

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Emin ŞAHİN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Emin ŞAHİN

(504111210)

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Metin HÜNER

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504111210 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Emin ŞAHİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİ TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Metin HÜNER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç Dr. Mürvet KIRCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ergül AKÇAKAYA
Işık Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **26 Mayıs 2014**

Aileme ve sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Öncelikle beni bu günlere getiren ve desteklerini her zaman gönülden hissettiğim aileme, anneme, babama teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışması süresince her aşamada ve zorlukta sonsuz desteklerini esirgemeyen ve beni cesaretlendiren değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç Dr. Metin Hüner' e teşekkür ederim. Son olarak, yüksek lisans eğitim sürecim boyunca bana burs desteği sağlayan değerli kurumumuz TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Mehmet Emin Şahin
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ULTRASONİK DALGALAR VE ULTRASONİK TEMİZLEME	3
2.1 Ultrasonik Dalgalar	3
2.1.1 Ultrasoniğin tanımı	3
2.1.2 Ses dalgası ve yayılımı	4
2.2 Ultrasonik Temizleme	6
2.2.1 Temel ultrasonik temizleme sistemi ve kavitasyon	6
2.2.2 Ultrasonik temizleme sistemini oluşturan parçalar	10
2.2.2.1 Piezoelektrik dönüştürücüler.....	10
2.2.2.2 Ultrasonik temizleme tankları	12
2.2.2.3 Ultrasonik üreteçler	13
2.2.2.4 Temizlem sıvısı	13
2.2.3 Kavitasyon erozyonu.....	14
2.2.4 Yüksek ve düşük çalışma frekanslarının karşılaştırılması	14
2.2.5 Ultrasonik temizleme sürecinde optimizasyon	16
2.2.5.1 Ultrasonik dalganın genliği ve frekansı	16
2.2.5.2 Sıvının yüzey gerilimi, buhar basıncı, kayganlığı ve yoğunluğu	18
3. ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜ EMPEDANS ÖLÇÜMLERİ VE MODELLEME	21
3.1 Piezoelektrik Dönüştürücünün Modellenmesi	21
3.2 Empedans Ölçümleri	23
4. ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN TASARIM AŞAMALARI	29
4.1 Sistem Mimarisi	29
4.2 Kontrol Ünitesinin Belirlenmesi	31
4.3 Temizleme Kazanının Tasarımı	32
4.4 PWM Metodu ile Yarım Köprü, Tam Köprü DC/AC Dönüştürme Metotları	33
4.4.1 Ölü band gecikmesi (Dead band delay)	35
4.5 Sürme Devresi Tasarımı	36
4.6 Doğrulama ve Besleme Devresi	37
4.7 Yazılım ve Çalışma Modları	38
4.7.1 Sabit frekans modu	39
4.7.2 Süpürmeli (Taramalı) frekans modu	40
4.7.3 Faz farklı sürme modu	40

4.8 Emniyet Tedbirleri.....	41
4.9 Kazan Suyu Sıcaklık Kontrolü	42
5. TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	43
5.1 Folyo Testi ve Önemi	43
5.2 Test Adımları.....	43
5.3 Süpürmeli (Taramalı) Frekans Modları ve Test Sonuçları.....	44
5.3.1 20°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	44
5.3.2 30°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	46
5.3.3 40°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	49
5.3.4 50°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	51
5.3.5 60°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	53
5.3.6 70°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	56
5.4 Faz Farklı Çalışma Modları ve Test Sonuçları.....	58
5.4.1 20°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	58
5.4.2 30°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	63
5.4.3 40°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	68
5.4.4 20°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

kHz	: Kilo Hertz
mm	: Mili Metre
µm	: Mikro Metre
m/s	: metre/saniye
°C	: Celsius Derece
MHz	: Mega Hertz
V	: Volt
W	: Watt

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı	5
Çizelge 4.1 : Programlanan Sabit Frekans Değerleri.....	39
Çizelge 4.2 : Programlanan Taramalı Frekans Değerleri.	40
Çizelge 4.3 : Programlanan Faz Farkı Değerleri.	41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bir cisme çarpan dalganın yansıması ve absorbe edilmesi	3
Şekil 2.2 : Ses dalgasının meydana gelmesi.	4
Şekil 2.3 : Ultrasonik temizleme sistemi.	6
Şekil 2.4 : Kavitasyon oluşumu.	7
Şekil 2.5 : Bir kavitasyon kabarcığının patlaması.	8
Şekil 2.6 : Sıvı içerisinde kavitasyon oluşumu.	9
Şekil 2.7 : Piezoelektrik etki.	10
Şekil 2.8 : Piezo seramik dönüştürücünün iç yapısı.	11
Şekil 2.9 : Tez çalışmasında kullanılan kazana alttan yapıştırılmış dönüştürücüler .	11
Şekil 2.10 : Tez çalışmasında kullanılan 4lt kapasiteli temizleme tankı.	12
Şekil 2.11 : Ultrasonik üreteçte yüksek frekanslı sinyal elde etme.	13
Şekil 2.12 : Farklı frekanslarda kavitasyon kabarcığı boyutları.	15
Şekil 2.13 : Değişen frekanslara karşılık gelen bağıl güçler.	15
Şekil 2.14 : Sıvı içerisinde oluşan duran dalgalar	16
Şekil 2.15 : Ultrasonik dalga formları.	17
Şekil 2.16 : Temizleme süresinin sıcaklıkla değişimi	17
Şekil 2.17 : Sıvıdaki çözünmüş gazların kavitasyona etkisi.	19
Şekil 3.1 : Butterworth-Van Dyke Transducer Model.....	21
Şekil 3.2 : Butterworth-Van Dyke Transducer Model'ine ilişkin empedans eğrisi ..	22
Şekil 3.3 : Genişletilmiş Van Dyke Transducer Model	23
Şekil 3.4 : Empedans ölçümü için kullanılan bağlantı şeması.....	23
Şekil 3.5 : Kazan boş iken dönüştürücünün (Z) empedans değişim karakteristiği....	24
Şekil 3.6 : Kazan boş iken dönüştürücünün (θ) faz açısı değişim karakteristiği	24
Şekil 3.7 : Empedans eşdeğer devresi	25
Şekil 3.8 : Kazan boş iken dönüştürücünün ve eşdeğer devrenin empedans (Z) değişimi ..	25
Şekil 3.9 : Kazan boş iken dönüştürücünün ve eşdeğer devrenin faz açısı (θ) değişimi	25
Şekil 3.10 : Kazan 3.5lt su ile dolu ve yüklü iken (Z) empedans değişimi	27
Şekil 3.11 : Kazan 3.5lt su ile dolu ve yüklü iken faz açısı (θ) değişimi.....	27
Şekil 3.12 : Rezonans Tepe frekansının kazan seviyesiyle değişimi.....	28
Şekil 4.1 : Tasarlanan ultrasonik temizleme sisteminin blok diyagramı.	29
Şekil 4.2 : Tasarlanan ultrasonik temizleme sistemi	30
Şekil 4.3 : ATmega 528 tabanlı ARDUINO-UNO kontrol kartı.....	31
Şekil 4.4 : Temizleme kazanı ve boyutları.	32
Şekil 4.5 : Tek kaynaklı yarım köprü devresi.....	33
Şekil 4.6 : Standart yarım köprü devresi	34
Şekil 4.7 : Tam köprü devresi.....	34
Şekil 4.8 : Güç ve ölü band değişimi.....	35
Şekil 4.9 : MOSFET sürme devresi.....	36
Şekil 4.10 : Modüle edilmiş ultrasonik sinyal.	37
Şekil 4.11 : Doğrulama ve besleme.	38
Şekil 4.12 : Programın ekran görüntüsü	39

Şekil 4.13: Fiber Glass Koruma kutusu içerisinde sürme devresi	37
Şekil 5.1 : Fiber-Glass çerçeve.	43
Şekil 5.2 : 20°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	44
Şekil 5.3 : 20°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	45
Şekil 5.4 : 20°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	45
Şekil 5.5 : 20°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	45
Şekil 5.6 : 20°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	46
Şekil 5.7 : 20°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	46
Şekil 5.8 : 30°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	47
Şekil 5.9 : 30°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	47
Şekil 5.10 : 30°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	47
Şekil 5.11 : 30°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	48
Şekil 5.12 : 30°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	48
Şekil 5.13 : 30°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	48
Şekil 5.14 : 40°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	49
Şekil 5.15 : 40°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	49
Şekil 5.16 : 40°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	50
Şekil 5.17 : 40°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	50
Şekil 5.18 : 40°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	50
Şekil 5.19 : 40°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	51
Şekil 5.20 : 50°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	51
Şekil 5.21 : 50°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	52
Şekil 5.22 : 50°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	52
Şekil 5.23 : 50°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	52
Şekil 5.24 : 50°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	53
Şekil 5.25 : 50°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	53
Şekil 5.26 : 60°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	54
Şekil 5.27 : 60°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	54
Şekil 5.28 : 60°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	54
Şekil 5.29 : 60°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	55
Şekil 5.30 : 60°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	55
Şekil 5.31 : 60°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	55
Şekil 5.32 : 70°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.....	56
Şekil 5.33 : 70°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.....	56
Şekil 5.34 : 70°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.....	57
Şekil 5.35 : 70°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.....	57
Şekil 5.36 : 70°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.....	57
Şekil 5.37 : 70°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.....	58
Şekil 5.38 : 20°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları	59
Şekil 5.39 : 20°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları	59
Şekil 5.40 : 20°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları	59
Şekil 5.41 : 20°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları	60
Şekil 5.42 : 20°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları	60
Şekil 5.43 : 20°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları	60
Şekil 5.44 : 20°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları	61
Şekil 5.45 : 20°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları	61
Şekil 5.46 : 20°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları	61
Şekil 5.47 : 20°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları	62
Şekil 5.48 : 20°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları	62
Şekil 5.49 : 20°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları	62

Şekil 5.50 : 20°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları	63
Şekil 5.51 : 30°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları	64
Şekil 5.52 : 30°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları	64
Şekil 5.53 : 30°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları	64
Şekil 5.54 : 30°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları	65
Şekil 5.55 : 30°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları	65
Şekil 5.56 : 30°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları	65
Şekil 5.57 : 30°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları	66
Şekil 5.58 : 30°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları	66
Şekil 5.59 : 30°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları	66
Şekil 5.60 : 30°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları	67
Şekil 5.61 : 30°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları	67
Şekil 5.62 : 30°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları	67
Şekil 5.63 : 30°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları	68
Şekil 5.64 : 40°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları	69
Şekil 5.65 : 40°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları	69
Şekil 5.66 : 40°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları	69
Şekil 5.67 : 40°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları	70
Şekil 5.68 : 40°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları	70
Şekil 5.69 : 40°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları	70
Şekil 5.70 : 40°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları	71
Şekil 5.71 : 40°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları	71
Şekil 5.72 : 40°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları	71
Şekil 5.73 : 40°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları	72
Şekil 5.74 : 40°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları	72
Şekil 5.75 : 40°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları	72
Şekil 5.76 : 40°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları	73
Şekil 5.77 : 50°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları	74
Şekil 5.78 : 50°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları	74
Şekil 5.79 : 50°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları	74
Şekil 5.80 : 50°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları	75
Şekil 5.81 : 50°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları	75
Şekil 5.82 : 50°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları	75
Şekil 5.83 : 50°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları	76
Şekil 5.84 : 50°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları	76
Şekil 5.85 : 50°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları	76
Şekil 5.86 : 50°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları	77
Şekil 5.87 : 50°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları	77
Şekil 5.88 : 50°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları	77
Şekil 5.89 : 50°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları	78
Şekil 6.1 : Deneylerin analizinde kullanılan MATLAB’de yazılmış program.....	79
Şekil 6.2 : Temizleme alanının farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi.....	81
Şekil 6.3 : Temizleme alanının farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi.....	82
Şekil 6.4 : Homojenliğin farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi.....	83
Şekil 6.5 : Homojenliğin farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi	84
Şekil 6.6 : Standart sapmanın farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi	85
Şekil 6.7 : Standart sapmanın farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi	86
Şekil 6.8 : Temizleme alanının farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi.....	88
Şekil 6.9 : Temizleme alanının faz farklı sürme modlarında sıcaklık ile değişimi ...	89
Şekil 6.10 : Homojenliğin farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi	90

Şekil 6.11 : Homojenliğin faz farklı sürme modlarında sıcaklık ile değişimi	91
Şekil 6.12 : Standart sapmanın farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi	92
Şekil 6.13 : Standart sapmanın faz farklı sürme modlarında sıcaklık ile değişimi....	93

İKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Hızla artan dünya nüfusu, plansız üretim, sanayileşme ve sağlıksız kentleşme, nükleer denemeler, bölgesel savaşlar, verimi artırmak amacıyla kullanılan tarım ilaçları, yapay gübreler ve deterjan gibi kimyasal maddelerin kullanımı çevre kirliliğine yol açarak çevre sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunun neticesinde kirlenen hava, su ve toprak canlıların yaşamını olumsuz etkileyecek boyutlara ulaşmıştır. Yapılan araştırmalar dünyadaki mevcut çevre kirliliğinin %50 'sinin, son 35 yılda meydana geldiğini ortaya koymaktadır [19].

Dünya üzerindeki yaşamın kaynağı olan ve dolayısı ile insanoğlunun da yaşamak için muhtaç olduğu su üzerinde ciddi boyutlarda kirlenmeye sebep verebilen deterjanlar, kimyasallar, asit bazlı temizleyiciler doğrudan olduğu gibi dolaylı yoldan da çevreye büyük boyutlarda zarar verebilme potansiyeline sahiptir. Deterjanlar sudaki mikro habitatın yok olmasına neden olabileceği gibi, bazı yaşam formlarının aşırı miktarda üreyerek doğal ekolojik sistemin zarar görmesine de neden olabilir.

Bahse konu sebeplerden ötürü son yıllarda temizlik endüstrisinde su ve petrol temelli temizleyicilerin yanında doğaya dost alternatif temizleme teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bununla beraber, endüstride üretilen parçaların çeşitliliği, hassasiyeti ve kalitesi göz önüne alındığında temizlik talepleri çeşitlenerek artmaktadır. Günümüz endüstrisinde, artan temizlik taleplerini karşılamak amacıyla pek çok araştırmalar yapılmış ve ultrasonik temizleme yöntemi de oldukça gelişme göstermiştir. Ultrasonik temizlik genellikle hassas temizlemelerde, hızlı, ucuz, güvenilir ve daha kaliteli temizlik sağladığı için kimyasal temizliğe alternatif olarak kullanılır.

Ultrasonik temizleme ilk olarak RCA (Radio Corporation of America) firmasının araştırma laboratuvarında bulunmuştur. Freon gazı kullanılarak gerçekleştirilen soğutma işleminde 300kHz frekansta çalışan kristalin etrafında dalga hareketinin çıktığı tesadüfen fark edilmiştir. Bu dalga hareketinin ultrasonik temizleme metodu olarak kullanılabileceği uzun bir süre fark edilememiştir[4, 20]. Günümüzde kullanılan ve büyük çoğunluğunun 18kHz-40kHz arasında çalıştığı ultrasonik temizleme sistemleri 1950'li yılların sonlarında geliştirilmeye başlanmıştır.

Ultrasonik temizleme sistemleri genel olarak dört esas birimden oluşur. Bunlar paslanmaz çelikten yapılmış bir kazan, kazanın alt veya yan yüzeyine özel bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış bir veya birden fazla ultrasonik dönüştürücü, ultrasonik üreteç devresi ve temizleme sıvısıdır. Uygun frekans ve güç değerlerinde sürülen ultrasonik dönüştürücünün ürettiği ses ötesi dalgalar temizleme kazanındaki sıvıda alçak ve yüksek basınç bölgeleri oluştururlar. Bu farklı basınç bölgeleri sıvı içerisinde yüksek miktarda mikroskobik kabarcıklar üretirler. Bu kabarcıklar alçak basınçta genişleyerek büyürken yüksek basınçta büzülerek şiddetli bir biçimde patlar.

Bu olay literatürde ses ötesi kavitasyon olarak adlandırılır ve ultrasonik temizlemenin temelini oluşturur.

Bu tez çalışması kapsamında 38kHz'lik iki adet ultrasonik dönüştürücüye sahip mikrodenetleyici tabanlı geliştirilmiş farklı sürme tekniklerine sahip bir ultrasonik temizleme sistemi tasarlanmıştır. Kontrol ve sürme devresi olarak ATmega-628 mikrodenetleyicisini kullanan Arduino programlama kartı kullanılmıştır. C programlama dilinin kullanılması ile birlikte bu kartın avantajlarından maksimum seviyede faydalanılması ve yüksek hassasiyette sürme gerçekleştirilmesi amacıyla gerekli görülen kısımlarda Assembly programlama dili kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen yazılım ile ultrasonik temizleme sistemi üç esas sürme tekniğini kullanmak üzere programlanmıştır. Bunlardan birincisi olan sabit frekansta sürme metodu için 35,5kHz ve 41.5kHz frekans aralığında yüksek hassasiyetli 67 adet sabit frekans değerinde istenen sıcaklıkta ve sürede temizleme gerçekleştirilebilmektedir. İkinci çalışma metodu olarak süpürmeli frekans metodu programlanmıştır; bu çalışma metodunda rezonans frekansı civarında set edilen frekans bandı aralığında sürme frekansı çok küçük adımlar ile azaltılıp artırılarak taramalı olarak temizleme gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen üçüncü ve son sürme tekniği ise faz farklı sürme metodudur. Bu çalışma metodunda iki adet ultrasonik kristal rezonans frekansında faz farklı olarak sürülmektedir. Söz gelimi 180° faz farkında birinci kristal 300V gerilim altında iken ikinci kristal 0V gerilim altındadır. Bu çalışma metodu literatürde henüz mevcut değildir. Gerçekleştirilen program ile 0-180° arası faz farkı değerlerinde iki kristal sürülebilmektedir. Bunların yanı sıra sıvı sıcaklığı ölçülerek 20-80°C arası istenen sıcaklıkta temizleme gerçekleştirilebilmektedir.

Gerçekleştirilen ultrasonik temizleme sistemi kullanılarak temizleme etkinliğinin frekans, faz farkı, sıcaklık gibi çeşitli parametrelere göre değişiminin incelenmesi amaçlandığından, 38kHz'lik çalışma frekansında gelişmiş kontrol özelliklerine sahip bir ultrasonik üreteç devresinin sürücü ve güç kartı devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Böylece ultrasonik dönüştürücünün sürülmesinde tepeden tepeye genliği 300V olan modüle edilmiş sinyaller üretilmiştir. Bu amaçla yüksek gerilim değerlerinde çalışan güç mosfetleri kullanılmıştır. Ayrıca sistem üzerindeki alçak ve yüksek gerilimler optokuplörli devreler ile birbirinden izole edilmiştir.

Ultrasonik dönüştürücünün doğru güç ve frekans değerlerinde sürülebilmesi ve neticesinde maksimum güç aktarımının gerçekleşmesi temizleme etkinliği için çok önemli bir parametredir. Zira doğru modellenen ve rezonans frekansında sürülen piezo-elektrik dönüştürücüler üreteç devresi ile harmoni içerisinde maksimum titreşim sağlarlar[8]. Bu sebeple ultrasonik dönüştürücüler için literatürde kullanılan en temel eşdeğer devre olan Butterworth – Van Dyke Transducer Model [16] kullanılarak dönüştürücü modellenmiştir. Bununla birlikte, IM3570 (Empedans Analizörü) kullanılarak değişen sıvı seviyelerine rezonans frekansının değişimi incelenmiştir.

Gerçeklenen ultrasonik temizleme sisteminde temizleme etkinliğinin incelenmesi amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan folyo testi yöntemi kullanılmıştır. Zira dikey olarak kazana daldırılan alüminyum folyo kazanda oluşan kavitasyon patlamalarının gücü ve bölgeselliği nispetinde aşınır. Devamında bu aşınmaların analiz edilmesi amacıyla Tunç. C. [4] tarafında geliştirilen MATLAB tabanlı görüntü işleme programı kullanılmıştır. Bu sayede temizlemenin etkinliği ve homojenliğini incelemek amacıyla folyo üzerindeki aşınmış bölgelerin toplam alanları, standart

sapma değerleri, merkez nokdasına olan uzaklıkları gibi çeşitli parametreler kullanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında gerçeklenen temizleme sisteminde yeni bir sürme metodu olarak faz farklı sürme metodu gerçekleştirilmiş ve temizleme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Netice olarak temizlemenin veriminin yeni önerilen metot ile %25'e kadar artırılabilmiştir. Sonuç olarak hangi sıcaklık değerinde hangi sürme metodunun kullanılması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır.

Son olarak tez raporunda, ultrasonik temizleme sisteminin tasarım aşamaları, ultrasonik dalgaların doğası ve ultrasonik temizleme konularına da yer verilmiştir.

DESING AND ANALYSIS OF AN ULTRASONIC CLEANING SYSTEM WITH TWO TRANSDUCERS

SUMMARY

Raising of the human population rapidly, unplanned production, industrialization and improper urbanization, nuclear experiments and wars those affect the surroundings very close, agricultural chemicals which are used to improve the production, artificial fertilizers and chemicals that can destroy the nature of the earth such as detergent, etc. are all the reasons of the pollution. As a result of this unconscious usage of these chemicals, the natural environment (such as oceans, earth, atmosphere, etc.) and all living creatures are affected in a negative aspect. The latest researches emphasize that the 50% of the current pollution is caused in the last 35 years [19].

It's a common knowledge that the water is the core of human life. Therefore, human beings are in need of clean water resources. However, all the chemicals such as detergent, acid based cleaners have the big potential to damage the nature directly and even indirectly. Additionally, detergents can cause to destroy the micro habitats in the water, besides they can also be the reason of the exceeding reproduction of some creature, which can lead unbalanced ecologic system.

Due to these reasons, in recent years, chemist are getting eager to invent some cleaners which are not harmful for the nature as the chemicals based on petroleum and water. Additionally, diversity of the equipment productions and their sensitivity are in an increasing manner. When we consider this increase, people tend to have all the new produced equipment. In today's technology, in order to respond all these demands, scientist made many researches and experiments, so ultrasonic cleaning technology also improved reasonably. Ultrasonic cleaning is usually used for sensitive cleanings. It has some advantages such as faster, cheaper, more reliable and has more quality than conventional chemical cleaning.

The history of ultrasonic cleaning begins more than 80 years ago, to the early 1930s. Ultrasonic cleaning technique was first held in the research laboratories of RCA (Radio Corporation of America) company, located in New Jersey, in USA. They made a cooling experiment with Freon gas and with a crystal. While they were in the process of the experiment, they discovered that there is a wave movement around the crystal. But no one had an idea to use this wave movement as a magnificent way of cleaning [4, 20].

The majority of ultrasonic cleaning systems, which were developed later in the 1950s, are operated at 18kHz to 40kHz. Although 18kHz is the lowest frequency, it is still being used routinely in industry. On the other hand, a 6kHz system was developed in Russia but short lived. Up to the late 1980s most of commercial cleaning systems are operated at 25kHz to 40kHz.

Ultrasonic cleaning systems mainly have 4 items. These items are one large tank which must be made of stainless steel, couple of ultrasonic transducers which are attached under or on the sides of the tank by using a special kind of glue with high

ultrasonic conductivity, electrical generator for the transducers and cleaning liquid. By using an electrical signal generator that produces a high frequency signal (20 to 200 kHz), the transducer rapidly transmits ultrasound waves into the liquid. Those waves cause high and low pressure areas. During the low pressure cycle, the liquid is torn apart and this action creates a vacuum cavity within the liquid. These cavities will get bigger and later smaller with the continuity of the ultrasound waves coming from the source. When each single bubble reaches a certain size (with respect to the frequency and the power of the signal) the bubble can no longer retain its shape. The bubble will explode violently and creates a temperature up to 5000 degrees centigrade and a jet of plasma that impacts against whatever object is in the tank. In the big scene of the frame, millions of bubbles will be created and have the same process of exploding. This is known as ultrasound cavitation in the literature and is the basis of ultrasonic cleaning systems.

In this study, the design of an ultrasonic cleaning machine which is microcontroller based and has different drive techniques is achieved. The system contains two ultrasonic transducers with 38 kHz resonance frequency. As the control and drive circuit, ATmega-628 microcontroller based Arduino card is used. C programming language is used in this study, but in some cases assembly programming language is preferred, as well in order to make more sensitive control and drive and also to take advantage of Arduino.

The developed ultrasonic cleaning system is programmed to have three main drive techniques. The first technique is to drive the transducers with a certain frequency. In this method, one can achieve cleaning in a desired temperature and time with 67 different high sensitive frequency pulses which are produced between 35.5 kHz and 41.5 kHz. The second technique is making the cleaning with a sweeping frequency pattern. The system is programmed in this way and the resonance frequency is the basis for this system. A band is set around this resonance frequency and the system starts to sweep this band with very small frequency steps. So the cleaning is achieved with the sweeping frequency technique. When it comes to the third technique, it can be defined as phase different driven technique. In this technique, two crystals are driven with the same resonance frequency but have phase difference between. For instance, when they have 180 degrees of phase difference, the first crystal is supplied with a 300V source while the remaining one is grounded and vice versa. The last operational method isn't common/exists in the literature yet. In order to tell more details about the last method, user can set the phase difference between 0-180 degrees with the developed program, so two transducers will be driven with two different phases. In addition, liquid temperature is measured and if necessary, it's heated till the desired temperature between 20-80 degrees Celsius.

In this design, it's aimed to investigate the effects of frequency, phase difference and temperature on ultrasonic cleaning efficiency. For this reason, an ultrasonic driver and power units of a microcontroller based ultrasonic generator, which has advanced controlling functions around resonance frequency of 38 kHz, is designed and implemented. Thus, modulated 300V peak to peak voltage signals are generated in order to drive the transducers. Due to the necessity of high voltage, power mosfets with fast switching capability are used. Moreover, in the circuit design, high and low voltage stages are isolated from each other with optocoupler circuits.

In order to achieve an efficient cleaning, the power and the frequency of the electrical signal should be chosen properly and after that maximum power translation should be carried over the transducers. Those parameters are vital, because if the piezo-electric transducers are modeled and driven in the resonance frequency, they

will provide maximum vibration with generator circuits, accordingly. Thereby, Butterworth – Van Dyke Transducer Model [16], which is the most common equivalent circuit model characterizing for a piezoelectric transducer near the resonant frequency, is used in modeling of the design. This model is often adapted to model electromechanical resonance characteristics of crystal oscillators [16]. Furthermore, when a piezoelectric transducer is mounted to a mechanical structure or when the cleaning tank is filled with liquid, the mechanical boundary conditions of the piezoelectric transducers change, and accordingly, resonant frequency of the system changes. To identify and follow that frequency under different conditions, IM3570 (Impedance Analyzer) is used for measurements. So the effect of the liquid level over the resonance frequency of transducer is investigated and the chart of resonant frequency versus different loads is graphed.

In order to analyze the effectiveness of an ultrasonic cleaning system, foil test is the most common and practical method of indicating the power and the washing profile in cleaning tank. Therefore, foil test technique is used to analyze the efficiency of the designed cleaning system with respect to different parameters mentioned before. In this method, foil is immersed into the tank vertically or horizontally and with respect to the power and distribution of cavitation bubbles, it's eroded. As the cleaning goes on, the erosion turns into holes on the foil. And the shape, amount and distribution of these holes shows the cleaning profile and cavitation density of bubbles.

Following that, to analyze the results of foil tests, an image processing MATLAB program which is developed by Tunç C[4] is used. With the program, the holes' areas on the foil, their standard deviation and their distance to the center are used to estimate the efficiency and homogeneity of cleaning. Firstly, in order to calculate the parameters above, the scanned image of cleaned foil is converted to a 8-bit image with black, white and gray-tone colors. In the converted image, 0 means white while 255 means black. The value of 160 is used as the threshold value to analyze the converted image.

In this thesis, a new cleaning method which we can define as phase difference technique is developed and proposed, too. The effects of this new method on cleaning efficiency are also examined. As a result of this method, the cleaning efficiency is improved about 25% of the conventional techniques. Additionally, examination of the cleaning efficiency with respect to various parameters has been identified and specific methods for specific temperatures are defined for the designed system.

Finally, in this thesis report, ultrasonic cleaning phenomena, design steps of the ultrasonic cleaning machine, definition and nature of ultrasonic waves, and foil test results are included.

1. GİRİŞ

Endüstrinin çeşitli alanlarında uzun süredir kullanılan pek çok temizleme yöntemleri mevcuttur. Bununla beraber, üretilen parçaların çeşitliliği, hassasiyeti ve kalitesi göz önünde bulundurulduğunda temizlik talepleri çeşitlenerek artmaktadır. Günümüz endüstrisinde, artan temizlik taleplerini karşılamak amacıyla pek çok araştırmalar yapılmış ve ultrasonik temizleme yöntemi de bu konuda oldukça gelişme göstermiştir.

Ultrasonik temizleme yöntemi, karmaşık iş parçalarının ve komple yapı gruplarının temizlenmesinde vazgeçilmez bir yöntemdir. Taleplerin artması ve temizlenen parçaların gittikçe daha duyarlı birimlerden oluşması, süreçlerin daha hassas bir şekilde uyarlanması ihtiyacını doğurmuştur. Gelişen teknoloji ile talepler tam karşılanacak şekilde uyarlanabilmektedirler[1].

Ultrasonik temizleme yöntemiyle, belirlenen çalışma koşullarında uygun olarak seçilecek sıcaklık, frekans ve sürme metodu ile güvenilir, hızlı ve materyal dostu bir temizleme gerçekleştirilir. Bunun için, temizlenecek kirin niteliği önemli değildir; talaş veya toz gibi parçacık şeklinde olabileceği gibi talaşlı imalat emülsiyonu/yağı artığı, ayırma bileşiği veya parmak izi gibi film şeklinde de olabilir. Ultrason, temizleyici etkisini bir sıvı banyonun içerisinde gösterir, aynı zamanda kimyasal ihtiyacının genel anlamda azalmasını ve temizleme süreçlerinin hissedilir derecede kısılmasını sağlar. Bundan dolayı, ses ötesi temizleme başta otomotiv ve otomotiv yan sanayi, makine ve tesis imalatı, armatür ve sağlık tesisatı endüstrisi, optik, hassas mekanik işler, saat endüstrisi, galvanik, elektronik, mikroteknoloji, fotovoltaiik, yarı iletken sanayi, koruyucu bakım ve bakım işleri olmak üzere pek çok alanda tercih edilen bir yöntemdir. [1]

Ultrasonik temizleme sistemleri temel olarak dört esas parçadan oluşur. Bunlar ultrasonik dönüştürücü (transducer), ultrasonik üreteç devresi, temizleme kazanı ve temizleme çözeltisidir. Bu birimlerin her biri bir mühendislik problemi olarak ele alınması gereken konulardır.

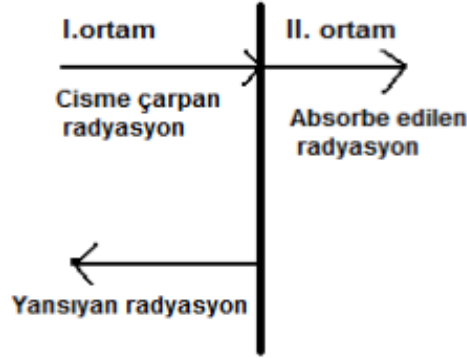
Bu tez çalışmasında, öncelikle ultrasonik dalgaların tanımı ve doğası hakkında bilgilere Bölüm 2’de yer verilmiş ve devamında aynı bölümde ultrasonik temizlik konusu ele alınmıştır. Bölüm 3’te dönüştürücülerin farklı yüklerde empedans değişimleri çıkartılarak incelenmiştir. İki dönüştürücülü ultrasonik temizleme sisteminin tasarlanması, farklı frekans, sıcaklık ve çalışma metotlarında temizlik etkinliği incelenmesi ise Bölüm 5’te yer almaktadır. Sonuç ve öneriler ise Bölüm 6’dadır.

2. ULTRASONİK DALGALAR VE ULTRASONİK TEMİZLEME

2.1 Ultrasonik Dalgalar

2.1.1 Ultrasoniğin tanımı

Ultrasonik, insan kulağının duyabileceği frekans sınırının üzerindeki mekanik ses dalgalarının bilimidir. Herhangi bir elektromanyetik dalga yayılımında olduğu gibi, ultrasonik bir dalga da herhangi bir cisme çarptığı zaman bir kısmı cisim tarafından emilir, bir kısmı da cisim üzerinden geçer. Eğer ses dalgası yansıtıcı cisme doğru yaklaştırılırsa yansıyan frekanslarında değişme olur. Dalgaların yansıdığı cisimle olan bu etkileşmesi bazı fiziksel büyüklüklerin ölçümünde ve hareketli cisimlerin hızını izlemede kullanılmaktadır. Ultrasoniğin içeri işleyebilme özelliği de vardır. Bu özelliği sayesinde tıpta da kullanılmakta ve röntgen ışınlarına göre daha güvenilir olduğu bilinmektedir [3].



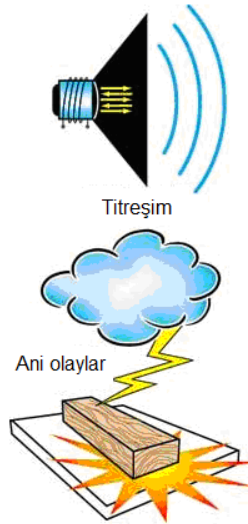
Şekil 2.1 : Bir cisme çarpan dalganın yansıması ve absorbe edilmesi [3].

Ses dalgalarının frekansı onun tonunu belirler. Düşük frekanslı dalgalar kalın tonda (bas), yüksek frekanstaki dalgalar ince tonda (tiz) ses oluştururlar. 18 kHz'in üzerindeki sesler genellikle ultrasonik olarak dikkate alınırlar ve 20-120 kHz aralığındaki ses dalgaları da ultrasonik temizlik için kullanılır, fakat daha yüksek frekanslara da (Örneğin 400 kHz) çıkılmıştır. Endüstrideki temizliklerde en çok

kullanılan frekanslar 20-50 kHz arasındadır. 50 kHz'in üzerindeki frekanslar masaüstü ultrasonik temizleyicilerde, bunlar da daha çok kuyumculuk, diş hekimliği ve yarıiletken alanlarındaki temizlik işlemlerinde kullanılmaktadır [9].

2.1.2 Ses dalgası ve yayılımı

Ultrasoniğin temelini anlamak için önce ses dalgalarının nasıl oluşturulduğunu ve iletim ortamında nasıl yayıldığını anlamak gerekir. İletim ortamında (katı, sıvı, gaz) tek ya da ardı ardına gelen yer değiştirmeler oluşturulduğunda, mesela iletim ortamındaki moleküllerin ani bir yer değiştirmesi veya titreşim hareketleri ses dalgalarını oluşturur. Sesin iletim ortamındaki ani yer değiştirmesine düz bir tahtanın beton bir yüzeye yüksek bir yerden geniş yüzü üzerine düşüşü örnek verilebilir (Şekil 2,2). Bir hoparlörün çalışması esnasında konisindeki havanın yer değiştirmesi durumu mekanik hareket tarafından oluşturulan titreşimli ses dalgalarına güzel bir örnektir. Hoparlör konisi ileri geri hareket ederken koninin önündeki hava sıkıştırılıp serbest bırakılarak ses dalgası oluşturulur ve bunlar yok olana kadar havada hareket eder [8].



Şekil 2.2: Ses dalgasının meydana gelmesi [8].

Sesin dalgasının frekansı, dalga boyu, periyodu ve hızı gibi parametreleri bulunmaktadır. Bir saniye içindeki titreşim sayısına frekans denir. Birimi ise Hertz (Hz)'dir. Dalga boyu, bir dalganın bir periyodu süresince aldığı yoldur.

- **Alçak Frekanslı Ses (Infrasonik):** Sesberi ya da infrases olarak nitelendirilen ses frekansları, 20 Hz'den düşük frekansları kapsar. Böylece insan kulağının duyamayacağı kadar düşük, fakat hava basıncı değişiklikleriyle oluşan ses, dalga frekanslarından daha yüksektirler. İnsan kulağının teorik olarak 20Hz ile 20000Hz aralığını duyduğu söylene de, en iyi 250Hz ve 3000Hz aralığındaki konuşma frekansı duyar.
- **Yüksek Frekanslı Ses (Ultrasonik):** Ses öte ya da ultra ses, insan kulağının duyamayacağı yüksek frekanstaki seslere verilen addır. Frekansı 20kHz'in üzerindedir.
- **Çok Yüksek Frekanslı Ses (Megasonik):** Mega ses ya da megasonik ses frekansları olarak nitelendirilen frekanslar, 800kHz'den büyük olan MHz mertebesinde ölçülen çok yüksek frekanslı seslere denir.

Ultrasonik (ses ötesi) yıkama teknolojisinin ismi de, 20kHz üzerinde frekanslar kullanılmasından gelmektedir. Yaygın olarak 20kHz ve 50kHz'lik frekans aralığı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında tasarlanan ultrasonik temizleme cihazında 35,5kHz ile 41,5kHz arasındaki frekans değerleri kullanılmıştır.

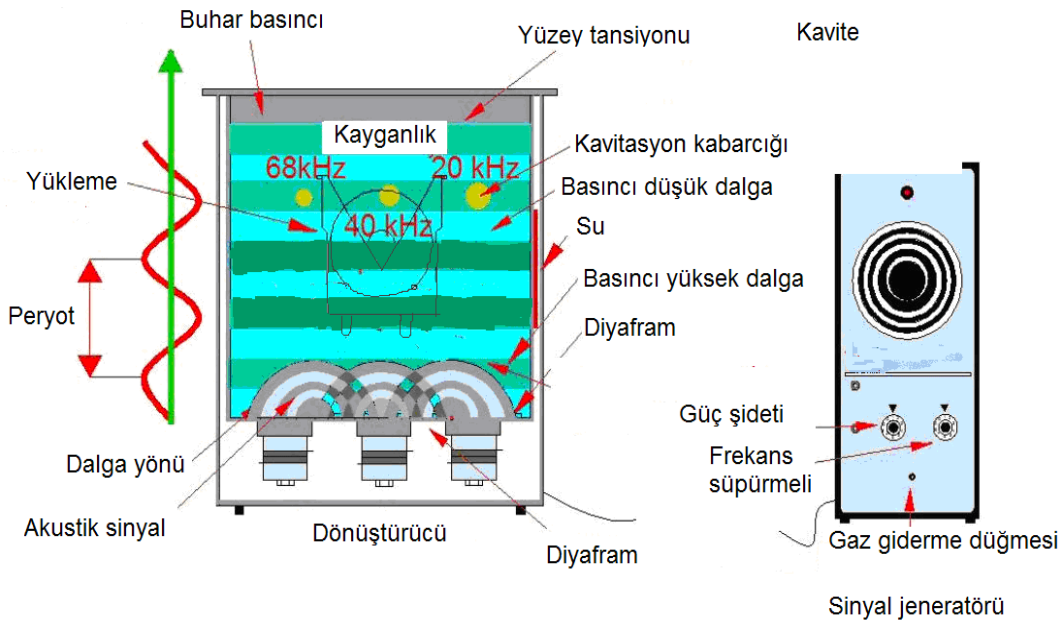
Çizelge2.1: Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı [10].

Ortam	Hız [m/sn]
Sıfır derecedeki havada	331
20 derecedeki havada	343
Sıfır derecedeki helyum gazı	972
25 derecedeki suda	1493
Deniz suyunda	1533
Alüminyumda	5100
Bakırda	3560
Kauçukta	54

2.2 Ultrasonik Temizleme

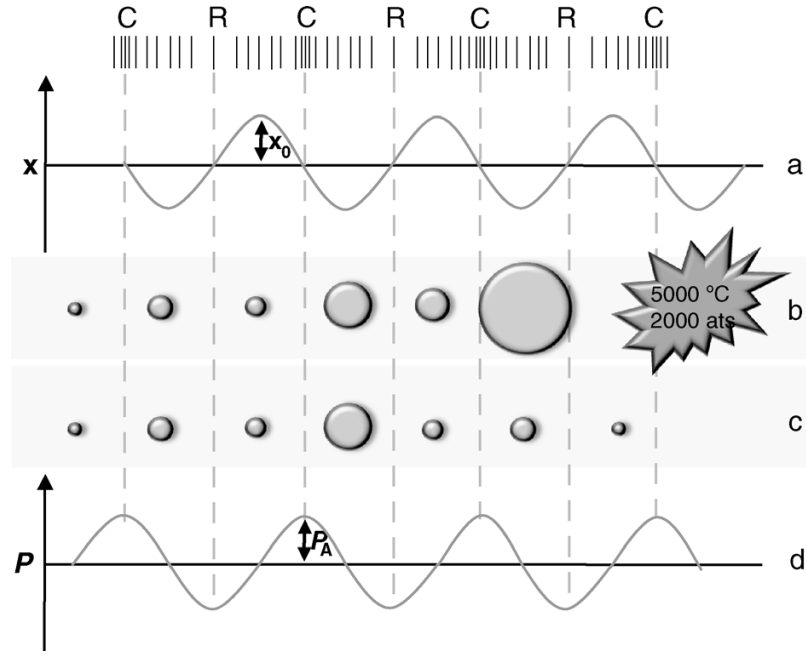
2.2.1 Temel ultrasonik temizleme sistemi ve kavitasyon

Temel olarak bir ultrasonik temizleme sistemi, Şekil 2,3'te görüldüğü üzere, paslanmaz çelikten oluşan metal bir tank, bu tankın tabanına ya da yan yüzeyine yapıştırılmış piezo-seramik dönüştürücüler, ultrasonik üreteç (sinyal jeneratörü), ve temizleme çözeltisinden oluşmaktadır.



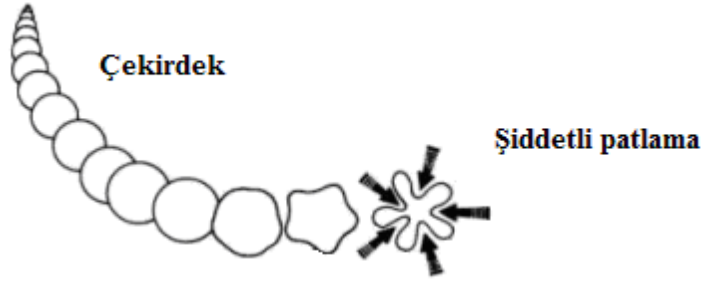
Şekil 2.3 Ultrasonik Temizleme sistemi.

Piezo seramik dönüştürücüler (transducer) uygulanan elektrik sinyali ile aniden şekil değiştirebilme özelliğine sahiptirler. Bu şekil değiştirme ile uygulanan elektrik sinyalinin frekansına ve genliğine bağlı olarak yüksek frekanslı mekanik ses sinyali üretilmiş olur. Ses geçirgenliği yüksek özel bir yapıştırıcıyla kazanın tabanına yapıştırılan dönüştürücüler yüksek frekanslı ses sinyallerini tank içerisindeki sıvıya iletirler. Bu yüksek frekanslı ses sinyalleriyle sıvıda basıncı artırılmış ve azaltılmış ultrasonik dalgalar meydana gelir. Şekil 2.3' de bu dalgalar görülmektedir.



Şekil 2.4 Kavitasyon oluşumu, (a) Sıvıdaki yer değiştirme, (b) Geçici kavitasyon, (c) Sabit kavitasyon, (d) Sıvıdaki basınç değişimi.

Sıvı yüksek basınç fazında sıkıştırılmış olur, alçak basınç dalga fazında ise aniden bırakılır. Sıvıdaki basınç azalırken mikroskopik çekirdeklerdeki boşluklar genişler ve sıvı içinde ayrışmalar olur. Ardından gelecek yüksek basınçta ise bu boşluklar (kavitasyon) daraltılır, daha sonraki alçak basınçta boşluk büyümeye devam eder. Süreç bu şekilde devam ederken boşluk öyle kritik bir büyüklüğe ulaşır ki daha fazla büyüklüğünü koruyamaz ve basıncı artırılmış faz esnasında çok güçlü bir şekilde içine çöker. Bu güçlü patlama esnasında noktasal ama çok yüksek bir sıcaklık etkisi ve her yöne yayılan şok dalgaları meydana gelir. Şok dalgalarının etkisi ile jet hızındaki plazmalar sıvı içinde nerelerde nesne varsa çarpar ki kir, pas, kireç ve yağ ne varsa temizler. Aslında tek bir kavitasyon kabarcığının bıraktığı enerji çok fazla değildir, fakat tankın içinde bu kabarcıklardan her saniyede milyonlarcası meydana gelir, böylece ultrasonik temizlik için gerekli enerji sağlanmış olur. Bu şekilde ultrasonik temizleme işlemi gerçekleşmiş olur. Özellikle erişilmesi zor olan bölgelerdeki kir ve pası hızlı bir şekilde temizleyebilmektedir[2, 5, 8, 9, 10, 12]. Şekil2.5 ve Şekil2.6’ da kavitasyon baloncuklarının patlaması aşamaları gösterilmiştir.



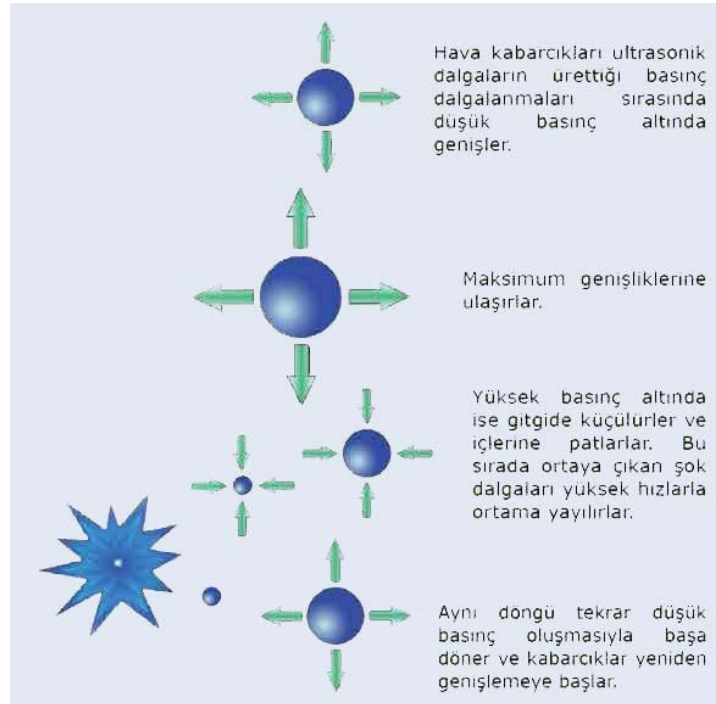
Şekil 2.5 Bir kavitasyon kabarcığının içine çökmesi [8].

Temizleme esnasında sıvı içerisindeki oluşacak kavitasyon kabarcıklarının ne kadar büyüyeceği kullanılan dönüştürücüye, uygulanan sinyalin genliği ve frekansına bağlıdır. Ayrıca kavitasyon yalnızca sıvı içerisindeki yerel basıncın sıvının buhar basıncından daha düşük bir değere azaltıldığı zaman meydana gelir [8,11]. Bu sebeple kavitasyonu başlatmak için gerekli minimum güç seviyesi her sıvıya göre değişiklik gösteren bir kavitasyon eşik parametresine bağlıdır. Ultrasonik temizlemenin gerçekleşebilmesi için bu değerin aşılması gerekir. Diğer taraftan uygulanan enerjinin belirli bir üst limiti de mevcuttur. Kavitasyon erozyonu olarak bilinen olumsuz etki oluşana kadar temizleme gücü artırılabilir. Güç daha da yükseltirirse ultrasonik yayılım etkisi azalarak temizleme verimliliği düşer [5,8].

Bir kez kavitasyon olayı başladıktan sonra güç seviyesi eşik değerinden daha aşağı seviyelere indirilse de kavitasyon işlemi devam eder. Ultrasonik temizlik için dikkate alınacak aralık bu iki nokta arasındadır. Yani üst sınır olan kavitasyon erozyonunun başlamasına sebep olacak güç değeri ile kavitasyon olayını sürdürmeye yeterli olan minimum güç değeri aralığıdır [8,11].

Suslick, 1994 yılında yayımlanan çalışmasında kavitasyonu sadece sıvıların içerisinde, kabarcıkların biçimlenmesi, büyüme ve ani içeri çökme aşamalarından oluştuğunu tanımlanmıştır. Boşluğun genişlemesi ve içine çökmesi çevre şartlarına bağlıdır. Boşluğun homojen bir sıvıda çökmesiyle bir katı-sıvı ara yüzüne yakın noktada çökmesi arasında oldukça fark vardır. Yüksek frekanslı ses sıvı içerisinde geçerken, genleşme dalgaları molekülleri birbirlerinden uzaklaştıracak negatif basınç uygular. Eğer bu ultra ses yeterince yoğunsa genleşme dalgaları sıvı içerisinde boşluklar yaratır[1,8]

Kavitasyon boşluğunun farklı basınç alanlarında genişlemesi, daralması ve patlaması Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. Kısacası kavitasyon boşluğu kritik seviyeye ulaştıktan sonra patlar. Bu kritik seviye, tınlışım boyutuna, sıvıya ve sesin frekansına bağlıdır. Söz gelimi, 20kHz de oluşacak boşluğun boyutu 170µm’dir [1,4]. Kritik seviyeye ulaşan boşluk artık yüksek ve düşük ses yoğunluğunda daha fazla enerji emilimi gerçekleştiremez ve enerji girişi olmadan da boşluk kendini koruyamayacağından; boşluğu çevreleyen sıvı içerisine dolmaya başlayarak boşluğun yıkılma patlamasına neden olur. Bu patlamalar, daha önce anlatılan minimum güç seviyesinin üzerinde meydana gelir. Örneğin bu eşik değer 20kHz’e maruz kalan sıradan bir sıvı için birkaç W/cm^2 ‘ dir[1,4, 6, 7].



Şekil 2.6 Sıvı içinde kavitasyon oluşumu [1].

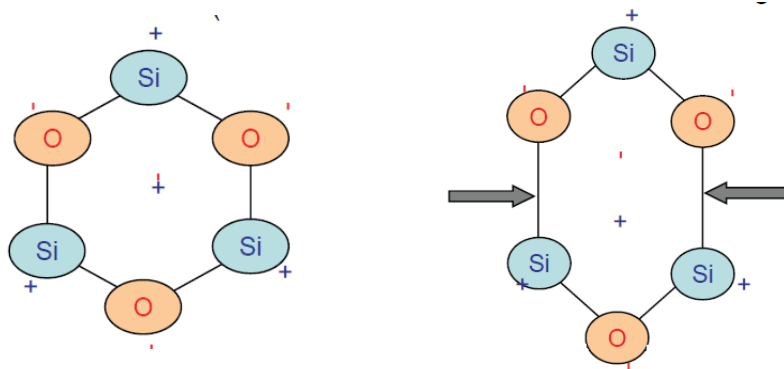
Kavitasyon doğanın bilinen en etkili ve en etkili enerji yoğunluğu yükselticisidir. Her kabarcık çökmesi, yerel sıcaklığın 5000 °C ve basıncın 2000 atmosfer değerini aşmasına neden olur[1,7]. Fakat ömrü 0,1 saniyeden kısadır, ısıtma ve soğutma oranları saniyede 10 milyar °C’ den fazladır [1,7].

2.2.2 Ultrasonik temizleme sistemini oluşturan parçalar

Daha önce giriş bölümünde de bahsedildiği üzere, bütün ultrasonik temizleme sistemleri dört temel bileşenden oluşur. Bunlar dönüştürücü, ultrasonik sinyal üretici, temizleme tankı ve tankın içerisindeki temizleme çözeltisidir. Sistemin yüksek temizleme performansı, güvenilirliği ancak bu bileşenlerin doğru tasarımı ile gerçekleşebilir.

2.2.2.1 Piezoelektrik dönüştürücüler

Piezoelektrik dönüştürücülere elektrik alanı uygulandığı zaman polarize moleküller bu yüke göre kendilerini sıralar. Böylece malzemenin moleküler ve kristal yapısında Şekil 2.7’ de görüldüğü gibi dipoller oluşur. Başka bir deyişle, uygulanan elektriksel sinyalin genliğine ve frekansına bağlı olarak malzemenin moleküler yapısındaki değişim yüksek frekanslı titreşimleri oluşturur.



Şekil 2.7 Piezoelektrik Etki (SiO₂).

Bu etki piezoelektrik etki olarak bilinir. Verimleri %70 ile 90 arasında değişmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.8’de piezo seramik dönüştürücünün iç yapısı görülmektedir. Şekil 2.9’da ise bu tez çalışmasında kullanılan kazana alttan yapılandırılmış dönüştürücüler görülmektedir.

Esas olarak bu dönüştürücüler, iki kalay şerit arasına yerleştirilmiş seramik kristallerden yapılmışlardır. Dönüştürücüler diyafram olarak adlandırılan kazanın alt kısmına yapılandırılmıştır. Kristaldeki mekanik titreşimler diyaframın hareket etmesini sağlar. Bu sırada basınç dalgaları oluşarak kazan içerisindeki sıvı çözeltiye taşınır. Kristalin kütlesi, paslanmaz çelik diyaframın kütlesi ile uyum içerisinde

olmadığından; diyafram ve kristal arasında alüminyum bağlantı kütlesi kullanılır. Böylece iki malzeme arasındaki mekanik empedans uyumlu hale getirilir.



Şekil 2.8 Piezo seramik dönüştürücünün iç yapısı.



Şekil 2.9 Tez çalışmasında kullanılan kazana alttan yapıştırılmış dönüştürücüler.

2.2.2.2 Ultrasonik temizleme tankları

Çoğunlukla tabanı dikdörtgen şekilde olup, istenen büyüklükte paslanmaz çelikten imal edilirler. Mümkün olduğunca ince ancak aynı zamanda da istenen dayanıklılığı sağlayabilecek kalınlıkta olmalıdır.

Temizleme kazanları üç kategoride incelenebilir. Bunlar:

- 1) Küçük bir oyuncak gibi görünen tiplerdir. Bunlarda küçük dönüştürücüler kullanılmıştır ve oldukça basit yapıya sahip üreteçlerle birlikte hafif işlerde kullanılırlar, örneğin kontak lenslerin temizliğinde.
- 2) Diş hekimliği malzemelerinin temizliğinde kullanılan masa üstü küçük temizleyicilerdir. Bunların daha büyük dönüştürücüleri ve daha kaliteli üreteçleri vardır. Küçük parçaların ve laboratuardaki camdan yapılmış deney aletlerinin temizlenmesinde kullanılır. Uzun bir zaman periyodu içinde kullanabilirler. Bunların çoğunun üreteçleri kendi içlerindedir.
- 3) Büyük ebatlarda dönüştürücüleri ve dönüştürücü başına daha güçlü enerji verebilecek kapasitede büyük üreteçler vardır ve sanayide ağır işlerde kullanılırlar. Üreteçler kazandan ayrı bir yerde konumlandırılırlar. Bunlar daha verimli temizleme yapabilirler ve üretim amaçlı temizlik işlerinde kullanılabilirler.

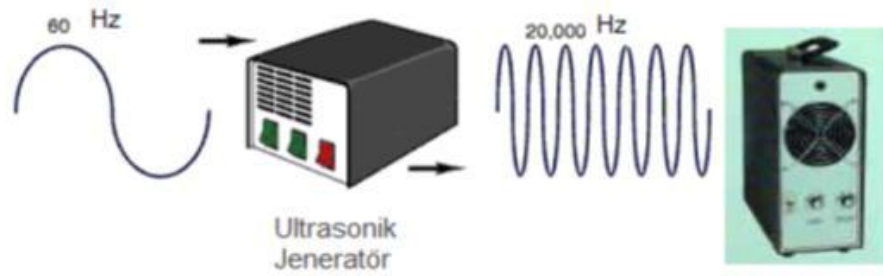
Bu tez çalışmasında Şekil 2.10'da görülen, yaklaşık dört litre sıvı kapasiteli kazan kullanılmıştır.



Şekil 2.10 Tez çalışmasında kullanılan 4lt kapasiteli temizleme tankı.

2.2.2.3 Ultrasonik üreteçler

Ultrasonik üreteç, güç kaynağından aldığı enerjiyi (şehir şebekesi gibi) istenen frekans, genlik ve güçteki sinyale çevirerek dönüştürücüyü sürer. Dönüştürücü bu sinyali aldığı anda şekil değiştirir ve sinyal uygulandığı müddetçe titreşim yapmaya devam eder. Dönüştürücünün rezonans frekansı dar bir bölgede olduğundan, bu aralıkta bir sinyal üretilmesi gerekir. Genel olarak 18kHz ile 120kHz arasında istenen genlikte ve güçte sinyal üretecek şekilde tasarlanırlar.



Şekil 2.11 Ultrasonik üreteşte yüksek frekanslı sinyal elde etme.

Üreteçler dönüştürücülere uygun olarak belli güçlerde imal edilirler. Tipik bir üreteç genellikle dönüştürücünün gücünü kontrol edebilir ve dönüştürücünün çalışma frekans aralığı dikkate alınarak frekans taramalı olarak yapılandırılabilir. Bu tez çalışmasında tasarlanan üreteç devresi 80W gücünde olup iki adet dönüştürücüyü 35-39kHz frekans aralığında farklı modlarda sürmektedir.

2.2.2.4 Temizleme sıvısı

Günümüz endüstrisinde farklı temizleme taleplerine cevap verebilecek, temizleme amacına uygun olarak optimum temizlik sağlayacak ve kavitasyon korozyonunu önleyebilecek çeşitli formüllerden oluşan çözeltiler ve deterjanlar geliştirilmiştir. Temizleme özelliklerini incelendiğinde, genel kirler, katı-sıvı yağ artıkları, delme, yontma, hav ve parlak kalıntıları, mürekkep, kurum kirleri, kireç, pas, çimento, metal oksitler, reçine, destilasyon artıkları, organik ve inorganik kalıntılar vb. amaçlar için farklı temizleme çözeltileri geliştirilmiştir. Bunlar genel anlamda sıvı yüzey gerilimini azaltan ve temizleme etkinliğini artırıcı maddelerden oluşur. Sıvı yüzey geriliminin düşmesiyle, kavitasyon etkinliği artar.

Ultrasonik kazan içinde tek etkili değişken çözüldür. Bazı sıvılar oda sıcaklığında iyi çalıştığı halde bazıları 60-70°C derecede iyi iş görür. Bazı sıvılarda çözeltinin içine ultrasonik enerjiyi etkin bir şekilde transfer edebilmesi için temizlik maddelerine ihtiyaç duyulur. Su ile temizlikte, çoğu zaman temizleme malzemesine ihtiyaç duyulur ve daha iyi sonuç verebilmesi için sıcaklığının da yüksek olması gerekir. Deterjanın seçimi temizlenecek olan kire bağlıdır. Bu herhangi bir ultrasonik temizleme işleminde yapılacak önemli seçimlerden biridir.

2.2.3 Kaviteasyon erozyonu

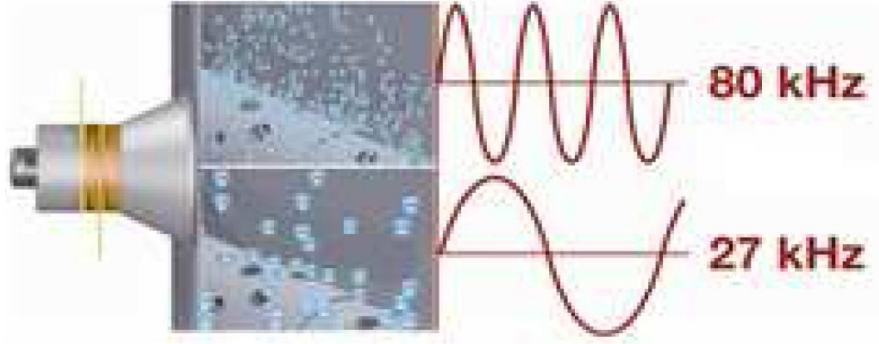
Kaviteasyon kabarcığı patladığı (yani şiddetli olarak içeri çöktüğü) zaman sıcaklık noktasal olarak 5000 °C kadar ulaşır ve saatte yaklaşık 800km giden şok dalgalar oluşturur [8,13]. Uzun süre temizliğe maruz kalan malzemede kaviteasyon erozyonu meydana gelir. Temizleme kazanının tabanında da uzun yıllar kullanım sonucunda aynı sebepten aşınmalar meydana gelebilir. Bu olay düşük frekanslarda daha etkili olmakla beraber yüksek frekanslarda da gerçekleşebilir.

Bir ultrasonik sistemin gücü ve frekansı temizlenecek parçanın özelliklerine uygun olarak seçilmelidir. Böylece parça hasardan korunabilir. Bununla beraber yüksek frekanslarda güç daha düzgün yayılır ve bu da parçanın daha iyi temizlenmesi sağlar. Ayrıca yüksek frekanslar daha küçük kaviteasyon kabarcığı oluşturduğundan daha ince ve hassas parçaların temizlenmesine olanak sağlar.

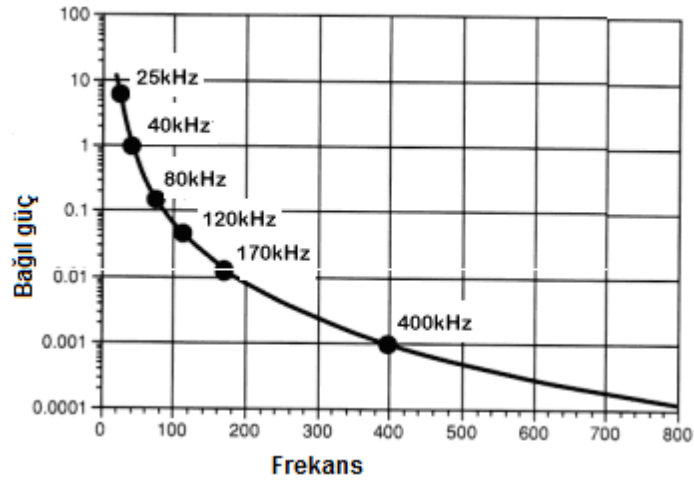
2.2.4 Yüksek ve düşük çalışma frekanslarının karşılaştırılması

Temizlenecek kirin türüne ve malzemenin cinsine göre farklı frekanslı ultrasonik temizleme sistemleri kullanılmaktadır. 170kHz'lik sistemler oldukça sessizdirler. İnsan kulağının duyma aralığından uzak olduğu için yan harmonikler üretilmez ve rahatsız edici bir durum oluşmaz. Yüksek frekanslı temizleme sistemleri küçük ve hassas parçaların temizlenmesinde kullanılır. Frekans arttıkça kaviteasyon baloncuğu miktarı doğrusal olarak artar ve daha çok homojen bir yoğunluk elde edilir. Şekil 2.12'de bunu görmek mümkündür.

Yüksek frekansta güç sabit tutulduğu zaman kavitasyon baloncuklarının boyutları ve enerjileri azalır böylece temizlenen kir parçası çok küçük boyutlara iner ve temizlenen parçaya zarar verilmez [5,8]. Frekans arttıkça baloncuk başına düşen enerjinin azaldığı Şekil 2.13’ deki grafikten anlaşılabılır. Böylece erişilmesi zor bölgelerdeki kirlerin temizlenmesine de imkan sağlanır. [5,11].

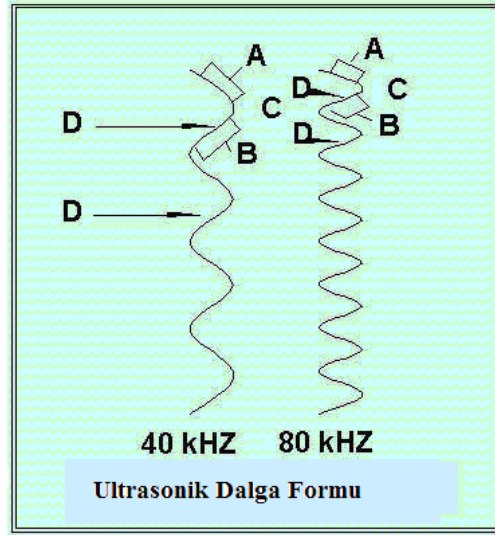


Şekil 2.12 Farklı frekanslarda kavitasyon kabarcığı boyutları [5].



Şekil 2.13 Değişen frekanslara karşılık gelen bağıl güçler [11].

Düğüm noktaları ile düğüm oluşturmeyen bölgedeki maksimum genlikli kısım arasındaki uzaklık kullanılan frekansa göre değişmektedir. Örneğin 20kHz'lik dalgada bu uzaklık 40kHz'lik sistemin iki katıdır. Kaviteasyon ise düğüm olmayan bölgelerde oluşur. Bu sebeple bu bölgeler düşük frekanslarda daha uzundur. Ancak bununla beraber ölü bölgeler yani kaviteasyonun olmadığı bölgeler de daha geniştir.

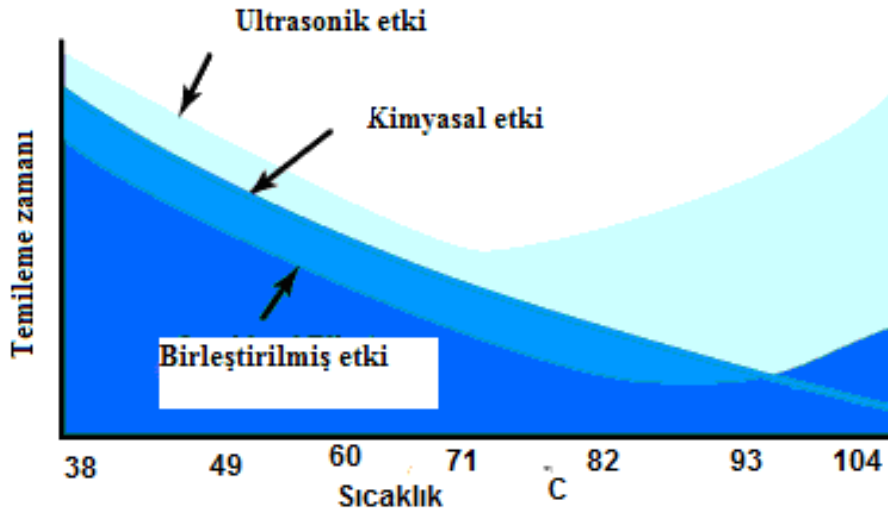


Şekil 2.15 Ultrasonik dalga formları [8].

Bu nedendir ki düşük frekanslarda daha yavaş kaviteasyon oluşmasına rağmen baloncuklar daha büyük olacağından daha güçlü patlama olur ve daha fazla kaviteasyon yoğunluğu sağlanır. Ancak daha az homojenlik ve tutarlılık mevcuttur. Heterojenliği azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak için frekans süpürmeli ya da çoklu frekans sistemleri kullanılmaktadır. Böylece birkaç örtüşen duran dalga aynı zamanda oluşturulabilir ve bunun sonucunda ölü bölgeler azaltılarak kaviteasyon oluşumu farklı bölgelere kaydırılarak daha homojen bir temizlik elde edilir. Frekans arttıkça baloncukların boyutu küçülecek ve ulaşamayan bölgelerle birlikte daha homojen bir temizlik yapılacaktır. Şekil 2.15’de farklı frekanslardaki ultrasonik dalga formları görülmektedir [11]. Şekil üzerinde, D noktaları arasındaki uzaklık patlamalar arasındaki süreyi temsil eder. Düşük frekansta bu süre daha uzundur. A noktaları sıkıştırma fazını B noktaları gevşeme fazını temsil eder. Düşük frekanstaki A ve B süreleri daha uzundur. Dolayısı ile baloncukların büyümesine daha çok zaman ayrılmış olur ve baloncuklar daha çok büyür. C noktaları da sıkıştırmanın maksimum olduğu anı gösterir [5].

2.2.5.2 Sıvının yüzey gerilimi, buhar basıncı, kayganlığı ve yoğunluğu

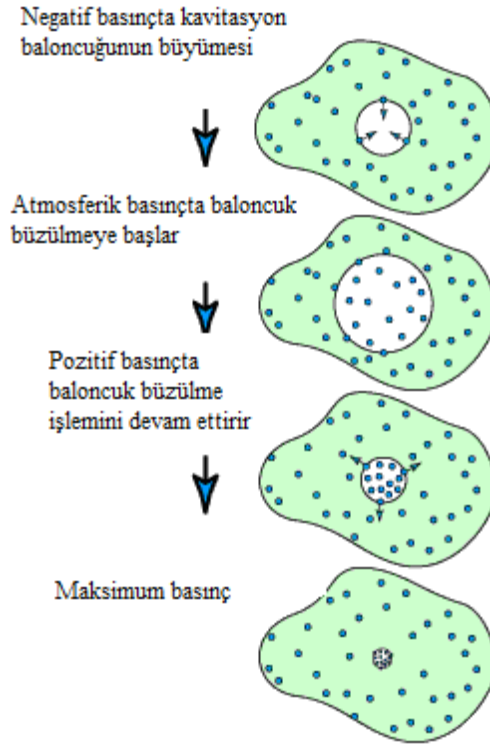
Optimize bir temizlik için sıcaklık göz önünde bulundurulmuş en önemli etkidir. Zira kavitasyon baloncuğunun oluşumunda etkili olan sıvının kayganlığı, sıvı içerisindeki gazın çözünürlüğü, çözünmüş gazın sıvı içerisindeki difüzyon oranı ve buhar basıncı bunların hepsinin değişmesi sıcaklığın değişmesine bağlıdır. Saf sudaki kavitasyon 71°C civarında maksimize edilmektedir (Şekil 2.16) [15]. Maksimum temizlik için sıvının kayganlığının (viskozite) minimum olması gerekir. Sıvı kayganlığını artması kavitasyon baloncuğunun hızlı oluşumu ve patlamasına olumsuz etki yaratmaktadır. Sıcaklığın artışı çoğu sıvıların kayganlığını azaltır.



Şekil 2.16 Temizleme süresinin sıcaklıkla değişimi.

Temizleme sıvısındaki çözünmüş gaz miktarı da önemli bir etkidir. İyi bir temizleme için, temizleme sıvısının mümkün olduğunca az miktarda çözünmüş gaz içermesi gerekmektedir. Sıvı içindeki ses dalgalarındaki negatif basınç (basıncı azaltılmış dalgalar) süresince sıvıda ayrışma olur ve kavitasyon baloncuğu büyümeye başlar. Negatif basınçtaki kavitasyon baloncuğu büyürken sıvı içinde bulunan çözünmüş gazlar baloncığa doğru hareket ederek baloncğun içine girerler. Negatif basınçlı dalgalar bitip pozitif dalgalar başladığında ve baloncğun iç basıncı ile dış basıncı eşit olduğunda baloncuk büzölmeye başlar. Sıkıştırılma esnasında dışarıdan baloncğun içine girmiş olan çözünmüş gazlar da sıkıştırılacak ve bu gazlar tekrar dışarı çıkmak isteyecektir. Fakat baloncuk, içinde gaz içerdiği müddetçe

patlatılamayacak, ancak ezilmiş küçük bir gaz paketçigi halinde kalacaktır. (Şekil 2.17)



Şekil 2.17 Sıvıdaki çözülmüş gazların kavitasyona etkisi.

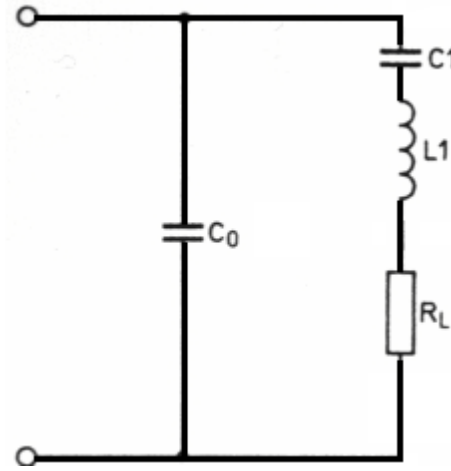
Bir diğer önemli etken ise yüzey gerilimidir. Sıvının yüzey gerilimi arttıkça minimum kavitasyon oluşabilme enerjisi artar. Ancak bu durumda kabarcık patladığında daha fazla şok dalga enerjisi meydana getirir. Saf suyun yüzey tansiyonu $72 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$ civarındadır, oda sıcaklığında kavitasyon zor oluşturulur. Ancak sıvıya yüzeyde aktif bir kimyasal malzeme (deterjan) katıldığında yüzey gerginliği $30 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$ ye düşer ve kavitasyon oluşturulabilir [11]. Sıvının buhar basıncı düşük olduğu zaman, soğuk suda olduğu gibi kavitasyon üretimi zordur fakat sıcaklık arttıkça buhar basıncı değeri gitgide yükselir. Her sıvının kendine has sıcaklık kavitasyon ilişkisini gösterir bir karakteristik eğrisi mevcuttur [5].

3. ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜ EMPEDANS ÖLÇÜMLERİ VE MODELLEME

3.1 Piezoelektrik Dönüştürücünün Modellenmesi

Ultrasonik dönüştürücünün doğru güç ve frekans değerlerinde sürülmesi ultrasonik temizlemede hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple kullanılan piezoelektrik seramiğin elektriksel davranışının doğru modellenmesi oldukça önemlidir. Doğru modellenen ve rezonans frekansında sürülen piezoelektrik seramik, üreteç devresi ile harmoni içerisinde maksimum titreşim sağlar. Aksi durumda, üreticinin çıkış frekansı piezoelektrik seramiğin rezonans frekansı ile çakışmaz ise verimlilik ve güç düşer, ve bunun uzun süre devam etmesi durumunda malzeme deforme olur.

Literatürde piezoelektrik seramiğin rezonans frekansına yakın davranışını modelleyen en temel eşdeğer devre Şekil 3.1’ de görülen Butterworth – Van Dyke Transducer Model’dir [16].



Şekil 3.1 Butterworth-Van Dyke Transducer Model.

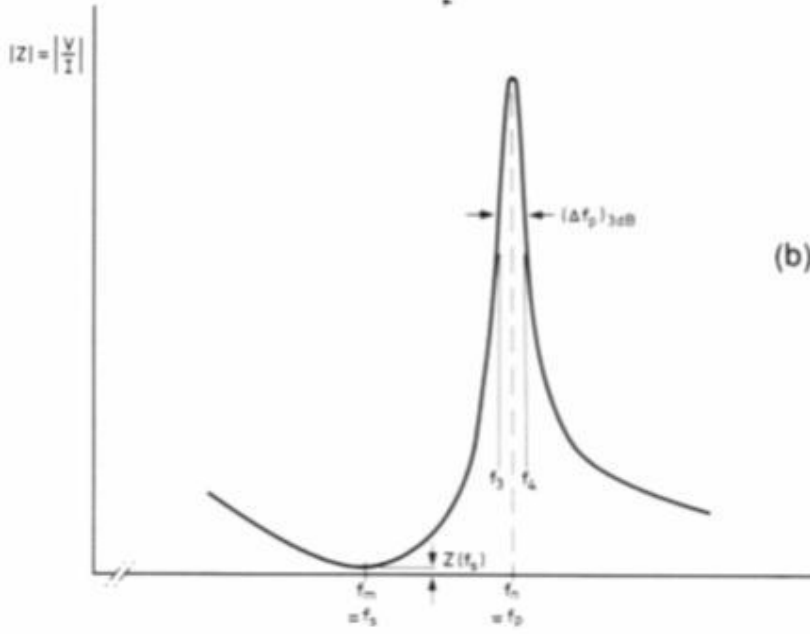
C_0 : Rezonans frekans altında, ultrasonik dönüştürücünün statik kapasitansı,

R_L : Mekanik kayıpların neden olduğu değişken rezistans

C_1 : Mekanik devrenin kapasitansı

L_1 : Mekanik devrenin endüktansı

Bu devre modeline ilişkin tipik empedans eğrisi Şekil 3.2 de görülmektedir. Bu karakteristik eğrisi için L_1 ve C_1 değerlerinin etkili olduğu bir adet minimum empedans noktası (f_s), ve bir adet minimum admitans noktası (f_p) bulunmaktadır. Bu noktalar dikkate alınarak eşdeğer devre elemanları tespit edilebilir.



Şekil 3.2 Butterworth-Van Dyke Transducer Model'ine ilişkin empedans eğrisi.

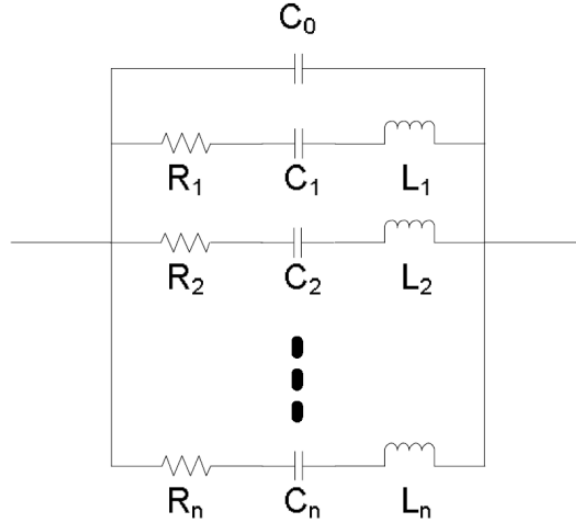
Empedans eğrisinde bulunan minimum ve maksimum empedans noktaları 3.1 ve 3.2 denklemlerinden hesaplanır.

$$f_s - \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} = 0 \quad (3.1)$$

$$f_p - \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0 + C_1}{L_1 C_0 C_1}} = 0 \quad (3.2)$$

Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da mevcuttur. Bilindiği üzere, ultrasonik temizlik için kullanılan piezoelektrik seramikler mekanik olarak alüminyum blok üzerinden temizleme kazanının diyaframı (taban ya da yan yüzey olabilir) yüzeyine monte edilirler. Mekanik olarak herhangi bir yüzeye monte edilen piezoelektrik seramiğin mekanik sınır koşulları değişir [17]. Bu sebeple kazana

monte edildikten sonra piezoelektrik seramiğin empedans karakteristiğinde birden fazla rezonans noktası oluşabilmektedir. Literatürde bunun modellenmesi için Şekil 3.3.' te görüldüğü üzere, paralel R-L-C blokları eklenerek genişletilmiş Van Dyke Transducer Model'i de tanımlanmıştır[18].

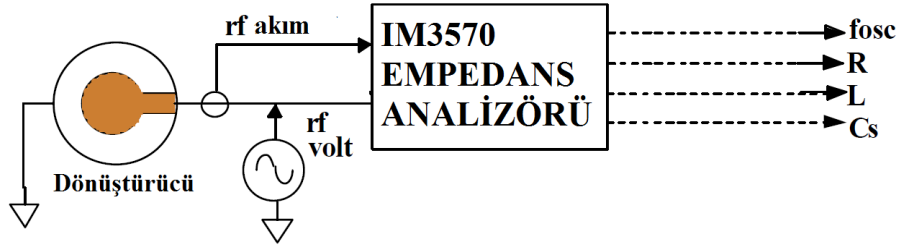


Şekil 3.3 Genişletilmiş Van Dyke Transducer Model.

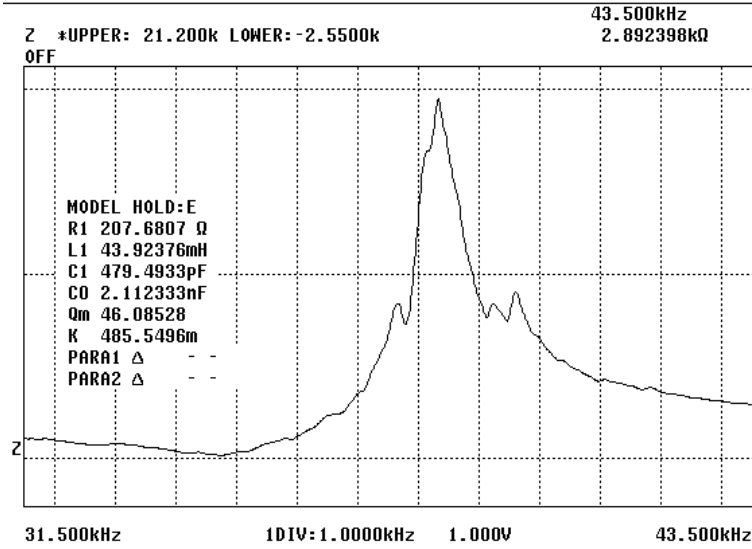
Ancak ultrasonik temizlemede esas olan kullanılan piezoelektrik seramiğin yüke göre rezonans değişim aralığının belirlenmesi ile beraber C_0 , R_L , C_1 , L_1 parametrelerinin belirlenerek modellenmesi olduğundan ötürü Genişletilmiş Van Dyke Transducer Model'i kullanılmamıştır. Genişletilmiş model temel olarak empedans ölçümüne dayalı ultrasonik sensör sistemlerinin modellenmesinde tercih edilmektedir.

3.2 Empedans Ölçümleri

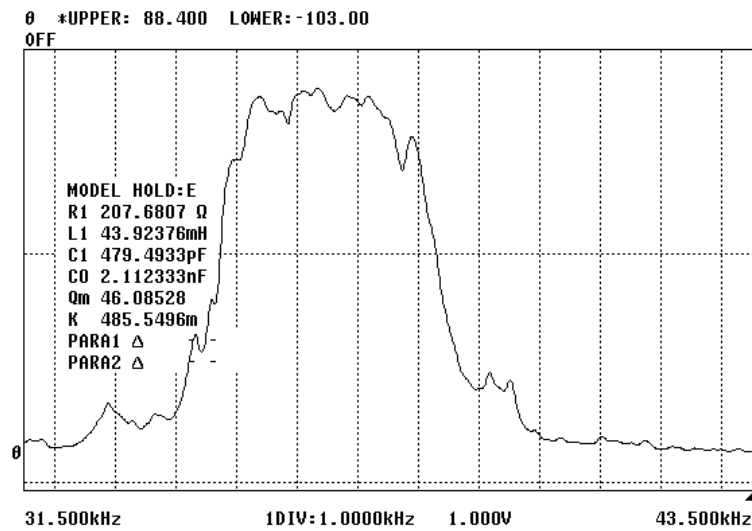
Kullanılan piezoelektrik seramiğin empedans ölçüm ve modellenmesini gerçekleştirmek üzere İTÜ VLSI Laboratuvarında bulunan IM3570 empedans analizörü (Impedance Analyzer) kullanılmıştır. Ölçüm için kullanılan bağlantı şeması Şekil 3.4' de görüldüğü gibidir. Referans gerilimi 1V seçilerek 31.5kHz – 43.5kHz frekans bandı 15Hz'lik artırımlarla taranmış ve empedans karakteristikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.4 Empedans ölçümü için kullanılan bağlantı şeması.

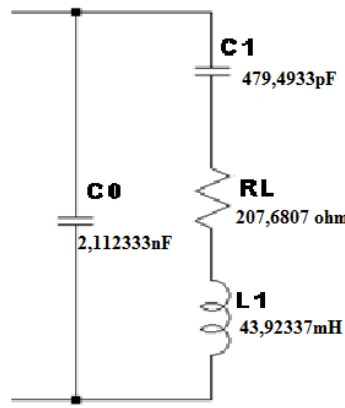


Şekil 3.5 Kazan boş iken dönüştürücünün (Z) empedans değişim karakteristiği.

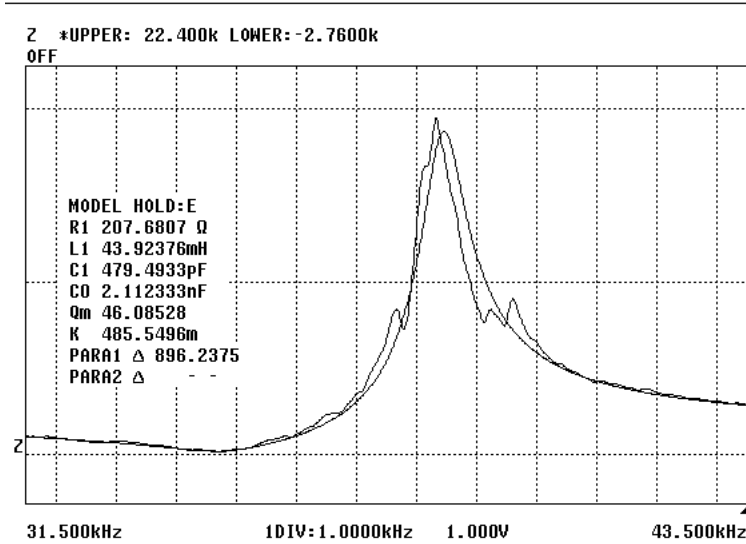


Şekil 3.6 Kazan boş iken dönüştürücünün (θ) faz açısı değişim karakteristiği.

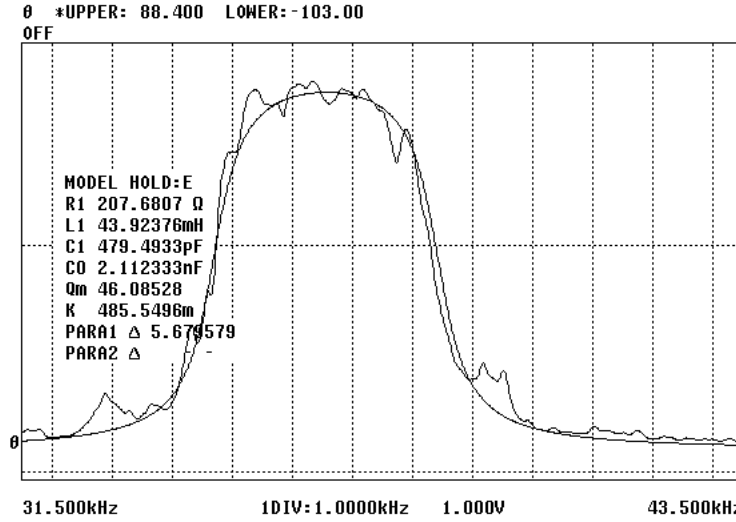
Dönüştürücünün empedans değişiminden maksimum empedans noktası 38,255kHz ve bu noktadaki empedans değeri 19,49188k Ω olarak ölçülmüştür. Devamında dönüştürücünün faz değişimi Şekil 3.6'da görüldüğü gibi elde edilmiştir. Aynı zamanda grafikler üzerinde de görüleceği üzere Butterworth-Van Dyke Transducer Model parametreleri de belirlenmiştir. Bunun neticesinde elde edilen eşdeğer devre Şekil 3.7'de görülmektedir. Eşdeğer devre parametreleri kullanılarak empedans ve faz grafikleri çıkartılarak gerçek ölçüm grafikleri ile üst üste çizilmiştir. (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Bu durumda empedans eşdeğer devresi Şekil 3.7'de görüldüğü gibi çıkarılmıştır.



Şekil 3.7 Empedans eşdeğer devresi.



Şekil 3.8 Kazan boş iken dönüştürücünün ve eşdeğer devrenin empedans (Z) değişimi.



Şekil 3.9 Kazan boş iken dönüştürücünün ve eşdeğer devrenin faz açısı (θ) değişimi.

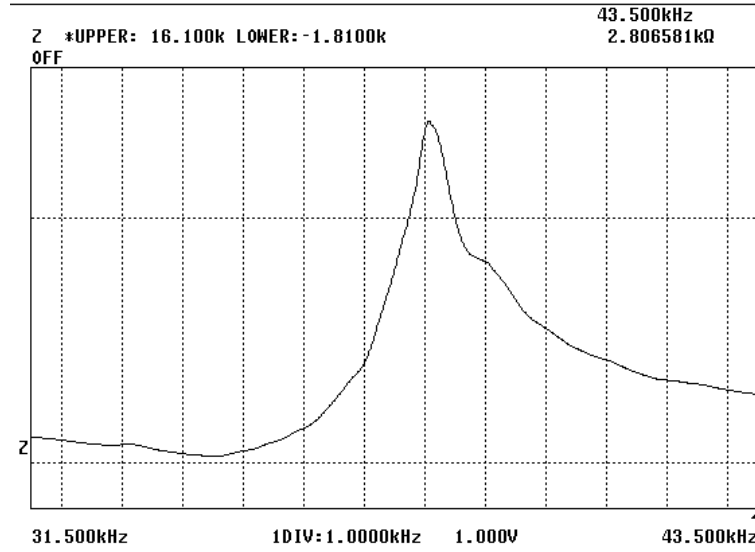
Şekil 3.7' deki ultrasonik dönüştürücünün eşdeğer devresinden maksimum güç elde edebilmek için arada empedans uydurma devresi ilave edilmelidir. Rezonans frekansında ve çalışma bandı aralığında seri kol üzerinde bulunan L ve C elemanları birbirinin duali gibi davranacağından geriye sadece $R=207\Omega$ direnci kalacaktır. Bu durumda 2.11nF değerindeki paralel kapasitenin çalışma frekans aralığına uygun dualinin bir devre ile ilave edilmesi gerekmektedir.

Ultrasonik temizlik için empedans modellenmesinde bir diğer önemli nokta ise, kazanın sıvı seviyesine ve yük durumuna göre değişen rezonans frekansıdır. Başka bir deyişle, farklı kütle ve hacimdeki malzemelerin temizlenmesi ve kazandaki sıvı miktarının değişmesi piezoelektrik seramiğin elektriksel karakteristiğini etkilemektedir. Bu sebeple farklı sıvı seviyelerinde ve yük durumuna göre empedans değişimleri de elde edilmiştir. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 deki empedans ve faz farkı değişimleri kazan 3.5lt sıvı dolu ve içerisinde yük olarak metal sepet var iken ölçülmüştür.

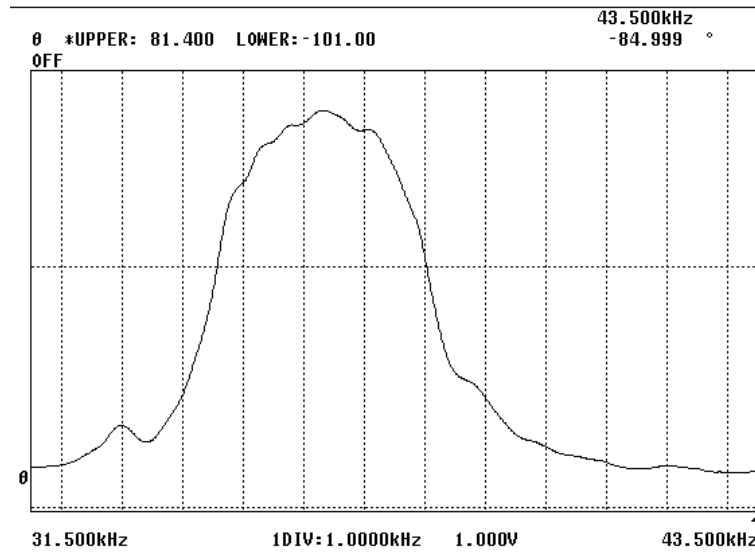
Şekil 3.10'da da görüldüğü üzere, maksimum empedans değeri 38.055kHz frekansında 13.983k Ω olarak ölçülmüştür. Daha önce boş kazanda bu değerler 38,255kHz' de 19,49188k Ω olarak ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 3.10'daki yüklü dönüştürücünün rezonans frekans bandı 38.505kHz – 37,710kHz aralığı olarak hesaplanmıştır.

Kazanın sıvı seviyesi değişimine karşılık rezonans frekansı değişimi de çıkartılmıştır (Şekil3.12). Farklı sıvı seviyelerinde temizleme kazanının diyaframına bağlı

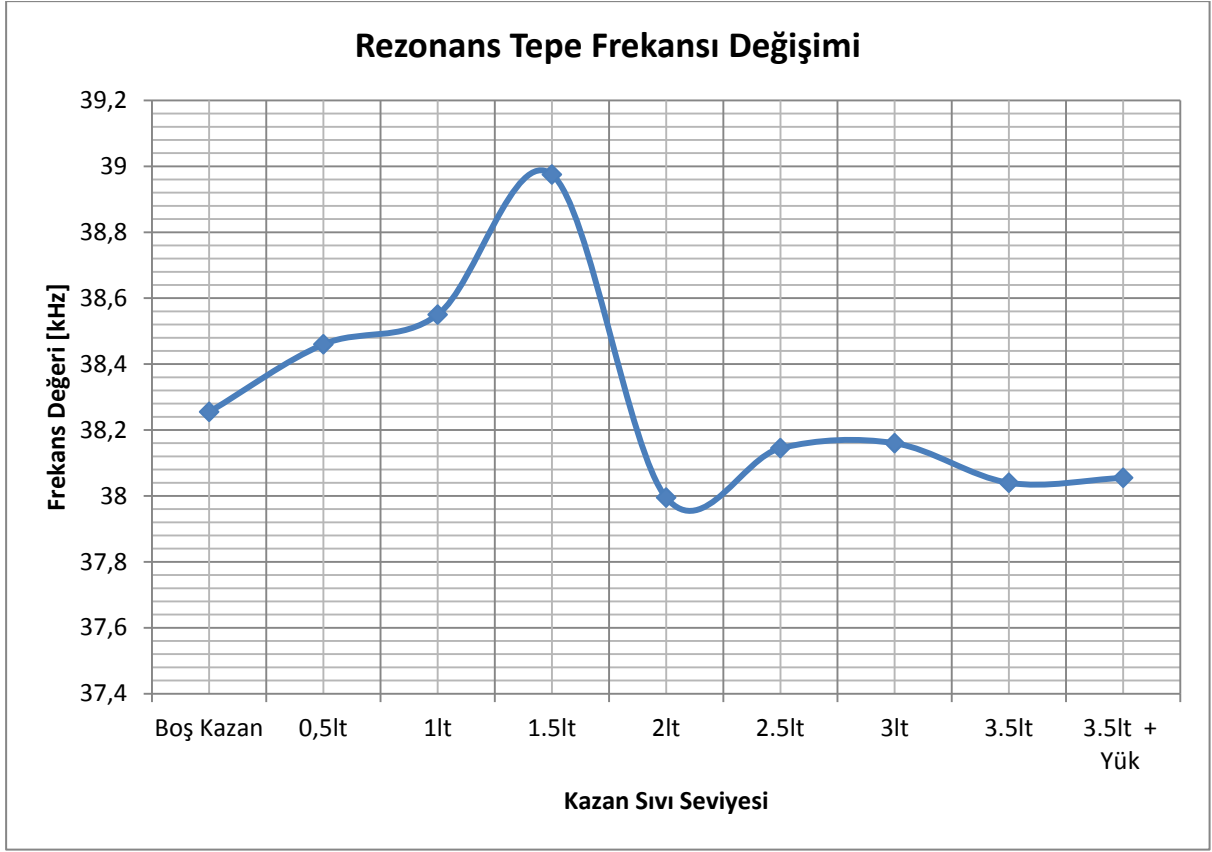
dönüştürücünün tepe rezonans frekansı yaklaşık olarak 37,8kHz ile 39kHz arasında değişmektedir.



Şekil 3.10 Kazan 3.5lt su ile dolu ve yüklü iken (Z) empedans değişim karakteristiği.



Şekil 3.11 Kazan 3.5lt su ile dolu ve yüklü iken faz açısı (θ) değişim karakteristiği.

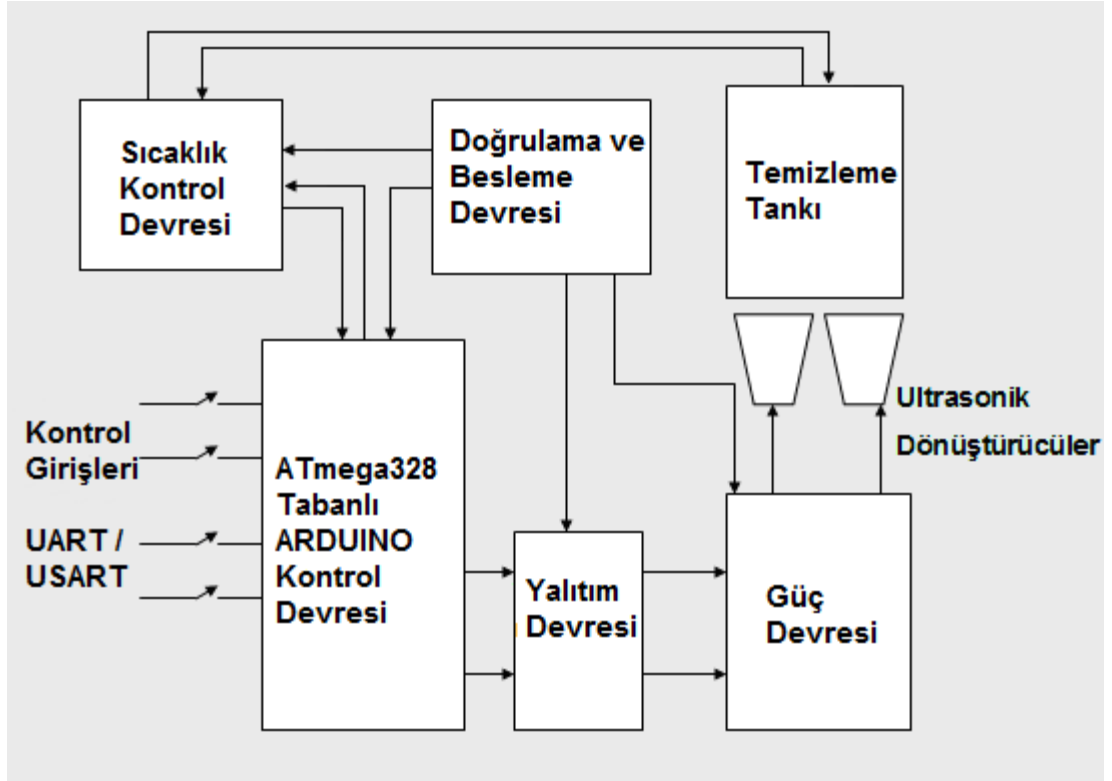


Şekil 3.12 Rezonans Tepe frekansının kazan seviyesiyle değişimi

4. ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN TASARIM AŞAMALARI

4.1 Sistem Mimarisi

Bu tez çalışmasında tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil 4.1’de görüldüğü gibi olup altı ana bölmeden oluşmaktadır. Bunlar ATmega628 mikroişlemci tabanlı ARDUINO-UNO kontrol kartı, sıcaklık kontrol devresi, besleme devresi, yalıtım devresi, sürücü devresi ve temizleme tankıdır.



Şekil 4.1 Tasarlanan ultrasonik temizleme sisteminin blok diyagramı.

Sistem sürme ve besleme devresi olmak üzere iki baskı devreden oluşturulmuştur. Devre çizimleri ve benzetimi Proteus 7.2 ISIS Professional (Beta) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Baskı devre tasarımı ise Proteus 7.2 ARES Professional (Beta) ile gerçekleştirilmiştir.

ARDUINO Kontrol Devresi: ATmega 628 mikro-denetleyici tabanlı bir uygulama geliştirme kartıdır. Sistemin çalışması için gerekli sürme sinyallerini üreten ve sistem kontrolünü UART / USART protokolü ile bilgisayar üzerinden sağlayan birimdir.

Sıcaklık Kontrol Devresi: Kazan sıcaklığını analog olarak ölçer ve kontrol ünitesine iletir. Böylece kazan sıcaklığı istenen seviyede tutulur ya da istenen seviyeye getirilir.

Yalıtım Devresi: ARDUINO' dan elde edilen PWM sinyallerini optokuplör kullanarak yalıtılmış olarak güç devresine ileten devredir.

Doğrulama ve Besleme Devresi: Şehir şebekesinden alınan gerilimi doğrultarak diğer birimlere istenen seviyede güç beslemesi sağlayan devredir.

Güç Devresi: Ultrasonik dönüştürücülere uygulanacak sinyali üreten yüksek frekanslı ve yüksek genlikli modüle edilmiş sinyal üretilen devredir.

Temizleme Tankı: Paslanmaz çelikten yapılmış, kullanım alanına göre tabanı dikdörtgen, kare veya daire şeklinde olabilen içinde çözelti ile birlikte temizlenecek malzemenin konulduğu, ayrıca sepeti de bulunan birimdir.



Şekil 4.2 Tasarlanan ultrasonik temizleme sistemi.

4.2 Kontrol Ünitesinin Belirlenmesi

Bilindiği üzere temizlemede kullanılacak ultrasonik kristaller belirli bir rezonans frekansında çalışırlar ve bu frekans çeşitli faktörlerden etkilenecek değişebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak sinyalin genliği ve frekansının ayarlanabilir olması amaçlanmıştır. Bununla beraber kontrol devresinin belirli bir frekans bandında taramalı olarak sürme gerçekleştirmesi ya da iki ultrasonik kristali faz farklı sürmek gibi farklı amaçları da gerçekleştirebilecek yetenekte olması gerekmektedir. Böylece belirli bir frekans bandında taramalı olarak sürme gerçekleştirilebilecektir. Bu amaçlar çerçevesinde Şekil 4.3’ de görülen ARDUINO-UNO tercih edilmiştir. Bu kartın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek hassasiyetli ve doğruluklu PWM sinyali üretebilmeye elverişli olması,
- Açık kaynak kodlu olması ve bu sebeple dünya çapında oldukça yaygın kullanılmasının getirdiği hata bulma kolaylığı (easy to debugging),
- Kolay erişilebilirlik ve esneklik,
- Basit bir USB ara-yüze sahip olması, bu sayede yazılan küçük program parçacıkları dahi kolaylıkla test edilebilmesi,
- Kendi içerisinde gerilim düzenleyiciler barındırması, bu sayede 7-12V arası bir gerilim girişi ile kullanılabilmesi,
- Yeteri sayıda analog ve dijital giriş/çıkışa sahip olması,
- Kendi dahili reset butonunun olması ve yazılımda getirdiği kolaylıklar,

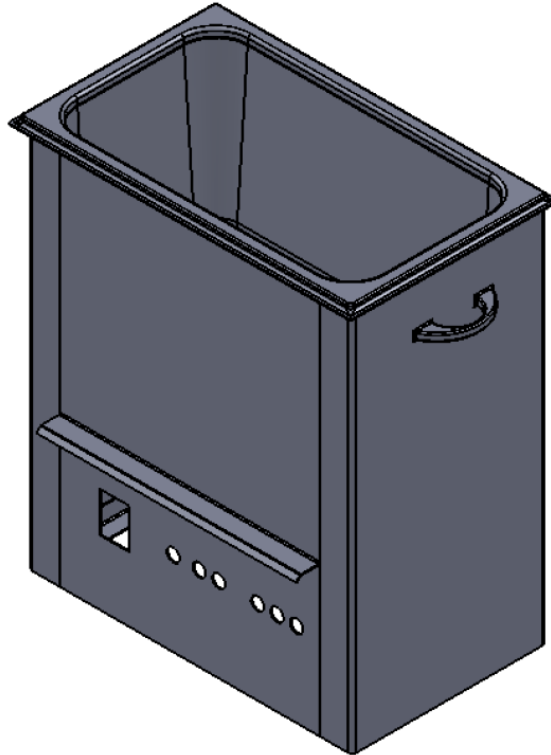
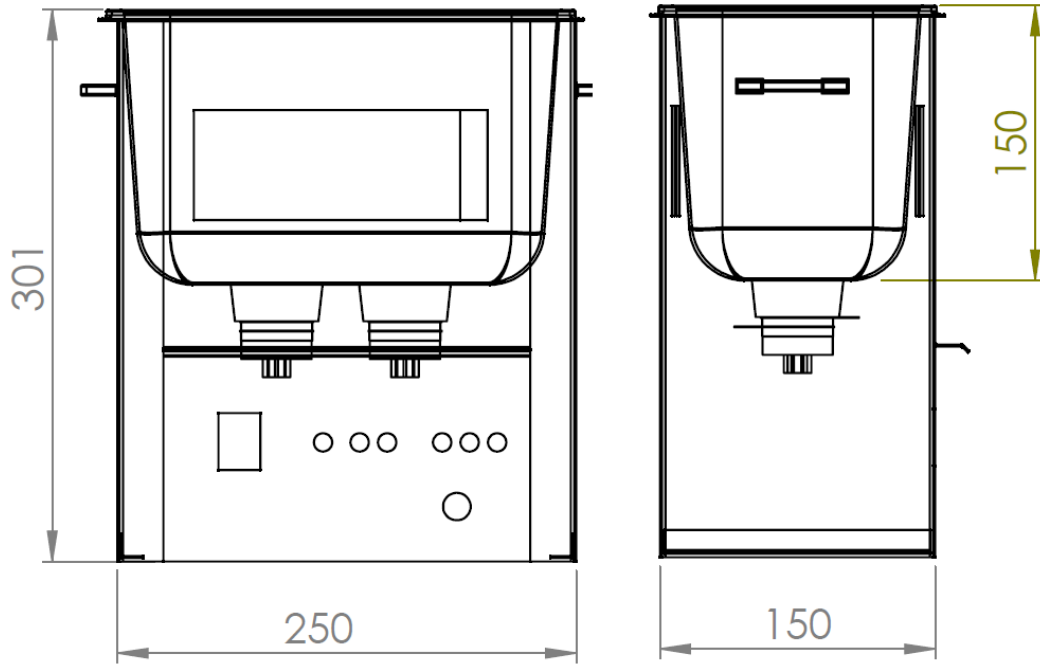
Ayrıca gerekli görülen kısımlarda C programlama yerine “Assembly” programlama kullanılabilmesi esnekliği sayesinde yüksek hassasiyetle PWM sinyali üretilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.3 ATmega 528 tabanlı ARDUINO-UNO kontrol kartı.

4.3 Temizleme Kazanının Tasarımı

Temizleme kazanının boyutları ve şekli aşağıda görüldüğü gibidir. Paslanmaz çelikten üretilmiştir. Ultrasonik dönüştürücüler tabana ultrasonik geçirgenliği yüksek özel bir yapıştırıcı malzeme ile yapıştırılmıştır.



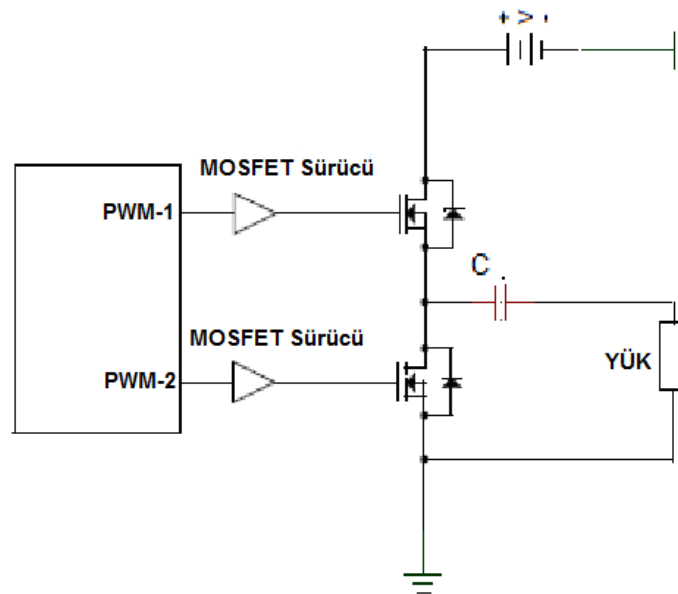
Şekil 4.4 Temizleme kazanı ve boyutları.

4.4 PWM Metodu ile Yarım Köprü, Tam Köprü DC/AC Dönüştürme Metotları

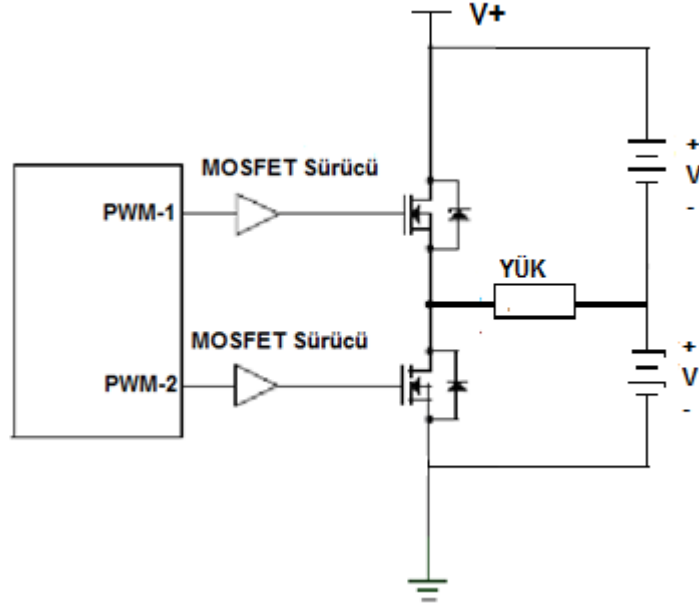
Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 deki devrelerde PWM-1 ve PWM-2 olarak gösterilen çıkışlarında birbirinin eşleniği olan PWM sinyalleri elde edilir. Bu sinyaller kullanılarak DC-AC dönüşüm farklı yollarla elde edilebilir. Şekil 4.5’ deki devrede kondansatörün dolma ve boşalması ile birlikte yük uçlarında farklı polaritede gerilim aktarılmaktadır. Bu sayede simetrik DC gerilim kaynakları kullanmak yerine tek bir DC güç kaynağı kullanmak yeterlidir.

Güç harcamalarını azaltan bir yöntem olduğundan dolayı bu yöntem tercih edilmiştir. Lakin bu devrede hiçbir zaman her iki güç MOSFET’ inin aynı anda iletim durumuna girmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde DC gerilim kaynağı doğrudan kısa devre olur. Bu sebeple gerekli PWM sinyalleri üretilirken bu göz önünde bulundurulmalı ve önlemler gerek yazılımsal gerekse donanımsal olarak alınmalıdır. Yazılımsal olarak üretilen iki adet PWM sinyali arasında ölü-band gecikmesi yerleştirilmiştir. Donanımsal olarak ise 0,3A civarında çalışan devre için 0,5A’ lik kısa devre sigortası kullanılmıştır, böylece herhangi bir kısa devre anında sistem kendini kalıcı hasarlardan izole etmiş olacaktır.

Burada bir diğer önemli husus ise kapasitif karakteristiğe sahip yük devresinden dolayı oluşabilecek gerilim yükselmelerinde güç devresinin zarar görmesidir. Bu sebeple kullanılacak MOSFET ve kondansatör değerleri oldukça önem arz etmektedir.

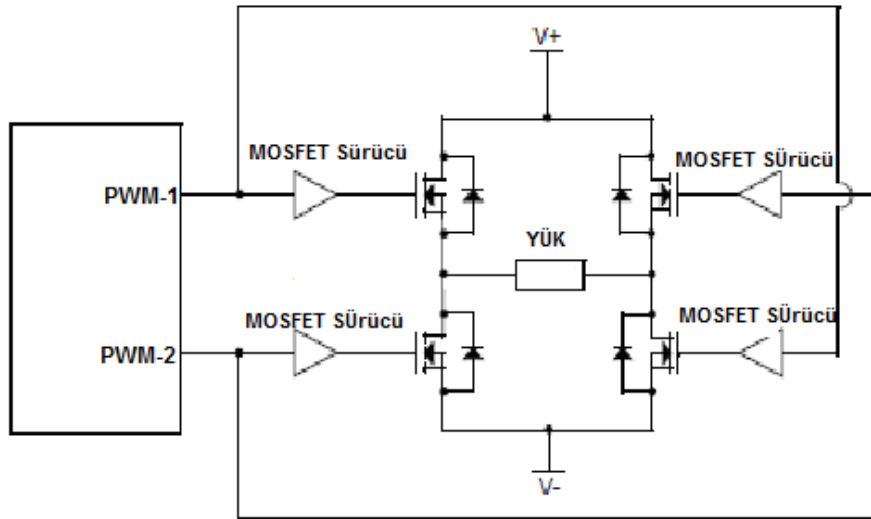


Şekil 4.5 Tek Kaynaklı Yarım Köprü Devresi.



Şekil 4.6 Standart Yarım Köprü Devresi.

Şekil 4.7’ deki tasarımda ise tek simetrik kaynak kullanılabilir, ayrıca kondansatör kullanılmasına da ihtiyaç yoktur. Lakin dört adet sürücü ve MOSFET kullanıldığından karmaşıklık ve maliyet artmaktadır.

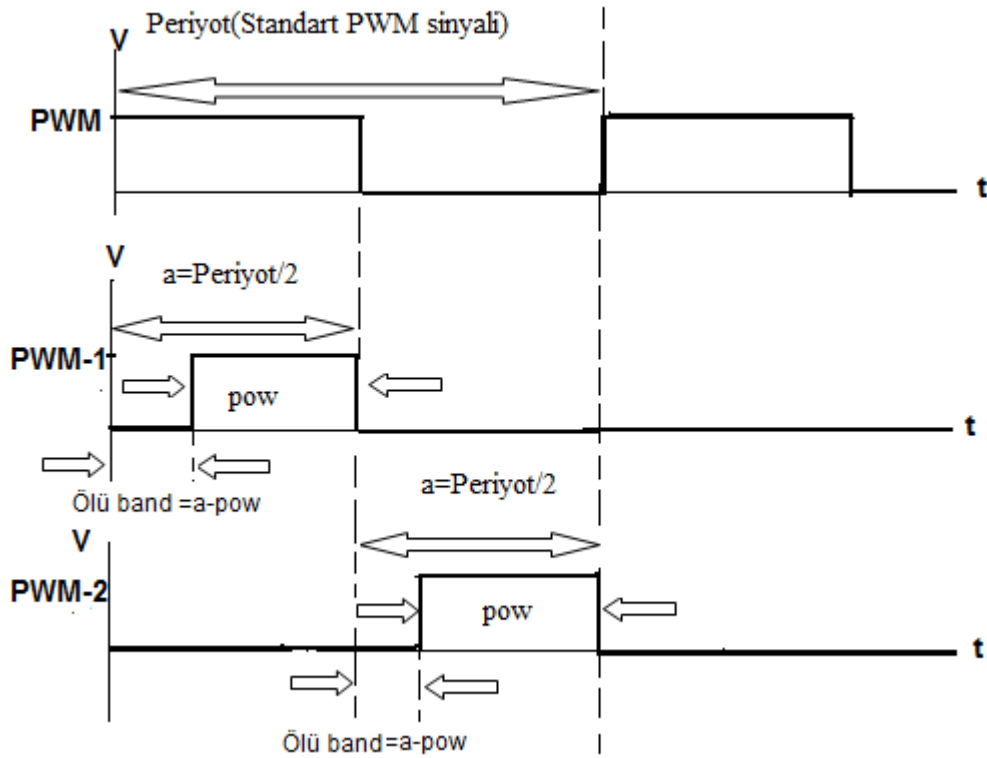


Şekil 4.7 Tam Köprü Devresi.

4.4.1 Ölü band gecikmesi (Dead band delay)

Yarım köprü kullanılan uygulamalarda iki PWM sinyali birbirinin eşleniği olarak çalışır. Lakin kullanılan güç MOSFET'lerinde iletme ve kesime girme gecikmeleri olacağından ötürü iki transistörün aynı anda iletme girmemesinin göz önünde bulundurulması hayati önem arz etmektedir. Aksi takdirde kaynak uçları kısa devre olacak ve kalıcı hasara neden olacaktır.

Şekil 4.8' de görüleceği üzere, belirli bir frekansta üretilen PWM-1 ve PWM-2 sinyalleri asla aynı zamanda iletimde olmamaktadır. Ölü band süresinin kullanılan MOSFET'lerin iletme ve kesime girme zamanlarından daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Bununla beraber ölü band süresinin artırılıp azaltılması sistemin güç seviyesini belirler. Böylece ultrasonik dönüştürücüye uygulanacak sinyalin güç seviyesi de değiştirilerek güç kontrolü sağlanır. Ultrasonik kristal kendisine uygulanan bu sinyalin genlik ve frekansına bağlı olarak ultrasonik kazandaki kavitasyon yoğunluğunu oluşturmakta ve kavitasyon yoğunluğu temizleme gücünü belirlemektedir.

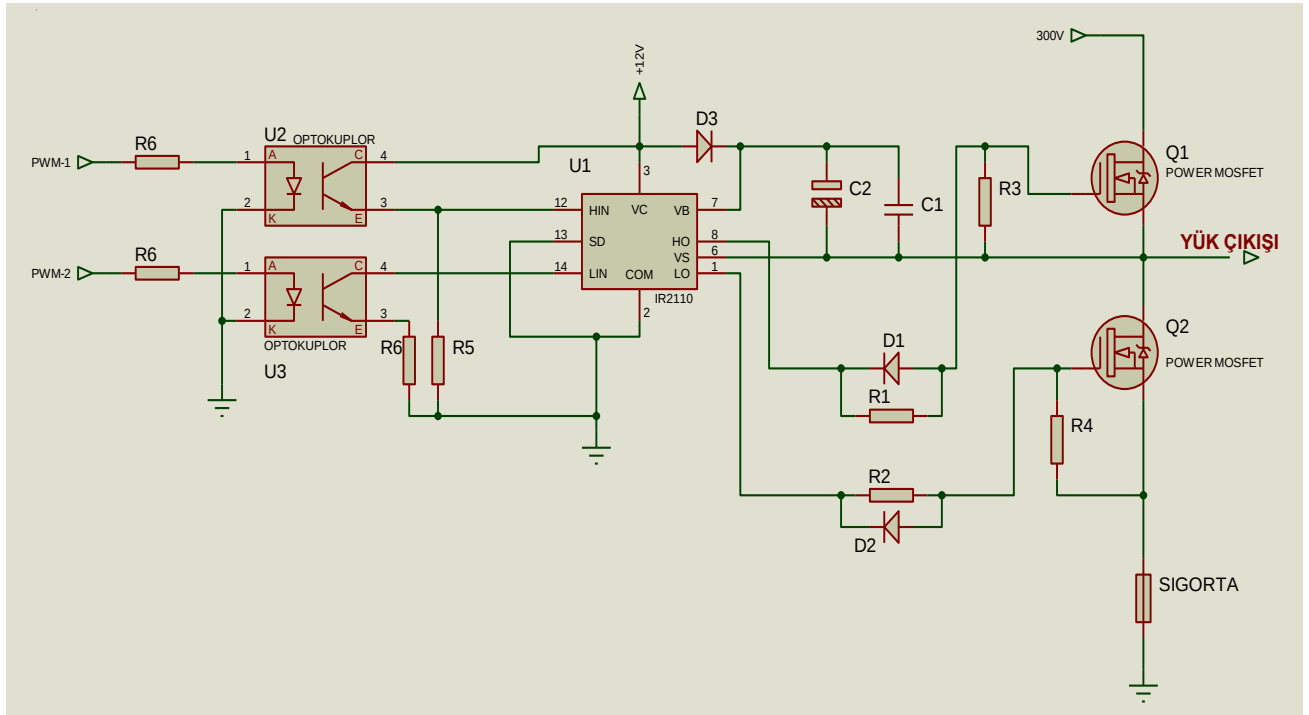


Şekil 4.8 Güç ve Ölü band Değişimi.

Tercih edilen transistorların iletme ve kesime girme süresi yaklaşık olarak 35ns'dir. Sürme devresinde kullanılan ölü band gecikmesi ise 4,4 ile 5,5µs arasında değişmektedir. Bu süre transistorların iletme ve kesime girmesi için oldukça uzun bir süredir. Ayrıca yapılan testlerde ölü band gecikmesi 800ns' ye kadar düşürülmüş ve tercih edilen MOSFET'lerin başarılı bir şekilde anahtarlama yaptığı test edilmiştir. Lakin bu sürenin kısaltılması dönüştürücülerin kesime girme sürelerini kısalttığından ötürü aşırı ısınmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle ölü band gecikmesinin kısaltılarak güç seviyesinin artırılması soğutma sisteminin tasarımı ile doğrudan ilişkilidir.

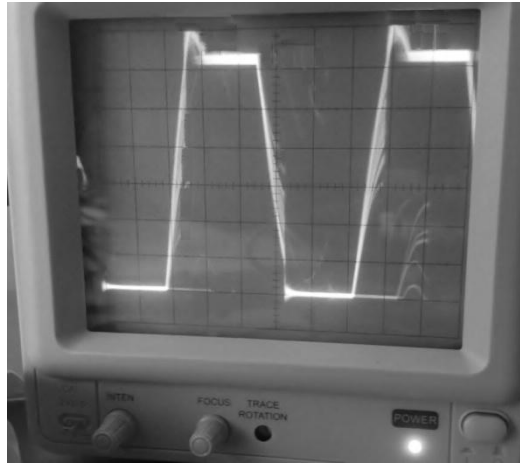
4.5 Sürme Devresi Tasarımı

Tasarlanan sürücü devresinde 38kHz de anahtarlanan gerilim seviyesi 300V'tur. Her bir ultrasonik kristal için 2 adet MOSFET kullanılmaktadır. Şekil 4.9'dan da görüleceği üzere, PWM-1 ve PWM-2 girişlerinden elde edilen PWM sinyalleri optokuplör ile izole edilerek MOSFET sürücü entegreye aktarılır. Bu tür uygulamalar için özel olarak geliştirilmiş IR20110 tümleşik devresi uygun değerlerde MOSFET' in sürülmesini sağlar.



Şekil 4.9 MOSFET Sürme Devresi.

Yarım köprü uygulamalarında kullanılan sürme metodu bootstrap olarak bilinir. Burada Q1 MOSFET'inin kapı gerimi referans noktasında göre kaydırılarak VS çıkış ucu referans alınır, böylece anahtarlama gerçekleşmiş olur. Bunun için Q2 iletimde iken bootstrap kapasitesi olarak bilinen C2 kondansatörü şarj olur. Q1 iletime girdiğinde ise C2 üzerinde depolanan enerji VS çıkışına aktarılarak Q1 MOSFET'inin referans gerilimi kaydırılmış olur. Bu sayede her iki transistor de anahtarlatabilmektedir. Burada C2 kondansatörünün değeri oldukça önem taşımaktadır, zira kapasite değerinin transistörü istenen süre içerisinde iletimde tutabilecek kadar yüksek ve yüksek frekansta çalışacak kadar düşük ve hızlı olması gerekmektedir. Tasarlanan sürme devresinde hızlı olduklarından ötürü tantal kondansatörler kullanılmıştır.



Şekil 4.10 Modüle edilmiş ultrasonik sinyal.

Şekil 4.10' da tasarlanan yarım köprü doğrultma devresinden elde edilen modüle edilmiş ultrasonik sinyal görülmektedir. Bu sinyal 300V genlikli ve 38kHz frekansındadır.

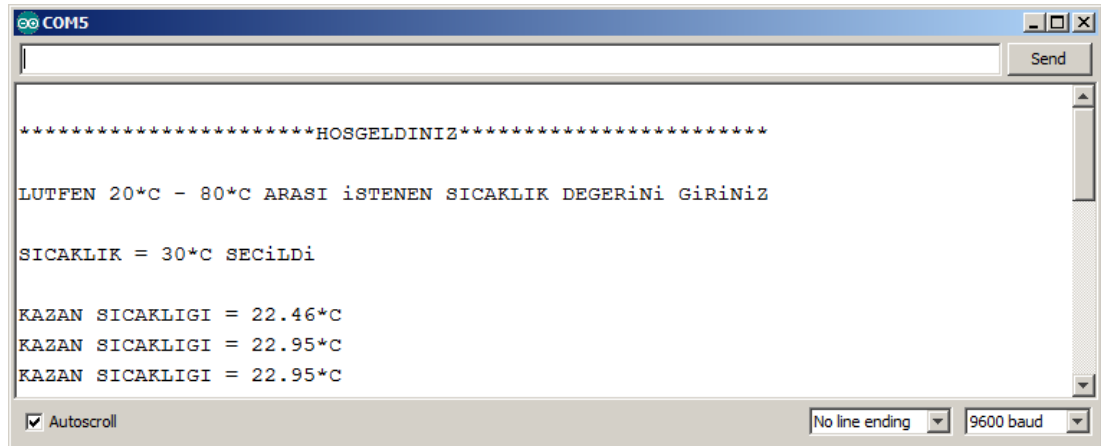
4.6 Doğrultma ve Besleme Devresi

Doğrultma ve besleme devresi, ultrasonik temizleme sistemine ilişkin tüm devre elemanları için gerekli olan beslemeyi sağlayan karttır. Sıcaklık ölçümü için 5V besleme ve analog sıcaklık girişleri bu kart üzerinde bulunur. Ayrıca ileride kullanılmak üzere devrede anlık olarak akım ölçümü yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca MOSFET sürücü devresi için gerekli olan 300V burada

[illegible]

4.7 Yazılım ve Çalışma Modları

38



Şekil 4.12 Programın Ekran Görüntüsü.

Programın akış şeması oldukça basit ve kullanışlıdır. Farklı çalışma modlarında temizleme yapabildiği gibi, 20°C - 80°C arasında kazanın istenen sıcaklıkta çalışmasını da sağlar. Şekil 4.12’den de görüldüğü üzere öncelikle kullanıcı istenen sıcaklık değerini üst satırdan girerek “send” tuşu ile değeri kontrol ünitesine gönderir. Devamında ise istenen sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra kullanıcıdan çalışma modunu seçmesi beklenir.

4.7.1 Sabit frekans modu

Çizelge 4.1’ de listelenen frekans değerlerinde kullanıcının ultrasonik temizleme yapmasına imkan verilmiştir. Maalesef hali hazırda ARDUINO kütüphanelerinde bu kadar çeşitli ve esnek PWM sinyali üretebilecek kütüphane bulunmamaktadır. Bu sebeple “Assembly” programlama dili kullanılarak gerekli PWM kütüphaneleri yaratılmıştır. Ultrasonik temizleme yapmak için programlanan 67 adet sabit frekans değerleri şu şekildedir.

Çizelge 4.1 Programlanan Sabit Frekans değerleri.

1	35,46 kHz	15	36,60 kHz	29	37,81 kHz	43	39,10 kHz	57	40,49 kHz
2	35,54 kHz	16	36,68 kHz	30	37,90 kHz	44	39,20 kHz	58	40,59 kHz
3	35,62 kHz	17	36,76 kHz	31	37,99 kHz	45	39,29 kHz	59	40,69 kHz
4	35,70 kHz	18	36,85 kHz	32	38,08 kHz	46	39,39 kHz	60	40,80 kHz
5	35,78 kHz	19	36,93 kHz	33	38,17 kHz	47	39,49 kHz	61	40,90 kHz
6	35,86 kHz	20	37,02 kHz	34	38,26 kHz	48	39,58 kHz	62	41,00 kHz
7	35,94 kHz	21	37,11 kHz	35	38,35 kHz	49	39,68 kHz	63	41,11 kHz
8	36,02 kHz	22	37,19 kHz	36	38,44 kHz	50	39,78 kHz	64	41,22 kHz

9	36,10 kHz	23	37,28 kHz	37	38,54 kHz	51	39,88 kHz	65	41,32 kHz
10	36,18 kHz	24	37,37 kHz	38	38,63 kHz	52	39,98 kHz	66	41,43 kHz
11	36,26 kHz	25	37,45 kHz	39	38,72 kHz	53	40,08 kHz	67	41,54 kHz
12	36,35 kHz	26	37,54 kHz	40	38,82 kHz	54	40,18 kHz		
13	36,43 kHz	27	37,63 kHz	41	38,91 kHz	55	40,28 kHz		
14	36,51 kHz	28	37,72 kHz	42	39,01 kHz	56	40,38 kHz		

4.7.2 Süpürmeli (Taramalı) frekans modu

Bu çalışma modunda rezonans frekansı civarında set edilen frekans band aralığında frekans değeri yaklaşık 90Hz'lik adımlarla ve 1 saniyelik periyotlarla azaltılıp artırılarak frekans taraması gerçekleştirilir. Bu amaçla altı adet süpürme modu programlanmıştır. Bunlar Çizelge 4.2'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.2 Programlanan Taramalı Frekans değerleri.

1	Rezonans Frekansı	4	Rezonans Frekansı $\pm 500\text{Hz}$
2	Rezonans Frekansı $\pm 100\text{Hz}$	5	Rezonans Frekansı $\pm 750\text{Hz}$
3	Rezonans Frekansı $\pm 250\text{Hz}$	6	Rezonans Frekansı $\pm 1000\text{Hz}$

4.7.3 Faz farklı sürme modu

Bu çalışma modunda iki adet ultrasonik kristal rezonans frekansında faz farklı olarak sürülmektedir. Söz gelimi 180° faz farkında birinci kristal 300V gerilim altında iken ikinci kristal 0V gerilim altındadır. Faz farkının değişmesiyle temizleme etkinliğinin değişimi ilerleyen bölümlerde yer almaktadır. Programlanan faz farkı değerleri Çizelge 4.3' te görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.3 Programlanan Faz Farkı Değerleri.

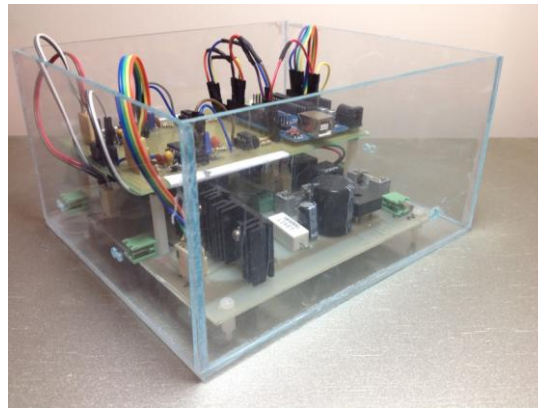
1	0° Faz Farkı	8	105° Faz Farkı
2	15° Faz Farkı	9	120° Faz Farkı
3	30° Faz Farkı	10	135° Faz Farkı

4	45° Faz Farkı	11	150° Faz Farkı
5	60° Faz Farkı	12	165° Faz Farkı
6	75° Faz Farkı	13	180° Faz Farkı
7	90° Faz Farkı		

4.8 Emniyet Tedbirleri

Bilindiği üzere 50V ve üzerindeki gerilimler insan sağlığını tehdit eden gerilimlerdir. Tasarlanan temizleme sisteminde ise 300V mertebesinde DC gerilimler mevcuttur. Yorgunluk ya da dalgınlık gibi herhangi bir sebepten kullanıcının çalışan devreye temas etmesi mümkündür. Bu sebeple kullanıcının yüksek mertebedeki gerilimlere temasını minimize etmek için Şekil 4.13'te görüldüğü gibi şeffaf plastikten bir koruma kutusu tasarlanmıştır. 300V'luk gerilimler alt kattaki devrenin tabanında yer almaktadır, üst kattaki devrede ise 12V mertebesinde sürme devresi mevcuttur. Böylelikle kullanıcının yüksek gerilime maruz kalması minimum düzeye indirilmeye çalışılmıştır.

Güç MOSFET'lerinde herhangi bir sebeple ortaya çıkabilecek kısa devre veya problemlerin etkileri gerekli sigortalar kullanılarak minimize edilmiştir. Bununla beraber herhangi bir ultrasonik kristale ait MOSFET'lerin kısa devre olmasının diğer çalışan MOSFET'leri etkilememesi için ters yönde oluşabilecek kısa devre akımlarını önlemek için ekstra devre elemanları kullanılarak oluşacak problemlerin etkileri en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.13 Fiber Glass Koruma kutusu içerisinde sürme devresi.

4.9 Kazan Suyu Sıcaklık Kontrolü

Kazan içerisindeki sıvının sıcaklığı ultrasonik temizleme için çok önemli bir parametredir. Bu sebeple sıvı sıcaklığının kontrol edilmesi, istenen sıcaklıkta tutulması oldukça önemlidir. Gerçeklenen tasarımda kazanın dış yüzeyine sıcaklık sensörü yapıştırılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere gerçekleştirilen yazılım kullanıcıdan istenen sıcaklık değerini girmesini ister. Devamında ise kazanın dış yüzeyine yapıştırılmış rezistanslar sayesinde kazanı istenen değere kadar ısıtır. İstenen değere ulaşıldığında ısıtıcıların enerjisi kesilerek durdurulur.

5. TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

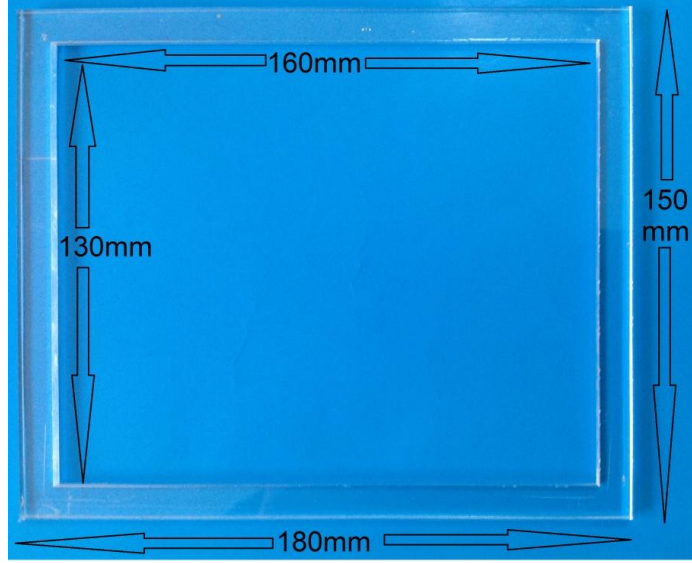
5.1 Folyo Testi ve Önemi

Ultrasonik temizlemede folyo testleri, temizleme etkinliğinin ne kadar güçlü ve nasıl bir temizleme profilinde gerçekleştiğini gösteren pratik bir ölçüm yöntemidir. Dikey olarak kazana daldırılan alüminyum folyo kazanda oluşan kavitasyon patlamalarının gücü ve bölgeselliği nispetinde aşınır. Bu aşınmanın folyo üzerindeki homojenliği ve miktarı kazanın yıkama kalitesi için başvurulacak yaygın test tekniklerindendir. Ucuz, basit ve efektif bir yöntemdir. Yapılan testlerde 120sn gibi kısa bir süre kazanda bekletilen alüminyum folyonun yeterli temizlik seviyesine ulaştığı görülmüştür. Temizleme süresi ultrasonik temizleme sisteminin kalitesinde önemli bir parametredir.

Bu yöntem uygulanarak dönüştürücü farklı frekanslarda ve çalışma modlarında sürülmüş ve aynı ebatlardaki alüminyum folyo örnekleri suya dik olarak daldırılarak aşınma sonuçları incelenmiştir.

5.2 Test Adımları

Yapılan bütün süpürmeli temizleme testleri istenen çalışma modunda 180 saniye süreyle 102mm x 180mm boyutlarında ve 12µm kalınlığında alüminyum folyonun kazana dik daldırılması ile gerçekleştirilmiştir. Faz farklı çalışma testleri ise aynı şartlarda 120 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Sıvı içerisine daldırılan alüminyum folyonun dik konumunu muhafaza edebilmesi için Şekil 5.1 de görülen çerçeveye yanlardan yapıştırılmıştır. Çerçevenin boyutları Şekil 5.1’ de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1 Fiber-Glass çerçeve.

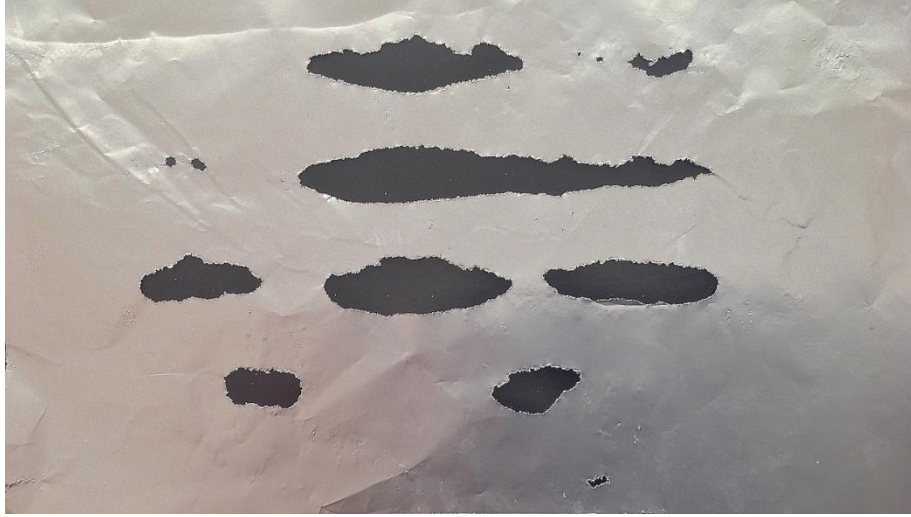
Ayrıca su içerisinde bulunan çözünmüş gazın kavitasyon etkinliğine olan olumsuz etkisini minimum düzeye indirebilmek için gazın sıvıdan tahliye edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple her test öncesinde kazan 20 dakika süre ile rezonans frekansında çalıştırılarak çözünmüş gazın dışarı atılması sağlanmıştır [21, 22].

5.3 Süpürmeli (Taramalı) Frekans Modları ve Test Sonuçları

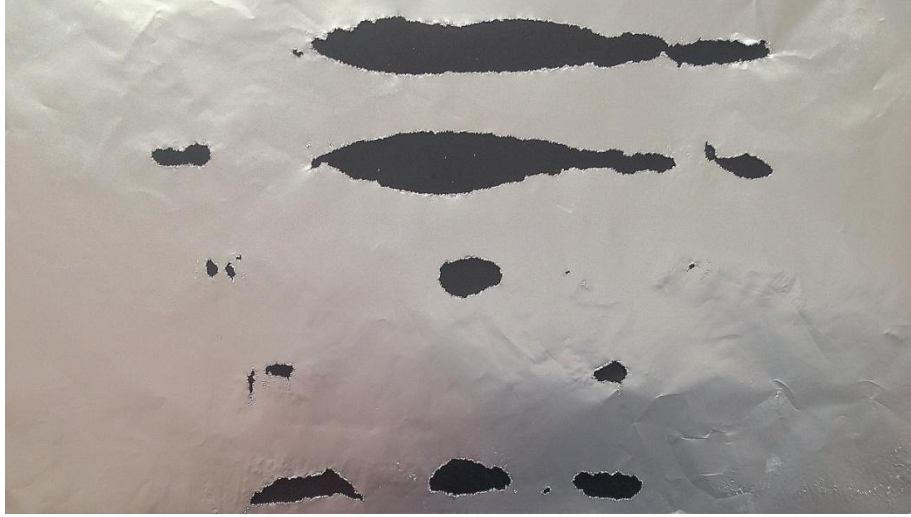
Rezonans frekansı civarında set edilen frekans band aralığında frekans değeri çok küçük adımlar ile azaltılıp artırılarak frekans taraması gerçekleştirilmiştir. Daha önceki ölçümlerden bilindiği üzere rezonans frekansı 38,08kHz olarak belirlenmiştir. Yapılan testlerde hem sıcaklık değerleri sabit tutularak çalışma modu değiştirilmiş hem de çalışma modları sabit tutularak sıcaklıklar değiştirilmiştir. Sıcaklık değerleri 20°C – 70°C aralığında 10°C' lik artımlar ile artırılarak toplam 6 farklı sıcaklık değerinde ve 6 farklı çalışma modunda testler yapılmıştır. Toplamda süpürmeli modlar için 36 adet temizleme testi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma modları Bölüm-4'te belirtilen Çizelge 4.2'de görüldüğü gibidir.

5.3.1 20°C'de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Deneyde kazan sıcaklığı 20°C'de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak set edilmiştir. 180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.2 – Şekil 5.7 arasında görülmektedir.



Şekil 5.2 20°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.3 20°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.4 20°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.5 20°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.6 20°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.7 20°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.

20°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme homojenliği ve temizleme alanı olarak en verimli temizlemenin 38kHz±500Hz'lik süpürmeli temizleme modunda gerçekleştiği görülmüştür.

5.3.2 30°C'de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

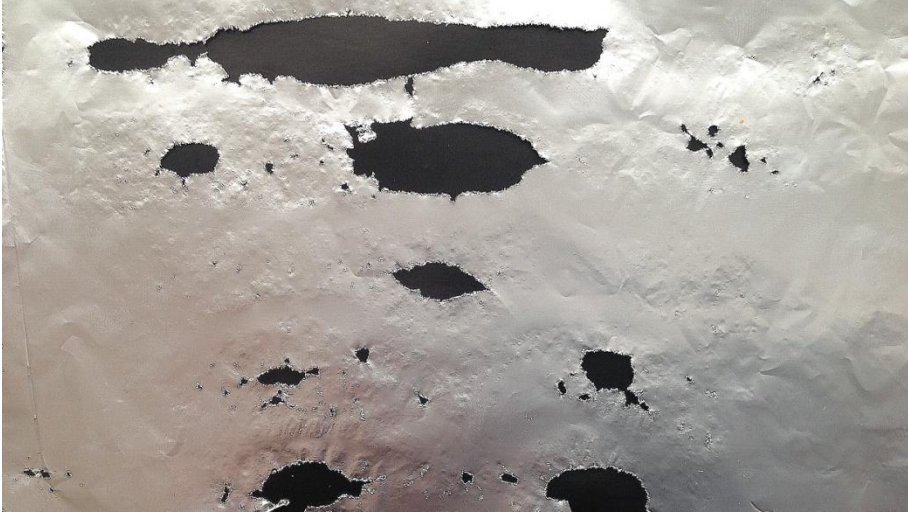
Deneyde kazan sıcaklığı 30°C'de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.8 – Şekil 5.13 arasında görülmektedir.



Şekil 5.8 30°C de 38,08kHz'de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.9 30°C de 38,08kHz±100Hz'de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.10 30°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.11 30°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.12 30°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.13 30°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.

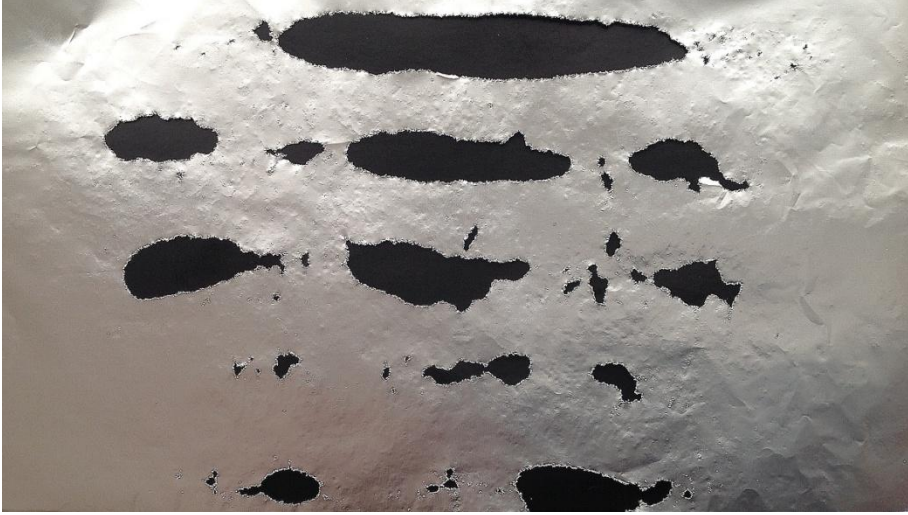
30°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme homojenliği olarak en verimli temizlemenin 38,08kHz±750Hz’lik süpürmeli temizleme modunda gerçekleştiği, temizleme alanı göz önünde bulundurulduğunda ise 38,08kHz±500Hz modunda temizlemenin daha etkili olduğu görülmüştür.

5.3.3 40°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

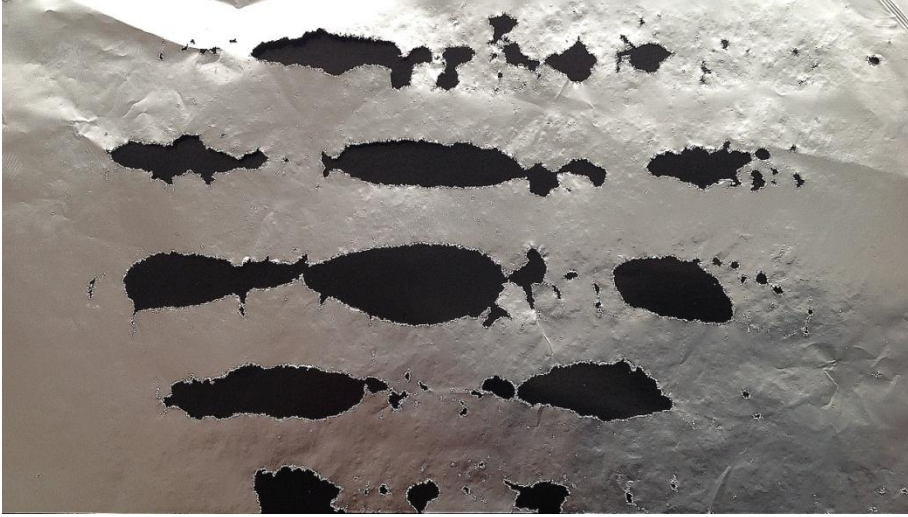
Yapılan deneyde kazan sıcaklığı 40°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.14 – Şekil 5.19 arasında görülmektedir.



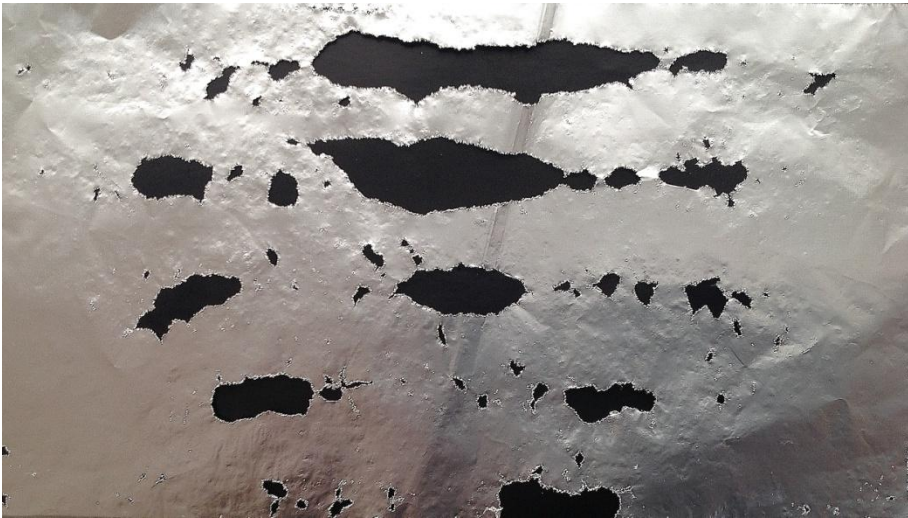
Şekil 5.14 40°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.15 40°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.



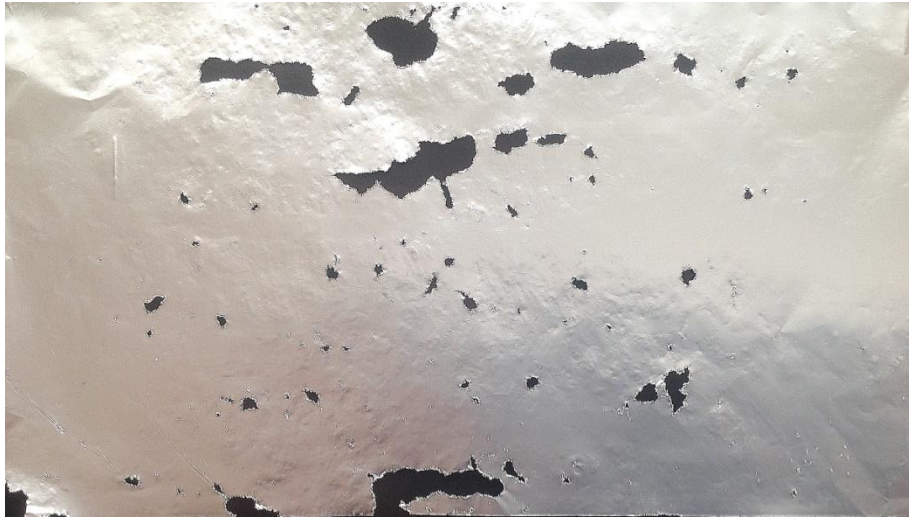
Şekil 5.16 40°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.17 40°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.18 40°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.

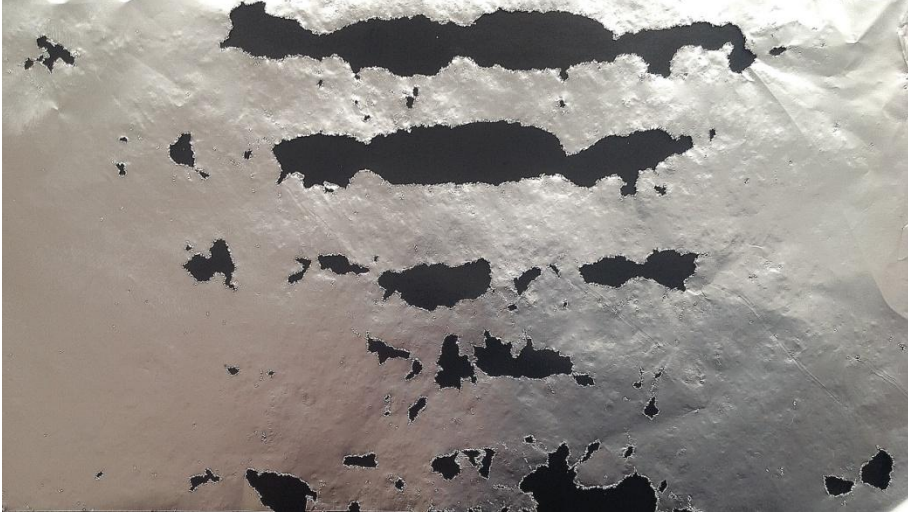


Şekil 5.19 40°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.

40°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme homojenliği olarak en verimli temizlemenin 38,08kHz±750Hz’lik süpürmeli temizleme modunda gerçekleştiği görülmektedir. Temizleme alanı dikkate alındığında ise 38,08kHz±250Hz’lik süpürmeli çalışma modunun daha etkili olduğu görülmüştür.

5.3.4 50°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

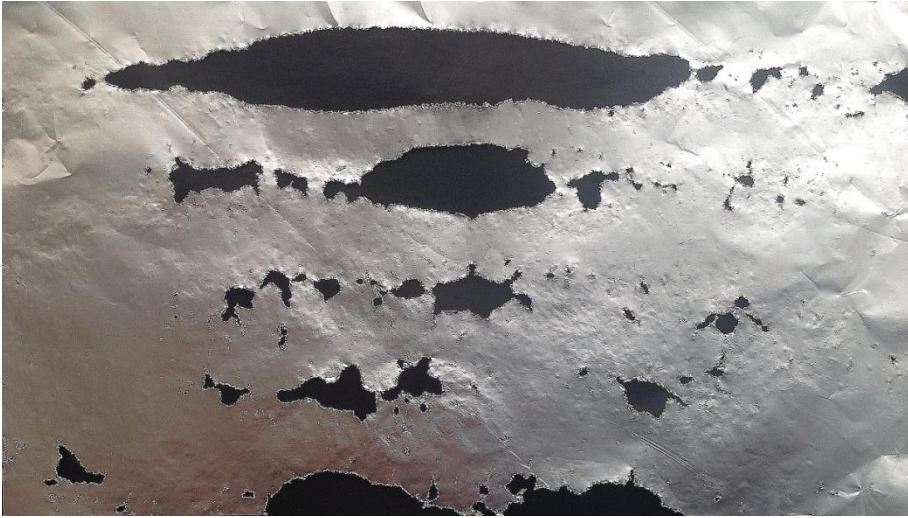
Kazan sıcaklığı 50°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.20 – Şekil 5.25 arasında görülmektedir.



Şekil 5.20 50°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.21 50°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.22 50°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.23 50°C de $38,08\text{kHz} \pm 500\text{Hz}$ 'de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.24 50°C de $38,08\text{kHz} \pm 750\text{Hz}$ 'de yapılan deney sonuçları.

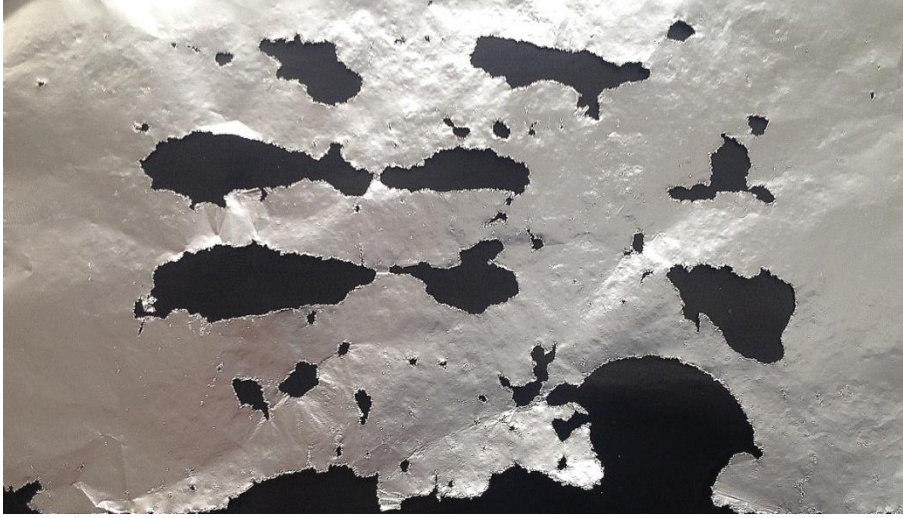


Şekil 5.25 50°C de $38,08\text{kHz} \pm 1000\text{Hz}$ 'de yapılan deney sonuçları.

50°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme homojenliği ve temizleme alanı olarak en verimli temizlemenin 38,08kHz±500Hz'lik süpürmeli temizleme modunda gerçekleştiği görülmektedir.

5.3.5 60°C'de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Kazan sıcaklığı 60°C'de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.26 – Şekil 5.31 arasında görülmektedir.



Şekil 5.26 60°C de 38,08kHz'de yapılan deney sonuçları.



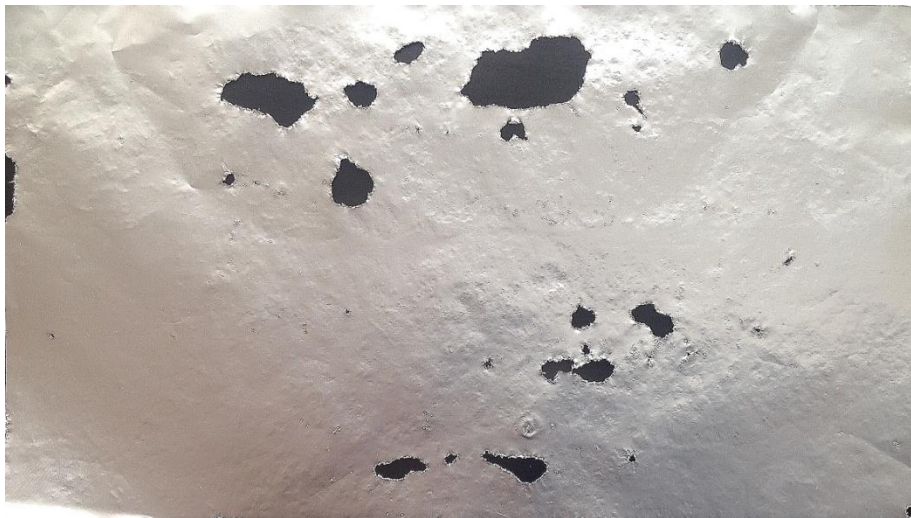
Şekil 5.27 60°C de 38,08kHz±100Hz'de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.28 60°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.29 60°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.30 60°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.31 60°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.

60°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme alanı olarak olarak en verimli temizlemenin 38,08kHz rezonans frekansında gerçekleşirken temizlemenin homojenliği 38,08kHz±500Hz modunda gerçekleşmiştir.

5.3.6 70°C’de Süpürmeli frekans modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

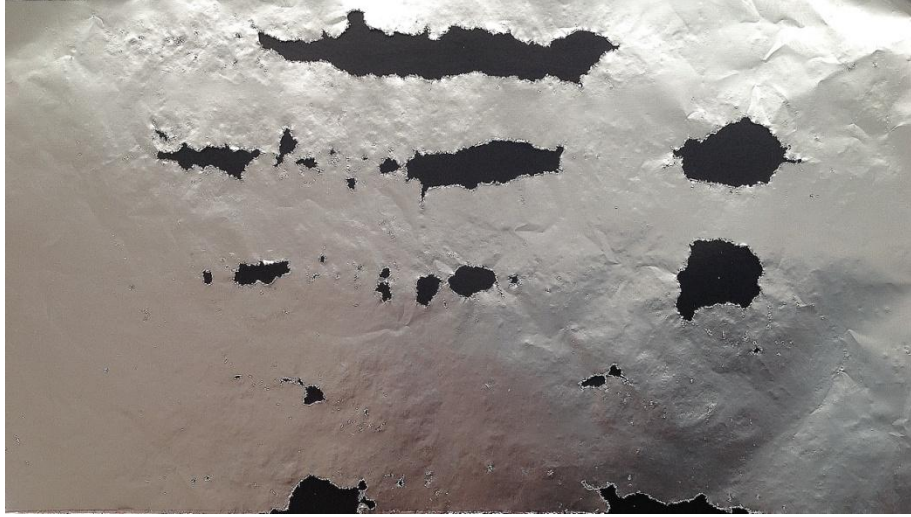
Kazan sıcaklığı 70°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır.180 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.32 – Şekil 5.37 arasında görülmektedir.



Şekil 5.32 70°C de 38,08kHz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.33 70°C de 38,08kHz±100Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.34 70°C de 38,08kHz±250Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.35 70°C de 38,08kHz±500Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.36 70°C de 38,08kHz±750Hz’de yapılan deney sonuçları.



Şekil 5.37 70°C de 38,08kHz±1000Hz’de yapılan deney sonuçları.

70°C sabit sıcaklıkta, farklı süpürmeli temizleme modlarında yapılan deneylerde temizleme alanı olarak en verimli temizlemenin 38,08kHz±100Hz süpürmeli temizleme modunda gerçekleşirken homojen temizlemede ise 38,08kHz±250Hz en verimli temizlemedir .

5.4 Faz Farklı Çalışma Modları ve Test Sonuçları

Temizleme sistemini oluşturan iki ultrasonik kristal rezonans frekansında faz farklı olarak sürülmüştür. Ölçümlerden bilindiği üzere rezonans frekansı 38,08kHz olarak belirlenmiştir. Yapılan testlerde hem sıcaklık değerleri sabit tutularak kristaller arası

faz farkı değeri değiştirilmiş hem de çalışma modları sabit tutularak sıcaklıklar değiştirilmiştir. Sıcaklık değerleri 20°C – 50°C aralığında 10°C'lik artımlar ile artırılarak toplam 4 farklı sıcaklık değerinde ve 13 farklı faz farkı test edilmiştir. Faz farklı modlar için toplamda 52 adet temizleme testi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca faz farklı çalışma modları Bölüm-4'te belirtilen Çizelge 4.3'de görüldüğü gibidir.

5.4.1 20°C'de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Kazan sıcaklığı 20°C'de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır.120 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.38 – Şekil 5.50 arasında görülmektedir.



Şekil 5.38 20°C'de 0° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.39 20°C'de 15° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.40 20°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.41 20°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.42 20°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.43 20°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.44 20°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları.



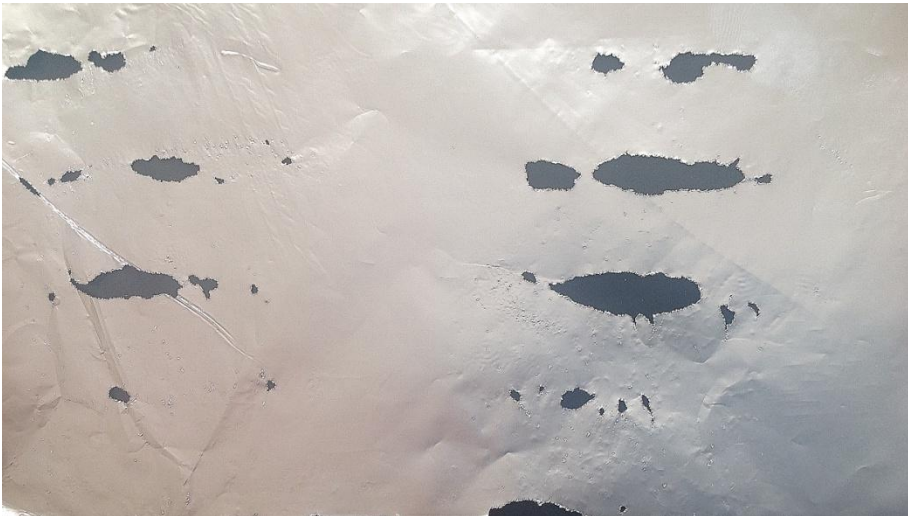
Şekil 5.45 20°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları.



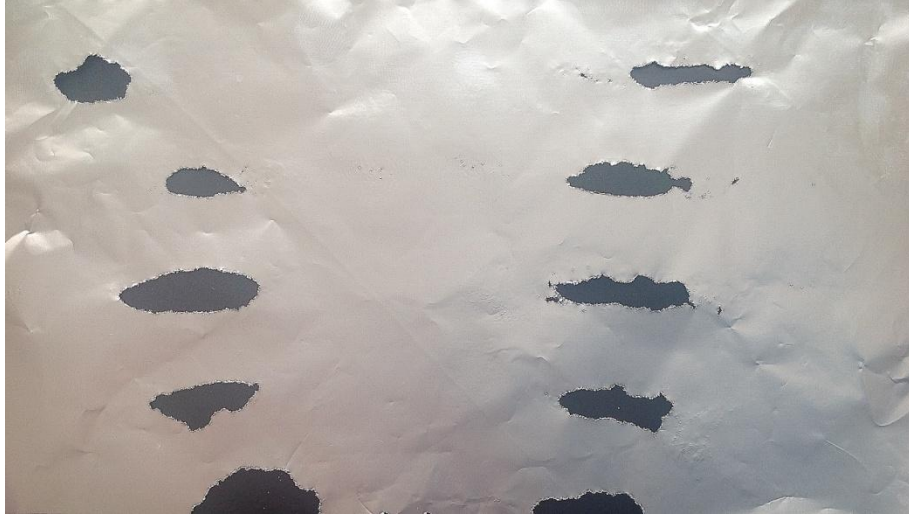
Şekil 5.46 20°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.47 20°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.48 20°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.49 20°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları.



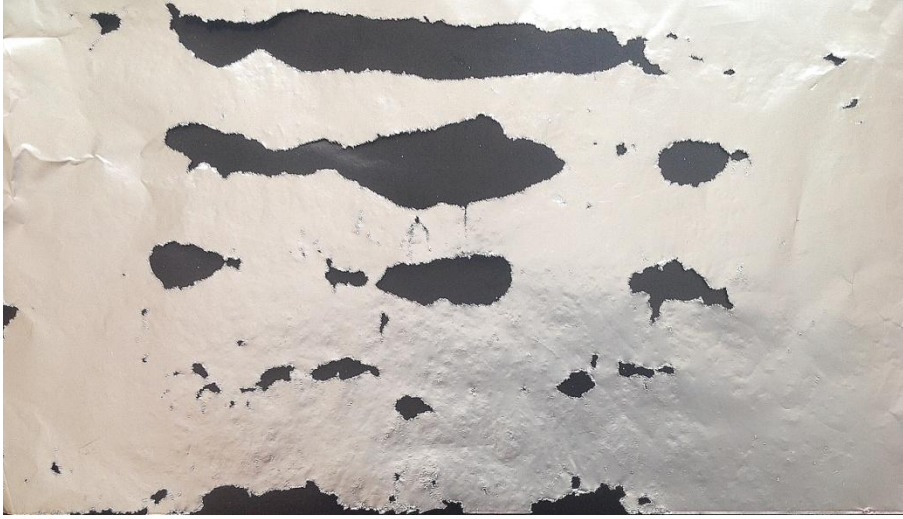
Şekil 5.50 20°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları.

20°C sıcaklıkta faz farklı çalışma modlarında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde, temizleme alanının homojenliğinin 15° faz farkında arttığı ve sıvı yüzeyine yakın bölgelerde temizlemenin daha etkili olduğu görülmektedir. Devamında ise 30°-60° arasındaki faz farklı sürme için temizleme gücünün kısmen azaldığı ve bununla beraber homojenliğin gözle görülür bir oranda arttığı görülmüştür. 75°-120° arası faz farkı için temizleme etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir, burada ultrasonik kristallerin birbirinden bağımsız oluşturduğu yüksek ve alçak basınç bölgelerinin birbirinin etkisini yok ettiği düşünülmektedir. 135°- 180° faz farklı sürme deneylerinde ise, temizleme etkinliğinin iki kristalin ortasında neredeyse hiç olmadığı, yüksek ve alçak basınç bölgelerinin sadece

kristalleri üzerinden düz bir çizgi halinde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca temizleme etkinliğinin homojenliğinin ve gücünün sürülen kristaller arası faz farkı ile doğrudan ilişkili olduğu ispatlanmıştır.

5.4.2 30°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Kazan sıcaklığı 30°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 120 saniye süresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları Şekil 5.51 – Şekil 5.63 arasında görülmektedir.



Şekil 5.51 30°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları.



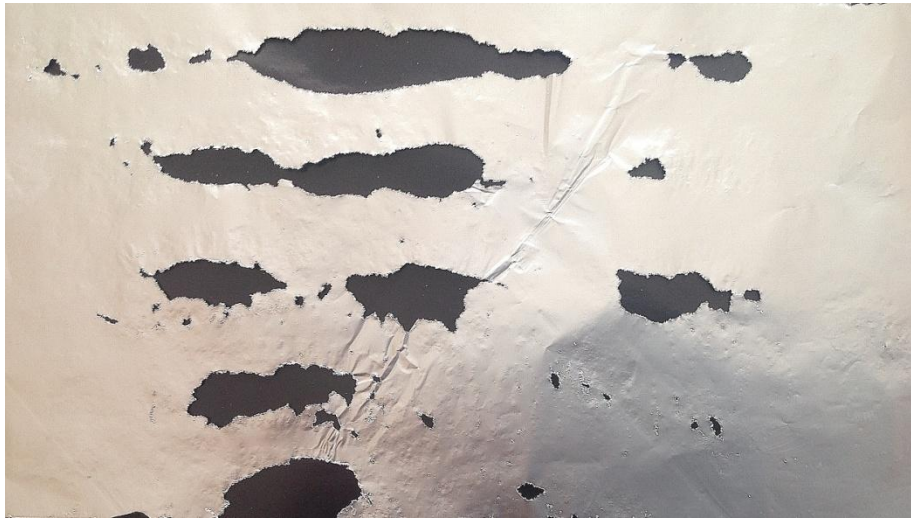
Şekil 5.52 30°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.53 30°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.54 30°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları.



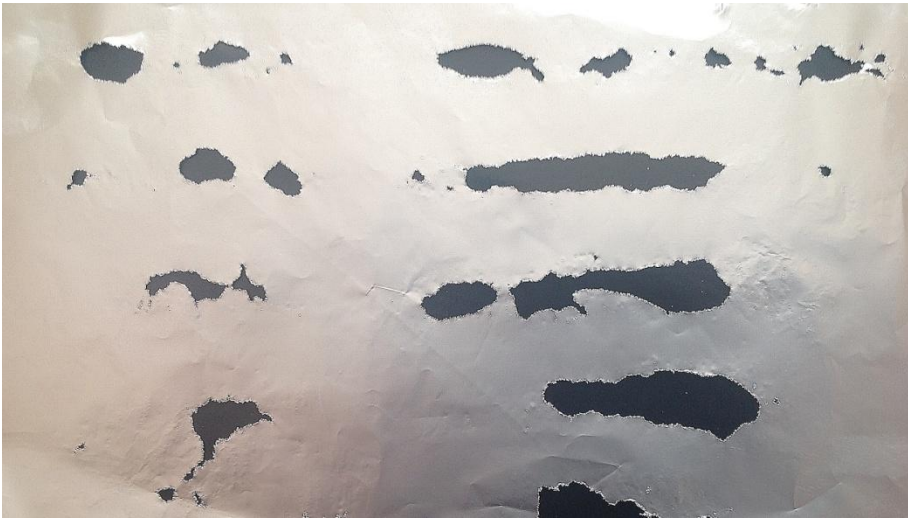
Şekil 5.55 30°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.56 30°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları.



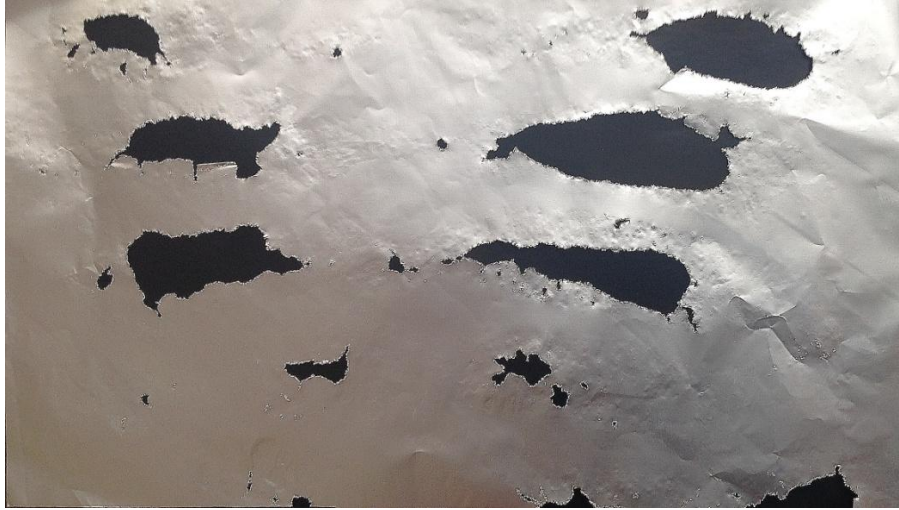
Şekil 5.57 30°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları.



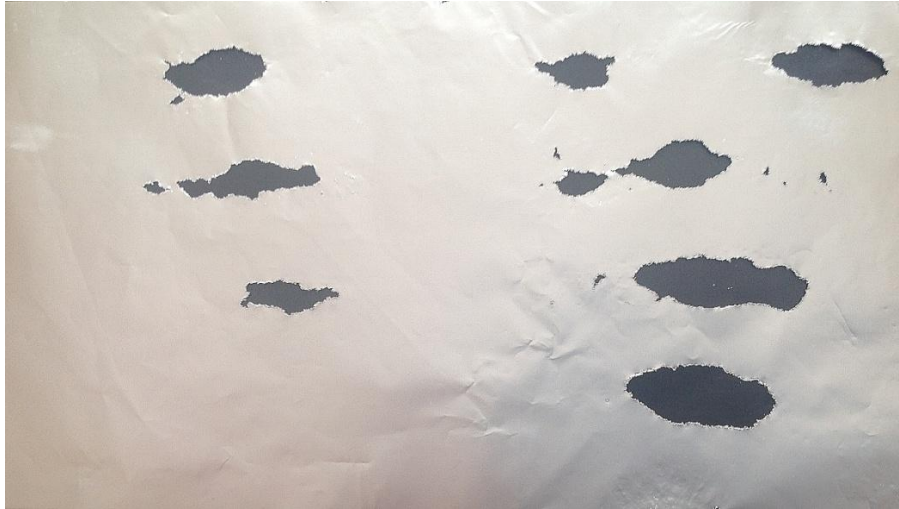
Şekil 5.58 30°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları.



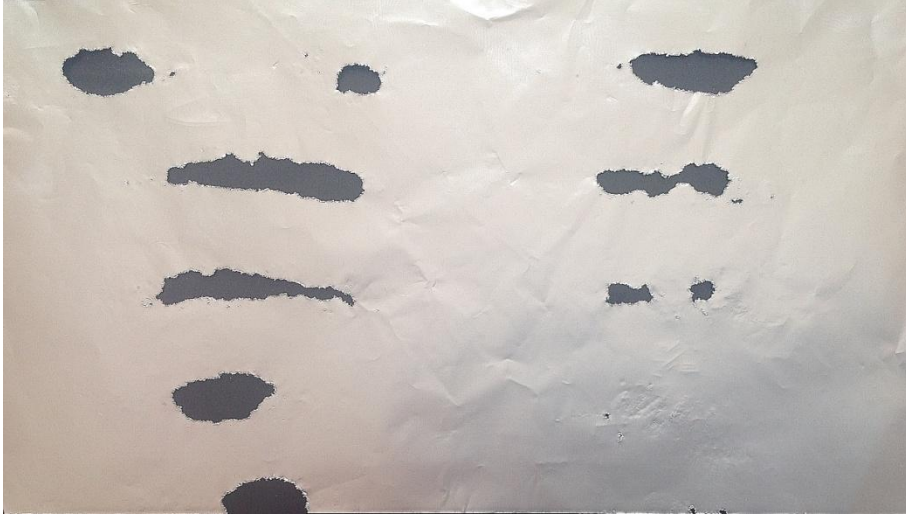
Şekil 5.59 30°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.60 30°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.61 30°C’ de 150° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.62 30°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.63 30°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları.

30°C sıcaklıkta faz farklı çalışma modlarında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde maksimum temizleme alanı 15° faz farkında gözlemlenmiştir. Devamında faz farkının artmasıyla homojenliği artarken temizleme alanı azalmıştır. İlginç olan bir diğer nokta ise 30° - 75° faz farkı aralığında temizleme etkinliği sol kristal üzerinde yoğunlaşmasıdır. Bu daha önce gözlemlenmemiş bir etkidir. Faz farkının artmasıyla beraber diğer sıcaklıklar ile benzer olarak temizleme etkinliği kristaller arası düz bir çizgi halinde yoğunlaşmış ve orta bölgede minimum düzeye inmiştir.

5.4.3 40°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Kazan sıcaklığı 40°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 2 dakika sũresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları şekil 5.64 – şekil 5. 76 arasında gũrũlmektedir.



şekil 5.64 40°C’de 0° faz farklı sũrme deney sonuçları.



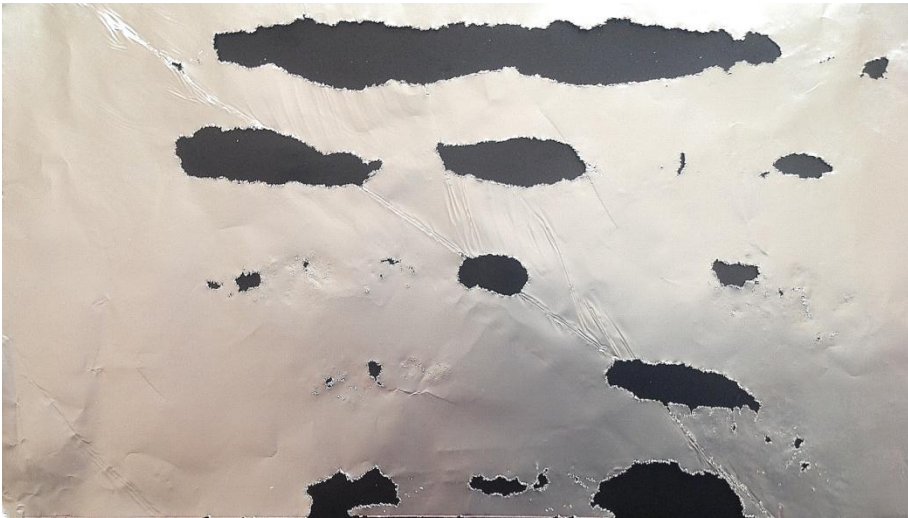
şekil 5.65 40°C’de 15° faz farklı sũrme deney sonuçları.



Şekil 5.66 40°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.67 40°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları.



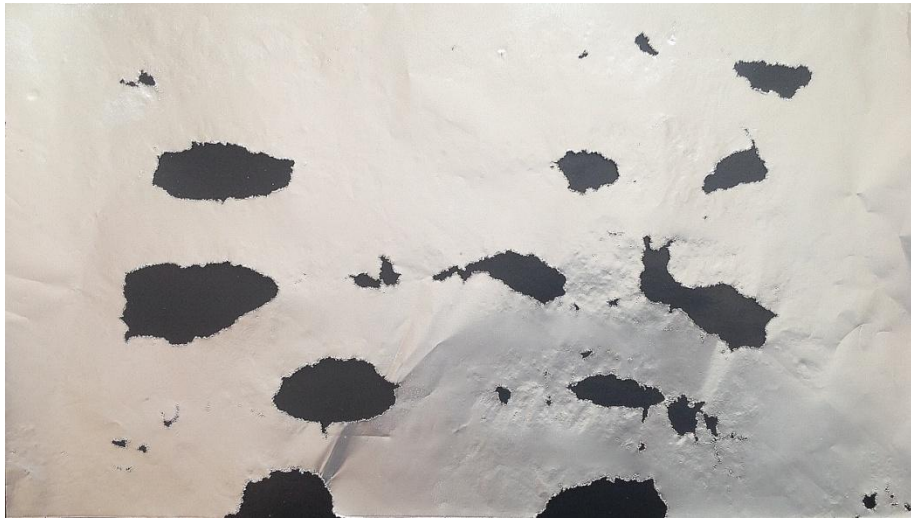
Şekil 5.68 40°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.69 40°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.70 40°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.71 40°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.72 40°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.73 40°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.74 40°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.75 40°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.76 40°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları.

40°C sıcaklıkta faz farklı çalışma modlarında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde, 15° - 45° faz farkı aralığında, temizleme alanının azalmasına rağmen homojenliğin arttığı görülmektedir. 60° faz farkında sıvı yüzeyinde temizleme etkinliği maksimum seviyesine ulaşırken, 75° faz farkında en homojen temizleme gerçekleşmektedir. Devamında 135° faz farkında temizleme etkinliği kristaller arası yoğunlaşmaya başlamıştır ve 180° faz farkında birbirinden tamamen ayrışarak iki kristal arasında minimum seviyeye inmiştir.

5.4.4 50°C’de Faz farklı çalışma modlarında temizleme etkinliğinin incelenmesi

Kazan sıcaklığı 50°C’de sabit tutulmuş ve rezonans frekansı 38,08kHz olarak alınmıştır. 2 dakika sũresince gerçekleşen temizleme etkinliğinin sonuçları şekil 5.77 – şekil 5. 89 arasında gũrũlmektedir.



şekil 5.77 50°C’de 0° faz farklı sürme deney sonuçları.



şekil 5.78 50°C’de 15° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.79 50°C’de 30° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.80 50°C’de 45° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.81 50°C’de 60° faz farklı sürme deney sonuçları.



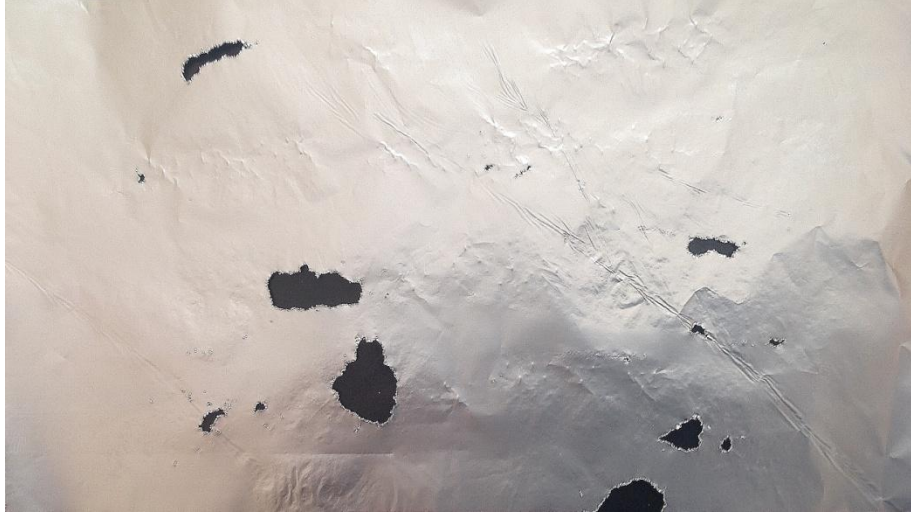
Şekil 5.82 50°C’de 75° faz farklı sürme deney sonuçları.



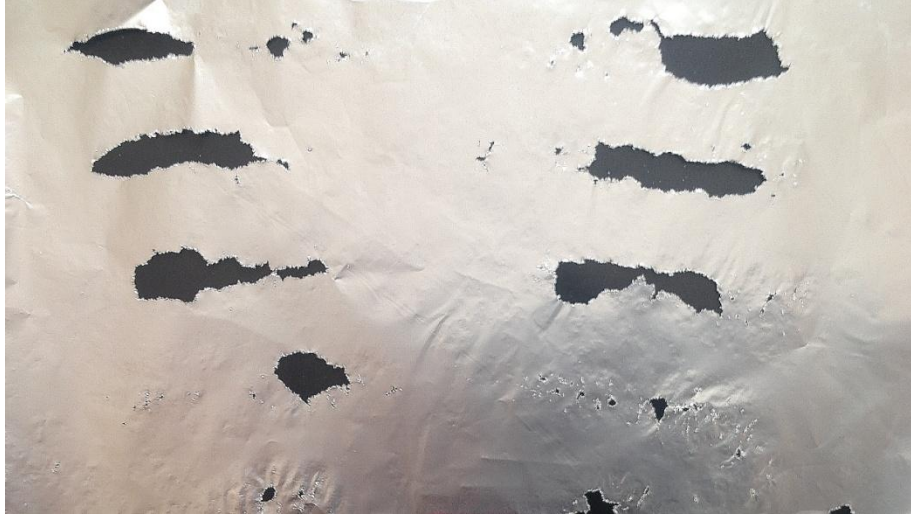
Şekil 5.83 50°C’de 90° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.84 50°C’de 105° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.85 50°C’de 120° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.86 50°C’de 135° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.87 50°C’de 150° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.88 50°C’de 165° faz farklı sürme deney sonuçları.



Şekil 5.89 50°C’de 180° faz farklı sürme deney sonuçları.

50°C sıcaklıkta faz farklı çalışma modlarında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde, 15° faz farkında temizleme etkinliğinin arttığı ve maksimum temizleme gücüne ulaştığı görülmektedir. 0° faz farkında temizleme etkinliği sıvı yüzeyinde fazla iken 90° faz farkı civarında ise temizleme etkinliğinin homojenliğinin arttığı görülmektedir. Devamında 120° sıcaklıkta minimum seviyeye ulaşan temizleme etkinliği, 180° faz farkına doğru gidildikçe kristaller üzerinde düz bir çizgi halinde yoğunlaşarak birbirinden tamamen ayrıştığı görülmektedir. Bu durumda kazanın ortası olan kristallerin orta bölgesinde temizleme etkinliğinin neredeyse hiç olmadığı gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, iki dönüştürücülü ultrasonik temizleme sisteminin mekaniksel, donanımsal ve yazılımsal olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devamında tasarlanan temizleme sisteminde çeşitli sürme teknikleri kullanılarak temizleme etkinliğinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber yeni bir sürme metodu olarak faz farklı sürme metodu geliştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Tez kapsamında geliştirilen ultrasonik temizleme makinesi prototipi teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Kazan sıcaklığının 20°-70°C arasında manuel olarak ayarlanabilmesi,
- 31,5kHz – 41,5kHz aralığında 67 farklı frekans değerinde istenen sabit frekans değerinde çalışabilme,
- Rezonans frekansında 0°-180° arası 13 farklı faz farklı sürmeli çalışabilme,
- Elektronik sarf malzemeleri dışında yerli teknoloji kullanılarak gerçekleştirilebilir olması,
- Gerek endüstriyel gerekse laboratuvar tipi modellere kolaylıkla adapte edilebilmesi,

Kazan iç ebatları 137x240x150mm³ ve kazan kapasitesi 4 litredir. Ultrasonik dönüştürücüler kazanın taban diyafram bölgesine ultrasonik geçirgenliği yüksek özel bir malzeme ile yapıştırılmıştır.

Yapılan deneylerin sonuçlarının sağlıklı bir biçimde değerlendirilebilmesi için [4] tez çalışmasında Tunç C. tarafından geliştirilen MATLAB tabanlı görüntü işleme programı kullanılmıştır. Programın Şekil 6.1' de görüldüğü gibidir, burada eşik değeri yapılan hesaplamalar sonucu 160 olarak alınmıştır.



Şekil 6.1 Deneylerin analizinde kullanılan MATLAB de yazılmış program [4]

Alüminyum üzerinde toplam aşınan bölgelerin ortalama ağırlık merkezlerinin koordinatlarının hesaplanması için aşağıdaki formül 6.1 kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i w_i}{\sum_i w_i} \quad (6.1)$$

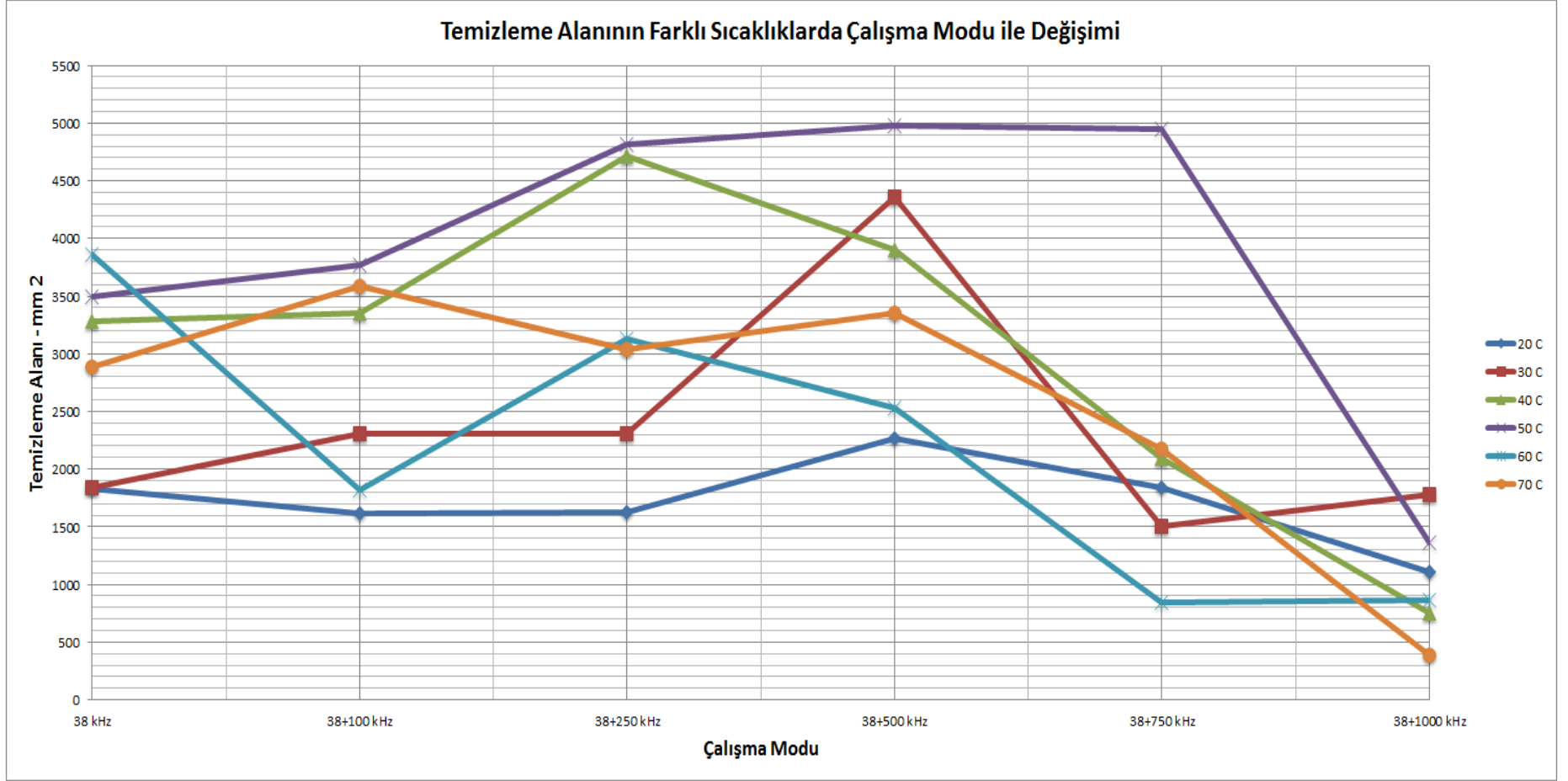
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2] w_i}{\sum_i w_i}} \quad (6.2)$$

Burada i . aşınmış bölgesinin x kordinatı x_i ve alanı w_i ile tanımlanmaktadır. Aşınmış bölgelerin toplam ağırlık merkezinin x kordinatı ise $\bar{x}$ ile tanımlanmıştır. Aynı şekilde y kordinatının değeri de hesaplanmıştır. Bir diğer önemli parametre olan temizlemenin homojenliğinin değerlendirilmesi amacıyla formül 6.2 kullanılarak standart sapma hesaplanmıştır. Böylece aşınan bölgelerin folyo merkezine olan uzaklıklarının, ortalama ağırlık merkezinin sahip olduğu uzaklığa olan standart sapması hesaplanmıştır.

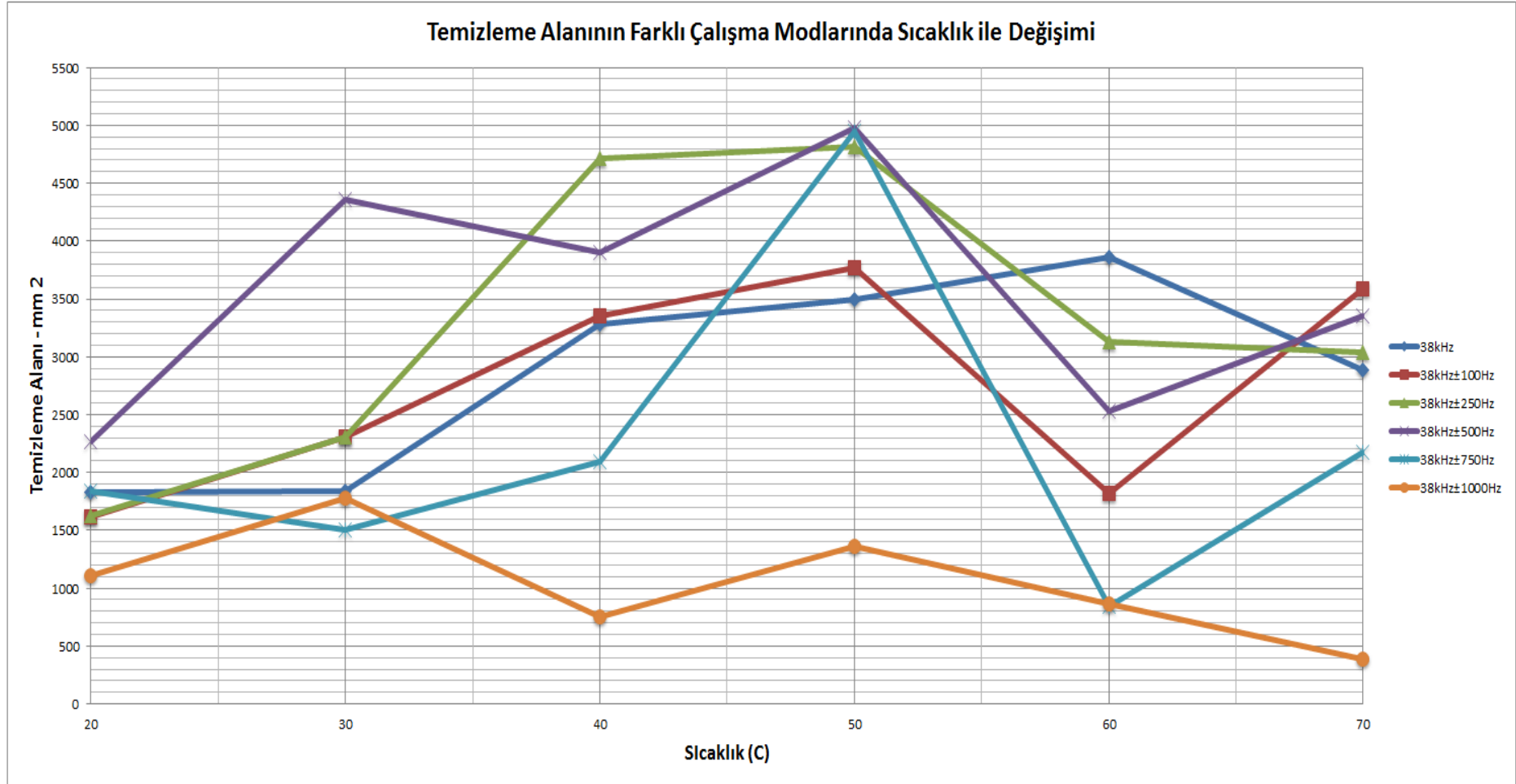
Aşınan bölgelerin homojen dağılması durumunda, ortalama ağırlık merkezinin folyo merkezine yakın olması beklenir. Bununla beraber standart sapma değerinin olabildiğince büyük olması beklenir ki bu temizleme etkinliğinin sadece bir bölgede yapılmadığını göstermektedir.

Süpürmeli çalışma modları için altı adet çalışma modunda ve 20-70°C arasında değişen sıcaklıklarda deneyler yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Temizleme alanının ve homojenliğinin değişim grafikleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.7 arasında görülmektedir. Bu değişimler incelendiğinde maksimum temizleme sıcaklığının 50°C olduğu görülmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda kristallerin ısınması sonucu

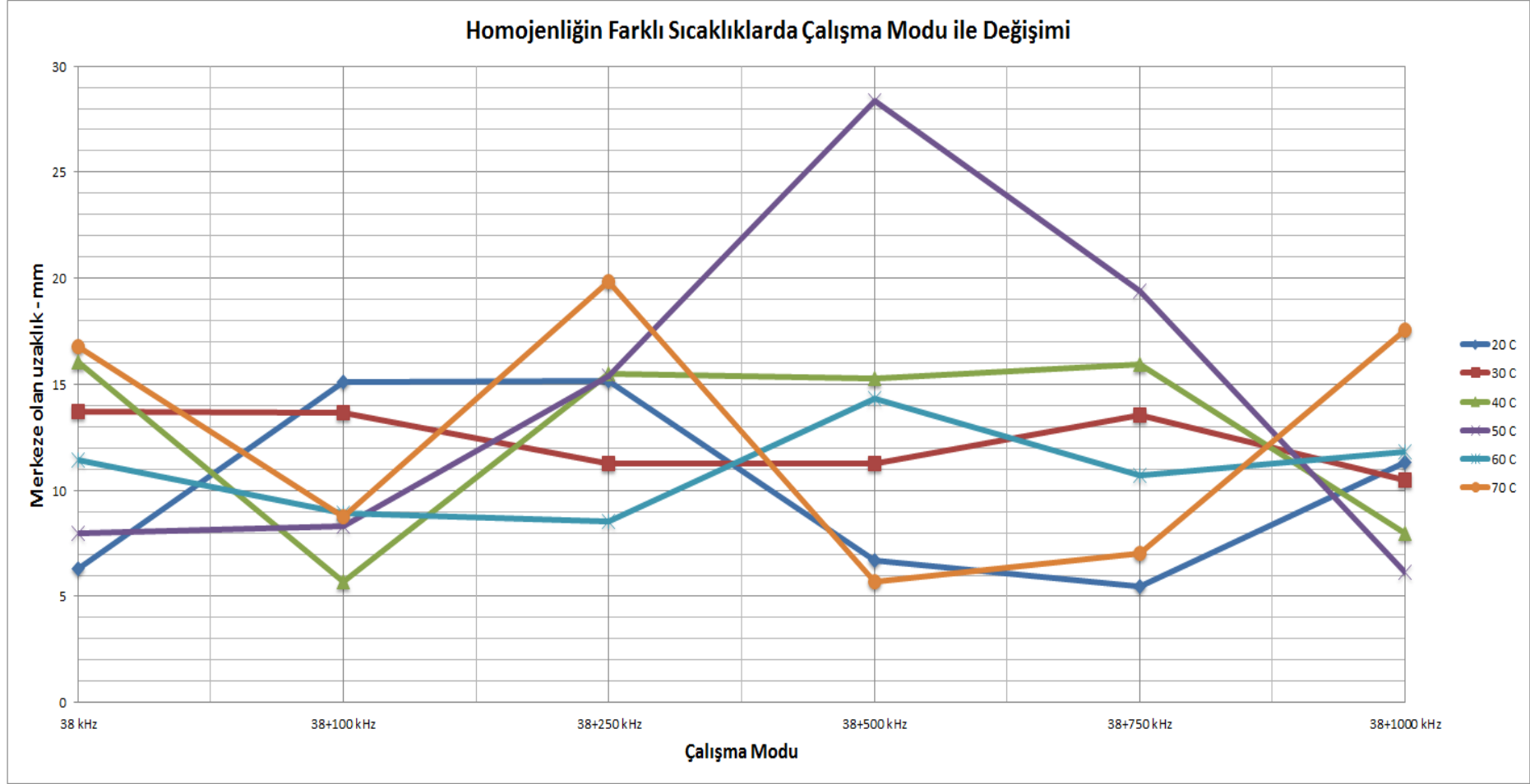
temizleme etkinliği azalmıştır. Bununla beraber temizleme modu dikkate alındığında ise $38\text{kHz} \pm 500\text{Hz}$ 'lik çalışma modunun en verimli çalışma modu olduğu görülmüştür. şekil 6.4 ve şekil 6.5' te ise farklı çalışma modları ve sıcaklıklarında yapılan deneyler sonucunda oluşan bütün deliklerin ortalama ağırlık merkezlerinin folyonun merkezine olan uzaklığı gösterilmiştir. Homojenliğin ls deliklerin bu ortalama alanlarının merkezlerine olan uzaklıkları ile ölçülmektedir. Bu sebeple bahse konu uzaklık homojenlik ile ters orantılıdır.



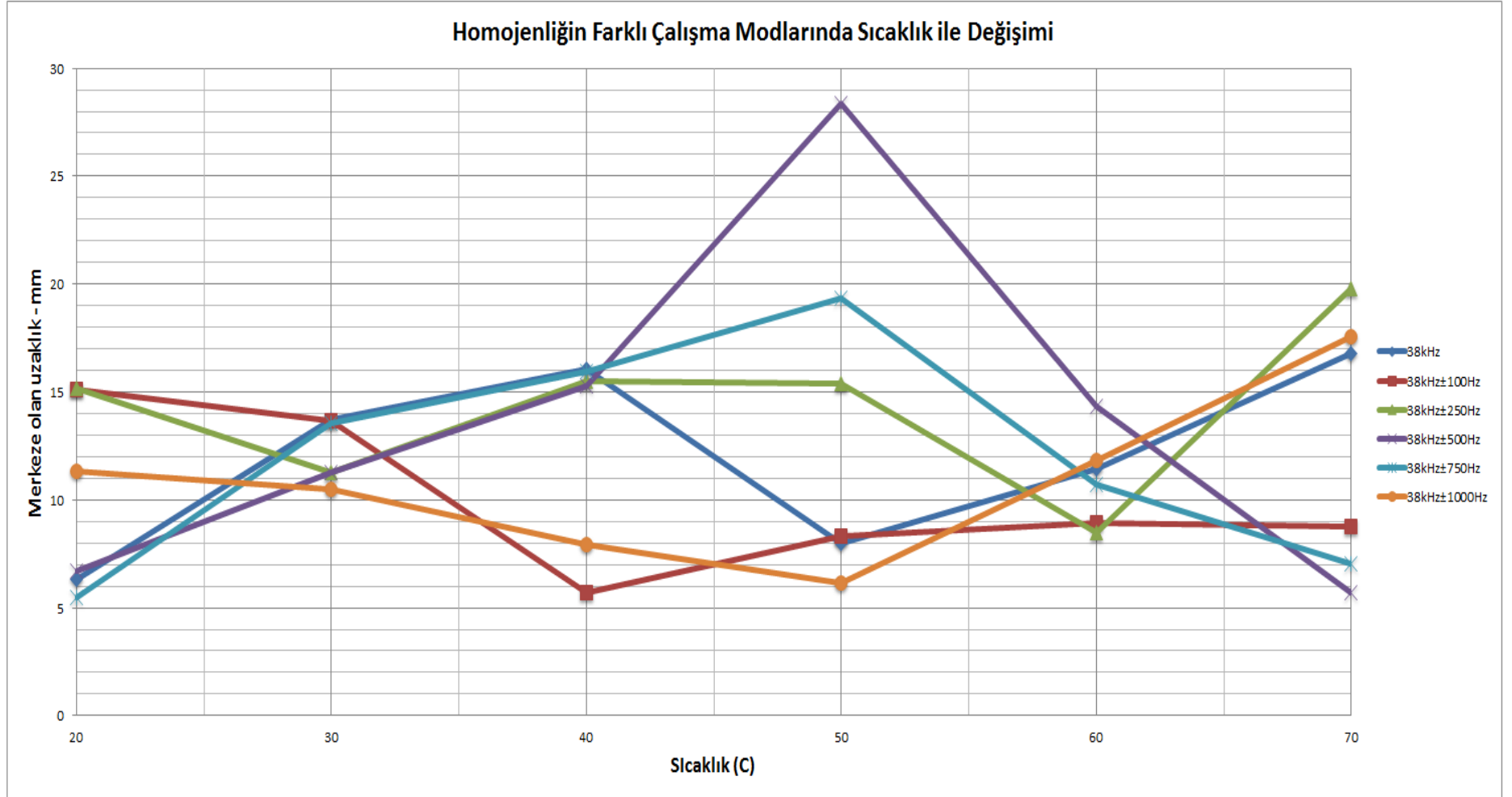
Şekil 6.2 Temizleme alanının farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi.



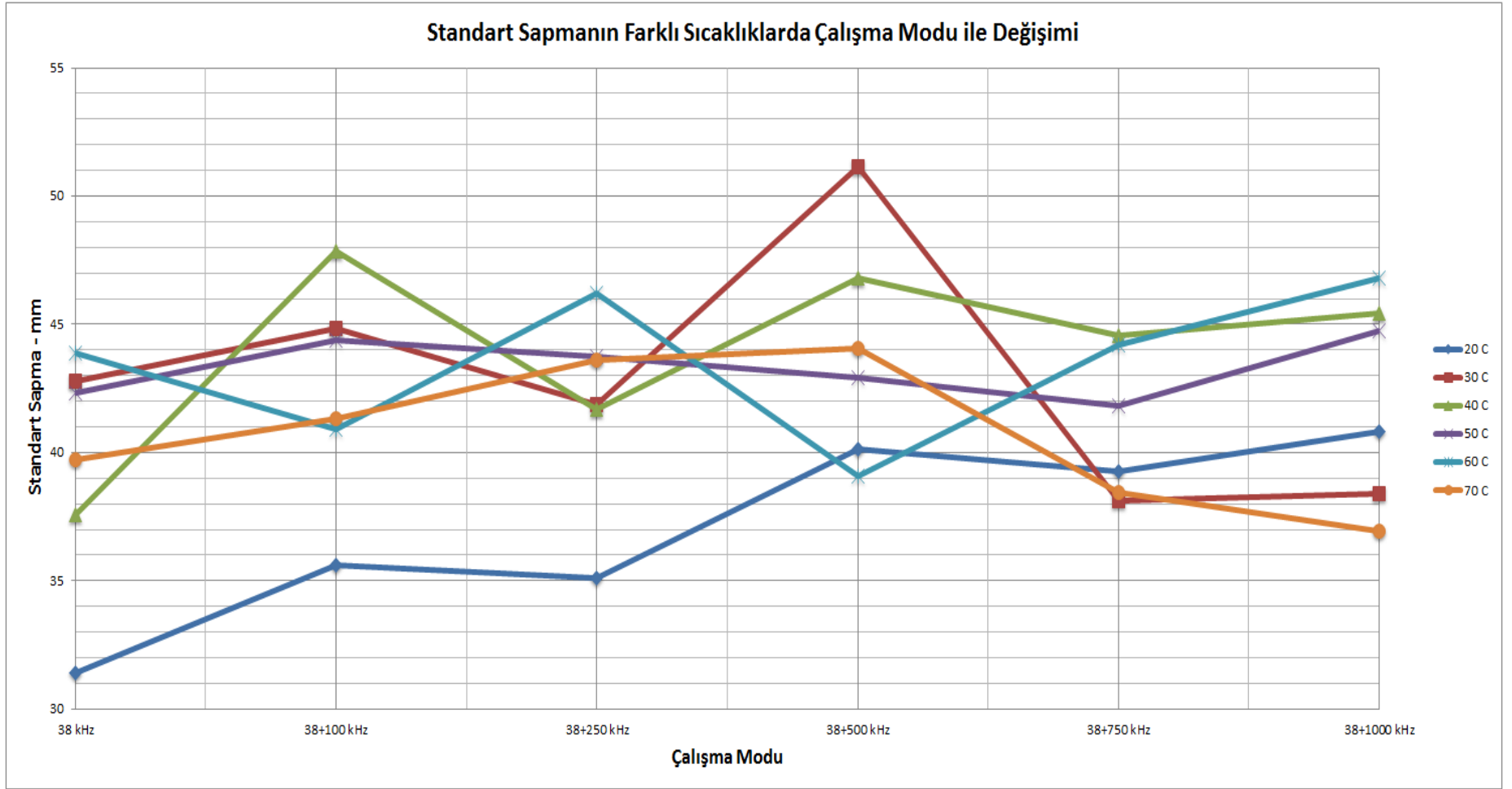
Şekil 6.3 Temizleme alanının farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi.



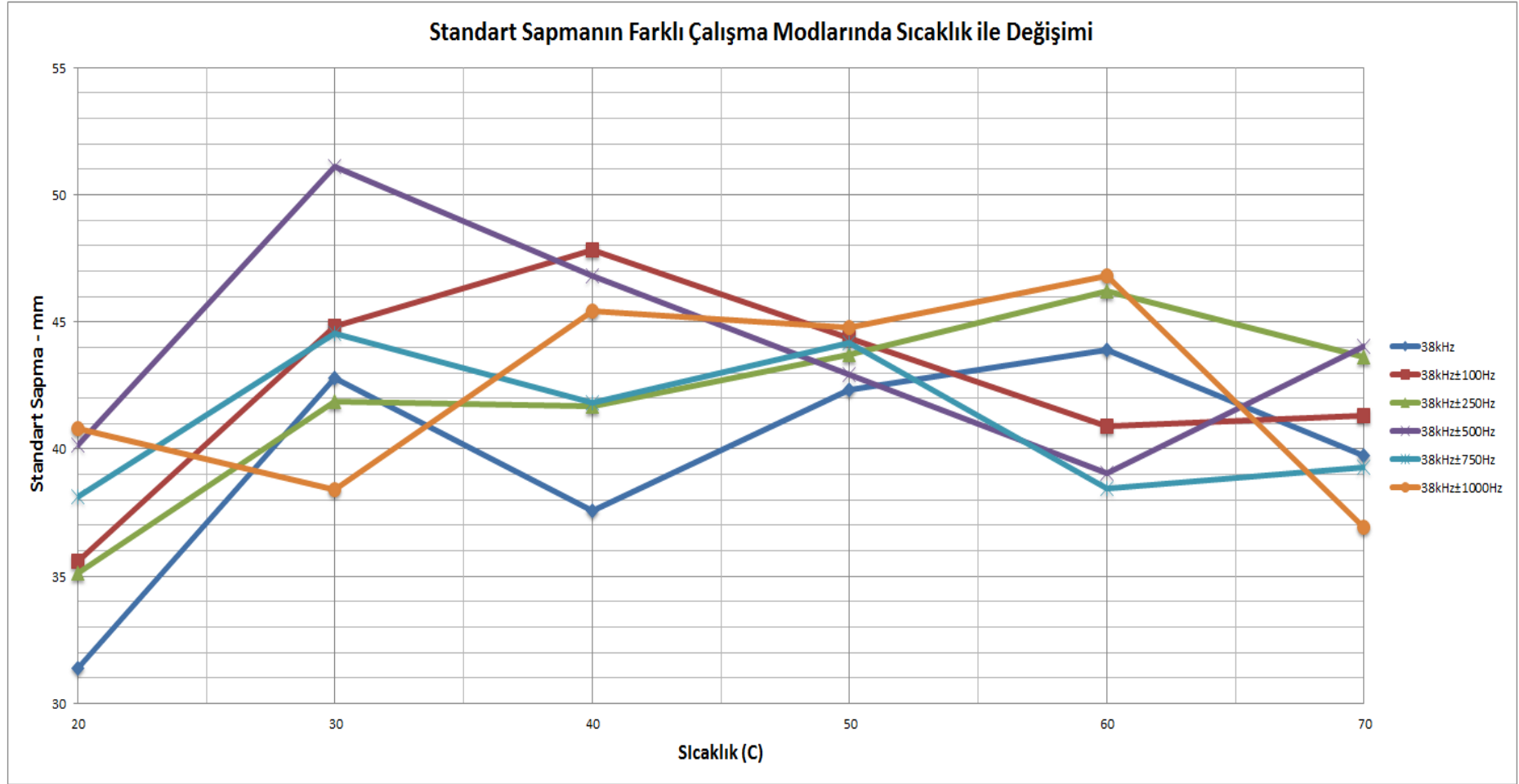
Şekil 6.4 Homojenliğin farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi.



Şekil 6.5 Homojenliğin farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi.

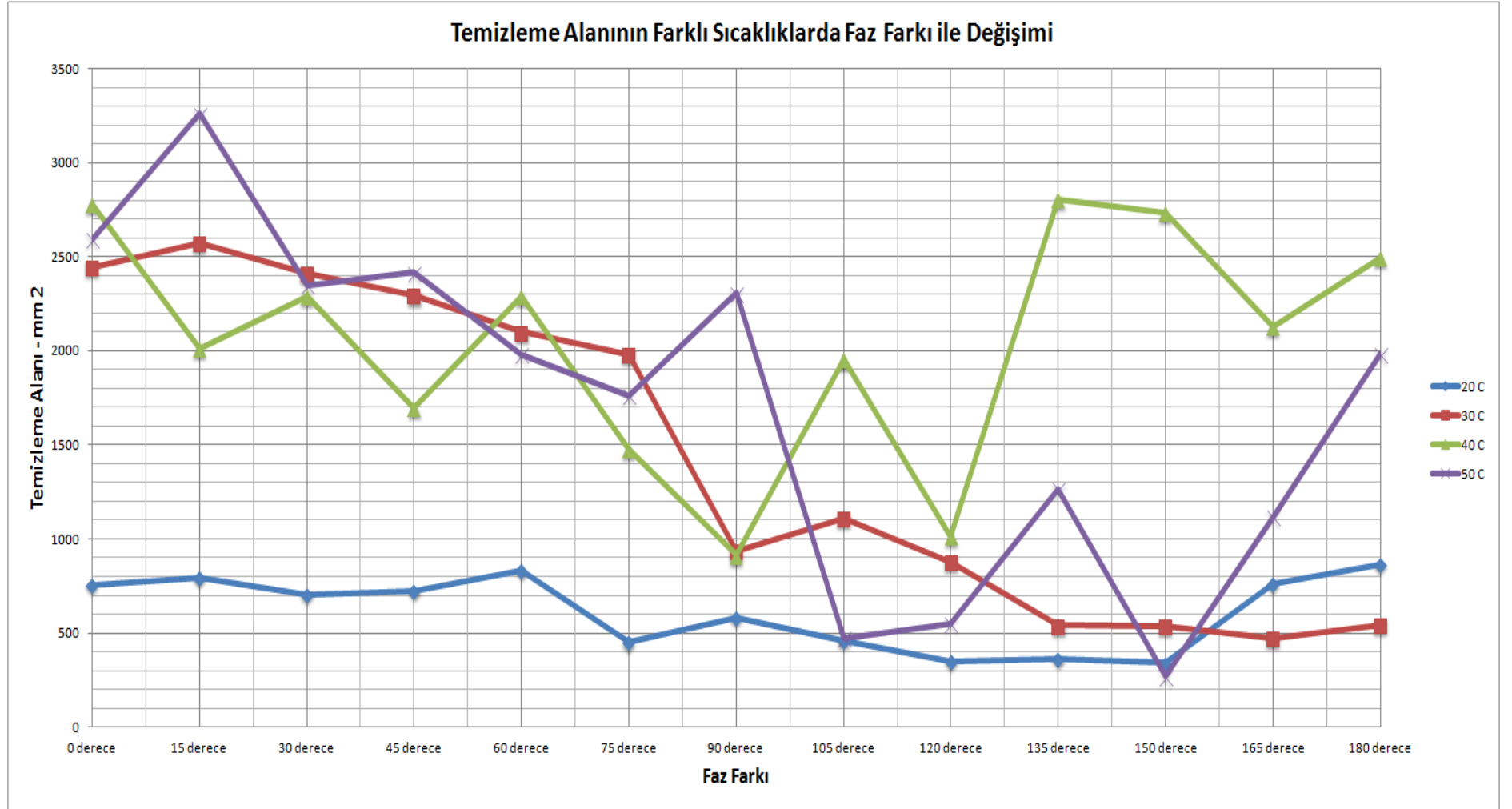


Şekil 6.6 Standart sapmanın farklı sıcaklıklarda çalışma modu ile değişimi.

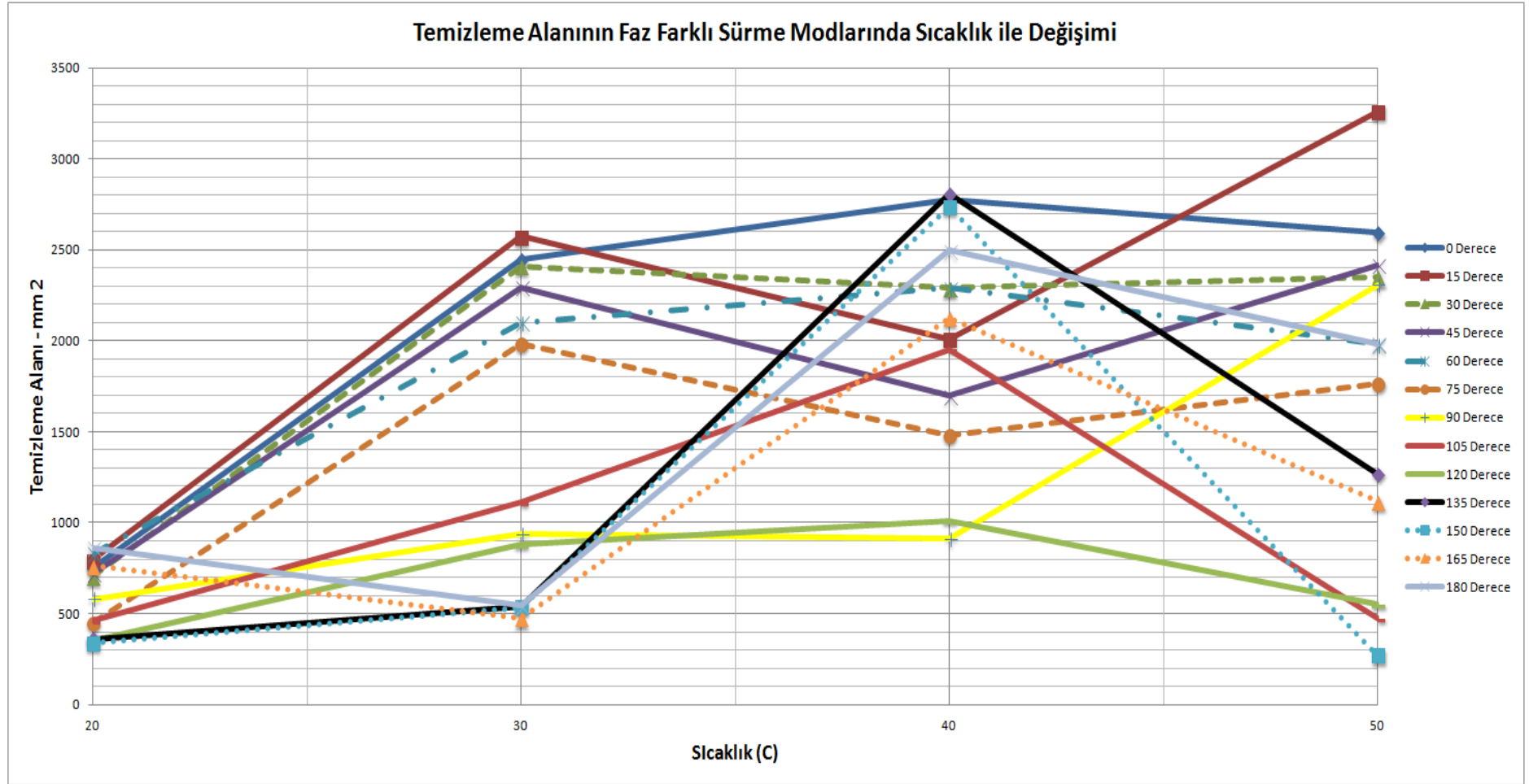


Şekil 6.7 Standart sapmanın farklı çalışma modlarında sıcaklık ile değişimi.

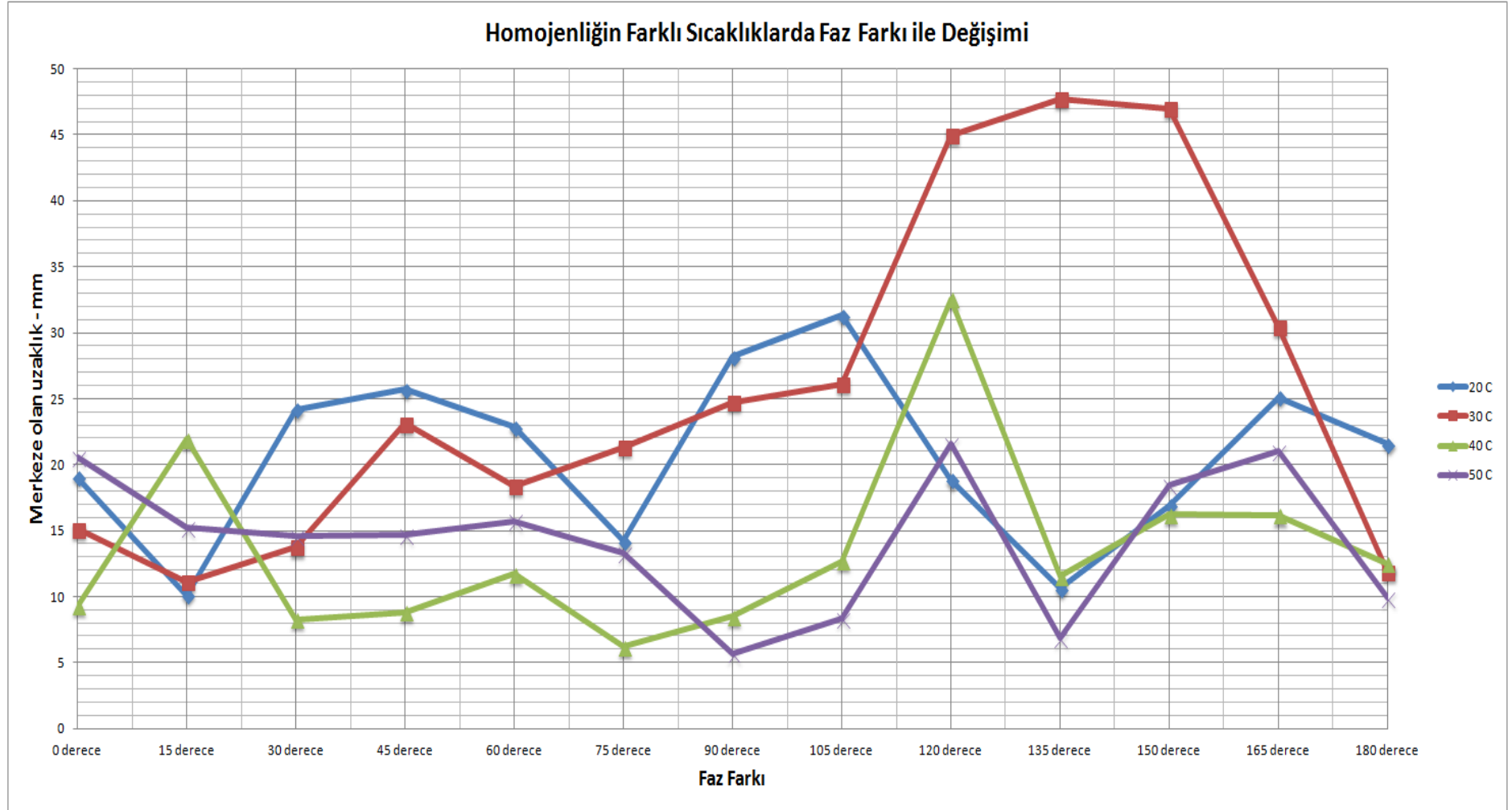
Faz farklı çalışma modlarında ise 20-50°C arasında değişen sıvı sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. İlgili değişim grafikleri Şekil-6.8 ile Şekil-6.13 arasındadır. Önceki deneylere benzer olarak sıcaklık artışının temizleme etkinliğine olan pozitif etkisinin yanı sıra neredeyse bütün çalışma sıcaklıklarında 15°'lik faz farkının temizleme etkinliğinin gücüne ve homojenliğine olumlu etki yarattığı görülmüştür. Örneğin 50°C sıcaklıktaki temizlikte temizleme alanı 0° faz farkına nazaran yaklaşık %25 artış gözlemlenmiştir. Temizleme homojenliği incelendiğinde ise 20-30° C sıcaklıkta maksimum homojenliğin yine aynı sürme modunda gerçekleştiği görülmektedir. Standart sapma değişimleri incelendiğinde ise faz farkının artmasının standart sapma değerini bütün sıcaklık değerlerinde artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi kristaller arası faz farkı değerinin artmasıyla iki dönüştürücü arası temizleme etkinliğinin azalması ve dönüştürücüler üzerinde düz bir çizgi halinde gerçekleşmesidir. 30°-45° arası faz farklı sürmeler için temizleme gücünün nispeten azalmasına rağmen homojenliğinin gözle görülür bir şekilde arttığı görülmektedir. Bununla beraber 90°-120° aralığında temizleme etkinliği minimum seviyeye ulaşan temizleme etkinliği 180° faz farkına doğru gidildikçe ultrasonik kristaller üzerinde doğrusal bir halde tamamen birbirinden ayrıştığı görülmektedir. İki ultrasonik kristallerin birbirinden bağımsız oluşturduğu yüksek ve alçak basınç bölgelerinin 180° faz farkına yaklaştıkça bu bölgede birbirinin etkisini yok ettiği düşünülmektedir.



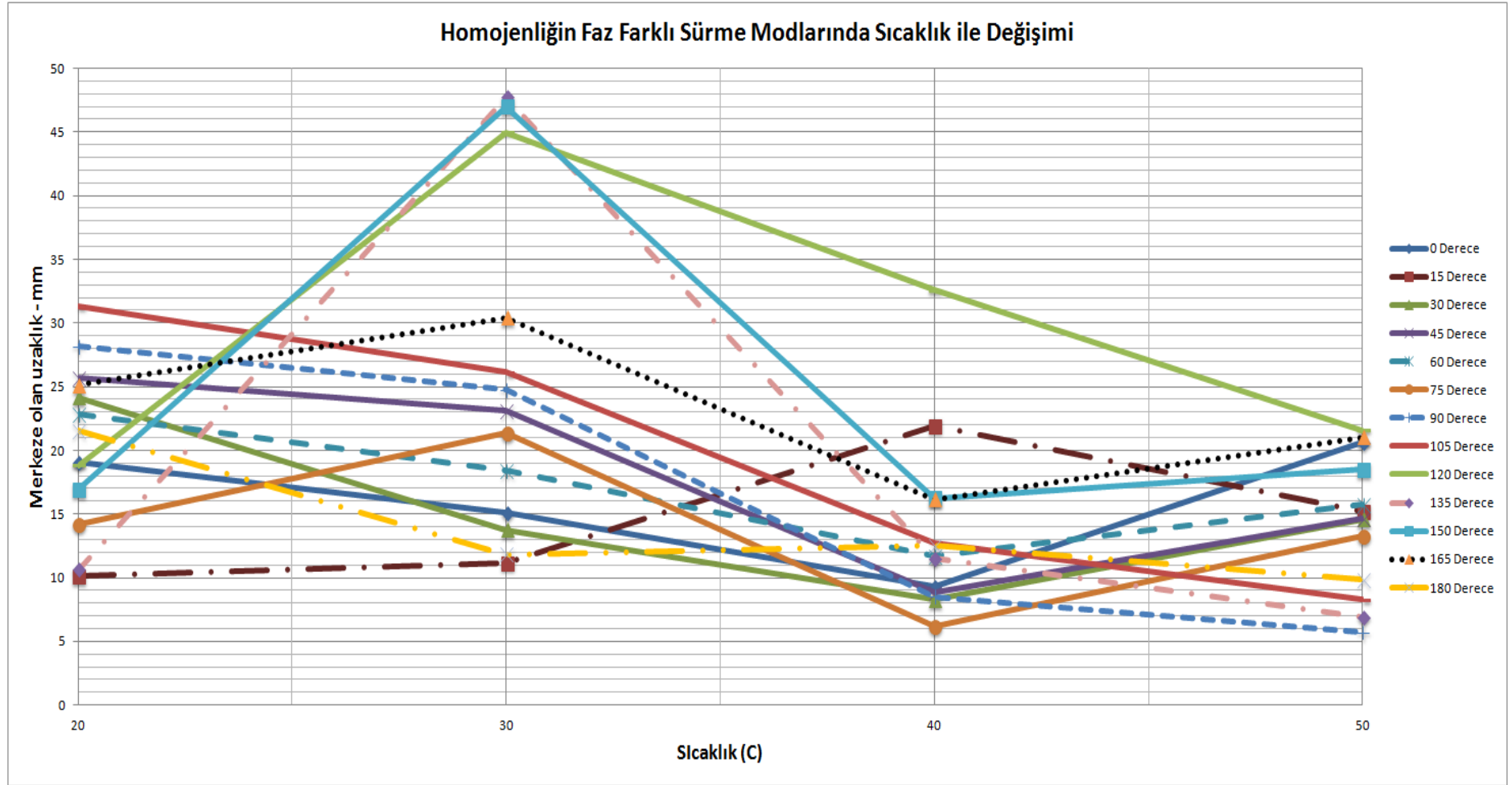
Şekil 6.8 Temizleme alanının farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi.



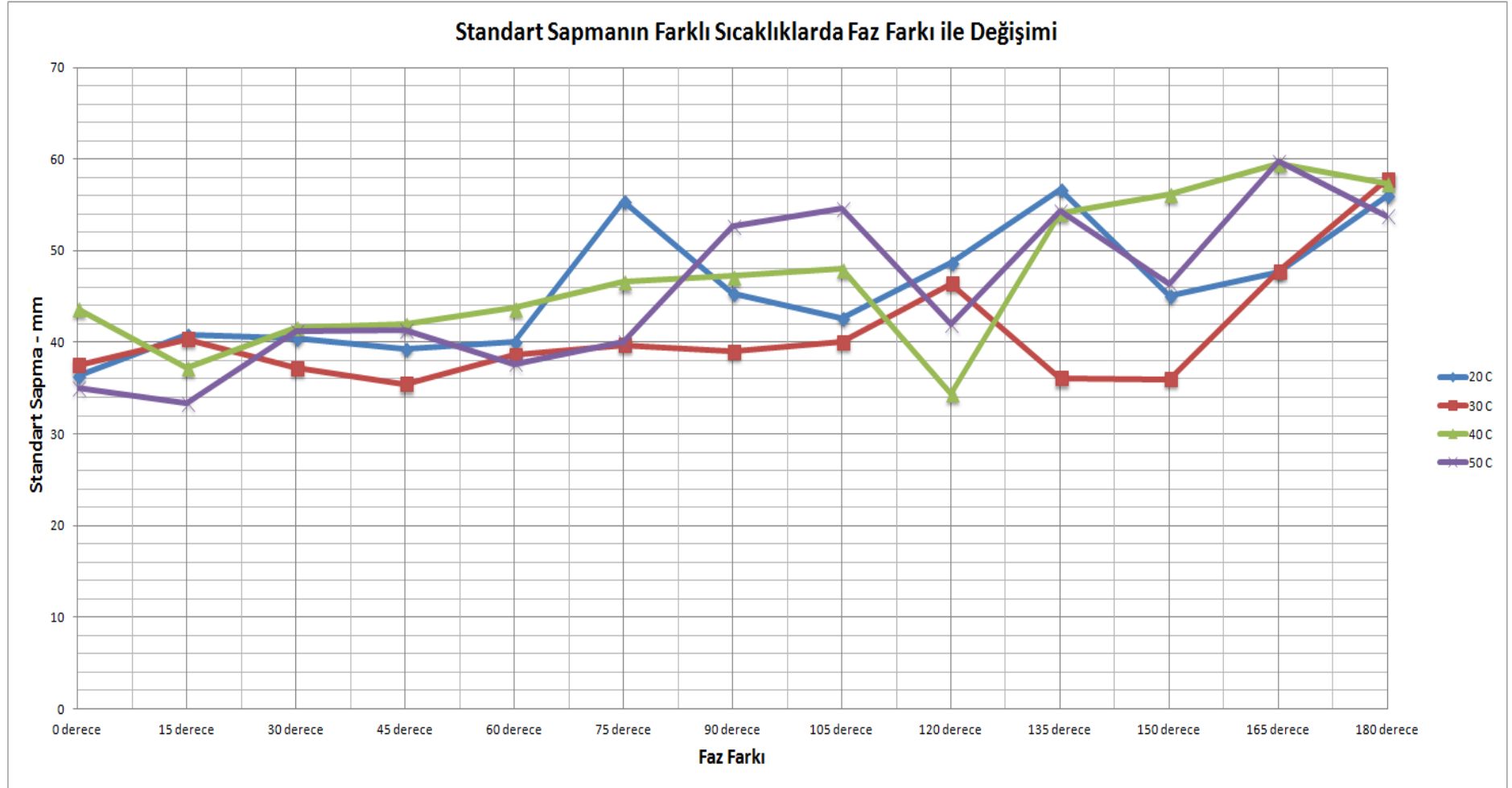
Şekil 6.9 Temizleme alanının faz farklı sürme modlarında sıcaklık ile değişimi.



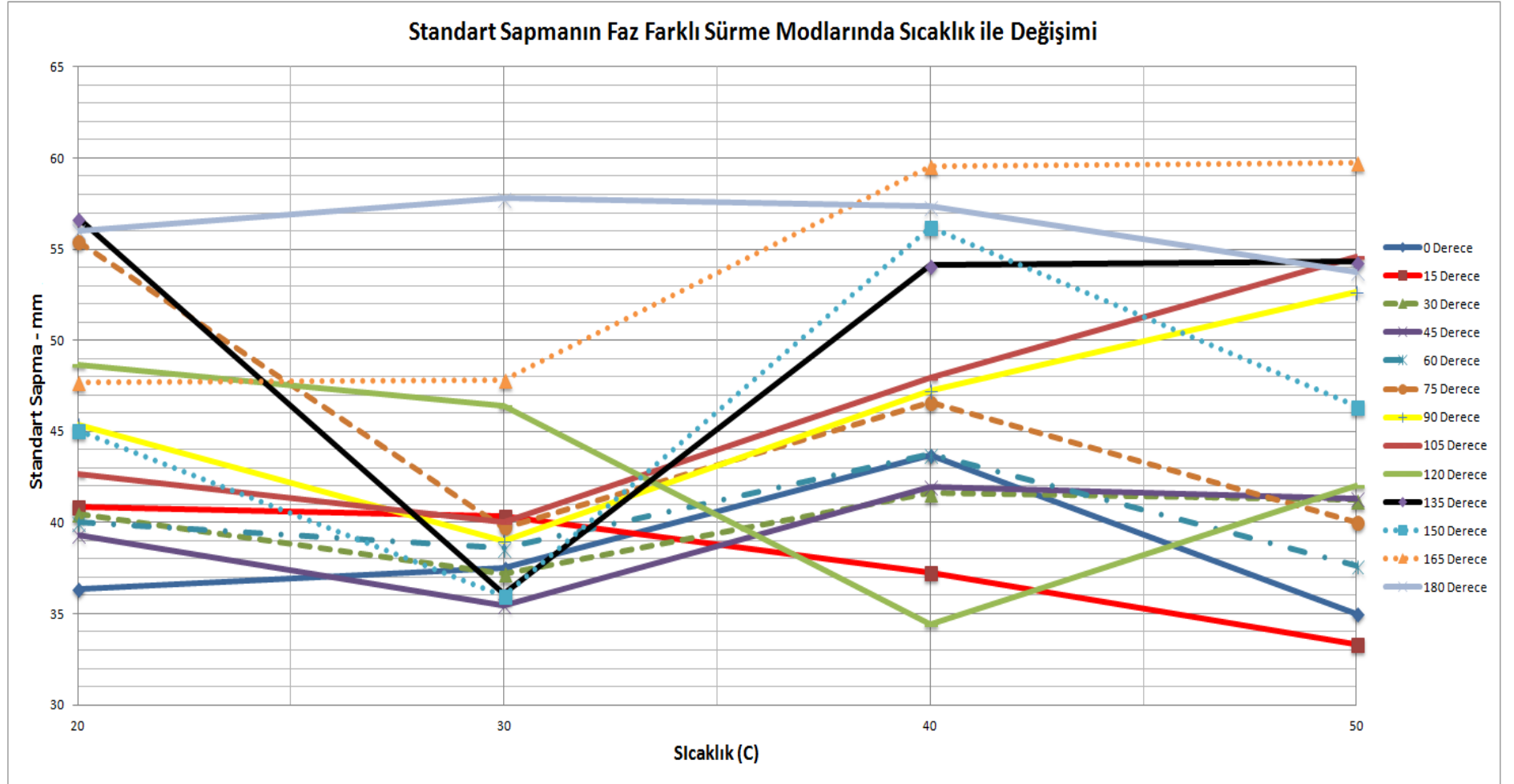
Şekil 6.10 Homojenliğin farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi.



Şekil 6.11 HOMOJENLİĞİN FAZ FARKLI SÜRME MODLARINDA SICAKLIK İLE DEĞİŞİMİ.



Şekil 6.12 Standart sapmanın farklı sıcaklıklarda faz farkı ile değişimi.



Şekil 6.13Standart sapmanın faz farklı sürme modlarında sıcaklık ile değişimi.

Günümüzde kullanılan ultrasonik temizleme sistemlerinde, büyük kazanlı uygulamalarda birden fazla ultrasonik kristalin tamamı birbirine paralel bağlanarak kullanılmaktadır. Bizim gerçekleştirdiğimiz tasarımda iki kristale uygulanan sinyaller arası belirli bir faz farkının uygulanmasının temizleme etkinliğini ve homojenliğini artırdığı görülmüştür. Bu sebeple kullanılacak kristallerin iki sınıfa ayrılarak çalışma sıcaklığına uygun seçilecek belirli bir faz farkında birbirinden bağımsız sürülmesi temizlemenin etkinliğinin verimini artıracak gibi temizleme süresinin de kısılmasını sağlayacaktır.

Yapılan deneylerden edinilen bir diğer önemli nokta ise ultrasonik kristallerin sıcaklık artışından olumsuz etkilendikleri ve bununla beraber sıcak durumda üzerlerine enerji depoladıklarıdır. Soğuma için bir süre bekletilen kristallerin soğuduktan sonra deşarj oldukları gözlemlenmiştir. Başka bir deyişle, soğuyan kristallerin iki ucunun kısa devre edilmesi sonucu adeta enerjili bir kondansatör gibi deşarj oldukları tespit edilmiştir. Çok sayıda ultrasonik dönüştürücünün bulunduğu temizleme sistemlerinde kristallerdeki bu sıcaklık etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

İleriye yönelik bir çalışma olarak, ultrasonik dönüştürücülere uygulanan modüle edilmiş sürme sinyalinin şeklinin değiştirilmesi, ayrıca kristallerin karşılıklı yüzeylere bağlanarak faz farklı sürülmesi durumunda bunların temizlemeye olan etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Arnau, A.**, Piezoelectric Transducers and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007 [1].
- Fencl, R. C., Hollerith, B.**, “ The Advantages of Ultrasonic Cleaning as a Production Tool”, IEEE Transactions on Ultrasonic Engineering, 71-74, 1963 [2].
- Tunç, C.**, SES ÖTESİ TEMİZLİK CİHAZI ÖLÇÜMLERİ VE SONUÇLARI ANALİZİ, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013 [3].
- Güler, S.**, Ses Ötesi Temizleme Etkinliğinin Çeşitli Parametrelere Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012 [4].
- Nagarajan, R., Diwan, M., Avasthi, P., Shukla, A., Sharma, P., Goodson, M., Awad, S.**, “Optimization of Ultrasonic Cleaning for Erosion-Sensitive Microelectronic Components” , 2006 IEEE/SEMI advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 233-237, 2006 [5].
- Niemczewskii B.**, Observations of water cavitation intensity under practical ultrasonic cleaning conditions, Ultrasonics Sonochemistry, 13-18, 2007 [6].
- Özkütük, A.**, Manuel ve Ultrasonik Temizlik, Genel Özellikleri ve Personeli Koruma, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, İZMİR [7].
- Tangel, C.**, Mikrodenetleyici Kontrollü Ultrasonik Temizleme Makinesi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2009 [8].
- Hatano, H., Kanai, S.**, “High-Frequency Ultrasonic Cleaning Tank Utilizing Oblique Incidence” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 43(4), 1996 [9].
- Lewis, J. P., Gardner, S., Corp, I.**, “Finite Element Simulation of a Long Narrow Workload immersed in an Ultrasonic Cleaning Bath-Practical

Comparisons and Implications for Cleaning Efficacy”, IEEE 2005 Ultrasonic Symposium, 699-702, 2005 [10].

Khmelev, V. N., Barsukov, R. V., Tsyganok, S. N., Slivin, A. N., Levin, S. V.,
“The Device of Ultrasonic Cleaning of Automobile Injectors”, 4th
Siberian Russian Workshop and Tutorials EDM’2003, III, 2003 [12].

Ay, İ., Anaç, N., Ultrasonik Yöntemle Parça Temizleme” Balıkesir Üniversitesi, IV.
Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 229-241, 2002 [13]

Jina Kim, Benjamin L. Grisso, Jeong K. Kim, Dong Sam Ha, and Daniel J.
Inman, Electrical Modeling of Piezoelectric Ceramics for Analysis
and Evaluation of Sensory Systems, SAS 2008 – IEEE Sensors
Applications Symposium Atlanta, GA, February 12-14, 2008 [16].

M. Guan and W.-H. Liao “Studies on the Circuit Models of Piezoelectric
Ceramics,” International Conference on Information Acquisition, pp.
26-31, June 2004 [17].

ANSI/IEEE Std 176-1987, IEEE Standard on Piezoelectricity, 1987 [18].

D.Ensminger, L.J.Bond, Ultrasonics, third ed., CRC Press, Boca Raton, 2012 [21].

N. Gondrexon, V. Renaudin, P. Boldo, Y. Gonthier, A. Bernis, C. Petrier,
Degassing effect and gas-liquid transfer in a high frequency
sonochemical reactor, Chem. Eng. J., 66, (1997) 21-26 [22].

Url -- http://www.bransoncleaning.com/ultrasonic_technology.asp [11].

Url-- <http://www.natclo.com/dp/ultra.html> [14].

Url-- <http://www.Blackstone-ney.com> [15].

Url-- <http://www.cevreonline.com/cevrekli/cevresorunlar.htm> [19]

Url-- <http://www.cemag.us/articles/2003/10/development-ultrasonic-cleaning> [20].

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet Emin Şahin

Doğum Yeri ve Tarihi: 20.02.1989 Mardin

E-Posta: mehmet.emin.sahin@hotmail.com, eminsahin@live.com

Lisans: Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2011

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

(2013- Halen) Netaş Telekomünikasyon A.Ş' de Teknik Destek Mühendisi

(2012-2014) Tübitak BİDEB Yüksek Lisans Üstün Başarı Bursu

(2011) Selçuk Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bölüm Birinciliği

(2007-2011) Selçuk Üniversitesi, Yüksek Onur Belgeleri