

**ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE
PIEZO-AKTİF TİTREŞİM KONTROLÜ
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

Mert GÜL

Yüksek Lisans Tezi

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Mart, 2012

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mert Gül'ün “Çamaşır Makinelerinde Piezo-Aktif Titreşim Kontrolü Sistemi Geliştirilmesi” başlıklı **Endüstriyel Tasarım** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 15.11.2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı): Prof. Dr. AYDIN DOĞAN	
Üye : Yard. Doç. FÜSUN CURAOĞLU	
Üye : Yard. Doç. Dr. A. TUĞRUL SEYHAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.....tarih ve sayılı kararınca onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çamaşır Makinelerinde Piezo-Aktif Titreşim Kontrolü Sistemi Geliştirilmesi

Mert GÜL

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Aydın DOĞAN

2011, 123 sayfa

Bu tez çalışmasının amacı, piezoelektrik malzemelerin yapısal özellikleri kullanılarak, çamaşır makineleri panellerinde ortaya çıkan yüksek genlikli titreşimleri sönmölemek. Bu titreşimlerin çamaşır makinelerinin gürültü seviyelerini artırdığı bilinmektedir. Çamaşır makinelerinde gürültü seviyeleri düşürölmeye çalışılmaktadır. Aynı zamanda çamaşır makinelerinde yan panellerde ortaya çıkan titreşimler piezoelektrik özelliklere sahip plakalar ile kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu süreçte deneysel ve analitik yöntemlerin yanı sıra, modern sayısal yöntemlerden de yararlanılmıştır. Ayrıca titreşimi azaltmaya yönelik yapılan çalışmaların, çamaşır makinasının tasarımına etkisi araştırılmıştır. Böylelikle, tasarım sürecinin daha sağlıklı işlemesi ve ivmelenmesi sağlanacak, prototip hazırlama ve ölçüm süresi kısaltılmış, maliyetler düşürölmüş olacaktır.

Anahtar Sözcükler : Titreşim Sönmöleme, Piezoelektrik Seramik, Aktif Titreşim Kontrolü, Akıllı Malzeme, Çamaşır Makinesi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

Development of Piezo-active Vibration Control System in Washing Machine

Mert GÜL

Anadolu University

Graduate School of Sciences

School of Industrial Arts Program

Supervisor : Prof. Dr. Aydın DOĞAN

2012, 123 pages

The aim of this thesis is to control the vibrations that arise in the washing machines by using piezoelectric materials methods. It is known that the vibration at the side panel increase the noise level of the washing machine. In the consuming world, noise levels of washing machines wanted to be decreased. The vibrations of the side panels were controlled by the piezoelectric plates. In this period, modern numerical methods be made use of as well as experimental and analytical methods. In addition the effects of critical vibration control units were researched to the design of washing machine. Thus, the design period will go on properly, measurement and prototyping time will be reduced and costs will be decreased.

Keywords : Vibration Damping, Piezoelectric Ceramic, Active Vibration Control, Smart Material, Washing Machine

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında her aşamada bana yardımcı olan başta değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Aydın DOĞAN'a, yapıcı eleştirileri ve önerileriyle daha iyi bir noktaya gelmemi sağlayan Endüstriyel Tasarım Bölüm Bşk. Sayın Yard. Doç. Füsun CURAOĞLU'na ve tez savunmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen jüri üyesi Sayın Yard. Doç. Dr. A. Tuğrul SEYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Uygulama kısmında bilgisini ve desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Emre TÜFEKÇİOĞLU'na, ziyaretimiz esnasında bizimle ilgilenen ve bilgilendiren ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Yavuz YAMAN'a, Sayın Yard. Doç. Dr. Melin ŞAHİN'e, Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Hayrettin KÖYMEN'e ve desteklerini eksik etmeyen **Arçelik Çamaşır Makinesi Titreşim ve Akustik Takımı**'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bölüme beraber başladığımız, her zaman birbirimize destek olduğumuz arkadaşım Elif IŞIK'a ve bölümdeki diğer arkadaşlarıma, öğrenim hayatım boyunca üstümde emeği geçmiş tüm hocalarıma ve tez çalışmasına dolaylı yollardan katkıda bulunan tüm insanlara teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan grup arkadaşlarım Ali BIYIKLI, Burçak ATAY, Mevlüt GÜRBÜZ, Esra ERDOĞAN, Cem ORHUN, Tayfun TOKTAŞ, Ayşegül AKYÜREKLİ, Mustafa BAĞIRGAN'a ve başta Endüstriyel Sanatlar Yüksekokulu çalışanları olmak üzere tüm Anadolu Üniversitesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında olduğu gibi uzun ve zorlu çalışmam sırasında beni sürekli destekleyen maddi, manevi desteğini esirgemeyen başta babam Emekli Öğretmen Murtaza GÜL olmak üzere anneme, kardeşlerime, halam ve eşine, başta Yusuf M. CAN olmak üzere kuzenlerime, amcama ve eşine, tüm arkadaşlarıma ve hayatımı paylaştığım sabırlı eşim, desteğim Alev GÜL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mert GÜL

Mart, 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇAMAŞIR MAKİNELERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	2
2.1. Çamaşır Makinesi.....	2
2.1.1. Önden yüklemeli çamaşır makinesi.....	2
2.1.2. Üstten yüklemeli çamaşır makinesi.....	4
2.2. Çamaşır Makinesi Modelleri.....	5
2.2.1. 20. yy öncesi çamaşır makineleri.....	5
2.2.2. 20. yy çamaşır makineleri.....	24
2.2.3. 21. yy çamaşır makineleri.....	32
2.3. Çamaşır Makinesinde Teknik Sorunlar.....	51
3. ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE TEKNİK BİR SORUN	
OLARAK TİTREŞİM	52
3.1. Titreşim Nedir.....	52
3.2. Titreşim Kontrol Yöntemleri.....	54
3.2.1. Pasif titreşim kontrol yöntemi.....	55
3.2.1.1. Viskoelastik sönümleme.....	55
3.2.1.2. Viskoz sönümleyiciler.....	56
3.2.1.3. Sürtünmesel sönümleme.....	56
3.2.1.4. Darbe sönümleyiciler.....	57

3.2.2. Yarı aktif titreşim kontrol yöntemi.....	57
3.2.2.1. Manyetoreolojik damperlerle titreşim kontrolü.....	57
3.2.2.2. Elektoreolojik damperlerle titreşim kontrolü.....	58
3.2.3. Aktif titreşim kontrolü yöntemi.....	58
3.2.3.1. İleri besleme yöntemi.....	61
3.2.3.2. Geri besleme yöntemi.....	61
3.2.4. Aktif titreşim kontrolünde titreşim kontrol teknikleri.....	63
3.2.4.1. LMS kontrol.....	63
3.2.4.2. H_{∞} kontrol tasarım tekniği.....	63
3.2.4.3. H^2 kontrol tasarım tekniği.....	64
3.3. Çamaşır Makinelerinde Titreşim.....	65
3.3.1. Çamaşır makinelerinde titreşimi azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar.....	66
3.3.1.1. Çamaşır makinesi pasif titreşim sönümleme çalışmaları.....	67
3.3.1.2. Çamaşır makinesi aktif titreşim sönümleme çalışmaları.....	72
3.4. Titreşim Kontrolünde Kullanılan Malzemeler.....	76
3.4.1. Şekil bellekli alaşımlar.....	76
3.4.2. Manyetokıstlı malzemeler.....	76
3.4.3. Manyetoreolojik sıvılar.....	77
3.4.4. Piezoelektrik malzemeler.....	77
3.4.4.1. Piezoelektrik malzemelerin tarihi.....	77
3.4.4.2. Piezoelektrik malzemelerin yapısı.....	79
3.4.4.3. Piezoelektrik doğal kristaller.....	80
3.4.4.4. Piezoelektrik seramikler.....	81
3.4.4.4.1. Baryum titanat.....	81
3.4.4.4.2. Kurşun zirkonat titanat.....	82
3.4.4.5. Piezoelektrik polimerler.....	86
3.4.4.6. Piezoelektrik kompozitler.....	88
3.4.4.7. Piezoelektrik malzemelerde ölçülmesi gereken değerler..	89

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	90
5. SONUÇ	112
5.1. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar.....	113
KAYNAKLAR.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. General Electric Firmasının ürettiği çamaşır makinesinin şematik gösterilişi [5].....	4
2.2. General Electric firmasının ürettiği üstten beslemeli çamaşır makinesinin şematik gösterilişi [5].....	5
2.3. Jacob Christian Schäffer'in çamaşır makinesi tasarımı, 1767 [7].....	6
2.4. Henry Sidgier'in çamaşır makinesi patenti, 1782 [8].....	6
2.5. 1857 Springfield, Ohio, ABD [9].....	7
2.6. Metropolitan çamaşır makinesi, 1860, Connecticut, ABD [9].....	7
2.7. Salesman's Sample çamaşır makinesi 1862, Yocumtown, Pennsylvania, ABD [9].....	8
2.8. D.Brainard'ın tasarladığı çamaşır makinesi [9].....	8
2.9. Surprise Washer sıkma aparatı Hammonton, New Jersey, ABD [9].....	9
2.10. Furbish çamaşır makinesi modeli 1870 Maine ABD [9].....	9
2.11. 1890 yılına ait bir çamaşır makinesi modeli (üreticisi bilinmemektedir) (ABD) [9].....	10
2.12. 1890 yılındaki çamaşır makinesi modeli (üreticisi bilinmemektedir) [9]....	10
2.13. Perfect çamaşır makinesi modeli, Marshall, Missouri, ABD [9].....	11
2.14. Keystone isimli çamaşır makinesi Erie, Pennsylvania, ABD [9].....	11
2.15. 1900'lü yıllara ait bir çamaşır makinesi.....	12
2.16. Woodrow'un almış olduğu çamaşır makinesi patentinin çizimi [10].....	12
2.17. J. Alva Fisher'in patentini aldığı elektrikle çalışan çamaşır makinesi, 1909 [11].....	13
2.18. Miele'nin geliştirdiği çamaşır makineleri, 1911-1914 [12].....	13
2.19. Syracuse Washing Machine Şirketinin 1918 yılı yapımı çamaşır makinesi [9].....	14
2.20. Cataract çamaşır makinesi modeli, 1920 [9].....	14
2.21. 1921 Maytag çamaşır makinesi modeli, Newton, Iowa, ABD [9].....	15

2.22. Miele çamaşır makinesi modeli, 1923 [12].....	15
2.23. Maytag çamaşır makinesi modeli 1929, Newton, Iowa, ABD [9].....	16
2.24. 1937, Bendix çamaşır makinesi [9].....	16
2.25. 1947, Bendix Deluxe [9].....	17
2.26. Bendix çamaşır makinesinin 1947 yılında reklam çalışması [13].....	17
2.27. Miele, 1940 [12].....	18
2.28.1955, Bendix çamaşır makinesi [14].....	18
2.29. AEG firmasının bir reklam afişi [15].....	19
2.30. AEG Lavamat çamaşır makinesi modeli, 1960 [14].....	19
2.31. Miele firmasının İngiltere’de yapmış olduğu bir reklam afişi, 1950 [16].....	20
2.32. Miele firmasının ürettiği çamaşır makinesi modeli, 1970 [14].....	20
2.33. Servis firması çamaşır makinesi modeli, 1980 [17].....	21
2.34. Merdaneli çamaşır makinesi Arçelik [18].....	21
2.35. Arçelik firmasının yaptığı reklam afişleri.....	23
2.36. AEG çamaşır makineleri örnekleri [23].....	24
2.37. Arçelik çamaşır makineleri [24].....	25
2.38. Ariston Çamaşır Makineleri [25].....	25
2.39. Beko Çamaşır Makinesi Modelleri [26].....	26
2.40. Bosch Çamaşır Makinesi Modelleri [27].....	26
2.41. Candy Çamaşır Makinesi Modelleri [28].....	27
2.42. Indesit Çamaşır Makinesi Modelleri [29].....	27
2.43. LG Çamaşır Makinesi Modelleri [30].....	28
2.44. Maytag Çamaşır Makinesi Modelleri [31].....	28
2.45. Miele Çamaşır Makinesi Modelleri [32].....	29
2.46. Profilo Çamaşır Makinesi Modelleri [33].....	29

2.47. Regal Çamaşır Makinesi Modelleri [34].....	30
2.48. Samsung Çamaşır Makinesi Modelleri [35].....	30
2.49. Siemens Çamaşır Makinesi Modelleri [36].....	31
2.50. Vestel Çamaşır Makinesi Modelleri [37].....	31
2.51. Zanussi Çamaşır Makinesi Modelleri [38].....	31
2.52. Titan marka çamaşır makinesi [39].....	32
2.53. Orbital çamaşır makinesi [40].....	33
2.54. Drum çamaşır yıkama makinesi [41].....	33
2.55. Arcelor çamaşır makinesi modeli [42].....	34
2.56. Indran çamaşır makinesi konsepti [43].....	34
2.57. Maglev çamaşır makinesi konsept tasarımı [44].....	35
2.58. Aquarium çamaşır makinesi konsepti [44].....	35
2.59. Brastemp Ecodual çamaşır makinesi modeli [45].....	36
2.60. Ovo çamaşır makinesi konsepti [44].....	36
2.61. Ease çamaşır makinesi konsepti Yanko design [43].....	37
2.62. E-wash çamaşır makinesi konsepti [48].....	38
2.63. Laundering çamaşır makinesi konsepti [49].....	39
2.64. Swirl çamaşır makinesi konsepti [44].....	40
2.65. Squaswash çamaşır yıkama aracı konsepti [49].....	40
2.66. Leene çamaşır temizleme makinesi konsepti [50].....	41
2.67. 1 dakika çamaşır temizleme makinesi konsepti [51].....	41
2.68. Tara ve Sar çamaşır temizleyicisi konsepti [52].....	42
2.69. Alternative Clothes Cleaner çamaşır temizleme konsepti.....	43
2.70. Airwash çamaşır makinesi konsepti [49].....	43
2.71. Kaionwave ve Sunshine washer çamaşır makinesi konseptleri [41].....	44
2.72. Buharla temizleme yapan Pebble makine konsepti [44].....	44
2.73. UV Cleaner çamaşır temizleyici konsepti [53].....	45
2.74. Rotary çamaşır makinesi konsepti [44].....	45
2.75. Shine çamaşır makinesi konsepti [41].....	46

2.76. Almighty çamaşır makinesi konsepti [43].....	46
2.77. Washdrobe çamaşır temizleyici [53].....	47
2.78. Washmate çamaşır temizleyici [53].....	48
2.79. Wash up çamaşır makinesi konsepti.....	48
2.80. Naturewash çamaşır temizleyici konsepti [54].....	49
2.81. Wall-mount çamaşır makinesi konsepti [44].....	49
2.82. Wave çamaşır makinesi konsepti [44].....	50
2.83. Easy living çamaşır makinesi konsepti [43].....	50
2.84. Portatif Traveller çamaşır makinesi [55].....	51
3.1. Viskoelastik malzemeyle sönümleme.....	55
3.2. Viskoz sönümleyici sistemi.....	56
3.3. Darbe sönümleyici sistem.....	57
3.4. Manyetik damper sisteminin şematik gösterimi.....	58
3.5. Akıllı Kiriş (smart beam) yapısının sonlu eleman modeli [70].....	59
3.6. Piezoelektrik aktivatör yerleşimi.....	60
3.7. İleri Besleme Yöntemi çalışma prensibi.....	61
3.8. Geri Besleme Kontrolü Yöntemi.....	62
3.9. Appliance Magazine dergisinin 2007 yılında beyaz eşya tercihlerini konu alan araştırma.....	65
3.10. Dökme demirden yapılmış denge ağırlıkları.....	66
3.11. Özel şekillendirilmiş beton ağırlıklar-Veston [95].....	66
3.12. Arçelik çamaşır makinesi.....	67
3.13. Bosch çamaşır makinesi farklı yan panel tasarımları.....	67
3.14. Whirlpool çamaşır makinesinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri.....	68

3.15. Miele çamaşır makinesinin farklı yan panellerinin	
örneklendiği modelleri.....	68
3.16. AEG markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	69
3.17. Gronje markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	69
3.18. Haier markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	69
3.19. Indesit markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	70
3.20. LG markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin	
örneklendiği modelleri.....	70
3.21. Profilo markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	71
3.22. Samsung markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	71
3.23. Siemens markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	72
3.24. Zanussi markalı çamaşır makinelerinin farklı yan	
panellerinin örneklendiği modelleri.....	72
3.25. Bosch firmasının 2009 yılında almış olduğu anti titreşim	
aygıtı patenti	73
3.26. Miele firmasının US 2007/0175907 A1 no lu patenti	74
3.27. Modal analizlere bağlı olarak mevcut tasarımdaki değişiklikler.....	74
3.28. Farklı süspansiyon tipleri ve ölçülen titreşim değerleri.....	75
3.29. 1899 yılında Edison fonografıyla birlikte [108].....	78
3.30. Perovskit yapısı.....	80
3.31. Kuvars kristaller.....	80

3.32. Kurşun zirkonat titanatın Kristal yapısının Curie sıcaklığının altında ve üstündeki atom pozisyonları.....	82
3.33. Kurşun Zirkonat Titanat Faz Diyagramı.....	85
3.34. Enerji hasatı konusunda kullanılmak üzere şekillendirilmiş PVDF tabakalı yapı [112].....	88
3.35. MFC malzemelerin yapısı ve teknik özellikleri.....	89
4.1. Çamaşır makinesi yan panelinden alınan 2 boyutlu kesit.....	91
4.2. Kirişin bölümlene (mesh) işlemi yapılmış hali.....	92
4.3. Çelik kirişin doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri.....	92
4.4. Çelik kirişin gerilme-gerinim dağılımları.....	94
4.5. Paslanmaz çelik sac kirişin yerleştirilişi.....	95
4.6. Kiriş üzerine yapıştırılmış piezoelemanlar.....	96
4.7. Bir boyutta yapılan titreşim test düzeneği.....	96
4.8. Titreşim sönümlene düzeneği şematik gösterimi.....	96
4.9. Algılayıcı piezodan alınan voltaj ile uyarıcı piezolaraya verilen voltajın faz açısı farkı.....	98
4.10. Kirişin rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolaraya verilen voltajın faz açısıyla değişimi.....	98
4.11. Kirişin rezonans frekansında verilen voltajın faz açısının değişimiyle deplasmanın değişimi.....	99
4.12. Kirişin rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolaraya verilen voltajla değişimi.....	100
4.13. Kirişin rezonans frekansında uyarıcı piezolaraya verilen voltajla deplasmanın değişimi.....	100
4.14. Kirişin rezonans frekansında titreştirilen durumdaki ölçüm değerleri.....	101
4.15. Titreşim sönümlene esnasındaki hız-zaman grafiği.....	102

4.16.	Titreşimin büyüklüğüne bağlı olarak uyarıcı piezolarla verilmesi gereken voltaj değeri.....	102
4.17.	İlk ölçümlerin yapıldığı sac plaka	103
4.18.	Sac levhanın beton bloğa sabitlenmiş pozisyonu.....	103
4.19.	Sac levhanın kenarlarından bükülerek beton bloğa yerleştirilmiş durumdaki pozisyonu.....	104
4.20.	Sac levhanın mesh (bölümleme) işlemi yapıldığı durumu.....	104
4.21.	Çelik sac levhanın doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri.....	105
4.22.	Çelik sac levhanın FFT analizinde belirlenen ilk 6 titreşim biçimindeki frekans değerlerini.....	106
4.23.	Titreşen levhaya yerleştirilmiş piezoseramik elemanlar.....	107
4.24.	Uyarıcı piezoların panel üzerindeki yerleşimlerinin şematik olarak gösterimi.....	107
4.25.	Uyarıcı piezoların bağlandığı anahtar kutusu.....	108
4.26.	Titreşim sistemi.....	108
4.27.	Titreşim sisteminin şematik gösterimi.....	109
4.28.	Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolarla verilen voltajın faz açısıyla değişimi.....	110
4.29.	Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolarla verilen voltajla değişimi.....	110
4.30.	Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolarla verilen voltajla değişimi (1-3-5-7 nolu piezoseramikler açıkken).....	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Avrupa ve Uzakdoğu pazarlarında farklı sıkma devirlerinde gürültü ölçümleri.....	52
3.1. Titreşim kaynakları.....	54
3.2. Kontrol Tipleri Karşılaştırması.....	62
3.3. Yumuşak ve sert PZT özelliklerinin karşılaştırılması.....	84
3.4. Çeşitli piezoelektrik polimer malzemelerin piezoelektrik özellikleri...	86
3.5. PVDF'in elektriksel özellikleri.....	87
3.6. PVDF ve PZT nin elektriksel özelliklerinin karşılaştırılması.....	87
4.1. Çelik plakanın ilk 6 modundaki frekans değerleri.....	94
4.2. Çelik sac levhanın ilk 6 modundaki frekans değerleri.....	105

1.GİRİŞ

Aralarında uyum bulunmayan düzensiz seslerin bütününe gürültü denir [1]. Gürültü insan sağlığı üzerine olumsuz etki yapan önemli bir çevre sağlığı problemidir. Kişisel ve toplumsal yaşam kalitesini bozar.

Gürültünün azaltılması için tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çeşitli önlemler alınmakta bu önlemler arasında çim biçme makinesi, motorlu testere, dikiş makinesi gibi cihazların 19.00-07.00 saatleri arasında çalıştırılmaması bulunmaktadır. Dr. Robert Koch’un 1910 senesinde söylediği “Bir gün gelecek insanlar, kolera ve veba gibi gürültüye karşı da amansız bir mücadele verecekler.” sözü günümüzde yapılan gürültü sınırlayıcı uygulamaları özetlemektedir.

Gürültü düzeylerinin belirli bir seviyenin altında olmasını öneren yasal düzenlemeler ve konfor beklentileri, uçaklardan beyaz eşyalara kadar birçok üründe ses gücü düzeyinin ve buna sebep olan yapısal titreşimlerin düşüklüğü, önemli tasarım kriterlerinden biri haline getirmiştir. Günümüzde ev gereçlerinin en vazgeçilmezlerinden olan çamaşır makinelerinde yapısal titreşimlerin düşük seviyelerde olması, konforu ve müşteri beklentilerini etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Çamaşır makineleri ev içerisinde bulunduğu ve günümüz şartlarında ev içerisinde özellikle çalışan bireylerin bulunduğu konutlarda günün her saatinde çalıştırılabildiği için gürültü düzeylerinde bir azalma beklentisi bulunmaktadır. Ayrıca çamaşır makinelerinde firmalar arasındaki önemli bir rekabet unsuru da, makinenin titreşim seviyesinin düşüklüğüdür.

Süspansiyon ve izolasyon teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde çamaşır makinesi titreşimlerinde önemli miktarda azalma kaydedilmekle birlikte, bu titreşimler halen yüksek seviyelerdedir. Çamaşır makinesinde ortaya çıkan titreşimler geleneksel pasif kontrol elemanları olan süspansiyonlar, dengeleme ağırlıkları ve yaylar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Ancak bu yöntem, değişik hızlarda, farklı yükleme durumlarında ve rezonans durumlarında ortaya çıkan farklı karakter ve seviyedeki titreşimleri kontrol edememektedir. Oysa, değişken titreşim değerleri,

aktif ve yarı-aktif titreşim kontrolü yöntemleri ile algılanabilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında çamaşır makinesi yan paneli olarak düşünülen modellerin piezoelektrik malzemelerle aktif titreşim sönümleme uygulaması yapılmıştır. Birinci bölümde gürültü kontrolünün insan hayatındaki önemine ve çamaşır makinesinde ortaya çıkan titreşimlerin niçin önemli olduğuna değinilmektedir. İkinci bölümde çamaşır makinelerinin tarihsel gelişimi, mevcut durumdaki çamaşır makineleri, bunların teknolojik altyapıları ve gelecek konseptleri hakkında bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde titreşim ve titreşim sönümleme uygulamaları hakkında bilgiler verilmiş olup çamaşır makinesinde geçmişte yapılan titreşim azaltma çalışmalarına değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise çamaşır makinesi yan paneli olarak düşünülen modellerin titreşim analizleri ve laboratuvar ortamında piezoelektrik malzemelerle titreşim sönümleme çalışmalarından bahsedilmektedir.

2. ÇAMAŞIR MAKİNELERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

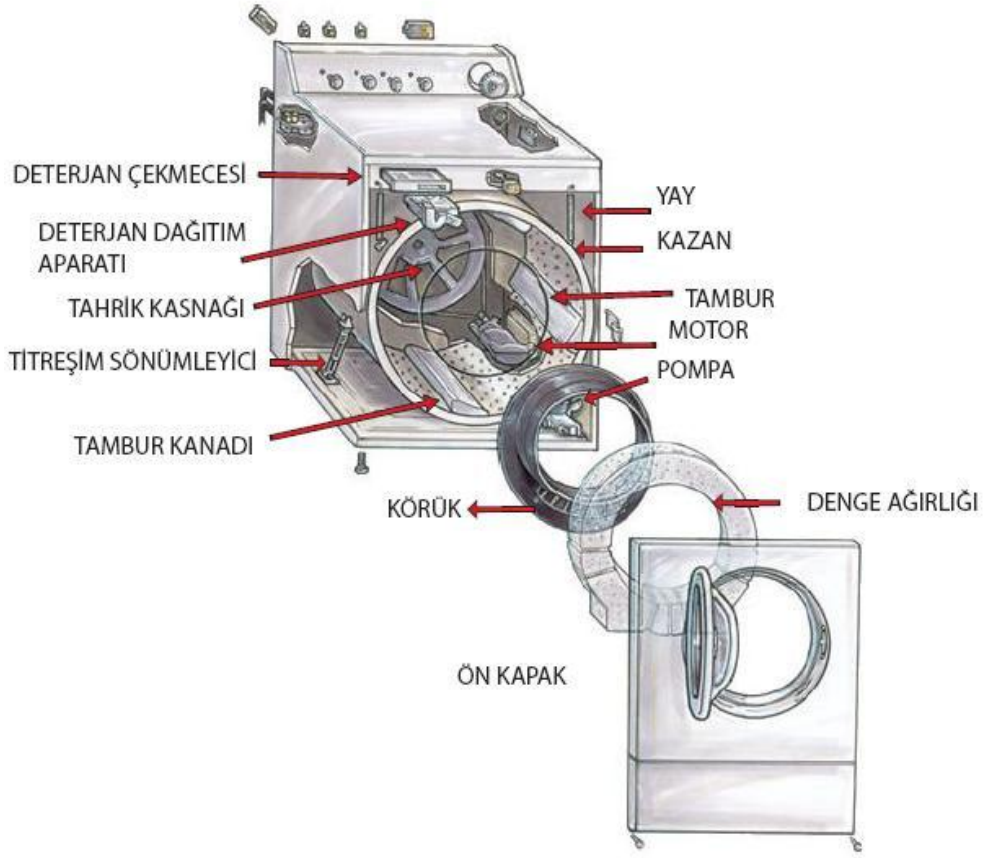
2.1. Çamaşır Makinesi

Çamaşır makinesi, çamaşır yıkamaya yarayan araçtır. Prensip olarak su ve deterjan, yıkanan çamaşırların arasında dolaşarak çamaşırların yıkanmasını sağlar. Çamaşır makineleri çamaşır yükleme ve yıkama sistemlerinin yönü bakımından ikiye ayrılır.

2.1.1. Önden yüklemeli çamaşır makinesi

Diğer bir adı da yatay eksenli çamaşır makinesidir. Genellikle Avrupa ve Orta doğu'da tercih edilen makine türüdür. Çamaşır ve suyun karıştırılması işlemi yerçekiminin etkisiyle bir tambur içinde yapılır [2]. Su giriş vanalarına komut geldiği zaman makinenin ön kapağı kilitlenir ve içerisine su dolmaya başlar, bu su dolarken deterjan gözünden deterjanı alır ve tamburun içerisine dolmaya başlar. Bu sırada tahrik kasnağına bağlı motor çalışmaya başlar ve karıştırma işlemi başlar.

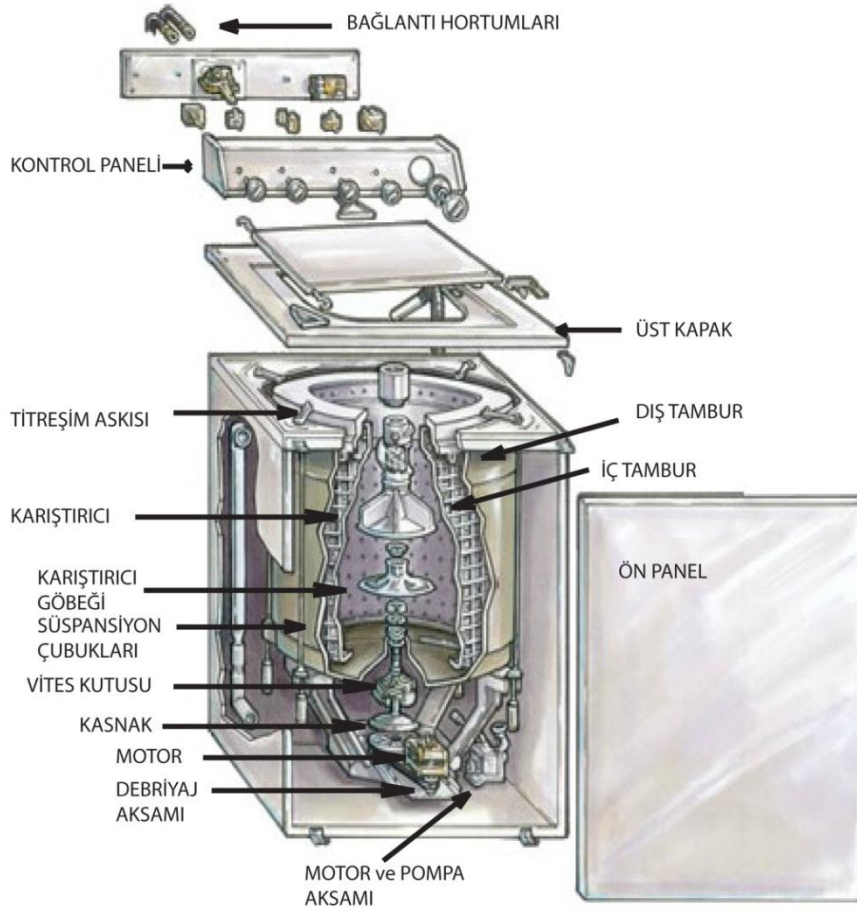
Çamaşırların iyice ıslatılması için karıştırma ile su alma işlemi eşzamanlı da olabilir. İstenilen su seviyesi elde edildiğinde su alımı durur. Su miktarı rezervuar yöntemi ile de belirlenebilirken teknolojinin gelişmesiyle beraber basınç, ağırlık sensörleri ile ölçüm yapabilen akıllı makineler geliştirilmiştir. Daha sonra makinenin içerisindeki ısıtma rezistansları çalışmaya başlar, alınan su ısınır. Kimi makinelerde sıcak ve soğuk su valfleri bulunabilir yani içeriden ısıtılmadan dışarıdan sıcak su gelir. Tambur üzerindeki delikli yapı çamaşırların dönerken de su almasını sağlar. Çamaşırlar saat yönüne ve tersine dönebilen tambur içerisindeki kanatçıklar yardımıyla yukarı taşınır ve yerçekimini etkisiyle düşerek karıştırılır. Yıkama işleminin doğru yapılıp yapılmadığını kontrol amacıyla çamaşır makinesi üreticileri bulanıklık ve yoğunluk ölçme gibi mantıklarda ölçmeyi sağlayan sistemler geliştirmişlerdir. Bunun yanı sıra yıkamanın yeterli olup olmadığını ölçmek amacıyla da ayrı ölçme sistemleri geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları iletkenlik, yoğunluk, pH ve yüzey gerilimi ölçme yöntemleridir [3]. Yıkama bittiğinde gelen sinyaller üzerine tahliye pompası çalıştırılarak kirli su dışarı atılır ve durulama için yumuşatıcıyı da alıp içeriye dolmaya başlar. İşlem bittikten sonra çamaşırların merkezkaç kuvvetinin etkisiyle sıkılması sağlanır. Çamaşırların iyice sıkılmasına yardımcı olması amacıyla motor sadece bir yöne doğru, istenilen devirde çok hızlı bir şekilde döner. Sonrasında içerisinde bulunan çamaşırların sıkışıp kalmamasını sağlamak amacıyla yıkama ve sıkma dönüşlerinden farklı bir ritm ve hızda sağa-sola dönüşler yapar [4]. Bunun sonrasında da ağırlık, ivme ve nem ölçme gibi sistemlerle sıkmanın yeterli olup olmadığına karar verilebilir. Yıkamanın bitiminde makinenin kapağındaki sıcaklığa duyarlı kilit mekanizması açılarak çamaşırların alınmasına izin verilir. Şekil 2.1’de şematik olarak çamaşır makinesinin parçaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. General Electric Firmasının ürettiği çamaşır makinesinin şematik gösterilişi [5]

2.1.2. Üstten yüklemeli çamaşır makinesi

Diğer adı dikey eksenli çamaşır makinesidir. Genellikle Kuzey Amerika, Avustralya ve Latin Amerika ülkelerinde yaygındır. Dikey eksenli çamaşır makinesi sepeti bulunan makine karıştırıcı sistemine sahiptir. Motor bir yönde dönerken şanzıman kutusu karıştırıcı pervaneyi çalıştırır. Motor ters yöne döndüğünde ise şanzıman kutusu karıştırıcı pervaneyi kilitler ve sonra sepet ile pervaneyi beraber döndürmeye başlar. Yıkama devri boyunca pompalama motoru bir yönde dönerken sabunlu su devir daim yapar. Ters yönde döndüğünde ise motor suyu makineden dışarı pompalar (Şekil 2.2) [6].

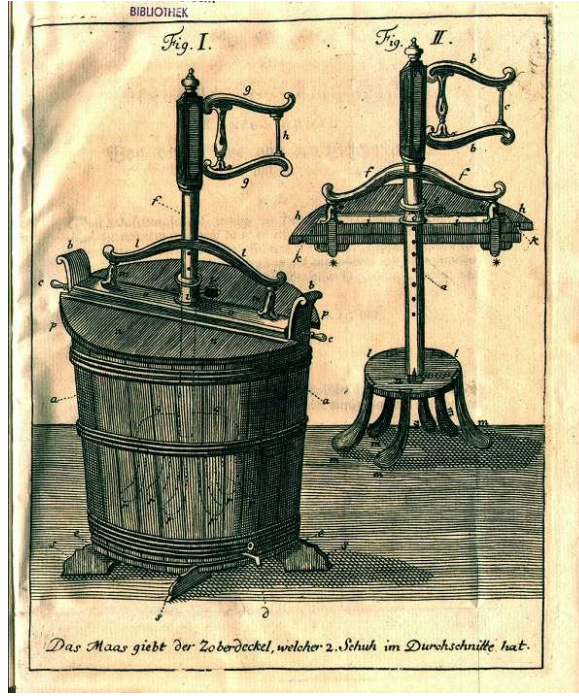


Şekil 2.2. General Electric firmasının ürettiği üstten beslemeli çamaşır makinesinin şematik gösterilişi [5]

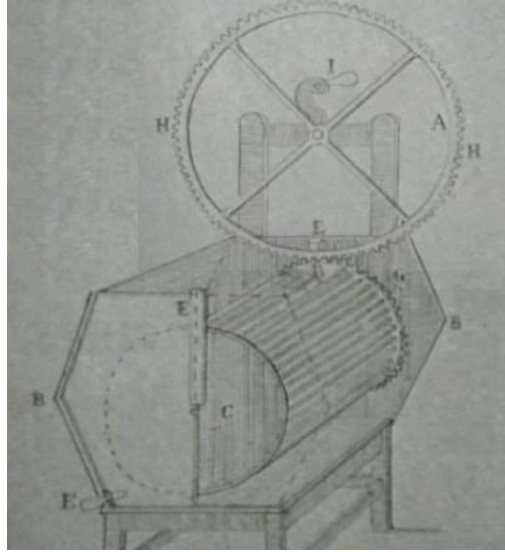
2.2. Çamaşır Makinesi Modelleri

2.2.1. 20.yy öncesi çamaşır makineleri

Yıkama ve sıkma makineleri kategorisindeki ilk İngiliz patenti 1691’de çıkarılmıştır. Almanya’da mühendis ve bilim adamı olan Jacob Christian Schäffer’ın çamaşır makinesi tasarımı 1767’de yayımlanmıştır (Şekil 2.3). 1782’de döner hazneli bir çamaşır makinesi için Henry Sidgier’e İngiliz patenti verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Jacob Christian Schäffer'in çamaşır makinesi tasarımı, 1767 [7].



Şekil 2.4. Henry Sidgier'in çamaşır makinesi patenti, 1782 [8].

“Çamaşır yıkama” adlı ilk ABD patenti 1797’de New Hampshire eyaletinden Nathaniel Briggs’e verilmiştir fakat bir yangında patent ofisindeki bütün belgeler yandığı için Briggs’in nasıl bir makine icat ettiği de bilinmemektedir [6].

1870’lü yılların öncesinde ise çamaşır yıkama işini kolaylaştırmak için aparatlar yapılmıştır. Isaac Sergeant Amerika’da Springfield markası adına 1857 yılında çamaşır makinesi tasarlamıştır. Bu makine tamamen ahşaptan üretilmiş olup sıkma işlemi aparatlar, çamaşır yıkanan haznenin üzerine konulup sıkılarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. 1857 Springfield, Ohio, ABD [9]

Bu yıllarda çamaşır makinesinden ziyade çamaşır yıkamayı kolaylaştırıcı mekanizmalar yapılmıştır. 1860’da Middlefield Washing Machines Co. Firması yapımı Metropolitan çamaşır makinesi de bunlardan biridir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Metropolitan çamaşır makinesi 1860, Connecticut, ABD [9]

Bu yıllarda üretilen makineler küçük aile şirketleri adına üretilmiş olup, üretim sayıları sınırlı kalmıştır. Potts, J & Sons şirketinin Salesman's Sample markalı çamaşır yıkama aparatı tamamen ahşaptan üretilmiş olup sıkma işlemini de kolaylaştırmayı amaçlamıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Salesman's Sample çamaşır makinesi 1862, Yocumtown, Pennsylvania, ABD [9]

Bu yıllarda bile firmaların farklılaşma isteği görülmektedir. 1865 yılında Gambell's Washing Machine firması adına D. Brainard tarafından tasarlanan çamaşır makinesinde makineye ayak eklenerek yerden uzaklaştırılmıştır. Çamaşır yıkama işlemi klasik yöntemlerinden farklılaşmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. D. Brainard'ın tasarladığı çamaşır makinesi [9]

1868 yılında A.G. Clark firmasınının tasarlamış olduğu merdane Surprise Washer adıyla üretilmiştir. Sıkma işlemini gerçekleştiren merdaneler ahşaptan üretilmiş olup içerisinden geçen kanallar sayesinde sıkma işlemi çerçevesinde çıkan suyu kenarlardan dışarı atmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Surprise Washer sıkma aparatı Hammonton, New Jersey, ABD [9]

1870 yılında Furbish firması adına yapılan çamaşır makinesi farklı bir yıkama sistemine sahiptir. Çamaşırları vurarak yıkama prensibiyle yıkamaktadır ve iki kişi tarafından kullanılmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Furbish çamaşır makinesi modeli, 1870, Maine, ABD [9]

1890'lı yılların başlarında ise tahtanın yanında metal kullanımı artmaya başlamış ve daha karışık geometrilerde çamaşır yıkama aparatları geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu dönemlerde geliştirilen aparatlar ise özellikle çamaşır sıkma üzerine yoğunlaşmış ve 1990'lı yılların başına kadar ulaşmış olan merdaneli çamaşır makinesi teknolojisinin başlangıcını oluşturmuştur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. 1890 yılına ait bir çamaşır makinesi modeli (üreticisi bilinmemektedir) ABD [9]

1890 yılında üretilmiş çamaşır makinesi üstten karıştırma için gerekli olan metal karıştırıcı ve yıkanan çamaşırı sıkma için merdane içermektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. 1890 yılındaki çamaşır makinesi modeli (üreticisi bilinmemektedir) [9]

1890'da H. Jacoby & Co. Adına üretilmiş olan Perfect çamaşır makinesi modelinde kullanılan metal çerçeve tahtaya destek olarak makinenin dayanımını artırmıştır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Perfect çamaşır makinesi modeli Marshall, Missouri, ABD [9]

1890 yılında F.E. Adams firmasının Keystone isimli çamaşır makinesi modelinde ise kullanılan metaller tahta yapıyı çevreleyerek yapının dayanıklılığını artırmıştır (Şekil 2.14).



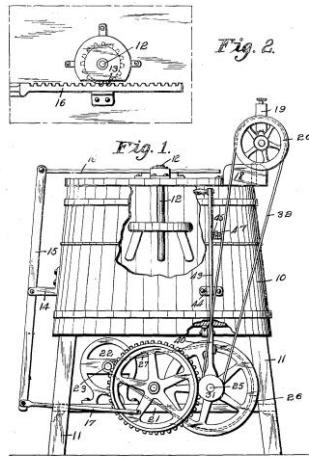
Şekil 2.14. Keystone çamaşır makinesi Erie, Pennsylvania, ABD [9]

Elektrikli amaşır makineleri, 1904'te gazetelere konu olmaya başlamıştır. New Brunswick, New Jersey eyaletinden Louis Goldenberg 1900'lerin başlarında ilk elektrikli çamaşır makinesini icat etmiştir. Bu dönemde çamaşır makineleri genellikle el ile çalıştırılmaktadır (şekil 2.15).



şekil 2.15. 1900'l yıllara ait bir çamaşır makinesi

1909 yılına kadar çamaşır makineleri sadece çamaşır yıkamayı kolaylaştıran el aparatları seviyesinde kalmışlardır. 1909 yılına ait elektrikle çalışan çamaşır makinesi patent kayıtları bulunmaktadır. 1909 yılında Amerika'da Woodrow (şekil 2.16) ve arkasından J. Alva Fisher elektrikle çalışan çamaşır makinesinin patentini almıştır (şekil 2.17).

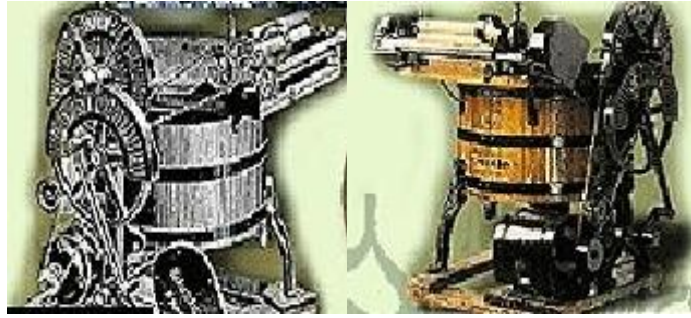


şekil 2.16. Woodrow'un almış olduğu çamaşır makinesi patentinin izimi [10]



Şekil 2.17. J. Alva Fisher'ın patentini aldığı elektrikle çalışan çamaşır makinesi, 1909 [11]

Amerika'daki gelişmelerden biraz daha yavaş olmasına rağmen Avrupa'da da çamaşır makineleri geliştirilmiştir. Miele ve Zarkin kurdukları firmada 1911 ve 1914 de çamaşır makinesi üretimini ahsaptan yapmış ve piyasaya sürmüşlerdir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Miele'nin geliştirdiği çamaşır makineleri, 1911-1914 [12]

Çamaşır makinesi üretimi yaygınlaşmaya başladıktan sonra, teknolojisi aynı kalmak kaydıyla değişik tiplerde çamaşır makineleri üretilmeye başlanmıştır. 1910'lu yılların sonlarına doğru metal üretim teknolojisinin de gelişmesinin etkisiyle özellikle Amerika'daki firmalar elektrikli çamaşır makinelerinde bakır tamburlar kullanmışlardır. Şekil 2.19 da Syracuse Washing Machine şirketinin 1918 yılında üretmiş olduğu üstten beslemeli çamaşır makinesi görülmektedir.



Şekil 2.19. Syracuse Washing Machine Şirketinin 1918 yılı yapımı çamaşır makinesi [9]

Bu tarihlerde çok sayıda patent başvurusu yapılmıştır. Bu patentlerin birçoğunda ortada dönen bir tambur vasıtasıyla çamaşırların su ve deterjan ile döndürülmesi bulunuyordu. Günümüzde üretilen ve kullanılan çamaşır makinaları da bu patentlere dayanan bir teknoloji ile çalışmaktadırlar. Üstten beslemeli çamaşır makinelerinin yanısıra önden beslemeli çamaşır makineleri de üretilmiştir. 1900 şirketinin Cataract modeli 1920 yılında Minnesota’da üretilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Cataract çamaşır makinesi modeli, 1920 [9]

1921 yılında üstten yüklemeli çamaşır makinesi, gerçek formunu Maytag firmasının ürettiği çamaşır makinesinde bulmuştur. Bu form bulunurken elektrik aksamının güvenlik açısından izole edilmesi önemli olmuştur. Çamaşır makineleri genelde üstten beslemeli olarak üretilmiştir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. 1921, Maytag çamaşır makinesi modeli, Newton, Iowa, ABD [9]

Amerika'daki gelişmelerin ışığında Avrupa'da ise Miele firması biraz karmaşık yapıya sahip olsa da fonksiyonel çamaşır makineleri üretmiştir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Miele çamaşır makinesi modeli, 1923 [12]

Maytag firması daha önce tasarlamış olduğu çamaşır makineleri formu üzerinden çamaşır makinelerini geliştirmişlerdir. Maytag firmasının bundan sonra ürettiği makineler bu forma uygun olarak güvenliği de göz önünde bulundurarak üretmiştir (şekil 2.23).



şekil 2.23. Maytag amaşır makinesi modeli 1929, Newton, Iowa, ABD [9]

1930’lu yıllarda nden yüklemeli çamaşır makinesinin mekanik kısmını güvenlik açısından bir kutu içerisine koyma ihtiyaı doğmuştur. 1937 yılında Amerikan Bendix firması nden yüklemeli çamaşır makinesini tanıtmiştır. Bu makinenin görünümü günümüz çamaşır makinesine oldukça benzerdir (şekil 2.24).



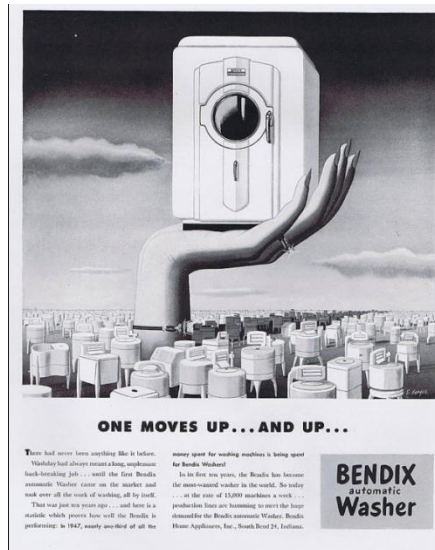
şekil 2.24. 1937, Bendix amaşır makinesi [9]

Bu seriden sonra çamaşır makineleri benzer şekilde üretilmeye başlanmıştır. 1947 yılında aynı firma Bendix Deluxe adlı makinesini piyasaya çıkarmıştır. Fiyatını ise 249 dolar olarak belirlemişlerdir (şekil 2.25).



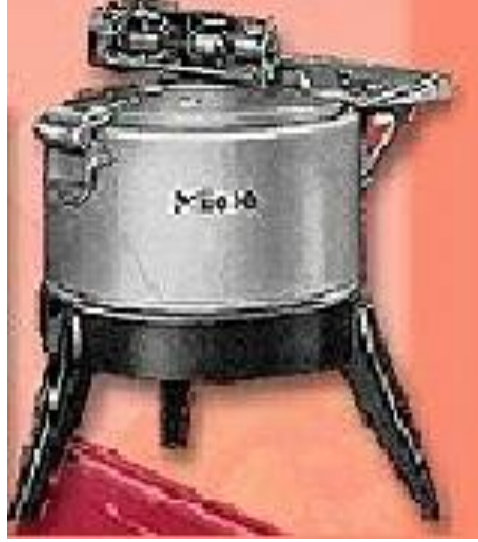
şekil 2.25. 1947, Bendix Deluxe [9]

Çamaşır makineleri üreticileri ve modellerin sayısı bu yıllarda artış göstermiştir. Bu makineler arasından farklılık yaratılmak istenmiştir. şekil 2.26 da Bendix Deluxe amaşır makinesinin reklamı yer almaktadır.



şekil 2.26. Bendix amaşır makinesinin 1947 yılında reklam alışması [13]

Avrupa’da da Miele firması bu yıllarda çamaşır makinesi geliştirmiştir (şekil 2.27).



şekil 2.27. Miele, 1940 [12]

Ev aletleri 1950’li yıllarda, 1920’li yıllardan başlayan orta sınıfa yükselme çabalarının sonucu olarak hizmetçilerin azalması ve orta sınıf olma hevesiyle yavaş yavaş kaybolmaya başlayan ev işini ozendirmek amacıyla işlevden ziyade tketickiye yönelik tasarım anlayışına yönelmiştir (şekil 2.28).



şekil 2.28. 1955, Bendix amaşır makinesi [14]

Bu yıllarda “ev içerisinde kullanılan cihazlar sizin yardımcınızdır” anlayışı gereği tam otomatik çamaşır makinesi geliştirilmiş ve 1958 yılında AEG tarafından üretilmiştir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29. AEG firmasının bir reklam afişi [15]

Üretilen fonksiyonel çamaşır makineleri tüketiciye yönelik olarak tasarlanmaya başlamıştır (Şekil 2.30).



Şekil 2.30. AEG Lavamat çamaşır makinesi modeli, 1960 [14]

Avrupa’da çeşitli çamaşır makinesi üreticileri marka ve modellerini ev hanımlarına yönelik olarak satışa sunmuşlar ve reklam çalışmaları yapmışlardır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Miele firmasının İngiltere’de yapmış olduğu bir reklam afişi, 1950 [16]

1970’li yıllarda çamaşır makinesinin kontrol panelleri markalar arasında ayırt edici bir özellik olmaya başlamıştır (Şekil 2.32).



Şekil 2.32. Miele firmasının ürettiği çamaşır makinesi modeli, 1970 [14]

İngiltere’de Servis firması tuş takımlarını çeşitlendirerek ve makinenin kapağının bulunduğu bölgeyi karesel bir biçimde sınırlayarak 1980 yılında çamaşır makinesi tasarımında farklılığa gitmiştir (Şekil 2.33).



Şekil 2.33. Servis firması çamaşır makinesi modeli, 1980 [17]

Türkiye’de ise ilk çamaşır makinesini 1959 yılında Arçelik A.Ş. üretmiştir (Şekil 2.34). 1 yıl sonra ise Profilo üretime başlamıştır.



Şekil 2.34. Merdaneli çamaşır makinesi, Arçelik [18]

Çamaşır makinelerinin boyutları 1960’lardan sonra kullanım alanlarının belirlenmesiyle, endüstriyel olarak üretilmesiyle, istiflenmedeki standart sebebiyle ve mimari ile olan etkileşimiyle birlikte yavaş yavaş standart hale gelmeye başlamıştır. Türkiye’de ilk tam otomatik çamaşır makinesi 1974 yılında Arçelik A.Ş. tarafından üretilmiştir. 1980’lere kadar az sayıda firmanın faaliyet gösterdiği beyaz eşya sektörü, piyasa ekonomisinin gelişmesi sonucu gelişmeye başlamış yabancı üreticiler de yatırım yapmışlardır. Ayrıca bunun bir sonucu olarak dış rekabetle karşı karşıya kalan beyaz eşya sektöründe ürün kalitesi ve çeşitliliğinde olumlu yönde gelişmelere sebebiyet vermiştir [19]. Türkiye’de bulunan çamaşır makineleri genelde 1980li yıllardan önce merdaneli tip üstten beslemeli çamaşır makineleridir. Çamaşır makineleri, ev içerisinde belli başlı konumlarda yerleştirilmiştir. Önceleri kullanım alanı geniş olan evlerde daha çok banyo ve banyonun yakınında kullanılan çamaşır makinelerinin üzerlerine deterjan vs benzeri malzemeler konulmuştur. Bu makinelere su el ile beslenmektedir ve çamaşır sıkma işi çamaşırları merdanelerden tek tek geçirmek suretiyle yapılır.

Çamaşır makinasının bir kadının ailesine daha çok zaman ayırmasını sağladığını bu yüzden ailenin oldukça önemli olduğu toplumda söz konusu ürünün yaşam standardını yükselteceğini savunmaktadırlar. Çamaşır makinelerinin ev kadınları için ev işlerinde yardımcı rolü üstlenerek, çamaşır yıkama süresini azalttığı iddiasında bulunmuşlardır [20]. Arçelik firmasının 1980’li yıllarda yaptığı reklamlar da çamaşır makinesi gibi beyaz eşyaların yaşam seviyesini yükselttiğini belirtmeyi amaçlamıştır. Bununla ilgili reklamlar vermiş, kampanyalar yapmış ve oldukça başarılı olmuştur (Şekil 2.35).



Şekil 2.35. Arçelik firmasının yaptığı reklam afişleri

Bu dönemlerde %35 civarındaki sahiplik oranlarından dolayı ev hanımları arasında bir statü sembolü olarak da kullanılan çamaşır makinesi, daha sonraları temel ihtiyaçlar arasına girmiş ve bugün artık lüks tüketim olma özelliğini yitirmiştir [21]. Alınan dayanıklı tüketim eşyaları arasında buzdolabı-televizyonla beraber ilk sıradadır [22]. 1990'lı yıllarda ise merdaneli çamaşır makinesinden önden yüklemeli çamaşır makinesine doğru hızlı bir geçiş olmuştur.

2000'li yılların başlarında bina yapımcıları evlerini daha cazip getirme adına tüketim ürünleri için yerleri kendileri belirlemeye başlamıştır. Örneğin mutfaklarda fırın, buzdolabı ve bulaşık makinesi için standart yerler belirlemeye başlamışlardır. Çamaşır makinesi için kullanım yerleri çeşitlenmeye başladıktan sonra setüstü ocakların da mutfaklarda tezgahların üstlerinde yer almasıyla beraber ocaktan ayrılan fırının yerinin boş kalmasıyla beraber yerlerine çamaşır makineleri gelmiştir. Bulaşık makinesi olmayan evlerde ise çamaşır makineleri bulaşık makinesi için mutfaklarda yapılan yerlere konulmaya başlanmıştır. Günümüzde ise bulaşık makinesi sahiplik oranı %89'a kadar çıkmıştır [21]. Çamaşır makineleri de ait oldukları yere yani banyoya veya kurutma makinesiyle beraber, ev içerisinde ayrı bir küçük odaya doğru girmeye başlamıştır.

2.2.2. 20.yy çamaşır makineleri

19.yyda irili ufaklı çamaşır makinesi üreticileri bulunmaktadır. 20. yy'da bu çamaşır makinesi gelişimine hızla devam etmiş günümüze kadar standartlaşmış bir form bulmuştur. 1990'lı yılların sonunda bu firmalar pazarda kendilerine yer bulamadıklarından ve kitlesel üretimle rekabet edemediklerinden dolayı birçok şirket birleşmesi ve satın almalar gerçekleşmiştir. AEG-Elektrolux-Zanussi, Ariston-Indesit, Bosch-Siemens-Profilo bunlara örnek verilebilir. Aşağıda Türkiye'de de satışa sunulan bazı markaların ürettiği çamaşır makineleri örnekleri verilmiştir.

AEG firması daha az ses çıkaran ve akıllı makineler ürettiğini iddia etmektedir. Bunun için aktif denge sistemi ve yük-basınç ölçme sistemleri ve fuzzy logic mantık sistemi kullanmışlardır. Ayrıca köpük önleyici sistem ve eco valve sistemleri kullanarak deterjanın etkili kullanımı ile daha az su kullanımını sağladıklarını iddia etmektedir. 5,6,7,8,9 kg lık çamaşır makineleri mevcut durumda satışta (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. AEG amaşır makineleri örnekleri [23]

Arçelik firması üstün teknolojisini ev hanımlarının daha kolay anlamasını istemiştir. Bu nedenle ayrı ayrı yorgan ve perde programları kullanan çamaşır makineleri üretmişlerdir. Düşük enerji ve su harcayan, hızlı yıkama programına sahip ve çamaşır tipine göre yıkama sağlayan autologic çamaşır makinesi teknolojileri geliştirmişlerdir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. Arçelik çamaşır makineleri [24]

Ariston firması çamaşır makinesi teknolojilerini tanıtırken daha çok yıkama sonrası işlemleri ve kullanımı düşünerek pazarda farklılaşmaya çalışmıştır. Beyazlar, renkliler ve gömlekler ve hatta bebekler için ayrı programlar ve çamaşır tipine göre yıkamayı belirleyen kolay ütulemeyi sağlayan teknolojiye sahip ve değişik boyutlarda çamaşır makinelerini satışa sunmuştur (Şekil 2.38).



Şekil 2.38. Ariston Çamaşır Makineleri [25]

Arçelik'in 1990'lı yıllarda ihracat markası olarak belirlediği Beko da enerji performansı yüksek, tüketimi az çamaşır makinesi teknolojisine sahip ve farklı renklerde bireysel olarak farklılaşmayı sağlayan makinelerini piyasaya sürmüştür (Şekil 2.39).



Şekil 2.39. Beko Çamaşır Makinesi Modelleri [26]

Bosch firması ise çamaşır makinelerinde fonksiyonel ve görsel olarak farklı panellere sahip çamaşır makinelerini satışa sürmüştür. Otomatik dozajlama, kendini temizleyebilen deterjan çekmecesini, kalan zaman göstergesi, köpük tarama, activewater adını verdikleri yük algılama sistemi ve vario soft tambur sistemi ile çamaşır yıkama esnasında ve makinenin bakımı ile ilgili tanıtım yapmaktadır (Şekil 2.40).



Şekil 2.40. Bosch Çamaşır Makinesi Modelleri [27]

Candy firması fuzzy logic adını verdikleri çamaşır tanıma sistemini, düşük enerji tüketim değerlerine sahip çamaşır makinelerini piyasaya sürmüşlerdir (Şekil 2.41).



Şekil 2.41. Candy Çamaşır Makinesi Modelleri [28]

Indesit firması çamaşır makinelerinde değişik boyutlardaki az zamanda yıkama sağlayan makinelerini, özel yıkama programlarını içeren makineleri tüketicileriyle paylaşarak kullanıma ve ihtiyaca göre çamaşır makinesi önermektedir (Şekil 2.42).



Şekil 2.42. Indesit Çamaşır Makinesi Modelleri [29]

Güney Koreli ünlü elektronik üreticisi LG çamaşır makineleri tanıtımlarında yeni teknolojisini ve yenilikçiliğini tüketicilere göstermeyi hedeflemişlerdir. Su ve buharla yıkamayı sağlayan çamaşır makinesi geliştirmişlerdir, Direct drive motor teknolojiyle daha sessiz çalıştığını, buharlı yıkama teknolojisiyle ve mevcut durumdaki yüksek kapasitesi ile (6-11 kg) kaliteli ve antiallerjik yıkama sağladıklarını iddia etmektedirler (Şekil 2.43).



Şekil 2.43. LG Çamaşır Makinesi Modelleri [30]

Amerika’da üretim yapan ve satışa sunan Maytag firması farklı tasarımları ve tüketicinin ihtiyacına göre belirlenmiş çamaşır makinesi teknoloji ve tasarımlarıyla pazarında iddialı bir durumdadır (Şekil 2.44).



Şekil 2.44. Maytag Çamaşır Makinesi Modelleri [31]

Miele firması çamaşır makinesi Otomatik deterjan dozajı, çamaşır tanıma sistemleri, yıkama sonrası buharla düzleştirme seçenekleri ve petek dokulu tambur içeren çamaşır makineleriyle çamaşır ve çamaşır makinesi bakımını reklamlarında ön plana çıkarmıştır. Çamaşır makinesi modellerinde kumanda panelini eğimli şekilde ergonomik yapıda yapmıştır (Şekil 2.45).



Şekil 2.45. Miele Çamaşır Makinesi Modelleri [32]

Türkiye’de ikinci olarak çamaşır makinesi üretimine başlayan firma olan Profilo marka birleşmesi yaşamıştır. Reklam çalışmalarında dayanıklılığını ön plana çıkarmaktadır. Kırışık önleyici, hızlı veya ekonomik çalıştırma komutları ve Aqua-save adını verdikleri tasarruflu çamaşır makineleri üretmektedirler (Şekil 2.46).



Şekil 2.46. Profilo Çamaşır Makinesi Modelleri [33]

Vestel markasının alt markası olan Regal, Vestel teknolojisini kullanmakta olup çamaşır makinesi modellerini Nova ve Bora şeklinde adlandırmıştır. Ecojet teknolojisi adı altında çok kısa zamanda çamaşırları yıkayan makine üretmişlerdir (Şekil 2.47).



Şekil 2.47. Regal Çamaşır Makinesi Modelleri [34]

Samsung markası çamaşır makinesi tanıtımlarında hassaslığı ön plana çıkartmıştır. Ecobubble köpük oluşturma programını, sıcak hava kullanarak antiallerjen özelliğini ve Silver Nano özelliği ile de antibakteriyel özelliğini vurgulamaktadır. Çamaşır makinesi tasarımlarında değişik renkler ve desenler kullanılmaktadır (Şekil 2.48).



Şekil 2.48. Samsung Çamaşır Makinesi Modelleri [35]

Değişik sektörlerde ürün ve hizmet üreten Siemens markası da çamaşır makinelerinde çamaşırlara zarar vermeyen tambur, akıllı dozajlama, yük sensörü, ekonomik ya da hızlı yıkama programları eklemişlerdir. Bunun yanında değişik renklerde çamaşır makinesi üretmektedirler (Şekil 2.49).



Şekil 2.49. Siemens Çamaşır Makinesi Modelleri [36]

Türk elektronik markası Vestel, reklam tanıtımlarında en yeni teknoloji ve dost teknoloji temalarını kullanmaktadır. Çamaşır makinelerinde Ecojet ve Twinjet tasarruf programlarını geliştirmiş olup değişik renk ve kapasitelerde çamaşır makinesi üretimi yapmaktadır (Şekil 2.50).



Şekil 2.50. Vestel Çamaşır Makinesi Modelleri [37]

Ünlü İtalyan firması Zanussi Electrolux ile birleşmiş ve genelde Avrupa pazarına satış yapmaktadır. Jetsystem hızlı yıkama, kırışık önleyici sistem içeren ve ankastre çamaşır makineleri üretmektedirler (Şekil 2.51).



Şekil 2.51. Zanussi Çamaşır Makinesi Modelleri [38]

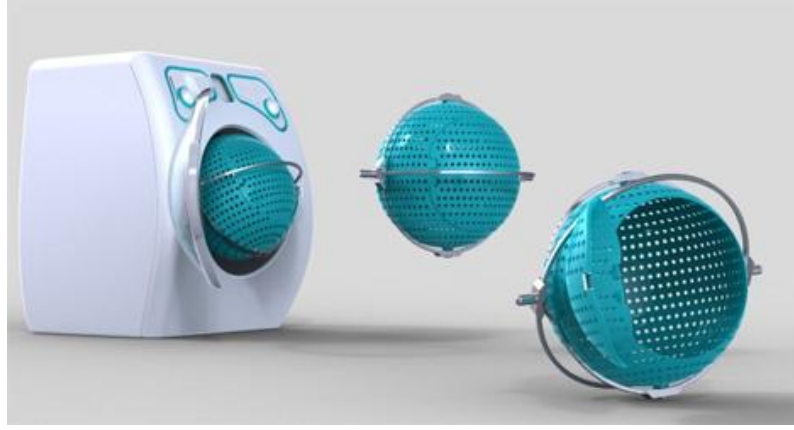
2.2.3. 21.yy sonrası çamaşır makineleri

Gelecekte yapılacak olan çamaşır makineleri için farklı konseptler ne sürülmektedir. Bunlardan ilki temel sistemin aynı kalacağı, makinelere yeni özellikler ekleneceğinin hakim olduğu sistemlerdir. Bu sistemlerde çamaşır makinesi formunun ve boyutlarının aynı kalarak çamaşır makinesi tamburunun çıkarılabilir ve çamaşır sepeti yerine kullanılabilir olduğudur. Bununla ilgili çalışmalar yapılmış ve üretilmeye başlanmıştır (şekil 2.52).



şekil 2.52 .Titan marka çamaşır makinesi [39]

Çamaşır makinesi formunun aynı kalıp tamburunun manyetik alanla döndürüldüğü çamaşır makineleri konseptleri mevcuttur. şekil 2.53'deki makine çamaşır makinesi genel formunu koruyup, tabur renk ve sistemini değiştireceğini öngörmektedir.



Şekil 2.53. Orbital çamaşır makinesi [40]

Çamaşır makinesi olarak sadece tambur kullanılacağı fikri de ortaya atılmıştır (Şekil 2.54). Bu makinede tambur duvara monte edilmiş bir aparatın içerisine yerleştirilmektedir.



Şekil 2.54. Drum çamaşır yıkama makinesi [41]

Bunun yanı sıra akıllı sistemler eklenip, WiFi bağlantı gibi uzaktan kontrol ve/veya çamaşır yükünü algılama gibi hizmetlerin sunulacağı makineler olacaktır. Bunların büyük bir kısmı geliştirilip çamaşır makinelerine entegre hale getirilmektedir. Arcelor çamaşır makinesi konsepti de değişik renklerde uzaktan kontrol edilebilen çamaşır makinesini öngörmektedir (Şekil 2.55).



Şekil 2.55. Arcelor çamaşır makinesi modeli [42]

Diğer bir görüş, çamaşır makinelerinde çamaşır yıkama sisteminin aynı kaldığı fakat formunun tamamen değiştiği makinelerdir. Yankodesign'ın Hindistan için tasarlamış olduğu Indran çamaşır makinesi konseptinde beyaz rengin yanında mavi rengin de kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2.56).



Şekil 2.56. Indran çamaşır makinesi konsepti [43]

Maglev çamaşır makinesi konsepti tasarımında ise tambur sistemi manyetik iticilerle hareket ettirilmektedir. Her yöne doğru dönen tambur, çamaşırların daha ekonomik şekilde yıkanacağını öngörmektedir (Şekil 2.57).



Şekil 2.57. Maglev çamaşır makinesi konsept tasarımı [44]

Aquarium çamaşır makinesi konseptinde manyetik itici ve çekicilerle her yöne dönen tambur gövdeye değmez. Deterjan ve su tasarrufu yapar. Çıkan ses düzeyinde büyük azalmalar olacaktır. Form olarak yuvarlak form kullanılmıştır (Şekil 2.58).



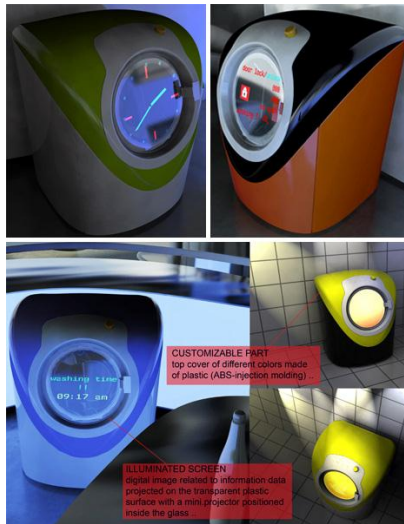
Şekil 2.58. Aquarium çamaşır makinesi konsepti [44]

Brastemp Ecodual üstten yüklemeli olarak tasarlanan çamaşır makinesi konseptinde kontrol düğmeleri makinenin kenarlarına simetrik biçimde yerleştirilmiştir. Kullanılan suyu filtre ederek tekrar kullanıma katabileceği ve 6-12 kg lik yıkama tankları ile yıkama yapabileceği öngörülmektedir (Şekil 2.59).



Şekil 2.59. Brastemp Ecodual çamaşır makinesi konsepti [45]

Ovo çamaşır makinesi konseptinde ise çamaşır makinesi formu aynı tutularak gösterge paneli ön kapağın üzerine yerleştirilmiş ve farklı renklerde makine konseptleri oluşturulmuştur (Şekil 2.60).



Şekil 2.60. Ovo çamaşır makinesi konsepti [44]

Yeni çıkan teknolojiler birbiriyle etkileşim halinde kullanılmakta ve teknoloji transferi çağımızda mümkün olabilmektedir [46]. Öncü sektörler kullandıktan sonra teknoloji ucuzlar ve sonra diğerleri kullanır. Örneğin ilk önce otomobil sektöründe kullanılan sensör teknolojisi daha sonra diğer sektörlerin kullanımına açılmıştır. Arçelik firması da otomobil sektörünün takipçisiyken üretim ve ürün çeşitliliğindeki hızlı çoğalmaya bağlı çağrışım nedeniyle cep telefonu sektörünü takip ettiğini belirtmiştir [47].

2000’li yıllara geldiğimizde ürünlerdeki gelişmeler hızlanmaya başlamıştır. Örneğin bir cep telefonunu ele aldığımızda, 2000’li yıllardan bu yana oldukça hızlı gelişmeler olmuştur. Bunlarda sırasıyla tek tuşla arama, oyunlar ekleme, ürüne farklı özellikler eklenmeye çalışılması; fotoğraf makinesi, internet vs. ve buna bağlı olarak cep telefonu ekranları büyümüştür. Ve buna bağlı olarak kullanıcı ürün arayüzüne dijital bir ekran yerleşmiştir. Kullanım düğmeleri küçülmüş hatta dokunmatik olan tuşlara kadar gelinmiştir. Bu tasarımları günümüzdeki tasarımlarında kullanan çamaşır makinesi konseptleri de bulunmaktadır.

Yankodesign’ın ergonomi üzerine oluşturduğu geniş ekran görüntü ve ayakta kullanım için geliştirildiği çamaşır makinesi konsepti (Ease) de mevcuttur (Şekil 2.61).



Şekil 2.61. Ease çamaşır makinesi konsepti, Yankodesign [43]

Tasarruflu amaşır makinesi konseptlerinin yanı sıra deterjan kullanılmayan bunun yerine eski çağlarda sabunun hammaddesi olarak kullanılan sapindus meyvesini (soapnut) amaşır yıkama işleminde kullanan çevreci çamaşır makinesi konsepti ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.62).



Şekil 2.62. E-wash çamaşır makinesi konsepti [48]

Tamamen evreci olarak düşünölen tasarımlar bulunmaktadır. Elektrik harcamayıp sadece el operasyonları ile hareket ettirilen mekanizmalara sahiptir. Bu makineler biraz da olsa ilk yapılan çamaşır makinelerini andırmaktadır. Laundering konseptinde tambur ayak pedalı ile hareket ettirilmektedir ve çamaşır sepeti olarak da kullanılabilmektedir (Şekil 2.63).



Şekil 2.63. Laundering çamaşır makinesi konsepti [49]

Sadece tamburdan ibaret olan ve kas gücüyle yıkama işlemini gerçekleştiren konseptler de bulunmaktadır. Swirl çamaşır makinesi konseptinde çamaşırlar yıkanırken, bu araç hem iş hem eğlenceyi sağlayabilmektedir (Şekil 2.64).



Şekil 2.64. Swirl çamaşır makinesi konsepti [44]

Çamaşır yıkama işlemini biraz daha basite indirgeyip, çalkalama ve sıkma işlemi olarak kullanan squashtash konseptinde yıkama aparatı ister elle ister ayakla sıkıştırılmakta ve ev içerisinde çok az bir yer kaplamaktadır (Şekil 2.65).



Şekil 2.65. Squashtash çamaşır yıkama aracı konsepti [49]

Diğer bir görüşe göre ise çamaşır makinesi teknolojisi şimdikinden oldukça farklı olacaktır. Çamaşırları manyetik iyonlarla, hava ile temizleyecektir. Leene konsepti çamaşırların ileride organik ürünlerden imal edilecek olduğu düşüncesiyle; mikrodalgaları bunların desenini ve rengini değiştirebilecek ve hatta tamiratını yapabilecek, aynı zamanda temizleyecek olduğu konsepti tasarlamıştır (Şekil 2.66).



Şekil 2.66. Leene çamaşır temizleme makinesi konsepti [50].

Çamaşır yıkama teknolojisinin değişeceğini ve hızlanan dünyaya ayak uydurmamız gerektiğini düşündüren “1dakika çamaşır makinesi” konsepti suyu ayrıştırarak ve yüksek basınçla yıkadıktan sonra ultraviyole ışık altında sterilize etme fikrini ortaya atmıştır (Şekil 2.67).



Şekil 2.67. 1 dakika çamaşır temizleme makinesi konsepti [51]

Bunun yanında üretilen çamaşırların etiketini okutup askıya asılarak ultraviyole ışık altında ve manyetik iyonlarla temizleyeceğini öngören Scan&Hug (Tara ve sar) çamaşır makinesi konsepti askılık olarak da ev içerisinde veya portatif olarak kullanılacağını öngörmektedir (Şekil 2.68).



Şekil 2.68. Tara ve Sar çamaşır temizleyicisi konsepti [52]

Çamaşır makinesi ev içerisinde dekoratif veya işlevsel bir ürüne dönüştürülmüş hale gelebilir. Alternative Clothier Cleaner adlı konsept ev içerisinde koltuk olarak kullanılmakta iken sıkıştırılmış iyonize hava ile temizleme yapabilmektedir (Şekil 2.69).



Şekil 2.69. Alternative Clothes Cleaner çamaşır temizleme konsepti

Çamaşır makinelerinin kapak tasarımları 3 boyuttan 2 boyuta doğru incelmeye başlamıştır. Çamaşır makinelerinin derinliğinin kaybolduğu söylenebilir. Airwash çamaşır makinesi konsept tasarımında da 3. boyuttaki derinlik azalmış olup negatif iyon ve deodorantlarla çamaşırın temizliği yapılmaktadır (Şekil 2.70).



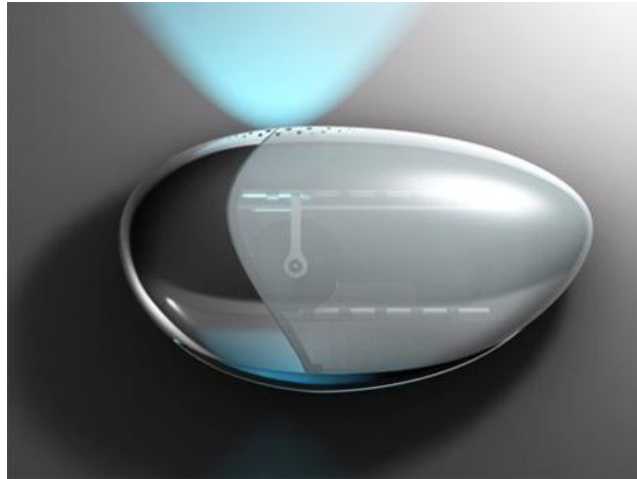
Şekil 2.70. Airwash çamaşır makinesi konsepti [49]

Çevreci olarak düşünölen gelecek amaşıır makinesi tasarımlarında alternatif enerji kaynakları da kullanılmaktadır. Ultraviyole ışıkla temizleme yapan amaşıır makinesi konseptlerinde güneş enerjisi kullanılmaktadır (Şekil 2.71).



Şekil 2.71. Kaionwave ve Sunshine washer amaşıır makinesi konseptleri [41]

amaşıır temizleme cihazını ev içerisinde kullanılmayan alanlar olan duvarlarda dekoratif olarak da kullanmak mümkün olabilecektir. Buharla temizleme yapan Pebble amaşıır makinesi konsepti fonksiyonellikle estetiğı buluşturmak istemiştir (Şekil 2.72).



Şekil 2.72. Buharla temizleme yapan Pebble makine konsepti [44]

UV Cleaner amaşır temizleyici konseptinde de kullanılmayan yan duvarlarda askı olarak kulanabilen bir sistem ermektedir (şekil 2.73).



şekil 2.73. UV Cleaner amaşır temizleyici konsepti [53]

Rotary amaşır makinesi konsepti de duvara monte edilen sabit bir aparat ve buna bağlı olarak yerçekiminin etkisiyle dndrlembilen tamburlardan oluşmaktadır (şekil 74).



şekil 2.74. Rotary amaşır makinesi konsepti [44]

Shine amaşır makinesi konsepti de duvara monte edilerek çamaşırları tambur içerisinde döndürerek temizlemektedir (şekil 2.75).



şekil 2.75. Shine amaşır makinesi konsepti [41]

Çamaşır makinesi duvara monte edilebileceği gibi gardrop olarak da kullanılabilir. Yankodesign'ın tasarlamış olduğu Almighty amaşır temizleyici konsepti bekar erkeklere yönelik olarak tasarlanmış olup az yer kaplayan ve giysiler için depolama alanı sağlayan bir konsepttir (şekil 2.76).



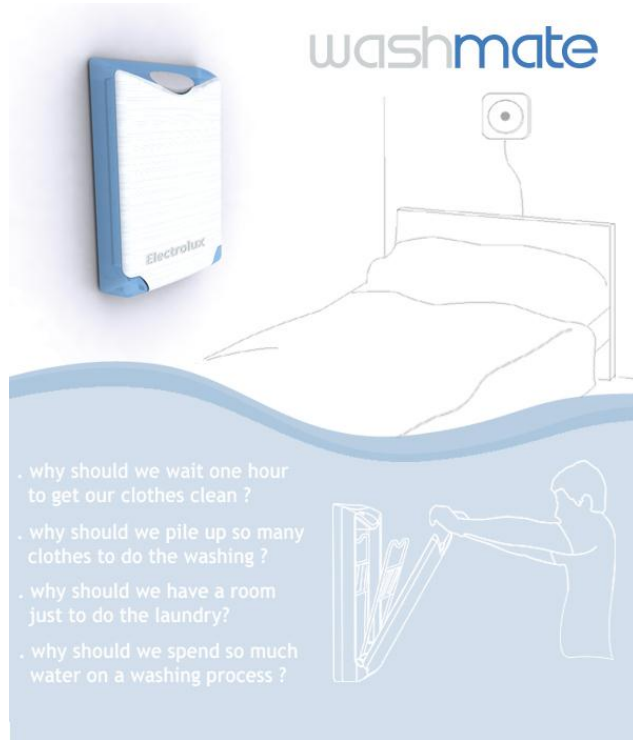
şekil 2.76. Almighty amaşır makinesi konsepti [43]

Washdrobe amaşır temizleyici de çamaşırları temizlerken gardrop olarak kullanılabilir (şekil 2.77).



şekil 2.77. Washdrobe amaşır temizleyici [53]

Washmate amaşır temizleyici konsepti ise yatağın başucunda ergonomik kullanım imkanı sunmaktadır. Ertesi gün giyilecek çamaşırlar gece temizlenip yatağın hemen kenarından alınabilmekte olup az da olsa yer depolama alanı sağlanmaktadır (şekil 2.78).



Şekil 2.78. Washmate çamaşır temizleyici [53]

Duvara monte edilen çamaşır makinelerinin kullandığı su farklı amaçlarla geri dönüştürülebilir. Medium wash up çamaşır makinesi konsepti tuvaletlerde rezervuarın yerine konularak kullanılan suyun tuvaletin temizliğinde kullanılması sağlanmaktadır (Şekil 2.79).



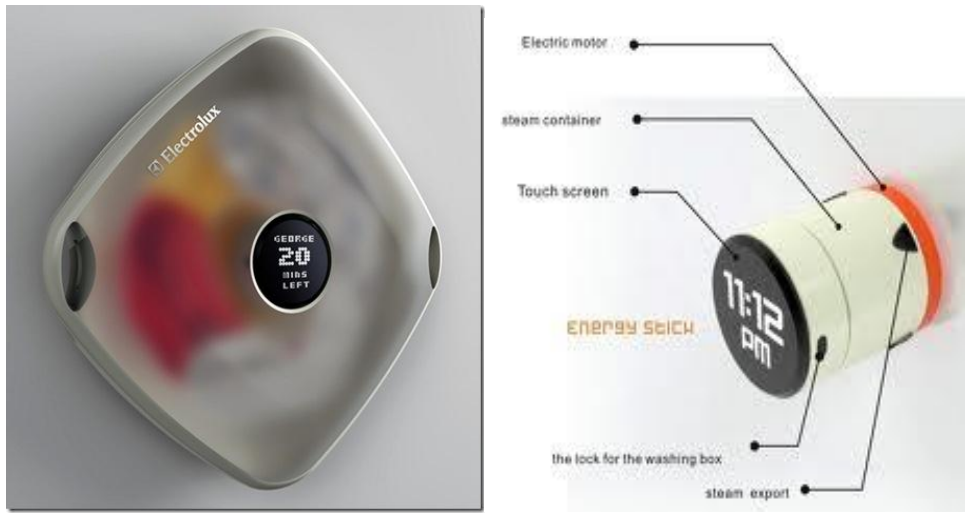
Şekil 2.79. Wash up çamaşır makinesi konsepti

Çamaşır makineleri bir yere sabitlenmek yerine portatif olarak da kullanılabilir. Naturewash çamaşır makinesi konseptinde yeşil alan yaratılarak bu alan taşınabilmektedir ve negatif iyonlarla temizleme yapılmaktadır (Şekil 2.80).



Şekil 2.80. Naturewash çamaşır temizleyici konsepti [54].

Ayrıca üretici firmalar yavaş yavaş da olsa standart boyutlardan küçük çamaşır makineleri üretmeye başlamışlardır. Bunun portatif çamaşır makinesine yavaş bir geçiş olduğu düşünülebilir. Wall-mount çamaşır makinesi konseptinde buharla yıkama yapabilen portatif bir çamaşır makinesi konsepti oluşturulmuştur (Şekil 2.81).



Şekil 2.81. Wall-mount çamaşır makinesi konsepti [44]

Wave amaşır makinesi konseptinde ise çamaşırların kirli bölgelerinin üzerinde gezdirildiğinde ultrasonik dalgalar sayesinde su ve deterjan miktarını algılayarak çamaşırın temizlenmesini öngörmektedir (şekil 2.82).



şekil 2.82. Wave amaşır makinesi konsepti [44]

Easy living çamaşır makinesi konseptinde duvara monte edilen yüzeye, taşınabilen ve çamaşır sepeti olarak kullanılabilen silindir parçalar yerleştirilerek temizleme işlemi yapılmaktadır (şekil 2.83).



şekil 2.83. Easy living çamaşır makinesi konsepti [43]

Traveller amaşır makinesi konseptinde ise katlanabilen çamaşır makinesi seyahatlerde çamaşırların yıkanmasına olanak sağlamaktadır (şekil 2.84).



şekil 2.84. Portatif Traveller amaşır makinesi [55]

2.3. Çamaşır Makinesinde Teknik Sorunlar

Çamaşır makineleri için en temel problemler mekanik, elektriksel veya malzeme ile ilgili olan problemler yani genel olarak kapak arızası, su kaçırma, yürüme ve dayanıklılıktır. Bu gibi problemler bir çamaşır makinesi servisinin yapabileceği, yeni parçalar kullanılmasını gerektiren problemlerdir. Makine tasarımcıları kullanıcının gereksinimlerini tasarımsal veya teknolojik olarak çözmektedirler. Örneğin amaşır makinesinin bittiğini duyma gereksiniminden dolayı, makine programlarını bitirdiğinde uyarması veya yumuşatıcılara alerjisi olan insanların hassasiyetini çözmek için anti alerjik yıkama yapmak gibi çözümler üretilmiştir. Bunun dışında en temel problemlerden biri olan titreşim ve buna bağlı olarak ortaya çıkan gürültüdür. Farklı amaşır makinesi üreticilerinin gürültü değerleri izelge 2.1’de verilmiştir. Gürültü artık bir evre kirliliği olarak kabul edilmektedir ve kalite isterleri içerisine girmiştir.

Çizelge 2.1. Avrupa ve Uzakdoğu pazarlarında farklı sıkma devirlerinde gürültü ölçümleri

	1000 DEVİRDE				1200 DEVİRDE			
	5kg	6kg	7kg	8kg	5kg	6kg	7kg	8kg
AVRUPA PAZARI (dB)	72	72	74	74	72	69	69	73
UZAKDOĞU PAZARI (dB)			69		66	74	69	69
	1400 DEVİRDE				1600 DEVİRDE			
	5kg	6kg	7kg	8kg	5kg	6kg	7kg	8kg
AVRUPA PAZARI (dB)	75	68	68	71	72	73	72	74
UZAKDOĞU PAZARI (dB)		66	69	68			74	

3. ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE TEKNİK BİR SORUN OLARAK TİTREŞİM

3.1. Titreşim Nedir

Titreşim bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır. Bu salınımlar bir sarkaçın hareketi gibi periyodik olabileceği gibi rastgele halde de olabilir. İstenmeyen titreşimler boşa enerji harcanmasına, malzeme deformasyonuna, istenmeyen ses ve gürültü doğmasına neden olmaktadır. İstenmeyen titreşim-gürültünün azaltılması verimlilik açısından bir gerekliliktir ve son dönemde yasal düzenlemelere de konu olmaktadır.

Titreşimdeki rasgele dalgalanmalar hassas cihazların performansını etkiler. Teknoloji ilerledikçe makine işleme, uzay uygulamaları kullanılan araçlardan daha fazla hassasiyet beklenmektedir.

Titreşim, hızlı salınım hareketi, bir ritimle tekrarlanan sarsıntı veya bir sesin modülasyonudur.

Titreşimleri,

a) Sönümlü Titreşimler

b) Sönümsüz Titreşimler olarak iki şekilde inceleyebiliriz.

Titreşim olayının tanımlanmasında frekans ve titreşim genliğinden söz edilir. Frekans, periyodik bir dalga hareketinin, belli bir zaman aralığında kaç kez tekrarlandığını ölçen büyüklüktür, frekans Hertz (Hz) ile ölçülür ve 1/s olarak ifade edilir.

Belli şekle bağlı cisimlerin elementlerine, cinsine, kütesine ve boyutlarına göre değişen “doğal frekansları” vardır. Doğal frekans sistemin sürtünmesiz serbest titreşimi esnasındaki frekansıdır. Sönümlü doğal frekans ise sistemin sürtünmeli serbest titreşim yapması halindeki frekansıdır. Titreşim olayında doğal frekansın önemi büyüktür. Makine elemanları doğal frekanslarına yaklaştıkça elastik deformasyonları artar ve hatta olası plastik deformasyonları oluşur. Gerçekte, mühendislik sistemlerinin çoğu, titreşim hareketleri sırasında, sürtünme ve dirençler dolayısıyla, “sönüm” olayı ile karşı karşıyadır. Hava tesiriyle sönüm, akışkanların sürtünmesi, Colomb kuru sürtünmesi, manyetik sönüm vb. şekillerinde olabilen sönüm olayı, daima hareketi yavaşlatacak ve salınımı zamana bağlı olarak durduracaktır.

Rezonans, “mekanik, akustik veya elektriksel titreşim yapan sistemlerde, kendi doğal frekanslarına yakın frekanslarda genlikleri giderek artan titreşim yapmaları hali” olarak tanımlanmaktadır. Tatbik edilen dış kuvvetin frekansının, sistemin doğal frekansına eşit olduğu zaman, “rezonans” meydana gelir. Rezonans olduğu zaman, sistemin genliği sınırsız olarak artacak ve bu olay ancak, sistemde sönüm olması halinde kontrol edilebilecektir. Böyle bir durumda, titreşim sisteminin genliğinin çok artması ve meydana gelecek istenmeyen olaylardan sakınmak için, sistemin doğal frekansı bilinmeli ve ona göre kontrol edilmelidir [56].

Farklı cisimlerin ve yapıların titreşim frekansları Çizelge 3.1’de gözlenmektedir. Basit olarak açıklayacak olursak boyutun artması titreşim frekansını düşürür. Boyutun küçülmesi titreşim frekansını yükseltir.

Çizelge 3.1. Titreşim kaynakları

Titreşim Kaynakları	Titreşim seviyesi F_{pik}
Otomobil motoru	200
3 eksen makine tezgahı	70
Blendir	121
Çamaşır kurutucusu	121
Otomobil paneli	13
Kapı kapanırken kasada yarattığı titreşim	125
Mikrodalga fırın	121
Ofis binasındaki havalandırma	60
Yoğun trafik kenarındaki pencere	100
Bilgisayar içerisindeki CD oynatıcı	75
Kalabalık bir ofisteki ikinci kat	100

3.2. Titreşim Kontrol Yöntemleri

Titreşim genel olarak yapılarda istenmeyen ve sorun yaratan, zamana bağlı alınan mekanik kuvvetin miktarıdır. Bu kuvvetler yüksek gerilmeler ve genliğin aşırı artması, makine ve teçhizatın aşınması, malzemelerin yorulması ve gürültü gibi sebeplere yol açarlar. Bu nedenle ortaya çıkan titreşimler kontrol altına alınmak istenmektedir. Titreşimlerin kontrollerine yönelik olarak, pasif, yarı-aktif ve aktif olmak üzere sınıflandırılabilir üç yöntemden faydalanılabilir. Makinelerde kararlı ve geçici durumlar için titreşimi azaltmanın en verimli yöntemlerinden birisi sönümleyici elemanın titreşim sönümleme katsayısını değiştirmektir. 1960'lı yıllardan bu yana yarı-aktif kontrol yöntemleri üzerine çalışmalar sürmektedir. Yarı aktif kuvvet üreteçleri kullanılarak titreşim kontrol edilmeye çalışılmıştır [57]. Geçen yıllar boyunca da bu yöntem binalarda, trenlerde, raylı sistemlerde ve otomotiv endüstrisinde kullanılmıştır [58-61]. Akıllı malzeme teknolojisindeki gelişmelerle

birlikte de yarı-aktif titreşim kontrol elemanlarının endüstriyel kullanımları giderek yaygınlaşmıştır. Bu anlamda pasif sönüm elemanları olarak kullanılan süspansiyon sistemlerindeki hidrolik damperlere en iyi alternatifler, elektro-reolojik ve magneto-reolojik özellikli sıvıların kullanıldığı damperlerdir.

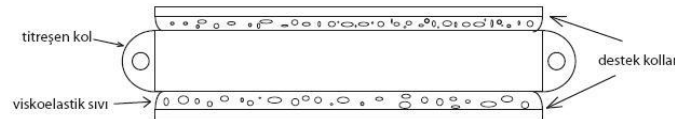
3.2.1. Pasif titreşim kontrol yöntemi

Pasif titreşim kontrol yöntemi temel olarak kullanılan titreşim sönümleme malzemesinin özelliklerine ve/veya titreşen yapının şekline ve özelliklerine bağlıdır [62]. Kullanılan malzemelerin sayısına bağlı olarak daha iyi gürültü kontrolü elde etmek mümkündür, fakat pasif titreşim kontrolü genel olarak düşük frekans uygulamalarında kullanışsız kalmaktadır.

Malzemeler yapıdaki kritik yüzeylere uygulanarak bu yüzeyin deformasyon enerjisini alması sağlanarak yapılır. Birçok uygulama biçimi olmakla beraber genel olarak viskoelastik malzemelerle, viskos malzemelerle, sürtünme kuvvetini kullanarak, darbeyle, termal, elektromekaniksel, ve manyetik mekaniksel şekilde uygulanırlar. Buradaki amaç ana yapıdaki titreşimsel enerjiyi titreşen yapının üzerine eklenen kütleli damperlerle sönümlemektir.

3.2.1.1. Viskoelastik sönümleme

Titreşen yapıdaki hareketin hızı ile orantılı olan yapısal deformasyon enerjisini sönümler. Viskoelastik malzemeler genellikle yapısal bütünlüğe bağlı değildir. Viskoelastikler genellikle kompozit uygulamalarında kayma gerilimi sergilerler (Şekil 3.1).

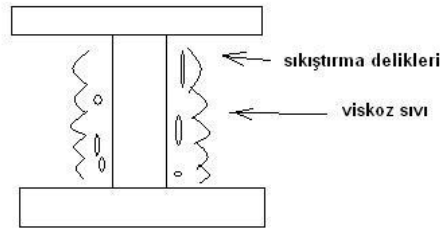


Şekil 3.1. Viskoelastik malzemeyle sönümleme

Şekil 3.1 deki yapıda kompozit kol dikey doğrultuda bir deformasyona uğradığında, viskoelastik yapı kol ve destek arasındaki bu hıza paralel olarak karşı bir direnç kuvveti gösterir.

3.2.1.2. Viskoz sönümleyiciler

Pasif sönüm performansını artırmak için titreşen yapının içerisindeki kanaldan geçen sıvının akışına bağlıdır. Viskoz sönümleyici önemsiz içsel eğilmezliğe sahiptir. Şöyleki ilk beslemedeki esneme gibi paralel eğilmezlik, körüklerin içinde oluşan kuvvetten dolayı hareket eden sıvı yapısal bütünlüğe engel olmadan yeterli deformasyona izin vererek sağlanır. Kompozit kol eksenel doğrultudaki yerdeğişimle beraber viskoz sıvıyı da presleyerek dar kanallardan geçmesini sağlar (Şekil 3.2). Sıvı elastik eyleyici aktif olarak uygulandığında kontrol edilen kol vasıtasıyla sıvı basıncı sağlanır ve viskoz sıvının da bulunduğu yapı titreşen ana yapıyı destekler.



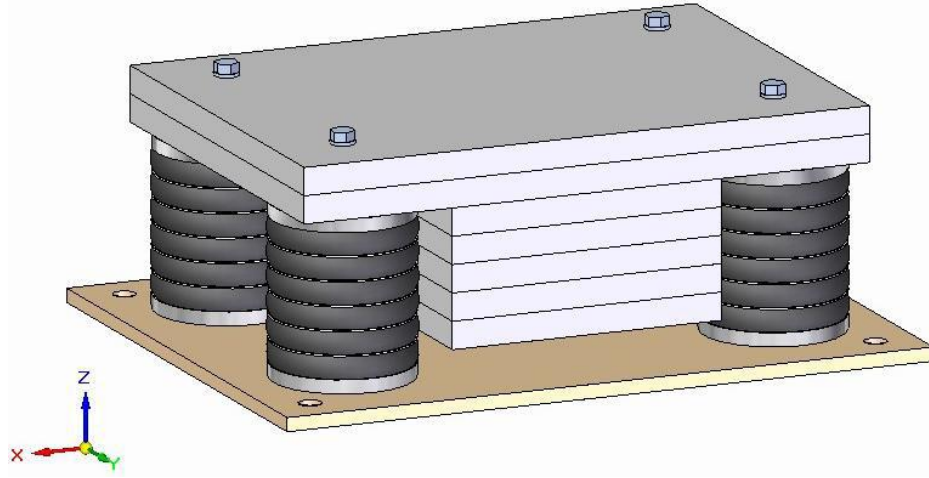
Şekil 3.2. Viskoz sönümleyici sistemi

3.2.1.3. Sürtünmesel sönümleme

Diğer bir adı da Coulomb sönümlemedir. Kuru iki yüzeyin kaymasından yararlanır. Sönüm kuvveti malzemenin kayma katsayısı ve oluşan kuvvetle eşit olmalı ve hareket oluştuğunda ise hızdan bağımsız olmalıdır. Bu yöntem pratik uygulaması bakımından zor bir yöntem olmasına karşın, az yerdeğişim ve eğilmezliği çok fazla olan sistemlerde kullanılabilir.

3.2.1.4. Darbe sönümleyiciler

Üzerinde birincil veya içerisinde ikincil bir yük taşıyan seri olarak çarpışma ile birlikte titreşen sistemler için uygulanır. Bu tip uygulamalarda sönümleme yapmak için momentumun korunması gereklidir. Hızdan dolayı oluşan sönüm, hareket denklemlerinde göz ardı edilir. Bu sistemlerde yüklü sistemler birbirine bağlanarak birbirlerine taşıyıcı yay benzeri sistemle tampon olarak kullanılırken titreşimin absorbe edilmesi sağlanır (Şekil 3.3) [63].

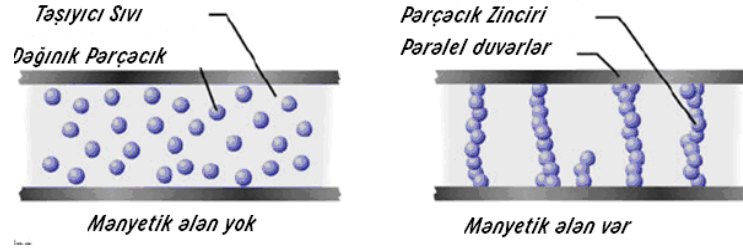


Şekil 3.3. Darbe sönümleyici sistem

3.2.2. Yarı aktif titreşim kontrol yöntemi

3.2.2.1. Manyetoreolojik damperlerle titreşim kontrolü

Manyetoreolojik damperler akışkan sıvı konumundayken, uygulanan manyetik alana bağlı olarak içerisindeki manyetik parçacıklar hareket kazanarak zincir yapısına kavuşurlar ve viskoz sıvı haline gelirler. Bu sayede titreşen iki duvarın titreşimlerini sınırlarlar (Şekil 3.4). Ayrıca manyetoreolojik damperler, elektoreolojik damperlere göre daha düşük voltajlarla da çalışabilmektedirler [64].



Şekil 3.4. Manyetik damper sisteminin şematik gösterimi

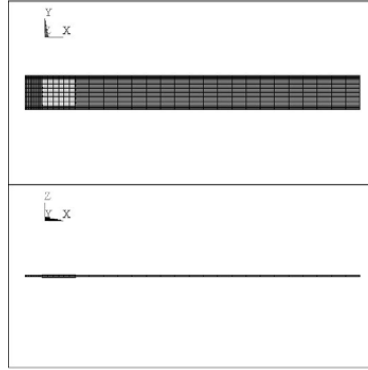
3.2.2.2. Elektoreolojik damperlerle titreşim kontrolü

Manyetik alan altında yapılan çalışmanın benzer bir çalışması olan sistemde akışkan sıvı içerisinde yarı iletken parçacıklar kullanılır. Uygulanan yüksek elektrik alanına bağlı olarak akışkan sıvı viskoz sıvı konumuna gelir ve titreşen iki yapı arasındaki titreşimi düşürür. Manyetoreolojik sıvılardan çok daha yüksek voltajlarda çalışmaktadırlar [64].

3.2.3. Aktif titreşim kontrolü yöntemi

Pasif ve yarı aktif titreşim yöntemlerinin aksine aktif titreşim kontrolü sistemlerinde dışarıdan enerji beslemesi yapılmakta ve bununla sistemin enerji akışı değiştirilmektedir. Operasyonel şartlar değiştirildiğinde sistemin özellikleri ayarlanabilmektedir. Sistemin kalbi olan aktuatorler suni bir kas gibi çalışarak sistemin titreşimini sönmölemektedirler. Bu aktuatorler pnömöatik, hidrolik, elektromanyetik veya akıllı malzemeler olabilirler. Hidrolik aktuatorler kayda değer kuvvet ve yerdeğişim sağlarlar, fakat şokla indirgenen kuvvetler sebebiyle frekans tepkisinde kayıplara neden olmaktadır. Akıllı malzemeler yeterli kuvveti oluşturmaya elverişlidirler. Bu malzemeler geçmişteki titreşim sönmöleme uygulamalarında mikro düzeydeki titreşimleri sönmölemek için kullanılırlarken yeni tip malzemeler geliştirildikçe daha yüksek düzeydeki titreşimleri sönmölemede kullanılmaya başlanmışlardır. Elektromekanik aktuatorlerin günümüzde birçok uygulama alanı vardır [65].

Aktif titreşim kontrolüne dönük daha çok kiriş ve plak yapılar üzerinde uygulamalara sıklıkla rastlanmaktadır [66]. Kirişlerin aktif titreşim kontrolü, yayılmış piezoelektrik transduser kullanarak yapılmaya çalışılmıştır [67]. Kiriş, plaka ve kabukların piezoelektrik malzeme kullanılarak yapılan titreşim kontrolü ile ilgili kapsamlı bir çalışma yapılmıştır [68]. Ricitleştirilmiş levhaların aktif titreşim kontrolü piezoelektrik etkisi kullanılarak, sonlu elemanlar metoduyla yapılmaya çalışılmıştır [69]. Kiriş yapısına uygulanan aktif titreşim kontrolünde, hem titreşimi önlenecek kiriş yapısı hem de piezoelektrik aktivatörün sonlu eleman modeli ANSYS ticari yazılımı ile oluşturulmuştur [70]. Sonlu eleman modelinde kiriş iki boyutlu elemanlarla, piezo aktivatörler ise solid elemanlarla temsil edilmiş ve hibrid bir yapı oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Kirişin ilk iki titreşim biçimindeki titreşimleri kontrol edecek şekilde H^∞ kontrolleri tasarlanmıştır.



Şekil 3.5. Akıllı Kiriş (smart beam) yapısının sonlu eleman modeli [70]

Bir kenarından ankastre elastik levhaya boştaki köşesinden impulsiv kesme kuvveti uygulanarak titreşim kontrolü yapılmaya çalışılmıştır [71]. Bunun için 3'er tane piezoelektrik sensör ve aktüatör kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle modal analizi yapılmış ve dizayn edilen farklı H^2 kontrolleri kıyaslanmıştır (Şekil 3.6).

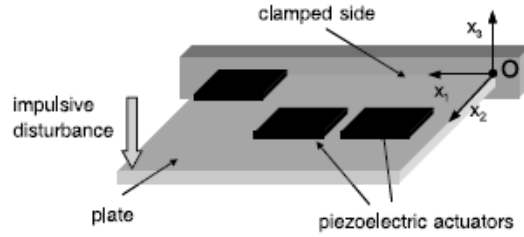


Fig. 1. Piezoactuated clamped plate.

Şekil 3.6. Piezoelektrik aktivator yerleşimi

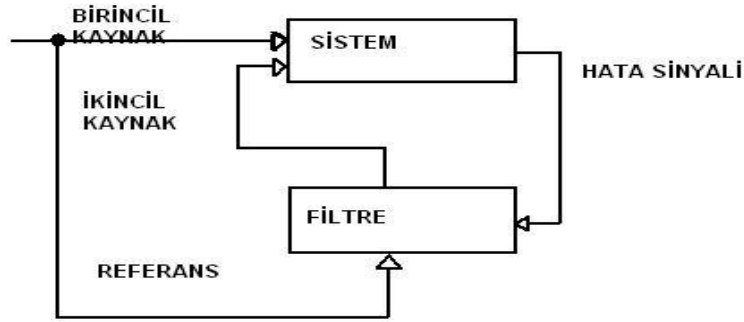
Aktif titreşim kontrolünde, kullanım amacına göre farklı piezoelektrik malzemelerden yapılmış aktivatorler kullanılabilir. Piezoelektrik malzemeler arasında en çok kullanılan PZT (Kurşun zirkonat titanat) malzemesidir. İçerisindeki Zr ve Ti bileşiminin miktarı ile oynanarak; piezoelektrik etkinlik, kayıp veya yüksek sıcaklıkta çalışabilme ve kararlılık gibi özellikleri istenilen düzeylere getirilebilir [72]. Ayrıca PZT malzemenin sertliği ve yumuşaklığı diğer özelliklerini de etkilemektedir.

Akademik uygulamaların aksine, endüstriyel ürünlerde kontrol sistemlerinin yerleştirilebileceği hacimler yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten, hem ölçüm hem de aktivasyon işlemini aynı anda gerçekleştirebilen, kompakt tasarımlar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Eş zamanlı olarak hem ölçüm yapabilen hem de yapıyı uyarabilen “self-sensing” aktivator tasarımı da yapılmıştır [73]. Bu tasarımda, strain gage benzeri bir köprü devresi ile şekil değiştirme ölçümü yapılabilmekte, kapalı çevrim (closed loop) kontrol sistemi ile de gereken uyarım aktivator tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu tasarımla titreşim kontrol sürelerinde önemli düşüşler sağlanmıştır.

Aktif Titreşim Kontrolü için çeşitli kontrol teknikleri vardır. İleri ve geri beslemeli olarak başlıca iki grupta incelenebilir.

3.2.3.1. İleri besleme yöntemi

İleri besleme yöntemi; esas olarak gürültü kontrolü için geliştirilmiştir fakat titreşim kontrolü için de oldukça etkili bir yöntemdir. Bu yöntemin prensibi Şekil 3.7’de verilmiştir.

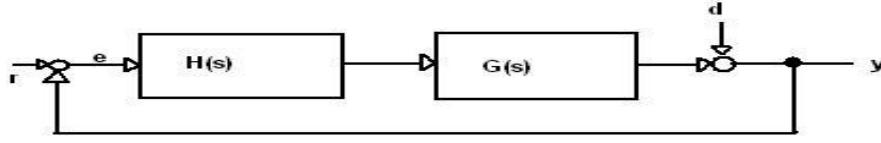


Şekil 3.7. İleri Besleme Yöntemi çalışma prensibi

Buradaki ana fikir, ilk bozucu etkinin hata sensörünün bulunduğu lokasyondaki etkisini geçersiz kılacak bir ikincil bozucu etki yaratmaktır. Sistemin cevabı tek bir mod tarafından domine edilmedikçe, başka noktadaki global cevabın azalacağının garantisi de yoktur. Sistemin bazı noktalardaki cevabı amplifiye edilmiş olabilir.

3.2.3.2. Geri besleme yöntemi

Sistemin çıkışı olan y , referans değeri olan r ve hata sinyali olan $e (=r-y)$ ile karşılaştırıldıktan sonra düzenleyiciden ($H(s)$) geçmekte ve sisteme ($G(s)$) uygulanmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Geri Besleme Kontrolü Yöntemi

Tasarım problemi, kapalı devre sistemin istikrarlı davranmasını sağlayacak olan düzenleyiciyi ($H(s)$) bulmaktan ibarettir.

Düşük sönümlü sistemlerde, geri besleme kontrolü iki ayrı amaç için kullanılır. Bunlar aktif sönümleme ve model tabanlı geri beslemedir [74].

Aktif sönümlenmenin amacı, kapalı devre transfer fonksiyonunun rezonans genliklerini düşürmektir.

$$F(s) = \frac{y(s)}{r(s)} = \frac{GH}{1 + GH} \quad (1)$$

Bu durumda, genliğin düştüğü rezonans bölgesi haricinde $F(s)$, $G(s)$ 'ye oldukça yakındır. Aktif sönümleme genellikle ortalama kazançlar ile yapılabilir. Bir başka güzel özellik ise yapının bir modeli olmaksızın aktif sönümlenmenin yapılabilmesi olmasıdır. İleri ve geri beslemeli yöntemlerin karşılaştırmaları Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Kontrol Tipleri Karşılaştırması

	Geri besleme	İleri besleme
Avantajlar	Modele ihtiyaç yoktur	Modele gerek yoktur
	Kararlıdır	Geniş bant genişliği
	Global bir metottur	Dar bantlı bozucu etkilerde daha etkilidir
	wc dahilindeki tüm bozucu etkileri düşürür	
Dezavantajlar	Sadece rezonans bölgesi civarında etkilidir	Referansa ihtiyaç vardır
	Sınırlı bant genişliği sözkonusudur	Lokal bir yöntemdir
	Wc dışında kalan bozucu etkiler şiddetlenir	Çok sayıda gerçek zamanlı hesaplama yapılması gereklidir

3.2.4. Aktif Titreşim Kontrolünde Titreşim Kontrol Teknikleri

Aktif titreşim kontrolü uygulamalarında genellikle geri beslemeli sistemlerden faydalanılmıştır. İleri beslemeli kontrol sistemlerinin en bilineni LMS kontrolüdür. Geri beslemeli kontrol algoritmaları çeşitli olabilirler. Bunlardan bazıları optimal kontrol [13], LQG kontrol [75] ve H^∞ [76,77,78] veya H^2 kontrol taslağıyla [79] oluşturulmuş gürbüz - dayanıklı (robust) kontrolüdür.

3.2.4.1. LMS kontrol

Least Mean Square (LMS) algoritmaları istenen ve elde edilen sinyal arasındaki fark olan hata sinyalinin optimizasyonuna bağlı, kendi kendine ayarlanabilen transfer fonksiyonları içeren matematiksel modellemenin bir türüdür. Bu kontrol tekniğinde hata sinyalinin optimizasyonu yapılır. Titreşim kontrolü yapılacak bölgenin değişimiyle adım boyu değişmektedir. Genelde sabitlenmiş adım boyu yerine değişken adım boyu tercih edilir [80].

3.2.4.2. H^∞ Kontrol Tasarım Tekniği

Metot genel olarak kontrol sistemlerinin performans ve kararlılığını sağlamak amacıyla kullanılır. Öncelikle tasarımcı kontrol problemini matematiksel yaklaşım olarak ifade eder. Referans sinyali ve hata sinyallerini içeren iki adet giriş ve iki adet çıkış verisine sahip sistem matematiksel çözümlerle hata sinyallerini en aza indirerek, sistemin kontrolü için ölçülebilir değişkenlerle tasarlanır. Dayanıklı stabilize eden kontrolör Zames'e [81] dayanan H^∞ kontrol tekniği ile dizayn edilmiştir. Dayanıklı kontrol fenomeni için H^∞ kontrol tasarım tekniği, titreşim kontrolü ile ilişkili çeşitli alanlarda çalışan birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir [82-84].

Akıllı kirişin titreşimindeki ilk iki eğilme titreşim biçimi H^∞ tabanlı kontrolör yardımıyla baskılanabildiği görülmüştür [70, 76]. Daha sonra çalışmaları akıllı levhaları da kapsamıştır [85, 86]. Akıllı yapıların titreşimlerinin baskılanması için H^∞ kontrol yönteminin yanı sıra μ -sentezi tabanlı kontrolör de kullanılmıştır

[78]. Elastik kirişin aktif titreşim kontrolünde, sonsuz boyutlu sistem modelini sonlu boyuttaki kontrolör ile elde etmek için H^∞ kontrol yöntemi kullanılmıştır [84, 87]. Esnek yapılar üzerine yapılan bu çalışmaların genel kontrol stratejisi, titreşimi belirli bölgelerde inceleyip minimize etme üzerinedir. Fakat bu yöntemde gerikalan bölgeler göz ardı edildiğinden titreşim baskılanması her zaman sağlıklı bir şekilde yapılamamaktadır.

3.2.4.3. H^2 Kontrol Tekniği

H^2 kontrol tekniği kapalı bir devrede iki adet değişken içeren bir transfer fonksiyonu ve bu fonksiyonun değişkenleri olarak giriş fonksiyonunu düşüren ve çıkış verisini kararlı hale getiren bir kontrolör içeren matematiksel modellemenin çözümüdür. Dağıntık bir sistemin titreşim kontrolü için, uzamsal domenin performansını ölçen, uzamsal H^2 normunu ortaya konulmuştur [88]. Daha sonra H^∞ norm kavramı ortaya atılmış ve desteklenmiş kirişlerin titreşim kontrolünün simülasyonla çözümlmeleri yapılmıştır [89, 90]. Geribeslemeli ve ileri beslemeli kontrolör tasarımı aydınlatıcı sonuçlar çıkartılmıştır [91]. Ancak simülasyonların aksine bu kontrolörler gerçek hayattaki sistemlerde tüm kirişin titreşimini minimize etmede her zaman başarılı değildir. Yalın dayanaklı kirişin aktif titreşim kontrolü uzamsal H^2 ve H^∞ kontrolörlerin uygulanmasına çalışılmıştır ve başarılı deneysel sonuçlar çıkartılmıştır [92]. Sonraki deneysel çalışmalarda yalın dayanaklı piezoelektrik laminer levhanın aktif titreşim kontrolü yapılmıştır [93].

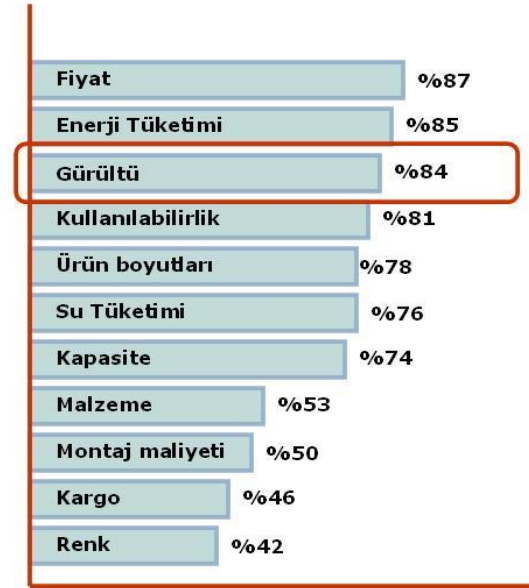
İleri beslemeli ve geri beslemeli periyodik veya rasgele titreşimler için çeşitli kontrol stratejileri geliştirilmiştir [94].

3.3. Çamaşır Makinelerinde Titreşim

Çamaşır makinelerinin titreşim ve gürültü yaratmalarının temel sebebi yukarıda da bahsedildiği üzere ortada dönen bir tamburun çevrilmesidir. Bu çevrim ortada yer alan dengesiz yükün hareket etmesiyle titreşim ve gürültü yaratmaktadır. Makine tasarımlarının da çoğalması ve değişmesi sebebiyle ortada dönen tambur askıyla ve kollar vasıtasıyla makinenin dış gövdesine bağlanmıştır. Bu titreşim ve gürültüyü durdurmak amacıyla, bağlanan kollar amortisör olarak konulup titreşimi de sönümleme görevi görmektedirler.

Appliance magazine dergisinin 2007 yılında yaptığı araştırmaya göre beyaz eşya alabilecek kitlenin %84 ünün önem verdiği özellik olarak fiyat ve enerji tüketiminden sonra, gürültü en önde yer alan ve seçici parametrelerdendir (Şekil 3.9). Bu yüzden çamaşır makinesinde titreşimi azaltmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Beyaz eşya alırken neye dikkat edersiniz?



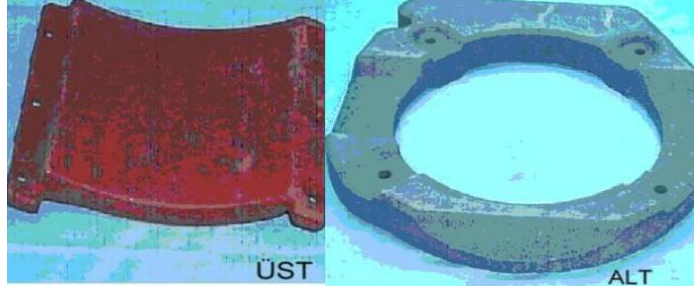
(Kaynak: APPLIANCE Magazine, Aralık 2007)

Şekil 3.9. Appliance Magazine dergisinin 2007 yılında beyaz eşya tercihlerini konu alan araştırma

3.3.1. Çamaşır makinelerinde titreşimi azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar

Çamaşır makinesi tasarımlarında ilk günden bu yana çeşitli sorunlarla karşılaşılmıştır. nden beslemeli çamaşır makinesinde ilk olarak yürüme davranışı engellenmeye çalışılmıştır. Bendix firması 1937 yılında ürettiği günümüze benzer ilk çamaşır makinesinin yürümesini engellemek için, makineyi yere sabitlemeyi önermişlerdir.

Daha sonra yapılan tasarımlarda yere sabitleme dışında farklı uygulamalar yapılmıştır. Bunlardan ilki, kütle dengesinin bulunmaya çalışılmasıdır. Yapılan çalışmalarda çamaşır makinesinin tamburuna dökme demirden plakalarla kütle ekleyerek titreşimi azaltılmış ve yürümesi engellenmeye çalışılmıştır (şekil 3.10). Bu plakalar zamanla yerini betona bırakmıştır. Geçmişte bu ağırlıklar sadece tamburun arkasına bağlanan ağırlıklardır, günümüzde ise bunların yerini özel şekillendirilmiş parçalı beton denge ağırlıkları almıştır (şekil 3.11). Çamaşır makinesinin yürüme davranışı farklı uygulamalarla nlenmeye çalışılmıştır. Bunlardan bir diğeri de çamaşır makinesinin ayaklarının sürtünme katsayısı artırılarak yürüme davranışının engellenmesidir.



şekil 3.10. Dökme demirden yapılmış denge ağırlıkları



şekil 3.11. Özel şekillendirilmiş beton ağırlıklar-Veston [95]

3.3.1.1.Çamaşır makinesi pasif titreşim sönümlleme çalışmaları

Son yıllarda çamaşır makinelerinin yan panellerindeki rijitliği artırarak titreşimi azaltma çalışmaları yapılmaktadır. Arçelik markasının çamaşır makineleri yan panel tasarımı klasik 3 badem iken yeni tasarımlar da ortaya konulmuştur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Arçelik çamaşır makineleri

Çamaşır makinesi yan panellerinde değişik tasarımlar dikkat çekmektedir. Örneğin Bosch markası Anti-titreşim tasarımı sloganı ile klasik yan panel tasarımından farklı bir uygulama yapmıştır (Şekil 3.13).



a) Klasik Yan Panel b) Anti-Titreşim Tasarımı

Şekil 3.13. Bosch çamaşır makinesi farklı yan panel tasarımları

Whirlpool firması da yan panellerinde farklı bir uygulama ile çelik sac levha yan panelin, tambur frekansının en yüksek değerine yakın olan ilk doğal rezonans frekansını artırmayı ve bununla beraber titreşim seviyesini düşürmeyi amaçlamıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Whirlpool çamaşır makinesinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Alman çamaşır makinesi üreticisi Miele'nin de yan panel konusunda farklı çalışmaları bulunmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Miele çamaşır makinesinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

AEG-Electrolux marka çamaşır makineleri de farklı yan panel tasarımlarına sahiptir. Enine bademlenmiş çamaşır makinelerinin yanı sıra dikey sıralanmış üçlü bademlenmiş çamaşır makinesi modelleri de bulunmaktadır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. AEG markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Gronje markalı çamaşır makineleri de yan panelin dışında ön panel tasarımını sert hatlarla öne doğru hafif bombelerle çamaşır makinesi tasarımlarına farklılık kazandırmışlardır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Gronje markalı çamaşır makinesi

Haier markalı çamaşır makinelerinde ise yan panelde oluşturulan girinti ve çıkıntılar iki veya üç adetten oluşmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18.Haier markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Indesit amaşır makinesi modellerinde yan panelde oluşturulan girinti ve çıkıntılar daraltılarak yukarı ve aşağı uzatılmış ve bu şekilde titreşimi azaltacağı düşünülmüştür (şekil 3.19).



şekil 3.19. Indesit markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

LG marka çamaşır makinelerinde ise yan panelde oluşturulan bademler yuvarlatılmış hatlara sahip olup daraltılmadan tasarlanmıştır (şekil 3.20).



şekil 3.20. LG markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Profilo marka çamaşır makinelerinde 4l badem ve anti titreşim tasarımı yan panel çalışmaları yapılarak titreşiminin azaltılacağı düşünülmüştür (şekil 3.21).



Şekil 3.21. Profilo markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Samsung markası altta çamaşır çekmecesini bulunduran modelleri de üretmeye başlamıştır. Ayrıca yan panelinde iki adet badem oluşturarak titreşimin azaltılacağı öngörülmüştür (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Samsung marka çamaşır makinesi

Siemens çamaşır makinelerinde de Profilo ve Bosch marka çamaşır makinelerinde olduğu gibi 4 badem ve antitreşim yan panel tasarımları bulunmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Siemens markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

Zanussi markası da farklı yan panel tasarımları denemişlerdir. Yan panel üzerinde üç badem ve üst kapaktan başlayarak aşağı inen tek badem ile titreşim sorununu çözmeye ve aynı zamanda çamaşır makinesine estetik katmaya çalışmaktadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Zanussi markalı çamaşır makinelerinin farklı yan panellerinin örneklendiği modelleri

3.3.1.2. Çamaşır makinesi aktif titreşim sönümlleme çalışmaları

Yan panel titreşimini azaltma haricinde de çeşitli çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaktadır. Bu çalışmalar pasif titreşim sönümlleme alanında yapılan değişikliklerdir.

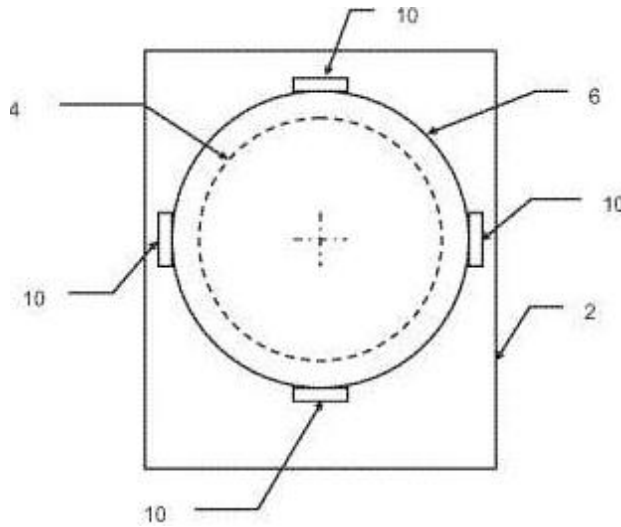
Bunun yanı sıra akıllı çamaşır makinesi kavramı kapsamında çeşitli algılama sistemleri geliştirilmektedir. Bununla ilgili çeşitli çamaşır makinesi üreticisi firmaların patentleri de mevcuttur. Örneğin dengesiz yük ve cins algılama uygulamalarında basınç sensörü kullanılmakta veya motor hareket parametreleri ölçülerek dolaylı yoldan yükün algılanması sağlanmaktadır. Bununla ilgili çalışmalar sensör üreticileri veya çamaşır makinesi üreticileri tarafından yapılmakta ve patentleri de alınmaktadır [3].

Tambur ağırlığını ölçmek suretiyle ıslak çamaşırların nem miktarını ölçen sistem, doğrudan olmasa da dolaylı bir biçimde çamaşır makinesinin en yüksek sıkma devir ve süresini azaltarak titreşiminin azalmasını sağlamaktadır [96].

Titreşime sebep olan dengesiz yük, başka bir sıvı yardımıyla dengelenip, titreşim seviyesi düşürülmeye çalışılmıştır [97].

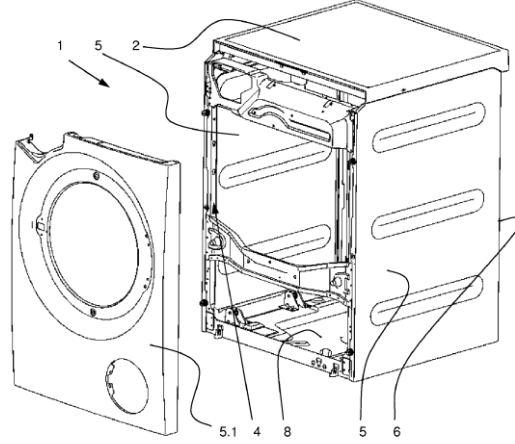
Bunun yanında portatif çamaşır makinesi tasarımı yapılmaya çalışılmış ve çamaşır makinesindeki dengesiz yükün oluşturduğu problem atalet momenti hesabı yapılarak çözülmeye çalışılmıştır [98].

Titreşim farklı aparatlar ekleyerek de çözülmeye çalışılmaktadır. Şekil 3.25’de tamburun 4 farklı kenarına, panellere paralel olacak şekilde yerleştirilmiş 4 adet titreşim önleyici aparat bulunmaktadır [99].



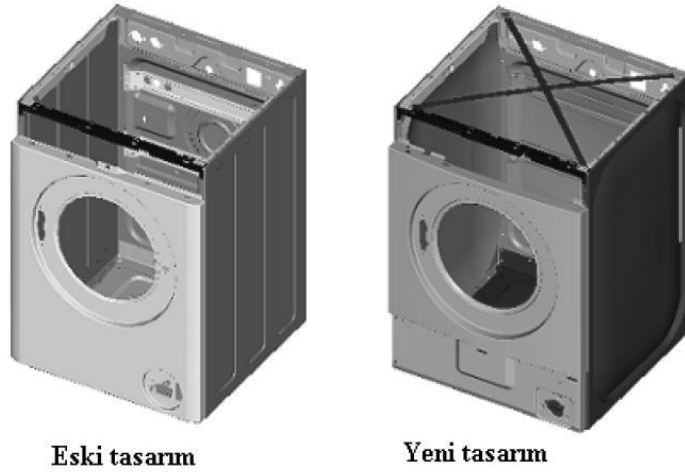
Şekil 3.25. Bosch firmasının 2009 yılında almış olduğu anti titreşim aygıtı patenti

Ayrıca amaşır makinesini bir kutu şeklinde dűřünerek yan panellerin birbirlerine bağlanarak sabitleştirildiği çamaşır makinesi patenti de alınmış durumdadır [100] (şekil 3.26).



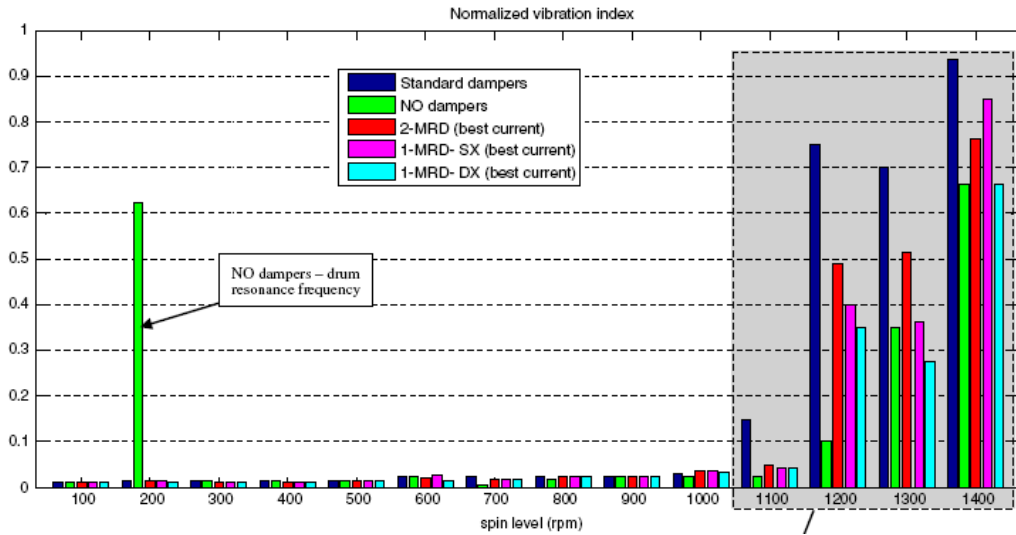
şekil 3.26. Miele firmasının US 2007/0175907 A1 no lu patenti

Bir başka çalışmada ticari yazılımlar kullanılarak esnek elemanların bulunduğu sayısal bir çamaşır makinesi modeli hazırlanmış, aynı zamanda deneysel ölçümlerle model doğrulanmıştır. Özellikle sayısal olarak ayrı ayrı modellenmiş elemanların modal özelliklerinin bulunması ve bunların sayısal olarak birleştirilmesi konusunda yoğun olarak çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise analizlere bağlı olarak çamaşır makinesinin tasarımıındaki değişiklikler göz nűne serilmıştir (şekil 3.27) [101].



şekil 3.27. Modal analizlere bağlı olarak mevcut tasarımıdaki değişiklikler [101]

Endüstriyel uygulamaya yönelik olarak Indesit Marka çamaşır makinesinde yarı-aktif titreşim kontrolü manyetoreolojik sıvıyla uygulanmıştır [102]. Yapılan uygulamada mevcut pasif süspansiyonlar yerine kullanılan magneto-reolojik damperler sayesinde, çamaşır makinesinin yan panelinden ölçülen titreşim seviyelerinde önemli düşüşler kaydedilmiştir. Şekil 3.28’de farklı süspansiyon tipleri ve montaj durumları (SX: sol tarafta damper var, DX: sağ tarafta damper var) için ölçülen titreşim değerlerinin normalize edilmiş halleri gösterilmiştir. Titreşim azaltılmasının yanı sıra, sıkma frekanslarında 1200 rpm seviyesindeki sıkma devirlerinde 3 dB 1400 rpm devirlerinde ise 5 dB gürültü düşüşü elde ettikleri iddia edilmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Farklı süspansiyon tipleri ve ölçülen titreşim değerleri

Yarı aktif titreşim kontrolü için bir başka alternatif de, hidrolik damperlerin kullanılmasıdır. Basit bir çamaşır makinesi modeli üzerinde, çeşitli konumlarda hidrolik damperler yerleştirilmiştir [103]. Hidrolik devrelerde bulunan vanalar ile de, dönüş hızına bağlı olarak ortaya çıkan titreşimlere göre sönüm ve yay katsayısı değerleri değiştirilmektedir. Çalışma düşük rpm seviyeleri ile sınırlı kalabilmiştir.

Bunun yanında çeşitli süspansiyon sistemleri ile çeşitli dengesiz yüklerin farklı çevrim sayılarında etkileri matematiksel madellemelerle incelenmiştir.

Kullanılan süspansiyon sistemleri araştırılmıştır. Dengesiz yüklerden kaynaklanan salınımlar bulanık mantık algoritma yöntemi ile kontrol altına alınarak makinenin mekanik aksamı korunmaya ve yürüme davranışı minimuma indirgenmeye çalışılmıştır [104].

Çamaşır makinesini oluşturan elemanlar ayrı ayrı modellenmiş ve bilgisayar analizleri ile farklı değerlerde nasıl etki gösterecekleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu elemanların çamaşır makinesinin hareket davranışına etkileri araştırılmış ve çamaşır makinesi üretim maliyeti düşürülmeye çalışılmıştır. Fakat çalışmalar belirli bir rpm seviyesinde yapılmıştır [105].

3.4. Titreşim Kontrolünde Kullanılan Malzemeler

3.4.1. Şekil bellekli alaşımlar

Şekil bellekli alaşımlar, alaşım elementlerinin oranına bağlı olarak belirli bir sıcaklığın üzerinde ve altında farklı kristal yapısına sahip, deformasyona uğratıldığında uygulanan sıcaklık ve gerilmelere bağlı olarak daha önceki şekil ve boyutuna geri dönebilen malzemelerdir. İçerdiği elementlere ve oranlarına bağlı olarak değişen “dönüşüm sıcaklığı” denilen sıcaklık değerlerinin üzerinde östenitik yapı gösteren malzemeler, bu sıcaklık altında ise martenzitik yapı gösterirler. Alaşım martenzitik yapıda iken dönüşüm sıcaklığı üzerine ısıtıldığında östenitik yapıya dönerken ilk şekline geri döner. En bilinen malzeme Nitinol’ (Nikel Titanyum alaşımı) dur [106].

3.4.2. Manyeto-kısıtlı malzemeler

Manyetik alan altında % 0.15 deformasyona uğrayabilen malzemelerdir. Özellikle sıkıştırma kuvveti altında etkin şekilde çalışırlar. Yük taşıyıcı olarak uzun zamanlı olarak kullanılırlar. En bilineni Terfenol’dür.

3.4.3. Manyeto-reolojik sıvılar

Manyetik alan altında, yüksek viskoziteye sahip bir sıvının, içerisindeki mikron boyuttaki parçacıkların hareket etmesine dayanır. Sütun yapısı oluşturarak minimum kayma kuvveti gerektirirler. Çok hızlı tepki verirler [74].

3.4.4. Piezoelektrik malzemeler

Piezoelektrik kavramı Yunancadaki sıkıştırmak, basınç uygulamak anlamına gelen piezein ve elektrik kelimelerinden türetilmiştir. Piezoelektriklik; kristal malzemelerin basınç altında elektrik yükü üretebilmesine denir. Bu özelliği gösteren malzemelere ise piezoelektrik malzemeler denir. Piezoelektrik malzemeler üzerine bir kuvvet uygulandığında elektrik akımı üretirler bu etkiye direk piezoelektrik etki denmekte, belli bir elektrik akım verildiğinde ise deformasyon gösterirler ki buna da ters piezoelektrik etki denmektedir [107].

3.4.4.1. Piezoelektrik malzemelerin tarihi

Bilinen ilk piezoelektrik malzeme olan Rochelle Salt 1655 yılında Elie Seignette tarafından sentezlenmiş olup ilaç tedavisinde kullanılmıştır fakat 1880 yılında Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından Rochelle tuzunun piezoelektrik etki gösterdiği keşfedilmiştir.

Çok iyi piezoelektrik özellikler gösteren kuvars ise ilk olarak 1899 yılında Thomas Edison tarafından fonograflarda kullanılmıştır.



Şekil 3.29. 1899 yılında Edison fonografıyla birlikte [108].

Birinci dünya savaşı yıllarında ise Nicholson ve Paul Langevin iki adet çelik kütle arasına ince kuartz kristallerinin yerleştirildiği ve rezonans frekansının 50 KHz civarında olduğu basit bir ultrasonik denizaltı transduseri tasarlamışlardır. 1920’li yıllarda piezoelektrik kavramı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan biri de 1920 yılında Joseph Valasek’in ilk histeris eğrisi (elektrik alanda dielektrik malzemelerin domainlerinin yönlenmelerinin belirtilmesi) çizme çalışması olmuştur.

1940’lı yıllara kadar Rochelle tuzunun piezoelektrik, dielektrik, piroelektrik etkileri ve diğer çalışmalar yürütülmüştür. 1935 yılında Busch ve Scherer kısaca KDP adı verilen Potasyum dihidrojen fosfat ve dihidrojen arsenat malzemelerinde ferroelektrik özellik tespit etmişlerdir. Bu malzemeler ise yüksek güçlü sonarlarda kullanılmıştır.

1940’lı yıllar ferroelektrik ve piezoelektrik malzemeler bakımından altın çağ olmuştur. 1940’lı yılların başlarında perovskit yapısı adı verilen kristal yapının ferroelektrik malzemelerin genel yapısı olduğu yayımlanmıştır. Baryum titanatlar

Gray tarafından ilk çalışan transdusere yerleştirilmişlerdir. Baryum titanat iyi dielektrik özellik göstermesine rağmen ferroelektrik özelliklerin kaybolduğu sıcaklık olan kritik Curie sıcaklığının düşük olması sebebiyle araştırmacılar Curie sıcaklığı daha yüksek olan malzemelere yönelmek istemişlerdir.

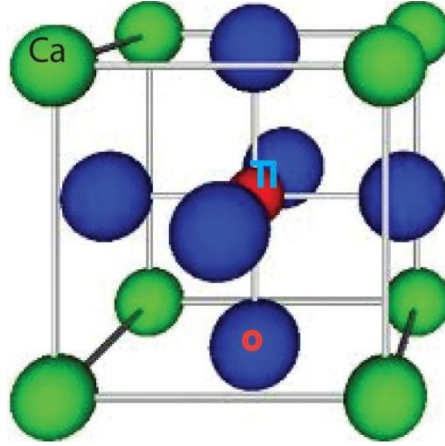
1950’li yıllarda Ray Pepinsky grubuyla beraber Penn State’de ve Berndt Matthias çalışanlarıyla beraber Bell Telefon Şirketi’nde ferroelektrik malzeme ailesini genişletmişlerdir. Kapasitörlerin içerisinde kullanılan baryum titanatlar yüksek dielektrik sabitesine sahip kapasitörler geliştirilmesine yardımcı olmuştur. Bu zamanlarda ferroelektrik ailesi 3’ten 25’e kadar genişlemiştir. Bu yıllar ayrıca günümüzde de halen yaygın olarak kullanılan kısaca PZT denilen kurşun zirkonat titanat seramiklerin de taban çalışmalarının yapıldığı yıllardır.

1950 yılında Japon araştırmacılar Shirane, Hoshino ve Suzuki kurşun titanat üzerinde çalışmış ve ferroelektrik özelliklerinin olduğunu keşfetmişlerdir. 2 sene sonra aynı grup kurşun zirkonat titanat katı çözeltiler üzerinde çalışmış 1954 yılında Bernard Jaffe ve çalışma arkadaşları Ulusal Standartlar Laboratuvarları’nda bir sonraki bölümde ayrıntılarıyla açıklanacak olan katı çözeltilerdeki morfortropik faz sınırı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu senelerde PZT seramikler üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Elektronik sektörünün de gelişmesiyle beraber piezoelektrik malzemeler ve özellikleri de iyileştirilmeye ve geliştirilmeye devam etmiştir. Günümüzde halen mevcut olan piezoelektrik malzemeler üzerindeki çalışmalar devam etmekte olup, malzemelerin piezoelektrik özellikleri araştırılmaya hatta iyileştirilmeye çalışılmakta olup yeni kullanım alanları bulunmaktadır [109].

3.4.4.2. Piezoelektrik malzemelerin yapısı

1839 yılında Gustav Rose tarafından Ural dağlarının eteklerinde bulunan kalsiyum titanat minerali Rusyalı minerolog L.A Perovski tarafından adlandırılmıştır. Kristal yapısı ABO_3 şeklinde olan perovskit, 1946 yılında İrlandalı kristallografi uzmanı Helen Dick McGaw tarafından Xray difraksiyonu yapılarak baryum titanat

malzemesinin genel kristal yapısını açıklamaya yönelik olarak yayımlanmıştır. Bu tarihten sonra ise ferroelektrik malzemelerin kristal yapıları perovskit benzeri olarak ün kazanmıştır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Perovskit yapısı

Perovskit yapısı köşelerde yer alan +3 valans değerlikli kalsiyum atomları, yüzeylerde yer alan -2 değerlikli oksijen atomları ve hacimde yer alan titanyum atomlarından oluşur.

Piezoelektrik malzemeler şu başlıklar altında incelenebilir

- Doğal kristal malzemeler
- Seramikler
- Polimerler
- Kompozit (karma) malzemeler

3.4.4.3. Piezoelektrik doğal kristaller

Piezoelektrik doğal kristaller içerisinde en bilineni kuvarsdır. Günümüzde kullanılan kuvarslar sentezlenmiş olup yüksek eğilmezlik ve dielektrik özelliklere sahip olduğundan dolayı frekans oluşturmada ve frekans sabitleyici olarak geniş kullanım alanına sahiptir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Kuvars kristaller

3.4.4.4. Piezoelektrik seramikler

3.4.4.4.1. Baryum titanat

Baryum titanat perovskit yapısında dayalı olarak bulunan ilk piezoelektrik malzemedir. Çok yüksek dielektrik sabitesine sahiptir bu yüzden yüksek kapasiteli kapasitörler için yaygın kullanılan bir seramik malzemedir. Fakat Curie noktası yaklaşık olarak 120°C 'dir bu yüzden yüksek güç kapasitörleri gibi çoğu uygulama için kullanımı sınırlanmış olur. Ayrıca kapling faktörü yani enerji dönüştürme oranı da oldukça düşüktür bu yüzden transduser uygulamalarında da tercih edilmez. PZT nin aksine kararlı oksitlerden üretilir ve sinterlenmesi nispeten kolaydır.

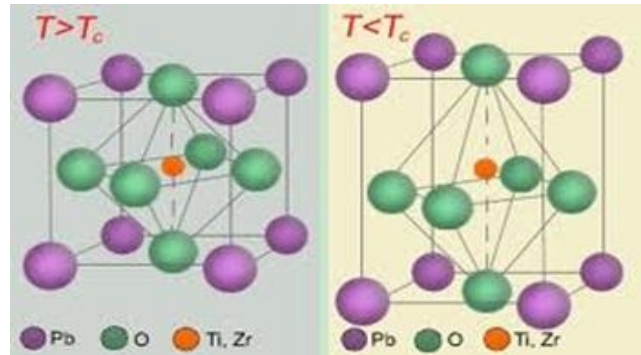
Baryum titanat seramiklere katkı malzemeleri katılarak özellikleri iyileştirilir. Örneğin Sr ilave ederek, Curie noktasında artış sağlanabilir. Kalsiyum eklenerek tetragonal fazdaki sıcaklık aralığı artırılabilir, kobalt eklenerek de yüksek elektrik alandaki dielektrik sabitesi, piezoelektrik sabitleri düşmeden iyileştirilebilir.

Yüksek dielektrik sabitinin olmasından dolayı kapasitör uygulamaları için kullanımı çok uygun olan baryum titanatın ferroelektrik ve piezoelektrik özellikleri engellenir ve bu nedenle katkı malzemeleri genel olarak baryum titanat çözeltisinin içerisine katılır. İstenen özelliklere göre curie sıcaklığını değiştirmek için SrTiO_3 , CaZrO_3 , PbTiO_3 , BaSnO_3 katılır. $\text{Bi}_2(\text{SnO}_2)_3$, MgZrO_3 , CaTiO_3 , NiSnO_3 gibi malzemeler ise curie noktasını iyice düşürüp oda sıcaklığında çok yüksek dielektrik sabitesine sahip malzeme yaratmak için yüzde 1 ila 8 aralığında kullanılır. Dielektrik sabitesinin 100000 civarında olduğu durumlarda ise çok özel bir uygulama olan bariyer katmanlı kapasitör olarak kullanılır.

Ayrıca 120°C civarlarındaki özelliklerinde baryum titanatın ısıl değişkenliğiyle beraber dielektrik özelliklerinin değiştiği görülmüş ve pozitif sıcaklık katsayısı olarak bilinen PTC termistör uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Yitriya veya lantan gibi bir katyonun molce % 0.2 gibi küçük bir oranda ilave edilmesiyle beraber ferroelektrik özellikleri tamamen bozmadan yarı iletken bünye oluşturmuşlardır.

3.4.4.2. Kurşun zirkonat titanat

Kurşun zirkonat titanat seramiklerin ilk çalışması kurşun titanat yapımıyla başlamış daha sonraki yıllarda kurşun zirkonat titanat katı çözeltisinin çok iyi piezoelektrik özellikler sergilediği görülmüştür. Yapı olarak birçok ferroelektrik malzemenin de olduğu gibi perovskit kristal yapısına sahiptir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Kurşun zirkonat titanatın Kristal yapısının Curie sıcaklığının altında ve üstündeki atom pozisyonları

Tipik perovskit yapısında şekilde de görüldüğü üzere köşelerde kurşun atomları, yüzeylerde oksijen atomları ve merkezde ise titanyum veya zirkonyum atomları bulunmaktadır. PZT sistemlerde oksijenlerin ortasında bulunan oktahedral boşluk içindeki B bölgesi denilen boşlukta daha küçük boyuttaki Zr^{4+} ve Ti^{4+} atomları vardır. Birim hücreler kristal içerisine rasgele yerleşirler. Bu Kristal yapılarda aynı yöndeki birim hücrelerin birleşmesi sonucu domain denilen bölgeler oluşur. Domain adı verilen bölgeler kendi aralarında yönlenmiş taneler olup bir tanenin içerisinde farklı yönde yerleşebildiği gibi, tek kristallerde olduğu gibi aynı yöne doğru yönlenmiş de olabilirler.

Bu malzemeye belirli bir elektrik alan uygulandığında (kutuplama) ise bu küçük boyuttaki atomlar, elektrik alanın yönüne göre yer değiştirirler ve elektriksel olarak dengede bulunan yapıdaki denge bozulur ve atomik düzeyde bir büyüme gerçekleşir. Makro boyutta ise boyutsal bir değişme olur. Bu değişme en fazla % 0,5 seviyelerindedir.

İşte burada dengedeki birim hücreyi mekanik etki ile dislokasyona uğrattığımızda birim hücreler sıkışıp birim hücredeki elektriksel yük dengesi aniden bozulur ve ortadaki atomlar yük dengesini yeniden kurabilmek için aniden yer değiştirirler. Bu durumda ise elektrik enerjisini dışarıya verirler.

PZT sistemlerde uygulama alanlarına göre ters veya direk etkiyi değiştirmek için katkı maddeleri ilave edilir. Bunlar atomik boyutta perovskit yapısının içerisindeki atomların birbiri ile yer değiştirmelerini sağlar. ABO_3 yapısındaki A bölgesine ilave edilen elementler örneğin Nb, La vb. kurşun atomu ile yer değiştirirler ve değerlikleri kurşun atomundan daha fazladır. Bunlara donör katkılar denir. Donör katkılar atomik boyutu yüksek olan ve köşelerde birim hücrenin boyutunu belirlediği için birim hücrenin hareketini sınırlayan kurşun atomunun yerine geldikleri için aynı yöne yönlenmiş olan domain bölgelerinin hareketini artırmaya yönelik davranış sergilerler. Bu yüzden seramikler kutuplamayla beraber daha yüksek dielektrik ve kapling sabitesine, daha düşük zorlayıcı elektrik alana, daha yüksek mekanik uyuma

ve yüksek dielektrik kayıba ve daha az yaşlanmaya sahiptir. Bu tip malzemelere **yumuşak PZT** denir.

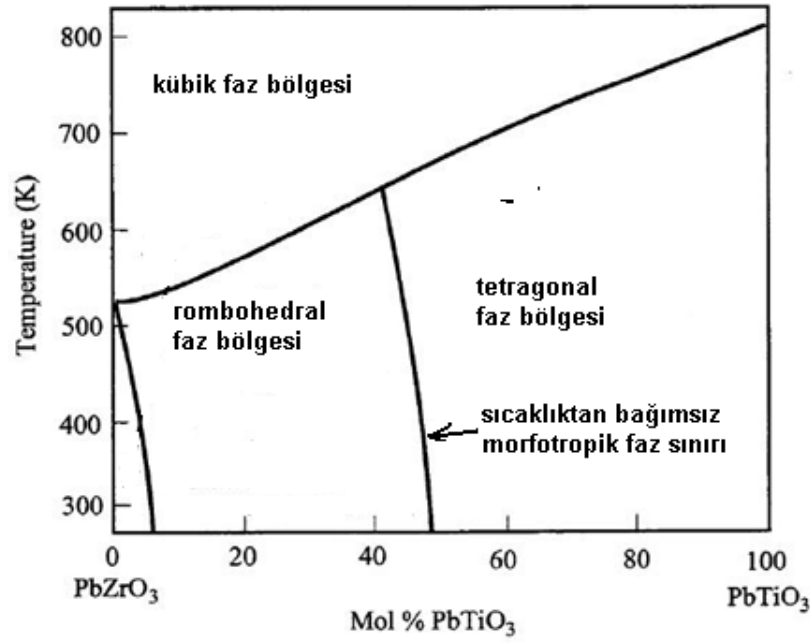
Akseptör denilen katkı ilaveleri ise elektriksel değerlik olarak daha düşük olup B bölgesindeki atom ile yer değiştirirler ve boyutları bu atomlardan büyüktür. Demir ve Nikel gibi metaller olup katı system içerisinde çözünürlükleri sınırlıdır ve domain bölgesinin hareketini sınırlarlar. Bu yüzden bu katkıları içeren sistemler yumuşak PZT malzemelere göre düşük dielektrik sabitesi, kapling faktörü, düşük mekanik uyum ve fazla yaşlanma özellikleri gösterir ve **sert PZT** olarak bilinirler.

Çizelge 3.3. Yumuşak ve sert PZT özelliklerinin karşılaştırılması

SERT	←PZT→	YUMUŞAK
DÜŞÜK	Piezoelektrik d sabitleri	YÜKSEK
DÜŞÜK	Dielektrik sabiti	YÜKSEK
DÜŞÜK	Dielektrik kayıp	YÜKSEK
DÜŞÜK	Histeresis	YÜKSEK
YÜKSEK	Mekanik Kaite Faktörü	DÜŞÜK
DÜŞÜK	Kapling sabitesi	YÜKSEK
DÜŞÜK	Direnç	YÜKSEK
YÜKSEK	Bozulma voltajı	DÜŞÜK
DÜŞÜK	Elastik Sabite	YÜKSEK
YÜKSEK	Yaşlanma etkisi	DÜŞÜK

Baryum, stronsiyum ve kalay gibi eşdeğerli katkılar ise adından da anlaşılacağı üzere yerdeğiştirdiği atomla aynı değerliğe ve yakın atomik boyutlara sahiptirler. Genelde domain yeniden yapılanmasını sınırlarlar bu yüzden düşük dielektrik sabitesi ve mekanik uyuma ve yüksek yaşlanmaya neden olurlar.

Kurşun zirkonat titanat sistemler adından da anlaşılacağı üzere kurşun zirkonat ve kurşun titanat katı çözeltilerinin birarada kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Araştırmacılar kurşun zirkonat ve kurşun titanatın hangi oranlarda nasıl davranışlar göstereceğini bulmak amacıyla faz diyagramını çizmişlerdir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Kurşun Zirkonat Titanat Faz Diyagramı

Belli bir oranda kullanınca da bunun yaklaşık olarak sıcaklıktan bağımsız olduğunu göstermişlerdir. A bölgesinde çözeltimiz antiferroelektriktir ve ferroelektrik özellik göstermez. B bölgesinde rombohedral, C bölgesinde kübik ve D bölgesinde de tetragonal yapıya sahiptir. Ortadan çıkan dikme ise özel bir faz sınırı olup **morfotropik faz sınırı** (MPB) olarak bilinir. Çözeltinin sıcaklıktan bağımsız olduğu bölgedir ki en çok çalışılan bölgelerden biridir.

Belli özelliklerde kurşun zirkonat titanat çözeltisi oluşturmak istendiğinde en yaygın olarak Pb 52-48 oranını kullanılmaktadır.

PZT'nin yanı sıra farklı içeriklere sahip piezoelektrik malzemeler de kullanılmaktadır. PZ (Lead Titanate) yüksek sıcaklıkta çalışabilme özelliğine sahip olup, yüksek anizotropiye sahipken PMN-PT (Lead Magnesium Niobate – Lead Titanate) düşük histeresis ve yüksek seviyede şekil değiştirebilme özelliklerine sahip malzemelerdir. Bunun yanında elektrooptik uygulamalarda kullanılan PLZT yani, lantan katkısı kullanılarak elde edilen seramikler de mevcuttur. PLZT seramikler bir çok aygıtta kullanılmaktadır. Bunların bazıları bellek, real time grafik ve matris

displayleri ile optik yazıcılarıdır. Ayrıca elektrooptik seramiklerin en yaygın kullanım alanı optik şalterlerdir. SEM'deki üç boyutlu görüntüsünün eldesinde de elektrooptik seramiklerden yararlanılmaktadır [110].

3.4.4.5. Piezoelektrik polimerler

Piezoelektrik polimerler esnekliği, hafif ve tok malzemeler olmaları ve karışık şekillerde üretimi yapılabilmelerinden dolayı kullanım alanlarında büyük avantaja sahiptirler. Ayrıca polimerler yüksek darbe direnci ve mukavemet gösterirler ve uygulama akımlarına karşı dayanıklıdır. Fakat bu iyi özelliklerine karşın elektriksel özellikleri, piezoseramikler kadar iyi değildir. Piezoelektrik polimerler içerisinde en yaygın bilineni ve en yüksek değerlere sahip olanı PVDF Poli Vinil İden Florit dir [111].

Çizelge 3.4. Çeşitli piezoelektrik polimer malzemelerin piezoelektrik özellikleri

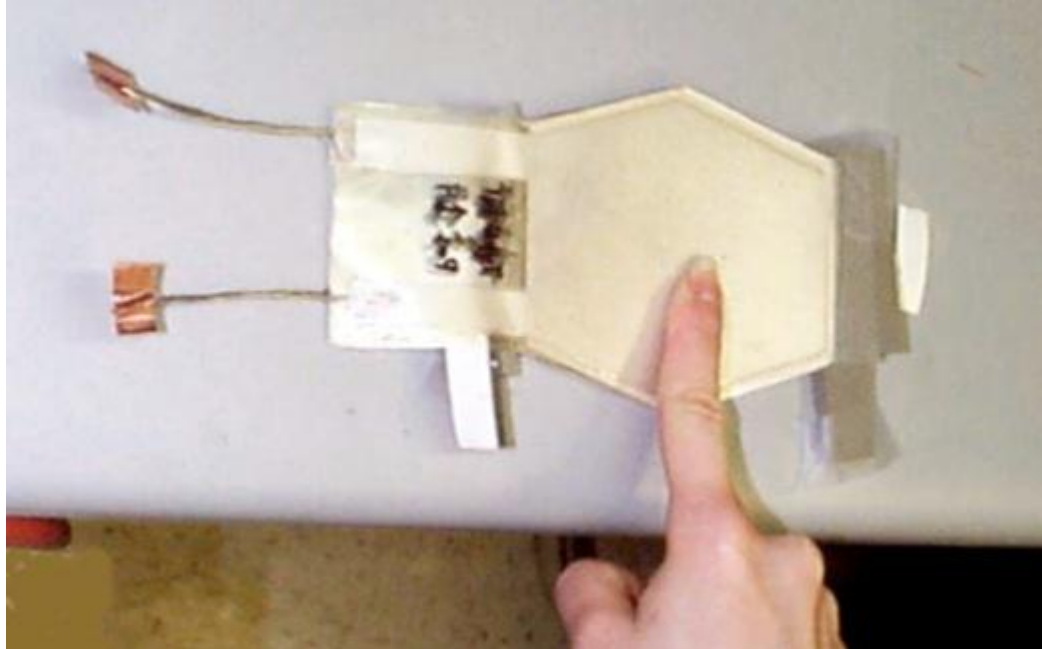
Polymer	Structure	T _g (°C)	T _m (°C)	Max Use Temp (°C)	d ₃₁ (pC/N)	Ref.
PVDF	$\left(\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{---C---CH}_2\text{---} \\ \\ \text{F} \end{array} \right)_n$	-35	175	80	20-28	2
PTFE	$\left(\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{---C---CH---} \\ \\ \text{F} \end{array} \right)_n$	32	150	90-100	12	2
Nylon-11	$\left(\text{NH} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \end{array} \right)_n$	68	195	185	3 @ 25°C 14 @ 107°C	22
Polyurea-9	$\left(\text{CH}_2 \text{---} \text{HN} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \end{array} \text{---} \text{HN} \right)_n$	50	180	-	-	28

Çizelge 3.5. PVDF malzemesinin elektriksel özellikleri

Property	Symbol	Value	Unit
Young's Modulus	Y	2.4	10^{-9} N/m ²
Strain constant	d ₃₁	23	10^{-12} C/N
Total area	A	0.0095	m ²
Height	H	12.7	10^{-3} m
Distance from neutral axis to center of PVDF	x	51	10^{-6} m
Capacitance	C	11.4	10^{-9} F

Çizelge 3.6. PVDF ve PZT nin elektriksel özelliklerinin karşılaştırılması

	d ₃₁ ^a (pm/V)	g ₃₁ ^a (mV-m/N)
Polivinilidenflorit (PVDF)	28	240
Kurşun zirkonat titanat (PZT)	175	11

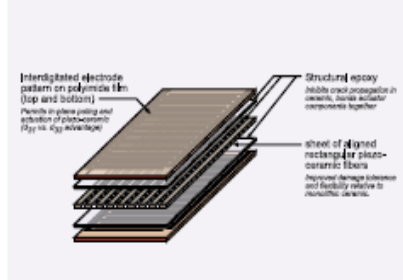
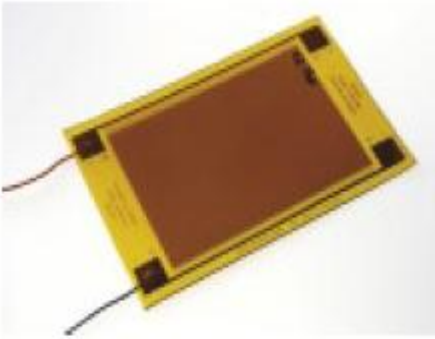


Şekil 3.34. Enerji hasatı konusunda kullanılmak üzere şekillendirilmiş PVDF tabakalı yapı [112]

3.4.4.6. Piezoelektrik kompozitler

Piezoelektrik kompozit malzemeler, kullanılan piezoelektrik malzemenin özelliklerini iyileştirmek için bir veya birkaç malzeme ile yapılan kombinasyondur. Seramik-polimer ve metal-seramik karışımı olabilirler. Ayrıca MFC (macro fiber composite) malzemesi de sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 3.35’de Smart Material firması tarafından üretilen bir MFC aktivatör ve elektriksel özellikleri görülmektedir.

Electrical Properties:	
High-field ($ E > 1 \text{ kV/mm}$), biased-voltage-operation piezoelectric constants:	
d_{33}^*	$4.6 \text{E}+02 \text{ pC/N}$
d_{31}^{**}	$-2.1 \text{E}+02 \text{ pC/N}$
Low-field ($ E < 1 \text{ kV/mm}$), unbiased-operation piezoelectric constants:	
d_{33}^*	$4.0 \text{E}+02 \text{ pC/N}$
d_{31}^{**}	$-1.7 \text{E}+02 \text{ pC/N}$
Free-strain* per volt (low-field - high-field)	$\sim 0.75 - 0.9 \text{ ppm/V}$
Free-strain hysteresis*	~ 0.2
DC poling voltage, V_{pol}	$+1500 \text{ V}$
Poled capacitance @ 1kHz, room temp, C_{pol}	$\sim 0.42 \text{ nF/cm}^2$ or $\sim 02.7 \text{ nF/in}^2$
Orthotropic Linear Elastic Properties (constant electric field):	
Tensile modulus, E_1^*	30.34 GPa
Tensile modulus, E_1^{**}	15.86 GPa
Poisson's ratio, ν_{12}	0.31
Poisson's ratio, ν_{21}	0.16
Shear modulus, G_{12}^{***}	5.52 GPa
Operational Parameters:	
Maximum operational positive voltage, V_{max}	$+1500 \text{ V}$
Maximum operational negative voltage, V_{min}	-500 V
Linear-elastic tensile strain limit	1000 ppm
Maximum operational tensile strain	$\sim 4500 \text{ ppm}$
Peak work-energy density	$\sim 1000 \text{ in-lb/in}^3$
Maximum operating temperature	$< 66^\circ \text{C}$ or 150°F
Operational lifetime (@ 1kVp-p)	$> 10 \text{E}+08 \text{ cycles}$
Operational lifetime (@ 2kVp-p, 500VDC)	$> 10 \text{E}+07 \text{ cycles}$
Operational bandwidth	$< 10 \text{ kHz}$

Şekil 3.35 MFC malzemelerin yapısı ve teknik özellikleri

Kompozit seramikler medikal uygulamalarda görüntüleme, tahribatsız test kontrol sistemlerinde ve sonar sistemlerde etkin bir şekilde kullanılırlar [113].

3.4.4.7. Piezoelektrik Malzemelerde Ölçülmesi Gereken Değerler

Elektrik ve Elastik özellikleri tanımlayan temel denklemler aşağıdaki gibidir

$$D = dE + \epsilon TE \text{ (generator)} \quad (1)$$

$$S = sET + dE \text{ (motor)} \quad (2)$$

D dielektrik yerdeğiştirme, T stres, E elektrik alanı, S deformasyon, d piezoelektrik katsayısı, s malzeme uyumu (elastisite modülünün tersi), and ϵ dielektrik sabitesi (geçirgenlik). Üst indisler, önündeki katsayının sabit olduğunu gösterir. İlk denklemden stres sabit yani piezoelektrik malzemeye basınç uygulanmıyor, ikinci denklemden ise elektrik alanı sabit yani malzemenin elektrotları arasında mekanik olarak bir yerdeğim söz konusu değildir. Ayrıca piezoelektrik malzemelerde özellikler belirli yönlerde ifade edilirler. Örneğin d_{31} piezoelektrik malzemeye polarizasyon yönünde etki uygulandığını ve malzemenin ise buna 1 yönünde karşılık verdiğini gösterir.

Bununla ilgili basit denklemler ise aşağıdaki gibidir.

$$D_3 = d_{33}T_3 \text{ (direk etki)} \quad (3)$$

$$S_3 = d_{33}E_3 \text{ (ters etki)} \quad (4)$$

d sabitleri iki denklemden de aynıdır ve direk etkide $\times 10^{-12}$ C/N, ters etkide ise $\times 10^{-12}$ m/V olarak bilinirler. d katsayısı yüksek olan malzemeler genelde sonar ve alıcı gibi hareket veya titreşim yapan cihazlarda kullanılırlar. d katsayısına ek olarak açık elektrik alanlarda (birim strese karşılık yüksek voltaj içeren sistemler) piezoelektrik malzemenin kullanılabilir olup olmadığını gösteren başka bir katsayı vardır. Bu katsayı ise g katsayısı olarak bilinir ve denklem (5) deki gibi gösterilir.

$$g = d/K\epsilon_0 \quad (5)$$

K göreceli dielektrik sabite ve ϵ_0 ise havanın geçirgenlik sabiti olan $(8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m})$ 'i simgeler. Yüksek g sabiti olan seramiklerin K sabitesi düşüktür yani bunlara sert seramikler denilir. Bu tip malzemeler ise genel olarak gaz ateşleyici gibi elektrik voltaj üretmede kullanılan malzemelerdir.

k_p piezoelektrik kapling faktör olarak bilinir ve enerjinin ne kadar verimli olarak diğer enerjiye çevrildiğini gösterir ve direkt etkide sistemden çıkan elektriksel enerjinin karesinin toplam mekanik enerjiye oranını ifade eder. Aynı şekilde ters etkide sistemin mekanik olarak gösterdiği enerjinin karesinin toplam verilen elektrik enerjisine oranıdır ve daima 1 den küçüktür çünkü pratikte enerjinin tümünü çevirebilen bir sistem geliştirilememiştir.

Baryum titanatlarda bu oran 0,35 civarlarındadır PLZT malzemeler için ise 0,72 ye kadar çıkabilmektedir. Bu bahsedilen özelliklerin tümü kutuplanmış ferroelektrik seramikler için geçerlidir. Çünkü bütün seramik bünyeler sinterleme sonrasında izotropiktir ve kutuplanması gerekmektedir.

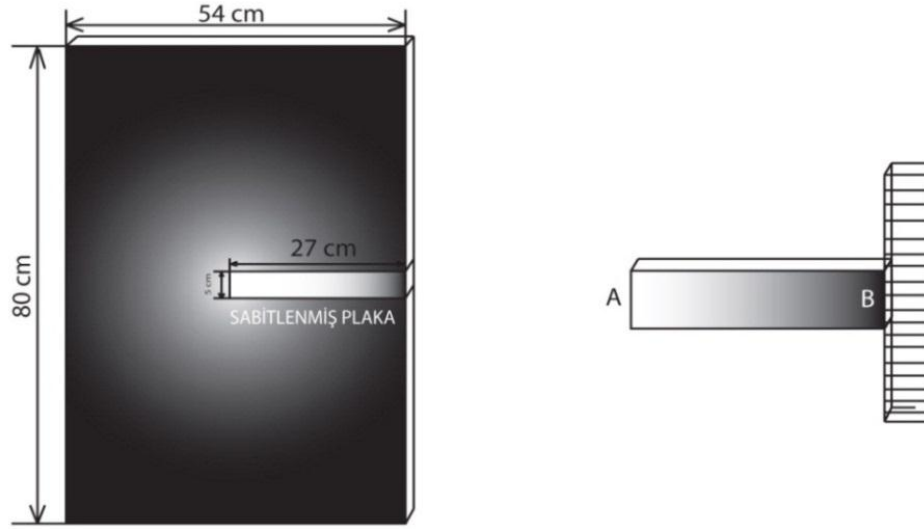
Piezoelektrik seramikler genel üretim olarak seramiklerle aynıdır. Hammaddeler karıştırılır. Öğütülür, kalsine edilir, sinterlenir, yüzeyleri düzgünce işlenir, elektrotlama yapılır ve en son olarak dakutoplama belli bir gerilim verilerek uygulanır.

Piezoelektrik malzemeler çok katmanlı kapasitörler, PTC termistörler, transduserler ve elektrooptik araçlarda kullanılır [107].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

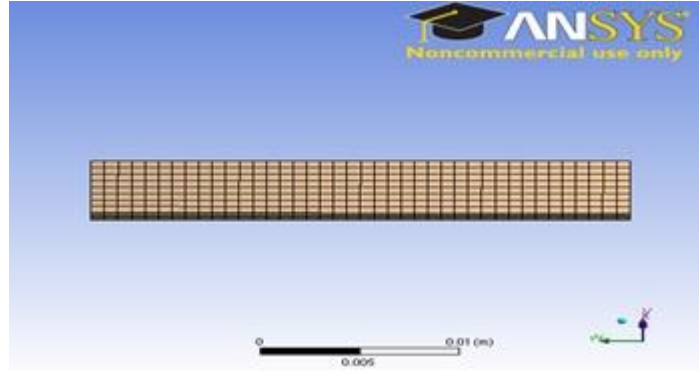
Çamaşır makinesinde çalışma süreci içerisinde özellikle sıkma-kurutma evresinde tambur çevriminde oluşan santrifüj kuvvet sonucunda, çamaşır makinesinin dış panellerinde oluşan titreşim, gürültüye sebep olmaktadır. Bu titreşimi azaltmaya yönelik olarak yapılacak tez çalışması iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki, bir adet bir boyutlu yapının laboratuvar ortamı içerisinde çamaşır makinesinin yan panelinin bir segmenti olarak düşünülerek titreştirilmesi ve tek boyutta

sönümleme kinetiğine bakılması; ayrıca bunun sonlu elemanlar modeliyle beraber incelenmesi çalışmasıdır. Çamaşır makinesi yan panel modelinden alınan elemanın şematik gösterimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



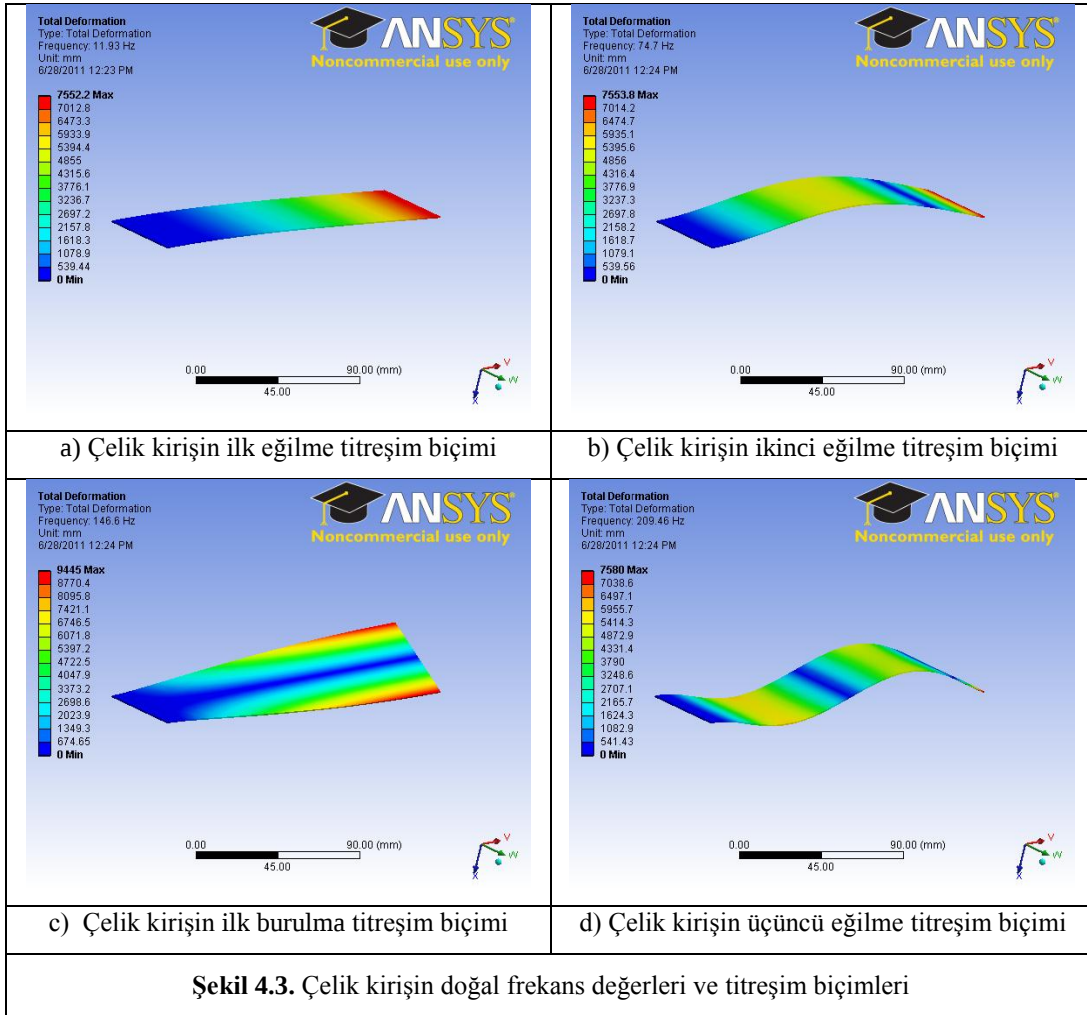
Şekil 4.1. Çamaşır makinesi yan panelinden alınan 2 boyutlu kesit

Burada yapılan çalışmalarda B ucundan sabitlenmiş kirişin, A ucundan zorlanarak titreşmekte olduğu düşünülmüş ve buna uygun olarak model oluşturulmuştur. Titreşim kontrolüne yönelik yapılan çalışmalar ANSYS ticari yazılımındaki titreşim analizleri yapılarak başlamıştır. İlk olarak 5x27x0,8 mm boyutlarındaki paslanmaz çelik kirişin katı modeli oluşturulmuş daha sonra bu model üzerinde mesh (bölümleme) işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Mesh boyutlarının belirlenmesindeki amaç, oluşturulan modelin sonlu elemanlar analizleri (Finite Element Analyses) yapılırken, hesaplama zamanı ile çözüm hassasiyeti arasındaki dengenin sağlanabilmesidir. Bölümleme boyutları küçüldükçe, hesaplama sonuçları gerçek sonuçlara daha da yaklaşacak, ancak çözüm süresi artacak, bölümleme boyutları büyüdüğünde ise tersine olarak sonuçlar daha az gerçeğe yakın olabilecek ancak çözümleme süresi önemli ölçüde azalacaktır.

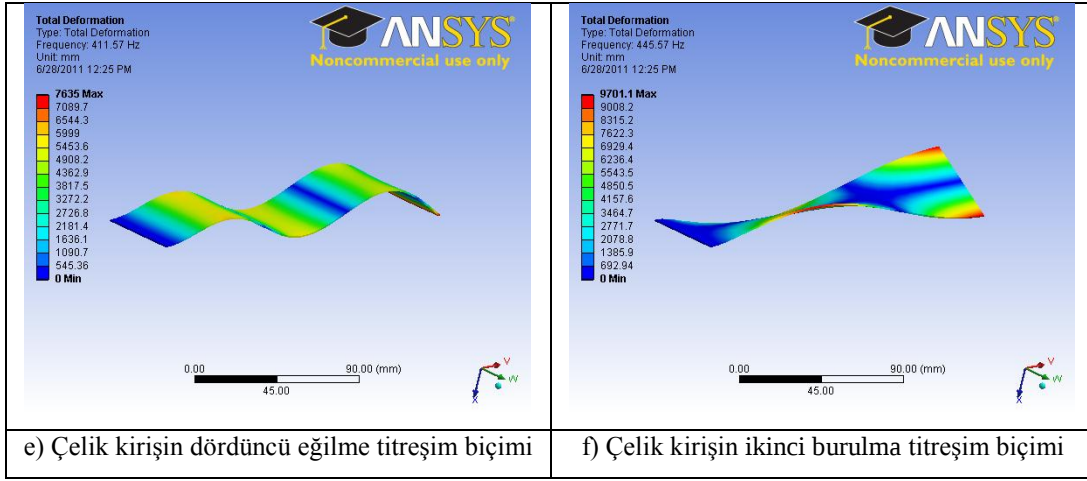


Şekil 4.2. Kirişin bölümlenme (mesh) işlemi yapılmış hali

Mesh işleminden sonra titreşim biçim analizi yapılarak titreşim biçimleri ve bu titreşim biçimlerinin gerçekleştiği frekans değerleri belirlenmiştir. (Şekil 4.3-Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Çelik kirişin doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri



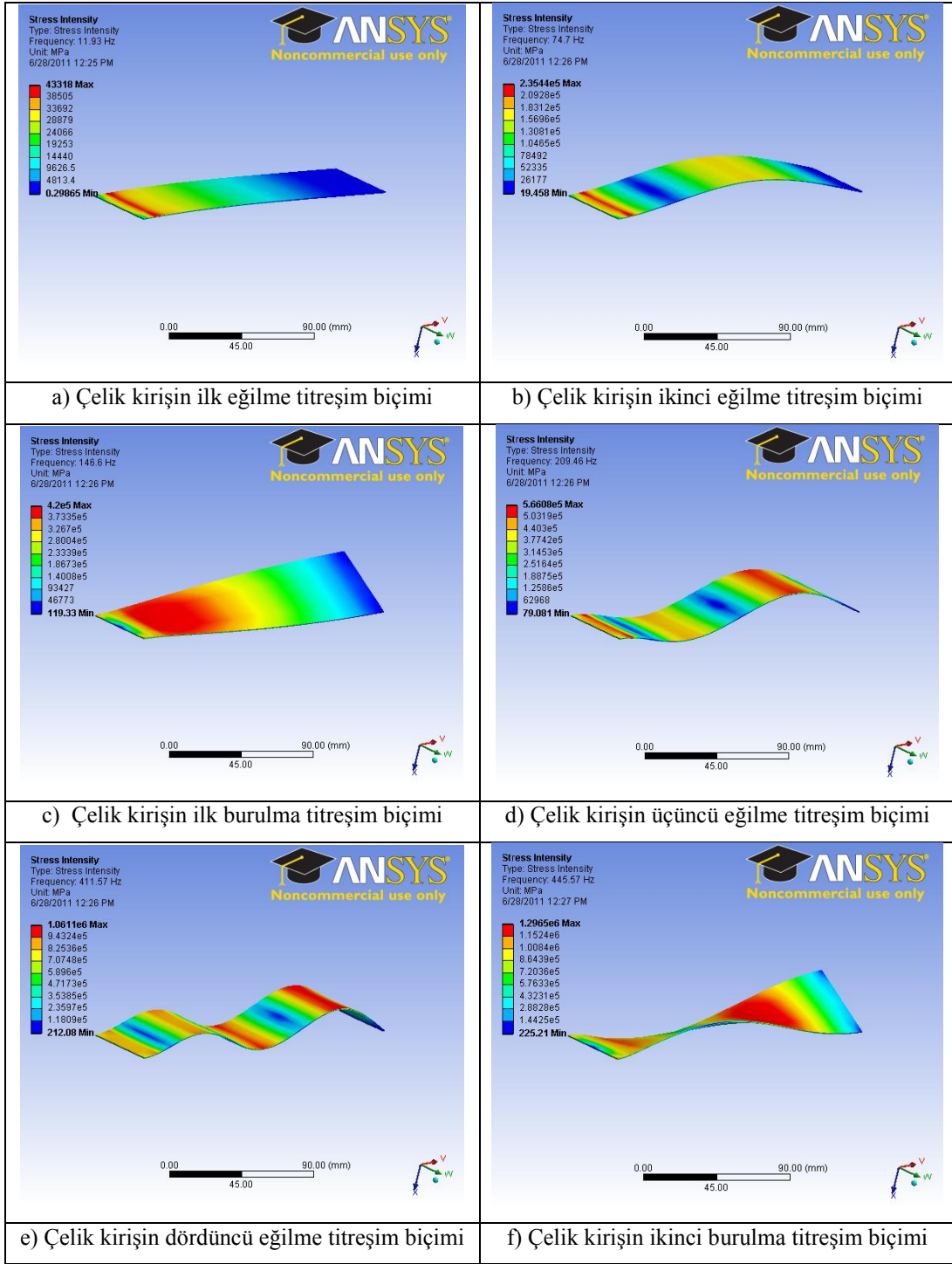
Şekil 4.3 (devam). Çelik kirişin doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri

Yapılan titreşim biçim analizlerinden, kirişin ilk 6 titreşim biçiminin frekans değerleri de belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Birinci titreşim biçimi, burada sönümlenmeye çalışılan asıl titreşim biçimidir.

Çizelge 4.1. Çelik kirişin ilk 6 titreşim biçimindeki frekans değerleri

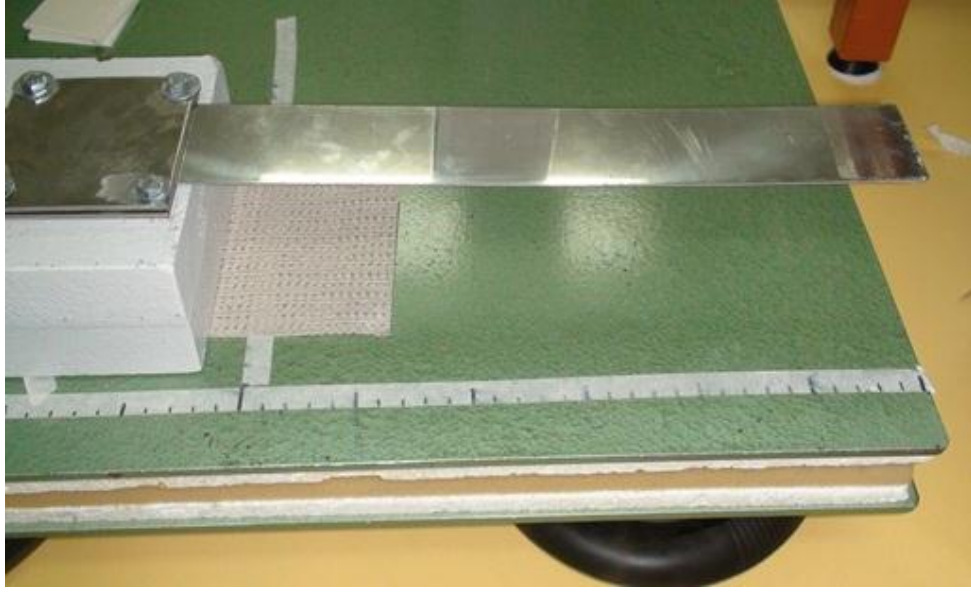
	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Frekans değerleri	11.93 Hz	74.7 Hz	146.6 Hz	209.46 Hz	411.57 Hz	445.57 Hz

FEM analizleri sonucunda metal kiriş üzerinde oluşan gerilme-gerinim dağılımları belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Çelik kirişin gerilme-gerinim dağılımları

Deneylerin yapıldığı kiriş, ortamdan yalıtılmış düzlemin üzerindeki demir bir bloğa, iki çelik sac arasına vidalanarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Paslanmaz çelik sac kirişin yerleştirilişi

Yapılan titreşim biçim analizlerine bakılarak, uyarıcı piezoların; kirişte oluşabilecek mekanik strese dayanabilecek fakat aynı zamanda titreşimi sönümleyebileceği pozisyonda olması amacıyla kirişin sabitlendiği mafsalların yakınına yerleştirilmiştir. Bununla ilgili hem FEM analizlerinin hem de gerçek zamanlı çalışmaların sistematik olarak çalışılması gerekmektedir. Sac levhanın üzerine 2 adet 48x10x1 mm boyutlarında uyarıcı piezo ve 6x3x1 mm ebatlarında 1 adet algılayıcı piezo yapıştırılmıştır. Yapıştırma işlemi epoksi kullanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).

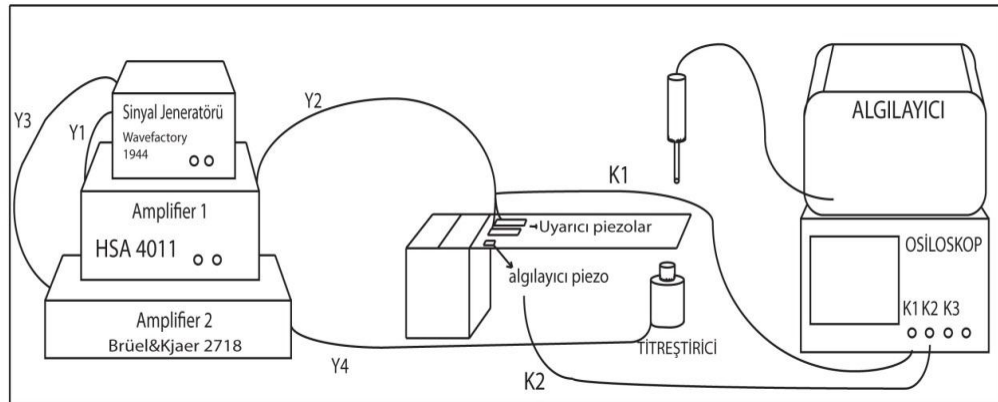


Şekil 4.6. Kiriş üzerine yapıştırılmış piezoelemanlar

Çelik kirişin titreşim sönümlenme davranışı incelenmek üzere sinyal kaynağı, güç yükselticileri ve ölçüm araçlarını içeren bir sistem oluşturulmuştur. Ayrıca bu cihazlardan gelen titreşimler en aza indirgenmek amacıyla kiriş ve bağlı bulunduğu metal kütle, sönümlenmiş plaka üzerine konularak titreşimden izole edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Bir boyutta yapılan titreşim test düzeneği



Şekil 4.8. Titreşim sönümlenme düzeneği şematik gösterimi

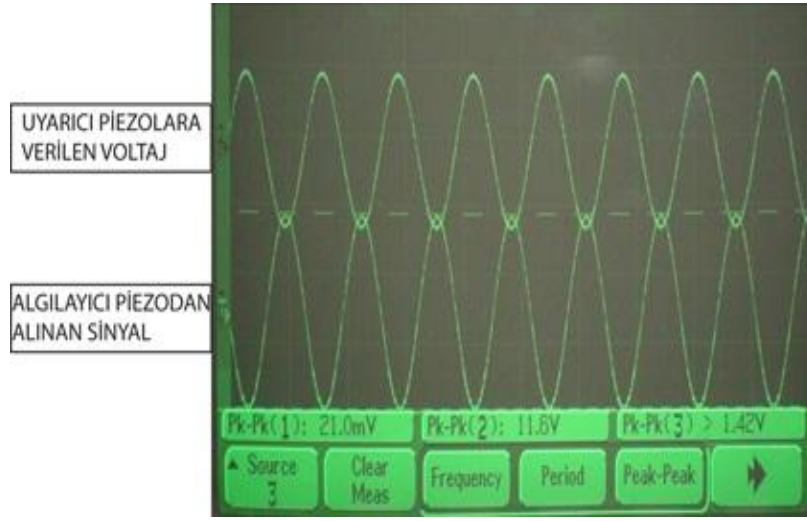
Bir ucundan sabitlenen kiriş, istenen frekansa ayarlanabilen Wavefactory WF1944 sinyal jeneratöründen alınan sinyalin Y3 yoluyla, Brüel&Kjaer 2718 amplifiyer tarafından amplifiye edilen sinyalle beraber Y4 yoluyla Brüel&Kjaer 4810 tipi titreştiricinin ucuna bağlanan mıknatıs yardımıyla temassız olarak titreştirilmiştir.

Sinyal jeneratörünün ikinci kanalından alınan aynı frekanstaki sinyal, Y1 yoluyla HSA 4011 tip amplifier tarafından amplifiye edilerek Y2 yoluyla, yapıştırılan uyarıcı piezolara ulaştırılmıştır. Böylece belli bir genlikte titreşen yapının belli bir bölgesinden alınan sinyaller işlenerek; yaklaşık aynı genlikte fakat ters fazda olacak şekilde yine aynı bölgeye uygulanmış ve bu sayede titreşim sönümlenmiştir. Piezoelemanlara verilen voltaj değeri K1 kanalından Agilent 54624A osiloskop aracılığıyla ölçülmüştür. Titreşim frekans ve genliğini ölçmekte kullanılan algılayıcı piezodan alınan sinyal de osiloskobun K2 kanalından ölçülmüştür.

Kirişin ilk titreşim biçimindeki titreşim frekansı FEM analizleri sonucunda 11.93 Hz olarak bulunmasına rağmen bu değer deneysel çalışmalarda 9 Hz olarak ölçülmüştür. Rezonans frekansındaki bu farklılığın, titreştirilen kirişin sabitleme şekliyle, kirişin üzerine yapıştırılan piezoseramik yamalarla ve oluşturulan modelle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

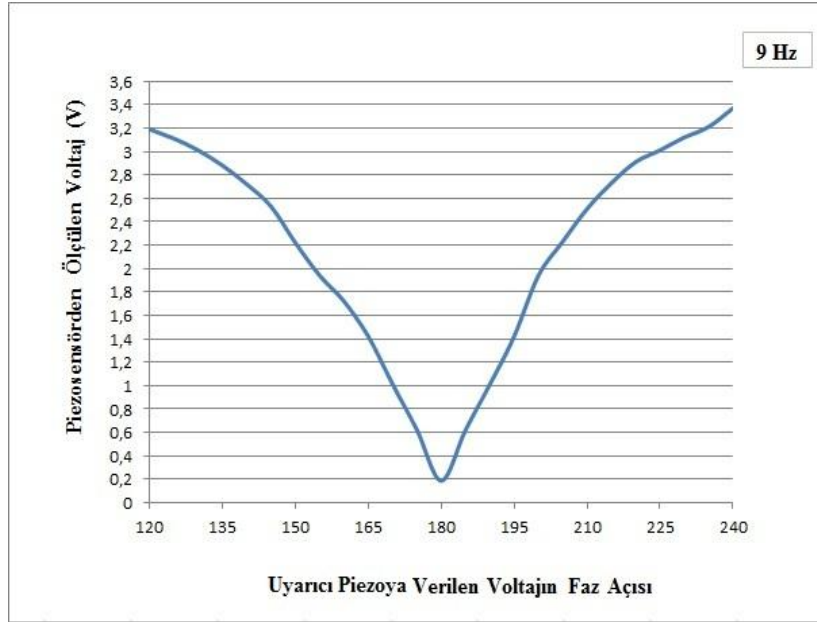
Titreştiriciye verilen voltaj, sinüsoidal dalga şeklindedir. Titreştirilen kiriş de sinüsoidal dalga şeklinde salınım yapmaktadır (Şekil 4.9). Farklı frekans ve faz açıları uygulanarak titreşim sönümleme işleminin gerçekleşmiş olduğu frekans ve faz açısı belirlenmiştir.

Frekans değerleri eşitlendikten sonra faz açısı değiştirilerek belli bir voltaj değerinde minimum titreşimin olduğu değer bulunmaya çalışılmıştır. Minimum titreşimin olduğu faz açısının bulunduğu değerde, uygulanan genlik değiştirilerek minimum titreşim sinyali bulunmaya çalışılmıştır. Uyarıcı piezolara verilen voltaj sabit tutulmuş ve sistem kararlı halde iken faz açısı değiştirilmiştir. Algılayıcı piezodan alınan ve eyleyiciye verilen voltajların faz açıları farkı gösterilmiştir (Şekil 4.9). Grafikte gösterilen sinyallerin ölçekleri, oluşturulan faz farkının daha kolay görülebilmesi için değiştirilmiştir.



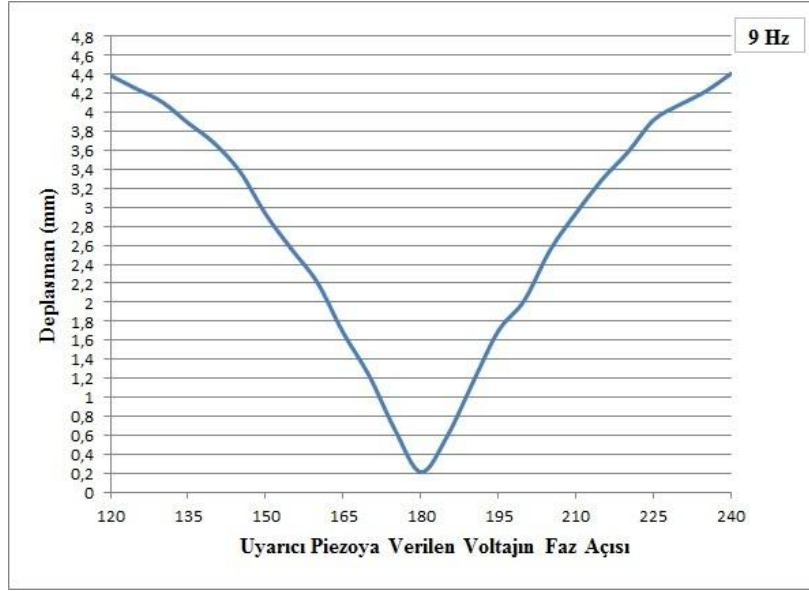
Şekil 4.9. Algılayıcı piezodan alınan voltaj ile uyarıcı piezolara verilen voltajın faz açısı farkı

Algılayıcıdan ölçülen voltaj değeri, verilen voltajın faz açısıyla değişmektedir. Bu değer yaklaşık olarak 178 derece ölçülmüştür. Teorikte bu değerin 180 derece olduğu bilinmektedir. Faz farkındaki bu sapmanın yapıştırılan uyarıcı piezolardan, kirişin tutturulduğu mafsallardan kaynaklandığı düşünülüp, çok büyük bir farklılık olarak kabul edilmemiştir. Bu çalışmaya ait grafikte 120-240 derece aralığı ölçülmüştür (Şekil 4.10).



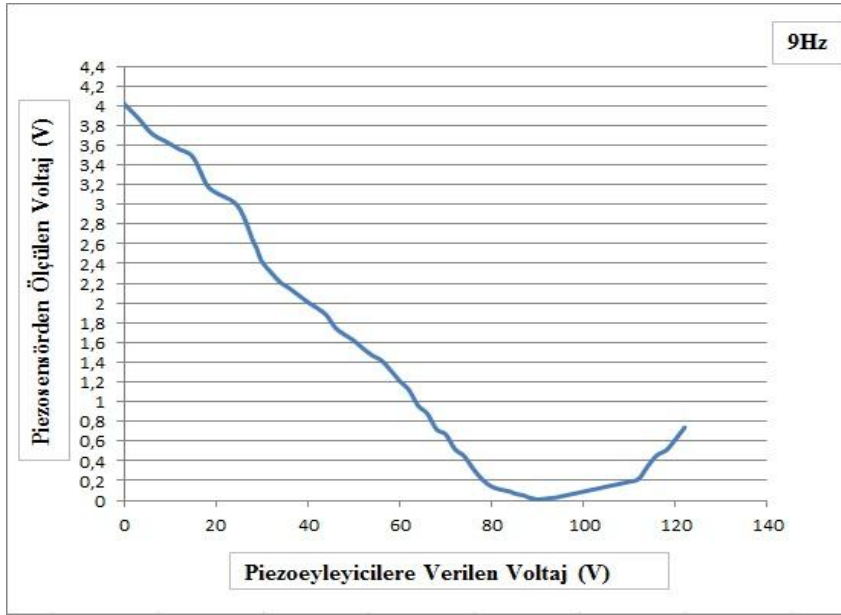
Şekil 4.10. Kirişin rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolara verilen voltajın faz açısıyla değişimi

Titreşim seviyesi algılayıcı piezodan ölçülürken, titreşim seviyesinin yaklaşık olarak 15 kat düşürülmüş olduğu gözlenmektedir. Ölçüm işleminde doğrulama amaçlı olarak Polytec titreşim sensörü de kullanılmış ve faz açısına bağlı olarak değişen deplasman, titreşen yapının uç bölgesinden ölçülmüştür (Şekil 4.11).



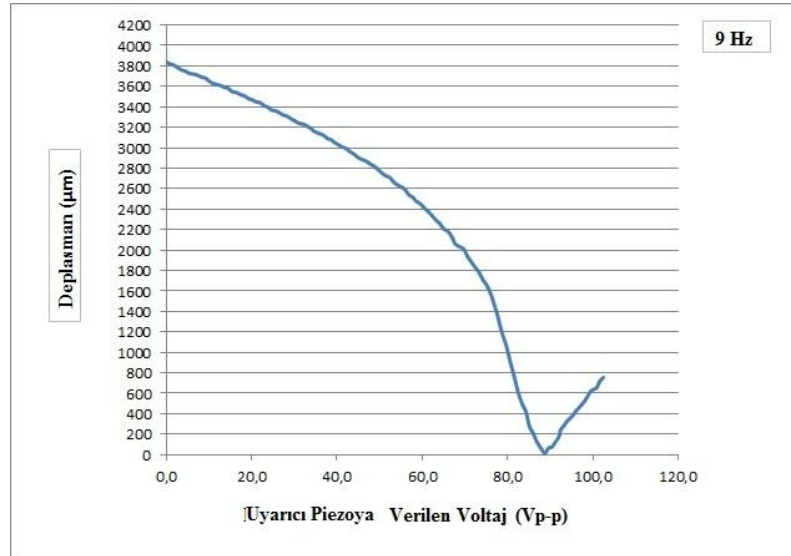
Şekil 4.11. Kirişin rezonans frekansında verilen voltajın faz açısının değişimiyle deplasmanın değişimi

Deplasman ölçümlerinden titreşim seviyesinin yaklaşık olarak 20 kat düşürüldüğü gözlenmiştir. Aynı frekansta yapılan denemelerde sabit bir voltaj ve 0 derece faz açısına sahip sinyalle titreştirilen titreştirici yardımıyla, temassız olarak titreştirilen kirişin üzerindeki uyarıcı piezolara verilen 180 derece faz açısına sahip voltaj değeri değiştirilerek, algılayıcı piezodan alınan voltaj değeri ölçülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Kirişin rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolara verilen voltajla değişimi

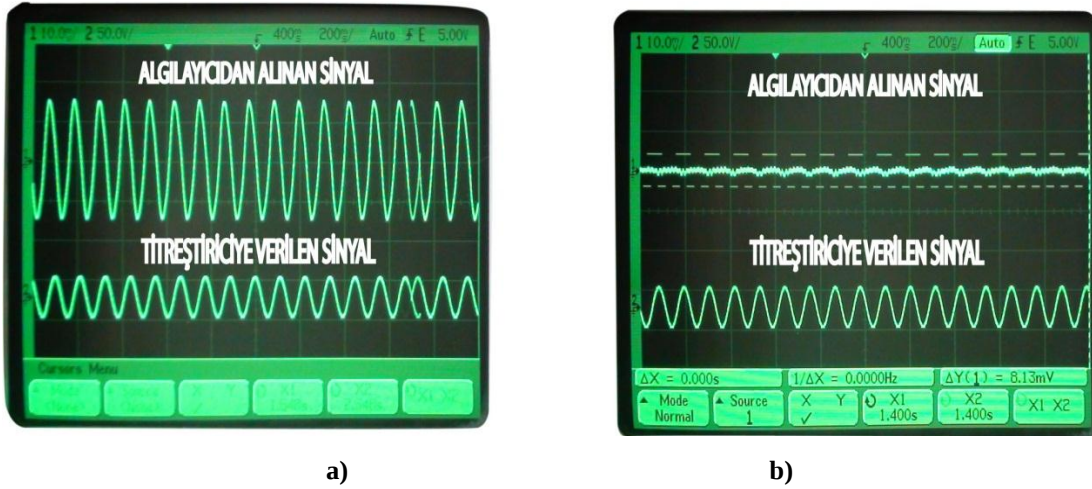
Uyarıcı piezolara verilen voltaj değeri 90 Volt (maksimum-maksimum) değerine kadar arttırıldıkça algılayıcı piezodan alınan voltaj değeri düşmektedir. Algılayıcıdan ölçülen voltaj değerlerine bağlı olarak titreşim azaltılmıştır. Bu aşamada Polytec OFV-505 titreşim sensörü ile deplasman ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kirişin rezonans frekansında uyarıcı piezolara verilen voltajla deplasmanın değişimi

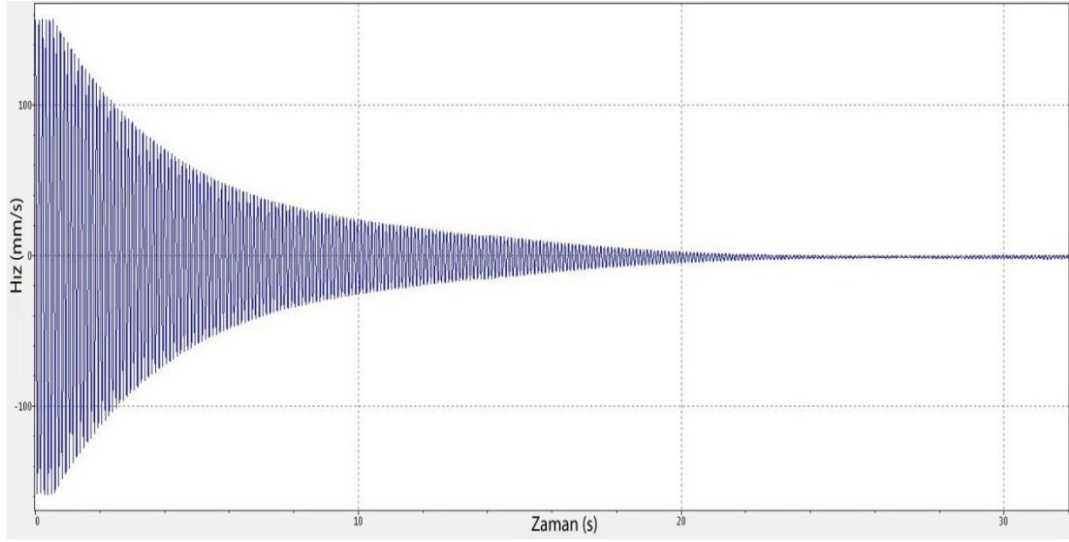
Faz açısı ayarlandıktan sonra, uyarıcı piezolara verilen voltaj değerine karşılık gelen deplasman değerlerine bakıldığında, titreşim seviyesi yaklaşık olarak 40 kat azaltılmıştır. Uyarıcı piezolara verilen voltaj değeri 90 Volt'u geçtiğinde, uyarıcı piezolar sistemdeki asıl görevleri olan titreşim sönümleyici elemanlar olarak davranmak yerine, titreşim yaratan elemanlar olarak davranmaya başlamışlardır. Uyarıcı piezolara verilen voltaj değerinin sistemin titreşimini azaltacak optimum değerde olması gerektiği anlaşılmıştır.

Şekil 4.14'de titreşen kirişin titreşim anında sönümleme yapıldığı ve yapılmadığı durumda osiloskop ile ölçülen değerlerini göstermektedir. Osiloskop ekranında algılayıcı piezodan alınan sinyaller ekranın alt bölümünde, titreşen sac kirişten alınan ölçümler ise ekranın üst bölümünde görülmektedir. Osiloskop ekranında algılayıcı piezodan alınan sinyalin değeri 200 mV iken, titreşim seviyesi, sistemde sönümleme yapıldığı durumda azaltılmıştır.



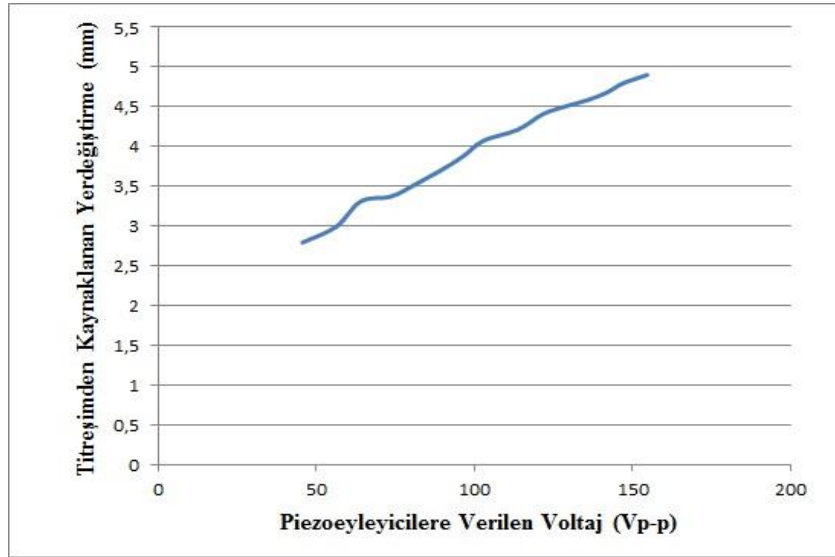
Şekil 4.14. Kirişin rezonans frekansında titreştirilen durumdaki ölçüm değerleri, (a) sönümleme yapılmadan önce ve (b) sönümleme yapıldıktan sonraki ölçümü.

Titreşim sönümleme sisteminde titreşen kirişin ne kadar zaman içerisinde sönümlendiği incelenmek üzere sönümleme esnasında zamana bağlı olarak hızı da, Polytec titreşim ölçer ile ölçülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Titreşim sönümleme esnasındaki hız-zaman grafiği

Titreşimin büyüklüğüne bağlı olarak bu titreşimi sönümlemek için uyarıcı piezolara verilmesi gereken voltaj miktarı da artmaktadır. Bununla ilgili olarak, titreştirici farklı büyüklüklerde titreştirilerek deplasman ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca bu titreşim değerlerinde sistemin titreşimi sönümlenerek, uyarıcı piezolara verilen voltaj değeri ölçülmüş, voltajla yerdeğiştirme arasında doğrusal bir ilişki oluşturulmaya çalışılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Titreşimin büyüklüğüne bağlı olarak uyarıcı piezolara verilmesi gereken voltaj değeri

Tez çalışmasında ikinci ana başlık olarak çamaşır makinesi yan panelinde kullanılan sac levhanın basit bir modeli oluşturulmuştur. 0,8 mm kalınlığındaki sac levhaya iki adet kalın köşebent demir çepeçevre uygulanmış ve ahşap bir askıya asılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. İlk ölçümlerin yapıldığı sac levha

İlk yapılan çalışmalardaki düzenekte, titreşen sac levhanın kenarlarında oluşturulan sınır koşulları, teorik modellerle tam uyumlu olmadığı için bazı ölçümsel hataların olduğu gözlemlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda titreşimin sac levha üzerinde olması amacıyla kenarlarından beton bir bloğa sabitlenmiştir. Ölçümleri haritalandırmak amacıyla sac levha eşit parçalara bölünmüştür (Şekil 4.18).



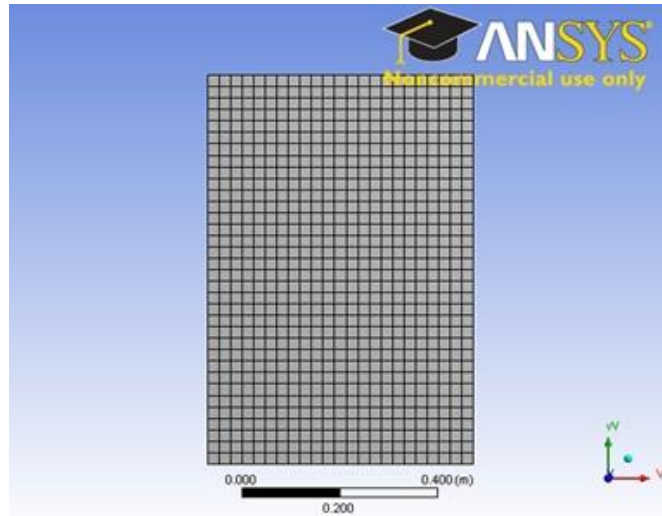
Şekil 4.18. Sac levhanın beton bloğa sabitlenmiş pozisyonu

Bu modelin de titreşimi istenen düzeyde gerçekleştiremediği görülmüş ve sac levhanın çamaşır makinesi sac parçalarına benzer şekilde kenarlarından bükülerek bir model oluşturulmuştur (Şekil 4.19).

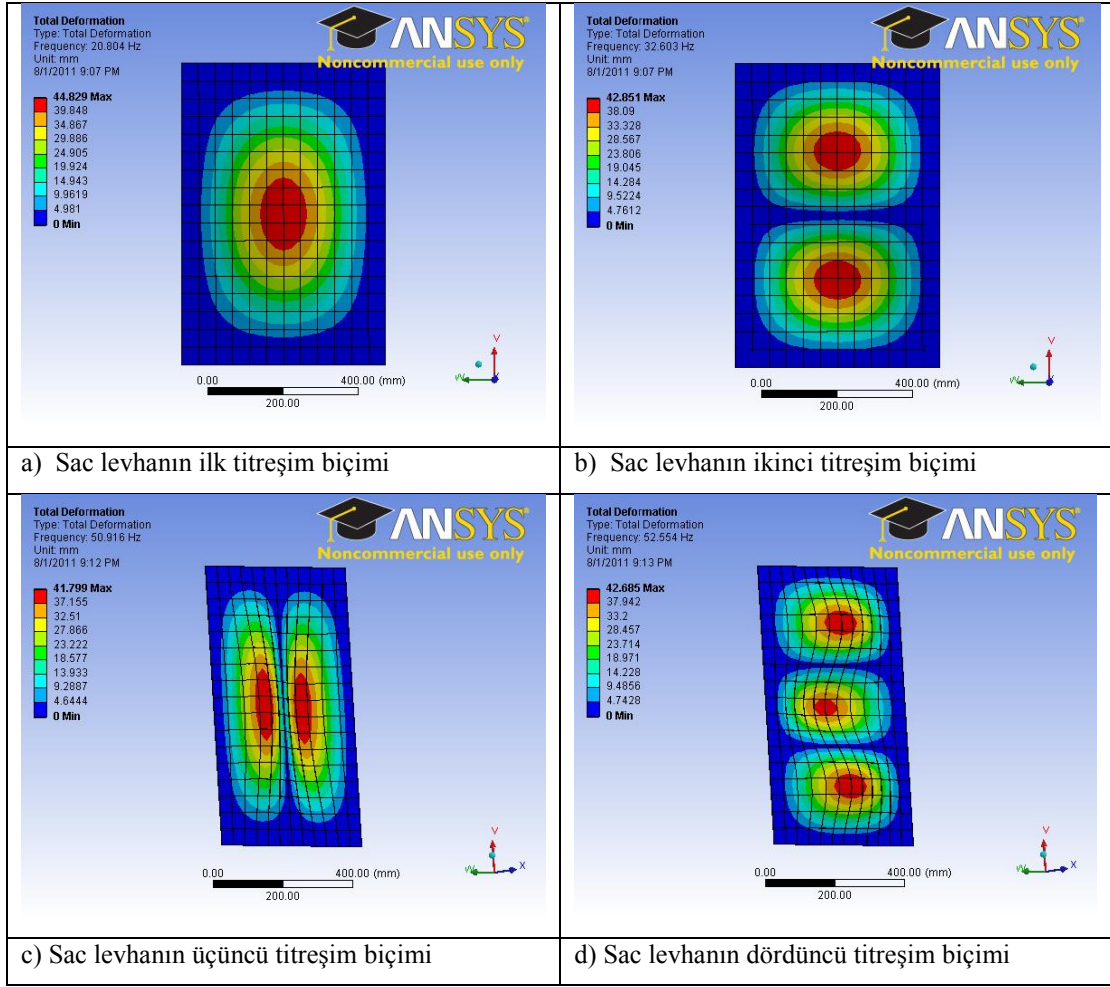


Şekil 4.19. Sac levhanın kenarlarından bükülerek beton bloğa yerleştirilmiş durumdaki pozisyonu

Bununla beraber model levhanın titreşim analizleri ANSYS ticari yazılımı yardımıyla yapılmış, doğal frekansları ve titreşim biçimleri belirlenmiştir (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Buradaki amaç bulunan titreşim biçimlerine ve frekanslarına bağlı olarak, titreşimi sönmölemeye yönelik olarak yapılacak aktif titreşim sönmöleyici elemanların yerleştirileceği bölgelerin ve eyleyiciyi uyaran uygun frekansın belirlenmesidir.



Şekil 4.20. Sac levhanın mesh (bölümleme) işlemi yapıldığı durumu



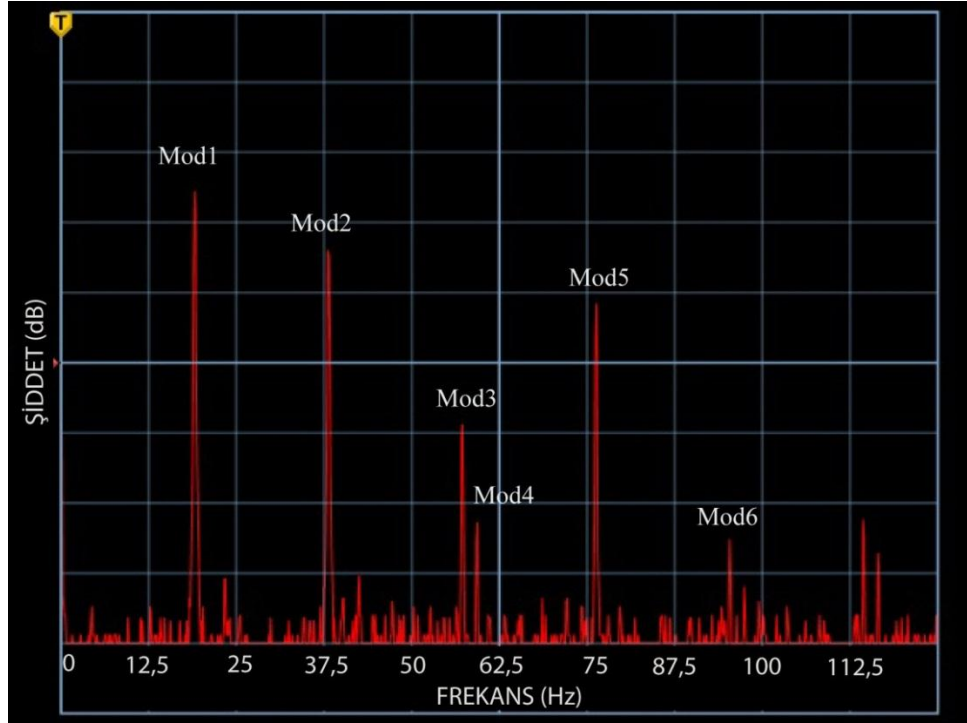
Şekil 4.21. Çelik sac levhanın doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri

Çelik sac levhanın ilk 6 titreşim biçimindeki frekans değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Çelik sac levhanın ilk 6 titreşim biçimindeki frekans değerleri

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Frekans	20.804	32.603	50.916	52.554	68.706	80.153
değerleri	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz

Titreşim biçim analizleri tamamlandıktan sonra, titreşim frekanslarını doğrulamak amacıyla FFT (Fast Fourier Transform) analizi yapılmış ve titreşim biçimlerindeki frekans değerleri bulunmuştur (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Çelik sac levhanın FFT analizinde belirlenen ilk 6 titreşim biçimindeki frekans değerleri

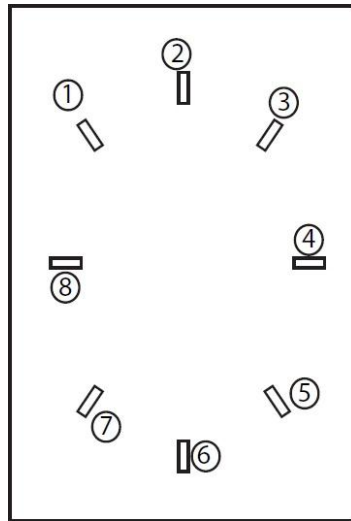
Çamaşır makinesinin içerisinde dönen tamburun frekansı dönüş sayısı ile değişmektedir. Fakat çamaşır makinesi yan panelinin rezonans frekansı, üretim koşullarına, tasarımına ve pasif sönümlleme uygulamalarına bağlı olarak değişmekle beraber belirli bir değerdedir. Çamaşır makinesinde tamburun yüksek hızda dönerken yan panelde yarattığı akustik ve mekanik titreşim sönümlenmesi amaçlanmıştır. Yan panel olarak düşünülmüş olan model üzerinde yapılan FFT analizine bakıldığında en baskın titreşim biçimi ilk titreşim biçimidir, bu yüzden modellenmiş sac levhanın ilk titreşim biçiminde çalışılması gerekmektedir.

Daha sonra ise 48x10x1 mm ebatlarındaki dikdörtgen şekilli PZT seramikler kesildikten sonra istenilen yüzey düzgünlüğüne getirilip, gümüş pasta ile iletkenliği sağlanarak polarize edilmiştir. Ve en son aşama olarak da panele yapıştırılmıştır (Şekil 4.23).



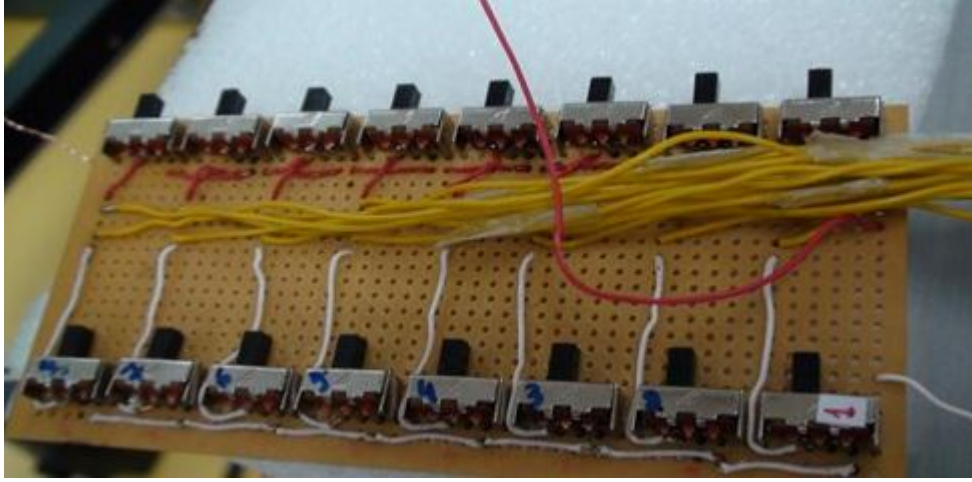
Şekil 4.23. Titreşen levhaya yerleştirilmiş piezoseramik elemanlar

Yapıştırılan seramikler şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 4.24). Köşelerde istenen titreşimin oluşmaması ve levhanın ortasında, yüksek titreşim düzeyinden dolayı piezoelemanların mekanik olarak zarar görmemesi için FEM analizlerine dayanılarak ve en fazla gerinim oluşan bölgeler düşünülerek, piezoseramik yamalar oluşturulan kirişin yaklaşık olarak 1/3'üne yerleştirilmiştir.



Şekil 4.24. Uyarıcı piezoların panel üzerindeki yerleşimlerinin şematik olarak gösterimi

Yerleştirilen piezoseramiklerin (+ ve -) kutuplarından birer adet kablo lehimlenmiş ve bir anahtar kutusu oluşturulmuştur (Şekil 4.25).



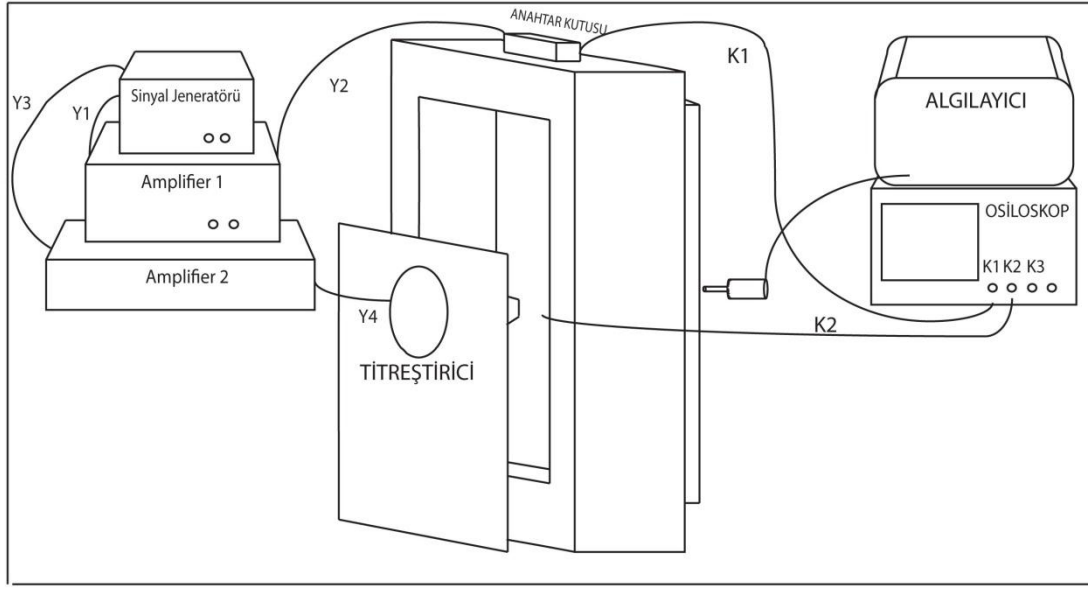
Şekil 4.25. Uyarıcı piezoların bağlandığı anahtar kutusu

Sac levha tek boyutta titreşen sistemle aynı analojiye sahip şekilde titreştiricinin ucuna bağlanan mıknatıs yardımıyla temassız ve mekanik olarak titreştirilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Titreşim sistemi

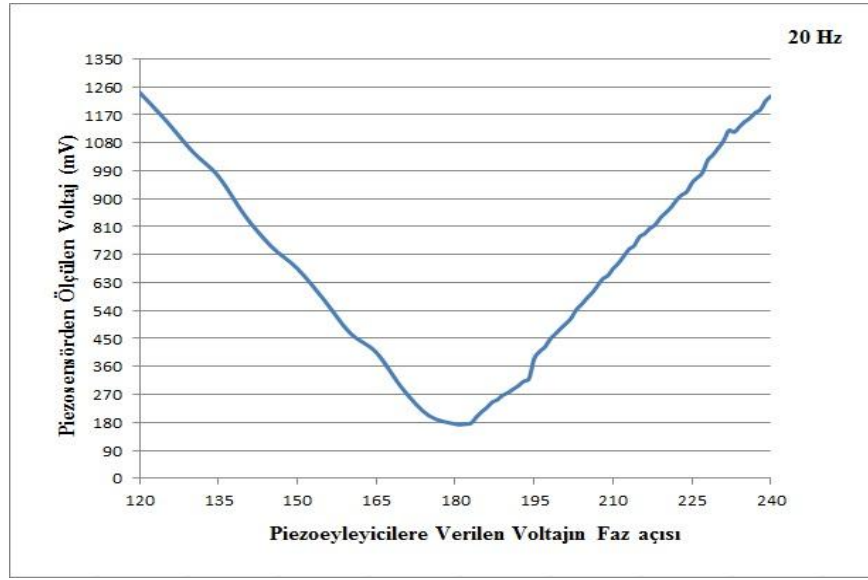
Titreşim sisteminin çalışma prensibi Şekil 4.27’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Titreşim sisteminin şematik gösterimi

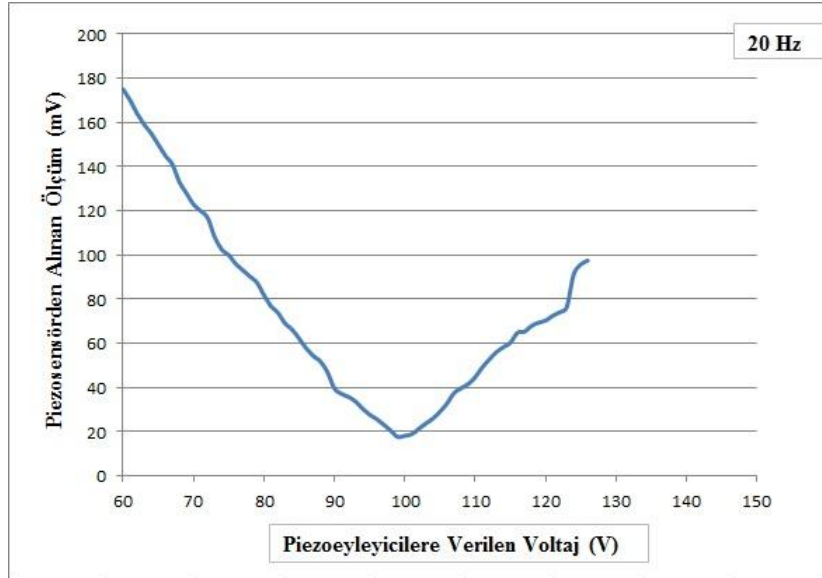
Kenarlarından sabitlenen levha, istenen frekansa ayarlanabilen Wavefactory WF1944 sinyal jeneratöründen alınan sinyalin Y3 yoluyla, Brüel&Kjaer 2718 tipi amplifiyer tarafından amplifiye edilen sinyalle beraber Y4 yoluyla titreştiricinin ucuna bağlanan mıknatıs yardımıyla temassız olarak titreştirilmiştir. Sinyal jeneratörünün ikinci kanalından alınan aynı frekanstaki sinyal, Y1 yoluyla HSA 4011 model amplifiyer tarafından amplifiye edilerek Y2 yoluyla anahtar kutusuna bağlanarak, yapıştırılan uyarıcı piezolara ulaştırılmıştır. Böylece belli bir genlikte titreşen yapının belli bir bölgesinden alınan sinyaller işlenerek; yaklaşık aynı genlikte fakat ters fazda olacak şekilde yine aynı bölgeye uygulanmış ve bu sayede titreşim sönümlenmiştir. Uyarıcı piezolara verilen voltaj değeri K1 kanalından Agilent 54624A osiloskop aracılığıyla ölçülmüştür. Titreşim frekans ve genliğini ölçen algılayıcıdan alınan sinyal de osiloskobun K2 kanalından ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada öncelikle verilen voltajın faz açısıyla ölçülen voltaj değeri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.28). Burada faz açısı 180 derece olduğunda titreşim sönümlemesi gerçekleştirilmiş olup algılayıcı piezodan alınan voltaj değeri 180 mV olarak ölçülmüş ve titreşim seviyesinin yaklaşık olarak 7 kat azaltıldığı görülmüştür. Faz açısı farklı bir değerde iken titreşim seviyesi artmıştır.



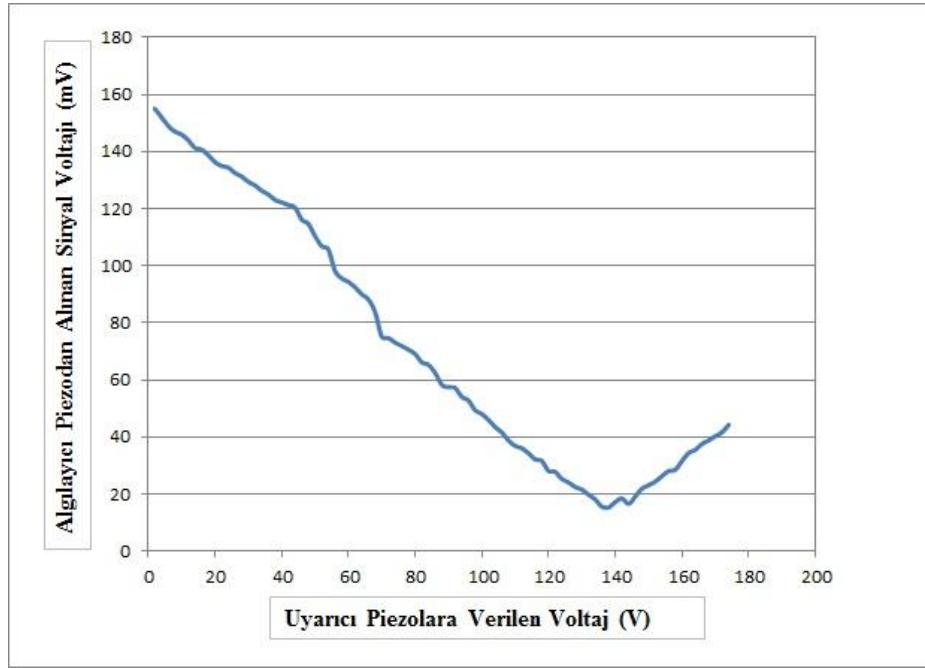
Şekil 4.28. Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolara verilen voltajın faz açısıyla değişimi

Faz açısı ayarlandıktan sonra en uygun voltaj değerini bulmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Titreşimin en düşük olduğu nokta bulunmuş ve bu noktadaki voltaj değeri ölçülmüştür (Şekil 4.29). Algılayıcı piezodan alınan değerlere bakıldığında en uygun voltaj değerinde, titreşim yaklaşık 9 kat daha sönümlenmiştir.



Şekil 4.29. Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolara verilen voltajla değişimi

Uyarıcı piezolara verilmesi gereken değer 100 volt (maksimum-maksimum) olup, bu noktada algılayıcıdan 18,2 mV ölçüm alınmıştır. Sistemde bulunan uyarıcı piezolara 100 volttan fazla voltaj verildiğinde, sistemdeki asıl görevi olan eyleyici olarak davranmak yerine, titreşim yaratan eleman olarak davranmaya başlamışlardır. Uyarıcı piezolara verilen voltaj değerinin sistemin titreşimini azaltacak en uygun değerde olması gerektiği anlaşılmıştır. Titreşen panelin titreşimini azaltmaya yönelik olarak yapılan çalışmada, kullanılması gereken uyarıcı piezo malzemelerin sayısının bulunmasına yönelik olarak çalışma yapılmıştır. Buna yönelik olarak titreştirilen model levhanın üzerinde yer alan 2-4-6-8 nolu uyarıcı piezolar kapatılmıştır. Geriye kalan 1-3-5-7 numaralı uyarıcılara 144 Volt voltaj verildiğinde 180 derece faz açısında 18,2 mV titreşim değeri algılayıcı piezodan ölçülmüştür (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Sac levhanın rezonans frekansında algılayıcı piezodan alınan voltaj değerinin uyarıcı piezolara verilen voltajla değişimi (1-3-5-7 nolu piezoseramikler açıkken)

Titreşim sönümleme için kullanılan piezoelemanların sayısı arttıkça, bunlara uygulanması gereken voltaj değeri düşmektedir.

5. SONUÇ

Geçmişte ve günümüzde, dünyada ve ülkemizde tüketiciye sunulan çamaşır makineleri incelenmiştir. 1990'lı yıllarda başlayan çevreci hareketle beraber her geçen gün çevreci tasarımların sayısı ve fonksiyonelliği artmaktadır. Çamaşır makineleri bireysel yaşama ayak uydurup suyu ve enerjiyi daha az tüketen ve daha az çamaşır yıkayan çamaşır makineleri üretilecektir. Bunun yanı sıra tüketicinin konfor beklentisi de gelişen teknolojiye dayanarak artmaktadır. Çamaşır makinelerinde fonksiyonelliğine dayalı olarak beklentiler oldukça yüksektir. Bu beklentiler arasında en belirgin olanı ise daha sessiz çalışan çamaşır makinelerinin üretiliyor olmasıdır. Bu yüzden üreticiler de beklentilere paralel olarak tasarımlarını ve teknolojilerini yenileme gayretine girmişlerdir. Bunlar arasında titreşim seviyesini düşürmek ilk akla gelen seçenektir.

Dünyada, titreşim kontrolüne yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri havacılık ve uzay teknolojilerinde başlamış olup, savunma, otomotiv, beyaz eşya sektörlerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle son 20 yıl içinde aktif titreşim sönümleme mekanizmaları üzerinde bunların daha ucuz yöntemlerle yapılmasına dair çalışmalar yürütülmektedir. İstenmeyen titreşim ve gürültüler bulundukları alanda temel problemler arasındadırlar. Hayatı daha da kolaylaştırmak, üst düzeyde konfor sağlamak, rahatsız edici ses faktörünü ortadan kaldırmak gibi müşteriye yönelik girişimler sektörde rekabet gücünü arttırmak için şu anda dünyadaki tüm beyaz eşya üreticileri için vazgeçilmezler arasındadır.

Bu çalışmada yapılan deneylerde metal kiriş üzerinde denemeler yapılmış ve titreşim yaklaşık olarak 1/40 oranında azaltılmıştır. Gövde panelleri üzerinde akıllı yapı (smart structure) oluşturma yöntemi izlenip ve bu yapılar için uygun tasarım ve sayısal modeller oluşturulmuştur. Titreşim kontrolü geri besleme yöntemiyle yapılmıştır. Bununla beraber yapılan çalışmaların çamaşır makinesi gövdesinde yapılması gerektiği sonuçlardan anlaşılmıştır. Çamaşır makineleri yan panellerinde aktif titreşim kontrolü yapılabilir hale gelecektir. 21. yyda akıllı teknolojilerin de gelişmesiyle aktif sönümleme sistemleri kullanıcıların konforunu artıracaktır.

Yapılan çalışmanın, çamaşır makinesi ve diğer titreşen sistemlere aktif sönümleme uygulaması için bir referans ve başlangıç oluşturduğu düşünülmektedir. Endüstriyel uygulamalar için piezoaktif akıllı titreşim kontrolü sistemleri geliştirilebilir. Endüstriyel bir ürün tasarlanırken öncelikle yan panelde veya ön panelde çeşitli tasarımsal değişiklikler olabilecek ve tasarımcı daha özgür tasarımlar yapabilecektir.

5.1. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Yapılan çalışmada titreşen yapıların sönümlemesi çalışılmıştır. Bu çalışma piezoaktif titreşim uygulamaları için bir başlangıç niteliğindedir. Titreşim ölçümleri daha detaylı incelenerek panellerde kullanılan uyarıcı piezolarla daha değişik tasarımlarla sönümleme uygulaması yapılabilir. Ayrıca çamaşır makinesi gövdesinde bu çalışmalar yapılabilir. Uygun elektronik devreler hazırlanarak, algılayıcı piezoden alınan veriler işlenerek sisteme geri beslenebilmelidir.

Bunun yanı sıra titreşimden dolayı piezoelektrik seramiklerin oluşturduğu cüzi miktardaki elektrik akımı kullanılarak enerji hasatı uygulaması yapıp, çamaşır makinesinin kullandığı enerji miktarının küçük bir bölümü piezoelektrik seramikler kullanılarak, kendi titreşimlerinden karşılanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, *Türk Dil Sözlüğü*, 2011.
www.tdkterim.com.tr/gurultu
- [2] Anonim, *Çamaşır Makinesi*, 2011.
http://en.wikipedia.org/wiki/Washing_machine
- [3] Gürses, A., *Çamaşır Makinesinin Akıllı Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [4] Anonim, *Çamaşır Makinelerinin Çalışma Prensipleri*, 2011.
<http://www.klima-tamir.com/faydali-cesitli-bilgiler/ev-tipi-camasir-makinalarinin-calisma-prensipleri-parc.html>
- [5] Anonim, *Çamaşır Makineleri Çeşitleri ve Parçaları*, 2011.
<http://www.repairclinic.com/Washing-Machine-Top-Load-GE-Style-Appliance-Diagram>
- [6] Anonim, *Çamaşır Makinesi Tarihi*, 2011.
<http://www.camasirmakinesi.org/>
- [7] Anonim, *Jacobe Christian Schaffer Teknik Müzesi*, 2011.
<http://www.deutsches-museum.de/bibliothek/unsere-schaetze/technikgeschichte/schaeffer-waschmaschine/waschmaschine/>
- [8] Anonim, *Çamaşır Makinesinin Tarihi*, 2011.
<http://eltamiz.com/2010/06/02/inventos-ingeniosos-la-lavadora/>
- [9] Anonim, *Çamaşır Makinesi Müzesi*, 2011.
www.oldewash.com
- [10] Woodrow O. B., *Driving Mechanism*, A.B.D. Patent No: 921195, 1909.
- [11] Fisher A.J., *Drive Mechanism For Washing Machines*, A.B.D. Patent No: 966677, 1910.
- [12] Anonim, *Miele Tarihi*, 2011.
http://www.mieleusa.com/about_miele
- [13] Anonim, *Ev Eşyaları*, 2011.
http://www.kbculture.com/2011_05_01_archive.html

- [14] Anonim, *Otomatik Çamaşır Makineleri*, 2011.
<http://www.automaticwasher.org/cgi-bin/TD/TD-VIEWTHREAD.cgi?33882>
- [15] Anonim, *Çamaşır Makineleri Reklamları*, 2011.
[http://www.advertisingarchives.co.uk/en/pages/image_map.html?selectedLevels\[1\]=Magazine%20Advert&selectedLevels\[0\]=Electrical&level=3&search=AEG&page=1](http://www.advertisingarchives.co.uk/en/pages/image_map.html?selectedLevels[1]=Magazine%20Advert&selectedLevels[0]=Electrical&level=3&search=AEG&page=1)
- [16] Anonim, *Çamaşır Makinesi Reklamları*, 2011.
http://www.advertisingarchives.co.uk/index.php?action=do_quick_search&service=search&language=en&q=miele
- [17] Anonim, *Servis Çamaşır Makinesi*, 2011.
<http://www.localhistory.scit.wlv.ac.uk/articles/Darlaston/WM.html>
- [18] Anonim, *Merdaneli Çamaşır Makinesi*, 2011.
http://www.isleyenteknik.com/product_info.php?products_id=74&osCsid=f66043d28a1f2f0a69d8f868a374a1bf
- [19] Yaşar, O., Türkiye'de Beyaz Eşya Sanayi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 21, 150-185, İstanbul, 2010.
- [20] Forty A., “Ev İşinden Kazanım”, Dünya büyük bir mağaza, Cogito, 5, 1995.
- [21] Ulusan U., *Endüstri ürünleri tasarımında sosyal statü-ürün etkileşimi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [22] Şimşek M., *Konut İç Mekan Donatı Elemanları İle Teknolojik Ürünler Arası İlişkilerin Kullanıcı Memnuniyetine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [23] Anonim, *Aeg Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.aeg.electrolux.com.tr/node145.asp?CategoryID=1606>
- [24] Anonim, *Arçelik Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.arcelik.com.tr/camasir-makinesi-ve-kurutucular-camasir-makineleri.html>
- [25] Anonim, *Ariston Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
http://www.hotpoint-ariston.com.tr/ha/2/selector/index.jsp#/p/Çamaşır_makineleri/pline/40/startMode/catalogo/

- [26] Anonim, *Beko Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.beko.com.tr/camasir-makinesi.html>
- [27] Anonim, *Bosch Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.bosch-home.com/tr/%C3%BCr%C3%BCnler/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-ve-kurutma-makineleri/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-makineleri/list.html>
- [28] Anonim, *Candy Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.candy.com.tr/prodotti/camasir.asp>
- [29] Anonim, *Indesit Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
http://www.indesit.com.tr/urunler_i/Camasir_Makineleri_pline_40.do#/p/Camaşır_Makineleri/pline/40/startMode/catalogo/
- [30] Anonim, *LG Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.lg.com/tr/beyaz-esya/camasir-makinesi/index.jsp>
- [31] Anonim, *Maytag Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, Maytag 2011.
http://www.maytag.com/Laundry-1/Laundry_Laundry_Appliances_Washers-3/102120050+4294967080/
- [32] Anonim, *Miele Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
http://www.miele.com.tr/tr/ev_aletleri/ueruenler/1141.htm
- [33] Anonim, *Profilo Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.profilo.com.tr/beyaz-e%C5%9Fya/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-ve-kurutma-makineleri/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-makineleri.html>
- [34] Anonim, *Regal Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.regal-tr.com/camasir-makinesi>
- [35] Anonim, *Samsung Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.samsung.com/tr/consumer/home-appliances/washing-machine/washing-machine>
- [36] Anonim, *Siemens Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.siemens-home.com/tr/%C3%BCr%C3%BCnler/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-kurutma-makineleri/%C3%A7ama%C5%9F%C4%B1r-makinesi/list.html>

- [37] Anonim, *Vestel Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.vestel.com.tr/beyaz-esya/yikayicilar/camasir-makineleri>
- [38] Anonim, *Zanussi Çamaşır Makinesi Çeşitleri*, 2011.
<http://www.zanussi.co.uk/Products/Category-page/?categoryId=d799a02a-0862-42ed-aa9a-a16a031a7111>
- [39] Anonim, *Titan Çamaşır Makinesi*, 2011.
<http://www.titanwashingmachine.com/>
- [40] Anonim, *Innovative Washing Machines*, 2011.
<http://www.environmentteam.com/concept/orbital-innovative-washing-machine-requires-less-water/>
- [41] Anonim, *Gelecek Çamaşır Makineleri*, 2011.
<http://www.electroluxdesignlab.com/2010/06/electrolux-design-lab-2010-semi-finalists/>
- [42] Anonim, *Gelecek Çamaşır Makineleri*, 2011.
http://www.designlaunches.com/lifestyle/3dion_washing_machine_concept_for_arcelor.php
- [43] Anonim, *Yankodesign Çamaşır Makinesi Konseptleri*, 2011.
http://www.yankodesign.com/?s=washing&x=0&y=0&lang=ICL_LANGUAGE_CODE
- [44] Anonim, *Gelecek Çamaşır Makinesi Konseptleri*, 2011.
<http://weburbanist.com/2010/08/25/clean-machines-10-wonderful-washers-of-the-future/>
- [45] Anonim, *Ecodual Çamaşır Makinesi Konsepti*, 2011.
<http://www.behance.net/gallery/Eco-Dual-Washer-machine/283386>
- [46] Erataç O., *Teknolojik Değişimlerin Ürün Kimliğine Etkileri ve Bir Yöntem Önerisi*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [47] Yiğit Z.S., *Farklı Teknolojilerin Birleştiği Akıllı Ürün Tasarımları: Türkiye'deki Uygulamaların İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006

- [48] Anonim, *Devrimci Çamaşır Makinesi Konseptleri*, 2011.
<http://www.thedailygreen.com/environmental-news/community-news/e-wash-66120601>
- [49] Anonim, *Çevreci Çamaşır Makinesi Konseptleri*, 2011.
<http://www.designwoo.com/2010/04/10-concept-washing-machines-that-will-make-your-laundry-room-green/>
- [50] Anonim, *Gelecekte Ev Eşyaları Konseptleri*, 2011.
<http://freshbump.com/lenee-microwave-washing-machine-concept-with-compact-design-and-unique-shape/>
- [51] Anonim, *Gelecekteki Çamaşır Makineleri*, 2011.
<http://www.igreenspot.com/one-minute-washing-machine-from-electrolux/>
- [52] Anonim, *Gelecekteki Portatif Çamaşır Makineleri*, 2011.
http://www.furniturefashion.com/2009/08/17/scan_hug_the_future_of_portable_washing_machines.html
- [53] Anonim, *Ev Eşyası Konseptleri 2020*, 2011.
http://www.designboom.com/contest/slideshow.php?contest_pk=9&item_pk=5852&p=1
- [54] Anonim, *Gelecekteki Çılgın Fikirler Çamaşır Makineleri*, 2011.
<http://www.electronichouse.com/slideshow/category/7387/1092>
- [55] Anonim, *Gelecekteki Portatif Çamaşır Makineleri*, 2011.
<http://www.popgadget.net/2006/04/index.php?page=all>
- [56] Anonim, *Titreşim ve ölçümü*, 2010.
<http://www.erpakademi.com/2010/01/09/titresim-olcumu/>
- [57] Karnopp, D. C., Crody, M. J., and Harwood, R. A., “Vibration Control using Semi-active Force Generators,” *ASME J. Eng. for Ind.*, **86**, 619–626, 1974.
- [58] Stribersky, A., Muller, H., and Rath, B., “The Development of an Integrated Suspension Control Technology for Passenger Trains,” *Proc. Inst. Mech. Eng., Part J: J. Eng. Tribol.*, 212, Part F, 33–41, 1998.

- [59] Horton, D. N., and Crolla, D. A., “Theoretical Analysis of a Semi-active Suspension Fitted to an Off-Road Vehicle,” *Veh. Syst. Dyn.*, **15**, 351–372, 1986.
- [60] Miller, L. R., and Nobles, C. M., “The Design and Development of a Semi-active Suspension for Military Tank,” SAE Paper No. 881133, 1988.
- [61] Pinkos, A., Shtarkman, E., and Fitzgerald, T., “An Actively Damped Passenger Car Suspension System With Low Voltage Electro-Rheological Magnetic Fluid,” *Proc. Int. Symp. on Advanced Vehicle Control (AVEC)*, Tsukuba, Japan, 311–317, 1994.
- [62] Sturk, M., Wu, M., and Wong, J. Y., “Development and Evaluation of a High Voltage Supply Unit for Electrorheological Fluid Dampers,” *Veh. Syst. Dyn.*, **24**, 101–121, 1995.
- [63] Anonim, *Ses ve Titreşim Kontrolü*, 2011.
<http://www.deicon.com/index.html>
- [64] Peel D. J., Stanway R., Bullough W.A., “Dynamic Modelling Of An ER Vibration Damper For Vehicle Suspension Applications”, *Journal of Smart Materials Structures*, **5**, 591-606, 1996.
- [65] Ünsal M., *Force Control Of A New Semi-Active Piezoelectric-Based Friction Damper*, Yüksek Lisans Tezi, University Of Florida, Florida, ABD, 2002.
- [66] Kırçalı, Ö. F., *Active Vibration Control Of A Smart Beam: A Spatial Beam*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [67] Bailey T, Hubbard JE. “Distributed Piezoelectric-Polymer Active Vibration Control of a Cantilever Beam” *AIAA J Guidance and Control*, **8**, 605–611, 1985.
- [68] Tzou H.S., *Piezoelectric Shells-Distributed Sensing and Control of Continua*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1993.
- [69] Chandrashekhara K., Agarwal A.N., “Active Vibration Control Of Laminated Composite Plates Using Piezoelectric Devices: A Finite Element Approach”, *J Intell Mater Syst Struct*, **4**, 496–508, 1993.

- [70] Yaman Y., Ülker F. D., Nalbantoğlu V., Çalışkan T., Prasad E., Waechter D., Yan B., “Application of H_{∞} Active Vibration Control Strategy in Smart Structures”, *AED2003, 3rd International Conference on Advanced Engineering Design*, Prague, Czech Republic, A5.3, 2003.
- [71] Caruso, G., Galeani, S., Menini, L., “Active Vibration Control of an Elastic Plate using Multiple Piezoelectric Sensors and Actuators”, *J. Of Simulation Modelling Practice and Theory*, **11**, 403-419, 2003.
- [72] Prasad, S.E., Waechter D.F., v.d., “Application of Piezoelectrics To Smart Structures” 2. *Eccomas Theamatic Conference On Smart Structure And Materials*, Lisbon, Portugal, 2005.
- [73] Inman. D.J., Dosch, J. J., “A Self-Sensing Piezoelectric Actuator for Collocated Control” *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, **3**, 1, 166-185, 1992.
- [74] Premount, A., *Vibration Control of Active Structure: an Introduction*, 2nd Ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [75] Bai M., Lin G. M., “The Development of DSP-Based Active Small Amplitude Vibration Control System for Flexible Beams by Using the LQG Algorithms and Intelligent Materials”, *Journal of Sound and Vibration*, **198**, 4, 411-427, 1996.
- [76] Yaman Y., Çalışkan T., Nalbantoğlu V., Prasad E., Waechter D., Yan B., “Active Vibration Control of a Smart Beam”, *Proceedings of Canada-US CanSmart Workshop on Smart Materials and Structures*, Montreal, 137-147, 2001.
- [77] Nalbantoğlu V., *Robust Control and System Identification for Flexible Structures*, Doktora Tezi, University of Minnesota, ABD, 1998.
- [78] Ülker F.D., *Active Vibration Control of Smart Structures*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [79] Halim D., Moheimani S.O.R., “Spatial H^2 Control of a Piezoelectric Laminate Beam: Experimental Implementation”, *IEEE Transactions on Control System Technology*, **10**, 4, 533-546, July 2002.

- [80] Du B., Cao Xi, Chu J. “A Study on Variable Region Variable Step-size LMS Adaptive Control of Distillation Columns”, *Proceedings of Electric Information and Control Engineering (ICEICE)*, Wuhan, China, 118-121, 2011.
- [81] Zames G., “Feedback and Optimal Sensitivity: Model Reference Transformations, Multiplicative Seminorms, and Approximate Inverses”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, **26**, 301-320, April 1981.
- [82] Francis B., Zames G., “On H^∞ Optimal Sensitivity Theory for SISO Feedback Systems”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, **29**, 9-16, 1984.
- [83] Doyle J. C., Glover K., Khargonekar P.P., Francis B. A., “State-Space Solutions to Standard H and H^∞ Control Problems”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, **34** (8), 831-847, 1989.
- [84] Lenz K., Özbay H., “Analysis and Robust Control Techniques for an Ideal Flexible Beam”, *Control and Dynamic Systems*, **57**, 369-421, 1993.
- [85] Yaman Y., Çalışkan T., Nalbantoğlu V., Ülker F. D., Prasad E., Waechter D., Yan B., “Active Vibration Control of Smart Plates by Using Piezoelectric Actuators”, *ESDA2002, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Istanbul, Turkey, APM-018, 2002.
- [86] Yaman Y., Çalışkan T., Nalbantoğlu V., Prasad E., Waechter D., “Active Vibration Control of a Smart Plate”, *ICAS2002, International Council of the Aeronautical Sciences*, Toronto, Canada, 424, 2002.
- [87] Lenz K., Özbay H., Tannenbaum A., Turi J., Morton B., “Robust Control Design for a Flexible Beam Using a Distributed Parameter H^∞ Method”, *Proceedings of the 28th IEEE Conference on Decision and Control*, 2674-2678, 1989.
- [88] Moheimani S.O.R., Fu M., “Spatial H^2 Norm of Flexible Structures and Its Application in Model Order Selection”, *Proceedings of 37th IEEE Conference on Decision and Control*, Tampa, Florida, USA, 3623-3624, 1998.
- [89] Moheimani S.O.R., Pota H.R., Petersen I.R., “Spatial Control for Active Vibration Control of Piezoelectric Laminates”, *Proceedings of 37th IEEE Conf. on Decision and Control*, Tampa, Florida, USA, **4**, 4308-4313, 1998.

- [90] Moheimani S.O.R., Pota H.R., Petersen I.R., “Active Control of Noise and Vibration in Acoustic Ducts and Flexible Structures – a Spatial Control Approach”, *Proceedings of Amer.Control Conf.*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 4, 2601-2605, 1998.
- [91] Moheimani S.O.R., Petersen I.R., Pota H.R., “Broadband Disturbance Attenuation over an Entire Beam”, *Journal of Sound and Vibration*, 227 (4), 807-832, 1999.
- [92] Halim D., Moheimani S.O.R., “Experimental Implementation of Spatial H_{∞} Control on a Piezoelectric Laminate Beam”, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 7 (3), 346-356, 2002.
- [93] Lee Y.K., *Active Vibration Control of a Piezoelectric Laminate Plate Using Spatial Control Approach*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Mechanical Engineering, University of Adelaide, Australia, 2005.
- [94] Fuller C.R., Elliott S.J., Nelson P.A., *Active Control of Vibration*, Academic Press Limited, London, 1996.
- [95] Anonim, *Çamaşır Makinesi Beton Parçaları*, 2011.
<http://www.veston.com.tr/u1.html>
- [96] Blauert P., Böldt F., Wöbkerneier M., Pilgram P.T., Rehfuß U., *Method for Determining The Mass of Wet Laundry in a Laundry Drum*, A.B.D. Patent No: 5507054, 1996.
- [97] Hasanreisoglu L., *A Washing Machine With Reservoirs in the Ribs for Balancing and Wash Sprays*, European Patent No: 2235247, 2009.
- [98] Papadopoulos E., Papadimitriou I. “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle” *2001 Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Systems*, Como, Italy, 899-904, 2001.
- [99] Fang H., Rodriguez R., Schone O., *Anti Vibration Device*, A.B.D. Patent No: US 2009/0151398 A1, 2009.
- [100] Kempe J., Landeck A., Nagel G., *Casing for Household Appliance with Noise Insulation*, A.B.D. Patent No: US2007/0175907 A1, 2007.

- [101] Bayraktar F., BELEK H.T., *Çamaşır Makinesi Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik İncelenmesi*, İTÜ dergisi, **5** (2), 135-144, Nisan 2006.
- [102] Spelta, C., Previdi F., Savaresi, S., Fraternale, G., and Gaudiano N., “Control Of Magnetorheological Dampers For Vibration Reduction In A washing Machine” *J. Of Mechatronics*, **19** (3), 410–421, 2009.
- [103] Taşpınar, T., *A Semi-Acrive Vibration Control Of Washing Machine Suspension System*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1995.
- [104] Tamyaman C., *Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control Of A Washing Machine Oscillating System*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv., İstanbul, 2002.
- [105] Öztürk M.E., *Çamaşır Makinesinin Dinamik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [106] Dilibal S., *Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi ve Şekil Bellek Eğitimi*, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [107] B. Jaffe, W. R. Cook Jr., and H. Jaffe, *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press, New York, A.B.D., 1971.
- [108] Anonim, *Piezoelektrik Malzemelerin Tarihi*, 2011.
<http://www.search.com/reference/Phonograph>
- [109] Cross, L.E. and R.E. Newnham, "History of Ferroelectrics," *Chapter in High-Technology Ceramics*, edited by W.D. Kingery, **III**, 289-305, Amer. Ceram. Soc., Westerville, OH, 1986.
- [110] Anonim, *Elektrooptik Malzemeler*, 2011.
www.turkseramik.com
- [111] Harrison J.S., Ounaies Z., *Piezoelectric Polymers*. NASA Raporu, No: NASA/CR-2001-211422, Virginia, A.B.D., 2001
- [112] Shenck N.S., Paradiso J.A., “Energy scavenging with shoemounted piezoelectrics”, *IEEE Micro*, **21**(3), 30–42, 2001.
- [113] Anonim, *Mikro Fiber Kompozit Malzeme Özellikleri*, 2011.
www.smart-material.com