

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK BİLİM DALI**

**PİEZO ELEKTRİKSEL ETKİ İLE ZORLANAN DOKUNMATİK
EKRANLARIN TASARIMI VE TİTREŞİM ANALİZİ**

Ahmet Fatih AK

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi GÖZDE SARI**



MANİSA-2019

Ahmet Faah AK

PIEZO ELEKTRIKSEL ETKİ İLE ZORLANAN DOKUNMATİK EKРАНLARIN TASARIMI VE
TİTREŞİM ANALİZİ

2019

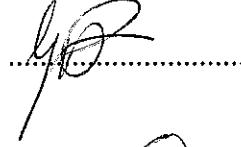
TEZ ONAYI

Ahmet Fatih AK tarafından hazırlanan “Piezo Elektriksel Etki İle Zorlanan Dokunmatik Ekranların Tasarımı ve Titreşim Analizi” adlı tez çalışması 02/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Gözde SARI

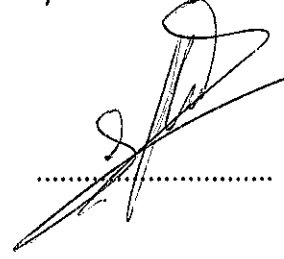
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Saim KURAL

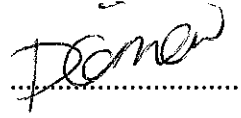
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Duygu ATCI

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ahmet Fatih AK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Motivasyon	5
1.2. Tezin Sanayiye ve Literatüre Katkıları	7
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1. Dokunsal Geri Bildirim Teknolojisi	10
2.2. Dokunmatik Ekranların Çalışma Prensipleri	11
2.3. Dokunmatik Geri Bildirim Titreşim Fonksiyonu ile Sağlanması	13
2.4. Dokunsal Geri Bildirim Teknolojisinde Piezoelektriksel Malzeme Etkisinin Kullanımı.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Dokunmatik Ekranların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz Edilmesi	17
3.1.1. Dokunmatik Ekranların Doğal Frekans Analizi	17
3.1.2. Piezoelektriksel Etki ile Titreşim Yapan Dokunmatik Ekranların Harmonik Analizi	19
3.1.2.1. Dokunmatik Ekranların Analiz Senaryoları ve Sınır Koşulları	20
3.1.2.2. Sonlu Elemanlar Modeli ile Sistemin Modellenmesi.....	23
3.2. Piezo Zorlayıcı Alanının Dokunmatik Ekran Titreşimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	24
3.3. Piezo Zorlayıcı Konumunun Dokunmatik Ekran Titreşimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	25
3.4. Dokunmatik Ekranların Deneysel Olarak Analiz Edilmesi	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	29
4.1. Dokunmatik Ekranın Simülasyon Sonuçları	29
4.1.1. Dokunmatik Ekranların Doğal Frekans ve Mod Şekilleri	29
4.1.2. Harmonik Analiz Sonuçları.....	35
4.2. Piezo Zorlayıcının Boyutu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerin Harmonik Analiz Sonuçları.....	51

4.3. Piezo Zorlayıcının Konumu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerin Harmonik Analiz Sonuçları	54
4.4. Dokunmatik Ekranın Frekans Genliklerinin Deneysel Sonuçları	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
ZGEMİş	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

GPa	Giga Pascal
MPa	Mega Pascal
g	Gram
cm	Santimetre
PZT5A	Piezo malzeme alaşımı
PZT5H	Piezo malzeme alaşımı
N	Newton
°C	Santigrat
V	Volt
Hz	Hertz
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
t	Zaman
µm	Mikro metre
fn	Doğal Frekans
E	Elastisite Modülü
ρ	Yoğunluk
h	Plaka Kalınlığı
μ	Poisson Oranı
g	Yer Çekimi
v	Malzeme Yoğunluğu
a	Plaka Uzunluğu
b	Plaka Genişliği
w	Plakanın Toplam Ağırlığı
Ω	Dairesel Frekans

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tez Çalışmasının Akış Diyagramı	6
Şekil 2.1. Tüm Ekranı Uygulanan Titreşim Fonksiyonu (a) ve Bölgesel Olarak Uygulanan Titreşim Fonksiyonu (b)	10
Şekil 2.2. Örnek Bir Dokunmatik Ekran Gösterimi	11
Şekil 2.3. Örnek Bir Rezistif Dokunmatik Panelin Bölümleri	12
Şekil 2.4. Örnek Bir Kapasitif Dokunmatik Panelin Uygulamada Kullanım Görüntüsü	13
Şekil 2.5. Eksantrik Döner Kütleli Titreşim Motoru	14
Şekil 2.6. Lineer Rezonatör Titreşim Motoru	14
Şekil 2.7. Piezoelektrik Malzemenin Çalışma Şekli	15
Şekil 2.8. Piezoelektrik Zorlayıcı Örnekleri	16
Şekil 3.1. Dokunmatik Geri Bildirim Sağlayan Bir Düzenek.....	17
Şekil 3.2. Simülasyon için Ekranın Üç Boyutlu Modeli ve Sonlu Elemanlar Sayısal Ağı.....	18
Şekil 3.3. Ekran ve Üzerine Yerleştirilen Piezo Zorlayıcıların Üç Boyutlu Modeli .	19
Şekil 3.4. Piezo Zorlayıcıların Dokunmatik Ekran Üzerindeki Yerleşim Düzenleri .	21
Şekil 3.5. Sistemin Modellenmesi ve Genel Görünümü.....	22
Şekil 3.6. Simülasyon Modeli için Malzemelerin Tanımlandığı Bölüm	24
Şekil 3.7. Parametre Çalışması için Kullanılan Sonlu Eleman Boyutları ve Genlik Değerleri.....	24
Şekil 3.8. Piezo Zorlayıcı için Örnek bir Boyut Ölçülendirme.....	25
Şekil 3.9. Farklı Boyut Özelliklerine Sahip Piezo Zorlayıcı Yerleştirilen Dokunmatik Ekran Modelleri	25
Şekil 3.10. Piezo Zorlayıcının Farklı Konumlara Yerleştirilmesi ile Elde Edilen Dokunmatik Ekran Modelleri	26
Şekil 3.11. Kapasitif Ekranın Mod Yapılarını Belirleyen Deneysel Düzenek.....	27
Şekil 3.12. Sekiz Adet Piezo Yerleştirilmiş Kapasitif Ekran Görüntüsü.....	28
Şekil 3.13. Kapasitif Ekran Görüntüsü ve Ölçüm Alınan Noktaların Gösterimi.....	28
Şekil 4.1. Gorilla Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli	32
Şekil 4.2. Gorilla Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli	32
Şekil 4.3. Gorilla Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli	32
Şekil 4.4. Quartz Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli.....	33
Şekil 4.5. Quartz Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli.....	33
Şekil 4.6. Quartz Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli.....	33

Şekil 4.7. Safir Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli	34
Şekil 4.8. Safir Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli	34
Şekil 4.9. Safir Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli	34
Şekil 4.10. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	36
Şekil 4.11. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	36
Şekil 4.12. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	37
Şekil 4.13. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	37
Şekil 4.14. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	37
Şekil 4.15. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	38
Şekil 4.16. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	38
Şekil 4.17. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	38
Şekil 4.18. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	39
Şekil 4.19. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	39
Şekil 4.20. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	39
Şekil 4.21. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	40
Şekil 4.22. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	40
Şekil 4.23. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	40
Şekil 4.24. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	41
Şekil 4.25. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	41
Şekil 4.26. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	41
Şekil 4.27. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	42

Şekil 4.28. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	42
Şekil 4.29. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	42
Şekil 4.30. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	43
Şekil 4.31. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	43
Şekil 4.32. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	43
Şekil 4.33. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	44
Şekil 4.34. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	44
Şekil 4.35. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	44
Şekil 4.36. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	45
Şekil 4.37. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	45
Şekil 4.38. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	45
Şekil 4.39. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)	46
Şekil 4.40. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A).....	46
Şekil 4.41. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	46
Şekil 4.42. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)	47
Şekil 4.43. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları-Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	48
Şekil 4.44. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları- Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	49
Şekil 4.45. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları-Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	50

Şekil 4.46. G modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	52
Şekil 4.47. H modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	52
Şekil 4.48. I modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	53
Şekil 4.49. L modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	53
Şekil 4.50. J modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	55
Şekil 4.51. K modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H).....	55
Şekil 4.52. Sekiz piezo giriş birlikte çalıştırıldığında kapasitif ekrandaki mod yapısı (yüzey görünümü (üstte), üstten görünüm (altta)) (150 V _{pp} , 150 Hz)	57

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Kapasitif Ekranın Malzeme Özellikleri	18
Tablo 3.2. Piezo Elektriksel Malzemelerin Özellikleri.....	22
Tablo 4.1. Farklı Malzeme Özelliklere Sahip Dokunmatik Ekranların Doğal Frekansları.....	30
Tablo 4.2. Gorilla Cam Malzeme için Ekranın Enine Mod Şekilleri ve Kütle Katılım Oranları	31
Tablo 4.3. Harmonik Analizlerin Sonucunda Ortaya Çıkan Maksimum Genlik Değerleri.....	51
Tablo 4.4. Piezo Zorlayıcının Boyutu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerinin Maksimum Genlik Değerleri.....	54
Tablo 4.5. Piezo Zorlayıcının Konumu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerinin Genlik Değerleri.....	56

TEŞEKKÜR

Projenin yürütülmesi için DanıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Gzde SARI'nın yrttėđ "Elektronik Cihazlarda Titreşim Oluşturulması ve Analizi" isimli projesine yaptđđı çalışmalara Őahsımı dahil ettiėđi için Gzde Sarı Hocama ve projeye verdikleri desteklerden dolayı "Bilimsel Araştırma Projeleri" birimine teşekkür ederim.

Bana maddi manevi destek olan annem Remziye AK, babam Ramazan AK, ağabeyim Ömer Faruk AK, yengem Ezgi AKIRAK ve eŐim Lesia MOSTIPANAK'a teşekkür ederim.

Çalışma hayatım devam ederken benim yüksek lisans yapmamda önümü aan Polat Makine A.Ő ve Ar-Ge müdürümüz İlker YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Numesys Mühendislik bünyesinde çalışan arkadaŐım Ahmet Alper Akış'a yaptđđım çalışmalarda bana destek olduėđu için teşekkür ederim.

Ahmet Fatih AK

Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PIEZO ELEKTRİKSEL ETKİ İLE ZORLANAN DOKUNMATİK EKRANLARIN TASARIMI VE TİTREŞİM ANALİZİ

Ahmet Fatih AK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Güzde SARI

Elektronik cihazlar üzerindeki dokunmatik ekranlarda genellikle görsel ve işitsel geri bildirimler kullanılmaktadır. Bu cihazlar, gürültülü ve dikkat dağıtıcı ortamlarda kullanıldığı zaman çoğunlukla mevcut geri bildirim yöntemleri yetersiz kalmakta ve cihazın kullanılabilirliği ciddi derecede azalmaktadır. Bu nedenle yeni bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dokunmatik ekranlara hareket verilerek parmak uçlarındaki sinirlerin uyarılması ile oluşturulan dokunsal geri bildirimler son zamanlarda bu sektörde önem kazanmaya başlayan konulardan birisidir. Dokunmatik geri bildirim düzeneği için zorlayıcı olarak piezo zorlayıcılar kullanılmaktadır. Piezo zorlayıcılar malzeme özellikleri gereği üzerlerine gerilim uygulandığında şekil değiştirmektedirler. Eğer bu zorlama sinüzoidal ise bu aktivasyon ile bağlı oldukları eleman olan ekranda da titreşim meydana gelmektedir. Piezo zorlayıcılara mekanik çalışma sınırları içerisinde tüm titreşim fonksiyonları uygulanabilmektedir. Böylelikle kalp atışı, patlama sesi gibi her çeşit titreşim fonksiyonu dokunmatik ekran üzerinde oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada sektörde kullanılan farklı tasarım parametrelerine sahip ekran camlarının titreşim mod yapıları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik analizler sonlu elemanlar yöntemini temel alan ANSYS programında yapılmıştır. Nümerik analizlerde piezo zorlayıcıların malzeme ve elektriksel özellikleri dikkate alınmaktadır. Ekran üzerinde en iyi titreşim fonksiyonunu üretebilmek için farklı piezo eleman sayısı ve farklı piezo yerleşimleri için analizler yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile nümerik analizler uyumludur.

Anahtar Kelimeler: Dokunsal geri bildirim, piezoelektrik zorlayıcılar, elektronik aletler, titreşim analizi, sonlu elemanlar analizi.

2019, 65 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE DESIGN AND VIBRATION ANALYSIS OF TOUCH SCREENS FORCED BY PIEZO ELECTRICAL EFFECT

Ahmet Fatih AK

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assis. Prof. Gözde SARI

Audiovisual feedback is usually used on touch screens on electronic devices. When these devices are used in noisy and distracting environments, existing feedback methods are often inadequate and the usability of the device is severely degraded. For this reason, new technology is needed. Tactile feedback generated by stimulating the nerves at the fingertips by acting on the touchscreens is one of the issues that have recently gained importance in this sector. Piezo actuators are used for the tactile feedback mechanism. Piezo actuators are deformed when tension is applied to them due to material properties. If this strain is sinusoidal, vibrations occur on the screen, which is the element to which they are connected with this activation. All vibration functions can be applied to the piezo actuators within the mechanical working limits. Thus, all kinds of vibration functions such as heartbeat, explosion sound can be created on the touchscreen. In this study, vibration mod structures of the display glasses with different design parameters used in the sector are examined experimentally and numerically. Numerical analysis was performed by using the ANSYS program based on the finite element method. Material and electrical properties of piezo actuators are taken into account in the numerical analysis. In order to produce the best vibration function on the screen, different piezo numbers and different piezo settlements were analyzed. Numerical analyses are compatible with experimental studies.

Keywords: Tactic technology, piezoelectric actuators, electronic devices, vibration analysis, finite element method.

2019, 65 pages

1.GİRİŞ

Günümüzde her alanda kullanılan dokunmatik ekranların çalışma prensibi, dokunsal geri bildirim dayanmaktadır. Dokunsal geri bildirim, elektrikli aletlerin hepsinde kolaylık sağlamış ve neredeyse tüm elektronik aletlerde karşımıza çıkmaya başlamıştır. Dokunsal geri bildirim, kullanım sırasında hız kazandırırken aynı zamanda kullanım deneyimini de iyileştirmekte ve gerçeklik katmaktadır. Geçmiş yıllarda, çeşitli yöntemlerle sağlanan dokunsal geri bildirim teknolojisi, günümüzde piezoelektrik titreştirici ile yapılan çalışmalarla daha ileri seviyelere taşınmıştır. Piezoelektrik malzeme, doğrusal ve vektörel titreşim yaratabilen, kısa tepki süreli ve düşük maliyetli olan, piezoelektrik titreştiriciler sayesinde, yüksek çözünürlükte dokunsal geri bildirim üretilmesi önem kazanmaya başlamıştır. Bu zorlayıcılar tamamen ters piezoelektrik etki ile çalışmaktadırlar. Piezoelektrik malzemeye bir gerilim uygulandığında malzemede şekil değişimi meydana gelir. Eğer uygulanan gerilim alternatif şekilde değişirse, hareket periyodik titreşim hareketine döner. Literatürde piezoelektrik malzemelerin yüksek frekansta çalıştırılarak dokunmatik ekranlarda kullanılması ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Piezo filmler, mikro zorlayıcılar ve mikro sensörlerde kullanılmaktadır.

Literatürde yapılan bazı çalışmalar şöyledir: “Mahmoodi ve Jalili., 2007”, yaptıkları çalışmada piezo elektrikselsel olarak aktive edilen mikro ankastre kirişi ele almışlardır. Mikro kirişin bir kısmı piezo elektrik film tabakası ile kaplanmıştır. Mikro kirişlerin enine titreşimleri, piezo elektrik metalin mekanik ve elektrikselsel özellikleri dikkate alınarak incelenmiştir [1]. “Wood ve ark., 2005”, yaptıkları çalışmada piezo kirişlerin daha hafif olabilmeleri için yeni bir tasarım önermişlerdir. Bu tasarımda değişken kesitli ve yüksek performanslı katmanlar kullanılarak kompozit mikro kiriş modeli elde edilmiştir. Ayrıca farklı sürücü teknikleri kullanılarak piezo elektrik zorlayıcının verimi arttırılmıştır [2].

İnce piezo film tabakaların üretimi sayesinde piezo elektrikselsel aktivasyon mikro elektromekanik sistemlerin önemli uygulama alanı olmuştur. Bu sayede piezo filmler mikro zorlayıcılarda ve mikro sensörlerde kullanılabilir. “Isarakorn ve

ark., 2010”, PZT filmlerin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada epi-piezo olarak yeni geliştirilen malzeme mikro zarların veya kırıların üzerine sabitlenmiştir. Piezo zarın statik modda düşük voltajda yüksek deplasman elde edilmesi üzerine mikro pompa ve valflerde, mikro aynalarda kullanılabileceği vurgulanmıştır [3].

Piezo elektrik enerji üreticileri de piezo malzemelerin önemli uygulama alanlarından birisidir. “Liu ve ark., 2008”, yaptıkları çalışmada piezo elektrik malzemesi kullanılarak enerji üreticinin verimini ve frekans esnekliğini arttırmışlardır. Ortam titreşimleri genellikle 1000 Hz’in altında olduğu için mikro üreticilerin düşük frekansta çalışabilir olması gerekmektedir. Bu enerji üreticileri, düşük frekanslı ortam titreşimlerini kullanarak enerjiye dönüştürülmesini sağlarlar. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki bir dizi piezo film kaplı mikro kırı kullanarak geliştirilen enerji üretim mekanizması, düşük frekanslı ortam titreşimlerini daha iyi algılayabilmekte ve frekans bandı genişlemektedir [4].

Piezo enerji üreticileri bir ya da iki piezo elemana bağlı mikro ankastre kırı ortam titreşimleri ile aktive olur ve bu sayede kırı titreşim yapmaya başlar ve kırı titreşimi ile piezo elemanın üzerine gerilme uygulanmış olur. Sonuç olarak bu gerilmeler piezo eleman ile elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. “Erturk ve Inman., 2008”, yaptıkları çalışmada piezo enerji üreticileri üzerine teorik model geliştirmişlerdir [5].

“Zhang ve ark., 2006”, piezo elektriksel olarak aktive edilen mikro kırı titreşimlerini incelemişlerdir. Piezo elemanın sistemin tabi frekansına ve mod şekillerine etkileri incelenmiştir. Mikro kırıler piezo elemanlı ve piezo elemansız olarak modellenip doğal frekansları ve mod yapıları nümerik olarak bulunmuştur. Her iki modelin mod şekillerinin aynı olduğu ve doğal frekanslarının yakın olduğu bulunmuştur. Piezo ile aktive olan kırı titreşim ölçümü piezo elemanın direkt etkisi kullanılarak ölçülebilmekte ve bu sayede titreşim genlikleri kontrol edilebilmektedir.

İstenmeyen genlikler olduğunda bu geri bildirim sayesinde voltaj düşürülerek genlikler istenen seviyeye indirilebilir olduğu belirtilmiştir [6].

“Kwon ve ark., 2005” ile “Cho ve ark., 2010”, piezo elektrik ile titreşim yapan mikro giriş modelini cep telefonu gibi elektronik cihazlarda uygulamışlardır. Bunun en önemli nedenleri rezonans frekansının düşük ve frekans bandının geniş olmasıdır. Piezo malzemenin ve girişin boyutlarının rezonans frekansına ve bant genişliğine büyük etkisi vardır. Piezo elemanın uzunluğu ve genişliği arttıkça doğal frekansı azalmaktadır. Kalınlığı arttırıldığında ise doğal frekansı artmaktadır [7-8].

Yüzeye ultrasonik frekans uygulandığında, yüzey üzerinde düşük titreşim genliği sıkıştırılmış hava oluşturarak yüzeyin sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Böylelikle titreşim yapan bir yüzey dokunsal geri bildirim düzeneği olarak kullanılabilir. “Winfield ve diğ., 2007”, yüzey sürtünme etkisini değiştirerek doku hissini oluşturmak için gerekli teori ve tasarımı tartışmışlardır. Bu çalışmada insan parmağı ile titreşim yapan bir plaka arasında sürtünmelerin azaldığı gösterilmektedir. Yüzey sürtünmesini değiştirmek için farklı frekans fonksiyonları elde edilmiştir [9]. “Motoo ve ark., 2006”, farklı piezo giriş titreşim modları elde etmek için mekanik empedansı kuvvetle değişen elastik yatak kullanmışlardır. Elde ettikleri deneysel veriler neticesinde insansı robotlarda kullanılabilir dokunsal geri bildirim düzeneği ortaya konmuştur [10]. “Kim ve ark., 2008”, çalışmalarında geri bildirim düzeneğinde hem piezo zorlayıcı hem de selenoid kullanmışlardır. Kullanıcılardan bilgi toplayan yazarlar mevcut titreşim motorlarından ziyade çalışmalarında önerilen zorlayıcıların fark edilebilir şekilde farklı dalgalar yarattığı sonucuna varmışlardır. Lazer vibrometre ile yüzeyden alınan ölçümlerle frekans cevap eğrileri elde edilmiştir [11]. “Nicholas ve ark., 2010”, büyük bir cam yüzey üzerinde ultrasonik titreşimden kaynaklanan sürtünme katsayısı değişimini modellemişlerdir. Titreşim genliği yüzeyde mekânsal olarak değişmektedir. Bu nedenle sürtünme katsayısının da değişmekte olduğunu bulmuşlardır [12]. “Yang ve ark., 2015”, çalışma alanını genişletmek için kullanılan ultrasonik dokunmatik cihazlarının güç analizini yapmışlardır. Piezo zorlayıcılar kullanarak bir dizi test yapmışlardır ve piezo zorlayıcıların konumlandırılması için birbirleri arasındaki mesafenin önemini

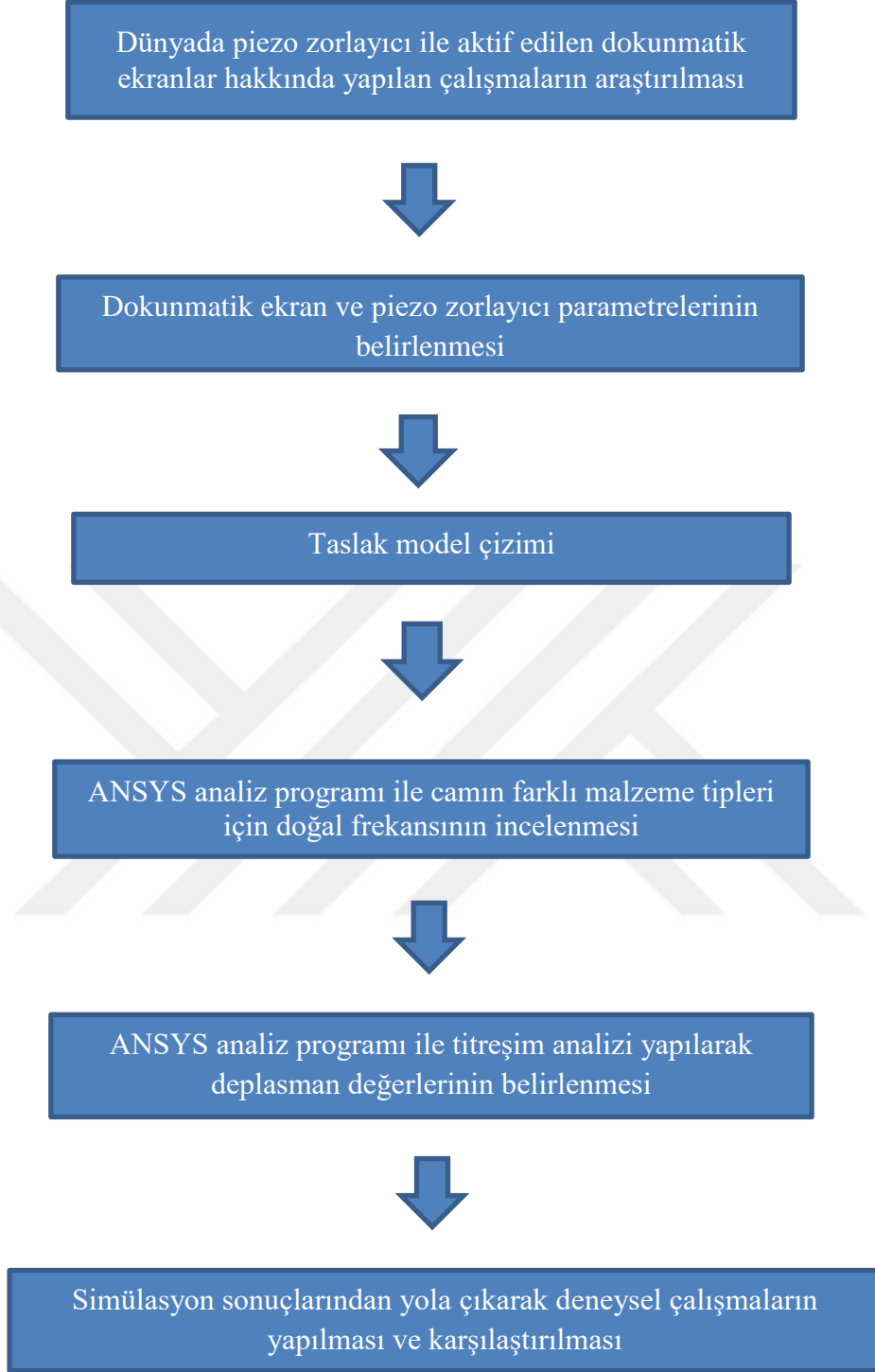
incelemişlerdir [13]. “Osgouei ve ark., 2016”, elektrostatik tablet ekranında titreşim analizleri yapmışlardır. Ekran ile parmak arasındaki sürtünme katsayısını ölçmek için döner tribometre kullanmışlardır. Dokunmatik ekrandaki şekillerin tanıma performansını değerlendiren algısal deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, kullanıcıların, elektro-titreşim modellerini herhangi bir bağlamsal bilgi olmadan geometrik şekillerle ilişkilendiremediğini göstermiştir [14]. “Silva ve ark., 2016”, görme özürü insanlar için işitme ve dokunma yoluyla görme bilgilerini geliştirmek üzere dinamik ve interaktif bir sistem önermişlerdir. Sistem, kullanıcının sesli geribildirim dinlerken keşfetmesine izin veren bir dokunmatik ekrandan oluşmaktadır [15]. “Hudin ve ark., 2013”, dokunmatik ekrana piezo malzeme yerleştirilerek deneysel analiz yapmışlardır. Deneyde ölçüm yapmak için lazer vibrometre kullanmışlardır. Araştırmanın amacı piezo malzemeler arasındaki mesafenin tepkiyi anlamadaki önemini incelemişlerdir [16]. “Rouch ve Blanzé, 2014”, algılama için ekrana iki piezoelektrik sensör takmışlardır. Ekranı dışarıdaki gürültüye karşı izole etmişlerdir. Ekranın stokastik davranışını araştırmışlar ve lazer titreşim ölçerleri ile deney yapmışlardır [17]. “Casset ve ark., 2013”, sonlu elemanlar programı kullanarak piezo kirişleri dokunmatik ekran altına yerleştirilerek frekans genlik analizi yapmışlardır. Değişken zorlama fonksiyonları için meydana gelen yüzey titreşim fonksiyonlarını elde etmişlerdir [18]. “Bernard ve ark., 2014”, en düşük enerji tüketimi ile çalışan dokunsal geri bildirim düzeneği için elektriksel ve mekanik parametre değerlerini belirlemişlerdir [19]. “Altınsoy ve Merchel., 2012”, akım ve frekans ile dokunsal geri bildirim arasındaki ilişkiyi belirlemek için deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Akım arttırıldıkça ve frekans düşürüldükçe pürüzlülük algısının arttığı sonucunu elde etmişlerdir [20].

Son yıllarda, üstün özellikleri nedeni ile eğri mikro kiriş konusu ilgi çekmeye başlamıştır. “Oukad ve ark., 2010” ve “Sarı ve ark., 2012 ve 2013” yaptıkları çalışmalarda bazı sonuçlara ulaşmışlardır. Çift kararlılıkta olmaları ve yüksek stroklarda çalışmaları gibi birçok üstün özelliğinden dolayı düz mikro kirişlere göre eğri mikro kirişler daha avantajlıdır. Eğri mikro kirişler baştan eğri olarak üretilebilirler, üretim kaynaklı iç gerilmelerden dolayı eğri olabilirler ya da eksenel baskı kuvveti ile burkularak da eğri yapılabilirler. Başlangıçta eğri olan yay yapılarının

diğer önemli avantajı ise, genellikle kontrolü zor olan mikro üretim prosesinden gelen sürekli aksenal kuvvete ihtiyaç duymamalarıdır (gerilmesiz yapılar). İlave olarak, yayların eğrilikleri fabrika üretiminde önceden bilinebilir ve burkulmuş kirişlere göre kontrolleri daha hassas bir şekilde yapılabilir [21-23]. “Buket Baylam ve ark., 2012”, ABAQUS programında sonlu elemanlar metodundan yararlanarak, ekrana birden fazla piezo zorlayıcı yerleştirerek, farklı yerleşim düzenlerinde simülasyonunu yaparak karşılaştırmışlardır. Bir insan için uygun koşulları belirleyerek en iyi titreşim fonksiyonunu elde etmişlerdir [24]. “Jin ve ark.,2017”, yaptıkları çalışmada, insan mekanoreseptörlerini uyarmak için yeterli çıkış gücü üreten minyatür bir piezo zorlayıcı sunmaktadır. Titreşim sinyallerini iki veya daha fazla titreşim motorla birlikte sentezleyerek belirli bir lokasyonda yeni bir titreşim oluşturmuşlardır [25]. “Emgin ve ark., 2018”, yaptıkları çalışmada, kullanıcının el hareketleri ile sanal gerçeklik arasındaki deneyimi arttırmak için çalışmalarda bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışmalarda sürtünme kuvvetlerini incelemişlerdir. Tasarladıkları bir haptable (masa gibi büyük geniş bir tablet) için ekranın sürtünme kuvvetlerini deneysel olarak belirlemişlerdir [26].

1.1. Tezin Amacı ve Motivasyon

Bu çalışmada ekran camı plaka olarak modellenmiştir. Farklı malzemelere sahip ekran camlarının doğal frekansları ve mod şekilleri sonlu elemanlar metodunu temel alan nümerik program ile elde edilmiştir. Ekran camlarının altına yerleştirilen piezo zorlayıcılar tarafından zorlanan ekran camının harmonik analizleri nümerik olarak yapılmıştır. Piezo zorlayıcıların elektriksel etkileri de hesaba katılarak her bir camın frekans tepki eğrileri elde edilmiştir. Ekranların genlik değerleri tablolar halinde karşılaştırılmıştır. Piezo elemanların yerleşiminin ve sayısının genlik değerlerine etkileri ortaya konmuştur. Yapılan simülasyon sonuçlarından faydalanılarak deney düzeneği hazırlanmış ve farklı frekans değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ve nümerik sonuçlar uyumlu elde edilmiştir. Bu çalışmada takip edilen proje akışı Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Tez Çalışmasının Akış Diyagramı

1.2. Tezin Sanayiye ve Literatüre Katkıları

Bu çalışmada, dokunmatik ekranın titreşimi piezoelektrik elemanlar ile sağlanmaktadır. Piezo elemanlar camın altına yerleştirilerek titreşim genliklerine olan etkileri incelenmiştir. Dokunmatik ekran piezo zorlayıcı kullanılarak harekete geçirilmiştir ve piezo zorlayıcının dokunmatik ekran üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dokunmatik ekranlar geri bildirim sağlarken tüm ekrana titreşim hareketini iletmektedirler ve bu geri bildirim etkisini zayıflatmakta ve gerçeklik hissinden uzaklaşmaktadır. Fakat farklı bölgelere yerleştirilen piezo elemanlar ile bölgesel titreşim oluşturulması, ekranların geri bildirim etkisini güçlendirmektedir.

Enerjinin limitli olduğu cep telefonu ve tablet gibi elektronik cihazlar için enerji tüketiminin minimize edilmesi gerekmektedir. Enerji tüketimini minimize eden tasarımı belirleyebilmek için birçok deney yapılması gerekmektedir. Yüksek titreşim genliği elde etmenin yolu voltajı arttırmaktır. Fakat voltajın artması enerji tüketimini arttırmaktadır. Zaman ve maliyetten tasarruf etmek için en uygun tasarım sonlu elemanlar metodunu temel alan simülasyon programı kullanılarak belirlenecektir. Bu araştırmalar sırasında ticari bir program olan ANSYS programından yararlanılmıştır. Araştırmalar sırasında kullanılacak olan ekran malzemesi için birden fazla malzeme incelenmiştir. Cam malzemenin belirlenmesi ardından çalışmalarımıza yardımcı olması açısından, belirlenen bir piezo tipi için modal ve harmonik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda seçilen bir malzeme için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar bir sonraki çalışmalarımıza katkısı olması adına, tek piezo için konum, boyut ve homojen olmayan sınır şartları denenerek birden fazla koşulda piezo malzemenin cam üzerindeki etkisi incelenerek devam etmiştir.

Bu tez çalışmasının literatüre ve sanayiye katkıları aşağıdaki maddeler ile özetlenebilir.

- Halihazırda üretilmekte olan telefonların dokunmatik geri bildirim fonksiyonlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.
- Piezo zorlayıcı kullanılarak yapılan dokunmatik ekranlar için piezo materyal seçiminde yol gösterecektir.

- Piezo zorlayıcıların dokunmatik ekran altındaki konumlandırılmaları için şartların belirlenmesine yardımcı olacaktır.
- Dokunmatik ekranların malzemelerinin seçimine yardımcı olacaktır.
- Dokunmatik ekranlar için yapılan doğal frekans çalışmalarına yol gösterecektir.
- Dokunmatik ekranlar için elde edilen frekans genlik eğrileri sayesinde, en yüksek genliğin elde edildiği şartlar bulunacaktır. Bulunan bu sonuçlar yapılan çalışmalara yol gösterecektir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar derlenmiş ve üç adet makele literatüre kazandırılmıştır.

“Ak ve Ark., 2017”, yaptıkları çalışmada farklı yerleşim düzenleri için farklı frekans ve gerilim değerleri belirlemişlerdir. Yaptıkları analizlerde piezo zorlayıcı ve ekran malzemesinin titreşim üzerine etkileri belirlenmiştir. Ekranların frekans genlik grafikleri nümerik analiz ile elde edilerek en iyi tasarım belirlenmiştir. [27].

“Sari ve Ark., 2017”, yaptıkları çalışmada, bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Cam malzeme olarak gorilla cam, piezo malzeme olarak PZT 5H malzemeyi seçmişlerdir. Yaptıkları deneyin sonucunda piezo malzemenin konumunun, piezo malzemesinin, uygulanan frekans ve volt değerinin titreşim özelliklerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir [28,29].

“Sari ve Ark., 2017”, yaptıkları çalışmada farklı ekran malzemeleri için mod yapıları elde edilmiştir. Ekran malzemesinin türünün, ekran üzerinde bulunan piezo zorlayıcı tipinin, piezo zorlayıcı sayısı ve konumunun ekran üzerinden elde edilen genliğe etkisini incelemişlerdir.

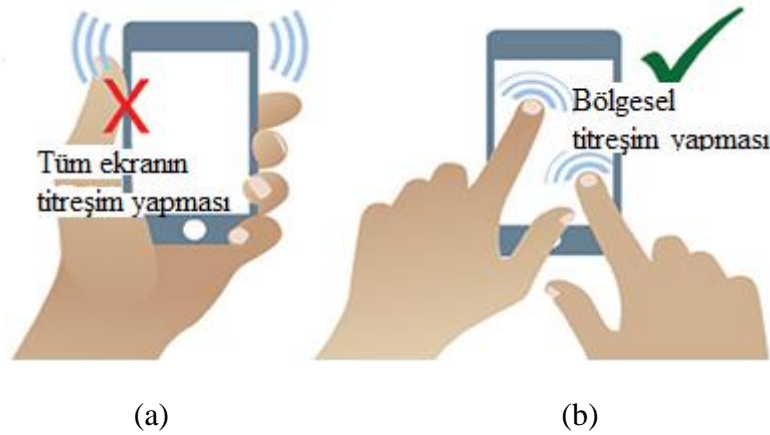
Yazılan makalelerden ikisi Prag'da gerçekleştirilen sempozyumda, Dünya'nın dört bir yanından gelen katılımcılara anlatılmış ve beğenilmiştir. Beğenilen bu çalışmalar yayın haline getirilmiş ve tüm dünya da bilinen IEEE dergisinde yayınlanmıştır. Yazılan makalelerden ncs ise Bursa'da, 20. Ulusal Mekanik Kongresi'nde sunulmuş ve bildiri olarak yayınlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dokunsal Geri Bildirim Teknolojisi

Dokunsal geri bildirim, günümüzde neredeyse tüm elektronik cihazlarda kullanılan insan ve sanal ortam arasındaki iletişimi dokunsal etkileşim ile sağlayan bir sistemdir. Günümüzde dokunsal geri bildirim vazgeçilmez bir his haline gelmiş ve dokunma hissimizi aktif olarak elektronik cihazlarda kullanma imkânı tanımıştır. Kullanıcılar dokunma duyusuna günlük yaşantımızda diğer duylulara göre daha çok güvenmektedir. Dokunsal geri bildirim, kişi dokunmatik bir ekran üzerindeki tuşlara parmağı ile dokunduğunda kişiye orada gerçekten tuş varmış hissi vererek titreşim yaparak geri bildirim göndermektedir. Üstelik aktif bir program kullanırken anlık verdiği geri bildirim ciddi bir uyarı oluşturmakta ve gerçeklik katmaktadır. Şekil 2.1’de tüm ekrana verilen titreşim ile bölgesel olarak iletilen titreşim ile ilgili bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Tüm Ekrana Uygulanan Titreşim Fonksiyonu (a) ve Bölgesel Olarak Uygulanan Titreşim Fonksiyonu (b) [30]

Geri bildirim, kinestetik veya deri yolu ile dokunsal olarak hissedilir. Taşınabilir veya hareketsiz, kinestetik veya dokunsal olarak farklı şekillerde uygulanır. Haptik uygulama deri aracılığı ile (dokunarak), sıcaklık, basınç, titreşim, sürtünme, acı

ile derideki duyu algısını arttırır. Kinestatik olarak algılamada ise, pozisyon, hareket, kuvvet ile kas, tendon ve eklemleri uyarır. Haptik teknoloji sanal ortamda dokunma duyusu aracılığı ile uygulanan kuvvet, titreşim ve/veya hareketlerin uygulanması ile dokunma duyusu ile sanal ortam arasında kullanıcıya geri besleme sağlar.

2.2. Dokunmatik Ekranların Çalışma Prensibi

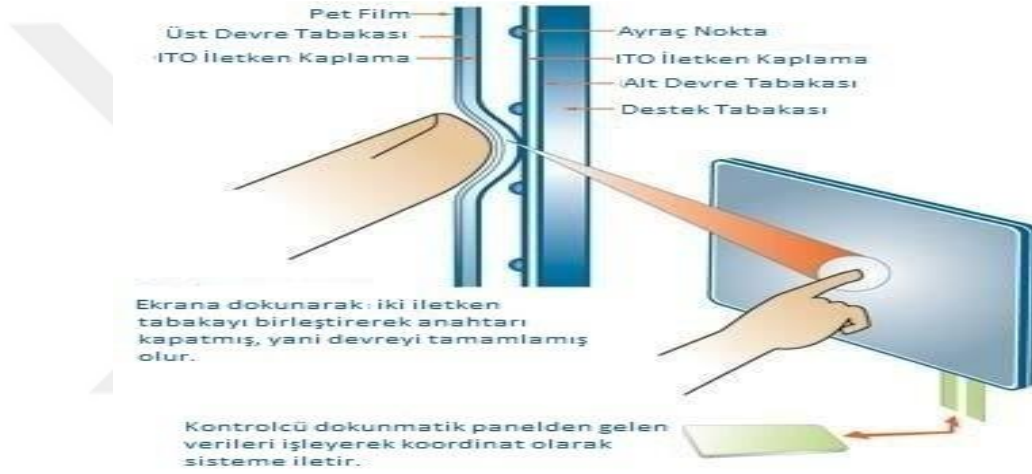
Son zamanlarda sıkça kullandığımız dokunmatik ekranlar aslında 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Özel bazı laboratuvarlarda ilk örnekleri geliştirilen bu teknoloji ticari olarak 20. yüzyılın sonlarına doğru sunulmaya başlamıştır. Şekil 2.2'de örnek bir dokunmatik ekran gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Örnek Bir Dokunmatik Ekran Gösterimi [31]

Yaygın olarak kullanılan dokunmatik paneller; rezistif dokunmatik panel, kapasitif dokunmatik panel ve kızılötesi dokunmatik paneldir. Rezistif dokunmatik panel; bir iletken direncinin boyuyla orantılı olarak değişmesi ilkesinden faydalanarak çalışır. Dokunulan yüzeyle birlikte toplam 6 tabakadan oluşur. Tabakalar arasında şeffaf ayraç sayesinde hava vardır ve bu yüzeylerin temasını önler. Dokunma işleminin algılanması için, öncelikle üst kaplamadaki iletken yüzey ve alttaki dirençli kaplamanın bir şekilde birbiriyle temas etmesi gerekir. Çalışma prensibi ise; ekrana

dokunulduğunda bu iki yüzey dokunulan noktada birleşerek akımda değişiklik yaratır. Böylelikle dokunulan nokta anlaşılabilir. Buradan alınan veri kontrolcüde işlenerek ekrana yansıtılır. Örneğin; yüzeyin x-y düzleminde olduğunu varsayıp dokunulan yüzeye 5 voltluk bir gerilim uygulayalım. Kullanıcı bu yüzeye hangi x uzaklığında dokunduysa, y değerinde oluşan değişiklik ile koordinatları belirlenebilecektir. Bu işlemler çok kısa bir sürede gerçekleşir. Bu panel tipi, su toz gibi dış etkenlerden etkilenmez. Ancak kullanıcının uygulayacağı kuvvet yüksektir ve bu da hassas çalışmayı zorlaştırır. Şekil 2.3'te örnek bir dokunmatik panelin bölümleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Örnek Bir Rezistif Dokunmatik Panelin Bölümleri [32]

Kapasitif dokunmatik panel; çalışma prensibinde ekranın dört tarafından da gerilim uygulanır ve ekran yüzeyinde elektrostatik alan oluşturulur. Ekrana yük depolayabilen bir iletken temas ettirildiğinde bu elektrostatik alanda oluşan değişimi algılayan bir osilatör vardır. Osilatörlerden toplanan veriler işlem birimine gönderilir. Buradan koordinat verisi haline çevrilerek sisteme aktarılır. Bu sistem başta yeni nesil cep telefonları olmak üzere pos sistemleri ve LCD'ler gibi birçok cihazda kullanılmaktadır. Rezistif ekranlara göre daha hassastır bu da daha fazla enerji harcamasına yol açar. Parmakla temas sağlamanız gerekir ve rezistif ekranlara göre maliyetlidir. Şekil 2.4'te örnek bir kapasitif dokunmatik panelin uygulamada kullanım görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 2.4. Örnek Bir Kapasitif Dokunmatik Panelin Uygulamada Kullanım Görüntüsü [31]

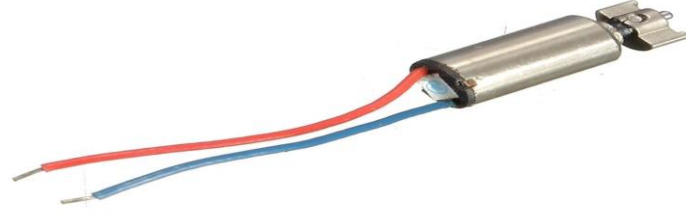
2.2.1 Kızılötesi Dokunmatik Panel

Dokunmatik sistemler arasında en basit görüneni kızılötesi dokunmatik paneldir. Çalışma prensibi diğerlerine göre daha kolaydır. Kızılötesi ışık demetleri ekranın bir tarafından diğer tarafına gönderilir, ekranların kenarlarında bulunan kızılötesi LED'ler ve foto algılayıcılar sürekli ışık demetinin bütünlüğünü kontrol eder. Işık geliyorsa sisteme 1 gelmiyorsa 0 komutunu gönderir. Tüm eksenlerde aynı işlemler tekrarlanır, böylece iki eksende koordinatlar duyarlarla belirlenmiş olur. Örnek olarak kızılötesi dokunmatik paneller kioks ve ATM'lerde kullanılır.

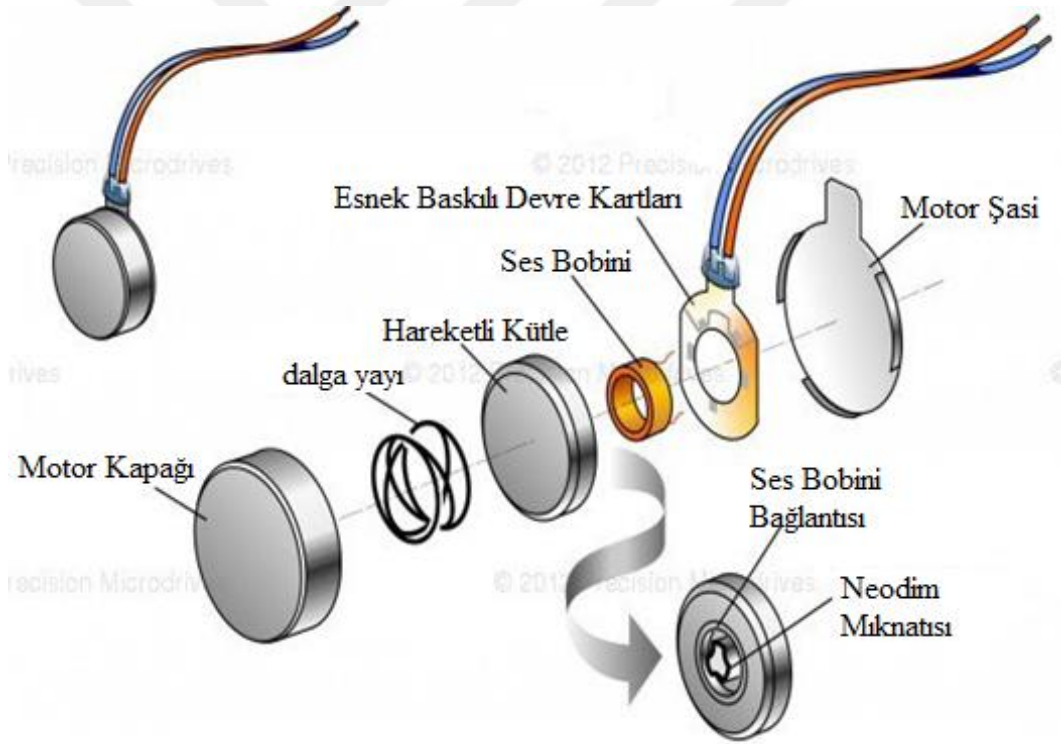
2.3. Dokunmatik Geri Bildirim Titrşim Fonksiyonu ile Sağlanması

Mevcut teknolojiye dokunsal geri bildirimler, elektronik cihazlar içerisindeki titreşim motorları tarafından sağlanmaktadır. Genellikle eksantrik döner kütle ve lineer rezonatör olmak üzere iki tip titreşim motoru kullanılmaktadır. Şekil 2.5'te gösterilen eksantrik döner kütleli titreşim motorlarının çalışma prensibi dengelenmemiş kütle esasına dayanır. Motorun çalıştırılması ile dengelenmemiş kütle yataklama eksenine dik doğrultularda periyodik kuvvetler oluşturarak titreşim hareketini meydana getirir. Şekil 2.6'da gösterilen lineer rezonatör sistemleri hareketli bir kütle ve buna bağlı bir mıknatıs, ses bobini ve bir yaydan oluşur. Ses bobininin oluşturduğu manyetik alan mıknatısı etkileyerek kütle hareket ettirir ve yayı sıkıştırır. Ses bobinindeki akımın

alternatif akım olması durumunda bu sıkıştırma hareketi periyodik olarak sıkışma ve gevşeme hareketine dönerek titreşim hareketi elde edilmiş olur.



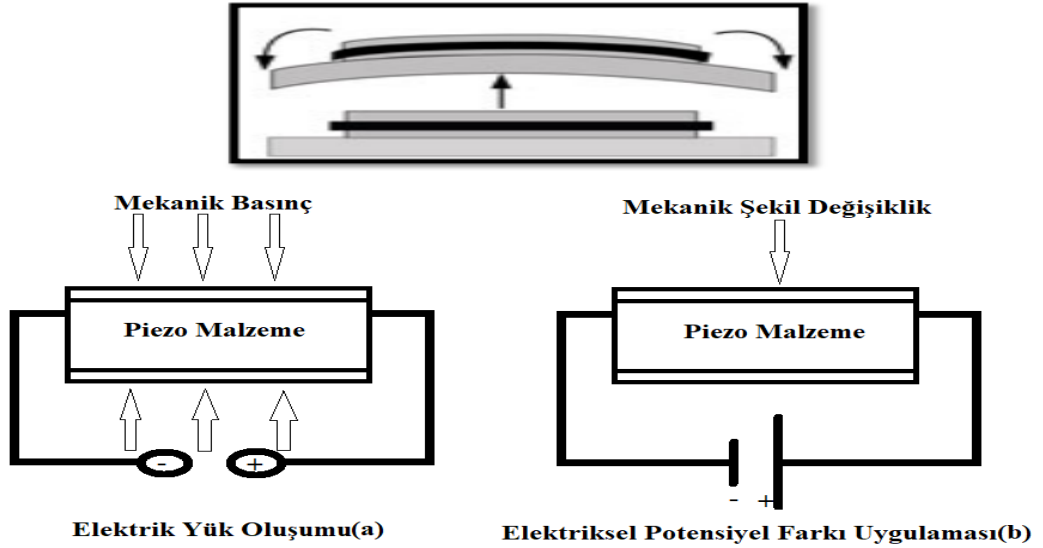
Şekil 2.5. Eksantrik Döner Kütleli Titreşim Motoru [32]



Şekil 2.6. Lineer Rezonatör Titreşim Motoru [33]

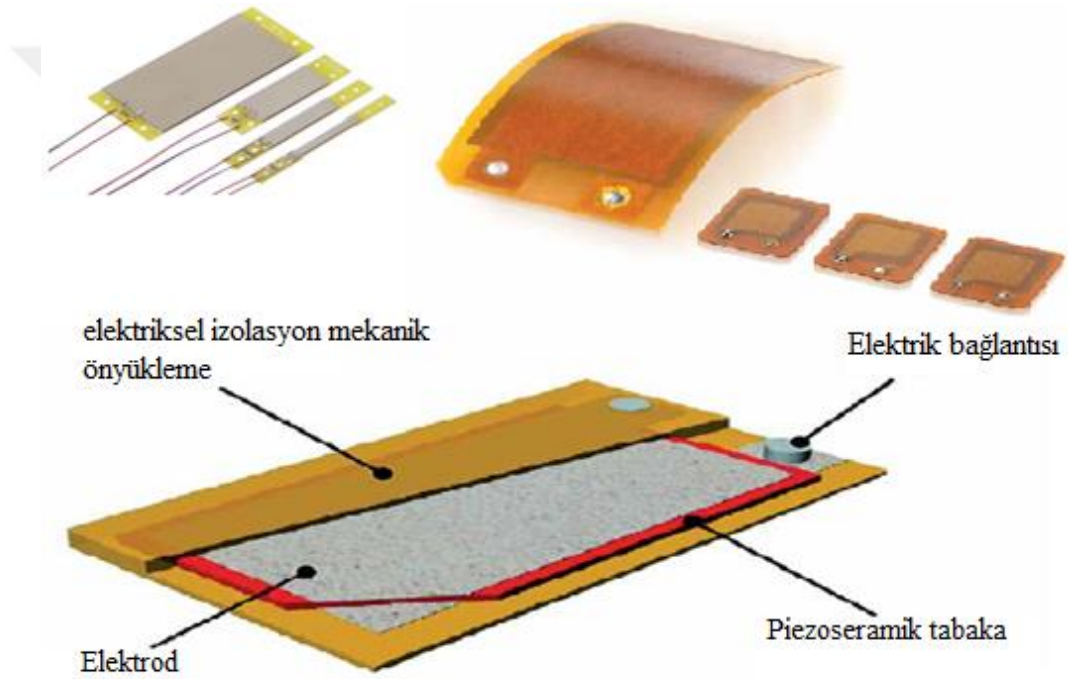
2.4. Dokunsal Geri Bildirim Teknolojisinde Piezoelektriksel Malzeme Etkisinin Kullanımı

Piezoelektrik özelliği, (özellikle kristaller ve belirli kristaller; kemik gibi) bazı malzemelere mekanik basınç uygulanması sonucunda, malzemenin elektrik alan ya da elektrik potansiyel değiştirme yeteneğidir. Piezoelektrik malzemelere gerilme uygulandığında, madde içerisinde pozitif ve negatif kutuplar oluşur, bu da büyük bir elektrik alanı oluşturur. Daha sonra oluşan bu elektrik alanı maddeyi ya esnetir ya da sıkıştırır. Bu etki, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğundaki değişimle doğrudan alakalıdır. Eğer malzeme kısa devre değilse, uygulanan gerilme malzemede bir voltaj meydana getirir. Piezoelektrik malzemeler terslenebilirdir; yani “direkt piezoelektrik etki” sergileyen (gerilim uygulandığında elektrik potansiyel üreten) malzemeler, ters piezoelektrik etki (uygulanan elektrik alan sonucunda gerilim-birim şekil değiştirme üretimi) de gösterirler. Bu etkinin “sesin oluşturulması ve algılanması”, “yüksek voltajlar oluşturulması”, “elektronik frekans yaratılması”, “mikrobalans”, ve “optik çevrimcilerin aşırı ince odaklanması” gibi kullanışlı uygulamaları vardır. Şekil 2.7’de piezo elektrik malzemenin çalışma prensibi ile ilgili bir görsel yer almaktadır.



Şekil 2.7. Piezoelektrik Malzemenin Çalışma Şekli (a-Direkt Piezoelektrik Etkisi, b-Ters Piezoelektrik Etkisi)[33,34]

Son dönemlerde, doğrusal ve vektörel titreşim yaratabilen, kısa tepki süreli ve düşük maliyetli piezoelektrik zorlayıcılar ile yüksek çözünürlükte dokunsal geri bildirim üretilmesi önem kazanmaya başlamıştır. Bu zorlayıcılar tamamen ters piezoelektrik etki ile çalışmaktadırlar. Buna göre, piezoelektrik malzemeye bir gerilim uygulandığında malzemede bir şekil değişimi meydana gelir. Eğer uygulanan gerilim alternatif şekilde değişiyorsa bu şekil değiştirme hareketi periyodik titreşim hareketine döner. Bu tür piezoelektrik zorlayıcılar, küçük boyutları nedeni ile cihaz üzerinde farklı yerlerde birden fazla sayıda kullanılarak bölgesel dokunsal geri bildirim üretebilmektedirler. Şekil 2.8'de bazı piezoelektrik zorlayıcı örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Piezoelektrik Zorlayıcı Örnekleri [33,34]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Dokunmatik Ekranların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz Edilmesi

Bu tezde tasarlanan ve analizleri yapılan dokunmatik geri bildirim sağlayan düzeneğe Şekil 3.1’de görülmektedir. Piezo elektriksel etki ile titreşim fonksiyonu sağlayan zorlayıcılar ekranın altına rijit bir şekilde bağlanmıştır. Ekran bu etki ile titreşim yapmaktadır. Piezo elemanların ve dokunmatik ekranın malzemesi ve mesnetlenme koşulları, ekran üzerinde elde edilen titreşim fonksiyonuna direkt etki etmektedir.



Şekil 3.1. Dokunmatik Geri Bildirim Sağlayan Bir Düzenek

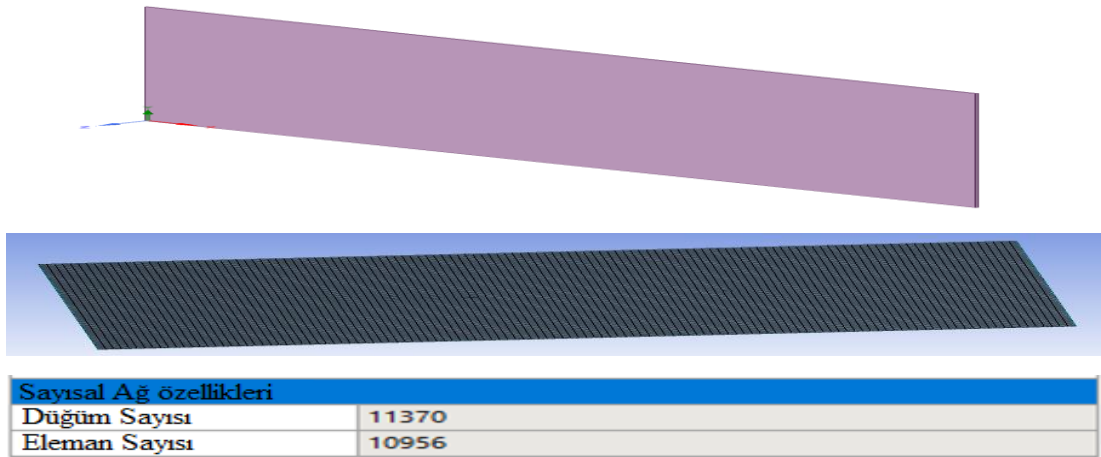
3.1.1. Dokunmatik Ekranların Doğal Frekans Analizi

Kullanıcı üzerindeki algıyı arttırmak için ekran genliğinin yüksek olması gerekmektedir ve genliği etkileyen faktörlerden birisi de kullanılan camın malzemesidir. Sektörde ekran malzemesi olarak tercih edilen ; “ safir”, “gorilla cam”, “ sinterlenmiş seramik” gibi malzemelerin özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Safir ve sinterlenmiş seramiğin elastisite modülünü göz önüne aldığımızda ortalama 300 GPa iken, gorilla cam ise 63.9 GPa’dır. Ekranı zorlayıcı harmonik bir kuvvet etki ettiğinde vereceği tepkinin belirlenebilmesi için yapısal titreşim mod ve frekanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Harmonik analiz öncesi doğal frekansların belirlenmesi, titreşim mod şekillerinin belirlenmesi için önemlidir. Şekil 3.2’de sonlu elemanlar metodu ile çalıştırılan ANSYS programında ekranın üç boyutlu modellenmesi ve ağ örgüsü görüntüsü görülmektedir. Ağ örgüsü yapısı belirlenirken optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasının yapılması için ANSYS programında

bulunan parametre komutu kullanılmıştır. Analizlerde ekran dört bir kenarından sabitlenmiştir. Kenarların üç ekseninde, deplasman yapmasına ve dönmesine izin verilmemiştir. Programda zorlayıcıların tüm fiziksel ve elektriksel özellikleri girilmiştir. Şekil 3.2’de ekran 10956 eleman ve 11370 düğümünden oluşan sonlu elemanlar modeli görülmektedir.

Tablo 3.1. Kapasitif Ekranın Malzeme Özellikleri [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46]

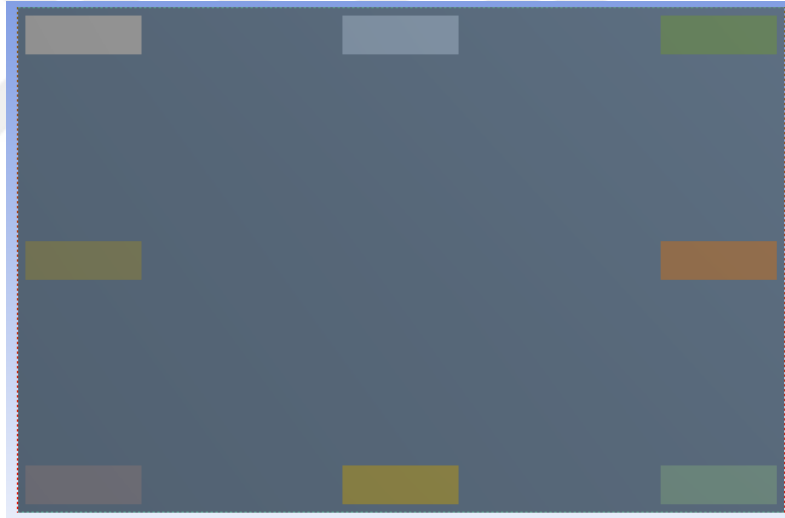
Fiziksel Özellikler	Birimler	Safir	Xensation	Dragontrail	Soda-lime	Quartz	Gorilla Cam	Alon	Spinel
Yoğunluk	kg/m ³	3980	2477	2480	2400	2230	2420	3696	3580
Poisson Oranı		0.29	0.215	0.23	0.23	0.17	0.21	0.24	0.26
Elastisite Modülü	GPa	350	74	74	70	72	63.9	3.23	276



Şekil 3.2. Simülasyon için Ekranın Üç Boyutlu Modeli ve Sonlu Elemanlar Sayısal Ağı

3.1.2. Piezoelektriksel Etki ile Titreşim Yapan Dokunmatik Ekranların Harmonik Analizi

Bir önceki bölümde ekranların malzeme özelliklerine göre doğal frekansları belirlenmiştir. Bu bölümde piezo elemanlar tarafından zorlanan dokunmatik ekranların verdikleri tepkiler belirlenecektir. Bu nedenle dokunmatik ekranların harmonik analizi yapılacaktır. Programda zorlayıcıların tüm fiziksel ve elektriksel özellikleri girilmiştir. Bu bölümde ekranın malzeme özelliklerinin, piezo zorlayıcı sayısı, malzemesi ve konumunun, ekranın frekans genlik eğrilerine etkileri incelenmiştir. Şekil 3.3'te kullanılan zorlayıcı piezo malzemeler ile kullanılan ekran arasında tanımlanan ilişkiler ve genel görünüm gösterilmektedir. Piezo elemanlar ekrana rijit bağlıdır. Bunun sebebi piezo elemandaki şekil değişiminin ekrana en iyi şekilde aktarılmak istenmesidir.



Şekil 3.3. Ekran ve Üzerine Yerleştirilen Piezo Zorlayıcıların Üç Boyutlu Modeli

Dokunmatik ekrana piezo elemanlar tarafından uygulanan kuvvet hesaplanarak analizde bu kuvvet uygulanacaktır. Piezo elemanlara elektriksel gerilim uygulandığında şekil değiştirecek dolayısı ile ekran da şekil değiştirecektir. Şekil değiştirme özellikleri, piezo elemanın boyutlarına, elektriksel özelliklerine ve yapısal

özelliklerine bağlıdır [47]. Denklem 3.1’de bu özelliklere bağlı olarak piezo elemanın ekrana uyguladığı kuvvet belirlenecektir.

$$F = \frac{V}{\text{Kalınlık}} * d * E * A \quad (3.1)$$

Burada F kuvvet (N), V gerilim (Volt), d piezoelektrik sabiti (m/V), E elastisite modülü (N/m²), A yüzey alanı (m²)’dir. Piezoelektrik sabiti, PZT 5H için 585x10⁻¹²(m/V), PZT 5A için 350x10⁻¹² (m/V) olarak alınmıştır [47]. Analizlerde piezo elektriksel kuvvetler hesaplanırken 150 V_{pp} değeri esas alınmıştır. Elektriksel gerilim etkisi ile piezo elemanların uyguladıkları kuvvetler piezo elemanların yüzeyinden uygulanmıştır. İncelenen frekans aralığı için ANSYS programı en az birinci doğal frekansın 1.5 katına kadar olan aralığı incelemektedir. Yaptığımız çalışmalarda birinci doğal frekansın 1.5 katına kadar aralığı harmonik analizde incelenmiştir.

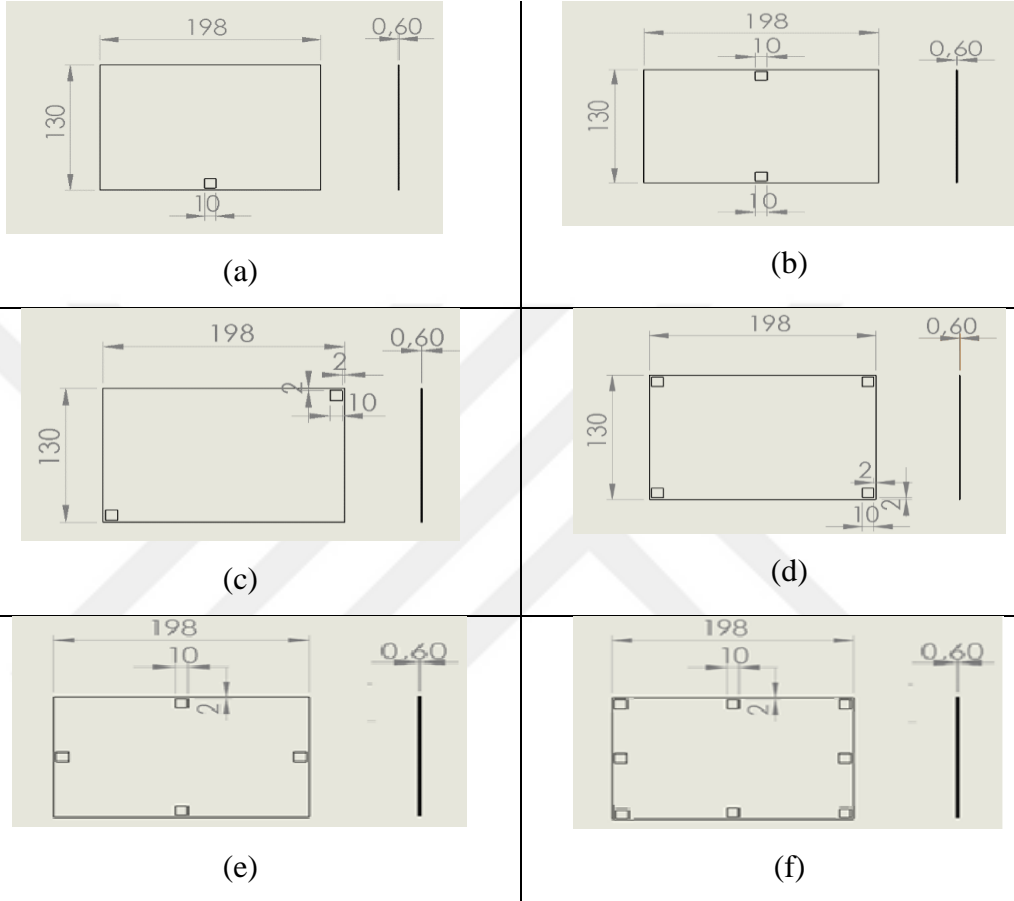
3.1.2.1. Dokunmatik Ekranların Analiz Senaryoları ve Sınır Koşulları

ANSYS analiz programında dokunmatik geri bildirim sağlayan düzenek için harmonik analiz yapılmıştır. Bu analizlerde titreşim genliğine etki eden parametreler aşağıda belirtilmiştir.

- Dokunmatik ekranın malzeme özellikleri
- Piezo zorlayıcıların malzeme özellikleri
- Piezo zorlayıcıların ekran üzerindeki yerleşimi ve sayısı
- Piezo zorlayıcıların boyutu

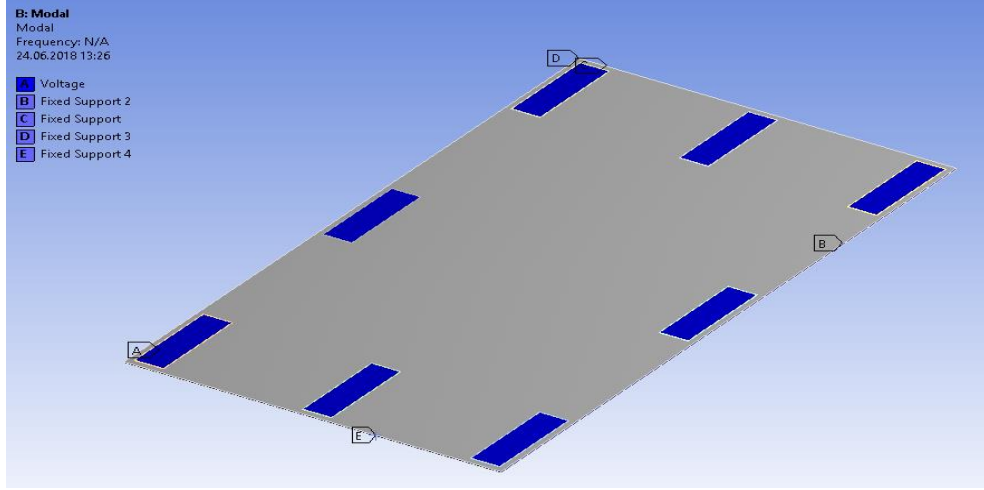
Dokunmatik ekran tasarımları piezo zorlayıcıların ekrana altı farklı şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Analizlerde dikkate aldığımız ekran boyutları ve piezo elemanların yerleşim düzeni Şekil 3.4’te görüldüğü gibidir. Analizlerde ekran dört bir kenarından sabitlenmiştir. Ekranın, üç ekseninde deplasman yapmasına ve

dönmesine izin verilmemiştir. Dört kenarı sabitlenmiş bir ekran ve piezoların üzerlerine nasıl gerilim uygulandığı Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Zorlayıcı olarak elektriksel özellikleri farklı olan PZT5A ve PZT5H piezo malzemeleri kullanılmıştır. PZT zorlayıcıların özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Piezo Zorlayıcıların Dokunmatik Ekran Üzerindeki Yerleşim Düzenleri

a) Tek piezo eleman yerleştirilmiş düzen, b) Ekranın uzun kenarlarının ortasına karşılıklı iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, c) Ekranın karşılıklı köşelerine iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, d) Ekranın köşelerine dört piezo eleman yerleştirilmiş düzen, e) Ekranın kenar ortalarına dört piezo yerleştirilmiş düzen, f) 8 piezo eleman yerleştirilmiş düzen



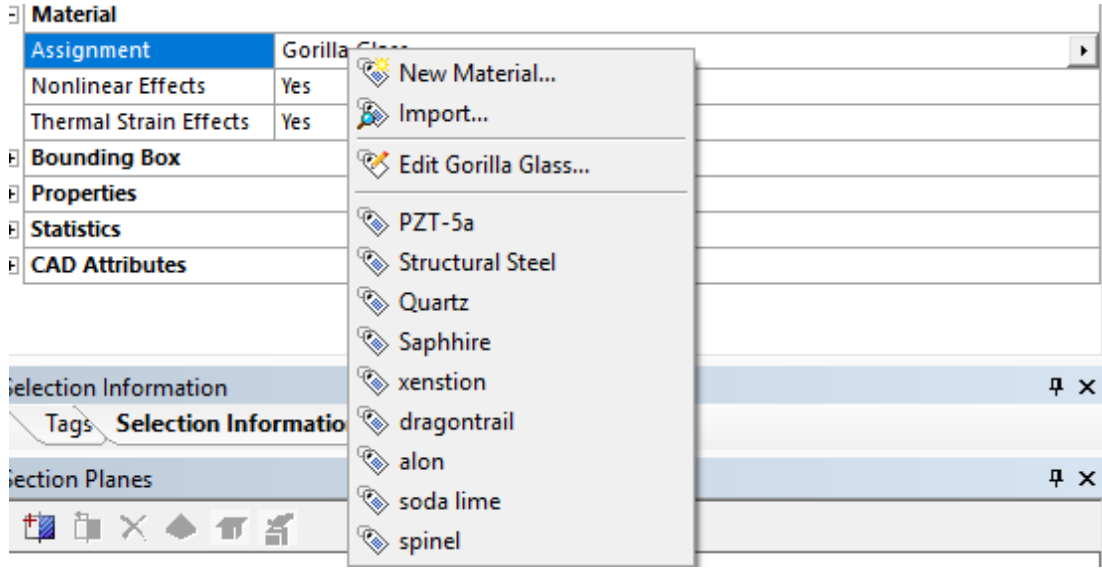
Şekil 3.5. Sistemin Modellenmesi ve Genel Görünümü

Tablo 3.2. Piezo Elektriksel Malzemelerin Özellikleri [47,48]

Piezoelektrik malzeme ismi	PZT-5H	PZT-5A
Tip Sınıfı	VI	II
Bağlantı Katsayıları (k_{31})	0.44	0.35
Gerilme katsayısı (d_{31})	-320 pC N ⁻¹	-190 pC N ⁻¹
Dielektrik sabiti (ϵ)	3800	1800
Elastisitesi	50 GPa	52 GPa
Öz kütlesi	7.8 g cm ⁻³	7.8 g cm ⁻³
Curie sıcaklığı (T_c)	230 °C	350 °C

3.1.2.2. Sonlu Elemanlar Modeli ile Sistemin Modellenmesi

Dokunsal geri bildirim düzeneğinde değerlendirilen parametreler; cam malzemesi, piezo zorlayıcı malzemesi, ekran üzerine yerleştirilen piezo zorlayıcıların yerleşimi ve aktif piezo zorlayıcı sayısıdır. Şekil 3.6'da simülasyon modeli için kullanılan sistemde malzemelerin özelliklerini tanımladığımız bölüm sunulmuştur. Her malzeme için gerekli tanımlamalar bu bölümde yapılmıştır. Piezo kristallere uygulanan frekans değerinin sabit uygulanmasının yanı sıra, belirli bir frekans aralığını tarayacak şekilde süpürme tarzında uygulanabilir. Piezo elemana uygulanan gerilim ise doğrudan titreşim genliğini değiştirmektedir. Piezo elemanlar dokunmatik ekranın yüzeyine dik olacak şekilde uygulanmaktadır. Böylelikle enine yönde harmonik zorlanan ekranın enine modları çalışmaktadır. Kapasitif ekranın doğal frekansı kullanılan ekran malzemesine göre değişim göstermektedir. Bu yüzden kapasitif ekrana uygulanan harmonik zorlamanın etkisi her bir cam malzeme için farklı olacaktır. Örneğin elastisite modülünün yüksek olması tabii frekansın artmasına ve dolayısı ile mod yapısını oluşturmak için gerekli frekansın artmasına neden olacaktır. Piezo elemanların yerleşimi ve bu zorlayıcıların senkronize çalışması da yine kullanıcıya farklı dokunsal geri bildirim sağlayacaktır. Tüm parametreler dikkate alınıp değerlendirildiğinde kullanıcının isteğine göre dokunsal geri bildirim sağlanabilecektir. Sistemin çalışmasını etkileyen birçok parametre olduğu için belirlenen parametreleri simülasyon programı kullanarak incelemek zaman ve maliyet açısından fayda sağlayacaktır. Sonrasında ise deneysel çalışma yapılarak kapasitif ekran üzerinde meydana gelen mod yapıları grafik şeklinde belirtilecektir. Şekil 3.7'de analizin yapılması için gereken ağ yapısı çalışmasına ait, parametre bilgileri ve genlik değerleri belirtilmiştir.



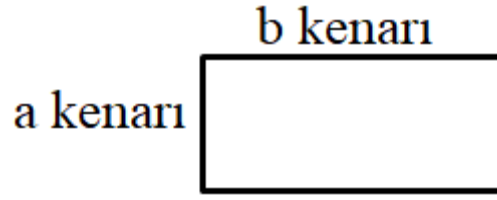
Şekil 3.6. Simülasyon Modeli için Malzemelerin Tanımlandığı Bölüm

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Body Sizing Element Size	P2 - Total Deformation Maximum	<input type="checkbox"/> Retain	Retained Data	Note
2	Units	mm	mm			
3	DP 0	2	⚡ 1,0348	<input checked="" type="checkbox"/>	⚡	
4	DP 1	1,8	⚡ 0,91153	<input type="checkbox"/>		
5	DP 2 (Current)	1,6	0,79192	<input checked="" type="checkbox"/>	✓	
6	DP 3	1,4	⚡ 1,0262	<input type="checkbox"/>		
7	DP 4	1,2	⚡ 0,95163	<input type="checkbox"/>		
*				<input type="checkbox"/>		

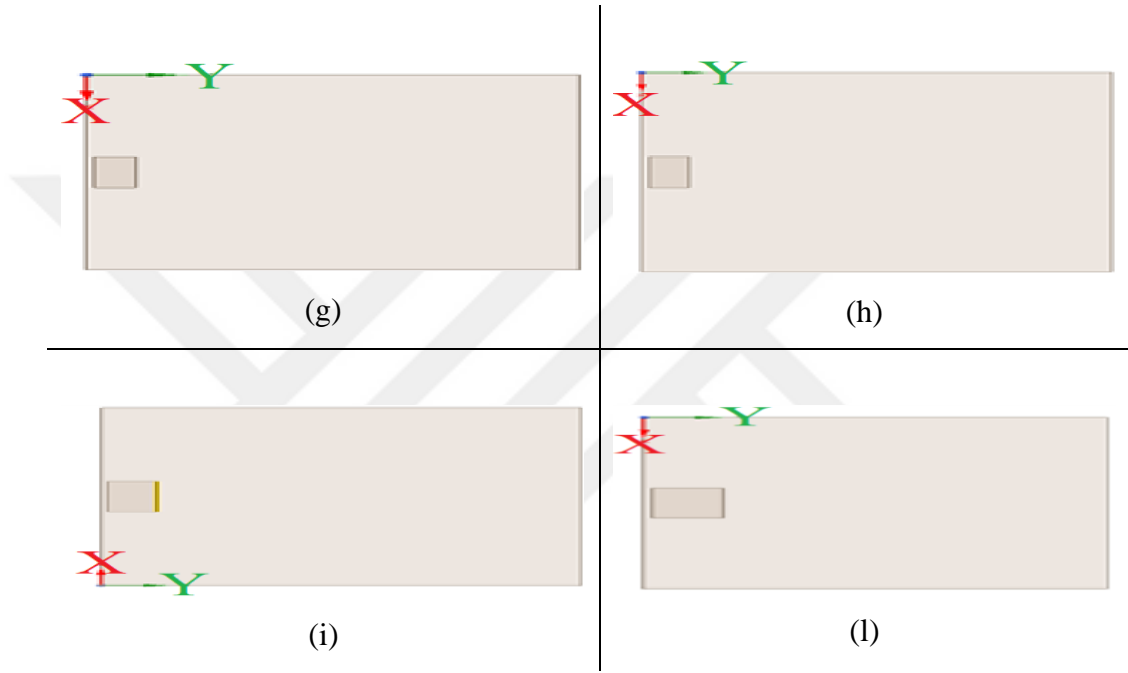
Şekil 3.7. Parametre Çalışması için Kullanılan Sonlu Eleman Boyutları ve Genlik Değerleri

3.2. Piezo Zorlayıcı Alanının Dokunmatik Ekran Titreşimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Piezo zorlayıcıların boyutları üzerinde yapılan değişikliklerin ekran üzerindeki titreşim genliğine etkisi incelenmiştir. Piezo zorlayıcının boyutları a uzunluk, b genişlik olarak Şekil 3.8’de görülmektedir. Şekil 3.9’da piezo boyutları belirtilmiştir. Kenar uzunluklarının değişmesi halinde ortaya çıkacak ekranın titreşim genliği incelenmiştir.



Şekil 3.8. Piezo Zorlayıcı için Örnek bir Boyut Ölçülendirme

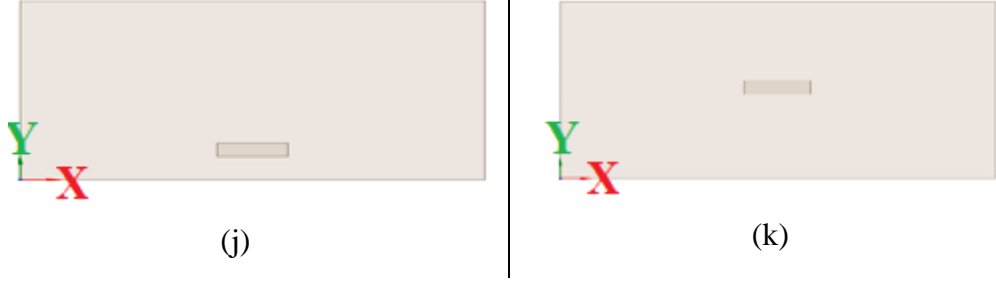


Şekil 3.9. Farklı Boyut Özelliklerine Sahip Piezo Zorlayıcı Yerleştirilen Dokunmatik Ekran Modelleri, g) $a=11\text{ mm}$ $b=31\text{ mm}$, h) $a=11\text{ mm}$ $b=34\text{ mm}$, i) $a=13\text{ mm}$ $b=34\text{ mm}$, l) $a=20\text{ mm}$ $b=34\text{ mm}$

3.3. Piezo Zorlayıcı Konumunun Dokunmatik Ekran Titreşimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Piezo elemanın cam üzerine yerleştirildiği konumun ekranın titreşim genliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Şekil 3.10'te iki farklı konum için genlik ölçümü yapılmıştır. Piezo eleman gorilla camın; (99,22,0.7) koordinatına yerleştirildiğinde

ortaya çıkan genlik değeri ve piezo zorlayıcı camın; (99,67,0.7) koordinatına yerleştirildiğinde ortaya çıkan genlik değeri ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Piezo Zorlayıcının Farklı Konumlara Yerleştirilmesi ile Elde Edilen Dokunmatik Ekran Modelleri, j) Piezo Zorlayıcının konumu: (99,22,0.7) , k) Piezo Zorlayıcının konumu: (99,67,0.7) Konum için modeli

3.4. Dokunmatik Ekranların Deneysel Olarak Analiz Edilmesi

Dokunsal geri bildirim düzeneğinin tasarım parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametrelere göre kapasitif ekranın titreşim analizi gerçekleştirilecektir. Bu tezde fonksiyon jeneratörü 2 kanallı, 20 MHz, frekansı istediğimiz gibi ayarladığımız bir lineer anfi (230 V/50 Hz), linner anfi ile uyumlu yalıtımlı fiş, piezo elektrik seramik (5H4E), 16mmx13mmx0.5 mm boyutlarında esnek piezo seramik katmanlı kiriş titreşim düzeneğini oluşturmaktadır.

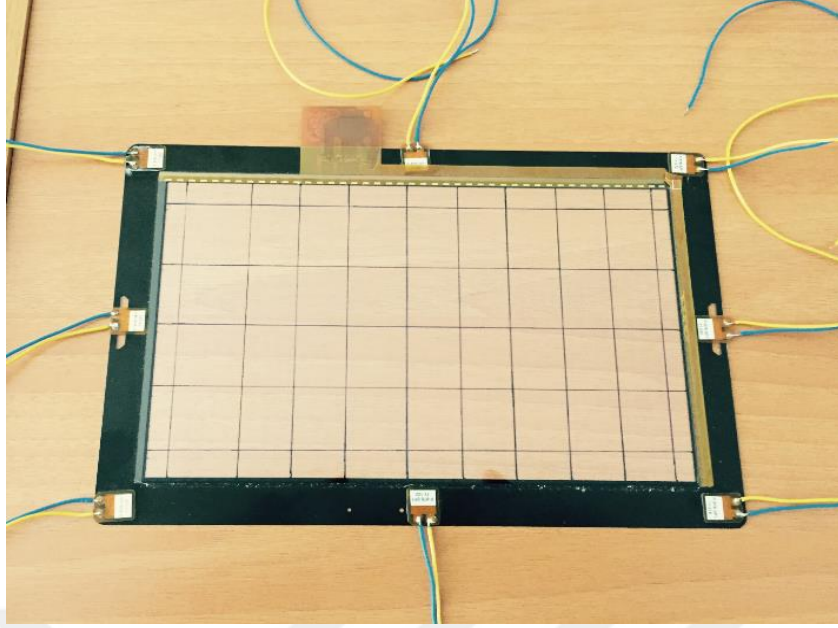
Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizler sonucunda deney sistemi geliştirilmiştir. Şekil 3.11’de deney düzeneğinin genel görünümü gösterilmektedir. Dört ve sekiz piezo elemanlı yerleşim düzeni Şekil 3.12’de görülmektedir. Genlikleri ölçmek için lazer vibrometre kullanılmıştır. Lazer vibrometre kullanmasının sebebi ekranın titreşim genliğini hassas bir şekilde ölçebilmektir. Kapasitif ekranın dört köşesine piezo seramikli zorlayıcı yapıştırılmıştır. Kapasitif ekran üzerindeki titreşim modunu elde edebilmek için 50 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Bu noktalar kapasitif ekran üzerinde yazılmıştır. Şekil 3.13’te ölçüm alınan her noktaya parlak kağıt yapıştırılmış ve bu kağıt üzerine lazer vibrometre lazer ışığı düşürülerek o noktada meydana gelen deplasmanın algılanması sağlanmıştır. Daha sonra bu veriler veri

toplayıcısına ardından bilgisayar yazılımına (Labshop) aktarılmıştır. Değişken elektriksel işaretler, zamanın ve frekansın bir fonksiyonudur, bu nedenle elektriksel işaretlerin zaman ve frekans düzlemindeki analizleri yapılmalıdır. Spektrum analizinde herhangi bir işareti oluşturan değişik frekanslara ait işaretlerin enerji seviyeleri belirtilir. Bu analiz ile elektrik ve mekanik sistemlerin testine yarayan, elektriksel ve fiziksel bilgiler elde edilir. Bunun sonucunda bilgisayara gelen verilerden genlik- zaman grafiği elde edilir ancak bu anlaşılması zor bir grafik olduğu için FFT diyagramına dönüştürülür ve genlik-frekans grafiği elde edilmiş olur. Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) titreşim analizinde kullanılan, istatistik tabanlı, matematiksel bir işlemdir. Karışık sinyal yumaklarını ayırıştırır ve hangi frekansta ne genlikte titreşim olduğunu gösterir. Kısaca FFT, sinyallerin zaman alanından frekans alanına geçirirken kullanılan bir işlemdir.

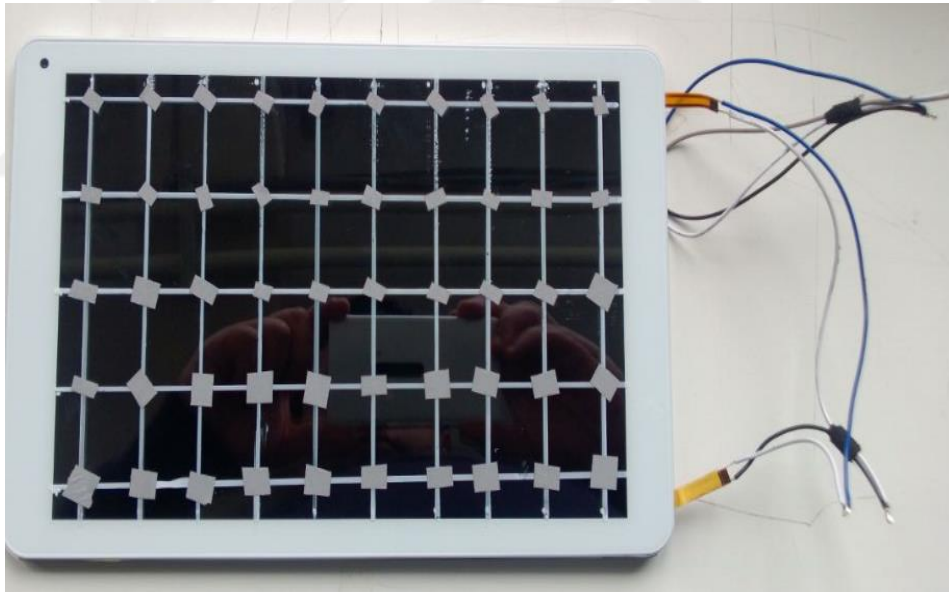
Deneyde ekrana bağlı piezo seramiklere farklı potansiyel fark değerleri ve farklı frekans değerleri uygulanarak ekran üzerinde farklı titreşim fonksiyonları elde edilmiştir. Titreşim yapan ekran üzerindeki 50 noktadan ayrı ayrı deplasman ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.11. Kapasitif Ekranın Mod Yapılarını Belirleyen Deneysel Düzenek



Şekil 3.12. Sekiz Adet Piezo Yerleştirilmiş Kapasitif Ekran Görüntüsü



Şekil 3.13. Kapasitif Ekran Görüntüsü ve Ölçüm Alınan Noktaların Gösterimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Dokunmatik Ekranın Simülasyon Sonuçları

4.1.1. Dokunmatik Ekranların Doğal Frekans ve Mod Şekilleri

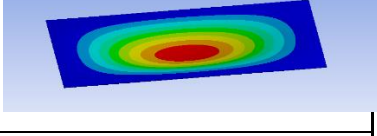
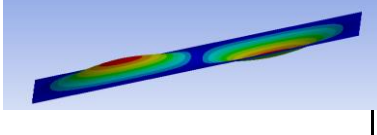
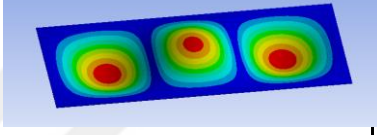
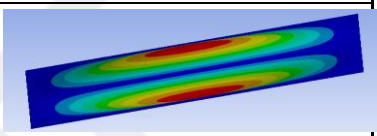
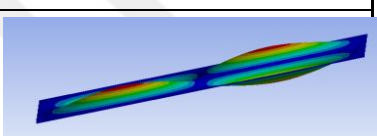
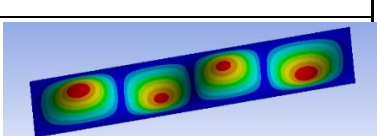
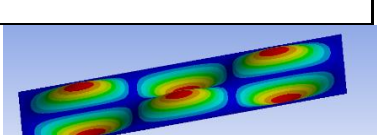
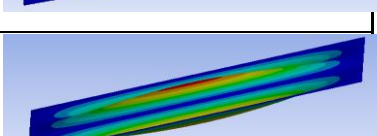
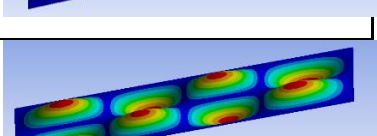
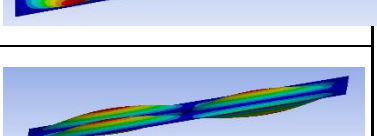
Bu bölümde, ANSYS programında yapılan simülasyon sonuçları verilecektir. Tablo 4.1'deki frekans değerleri ve uygulama özellikleri değerlendirilerek quartz, safir ve gorilla cam başta olmak üzere 8 farklı cam için frekans genlikleri elde edilmiştir. Yaygın kullanımı ve elde edilen simülasyon sonuçlarına dayanarak ekran malzemesi olarak gorilla cam, quartz ve safir seçilecektir. Bu ekranlarda mod frekansları daha düşük çıktığı için ekranda farklı mod yapılarını elde edebilmek için daha düşük frekanslarda çalıştırmak yeterli olacaktır. Bu da tasarıma gürültü problemi açısından fayda sağlayacaktır. Ayrıca düşük frekansta çalışmak ileride kabul edilebilecek malzeme çeşidi için enerji tasarrufu sağlayacaktır.

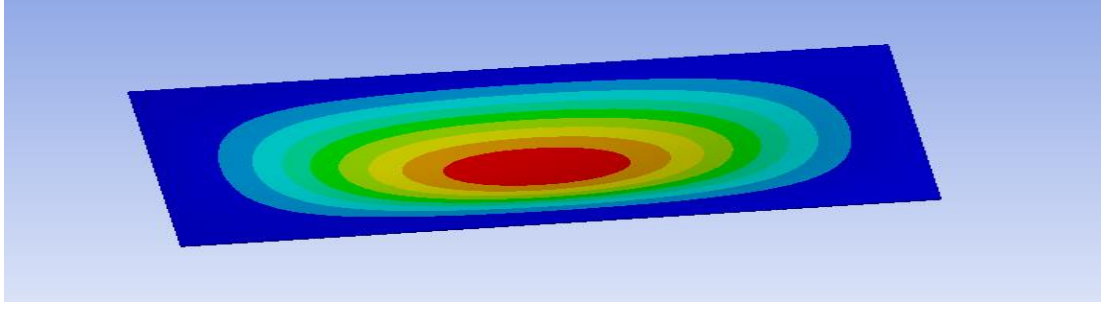
Cam üzerinde oluşan zorlanmış titreşim, camın yüzeyi boyunca genlikler yaratır. Tablo 4.1'de farklı ekran malzemeleri için ilk üç enine titreşim modu frekansları verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde en düşük doğal frekanslara sahip cam malzemesinden biri gorilla camdır. En düşük doğal frekansa sahip olan Gorilla cam için yapılan doğal frekans çalışmasına ait ekranın enine mod şekilleri ve kütle katılım oranları veren sonuçlar Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9'da seçilecek olan 3 cam tipi için ilk üç doğal frekans değerleri için mod yapıları gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Farklı Malzeme Özelliklere Sahip Dokunmatik Ekranların Doğal Frekansları

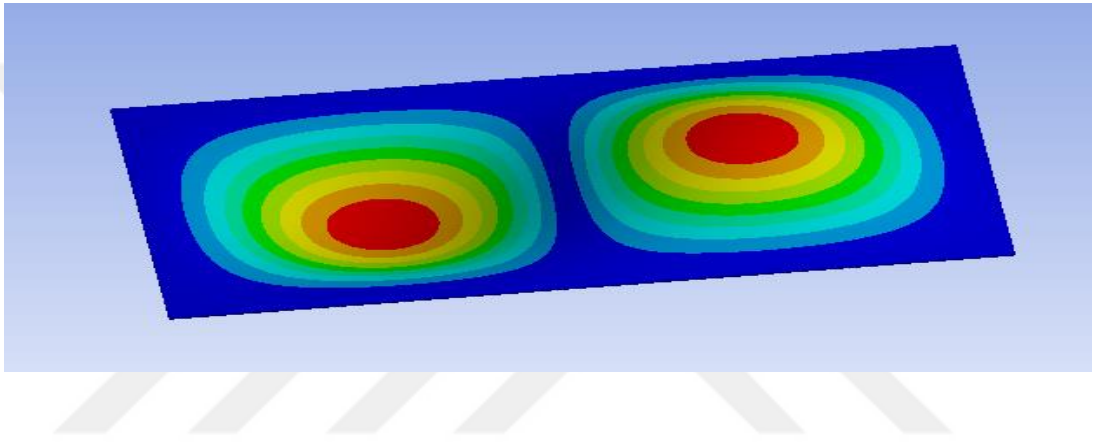
Ekran Malzemeleri	Ekran Boyutları	Ekranın Enine Mod 1 Frekansı(Hz)	Ekranın Enine Mod 2 Frekansı (Hz)	Ekranın Enine Mod 3 Frekansı (Hz)
Quartz	198X130X0.6	252.27	385.5	611.24
Safir	198X130X0.7	428.68	655.08	1038.7
Gorilla cam	198X130X0.8	229.94	351.38	557.14
Xensation	198X130X0.9	246.66	377.16	598.63
Dragontrail	198X130X0.10	247.7	378.68	600.96
Sodalime	198X130X0.11	244.89	374.39	594.16
Fusedsilika	198X130X0.12	256.87	392.95	623.86
Alon	198X130X0.13	425.37	650.21	1031.8
Spinel	198X130X0.14	402.53	615.12	975.94

Tablo 4.2. Gorilla Cam Malzeme için Ekranın Enine Mod Şekilleri ve Kütle Katılım Oranları

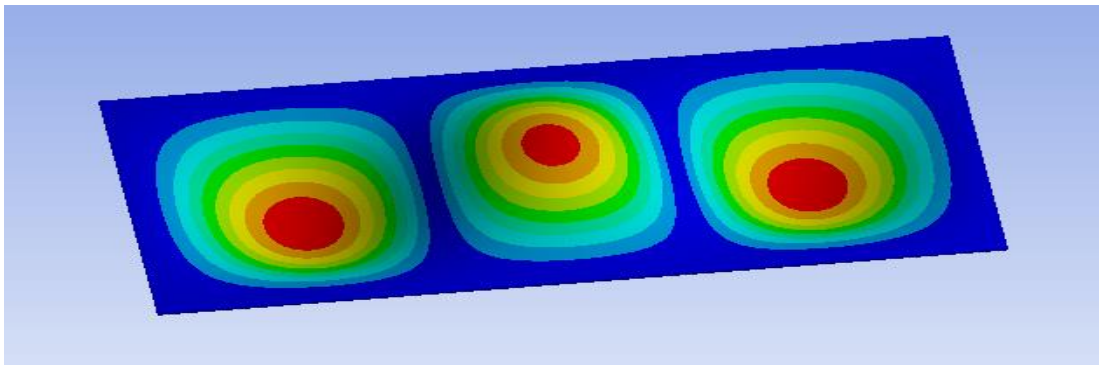
Modal Kütle Katılım Oranları						
	Frekans [rad/sn]	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Mod Yapısı	Mod Şekli
1	229	1	1	1	1. Enine Mod	
2	351			0,46	2. Enine Mod	
3	557	0.41	0.41	0.41	3. Enine Mod	
4	566		0.46		2. Enine Mod	
5	679				4. Enine Mod	
6	842			0.28	4. Enine Mod	
7	872		0.17		6. Enine Mod	
8	1074	0.44	0.44	0.44	3. Enine Mod	
9	1146				8. Enine Mod	
10	1185			0.2	6. Enine Mod	



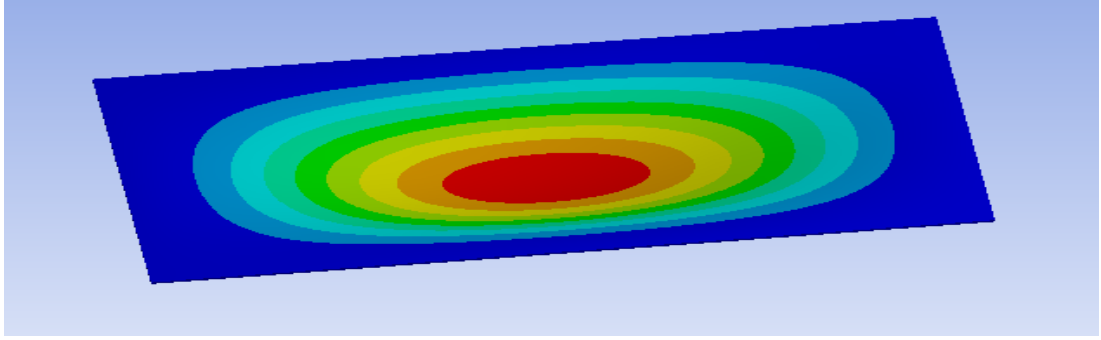
Şekil 4.1. Gorilla Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli



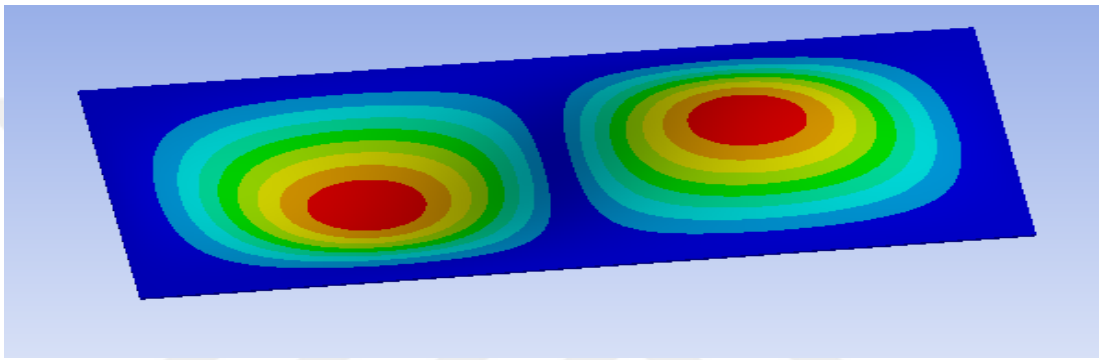
Şekil 4.2. Gorilla Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli



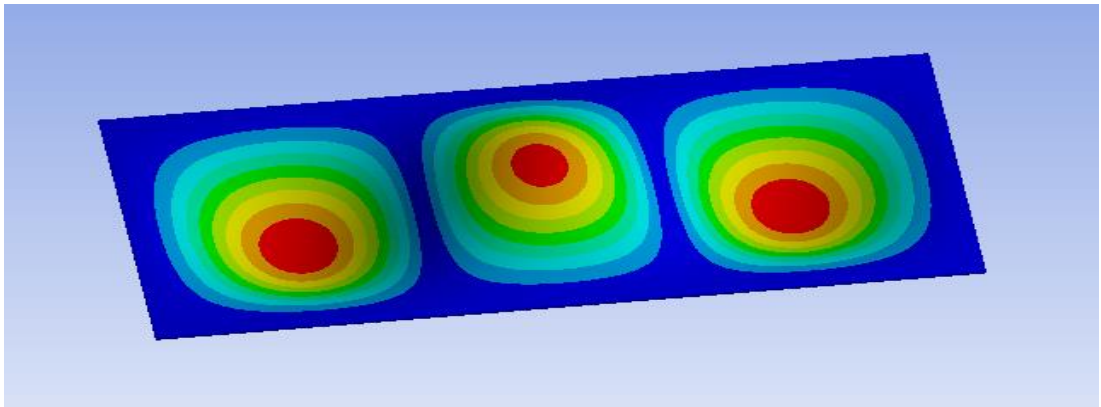
Şekil 4.3. Gorilla Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli



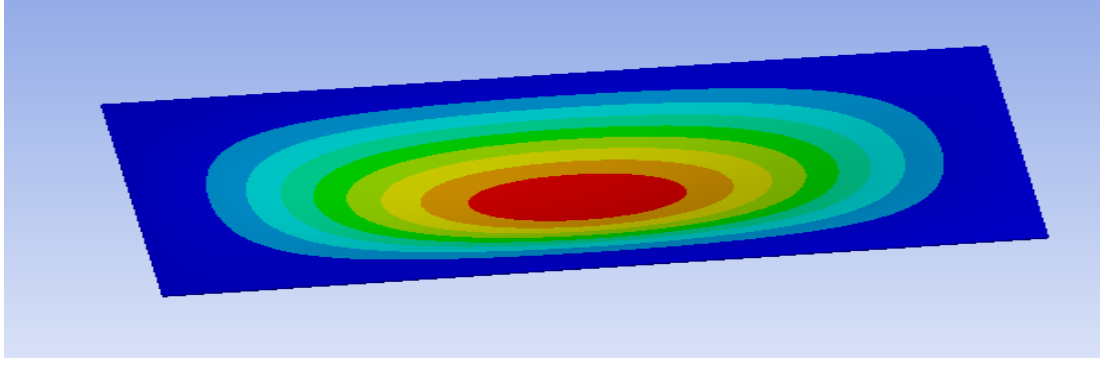
Şekil 4.4. Quartz Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli



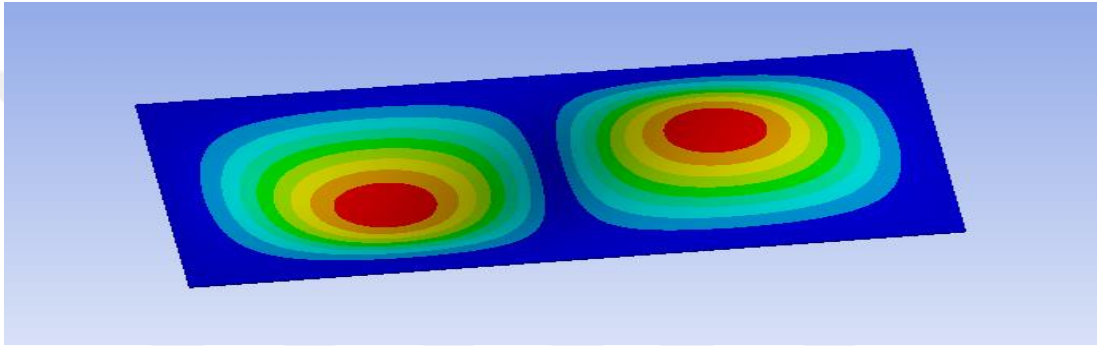
Şekil 4.5. Quartz Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli



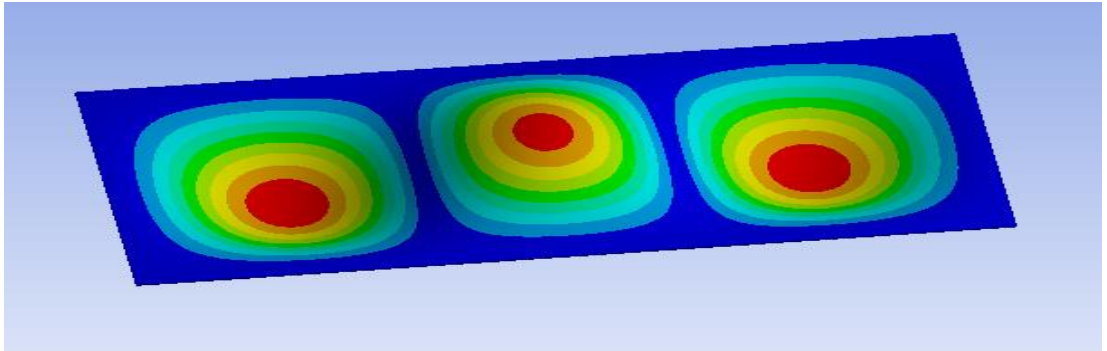
Şekil 4.6. Quartz Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli



Şekil 4.7. Safir Cam için 1. Doğal Frekans Mod Şekli



Şekil 4.8. Safir Cam için 2. Doğal Frekans Mod Şekli

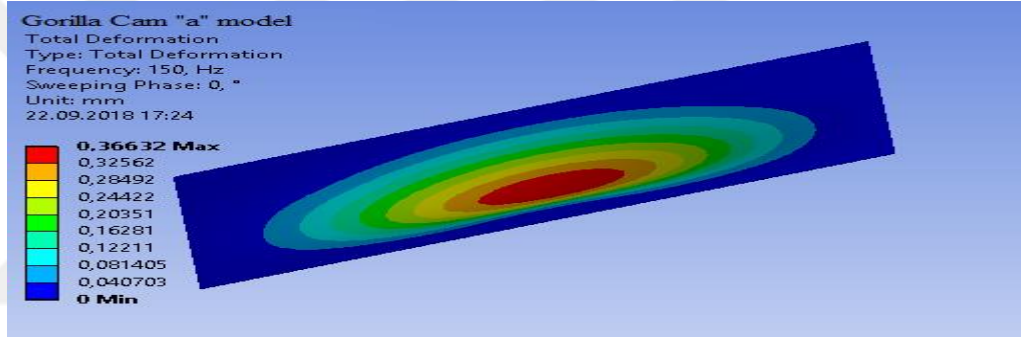


Şekil 4.9. Safir Cam için 3. Doğal Frekans Mod Şekli

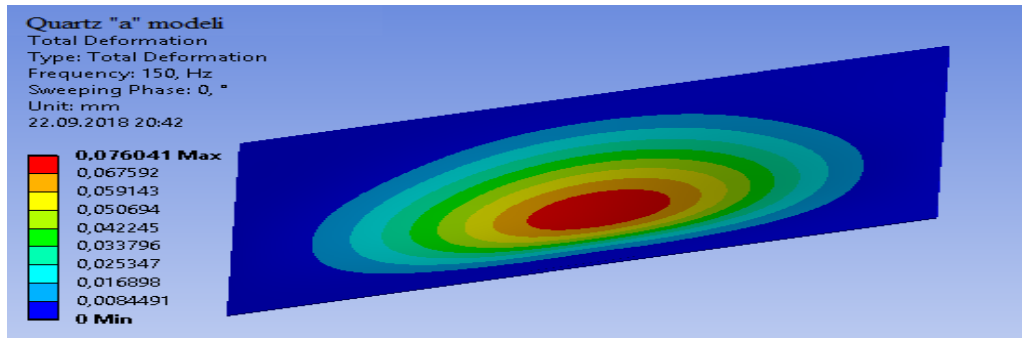
4.1.2. Harmonik Analiz Sonuçları

Önceki bölümde planlanan sınır ve zorlama şartları için analizler yapılacaktır. Önceki bölümde yapılan doğal frekans analizleri ışığında harmonik analizler yapılmıştır. Yapılan harmonik analizde piezo elemanlara 150 Hz ve 150V uygulanmıştır. Farklı elektriksel özelliklere sahip piezo elemanların ekranın titreşim genlik-frekans eğrilerine etkisi incelenmiştir. Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de zorlayıcı olarak a modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Piezonun yerleşimi Şekil 3.4'te belirtilen a modeli şeklindedir. Şekil 4.10'da gorilla cam, Şekil 4.11'de quartz cam, Şekil 4.12'de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te zorlayıcı olarak a modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.13'te gorilla cam, Şekil 4.14'te quartz cam, Şekil 4.15'te ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de zorlayıcı olarak b modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.16'da gorilla cam, Şekil 4.17'de quartz cam, Şekil 4.18'de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de zorlayıcı olarak b modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.19'da gorilla cam, Şekil 4.20'de quartz cam, Şekil 4.21'de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'te zorlayıcı olarak c modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.21'de gorilla cam, Şekil 4.22'de quartz cam, Şekil 4.23'te ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.24, 4.25 ve 4.26'da zorlayıcı olarak c modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.24'te gorilla cam, Şekil 4.25'te quartz cam, Şekil 4.26'da ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da zorlayıcı olarak d modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.27'de gorilla cam, Şekil 4.28'de quartz cam, Şekil 4.29'da ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32'de zorlayıcı olarak d modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.30'da gorilla cam, Şekil 4.31'de quartz cam, Şekil 4.32'de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35'te zorlayıcı olarak e modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.33'te gorilla cam, Şekil 4.34'te quartz cam, Şekil 4.35'te ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.36, 4.37 ve 4.38'de zorlayıcı olarak e modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.36'da gorilla cam, Şekil 4.37'de quartz cam, Şekil

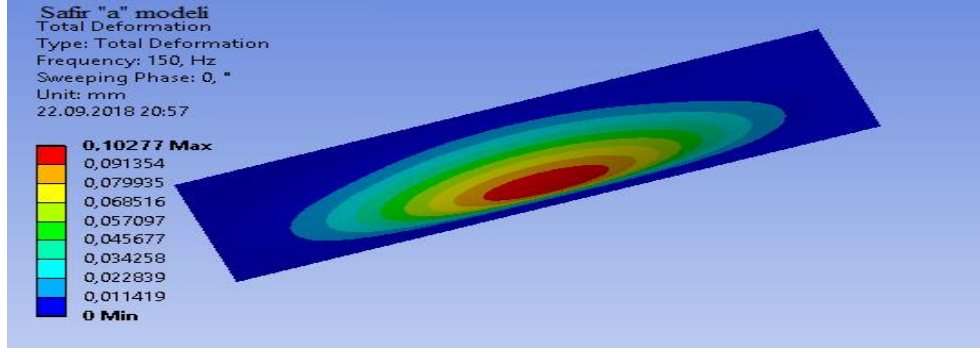
4.38’de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41’de zorlayıcı olarak f modeli için PZT 5A piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.39’da gorilla cam, Şekil 4.40’da quartz cam, Şekil 4.41’de ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44’te zorlayıcı olarak f modeli için PZT 5H piezo eleman kullanılmıştır. Şekil 4.42’de gorilla cam, Şekil 4.43’te quartz cam, Şekil 4.44’te ise safir cam için maksimum genlik değerleri görülmektedir. Ekranaya yerleştirilen piezo zorlayıcı düzeni değiştiğinde aynı frekans değeri uygulanmasına rağmen ekran farklı mod şekillerinde titreşim yapmaktadır. Piezo zorlayıcılar ekran altına A ve B düzeninde yerleştirildiğinde ekran birinci mod şeklinde titreşim yapmaktadır. Zorlayıcılar ekran altında C, D, E ve F şeklinde düzenlendiğinde ekran ikinci mod şeklinde titreşim yapmaktadır.



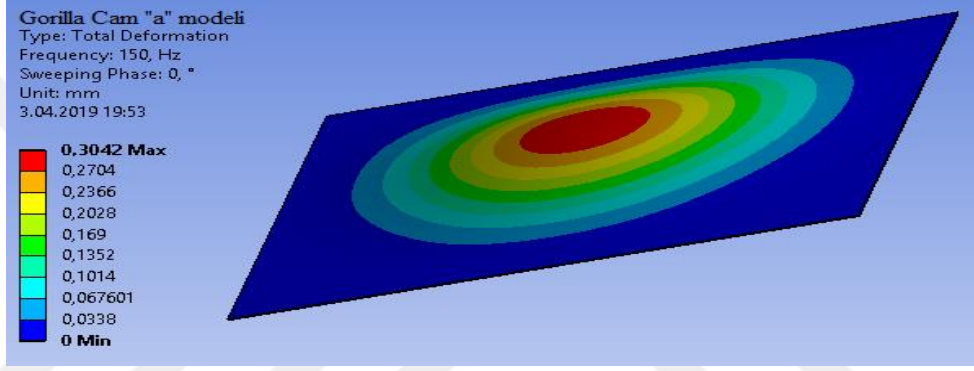
Şekil 4.10. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



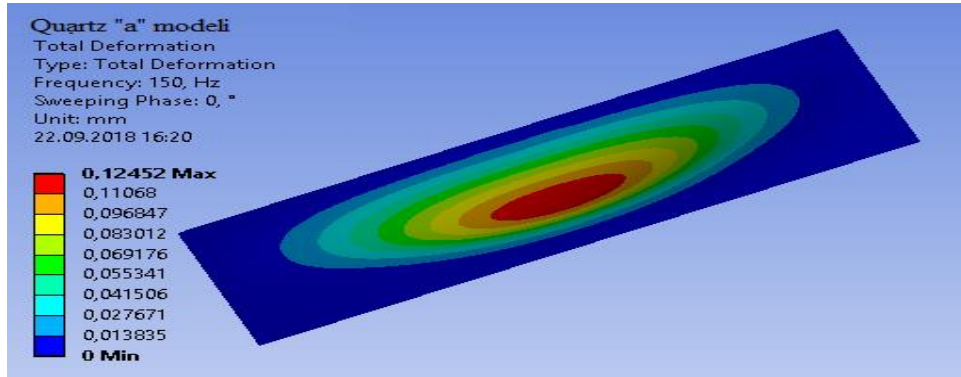
Şekil 4.11. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



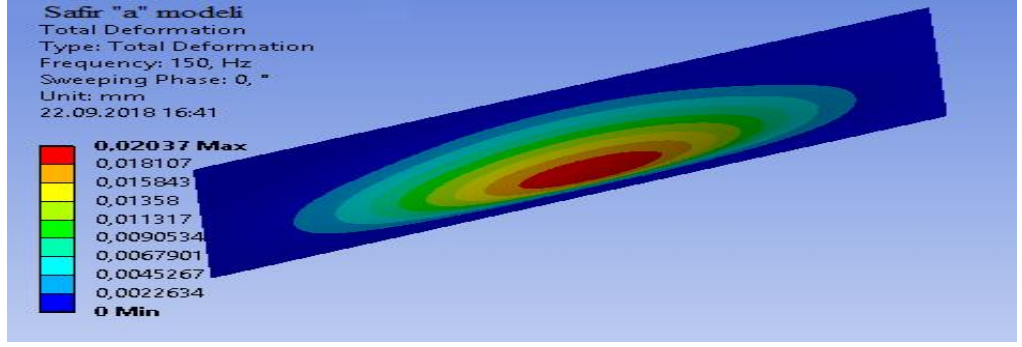
Şekil 4.12. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



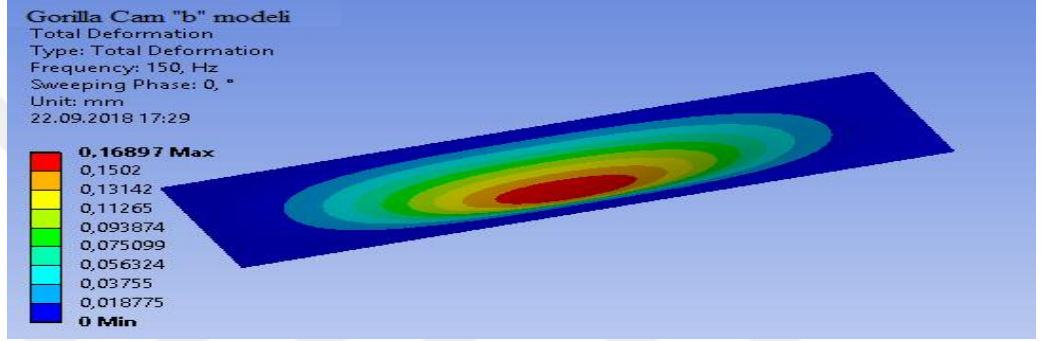
Şekil 4.13. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



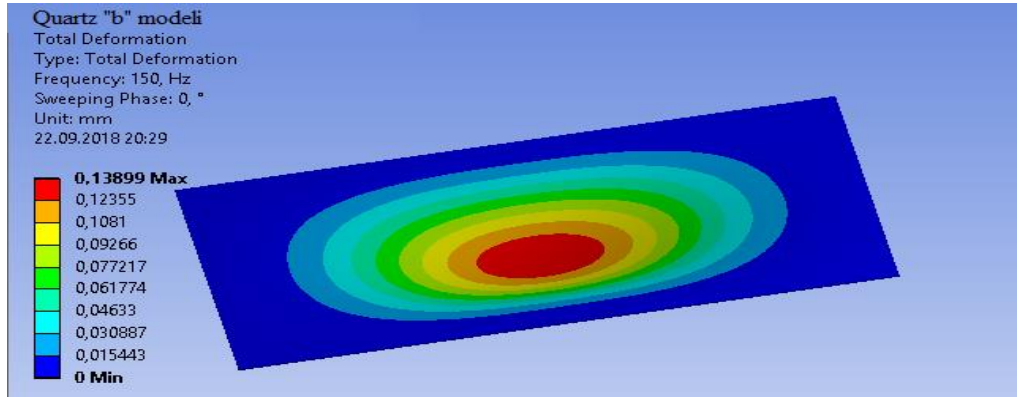
Şekil 4.14. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



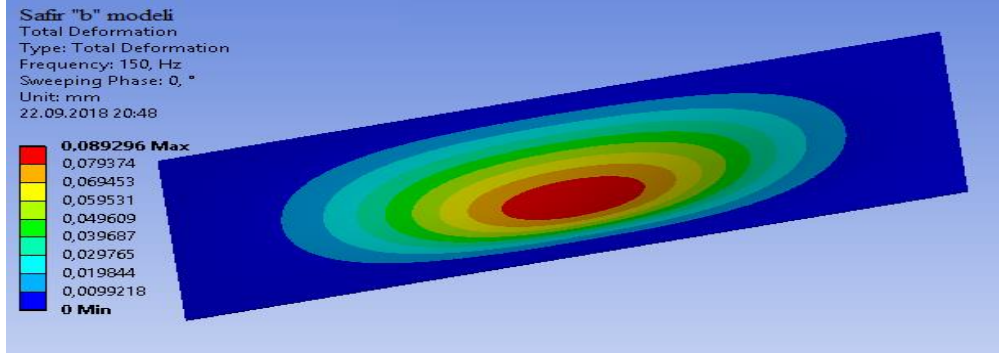
Şekil 4.15. A modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



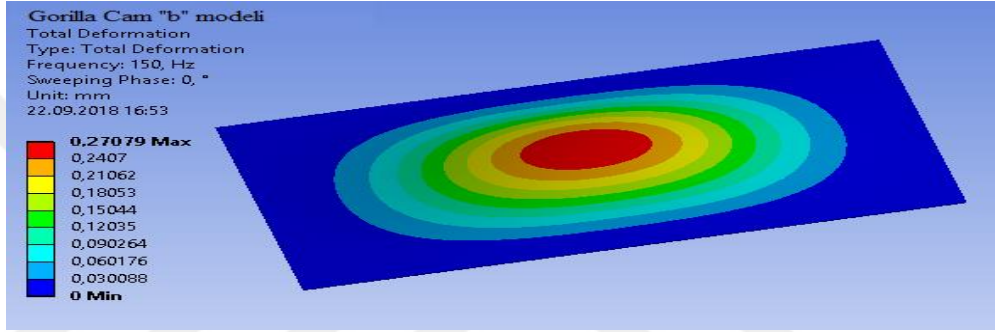
Şekil 4.16. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



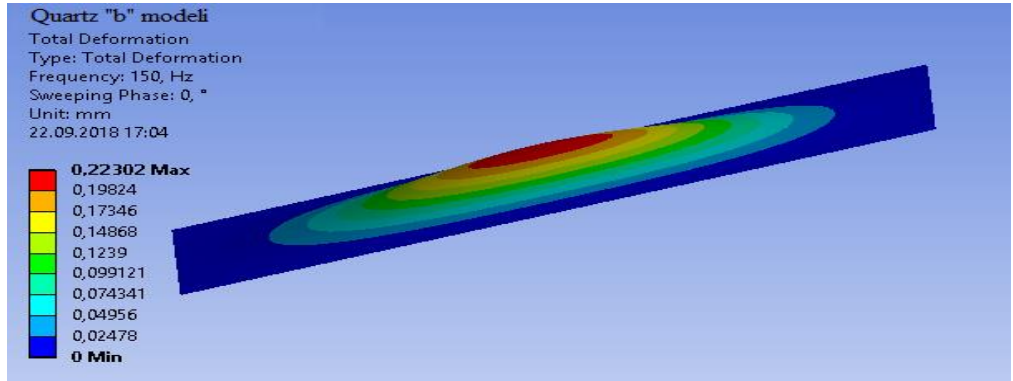
Şekil 4.17. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



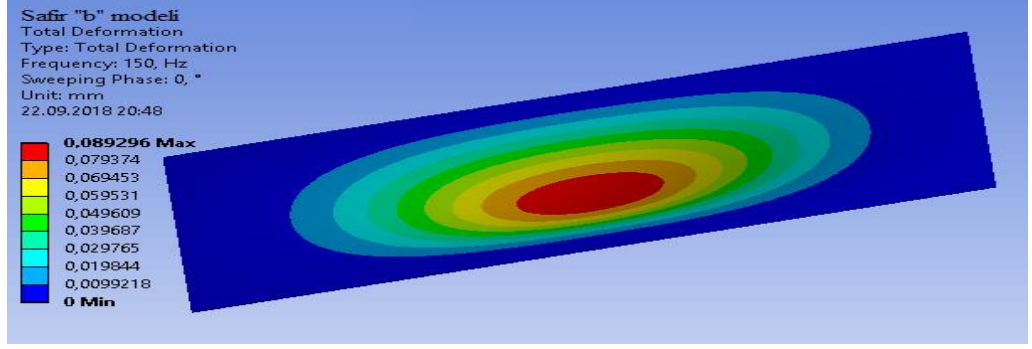
Şekil 4.18. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



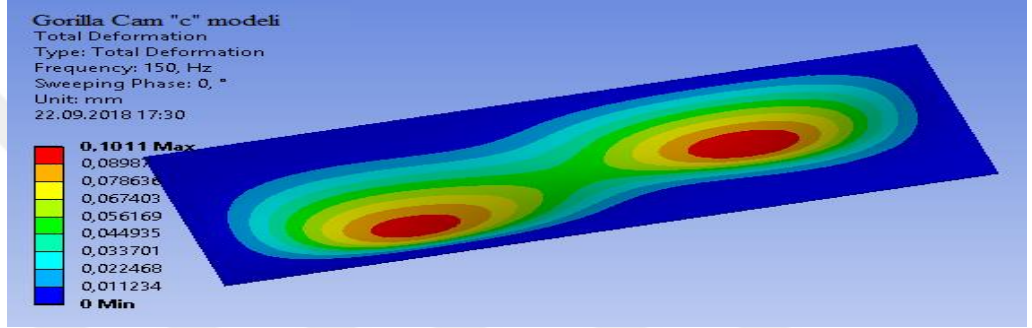
Şekil 4.19. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



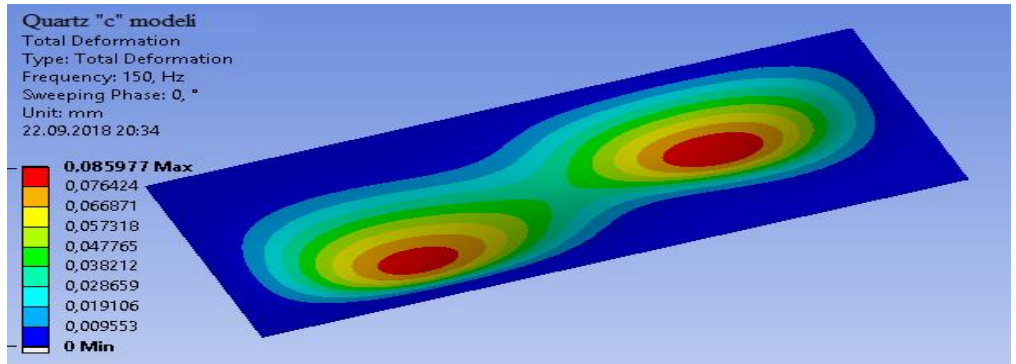
Şekil 4.20. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



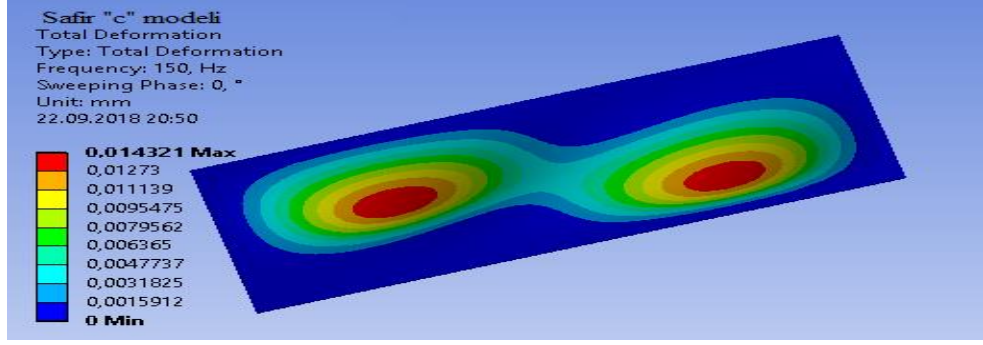
Şekil 4.21. B modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



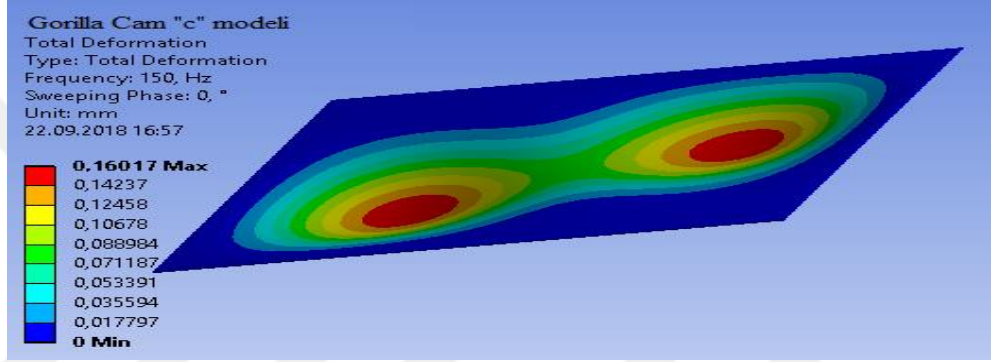
Şekil 4.22. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



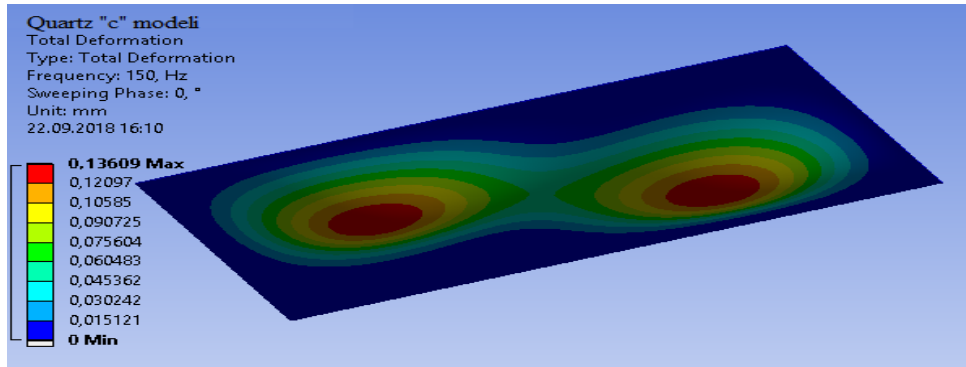
Şekil 4.23. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



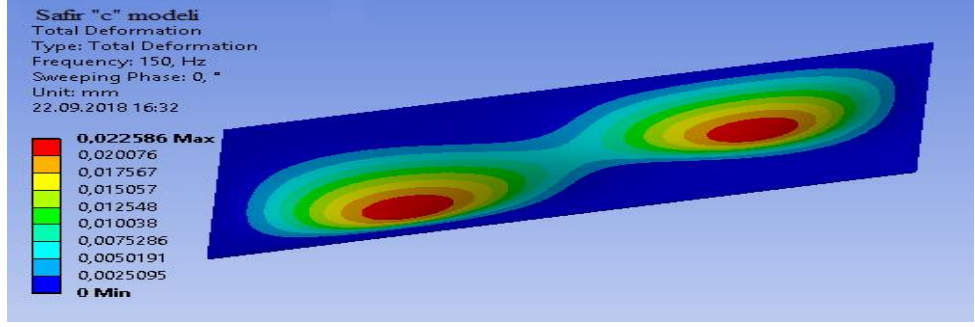
Şekil 4.24. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



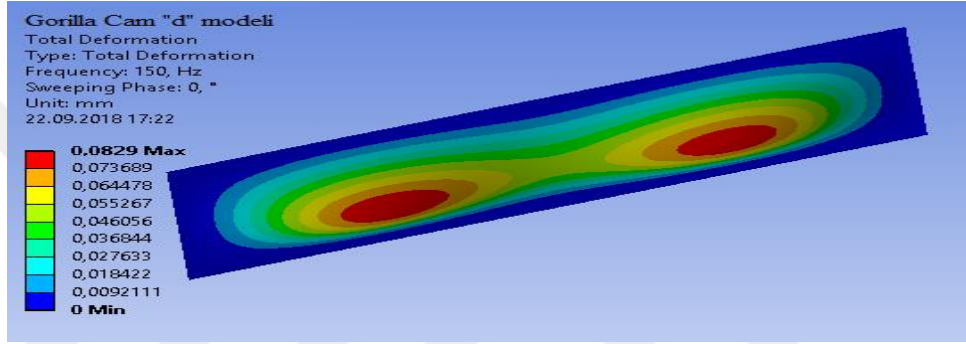
Şekil 4.25. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



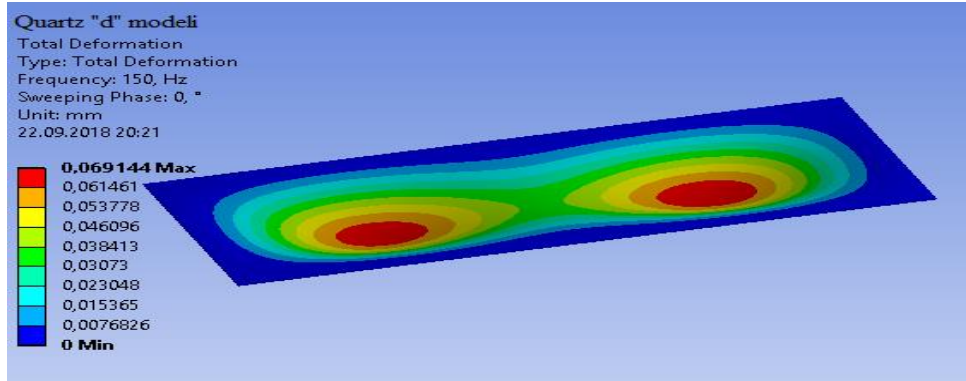
Şekil 4.26. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



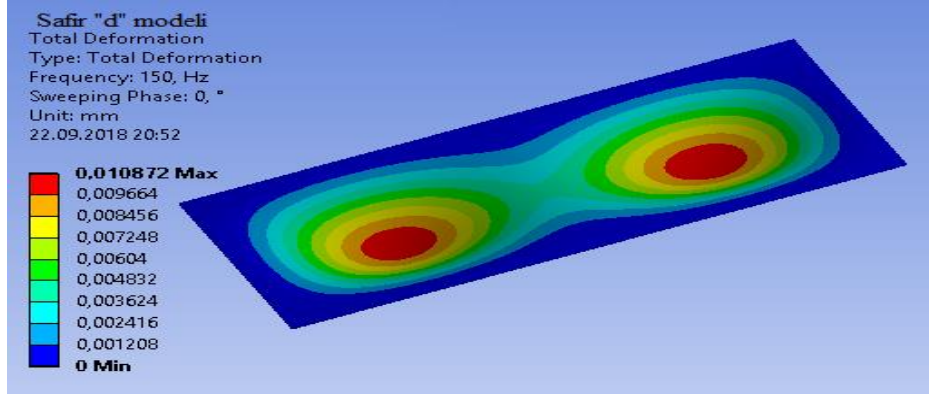
Şekil 4.27. C modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



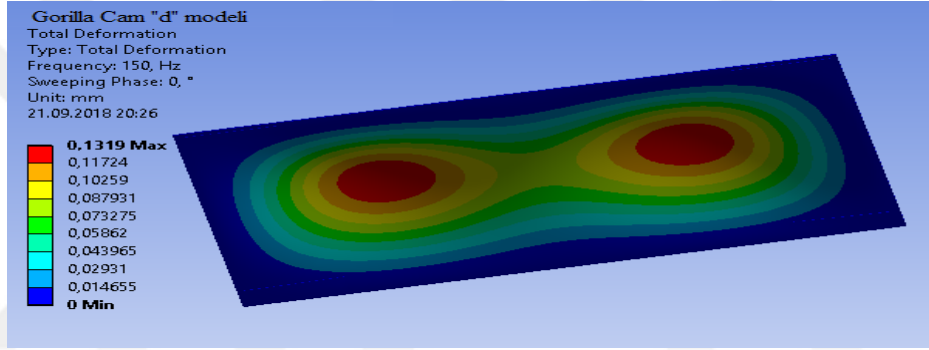
Şekil 4.28. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



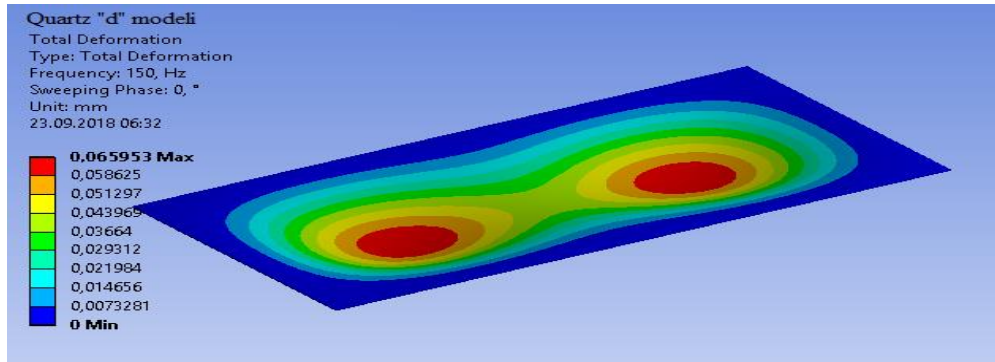
Şekil 4.29. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



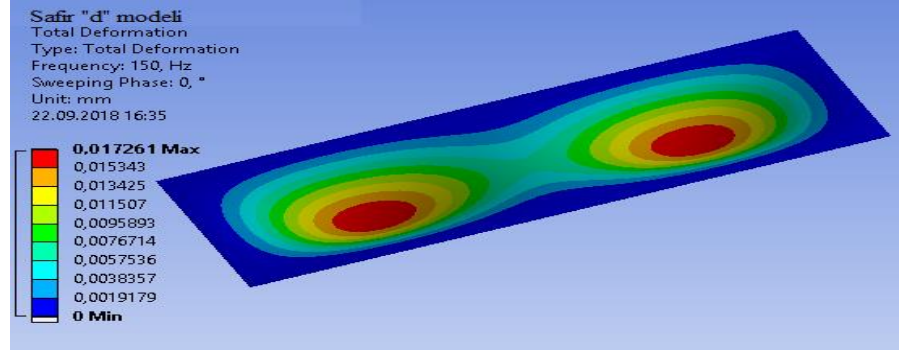
Şekil 4.30. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



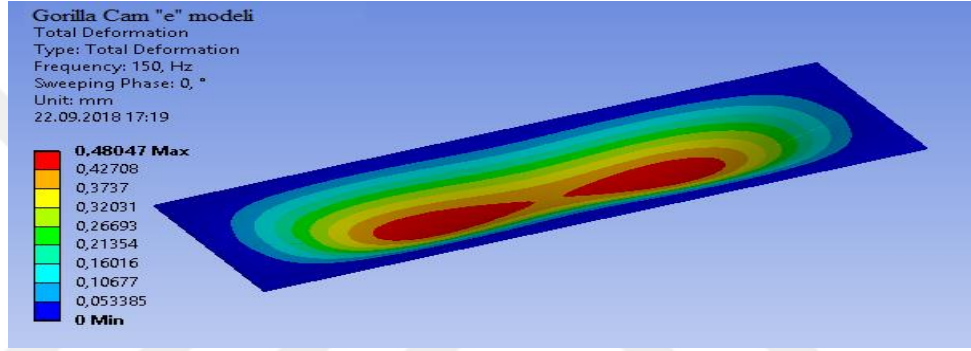
Şekil 4.31. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



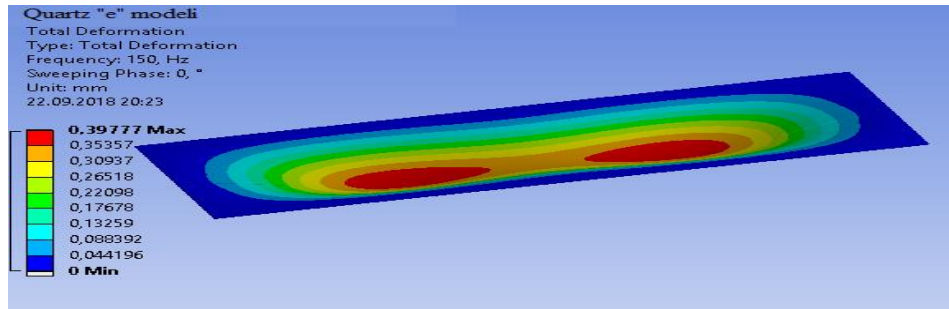
Şekil 4.32. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



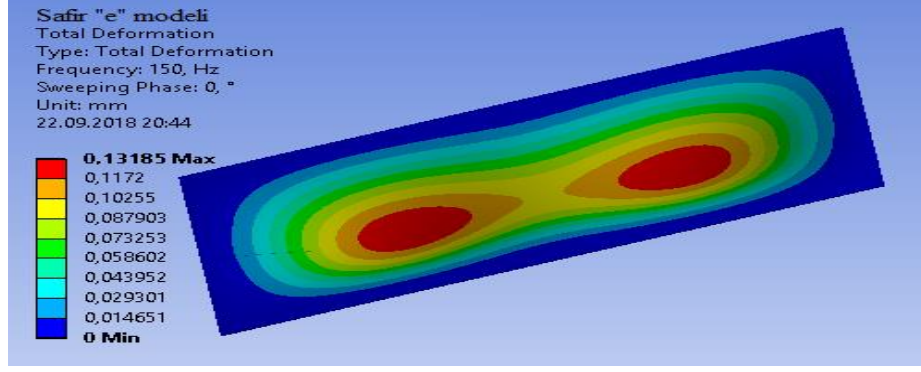
Şekil 4.33. D modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



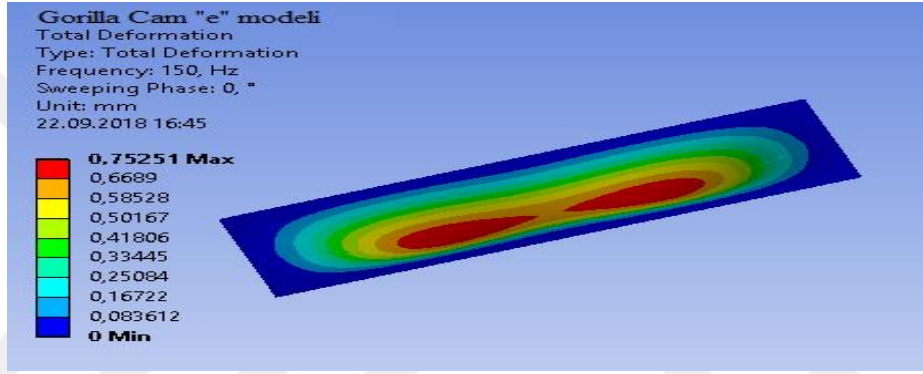
Şekil 4.34. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



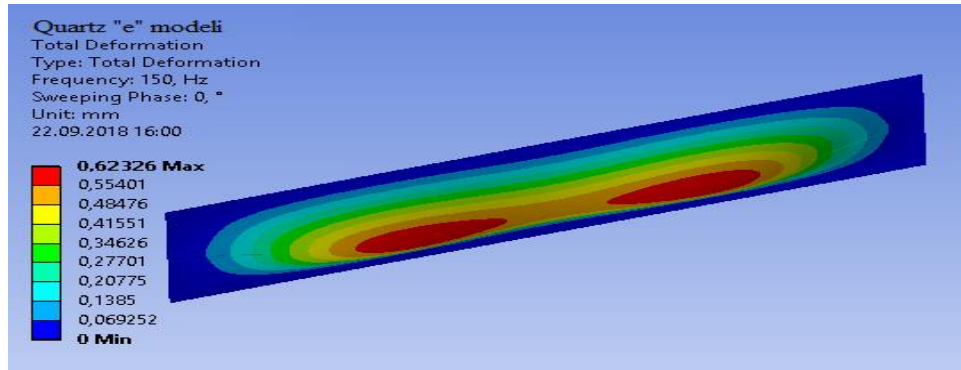
Şekil 4.35. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



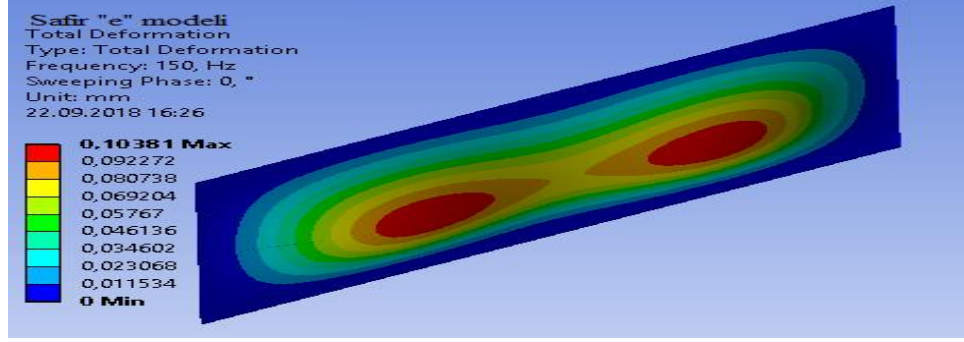
Şekil 4.36. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)



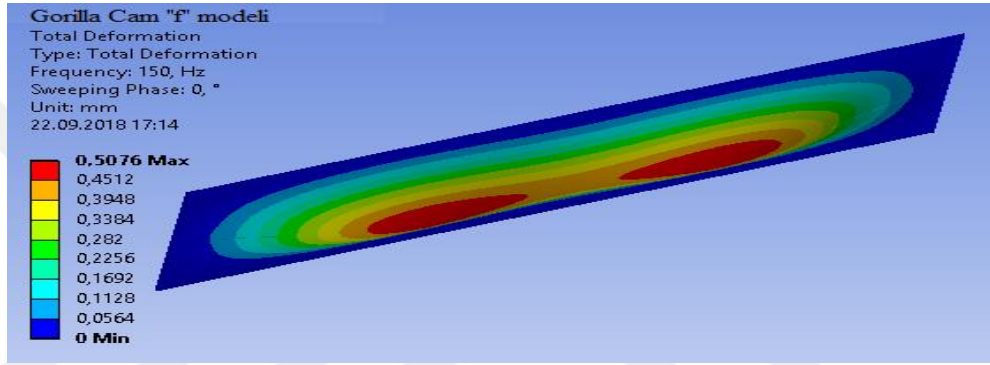
Şekil 4.37. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



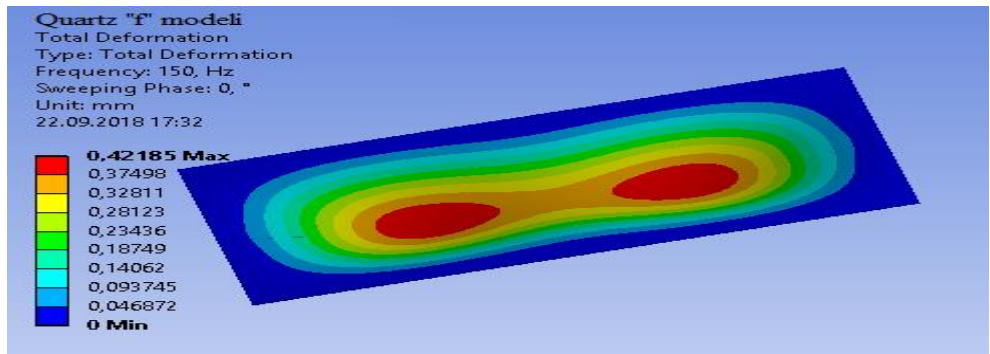
Şekil 4.38. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



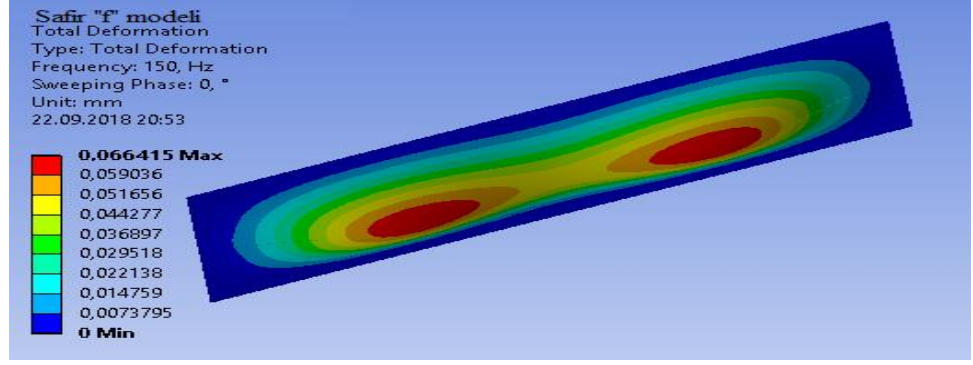
Şekil 4.39. E modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.40. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)

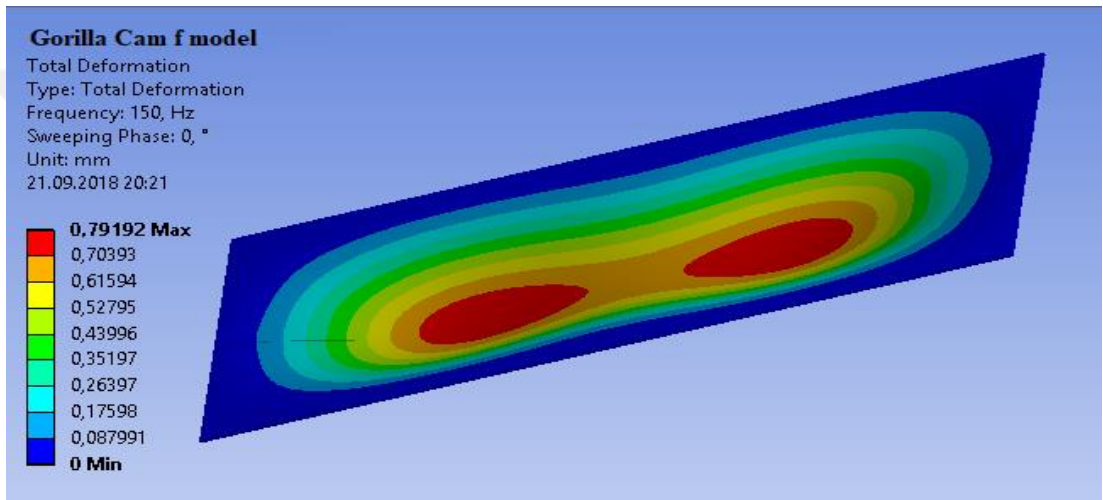
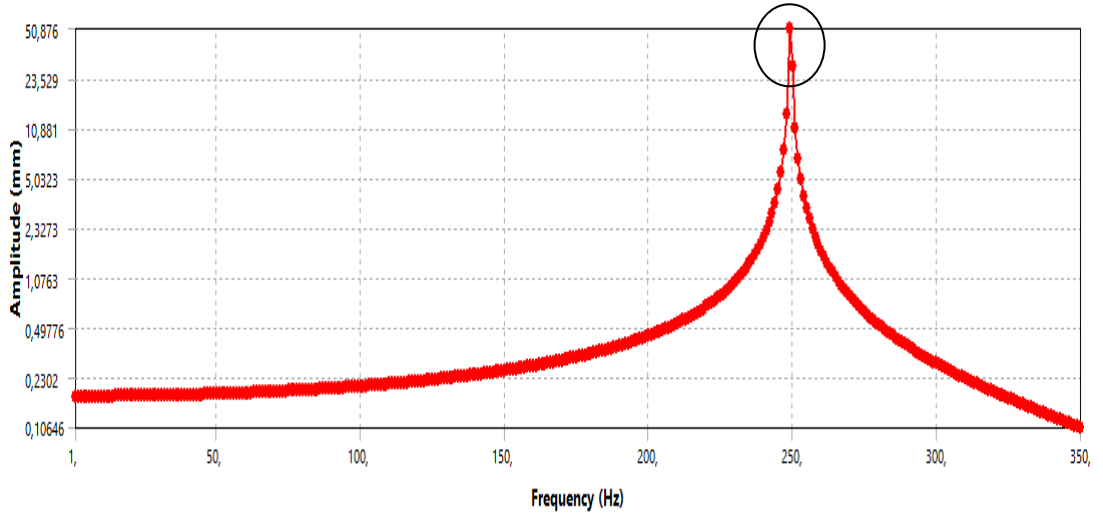


Şekil 4.41. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)

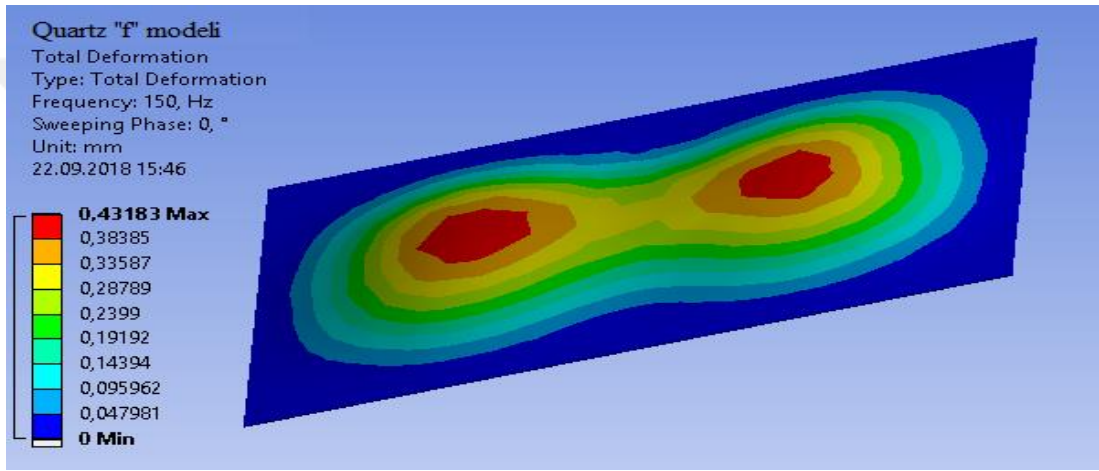
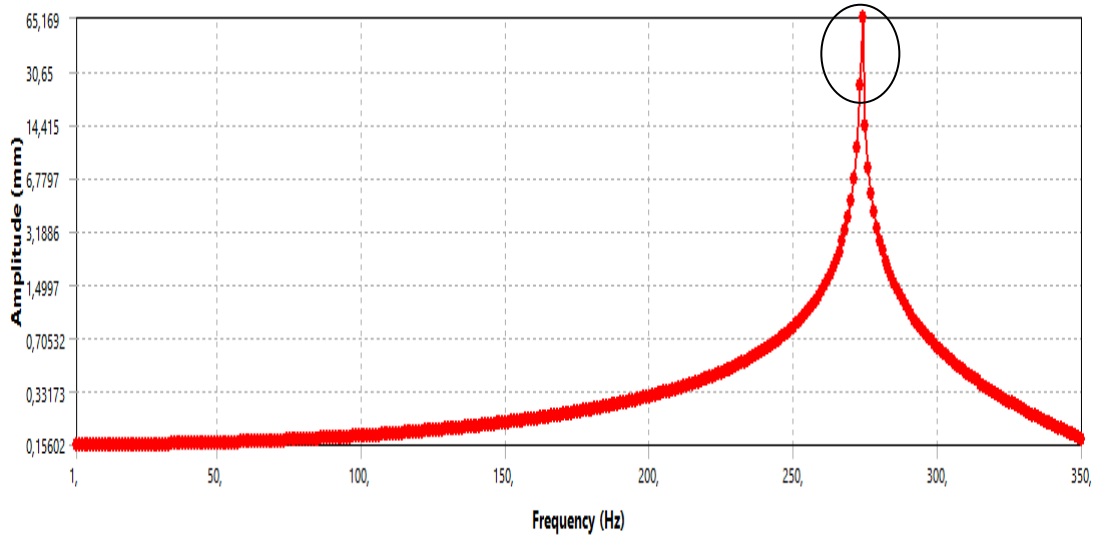


Şekil 4.42. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5A)

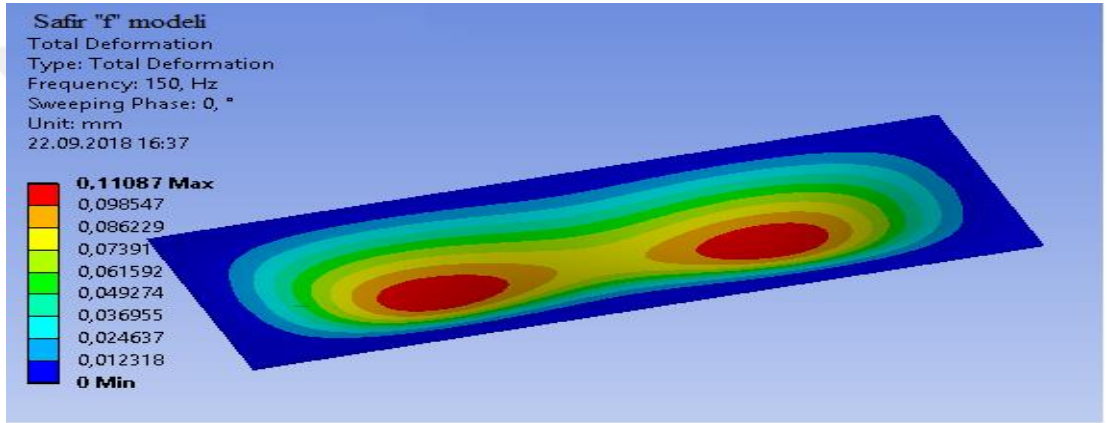
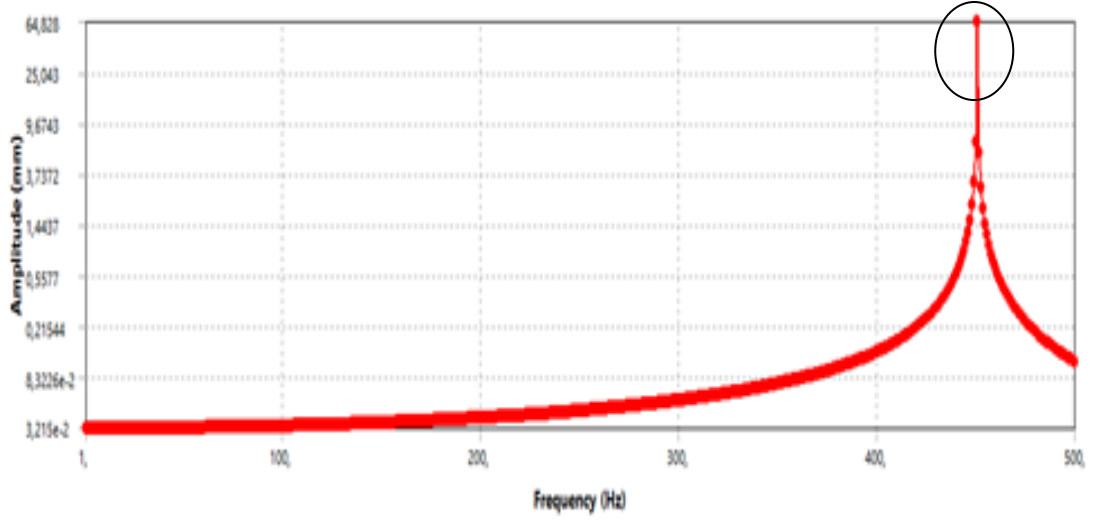
Şekil 4.43'te gorilla cam, Şekil 4.44'te quartz cam, Şekil 4.45'te safir cam malzemesi, 8 adet PZT 5H piezo eleman ile zorlanmıştır ve titreşimin camın üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için frekans-genlik grafiği incelenmiştir. Frekans cevabı, genişletilmiş alanın genliğini bir yönde verir. Örneğin, X yönünden ve Y yönünden frekans cevabı varsa, X ve Y yönündeki maksimum deplasman / genlik değeri aslında aynı anda gerçekleşmez. Bu iki genlik arasında bir faz farkı vardır. Başka bir deyişle, düğüm maksimum toplam deplasmanına ulaştığında, X ve Y yönünden gelen katkılar, iki yönden maksimum gerekli değildir, dolayısıyla maksimum X ve Y değerlerini birleştirmek doğru değildir. Yapılan simülasyon sonuçlarında, ekran malzemesinin için gorilla cam, piezo malzeme için PZT-5H, piezo konum ve sayısı için f modeli seçildiğinde en yüksek genlik değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Grafikler üzerinde belirtilmiş olan tepe noktaları 2. mod yapısına denk gelen maksimum noktadır.



Şekil 4.43. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları-Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.44. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları- Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Quartz Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.45. F modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları-Frekans Cevap Eğrisi (Ekran Malzemesi; Safir Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)

Bölüm 3'te planlanan altı farklı yerleşim düzeni için yapılan analizler karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 4.3'te yazılmıştır. Zorlayıcı olarak PZT 5H piezo malzeme alaşımı kullanıldığında ekran üzerindeki titreşim genlikleri daha yüksek elde edilmiştir. Bu tezde amaç ekran titreşim genliklerinin artırılması olduğu için zorlayıcı malzeme alaşımı olarak PZT 5H önerilir. Simülasyonların sonucunda, cam malzemeler değerlendirildiğinde gorilla camın quartz ve safire göre daha yüksek genliklere ulaştığı ortaya çıkmıştır. “Casset ve ark., 2013”, yaptıkları çalışmada 6 piezo için FEM converter programını kullanarak konum analizleri yapmışlardır ve 6 piezo için cam üzerindeki konumlandırma yaparak en iyi genliği elde etmişlerdir [18]. Bizim çalışmamızda 8

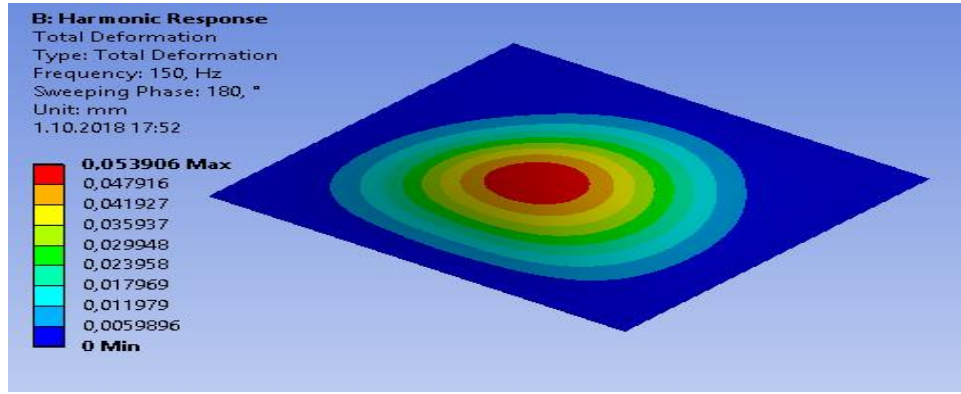
farklı model için farklı konumlar ve piezo titreştirici sayısı için çalışmalar yapılmış, en iyi model belirlenmiştir. “Buket Baylam ve ark., 2012”, yaptıkları çalışmalarda 8 farklı şekilde konumlandırılmış 4 piezo titreştirici için en iyi konumu ve en az gürültü sağlayan konumlandırmayı tespit etmişlerdir [24].

Tablo 4.3. Harmonik Analizlerin Sonucunda Ortaya Çıkan Maksimum Genlik Değerleri

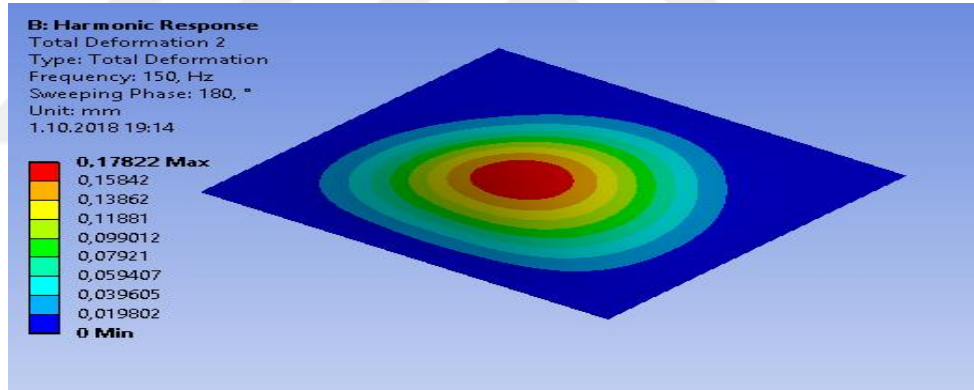
Harmonik Analiz	Mod şekli	Yerleşim düzeni	PZT - 5A			PZT - 5H		
			Gorilla Glass	Quartz	Safir	Gorilla Glass	Quartz	Safir
Maksimum Genlik Değerleri (mm)	1.Eğilme modu	a	0.3632	0.076	0.1027	0.3042	0.1242	0.2037
	1.Eğilme modu	b	0.1689	0.2230	0.13899	0.2707	0.1389	0.1439
	2.Eğilme modu	c	0.1011	0.0859	0.014321	0.16017	0.1360	0.0225
	2.Eğilme modu	d	0.0829	0.0691	0.0108	0.1319	0.0659	0.0172
	2.Eğilme modu	e	0.4804	0.3977	0.1318	0.7525	0.6232	0.1038
	2.Eğilme modu	f	0.5076	0.4218	0.0664	0.7919	0.4318	0.1108

4.2. Piezo Zorlayıcının Boyutu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerin Harmonik Analiz Sonuçları

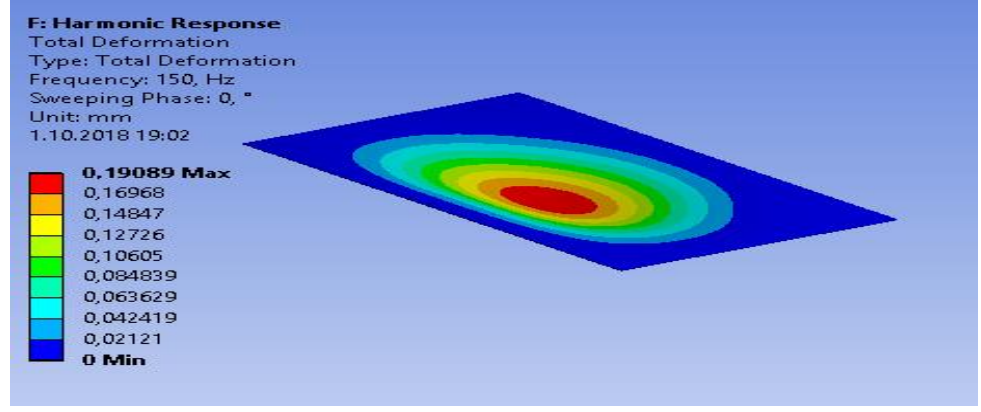
Şekil 4.46 ve Şekil 4.47 arasında yapılan karşılaştırmada a kenarı sabit tutulmuş ve b kenarı büyütüldüğü zaman ortaya çıkan genlik farkı incelenmiştir. Şekil 4.47, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49 arasında b kenarı sabit tutulmuş ve a kenarı büyütüldüğü zaman ortaya çıkan genlik incelenmiştir. Sonlu elemanlar metodu mantığı kullanılarak yapılan analiz sonuçlarında görüldüğü üzere kuvvet uygulanan yüzeyin büyümesi cam üzerindeki genliğin artmasına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 4.4’te gösterilmektedir.



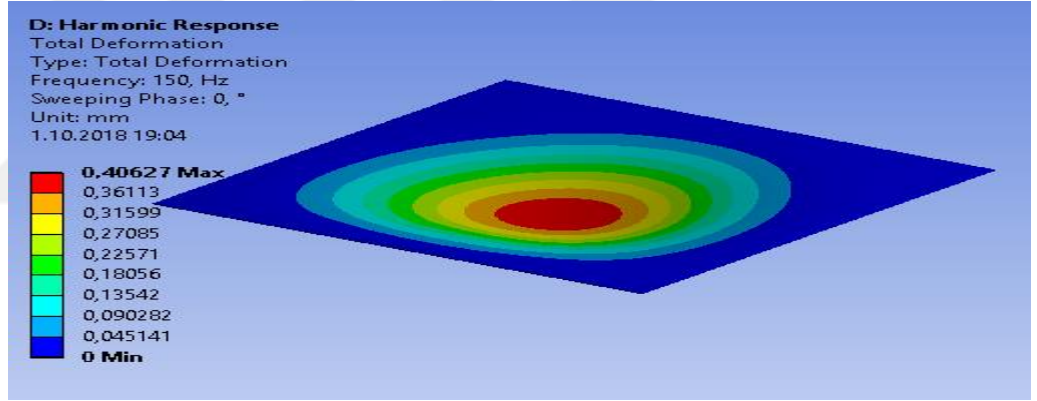
Şekil 4.46. G modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.47. H modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.48. I modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



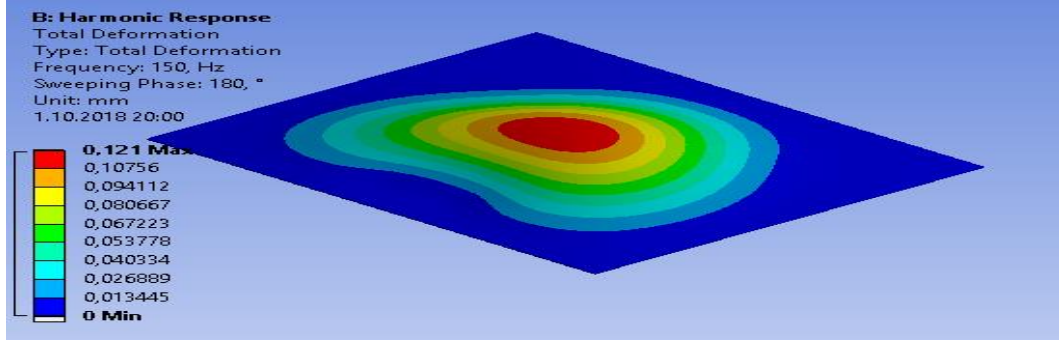
Şekil 4.49. L modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)

Tablo 4.4. Piezo Zorlayıcının Boyutu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerinin Maksimum Genlik Değerleri

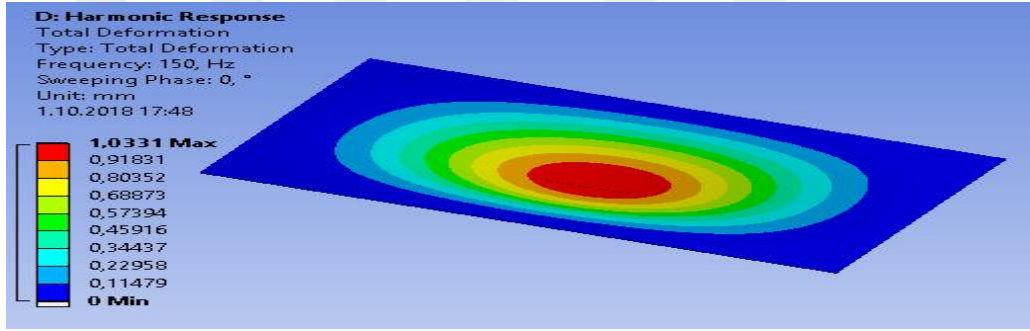
Zorlayıcı modeli	A kenar uzunluğu (mm)	B kenar uzunluğu (mm)	Maksimum Deplasman Değeri(mm)
g	11	31	0.053906
h	11	34	0.17822
i	13	34	0.19089
l	20	34	0.40627

4.3. Piezo Zorlayıcının Konumu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerin Harmonik Analiz Sonuçları

Bu bölümde piezo zorlayıcının ekran üzerinde farklı konumlara yerleştirilmesi ile oluşturulan ekranların harmonik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın simülasyon sonuçları Şekil 4.50 ve 4.51’de sunulmuştur. Harmonik analiz genlik sonuçları Tablo 4.5’te karşılaştırılmıştır. Yapılan iki analiz karşılaştırıldığında piezo zorlayıcının etkisi kenarlardan uzaklaştıkça artmaktadır ve deplasman değeri yükselmektedir.



Şekil 4.50. J modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)



Şekil 4.51. K modeli için Piezo Eleman ile Zorlanan Ekranın Harmonik Analiz-Genlik Sonuçları (Ekran Malzemesi; Gorilla Cam, Piezo Eleman Malzemesi; PZT 5H)

Tablo 4.5. Piezo Zorlayıcının Konumu Değiştirilerek Elde Edilen Ekran Modellerinin Genlik Değerleri

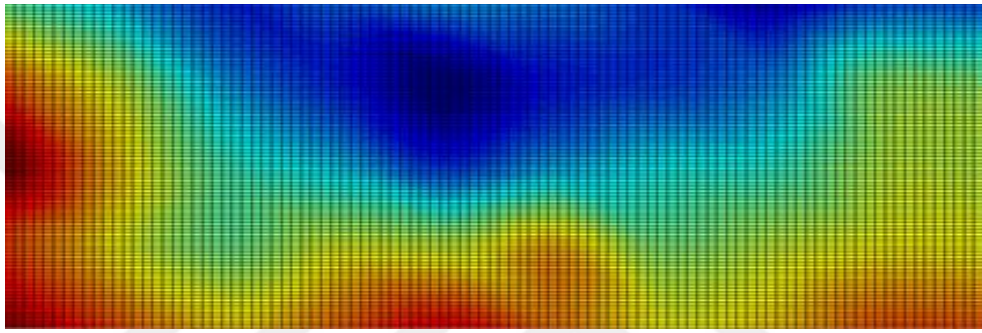
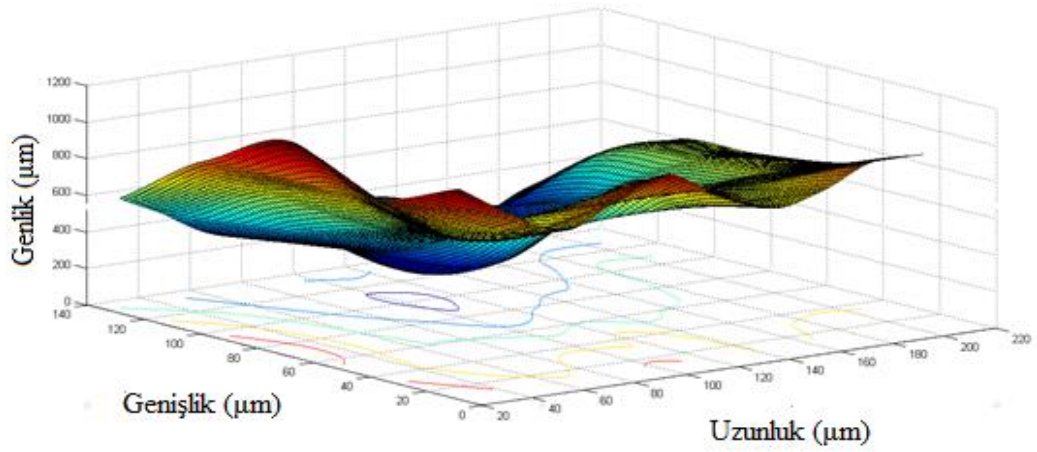
Piezo Zorlayıcının Ekran Üzerindeki Konumu	Maksimum Deplasman Değeri (mm)
(j) konumu için	0.121
(k) konumu için	1.0331

4.4. Dokunmatik Ekranın Frekans Genliklerinin Deneysel Sonuçları

Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analiz sonuçları doğrultusunda deney sistemi geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında maksimum genlik değeri çoklu piezo kullanımlarında elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına dayanılarak ekran malzemesi gorilla cam, zorlayıcı malzemesi ise PZT5H seçilmiştir. Her bir titreşim fonksiyonu kullanıcıya farklı dokunsal geri bildirim sağlamaktadır. Aktive edilen piezo sayısı arttıkça, maksimum genlik değerleri, simülasyon programında elde edildiği gibi artmaktadır. Kapasitif ekran üzerindeki piezo yerleşiminin maksimum genlik değerine etkisine baktığımızda ise genliklerde çok büyük farklılık görülmemektedir.

Gürültü açısından değerlendirilecek olursa frekans arttırıldıkça gürültü arttığı için uygulanacak olan frekans 150 Hz olarak seçilmelidir. Uygulanan voltaj değeri 150 voltur.

Sekiz piezo birlikte 150 volt 150 Hz'de çalıştırıldığında elde edilen yüzey formu Şekil 4.52'de görülmektedir. Planlanan yerleşim düzenleri karşılaştırıldığında 8 piezo zorlayıcı yerleşim düzeni için en iyi genlik değerinin alındığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.52. Sekiz piezo kiriş birlikte çalıştırıldığında kapasitif ekrandaki mod yapısı (yüzey görünümü (üstte), üstten görünüm (altta)) (150 V_{pp}, 150 Hz)

Sonuç olarak gerçekleştirilen simülasyon ve deney çalışmaları elektronik cihazlarda uygulanabilecek farklı dokunsal geri bildirim fonksiyonlarının elde edilmesini sağlamıştır. Şekil 4.52’de deneysel sonuçlar ile Şekil 4.43’te yapılan simülasyon sonuçlarının birbirlerini doğruladığı, iki çalışmanın sonuçlarının 0.79~ mikron gibi birbirlerine çok yakın iki değer çıkmasıyla örtüştüğü görülmektedir. Bu ürünlerin kullanımında istenilebilecek çeşitli titreşim fonksiyonları farklı piezo zorlayıcı malzemesi kullanarak ve bu piezo zorlayıcıları ürünün farklı bölgelerine entegre ederek elde edilebilecektir. Uygulanan frekans ve voltaj değiştirilerek titreşim modu ve genliği değiştirilebilmektedir. Çalışmalarda boyut, gürültü ve ekran üzerinde homojen titreşim dağılımı düşünüldüğünde en uygun konfigürasyonun 8 piezolu model olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezin amacı, dokunmatik ekranların üzerindeki dokunsal geri bildirim hissinin son zamanlarda ilgi odağı olan piezo zorlayıcılar vasıtasıyla arttırmaktır. Piezo zorlayıcılar vasıtasıyla yüksek genlikli titreşimler üretmektir. Titreşim genliklerinin arttırılması için en uygun şartların belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda öncelikle sistemin parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler; dokunmatik ekranın malzemesi, zorlayıcı piezo malzemesi, aktif piezo sayısı, piezo yerleşimi ve piezonun etki ettiği alandır. Her bir parametrenin titreşim genliklerine etkisini belirlemek için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Öncelikle farklı ekran malzemeleri için modal analiz yapılarak doğal frekans değerleri ve mod yapıları elde edilmiştir. 8 farklı ekran malzemesi için yapılan doğal frekans karşılaştırılmasında, sektörde en çok kullanılan ve yüksek genlikler üretilebilmesi için doğal frekans değerleri en düşük olan cam malzemeler seçilmiştir. Seçilen cam malzemeler safir, quartz ve gorilla camdır.

Dokunsal geri bildirim düzeneğindeki fiziksel parametrelerin frekans genlik eğrileri üzerine etkileri araştırılmak üzere harmonik analiz yapılmıştır. Piezo zorlayıcı malzemesi olarak iki farklı alaşımı seçilmiş ve analiz edilmiştir. Piezo zorlayıcılar ekrana 6 farklı konumda yerleştirilerek maksimum genlik değerleri belirlenmiştir. En iyi şart belirlenerek deneysel olarak modellenmiş ve frekans genlik ölçümü yapılmıştır. Deney ve simülasyon sonuçları uyumlu elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda yazılmıştır.

- Sektörde yaygın olarak kullanılan üç cam tipi için çalışmalar yapılmış ve en iyi genliğin Gorilla Cam ile sağlandığı tespit edilmiştir.
- Harmonik analiz sonuçlarına göre pzt5h piezo zorlayıcı alaşımının ekran üzerinde daha yüksek genlikte titreşim oluşturduğu belirlenmiştir.
- Aktif çalışan piezo sayı ve yerleşimine bağlı olarak ekran farklı mod şekillerinde çalışmaktadır.
- Harmonik analiz sonuçlarına göre ekran üzerinde en yüksek genlik değeri sekiz aktif piezo zorlayıcı çalıştırılarak elde edilmiştir.
- Sekiz aktif piezo çalıştırılarak deneysel olarak elde edilen ekran genliği harmonik analiz sonuçlarıyla uyumlu elde edilmiştir.

- Harmonik analiz sonuçlarına göre piezo zorlayıcının alanı büyüdükçe ekran genliğinin arttığı belirlenmiştir.
- Harmonik analiz sonuçlarına göre zorlayıcının konumu ekran merkezine yaklaştıkça ekran genliğinin arttığı belirlenmiştir.

Dokunmatik ekran tasarımı üzerinde yapılan simülasyon ve deney çalışmasının dikkate alınması, hızla büyümekte olan dokunmatik ekran sektörü için faydalı olacaktır. Gelecekteki çalışmalarda, bu çalışmada yaptığımız simülasyon çalışmalarını geliştirmeyi ve deneysel olarak da yeni tasarımların denenmesi hedeflenmektedir. Deney düzeneği geliştirilecek ve titreşim yapan yüzeydeki sürtünme kuvvetleri belirlenecektir.

KAYNAKLAR

1. Mahmoodi S.N., Jalili N. Non-linear vibrations and frequency response analysis of piezoelectrically driven microcantilevers, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2007;42:577-587.
2. Wood R.J., Steltz E., Fearing R.S.. Optimal energy density piezoelectric bending actuators, *Sensors and Actuators A*, 2005;119:476-488.
3. Isarakorn D., Sambri A., Janphuang P., Briand D., Gariglio S., Triscione J.M, Guy F., Reiner J.W., Ahn C.H., Rooij N.F.. Epitaxial piezoelectric MEMS on silicon, *Journal of Micromechanical Microengineering*, 2010;20:55008-550016.
4. Liu J.Q., Fang H.B., Zheng Y.X., Mao X.H., Shen X.-C., Chen D., Liao H., Cai B.C.. A MEMS-based piezoelectric power generator array for vibration energy harvesting, *Microelectronics Journal*, 2008;39:802-806.
5. Erturk A., Inman D.J.. Issues in mathematical modeling of piezoelectric energy harvesters, *Smart Mater. Struct.*, 2008;17:65016-65029.
6. Zhang W., Meng G., Li H.. Adaptive vibration control of micro-cantilever beam with piezoelectric actuator in MEMS, *Int J Adv Manuf Technol*, 2006;28:321–327.
7. Kwon O.D., Yoo J.S., Yun Y.J., Lee J.S., Kangl S.H., Lim K.J.. A Research on the Piezoelectric Vibration Actuator for Mobile Phone, *Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, June 5-9, 2005, Kitakyushu, Japan, 2005.
8. Cho Y.J., Yang T.H., Kwon D.S., A New Miniature Smart Actuator based on Piezoelectric material and Solenoid for Mobile Devices, *Source: The 5th International Conference on the Advanced Mechatronics*, 2010.
9. Winfield L., Glassmire J., Edward C.J., Peshkin M.. T-PaD: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction, *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2007.
10. Motoo K., Fukuda T., Arai F., Matsuno T.. Piezoelectric Vibration-Type Tactile Sensor with Wide Measurement Range Using Elasticity and Viscosity Change, *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* October 9 - 15, 2006, Beijing, China, 2006.
11. Kim S.C., Yang T.H., Han B.K., Kwon D.S.. An evaluation of surface-transmitted haptic feedback, *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2008.
12. Nicholas D., Marchuk J., Colgate E., Peshkin M.A.. *IEEE Haptics, Symposium 2010*, 25-26 March, Waltham, Massachusetts, USA.

13. Yang Y., Lemaire-Semail B., Giraud F., Amberg M., Zhang Y., Audine CG. Power analysis for the design of a large area ultrasonic tactile touch panel, *European Physical Journal: Applied Physics*, EDP Sciences, 2015;72:pp.11.
14. Osgouei R.H., Kim J.R., Choi S., Identification of Primitive Geometrical Shapes Rendered Using Electrostatic Friction Display, *IEEE Haptics Symposium 2016*, April 8–11, 2016, USA.
15. Silva P.M., Pappas T.N., Atkins J., West J.E. Perceiving Graphical and Pictorial Information via Hearing and Touch, *IEEE Transactions on Multimedia*, 2016;12:18.
16. Hudin C., Lozada J., Hayward V. Localized Tactile Stimulation by Time-Reversal of Flexural Waves: Case Study with a Thin Sheet of Glass, *Proceedings of the World Haptic Conference*, 2013;67-72.
17. Rouch P, Blanze C. Vibrational Analysis of Structures with Stochastic Interfaces in the Medium-Frequency Range: Experimental Validation on a Touch Screen, *Journal of Sound and Vibration*, 2014;333(6):1612-1628.
18. Casset F., Danel J.S., Chappaz C, Civet Y., Amberg M., Gorisse M., Dieppedale C., Rhun G.L., Basrour S., Renaux P., Defay E., Devos A., Semail B., Ancy P., Fanget S. Low Voltage Actuated Plate For Haptic Applications with Pzt Thin-Film, *Transducers 2013*, Barcelona, SPAIN, 16-20 June 2013.
19. Bernard F., Gorisse M., Casset F., Chappaz C., Basrour S., Design, Fabrication and Characterization of a Tactile Display Based on AlN Transducers, *Procedia Engineering*, 2014;87:1310-1313.
20. Altinsoy M., Merchel S.. Electrotactile Feedback for Handheld Devices with Touch Screen and Simulation of Roughness, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 5, No. 1, January-March 2012.
21. Ouakad HM, Younis MI. The dynamic behavior of MEMS arch resonators actuated electrically, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2010;45:704-713.
22. Sarı G., Pakdemirli M. Effects of non-Ideal boundary conditions on the vibrations of a slightly curved micro beam, *International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace, and Sciences*, July 10- 14, Vienne, Austria, 2012.
23. Sarı G, Pakdemirli M. Vibrations of a slightly curved microbeam resting on an elastic foundation with non-ideal boundary conditions, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013;736148-736164.
24. Baylan B, Aridogan U, Basdogan C, Finite Element Modeling of a Vibrating Touch Screen, *EuroHaptics Part I, LNCS 7282* 47-57, 2012.

25. EMGIN S, Aghakhani A, Sezgin M, ve Basdogan C. HapTable: An Interactive Tabletop Providing Online Haptic Feedback for Touch Gestures. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2018.
26. Jin, Kyeongbok, Sang-Youn Kim, ve In-Ho Lee. "A hand-held controller with haptic feedback for virtual reality." Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS), 2017 International Conference on. IEEE, 2017.
27. Ak, A.F., Sari, G., Akgül, M.B., Kirişken, B. and Akiş, A.A. Numerical analysis of vibrating touch screen actuated by piezo elements. In: Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), 2017 8th International Conference on. IEEE, 2017. p. 775-779.
28. Sari, G, Ak, A.F, Akgül, M.B, Kirişken, B. and Akiş, A.A.. An experimental study of a piezoelectrically actuated touch screen. In: Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), 2017 8th International Conference on. IEEE, 2017. p. 753-758.
29. SARI, G., Ak, A.F., Akiş, A.A.. Piezo Elektriksel Etki İle Aktive Edilen Dokunmatik Ekranların Titreşim Analizleri. 20. Ulusal Mekanik Kongresi, 05 - 09 Eylül 2017, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Bildiri Kitabı, 299-307.
30. Anonim, 03.06.2018, A, <http://informationdisplay.org/portals/informationdisplay/issues/2014/01/art11/fig1.jpg>
31. Anonim, 03.06.2018, B, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/dokunmatik-ekranlar-nasil-calisir/8600#ad-image-0>
32. Anonim, 03.06.2018, C, <https://www.robotistan.com/45mm-x-8mm-mini-kablolu-titresim-motoru-silikon-kilifli-17400-61-B.jpg>
33. Anonim, 03.06.2018, D, https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/fall14/group04/assets/appnote_michael.pdf
34. Anonim, 11.02.2019, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/1588e685562af34_ek.pdf
35. Anonim, 08.06.2018, H, <http://www.surmet.com/technology/spinel/index.php>
36. Anonim, 03.06.2018, I, <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Soda-Lime-Float-Glass>
37. Anonim, 05.06.2018, İ, http://www.surmet.com/docs/Product_sheet_ALON.pdf
38. Anonim, 03.06.2018, K, https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxynitride
39. Anonim, 07.06.2018, L, <http://abrisatechnologies.com/products-services/glass-products/high-ion-exchange-hie/asahi-dragontrail/>
40. Anonim, 06.06.2018, M, https://www.schott.com/d/xensation/a3f53d0a-586e-41b6-830c-48329da352c7/1.0/schott_xensation_cover_db_row.pdf

41. Anonim, 02.06.2018, N, https://www.cmscientific.com/info_sheets/Sapphire_Physical_Mechanical_Properties.pdf
42. Anonim, 01.06.2018, O, https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_quartz
43. Anonim, 03.06.2018, Ö, http://www.technicalglass.com/technical_properties.html
44. Anonim, 03.06.2018, P, https://www.corning.com/microsites/csm/gorillaglass/PI_Sheets/Corning%20Gorilla%20Glass%205%20PI%20Sheet.pdf
45. Anonim, 15.06.2018, R, <https://www accuratus.com/fused.html>
46. Anonim, 23.09.2018, T, <https://www accuratus.com/fused.html>
47. Askeland, Donald R., ve Pradeep Prabhakar Phulé. The science and engineering of materials. Monterey, CA: Brooks/Cole-Thomson Learning, 2003.
48. Hooker, Matthew W. "Properties of PZT-based piezoelectric ceramics between-150 and 250 C." (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Fatih AK

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 1993

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ahmetfatihak@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Aydın Adnan Menderes Anadolu Lisesi, 2011

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2016

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Devam Ediyor

Mesleki Deneyim

POLAT MAKİNA SAN. TİC. ve A.Ş. 2018-...

Yayınları

Ak, A.F., Sari, G., Akgül, M.B., Kirişken, B. and Akiş, A.A.. Numerical analysis of vibrating touch screen actuated by piezo elements. In: Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), 2017 8th International Conference on. IEEE, 2017. p. 775-779.

Sari, G, Ak, A.F, Akgül, M.B, Kirişken, B. and Akiş, A.A.. An experimental study of a piezoelectrically actuated touch screen. In: Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), 2017 8th International Conference on. IEEE, 2017. p. 753-758.

Sarı, G., Ak, A.F., Akiş, A.A.. Piezo Elektriksel Etki İle Aktive Edilen Dokunmatik Ekranların Titreşim Analizleri. 20. Ulusal Mekanik Kongresi, 05 - 09 Eylül 2017, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Bildiri Kitabı, 299-307.,

