diş sağlığı konusunda da tıpta ilerlemeler devam ediyor. Diş kaplaması konusunda geçmişe önemli ilerleme kaydedilmiştir, öyle ki gerçek diş ile diş kaplaması yapılmış diş arasında hemen hemen hiç fark kalmadı denilebilir. Diş kaplaması, dişin tamamının veya belirli bir yüzeyinin muhtelif maddelerle kaplanmasıdır. Farklı durumlar için alternatif seçenekler kullanılarak kaplamalar yapılmaktadır. Örneğin; estetik kaygı ön plandaysa, dişlerde herhangi bir çürük ya da kırık bulunmuyorsa, sadece dişlerin dış yüzeyine uygulanan ve lamina denilen porselen bir tabakayla estetik görünüm sağlanabiliyor. Fakat dişlerde herhangi bir problem varsa, örneğin; bir diş eksikliği varsa, köprü ile yani bir kaç kaplamanın bir araya gelmesiyle o diş boşluğu doldurulabiliyor. Diş kaplaması yöntemiyle diş kökünün sağlam olduğu fakat dişin üst yüzeyinde çürükler olduğu durumlarda zirkonyum ve metal destekli porselenlerle çürük diş yeniden kullanılabilir hale getirilebiliyor.

Kuron; anlam olarak, hem anatomik yapıdaki dişin ağızda görünen kısımları hem de porselen gibi malzemelerden yapılmış kaplamalara verilen isimdir. Kuron-köprü uygulamalarında amaç; çeşitli nedenlerle çürük oluşmuş ve aşırı madde kaybının yüksek olduğu dişlerde, dişi kaybetmeden yeniden işlevsellik kazandırmaktır. Bu yöntem diş sert dokusu (dentin), yapıştırıcı (siman) ve kaplama-kuron (dental materyal) ana kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımların malzeme özellikleri ve uyumları çalışmanın kalitesini etkilemektedir. Yapım hataları, çalışma esnasında çıkan hatalar, katmanlardaki çatlak ve ayrılma problemleri, çalışma esnasındaki etkiyen kuvvetler vb. gibi etkenler de önem arz etmektedir.

Kuron kaplama aşağıdaki durumlarda yapılabilir.

- a) Çürük ilerlediğinde, diş artık dolgu tutamayacak kadar çürüdüğünde
- b) Kuron kırıklarında dolgu tedavisi netice vermiyorsa,
- c) Aşırı aşınmış dişlerde dişin dolgu tutmadığı veya kırılma riski olduğunda,
- d) Bazı mine hastalıkları sebebi ile renklemiş dişlerde
- e) şekli bozuk dişlerde estetiğı sağlamak için.
- f) Kanal tedavisi görmüş dişler daha kırılğan olurlar. Kuron'un kırılmasını önlemek için kaplama yapılabilir.
- g) Bir diş implantına üst yapı olarak yapılabilir.

19. yüzyılın sonlarında tam seramik restorasyonlar, ön grup dişlerin tüm yüzeylerinin kesilmesiyle yapılabilen estetik ve de alt yapısız kuronlar olan jaket kuron ismiyle tanımlanmış ve hazırlanmıştır. Bu kuronların dayanıklı olmayışı ve kolay kırılabilmeleri nedeniyle 1950'li yıllarda metal destekli seramik kuronlar geliştirilmiştir. Ancak estetik beklentilerdeki artış, arayışları devam ettirmiş ve 1965 yılında McLean ve Huges çekirdek seramikte %40–50 oranında alüminyum tanecik içeren alüminöz seramikleri geliştirmişlerdir. 1982 yılında Cerestore adında yeni bir sistem ileri sürülmüştür. Daha sonraki yıllarda kaybolan mum tekniğine (lost-wax) dayanan ve Dicor ve Cera Pearl olarak bilinen teknikler geliştirilmiştir. Tam seramik kuronlardaki bu ilerleme sürekli devam etmiş ve Hi-ceram ve Duceram adında 2 adet sistem piyasaya sunulmuştur. 1983 yılında yine kaybolan mum tekniğı (lost-wax) esasına dayanan ısı ve basınçla şekillendirilebilen seramiklerden IPS-Empress sistemi Ivoclar firması tarafından tanıtılmıştır. 1989 yılında ise Vita firması tarafından tanıtılan Vita In-Ceram sistemi metal içermeyen ve yüksek stabiliteye sahip seramik alt yapıların üretilmesini sağlayan teknik olarak geliştirilmiştir. Son olarak bu zincirin en son halkası Ivoclar firmasının geliştirdiğı IPS-Empress-2 tekniğıdir (Toksavul vd. 2002).

Literatürde yer alan bu çalışmalara paralel olarak, son yıllarda, bilgisayar destekli sayısal çalışmalar yaygın olarak araştırmalarda yer almaktadır. Daha çabuk sonuç alınması, laboratuvar çalışmalarında yapılamayan/denenemeyen tasarım ve çalışma koşullarının rahatlıkla uygulanabilmesi ve alınan sonuçlarla daha ayrıntılı analiz yapılabilmesi açısından sayısal çalışmalar her alanda olduğı gibi bu alanda da gittikçe

önem kazanmıştır. Literatürde yer alan sayısal tabanlı çalışmalardan bazıları ve varılan sonuçlar aşağıda verilmiştir. Bu konuda;

De Jager *et al.* (2005) çalışmalarında, dayanıklı tam seramik restorasyonların başarıyla üretilmesi için gerilmeyi etkileyen faktörlerin ve onların dağılımlarının bilinmesinin önemli olduğunu, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM)'de üretilmiş tam seramik kuronların ve onların siman tabakaları kalınlığının ve kesim (preparasyon) işlemlerinin de gerilme dağılımını etkilediğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak da, düzgün olmayan siman tabakasının bağlanma gücünde aşırı gerilmelere neden olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Rekow *et al.* (2006), tam seramik kuronlarda meydana gelen maksimum gerilmelerin kuron-yapıştırıcı (siman)-dentin sisteminde meydana getirebilecekleri etkileri, sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Gerilme büyüklüğünde; önemli faktör kuron malzemesi ve kalınlığı olsa bile yapıştırıcının (siman) elastiklik modülü ve kalınlığı, kuvvet uygulama yeri ve dentinin de önemli olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak da, kuron-yapıştırıcı (siman)-diş sert dokusu (dentin) sistemlerinde kurondaki gerilmelerin çok yönlü değerlendirilmesi, yapıştırıcı özellikleri ve diğer değişkenlerin de dikkate alınmasının önemini vurgulamışlardır.

Li *et al.* (2006), güçsüzleşmiş, dişin kan dolaşımını sağlayan bağ dokusunun olmadığı (pulpasız) köklerin titanyum alaşımı ile kombine edilmiş farklı yapıştırıcılarla restorasyonunu üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelediklerinde; elastiklik modülünün, yapıştırıcıların özelliklerini değerlendirmek için gerçekten önemli bir parametre olduğu ayrıca; diş sert dokusuna (dentin) benzer elastik modüllü yapıştırıcıların güçsüz kökü güçlendirebileceği ve diş sert dokusundaki (dentin) gerilimi azaltabileceği görülmüştür.

Sorrentino *et al.* (2006), 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile hangi kombinasyonu değerlendirmeye yönelik mevcut karşılaştırmalı analizi restoratif maddelerin en homojen gerilme ve gerinme dağılımları sonuçlandı.

Rafferty *et al.* (2009) , temel ve önemli mekanik faktörleri gerilme ve gerinme analizinde incelenmiş. bu çalışma da kaplama (farklı malzemelerden oluşmuş)-diş sert dokusu ve yapıştırıcı malzemesi CAD program paketinde modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ve faktöriyel analizi ile incelenmiştir. Bu modelde en fazla gerilme ve gerinme kaplama üzerinde oluşmuştur.

Andreaus *et al.* (2010), diş sert dokusu (dentin)-yapıştırıcı-kaplama modelinde kuvvet uygulandığında, maksimum gerilme değerlerinin diş sert dokusunda (dentin) meydana geldiğini ve porselen kuron kaplama üzerine olan çalışmada ele alınan malzemelerden herhangi birinin kullanılması, uygulanan kuvvet altında diş sertdokusunda (dentin) meydana gelecek maksimum gerilme değerlerini pek etkilemediği sonuçlarını ortaya çıkarmıştır.

Zhang *et al.* (2010)'nın yaptığı çalışmaya göre, kuron üzerinde çalışmalarındaki gerilme dağılımının; modelleme geometrisinde yapılan tanımlamalara, malzeme özelliklerine, sınır şartlarına ve ara yüzeylere bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada yorulma faktörleri da incelenmiştir.

Toparlı *et al.* (2003) , üç boyutlu sonlu elemanlar metodu ile maksiller ikinci promolar diş üzerinde sıcaklık ve ısı gerilmeler analizi yapıldı . Bu çalışmanın amacı sıcaklık ve termal gerilme dağılımını ağızda sıcak ve soğuk sıvı olmak üzere hesaplamaktır. İkinci bölümde sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan termal gerilmeler elde edildi. Bu çalışmada diş homojen , elastik ve dönel simetrik (aksisimetrik) kabul edildi .

Özgür *vd.* (2003)'nın yaptığı çalışmaya göre, sonlu elemanlar analizi ile termal faktörler, ikinci promolarda incelendi. Bu çalışmanın amacı sıcaklık dağıtımı ve seviyesi bir model üzerindedir. Sıcaklık dağılımı, üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile belirlendi. Isı uygulamaları 200 °C ve 100°C kabul edildi. Sanal model ve simülasyon tekniği kullanarak maksimum sıcaklık periodontal içinde 43.5°C olarak bulundu.

Linsuwanont *et al.* (2006)'nın yaptığı araştırma sağlam dişlerin termal simülasyonudur. Bu araştırmaya göre diş yapısı içinde sıcaklık değişimi, bir akışkan hareketi ile incelenmiştir ve buna göre dişteki genleşme ve büzülme modellenmiştir.

Chun-Li Lin *et al.* (2007), Bir premolar, sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve yapısal olarak incelendi. Bu çalışmanın amacı, restoratif materyal, kavite boyutları, yapışkan tabaka adaptasyonunun değişimini termal ve yapısal olarak incelemektir. Bu çalışmada FE analiz ve Taguchi yöntemi kombine kullanımı sonucunda restore edilmiş bir kırık naliz oldu.

Cornacchia *et al.* (2010), 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile dental restorasyonların termal ve mekanik yük altında inceledi. Bu 3 boyutlu termo–mekanik sonlu elemanlar analizi ile bir sağlam dişin gerilme seviyesin termal ve mekanik yükler altında açıklandı. Termal ve mekanik yüklenme altında en fazla gerilme porselen kısmında ortaya çıktı.

Lin *et al.* (2009), İnsan dişini ısı transferi bakımından, deneysel karakterizasyonu ve matematiksel modelleme açısından inceledi. Yüksek enerji çıkışı araçların modern diş hekimliğinde hızlı gelişmeler ile laser gibi enstrümanlar diş cerrahilerinde daha çok kullanılır ve bu tedavi suresinde Aşırı yüksek sıcaklık diş içinde meydana gelir. Bu nedenle dişte ısı transferin daha iyi anlamak için ihtiyaç var.

1.1. Amaç

Bu çalışma kapsamında termal yük altındaki kaplama yapılmış bir insan dişinin zaman bağımlı gerilme analizi yapılacaktır. Kaplama yapılmış dişte zaman bağımlı ve termal yük altında kullanılan yapıştırıcı özelliklerine ve farklı metallere bağlı olarak ortaya çıkan gerilme dağılımı incelenecektir. Elde edilecek bilgiler ışığında çatlak oluşumu ve kaplama (kuron)-yapıştırıcı (siman)-diş sert dokusu (dentin) ara yüzeylerindeki ayrılma olasılıkları belirlenmeye çalışılacaktır.

1.2. Kapsam

Bu çalışmada, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) tabanlı ANSYS paket programı ile yapıştırıcı kullanılarak kaplama yapılmış dişte gerilme analizi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılacak modeller, 6 kısımdan oluşmuştur (diş sert dokusu (dentin), sement, metal alaşımı , akrilik ya/veya porselen, alveolar kemik ve pulp). Bu modelde olan metal alaşımları, AuPd alaşımı, Ti alaşımı, NiCr alaşımı ve zirkoniyum olarak verilmiştir.

Bu modelleri kullanılarak, termal yük altında ve zamana bağımlı olarak metal alaşımlarının özellikleri değiştirilerek 5(beş) farklı model için sayısal deneyler yapılmıştır. Bu modelde dişin sert dokusu homojen elastik ve izotropik farz edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu çalışma sadece sayısal analizleri kapsayacak olmasına rağmen, dişte kaplama yapımı ve bunların süreçleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Kuronlar

2.1.1. Kuron kaplama

2.1.2. Kuron (tam kaplama) nedir ve niçin kullanılır?

Hasarlı bir dişi yeniden eski haline getirmek için dişe uygulanan bir kaplamadır. Amacı dişi güzelleştirmek, sağlamlaştırmak ve korumaktır. Kuron aşağıdaki durumlarda yapılabilir,

- Yeterince diş desteğinin olmaması durumunda büyük bir dolguyu restore etmek için,
- Zayıf dişlerin kırılmasını önlemek için,
- Bir diş implantına üst yapı olarak,
- Kırık, şekli bozuk veya renklenmiş dişleri kaplamak için.

2.1.3. Kuron kaplamalar için en uygun malzeme hangisidir?

Sizin için en uygun malzemeyi seçerken, hem görüntü hem de işlev göz önünde bulundurulur. Diş hekiminiz; diş yerleşimi, dişeti dokusunun konumu, gülümsediğinizde görünen dişlerinizin miktarı, dişlerinizdeki renklemeler ve dişlerinin fonksiyonlarını değerlendirip bu konuda bir karara varacaktır. Kuronlar çeşitli malzemelerden yapılabilir. Bunlar; altın veya daha değersiz alaşımlar, porselen (seramik), akrilik, kompozit veya tüm bunların bir kombinasyonu olabilir.

2.1.4. Bir kron nasıl yerleştirilir?

Kronlama işlemi birkaç adımda yapılır. Diş hekiminiz, gerektiği şekilde dişiniz üzerinde hazırlık yapar, çürük kısımları varsa temizlenir ve dişin tam bir modelinin elde edilebilmesi için ölçü alınır. Elde edilen modele göre kuronunuz son halini alacaktır. Kron tamamen hazır hale geldiğinde, diş hekiminiz gerekli ayarlamaları yaptıktan sonra yerine yerleştirecektir. Siz ve diş hekiminiz, görünüşünden ve konumundan memnun kaldıktan sonra kuron daimi olarak yapıştırılır.

2.1.5. Kuronların bakımı nasıl yapılır?

Dişlerinizi günde iki defa fırçalamalı ve bir defa da diş ipi ile temizlemelisiniz. Bu temizleme işlemi, bakterilerden oluşan plakları ortadan kaldıracaktır. Bu konudaki en önemli nokta diş ve dişetinizin birleştiği bölgedeki (sulcus) plakların temizlenmesidir. Kuronların kırılmasını veya zarar görmesini önlemek için, sert yiyecek ve nesneleri çiğnemekten kaçınmak gerekir. Yine her durumda olduğu gibi diş hekiminizi rutin olarak ziyaret etmeniz, kuronların ömrünü uzatacaktır.

2.1.6. Tamamlanmış bir kuronun görünümü nasıldır?

Diş hekiminizin öncelikli hedeflerinden biri de yapay dişi, doğal dişe mümkün olduğunca benzetmektir. Bunu başarabilmek için renk, şekil, ısıрма ve doğal ile yapay dişlerinizin her ikisinin de boyutları göz önüne alınır. Bu faktörlerden herhangi biri görünüşünüzü önemli ölçüde etkileyebilir. Bu işlem sonucunda, nasıl bir görünüm beklediğinizi diş hekiminizle ilk seansta konuşmalısınız.

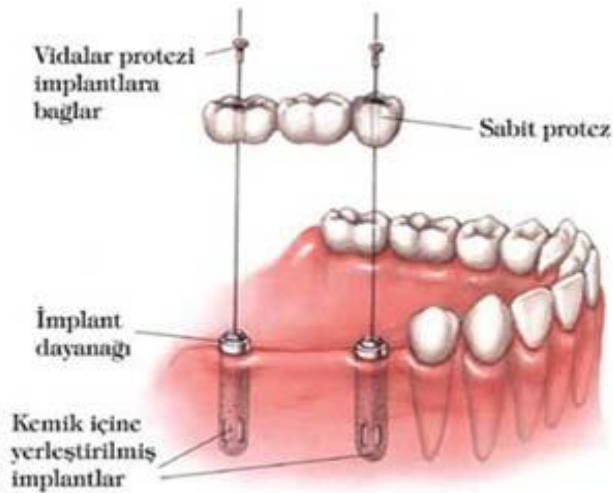
Bir veya daha fazla dişte oluşan kayıplarda kullanılan protezlere genelde “kron ve köprü protezleri” adı verilir. Bu tür protezler, çoğunlukla yapıldıktan sonra yerlerine yapıştırılırlar. Bu nedenle bunlara, sabit protezler denir (Baydaş 2005).

İlk bilimsel porselen veneer kuron 1902’de Charles H. Land tarafından yapılmıştı (Yavuzylmaz 1996).

Tarihsel gelişiminde; doğal dişin rengini kazandırmak için kuron protezlerinde, kemikler (çeşitli hayvanlardan alınan), fildişi, mors dişi, su aygırı dişi, altın, gümüş, mineral (çini, porselen vs.), akrilik, geliştirilmiş porselen ve kompozit türleri kullanılmıştır (Yavuzylmaz 1996).

Kuron, bir dişin klinik kuronun tüm anatomik yüzlerini yeniden oluşturan bir onarımdır. Estetik kuronlar, ön bölge dişlerin ve ilgili dokuların canlılığı ve sağlığını koruyabilir, estetik görünüşü sürdürür veya doyurucu biçimde yeniden oluşturabilir (Johnston *et al.* 1982).

Kuronlar, isim olarak anatomik yapıdaki dişin ağızda görünen kısımları, yani protezdeki kuronlar ile aynı anlamı taşımasına rağmen; protezdeki kuronun anlamı, anatomic kuronun yerine yapılan yapay kurondur (Baydaş 2005).



Şekil 2.1. Kuronlar ve dişe protez uygulama işlemi

Alt yapılarına göre kuronlar (Schmidseder 2000; O'Brien 2002).

a) Tam döküm (full) kuronlar

- Metal destekli porselen kuronlar

b) Metal desteksiz tam seramik kuronlar

- Veneer kuronlar

olmak üzere sınıflandırabilir.

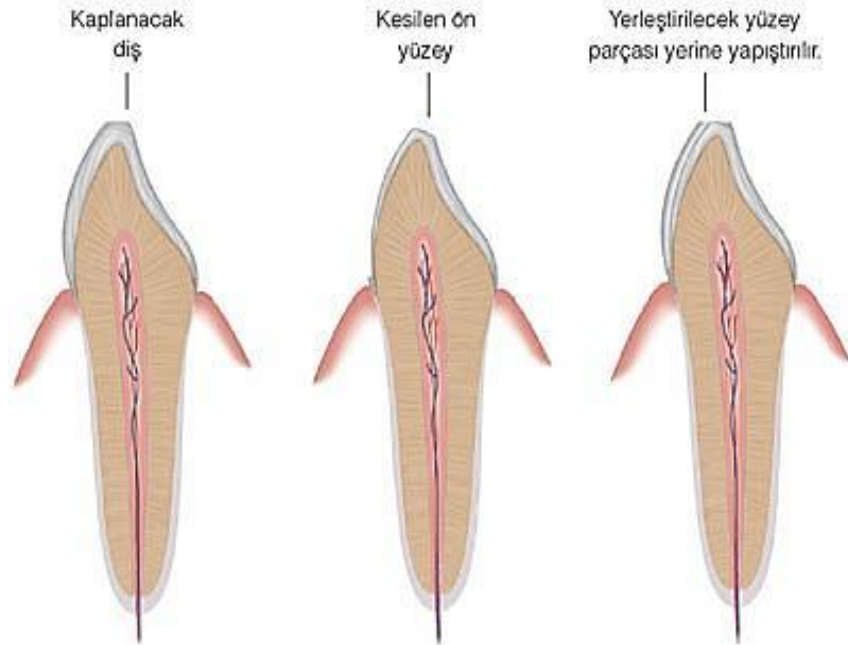
a. Tam döküm (full) kuronlar

Kesilen dişlerin tüm yüzleri metalden kuron yapılırsa, bunlara “tam döküm kuronlar” denir. Genelde döküm olarak elde edilir. Geleneksel materyali altındır. Saf altın nadiren kullanılır. Fiziksel özelliklerini güçlendirmek için yapıya diğer metaller eklenir ve altın alaşımlar elde edilir. Altının yüksek maliyette olması ve diğer alaşımlarda büyük gelişmelerin meydana gelmesi ile günümüzde diğer metal alaşımlar da tercih edilmektedir (Edwina *et al.* 2003).

Tam döküm kuronların avantaj ve dezavantajları (Goldstein 1998):

- Aşırı çürüklü, aşınmış ve geniş restorasyon nedeni ile zayıflamış dişlerde kullanılır.
- Anatomik oluşumunu kaybetmiş ve şekil bozukluğu olan dişlerde, kuron tutuculuğu ancak bu kuronlarla sağlanır.
- Dişin kan dolaşımının olduğu bağ dokusu (pulpa) ile ilgili tedaviler (endodontik tedavi) uygulanması sonucunda kırılmaya eğilimli dişlerde kullanılabilir.
- Kuron içi tutucu yapımına elverişlidir.
- Metal destekli porselenler bazı ışıklarda (disko, fotoğraf makinası flaşı vb.) ağızda yokmuş gibi koyu renk bir boşluk görüntüsü verirler. Full porselenler ise doğal diş gibi her türlü ışığı geçirirler.
- Full porselenler ışığı geçirdiklerinden doğal diş yapısına çok benzer bir estetik oluştururken, çok iyi yapılmış bile olsa metal-porselenlerde bir donukluk ve yapaylık vardır. Bu nedenle özellikle ön dişlerde full porselenler tercih edilir.
- Metal desteksizlerde alt yapıda metal olmadığı için kuron-diş eti hizasında koyu renk bir çizgi olmaz. Daha estetik bir görüntü sağlanır.

- Metal destekli porselenler mekanik olarak dişe yapıştırılırlar. Full porselenler mekanik ve kimyasal olarak dişe tutturulur. Bu yüzden metal desteklilere göre tutuculukları çok daha yüksektir.
- Alt yapıda kullanılan bazı metallere karşı (nikel vb.) oluşabilecek alerji riski full porselenlerde yoktur.
- Aşırı mikro çatlaklı ve kırıkların olduğu dişlerin tedavisinde uygulanabilir.
- Dişin kan dolaşımının olduğu bağ dokusunu (pulpa) her yönüyle iyi bir şekilde korur.
- Estetik değildir ve yapıştırırmadan sonra çıkarılması oldukça güçtür.
- Dişin kan dolaşımının olduğu bağ dokusu (pulpa) testlerinin yapılmasına engel olur, fazla metal kullanımı gerektirir.
- Ağızda istenmeyen bir tat bırakır, soğuk ve sıcak diş sert dokusuna (dentin) ulaştırabilir.
- Metal veya metal esaslı kuronların altında tekrar çürük oluşumunun tespit edilmesi zordur.
- Kuronun yaşam süresi kullanılan materyalin tipine ve uyumuna bağlı olarak sınırlıdır.



Şekil 2.2. Kesilmiş diş ile kuronun yerleştirme şekli

2.1.7. Metal destekli porselen kuronlar

Döküm materyali olarak; altın alaşımlar (altın, gümüş, bakır) ve metal alaşımlar (kobalt, krom, molibden, demir, nikel, mangan) sayılabilir. Alaşımlara çeşitli metallerin atılması, yapıyı daha sertleştirmekte ve de ince kenarlı kuron yapımına uygun bir duruma getirilmesini sağlamaktadır. Seramikte kullanılan alaşımlara oksitlenmenin oluşmaması için karışıma az oranlarda karbon katılmaktadır (Yavuzylmaz 1996).

Metal destekli porselen kuronların avantaj ve dezavantajları (Schmidseder 2000):

- Mükemmel estetik
- Çok iyi metal iskelet uyumu
- Daha az diş kesimi ihtiyacı
- Uygulama kolaylığı
- Metal alerjisi
- Estetik olmayan metal kenarlar
- Metal alt yapının porselene yansması
- Porselen kenarların kırılması
- Karşıt dişte aşınma
- Yüksek maliyet
- Veneer Kuronlar

Diş ön yüzeyinin (vestibül) tümü, ağız simetri eksenine bakan ara yüz (mezial) ve ağız simetri eksenine uzak olan ara yüzlerin (distal) yarıları porselenle, alt yapı çığneyici ve diğer yüzlerin metalden yapıldığı kuronlara, estetik kuron denilmektedir. Diş ön yüzeyinde (vestibül), yüzün diş rengine uygun yapılması amacıyla porselen ve akrilik (akrilik resin, dimetakrilat resin, kompozit resin) gibi malzemeler kullanılır. Veneer kuronlar; full kuronlar gibi iyi tutuculuk gösterir. Basamak bölgesinde tam uyum ortaya çıkar. Veneer kuronlarda, diş ön yüzündeki (vestibül) fazla kesim diş sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Küçük boyutlu dişlerde uygulama olanağı azalır, sökülmeleri zordur, yapımları için uzun bir süre gerekir, estetik yüz çabuk aşınır ve diş ön yüzeyi (vestibül) akrildan yapıldığında zaman içinde renk değişimi olur (Edwina *et al.* 2003).

2.2. Diş Kesiminde Genel Olarak Basamak Tipleri (Albers 2002; Baydaş 2005)

Tam seramik kuronların kırılmasının en önemli nedeni, kesim sırasında yapılan hatalardır. Tüm kuronların yapımı için diş kesiminden önce, kesilecek dişin ve çevresinin muayene edilip tanınması, şimdiki durumunun ortaya çıkarılması gerekir. Bu, yapılacak diş kesiminde yön gösterici olup kolaylık sağlayacak ve de kesim sonucunda yapılacak kuronun yerine uygun ve rahat bir şekilde oturmasına yardımcı olacaktır.

Diş kesiminde genel olarak üç basamak tipi kullanılmaktadır. Ancak basamak tipleri farklı şekillerde de modifiye edilebilir.

a) Bıçak sırtı (knife adge) basamak

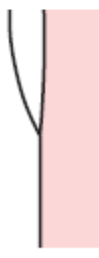
Alt yapısı metal olan kuron tiplerinde kullanılmaktadır (Şekil 2.3.a).

b) Geniş açılı (chamfer) basamak

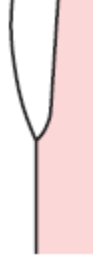
90 dereceden geniş basamak şeklidir, özellikle ön bölgedeki veneer restorasyonlarda kullanılır. Çiğneme basıncı geniş açılı basamaktan, dışa doğru yansıyacağı için, materyali kuvvetli kuron tipleri ancak bu basıncı karşılar. Aksi durumda dişin kökü ile diş minesinin birleştiği bölgede (kole bölgesi) kırılmalar görülebilir (Şekil 2.3.b).

Dik açılı (shoulder) basamak

Dişin ana eksenine dik olarak hazırlanır. Arka bölgedeki (posterior) dişlerin kuron uygulamalarında kullanılır. Çiğneme basıncı basamak bölgesinden diş aksına paralel olarak iletilir. Kuronun, dişin kökü ile diş minesinin birleştiği kısımda (kole-collum dentis) çiğneme kuvveti kuron kenarını diş ön yüzeyine (vestibül) doğru itmez. Bu çalışmada bu basamak modeli kullanılmıştır (Şekil 2.3.c).



a) Bıçak sırtı (knife edge)



b) Geniş açılı (chamfer)



c) Dikaçılı(shoulder)

Şekil 2.3. Kaplama için dişe uygulanan basamak tipleri

Restorasyonlarda gözlenen kırılma nedenleri içinde en önemlisini kesime bağlı hatalar oluşturur. Tam seramik kuronlarda restorasyonun ömrü, diş kesiminden oldukça fazla etkilenmektedir. Tam seramik kuronlardaki diş kesimi prensipleri şu şekilde özetlenebilir:

- Restorasyona direnç ve tutuculuk (retansiyon) sağlayacak formun oluşturulması,
- Restoratif malzeme için yeterli miktarda madde kaybının yapılması,
- Dişin canlılığının korunması,
- Dişi destekleyen çevre yapıların (periodonsiyum) sağlığının korunması,
- Düzgün bir basamak oluşturulmasıdır.

Tam seramik kuronlarda diş kesiminde teknik kurallara dikkat ederek çalışmak çok önemlidir. Seramik restorasyona yeterli bir mekanik direnç vermek, kuronun iç yüzeyindeki kuvvet yoğunlaştırıcı bölgelerden kaçınmak ve restorasyonun dişe pasif bir basınçla yerleştirilebilmesini sağlamak amacıyla, diş kesiminde keskin köşe ve açılarının oluşturulmaması ve dişin kuron ile kökü arasındaki sınır çizgisinin (servikal) düzgün bir formda olması tüm araştırmacılar tarafından önerilmektedir (Toksavul vd 2002).

2.3. Yapıştırıcıların (Simanların) Çeşitleri

Yapıştırıcılar; değişik uygulama yerlerine, çalışma ve sertleşme zamanlarına, mekanik özelliklerine ve ağız sıvılarında erimelerine ve bazı temel niteliklerinin değişik olmalarına göre sınıflandırılabilirler (Açıkgöz 1996).

Bir restorasyon için siman seçimi, hem restorasyonun uzun ömürlülüğünü hem de diş bağ dokusunun (pulpa) sağlığını etkileyebilir. Aşağıda en yaygın kullanılan beş siman tipi ile ilgili bilgiler verilmiştir (Albers 2002):

- Çinko fosfat simanların uzun süreli klinik başarıları tespit edilmiştir.
- Çinko oksit öjenol simanlar ağrı gidericidir (sedatif) ve ıslaklığın kaçınılmaz olduğu durumlarda bu siman tipi ile iyi sonuçlar alınabilir.
- Cam ionomer simanlar iyi tutuculuğa (adezyon) ve düşük çözünürlüğe sahiptir. Ayrıca, uzun vadede çürük oluşumunu önleyicidir.
- Resin simanlar daha az çözünürler ve dağlanmış mineye bağlanma ve gerilme gücü tüm simalardan daha yüksektir.

Resin simanların indirekt restoratif materyaller ile kullanımı uygun olmasına rağmen sadece tam seramik restorasyonlar ile kullanılması tartışılmaktadır. Resin simanlar, tüm simanlar içerisinde en iyi laboratuvar özelliklerine sahiptir, fakat daha komplike klinik prosedürler gerektirir ve genellikle mine, dentin ve restorasyon için bağlayıcı (bonding) sistemler içerir (Roberson *et al.* 2002).

2.3.1. Resin esaslı simanlar ile yapıştırma işleminde (Simantasyon) dikkat Edilecek Hususlar (Toksavul vd 2002; Eliades *et al.* 2005).

- Günümüzde tam seramik kuronların yapıştırma işlemi (simantasyon) için, asit ile dağlama (etching) ve yapıştırıcının kaplamayı dış sert dokusuna (dentin) bağlama (bonding) teknikleri geliştirilmiştir.
- Kullanılan simanın çalışma kolaylığı, kolay temizlenebilmesi ve rengi oldukça önem taşımaktadır.
- Tam seramik kuronlarda kullanılan yapıştırıcının rengi restorasyonun rengini etkileyebilmektedir.
- Bazı tam seramik malzemelerinin içinde, seramik skalasındaki her bir renge uygun olarak üretilmiş kompozit esaslı yapıştırıcılar bulunabilmektedir.
- Seçilen diş rengine uygun simanın kullanılması ile doğal diş daha yakın bir renk elde edilebilmektedir.
- Cansız dişlerin ve çeşitli nedenlerle renklenmiş dişlerin renkleri uygun renkte seçilen kompozit yapıştırıcı ile düzeltilebilir.

2.4. Kaplama Dişte Oluşan Kuvvetler

Kaplama dişte üç çeşit çekme (tutunma) kuvveti oluşur. Kökenlerine göre çekme kuvvetleri üç grupta incelenir;

- Fizik çekme kuvvetleri
- Kimyasal çekme kuvvetleri
- Mekanik çekme kuvvetleri

Maddelerin özellikleri büyük ölçüde içyapılarına bağlıdır. Uygulanan kuvvetler karşısında maddelerde oluşan değişiklikler onların içyapıları ile açıklanmaktadır. İçyapılar atomların, atomlar arası bağ kuvvetleri etkisinde üç boyutlu uzaysal olarak dizilişleri sonucu oluşur. Atomlar arası bağ kuvvetlerinin oluşmasına ana etken electron dizilişleridir. Özellikle en dış yörüngede bulunan valans elektronlar maddenin temel özellikleri olan elektriksel, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler. Bağ kuvvetleri zayıf ve kuvvetli olmak üzere iki türlüdür. Kuvvetli bağlar genellikle atomlar

arası elektron alışverişi veya elektron paylaşılması sonucu oluşur. Her iki bağda da elektrostatik çekme kuvvetleri etkili olur. Zayıf bağlar (Van der Waals Kuvvetleri) zıt işaretli iki kutup arasındaki çekme kuvvetinden kaynaklanır (Açıkgöz 1996).

Kimyasal ilişkiler atomların en dış yörüngedeki (periferik) elektronları birleştirecekleri öteki atomların dış tabakalarını tamamlayacak sayıda iseler, kimyasal birleşme bir elektron alışverişine indirgenebilir ve kimyasal bir bağ, çekme kuvveti oluşabilir (Baydaş 2005).

Fizik çekme kuvvetleri gerek atom ve gerekse moleküler kuvvetlerden oluşurlar ve fiziksel yayılım (difüzyon) ve etkileşime bağlıdırlar.

Kaplama-yapıştırıcı-dentin katmanları arasında makro veya mikro yapıdaki girinti çıkıntılardan dolayı sürtünme meydana gelmektedir. Bu nedenle, oluşan tutunma sonucunda ve katmanların birbirine yerleştirilmesinden (dişin kesilerek basamak formu oluşturulup yapıştırıcı sürülerek kaplamanın yerleştirilmesi) kaynaklanan, malzemelerin mekanik özelliklerinden dolayı mekanik çekme kuvvetleri ortaya çıkmaktadır.

2.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanının almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme sahiptir [Engin vd 2000].

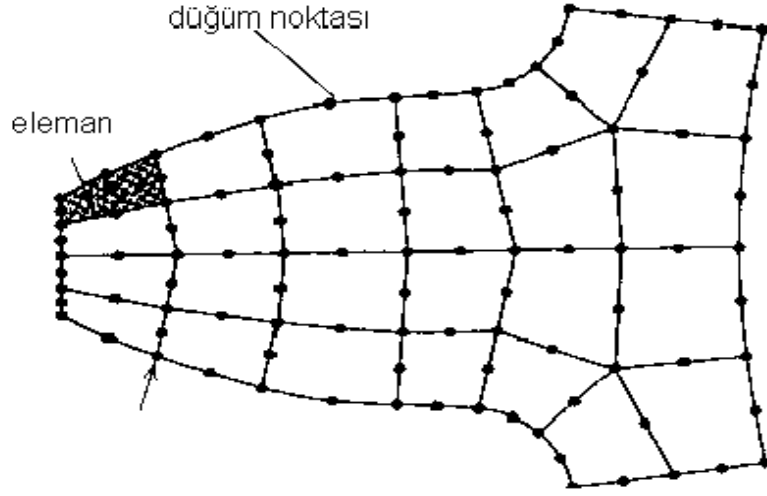
Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler (Bak Şekil 3.46). Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler

nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağılı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın nodlarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi

$$[K] \cdot [D] = [F]$$

şeklindedir. Burada $[D]$ düğümlerin yer değiştirme vektörü, $[F]$ bilinen yük vektörü ve $[K]$ ise direngenlik matrisi olarak bilinmektedir.



Şekil 2.4. Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanlar

2.5.1. Sonlu elemanlar metodunun tarihsel gelişimi

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner *etal* (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telâffuz edilmiştir. Metodun üç- boyutlu problemlere uygulanması iki-boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir (örneğin, Argyis (1964)).

İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlar olup (Grafton ve Strome (1963)), bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir (Gallagher (1969)). Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında doğrusal olmayan problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak doğrusal olmayan problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla kararlılık/denge analizi ise ilk Martin (1965) tarafından tartışılmıştır. Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı (Zienkiewicz *etal* (1966) ve Koenig

and Davids (1969)). 1943 yılında Courant bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir.

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960 'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin Zienkiewicz and Cheung (1965) sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer bir çok alana uygulanmaktadır.

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yıllarının ortaları itibarıyla sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlanmıştır.

2.5.2. Sonlu elemanlarla modelleme (SEY)

Arabacı (2003) sonlu elemanlar yöntemi(SEY) ile ilgili görüşlerini “Sonlu elemanlar yöntemi; bir sayısal yöntem olup, özellikle katı cisimlerin mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde bilgisayar ortamında kullanılan gelişmiş bir yöntemdir. Bu yöntem; özellikle otomotiv, uçak, inşaat, beyaz eşya ve biyomekanik başta olmak üzere tıp sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gerilme ve şekil değiştirme analizinden; ısı akımı, hidrolik, manyetik akı gibi alan problemlerine kadar çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması, bilgisayar teknolojisi ve bilgisayar destekli tasarım(BDT) sistemlerinin gelişmesiyle; bu güne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenen birçok ürünün kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak en uygun tasarımın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Herhangi bir ürün için ilk örnek (prototip) yapılmadan önce bilgisayarda bir çok değişik model denenebilir.” Şeklinde ifade etmiştir. Böylece; malzeme kaybı ve zaman israfı olmadan

en uygun malzeme seçimi yapıp modeli daha kolay ve kısa zamanda oluşturmak mümkün olacaktır.

2.5.3. SEY’de sınır şartları ne demektir? Neye göre belirlenir?

Sınır şartları (Boundary conditions): Sınır şartları, gerilmelerin ve yer değiştirmelerin sınır ifadelerini kapsar. Yani cismin nereden sabitlendiğini ve kuvvetin neresinden uygulandığını gösterir. Cismin durumuna göre belirlenir. Analizi yapılan cismin kuvvet neresine uygulanacaksa sınır şartları da ona göre belirlenir.

2.5.4. Pre/post işlemler nedir?

Yapısal modellerde daha fazla detay için imkan sağlayan modelin çizilmesi çizilen modelin SEY için bölümlendirilmesini bu bölümlerin düzenlenmesini pre işlemler ve analiz işlemlerinden sonra elde edilen sayısal değerlerin görsel duruma (gerilme, yer değiştirme gibi özelliklerin grafiklerle ve eş değerli eğrilerle gösterilmesi) getirilmesi de post işlemler olarak adlandırılabilir.

2.5.5. Eleman nedir? Ne işe yarar?

SEY’de sistemi tanımlayan bölge, "eleman (element)" olarak adlandırılan basit geometrik şekillere parçalanır. Bu elemanların özellikleri, "düğüm" olarak adlandırılan özel noktalardaki bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilir. Sınır koşullarını da içerecek şekilde, elementlerin birleştirilmesi sonucu doğrusal veya doğrusal olmayan cebirsel denklem takımı elde edilir. Bu denklemlerin çözümü sistemin yaklaşık davranışını verir.

2.5.6. Eleman çeşitleri nelerdir?

Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre (üçgen, paralel kenar, dörtgen. Bir diğer kaynağa göre sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre beş kısma ayrılabilir tek boyutlu, iki boyutlu, dönel elemanlar, üç boyutlu elemanlar, izoparametrik elemanlar), düğüm sayısına göre düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) elemanlar sınıflanır.

2.5.7. Düğüm nedir? Ne işe yarar?

Sonlu eleman analizinde sistemi tanımlayan bölge, "eleman" olarak adlandırılan basit geometrik şekillere parçalanır. Bu elemanların özellikleri, "düğüm" olarak adlandırılan özel noktalardaki bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilir. Sınır koşullarını da içerecek şekilde, elemanların birleştirilmesi sonucu doğrusal veya doğrusal olmayan cebirsel denklem takımı elde edilir. Bu denklemlerin çözümü sistemin yaklaşık davranışını verir. Çok sayıda düğüm bilinmeyene sahip sistemin çözümünü kolaylaştırır.

2.5.8. Kiriş, kafes kiriş ve ankastre kiriş nedir?

Kirişler, üzerlerine etkiyen düşey yükleri eğilmeye çalışarak taşıyan, kolon ya da taşıyıcı duvar üzerine mesnetlenmiş yatay taşıyıcı yapı bileşenleridir. Açıklık büyüdükçe kiriş yüksekliği de artmaktadır. Buna karşılık çok parçadan oluşan, içi boşaltılmış kirişler yapmak mümkündür. Üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında üçgen alanlar oluşturacak şekilde düzenlenen örgü çubuklarından oluşan sistemler, kafes kiriş sistemlerdir. Birleşim yerlerine düğüm noktası denmektedir. Kafes kirişi oluşturan doğru eksenli çubuklar ve düğüm noktaları, aynı düzlem içinde oluşturulmaktadır. Bu çubuklar eksenel basınç ve çekme gerilmeleri almakta ve ince en kesitler ile büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Düzlem kafes kirişler taşıyıcı olabilmeleri için üçgenler ile kurulmaktadır. Kısaca makas denilen düzlem kafes

kirişler, başlık şekillerine göre adlandırılmaktadırlar. Petek kirişler ile kafes kiriş ve gövdesi delikli profil kirişlerin kullanımı Ankasre kiriş: tek ucu sabit diğer ucu gelecek kuvete maruz kalacak şekilde açık bırakılmış kirişlerdir.

2.5.9. Simetrik model nedir?

Simetrik model bir cismi herhangi bir yerinden katladığımızda bu katlanan kısımların birbirinin aynı olma durumudur.

2.5.10. Dönelsimetrik (Axisimetrik) model nedir?

Eksenel simetrik anlamına gelir. Merkezinden bir eksen geçen bir cismin ekseninin iki tarafının birbirinin aynısı olma durumuna denir.

2.5.11. Statik modelleme nedir?

Statik modelleme durağan cisimlerin modellenmesidir. Örneğin bildiğimiz katı (solid) cisimlerin modellenmesidir. Örneğin bir binanın kirişlerinin modellenmesi. Burada kirişlere binen yük ve yüke karşı dayanıklılığını bulunduğu modelledir. Zamana bağlı değişkenler arasında direkt ve eşzamanlı bağlantılar varsa ve bu değişkenlerin değerleri bir önceki değerlerinden bağımsızsa kurulan model statik özellik taşır. Statik modellemede oluşturulan elemanlar birbirlerine olan etkilerinde zamana göre yer değişimi oluşturmazlar. Bu bakımdan statik olduklarından dolayı hesaplamalar bu yönde yapılır.

2.5.12. Dinamik modelleme nedir?

Dinamik modelleme ise hareketli sistemlerin modellenmesidir. Örneğin bir motorun hareket halinde ürettiği moment, harcadığı güç, ürettiği güç gibi değişkenlerin gösterildiği modelledir. Ancak, eğer bir modelin değişkenlerinin değeri dışsal

herhangi bir etki yerine kendisinin daha önceki değerlerine göre belirleniyorsa, bu durumda model dinamiktir. Yani hız, dayanım, sıcaklık gibi değerler zamana göre değişiklik gösteriyorsa model dinamiktir.

2.5.13. Termal hesaplama nedir?

Termal hesaplama, malzemelerin sıcaklıklarına göre dayanım, şekil ve boyutlarındaki değişmeyi hesaplayıp buna göre diğer elemanlar ve sistemlerle olan ilişkilerini bulmaktır. Malzemelerin yüzeylerinde, köşelerinde, belirli noktalarındaki değişim ve sistemin ısı iletim katsayısı da hesaba katılabilir

Sıcaklık değişimleri ve benzer şartlara bağlı olarak iç zorlamaların etkisi altında hesaplama formülleri:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T \quad \text{dir.}$$

$$\Delta T = T - T_0$$

$$\sigma = \{E\} \cdot \varepsilon$$

Başlangıç ve son durum sıcaklıklar (T ve T₀) farkı(ΔT), ε-birim şekil değiştirme, E- elastiklik özellikleri, σ gerilme, α termal genleşme katsayısına bağlı olarak incelenen malzemedeki düzgün bir zorlamaya yol açacaktır. Termal hesaplama; malzemenin yapısında sıcaklıktan dolayı oluşan iç zorlanmaların etkisinin hesaplanması yöntemidir.

2.5.14. Malzeme modeli ne demektir?

Malzeme özellikleri, malzemenin elastiklik modülü, yoğunluğu, poisson oranı, termal genleşme katsayısı, gibi geometriden bağımsız fiziksel özelliklerdir. Örneğin katı yapısal problemler için, elastikiyet modülü, poisson oranı gibi malzeme özellikleri tanımlanırken, termal problemlerde termal genleşme katsayısı, termal iletim katsayısı

gibi özellikler tanımlanır. Termal ve mekanik durumun bir arada olduğu durumda her iki özellik grubu da tanımlanır. Doğru element tipini seçmek analiz işleminin çok önemli bir parçasıdır. Bu adım için kullanıcının yeterince sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (mukavemet, ısı transferi, manyetik analiz tipi) ve sınırları eleman seçimini etkiler.

2.5.15. Eleman ağı (Mesh) oluşturmada nelere dikkat edilmelidir?

Eleman ağı oluşturma işlemi düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturur. Aynı zamanda kullanıcı tarafından girilen en az bilgiye karşılık en kısa sürede otomatik olarak düğüm noktalarını ve elemanları sıralar, numaralanmasını sağlar. Eleman ağı üretme konusunda kullanıcının ayrıca üzerinde mesh üretilecek alanda, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun fazla olacağına hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun daha az olacağına karar vermesi gerekebilir. Genellikle, önemli olduğu veya kendi içinde büyük gradyen (değişim)'e sahip olduğu bilinen veya tahmin edilebilen bölgelerde birim alana daha fazla eleman yerleştirilir. Eleman ağı oluşturmada modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir. Mesela katı modellerde her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. Eleman ağı oluşturarak bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o elemente uygulanan yüke göre daha gerçekçi sonuç verir.

2.6. Dişin Modelinin Oluşturulması ve Analizi

Arabacı (2003) dişin modelinin oluşturulması ile ilgili görüşlerini “Gerilme analizleri, bilinen yüklerin uygulanması ile bir yapıda oluşabilecek gerilmelerin önceden belirlenmesi ve dayanıklılık süresinin anlaşılmasında kullanılan yöntemlerdir. Sonlu elemanlar gerilme analizi, matematiksel bir gerilme analizi yöntemidir. Bu yöntemle gerçekte sonsuz serbestlik derecesi olan yapının üzerine geometrisi bilinen eleman ağının yerleşimi ile sayısı bilinen serbestlik dereceleri elde edilmektedir. Elemanlar birbiri ile sonlu sayıda serbestlik derecesi olan noktalar vasıtasıyla temas etmekte ve matematiksel bir eşitliği temsil eden bu noktalar modelde denge halinde bulunmaktadır. Denge, herhangi bir noktada değiştirilecek olursa, modeldeki değişimler sonlu elemanlar yönteminde matematiksel bir fonksiyon olarak her düğüm noktasında elde edilmektedir. Modellerde bu tür değişimlerin her düğüm noktasında hesaplanması, sonlu elemanlar gerilme analizinin en önemli yararlarından birini oluşturmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi, düzgün olmayan geometri, özelliklerin yöne bağlı olan/olmayan (anizotropik/izotropik) malzemeler ve karmaşık sınır koşullarına sahip olan yapılar için uygun bir nümerik yöntemdir. Sonlu elemanlar gerilme analiz yöntemi yeni gelişmiş uygulamaları ve bilgisayar kapasitelerinin artmasına paralel olarak, günümüzde mühendislik alanının yanında tıpta ve diş hekimliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıpta; ortopedi, kalp ve damar cerrahisi, plastik cerrahide kullanılmakta olan sonlu elemanlar gerilme analizinden, diş hekimliğinde; implant, tedavi ve protez bilim dallarında yararlanılmaktadır.” şeklinde ifade etmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çözümlerde Kullanılan Model

Bu çalışma kapsamında termal yük altındaki kaplama yapılmış bir insan dişinin zaman bağımlı gerilme analizi yapılmıştır. Her hangi bir sebeple hasara uğramış bir dişin hasarlı bölgesi alınarak kaplama yapılmış halinin geometrisi Şekil 3.1.'de verilmiştir. Kullanılan modelin boyutları Ash (1984)'den alınmıştır. Altı farklı bölgeden oluşan bu modelde, Bölge-1 (B1), Bölge-2 (B2) ve Bölge-3 (B3), kaplama işlemi için gerekli olan bölgeleri gösterirken, Bölge-4 (B4), Bölge-5 (B5) ve Bölge-6 (B6) dişin hasarlı bölgesinin kaldırılmasından ve kaplama yapılmadan önceki bölgelerini göstermektedir. Kplama işlemi için gerekli olan B1,B2 ve B3 bölgelerinin kalınlığı sırasıyla 1.3, 0.5 ve 0.3mm olarak alınmıştır. Altı bölgeden oluşan geometrik modelin kaplama işlemi için gerekli olan bölgelerinden her modelde(Model-1'den Model-5'e kadar), B1 ve B2 için farklı özelliklere sahip kaplama malzeme çiftleri kullanılmış olup, B3, B4, B5 ve B6 bölgeleri içinse tüm modellerde malzeme tipi değiştirilmemiştir (Çizelge 3.1). B1 ve B2 bölgelerinde farklı malzeme kullanılmasından dolayı 5(beş) farklı model hazırlanmıştır. Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5 olarak adlandırılan modellerde bölgelere (B1-B6) göre malzeme özellikleri Çizelge 3.2.'de göstermektedir.

Geometrik modeli Şekil 3.1.'de verilen diş modelinin sonlu eleman modeli Şekil 3.2'de görülmektedir. Termal gerilmelerin inceleneceği modelin ağ yapısının oluşumunda 3 ve 4 düğümlü eleman tipleri karışık kullanılmıştır. Hassas sonuçların elde edilmesi için özellikle bölgeler(B1, B2, B3, B4, B5 ve B6) arasındaki arayüzeyler (ÜSTY, ARY1, ARY2 ve ARY3) boyunca (Şekil 3.3, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4) olabildiğince düzgün ve sık ağ yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Hesaplamalar elastik bölgede yürütüldüğünden kullanılan malzemelerin özellikleri bu bölge için verilmiştir. Modelin oluşturulmasında boyutlar milimetre(mm); elastiklik modülü (E), (MPa); öz isı, J/kg°C; ısıl genleşme katsayısı, 1/°C; ısıl iletkenlik W/mm°C ve yoğunluk, kg/mm³ birimleri ile verilmiştir. Kplama dişin modeli y-eksenine dönel simetrik kabul edildiğinden (Şekil 3.1.),

ANSYS paket programında model oluşturulurken, programın dönel simetri oluşturma özeliğinden faydalanılarak modelin yarısı kullanılıp iki boyutlu analizler yapılmıştır.

3.2. Sınır şartları

Termal gerilmelerin belirlenmesi amacıyla bu çalışmada iki tür sınır şartı kullanılmış olup, bunlar:

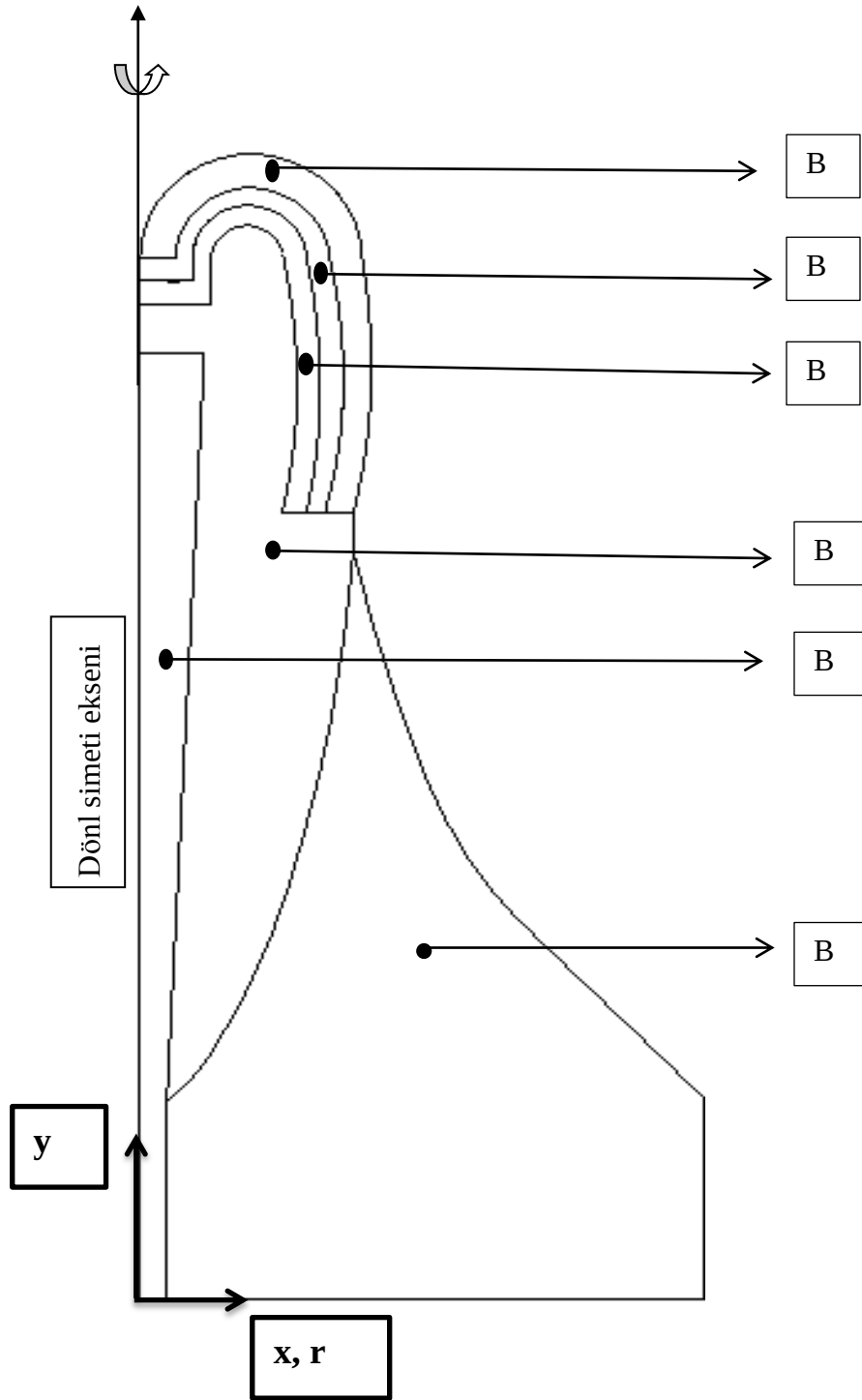
- Yapısal (mekanik) sınır şartları
- Termal sınır şartları

Yapısal (mekanik) sınır şartları

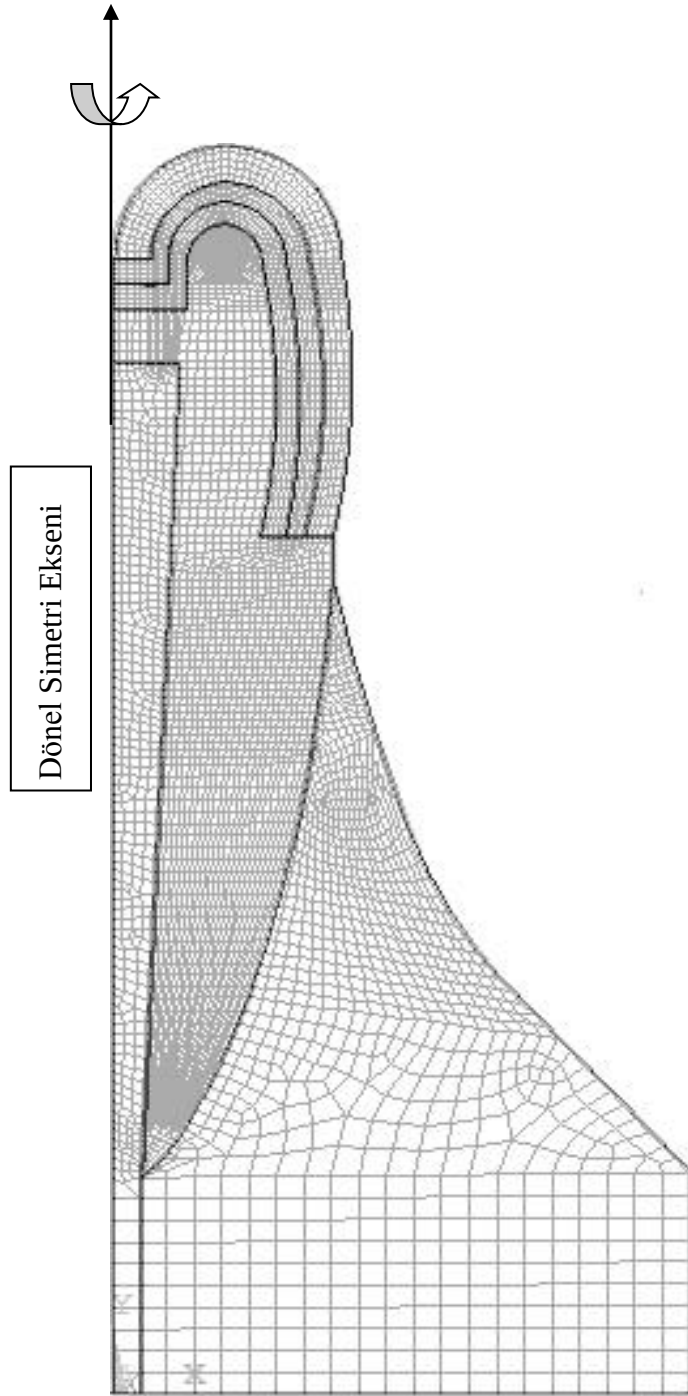
Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi OA ve AB arasındaki tüm düğümler hareketsiz olarak tanımlanmış olup, y-ekseni dönel simetri eksenine kabul edilerek, OD arasında dönel simetri tanımlaması yapılmıştır (Şekil 3.2). Ara yüzeylerin tam yapışmış olduğu kabul edilmiştir (Şekil 3.1.).

Termal sınır şartları

Tüm modelin başlangıç sıcaklığı vücut sıcaklığı olan 36.5°C olarak alınmıştır. Termal gerilmeler için başlangıç sıcaklık 36.5°C alınmıştır. Dış yüzey sıcaklığı 50°C olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan modelin görünümü



Şekil 3.2. Deneyde kullanılan modelin elemanlarına ayrılması(modelin ağ yapılı hali)

Çizelge 3.1. Farklı bölgelerden oluşan 5 farklı model ve onlarda kullanılan malzemeler

Bölge Model	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Model-1	Porselen (Porcelain)	Zirkonyum (Zirconium)	Sement (cement)	<i>Dentin</i>	<i>Pulp</i>	Alveolar kemik (alveoler bone)
Model-2	Porselen (Porcelain)	Porselen (Porcelain)	Sement (cement)	<i>Dentin</i>	<i>Pulp</i>	Alveolar kemik (alveoler bone)
Model-3	Akrilik (Acrylic)	Au-Pd alaşımı (Au-Pd alloy)	Sement (cement)	<i>Dentin</i>	<i>Pulp</i>	Alveolar kemik (alveoler bone)
Model-4	Akrilik (Acrylic)	Ni-Cr alaşımı (Ni-Cr alloy)	Sement (cement)	<i>Dentin</i>	<i>Pulp</i>	Alveolar kemik (alveoler bone)
Model-5	Akrilik (Acrylic)	Ti alaşıımı (Ti alloy)	Sement (cement)	<i>Dentin</i>	<i>Pulp</i>	Alveolar kemik (alveoler bone)

Çizelge 3.2. Modelde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Özellikler →	Elastiklik Modülü	Poisson oranı	Öz ısı (J/Kg °C)	Isıl genleşme (1/°C)	Isıl iletkenlik (W/mm °C)	Yoğunluk (Kg/mm °c)
Malzeme↓	(Mpa)					
Zirkonyum (Zirconium)	94500	0.34	270	5.7E-6	2.3×10^{-2}	$.0065 \times 10^{-3}$
Porselen (Porcelain)	68900	0.28	1070	13.1E-6	1.04×10^{-3}	$.0024 \times 10^{-3}$
Au-Pd alaşımı (Au-Pd alloy)	89500	0.33	125	14.1E-6	1.2×10^{-1}	$.00137 \times 10^{-3}$
Ni-Cr alaşımı (Ni-Cr alloy)	205000	0.33	450	14.3E-6	$.92 \times 10^{-1}$	$.0084 \times 10^{-3}$
Ti alaşımı (Ti alloy)	112000	0.33	544	11.9E-6	4.1×10^{-3}	$.0045 \times 10^{-3}$
Akrilik (Acrylic)	21100	0.35	1470	76E-6	1.9×10^{-4}	$.0014 \times 10^{-3}$
Sement (cement)	22400	0.35	1250	35E-6	1.0467×10^{-3}	$.0011 \times 10^{-3}$
Alveolar kemik (alveolar bone)	13800	0.26	1260	10E-6	$.5.86 \times 10^{-4}$	$.0211 \times 10^{-3}$
<i>Pulp</i>	0.003	0.45	4200	180.1E-6	4.186×10^{-2}	$.001 \times 10^{-3}$
<i>Dentin</i>	18600	0.31	1600	11.4E-6	6.28×10^{-4}	$.00196 \times 10^{-3}$

Çizelge 3.3. Farklı yüzeylerin metinde kullanılış simgeleri.

ÜSTY	Üst Yüzey
ARY1	Birinci Arayüzey
ARY2	İkinci Arayüzey
ARY3	Üçüncü Arayüzey

Çizelge 3.4. Beş farklı modelin üst yüzey ve arayüzey ayrıntıları.

Model Yüzey	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4	Model-5
Üst Yüzey	Porselen	Porselen	Akrilik	Akrilik	Akrilik
Birinci Arayüzey	Porselen Zirkonyum	Porselen Porselen	Akrilik Au Pd alaşımı	Akrilik NiCr alaşımı	Akrilik Ti alaşımı
İkinci Arayüzey	Zirkonyum Sement	Porselen Sement	Au Pd alaşımı Sement	NiCr alaşımı Sement	Ti alaşımı Sement
Üçüncü Arayüzey	Sement Dentin	Sement Dentin	Sement Dentin	Sement Dentin	Sement Dentin

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Farklı malzeme çiftlerinin yer aldığı beş farklı model (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5) için termal gerilme değerleri modellerde yer alan ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3 boyunca elde edilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen değerlerden silindirik koordinatlardaki radyal gerilmeler- σ_r , teğetsel gerilmeler- σ_θ , kayma gerilmeleri $\tau_{r\theta}$ ve von Mises - σ_{vm} gerilmeleri çizilmiştir. Gerilme grafikleri Excel programı ile oluşturulmuştur.

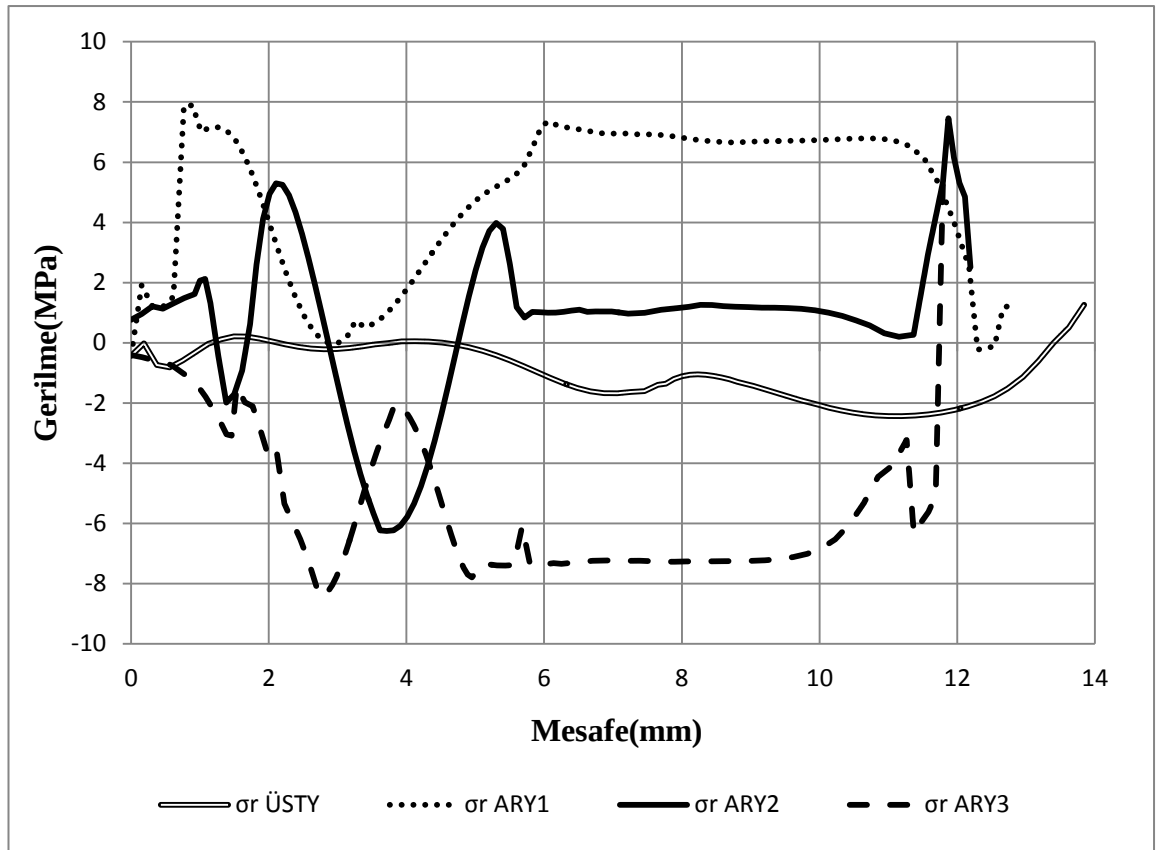
Grafikler iki farklı yaklaşımla oluşturulmuştur. Birincisi, her modelin ÜSTY, ARY1, ARY2 ve ARY3'ün σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$, σ_{vm} gerilmelerinin her biri bir grafikte yer alacak şekilde Şekil 4.1-4.20'de verilmiştir. İkincisi ise farklı modellerin (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5) aynı hatlarının σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$, σ_{vm} 'nin her biri bir grafikte yer alacak şekildedir (Şekil 4.6.1-4.6.16).

4.1. Model-1

Model-1, Şekil 3.1, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de olduğu gibi 6 farklı bölgeden ve farklı malzeme ve malzeme özelliklerinden oluşmuştur. Bu modelde porselen, zirkonyum, sement, dentin ve kemik modellenmiştir. Model-1'in üst yüzey ve ara yüzeylerinde kullanılan malzemeler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Bu modelin üst yüzeyinde porselen, birinci arayüzeyde porselen-zirkonyum, ikinci arayüzeyde zirkonyum-sement ve üçüncüsünde sement-dentin modellenmiştir. Bu modelin farklı yüzeylerinde zamana bağımlı olarak termal gerilme analizi yapılmıştır ve σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} gerilmeleri Şekil 4.1.1,4.1.2,4.1.3 ve 4.1.4.'de verilmiştir. Hazırlanan geometrik modelde, farklı malzeme tanımlaması ile elde edilen 5 model(Model-1, Model-2, Model-3, Model-4, Model-5) için elde edilen gerilmeler (σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm}) her modelin üst yüzeyi(ÜSTY), birinci arayüzeyi (ARY1), ikinci arayüzeyi (ARY2), üçüncü arayüzeyi (ARY3) için Şekil 4.1-4.20'de verilmiştir. Şekil 4.1-4.4 Model-1'e ait olup

sırasıyla σ_r , σ_θ , τ_{θ} ve σ_{vm} gerilmeleri gösterilmiştir. Farklı yüzeylerin metinde kullanım simgeleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

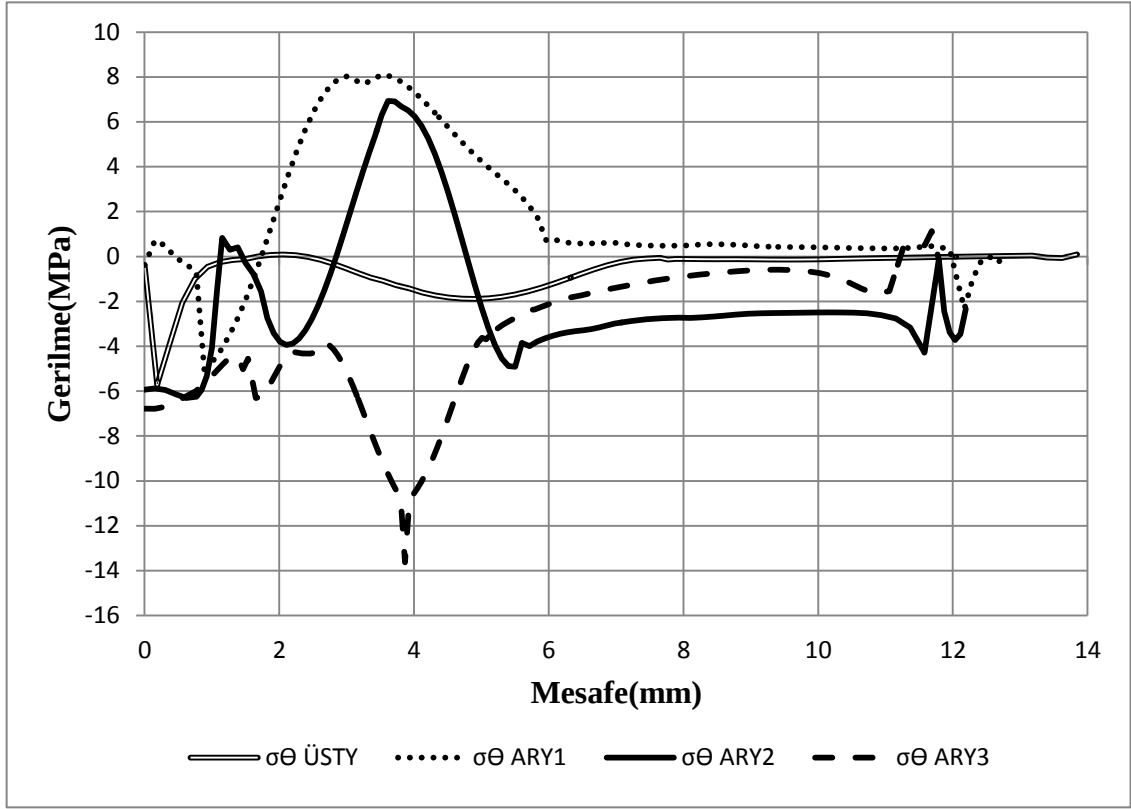
4.1.1. Model-1'de σ_r analizi



Şekil 4.1. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri

Şekil 4.1.'de olduğu gibi simetri ekseninde sıfır/sıfıra yakın değerlerde olup hatlar boyunca ilerledikçe dalgalanma göstermektedirler. Bu dalgalanmalar ÜSTY boyunca eksi işaretli küçük değerlerde seyrederken ARY1'de artı işaretli, ARY2'de artı ve eksi işaretli değerler arasında ve ARY3'de ise eksi işaretli bölgede değişim göstererek arayüzeyin sonunda artı bölgeye geçmektedir.

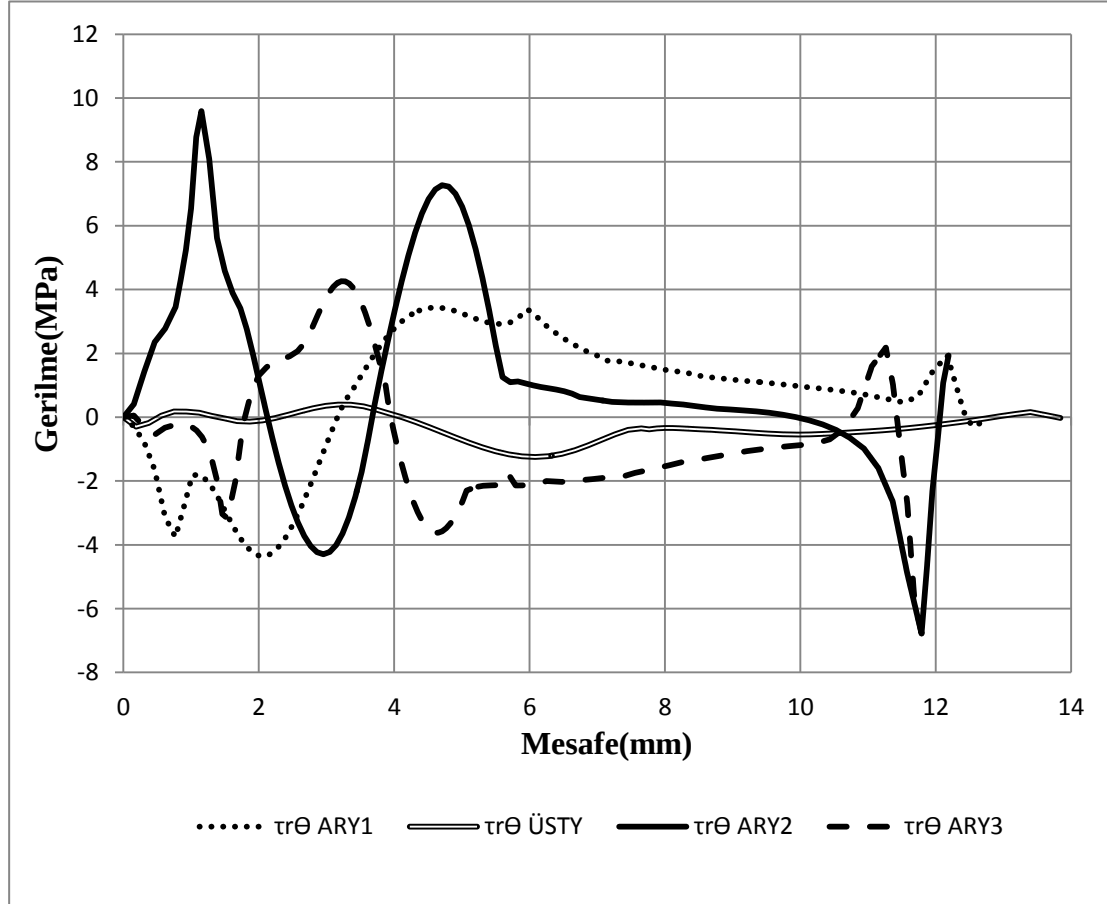
4.1.2. Model-1'de σ_θ analizi



Şekil 4.2. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri

Şekil 4.2'de görülen Model-1'e ait σ_θ gerilmeleri ise simetri ekseninden itibaren önce dalgalanma, sonra sabit bir davranış göstermektedir. Dalgalanmadaki en büyük değerler mesafenin 4mm olduğu bölge de gösterilmektedir. ARY1 ve ARY2 artı bölgede en büyük değere ulaşırken, ARY3 eksi değerlerde en büyük değerlere ulaşmaktadır.

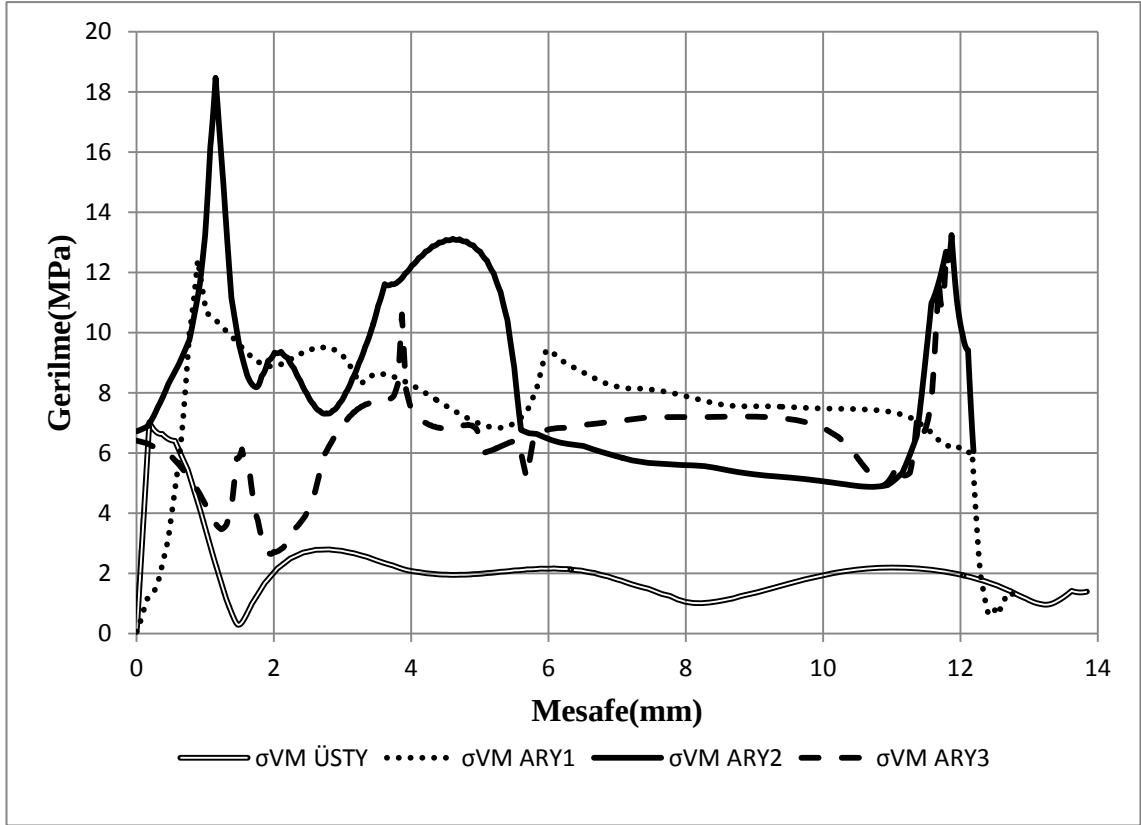
4.1.3. Model-1'de $\tau_{r\theta}$ analizi



Şekil 4.3. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri

Şekil 4.3.'de Model-1'e ait $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri görülmektedir. Bu şekilden $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri ÜSTY'de sıfıra yakınken, diğer hatlar boyunca işaret değiştirerek hatların sınırları simetri merkezinden uzak bölgelerinde sıfıra yaklaşmakta ve hattın sonunda dalgalanma göstermektedir. En büyük değerler, ARY2 üzerinde görülmektedir.

4.1.4. Model-1'de σ_{vm} analizi



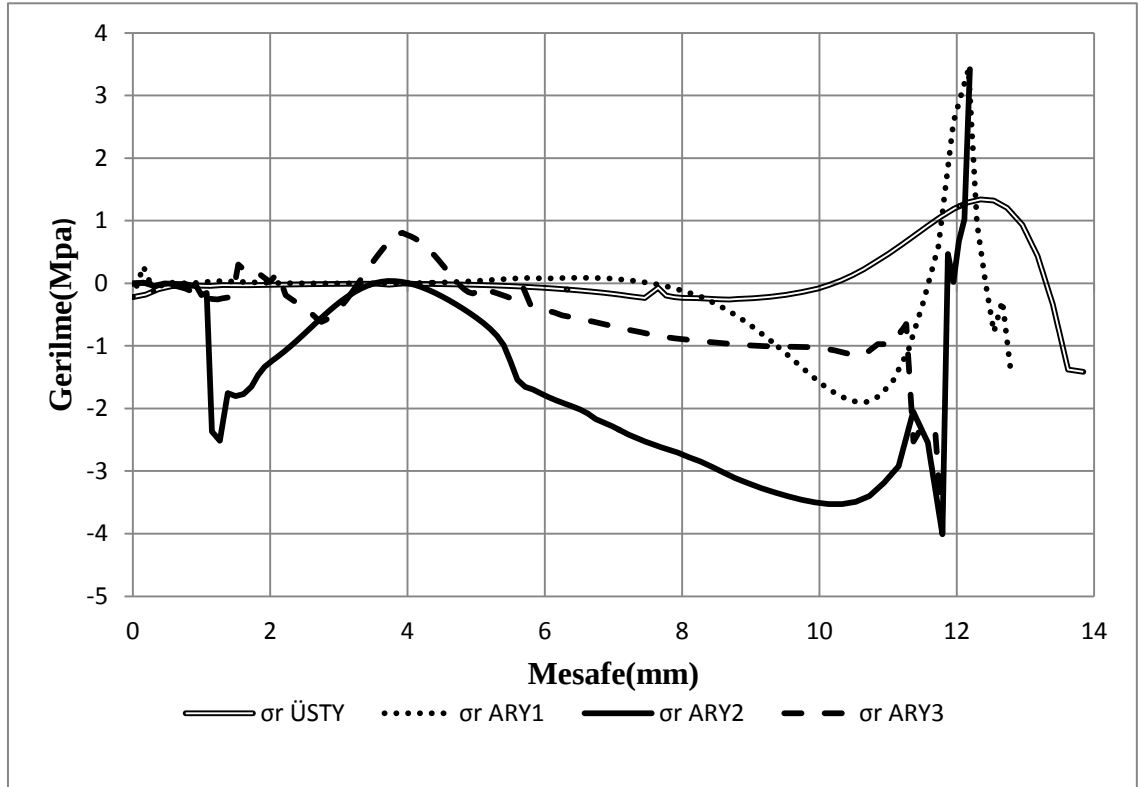
Şekil 4.4. Model-1'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri

σ_{vm} gerilmeleri Şekil 4.4.'de verilmiştir. En büyük değer ARY2'de görülmektedir. Bunun yanında tüm hatlarda hat boyunca σ_{vm} değerlerinde değişim görülmektedir.

4.2. Model-2

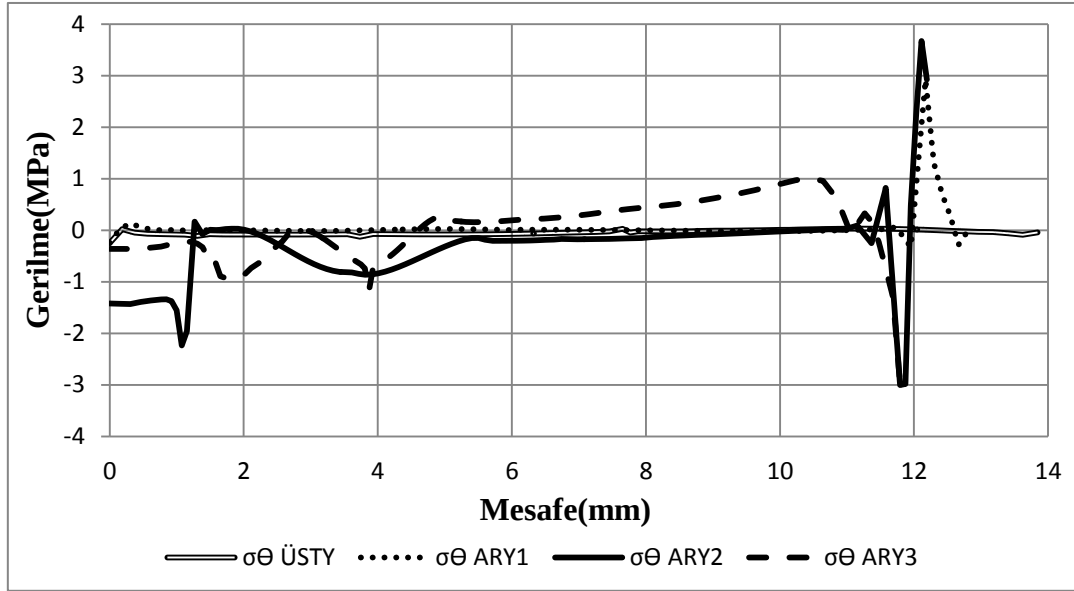
Model-2 Şekil 3.1, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de olduğu gibi 6 farklı bölgeden ve farklı malzeme ve malzeme özelliklerinden oluşmuştur. Bu modelde porselen, porselen, sement, dentin ve kemik modellenmiştir. Model-2'nin üst yüzey ve ara yüzeylerinde kullanılan malzemeler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Model-2'nin üst yüzeyi porselen, birinci arayüzey porselen-porselen, ikinci arayüzey sement-porselen, üçüncü ise dentin-sement'den oluşmuştur. Model-2'ye ait σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} gerilmeleri Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8.'de verilmiştir.

4.2.1. Model-2'de σ_r analizi



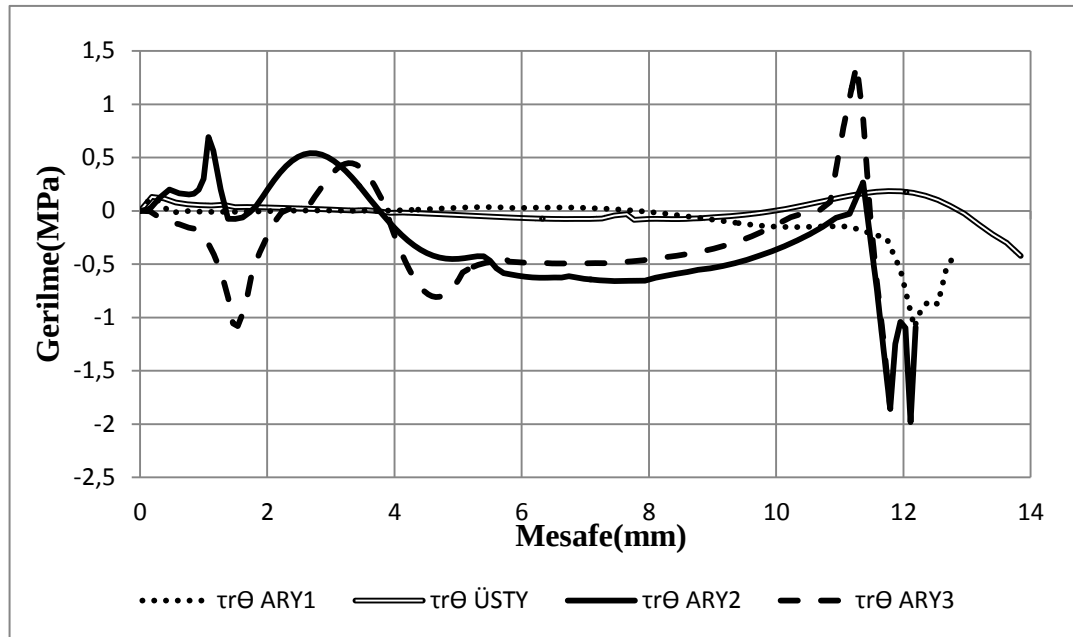
Şekil 4.5. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri

4.2.2. Model-2'de σ_θ analizi



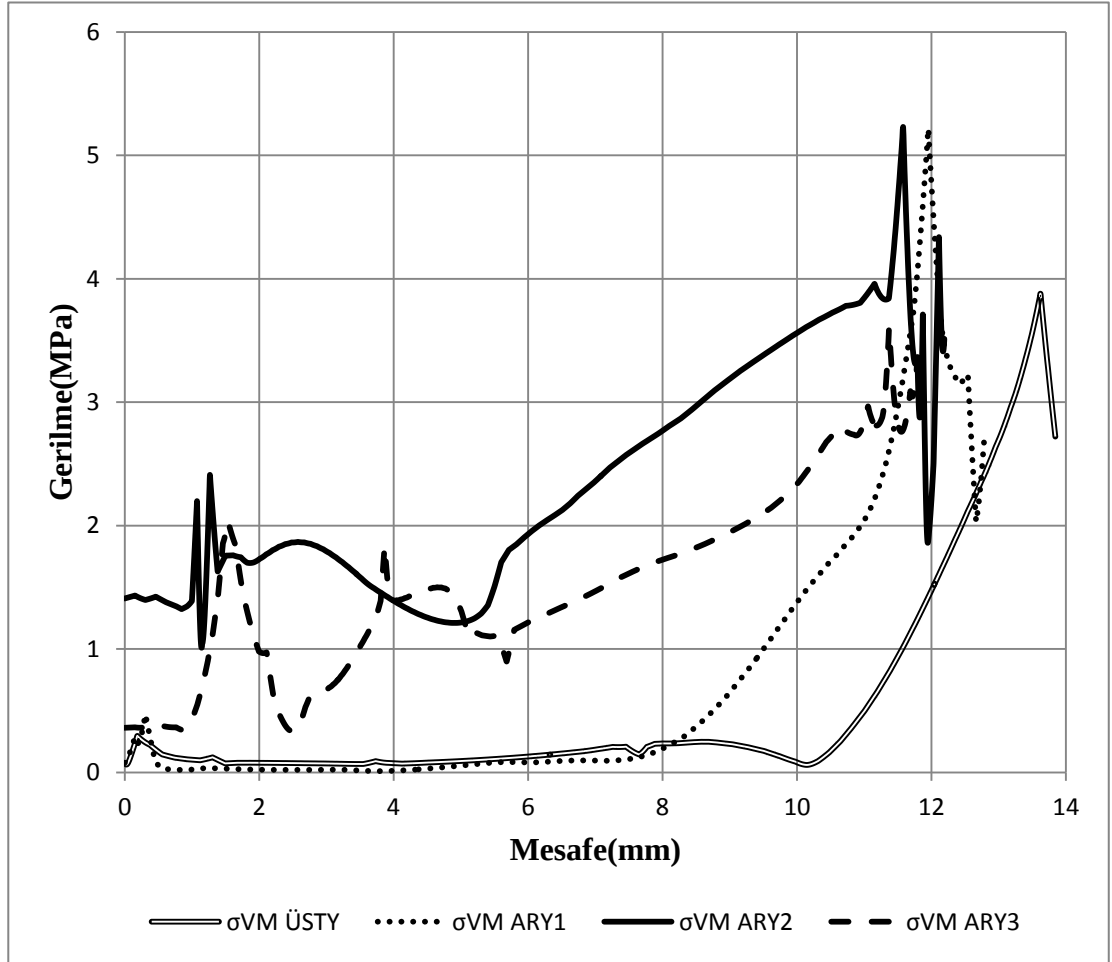
Şekil 4.6. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri

4.2.3. Model 2'de $\tau_{r\theta}$ analizi



Şekil 4.7. Model-2'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri

4.3. Model-2'de σ_{vm} analizi



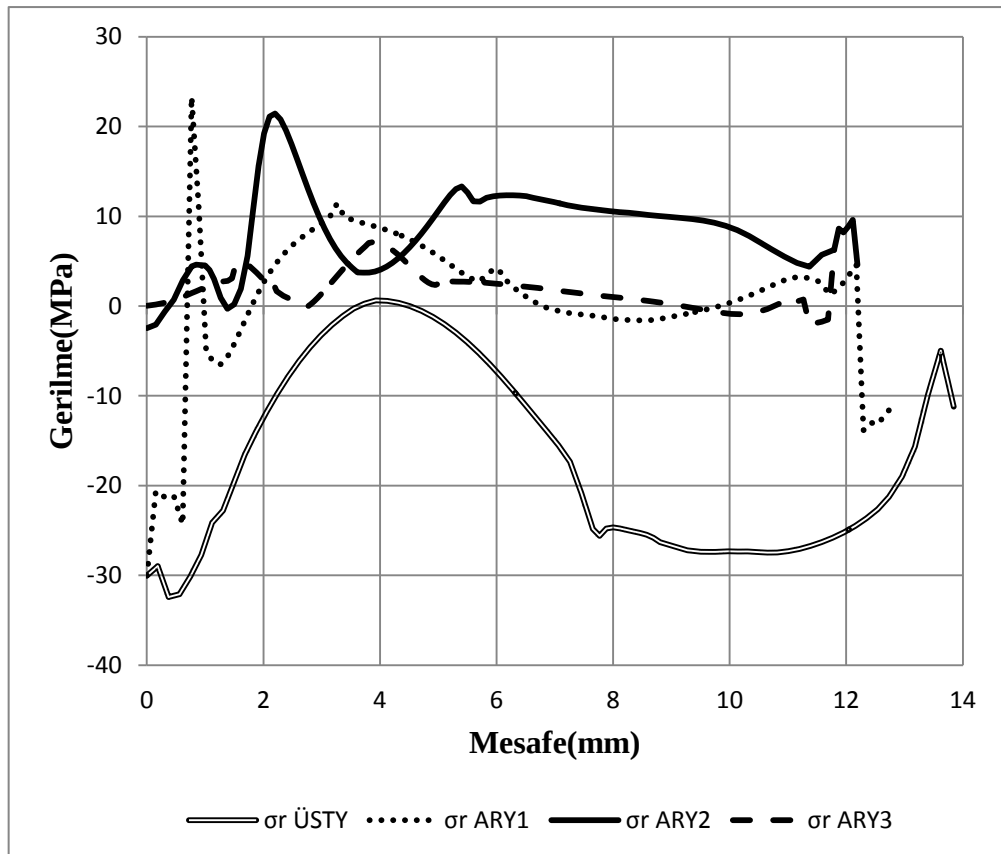
Şekil 4.8. Model-2'nin ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri

Bu modelde gerilmelerin çok küçük değerlerde seyretmesi görülmektedir. Dalgalanma ve geçerli büyük değerler hatların bitiş bölgelerinde yer almaktadır.

4.4. Model- 3

Model-3 Şekil 3.1, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de olduğu gibi 6 farklı bölgeden ve farklı malzeme ve malzeme özelliklerinden oluşmuştur. Bu modelde AuPd alaşımı, akrilik, sement, dentin ve kemik modellenmiştir. Model-3'ün üst yüzey ve ara yüzeylerinde kullanılan malzemeler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Model-3'ün üst yüzeyi akrilik, birinci arayüzey akrilik-AuPd alaşımı, ikinci arayüzey sement-AuPd Alaşımı, üçüncü ise dentin-sement'den oluşmuştur. Model-3'e ait σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} gerilmeleri Şekil 4.9,4.10,4.11 ve 4.12.'de verilmiştir.

4.4.1. Model-3'de σ_r analizi

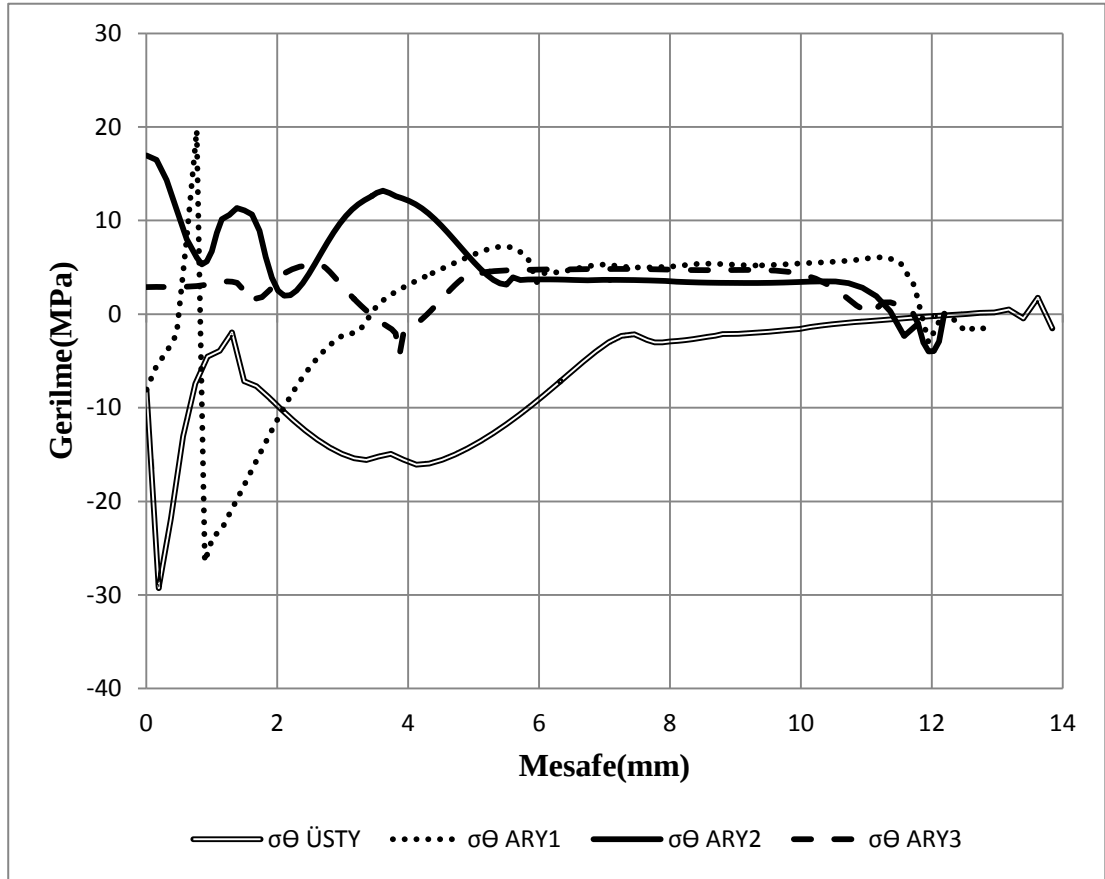


Şekil 4.9. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri

Şekil 4.9.'de σ_r değerinin, ÜSTY'de eksi bölgede, ARY1'de simetri eksenine yakın bölgede eksi-artı bölgede, ARY2 ve ARY3'de artı bölgede değişim gösterdiği görülmektedir.

Artı bölgedeki en büyük değer simetri eksenine yakın bölgede ARY1 ve ARY2'de gerçekleşirken, en büyük eksi değer ÜSTY'de ve yine simetri eksenine yakın bölgede gerçekleşmektedir.

4.4.2. Model-3'de σ_θ analizi

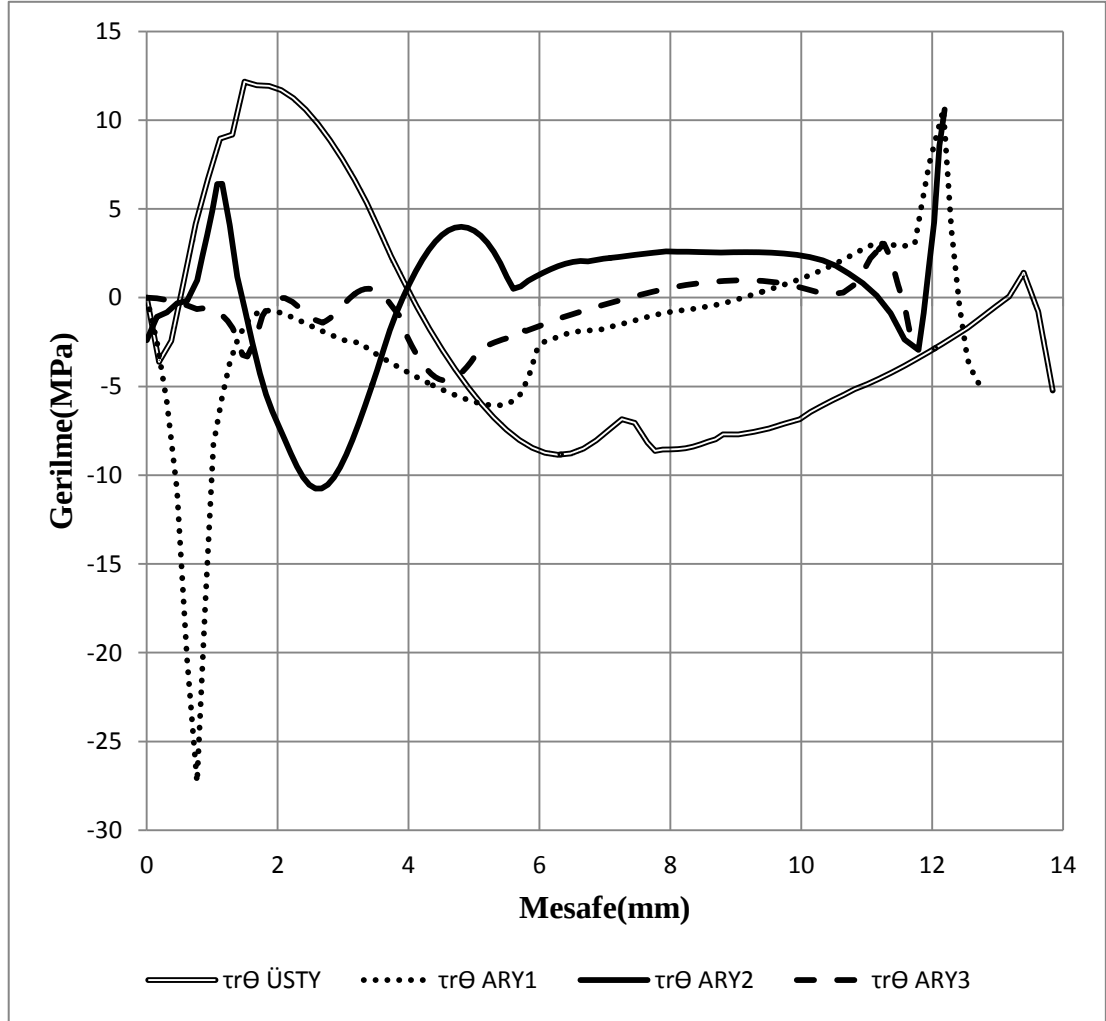


Şekil 4.10. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri

Şekil 4.10., σ_θ 'ların değişimini göstermektedir, simetri eksenine yakın bölgelerde hem büyük değerler hem de salınımlar görülürken, simetri ekseninden uzak bölgelerde sıfıra yakın değerlerde az değişimle seyretmektedir. Eksi bölgelerde en büyük değer ÜSTY ve

ARY1’de görülürken, artı bölgelerde büyük değerler ARY2 ve yine ARY1’de görülmektedir.

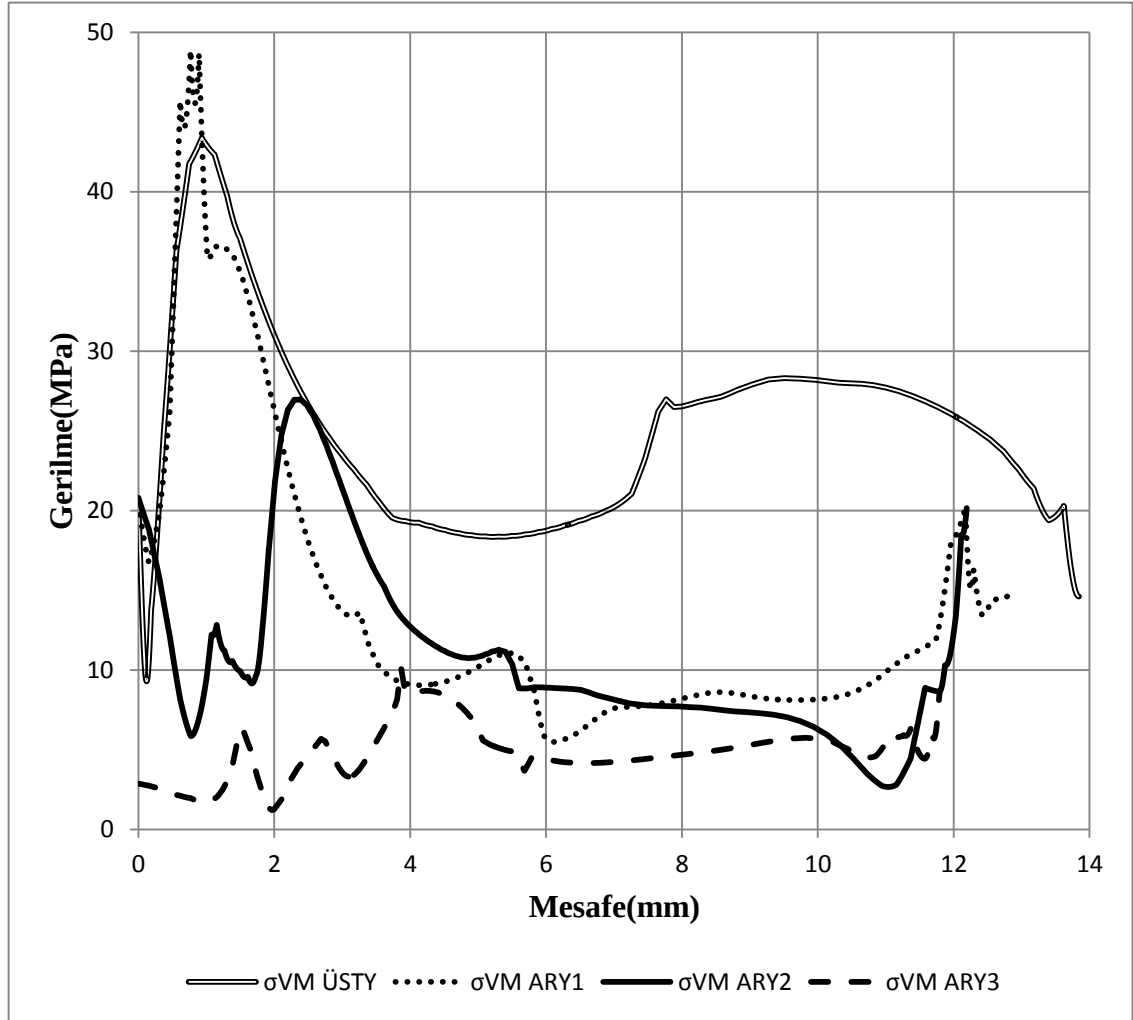
4.2.3. Model-3’de $\tau_{r\theta}$ analizi



Şekil 4.11. Model-3’ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri

$\tau_{r\theta}$ gerilmeleri, Şekil 4.11’de yer almaktadır. Buna göre simetri eksenine yakın bölgelerde dalgalanmalar gözlenmektedir. ÜSTY ve ARY2 boyunca gerilmeler işaret değiştirirken, en büyük değer ARY1’de yer almaktadır.

4.2.4. Model-3'de σ_{vm} analizi



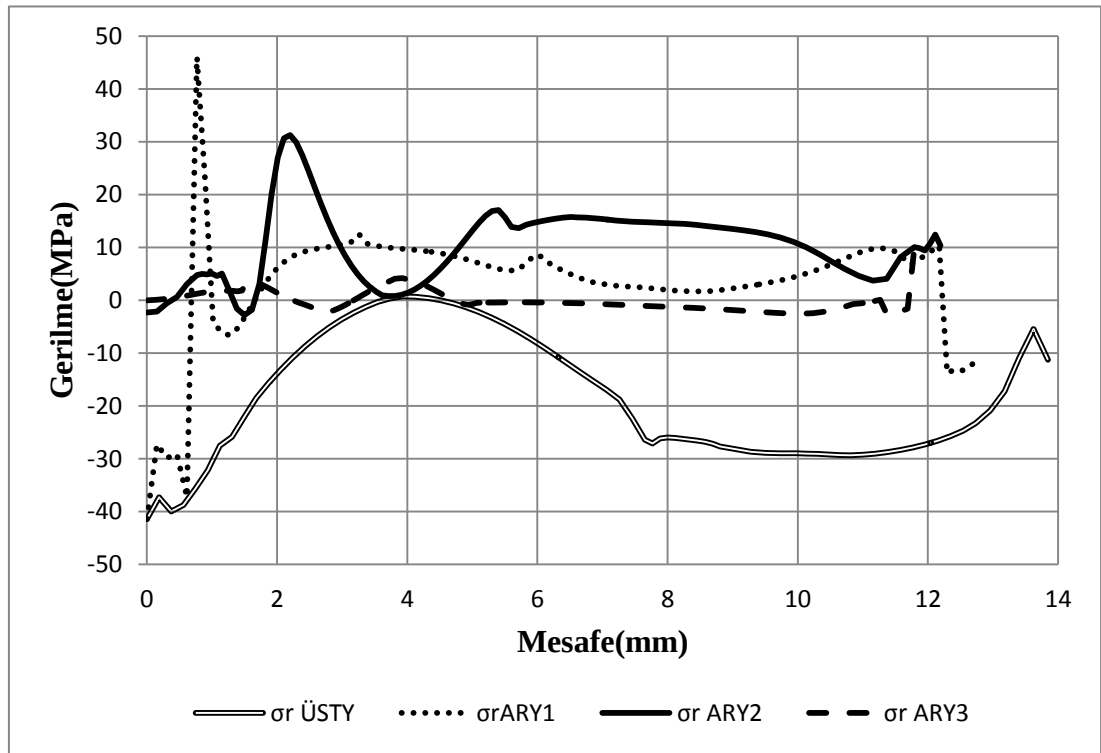
Şekil 4.12. Model-3'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri

σ_{vm} eğrileri, şekil 4.12.'de verilmiştir. Simetri eksenine yakın bölgelerde en büyük değere ÜSTY ve ARY1'de ulaşmaktadır. Hatlar boyunca gerilme değerleri azalarak ve küçük dalgalanmalarla değişmektedir.

4.3. Model-4

Model-4 Şekil 3.1, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de olduğu gibi 6 farklı bölgeden ve farklı malzeme ve malzeme özelliklerinden oluşmuştur. Bu modelde NiCr alaşımı, akrilik, sement, dentin ve kemik modellenmiştir. Model-4'ün üst yüzey ve ara yüzeylerinde kullanılan malzemeler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Model-4'ün üst yüzeyi akrilik, birinci arayüzey akrilik-NiCr alaşımı, ikinci arayüzey sement-NiCr Alaşımı, üçüncü ise dentin-sement'den oluşmuştur. Model-4'e ait σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} gerilmelerin değişimleri sırasıyla Şekil 4.13,4.14,4.15 ve 4.16.'de verilmiştir.

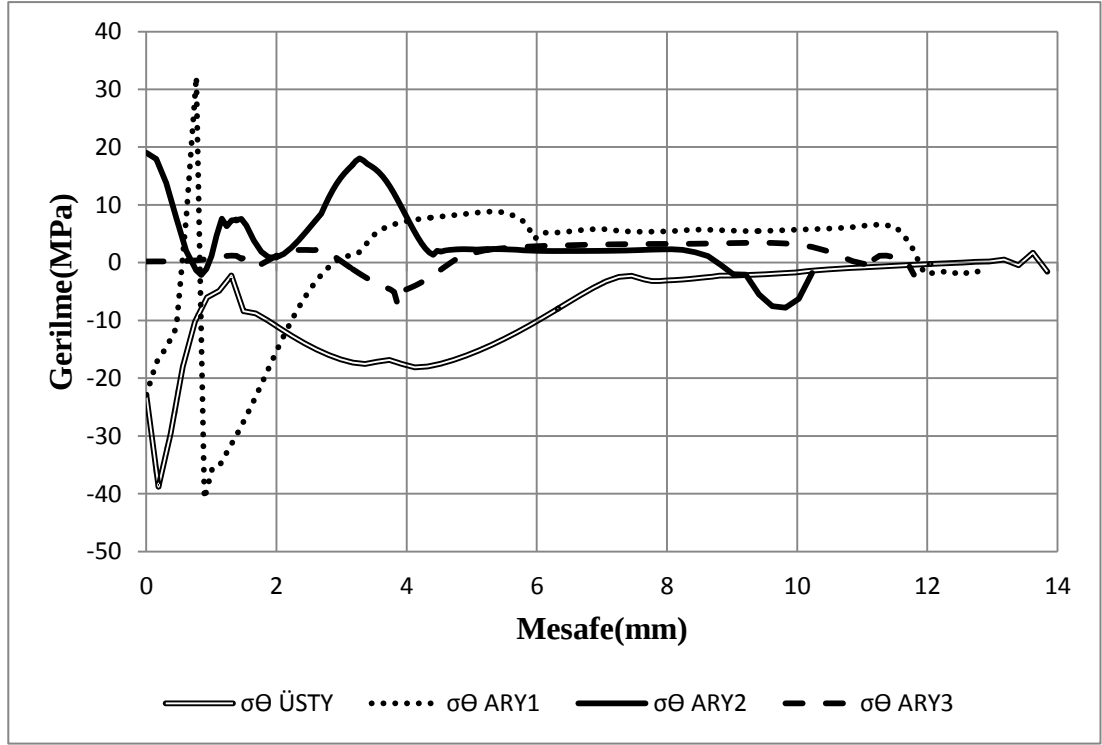
4.3.1. Model-4'de σ_r analizi



Şekil 4.13. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri

Buna göre, Şekil 4.13.'den, ÜSTY'de σ_r eksi bölgede kalırken, ARY1'de, simetri eksenine yakın bölgede eksi büyük değerden artı büyük değere değişmektedir. ARY2'de artı bölgede salınım yaparken, ARY3' de sifıra yakın değerler almaktadır.

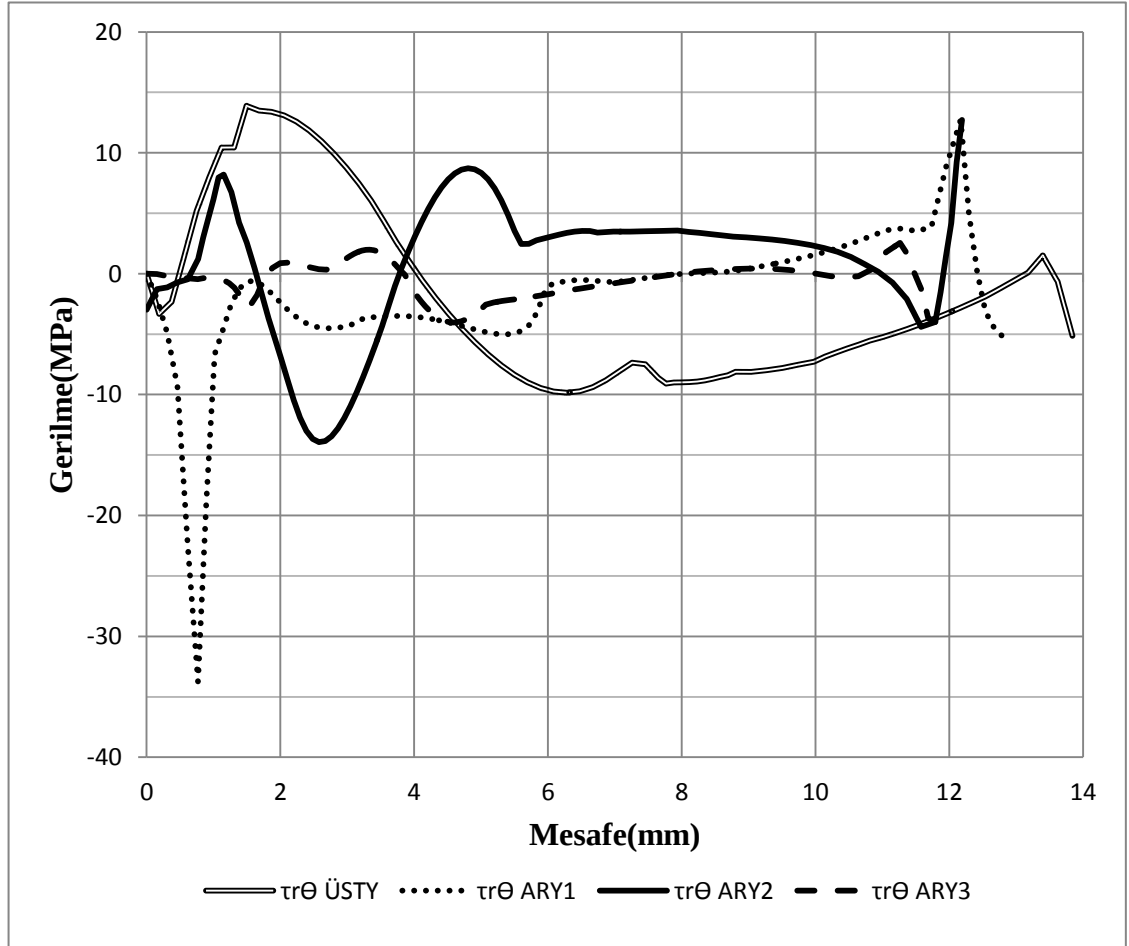
4.3.2. Model-4'de σ_θ analizi



Şekil 4.14. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri

σ_θ değişimleri Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi simetri ekseninde ve yakınlıklarında dalgalanma gösterirken, hatlar boyunca ilerledikçe sıfıra yakın değerler alarak dalgalanmalar azalmaktadır. ÜSTY'de sürekli eksi bölgede, ARY1'de sürekli artı bölgede değişirken, ARY1'de artı ve eksi bölgede büyük değişimler göstermektedir. En büyük değerler eksi bölgede ÜSTY ve ARY1'de görülürken, artı bölgede ARY2'de görülmektedir. ARY3'de sıfıra yakın seyretmektedir.

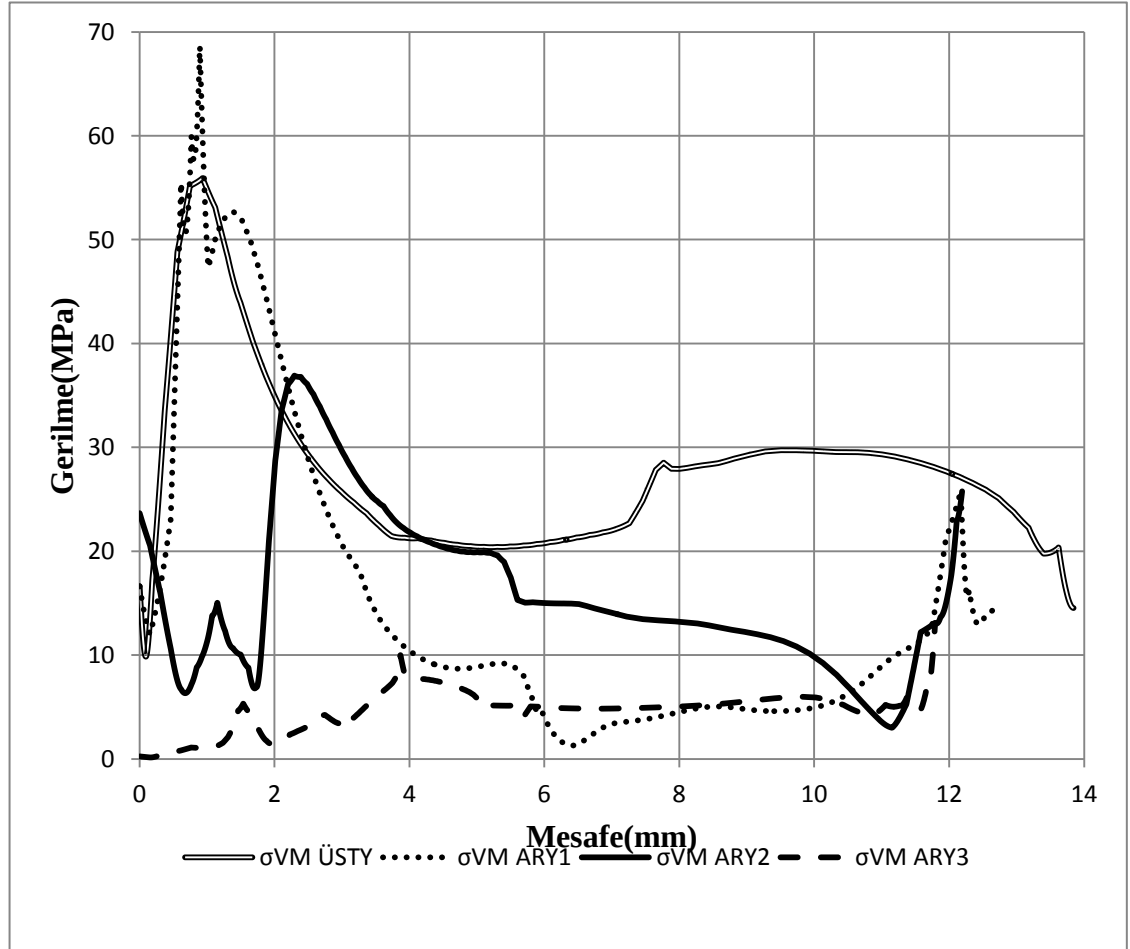
4.3.3. Model-4'de $\tau_{r\theta}$ analizi



Şekil 4.15. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri

Şekil 4.15.'de görülen $\tau_{r\theta}$ 'lar ÜSTY ve ARY2'de ilerleyen hatlar boyunca işaret değiştirirken, ARY2'de simetri eksenine yakın bölgede en büyük değeri alıp, hattın son bölgesinde işaret değiştirmektedir.

4.3.4. Model-4'de σ_{vm} analizi



Şekil 4.16. Model-4'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri

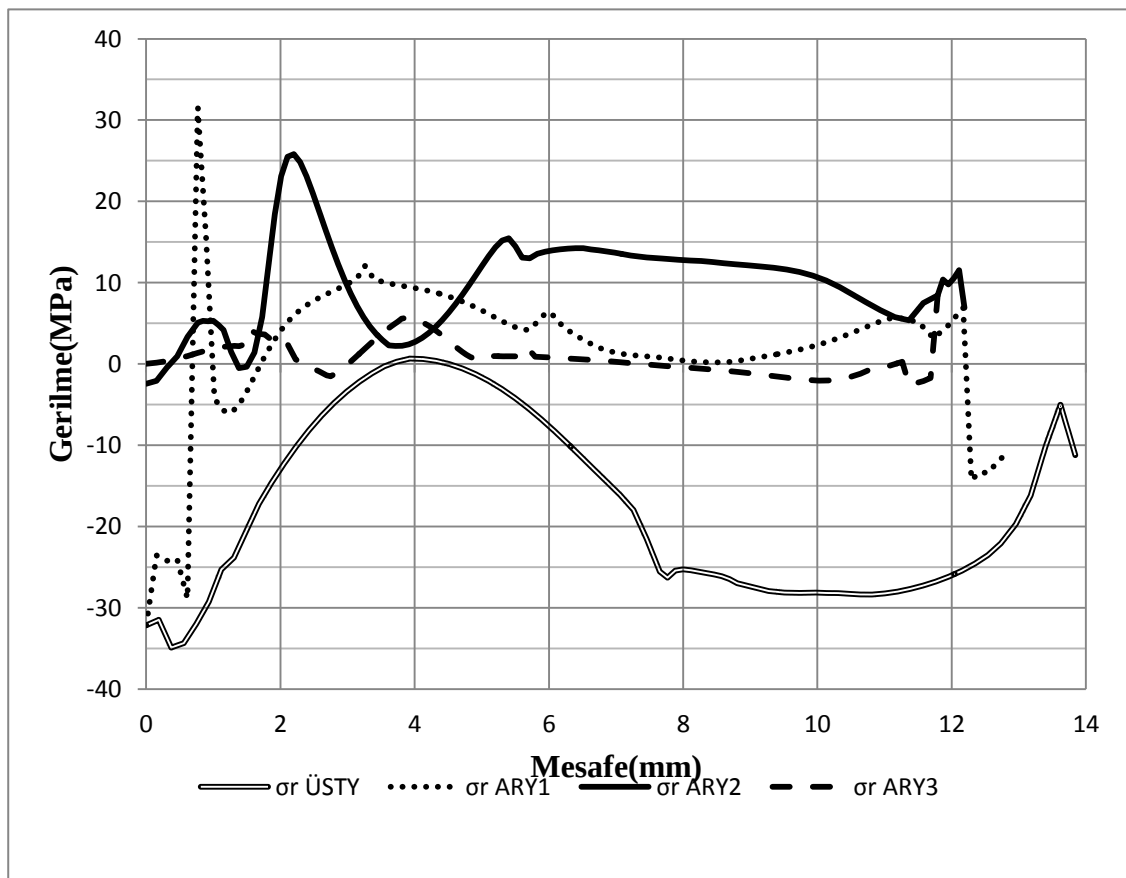
σ_{vm} gerilmeleri en büyük değerine simetri eksenine yakınında ÜSTY ve ARY1 de ulaşmaktadır.

4.3.5. Model-5

Model-5 Şekil 3.1, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de olduğu gibi 6(altı) farklı bölgeden ve farklı malzeme ve malzeme özelliklerinden oluşmuştur. Bu modelde Ti alaşımı, akrilik, sement, dentin ve kemik modellenmiştir. Model-5'in üst yüzey ve ara yüzeylerinde

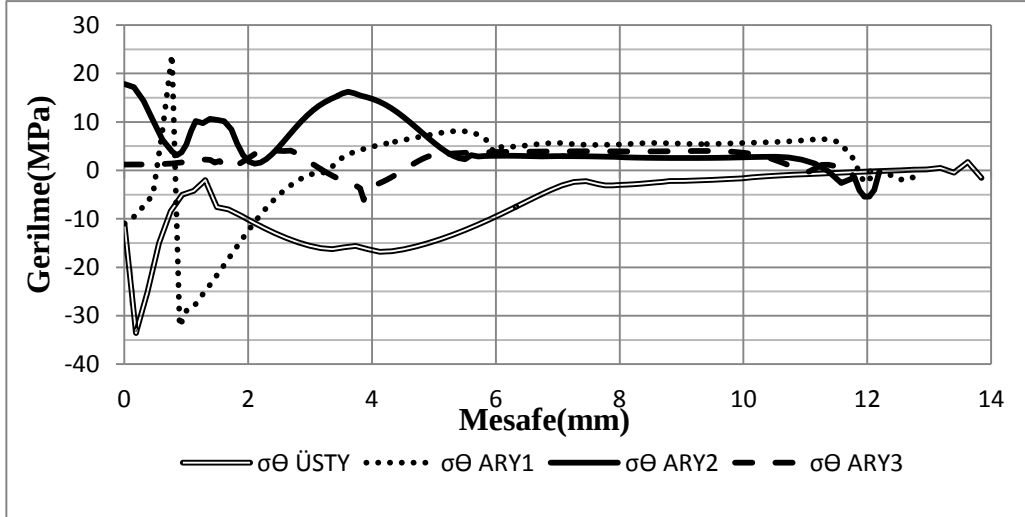
kullanılan malzemeler Çizilge 3.4.'de verilmiştir. Model-5'in üst yüzeyi akrilik, birinci arayüzey akrilik-Ti alaşımı, ikinci arayüzey sement-Ti Alaşımı, üçüncü ise dentin-sement'den oluşmuştur. Model-5'e ait σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} eğrileri Şekil 4.17,4.18,4.19 ve 4.20.'de verilmiştir.

4.3.6. Model-5'de σ_r analizi



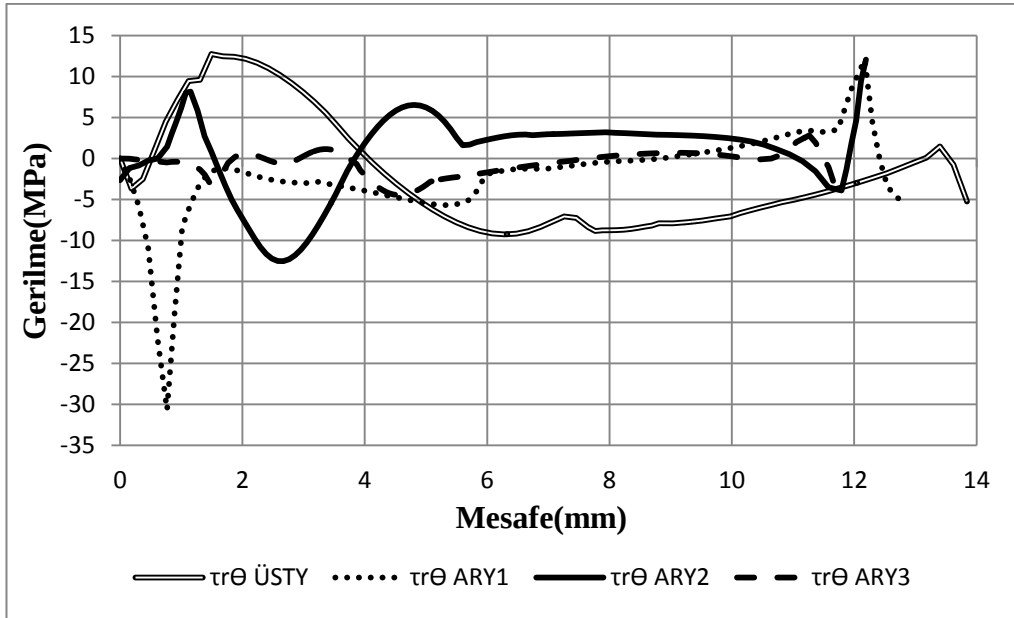
Şekil 4.17. Model-5'ün ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_r gerilmeleri

4.3.7. Model-5'de σ_θ analizi



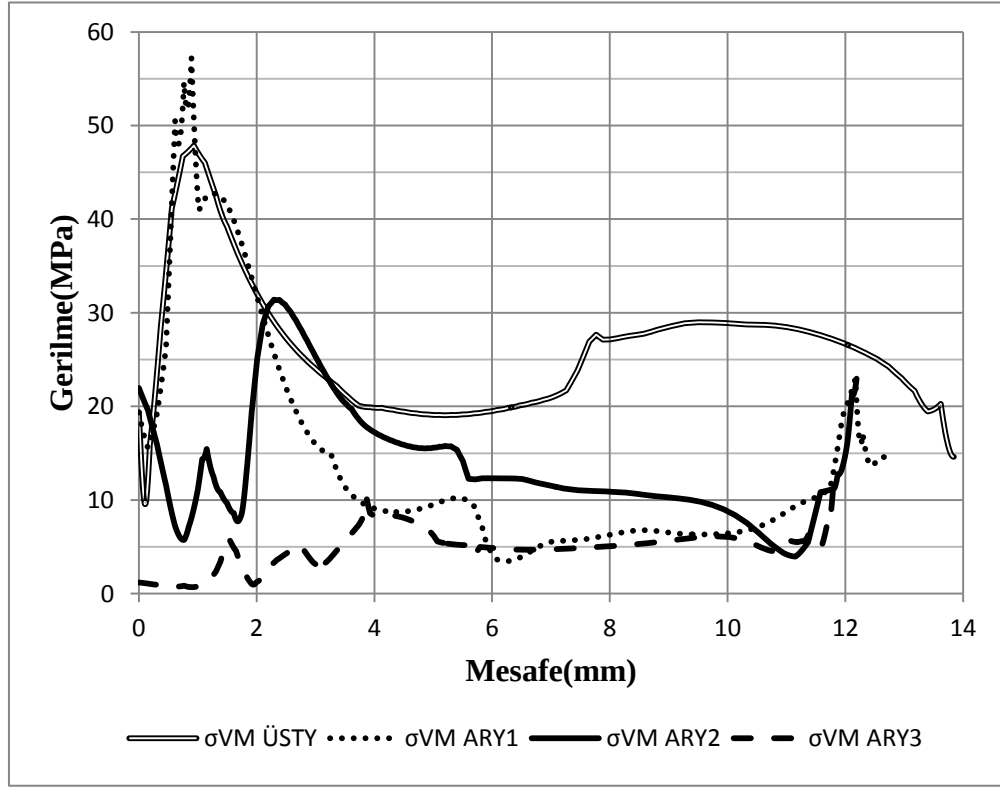
Şekil 4.18. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_θ gerilmeleri

4.3.8. Model-5'de $\tau_{r\theta}$ analizi



Şekil 4.19. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, $\tau_{r\theta}$ gerilmeleri

4.3.9. Model-5'de σ_{vm} analizi



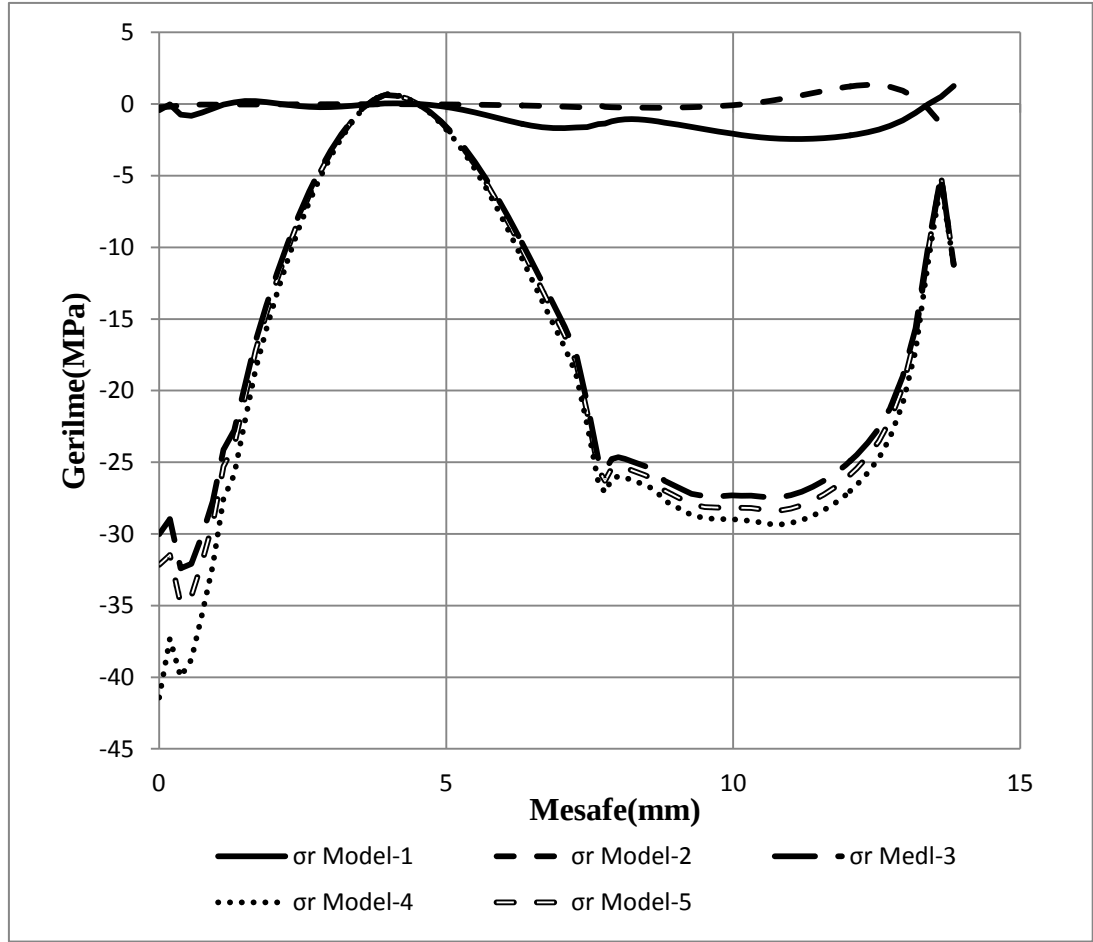
Şekil 4.20. Model-5'in ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3, σ_{vm} gerilmeleri

Bu modele ait σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ ve σ_{vm} eğrilerinin karakterleri değerlerde farklılıklar olmasına karşın, Model-3'ün aynı cins eğrilerine çok benzemektedir.

4.4. Farklı Modellerin Aynı Hatlarda Gerilme Eğrileri

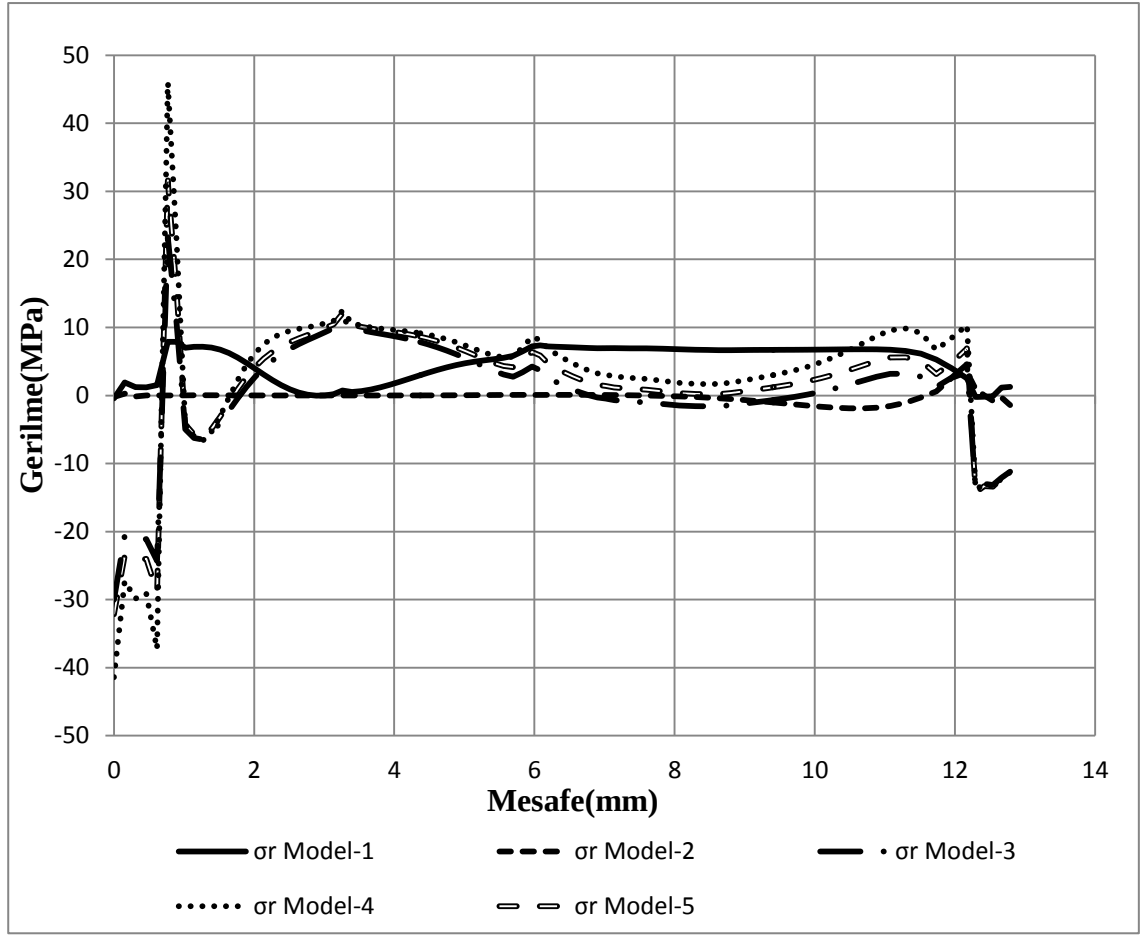
Şekil 4.21-4.36.'da görülen grafikler farklı modellerin (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5) aynı hatlarda (ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3) gerilme durumlarını göstermektedir.

Tüm modellerin σ_r değişimlerinin ÜSTY, ARY1, ARY2 ve ARY3 durumları sırasıyla Şekil 4.21.- 4.24.'de verilmiştir.



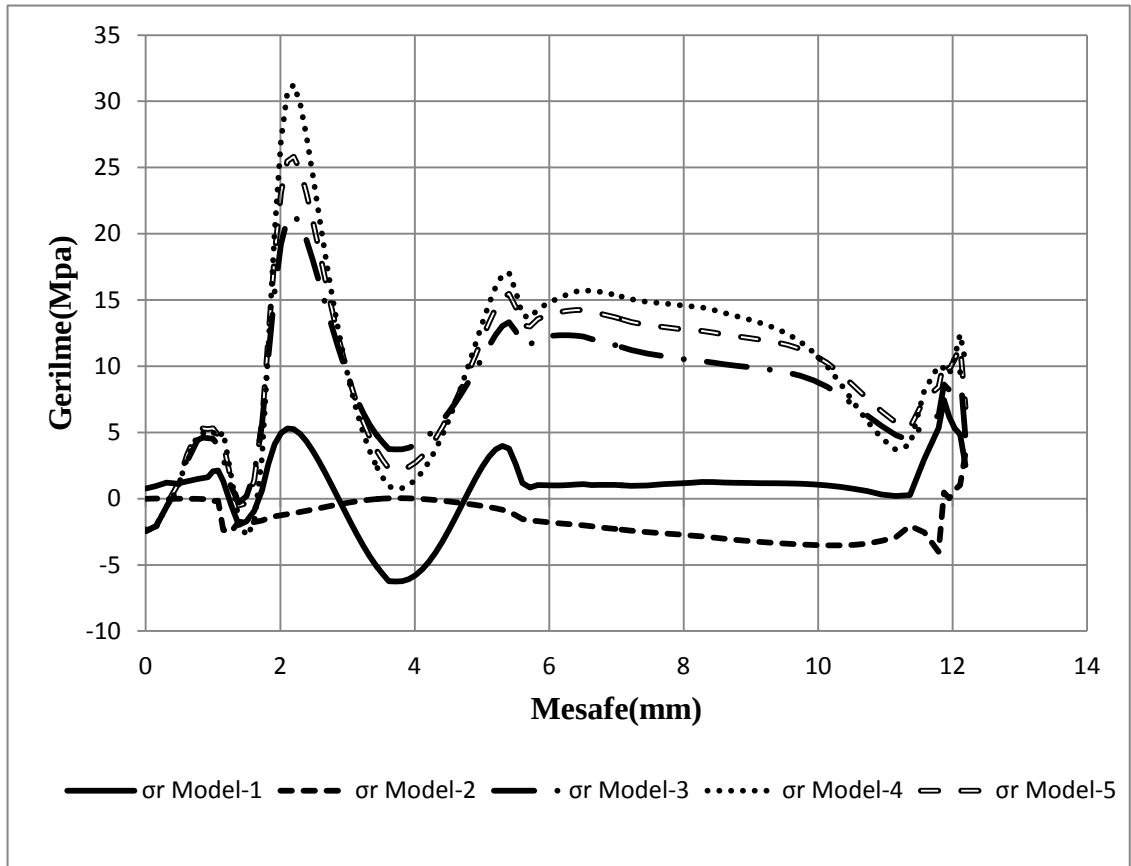
Şekil 4.21. Modellerin ÜSTY’de σ_r değişimi

Buna göre ÜSTY’de Model-1 ve Model-2 hariç diğer modeller belirgin bir değişim göstermektedir ve değişimler aynı karakterli olup eksi bölgededir. Model-1 ve Model-2’de ise sıfıra yakın seyretmektedir. σ_r değişimleri(Şekil 4.22.) ise, tüm modellerde simetri eksenine yakın (mesafe 0-0.2mm) bölgede değişim göstermektedir. Eksi ve artı bölgedeki en büyük değerler Model-3, Model-4 ve Model-5’de ortaya çıkmaktadır.



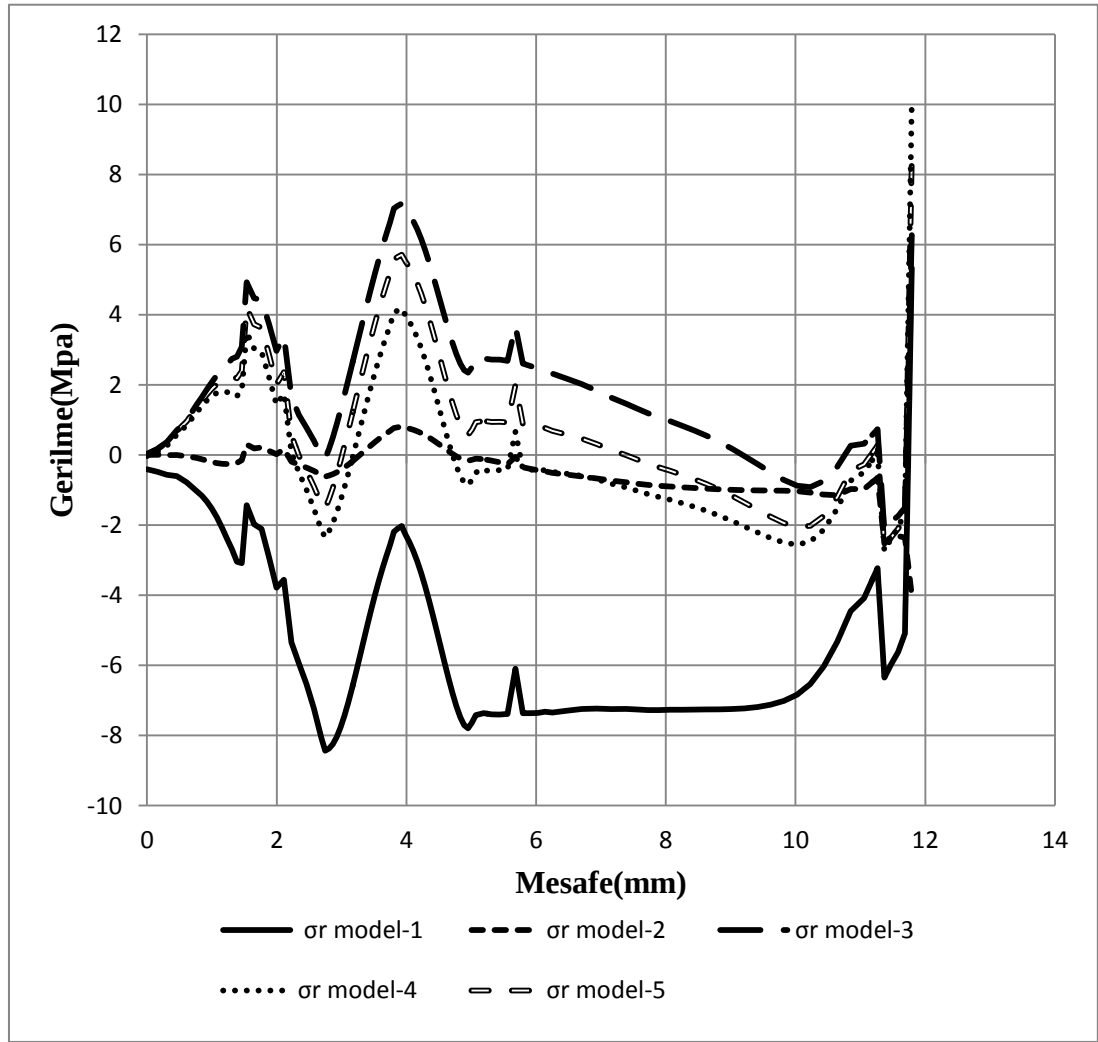
Şekil 4.22. Modellerin ARY1’de σ_r değişimi

Şekil 4.23. modellerin ARY2’deki σ_r ’larını göstermektedir. Hat boyunca tüm modellerde eksi ve artı bölge arasında değişimler görülürken, en büyük değişim yine Model-3, Model-4 ve Model-5’de ortaya çıkmaktadır.



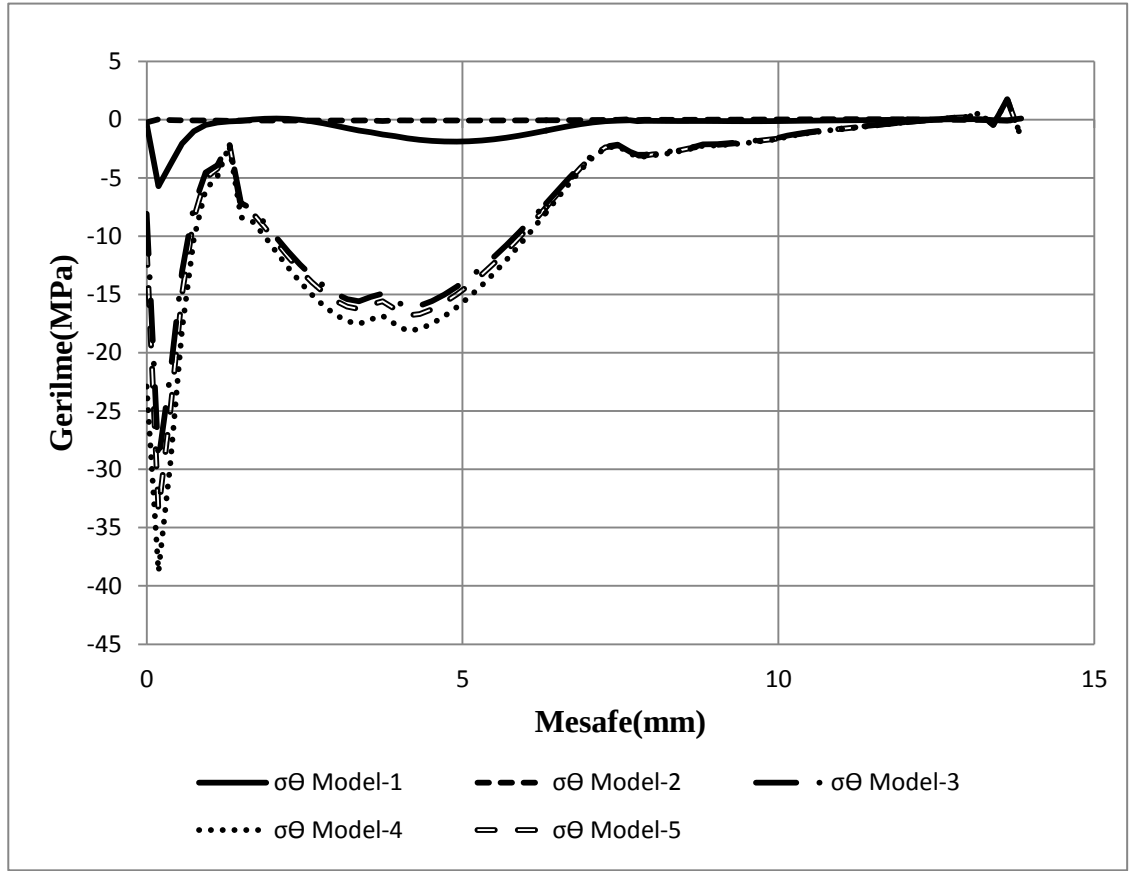
Şekil 4.23. Modellerin ARY2’de σ_r değişimi

Şekil 4.24.’de modellerin ARY3’deki σ_r ’ları yer almaktadır. Model-2 hariç, modellerde hat boyunca değişim gerçekleşmektedir. Bu değişim, Model-1’de eksi bölgede iken, diğerlerinde baskın olarak artı bölgede gerçekleşmektedir. En büyük değer, eksi bölgede Model-1’de iken, artı bölgede Model-3’de olmaktadır. İncelenen bu hattın son kısmında σ_r ’lar hemen tüm modellerde artı bölgede daha büyük değerlere ulaşmaktadır.



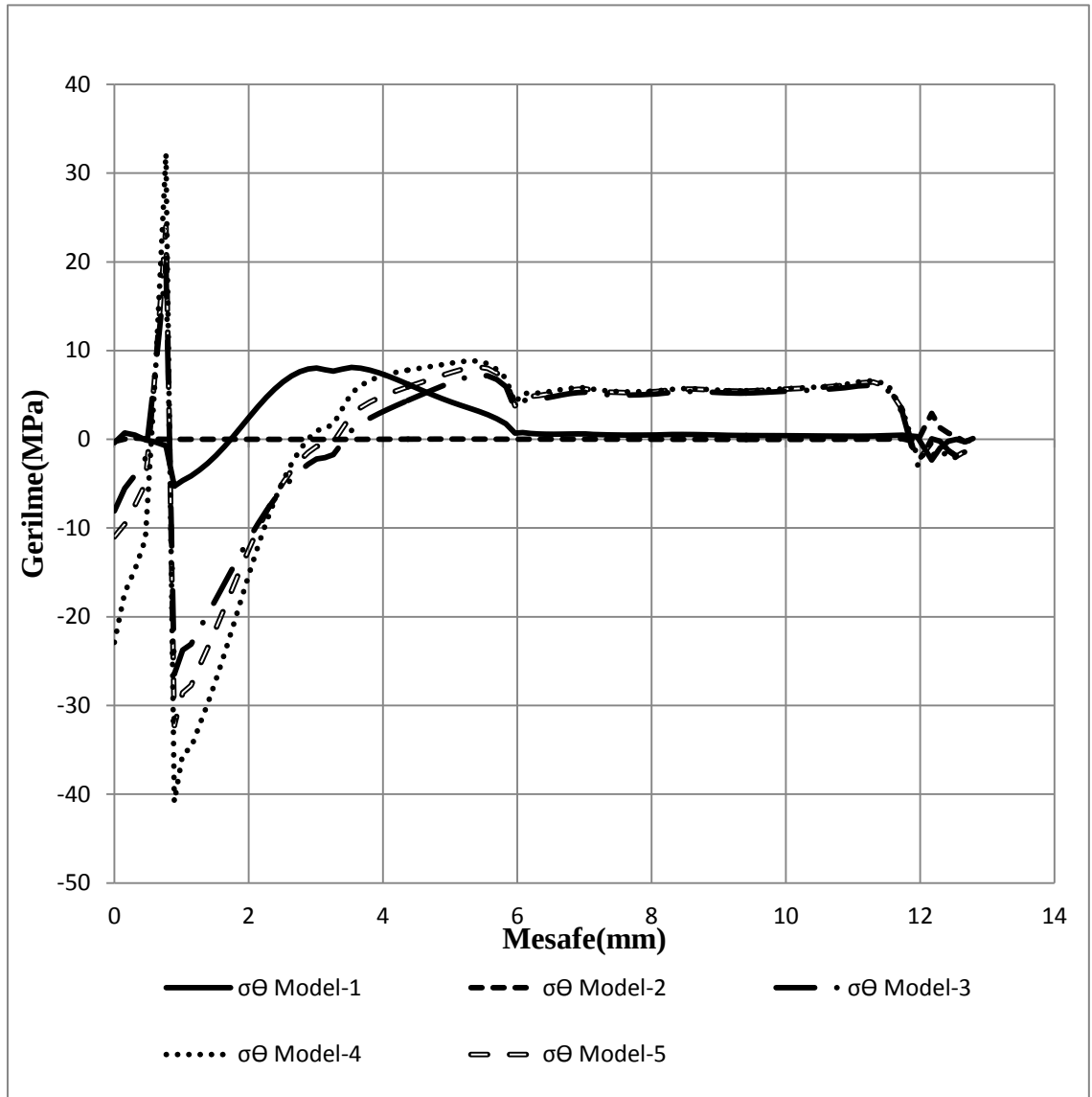
Şekil 4.24. Modellerin ARY3’de σ_r değişimi

Modellerin ÜSTY, ARY1, ARY2, ARY3’deki σ_θ değişimleri sırasıyla Şekil 4.25.-4.28.’de verilmiştir. ÜSTY’deki σ_θ ’lardan (Şekil 4.25) Model-3, Model-4 ve Model-5 eksi bölgede büyük dalgalanmalar göstermektedir ve en büyük değer Model-4’de ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.25. Modellerin ÜSTY’de σ_θ değişimi

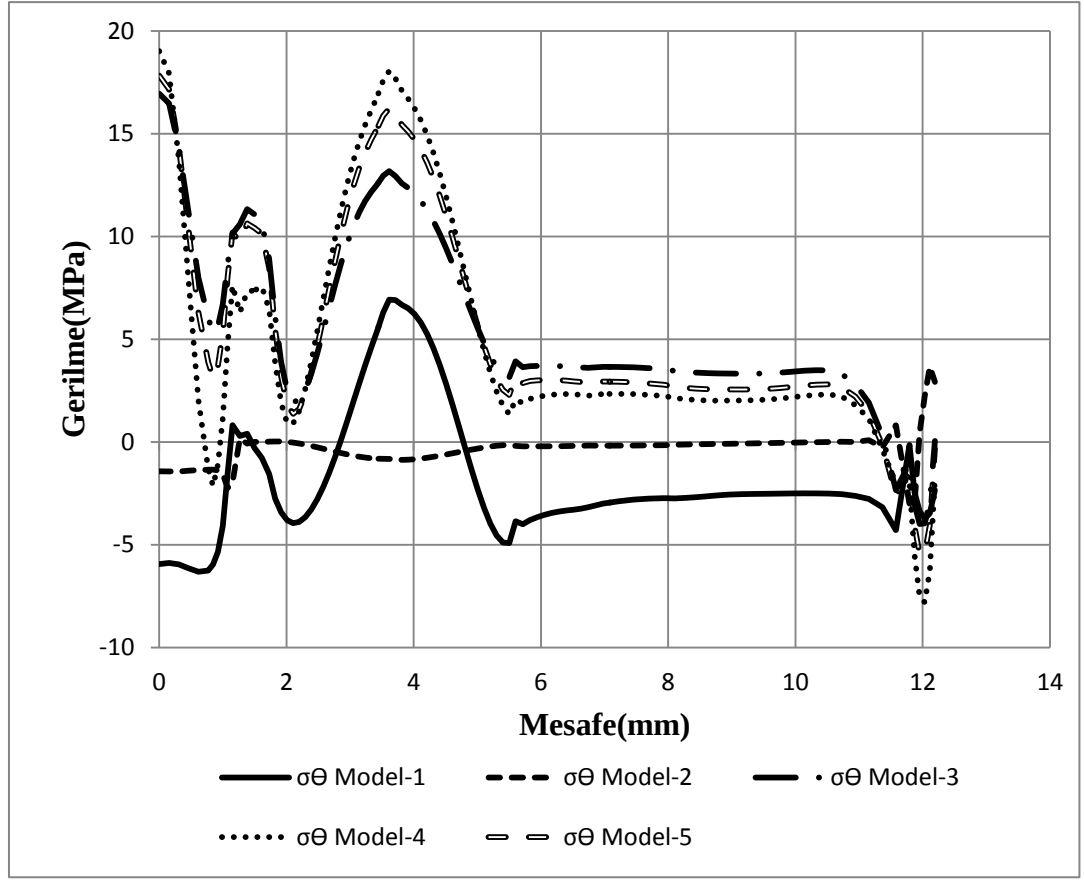
ARY1’deki durum için Şekil 5.26.’dan Model-3, Model-4 ve Model-5’de artı ve eksi bölgedeki dalgalanmanın olduğu ve bunun simetri eksenine yakın bölgede gerçekleştiği görülmektedir. Artı ve eksi bölgede en büyük değer Model-4’de ortaya çıkmaktadır.



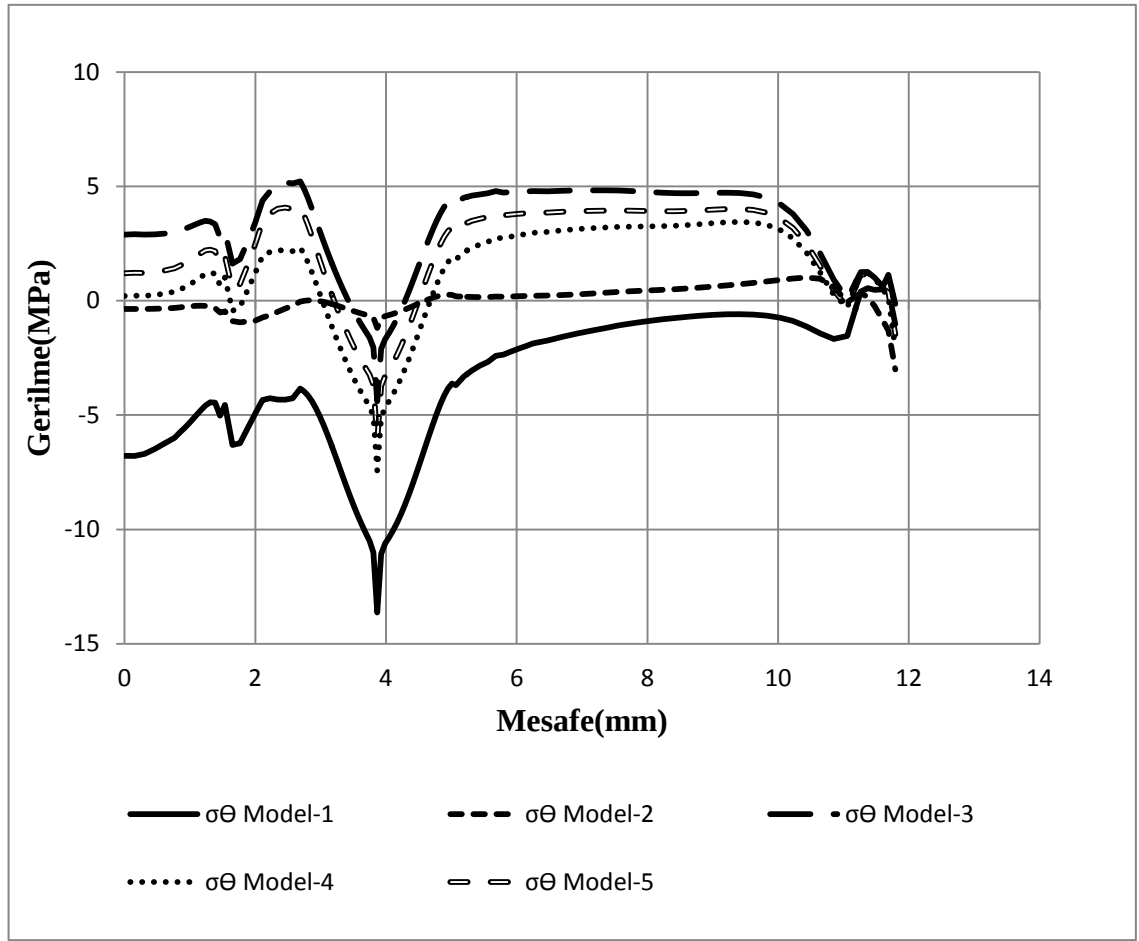
Şekil 4.26. Modellerin ARY1'de σ_θ değişimi

Şekil 4.27, modeller arasında σ_θ 'ların Model-3, Model-4 ve Model-5'de belirgin değişimlere sahip olduğunu göstermektedir. En büyük değerler Model-3'de görmesine rağmen Model-4 ve Model-5'de de yakın değişimlerle karşılaşılmaktadır.

σ_θ 'nın ARY3'deki değişim eğrileri Şekil 4.28'de yer almaktadır. Model-1'de eksi bölgedeki en büyük değer dikkat çekmektedir.

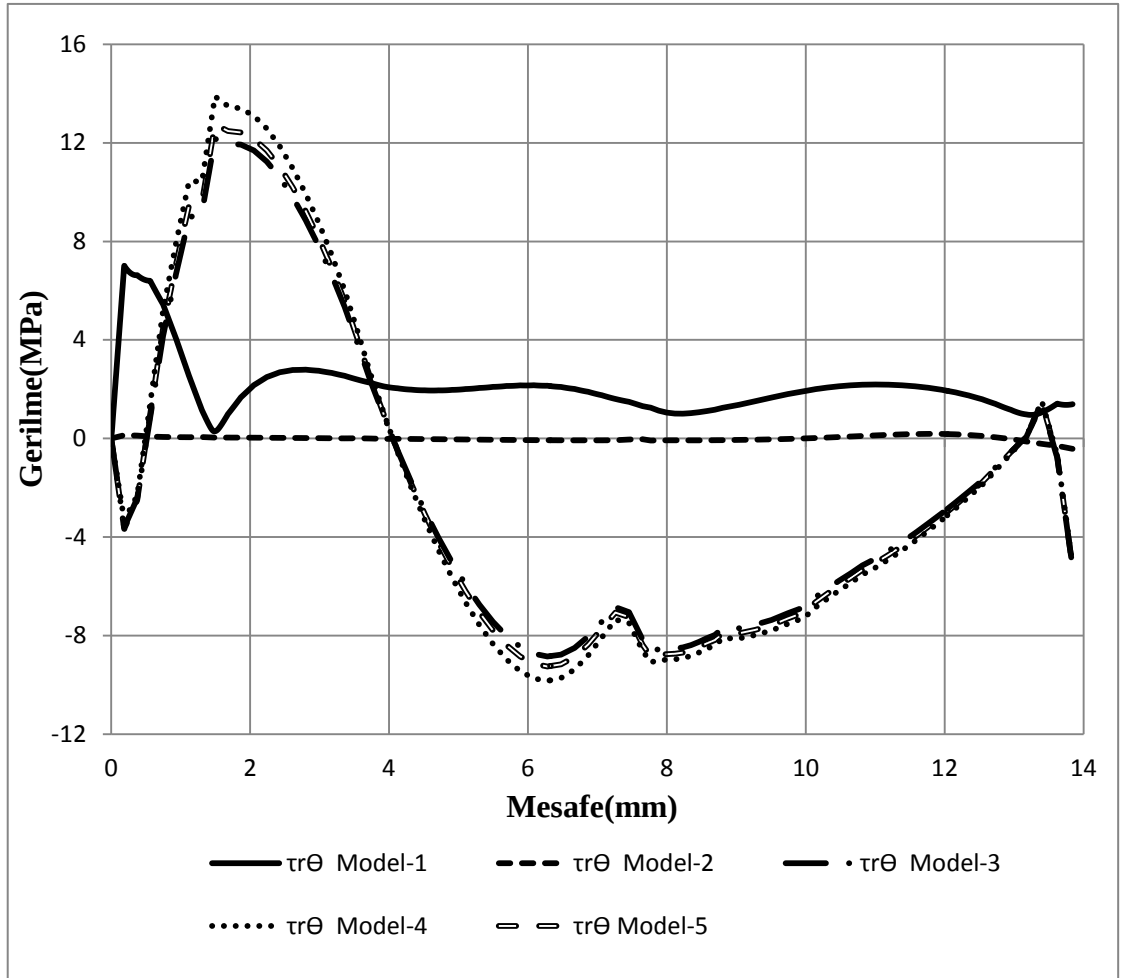


Şekil 4.27. Modellerin ARY 2’de σ_θ değişimi



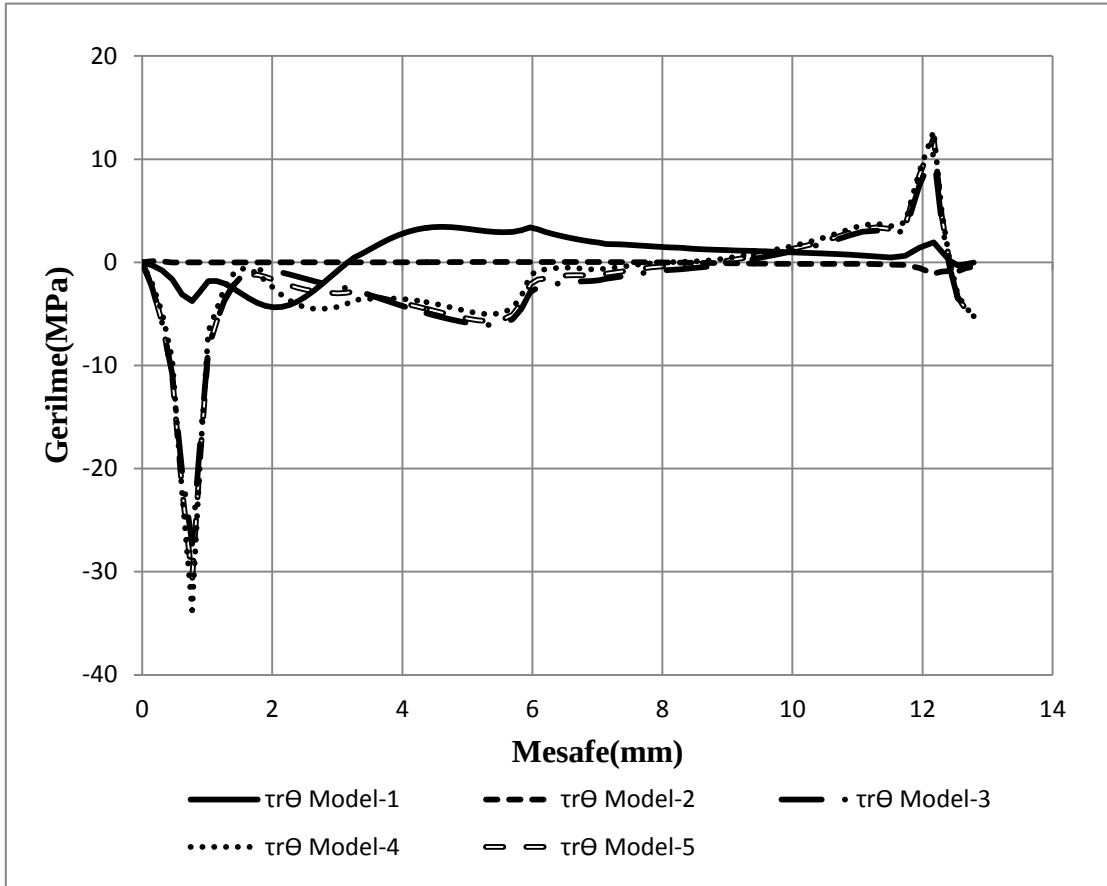
Şekil 4.28. Modellerin ARY3’de σ_θ değişimi

τ_{θ} ’ların modellerdeki hatler boyunca değişimleri Şekil 4.29-4.32’de yer almıştır. ÜSTY’deki belirgin değişim Model-3, Model-4 ve Model-5’de hat boyunca artı-eksi bölgede bulunmaktadır. Değerler yine bu modellerde yine birbirine çok yakındır.



Şekil 4.29. Modellerin ÜSTY’de $\tau_{r\theta}$ değişimi

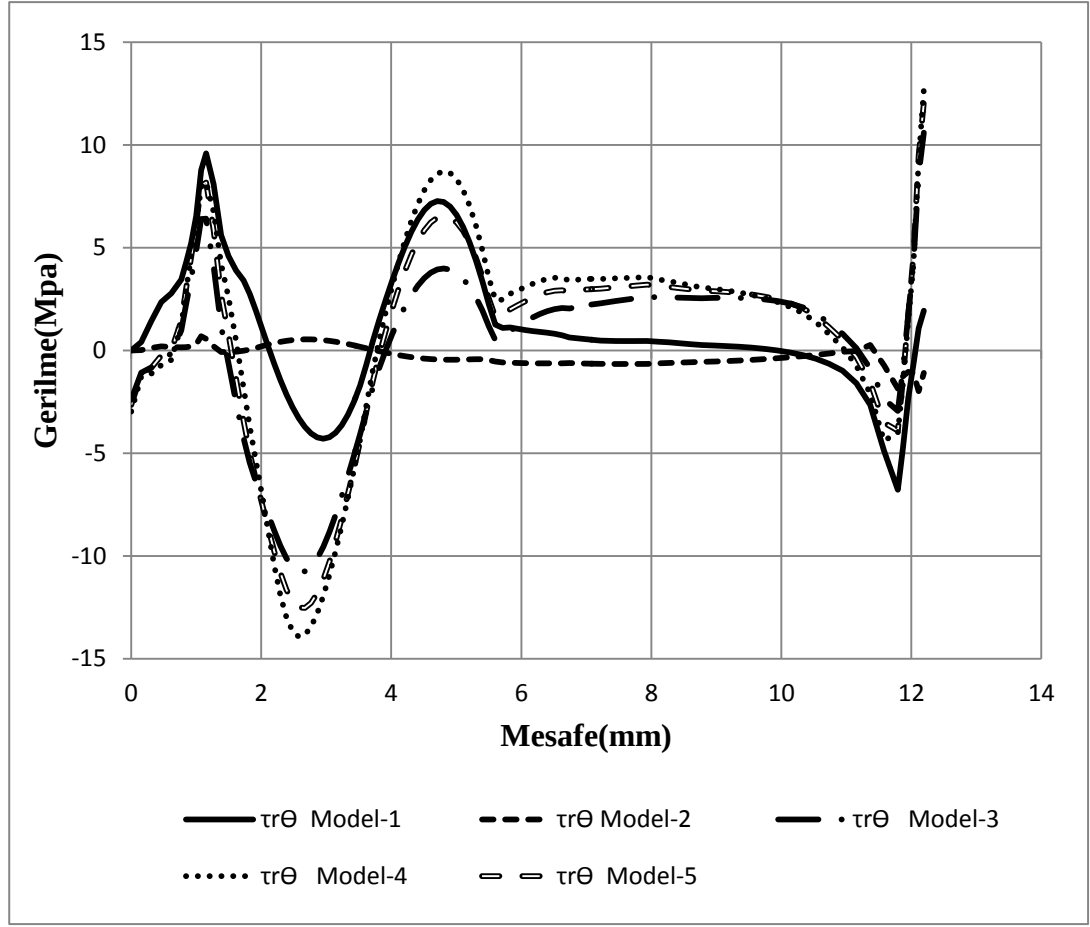
Şekil 4.30, ARY1’deki değişim için verilmiştir. Model-3, Model-4 ve Model-5’de yine göze çarpan değişim vardır. Bu değişim özellikle hattın başlangıç ve sonunda görülmesine rağmen, hattın simetri eksenine yakın aralığında daha büyük değerlerdedir. En büyük değer Model-4’de ortaya çıkmaktadır.



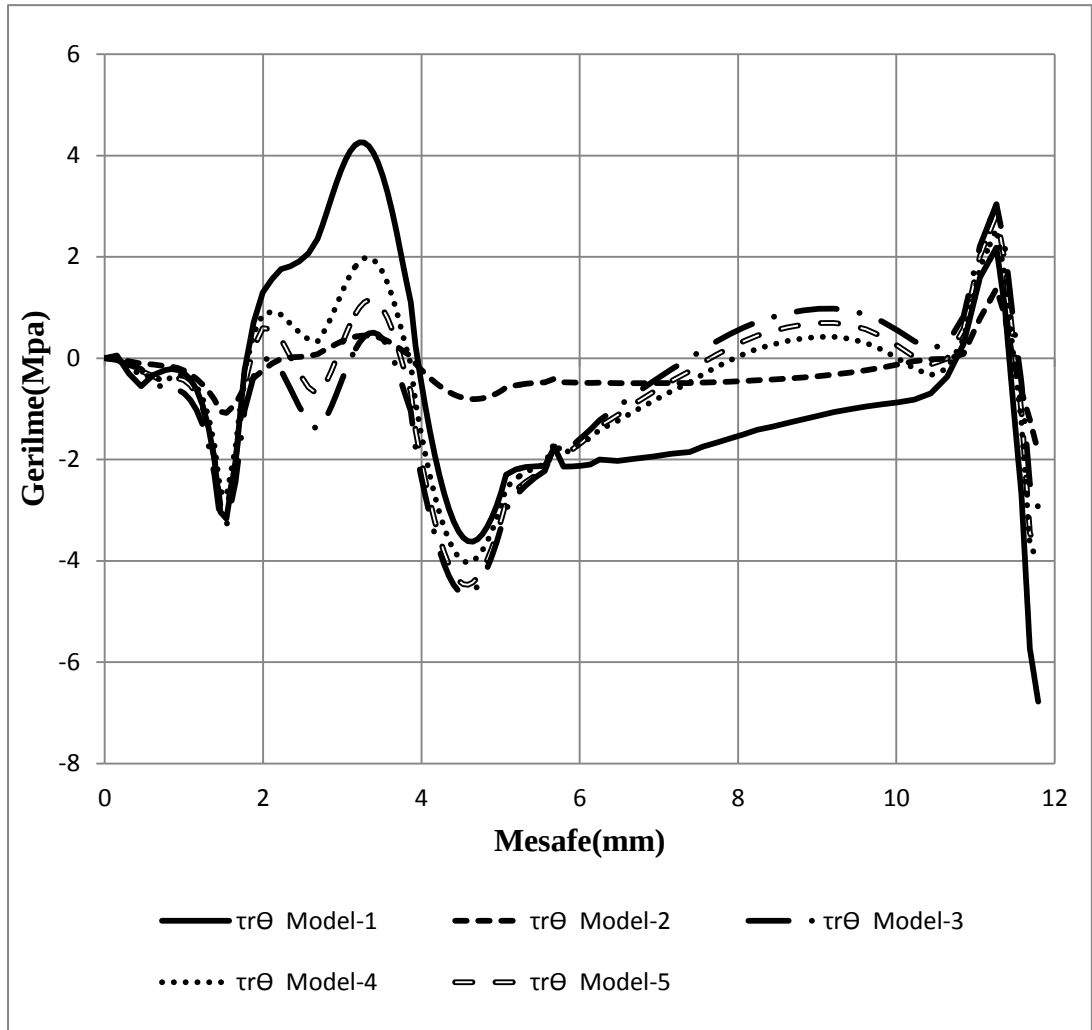
Şekil 4.30. Modellerin ARY1’de τ_{θ} değişimi

Şekil 4.31. incelendiğinde, τ_{θ} ’lar ARY2’de Model-3, Model-4, Model5’de büyük dalgalanmaya sahip olduğu görülmektedir. En büyük değer Model-4’de eksi bölgede bulunmaktadır. Ancak Model-3 ve Model-5 yakın değerlere ulaşmaktadır.

Şekil 4.32. τ_{θ} ’ların durumunu ARY3’de göstermektedir. Model-1, hat boyunca genellikle en belirgin değişimi göstermektedir.

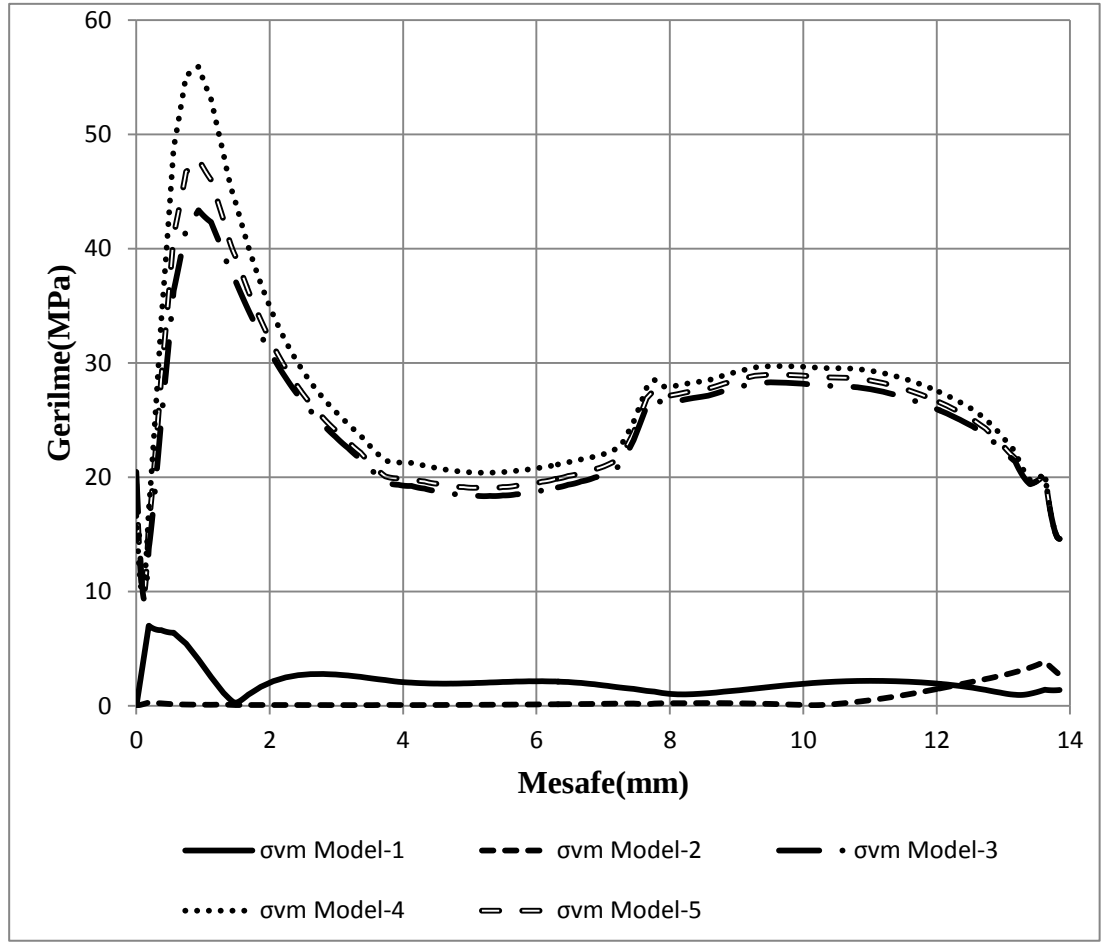


Şekil 4.31. Modellerin ARY2’de τ_{θ} değişimi



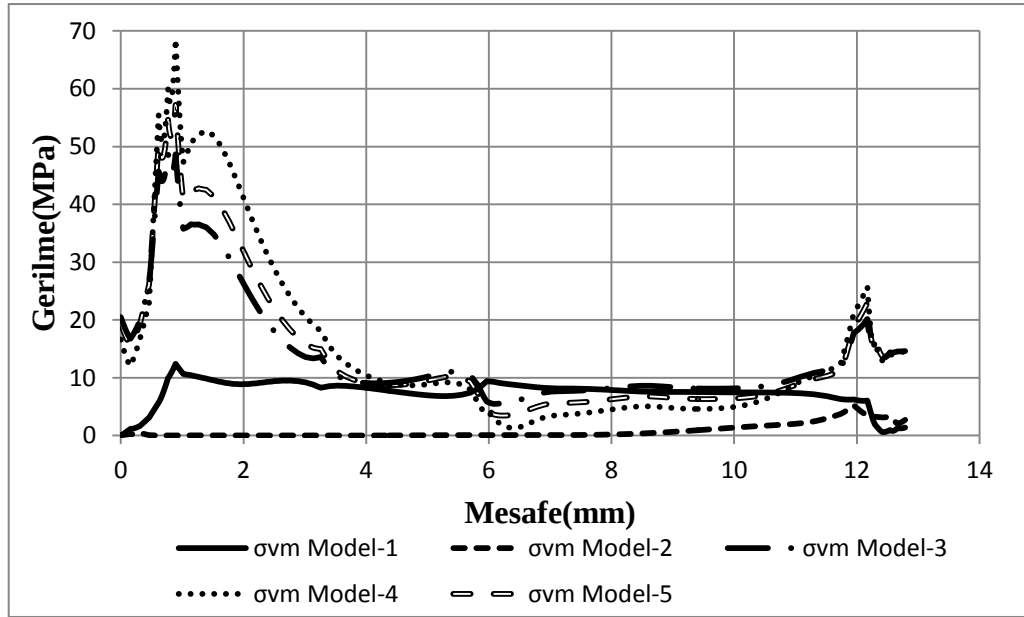
Şekil 4.32. Modellerin ARY3’de $\tau_{r\theta}$ değişimi

σ_{vm} gerilmeleri Şekil 4.23-4.26’da verilmiştir. ÜSTY’deki değişimlerin bulunduğu Şekil 4.23, Model-3, Model-4 ve Model-5’in en büyük değerlere sahip olduğu ve bunun da simetri eksenine yakınında olduğunu göstermektedir. Ancak en büyük değer Model-4’de ortaya çıkmaktadır.

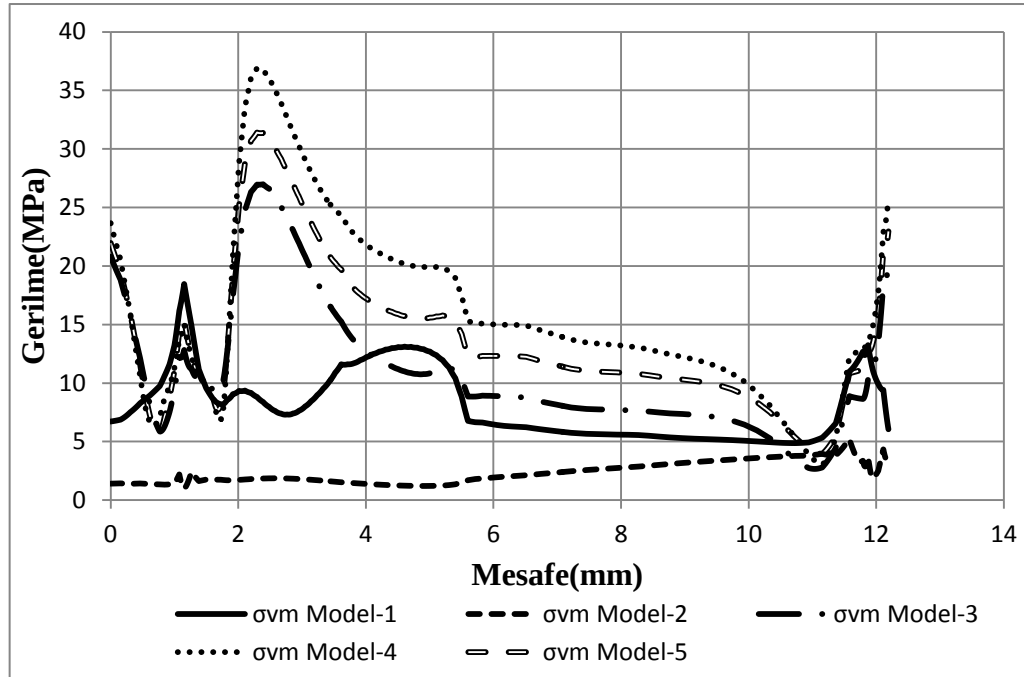


Şekil 4.33. Modellerin ÜSTY’de σ_{vm} değişimi

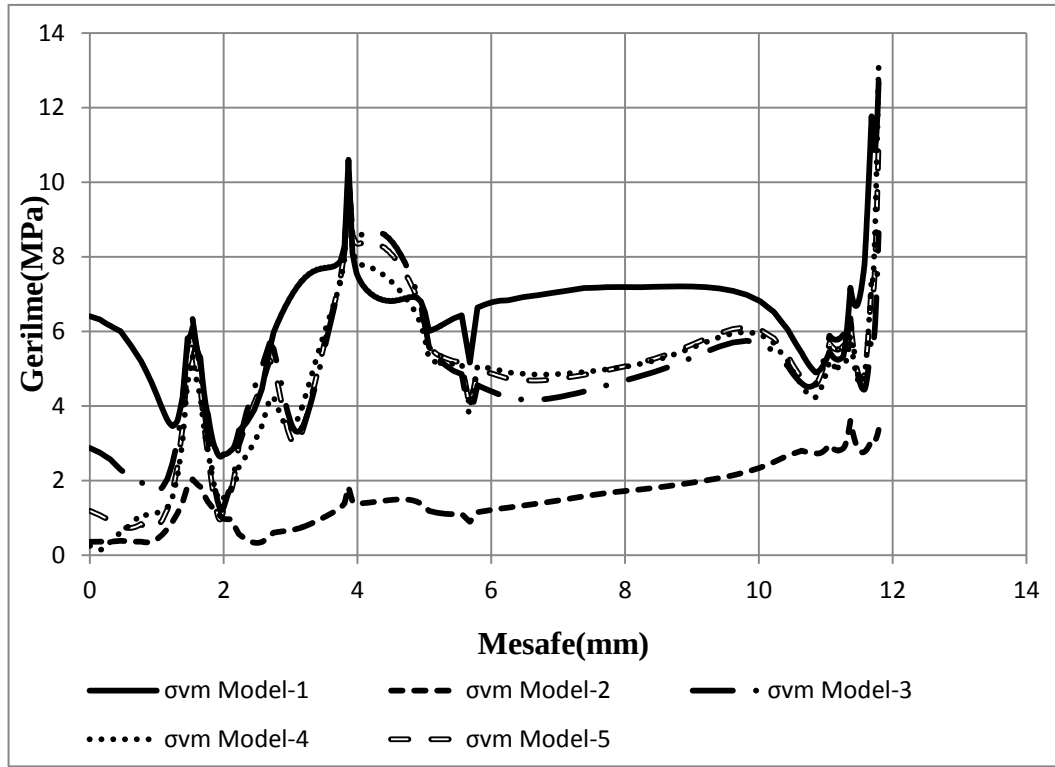
ARY 2’de de benzer durum vardır. Ancak Model-4’de en büyük değer ARY 1’de ÜSTY’den daha büyüktür. Bu durum ARY2’de de eksenden biraz daha uzak bölgede gerçekleşmektedir. ARY3’deki durumun biraz daha karmaşık olduğu Şekil 4.26’da görülmektedir. Burada da Model-1’deki değişimin daha baskın olarak ortaya çıktığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.34. Modellerin ARY1’de σ_{vm} değişimi



Şekil 4.35. Modellerin ARY2’de σ_{vm} değişimi



Şekil 4.36. Modellerin ARY3’de σ_{vm} değişimi

Tüm modellerde hatların sonlarındaki değişimler özellikle ARY 3’ün de geometrik tasarımlarla dikkate alınmalıdır.

Tüm modellerin incelenen hatlarının sonlarındaki gerilme değerlerinde ani değişimler ortaya çıkmaktadır(Şekil 4.24, 4.31, 4.32, 4.35, 4.36)

Model-1 ve Model-2’nin aynı koşullarda daha düşük gerilme değerleri vermesi, buna karşılık Model-3, Model-4 ve Model-5’in daha yüksek gerilme değerlerine ulaşması ara yüzeylerde bölge değiştiren kısımların elastiklik modüllerinin arasındaki farktan kaynaklandığı söylenebilir. Çizelge 3.1-3.3’deki malzeme özellikleri ve arayüzey geçişleri incelendiğinde bu durum görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Model geometrisinin sabit kaldığı 3 ara yüzeyden oluşan kaplama yapılmış dışın arayüzeylerinde üretimden gelebilecek hataların olmadığı ve tutunmanın mükemmel olduğu varsayılmıştır. Bu şartlar termal yük altında gerilme dağılımı incelenmiştir. Yapılan bilgisayar deneylerine göre elde edilen sonuçlardan Modeller kendi içlerinde değerlendirildiğinde;

(i). Model-1'de σ_r , σ_θ ve $\tau_{r\theta}$ gerilmelerinin bir arada değerlendirilmesi, ARY1 ve ARY2'de ayrılma ve/veya çatlak oluşum ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir. σ_{vm} 'lerinden de bu durumun ARY2'de diğer hatlara göre daha baskın olduğunu görülmektedir (Şekil 4.4). Kaplama bölgelerinin dışın yanal yüzeyindeki bitiş kısımlarındaki gerilmelerin ani artı ve eksi yükselmeleri bu bölgelerdeki hasar ihtimalinin de çok yüksek olduğunu gösterir.

(ii). Model-2'de σ_r , σ_θ ve $\tau_{r\theta}$ 'lar düşük değerlerde ve az salınım yapmaktadırlar. σ_{vm} 'lerin (Şekil 4.6) kaplama bölgelerinin dışın yanal yüzeyindeki kısımlarında hem mutlak değerce artması hem de salınması hasar oluşumu açısından bu bölgenin dikkate alınması gereğine işaret etmektedir.

(iii). Model-3 için kritik durumun ARY1 ve ARY2'de ve dışın simetri eksenine yakın bölgelerinde ortaya çıkmaktadır. Gerilmelerin şiddetinin oldukça yüksek olduğu bu modelde, σ_{vm} eğrileri (Şekil 4.12) çatlak ve/veya ayrılma ihtimalini netleştirmektedir.

(iv). Model-4'ün gerilme durumundan belirgin değişimlerin simetri eksenine yakın bölgelerde olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.13-4.15). σ_{vm} gerilmeleri (Şekil 4.16), ÜSTY ve ARY1'in hasar açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Gerilmelerin Şiddetinin çok büyük değerlere ulaştığı bu da hasar ihtimalinin çok yüksek olabileceğini göstermektedir.

(v). Model-5, Model-4 ile benzer davranış göstermektedir. Bu modelde de gerilmelerin şiddeti yüksektir. Ancak göreceli olarak düşüktür.

Gerilmelerin şiddet açısından Model-4’de hasar oluşum (arayüzeyde ayrılma ve çatlak oluşumu) ihtimali daha yüksektir. Bunu Model-5, Model-3, Model-1, Model-2 takip etmektedir.

Şekil 4.21-4.36’da verilen farklı Modellerin (Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5) aynı hatları boyunca (ÜSTY, ARY1, ARY2 ve ARY3) aynı cins gerilme değişimlerinden hasar ihtimalinin yüksek olacağı Şekil 4.21-4.24’de verilen σ_r eğrilerindeki gerilmelerin şiddetinden görülmektedir. Model-3, Model-4, Model5’de ARY1 ve ARY2’de hasar oluşabileceği görülmektedir.

σ_θ eğrilerinden (Şekil 4.25-4.28) hasar ihtimali yine Model-3, Model-4, Model-5’de ARY1 ve ARY2’de (Şekil 4.26-4.27) yüksek olduğu belirgindir.

$\tau_{r\theta}$ gerilmeleri (Şekil 4.29-4.32) Model-3, Model-4, ve Model-5’in ÜSTY ve ARY2’nin(Şekil 4.29, 4.31) hasar ihtimali açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Tüm bu değerlendirmelerin toplu sonucu olarak Şekil 4.33-4.36’daki σ_{vm} eğrilerinden özellikle sırasıyla Model4, Model5 ve Model3’ün sırasıyla ARY1, ÜSTY, ARY2 ve ARY3’deki hasar ihtimalinin yüksek olduğunu görmekteyiz.

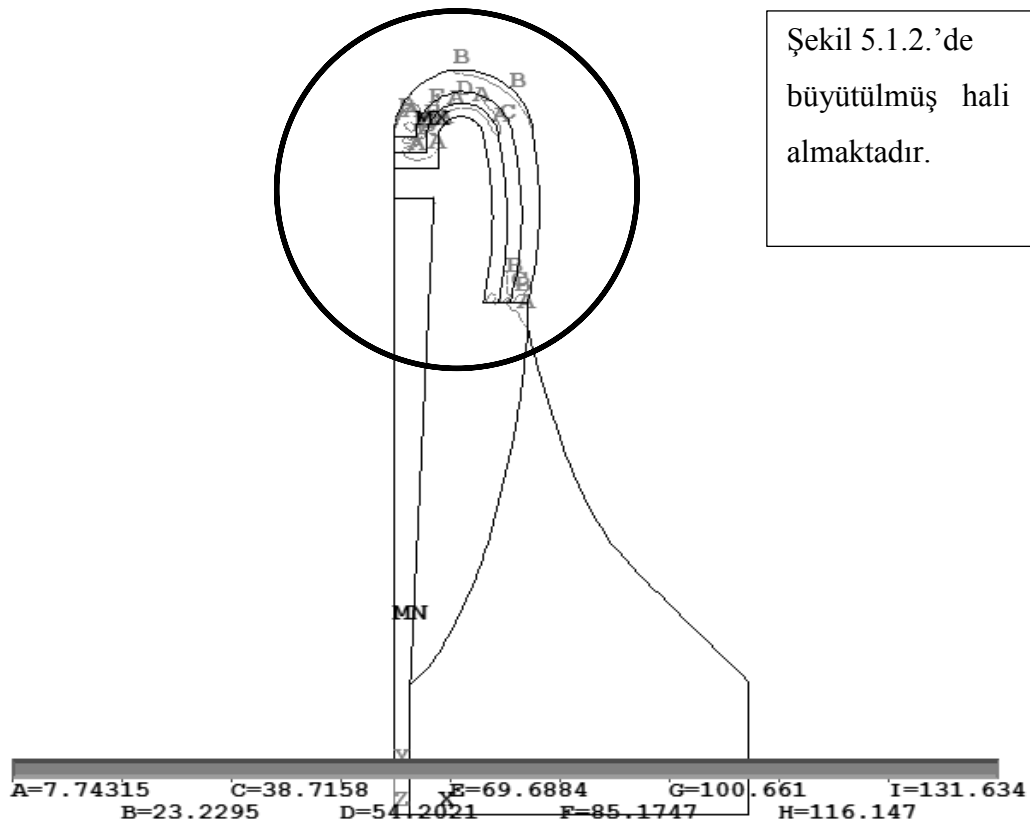
Model1 ve Model-2’nin şeritler altında daha güvenli olduğu görülmektedir.

Kaplamaların dışın yanal yüzeyindeki bitiş kısımlarındaki gerilme artışları tasarımın geometrisinde yapılacak değişimlerle kontrol edilebilir.

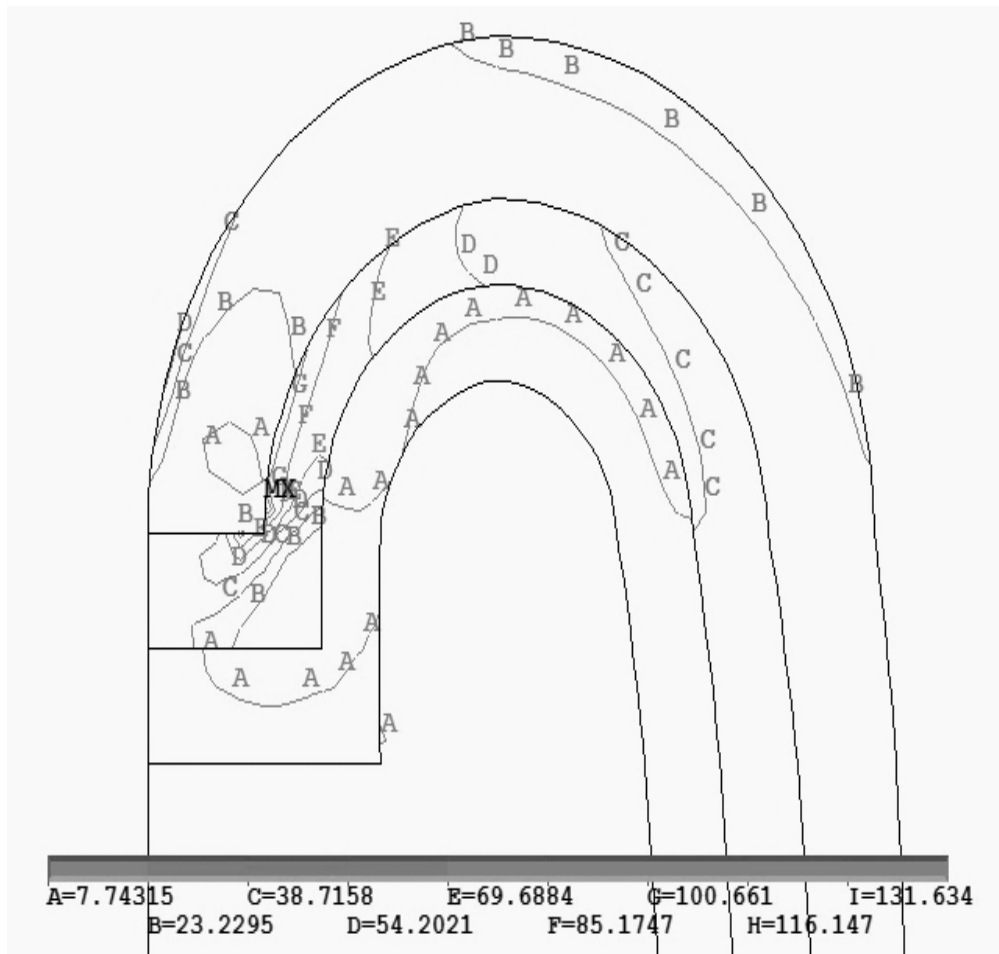
Arayüzeylerin iki tarafındaki bölgelerdeki malzemelerin elastiklik modülü değerlerindeki farkın büyük olduğu model ve ara yüzeylerde gerilme değerlerinde

yükselme görülmektedir. Termal genleşme katsayısının sonuçlar üzerinde daha az etkisi olduğu da söylenebilir.

Model-4'ün σ_{vm} gerilmelerinin kaplamalı dışın geometrisi üzerinde bütünsel gösterimi Şekil 5.1.a.'de yer almaktadır. Grafiklerdeki kritik bölgeler burada daha açıkça görülmektedir. (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Model-4'deki σ_{vm} gerilmeleri



Şekil 5.2. Şekil 5.1'in büyütülmüş hali

KAYNAKLAR

- Albers, H.F., 2002. Tooth-Colored Restoratives, Principles and Techniques, ninth edition. B.C. Decker Inc. 304 s, Hamilton-London.
- Ana PA, Blay A, Miyakawa W, Zezell DM., 2007. Thermal analysis of teeth irradiated with Er,Cr YSGG at low fluences. *Laser Phys Lett*.
- Arabacı, Z., 2003. İnsan Ağı Dışında Değişik Kaplamaların Gerilmeler Üzerindeki Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mak. Müh. Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı, İzmir.
- ASH, M.M., 1984. Wheeler's Atlas of Tooth Form, 5th edn, p. 45.W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- ASTM E1876-01, Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2006.
- Ausiello P, De Gee AJ, Rengo S, Davidson CL., 2003. Fracture resistance of endodontically treated premolars adhesively restored. *American Journal of Dentistry*.
- Aversa, R., Apicella, D., Perillo, L., Sorrentino, R., Zarone, F., Ferrari, M., Apicella, A., 2009. Non-linear elastic three-dimensional finite element analysis on the effect of endocrown material rigidity on alveolar bone remodeling process. *Dental Materials* 25, 678–690.
- AYKUL, H., TOPARLI, M. & DALKIZ, M., 2002. A calculation of stress distribution in metal-porcelain crowns by using three-dimensional finite element method. *Journal of Oral Rehabilitation*, 29, 381.
- Baydaş, S., 2005. Kuron-Köprü Protezleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
- Bonsor SJ, Nichol R, Reid TM, Pearson GJ ., 2006. Microbiological evaluation of photo-activated disinfection in endodontics (an in vivo study). *Br Dent J*. 25.
- Brown WS, Dewey WA, Jacobs HR., 1970. Thermal properties of teeth. *Journal of Dental Research*;49:752–5.
- Coelho PG, Bonfante EA, Silva NR, Rekow ED, Thompson VP., 2009. Laboratory simulation of Y-TZP all-ceramic crown clinical failures.
- Coelho PG, Silva NR, Bonfante EA, Guess PC, Rekow ED, Thompson VP., 2009. Fatigue testing of two porcelain-zirconia all-ceramic crown systems.
- Daronch M, Rueggeberg FA, Hall G, De Goes MF., 2007. Effect of composite temperature on in vitro intrapulpal temperature rise. *Dent Mater*.
- Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F., 2005 Clinical evaluation of reinforced epoxy resin posts and cast post and cores.
- Ferreira RAN, Lopes JAM., 2007. Implementation of a fuel pellets density and open porosity measurement system by the xylol penetration-immersion method at CDTN. INAC 2007, International Nuclear Atlantic Conference.
- Georgiopoulos B, Kalioras K, Provatidis C, Manda M, Koidis P., 2007. The effects of implant length and diameter prior to and after osseointegration: a 2-D finite element analysis.

- GÜLER, M., 2007. İnsan Dişi Kaplamalarında Kullanılan Farklı Özelliklerdeki Yapıştırıcıların Gerilme Dağılımına Etkilerin Sonlu Elementler Yöntemi İle İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993;24:517-21.
- J Borcic, I. Anic, I. Smojver, A. Catic, I. Miletic, S. Pezelj., 2005. 3D finite element model and cervical lesion formation in normal occlusion and in malocclusion, *J. Oral Rehabil.*
- J. Borcic, I. Anic, M.M. Urek, S. Ferreri., 2004. The prevalence of noncarious cervical lesions in permanent dentition, *J. Oral Rehabil.*
- Js. Rees., 2007. The effect of the occlusal loading on the development of abfraction lesions: a finite element study, *J. Oral Rehabil.*
- Lanning, D.B., Nicholas, T., 2007. Constant-life diagram modified for notch plasticity. *International Journal of Fatigue* 29, 2163–2169.
- M. Tanaka, T. Naito, M. Yokota, M. Kohno., 2003. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force, *J. Oral Rehabil.*
- Malament KA, Socransky SS., 2003. Survival of Dicor glass–ceramic dental restorations over 14 years. Part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender, and age.
- Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr., 1993. Effects of curing tip distance on the light
- Proos KA, Swain MV, Ironside J, Steven GP., 2008. Influence of core thickness on a restored crown of a first premolar using finite element analysis.
- Raigrodski, A.J., 2004. Contemporary All-Ceramic Fixed Partial Dentures. A review. *Dent. Clin.* 48: 531 544.
- Rekow, E.D., Harsono M., Janal M., Thompson, V.P. and Zhang, G., 2006. Factorial Analysis of Variables Influencing Stress in All-Ceramic Crowns. *Dental Materials*, V22, n2, P 125-132.
- Schmidseder, J., 2000. *Color Atlas of Dental Medicine Aesthetic Dentistry*. Thieme, 307 s, Stuttgart. New York.
- TOPARLI, M., GOKAY, N. & AKSOY, T., 1999. Analysis of a restored maxillary second premolar tooth by using three-dimensional finite element method. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26, 157.
- Uhl A, Volpel A, Sigusch BW., 2006. Influence of heat from light curing units and dental composite polymerization on cells in vitro. *J Dent.*
- V. Imbeni, J.J. Kruzic, G.W. Marshall, S.J. Marshall, R.O. Ritchie., 2005. The dentin–enamel junction and the fracture of human teeth, *Nat. Mater.*
- VALLITTU, P.K., LASSILLA, V.P. & LAPPALAINEN, R., 1994. Transverse strength and fatigue of denture acrylic-glass fibre composite. *Dental Materials*, 10, 116.
- Van Noort R, Cardew GE, Howard IC., 1998. A study of the interfacial shear and tensile stresses in a restored molar tooth. *J Dent*
- Weller RN, Koch KA., 2005. In vitro radicular temperatures produced by injectable thermoplasticized gutta-percha. *Int Endod J.*
- Weller RN, Koch KA., 2007. In vitro radicular temperatures produced by injectable thermoplasticized gutta-percha.

Yeh CJ.,2008 Fatigue root fracture: a spontaneous root fracture in non-endodontically treated teeth.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İran’da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Khoy’da tamamladı. 2006 yılında girdiği İslami Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.