

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNALARINDA KURUTMA
PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

SİNAN KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKATRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SELÇUK ARSLAN**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNALARINDA KURUTMA
PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

Sinan KAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 25.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selçuk ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selçuk ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hatice MERCAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Korhan Kayışlı
Nişantaşı Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, ısı pompalı kurutma makinaları için düşük gerilim seviyelerinde çamaşır nem seviyesini ölçen bir sensör sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Düşük nem seviyelerinde hassas algılama yapılarak kurutma performansının iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince, değerli görüşleri ve yönlendirmeleri ile çalışmalarına katkıda bulunan değerli tez danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selçuk ARSLAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın en başından itibaren beraber çalıştığım ARÇELİK A.Ş. Merkez AR-GE Sensör Yöneticiliği çalışanlarına, sağladıkları imkanlar ve verdikleri desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak ise bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan, hem eğitim hayatımda hem de özel hayatımda desteklerini esirgemeyen AİLEME sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2018

Sinan KAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Akademik Yayın Literatürü	1
1.1.2 Patent Literatürü	3
1.2 Tezin Amacı	15
1.3 Hipotez	16
BÖLÜM 2	
MEVCUT KURUTMA MAKİNALARINDAKİ ÇALIŞMA PRENSİBİ	18
2.1 Kurutma Makinaları Çeşitleri	18
2.1.1 Bacalı Tip Çamaşır Kurutma Makinaları	18
2.1.2 Kondenserli Tip Çamaşır Kurutma Makinası	19
2.1.3 Isı Pompalı Kurutma Makinası.....	21
2.2 Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinalarında Kullanılan Sensörler	21
2.3 Isı Pompalı Kurutma Makinalarında Kurutma Çevrimi Algoritması	22
BÖLÜM 3	
ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI	25
3.1 DeneySEL Yöntemler ile Tekstil Direnç Seviyelerinin Belirlenmesi	25

3.2	Sensör Sistemi Tasarımı.....	31
3.2.1	Direnç Ölçüm Sistemi Tasarımı	31
3.2.2	İşlemci Devresi	33
3.2.3	Güç Devresi Tasarımı.....	34
3.2.4	Ölçüm Sistemi Elektronik Kart Tasarımı	35
BÖLÜM 4		
MEKANİK TASARIMLAR.....		36
4.1	Mekanik Tasarım Kriterleri	36
4.2	Bilgisayar Destekli Tasarım	37
4.2.1	Fizibilite Çalışmaları.....	37
4.2.2	Optimum tasarım	40
BÖLÜM 5		
ALGORİTMA ÇALIŞMALARI		45
5.1	Sensör Verilerinin Okunması	45
5.1.1	İletkenlik Plakaları Algoritma Çalışmaları.....	45
5.1.2	Sıcaklık-Nem Sensörü Algoritma Çalışmaları	47
5.2	Sistem Koruma Algoritmaları	49
5.3	Kalman Filtresi	49
5.4	Ölçüm Sistemi Algoritması	53
5.5	Veri Toplama Sistemi.....	54
BÖLÜM 6		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		57
6.1	Deney Düzenəğinin Hazırlanması.....	57
6.2	Veri Toplama Sisteminin Hazırlanması	58
6.3	Standart Çamaşır Testleri	59
6.4	Deneyisel Verilerin Analizi.....	59
6.4.1	Deney 1.....	60
6.4.2	Deney 2.....	64
6.4.3	Deney 3.....	68
6.4.4	Deney 4.....	72
6.5	Deneyisel Çalışmaların Sonuçları	76
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		79
KAYNAKLAR		83
ÖZGEÇMİŞ		85

SİMGE LİSTESİ

%	Yüzde işareti
°C	Santigrat derece
°F	Fahrenheit
A	Amper
Dm_i	Median filtresi aralarındaki fark
gr	Gram
I	Akım
k Ω	Elektriksel direnç birimi (kiloohm)
$m_{(i)}$	Median filtresi
mm	Milimetre
M Ω	Elektriksel direnç birimi (megaohm)
R	Elektriksel direnç
T	Sıcaklık
V	Voltaj
V_{dd}	Nem-sıcaklık sensörü besleme gerilimi
V_k	Sensör gürültüsü
V_{rh}	Nem-sıcaklık sensörü nem değeri için analog çıkış gerilimi
V_T	Nem-sıcaklık sensörü sıcaklık değeri için analog çıkış gerilimi
W_{k-1}	Sistem bozucu gürültüsü
X_k	Sistem durum vektörü
Z_k	Ölçüm vektörü

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AC	Alternative current
ADC	Analog-Digital converter
CNC	Computer numerical control
DC	Direct current
LCR	Inductance (L), Capacitance (C), Resistor (R)
LDO	Low dropout regulator
NTC	Negative temperature coefficient
UART	Universal asynchronous receiver transmitter
USB	Universal serial bus

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	DE4031981 A1 no'lu patentteki kurutucu için geliştirilen sistemin şematik görünümü [6].....	4
Şekil 1.2	US4385452A no'lu patentteki kurutma makinasındaki iletkenlik plakaları patentinin şematik gösterimi [7]	5
Şekil 1.3	US4385452A no'lu patentteki sensörün kontrol yapısı [7].....	6
Şekil 1.4	US5651192A no'lu patentteki sensör yerleşimi [8]	7
Şekil 1.5	İnfrared sensör ve mevcut nem sensörü ile ölçülen kurutma çevrimi verileri [8]	8
Şekil 1.6	US6141887 A no'lu patentteki 1. ölçüm yöntemi için kurutucu şematiği [9] 9	
Şekil 1.7	US6141887 A no'lu patentteki 1. yöntem ile ölçülen veriler [9]	10
Şekil 1.8	US6141887 A no'lu patentteki 2. ölçüm yöntemi için kurutucu şematiği ...	10
Şekil 1.9	US6141887 A no'lu patentteki 2. yöntem için nem sensörü veriler [9]	11
Şekil 1.10	US6141887 A no'lu patentteki 3. ölçüm yöntemi için kurutucu şematiği...	11
Şekil 1.11	US20040060197 A no'lu patentteki bacalı kurutucu için şematik gösterim [10]	12
Şekil 1.12	US20040060197 A no'lu patentteki çamaşır nem ve hava nem grafikleri [10]	12
Şekil 1.13	US7475495 B2 no'lu patentteki kurutma makinasının şematik gösterimi [11]	13
Şekil 1.14	US9249539 B2 no'lu patentteki cihaz yerleşimi verilen bir kurutucunun şematiği [12]	14
Şekil 1.15	US9249539 B2 no'lu patentteki kurulum izleme cihazının genel yapısı [12] 15	
Şekil 2.1	Bacalı tip kurutucu şematik gösterimi [14]	19
Şekil 2.2	Kondenserli tip kurutma makinası şematik gösterimi [16].....	20
Şekil 2.3	Isı pompalı kurutma makinası çevrimi	21
Şekil 3.1	Tekstil ürünlerinin dirençlerinin ölçülmesi için hazırlanan deney düzeneği	26
Şekil 3.2	Farklı tekstil tiplerinin nem seviyesi-iletkenlik ilişkisi	30
Şekil 3.3	Direnç ölçüm sistemi blok diyagramı	32
Şekil 3.4	İzolasyon amplifikatör devre şeması.....	33
Şekil 3.5	Mikrokontrolcü devresi.....	34
Şekil 3.6	Güç devresi blok diyagramı.....	35
Şekil 3.7	Ölçüm sistemi elektronik kartı blok diyagramı	35
Şekil 4.1	Kavram kanıtlama prototipi	38
Şekil 4.2	Alt yarım kürenin 3 boyutlu modelleri.....	39
Şekil 4.3	Üst yarım kürenin 3 boyutlu modelleri.....	39

Şekil 4.4	Tasarımı yapılan sensör grubu ve şarj istasyonun prototipi.....	40
Şekil 4.5	Sensör kabini alt ve üst yarım kürelerinin modelleri	41
Şekil 4.6	Işık taşıyıcı ve batarya tutucu modeli.....	42
Şekil 4.7	Sensör kabinine yerleştirilen elektronik kartın silikon tutucuları	42
Şekil 4.8	Dış yüzeye yapılan silikon kaplamaların modelleri	43
Şekil 4.9	İletkenlik plakası 3 boyutlu tasarımı	43
Şekil 4.10	Silikon kaplama yapılmadan sensör kabini ve şarj istasyonu 3 boyutlu modeli.....	44
Şekil 4.11	Sensör kabini tasarımlarının tamamlanmış hali	44
Şekil 5.1	Sensör grubu için anlamlı verilerin filtrelenmesi	46
Şekil 5.2	İletkenlik ölçüm algoritması.....	47
Şekil 5.3	SHT31 sıcaklık ve nem sensörü görünümü	48
Şekil 5.4	Sensör çıkış geriliminin sıcaklık ile ilişki grafiği	48
Şekil 5.5	Sensör çıkış geriliminin bağıl nem ilişki grafiği.....	49
Şekil 5.6	Kalman filtresi algoritması	51
Şekil 5.7	Kalman filtresi için yazılan C kodu.....	52
Şekil 5.8	Ölçüm sistemi çalışma algoritması.....	54
Şekil 5.9	Zamanlama programı.....	55
Şekil 5.10	Veri toplama sistemi ile verilerin toplanması ve kaydedilmesi	56
Şekil 5.11	Kullanıcı arayüzü tasarımı	56
Şekil 6.1	Deney düzeneği.....	58
Şekil 6.2	Kurutma makinası veri toplama programı	58
Şekil 6.3	İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler.....	60
Şekil 6.4	Kalman filtresi sonucunda elde edilen veriler	61
Şekil 6.5	Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi	62
Şekil 6.6	Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sistemi verilerinin karşılaştırmalı analizi	63
Şekil 6.7	İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veri	65
Şekil 6.8	Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler	65
Şekil 6.9	Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi	66
Şekil 6.10	Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi	67
Şekil 6.11	İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler.....	69
Şekil 6.12	Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler.....	70
Şekil 6.13	Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi	70
Şekil 6.14	Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi	71
Şekil 6.15	İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler.....	73
Şekil 6.16	Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler.....	74
Şekil 6.17	Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi	74
Şekil 6.18	Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi	75

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Kurutma programına karşılık gelen nem seviyeleri 23
Çizelge 3.1	İpek Dokuma Kumaş için elde edilen direnç değerleri..... 27
Çizelge 3.2	Viskon Örne Kumaş için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri..... 27
Çizelge 3.3	Polyester Dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri 28
Çizelge 3.4	Keten Dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri . 28
Çizelge 3.5	Polyester örme için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri 29
Çizelge 3.6	Pamuk örme için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri 29
Çizelge 3.7	Pamuk dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri 29
Çizelge 3.8	Standart pamuklu için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri..... 30
Çizelge 3.9	Ölçümü yapılan tekstillerin direnç aralık değerleri 31
Çizelge 6.1	Standart kurutma testleri için hazırlanan çamaşırların özellikleri 59
Çizelge 6.2	Deney planı 59

ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNALARINDA KURUTMA PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Sinan KAYA

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selçuk ARSLAN

Tekstil ürünlerinin nem seviyelerini belirleme işlemi, tekstil üretimi, tekstil boyama ve tekstil kurutma gibi bazı süreçlerde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle çamaşır kurutma makinaları için tekstil nem seviyesinin ölçülmesi kritik bir parametredir.

Çamaşır kurutma makinası 1840 yılında üretilmeye başlanmış ve 2000’li yılların başından itibaren Türkiye pazarına girmiş olan bir beyaz eşyadır. Özellikle kış mevsiminde çamaşırların dışarıya asılamamasından ve yeni binalarda balkonlara yer verilmemesi nedeniyle artık her evin ihtiyacı olmaya başlamıştır. Kurutma makinaları, çamaşır makinasında yıkanmış ve nemli olarak çıkan çamaşırların kurutma işlemini gerçekleştiren bir üründür.

Kurutma makinalarındaki kritik konulardan biri çamaşır kuruluşunun algılanmasıdır. Kurutma makinaları çamaşır kuruluşunu algılayabildiğinde, homojen kurutma sağlar ve kurutma süresini de makina optimize ederek enerji tasarrufu sağlayabilir. Piyasadaki kurutma makinaları, rezistanslı ve ısı pompalı makinalar olmak üzere ikiye ayrılır. Rezistanslı makinalarda hava sıcaklığı 90°C’ye kadar yükseltilerek tambur içerisine gönderilir ve çamaşır bu sıcak hava ile kurutulur. Bu makinalar zaman ayarlı olarak çalışmaktadır. Çamaşırın kuruluşunu algılayacak bir sensör sistemi bulunmamaktadır. Sıcaklık sensörü kullanılarak sadece tambur içerisinin sıcaklığı kontrol edilmektedir. Çamaşır nem seviyesi ölçümü olmadan zaman ayarlamalı olarak yapılan kurutma çevriminde, zamanlayıcıyı kullanıcı ayarlamaktadır. Kullanıcı tarafından sürenin az

girilmesi çamaşırların homojen olarak kurumamasına neden olmaktadır. Sürenin gereğinden fazla ayarlanması ise çamaşırların kuruduktan sonra fazla ısınmasına sebep olmaktadır ve bu durum çamaşırlara zarar vermektedir. Isı pompalı makinalarda ise hava 55 °C'ye kadar ısıtılarak tambur içerisine gönderilmektedir. Isı pompalı makinalarda iletkenlik plakaları ile çamaşır iletkenliği ölçülerek çamaşır kuruluşuna karar verilmektedir. İletkenlik plakaları makina içerisinde tamburun ön kısmındaki hareketsiz bölgede sabit olarak bulunmaktadır. Bu yöntem rezistanslı makinalara göre daha iyi çalışsa da sabit bir noktadan ölçüm yapıldığı için tüm çamaşırların kuruluşu algılanamamaktadır. Ayrıca kurutma makinasındaki iletkenlik plakaları ile kurutma çevriminin sonlarında çamaşır iletkenliğinin düşük olduğu noktalarda ölçüm yapılamamaktadır. İletkenliğin düşmesi, çamaşır direncini iletkenlik plakalarının ölçebileceği seviyenin üstüne çıkarmaktadır. Bu seviyenin üzerine çıktığında kurutma makinası seçilen kurutma programına göre zamanlayıcı kullanmakta ve kurutma çevrimini sonlandırmaktadır. Kurutma çevriminin sonunda, rezistanslı makinalarda olduğu gibi yine zamanlayıcı ile kurutma çevrimini sonlandırması homojen kurutma problemlerine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, tekstil ürünlerinde hassas nem seviyesi algılama problemine çözüm olacak bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçüm sistemi ile düşük DC gerilim seviyelerinde yüksek direnç ölçümleri hassas bir şekilde yapılmıştır. Aynı sensör tasarımı ile düşük direnç değerleri ve yüksek direnç değerleri doğru ve hassas bir şekilde ölçülebilmektedir.

Geliştirilen ölçüm sisteminde düşük ve yüksek direnç seviyelerini hassas bir şekilde ölçebilmek için ayrı kalibrasyon devreleri kullanılmıştır. Kurutma çevrimi başladığında nemli çamaşırlar yaklaşık 70 k Ω -150 k Ω arasında direnç değerlerine sahip olmaktadırlar. Çevrim başlangıcında düşük direnç seviyelerinde ölçüm yapılmaktadır. Kalibrasyon devresi düşük dirençler için yazılımsal olarak anahtarlanıp hassas bir ölçüm yapılabilir hale getirilmiştir. Çamaşır üzerinden ölçülen direnç değeri 7 M Ω seviyelerine ulaştığında ölçüm sisteminin hassasiyeti azalmaya başlamakta ve direnç değerleri doğru bir şekilde ölçülememektedir. 7 M Ω seviyelerine geldiğinde ölçüm devresi yazılımsal olarak anahtarlanmakta ve yüksek direnç ölçümü yapabilen kalibrasyon devresine geçiş yapılmaktadır. Yüksek direnç seviyelerinde ölçüm devresi üzerinden geçen akım seviyesi çok düşük değerlere ulaştığı için devre gürültüden etkilenir hale gelmektedir. Bu gürültüyü engellemek için donanımsal filtre devreleri kalibrasyon devresinde kullanılmıştır. Ayrıca amaşır nem seviyesi kurutma çevrimi sonlarında çok düşük seviyelere ulaştığı için çok yüksek direnç değerleri oluşmaktadır. Bu direnç değerlerinin bir ADC portu ile okunması sıkıntılara yol açmaktadır. Mikroişlemcilerin ADC portlarındaki giriş empedansları teoride sonsuz olarak kabul edilmektedir. Ancak uygulamada ise kullanılan işlemcilerin ADC girişleri 100 M Ω 'luk bir giriş empedansına sahiptir. Çamaşır üzerinde oluşan direnç seviyesi de yüksek değerlere ulaştığında ADC portu ile beraber gerilim bölücü devre gibi davranmaktadır. Bu yüzden yüksek direnç ölçümü yapılan kalibrasyon devresi ile ADC portu bir opamplı izolasyon amplifikatör devresi ile birbirinden ayrılmıştır. Böylelikle hem düşük hem de yüksek direnç seviyeleri hassas ve doğru bir şekilde ölçülebilmektedir.

Geliştirilen ölçüm sistemini, kurutma makinasında kullanmak için kurutma makinasına özel mobil bir sensör cihazı tasarımı yapılmıştır. Mobil sensör cihazı makina içerisine

Çamaşırlar ile beraber atılarak çamaşırların nem seviyesini algılamak için kullanılmıştır. Yüksek direnç ölçümleri yapabilmesi ve çamaşırlar ile beraber tambur içerisinde hareket edebilmesi sayesinde tüm çamaşırların nem seviyesi ölçülebilir hale getirilmiştir.

Geliştirilen sensör sistemi ile kurutma deneyleri yapılmıştır. Kurutma çevrimi süresince çamaşır nem seviyeleri ölçülmüş ve kuruluk algılanması sensör sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde çamaşır kurutma makinalarındaki kuruluk algılama problemine çözüm olarak sunulmuştur.

Kurutma makinası mevcut sensör yapısı ile %10 ve altı kuruluk seviyesi hassas olarak ölçülemezken, tasarlanan yeni sensör sistemi ve algoritmalarla hassas ölçümler yapılabilir hale gelinmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çamaşır kurutma makinası, kuruluk algılama, iletkenlik ölçümü



**IMPROVING DRYING PERFORMANCE OF
TUMBLE DRYER**

Sinan KAYA

Department of Mechatronics Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Mehmet Selçuk ARSLAN

Determination of moisture level of textile products has a great importance in processes such as textile production, textile dyeing and textile drying. Measuring the textile moisture level is a critical parameter for tumble dryers.

The tumble dryer was started to produce in 1840. Since the early 2000s, it has entered a white-goods market in Turkey. In the winter season, laundry is not hung out. Also new buildings do not have balconies, so the drying machine is necessary for house. Tumble dryers perform the drying process of laundry that washed in the washing machine.

One of the critical issues in tumble dryer is the detection of laundry moisture level. Dryers provide homogeneous drying when they can detect the moisture level. It can also improve energy efficiency by optimizing the drying time of tumble dryer. There are two types tumble dryer in white-goods market. One is a heat pump tumble dryer and the other is a resistance heater tumble dryer. In resistance heater, the air temperature is raised to 90 ° C and sent into the drum. The laundry is dried with the hot air. Tumble dryers with resistance heater work with timers. There is no sensor system to detect the moisture level of the laundry. Only the temperature inside the drum is controlled using the temperature sensor. The user adjusts the timer before the drying cycle, which is done with time adjustment without measuring moisture level of laundry. The low time input by the user causes the laundry to not be homogeneously dried. Over-setting of timers causes the clothes to overheat after drying. It damages the laundry. In tumble

dryers with heat pump, air is heated to 55 ° C and sent into the drum. In the heat pump tumble dryers, conductivity is measured by the conductivity plates and the laundry moisture level is calculated by the measured conductivity value. The conductivity plates are fixed in the machine in the stationary area at the front of the drum. Although this method works better than the resistance heater dryer, the humidity level of all the laundry cannot be detected because the measurement is made from a fixed point. In addition, conductivity plates cannot be measured at points where the laundry conductivity is low at the end of the drying cycle. Low conductivity raises the laundry resistance above the level that the conductivity plates can measure. When the resistance value exceeds the level that the conductivity plates can measure, the dryer uses a timer according to the selected drying program and finishes the drying cycle with timer. At the end of the drying cycle, the completion of the drying cycle with the timer, as resistance heater dryers, causes homogeneous drying problems.

In this study, a measurement system was developed to solve the problem of sensitive moisture level detection in textile products. With the developed measuring system, high resistance measurements at low voltage levels are made precisely. With the same sensor design, low resistance values and high resistance values can be measured accurately and precisely.

Two calibration circuits are used to accurately measure low and high resistance levels in the developed measurement system. When the drying cycle starts, humid cloths have resistance values of about 70k Ω -150k Ω . At the beginning of the cycle low resistance levels are measured. The calibration circuit is software-switched for low resistances. so that a precise measurement can be made. When the resistance value measured on the laundry reaches 7M Ω , the accuracy of the measuring system decreases and the resistance values can not be accurately measured. When the resistance value reaches 7M Ω , the measurement circuit is switched by software. The calibration circuit is switched to high resistance measurement. At high resistance levels, the current level through the measurement circuit reaches very low values, so the circuit is affected by noise. Filter circuits were used in the calibration circuit to prevent this noise. In addition, high resistance values occur at the end of the drying cycle because the moisture level of laundry reaches very low levels. Reading the resistance values with an ADC port is causing trouble. The input impedances of the ADC ports in microprocessors are considered to be infinite in theory. In practice, the ADC inputs of the processors have 100 M Ω input impedances. When the resistance level on the laundry reaches high values, it acts as a voltage divider circuit together with the ADC port. The calibration circuit and the ADC ports are isolated by an opamp buffer circuit. Thus, both low and high resistance levels can be accurately measured.

In order to use the developed measuring system in the dryer, a special mobile sensor device has been designed. The mobile sensor device was used to detect the moisture level of the laundry by being thrown into the drum together with the laundry. The moisture level of all fabrics has been made measurable by the ability to make high resistance measurements and to move within the drum with the laundry.

Drying experiments were carried out with the developed sensor system. The moisture level of the laundry was measured until drying cycle ended and dryness detection was

performed with the sensor system. Thus, it is presented as a solution to the problem of measuring the moisture level in dryers.

Although the dryer cannot accurately measure 10% or less dryness level with the existing sensor structure, it is possible to make precise measurements with the new designed sensor system and algorithms.

Keywords: Tumble dryer, dryness sensing, conductivity measurement



1.1 Literatür Özeti

Bu tezde literatür özeti iki bölüm halinde incelenmiştir. Birinci bölüm akademik yayınlara yönelik literatürü içerirken, ikinci bölümde ilgili patent literatürü verilmiştir.

1.1.1 Akademik Yayın Literatürü

Çamaşır kurutma makinaları 1840 yılında üretilmeye başlanmıştır. 2000’li yılların başından itibaren Türkiye pazarına girmiş olan bir beyaz eşyadır. Son zamanlarda ise çok yaygın bir şekilde kullanılan bir beyaz eşya olmuştur.

Çamaşır kurutma makinalarının kullanımının yaygınlaşması ile bu konuda yapılan akademik çalışmalar da artmıştır. Yapılan akademik çalışmalar, genel olarak ısı çevrimlerinin performansını arttırmak, enerji verimliliğini arttırmak ve tekstil kuruma karakteristiklerini incelemek üzerinedir. Bu tez çalışmasında makina kurutma verimini arttıracak bir sensör uygulamasından bahsedilecektir. Bu yüzden literatür araştırması nem seviyesi ölçümü, iletkenlik ölçümü yöntemleri, kurutma makinası kapsamında yapılan sensör çalışmaları üzerine olacaktır.

W. TeGrotenhuis ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada çamaşır kurutma makinalarında enerji verimliliğini arttırmak için kurutma makinasında yeni bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir [1]. Bahsi geçen çalışmada bacalı tip kurutma makinalarındaki kurutma karakteristikleri incelenmiştir. Bu kurutma makinalarında birçok test yapılmıştır ve test sonuçlarında çamaşırların fazla kurutulmasından dolayı daha fazla enerji harcadığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi bu kurutma makinalarında çamaşır kuruluğunu

ölçen bir sensör sisteminin bulunmamasıdır. Kurutma testleri sonucunda çamaşırın fazla kurutulmasına bağlı olarak %62 oranında daha fazla enerji tüketildiği tespit edilmiştir. Ortalama olarak toplam enerjinin %20'den fazlasının çamaşırlar kuruduktan sonra tüketildiği bu deneysel çalışmalar sonucunda ispatlanmıştır.

W.TeGrotenhuis ve arkadaşları tarafından ilk çalışmanın devamı olarak aşırı kurutmaya bağlı enerji tüketiminin azaltmak için kurutma makinasında kullanılacak düşük maliyetli bir nem sensörü ile yeni bir kontrol sistemi geliştirilmiştir [2]. Düşük maliyetli bir nem sensörü kurutucu egzoz kanalına yerleştirilmiştir. Bu noktadan alınan sıcaklık ve nem değerleri ile yeni kontrol algoritması test edilmiştir. Üç farklı nem sensörü ile bu çalışmalar gerçekleştirilmiştir. DHT11, DHT22 ve Si7021-A10 sensörleri kullanılmıştır. Egzoz çıkışına yerleştirilen sensörler ile tambur içinden çıkan havanın sıcaklık ve nem karakteristiğine göre kurutma çevrimi sonlandırılmıştır. Sonuç olarak bu sensörler ile daha hassas ve doğru kuruluk algılaması yapılarak doğru noktada kurutma çevrimi sonlandırılmıştır. Aşırı kurutma engellenerek enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Kurutma performansının arttırılmasında, malzemedeki nem oranının belirlenip kontrolün buna göre yapılması da mümkündür. Yukarıda anlatılan çalışmaların haricinde çeşitli malzemelerin iletkenliklerinin ölçümü ve nem oranlarının belirlenmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak nem oranının belirlenmesi için malzemelerin iletkenlikleri yani direnç ölçümleri yapılmıştır.

Silvia Casans ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yüksek direnç aralığında yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilen bir cihaz tasarımından bahsedilmiştir. Yapılan çalışmada 1 M Ω ile 100 G Ω aralığındaki direnç değerlerini %1 hata oranı ile ölçülmüştür. Tasarlanan ölçüm sistemi düşük voltaj seviyesi ile ölçümleri yapabilmektedir. Düşük gerilim seviyelerinde çalışıldığı için gürültü engelleme ve yükseltici devre tasarımları yapılmıştır. Tasarlanan ölçüm sistemi ile odun malzemelerindeki direnç değerleri ölçülmeye çalışılmıştır. 34 gün boyunca alınan veriler sonucunda odun nem oranının ortam nemi ile de ilişkisi olduğu görülmüştür. Ölçüm sistemine ortam nemini ölçen bir sensör de eklenerek bu iki ölçüm değerinden odundaki nem oranı tahmin edilmiştir [3].

Shan Gao ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada odunsu malzemelerin nem seviyesini belirlemek için kullanılan voltmetre yöntemi ve dijital köprü yöntemi ile

deneyisel çalışmalar yapılmıştır. Deneyisel çalışmalar sonucunda bu iki yöntem karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Populus Davidiana odun örneği kullanılarak voltmetre ve dijital köprü yöntemi ile elektriksel dirençleri ölçülmüştür. Voltmetre ile yapılan ölçümlerde akım tipi, dalga formu, voltaj ve frekans parametreleri ölçümler üzerinde farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. Ölçülen DC dirençler gerilimin artmasıyla azalmaktadır. DC direnç ölçümü 8V değerinde bir dönüm noktasına sahipken, AC empedans ölçümleri bütün voltaj seviyelerinde aynı kalmaktadır. Dalga biçiminin ise direnç ölçümünde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ve bu ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir. Digital köprü ile yapılan ölçüm sonuçlarında ise voltmetre ölçümü ile kıyaslanabilecek veriler elde edilmiştir. Dijital köprü yöntemi ile karşılaştırıldığında 1000 Hz'lik sinüs dalgası ile ölçüm yapan voltmetrenin odun, ahşap ürünlerinin direnç ölçümlerindeki üstünlüğü kanıtlanmıştır[4].

Mohamed Ahmed Hassine ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, kireç taşlarındaki kılcal su emme durumları için doyuma ulaştığı nem seviyesini algılamak için elektriksel direnç ölçümünün kullanılması anlatılmıştır. Elektriksel direnç değerleri poroz yapılarıdaki su transferi işlemleri ile doğrudan ilişkilidir. Çalışma kapsamında iki kireç taşı arasındaki su transfer profili ile elektriksel direnç arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla farklı nem saturasyon seviyelerinde elektriksel direnç değerleri ölçülmüştür. Böylece kireç taşları arasındaki nem transferi için bir profil çıkarılmıştır [5].

1.1.2 Patent Literatürü

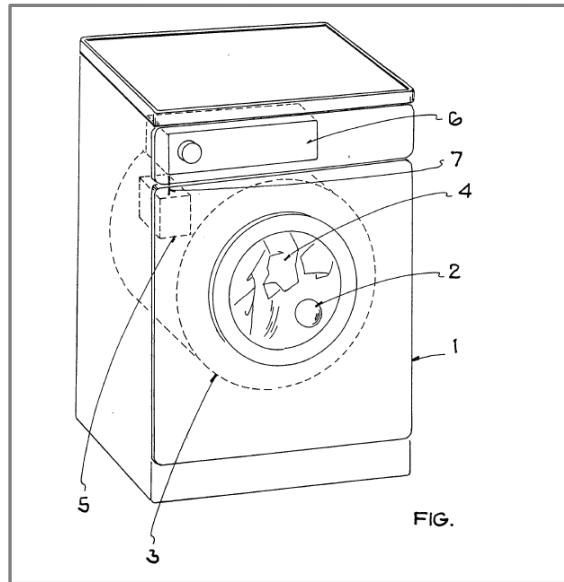
Bu bölümde tez çalışması kapsamında çamaşır kurutma makinası özelinde alınan, kuruluk algılama ve çamaşır kurutma makinalarının kurutma performansını artırmaya yönelik uygulamalara alınmış patentler incelenmiştir. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında küresel bir sensör ünitesi tasarımı gerçekleştirildiği için buna benzer beyaz eşya uygulamalarının patentleri de incelenmiştir.

16 Mayıs 1992 tarihinde başvurusu yapılan DE4031981 A1 patentinde, çamaşır yıkama makinalarında su sıcaklığının, çamaşır nem seviyesinin ve suyun kimyasal özelliklerinin ölçüldüğü bir sensör grubundan bahsedilmektedir [6].

Çamaşır makinalarında sıcaklık ölçümü genel olarak tambur içerisindeki suyun sıcaklığının ölçülmesi ile yapılır. Bu sıcaklık ölçümü direkt olarak çamaşır sıcaklığını vermese de yaklaşık olarak benzerdir. Yüksek sıcaklıklarda tekstil ürünlerinin yıkanması tekstile zarar verebilmektedir. Çamaşır nem ölçümü ise sıkma çevriminden sonra veya kurutma çevrimi süresince çamaşır kuruluğunu belirleyebilmek için yapılır. Çamaşır makinasında sıkma çevrimi sonrasında yapılan nem ölçümü ile belirlenen çamaşır nem seviyesi kurutma makinasına girdi olarak verilebilmektedir. Bu hem enerji verimliliğini hem de kurutma performansını iyileştiren bir yöntemdir. Ayrıca çamaşır makinasında kullanılan suyun kimyasal özellikleri de ölçülerek optimal deterjan dozajlama işlemi yapılabilmektedir.

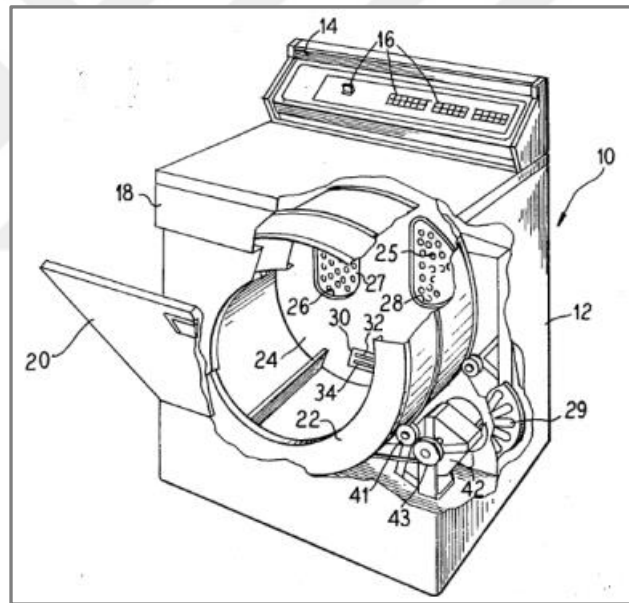
Bu buluşta yukarıda anlatılan özelliklerin ölçümünü sağlayan bir cihaz geliştirilmiştir.

Şekil 1.1 ile çamaşır makinası (Şekil 1.1) (1), tambur (Şekil 1.1) (3) ve kontrol ünitesi (Şekil 1.1) (6) şematik olarak verilmiştir. Tambur (Şekil 1.1) (3) içerisinde çamaşırlar (Şekil 1.1) (4) ve sensörlerin bulunduğu küresel bir top (Şekil 1.1) (2) bulunmaktadır. Tamburun dışarısında bulunan alıcı ünitesi (Şekil 1.1) (5) kablosuz olarak toptan alınan ölçüm sonuçlarını kaydetmekte ve kontrol ünitesine (Şekil 1.1) (6) göndermektedir.

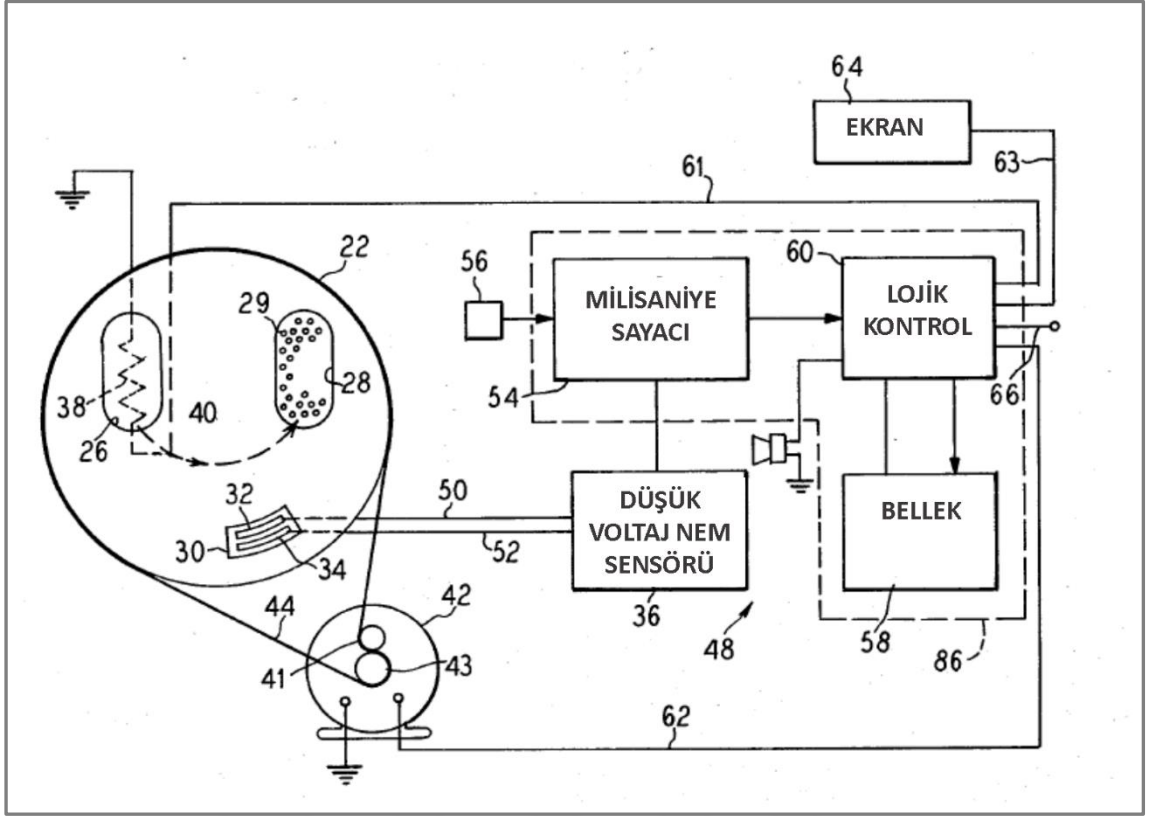


Şekil 1.1 DE4031981 A1 no'lu patentteki kurutucu için geliştirilen sistemin şematik görünümü [6]

Bu patentte bahsedilen düşük voltaj seviyelerinde çalışan ölçüm devresi ile çamaşırın nem derecesi iletkenlik plakalarından ölçülür ve ana makineye bilgi gönderilir. Nem derecesi ile iletkenlik plakalarından okunan gerilim seviyesi arasında bir orantı bulunmaktadır. Bir mikrodenetleyici ile sensörden kısa süre aralıklarında okumalar yapılmaktadır. Bu okumalar yapılırken bir sayıcıyı çalıştırmaktadır. Sensörden belli aralıklı sürelerde ıslak çamaşır bilgisi geldikçe sayıcıyı sıfırlamaktadır. Çamaşırlar kurudukça ise ıslak çamaşırı okuma süreleri uzamaktadır ve sayıcı belirli bir limit değerini aştığında makine çamaşırın kurduğuna karar verebilmektedir. İletkenlik plakaları (Şekil 1.2) (30-32-34) kısmında şematik olarak gösterilmiştir [7].



5



Şekil 1.3 US4385452A no'lu patentteki sensörün kontrol yapısı [7]

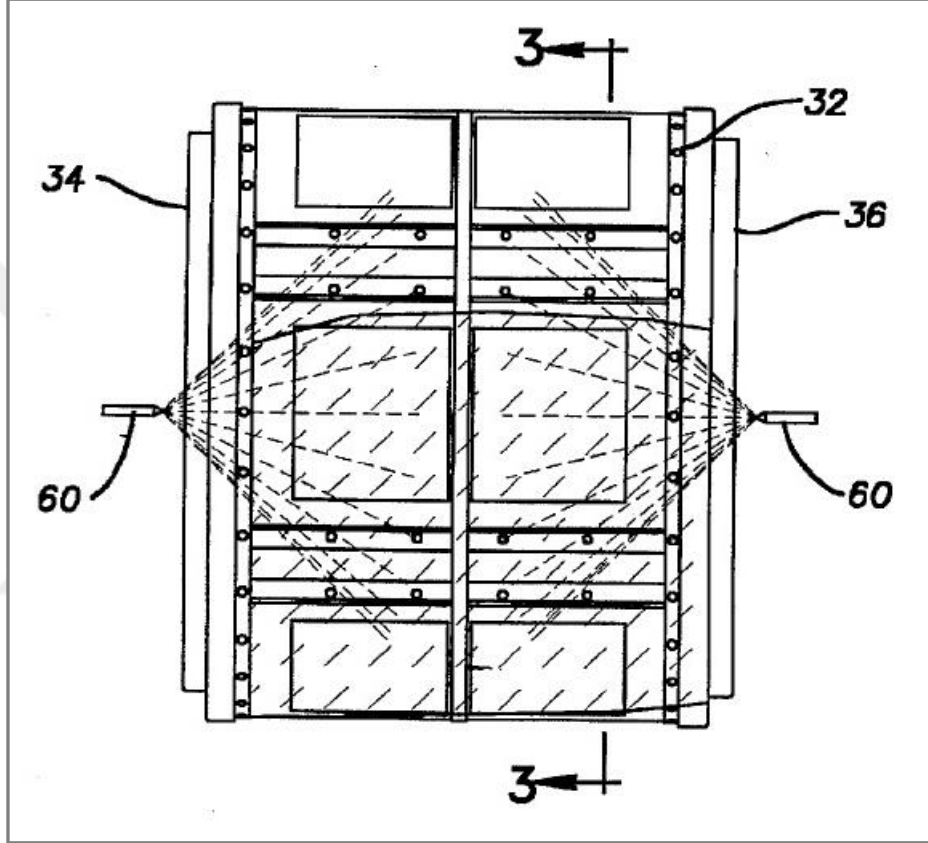
Şekil 1.3 'te görüldüğü gibi, kurutma çevrimi süresince çamaşırlara değebilecek şekilde tambur içerisine yerleştirilmiş en az bir sensör çifti makina üzerinde bulunmaktadır. Sensör (Şekil 1.3) (30), bir çift elektrot (Şekil 1.3) (30) ve bu elektrotları düşük gerilimli nem sensörü devresine (Şekil 1.3) (36) bağlayan iletkenlerden (Şekil 1.3) (50-52) oluşmaktadır [7].

Dijital kontrol ünitesi, nem sensörü devresi (Şekil 1.3) (36), sensör elektrotları (Şekil 1.3) (32,34), kristal (Şekil 1.3) (56) ile sürülen bir dijital milisaniye sayacı (Şekil 1.3) (54), bellek (Şekil 1.3) (58) ve sayaç değerlerini okumak için bir lojik kontrol ünitesinden (Şekil 1.3) (60) oluşmaktadır. Lojik kontrol ünitesi ile farklı makinalar için farklı fonksiyonlar ve farklı çıkışlar sağlanabilmektedir [7].

29 Temmuz 1997 yılında başvurusu yapılan US5651192 A patentinde, infrared bir sıcaklık sensörü ile kurutma makinalarında çamaşır kuruluşunu algılayabildiğinden bahsedilmektedir [8].

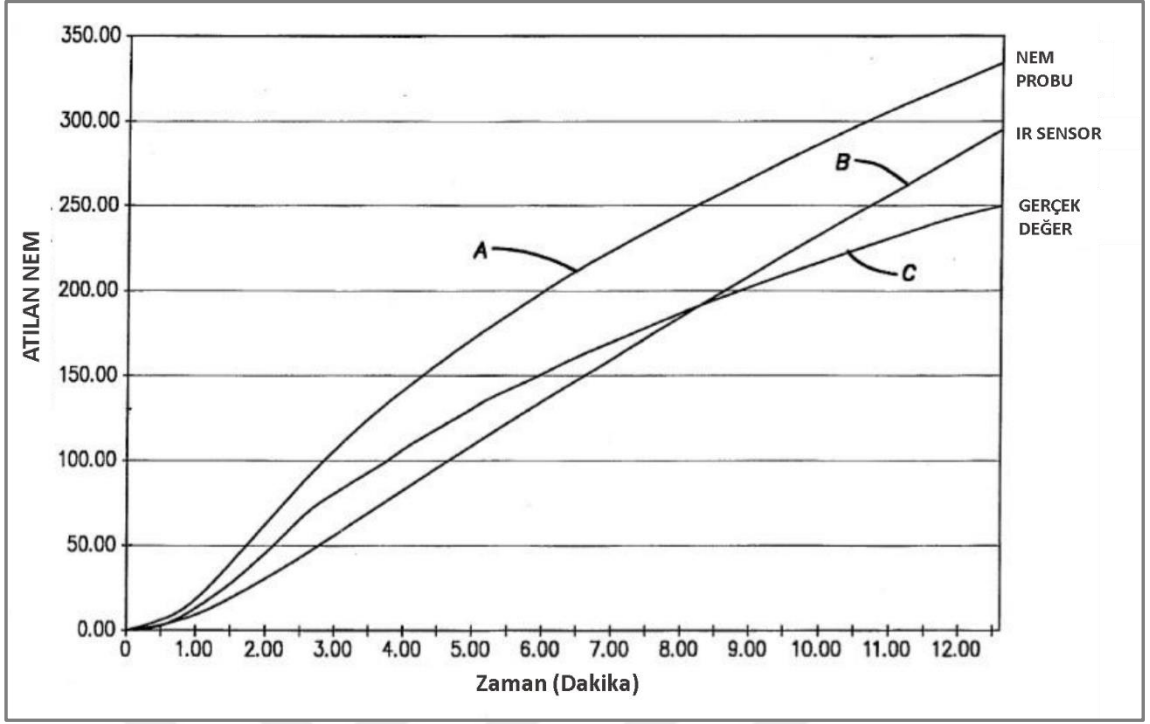
Bu çalışma ile önceden yapılan ölçümler yapılabilmekte ve ekstra olarak kurutucu içerisindeki çamaşırların sıcaklığı da ölçülebilmektedir. Sıcaklığı ölçülen çamaşırlar ile kuruluk kararı da verilebilmektedir.

Kurutma çevrimi süresince çamaşır sıcaklığı bir infrared sensör ile ölçülmektedir. Çevrim süresince çamaşır sıcaklığının artış hızından çamaşırın kuruma kararı verilebilmektedir [8]. Şekil 1.4 ile bu sistemin şematiği gösterilmiştir.



Şekil 1.4 US5651192A no'lu patentteki sensör yerleşimi [8]

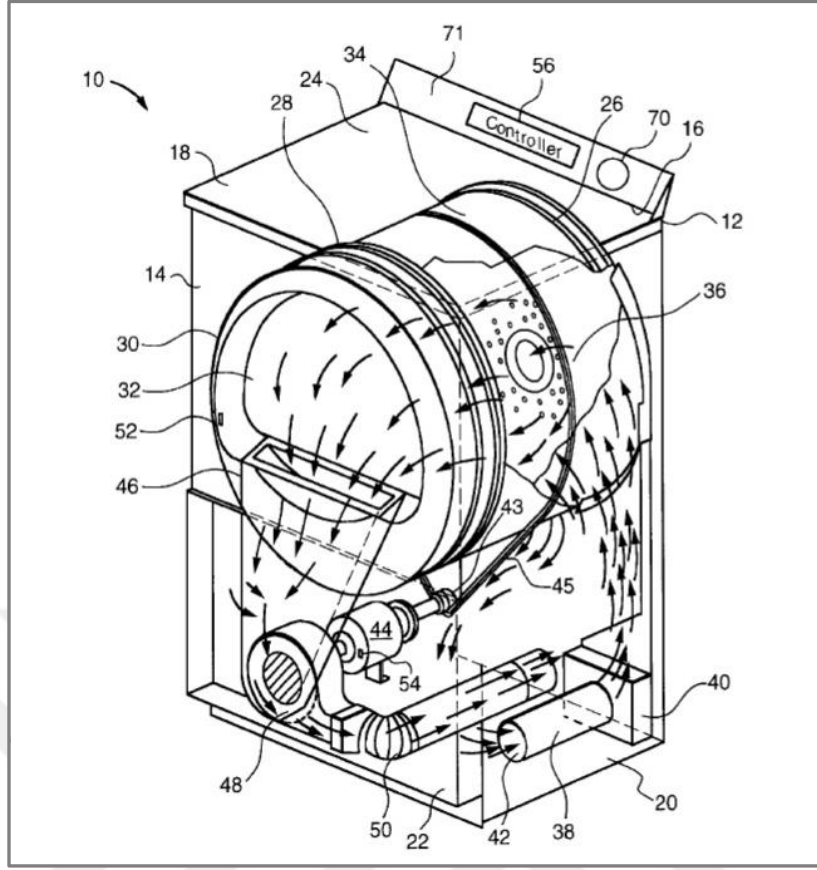
Sistem, tambur (Şekil 1.4) (36) ön tarafı ve arka yüzeyine yerleştirilmiş 2 adet infrared sensörden (Şekil 1.4) (60) oluşmaktadır. Şekil 1.5'teki grafik ile çamaşırın kuruluk seviyesinin mevcut nem sensörü ve infrared sensörü ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 1.5 İnfrared sensör ve mevcut nem sensörü ile ölçülen kurutma çevrimi verileri [8]

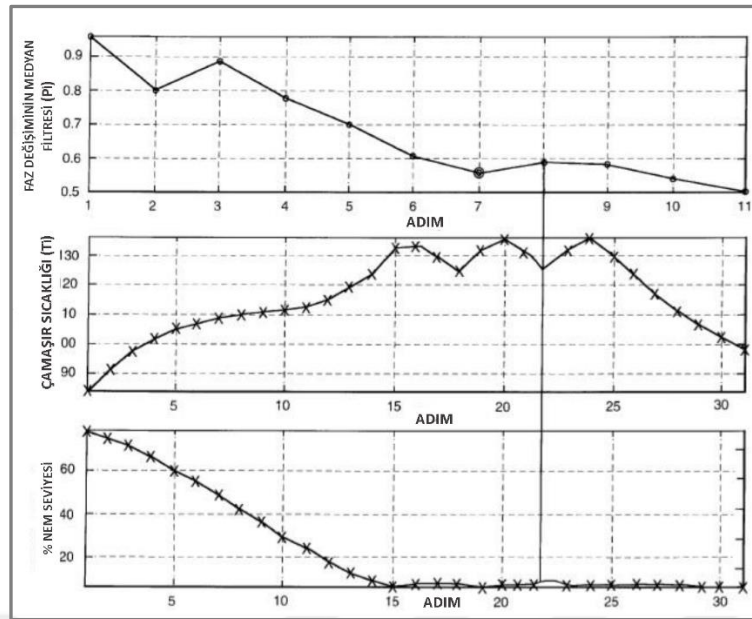
7 Kasım 2000 tarihinde başvurusu yapılan US6141887 A patentinde, kurutma makinasında çamaşır kuruluğunu algılayacak bir sistem tariflenmektedir. 1. yöntem olarak çamaşır kuruluğu hava sıcaklığını ölçen bir sıcaklık sensörü ve motor faz açısını ölçen bir Faz Açısı Sensörü ile ölçülmektedir. 2. yöntem olarak çamaşır kuruluğu ısınan havanın nemini ölçen bir nem sensörü ile ölçülmektedir. 3. yöntem olarak ise hava nemini ölçen bir nem sensörü, hava sıcaklığını ölçen bir sıcaklık sensörü ve motor faz açısını ölçen bir Faz Açısı Sensörü ile ölçülmektedir [9].

Şekil 1.6 ile 1. yöntemin, Şekil 1.8 ile 2. yöntemin, Şekil 1.10 ile 3. yöntemin şematik gösterimi verilmiştir.

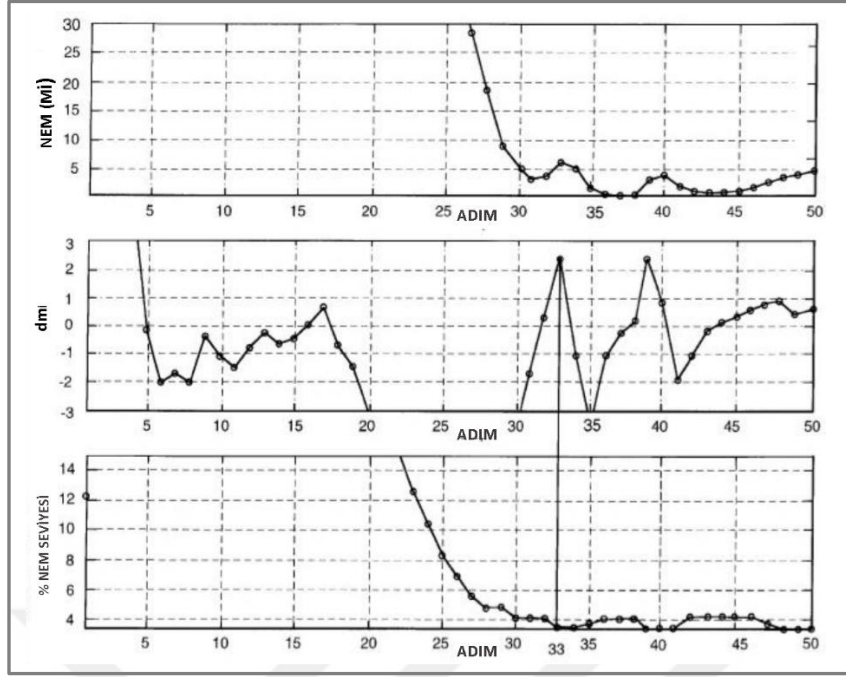


Şekil 1.6 US6141887 A no'lu patentteki 1. ölçüm yöntemi için kurutucu şematığı [9]

Birinci yöntemde, çamaşır kuruluğu kapı filtresinden (Şekil 1.6) (46) geçen havanın sıcaklığını ölçen bir sıcaklık sensörü (Şekil 1.6) (52) ve tambur (Şekil 1.6) (26) dönerken motorun (Şekil 1.6) (44) faz açısını ölçen bir Faz Açısı Sensörü (Şekil 1.6) (54) ile algılanmaktadır. Sıcaklık sensörü olarak K tipi termokupl, Faz Açısı Sensörü olarak tek fazlı indüksiyon motor sensörü kullanılabilir. Bu sensör verilerinin fonksiyonu olarak kuruluk algılaması yapılmaktadır. Motor faz açısının kullanılmasının sebebi, çamaşır kurudukça ağırlık kaybetmektedir ve tambur içerisindeki ağırlık değişimi motor fazının peak-to-peak değerini arttırmaktadır [9]. Bu değer artması durduğunda çamaşırın kuruduğu algılanabilmektedir. Şekil 1.7 ile bu veriler gösterilmiştir.

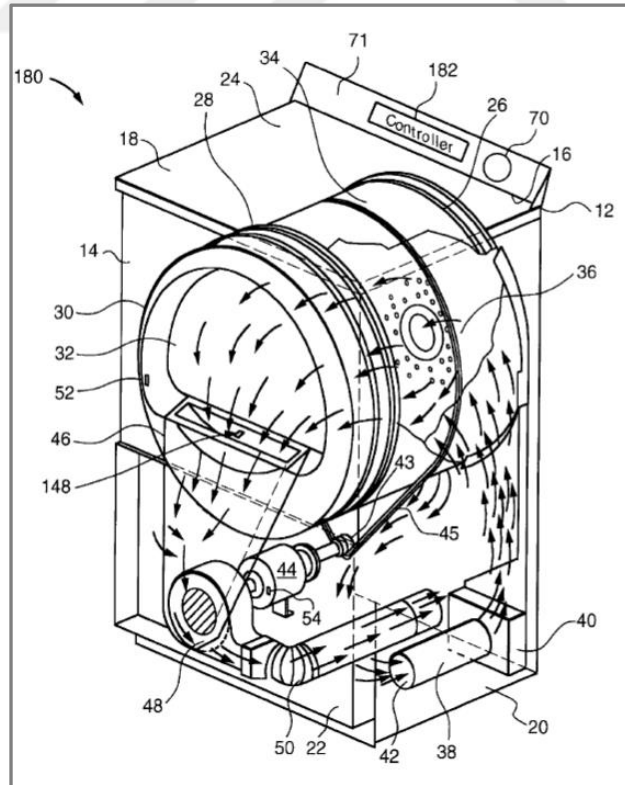


İkinci yöntemde ise, sadece nem sensörü (Şekil 1.8) (148) kullanılarak çamaşır kuruluğu algılanmıştır. Nem sensörü egzoz kanalına (Şekil 1.8) (50) yerleştirilerek buradan geçen havanın nemi ölçülmüştür. Şekil 1.9 ile bu veriler verilmiştir. Grafikteki $m(i)$ değeri nem sensörünün median filtresi ile filtrelenmiş verisidir. $Dm(i)$ değeri ise nem sensörünün median verileri arasındaki farktır. Kontrol kartı bu verilere bakarak, belirli aralıkta aynı değerler geldiğinde kurulum kararını vermektedir [9].



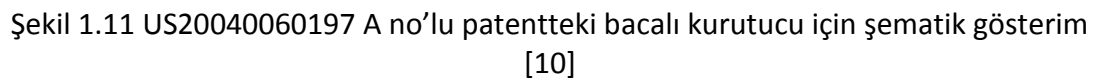
Şekil 1.9 US6141887 A no'lu patentteki 2. yöntem için nem sensörü veriler [9]

Üçüncü yöntem olarak ise sıcaklık sensörü (Şekil 1.10) (52), nem sensörü (Şekil 1.10) (148) ve motor faz açısı sensörünün (Şekil 1.10) (54), beraber kullanılması tariflenmiştir.



Şekil 1.10 US6141887 A no'lu patentteki 3. ölçüm yöntemi için kurutucu şematiği [9]

Şekil 1.11 ile bacalı tip kurutucunun şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 1.12 ile çamaşır nemi ve hava nem verilerinin bulunduğu grafik verilmiştir.



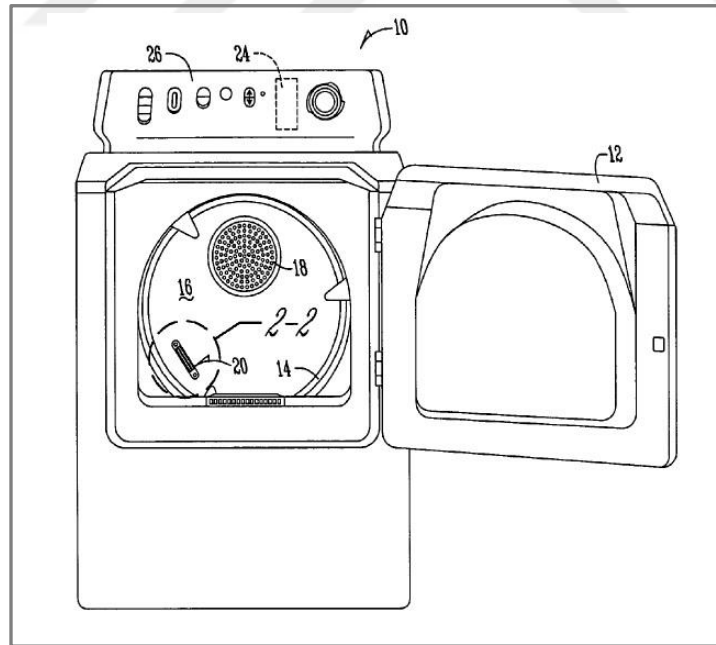
Elektrot sensörler (Şekil 1.11) (70), çamaşır kuruluğunu algılamak için tambur (Şekil 1.11) (52), ön kısmına yerleştirilmiştir. Elektrot sensörler yan yana yerleştirilmiş bir çift metal plakadan oluşmaktadır. Bu plakalar kablolar ile ölçüm devresine bağlıdır. Çamaşır nem seviyesine göre bu plakalar üzerindeki gerilim değeri değişmektedir.

Verilere göre, kurutma çevriminin başlangıcında elektrotlardan alınan kuruluk level değeri (Şekil 1.12) (V) ile kurutma çevrimi devam ettirilmektedir. Yazılım ile belirlenen seviyeye gelindiğinde (Şekil 1.12) (T1,T2) tambur içerisindeki havanın sıcaklık değişimine bakılarak kuruluk kararı verilmektedir [10].

18 Nisan 2005 tarihinde başvurusu yapılan US7475495 B2 patentinde, iletken plakalar ile çamaşır iletkenliğini ölçüp, çamaşır kuruluğuna karar veren bir sensör sistemi tariflenmektedir [11].

Sistemde en az 2 adet bir tanesi güç kaynağına, diğeri ise toprak hattına bağlı iletkenlik plakaları bulunmaktadır. Bir işlemci ise bu iki plakanın arasına bağlıdır. İşlemci ile çamaşırın direnç değeri ölçülerek çamaşır kuruluğuna karar verilebilmektedir.

Şekil 1.13 ile bu sensör sisteminin şematik gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.13 US7475495 B2 no'lu patentteki kurutma makinasının şematik gösterimi [11]

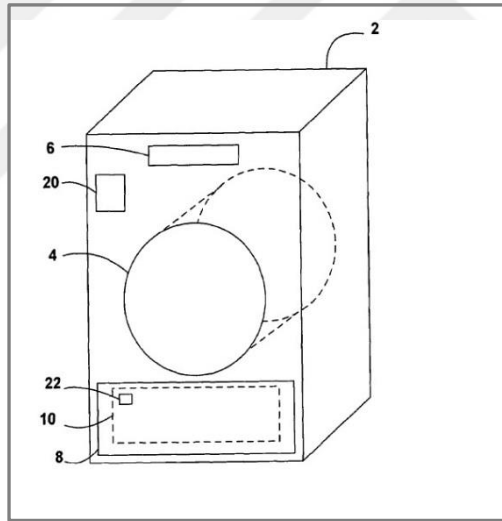
Sensör sistemi (Şekil 1.13) (20) tambur (Şekil 1.13) (14) içerisine yerleştirilen en az iki adet yan yana birbirine temas etmeyen iletkenlik plakalarından oluşmaktadır. İletkenlik

plakaları tercihen paslanmaz çelik olmalıdır. İletkenlik plakaları tambur içerisinde herhangi bir yere yerleştirilebilmektedir. Tercihen çamaşırın daha sık temas ettiği bölgeler seçilmelidir [11].

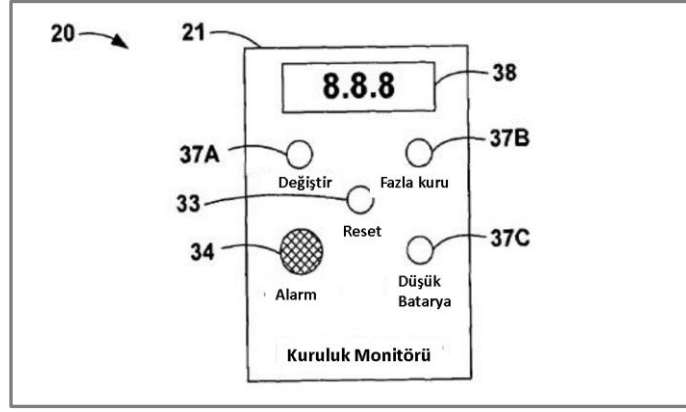
27 Mart 2008 tarihinde başvurusu yapılan US9249539 B2 patentinde, kurutucu makinaları için kuruluk izleme cihazı tariflenmiştir [12].

Kuruluk izleme cihazı, bir nem sensörü, bir sıcaklık sensörü, bir kontrolcü ve bir ekrandan oluşmaktadır. Kuruluk izleme cihazı üzerindeki sensörler sayesinde kurutma makinalarında kuruluk algılama işlemini gerçekleştirmektedir. Nem ve sıcaklık sensörünün tambur içerisinde olma zorunluluğu yoktur. Egzoz kanallarına da yerleştirilebilmektedir.

Şekil 1.14 ve Şekil 1.15 ile Kurutucu makinasında izleme cihazının yerleşimi ve izleme cihazının yapısı verilmiştir.



Şekil 1.14 US9249539 B2 no'lu patentteki cihaz yerleşimi verilen bir kurutucunun şematığı [12]



Şekil 1.15 US9249539 B2 no'lu patentteki kuruluk izleme cihazının genel yapısı [12]

Kuruluk izleme cihazı (Şekil 1.14) (20) kurutma makinasının ön tarafına yerleştirilmiştir. Sensörler (Şekil 1.14) (22) tekstil kuruluk bilgisini veya çevrimin başlangıç bilgisini ölçerler. Sensörler tambur (Şekil 1.14) (4) dışına da yerleştirilebilir. Örnek olarak egzoz kanalı (Şekil 1.14) (8) çıkışına yerleştirilebilir. Bir başka yerleşim ise lif-hav filtresi çıkışına yerleştirilebilir.

Kuruluk izleme cihazının fiziksel görünümü ise Şekil 1.15 ile vermiştir. Bu tasarım haricinde farklı tasarımlar da kullanılabilir. İzleme cihazı üzerinde kullanıcı arayüzü olarak bir ekran (Şekil 1.15) (38), görsel ve sesli uyarı sistemleri (Şekil 1.15) (33,34,37) bulunmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Tekstil ürünlerinde nem seviyelerinin ölçülmesi tekstil üretimi ve tekstil ürünlerinin kurutulması gibi işlemlerde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle çamaşır kurutma makinalarında çamaşır nem seviyesinin kurutma çevrimi süresince bilinmesi gerekmektedir.

Kurutma makinaları, çamaşır makinasında yıkanan ve ıslak olarak makinadan çıkan çamaşırların kurutma işlemini gerçekleştiren bir üründür. Piyasada bulunan kurutma makinaları rezistanslı ve ısı pompalı makinalar olmak üzere ikiye ayrılır. Rezistanslı makinalarda hava sıcaklığı 90°'ye kadar yükseltilerek tambur içerisine gönderilir ve çamaşır bu sıcak hava ile kurutulur. Bu makinalar zaman ayarlı olarak çalışır ve çamaşırın kuruluğunu algılayacak bir sensör sistemi bulunmamaktadır. NTC sensörü kullanılarak sadece tambur içerisindeki hava sıcaklığı kontrol edilmektedir. Sensörsüz makinalar fazla

kurutmadan dolayı çamaşıra ısıl zarar verebildiği gibi çamaşırları homojen olarak kurutamama problemleri de yaşamaktadır. Isı pompalı makinalarda ise hava sıcaklığı 55°C'ye kadar ısıtılarak tambur içerisine gönderilmektedir. Isı pompalı makinalarda iletkenlik plakaları ile çamaşır iletkenliği ölçülerek çamaşır kuruluğuna karar verilebilmektedir. İletkenlik lm ile tekstillerin direnç değerleri ölçülmektedir. İletkenlik plakaları makina içerisinde tamburun n kısmındaki hareketsiz bölgesinde sabit bir şekilde bulunmaktadır. Bu yöntem rezistanslı makinalara göre daha iyi alıssa da sabit bir noktadan ölçüm yapıldığı için tüm çamaşırların kuruluğu algılanamamaktadır. Bu durum yine homojen kurutmayı engellemektedir. Bu sebeplerden dolayı kurutma makinalarında çamaşır kuruluğuunun algılanması önemli bir alıssa konusu haline gelmiştir.

Bu tez alımmasında, çamaşır kurutma makinalarındaki kuruluk algılama problemine çözüm olacak, hassas nem algılama işlemi yapabilen yeni bir ölçüm sisteminin geliştirlmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen lm sistemi ile düşük gerilim seviyelerinde yüksek direnç ölçümleri yapabilecek bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen lm sistemi kullanılarak mobil bir sensör cihazı tasarımı yapılmış ve bu mobil sensör cihazı ile kurutma makinasında tekstil ürünlerinin nem seviyesinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu lm sistemi ve mobil sensör cihazı tasarımı kapsamında, mekanik tasarımlar, elektronik ve donanımsal tasarımlar, algoritma ve yazılım çalışmaları yapılmıştır. Mobil sensör cihazı çamaşırlar ile beraber makina içerisine atılmış ve çamaşır içerisinde serbest hareket edebildiği için bütün çamaşırlardan kuruluk bilgisinin alınması amaçlanmıştır. Böylelikle homojen kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sensör grubu makinadan bağımsız alısmaktadır. Makina ile kablosuz olarak haberleşmektedir. Topladđı verileri Bluetooth ile ana makinaya göndermesi ve kuruluk bilgisinin verilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Çamaşır kurutma makinaları için çamaşır nem seviyesinin ölçülmesi kritik bir konudur. Bu alıssa ile kurutma makinasındaki kuruluk algılama ve homojen kurutma problemlerine çözüm olacak bir ölçüm sisteminin geliştireleceğinden bahsedilmektedir. Geliştirilen lm sistemi mobil bir sensör cihazı haline getirilip kurutma makinası içerisinde kullanılabilecektir.

Geliştirilen ölçüm yöntemi ile kurutma makinasındaki mevcut kuruluk algılama sensörlerinden daha hassas, yüksek ve düşük direnç aralık değerlerinde iletkenlik ölçümü yapılarak homojen kurutma problemi ortadan kaldırılacaktır.



MEVCUT KURUTMA MAKİNALARINDAKİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

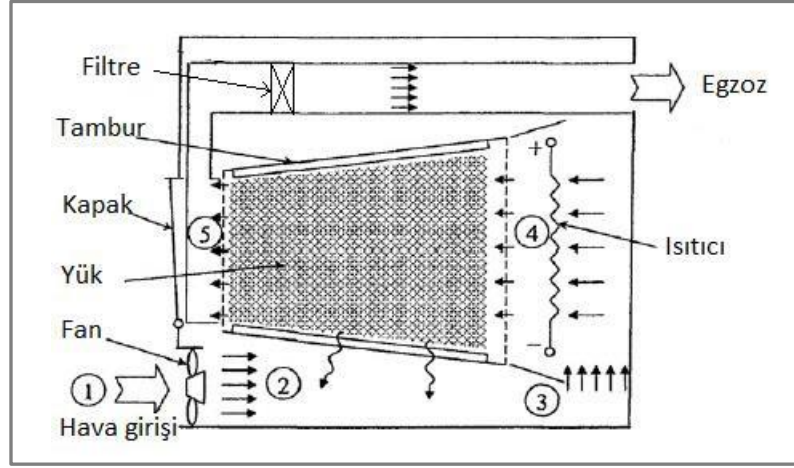
2.1 Kurutma Makinaları Çeşitleri

Çamaşır kurutma makinaları günümüzde çok tercih edilen bir ürün haline gelmiştir. Çamaşır makinasında yıkanan çamaşırları kurutmak özellikle kış aylarında zor bir işlem olmuştur. Kısalan kurutma çevrim süresi, hava koşullarında bağımsız kurutma işlemini gerçekleştirebilmesi, çamaşır asmak için yer sorununu ortadan kaldırması ve dışarıya asılan çamaşırların hava kirliliğinden tekrar temizleme ihtiyacını ortadan kaldırması kurutma makinalarının kullanıcıya sağladığı faydalardan bazılarıdır. Bu faydalar kurutma makinalarının daha yaygın olarak kullanılacağına göstergesi olmaktadır [13].

Genel olarak piyasada üç çeşit çamaşır kurutma makinası tipi mevcuttur. Bunlar; bacalı tip kurutma makinaları, kondenserli tip kurutma makinaları ve ısı pompalı kurutma makinalarıdır.

2.1.1 Bacalı Tip Çamaşır Kurutma Makinaları

Bacalı tip kurutma makinaları bir fan, bir ısıtıcı, bir tambur ve bir baca sisteminden oluşan bir kurutma sistemidir [14]. Şekil 2.1 ile bacalı tip bir kurutucunun şematik gösterimi verilmiştir.



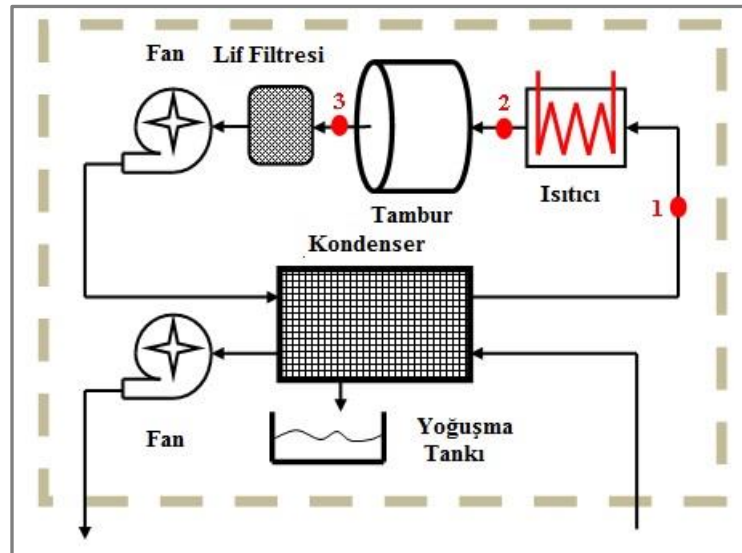
Şekil 2.1 Bacalı tip kurutucu şematik gösterimi [14]

Şekil 2.1 ile verildiği gibi, dış ortamda bulunan hava bir fan yardımıyla çevrim içine alınır (1-2). Dışarıdan alınan hava, kanallardan geçerek ısıtıcıya ulaşmaktadır (2-3). Hava ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklığı artırılır ve nem tutma seviyesi yüksek olan hava tambur içerisine gönderilir (3-4). Tambur içerisine gönderilen sıcak hava nemli çamaşırlar ile temasa geçerek çamaşır üzerindeki nemi kaldırır ve tamburu terk eder (4-5). Tamburu terk eden hava lif filtresinden geçirilerek, bacadan dış ortama tekrar atılır [15].

Bacalı tip kurutma makinaları açık çevrim çalışmaktadır. Dışarıdan sürekli hava beslenir ve çevrim sonunda bu hava dış ortama geri atılır. Bacalı tip kurutucular bu yönü nedeni ile kapalı ortamlarda kullanılmaya uygun değildir.

2.1.2 Kondenserli Tip Çamaşır Kurutma Makinası

Kondenserli tip çamaşır kurutma makinasının, bacalı tip kurutuculardan farkı kapalı çevrim çalışmasıdır. Sistemde bulunan kondenser ile çevrimde kullanılan havadaki su buharı yoğunlaştırılarak hava çevrime geri verilir. Şekil 2.2 ile kondenserli tip çamaşır kurutma makinasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2 Kondenserli tip kurutma makinası şematik gösterimi [16]

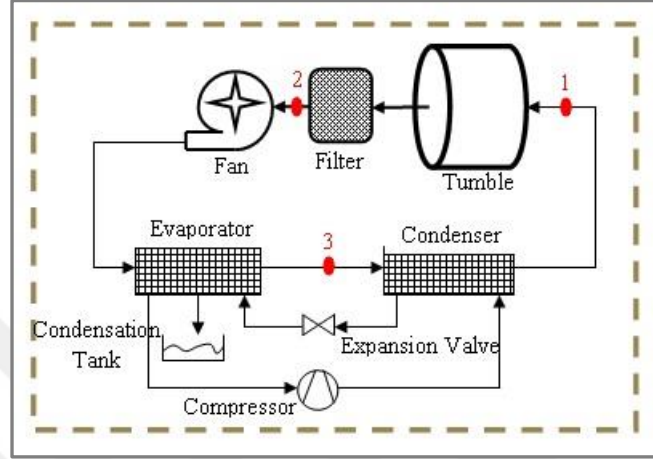
Kurutma makinası içerisindeki hava bir fan yardımıyla ısıtıcıya gönderilir. Isıtıcıda sıcaklığı arttırılan ve nem tutma seviyesi yüksek olan hava tambur içerisine gönderilir ve ıslak çamaşırların üzerinden geçerek çamaşır neminin bir kısmını alır. Tamburdan nem seviyesi yüksek olarak çıkan hava lif filtresinden geçerek kanallar vasıtasıyla kondensere gelir. Kondenser aslında bir ısı değiştiricisi olarak görev yapar. Sıcak ve nemli hava kondensere gelir. Kondenserde soğutucu akışkan olarak dış ortamdan alınan hava kullanılır. Tamburdan gelen sıcak ve nemli hava ile dış ortamdan alınan soğutucu akışkan arasında bir ısı transferi olur. Kapalı çevrimdeki havanın nem seviyesi ve sıcaklığı düşürülmüş olarak ısıtıcıya tekrar gönderilir ve kapalı çevrimde tekrar kullanılır. Dış ortamdan alınan havanın sıcaklığı artarak tekrar dış ortama gönderilir.

Kondensere gelerek yoğunlaşan suyu depolamak için sistemde bir su tankı bulunmaktadır. Yoğunlaşan su pompa yardımıyla su tankına gönderilir ve burada depolanır. Su tankı kapasitesi tam yükte bir çevrim standardında çıkabilecek nem miktarına göre tasarlanır ve her çevrim sonunda kullanıcı tarafından boşaltılması gerekmektedir.

Kondenserli kurutma makinaları, bacalı makinalar gibi baca kanalına ihtiyaç duymadığı için daha çok tercih edilmektedir [17].

2.1.3 Isı Pompalı Kurutma Makinası

Isı pompalı kurutma makinaları diğer kurutucu tiplerinden daha sonra piyasaya sürülmüştür. İlk ısı pompalı kurutma makinası 1997 yılında Electrolux firması tarafından piyasaya sunulmuştur [18]. Şekil 2.3 ile ısı pompalı çamaşır kurutma makinasının çevrimi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.3 Isı pompalı kurutma makinası çevrimi

Isı pompalı kurutma çevrimi kondenserli çevrime benzemektedir. Isı pompası çevriminde ısıtıcı yerine buhar sıkıştırmalı çevrim kullanılmaktadır. Isı pompalı makinalarda, konvansiyonel ısıtıcılı kurutuculara göre bir çevrimde %50 daha az enerji kullanılmaktadır [19].

Isı pompalı kurutma makinaları kapalı çevrim çalışmaktadır. Tambur içerisinden geçen hava, çamaşır nemini alarak tamburdan çıkar. Yüksek nemli hava lif filtresinden geçerek evaporatöre gelir. Burada sıcaklığı düşürülerek nemli hava yoğuşturulur. Yoğuşan su, pompa ile su tankına gönderilir. Nemi alınan hava kondensere gelerek burada ısıtılır. Sistemde bulunan kompresör ile soğutucu akışkan yardımıyla kondenserde havanın ısıtma çevrimi gerçekleşir. Isıtılan hava tekrar tambur içerisine gönderilerek çevrimin devam etmesi sağlanır.

2.2 Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinalarında Kullanılan Sensörler

Bu tez çalışmasında geliştirilen yeni sensör grubu ısı pompalı kurutma makinaları için geliştirilmiştir. Bu bölümde piyasadaki mevcut ısı pompalı çamaşır kurutma makinalarında kullanılan sensör sistemlerinden bahsedilecektir.

Isı pompalı çamaşır kurutma makinalarında kullanılan sensör çeşitleri çok sınırlı kalmaktadır. Çamaşır kurutma makinalarında ölçümü ve kontrolü yapılacak iki önemli parametre bulunmaktadır. İlk parametre kurutma makinasındaki havanın sıcaklığının ölçümü, diğeri ise çamaşır neminin ölçülmesidir.

Mevcut kurutma makinalarında bu ölçümler NTC ve iletkenlik plakaları ile yapılmaktadır. Isı pompalı kurutma makinalarında, kompresör üzerinde bir NTC bulunmaktadır. Bu NTC ile kompresör tarafında çıkış sıcaklığı ölçülmektedir. Bu NTC ile kompresör sıcaklığı kontrol altında tutulmaktadır.

Diğeri bir NTC ise kapı tarafında bulunmaktadır. Buradaki NTC ile tambur içerisindeki sıcaklık kontrol altına alınmaktadır. Isı pompalı kurutma makinalarında kapı tarafında bulunan NTC tambur içerisindeki sıcaklık değerinin 55°C'yi geçmemesi için kullanılmaktadır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinalarında tambur içerisinde maksimum sıcaklık değeri 55°C olmaktadır. Kurutma çevrimi bittiğinde iç ortam sıcaklığı 55°C'nin üstünde olduğunda kapı anahtarı kendini kilitlemektedir. İçerideki yüksek sıcaklıktaki hava ile dış ortamdaki oksijen karşılaştığında yangın riski oluşmaktadır. Kompresör ve kapı NTC'leri güvenlik amaçlı sıcaklık kontrolü için kullanılmaktadır.

Isı pompalı kurutma makinalarında kurutma çevriminin en önemli parametrelerinden biri olan çamaşır kuruluşunun algılanması, kapının alt kısmı ile tambur arasındaki hareketsiz bölgede bulunan nem sensörü ile yapılmaktadır. Nem sensörü bir çift iletkenlik plakasından oluşmaktadır. Kurutma çevrimi başladığında iletkenlik plakaları ile çamaşırların iletkenliği ölçülerek nem seviyesine karar verilmektedir

2.3 Isı Pompalı Kurutma Makinalarında Kurutma Çevrimi Algoritması

Isı pompalı kurutma makinalarının ısıtma çevrimleri Bölüm 2.1.3 ile verilmiştir. Bu bölümde ise kurutma çevrimi algoritması hakkında bilgiler verilecektir.

Isı pompalı kurutma makinaları, nem sensörü ile çamaşır kuruluşunu algılayarak kurutma çevrimini çalıştırmaktadır. Çamaşırların nem seviyesi bu sensör ile ölçülür ve çamaşırlar kurutma makinasında seçilen programın nem seviyesine gelene kadar kurutulmaktadır. Çamaşır makinalarındaki nem seviyesi yüzdesel olarak ifade edilmektedir. Nem seviyesi hesabı aşağıdaki denklem (2.1) ile verilmiştir [9].

$$\%Nem = \frac{Nemli \text{ \u00e7ama\u015fırdaki su miktarı}}{(Nemli \text{ \u00e7ama\u015fırdaki su miktarı})+(Kuru \text{ \u00e7ama\u015fır a\u011frılı\u011fı})} \times 100 \quad (2.1)$$

\u00c7ama\u015fır kurutma makinalarında \u00e7e\u015fitli kurutma programları vardır. Bunlardan en \u00e7ok kullanılanları ekstra kuru programı, dolap kurulu\u011fu programı ve \u00fct\u00fc kurulu\u011fu programıdır. Bu programlara kar\u015fılık gelen nem seviyeleri \u00c7izelge 2.1 ile verilmi\u015ftir.

\u00c7izelge 2.1 Kurutma programına kar\u015fılık gelen nem seviyeleri

Kurutma Programı	Nem Seviyesi (%)
Ekstra kuru programı	-3
Dolap kurulu\u011fu programı	3
\u00dct\u00fc kurulu\u011fu programı	10

Ekstra kuruluk programında nem seviyesi denklem (2.1) ile hesaplandığında negatif de\u011ferler elde edilmektedir. Bu durumun sebebi, \u00e7ama\u015fırların kurutma \u00e7evriminden \u00f6nce \u00f6l\u00e7\u00fclen kuru \u00e7ama\u015fır a\u011frılı\u011fında, \u00e7ama\u015fır \u00fczerinde ortam neminden kaynaklanan bir nemin bulunmasıdır. Ortam nemini \u00fczerinde taşıyan \u00e7ama\u015fırlar, kurutma \u00e7evrimi sonunda \u00fczerindeki nemi de \u00fczerinden atmaktadır. Ortam nemi de atıldığı i\u00e7in kurutma \u00e7evrimi sonunda ba\u015flangı\u00e7 a\u011frılı\u011fından daha d\u00fc\u015f\u00fck de\u011fere ulaşmaktadır. B\u00f6ylece ekstra kuru programında nem seviyesi negatif (-3%) de\u011ferlere d\u00fc\u015fmektedir.

Kullanıcı tarafından kurutma \u00e7evrimini ba\u015flatabilmek i\u00e7in kurutma programı se\u00e7ilir ve \u00e7evrim ba\u015flar. Nem sens\u00f6r\u00fc ile kurutma \u00e7evrimi boyunca \u00e7ama\u015fır iletkenli\u011fi \u00f6l\u00e7\u00fcl\u00fcr. Nemli \u00e7ama\u015fırların iletkenlik de\u011feri y\u00fcksek, direnci d\u00fc\u015f\u00fckt\u00fcr. \u00c7ama\u015fır nemi azaldık\u00e7a iletkenli\u011fi azalmakta ve direnci artmaktadır. İletkenlik plakaları ile bu diren\u00e7 de\u011ferleri \u00f6l\u00e7\u00fclmekte ve nem seviyesi belirlenmektedir. Kullanıcı tarafından se\u00e7ilen programın nem seviyesine geldi\u011finde kurutma \u00e7evrimi sonlanmaktadır.

Kurutma \u00e7evrimini istenen b\u00f6lgede durdurabilmek i\u00e7in \u00e7ama\u015fır kurulu\u011funu algılayan sens\u00f6rlerin hassas bir \u015fekilde \u00e7alı\u015ması gerekmektedir. Gere\u011finden fazla kurutma yapmak hem enerji kaybına neden olmaktadır hem de tekstile ısıl zarar vermektedir. İstenen nem seviyesinden az kurutulması ise \u00e7ama\u015fırların kurutma \u00e7evriminden ıslak \u00e7ıkmasına neden olmaktadır.

Mevcut makinalardaki nem ölçümü sabit bir noktadan yapıldığı için tüm çamaşırlardan homojen bir şekilde veri alınamamaktadır. Bu ise çamaşırların homojen bir şekilde kurumasını engellemektedir.



ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI

Tekstil ürünlerinde iletkenlik ölçümü yapılarak tekstil üzerindeki nem seviyesi belirlenebilmektedir. Kurutma makinalarında nem seviyesinin algılanması çevrimi bitirmek için önemli bir parametredir. Homojen kurutma ve çamaşıra ısı zararını önüne geçebilmek için bu ölçümün yapılması gerekmektedir. Bu bölümde tekstil ürünleri için nem seviyesini algılayabilecek bir ölçüm sistemi tasarımı anlatılmıştır.

Ölçüm sistemi tasarımı için tekstil ürünlerinin sahip olduğu direnç değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yüksek direnç ölçümleri yapabilen laboratuvar tipi bir cihaz ile farklı tipteki kumaşların farklı nem seviyelerindeki direnç değerleri ölçülmüştür.

3.1 Deneysel Yöntemler ile Tekstil Direnç Seviyelerinin Belirlenmesi

Farklı tipteki tekstil ürünlerinin kuruma karakteristikleri ve üzerinde nem tutma seviyeleri farklı olmaktadır. Düşük DC gerilimlerde direnç değerlerini ölçebilmek için öncelikle hangi direnç aralık değerlerinin ölçülmesi gerektiği belirlenmelidir. Bunun belirlenebilmesi için laboratuvar tipi bir direnç ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Farklı tipte tekstil ürünleri kullanılarak %60 nem seviyesinde olacak şekilde çamaşır makinasında yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonrasında bu tekstil ürünleri 10'ar dakikalık çevrimler ile kurutma makinasında kurutulmuştur. 10 dakika sonrasında çıkan tekstil ürünlerinin nem seviyeleri ölçülmüş ve bu nem seviyesine denk gelen direnç değeri ölçülmüştür.

Standart çamaşır testleri %60 nemlilik seviyesinde yapılmaktadır. Kuruma noktası olarak ise %5 nem seviyesinin altı alınmaktadır. Bu aralıktaki nem değerlerindeki direnç

değerleri kaydedilmiş ve tasarlanacak olan ölçüm sistemi için direnç ölçüm aralığı çıkarılmıştır. Tekstil ürünleri üzerindeki nem oranının yüzdesel olarak hesabı denklem (2.1) ile verilmiştir. Farklı tekstil tipi olarak tekstil sektöründe en çok kullanılan ürünler seçilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- Standart pamuklu,
- İpek dokuma,
- Viskon örme,
- Polyester dokuma,
- Keten dokuma,
- Polyester örme,
- Pamuk örme,
- Pamuk dokuma seçilmiştir.

Bütün çamaşırlar %60 nem seviyesinde olacak şekilde çamaşır makinasında yıkanmıştır. Yıkanmadan önce kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra Şekil 3.1 ile verilen şekildeki gibi bir deney düzeneği kurularak laboratuvar tipi bir direnç ölçme cihazı olan LCR metre ile tekstil ürünlerinin dirençleri ölçülmüştür.



Şekil 3.1 Tekstil ürünlerinin dirençlerinin ölçülmesi için hazırlanan deney düzeneği

LCR metre'nin ölçüm uçları, ağırlık ile beraber tekstil ürünlerinin üzerine yerleştirilmiş ve temas yüzeyi arttırılmıştır. Bu şekilde bütün tekstil tiplerinin direnç aralık değerleri çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolar ile verilmiştir.

Öncelikle ipek dokuma tekstili üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1 ile verilmiştir.

Çizelge 3.1 İpek Dokuma Kumaş için elde edilen direnç değerleri

İpek Dokuma Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
64	17k
48	18k
27	50k
9	18,7M
3	21,6M

Viskon örme tekstil tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Çizelge 3.2 Viskon Örme Kumaş için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Viskon Örme Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
64	28k
50	71k
29	219k
20	846k
12	11,5M
7	26,7M
1	40M

Polyester dokuma kumaş tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.3 ile verilmiştir. Polyester kumaş tipleri, üzerinde yüksek nemler tutamayan bir tekstil tipidir. Bu yüzden sporcu formaları, kıyafetleri genellikle polyester ürünlerden üretilmektedir. Üzerinde nem tutamadığı için terleme durumunda üzerindeki nemi kolayca atabilmektedir.

Bu özelliğinden dolayı polyester kumaş tiplerine standart yıkama yapıldığında %60 nem seviyesinden daha düşük nem seviyesinde çıkmaktadır. Kurutma makinasına atıldığında ise diğer kumaş tiplerine göre daha hızlı kurumaktadır.

Bu sebeplerden dolayı deney sonucunda elde edilen veriler diğer kumaş tiplerine göre daha farklıdır. Ayrıca kurutma makinasının polyester tipi kumaşları kurutmakta sorunlar yaşadığı bilinmektedir.

Çizelge 3.3 Polyester Dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Polyester Dokuma Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
30	60k
10	680k
5	27,9M
3	48,6M
1	60,2M

Keten dokuma kumaş tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.4 ile verilmiştir.

Çizelge 3.4 Keten Dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Keten Dokuma Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
70	15k
58	20k
42	249k
26	503k
14	915k
7	43,8M
4	52,5M
1	65,9M

Polyester örme kumaş tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.5 ile verilmiştir. Polyester kumaş üzerinde yüksek nemler tutamadığı için standart yıkama sonucunda %60 nem seviyesinin altında bir değere ulaşmıştır.

Çizelge 3.5 Polyester örme için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Polyester Örme Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
27	60k
18	115k
6	13,6M
1	20M

Pamuk örme kumaş tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.6 ile verilmiştir.

Çizelge 3.6 Pamuk örme için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Pamuk Örme Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
49	27k
39	30k
28	44k
17	285k
8	3,8M
5	42,4M
3	61,2M
1	84M

Pamuk dokuma kumaş tipi için elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.7 ile verilmiştir.

Çizelge 3.7 Pamuk dokuma için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

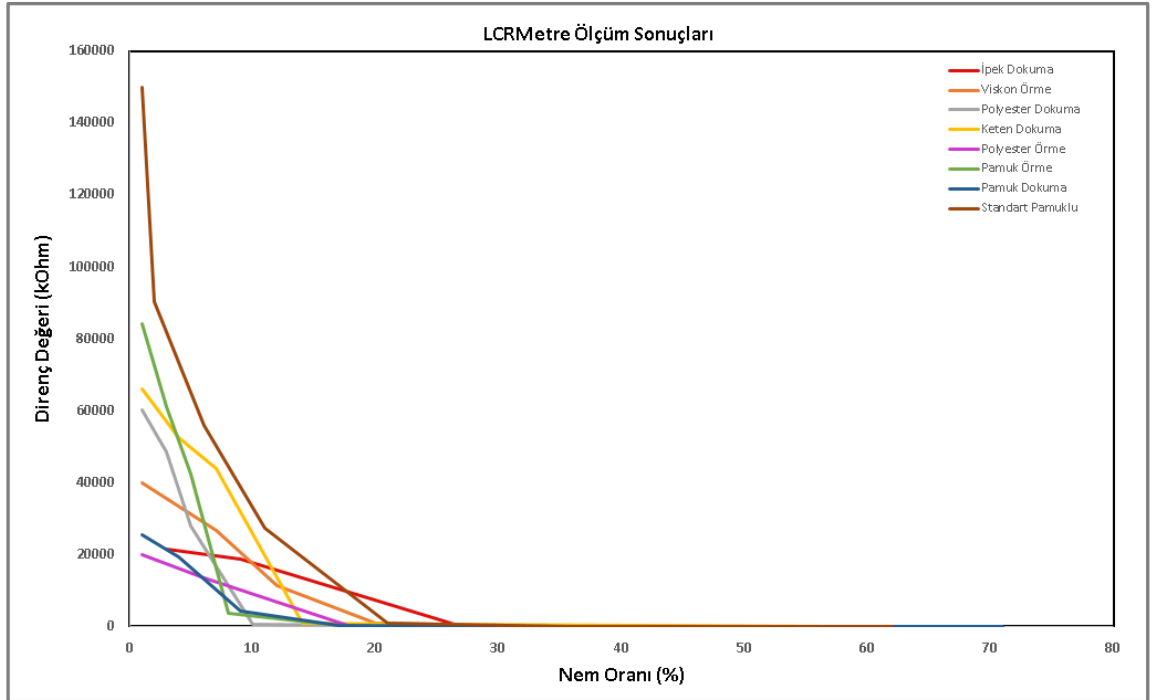
Pamuk Dokuma Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
71	18k
59	24k
46	28k
27	84k
17	237k
9	4,4M
4	19,3M
1	25,4M

Son olarak ise nem tutma seviyesi yüksek olan ve standart çamaşır testlerinin yapıldığı standart pamuklu havlu tekstilleri ile ölçümler yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 3.8 ile verilmiştir.

Çizelge 3.8 Standart pamuklu için değişik nem seviyelerinde ölçülen direnç değerleri

Standart Pamuklu Nem seviyesi (%)	Ölçülen Direnç Değeri (ohm)
62	70k
47	79k
36	134k
21	850k
11	27,2M
6	55,9M
2	90,2M
1	150M

Yapılan ölçümler sonucunda farklı tekstiller için farklı nem oranlarındaki direnç değerleri elde edilmiştir. Farklı tekstil tiplerinin nem seviyesi-iletkenlik (direnç değeri) ilişkisi Şekil 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.2 Farklı tekstil tiplerinin nem seviyesi-iletkenlik ilişkisi

Deneysel verilerin sonucunda tasarlanacak yeni ölçüm sistemi için ölçüm aralığı belirlenmiştir. Farklı tipteki tekstil ürünleri için bu aralıklar Çizelge 3.9 ile verilmiştir.

Çizelge 3.9 Ölçümü yapılan tekstillerin direnç aralık değerleri

Tekstil Tipi	En düşük direnç değeri (ohm)	En yüksek direnç değeri (ohm)
İpek Dokuma	17k	21,6M
Viskon Örme	28k	40M
Polyester Dokuma	60k	60,2M
Keten Dokuma	15k	65,9M
Polyester Örme	60k	20M
Pamuk Örme	27k	84M
Pamuk dokuma	18k	25,4M
Standart Pamuklu	70k	150M

Deneyisel çalışmalar sonucunda ölçüm sistemi için direnç aralık değerleri belirlenmiştir. Ölçülen direnç değerleri aralık olarak büyüktür. 17 k-150 M ohm aralığında direnç değerleri ölçülecektir. Aynı ölçüm sistemi ile bu aralıktaki direnç değerlerini aynı hassasiyetle ölçmek mümkün değildir. Bunun için bir kalibrasyon devresi ihtiyacı bulunmaktadır.

3.2 Sensör Sistemi Tasarımı

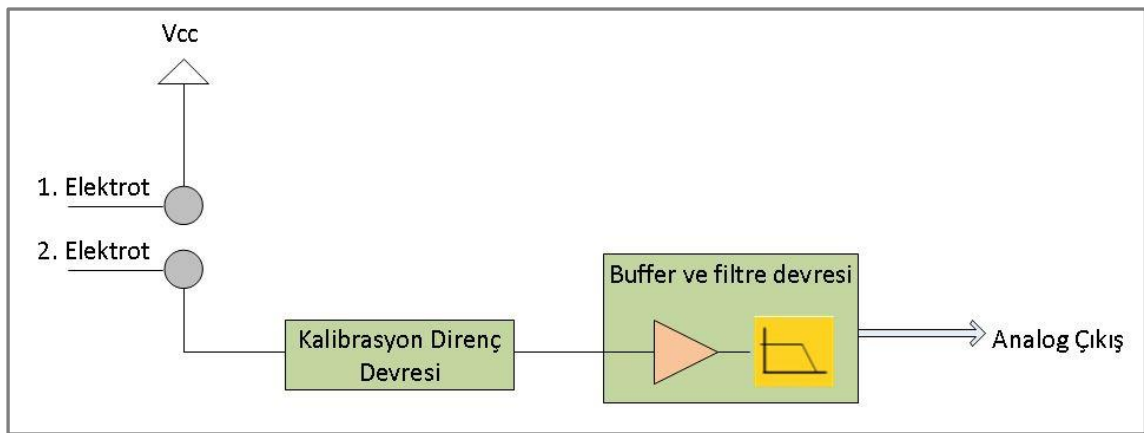
Yapılan deneyler sonucunda sensör sistemi için ölçülmesi gereken direnç aralık değerleri belirlenmiştir. Literatürde kullanılan ölçüm sistemleri yüksek direnç aralıklarını aynı hassasiyette okuyamamaktadır. Tasarımı yapılan sistemde sensör üzerinde iki adet ölçüm devresi kullanılmıştır. Yazılım ile ölçülen direnç aralığına göre anahtarlama yapılarak bu devreler arasında geçiş yapılabilir. Tasarlanan sensör sistemi ile düşük DC gerilimlerde yüksek direnç aralıklarının ölçülmesi amaçlanmıştır.

3.2.1 Direnç Ölçüm Sistemi Tasarımı

Direnç ölçüm sistemi için düşük DC gerilimlerde ölçüm yapabilen elektrotlar tasarlanmıştır. Literatürde yüksek dirençleri yüksek hassasiyetle okuyabilmek için

elektrotlara yüksek gerilim değerlerinin uygulanması gerektiği anlatılmıştır. Ancak yüksek gerilimler uygulamak iletkenliği ölçülen malzemeye zarar vermekte ve ölçüm sistem maliyetini çok arttırmaktadır. Bu yüzden düşük gerilim seviyelerinde hassas direnç ölçüm sistemi tasarlanmıştır.

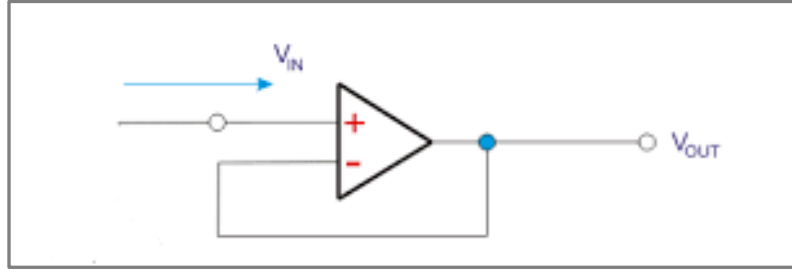
Tasarlanan elektrotlu sistem ile iletkenliği ölçülen tekstil üzerine 5V seviyelerinde bir gerilim uygulanmaktadır. Elektrotlara bağlı bir kalibrasyon direnci ile beraber değişken direnç değerleri okunmaktadır. Kalibrasyon dirençleri, ölçülecek tekstil direncine göre değiştirilmektedir. Dijital sistemler yardımıyla bu dirençler anahtarlanarak optimize değer bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil 3.3 ile verilmiştir.



Şekil 3.3 Direnç ölçüm sistemi blok diyagramı

Sistem giriş gerilimi 3,3 V veya 5 V olarak belirlenmiştir. Düşük gerilimler kullanılarak bataryalı bir sistem olarak kullanılması amaçlanmıştır. Kalibrasyon devresi, deneysel çalışmalarla elde edilen direnç değerlerine göre ayarlanmıştır. Tasarlanan sistem 17 k-150 M ohm direnç seviyelerine göre kendini kalibre etmektedir.

Buffer devresi ölçüm devresini dijital sistemden ayırmak amaçlı kullanılmıştır. Ölçüm dirençleri 150 M ohm seviyelerine yaklaştığında mikroişlemci ADC portunun giriş empedansını etkilemektedir. Teoride ADC portu giriş empedansı sonsuz olarak kabul edilse de, uygulamada mikroişlemcilerin ADC giriş empedansları 100 M ohm seviyelerindedir. Yüksek direnç ölçümü yapıldığında ise bu işlemin yapılması mümkün olmamaktadır. Bu yüzden izolasyon amplifikatör devresi kullanılarak ölçüm sistemi dijital sistemden ayrılmıştır. Şekil 3.4 ile bu devre verilmiştir. Devrede $V_{in}=V_{out}$ olmaktadır.



Şekil 3.4 İzolasyon amplifikatör devre şeması

Sistemde düşük gerilimler ile yüksek direnç ölçümlerinin yapılması ölçülen akım değerlerini çok düşük seviyelere çekmektedir. Bu durum aşağıdaki denklemler ile verilmiştir.

$$V = I \cdot R \quad (3.1)$$

$$5V = I \cdot 150M \quad (3.2)$$

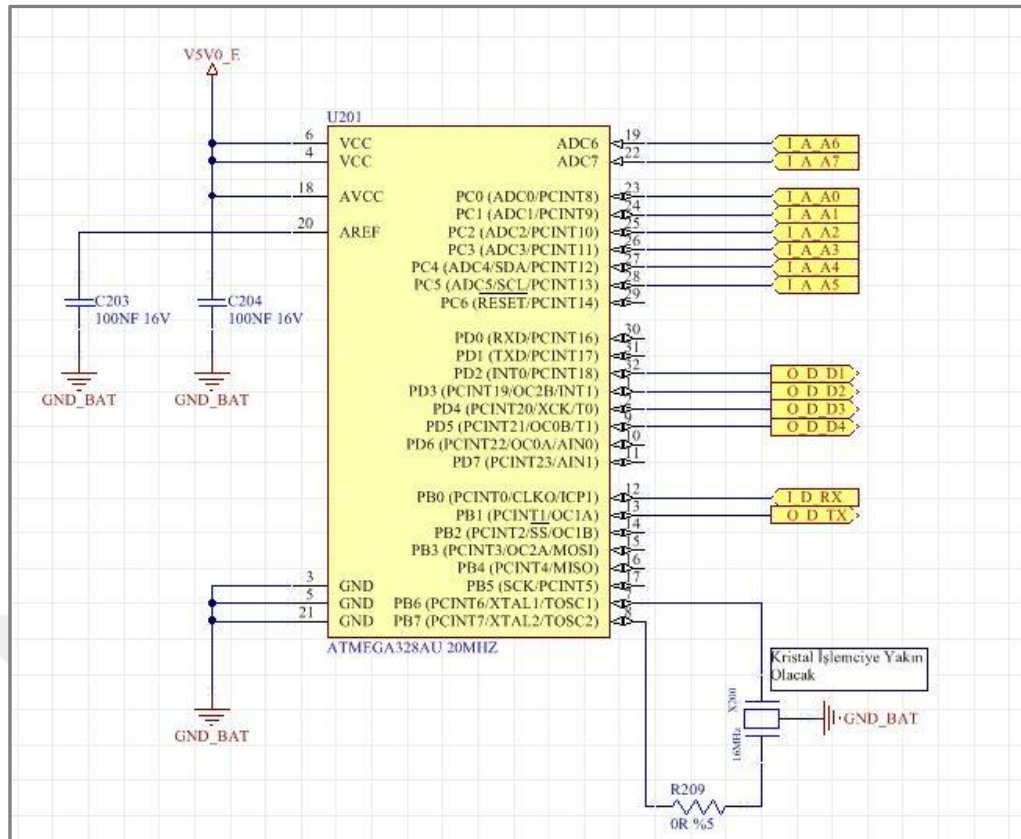
$$I = 33nA \quad (3.3)$$

Ölçülen akım değerleri nanoAmper seviyelerine kadar düşmesi sistemi gürültüden etkilenebilir hale getirmiştir. Kullanılan filtre devresi ile bu gürültü azaltılmaya çalışılmıştır. Donanımsal filtrelerin yanında yazılımsal filtreler de kullanılarak gürültü seviyesi en aza indirilmiştir.

3.2.2 İşlemci Devresi

Tasarımı yapılan direnç ölçme devresi çıkışından analog bir değer üretilmektedir. Bu değerleri okumak için bir ADC'ye ihtiyaç vardır. 10 bitlik ADC'ye sahip ATMEGA328p işlemcisi seçilerek bu değerler okunmuştur.

İşlemci devresi Şekil 3.5 ile verilmiştir.



İşlemci devresinde kurutma makinasındaki uygulama için analog girişler sıcaklık ve nem sensörleri için ayrılmıştır. Ayrıca sistemde verileri göndermek için bluetooth modülü kullanılmıştır.

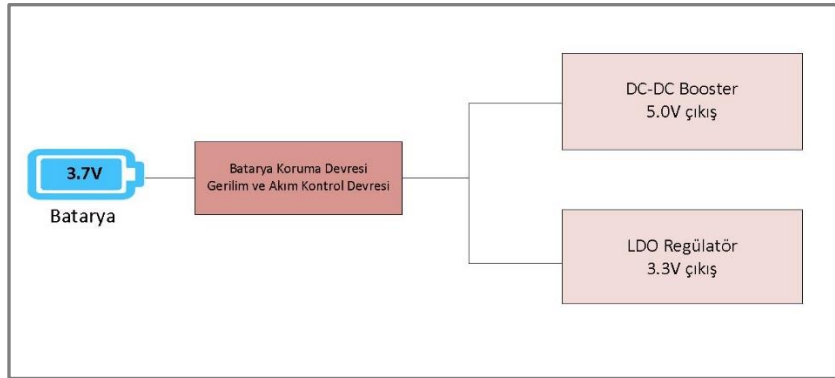
İşlemci dijital pinleri Bluetooth haberleşmesi için ayrılmıştır. Kullanılan modül UART protokolü üzerinden haberleşmektedir.

3.2.3 Güç Devresi Tasarımı

Tasarımı yapılan ölçüm sisteminin batarya ile çalışması amaçlanmıştır. Kullanılan batarya 3,7V gerilim sağlayan şarj edilebilir Lityum-İyon bataryadır. Ölçüm sistemi için batarya 5V'luk bir gerilim değeri sağlayamamaktadır.

Bu gerilim seviyelerini elde edebilmek için DC-DC dönüştürücü ölçüm sisteminde kullanılmıştır. DC-DC dönüştürücüler hem gerilim yükseltmek için hem de gerilimi düşürmek için kullanılmıştır. Çünkü ölçüm sistemi üzerinde 3,3V ve 5V seviyelerinde gerilim ihtiyacı bulunmaktadır. Güç devresinde koruma devreleri de bulunmaktadır.

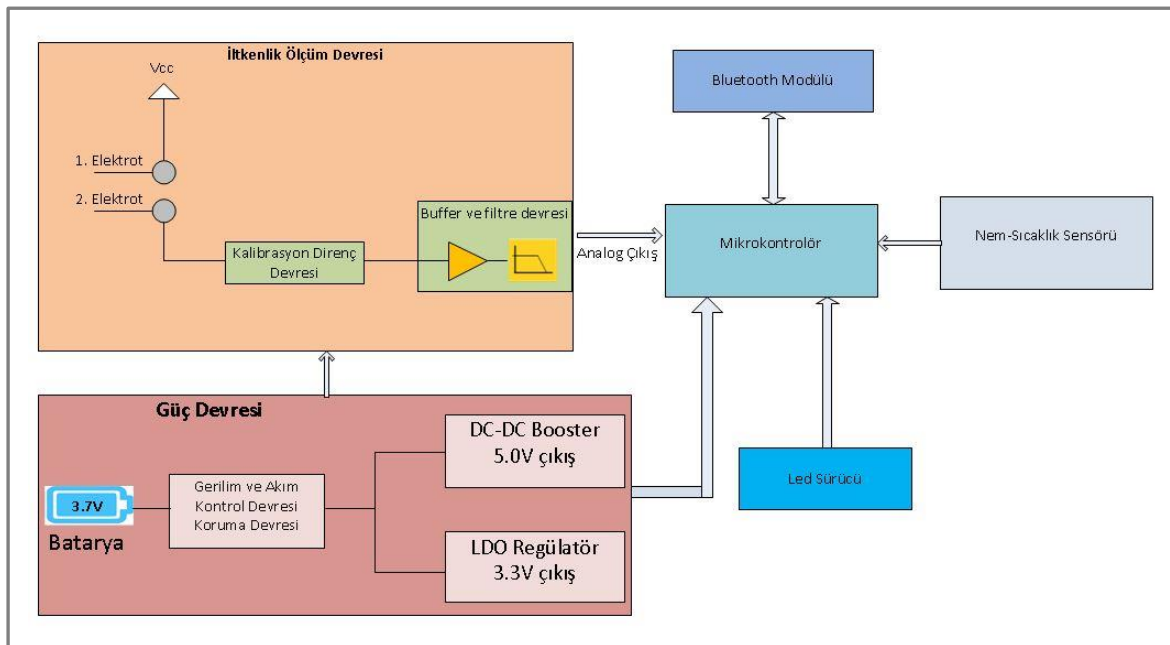
Sistem aşırı akım çektiğinde veya batarya gerilimi yeterli akımı sağlayamadığında sistemi kapatmaktadır. Sistem blok diyagramı Şekil 3.6 ile verilmiştir.



Şekil 3.6 Güç devresi blok diyagramı

3.2.4 Ölçüm Sistemi Elektronik Kart Tasarımı

Alt sistem tasarımları yapıldıktan sonra tümleşik elektronik kart tasarımı yapılmıştır. Sistem üzerinde iletkenlik ölçümünü sağlayan bir sensör sistemi, ayrıca kurutma makinasındaki uygulama için ölçüm sistemine analog bir nem-sıcaklık sensörü eklenmiştir. Ölçüm verilerini toplamak için Bluetooth modülü kullanılmıştır. Ölçüm sisteminin blok diyagramı Şekil 3.7 ile verilmiştir.



Şekil 3.7 Ölçüm sistemi elektronik kartı blok diyagramı

MEKANİK TASARIMLAR

Bu bölümde tez çalışması kapsamında geliştirilen ölçüm sisteminin kurutma makinası üzerindeki uygulaması için yapılan mekanik tasarımlar anlatılmıştır. Tasarımı yapılan ölçüm sistemi için küresel bir sensör kabin tasarımı yapılacaktır. Kurutma makinasına çamaşırlar ile beraber atılan bu sistem ile çamaşır iletkenliği ölçülerek tekstil ürünlerinin kuruluğu algılanmaya çalışılmıştır. Sensör grubunun tasarım kriterleri ile başlayıp tasarım sonuna kadar gerçekleştirilen tasarım süreçleri alt başlıklarda verilmiştir.

4.1 Mekanik Tasarım Kriterleri

Sensör grubunun mekanik tasarımları için çeşitli fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu fizibilite çalışmaları kapsamında çeşitli prototipler yapılmıştır. Yapılan prototipleme çalışmaları ve deneysel sonuçlar ile optimum tasarıma ulaşılmıştır.

Sensör grubunun mekanik tasarımları için belirlenen tasarım kriterleri bu bölümde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Sensör grubu için belirlenen tasarım kriterleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Sensör grubu ısı pompalı kurutma makinaları için kullanılacaktır ve bu makina şartlarına göre tasarımlar yapılacaktır.
- Sensör grubu tasarımı tercihen küresel şekilde olmalıdır. Küresel olmasının sebebi çamaşır içerisinde serbestçe hareket edebilmesi ve çamaşırlar ile sensör grubunun temas yüzeyinin arttırılmasıdır.
- Sensör grubunun çamaşırların içerisinde serbestçe hareket edebilmesi için dış yüzey sürtünme katsayısı düşük olmalıdır.

- Sensör grubu içerisinde elektronik kartlar, sensörler, pil gibi donanımsal bileşenleri koruyacak, üzerine gelen darbe kuvvetlerini azaltacak önlemler alınmalıdır.
- Sensör grubu küresel bir şekilde olacağı ve makina içerisinde çamaşırlar ile beraber serbestçe hareket edeceği için tambur içerisindeki darbe kuvvetlerini azaltacak ve darbelere bağlı ses seviyesini azaltacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Sensör grubu düşme testleri için ve kullanıcı senaryoları için mukavim olmalıdır. 2 metre yükseklikten yere düştüğünde herhangi bir zarara uğramayacak şekilde tasarımlar yapılmalıdır.
- Sensör grubu dış yüzeyi nem tutmayan bir malzemeden yapılmalıdır.
- Sensör grubu içerisine nem girişi olmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Sensör grubu pilli ve şarj edilebilir bir ürün olacaktır. Bu kapsamda bir şarj ünitesi de tasarım kapsamında gerçekleştirilecektir.
- Sensör grubu küresel bir şekilde tasarlanacak ve üzerinde iletkenlik plaka çiftleri olacaktır. Bu iletkenlik plakaları için yuva bırakılmalıdır.

4.2 Bilgisayar Destekli Tasarım

Yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda belirlenen tasarım kriterleri ile sensör grubu için optimum tasarım yapılmıştır. Yapılan fizibilite çalışmalarının aşamaları alt başlıklar ile verilmiştir.

4.2.1 Fizibilite Çalışmaları

Sensör grubu için kavramın kanıtlanması amacıyla öncül bir tasarım yapılmıştır. Bu öncül tasarımda sensör grubu küresel bir top şeklinde tasarlanmıştır. Alt yarım kürede bir çift üst yarım kürede bir çift olmak üzere 2 çift iletkenlik plakası sensör kabininin yüzeyine yerleştirilmiştir. Alt yarım kürede şarj için bir micro usb girişi, nem ve sıcaklık sensörü için de hava giriş kanalı bulunmaktadır. Şekil 4.1 ile öncül tasarımın prototipi verilmiştir.

Bu tasarımın prototipi 3 boyutlu yazıcılarda ABS malzemesi ile üretilmiştir. 2 yarım küre olarak tasarlanmış ve birbirine vidalı şekilde birleştirilmiştir.



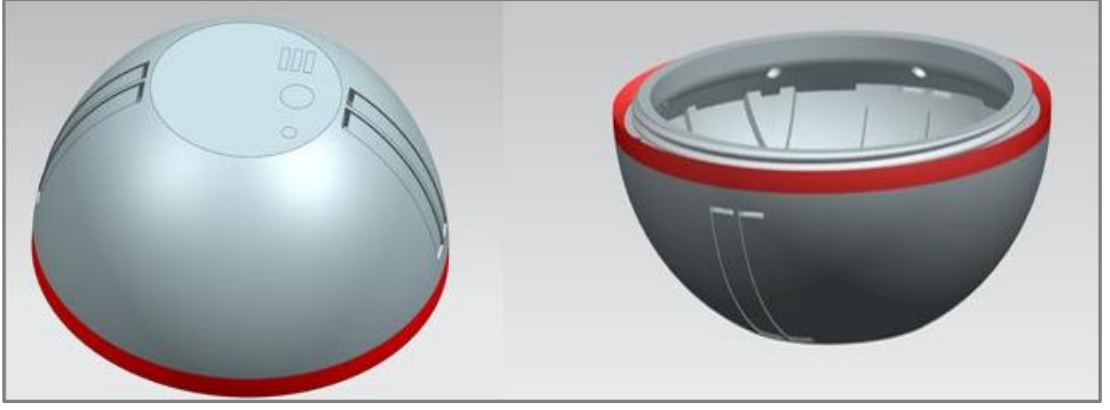
Şekil 4.1 Kavram kanıtlama prototipi

Bu prototip ile yapılan deneyler sonucunda tasarımda iyileştirilmeye gidilmiştir. Bu prototip ile görülen problemler aşağıda sıralanmıştır.

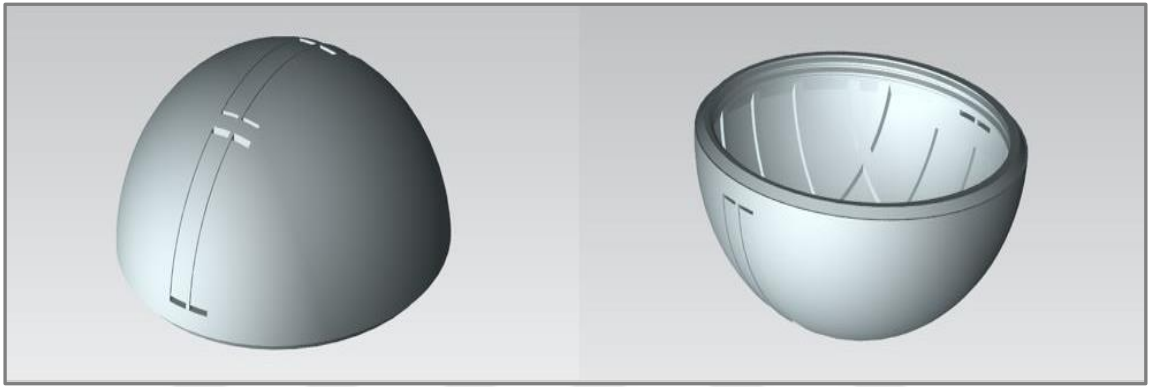
- Sensör grubu sert bir malzemeden ve et kalınlığı 5 mm olacak şekilde üretilmiştir. Bu da ağır olmasına sebep olmuştur. Bu yüzden makina içerisinde çalışırken yüksek sese neden olmaktadır.
- İletkenlik plakaları alt ve üst yüzeyi ayrı ayrı kaplayacak şekilde 2 çift olarak konumlandırılmıştır. Bu plakalar ile iletkenlik ölçülmektedir. Çamaşırlar içerisinde serbest bir şekilde hareket eden sensör grubunun iletkenlik plakaları tambura temas ettiğinde kısa devre olmaktadır ve bu durum çamaşırların ıslak olduğu bilgisinin toplanmasına sebep olmuştur. Bu da deneysel verileri bozmaktadır.
- Sıcaklık ve nem sensörü için bırakılan hava girişinin büyük olması, çamaşır liflerinin bu kanalı tıkamasına sebep olmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda tasarımda yeni bir iyileştirmeye gidilmiştir. Yukarıda belirtilen problemlere çözüm olabilecek şekilde yeni bir prototip tasarımı yapılmıştır.

Yeni yapılan prototipin 3 boyutlu modelleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile verilmiştir.



Şekil 4.2 Alt yarım kürenin 3 boyutlu modelleri



Şekil 4.3 Üst yarım kürenin 3 boyutlu modelleri

Yeni sensör grubu tasarımında öncül prototipte görülen problemler göz önünde bulundurulmuştur. Yeni tasarımda et kalınlığı 2 mm'ye çekilmiştir. Bu şekilde prototipin ağırlığı azaltılarak ses seviyesinin düşmesi amaçlanmıştır.

İletkenlik plakalarının tambura değmesi plakaların kısa devre olmasına sebep olmaktadır. Bu duruma çözüm getirebilmek için iletkenlik plakalarının sayısı arttırılmıştır. Üst yarım kürede 3 çift, alt yarım kürede 2 çift olmak üzere toplamda 5 çift iletkenlik plakası kullanılmıştır. Bu iletkenlik plakalarından alınan iletkenlik değerleri, algoritmalarla filtrelenmiş ve çamaşıra değen plaka çifti algoritmalarla seçilmiştir. İletkenlik plaka sayısının arttırılmasıyla bu algoritmaları gerçekleştirmek daha kolay olmuştur.

Sıcaklık ve nem sensörü için hava kanalının çapları küçültülerek çamaşır liflerinin girişi engellenmiştir.

Yeni tasarım yapıldıktan sonra 3 boyutlu yazıcı ile sensör grubunun prototipi yapılmıştır. ABS malzemesi kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir

Öncül tasarımda şarj için bir USB girişi bırakılmıştır. Yeni tasarımda usb girişi yerine sensör grubu için şarj istasyonu tasarımı yapılmıştır. 3 boyutlu tasarımları yapılan sensör grubu ve şarj istasyonu prototipleri Şekil 4.4 ile verilmiştir.



Şekil 4.4 Tasarımı yapılan sensör grubu ve şarj istasyonun prototipi

Yeni prototipler yapıldıktan sonra kurutma makinasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Yeni sensör grubunda iletkenlik plakalarının sayısının arttırılması ve plakaların yerleşimi, ölçüm doğruluğunu ve hassasiyetini iyileştirmiş, algoritmaların kolay bir şekilde gerçekleştirildiği deneyler sonucunda görülmüştür. Tasarımda et kalınlığının azaltılması ağırlığını azaltmıştır ve ses seviyelerinde iyileştirme sağlanmıştır. Ancak ses seviyeleri, standartlardaki makina ses seviyelerini karşılayamamaktadır.

İletkenlik plakalarının yerleşimi, nem ve sıcaklık sensörünün hava girişlerinin tasarımı ve et kalınlığının azaltılması optimize edilmiş parametrelerdir. Ses seviyesini azaltmak için yapılan hafifletme çalışmaları iyileştirme getirmiş olsa da yeterli seviyede olmamıştır. Ses seviyesinde iyileştirme için yeni tasarım kriterleri sunulmuştur.

4.2.2 Optimum Tasarım

Fizibilite çalışmalarında çeşitli mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu mekanik tasarımlar test edilerek tasarım kriterleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Yapılan fizibilite çalışmalarında en büyük problemin ses seviyesi olduğu gözlemlenmiştir. Optimum sensör grubu tasarımında ses seviyesini azaltacak yeni bir tasarım yapılmıştır.

Yapılan ilk tasarımlarda sert bir malzemenin (ABS) kullanılması, et kalınlığının inceltilmesine rağmen ses seviyesinin istenilen değere çekilmesine engel olmaktadır. Bu engel, ses seviyesini azaltmak için daha yumuşak bir malzemenin kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Ancak tüm tasarımın yumuşak malzemeden yapılması, sensör kabini içerisindeki elektronik devrelerin zarar görmesine sebep olabilir. Bu yüzden yeni tasarımda iki farklı malzeme kullanılmıştır. Sensör kabininin iç kısmı sert ABS malzemesinden basılmıştır. Dış kısmına ise ses seviyesini azaltabilecek, darbe kuvvetlerini engelleyecek silikon kaplama yapılmıştır. Böylece sensör kabini içerisindeki elektronik devreler korunmuş, dış yüzeyindeki silikon ile de ses seviyesi azaltılmıştır.

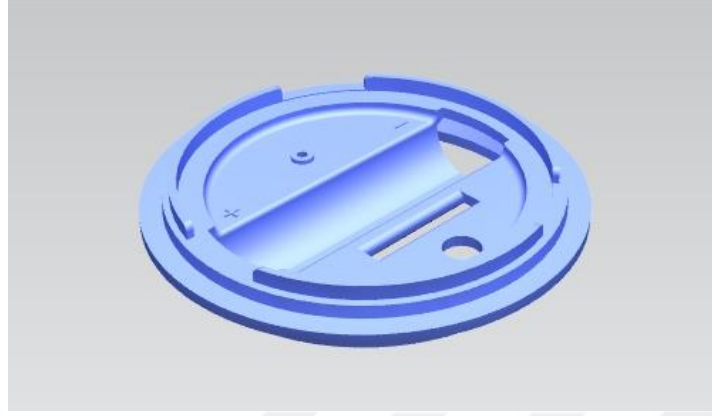
Optimum tasarım için plaka tasarımları da değiştirilmiştir. Paslanmaz çelik sac ile yapılan plakalar CNC tezgahlarında işlenerek yapılmıştır. 3 adet üst yarım kürede 3 adet alt yarım kürede olmak üzere toplamda 6 adet iletkenlik plaka çifti kullanılmıştır. İletkenlik plakaları 120° açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Kürelerin orta kısmına bir ışık taşıyıcı yapılmıştır. Kart üzerine yerleştirilen ledler, ışık taşıyıcılarla sensör kabini orta kısmını aydınlatmaktadır. Aşağıdaki şekillerde bütün tasarımların 3 boyutlu modelleri verilecektir.

Sensör grubu iki yarım küre şeklinde tasarlanmıştır. Öncelikle ABS malzemesi ile basılan sensör kabini iç kısmının tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.5 ile üst ve alt yarım kürenin 3 boyutlu modelleri verilmiştir.



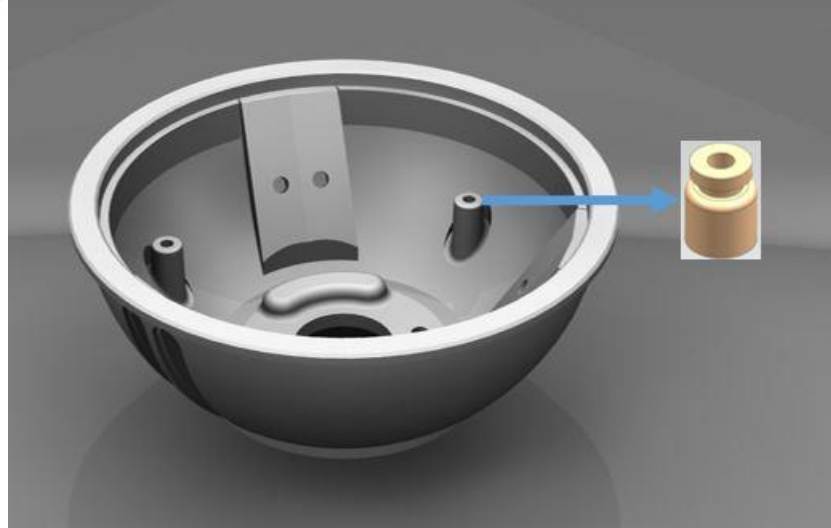
Şekil 4.5 Sensör kabini alt ve üst yarım kürelerinin modelleri

Şekil 4.5 ile verilen yarım kürelerin arasına ışık taşıyıcı görevi gören ve içerideki bataryayı tutacak bir ara parça tasarlanmıştır. Bu parça şeffaf malzemeden prototiplenerek ışık geçirgenliği sağlanmıştır. Modelleri Şekil 4.6 ile verilmiştir.



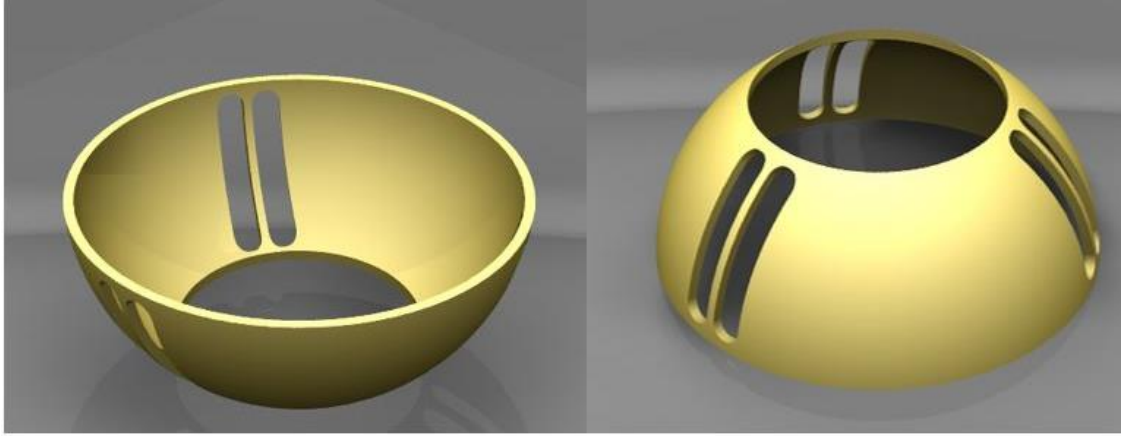
Şekil 4.6 Işık taşıyıcı ve batarya tutucu modeli

Yarım küreler ve ışık taşıyıcı birbirlerine yapıştırma metodu ile montajlanacaktır. Genel mekanik tasarımlar yapıldıktan sonra kürelerin içinde bulunan kart tutucular için silikon ayaklar tasarlanmıştır. Elektronik kart bu silikon ayaklar üzerine yerleştirilerek üzerine gelen kuvvetler sönmülmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.7 Sensör kabinine yerleştirilen elektronik kartın silikon tutucuları

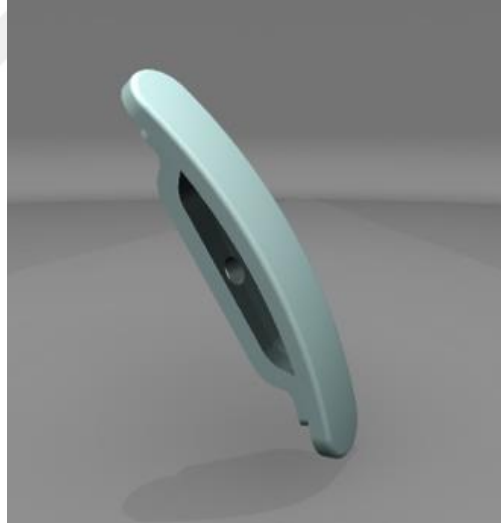
Sensör kabini için iç yarım küreler tasarlandıktan sonra, dış yüzeyine yapılacak olan silikon kaplamaların tasarımları yapılmıştır. Silikon kaplama modelleri Şekil 4.8 ile verilmiştir.



Şekil 4.8 Dış yüzeye yapılan silikon kaplamaların modelleri

Bütün modeller oluşturulduktan sonra sensör kabininin tasarımı bitirilmiştir. Bu aşamadan sonra iletkenlik plakalarının tasarımları yapılmıştır. İletkenlik plakaları üst ve alt yarım kürede 3'er çift halinde bulunmaktadır. Toplamda 6 çift, 12 adet iletkenlik plakası ihtiyacı bulunmaktadır.

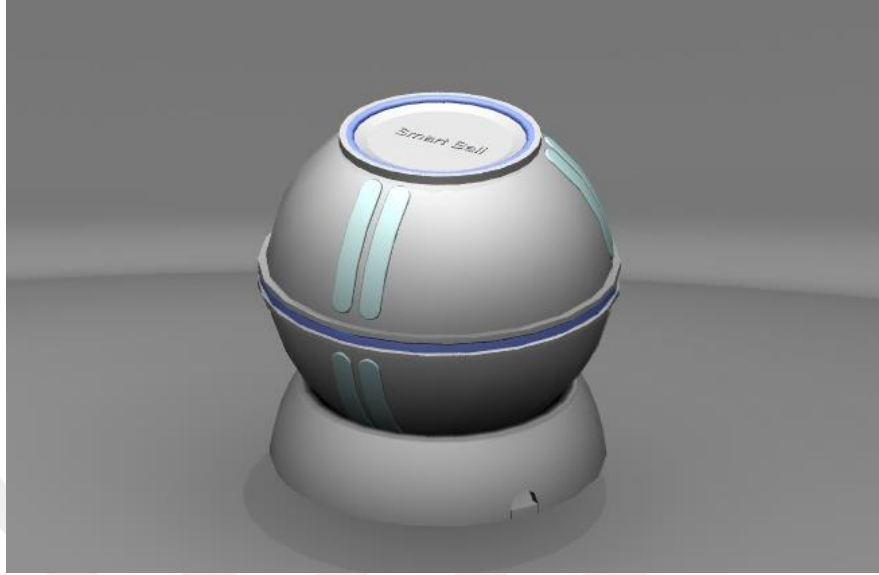
İletkenlik plakalarının 3 boyutlu tasarımları Şekil 4.9 ile verilmiştir.



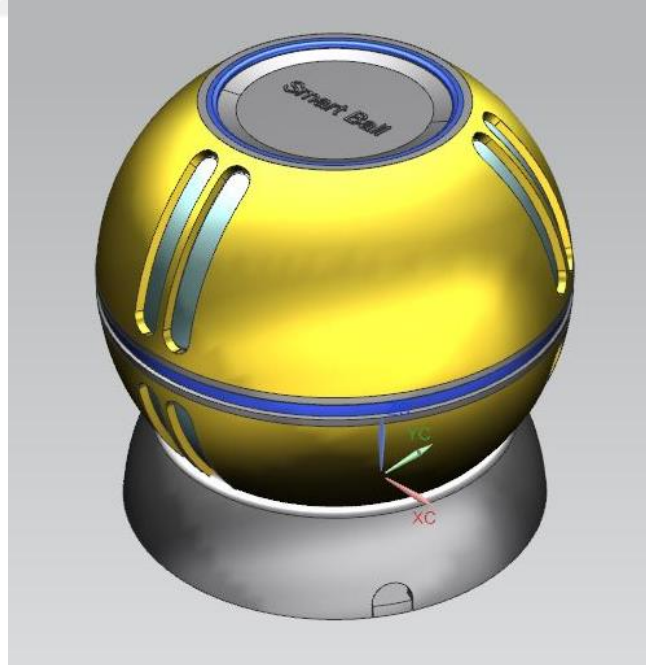
Şekil 4.9 İletkenlik plakası 3 boyutlu tasarımı

İletkenlik plakaları, sensör kabini üzerinde bulunan plaka boşluklarına yerleştirilerek, iç tarafından vida yardımıyla çektilerle montajı yapılmaktadır. İletkenlik plakaları için 316-L paslanmaz çelik malzemesi kullanılmıştır. Nemli ortamda çalışacak sensör kabini için, paslanmaya dayanıklı olarak bu malzeme seçimi yapılmıştır.

Sensör kabini için gerekli tasarımlar yapıldıktan sonra şarj istasyonu tasarımı da yapılmıştır. Tasarımlar sonucunda sensör kabininin silikon kaplama yapılmadan önce genel görünümü Şekil 4.10 ile verilmiştir.



Şekil 4.10 Silikon kaplama yapılmadan sensör kabini ve şarj istasyonu 3 boyutlu modeli
Silikon kaplama sonrasında ise sensör kabini tasarımları Şekil 4.11 ile verilmiştir.



Şekil 4.11 Sensör kabini tasarımlarının tamamlanmış hali

ALGORİTMA ÇALIŞMALARI

Algoritma çalışmaları kapsamında, sensör verilerinin okunması, sistem koruma algoritmaları, yazılımsal filtreler, kurutma makinası için kullanılan sensör grubunun çalışma algoritması ve veri toplama sistemi algoritma çalışmaları yapılmıştır. Alt başlıklar ile bu çalışmalar ayrıntılı şekilde incelenecektir.

5.1 Sensör Verilerinin Okunması

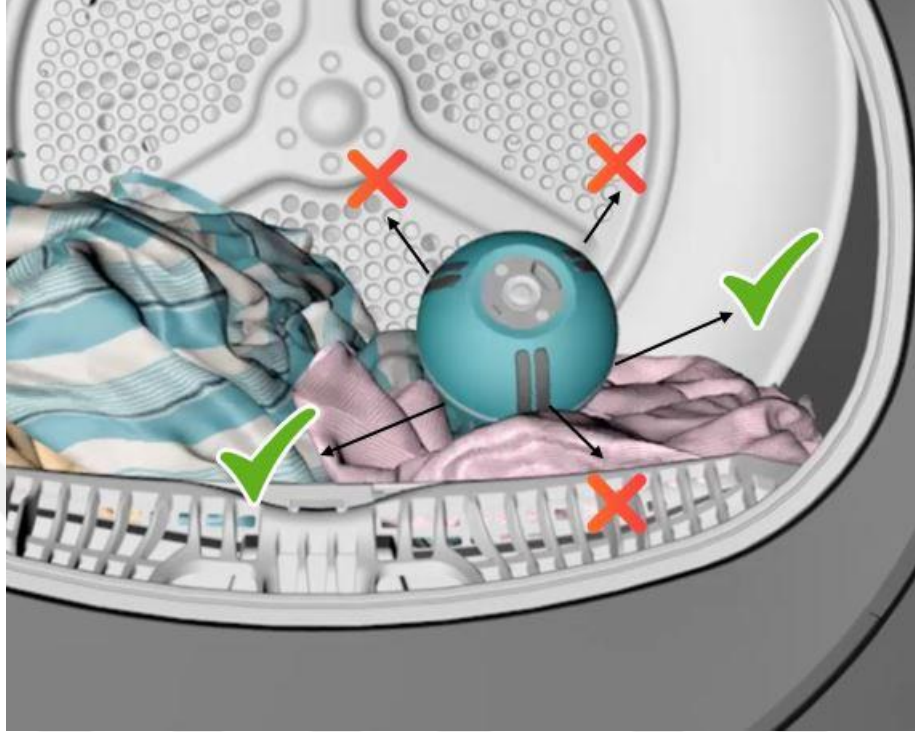
Tasarlanan ölçüm sistemi kurutma makinasındaki uygulama için özelleştirilmiştir. Yapılan mekanik tasarımlar ile sensör kabini üzerine 6 çift iletkenlik plakası ve Nem-Sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Nem-sıcaklık sensörü olarak Analog sensör olan Sensirion SHT-31 modeli kullanılmıştır.

Sistemdeki bütün sensörler analog çıkış vermektedir. Sensörler mikrokontrolörün ADC girişleri ile okunmuştur.

5.1.1 İletkenlik Plakaları Algoritma Çalışmaları

Kurutma makinası için en önemli parametre iletkenlik sensörleri ile okunan çamaşır nem seviyeleridir. Sensör grubu üzerinde 6 çift iletkenlik plakası bulunmaktadır. Bu iletkenlik plakalarının hepsi kuruluk için anlamlı veriler üretmemektedir. Küresel sensör grubu çamaşır içinde hareket ederken sürekli ölçüm almaktadır. Ancak plakalar her zaman çamaşırlar ile temas etmemektedir. Bu yüzden iletkenlik plaka sayısı fazla tutulmuş olup, gelen veriler filtrelenerek anlamlı veriler seçilmektedir.

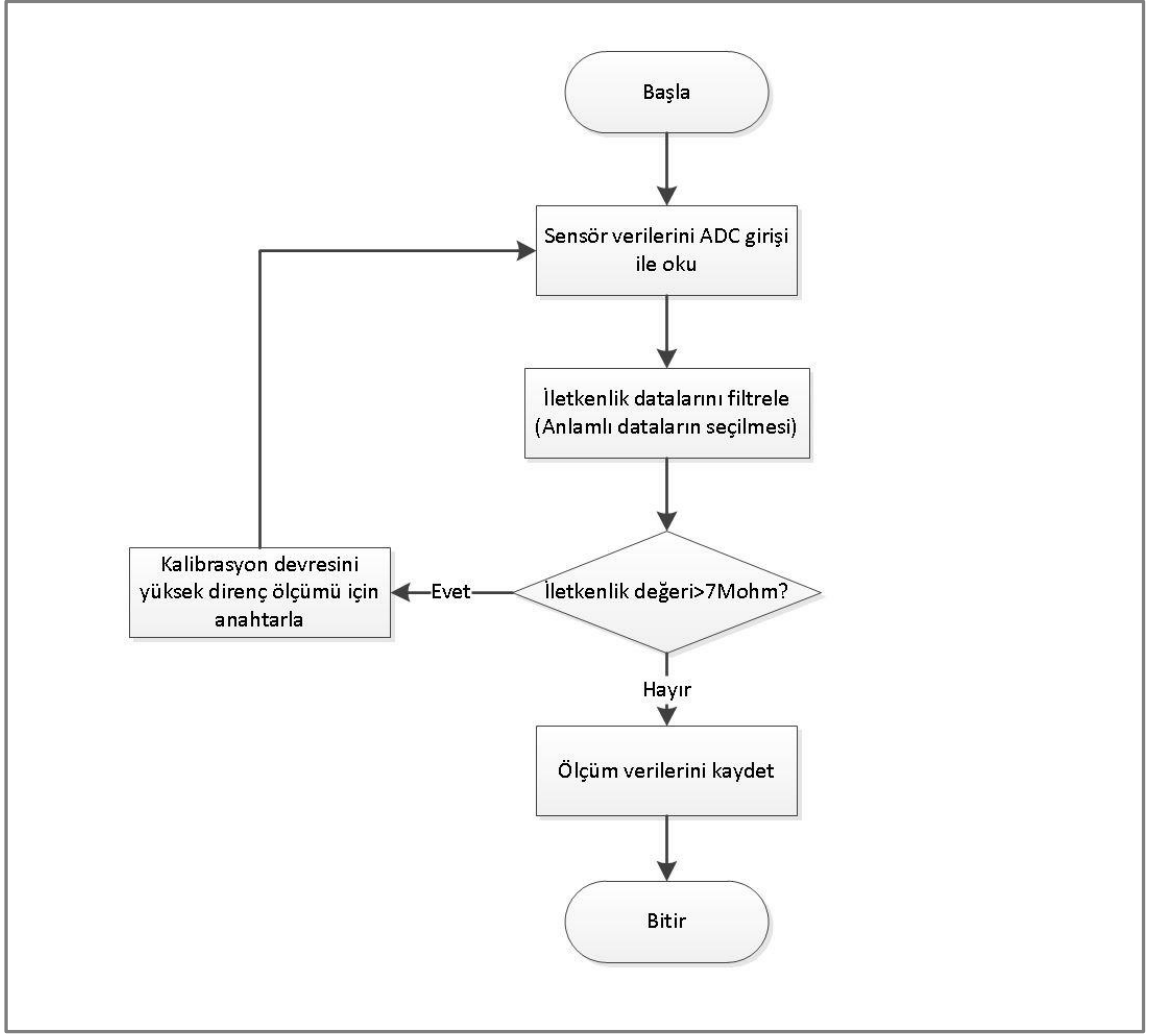
İletkenlik plakaları tambura değdiğinde iletkenlik değeri okuyamamaktadır. Ayrıca çamaşıra temas etmeyen plakalarda nem seviyesi ölçümü için anlamsız veri üretmektedir. Bu durum Şekil 5.1 ile daha anlaşılır şekilde verilmiştir.



Şekil 5.1 Sensör grubu için anlamlı verilerin filtrelenmesi

Şekilde de görüldüğü gibi çamaşıra değmeyen plakalar anlamsız veriler üretmektedir. Yazılımsal algoritmalar ile 6 adet iletkenlik verisi alınmıştır ve bu veriler içerisinde anlamlı olan veriler seçilmiştir. Tambura değen veya çamaşıra değmeyen iletkenlik verileri filtrelenmiştir.

Tasarlanan ölçüm sisteminde yüksek direnç aralık değerlerini aynı sistem ile okuyabilmek için kalibrasyon devresi tasarlanmıştır. Ölçüm sistemi kurutma makinasında kullanılırken, çevrim başlangıcında tekstil ürünleri ıslak olduğu için düşük direnç değerler okunacaktır. Kurutma sonlarında ise tekstil ürünleri nem seviyesi azalacaktır ve direnç seviyeleri yüksek değerlere ulaşacaktır. Yüksek değerlerin ölçümü için kalibrasyon devresinin anahtarlanması gerekmektedir. Kalibrasyon devresi, yazılım ile anahtarlanarak yüksek direnç ölçümlerine geçilir. İletkenlik plakaları için okuma algoritmaları Şekil 5.2 ile verilmiştir.



Şekil 5.2 İletkenlik ölçüm algoritması

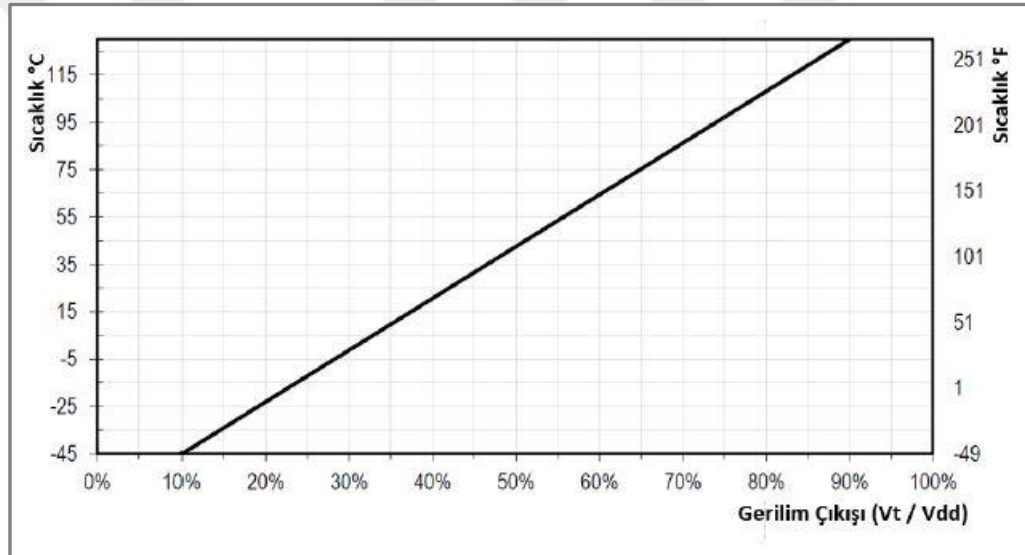
5.1.2 Sıcaklık-Nem Sensörü Algoritma Çalışmaları

Kurutma makinasında tambur içerisindeki hava sıcaklığı ve nem oranını ölçmek için analog sensör olan Sensirion SHT31 sensörü kullanılmıştır. Bu sensör sıcaklık ve nem değerleri için iki ayrı analog değer üreterek sıcaklık ve nemin hesaplanması için çıktı vermektedir. Sensör analog değer çıkışları mikrokontrolör analog-sayısal dönüştürücüleri (ADC) ile okunmaktadır. Sensör görünümü Şekil 5.3 ile verilmiştir.



Şekil 5.3 SHT31 sıcaklık ve nem sensörü görünümü

SHT31 bağıl nem ve ortam sıcaklığını ölçmektedir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 ile verilen grafiklerde sensör analog çıkışı ile nem ve sıcaklık arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.4 Sensör çıkış geriliminin sıcaklık ile ilişki grafiği

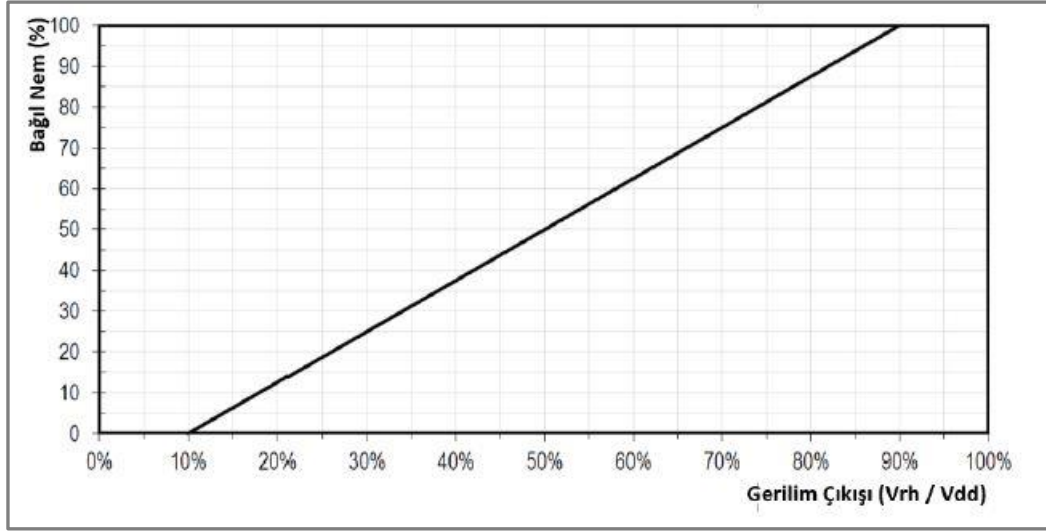
Verilen grafikte gerilim çıkışı ile sıcaklık arasındaki ilişki görülmektedir. Verilen ilişkinin denklemsel ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$T[°C] = -66,875 + 218,75 \frac{V_t}{V_{dd}} = -45 - \frac{17,5}{0,8} + \frac{175}{0,8} * \frac{V_t}{V_{dd}} \quad (5.1)$$

$$T[°F] = -88,375 + 393,75 * \frac{V_t}{V_{dd}} = -49 - \frac{31,5}{0,8} + \frac{315}{0,8} * \frac{V_t}{V_{dd}} \quad (5.2)$$

Yukarıda verilen denklemler ile sensör gerilim çıkışından ortam sıcaklığı hesaplanabilmektedir.

Sensör gerilim çıkışı ile bağıl nem arasındaki ilişki ise Şekil 5.5 ile verilmiştir.



Şekil 5.5 Sensör çıkış geriliminin bağıl nem ilişkisi grafiği

Grafik ile verilen ilişkinin denklemsel ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$RH = -12,5 + 125 * \frac{V_{RH}}{V_{DD}} = -\frac{10}{0,8} + \frac{100}{0,8} * \frac{V_{RH}}{V_{DD}} \quad (5.3)$$

Yukarıdaki denklem ile sensör çıkış geriliminden ortam bağıl nemi ölçülebilmektedir. Ölçüm sistemi çalışma algoritmasında bu hesaplamalar da eklenmiştir.

5.2 Sistem Koruma Algoritmaları

Ölçüm sistemi için koruma algoritmaları yazılmıştır. Donanımsal tasarımda batarya gerilim ve akımını kontrol eden sistem tasarımı yapılmıştır. Batarya değerleri hem şarj durumu için hem de yüksek akım çekilmesi durumunda devreyi korumak için kullanılmaktadır.

Batarya üzerine yerleştirilen bir sıcaklık (NTC) sensörü ile batarya sıcaklığı da kontrol edilmektedir. Batarya sıcaklığı kontrol sıcaklığından yüksek değerlere geldiğinde algoritma ile sistem koruma altına alınmaktadır.

5.3 Kalman Filtresi

Kalman filtresi bir sistemin önceki durum değişkenlerini kullanarak şimdiki durum değişkenlerini tahmin edebilen bir gözlemleyicidir [20]. Ölçüm sistemi sensör verileri

gürültüden etkilenebilmektedir. Oluşan gürültüler filtrelenmelidir. Ayrıca kurutma çevrimi sürecinde iletkenlik plakalarının çamaşır ile temas etmediği durumlarda sensör verisinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Oluşan gürültüleri engellemek için ve sensör verilerini stokastik bir yaklaşımla hızlıca tahmin edebildiği için Kalman Filtresi ölçüm sistemi algoritmasına eklenmiştir.

Kurutucu makinası için geliştirilen sensör sistemi üzerinde altı adet iletkenlik plakası bulunmaktadır. Kurutma çevrimi başladığında yazılım ile altı iletkenlik plakasından ham veriler okunur. Ham veriler okunduktan sonra yazılım ile bu veriler ilk filtreden geçirilir. İlk filtrede altı adet iletkenlik plakası ile toplanan verilerden çamaşır iletkenliğini ölçen veri seçilmektedir. Tambura değen veya havayı ölçen veriler atılmaktadır. Sonuç olarak yazılım ile çamaşıra değen ve sistem ölçümü için anlamlı olan tek veri kalmaktadır. Bölüm 5.1.1 'de bu durum ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

İletkenlik plakalarından sürekli ölçüm yapılmaktadır. Sensör sistemi tambur içerisinde serbest hareket ettiği için bazı durumlarda çamaşır ile temas etmemektedir. Temas etmediği durumlarda iletkenlik değeri okunamamaktadır. Ölçüm sürekliliği için bu değerin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu değeri tahmin edebilmek için Kalman Filtresi kullanılmıştır.

Kalman filtresi için tek ihtiyaç sistemin bir önceki verileri olduğundan, mikrokontrolör için de çok yüksek hafıza ve işlem gücü gerektirmezler [21]. Kalman filtresi, en küçük kareler yöntemini kullanarak hatayı en aza indirmektedir. Sistem gürültülerini bu şekilde yok etmekte ve en az hata ile parametre tahminlerini de yapmaktadır [22].

Kalman filtresi ile sistem matematiksel modeli çıkarılır ve bu modele göre gelecek parametreler tahmin edilir. Tahmin edilen değer ve ölçülen değer karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda Kalman kazancı elde edilir. Bu kazanç ile sistem parametreleri sürekli güncellenir.

Kalman filtresi, ölçüm sistemindeki gürültüleri engellemek ve ölçüm değerini tahmin edebilmek için aşağıdaki gibi modellenmiştir.

Kalman filtresinin en temel denklemi aşağıda verilmiştir.

$$X_k = K_k * Z_k + (1 - K_k) * X_{k-1} \quad (5.4)$$

Denklem 5.4 ile verilen kalman modelinde X_k hesaplanan durum değeridir. K_k ise Kalman kazanç değeridir. Z_k ölçüm sonucunda elde edilen değerdir. X_{k-1} ise bir önceki durum değeridir. Bu parametreler için tek bilinmeyen Kalman kazanç katsayısıdır. Kalman filtresinin en önemli parametresidir. Kalman kazanç değeri her ölçüm sonucunda güncellenir ve doğru sonuca ulaşması sağlanır.

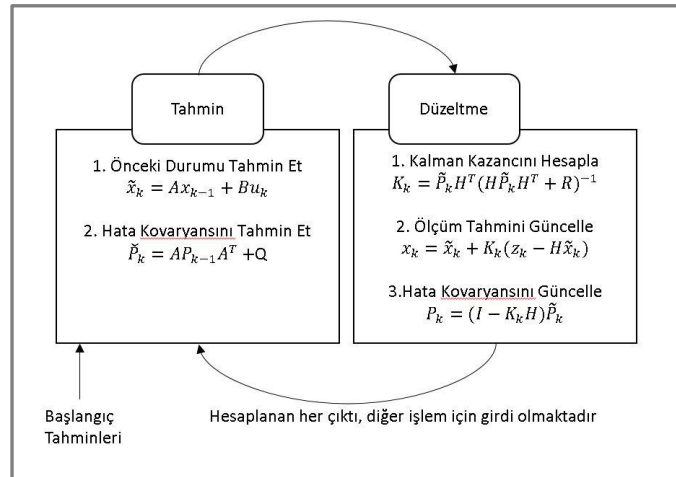
Kalman filtresi için durum uzay denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \quad (5.5)$$

$$Z_k = Hx_k + v_k \quad (5.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde sistem durumu x_k olarak tanımlanmıştır. z_k ise ölçüm vektörüdür. w_{k-1} ile tanımlanan bir önceki işlemin, v_k ile tanımlanan ise ölçülen işlemin gürültüsü olarak verilmiştir. Sensör uygulamalarında bu gürültüler Gauss gürültüsü olarak tanımlanırlar.

Kalman filtresi algoritma olarak tahmin ve düzeltme aşamalarında oluşmaktadır. Bu algoritma Şekil 5.6 ile verilmiştir.



Şekil 5.6 Kalman filtresi algoritması

Kalman filtresi algoritmasını geliştirilen ölçüm sisteminde kullanabilmek için sistem parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hata kovaryansı Kalman kazancının hesaplanması için kullanılmaktadır.

Ölçüm sisteminde kontrol sinyali bulunmadığı için u_k parametresi '0' olacaktır. Bu durumda B matrisi için bir katsayı belirlememiz gerekmemektedir. H değeri ise Kalman filtresi sensör uygulamaları için '1' değerini almaktadır. Ölçüm sistemi verisi tek boyutlu olduğu için A matrisi de '1' değerini almaktadır.

Bu parametreler belirlendikten sonra Kalman filtresinin denklemler dijital işlemciler ile kullanılabilmesi için aşağıdaki hale getirilmelidir. Dijital ortamda Kalman filtresi zaman güncellenmesi ve ölçüm güncellenmesi olarak iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Denklemler aşağıda verilmiştir.

Zaman güncellenmesi;

$$\mathbf{x}_k^- = \mathbf{x}_{k-1} \quad (5.7)$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{P}_{k-1} \quad (5.8)$$

Ölçüm güncellenmesi;

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k / (\mathbf{P}_k + \mathbf{R}) \quad (5.9)$$

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_k^- + \mathbf{K}_k * (\mathbf{Z}_k - \mathbf{x}_k^-) \quad (5.10)$$

$$\mathbf{P}_k = (1 - \mathbf{K}_k) * \mathbf{P}_k^- \quad (5.11)$$

Matematiksel algoritması oluşturulan Kalman filtresi, ölçüm sisteminde kullanılabilmesi için C dilinde kodlanmıştır. Kalman filtresi için yazılan kod Şekil 5.7 ile verilmiştir.

```
float kalman_filter (float veri)
{
    float yeni_veri = önceki_veri; // eski değer alınır
    float kov_yeni = kov_eski + 0.30; //yeni kovaryans değeri belirlenir. Q=0.30 alınmıştır

    float kalman_kazancı = kov_yeni / (kov_new + 0.8); //kalman kazancı hesaplanır. R=0.8 alınmıştır
    float hesaplanan_veri = yeni_veri + (kalman_kazancı * (veri - yeni_veri)); //kalman değeri hesaplanır

    kov_yeni = (1 - kalman_kazancı) * kov_eski; //yeni kovaryans değeri hesaplanır
    kov_eski = kov_yeni; //yeni değerler bir sonraki döngüde kullanılmak üzere kaydedilir

    eski_veri = hesaplanan_veri;

    return hesaplanan_veri; //hesaplanan kalman değeri çıktı olarak verilir
}
```

Şekil 5.7 Kalman filtresi için yazılan C kodu

Matematiksel modelde ve yazılımda da kullanılan R ve Q parametreleri toplanan verinin istenen yakınsama hızına ulaşması için optimize edilmesi gerekmektedir. Ham veriler analiz edilerek bu parametrelere karar verilmesi gerekmektedir. Geliştirilen ölçüm sistemi için R değeri '0,8', Q değeri ise '0,3' olarak belirlenmiştir.

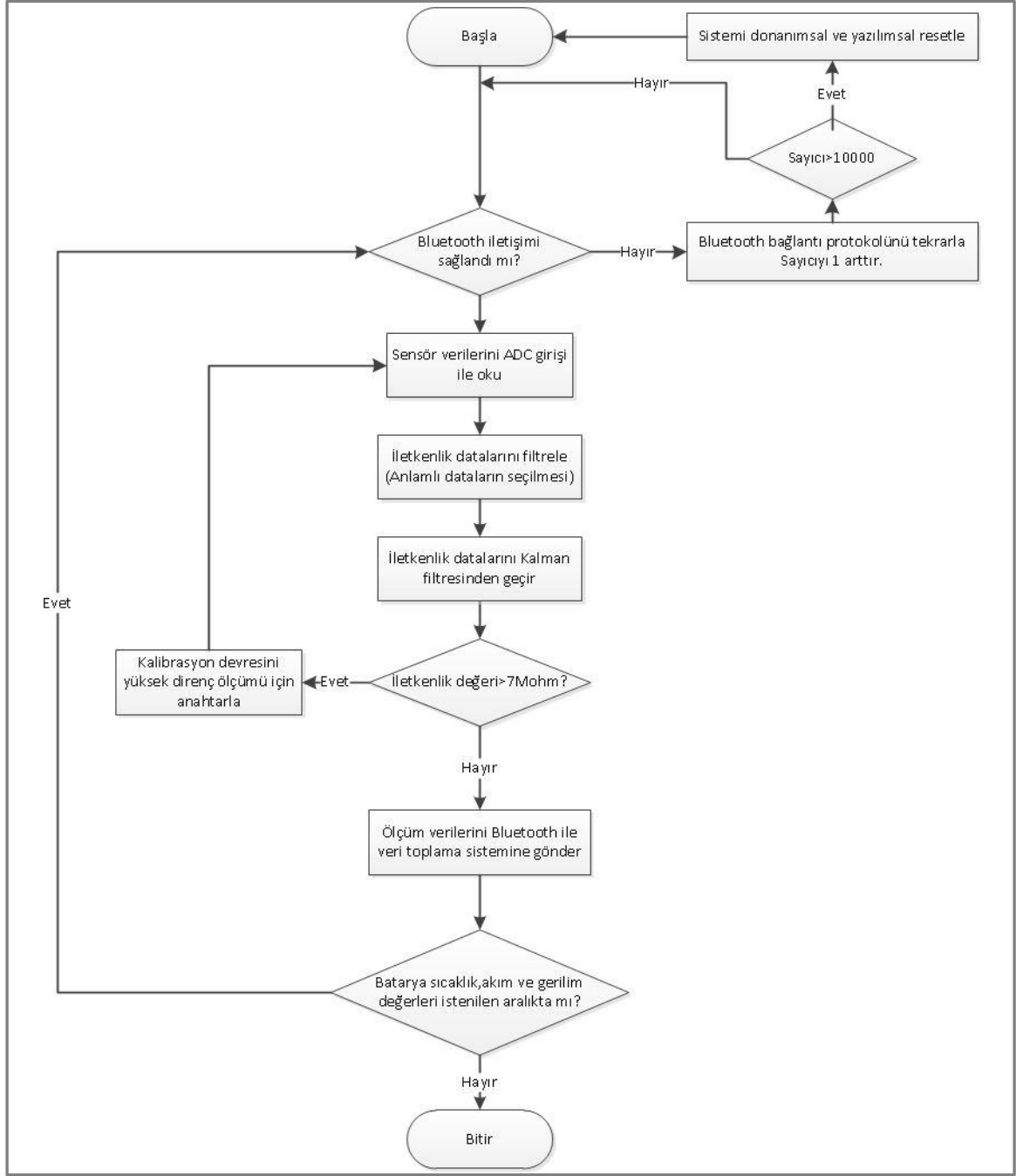
Kalman filtresi işlemciye gömülerek sensör verilerinin gürültülerinin filtrelenmesi ve ölçüm verisinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır.

5.4 Ölçüm Sistemi Algoritması

Ölçüm sistemi algoritma çalışmaları parça parça yapıldıktan sonra tüm sistem için algoritma yapısı kurulmuştur. Ölçüm verilerini toplamak için Bluetooth haberleşmesi seçilmiştir. Bluetooth ile veriler kurutma makinası, bilgisayar veya telefon uygulamalarına gönderilebilmektedir.

Sensör grubu makina içine atıldıktan sonra ilk önce Bluetooth iletişimini sağlar. Bluetooth iletişimi sağlandıktan sonra veriler okunmaya başlar. Okunan veriler filtrelenir ve filtrelenmiş veriler veri toplama sistemine Bluetooth ile gönderilir. Bu işlemler yapılırken bir yandan kontrol algoritmaları da çalışmaktadır.

Genel olarak ölçüm sistemi algoritması Şekil 5.8 ile verilmiştir.



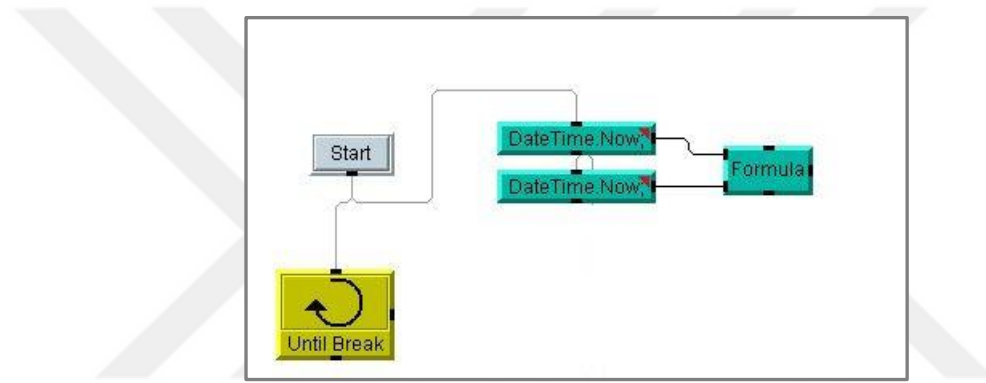
Şekil 5.8 Ölçüm sistemi çalışma algoritması

5.5 Veri Toplama Sistemi

Ölçüm sistemi algoritmaları ve yazılımları sonrasında veri toplama sistemi hazırlanmıştır. Veri toplama sistemi olarak HP VEE yazılımı kullanılmıştır. Kurutma makinası için hazırlanan ölçüm sisteminde toplanan veriler Bluetooth üzerinden veri toplama bilgisayarına gönderilmektedir. Veri toplama sistemine gelen veriler HP VEE ile

hazırlanmış kullanıcı arayüzü ile takip edilmiş ve kaydedilmiştir. Kullanıcı arayüzüne ilişkin tasarımlar aşağıdaki şekiller ile verilmiştir.

Veri toplama sistemi ile hem kurutma makinası üzerinden gelen mevcut sensör verileri ve yeni geliştirilen ölçüm sistemi üzerinden gelen veriler eş zamanlı olarak alınmıştır. Zamanlama işlemi kullanıcı arayüzünde Şekil 5.9 ile verilen kodlama ile yapılmıştır. Bu kodlamada 2 tane DateTime Now kod bloğu ile makinadan alınan mevcut sensör verilerinin ve geliştirilen ölçüm sisteminin verilerinin zamanları kaydedilmiş ve bu verilerin eş zamanlı bir şekilde alınması sağlanmıştır. Start bloğu veri toplama sistemini çalıştırmak için konulmuş ve Until Break bloğu ile de bu kodun sürekli bir çevrimde çalışması sağlanmıştır.



Şekil 5.9 Zamanlama programı

Geliştirilen ölçüm sistemi verileri Bluetooth üzerinden, kurutma makinası ise seri port üzerinden göndermektedir. Veri toplama sisteminde Bluetooth üzerinden gelen veriler de seri port üzerinden gelecek şekilde tasarım yapılmıştır. Bu iki sistemden gelen veriler, veri toplama sistemi ile alınarak bir Excel dosyasına analiz için kaydedilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştiren program Şekil 5.10 ile verilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ölçüm sistemi tasarımı sonrasında kurutma makinası için özelleştirilmiş bir sensör kabini tasarımı yapılmıştır. Sensör kabinine yerleştirilen ölçüm sistemi ile kurutma makinasında kurutma deneyleri yapılmıştır.

6.1 Deney Düzenekinin Hazırlanması

Kurutma deneyleri için 8 kg'lık bir kurutma makinası hazırlanmıştır. Kurutma makinası ve yeni geliştirilen ölçüm sisteminden eş zamanlı veriler alınarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla kurutma makinası sensör sisteminden verilerin alınabilmesi için bir veri toplama sistemi hazırlanmıştır.

Kurutma makinası sensör sisteminden veri alınır hale geldikten sonra ölçüm sistemi için veri toplama sistemi hazırlanmıştır. İki ölçüm sisteminden de eş zamanlı veriler alınmıştır.

Deneyler ekstra kuruluk programında yapılmıştır. Diğer kurutma programlarında tekstil ürünleri %10 ile %5 nem seviyesi arasında kurutulmaktadır. Ekstra kuruluk programında ise amaçlanan %-3 nem seviyelerinde kurutma sağlamaktır. Nem yüzdesinin negatif değer gelmesinin sebebi, çamaşırlar yıkanmadan önce de üzerinde bir nem bulunmaktadır. Çamaşır üzerindeki nem seviyesi ortamdaki nemden kaynaklanmaktadır. Kurutma çevrimi bittiğinde ise çamaşır üzerindeki bütün nem alınır ve böylece kurutma çevrimine başlamadan önceki nem seviyesinin altına iner. Bu yüzden nem seviyesi yüzdesel olarak negatif değerlere ulaşmıştır. Geliştirilen ölçüm sistemi bu programda ölçüm yapabilir hale getirilmiştir.

Geliştirilen ölçüm sisteminden veriler Bluetooth üzerinden alınmıştır. Kurutucu makinası USB üzerinden, ölçüm sistemi ise kablosuz olarak haberleşebilmektedir.

Hazırlanan deney düzeneği Şekil 6.1 ile verilmiştir.



Şekil 6.1 Deney düzeneği

6.2 Veri Toplama Sisteminin Hazırlanması

Kurutma makinası için geliştirilmiş olan verileri kaydetme programı Şekil 6.2 ile verilmiştir.



Şekil 6.2 Kurutma makinası veri toplama programı

Bu arayüz ile veriler alınmakta ve kaydedilmektedir. Eş zamanlı verileri alabilmek için arayüz ile alınan veriler ve geliştirilen ölçüm sisteminden alınan veriler Agilent Vee veri toplama programı kullanılarak bir araya toplanmıştır.

6.3 Standart Çamaşır Testleri

Kurutma deneyleri standartlara uygun bir şekilde yapılmıştır. Standart çamaşır kurutma testlerinde 8 kg veya 4 kg kuru ağırlığı bulunan çamaşırlar standart çamaşır makinası programlarında yıkanır. Çamaşır makinasında yıkanan çamaşırlar %60 nem seviyesinde makinadan çıkmaktadır. Deneysel çalışmaların tümünde bu standart yakalanmaya çalışılmıştır. Çizelge 6.1 ile standart çamaşır testlerinde kullanılan çamaşırların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.1 Standart kurutma testleri için hazırlanan çamaşırların özellikleri

Standart çamaşır kuru ağırlığı	4 kg	8 kg
Standart çamaşır nemli ağırlığı	6,4 kg	12,8 kg
Standart çamaşır nem oranı	%60	%60

6.4 Deneysel Verilerin Analizi

Deney düzenekleri hazırlandıktan sonra deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney planı Çizelge 6.2 ile verilmiştir.

Çizelge 6.2 Deney planı

Deney Numarası	Çamaşır Tipi	Çamaşır Miktarı
1. Deney	Standart pamuklu	8 kg
2. Deney	Standart pamuklu	4 kg
3. Deney	Günlük çamaşır	8 kg
4. Deney	Günlük çamaşır	4 kg

6.4.1 Deney 1

1. Deney için çamaşırlara standart yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi makina standart programında 30 dakika olarak ayarlanmıştır. Yıkama öncesinde ve sonrasındaki çamaşır ağırlıkları aşağıda verilmiştir.

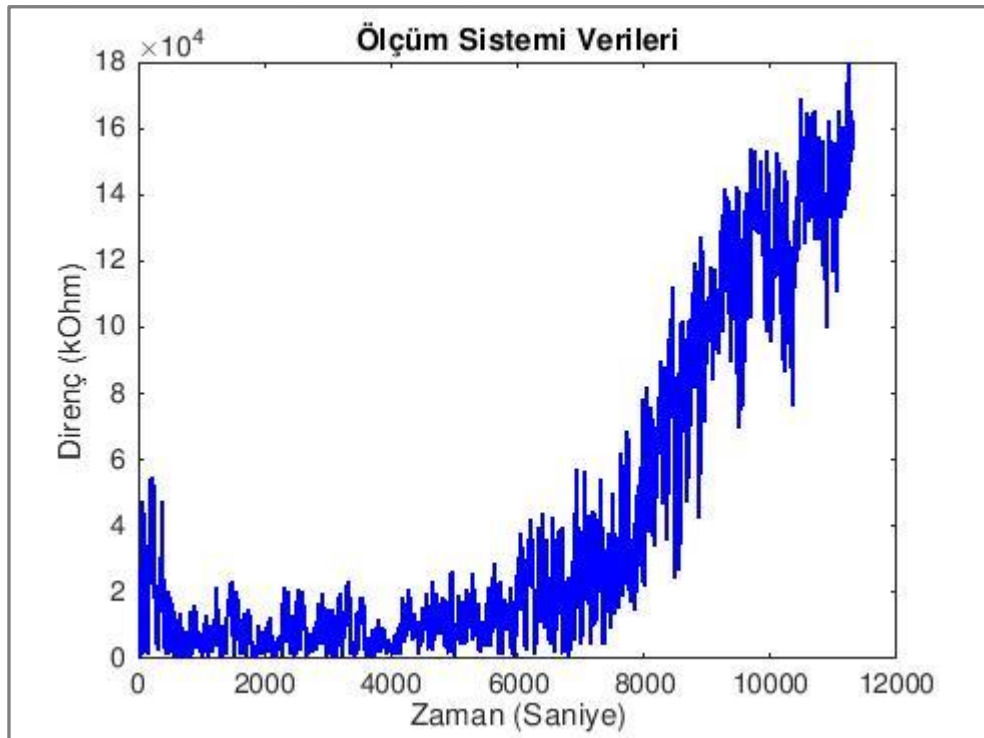
Yıkama öncesi kuru ağırlığı = 8058 gr

Yıkama sonrası ıslak ağırlığı = 13021 gr

Nem oranı $= (13021 - 8058) / 8058 = \%61$

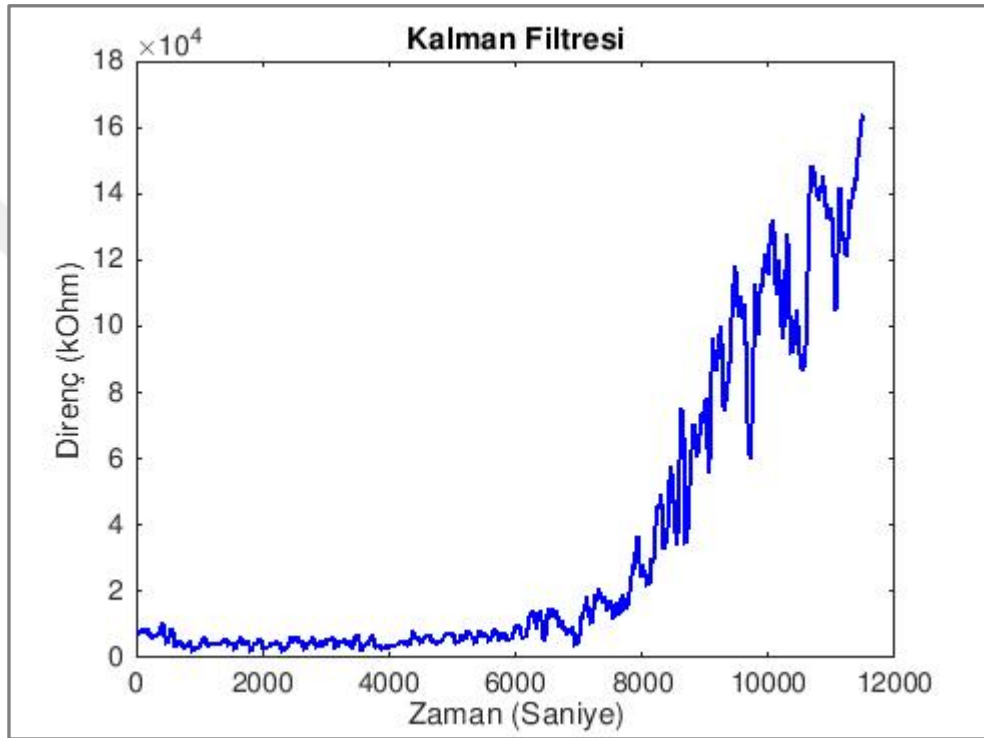
Çamaşırlar kurutma makinasına atıldıktan sonra veri toplama sistemi çalıştırılmış ve kurutma çevrimi ekstra kuruluk programına ayarlanmıştır.

Kurutma çevrimi sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiştir. Tasarlanan ölçüm sisteminde veriler 2 farklı yazılım filtresi ile filtrelenmektedir. Sensör sistemi üzerinde bulunan 6 adet iletkenlik plakasından ayrı ayrı veriler toplanmaktadır. İlk filtreleme işleminde 6 adet iletkenlik plakasından çamaşır üzerinden veri alan değeri seçilmektedir ve elde anlamlı tek veri kalmaktadır. Bu seçim sonucunda elde edilen veri Şekil 6.3 ile verilen grafikteki gibidir.



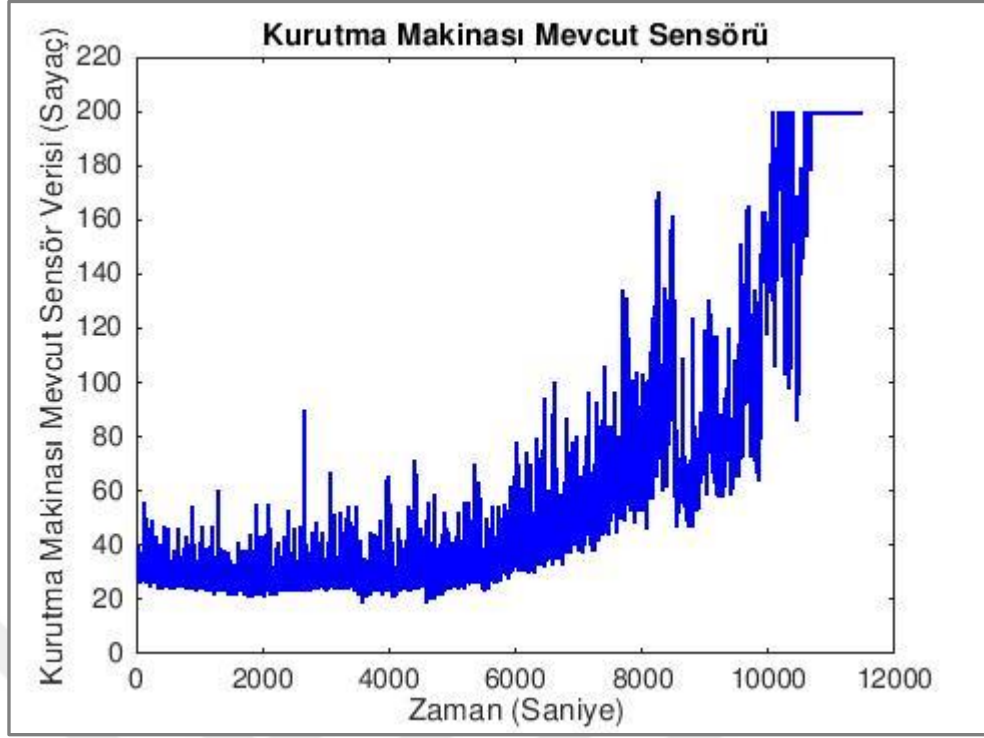
Şekil 6.3 İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler

İlk filtreleme işlemi sonucunda 6 iletkenlik plakası değerinden anlamlı olan veriler seçilmiştir. Şekil 6.3 ile verilen veriler kurutma çevriminin başında düşük direnç seviyelerinde başlamış ve çevrim sonunda 180 M Ω direnç seviyelerine ulaşmıştır. Bu işlemten sonra elde edilen veri bir Kalman filtresinden geçirilmektedir. Kalman filtresi sonucunda gürültü seviyesi azaltılmış bir veri elde edilmiştir. Kalman filtresi gerçek veriye daha hızlı yakınsadığı için kullanılmıştır. Kalman filtresi sonucunda elde edilen veri Şekil 6.4 ile verilen grafikteki gibidir.



Şekil 6.4 Kalman filtresi sonucunda elde edilen veriler

Kurutma makinası mevcut sensöründen alınan eş zamanlı veriler Şekil 6.5 ile verilmiştir.



Şekil 6.5 Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi

Kurutma makinası ölçüm birimi sayaç olarak adlandırılmıştır. Ölçüm değerleri çeşitli iterasyonlar ile oluşturulan bir değerdir. Bu yüzden tüm deneysel çalışmalar boyunca kurutma makinasından alınan verilerin birimi sayaç olarak adlandırılacaktır.

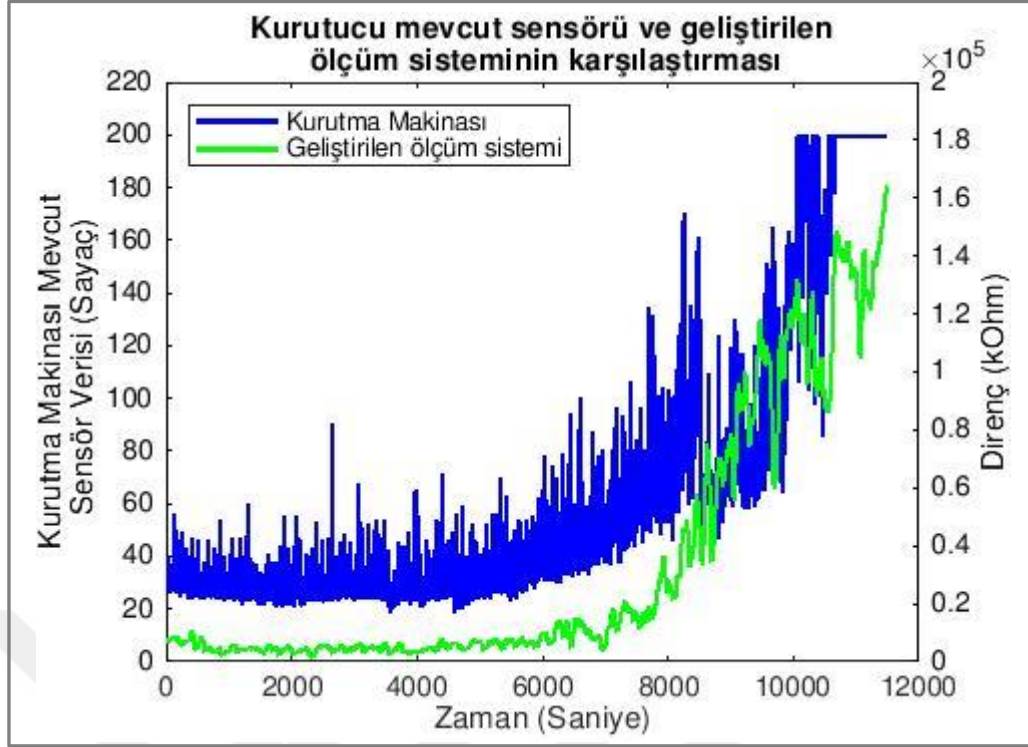
Kurutma çevrimi sonucunda kuru çamaşır ağırlığı tekrar ölçülmüştür. Bu ağırlık ve nem değerleri aşağıda verilmiştir.

Kurutma çevrimi sonunda kuru çamaşır ağırlığı = 8120 gr

Kurutma çevrimi sonunda çamaşır nem oranı = $(8320-8058)/8058 = \%3,3$

Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırlar homojen bir şekilde kurumamıştır. Çünkü çamaşır nem oranı $\%3,3$ olarak ölçülmüştür. Ekstra kuru programında çamaşır nem oranı $\%-3$ değerine ulaşması gerekmektedir. Kurutma makinası mevcut sensörü ölçüm yapamaz hale geldikten sonra süre ile kurutma çevrimini sürdürmektedir. Süreli yapılması homojen kurutma yapmasına engel olmuştur.

Kurutma çevrimi süresince alınan mevcut sensör verisi ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.6 ile verilen grafikteki gibi analiz edilmiştir.



Şekil 6.6 Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sistemi verilerinin karşılaştırmalı analizi

Sonuç olarak;

- Kurutma çevrimi sonlandığında ağırlıkları ölçülen çamaşırlar sonucu yapılan hesaplamalarda çamaşırların üzerinde hala nem olduğu görülmüştür. Bu çamaşırların homojen olarak kurumadığı anlamına gelmektedir.
- Kurutma çevrimi süresince alınan verilerde kurutma makinası sensör sisteminin kurutma çevriminin sonlarında ölçüm yapamadığı belirlenmiştir. Ölçüm sınırına ulaştıktan sonra zamanlayıcı kullanarak kurutma çevrimini sonlandırmıştır. Şekil 6.5 ile gösterilen kurutma makinası sensör verisinde 11000. saniyeden sonra ölçüm sınırına ulaştığı gözlemlenmiştir.
- Kurutma çevrimi süresince alınan verilerde geliştirilen yeni ölçüm sisteminin kurutma çevriminin sonlarında nem ölçümü yapabildiği gözlemlenmiştir. Kurutma makinası ölçüm sınırına ulaştığında, geliştirilen yeni ölçüm sistemi içerideki nemli çamaşırlardan veri toplamaya devam etmiştir.
- Makina içerisindeki çamaşırlar homojen olarak kuruduğunda geliştirilen ölçüm sistemi de maksimum direnç değerine ulaşacak ve doyma durumuna gelecektir.

Böylece bu noktada homojen kurutma sağlanabilecektir. Şekil 6.4 ile verilen ölçüm sistemi verilerine bakıldığında kurutma çevriminin sonlarında (10000-11000 saniyeleri arasında) direnç değeri bir süre yükselirken, sonra düşüş karakteristiği göstermektedir. 140 MΩ direnç seviyesine ulaştıktan sonra 100 MΩ seviyelerine geri düşmüştür. Bu noktalarda içeride bulunan nemli durumdaki çamaşırlardan veriler alınmaktadır. Böylece çamaşırların homojen kurumadığı kararı verilebilmektedir.

6.4.2 Deney 2

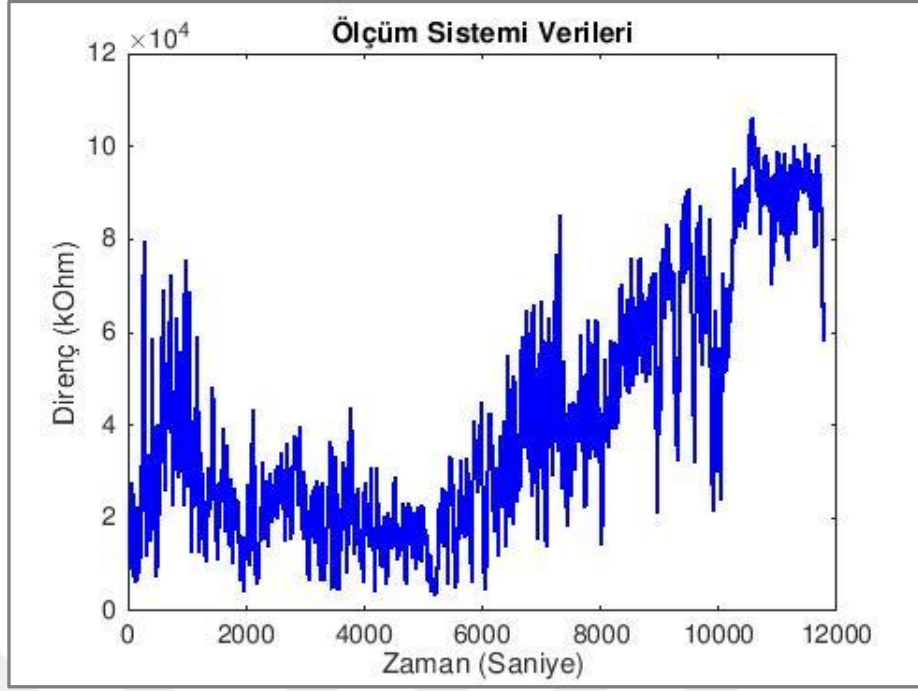
2. deney için 4 kg standart pamuklu çamaşır hazırlanmıştır. Hazırlanan standart çamaşırların kuru ve ıslak ağırlıkları ölçülmüştür.

Yıkama öncesi kuru ağırlığı = 4072 gr

Yıkama sonrası ıslak ağırlığı = 6640 gr

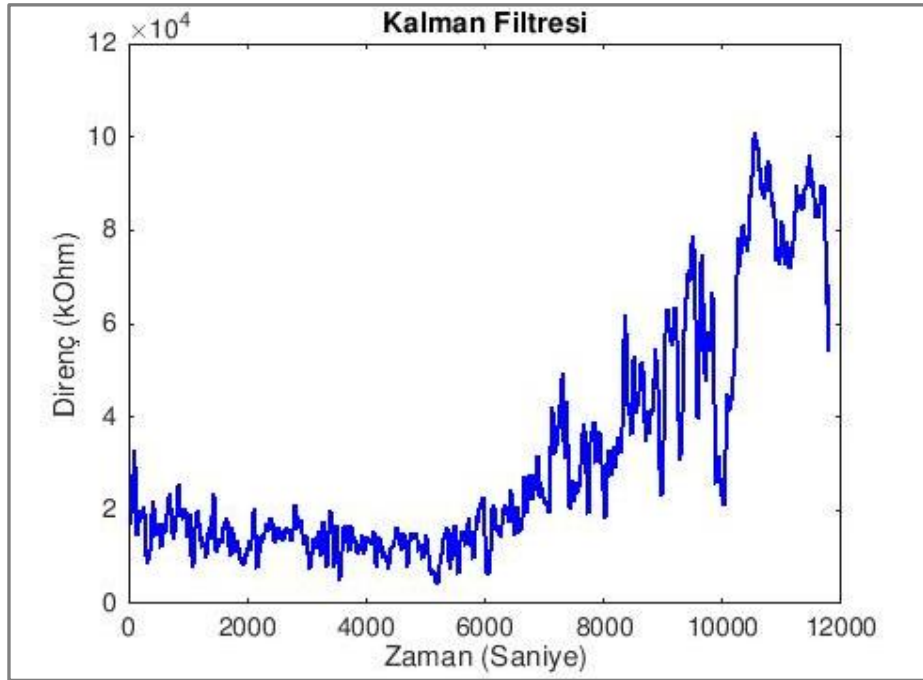
Nem oranı = $(6640-4072)/4072 = \%63$

Kurutma makinası ekstra kuruluk programında çalıştırılmıştır. Kurutma süresince kurutucu makinası mevcut sensör verisi ve yeni geliştirilen ölçüm sistemi verileri toplanmıştır. Ölçüm sistemi verileri ilk filtreden geçirilerek çamaşır iletkenlik değerleri ayrıştırılmıştır. İlk filtre ile altı adet iletkenlik plakasından alınan verilerden çamaşıra temas eden anlamlı veri seçilmiştir. İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.7 ile verilmiştir.



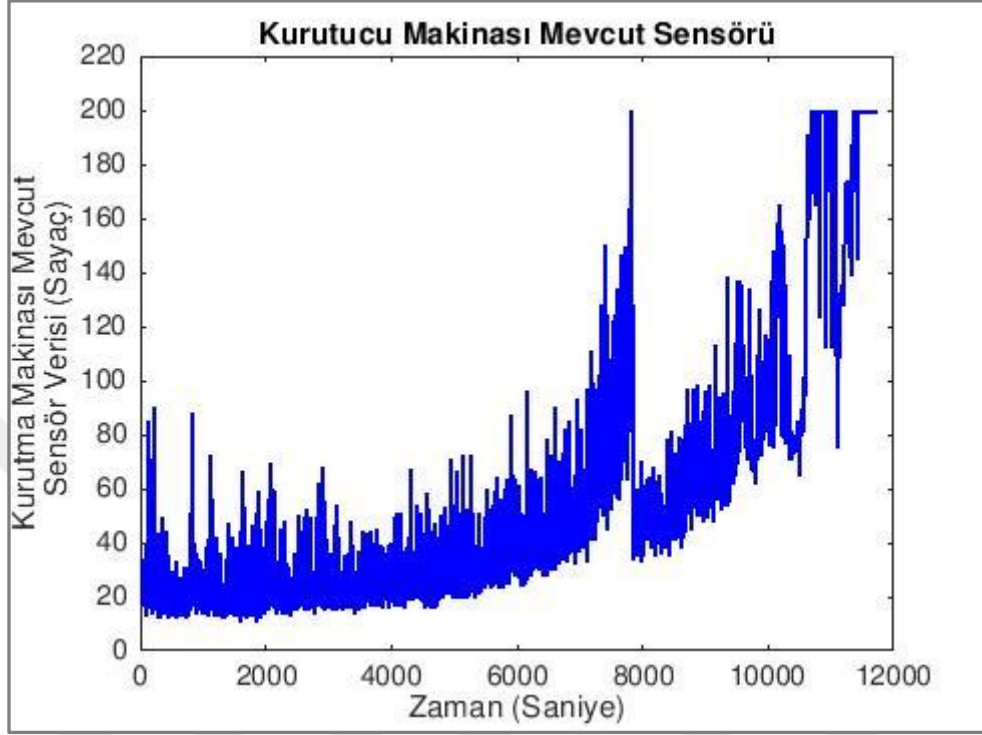
Şekil 6.7 İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veri

İlk filtreden sonra elde edilen veriler bir Kalman filtresinden geçirilmiştir. Kalman filtresi sonucunda gürültü seviyesi azaltılmış bir veri elde edilmiştir. Kalman filtresi gerçek veriye daha hızlı yakınsadığı için kullanılmıştır. Kalman filtresi sonucunda elde edilen veri Şekil 6.8 ile verilen grafikteki gibidir.



Şekil 6.8 Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler

Kurutma makinası mevcut sensör verileri de eş zamanlı olarak alınmıştır. Bu veriler Şekil 6.9 ile verilmiştir.



Şekil 6.9 Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi

Kurutma makinası ölçüm birimi sayaç olarak adlandırılmıştır. Ölçüm değerleri çeşitli iterasyonlar ile oluşturulan bir değerdir. Bu yüzden tüm deneysel çalışmalar boyunca kurutma makinasından alınan verilerin birimi sayaç olarak adlandırılacaktır.

Kurutma çevrimi sonucunda makinadan çıkan çamaşır ağırlığı ölçülmüştür. Kurutma çevrimi sonundaki kuru çamaşır ağırlığı ve çamaşır nem oranı aşağıdaki gibi olmuştur.

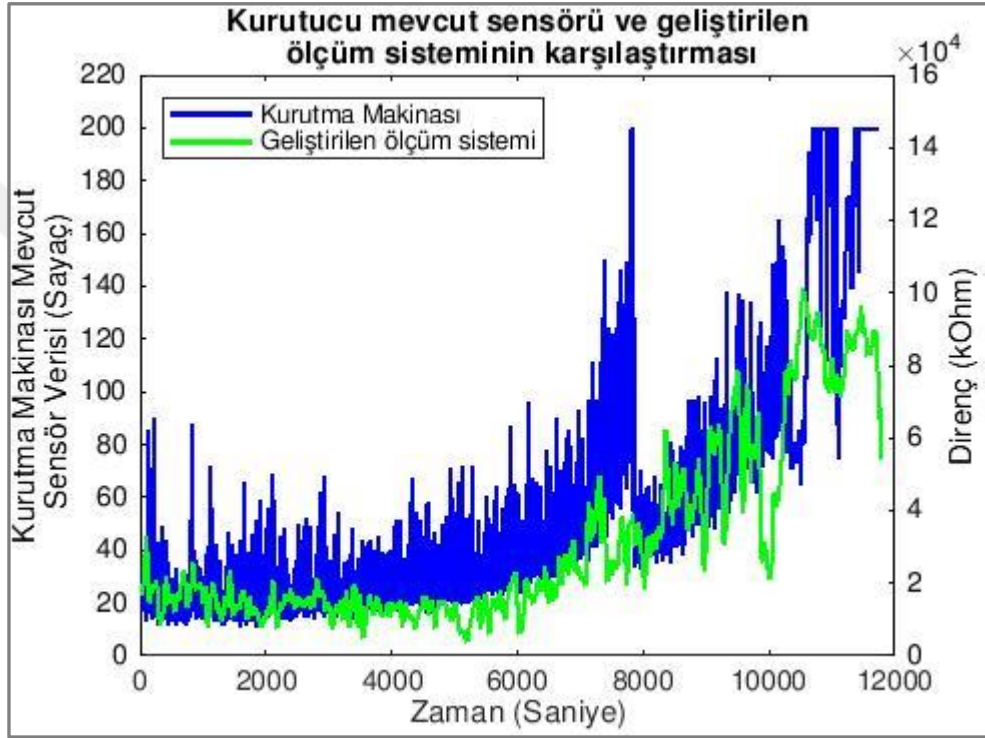
Çamaşır ağırlığı = 4385 gr

Çamaşır nem oranı = $(4385-4072)/4072 = \%7,6$

Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırların nemli olarak çıktığı görülmüştür. Kuruluk sınırı için kabul edilen %5 kuruluk değerinin üzerinde bir nem değerinde kurutma çevrimi bitmiştir. Ekstra kuruluk programının nem değeri olan %-3 nem değerinden de çok uzakta kalmıştır.

Kurutucu makinası az yüklerle yüklendiğinde kuruluk algılaması ile ilgili problem yaşamaktadır. Hem kurutucu makinası sensörünün ölçüm sınırına gelmesi hem de kurutucu makinası sensörünün sabit noktadan ölçüm yapması bütün çamaşırların verilerinin toplanmasını güçleştirmektedir. Bu yüzden az yüklerde homojen kurutma problemleri ortaya çıkmaktadır.

Kurutma çevrimi süresince alınan mevcut sensör verisi ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri Şekil 6.10 ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.10 Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi

Sonuç olarak;

- Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırlar kurutucu mevcut sensörü ile homojen olarak kurutulamamıştır. Bunun sebebi çamaşır yükünün az olması ve sensör ölçümünün yeterli olamamasıdır.
- Şekil 6.9 ile gösterilen verilerde kurutma çevriminin sonunda mevcut sensör verisi ölçüm sınırına gelmiştir. Bu süreden sonra makina kurutma çevrimini zamanlayıcı ile sonlandırmıştır. Zamanlayıcı ile sonlandırılması çamaşır nem

seviyesinden bağımsız olarak çevrimi devam ettirdiği için homojen kurutmayı sağlayamamıştır.

- Şekil 6.9 ile gösterilen verilerde, kurutma çevriminin 10000-11600 saniyeleri arasında nem oranı yüksek olarak ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm aslında içeride nem seviyesi yüksek olan çamaşırlar olduğunu göstermektedir. Ancak çamaşır yükü az ve sabit noktalı ölçüm yapıldığı için mevcut sensör ile bu çamaşırlar tekrar ölçülememiştir ve kurutma çevrimi sonlandırılmıştır.
- Şekil 6.8 ile verilen yeni ölçüm sistemi verilerinde ise kurutma çevrimi sonucunda nemli çamaşırların ölçümleri hala devam etmektedir. İletkenlik ölçüm değeri 100 MOhm seviyelerine ancak gelmiştir. Bu direnç değerleri içeride hala nemli çamaşırlar olduğunu göstermektedir. Ayrıca kurutma çevriminin sonundaki verilere bakıldığında bazı noktalarda direnç değerleri düşüşe geçmiştir. Bu veri de içeride nemli çamaşırlar olduğunu göstermektedir.

6.4.3 Deney 3

3. deney için 8 kg günlük çamaşır seti hazırlanmıştır. Günlük çamaşır seti aşağıdaki çamaşır gruplarından oluşmaktadır.

- 4 adet kot pantolon
- 4 adet sentetik gömlek
- 2 adet pamuklu kazak
- 4 adet pamuklu tişört
- 4 adet keten pantolon
- 1 adet yünlü kazak
- 4 adet yünlü süveter
- 6 adet viskon atlet
- 2 adet pamuklu zıbın
- 2 adet sentetik kazak

- 1 adet keten kazak
- 2 adet ipek elbise
- 1 adet viskon kazak

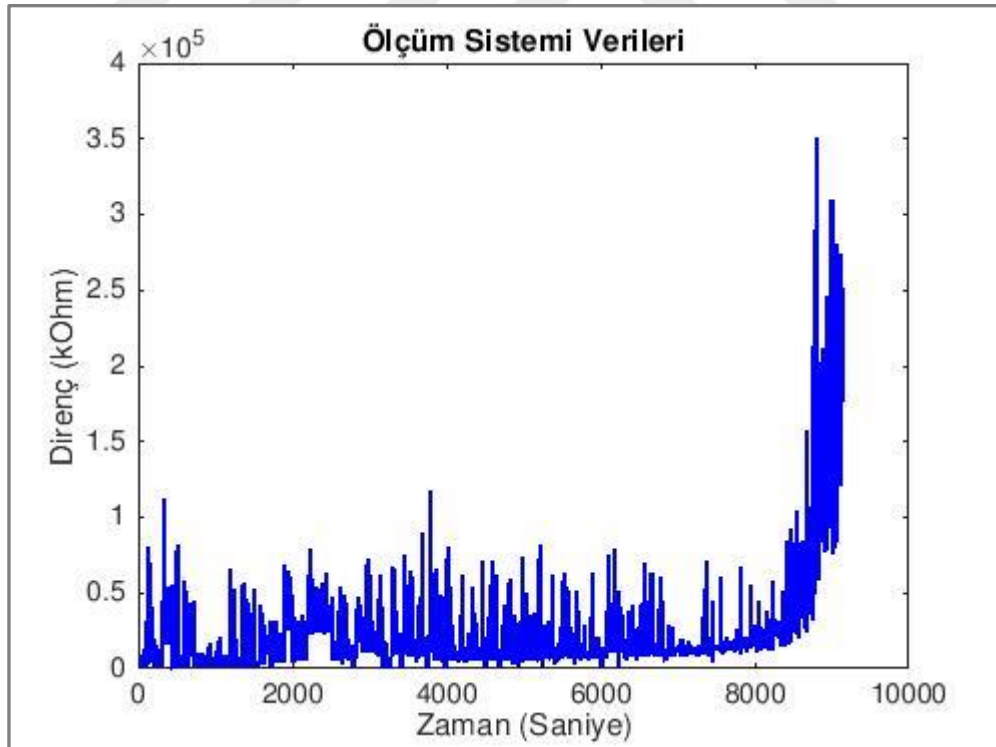
Hazırlanan standart çamaşırların kuru ve ıslak ağırlıkları ölçülmüştür.

Yıkama öncesi kuru ağırlığı = 8036 gr

Yıkama sonrası ıslak ağırlığı = 13528 gr

Nem oranı = $(13528-8036)/8036 \%68$

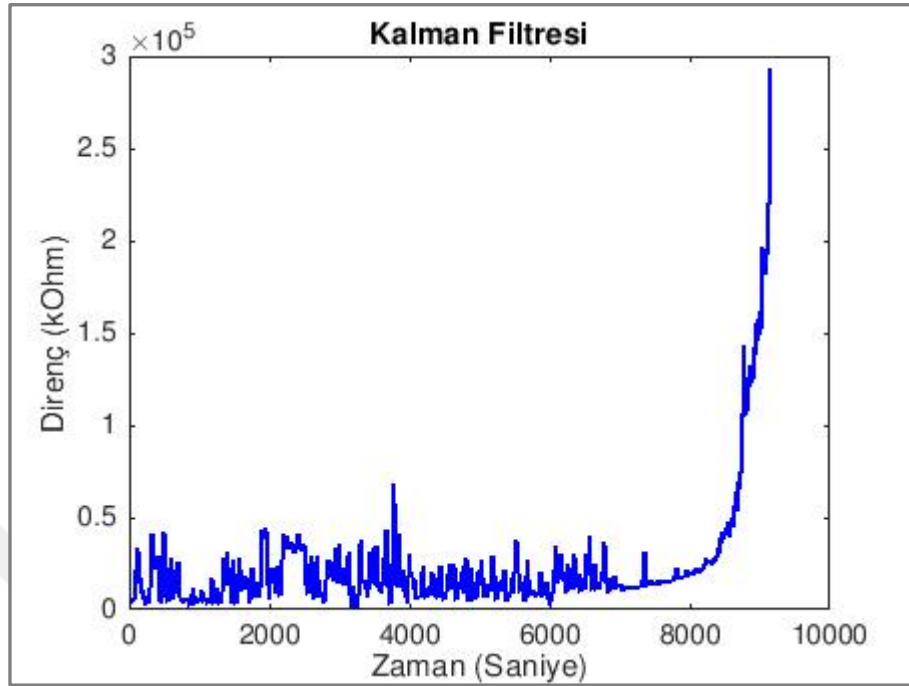
Günlük çamaşırlar içerisinde nem tutma oranı yüksek olan kazaklar bulunduğu için çamaşırların nem oranı artmıştır. Kurutma makinası ekstra kuruluk programında çalıştırılmıştır. Kurutma çevrimi süresince kurutucu makinası mevcut sensör verisi ve yeni geliştirilen ölçüm sistemi verileri toplanmıştır. Ölçüm sistemi verileri ilk filtreden geçirilerek altı adet iletkenlik plakasından alınan verilerden çamaşıra değen anlamlı veri seçilmiştir. İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.11 ile verilmiştir.



Şekil 6.11 İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler

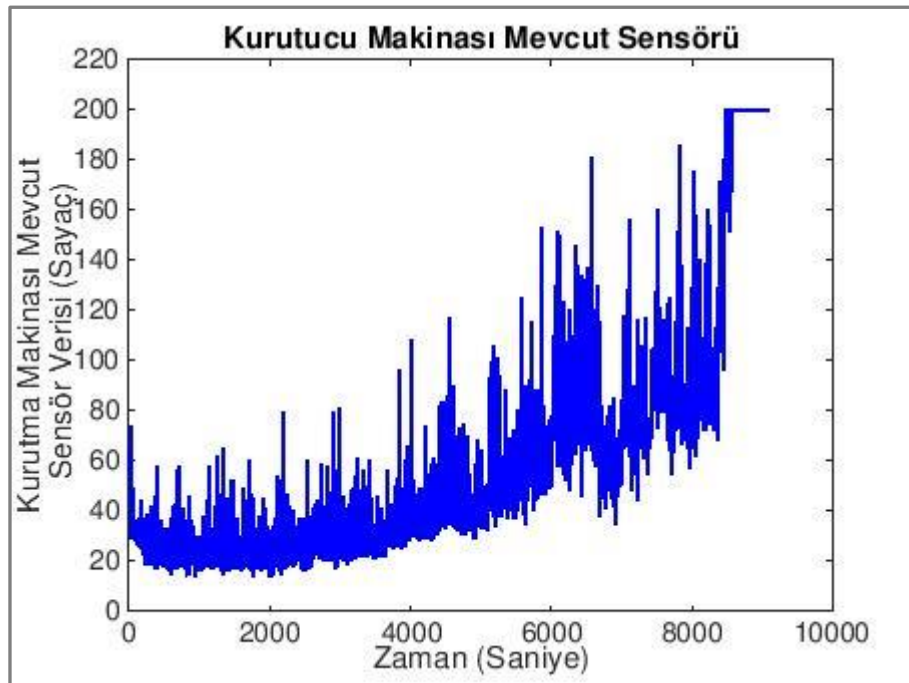
İlk filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra veriler kalman filtresi kullanılarak filtrelenmiştir. Kalman filtresi sonucunda gürültü seviyesi azaltılmış bir veri elde

edilmiştir. Kalman filtresi gerçek veriye daha hızlı yakınsadığı için kullanılmıştır. Kalman filtresi sonucunda elde edilen veri Şekil 6.12 ile verilen grafikteki gibidir.



Şekil 6.12 Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler

Eş zamanlı olarak alınan kurutucu mevcut sensör verisi de Şekil 6.13 ile verilmiştir.



Şekil 6.13 Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi

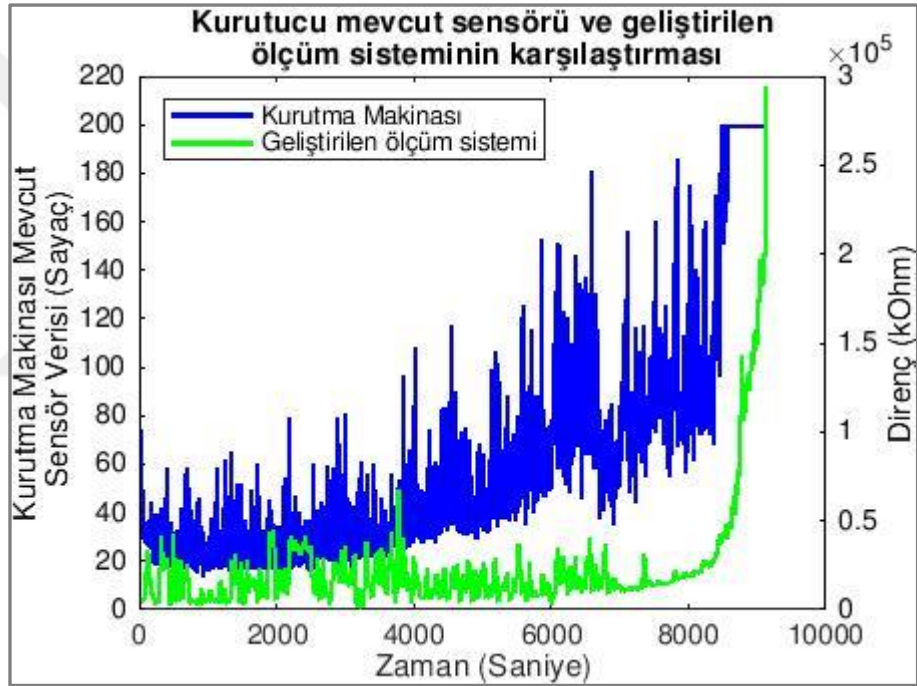
Kurutma çevrimi sonucunda makinadan çıkan çamaşır ağırlığı ölçülmüştür. Kurutma çevrimi sonundaki kuru çamaşır ağırlığı ve çamaşır nem oranı aşağıdaki gibi olmuştur.

Çamaşır ağırlığı = 7962 gr

Çamaşır nem oranı = $(7962-8036)/8036 = \%-1$

Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırların homojen olarak kuruduğu görülmüştür. Ekstra kuru programı için kuruluk sınırı için kabul edilen %-3 kuruluk değerine yakın bir nem değerinde kurutma çevrimi bitmiştir.

Kurutma çevrimi süresince alınan mevcut sensör verisi ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri Şekil 6.14 ile verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.14 Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi

3. Deney sonucunda;

- Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırlar homojen olarak kurumuştur. Kurutma makinası mevcut sensörü ile alınan verilerde kurutma çevrimi sonlarında ölçüm sınırına ulaşılmıştır. Ölçüm sınırına ulaşıldıktan sonra zamanlayıcı ile kurutma çevrimi sonlandırılmıştır.
- Geliştirilen ölçüm yöntemi ile de kurutma çevrimi bu noktalarda sonlandırılacaktır. Şekil 6.12 ile verilen ölçüm sistemi verilerinin, kurutma

çevriminin sonunda eğrinin eğimi artmış ve hızla yükselmeye geçmiştir. 200M ohm seviyesini geçtikten sonra çamaşırların tamamen kuruduğu bilgisine karar verilmiştir.

- Şekil 6.12 ile verilen ölçüm sistemi verilerinde 8200-9500 saniyeleri arasında direnç değerinde bir düşme olmamıştır. Bu veri ile içerideki çamaşırların homojen olarak kurutulduğuna karar verilmiştir.

6.4.4 Deney 4

4. deney için 4 kg günlük çamaşır seti hazırlanmıştır. Günlük çamaşır seti aşağıdaki çamaşır gruplarından oluşmaktadır.

- 2 adet kot pantolon
- 2 adet keten pantolon
- 2 adet sentetik gömlek
- 2 adet pamuklu tişört
- 3 adet viskon atlet
- 2 adet yünlü süveter
- 1 adet pamuklu zıbın
- 1 adet sentetik kazak
- 1 adet keten kazak
- 1 adet viskon kazak
- 1 adet pamuklu kazak
- 1 adet polyester kazak
- 1 adet ipek elbise

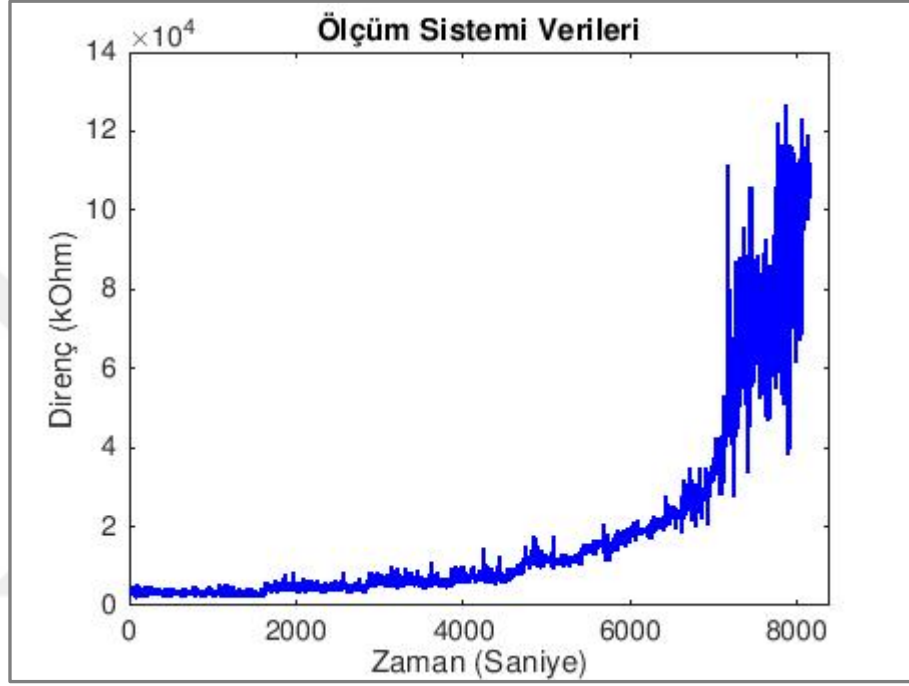
Hazırlanan standart çamaşırların kuru ve ıslak ağırlıkları ölçülmüştür.

Yıkama öncesi kuru ağırlığı = 4062 gr

Yıkama sonrası ıslak ağırlığı = 6627 gr

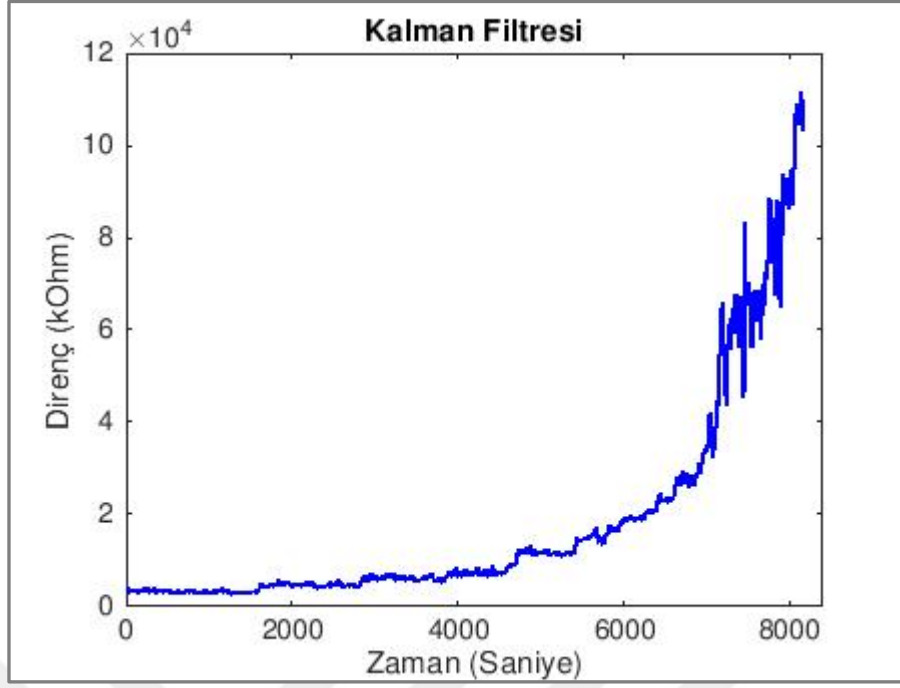
$$\text{Nem oranı} = (6627-4062)/4062 \%63$$

Kurutma makinası ekstra kuruluk programında çalıştırılmıştır. Kurutma süresince kurutucu makinası mevcut sensör verisi ve yeni geliştirilen ölçüm sistemi verileri toplanmıştır. Ölçüm sistemi verileri ilk filtreden geçirilerek altı adet iletkenlik plakasından alınan verilerden çamaşıra değen anlamlı veri seçilmiştir. İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.15 ile verilmiştir.



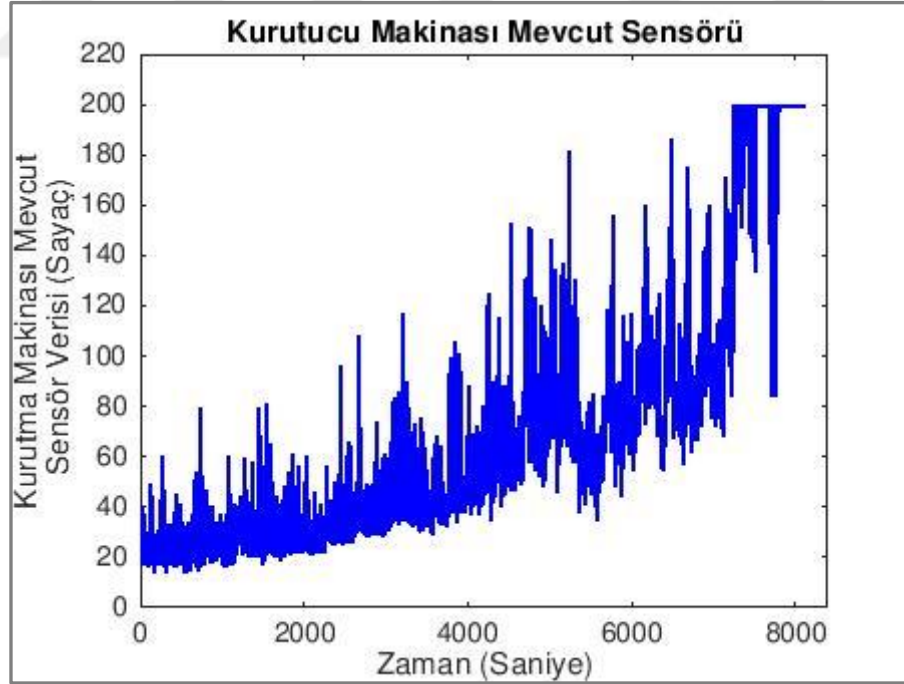
Şekil 6.15 İlk filtreleme işlemi sonucunda elde edilen veriler

6 adet iletkenlik plakasından anlamlı olan veriler elde edildikten sonra gürültüleri azaltmak için Kalman filtresi kullanılmıştır. Kalman filtresi sonucunda gürültü seviyesi azaltılmış bir veri elde edilmiştir. Kalman filtresi gerçek veriye daha hızlı yakınsadığı için kullanılmıştır. Kalman filtresi sonucunda elde edilen veri Şekil 6.16 ile verilen grafikteki gibidir.



Şekil 6.16 Kalman filtresi sonucunda elde edilen filtrelenmiş veriler

Kurutma makinası mevcut sensör verileri de eş zamanlı olarak alınmış ve Şekil 6.16 ile verilmiştir.



Şekil 6.17 Çamaşır kurutma makinası mevcut sensör verisi

Kurutma çevrimi sonucunda makinadan çıkan çamaşır ağırlığı ölçülmüştür. Kurutma çevrimi sonundaki kuru çamaşır ağırlığı ve çamaşır nem oranı aşağıdaki gibi olmuştur.

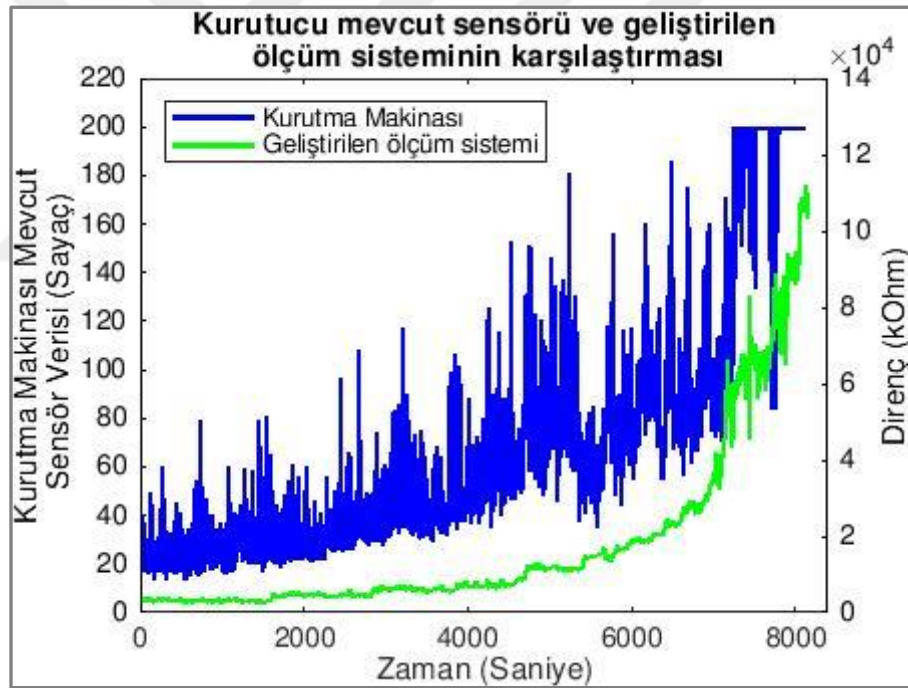
Çamaşır ağırlığı = 4548 gr

Çamaşır nem oranı = $(4548-4062)/4062 = \%12$

Kurutma çevrimi sonucunda çamaşırların nemli olarak çıktığı görülmüştür. Kuruluk sınırı için kabul edilen %5 kuruluk değerinin üzerinde bir nem değerinde kurutma çevrimi bitmiştir. Ekstra kuruluk programının nem değeri olan %-3 nem değerinin ise uzağında kalmıştır.

2. deney sonucunda kurutma makinası az yükte yüklendiğinde homojen kurutma işlemini gerçekleştirememiştir. 4. deney sonucunda az yükte yapılan günlük çamaşır testinde de homojen kurutma sağlanamamıştır.

Kurutma çevrimi süresince alınan mevcut sensör verisi ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.18 ile verilmiştir.



Şekil 6.18 Kurutma makinası mevcut sensör verileri ve geliştirilen ölçüm sisteminin verileri karşılaştırmalı analizi

4. deney sonucunda;

- Kurutma makinası mevcut sensör sistemi ile az yükteki günlük çamaşırları homojen olarak kurutamamıştır. Mevcut sensör verisi ölçüm sınırına ulaşmış ve zamanlayıcı ile kurutma çevrimini sonlandırmıştır.

- Şekil 6.17 ile verilen kurutma makinası verisinde çevrim sonlarında 7500-7600 saniyeleri arasında kurutucu makinası sensör sistemi düşük direnç değerleri okumasına rağmen kurutma çevrimini erken bitirmiştir.
- Şekil 6.16 ile verilen ölçüm sistemi ile alınan verilerde, kurutma makinası ile kurutma çevriminin sonlandırıldığı noktada çamaşır direnç değerinin 110 MΩ seviyelerine yeni ulaştığı görülmektedir. Direnç eğrisinin eğimi artarak devam etmektedir. Bu ölçüm ile çamaşırların nem oranının azaldığı ancak hala kuruluk seviyesine ulaşamadığı belirlenmiştir.

6.5 Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Prototip çalışmaları tamamlandıktan sonra deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için çamaşır kurutma deneyleri planlanmıştır. Standart pamuklu yüklerde ve günlük çamaşır yüklerinde deneyler yapılmış ve makina mevcut sensör verisi ile geliştirilen sensör sisteminin ölçüm performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma çamaşır kurutma performansına göre yapılmıştır.

Deneyler sonucunda ulaşılan bazı sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Tam yükte yapılan deneylerde makine mevcut sensörü ile homojen kurutmaya yakın değerler elde edilmiştir. Ancak bütün çamaşırlardan homojen ölçümler alınmadığı için içeride nemli çamaşırlar kalmıştır. Şekil 6.4 ile verilen ölçüm sistemi verilerinde 10000-11000 saniyeleri arasında direnç değerleri 150 MΩ seviyelerinden 100 MΩ seviyelerine düşüş göstermiştir. Bu makina içerisinde nemli durumda olan çamaşırlar olduğunu göstermektedir. Geliştirilen ölçüm sistemi makina içerisinde serbestçe hareket edebildiği için bu çamaşırlardan veri alabilmiştir.
- Tam yükte yapılan günlük çamaşır testlerinde ise homojen kurutmaya yakın bir değer elde edilmiştir. Şekil 6.12 ile verilen ölçüm sistemi verilerinde 8000. saniyeden sonra direnç ölçüm eğrisi düşüş göstermemiştir. Hızlı bir şekilde homojen kurutma sağlanabilmiştir. Ölçülen direnç değeri hızlıca 300 MΩ seviyelerine ulaşmıştır. 150 MΩ seviyelerinden sonra çamaşırlar kuruma sınırına yaklaşmaktadır.

- Tam yükte yapılan deneylerde standart pamuklu yüklerde makina mevcut sensörü ölçümler için yeterli olmamıştır. Şekil 6.5 ile verilen kurutma makinası mevcut sensör verisinde 11000. Saniyeden sonra ölçüm sınırına ulaşmıştır. Veriye bakıldığında 10500-10700 saniyeleri arasında sayaç değeri 80'e kadar düşmüştür. Bu durum aslında içeride nem seviyesi yüksek olan bir çamaşır olduğunu göstermektedir. Ancak bu noktadan sonra kurutma çevrimi süresince nemli çamaşır sensöre temas etmemiş ve ölçüm alınamamıştır. Bu da homojen kurutmayı engellemiştir.

Bu veriler ile birlikte tam yükte mevcut makina sensörü hem bütün çamaşırları ölçememesi hem de yüksek direnç değerlerinde ölçüm sınırına ulaşması kurutma performansını azaltmış ve çamaşırlar homojen kurumamıştır. Geliştirilen ölçüm sistemi makina içerisinde serbest hareket yapabilmesi ve yüksek direnç ölçümlerini sağlıklı bir şekilde yapabilmesi ile homojen kurutmayı yapabilmektedir.

Yarım yükte yapılan deneylerde ise aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yarım yükte yapılan standart pamuklu ve günlük çamaşır testlerinde kurutma çevrimi sonunda nem seviyeleri yüksek olarak ölçülmüştür. Bu da homojen kurutma yapılamadığı anlamına gelmektedir.
- Deney 2'de standart pamuklu çamaşırlar ile yarım yükte deneyler yapılmıştır. Şekil 6.8 ile gösterilen geliştirilmiş ölçüm sistemi verilerinde direnç seviyeleri en fazla 100 MΩ seviyelerine gelmiştir. Bu direnç değerleri çamaşırların kuruma seviyesinden çok uzakta olduğunu göstermektedir. 11700. saniyeden sonra direnç seviyesinde büyük bir düşüş de olmuştur. Direnç seviyeleri 50 MΩ seviyelerine kadar düşmüştür. Kurutma çevrimi sonucunda çamaşır nem seviyeleri ölçülmüş ve %7.6 olarak bulunmuştur. Bu nem yüzdesi çamaşırların büyük bir kısmını ıslak olduğunu göstermektedir.
- Şekil 6.9 ile verilen kurutma makinası mevcut sensör verilerinde 11200-11500 saniyeleri arasında sayaç değeri 70'e kadar düşmüştür. Bu da makina içerisinde çok nemli çamaşırlar olduğunu göstermektedir. Ancak 11500-11800 saniyeleri arasında makina sensörü herhangi bir ölçüm yapamamış ve kurutma kararı

vermiştir. Bunun sebebi makine içerisindeki yükün az olması ve sensörle temas etmemesidir.

- Deney 4'te ise günlük çamaşır setleri ile yarım yükte deneyler yapılmıştır. Bu deney sonucunda da homojen kurutma sağlanamamıştır. Şekil 6.16 ile verilen ölçüm sistemi verilerinde direnç seviyeleri 110 M Ω seviyelerine ancak ulaşabilmiştir. Bu direnç seviyeleri çamaşırların homojen olarak kuruma sınırına çok uzaktır. 7000-8000 saniyeleri arasında ölçüm sistemi verileri yükselme karakteristiği göstermektedir. Ancak bazı kısımlarda düşüş gözlemlenmektedir.
- Şekil 6.17 ile verilen mevcut makine sensörü verilerinde de 7800-7900 saniyeleri arasında düşük sayaç değerleri okunmuştur. Ancak bu noktadan sonra mevcut sensör okuma yapamamış ve çamaşırlar homojen kurumadan kurutma çevrimini sonlandırmıştır. Kurutma çevrimi sonunda çamaşır nem oranı ölçülmüş ve %12 olarak bulunmuştur. Bu nem oranı kuruma seviyesinden uzakta kalmıştır.
- Şekil 6.18 ile verilen karşılaştırma verilerinde kurutma makinasının ölçüm yapamadığı ve kuruma kararı verdiği noktalarda geliştirilen ölçüm sistemi ile ölçüm alınmaya devam edilmiştir. Kurutma kararı geliştirilen ölçüm yöntemine göre verilse kurutma çevrimi devam edecek ve homojen kurutma sağlanacaktır.

Yarım yükte yapılan deneyler sonucunda standart pamuklu yüklerde ve günlük çamaşır setlerinde homojen kurutma sağlanamamıştır. Az yüklerde mevcut makina sensörü ölçüm yeterliliğinin yanısıra çamaşır miktarının az olmasından dolayı bütün çamaşırlardan veri alamamaktadır. Az yüklerde geliştirilen ölçüm sistemi ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. İki set deneyde de direnç seviyeleri 100-110 M Ω seviyelerinde kalmıştır. Direnç seviyeleri 150 M Ω seviyelerini aşmadığı için kurutmanın devam etmesi gerektiği belirlenmiştir. Kurutma sonunda ölçülen nem seviyeleri de bu durumu desteklemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çamaşır kurutma makinalarında çamaşır nem seviyesinin algılanması için bir ölçüm sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarım öncesinde detaylı literatür taraması ve patent araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda makina içerisinde iletkenlik ölçümü yapabilen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Tekstil ürünlerindeki nem seviyelerini, düşük DC gerilimler ile ölçebilen bir sensör sistemi tasarımı yapılmıştır.

Sensör sistemi tasarımı için öncelikle kurutma makinası mevcut sensör sistemi incelenmiştir. Mevcut sistemde görülen problemler göz önünde bulundurularak bunlara çözüm olabilecek bir sensör sistemi geliştirilmiştir.

Bu tasarım sürecinde öncelikle çamaşır nem seviyesi ölçme metotları incelenmiştir. Literatürde de olduğu gibi çamaşır nem seviyesini ölçmek için en sık kullanılan yöntem iletkenlik ölçümü yapmaktır. Çamaşırlar kurutma çevrimi başlangıcında yüksek nem seviyesine ve yüksek iletkenliğe sahiptir. Yani direnç değerleri düşüktür. Kurutma çevrimi sonlarında ise nem seviyesi azalmakta ve iletkenliği düşmektedir. Böylece çamaşır direnç değerleri çok yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Literatürde bu direnç seviyelerini ölçmek için yüksek gerilim seviyeleri kullanılmaktadır. Bu hem maliyeti arttırmakta ve bu sensör sisteminin mobil olarak kullanılabilmesine engel olmaktadır.

Proje kapsamında düşük DC gerilimler (5V) ile yüksek direnç seviyelerinin ölçülebilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle ölçülmesi gereken direnç seviyeleri belirlenmiştir. Yüksek direnç ölçümleri yapabilen bir laboratuvar ölçüm cihazı ile farklı nem seviyelerindeki farklı çamaşırların direnç seviyeleri ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda ölçülecek olan direnç aralığı 17 k Ω -150 M Ω olarak belirlenmiştir. Özellikle standart pamuklu çamaşırlarda düşük nem seviyelerinde direnç değerleri 150 M Ω seviyesinin üstüne çıkmaktadır.

Direnç aralık değeri belirlendikten sonra sensör sistemi tasarımı yapılmıştır. Düşük DC gerilimlerde batarya ile çalışabilecek bir sensör sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu yüksek direnç seviyelerini DC olarak ölçmek bazı sıkıntılara yol açmıştır. Çamaşırın üzerinden geçirilen akım seviyesi çok düşük seviyelere ulaşmıştır. 5V/200 M Ω =25nA seviyelerinde bir akım işlemcilerle ölçüldüğünde gürültüden çok etkilenen bir sistem haline gelmiştir. Bunu aşabilmek için özel ölçüm devreleri tasarlanmış ve bu seviyelerdeki dirençler ölçülmüştür.

Direnç ölçüm aralığı yüksek olduğu için aynı sensör devresi ile bu ölçümler hassas bir şekilde yapılamamaktadır. Bu yüzden sensör devresi üzerine kalibrasyon devresi eklenmiştir. 7 M Ω seviyelerine kadar düşük direnç ölçümü yapabilen sensör devresi yazılım ile anahtarlanarak kullanılmaktadır. Ölçülen direnç değeri 7M Ω seviyelerine ulaştığında ise yazılım ile yüksek direnç seviyesi ölçümü yapabilen devreye anahtarlanır. Böylelikle düşük DC gerilimler ile yüksek direnç aralıkları aynı sistem ile ölçülebilmektedir.

Tasarlanan ölçüm sistemi üzerine bluetooth modülü de eklenerek, kurutma makinası ile haberleşmesi sağlanmıştır. Ayrıca sıcaklık ve ortam nemlerinin ölçümü için de sensör girişlerine tasarımda yer verilmiştir.

Ölçüm sistemi istenen direnç seviyelerini ölçebilir hale getirildikten sonra mobil bir cihaz haline getirilmiştir. Mobil sensör sistemi için mekanik tasarımlar yapılmıştır. Ölçüm sistemi elektronik kartını koruyan sert iç yapısı ve ses seviyesini azaltacak yumuşak dış yapısı tasarım kriteri olarak belirlenmiş ve buna göre tasarımlar yapılmıştır. Ölçüm sistemi mobil hale getirildikten sonra algoritma çalışmaları yapılmış ve kurutma makinası için özel yazılımlar geliştirilmiştir.

Algoritma çalışmaları olarak ise kurutma makinasına özel yazılımlar geliştirilmiştir. Mobil cihaz tasarımı üzerine altı adet iletkenlik plakası yerleştirilmiştir. Sensör sayısının fazla olmasının sebebi küresel bir yapıya sahip olan cihazın çamaşıra temas etme sayısını arttırmaktır. Yazılımsal çalışmalarda bu verilerden tambura değen veya havayı ölçen sensör değerleri filtrelenmiştir. Sadece çamaşıra temas eden anlamlı veri seçilmiştir.

Çamaşıra hiç temas etmediği durumlarda ise sensör verisini bir önceki değerinden tahmin edebilen bir Kalman Filtresi kullanılmıştır. Böylelikle hem gürültüler engellenmiş hem de doğru değerlere hızlı bir şekilde yakınsanmıştır.

Sistem kurutma makinası için hazırlandıktan sonra deneysel çalışmalara geçilmiştir. Makina ile standart kurutma deneyleri yapılmıştır. Kurutma deneyleri süresince hem makina mevcut sensörünün hem de geliştirilen ölçüm sisteminin verileri eş zamanlı olarak toplanmıştır.

Tasarımı yapılan ölçüm sistemi ile gerçekleştirilen deneylerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ölçüm sistemi yüksek çamaşır dirençlerini ölçebilir hale getirilmiştir. Aynı ölçüm sistemi kullanılarak düşük direnç değerleri ve yüksek direnç değerleri aynı sistem ile ölçülebilmektedir. 0-7 M Ω seviyelerine kadar düşük ölçüm yapabilen devre ile ölçüm yapılmıştır. Bu değerın üzerine çıkıldığında kalibrasyon devresi ile yüksek direnç ölçüm seviyesine geçilmiştir.
- Tam yükte ve yarım yükte yapılan deneyler sonucunda, kurutma makinası mevcut sensörü ile %10 ve altındaki nem değerleri için ölçüm yapılamamaktadır. Geliştirilen ölçüm sistemi ile %10 ve altındaki nem değerleri için ölçüm yapılabilmektedir. Böylece kurutma makinalarındaki homojen kurutma problemine çözüm olarak sunulmuştur.
- Özellikle az yüklerde meydana gelen homojen kurutma problemi, 4 kg pamuklu ve günlük çamaşır testlerinde gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda ölçüm sistemi ile kurutma işleminin bitmediği ve kurutma çevrimini devam ettirme kararı makinaya verilebilmektedir.

Ölçüm sisteminin, kavram kanıtlaması yapıldıktan sonra yeni bir buluş içerdiği için, mekanik tasarımlar ve ölçüm sistemleri için üç adet patent başvurusu yapılmış ve kabul edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda ölçüm sistemi farklı ürünlerin veya malzemelerin nem seviyelerinin algılanması için kullanılabilir. İletkenliği ölçülecek olan ürün veya

malzemenin dirençleri laboratuvar cihazları yardımıyla ölçülerek kalibrasyon devresinin tasarımı değıştirilebilir. Böylece istenen üründe kullanılabilir.

Geliştirilen ölçüm sisteminin kurutma makinası özelindeki çalışmaları için, mekanik tasarımlar iyileştirilebilir, makina içersine atıldığında oluşturduğu ses düzeyi daha düşük seviyelere getirilebilir. Nemli ortamdaki çalışma koşulları için tasarımlar üzerinde çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

-
- [1] TeGrotenhuis, W.E., (2014). Clothes Dryer Automatic Termination Sensor Evaluation, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).
 - [2] TeGrotenhuis, W.E., (2014). Clothes Dryer Automatic Termination Evaluation, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).
 - [3] Casans, S., Iakymchuk, T. ve Rosado-Muñoz, A., (2018). "High Resistance Measurement Circuit for Fiber Materials: Application to Moisture Content Estimation", *Measurement*, 119: 167-174.
 - [4] Gao, S., Bao, Z., Wang, L. ve Yue, X., (2018). "Comparison of Voltammetry and Digital Bridge Methods for Electrical Resistance Measurements in Wood", *Computers and Electronics in Agriculture*, 145: 161-168.
 - [5] Hassine, M.A., Beck, K., Brunetaud, X. ve Al-Mukhtar, M., (2018). "Use of Electrical Resistance Measurement to Assess the Water Saturation Profile in Porous Limestones During Capillary Imbibition", *Construction and Building Materials*, 165: 206-217.
 - [6] Englmeier, M.D.I., (1990). Measuring Unit for Washing Machines - for Accurate Measurement of Moisture and Temp. of Washing and of Chemical Compsn. of Washing Soln., T.E. GmbH, DE4031981.
 - [7] DeSchaaf, C.L. ve Getz, E.H., (1983). Low Voltage Sensor for Dryer, US4385452A.
 - [8] Horwitz, S.A., (1997). Infrared Temperature Sensing for Tumble Drying Control, US5651192A.
 - [9] Chen, Y.-T., Dausch, M.E., Chbat, N.W. ve Badami, V.V., (2000). System and Method for Sensing the Dryness of Clothing Articles, US6141887A.
 - [10] Jeong, H.-D. ve Lee, S.-J., (2005). Apparatus for Sensing Dryness Degree in Exhaust Type Clothes Dryer and Control Method Using Same, US2004060197A.
 - [11] Chiles, H.H. ve White, T.E., (2009). Dryness Sensor for Clothes Dryer, US2006230632.
 - [12] Hubig, S.M., Skaff, S.X., Tindel-Koukal, M.P., Popa, M.A. ve Maziarka, R.D., (2016). Determination of Dryness of Textiles in a Dryer, US2008072448.
 - [13] Stawreberg, L., (2011). Energy Efficiency Improvements of Tumble Dryers:- Technical Development Laundry Habits and Energy Labelling, PhD Thesis, Karlstad University Faculty of Technology and Science, Sweden.

- [14] Yadav, V. ve Moon, C., (2008). "Fabric-Drying Process in Domestic Dryers", *Applied energy*, 85: 143-158.
- [15] Yadav, V. ve Moon, C., (2008). "Modelling and experimentation for the fabric-drying process in domestic dryers", *Applied energy*, 85: 404-419.
- [16] Hartoka, O., (2009). Design of an Efficient Condenser for Tumble Dryers, MSc Thesis, Master of Science in Mechanical Engineering, Yeditepe University, Istanbul.
- [17] Stawreberg, L. ve Nilsson, L., (2010). "Modelling of Specific Moisture Extraction Rate and Leakage Ratio in a Condensing Tumble Dryer", *Applied Thermal Engineering*, 30: 2173-2179.
- [18] Lekov, A., Franco, V. ve Meyers, S., (2014). "Evaluation of Energy Efficiency Standards for Residential Clothes Dryers in the USA", *Energy Efficiency*, 7: 133-149.
- [19] Junior, C., Chen, G. ve Koehler, J., (2012). "Modeling of a New Recuperative Thermoelectric Cycle for a Tumble Dryer", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55: 1536-1543.
- [20] Barut, M., (2005). Sincap Kafesli Asenkron Motorların Algılayıcısız Yüksek Başarımli Kontrolüne Yönelik Genişletilmiş Kalman Filtresi Tasarım ve Uygulaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Güllü, M.K., Yaman, E. ve Ertürk, S., "Bulanık Denetleç Uyumlaması Kullanılan Kalman Filtresi ile Görüntü Stabilizasyonu", *Elektrik-Elektronik Mühendisliği Sempozyumu*, 18-20 Nisan 2002, Denizli.
- [22] Olfati-Saber, R., (2005). "Distributed Kalman Filter with Embedded Consensus Filters", *Proceeding of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*, 2005, Chicago.
- [23] Ferdinando, H., Khoswanto, H. ve Purwanto, D., (2012). "Embedded Kalman filter for inertial measurement unit (IMU) on the ATmega8535", *Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2-4 July 2012, Trabzon .

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sinan KAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.08.1993 , Zonguldak
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sinan67x@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lise	Sayısal Bilimler	İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-Devam Ediyor	Arçelik A.Ş.	AR-GE Mühendisi
2014-2014	DACEL Mühendislik	Proje Stajyeri
2013-2013	Erdemir Demir Çelik A.Ş.	Üretim Stajyeri

YAYINLARI

Bildiri

1. Kaya, S. ve Arslan, M.S., (2018). “Çamaşır nem seviyesinin ölçümü için geliştirilen bir sensör sistemi”, 3. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 4-5 Mayıs 2018, Kocaeli.

Proje

1. TÜBİTAK 2241-A Programı Destekli Yüksek Başarımlı Kalıp İçi Etiketleme Robotu Geliştirilmesi
2. TÜBİTAK 2241-B Sanayiye Yönelik Lisans Bitirme Tezleri Yarışması Finalisti

ÖDÜLLERİ

1. Yıldız Teknik Üniversitesi / Mekatronik Mühendisliği – Onur Öğrencisi (Bölüm 2.liği)