



T.C.

**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANALOG ANAHTARLAMA TABANLI KAPASİTİF BUĞDAY NEM
SENSÖRÜ**

Süleyman HANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2020

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Süleyman HANLI tarafından hazırlanan "*ANALOG ANAHTARLAMA TABANLI KAPASİTİF BUĞDAY NEM SENSÖRÜ*" adlı tez çalışması 19/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN

Danışman

Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ

Üye

Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Savaş Durduran

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Süleyman HANLI

Tarih: 19/08/2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANALOG ANAHTARLAMA TABANLI KAPASİTİF BUĞDAY NEM SENSÖRÜ

Süleyman HANLI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ

2020, 64 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ

Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN

Buğday nem oranını tayin etmek için endüstride farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler; doğrudan (fırın, kimyasal ayrışım, damıtma) ve dolaylı (direnç, mikrodalga, bağıl nem, kapasitans) ölçüm teknikleri olarak sınıflandırılmaktadır. Gerçek zamanlı sistemlere daha uygun olarak, dolaylı nem ölçüm tekniklerinden kapasitans ile nem ölçüm tekniği kullanılmaktadır. Kapasitans ile nem ölçüm tekniği, buğdayın dielektrik sabitini ölçme temeline dayanır. Bu tez çalışması kapsamında kapasitif yöntem olarak da bilinen dielektrik sabiti tayini temeli üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kapasitans ölçmek için farklı metotlar bulunmaktadır. Elektronik ara yüz olarak doldur-boşalt olarak da bilinen kapasitörün dolması ve boşalması sürelerinin takibi ile kapasitörün büyüklüğünün ölçülmesi yöntemi kullanılabilir. Fakat, bu yöntem ile gerçek zamanlı bir sistemde nem ölçümü için yüksek hassasiyet değerlerine ulaşamamaktadır. Tez çalışmasında kullanılan ölçüm metodunda ise buğdayın tane boyutunun da göz önüne alındığı farklı frekanslarda (125kHz-4MHz)

sürülen senkron-demodülasyon temelli kapasitif ölçme yöntemi kullanılmıştır ve süreç kontrol uygulamasına en uygun çözümün prototipi gerçekleştirilmiştir.

Tasarımların doğrulanması amacıyla çeşitli test süreçleri gerçekleştirilmiştir. Test süreçlerinin daha sağlıklı yönetilebilmesi ve düzenli test kayıtlarının alınabilmesi için hem laboratuvar hem de gerçek zamanlı bir un fabrikasındaki akışta kullanılmak için farklı test prosedürleri hazırlanmıştır ve sıkı bir şekilde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamındaki testlerde kalibrasyon için farklı tip nem ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Gerçek zamanlı bir sistemde yapılan testlerde, saatte yaklaşık 15000 kg/h buğday akışına sahip bir un fabrikasında farklı; yöre, mekanik(sertlik) ve kimyasal (nem, protein, ...) özelliklerde buğday nemi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Referans nem değeri için akış sırasında tasarlanan nem sensörünün analiz ettiği aynı buğdaydan farklı sayılarda ve ortamdan izole kaplar ile numuneler alınmıştır. Alınan numune örneklerinin testlerinin bir kısmı fabrika içerisindeki tahribatlı nem ölçüm cihazlarıyla hem de yine fabrika bünyesinde bulunan laboratuvar ortamında tahribatlı ve tahribatsız nem ölçüm cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sensör prototipi ve diğer referans cihazlardan alınan kayıtların karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir ve yorumlanmıştır.

Karşılaştırmalı nem testlerinde, tez çalışmasında gerçekleştirilen sensör prototipinin ± 0.3 aralığında bir sapmayla ölçüm yapabildiği gözlemlenmiştir. Bu sapma değeri, endüstride referans alınan tahribatlı manuel nem ölçme sistemlerinin sapma değerlerine benzerdir. Ancak referans alınan tahribatlı sistemlerde yapılan ölçümlerde, ortam şartlarına fazla duyarlı ve tek seferde nem ölçümü yaptığı buğday miktarında (~ 9 gr.) oldukça düşüktür. Bu etkenler de göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak tez çalışmasında gerçekleştirilen sensör prototipinin, gerçek zamanlı bir sistemde akan buğdayın tahribatsız nem ölçümü sırasında uygun performans sergilediği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analog Anahtar, Buğday, Kapasitif Sensör, Modülasyon, Nem

ABSTRACT

MS/PH.D THESIS

**ANALOG SWITCHING BASED CAPACITIVE WHEAT MOISTURE
SENSOR**

Süleyman HANLI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF
PHILOSOPHY IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ

2020, 64 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ

Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

Asst. Prof. Dr. Hüseyin Oktay ALTUN

Different methods are used in the industry to determine the moisture content of wheat. These methods; are classified as direct (oven, chemical decomposition, distillation) and indirect (resistance, microwave, relative humidity, capacitance) measurement techniques. Capacitance and moisture measurement technique, which is one of the indirect moisture measurement techniques, is used more suitable for real time systems. Capacitance moisture measurement technique is based on measuring the dielectric constant of wheat. Within the scope of this thesis, studies have been carried out on the basis of determination of dielectric constant, also known as capacitive method.

Different methods are used in the industry to determine the wheat moisture rate. These methods are; direct (oven, chemical decomposition, distillation) and indirect (resistance, microwave, relative humidity, capacitance) measurement techniques. More suitable for real time systems, capacitance and humidity measurement technique, which are among the indirect humidity measurement

techniques, are used. Capacitance and moisture measurement technique is based on measuring the dielectric constant of wheat. Within the scope of this thesis, studies have been carried out on the basis of dielectric constant determination, also known as capacitive method.

There are different methods to measure capacitance. The method of measuring the size of the capacitor can be used by following the charging and discharging times of the capacitor, also known as charge-discharge as an electronic interface. However, this method does not achieve high sensitivity values for moisture measurement in a real-time system. In the measurement method used in the thesis, synchronous-demodulation based capacitive measurement method, which is applied at different frequencies (125kHz-4MHz), which also takes into account the grain size of the wheat, was used and the prototype of the most suitable solution for the process control application was realized.

Various test processes were carried out in order to verify the designs. Different test procedures have been prepared and strictly implemented to be used both in the laboratory and in the flow in a real-time flour factory in order to manage the test processes more properly and to obtain regular test records. Different types of moisture measuring devices are used for calibration in the tests in the laboratory environment.

In tests performed in a real-time system, a flour factory with a wheat flow of about 15000 kg / h moisture measurement of wheat from different regions, mechanical and chemical properties were carried out. For the reference humidity value, samples were taken with different numbers and containers isolated from the same wheat analyzed by the moisture sensor designed during the study. Some of the tests of the samples taken were done with destructive moisture measuring devices inside the factory and also with destructive and non-destructive moisture measuring devices in the laboratory environment of the factory. Comparative analysis of the designed sensor prototype and recordings from other reference devices were performed and interpreted.

In comparative humidity tests, it was observed that the sensor prototype performed in the thesis study can measure with a deviation in the range of ± 0.3 . This deviation value is similar to the deviation values of the destructive manual moisture measuring systems referenced in the industry. However, the amount of wheat (~ 9 gr.), which is sensitive to ambient conditions and measures moisture in one time, is also very low in the measurements made in destructive systems. These factors should not be ignored. As a result, the sensor prototype performed in the thesis study has been shown to perform properly during the non-destructive moisture measurement of the wheat flowing in a real-time system.

Keywords: Analog Switch, Capacitive Sensor, Modulation, Moisture, Wheat

ÖNSÖZ

Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmamda; danışmanlığımı üstlenen, tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, teorik bilgi aşamasında ve deneysel çalışmalarda beni yalnız bırakmayan ve her cümlesinde kendisinden yeni bilgiler öğrendiğim, Sayın Hocam Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında Ar-Ge, saha tecrübesi, ikili işbirlikler ve maddi imkanlar konusunda desteklerini esirgemeyen; Endüstriyel Elektrik Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti. ve birimlerine, Ar-Ge Merkezi Müdürü Sayın Fatih Serhat ÇAÇIK'a ve çalışma arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca mekanik tasarım ve entegrasyon konusunda tecrübeleriyle katkı sunan mekanik birimine, bilgisayar ara yüzü konusunda tecrübeleriyle destek olan otomasyon birimine teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında TÜBİTAK TEYDEB 1511 1180157 numaralı projeden destek alınmıştır.

Fabrika ve laboratuvar testleri boyunca, imkanlarının kullanılması konusunda desteklerini esirgemeyen; Alaybeyi Gıda San.ve Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Fatih ALAYBEYİ'ne, fabrika ve laboratuvar personeline teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında ve hayatımın her anında, yardımlarını ve anlayışını esirgemeyerek bana sabırla destek veren ve bu günlere gelmemi borçlu olduğum ve haklarımı hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim sevgili Annem, Babam ve Kardeşlerime teşekkür ederim.

Gayret bizden, Tefvik Allah'tan...

Süleyman HANLI

KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI	1
1.1. Nem Ölçüm Teknikleri	4
1.1.1. Doğrudan Nem Ölçüm Teknikleri	5
1.1.1.1. Fırın (Kurutma)	5
1.1.1.2. Kimyasal Ayrışım	6
1.1.1.3. Damıtma	6
1.1.2. Dolaylı Nem Ölçüm Teknikleri	6
1.1.2.1. Direnç	6
1.1.2.2. Mikrodalga	7
1.1.2.3. Bağlı Nem	7
1.1.2.4. Kapasitans (Dielektrik)	8
1.2. Tezin Önemi	11
1.3. Tezin Amacı	12
1.4. Tezin Yapısı	13
2. TASARIM	14
2.1. Sensör Tasarımı	14
2.1.1. Kapasitans Tanımı ve Hesabı	14
2.1.2. Elektronik Devre Tasarımı ve Simülasyonlar	16
2.1.2.1. Mikrodenetleyici Mimarisi ve Özellikleri	21
2.1.3. Kapasitif Sensör Elektrot Tasarımı	21
2.2. Mekanik Tasarım ve Entegrasyon	24
2.2.1. Gerçek Zamanlı Sisteme Akış Hunisi Tasarımı	25
2.3. Tasarım Doğrulama	25

3. TESTLER	33
3.1. Gerçek Zamanlı Buğday Akışı Nem Ölçümü	34
3.2. Laboratuvar Testleri	36
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
4.1. Tez Amacının Doğrulanması	40
4.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	50



ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Tahıldaki nem içeriğinin ölçülmesinde kullanılan teknikler [1].	5
2.1 Paralel plakalı kapasitörlerde elektrik alan çizgilerinin dağılımı [1]	15
2.2 Senkron kare dalga demodülasyon [66]	17
2.3 Analog anahtarlama tabanlı kapasitans ölçümü blok diyagramı [68]	18
2.4 Analog anahtarlama tabanlı devre tasarımı	18
2.5 40kHz-125kHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı devre simülasyonu	19
2.6 40kHz-125kHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı AC simülasyonu	19
2.7 4MHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı simülasyonu	20
2.8 Sensör prototipi baskı devre kartı blok diyagramı	20
2.9 Sensör prototipi baskı devre kartı tasarımı	21
2.10 Paralel plakalı kapasitör modeli [71, 72]	22
2.11 Tasarlanan paralel plakalı kapasitör	23
2.12 Sensör elektrot - akış hunisi entegrasyonu	24
2.13 Gerçek zamanlı sistem için tasarlanan akış hunisi	25
2.14 Paralel plakalı sensör elektrot tasarımı	26
2.15 Tasarım doğrulama test düzeneği	27
2.16 TK-120 kabin içi tasarım doğrulama	29
2.17 125kHz - 4MHz voltaj(V)/nem(%) grafiği	32
3.1 Nem sensörü prototipi kayıt bilgisayarını ara yüz tasarımı	34
3.2 Nem sensörü prototip tasarım entegrasyonu	35
3.3 Labaratuvar nem(%)/hektolitre(kg/h) ölçüm düzeneği	37

TABLULAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Buğdayın işlenmesinde nem oranlarının etkisi [1]	3
2.1 Rohde & Schwarz HM8118 LCR metre	27
2.2 TK-120 Test Kabini	28
2.3 Pfeuffer HE 50 tahribatlı nem tayin cihazı	28
2.4 TK-120 iklimlendirme kabini nem ölçüm prosedürü	30
2.5 TK-120 iklimlendirme kabini nem/voltaj ölçüm tablosu	31
3.1 Gerçek zamanlı buğday akışı karşılaştırmalı nem ölçüm tablosu	36
3.2 Hektolitrenin nem ölçümüne etkisi karşılaştırma tablosu	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

H₂O : Su

SO₂ : Sülfür Dioksit

°C : Derece-Santigrat

\$: Dolar

Kısaltmalar

RH : Bağlı Nem

RF : Radyo Frekansı

MC : Nem İçeriği

C : Kapasitans (Farad)

A : Akım

V : Voltaj

f : Frekans

L : Faz

M : Mega

k : Kilo

Hz : Hertz

Q : Toplam Yük Miktarı (Coulombs)

ΔV : Potansiyel voltaj farkı (Volt)

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (F/m)

A : Paralel kapasitörlerde plaka alanı (m²)

d : Paralel kapasitörlerde plakalar arası mesafe (m)

TIA : Transempedans Yükselteci

AC : Alternatif Akım

PCB : Baskı Devre Kartı

MCU : Mikrodenetleyici

mm : Milimetre

cm : Santimetre

3D : Üç Boyut

pF : Pikofarad

SNR : Sinyal Gürültü Oranı

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

Nem; hava içerisindeki su buharı miktarı olarak tanımlanabilir. Nem endüstride ve günlük hayatta önemli bir parametredir. Hava içerisindeki su buharı miktarı insanların yaşam konforunu etkilediği gibi endüstrideki üretim süreçlerini de etkilemektedir. Nem miktarı bunların yanında çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri de etkiler. Nem miktarının belirlenmesi, ölçülmesi endüstri içinde kritik bir öneme sahiptir. Bunun sonucu olarak nem duyarlılığı özellikle insan konforu ve endüstriyel uygulamalarda çok önemlidir [1–5].

Nem; depolama, taşıma ve işleme gibi çeşitli tarımsal faaliyetlerde ürünlerin fiziki özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Ülkemizin tahıl ambarı olarak bilinen Konya ve çevresinde buğday öncelikli olarak tahıl üretimi ve buna bağlı endüstri önde gitmektedir. Buğday endüstrisinde buğdayın nem miktarının takibi ve buna göre ürün hazırlanması önemli bir yer tutmaktadır [1]. Buğdayın nem içeriği; en uygun hasat zamanının, depolama süresinin, maddi değerinin belirlenmesinde ve araştırma-geliştirme uygulamaları gibi önemli süreçlerden dolayı bilinmesi gereklidir [3, 6].

Buğdayın kalitesini belirleyen önemli etkenlerden biri de nem içeriğidir [7, 8]. Buğdayın kuru madde oranı içerdiği su ile ters orantılıdır. Bu nedenle buğdayın kalitesinde dikkate alınacak kriterlerin başında nem miktarı gelmektedir. Buğdayın nem miktarı ekonomik bakımdan çok önemlidir. Çünkü nem miktarı arttıkça alım ve satım süreçlerinde buğdayın fiyatı düşer [9].

Pazarlama ve depolama, nemin önemli bir rol oynadığı tahıl yönetiminde önemli süreçlerdendir ve buğdayın son kullanıcıya ulaşmasındaki yolculuğunda başlangıç uygulamalarındandır ve satılan ya da alınan buğdayın ortalama nem içeriği önemlidir [4, 7, 10, 11]. Buğday neminin az ya da çok oluşu üründe kalite ve parasal kayıplara neden olmaktadır. Buğday maliyeti ağırlığı ile belirlendiğinden, örneğin 20000 ton buğday nem ölçümünde yapılacak %1 düzeyinde hatanın, 20000 \$ maliyet getireceği belirtilmiştir [12]. Başka bir örnekte ise, %14 nem içeriğine sahip 25,000 tonluk bir buğday kargosu 3500 ton su ihtiva eder. Bu kargonun nem içeriği %13,5 olan buğday barındırdığını varsayarsak su oranı 3375 ton olur. Kargo ücreti kilo başına 30 kuruş alındığında ortaya çıkan ücret farkı 37500 ol-

maktadır. Hem alıcının hem satıcının üstesinden gelmeleri gereken bu pahalı su miktarıyla ne kadar uğraşmaları gerektiği açıkça ortadadır [14–16]. Buğdayın nem oranının çok düşük olması yani çok kuru olması da istenmemektedir. Düşük nem oranı, buğdayın taşınması ve depolanması sırasında kırılmalara yol açmaktadır. Kırık tane çöp olarak nitelendirildiği için buğday işleme aşamasına geçememektedir. Kırık tanelerde yabancı madde olarak nitelendirildiğinden verim düşmektedir [9, 12].

Hasat, depolama, işleme ve pazarlama aşamasında fiyat ve kalite belirlenirken dikkate alınan önemli parametrelerden biri olan nem, depolama sırasında kalitenin düşmesine ve hatta buğday miktarında kayıplarına neden olabilir [13]. Nem miktarı düşük olan buğdaylar, diğer depolama koşullarında uygun olduğu sürece senelerce bozulmadan kalabilirler. Ancak nem miktarı belirli bir düzeyi geçince kısa süre içinde bozulmaya başlayabilmektedir. Depolamada, tahılın nem içeriği onun ne kadar süre zarar görmeden depolanabileceğini ve zararlı böceklerden güvenli bir şekilde ne kadar süre saklanabileceğini belirlemede en önemli unsurdur [14–16]. Tahılın nem içeriğini tanımlamada kullanılan numunenin, düzgün bir nem dağılımı olduğu kabul edilmektedir [17]. Fakat tahıl depolama silolarından alınan örneklerin nem içeriği tahılın tüm bölgelerinde aynı olmamakla beraber dıştan içe doğru nem içeriği artmaktadır [5]. Bundan dolayı tahıl yığımından farklı noktalardan dıştan içe doğru örneklerin alınması ve bunların ortalaması hesaplanması gerekmektedir.

Buğdaylarda kritik nem oranı olarak %14,5 üst sınır kabul edilmiştir. Bu nem oranının üstünde bozulma hemen başlar ve buğdayın bozulmadan kalabileceği bir maksimum nem oranı vermek zordur. Çünkü depolamada nemin yanında buğdayı etkileyen birçok faktör etkilidir. Bu faktörler de birbiriyle çok sıkı bir ilişki içerisindedir [9]. Depolama ortamları uygun şekilde muhafaza edilmediğinde, modern tahıl depolama yapılarında genellikle önemli iki sorun; küf büyümesi ve böcek hasarı gibi problemlerden dolayı kalite ve ekonomik kayıplar meydana gelebilir. Uygun nem içeriği küf ve böcek istilalarını önlemek için başlıca silahlardan biridir [18]. Yüksek neme sahip buğdayın depolama sırasında çeşitli mikroorganizmaların oluşumuna, çürüme ve çimlenmesi gibi olaylar gerçekleşebilir. Ayrıca hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle daha fazla yer işgal eder. Bunun sonucunda taşıma maliyetlerinde artış ve akıcılıklarının azalmasıyla elevatörlerle iletimlerinde olumsuzluklar görülebilmektedir [19]. Ayrıca yüksek nem içeriğine sahip buğdayların kuru madde miktarı az olup besleyiciliği düşüktür.

“Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği No: 99/1” göre buğdayın işlendikten sonra elde edilen unun nem oranı maksimum %14,5 olması gerekmektedir [20]. Ancak buğdayın akış ve kırılması süreçleri sırasında sürtünme ve sıcaklıktan kaynaklı nem kayıpları meydana gelebilmektedir. Nem oranı çok düşük olan buğdayların tavlama işlemi sırasında istenen nem değerine getirilmesinde de zorluklar vardır. Bu nedenle buğdayın belirli bir nem oranında tutulması ve takibi önemlidir [9]. Bu nedenle, buğdayın işlenmesi sırasında gerçek zamanlı nem oranının tespiti ve kontrolü önemli bir süreç kontrol problemidir.

Tavlama işlemi sırasında en önemli faktörlerden biri buğdayın nem oranıdır. Nem kabuğa sağlamlık, endosperme ise gevreklik kazandırmak için gerekmektedir. Nem oranı az olduğu zaman endosperm sert olur ve zor parçalanır. Bu durumun aksine kabuk kolay parçalanmaktadır ve una karışmaktadır. Fazla nem ise endospermin yumuşamasına neden olmaktadır. Bu durumda kırma valslerinin arasının daraltılması gerekir ki bu daha fazla basınç demektir. Bu durumda kepekten unun ayrılması ve temizlenmesi mümkün olmaz [21]. Verimli ve kaliteli bir işleme süreci için nem oranının yaklaşık %16 civarında olması gerekmektedir. Buğdayın işleme aşamasında ve sonrasında nem oranının yaklaşık %16 seviyesinin çok altında ve üstünde olduğu durumlarda meydana gelen durumlar Tablo 1.1’de karşılaştırmalı şekilde görülmektedir. Bu ve bunun gibi nedenlerden dolayı buğdayın nem kontrolünün buğday işleyen bir endüstride iyi bir şekilde yapılması şarttır.

Tablo 1.1. Buğdayın işlenmesinde nem oranlarının etkisi [1]

NEM \ll %16	NEM==%16	NEM \gg %16
Kırılmalar fazla	İşlemeye uygun	Kimyasal bozulmalar
Ekonomik kayıplar	Ekonomik değeri yüksek	Ekonomik kayıplar
Besin değerleri düşüktür.	Yüksek besin değeri	İşlemeye uygun değildir.
Sürtünme ve statik elektrik	Sistem uzun ömürlü	Akıcılığı az
Kepek oranı yüksek un	Kaliteli un	Balçık kıvamında un

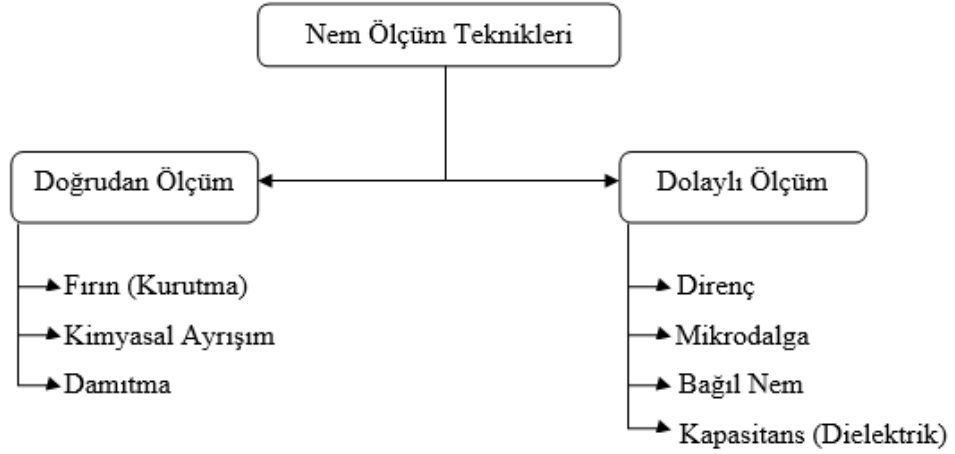
Tahılların nem içeriği, optimum hasat edilme zamanının tespiti, depolama süresinin hesaplanması, maddi değerinin belirlenmesi, en verimli şekilde işlenebilmesi ve araştırma-geliştirme uygulamaları gibi önceki paragraflarda belirtilen önemli sebeplerden dolayı bilinmelidir [3, 6]. Bunun için nemin tespit ve kontrolünde nem sensörleri gerekmektedir. Sensörler, nem oranının ölçülmesinde gerçek zamanlı erişim sağlayan ve böylece tarladan son kullanıcıya kadarki süreçlerde buğday kalitesinin gereksinimlerini karşılamaya olanak sağlar. Tarladan başlayarak buğdayın son kullanıcıya gelinceye kadarki süreçlerde kullanılması zo-

runlu ve gerekli olan cihazlardır [6]. Zorunlu ve gerekli olmasına rağmen şu an piyasada mevcut olan nem sensörleri dönüşüm tabloları, kullanıcıların ölçümleri doğru bir şekilde okumasını sağlayabilecek düzeyde değildir. Ancak buğday süreçlerinde genellikle buğday nem içeriğini belirlemek için kullanılan yeterli doğrulukta sensörler bulunmaktadır. Fakat çoğu işlem sırasında kişilerin nem içeriğini tahmin ve tecrübeye göre hareket ettikleri görülmektedir. Buğday için bu, ısırma, tıkrıdama, his ve gözlem gerektirebilir, ancak resmi olarak her zaman hızlı nem ölçümüne ihtiyaç vardır ve bu nedenle nem sensörleri geliştirilmiştir [8, 22]. Nem sensörlerinin temelinde farklı tip ölçüm teknikleri mevcuttur. Bu tez çalışması sırasında piyasada kullanılmakta olan nem ölçüm teknikleri incelenmiştir.

1.1. Nem Ölçüm Teknikleri

Tahıllardaki nem içeriğini belirleme teknikleri doğrudan ve dolaylı ölçüm teknikleri olmak üzere Şekil 1.1'deki gibi iki kategoriye ayrılabilirler. Doğrudan ölçüm teknikleri tahıldaki suyun uzaklaştırılması ile nem oranını belirlemektedirler [23, 24]. Örneğin fırın (kurutma) tekniği ile nem ölçümünde, tahıldaki su miktarı buharlaştırılarak üzerindeki nem sıfıra düşürülür ve su kaybından dolayı oluşan ağırlıktaki farkın ölçülmesiyle nem içeriği ölçülmüş olur. Ancak bu yöntem zor ve uzun proses şartlarına sahiptir. Dolaylı ölçüm teknikleri ise tahılın iletkenlik ya da kapasitans gibi elektriksel bir özelliğinin ölçülmesi temeline dayanmaktadır. [25–27, 32].

Doğrudan ölçüm teknikleri, nem içeriğinin doğru ölçümlerini sağlamak için göz önünde tutulmalıdırlar. Doğrudan ölçüm teknikleri, dolaylı ölçüm tekniklerini daha hızlı ve daha pratik olarak kalibre etmede kullanılırlar [33].



Şekil 1.1. Tahıldaki nem içeriğinin ölçülmesinde kullanılan teknikler [1].

1.1.1. Doğrudan Nem Ölçüm Teknikleri

Doğrudan nem ölçüm teknikleri tahılı suyundan arındırmayla ilgili fiziksel ve kimyasal işlemleri ele almaktadır. Tahılın belirleyici özellikleriyle ilgilenmemektedir. Tartılan veya ölçülen tahılın nem miktarı mevcut kuru malzeme miktarı veya orijinal malzeme miktarı ile ilgilidir. Böylece, nem içeriği ıslak veya kuru bazda ifade edilebilir. Doğrudan yöntemler, dolaylı yöntemlerden daha doğru olmayabilir, ancak genellikle dolaylı yöntemler için kalibrasyon ve karşılaştırma standartları olarak kabul edilir [33].

1.1.1.1. Fırın (Kurutma)

Tahılların nem içeriğini belirlemek için en çok tanınan nem ölçüm tekniğidir. Fırın (kurutma) tekniğinde iki genel prosedür mevcuttur. Birincisi tahılı öğütürerek 130 °C'de 1-2 saatliğine kurutmaktır. İkincisi tahılları doğrudan 72 ve 96 saatliğine 100 °C'lik fırında kurutmaya bırakmaktır. Tahıllar ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığına getirilmeleri için bir desikatör ya da torbaya transfer edilir. Böylece tahılın içerisinde bulundurmuş olduğu su ısıtılarak nemli tahıldan arındırılıp kuru tahıl elde edilir. Tahılın nem içeriği, kurutulmadan önceki nemli tahılın ağırlığından kurutma sonrasında elde edilen tahılın ağırlığı çıkarılıp yaş tahıl ya da kuru tahıla oranlanmasıyla belirlenir. Standart fırın yöntemi basit ve hassas olup diğer yöntemlerin kalibrasyonunda kullanılması üstünlükleri arasındadır. Ancak

fazla zaman alması, zahmetli olması, son ürünün tekrar kullanılamaması ve ürün neminin izlenmesine olanak vermemesi dezavantajları arasında sayılabilir. Sadece laboratuvarın kullanımını için uygundur ve bu nedenle çevrimiçi nem tespitinin ihtiyaçlarını karşılayamaz. Bu teknik genellikle dolaylı nem ölçüm tekniğiyle kullanılan cihazların kalibrasyonunda kullanılır. [1, 33, 34].

1.1.1.2. Kimyasal Ayrışım

Tahıllardaki suyun kimyasal olarak ayrışımından ibaret olan ve en doğru sonucu veren nem ölçüm tekniğidir. Kısaca, kimyasal ayrışım tekniği sülfür dioksitin SO_2 gözetiminde su (H_2O) ile iyodun reaksiyona girmesine dayalı bir tekniktir. Bu yöntem çok tercih edilmemektedir çünkü çok zaman ve yüksek maliyet gerektiren bir uygulamadır [1].

1.1.1.3. Damıtma

Yöntem, su ile karışmayan organik bir çözücü olan tolüen ile tahıl karıştırılarak kaynatılır. Su buhar şeklinde tahıldan uzaklaştırılır. Su damıtma ile alınıp dereceli bir bölümde toplanması ve miktarının belirlenmesi ile tahılın nem oranı ölçümü gerçekleştirilir [35].

1.1.2. Dolaylı Nem Ölçüm Teknikleri

Malzemenin nem içeriğine bağlı bir özelliğinin ölçülmesini içerir. Nem içeriği dolaylı yöntemler için ıslak bazda ifade edilir. Genellikle dolaylı nem ölçüm tekniklerine bağlı sistemleri kalibre etmede doğrudan nem ölçüm teknikleri araçlarından biri gereklidir [25–27]. Tahıl nem numunesi seviyesi çok yüksek olmadığı sürece, bu tür aletler nispeten tatmin edicidir. Bununla birlikte, %20-25'in üzerindeki nem içeriğinde, mevcut nem ölçer ile ölçümün tutarlılığı ve güvenilirliği bozulmaya başlar.

1.1.2.1. Direnç

Direnç ile nem ölçüm tekniği, elektriksel bir akıma göre tahılın elektriksel direncinin ölçülmesine dayalı bir yöntemdir. Direnç değeri ölçülerek tahıldaki nem içeriği tespit edilir. Ölçülecek olan tahıl, sıkıştırma hücresindeki iki elektrodun arasına yerleştirilir. Doğru ölçüm sonucuna ulaşmak için sıkıştırma hücresindeki tahıl, bilinen ve sabit bir değere kadar sıkıştırılması gerekmektedir. Direnç değeri sıkıştırma oranıyla değişebilmektedir. Bu nedenle sıkıştırma işlemi düzgün yapılmadığı takdirde ölçülen direnç değeri gerçek değerden uzak olacaktır. Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi amacıyla tahılın direnç değeri için sıcaklık düzeltme tablosu kullanılabilir. Sıcaklık değişimi tahılın direnç değerini değiştirdiğinden sıcaklık kompanzasyonu yapmak gerçeğe daha yakın ölçüm değeri verecektir [1].

1.1.2.2. Mikrodalga

Mikrodalga nem ölçüm tekniğinde ise tahıldaki nem içeriğinin gönderilen dalğanın genliğinin değişimini esas alan bir ölçüm tekniğidir. Tahıllardaki nem içeriği değişimi bağıll dielektrik sabitini değiştirdiğinden gönderilen ve ölçülen dalğanın genliğini de değiştirecektir. Mikrodalga tekniği; yüksek doğruluk, hızlı, temassız, hasarsız ölçüm gibi birçok avantaja sahiptir ve tahıl iç neminin ölçümünü kolayca gerçekleştirir. Ancak ölçüm cihazı karmaşıktır ve fiyatı yüksektir. Bu gibi nedenlerden dolayı tahıl hasatından son ürün elde edinilinceye kadar geçen aşamalarda daha az tercih edilmektedir [28–31].

1.1.2.3. Bağıl Nem

Bu tür nem ölçüm teknikleri tahıl taneleri arasındaki hava boşluğunun bağıl nemini ölçmektedir. Ölçülecek olan tahılı çevreleyen havadaki bağıl nem, tahılın içerdiği nem miktarına bağılıdır. Havadaki bağıl nemin ölçümü için farklı türde higrometreler kullanılır. Ayrıca tahılın bulunduğu ortamın sıcaklığına bağı düzeltme faktörü kullanılması gerekmektedir. Yapılacak nem ölçümünün doğruluğu ölçülecek olan tahılın etrafındaki nem dağılımının doğrusallığına bağılıdır. Bu yüzden, sağlıklı nem ölçüm yapılabilmesi için 1 saatten 2 saate kadar olan bir denge zamanına ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Bu teknikte, elek-

tronik sayaçlar kullanılarak veya belki de RF'ye renk yanıtını değiştiren gösterge kağıdı kullanılarak çok ucuz bir şekilde ölçülebilir. Bu yöntem, çeşitli yaygın tohumlar ve ürünler için RF'yi MC'ye dönüştürmek için bir elektronik tablo sağlar. Bu teknik, sektörde herhangi bir kurutmanın gerekli olup olmadığını veya depolama, öğütme veya farklı kullanımlar için uygun olup olmadığını belirlemek için tohum veya emtia nemi içeriğini hızlı bir şekilde tahmin etmek için kullanılabilir [36].

1.1.2.4. Kapasitans (Dielektrik)

En basit haliyle, bir kapasitör, dielektrik adı verilen bir izolatör ile ayrılmış, karşılıklı olarak yüklü iki iletken plakadan oluşur. Test edilecek olan tahıl dielektrik olarak kapasitör plakaları arasına yerleştirilir. Dielektrik tarafından işgal edilen plakalar arasındaki bölge bir elektrik alanı içerir. Şu anda, elektrik kapasitans tipi nem ölçerler, tahılın nem içeriğini belirlemek için en yaygın yöntemdir. Bu cihazlar, zerre şekilli malzemenin statik bir numunesi verildiğinde bir kapasitans değişikliği algılar [37]. Bu değişikliğin, numunenin hem nem içeriği hem de kütle yoğunluğu ile değişen malzemenin dielektrik özelliklerinden kaynaklandığı üzerinde durulmaktadır [38]. Tahılların dielektrik özellikleri, nem içeriğine, hacim ağırlığına, sıcaklığa ve uygulanan frekansa bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Nem içeriği, bünyesinde bulunan suyun toplam kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Tahılın bağıl elektriksel geçirgenliği ya da dielektrik özellikleri, içerisinde bulunan suyun miktarıyla orantılıdır. Örneğin, suyun dielektrik katsayısı 80 iken, kuru buğdayın dielektrik katsayısı 3 civarındadır. Bundan dolayı, tahıl içerisindeki su miktarının dielektrik özelliklerinden yararlanarak belirlenmesi oldukça uygun bir yöntemdir. Ayrıca tahılların dielektriksel özellikleri, hızlı nem algılama sistemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [19].

İletkenlik ve kapasitansın nem ile maksimum değişim gösterdiği gözlenmiştir [39]. Kapasitif nem ölçümleri 45 °C'nin altındaki sıcaklıklar için doğrusal bir ilişkiye sahiptir [40]. Literatürde nem içeriğinin hesaplanmasına yönelik ampirik denklemler 1MHz ile 5MHz arasındaki frekanslarda gerçekleştirilen kapasitif ölçümler için belirlenmektedir. Sonuçlar, bu tür ölçümlerin, % 1'den daha az hassasiyet hataları ile geleneksel fırın yöntemiyle tolere edilebilir olduğunu göstermektedir [41].

Kapasitans ile nem ölçüm tekniği genel olarak direnç ölçüm cihazlarına göre daha

doğru ve daha geniş nem içeriğine sahip olan tahılları ölçebilmektedir. Kapasitif sensörler diğer sensör tiplerine göre; ortam koşullarından daha az etkilenme, kolay uygulanabilirlik, sensör oluşturma basitliği ve maliyet düşüklüğü bakımından üstün konumunu korumaktadır. Uygun sensör tasarımı ve okuma devreleri ile yüksek hassasiyetlere ulaşılabilir [8].

Tez çalışmasında kapasitans (dielektrik) tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğin altyapısında çalışan sensör, nem içeriğinin doğrusal olmadığı ve fiziksel temasın iyi olmadığı durumlarda diğer endirekt cihazlardan daha az hataya sahip olduğu literatürde belirtilmektedir. Bununla birlikte, kapasitif sensörün avantajları göreceli sadeliği, tarım endüstrisinde sıklıkla karşılaşılan zor çalışma koşulları için olası uygunluğu ve düşük maliyetidir [8, 42].

En temel haliyle, bir kapasitör, dielektrik adı verilen bir izolatör ile ayrılmış, karşılıklı olarak yüklü iki iletken plakadan oluşur [37]. Plakaların kapasite değerini ölçmek için farklı yöntemler ve okuma devreleri vardır [43]. Algılama için gerekli okuma devreleri kapasitans varyasyonlarını akıma (A), voltaja (V), faza (Phi), yüke (Q) veya frekansa (f) dönüştürmektedir. Literatürde kapasitans varyasyonlarını elde edilmesinde kullanılan ara yüz tasarımlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları belirtilmektedir [44–49]. Bu tez çalışmasında kapasitans varyasyonlarının ölçümünde ara yüz olarak, modülasyon tekniklerinin kullanıldığı senkron demodülasyon tekniği kullanılmıştır.

Senkron demodülasyon tekniği farklı kapasitif ölçme yöntemlerine entegre edilebilen yüksek sinyal-gürültü oranı (SNR) yakalamak için kullanılan bir modülasyon tekniği olarak dikkat çekmektedir. Bu ölçüm yönteminde sabit plakalar yüksek frekanslı sinyallerle tahrik edildiğinde, meydana gelen modüle edilmiş akımlar elektronik arayüz tarafından okunur ve daha sonra demodüle edilir. Literatürde modülasyon ve demodülasyon işlemi için sinüzoidal ve kare dalga temelli devre teoremleri kullanılmaktadır [50, 51]. Ancak sabit plakaların kare dalga sinyalleri ile sürülmesi, artan gürültüye rağmen devrenin karmaşıklığını en aza indirdiği düşünülmektedir [52]. Yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, modülasyon tekniklerinin kullanıldığı senkron demodülasyon yöntemi ile yüksek kalitede kapasitif ölçüm yapılabileceği ile ilgili literatür yaygındır. Literatürde de belirtildiği gibi, yöntem daha hassas bir ölçüme olanak sağlamaktadır [53–55].

Tez çalışmasında modülasyon tekniklerinin kullanıldığı analog senkron demodülasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu tekniğin temelinde, kapasitans değerini taşımak ve işlemek için modülasyon ve demodülasyon denilen teknikler kullanılır. Modülasyon düşük frekansdaki bilgi sinyalini yüksek frekansdaki bir taşıyıcı sinyale bindirmektir. Demodülasyon ise

elde edilmek istenen bilgi sinyalinin taşıyıcı sinyalden ayrıştırılması işlemidir [56]. Analog senkron demodülasyon kısaca, demodülasyon işleminin analog devre elemanları ile yapılmasıdır. Genel olarak demodülasyon için analog çarpıcılar kullanılabilir [57] gibi analog anahtarlar da kullanılabilir [58]. Analog anahtar ile demodülasyon tekniği, temelde analog çarpıcı ile aynı mantıkta çalışmakta olup demodülasyonda kullanılan sinyal kare dalgadır [59]. Tez çalışmasında analog anahtarlama tabanlı analog senkron demodülasyon temelinde bir nem ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir.

Analog senkron demodülasyonun sadece ucuz ve sağlam değil aynı zamanda etkili bir tekniktir. Ancak demodülasyonun tümünden sayısal dünyada yapıldığı örnekler de mevcuttur. Bu örneklerde demodüle edilmemiş sinyal hızlı bir ADC ile sayısala çevrilip, sayısal sistem (mikrodenetleyici, FPGA, ...) ile demodülasyon ve filtreleme yapılabilmektedir [60, 61]. Yüksek frekanslara (1MHz ve üzeri) doğru ADC zorlanacağı için analog senkron demodülasyon yönteminin daha verimli olduğu düşünülmektedir.

Frekansın nem ölçümüne etkisi üzerine ciddi çalışmalar bulunmakla birlikte literatürde tam anlamıyla kabul görmüş bir sonuç yoktur. Frekans ile karmaşık dielektrik sabiti etkisinin ortaya çıkmaya başladığı ifade edilmiş [62, 63], bu karmaşık dielektrik sabiti de aynı frekansta ölçüm için 2 bilgi sunmaya başlamıştır (reel ve imajinel). Özellikle imajinel kısmın bazı frekanslar için tahıl türü, tahıl sıkışma oranı, tahıl üretim bölgesi çeşitliliği gibi hata faktörlerine az duyarlı ama nemin etkisine fazla duyarlı olabileceği öngörülmüş ve bu frekanslarda ölçümün daha doğru olabileceği düşünülmüştür [64]. Bu etkinin GHz seviyelerinde olması beklenmektedir. GHz seviyelerine çıkılamadığı durumlarda, bazı makalelerin düşük frekans ölçümlerini övdüğü, bazı makalelerin de yüksek frekans ölçümlerini övdüğü anlaşılmıştır. Tez çalışmasında 125kHz ve 4MHz seviyelerinde tasarımların doğrulanması yapılmış ve iki frekans için yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır. Bu iki frekans değeriyle yapılan testlerin sonuçlarına göre gerçek zamanlı bir sisteme uygun olacak şekilde iki frekans değerinden bir tanesi seçilerek çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

Elektronik arayüzün yanında sensör mekaniği de doğru bir nem ölçümünde önemli bir parametredir. Tahıl türü, tahıl sıkışma oranı, tahıl üretim bölgesi çeşitliliği gibi hata faktörlerinin yanısıra tahıl işleme esnasında oluşan statik yükler, tozlar, elektromanyetik parazitler gibi hataların da nem ölçümünde etkili olduğu üretici ve kullanıcı firmalar ile görüşmeler sırasında anlaşılmıştır. Bu hataları minimize etmek için tahılı ölçme noktasına getirirken elektro-mekanik bir sistem ile koşulları sabitlemeye çalışmanın da etkili bir çözüm olduğu

literatürde belirtilmiştir [64, 65]. Bu tez çalışmasında tasarımların doğrulanması ve gerçek zamanlı bir fabrikada buğday akışı sırasında ölçümlerde kullanılmak üzere literatürde belirlenen sorunlara çözüm olabilecek tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Ülkemizin tahıl ambarı olarak bilinen Konya ve çevresinde buğday öncelikli olarak tahıl üretimi ve buna bağlı endüstri önde gitmektedir. Endüstride buğdayın nem miktarının takibi ve buna göre ürün hazırlanması önemli bir yer tutmaktadır. Buğdayın kalitesini, depolama süresini ve işleme aşamalarını etkileyen en önemli faktörlerin başında nem miktarı gelmektedir. Buğdayın nem içeriği; en uygun hasat zamanının, depolama süresinin, maddi değerinin belirlenmesinde ve araştırma-geliştirme uygulamaları gibi önemli uygulamalardan dolayı bilinmelidir.

Nemin tespit ve kontrolünde sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Nem sensörleri, nem seviyelerinin ölçülmesine gerçek zamanlı erişim sağlayan ve böylece tarladan son kullanıcıya kadarki süreçlerde buğday kalitesinin gereksinimlerini karşılamaya olanak sağlar. Tarladan başlayarak buğdayın son kullanıcıya gelinceye kadarki süreçlerde kullanılması zorunlu ve gerekli olan cihazlardır.

Son yıllarda ki nüfusun artışı, gıda ve tarım endüstrisinde meydana gelen hızlı büyüme ile birlikte buğday süreçlerindeki ihtiyaç ve buna bağlı kapasiteler artmıştır. Bu nedenle buğday süreçlerinde nem kontrol ve takibinin anlık olarak yapılması zor ve önemli bir hale gelmiştir.

Yapılan çalışmalar ile buğday süreçlerinde nem oranının kontrol ve takibini güvenilir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede nem oranından kaynaklanan ekonomik kayıpların minimize edilebilecektir.

Ortam koşullarından daha az etkilenme, kolay uygulanabilirlik, sensör oluşturma basitliği ve maliyet düşüklüğü vb. avantajlara sahip olan kapasitans(dielektrik) ile nem ölçüm tekniği üzerine odaklanılması düşünülmüştür. Ayrıca mekanik etmenlerin, elektronik arayüz kadar önemli olduğu düşünülmüştür.

Endüstride, ihtiyacı karşılamak için ithal edilen gerçek zamanlı nem ölçüm sistemleri mevcuttur. Ancak bu sistemler maliyetli ve doğru nem ölçümü konusunda yeterli düzeyde değildir. Örneğin bir un fabrikasında kullanılmakta olan "Arnold" marka ithal nem ölçüm

sistemi yaklaşık olarak 1000 \$ gibi bir maliyete sahiptir. Bir diğer örnekte ise, "PCE-A-315-WD" marka ithal nem ölçüm sistemi maliyeti yaklaşık 4000 \$ civarındadır. Farklı süreçlerde kullanılmakta olan bu sistemlerin doğruluğu konusunda tahıl endüstrisinde farklı görüşler mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, nem ölçme sisteminin gerçekleştirilmesi sırasında yapılan çalışmalar ve edinilen tecrübeler, bahsedilen süreç kontrol problemlerine yerli ve milli çözüm olabilecektir.

1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasıyla tarım endüstrisinde, gerçek zamanlı buğday nem ölçüm sensörünün yapılması amaçlanmıştır. Endüstriyel Elektrik Elektronik Sanayi ve Limited Şirketi, bu tezin çıktısıyla ilgilendiğini belirttiği için firmanın Ar-Ge imkanlarından destek alınmıştır. Bu süre zarfında elde edilecek bilgi birikimi ve tecrübelerin yapılacak araştırma ve geliştirme çalışmalarında uygulanması amaçlanmıştır.

Sensör prototipinin ürün haline gelmeden önce literatürde bahsedilen ve endüstriyel ortam şartlarından kaynaklı sorunların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Belirtilen zorluklar için tasarımlar gerçekleştirilip uygulanması amaçlanmaktadır. Sensör prototipinin gerçek zamanlı bir un fabrikasına entegre edilerek, endüstriyel ortam şartlarındaki durumu incelenecektir.

Buğday endüstrisinde Pfeuffer He 50 kabul görmüş tahribatlı mobil nem tayin cihazıdır. Ancak her nem ölçümü için tek seferde yaklaşık 9 gram buğday numunesi analiz edebilmektedir. Bu nedenle tonlarca buğdayın akış halindeki nem ölçümü mümkün olmamaktadır ve sağlıklı bir nem değeri elde edilememektedir. Pfeuffer He 50'nin laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen testlerinde yaklaşık $\pm 0,3-0,5$ aralığında sapmalar meydana gelebilmektedir. Ancak gerçek zamanlı üretim yapan bir tesiste laboratuvar ortamında testler her zaman mümkün olmamakta veya çok az test yapılabilir. Bu nedenle nem ölçüm sonucunu etkileyen bir çok etken (Operatörün test prosedürüne bağlı kalmaması, cihazın ortam şartlarından etkilenmesi, ...) mevcuttur. Bu etkenler hata oranını yaklaşık olarak $\pm 0,6-0,8$ seviyelerine kadar çıkarabilmektedir. Pfeuffer He 50 ile gerçekleştirilen nem ölçümünde operatörün iş gücünün verimli bir şekilde kullanılmaması gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca ithal tahribatsız nem sensörleri daha önceki başlıklar altında belirtildiği

gibi hem pahalı hem de performans açısından sağlıklı bir nem ölçümüne olanak vermemektedir. Bu tez çalışmasıyla hem performans olarak Pfeuffer He 50 tahribatlı nem tayin cihazlarının laboratuvar ortamında ki performansını ($\pm 0,3-0,5$) yakalayabilecek hem de prototip maliyeti 1000 \$'ın altında kalabilecektir.

1.4. Tezin Yapısı

Birinci bölümde genel olarak buğdayın tarladan son ürün haline gelinceye kadarki süreçlerde nem oranının önemi ve etkisi, nem oranının belirlenmesinde kullanılan doğrudan ve dolaylı ölçüm tekniklerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde; elektronik arayüz tasarımı ve simülasyonlar, mekanik tasarımlar, tasarımların doğrulanmasında yapılan çalışmalar bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde; nem ölçümü, test aşamaları, testlerde kullanılan cihazlardan ve test kayıtlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde test sonuçları yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. TASARIM

Bu bölümde nem sensörü prototipinin gerçekleştirilmesi sırasında yapılan elektronik ve mekanik tasarımlardan bahsedilmiştir. Elektronik ve mekanik tasarım ayrı başlıklar altında incelense de doğru bir nem ölçümü için bir bütün halinde düşünülmesi gerekmektedir.

2.1. Sensör Tasarımı

Sensör tasarımı iki kısımda incelenmektedir. Birinci kısımda elektronik devre tasarımı ve simülasyonlar, ikinci kısımda ise sensör elektrot tasarımı şeklindedir. Sensör tasarımında kapasitans tabanlı bir nem ölçüm yöntemi kullanılmıştır.

2.1.1. Kapasitans Tanımı ve Hesabı

Kapasitans elektrik yükü depolayabilme kabiliyetidir. İletken levhalar negatif ve pozitif olarak yüklendikleri için sistemde elektrik potansiyel depolanmış olur. Kapasitans değeri, iletken levhaların geometrisine bağlıdır. Bu tez çalışmasında sensör elektrotu için paralel plakalı bir kapasitör modeli kullanılmıştır. Yüzeyleri A ve aralarındaki uzaklık d olan iki metal plaka Şekil 2.1'deki gibi yerleştirilmişlerdir. Plakalardan biri $+Q$, diğeri ise $-Q$ yükü taşımaktadır. Kapasitör, bir batarya ile doldurulduğunda elektronlar bir levhada toplanırken diğeri levhada boşluklar oluşacaktır. Plakaların yeteri kadar büyük ve yüklerin düzgün bir şekilde levha yüzeyine dağıldığı kabul edilir. Plakaların alanı artırılırsa yük miktarı da artacaktır. Yani kapasitans, plaka yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Levhalar birbirine yaklaştırıldığında d mesafesi azalacağından levhalar arasındaki elektrik alan artacaktır. Yani kapasitans değeri levhalar arası uzaklık olan d ile ters orantılıdır. Paralel plakalı levhaların kapasitans hesabı Denklem 2.1 kullanılarak hesaplanır [1].

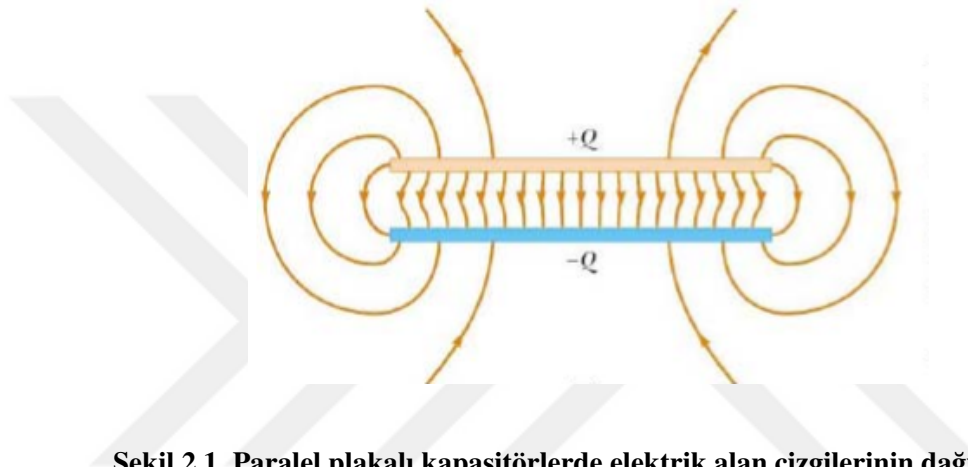
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.1)$$

C= Kapasitans

ϵ_0 = Dielektrik (Yalıtkanlık) Sabiti

A= Plaka yüzey alanı

d= Plakalar arası mesafe



Şekil 2.1. Paralel plakalı kapasitörlerde elektrik alan çizgilerinin dağılımı [1]

Kondansatörler yapısal olarak iki iletken levha arasına konulmuş bir yalıtkindan oluşur. İletken levhalar arasında bulunan maddeye elektriği geçirmeyen anlamında dielektrik adı verilir. Denklem 2.1’de görüldüğü üzere ϵ_0 ’ın (plakalar arasında bulunan yalıtkan malzeme) kapasitans değeri üzerinde doğrusal bir etkisi vardır. Dielektrik kapasitörler, elektriği iletmeyen malzemeler için kullanılmaktadır. Örneğin plastik, cam, mika, polyester, metal kağıt, seramik, tantal vs maddeler kullanılabilir. Bir kapasitörün levhaları arasına dielektrik malzeme konursa kapasitörün değeri artmaktadır ve bu artışa dielektrik sabiti denir. Dielektrik sabiti malzemedan malzemeye değişir, yani malzemelerin fiziksel olarak ayırt edici bir özelliğidir. Bu tez çalışmasında nem ölçümü için buğdayın ayırt edici özelliği olan dielektrik sabitlerinden faydalanılmıştır. Örneğin, suyun dielektrik katsayısı 80 iken, kuru buğdayın dielektrik katsayısı 3 civarındadır. Bundan dolayı, buğday içerisindeki su miktarının dielektrik özelliklerinden yararlanarak belirlenmesi oldukça uygun bir yöntemdir. Ayrıca buğdayın dielektriksel özellikleri, hızlı nem algılama sistemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Buğdayın nem içeriği ile yoğunluk da değişmektedir

fakat bu yoğunluk değişimi nem içeriği ile doğrusal değildir, sürekli farklılık gösterir. Fakat dielektrik özelliği nem içeriği ile doğrusal değişir ve buğday için ayırt edici bir özelliktir.

Bu tez çalışmasında sensör olarak kullanılan paralel plakaların kapasitelerini ölçmek için analog anahtarlama ve modüslasyon tekniklerinin kulladığıldı bir elektronik arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kapasitif sensörlerde bilgiyi (kapasitans değeri) taşımak ve işlemek için modüslasyon ve demodüslasyon denilen teknikler kullanılır. Modüslasyon düşük frekansdaki bilgi sinyalini yüksek frekansdaki bir taşıyıcı sinyale bindirmektir. Demodüslasyon ise elde edilmek istenen bilgi sinyalinin taşıyıcı sinyalden ayrıştırılması işlemidir [56].

Kare dalga sinyali kullanılarak gerçekleştirilen senkron demodüslasyon işlemi senkron anahtarlama üzerine inşa edilen bir yöntemdir. Örneğin demodüslasyona uğrayacak olan sinyal Denklem 2.2'deki gibi olursa:

$$x(t) = V_s \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

Referans sinyal birim genlikte ve $x(t)$ ile aynı frekansta olup faz farkları sıfırdır. Denklem 2.3'de Fourier serisi şeklinde ifade edilmiştir.

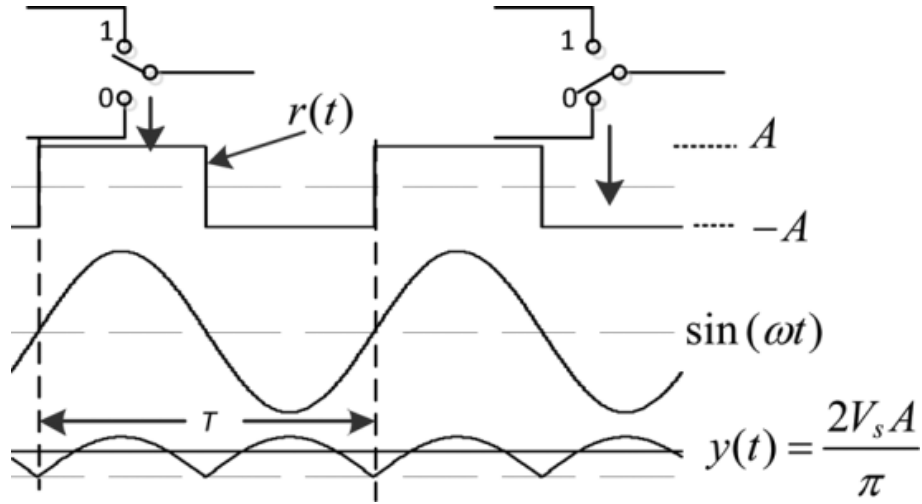
$$r(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin[(2n-1)\omega t] \quad (2.3)$$

$x(t)$ ve $r(t)$ nin çarpım sonucu ise Denklem 2.4'deki gibidir.

$$p(t) = x(t).r(t) = \frac{2V_s}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \cos[2(n-1)\omega t] - \cos(2n\omega t) \quad (2.4)$$

Eğer elde edilen sinyal uygun kesim frekansında bir LPF ile filtrelenirse yüksek frekans bileşenleri temizlenir ve sadece $n = 1$ den gelen dc komponent kalır ve demodüle edilmiş sinyal Denklem 2.5'deki gibi elde edilir [66].

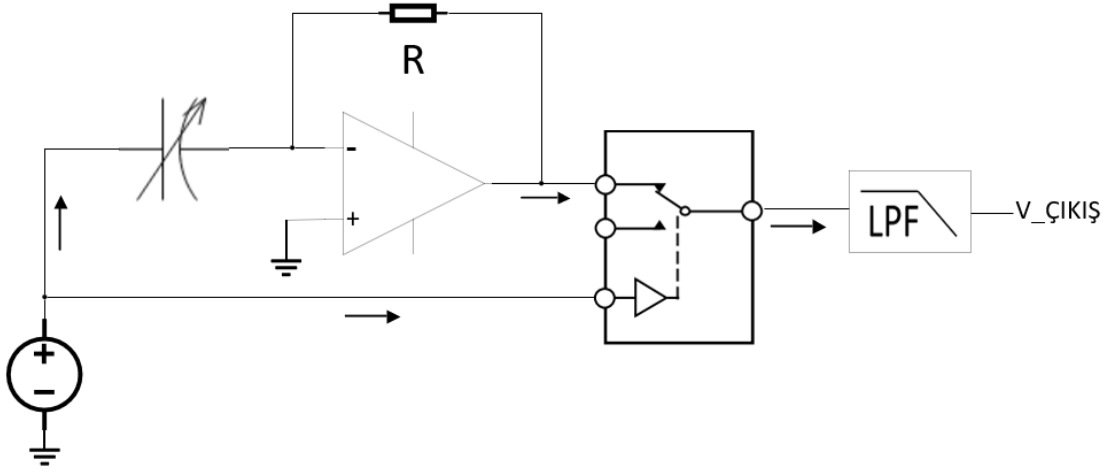
$$y(t) = \frac{2V_s A}{\pi} \quad (2.5)$$



Şekil 2.2. Senkron kare dalga demodülasyon [66]

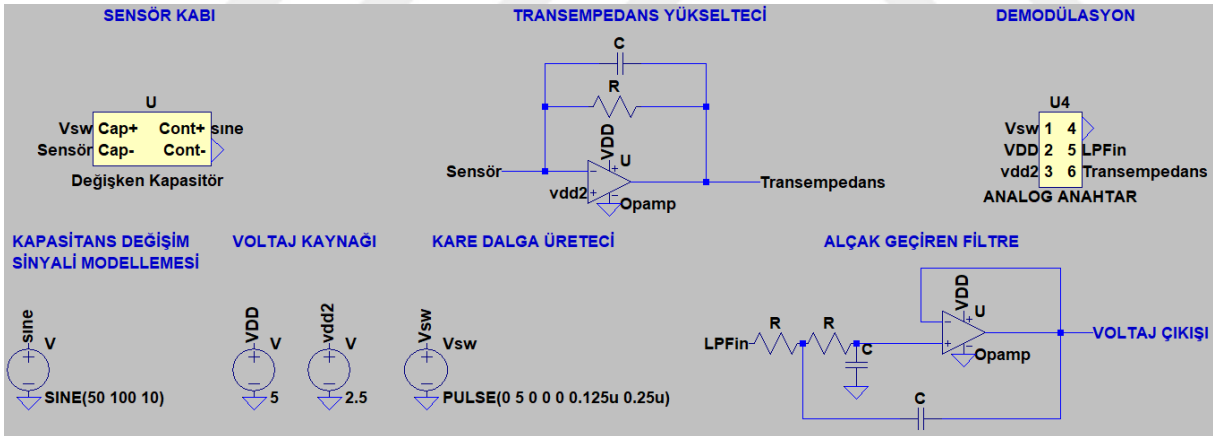
2.1.2. Elektronik Devre Tasarımı ve Simülasyonlar

Kapasitif nem sensörünün tasarımında analog elektronik tabanlı senkron demodülasyon yöntemi kullanılmıştır. Senkron demodülasyon yöntemine ait basitleştirilmiş blok diyagram Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Tez çalışmasında senkron demodülasyon yöntemi için taşıyıcı sinyal olarak kare dalga uyarım sinyali kullanılmıştır. Kapasitans ölçümü için kapasitörün bir ucu taşıyıcı sinyale, diğer ucu ise transempedans yükselteci (TIA) bağlanır. Transempedans yükselteçler akım çıkışı veren veya kolayca akıma çevrilebilen sensörlerin çıkışlarında kullanılır. TIA'nın amacı akımı gerilime çevirmektir [67]. Geri besleme kolundaki direnç gerilime dönüşerek bu akım taşıyıcı sinyal frekansında modülasyon işlemine uğramıştır. Demodülasyon işlemi için analog anahtarda, modülasyona uğramış sinyalin taşıyıcı sinyalle çarpılması ve alçak geçiren filtreden geçtikten sonra kapasitörün anlık gerilimiyle orantılı bir gerilim elde edilmiştir [68].



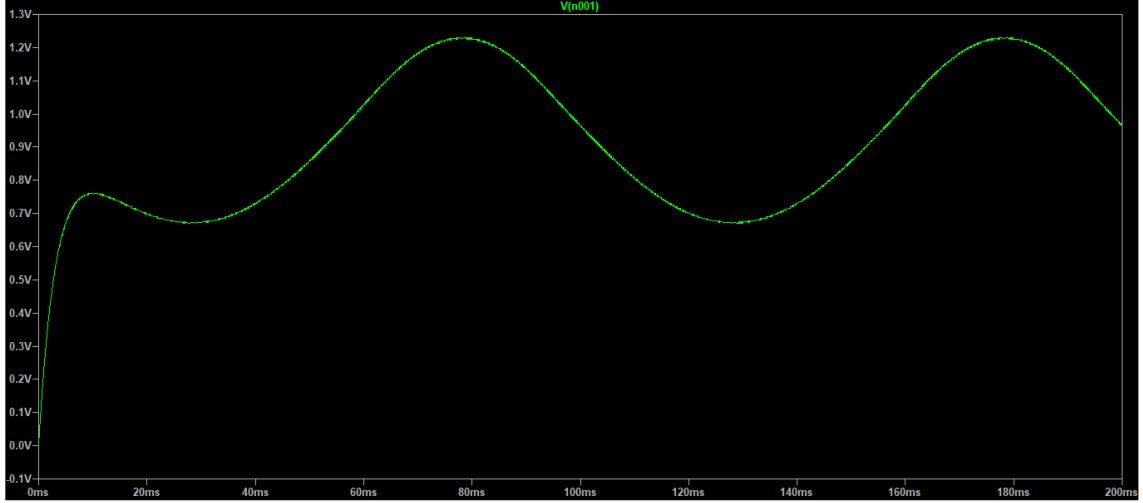
Şekil 2.3. Analog anahtarlama tabanlı kapasitans ölçümü blok diyagramı [68]

Elektronik devre tasarımı ve simülasyon çalışmaları için LTSpice programı kullanılmıştır. LTSpice programında 40kHz-125kHz seviyelerinde kare dalga uyarıtımı ile gerçekleştirilen senkron demodülasyon için analog anahtarlı bir devre şeması ve simülasyon sonucu Şekil 2.4 ve 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.4. Analog anahtarlama tabanlı devre tasarımı

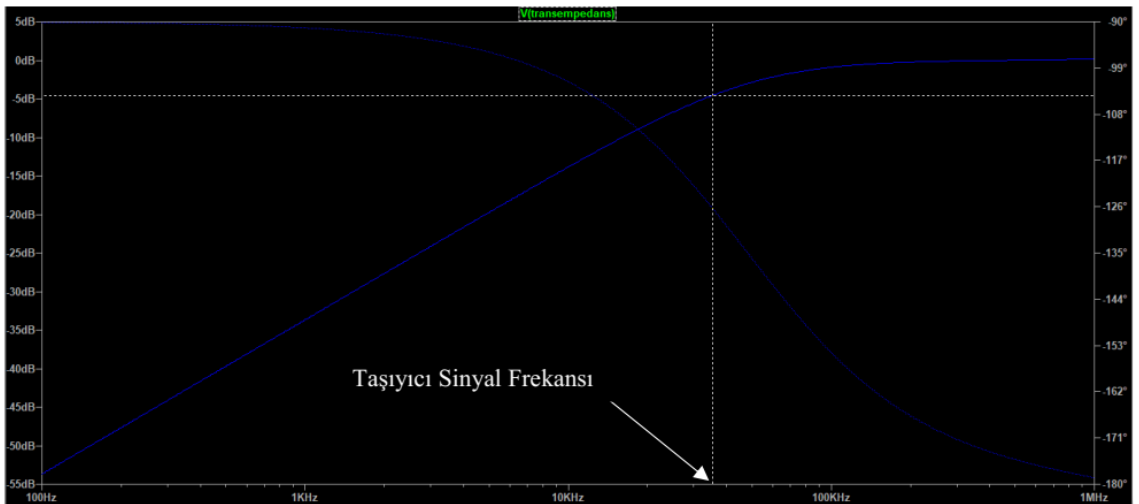
Sensör kabının simüle edilebilmesi için değişken bir kapasitans modeli Şekil 2.4’de ki gibi oluşturulmuştur. Bu kapasitans modeli paralel plakalı sensör kabını (elektrot) temsil etmektedir.



Şekil 2.5. 40kHz-125kHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı devre simülasyonu

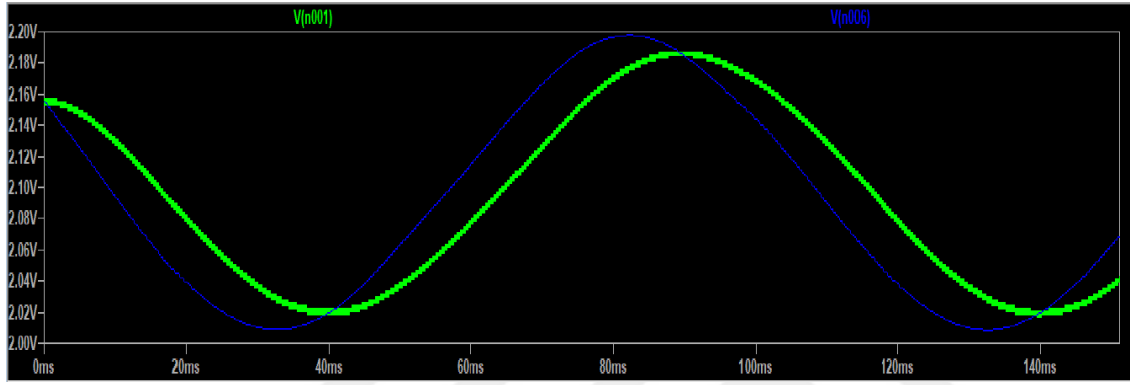
Değişken kapasitans sinüsoidal olarak modelde değiştirilmiş ve filtre çıkışında kapasitans değişimi başarılı bir şekilde Şekil 2.5’de ki gibi elde edilmiştir.

Analog ön-yüzde kare dalga ile sürmenin getireceği harmoniklerin bastırılması için direnç ve paralel kapasitans seçimi önem arz etmektedir. Şekil 2.6’te LTSpice programında AC (alternatif akım) analiz seçeneği ile bu değerlerin düzgün seçilmesi sağlanmış ve harmoniklerin OPAMP’ın kendi kutupları ile bastırılacağı bölgesinde kalmasına özen gösterilmiştir.



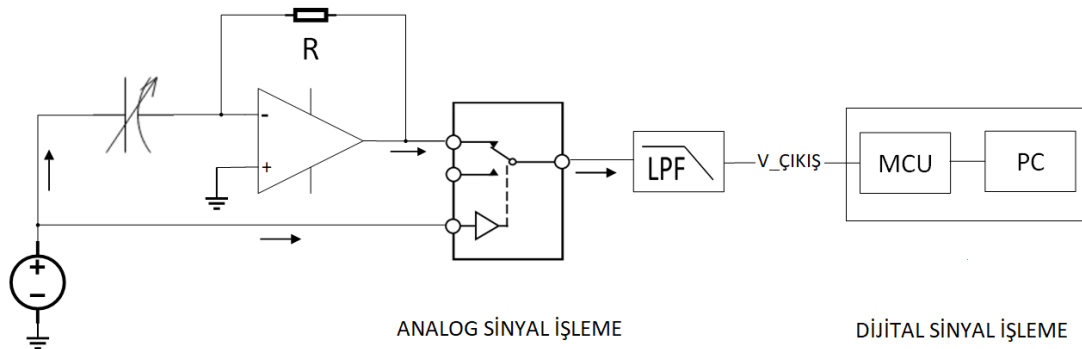
Şekil 2.6. 40kHz-125kHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı AC simülasyonu

4MHz taşıyıcı sinyal frekansında bir kare dalga için Şekil 2.4'ye benzer devre ile yapılan simülasyon sonuçları Şekil 2.7'da görülmektedir. Yine başarılı bir şekilde kapasitans değişimi çıkarılabilmektedir. 4MHz taşıyıcı sinyal ile gerçekleştirilen simülasyonda, analog devre çıkışında iki farklı alçak geçiren filtre tasarımı kullanılmıştır. Şekil 2.7'de mavi renkli sinüs 20Hz kesim frekansına sahip sellen key filtre, yeşil renkli sinüs ise basit RC filtre çıkışını göstermektedir. Sallen key filtenin RC filtreye göre daha etkili olduğu simülasyon çıktısında görülmektedir.

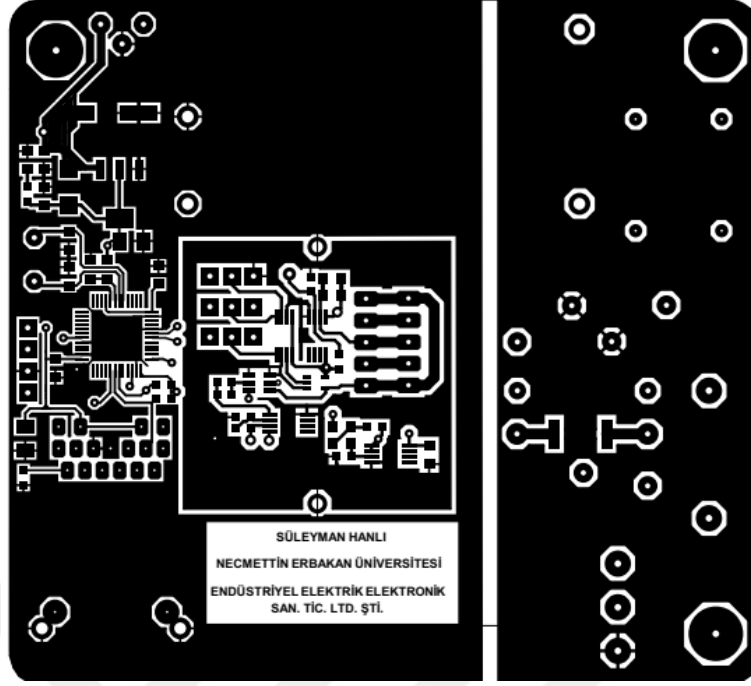


Şekil 2.7. 4MHz seviyesinde analog anahtarlama tabanlı simülasyonu

Analog anahtarlama tabanlı senkron demodülasyon devre tasarımının simülasyon ortamında doğrulanmasının ardından baskı devre kartı (PCB) tasarımı gerçekleştirilmiştir. PCB tasarımı Şekil 2.9'de ki gibi gerçekleşmiştir. PCB çalışmasında, analog anahtarlama tabanlı devre tasarımının yanında besleme ve MCU devre tasarımları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.8. Sensör prototipi baskı devre kartı blok diyagramı



Şekil 2.9. Sensör prototipi baskı devre kartı tasarımı

Şekil 2.8’de ki blok diyagramda analog anahtarlama tabanlı senkron demodülasyon işleminin sonucunda elde edilen analog sinyalin dijital sinyale dönüştürülmesi işleminde STM32F103 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

2.1.2.1. Mikrodenetleyici Mimarisi ve Özellikleri

Analog anahtarlama tabanlı kapasitif buğday nem sensörü prototipinin geliştirilmesinde, ST firmasının geliştirmiş olduğu ARM® 32-bit Cortex®-M3 tabanlı 72MHz işlem kapasitesine sahip STM32F103 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Geniş kullanım alanlarına sahip olması, detaylı dokümantasyon desteği ve endüstriyel uygulamalarda karşılığı olan bir mikrodenetleyici serisi olduğu için tercih edilmiştir.

2.1.3. Kapasitif Sensör Elektrot Tasarımı

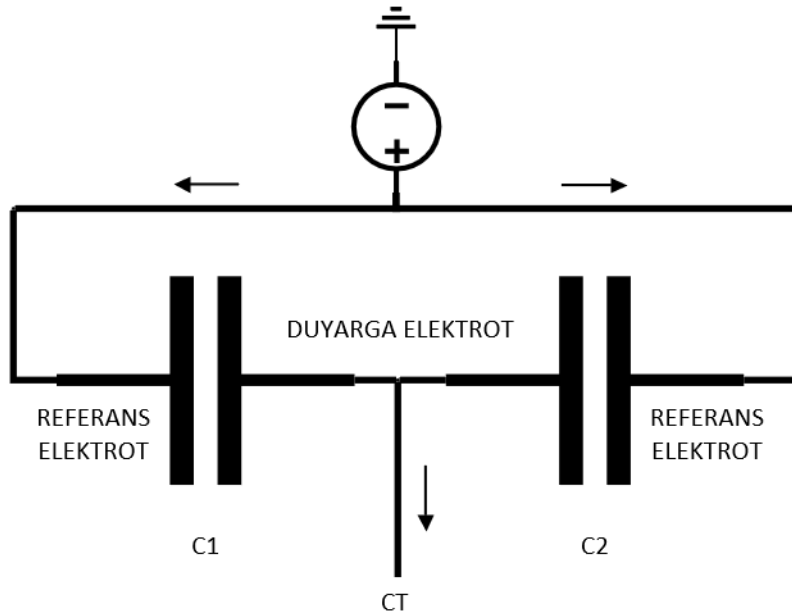
Bu tez çalışmasında paralel plakalı kapasitör modeli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Literatürde farklı tipte paralel plakalı elektrot tasarımları mevcuttur. Tez çalışmasında lite-

ratürde belirtilen tasarımların sahip olduğu üstünlükleri ve zayıf yönleri dikkate alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.[1, 19].

Kapasitör, elektrotların kutuplanarak elektriksel yükü elektrik alanı içerisinde depolayabilme özelliklerine sahiptir ve bir yalıtkan malzemenin iki metal tabaka arasında yerleştirilmesi ile oluşturulan temel elektronik elemandır [69]. Bu temel çalışma prensibinden yola çıkarak paralel plakalı elektrot tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Buğday nem analizinin gerçekleştirileceği paralel plakalı elektrot tasarımında, iki paralel plaka arasında oluşan kapasitans değerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Tasarımda kapasitans değerini arttıracak seçenekler değerlendirilmiştir. Paralel plakalı levhaların kapasitans hesabında, Denklem 2.1’de belirtilen A değerini arttırmak, kapasitans değerini artıracak bir unsur gibi görünmektedir. Ancak kapasitif sensörün ölçülerini büyüttüğü için literatürde tercih edilen bir yöntem değildir. Bunun yerine paralel plakalar arası mesafe değeri olan d ’yi azaltmak daha çok tercih edilen bir yöntemdir [68, 70].

Literatürde birçok kapasitör modeli mevcuttur. Tez çalışmasında, klasik kapasitör modeli yerine süper kapasitör modeline benzer bir model kullanılmasının kapasitans değerini arttıracığı ve kapasitans değerinin artışıyla birlikte sensör çözünürlüğünün artacağıyla ilgili literatürde çalışma mevcuttur [70]. Süper kapasitör modeli dikkate alınarak gerçekleştirilen paralel plakalı kapasitör modeli tasarımı Şekil 2.10’deki gibidir [71, 72].

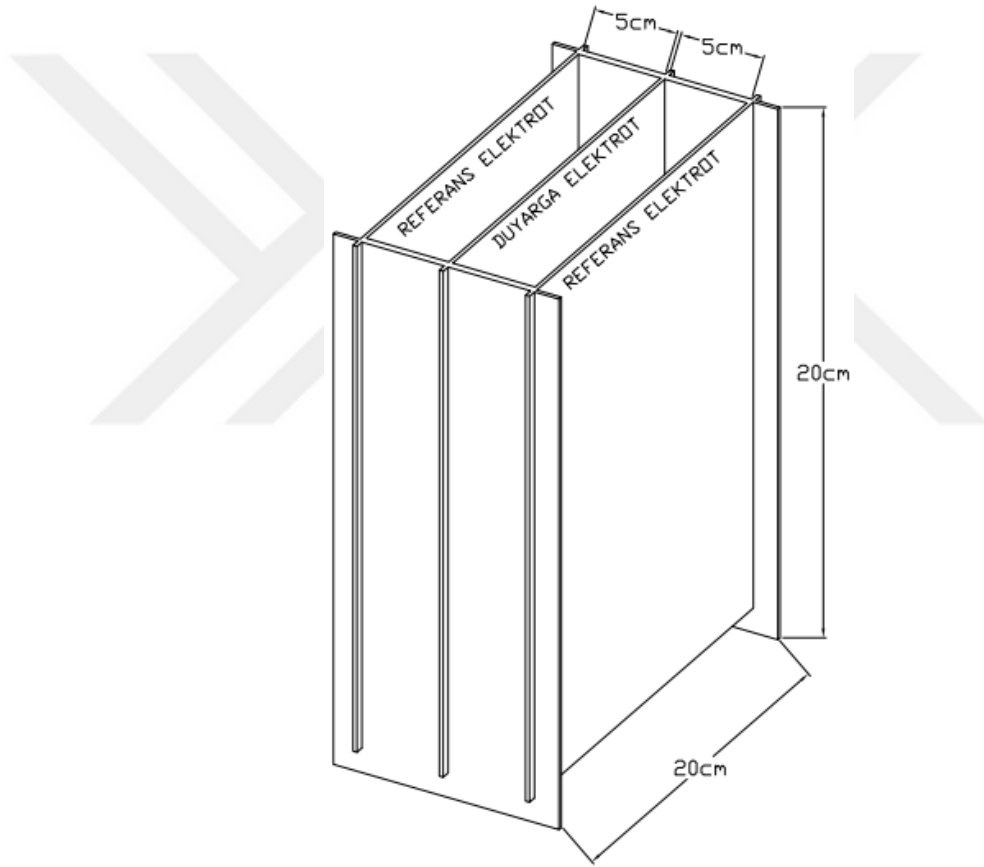


Şekil 2.10. Paralel plakalı kapasitör modeli [71, 72]

Uygulamada, ölçülen kapasitans, numune ve test fikstürüne bağlı kapasitansın bir kombinasyonudur . Şekil 2.10’de C1 ve C2 paralel plakalı iki kapasitörün paralel bağlantı şeklinde yerleştirilmiştir. Ölçülen toplam kapasitans değeri ise (CT) olarak Denklem 2.6’deki gibi ifade edilmektedir.

$$CT = C1 + C2 \quad (2.6)$$

Paralel plakalı kapasitör modeline göre yapılan 3D tasarım Şekil 2.11’de ki gibi gerçekleştirilmiştir.



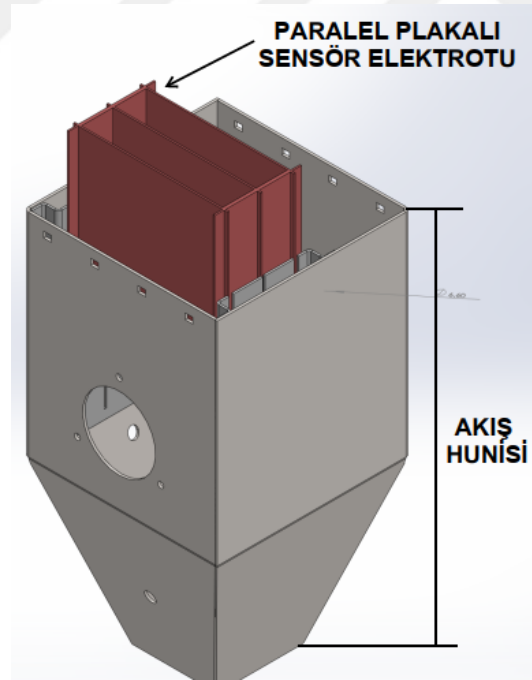
Şekil 2.11. Tasarlanan paralel plakalı kapasitör

Paralel plakalı kapasitör tasarımının ölçüleri Endüstriyel Elektrik Elektronik Sanayi ve Limited Şirketi’nde kullanılmakta olan ve daha sonraki gerçek zamanlı buğday akışında yapılacak testlerde kullanılacak olan akış hunisi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca buğday akışı sırasında oluşabilecek bir sıkışma mekanik ve elektronik hatalara neden olabileceğinden dolayı paralel plakaların boyutları $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ve her iki plaka arası mesafe 5 cm

olacak şekilde belirlenmiştir. Tasarım, iki adet referans elektrotu ve bir adet duyarga elektrotu şeklinde üç adet plakadan oluşmaktadır. Referans elektrotları taşıyıcı sinyalin uygulanacağı plakalardır. Duyarga elektrot ise modüle edilmiş sinyalin okuma işleminin gerçekleştirileceği plakadır. Paralel plakalarda kullanılan materyal 1.6 mm kalınlığa sahip FR4 malzemeden meydana gelen baskı devre kartı (PCB) kullanılmıştır.

2.2. Mekanik Tasarım ve Entegrasyon

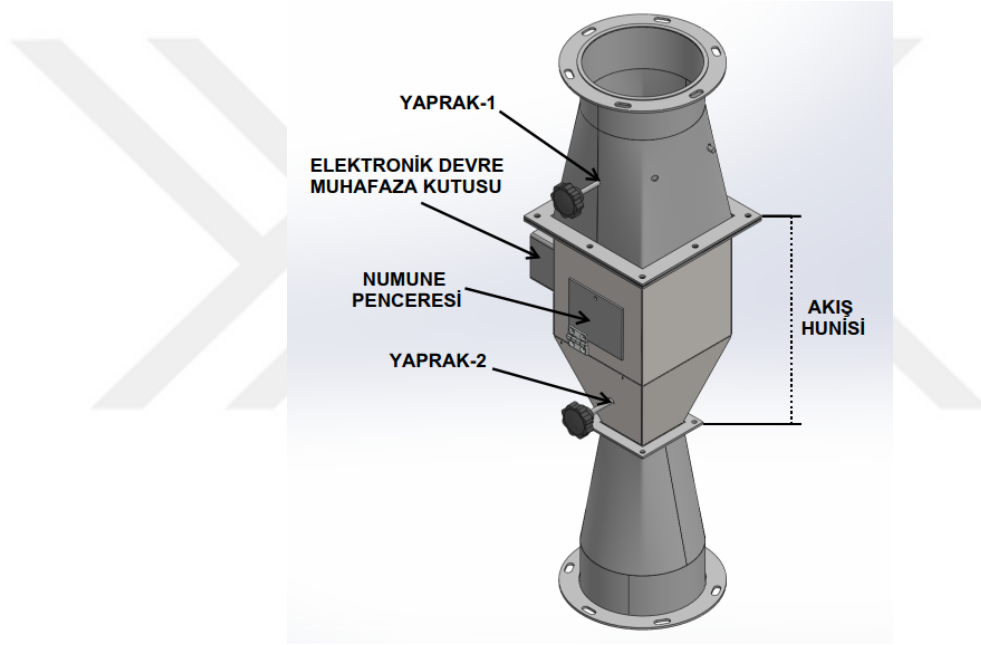
Tasarımı gerçekleştirilen sensör elektrot tasarımının, hali hazırda tavlama makinelerinde kullanılmakta olan akış hunisine entegrasyonu için revize çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sensör elektrotunun sabitlenmesi, buğday akışı sırasında oluşabilecek titreşim ve kırılma gibi mekanik etmenlerin bertaraf edilebilmesi amacıyla akış hunisi tasarımında değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Yapılan değişiklikler sonucunda sensör elektrotunun akış hunisine entegrasyonu Şekil 2.12'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12. Sensör elektrot - akış hunisi entegrasyonu

2.2.1. Gerçek Zamanlı Sisteme Akış Hunisi Tasarımı

Gerçek zamanlı bir un fabrikasında gerçekleştirilecek testler için keşif yapılmıştır. Fabrikanın üretiminin kesintiye uğratmayacak ve saatte yaklaşık 15000 kg/h 'lık buğday akışı sırasında meydana gelen sürtünme kaynaklı statik elektrik ve aşımının en aza indirilmesi için Şekil 2.13'deki tasarım gerçekleştirilmiştir.



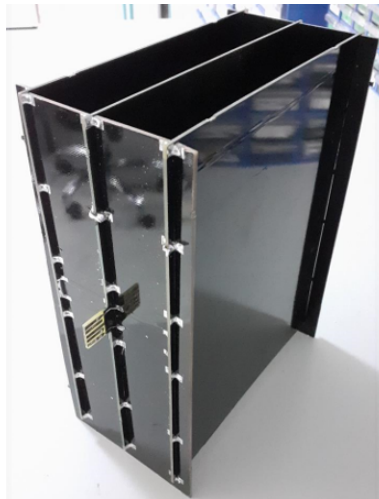
Şekil 2.13. Gerçek zamanlı sistem için tasarlanan akış hunisi

Yapılan tasarımda iki farklı ayarlanabilir yönlendirme yaprağı kullanılmıştır. Yaprak-1 buğdayın sensör elektrotlarının mekanik deformasyonunu minimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Kullanılan yaprak tasarımı hem buğday enerjisini hem de akış sırasında meydana gelen statik elektriğin fabrika topraklamasına bağlanarak sönmülmesini sağlamaktadır. Yaprak-2 ise gerçek zamanlı buğday akışı sırasında sensör elektrotunun içerisinde akış devam ettiği sürece buğday bulunması için kullanılmıştır. Bu sayede buğdayın, sensör elektrotunun içersinden daha yavaş bir şekilde akışının gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

2.3. Tasarım Doğrulama

Gerçek zamanlı bir sistemde buğday akışı esnasında nem ölçüm işleminin gerçekleştirileceği Konya Alaybeyi un fabrikasının üretim süreçlerinin, tasarımların doğrulanması için yapılacak çalışmalar sırasında aksamaması amacıyla sisteme entegre edilmeden önce doğrulama işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında yapılacak doğrulama işlemleri için Endüstriyel Elektrik Elektronik Sanayi ve Limited Şirketi'nin imkanları kullanılarak durağan ve akış halinde bulunan buğday numuneleri ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Önceki başlık altında elektronik devre tasarımının simülasyon ortamında doğrulama işlemleri gerçekleştirilmişti. Baskı devre işleminin ardından sensör elektrot tasarımı ile bir bütün halinde testlerinin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Şekil 2.14'de ki paralel plakalı sensör elektrot tasarımı için özellikleri Tablo 2.1'de verilen Rohde & Schwarz HM8118 LCR metre ile yapılan testlerde, plakalar arasında buğday bulunmadığı ve oda şartlarının 25 °C, 40" değerlerine sahip olduğu durumda, yaklaşık 21 pF kapasitans değerine sahip olduğu ölçülmüştür. Aynı ortam şartlarında %10 nem değerine sahip buğday numunesi ile doldurulduğunda ise yaklaşık 119 pF kapasitans değeri ölçülmüştür. Elektrot tasarımının doğrulanmasının ardından, tasarım bağlantılarının sağlanarak bir sonraki test aşamasına geçilmiştir.



Şekil 2.14. Paralel plakalı sensör elektrot tasarımı

Tablo 2.1. Rohde & Schwarz HM8118 LCR metre

Ölçüm aralığı	20Hz - 200kHz
Temel doğruluk	% 0.05
Ölçüm hızı	12 değer/s
Ölçüm fonksiyonları	L, C, R, Z , X, Y , G, B, D, Q, φ , Δ , M, N
Devre tipinin otomatik veya manuel seçimi (seri, paralel)	

125kHz ve 4MHz seviyelerinde durağan bir sistemde yapılacak testler için gerçekleştirilen sensör elektrot tasarımı ile elektronik devre tasarımının bir bütün halinde 125k ve 4MHz seviyelerinde doğrulama işlemleri için Endüstriyel Elektrik Elektronik Sanayi ve Limited Şirketi bünyesinde bulunan laboratuvarında Şekil 2.15’de ki test düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 2.15. Tasarım doğrulama test düzeneği

Durağan bir sistemde buğday ile testler gerçekleştirilmiştir ve sensör tasarımının 125k ve 4MHz seviyelerinde aynı koşullar altında vermiş olduğu voltaj çıktısı kayıt altına alınmıştır. Tasarımların doğrulama işlemi sırasında sabit ortam koşullarında sağlıklı bir test işlemi için Tablo 2.16’deki özelliklere sahip TK-120 test kabini kullanılmıştır. Ayrıca referans nem tayin cihazı olarak tahıl endüstrisinde kabul görmüş, özellikleri Tablo 2.2’deki

Pfeuffer HE 50 tahribatlı nem tayin cihazı kullanılmıştır. Test sırasında Konya yöresinde çoğunlukla ekilen "Esperia" cinsinde buğday numunesi kullanılmıştır.

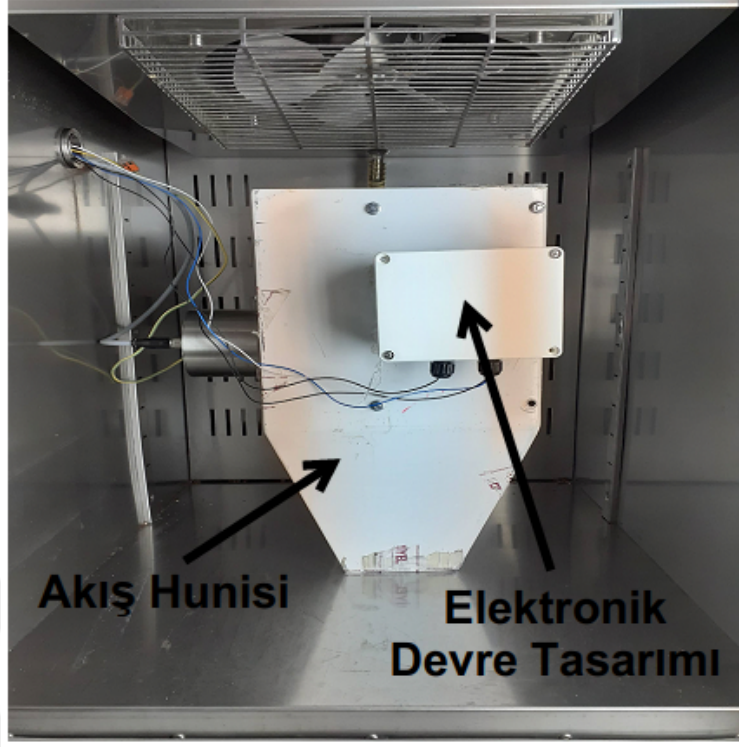
Tablo 2.2. TK-120 Test Kabini

Hücre hacmi	155 lt
Ölçüm için ortam sıcaklığı	5 °C – 40 °C
Atmosferik nem	% 20-80 yoğuşmasız
14 farklı hububat için nem tayini	

Tablo 2.3. Pfeuffer HE 50 tahribatlı nem tayin cihazı

Hücre hacmi	155 lt
Sıcaklık ayar aralığı	-10,0 °C ile +60,0 °C
Nem çalışma aralığı	% 20 RH ile % 95 RH
Nem jeneratörü	
Otomatik defrost sistemi	
32 Kbyte kalıcı, 256 Kbyte opsiyonel hafıza	
Nem Ayar ve Okuma Hassasiyeti: %1 RH	

TK-120 test kabiniinde yapılan testlerde 125kHz ve 4MHz uyartım sinyalinde analog devre tasarımının vereceği sonuçlar sabit ve aynı iklimlendirme koşullarında farklı neme sahip ürünlere vereceği voltaj çıktısı için çalışma gerçekleştirilmiştir. Analog elektronik devre tasarımının 125kHz ve 4MHz frekanslarında aynı ortam koşullarında ve aynı buğday numuneleri ile testleri Şekil 2.16'deki gibi gerçekleştirilmiştir. İklimlendirme kabiniinde yapılan testlerde ithal bir sensör olan Pfeuffer HE 50 tahribatlı nem tayin cihazı ile referans nem ölçümü işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.16. TK-120 kabin içi tasarım doğrulama

Tez çalışmasında tasarlanan Şekil 2.14 deki sensör elektrotu kullanılarak 125kHz ve 4MHz uyartım frekansları ile farklı neme sahip buğdayların doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda tasarlanan nem sensörü prototipinin farklı nem değerlerine sahip buğday numunlerine vermiş olduğu voltaj çıktısı gözlemlenmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen prototip sensör kabı tek seferde yaklaşık 2346 gram buğday ölçüm kapasitesine sahiptir. Ancak referans Pfeuffer HE 50 tahribatlı nem tayin cihazı ise tek seferde yaklaşık 9 gram buğday analiz edebilmektedir. Ayrıca referans alınan cihaz tahribatlı ölçüm gerçekleştirdiğinden ölçüm sırasında nem kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle referans ölçüm cihazı ile gerçekleştirilen ölçümlerde, buğdayın tahribatı sırasında ve ortamdan kaynaklı gerçek nem değerinde meydana gelebilecek hataları en aza indirebilmek adına Tablo 2.4'deki test prosedürü hazırlanmıştır.

Tablo 2.4. TK-120 iklimlendirme kabini nem ölçüm prosedürü

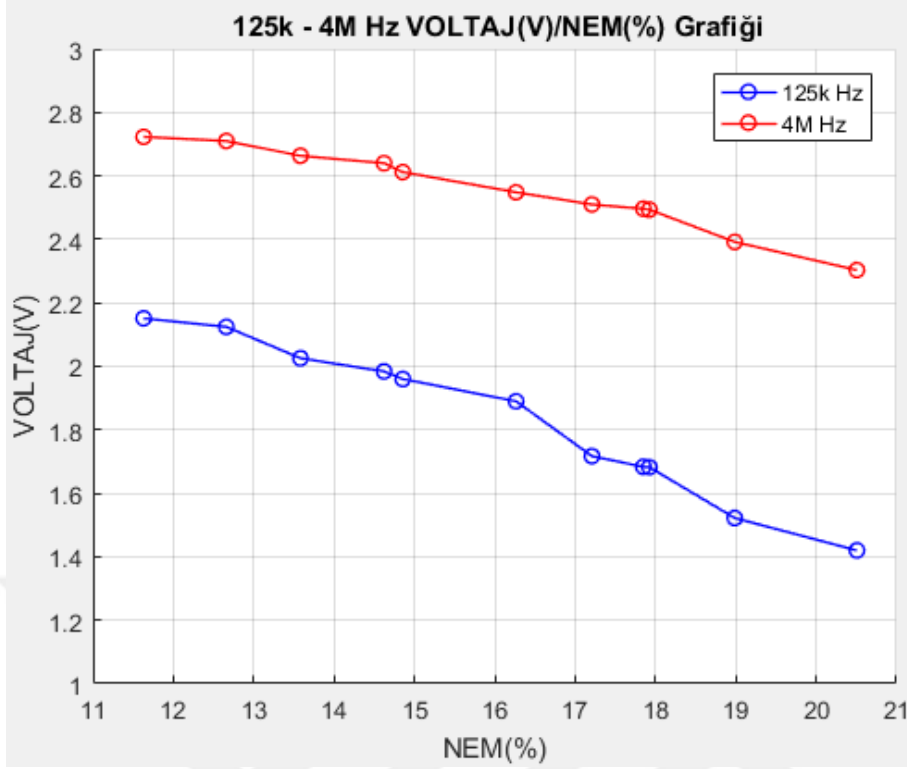
1. Takip Edilecek Aşamalar	
1.1	Nem Ölçümü Yapılacak Ortam Koşullarının Belirlenmesi
1.2	Gerekli Test Düzenineğinin ve Numune Örneklerinin Hazırlanması
1.3	Ölçümde İzlenecek Yöntemin Belirlenmesi
1.4	Kayıt İçin Gerekli Cihaz ve Planlamanın Hazırlanması
2. Testin Gerçekleştirileceği Laboratuvar Ortam Koşulları	
2.1	Ortam Sıcaklığı (23 ± 2) °C
2.2	Bağıl Nem Değeri % (45 ± 10)
3. Test Sırasında İklimlendirme Kabini Parametreleri;	
3.1	Kabin İçi Sıcaklık 25 °C
3.2	Kabin İçi Nem
	a.(%7-10) Buğday: %20 b.(%13-...) Buğday: %45
4. Test Başlangıcında Yapılacak Kontroller	
4.1	Cihazların güç bağlantılarının kontrolü
4.2	Mekanik araç ve gereçlerin kullanılabilirlik durumu
4.3	Buğday numunesi içerisinde yabancı maddelerin bulunmaması
4.4	İklimlendirme kabininin test için gerekli iç ortam şartlarına ulaşması
5. Nem Ölçümü Sırasında Yapılacak Çalışmalar	
5.1	Referans nem tayin cihazı ile test başlangıcında ve takiben her yarım saatte bir nem ölçümü için cihazın numune kapakları ile iki örnek numune alınarak analiz edilmelidir.
5.2	Prototip kapta ölçümü gerçekleştirilen buğday numunesi bir kap içerisine alınıp homojen ve nemini kaybetmeyecek şekilde karıştırılmalıdır. Karıştırma işleminin ardından 2 örnek numune alınarak, karışım ortamda bekletilmeden iklimlendirme kabini içerisindeki prototip kap içine tekrar doldurulmalıdır.
5.3	Her bir örnek ile tek bir frekans için 10'ar defa ölçüm yapılmalıdır (Her bir frekans değeri için alınan iki örnek ile 20 ölçüm, toplamda 40 ölçüm). Alınan iki numuneden birisi ile ölçüm yapılırken, diğer örnek ortamdaki izole edilmelidir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı kapasitif buğday nem ölçüm sensörü prototipinden her iki frekans değeri için anlık voltaj çıktısı okunmuştur. Tasarlanan nem sensörü prototipi ölçüm sırasında iklimlendirme kabini ve ortamdaki izole bir şekildedir. Ancak referans alınan nem tayin cihazıyla yapılan ölçümlerde bu gibi izole ortam koşulları elde edilememekle birlikte farklı etkenlerde mevcuttur. Bunlar; tahribatlı ve az miktarda buğday ile nem ölçüm yapması ve ortam şartlarına bağlı olması gibi. Bahsedilen etkenler ölçüm sonuçlarında sapmalara neden olabilmektedir. Referans nem sensörü ile yapılan ölçümlerde sapmaların en aza indirilebilmesi amacıyla, referans nem sensörü kullanılarak yapılan ölçümlerde Tablo 2.4 5.3'teki ölçüm prosedüründe de bahsediliği üzere her bir nem değeri için toplamda 40 ölçümün ortalaması alınarak kayıt edilmiştir. TK-120 İklimlendirme kabini kullanılarak gerçekleştirilen testlerde elde edilen nem (%) ve tez çalışmasında tasarlanan elektronik ara yüz çıktısı olarak iki farklı frekans değerine göre elde edilen voltaj (V) sonuçları Tablo 2.5'e kayıt edilmiştir.

Tablo 2.5. TK-120 iklimlendirme kabini nem/voltaj ölçüm tablosu

Ölçüm No	Referans Nem (%) Değeri	Tez Sensör Prototipi	
		125kHz (V)	4MHz (V)
1	12,66	2,12	2,71
2	13,58	2,02	2,66
3	14,62	1,98	2,64
4	14,85	1,96	2,61
5	16,26	1,88	2,54
6	17,21	1,71	2,51
7	17,85	1,68	2,49
8	17,92	1,68	2,49
9	18,98	1,52	2,39
10	20,50	1,42	2,30

Tablo 2.5'de görüldüğü üzere Esperia cinsinde buğday ile on farklı nem değeri referans nem tayin cihazı ile analiz edilmiştir. Tez çalışmasında tasarlanan nem sensörü prototipinden ise sensör elektrotunun ayrı ayrı 125kHz ve 4MHz uyarılmasıyla elde edilen voltaj değerleri elde edilmiştir. Her bir nem analizi aşamasında, kullanılan buğday numunesi sensör elektrotuna doldurulmasından önce ve sonra homojen bir şekilde karışımı sağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda 125kHz ve 4MHz seviyesinde ki Voltaj/Nem grafiği Şekil 2.17'deki gibi meydana gelmiştir.



Şekil 2.17. 125kHz - 4MHz voltaj(V)/nem(%) grafiği

İklimlendirme kabiniinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen Şekil 2.17'deki grafik incelendiğinde 4MHz seviyesindeki taşıyıcı sinyal ile uyarım yapıldığında 125kHz' e göre daha derin bir voltaj genliği ve %'lik nem değerine karşılık gelen voltaj değerinin daha stabil olduğu gözlemlenmektedir. TK-120 iklimlendirme kabiniinde gerçekleştirilen testlerin sonucunda 4MHz uyarım frekansına sahip taşıyıcı sinyal ile yapılacak ölçümlerin daha etkili olacağı gözlemlenmiştir.

Elektronik ara yüzün ve sensör elektroniğinin doğrulama işlemlerinin tamamlanmasının ardından gerçek zamanlı buğday akışı olan bir sistemde test işlemi aşamasına başlanmıştır. 4MHz uyarım sinyaline sahip analog anahtarlama tabanlı kapasitif buğday nem sensörü prototipinin gerçek zamanlı buğday akışında yapılacak test çalışmaları için, Alayebi un fabrikasında gerçekleştirilen keşif çalışmaları sonucunda Şekil 2.13 ve Şekil 3.2'deki tasarımlar ve mekanik akış hunisi entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

3. TESTLER

Bir önceki başlık altında tasarımı gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı kapasitif buğday nem sensörü için yapılan tasarımların doğrulama işlemleri tamamlanmıştı. Bir sonraki aşama da ise gerçek zamanlı buğday akışı olan bir sistemde ki testlere başlanmıştır. Tasarımların doğrulama işlemlerinde de belirtildiği üzere, 4MHz uyartım sinyaline sahip elektronik ara yüzün daha etkili bir ölçüme olanak sağlayacağından, gerçek zamanlı bir sistemde gerçekleştirilecek çalışmalarda 4MHz uyartım sinyaline sahip prototip kullanılmıştır.

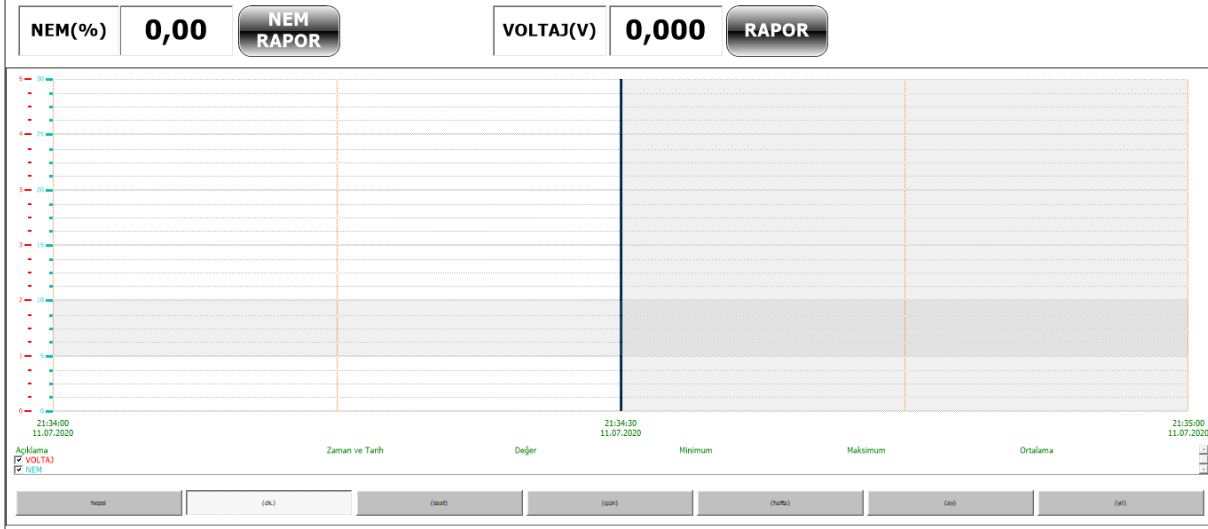
Bu tez çalışması, gerçek zamanlı bir üretim sistemine sahip olan Alaybeyi un fabrikasında gerçekleştirilen testleri kapsamaktadır. Alaybeyi un fabrikasında gerçekleştirilen gerçek zamanlı buğday akışı sırasında nem ölçüm işlemi ve laboratuvar çalışmaları yaklaşık altı aylık bir süre içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu süre içerisinde çeşitli araştırma geliştirme ve iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Alaybeyi un fabrikasında gerçekleştirilen testler; fabrika ve fabrika bünyesinde bulunan laboratuvar testleri olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Başlangıç olarak saatte yaklaşık 15000 kg/h buğday akışı sırasında nem ölçümü için, tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı buğday nem sensörü tasarımı ve Alaybeyi un fabrikasında ölçüm sonuçları dikkate alınan Pfeuffer nem tayin cihazı kullanılmıştır.

İkinci aşamada ise laboratuvarında, tasarlanan sensör prototipi ve IM9500 NIR analiz cihazı ile nem ve hektolitre ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen sensör prototipinden alınan nem değeri anlık olarak bilgisayar ile haberleştirilerek sürekli kayıt edilmiştir. Kayıt için tasarlanan bilgisayar ara yüzü Şekil 3.1'deki gibidir. Tasarlanan ara yüz sayesinde anlık olarak nem/voltaj değerleri, kayıt, grafik işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.1. Nem sensörü prototipi kayıt bilgisayarını ara yüz tasarımı

3.1. Gerçek Zamanlı Buğday Akışı Nem Ölçümü

Bu tez çalışması sırasında gerçekleştirilen elektronik ve mekanik tasarımlarının un fabrikasına entegre edilmiş hali Şekil 3.2'deki gibidir.

Sensör prototipinin un fabrikasına entegrasyonunun yapıldığı kısım konum olarak buğdayın yabancı maddelerden (kırık buğday tanesi de yabancı madde olarak nitelendirilmektedir) temizlendikten sonra ki kısma karşılık gelmektedir.

Nem ölçümü sırasında iki sensör arasında meydana gelebilecek hata oranının en aza indirilmesi adına, kayıt bilgisayarından sensör prototipinin anlık nem değeri okunurken numune penceresinden Pfeuffer nem tayin cihazının dereceli numune kabı ile akış halindeki buğdaydan örnekler alınmıştır. Alayebeyi un fabrikasında belirli periyotlarda farklı buğday cinsi işlenmektedir. Bu sayede tasarımı gerçekleştirilen nem sensörünün akış halindeki buğdayın nem ölçüm kabiliyeti ve farklı buğday cinslerinin nem oranına vermiş olduğu tepki analiz edilebilmiştir.



Şekil 3.2. Nem sensörü prototip tasarım entegrasyonu

Kayıt bilgisayarından okunan sensör prototipinin nem değeri ve referans nem tayin cihazıyla yapılan analiz sonucunda elde edilen nem karşılaştırmalı değerleri Tablo 3.1'deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 3.1. Gerçek zamanlı buğday akışı karşılaştırmalı nem ölçüm tablosu

Ölçüm No	Buğday Cinsi	Nem (%)		Nem Farkı
		Tez Sensör Prototipi	Referans Sensör	
1	Esperia	11,19	11,40	-0,21
2	Esperia	11,25	11,30	-0,05
3	Altındane	11,22	11,00	0,22
4	Tosunbey	10,90	10,90	0,00
5	Esperia	11,42	11,20	0,22
6	Rus	11,22	11,10	0,12
7	Esperia	11,02	11,20	-0,18
8	Rus	11,10	11,30	-0,20
9	Karışık	10,78	10,90	-0,12
10	Guvalite	10,20	10,40	-0,20

Tablo incelendiğinde iki sensör arasında (%) nem değerlerinde meydana gelen fark, tahıl endüstrisinde tolere edilen sapma değeri olan $\pm 0,5$ seviyesinin altında gerçekleşmiştir. Ancak tez çalışmasının önceki paragraflarında da belirtildiği üzere, Pfeuffer nem tayin cihazının analiz şekli, tek seferde analiz ettiği buğday numunesi ve ortam değişkenliklerine vermiş olduğu tepkiler de dikkate alındığında tabloda meydana gelen farkların daha düşük seviyelerde gerçekleşebileceği öngörülmektedir.

3.2. Laboratuvar Testleri

Alaybeyi un fabrikasında gerçek zamanlı buğday akışı sırasında gerçekleştirilen testlerin ardından ikinci aşama olan laboratuvarda test çalışmalarına geçilmiştir. Un fabrikasında buğday akışı sırasında sensör elektrotunda meydana gelebilecek basınçla beraber kapasitans değerinde değişime ve sonucunda nem ölçümü üzerine etkisinin incelenmesi adına laboratuvarda hektolitire ve nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda buğday cinsleri arasında farklı fiziksel özelliklerinden (sertlik, hektolitire, ...) kaynaklı sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, fabrika içerisinde ki testler sırasında genellikle dalgalanmaların meydana geldiği "Rus ve Esperia" cinsi buğdaylar belirlenmiştir. Hektolitire hesabı için farklı nem değerlerine sahip ve her bir cins için üç, toplamda altı buğday numunesi hazırlanmıştır. Laboratuvarda Şekil 3.3'deki ölçüm düzeneği kurulmuştur.



Şekil 3.3. Labaratuvar nem(%)/hektolitreye(kg/h) ölçüm düzeneği

Kurulan düzende, tez çalışmasında tasarlanan nem sensörü prototipi ve IM9500 NIR analiz cihazı kullanılarak karşılaştırmalı nem ölçümünün yanında IM9500 cihazı ile hektolitreye ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nem ve hektolitreye değerleri Tablo 3.2'deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 3.2. Hektolitrenin nem ölçümüne etkisi karşılaştırma tablosu

Buğday Cinsi	IM9500		Tez Sensör Prototipi	Nem Farkı
	Hektolitreye (kg/hl)	Nem (%)	Nem (%)	
Esperia	77,1	10,70	10,70	0,0
	77,7	11,10	11,20	-0,1
	76,3	12,30	12,50	-0,2
Rus	77,4	10,40	10,40	0,0
	76,7	11,20	11,40	-0,2
	76,0	11,90	12,10	-0,2

Laboratuvarda gerçekleştirilen Tablo 3.2'deki nem ve hektolitreye ölçüm sonuçları incelendiğinde; tez çalışmasında gerçekleştirilen nem sensörü prototipinin daha önceki testlerdeki başarısı devam etmektedir. Ayrıca IM9500 cihazıyla gerçekleştirilen hektolitreye hesabı, hektolitrenin nem ölçümü üzerine etkisinin dikkate alınmayacak seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda ki çalışmalarda özetlendiği üzere, gerçekleştirilen nem sensörü prototipi buğday endüstrisinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte olduğu ve endüstriyel şartlara uygun çalışma performansı sergilemiştir. Sensör 6 aylık süre boyunca, fabrikada test edilmiştir ve tez yazımının başladığı süreçte ve sonrasında çalışmaya devam etmektedir.

Un fabrikasında ve bünyesindeki laboratuvarında kullanılan referans nem sensörleri; belirli zaman aralıklarında, farklı cins buğday numunelerinde, sıcaklık değişimine bağlı olarak kalibrasyona ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı nem sensörü prototipi bahsedilen konularda kalibrasyona ihtiyaç duymamaktadır.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nem, buğday endüstrisinde ürünün kalitesini ve değerini belirleyen önemli faktörlerden birisidir. Buğday nem oranının tespit ve kontrolü için nem sensörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Nem sensörleri, tahıl endüstrisinde tarladan başlayarak son ürün elde edilinceye kadar geçen süreçlerde önemli bir yere sahiptir. Bu tez çalışmasında, analog anahtarlama tabanlı ve modülasyon teknikleri kullanılarak geliştirilen kapasitif buğday nem sensörü prototip tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasındaki tasarımlar üç bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde durağan ve tek cins buğday numunesi ile, ikinci bölümde ise gerçek zamanlı bir un fabrikasında akış halindeki farklı cins ve yörelere ait buğday ile gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde ise laboratuvar ortamındaki testleri kapsamaktadır.

Birinci bölümde gerçekleştirilen testler, tez çalışması sırasındaki tasarımların doğrulaması şeklinde olmuştur. Tasarlanan elektronik arayüz için belirlenen frekans değerleri (125kHz-4MHz) ile yapılan testlerin sonucu incelendiğinde 4MHz'lik uyartım seviyelerinde, 125kHz seviyesinde ki uyartım sinyaline göre daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. Ancak referans alınan nem tayin cihazının tahribatlı ölçüm yapması ve ortam parametrelerinden etkilenmesi nedeniyle ölçüm sırasında meydana gelen sapma miktarı artmış ve süreç uzamıştır.

İkinci bölümde gerçekleştirilen testler, saatte 15000 kg/h akış kapasitesine sahip bir un fabrikasında altı aylık süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Fabrika süreçlerinde saatlik olarak farklı cins ve yöre özelliklerine sahip buğdaylar işlenmektedir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen sensör prototipinin; farklı cins ve özelliklere sahip buğday, buğday akışı sırasında sürekli nem ölçümü, sıkışma, sıcaklık gibi mekanik ve ortam parametrelerine vermiş olduğu tepki gözlemlenmiştir. Gözlemler sonucunda, tasarlanan nem sensörü prototipinin ortam şartlarından bağımsız olduğu ve farklı özelliklere sahip buğday numuneleri için kalibrasyon ihtiyacının olmadığı gözlemlenmiştir.

Üçüncü bölümde gerçekleştirilen laboratuvar ortamındaki testlerde, hektolitrenin tez çalışmasında tasarlanan nem sensörün ölçümü üzerine olan etkisi incelenmiştir. Laboratuvar-

da gerçekleştirilen testlerde, hektolitrenin tasarlanan nem sensörü prototipi üzerinde dikkate alınacak bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında tasarlanan nem sensörü prototipinin, buğday endüstrisinde tolere edilen $\pm 0,5$ değerinin altında ($\sim \pm 0,3$) kaldığı ve endüstride yüksek maliyetle ithal edilmekte olan nem sensörleriyle rekabet edebilecek performansta olduğu düşünülmektedir. Buğday nemi ölçümünün hassas ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesinin tarladan son kullanıcıya kadar ki geçen sürede önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmanın ilk başta ülkemiz insanına ve daha sonra dünya toplumuna ve tahıl endüstrisine faydalı olacağına inanıyoruz.

4.1. Tez Amacının Doğrulanması

Bu tez çalışması ile analog anahtarlama tabanlı modülasyon tekniklerinden demodülasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilen kapasitif bir sensör için elektronik ara yüz devre tasarımı ile ilgili geniş bir birikim elde edilmiş ve bu devrenin optimum tasarlanması için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemi kısaca anlatmak gerekirse; senkron demodülasyon tekniği farklı kapasitif ölçme yöntemlerine entegre edilebilen yüksek sinyal-gürültü oranı (SNR) yakalamak için kullanılan bir modülasyon tekniği olarak dikkat çekmektedir. Bu ölçüm yönteminde sabit plakalar yüksek frekanslı sinyallerle tahrik edildiğinde, meydana gelen modüle edilmiş akımlar elektronik arayüz tarafından okunur ve daha sonra demodüle edilir. Modülasyon ve demodülasyon işlemi için sinüzoidal ve kare dalga temelli devre teoremleri kullanılmaktadır. Ancak sabit plakaların kare dalga sinyalleri ile sürülmesi, artan gürültüye rağmen devrenin karmaşıklığını en aza indirdiği düşünülmektedir. Yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, modülasyon tekniklerinin kullanıldığı senkron demodülasyon yöntemi ile yüksek kalitede kapasitif ölçüm yapılabilmektedir. Elde edilen kazanımlar ilerleyen zamanlarda araştırma ve geliştirme faaliyetleri kapsamındaki çalışmaların temelini oluşturacaktır.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen nem sensörü prototipinin, un fabrikasında gerçek zamanlı buğday akışı sırasında yapılan testlerinde, yapılması hedeflenen mekanik ve elektronik bozulmalar için tecrübe edinilmiştir. Edinilen tecrübeler sayesinde sensör iyileştirmeleri ve rekabet gücünü artıracak çalışmalar için yol gösterici olacaktır.

Tasarımı gerçekleştirilen nem sensörü prototipinin, hem endüstriyel ortamda hemde

laboratuvar ortamında buğday endüstrisinde tolere edilen sapma miktarı olan $\pm 0,5$ 'in oldukça altında kaldığı gözlemlenmiştir. Tez çalışmasında gerçekleştirilen nem sensörü prototipinin, ithal edilmekte olan nem sensörlerinin laboratuvar ortamındaki sapma miktarının altında ($\sim \pm 0,3$) kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ithal nem sensörlerinin ortam ve buğday özellikleri (hektolitire, cins, yöre ...) gibi etmenler için belirli aralıklarla kalibrasyon yapılması gerekirken, tasarlanan nem sensörü prototipinin belirtilen etmenler için kalibrasyona ihtiyaç duymamaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı kapasitif buğday nem sensörünün, buğday endüstrisinde yüksek maliyetlerle ithal edilmekte olan muadillerine performans ve maliyet konusunda alternatif oluşturacağı düşünülmektedir.

4.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı modülasyon tekniklerinin kullanıldığı demodülasyon tekniğinin tamamen dijital ortamda tasarımı gerçekleştirilebilir. Bu sayede, devre tasarımı sırasında meydana gelebilecek tasarım hataları minimize olması ile birlikte daha hassas ve hata oranı daha düşük bir nem ölçümüne olanak sağlayabilecektir.

Farklı boyut ve şekillere sahip sensör elektrotu tasarımları gerçekleştirilebilir. Bu sayede, sensör elektrotunun farklı buğday proseslerine entegrasyonunu sağlayabilecektir.

Gerçekleştirilecek mekanik tasarım ve iyileştirmeler sayesinde, sensör elektrotunda buğday akışı sırasında meydana gelen aşınım ve statik elektrik gibi faktörlerden kaynaklı problemler bertaraf edilebilir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen buğday nem tespiti çalışmasının yanında farklı tahıl ve bakliyat ürünleri içinde nem tespit çalışmaları gerçekleştirilebilir. Tez çalışması sonucunda elde nem sensörü prototipi ile mısır kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda, tasarımın farklı ürünler için uyarlanabileceği düşünülmektedir.

Sensör tasarımının tahıl endüstrisinin süreçlerine (hasat, pazarlama, depolama ...) uyarlanarak, tahıl neminden kaynaklı zararların bertaraf edilmesi konusunda faydalı bir ürün meydana gelebilir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen nem sensörü prototipinde, elektronik arayüz ve sensör elektrotunda yapılacak revize ve tasarım çalışmaları ile birlikte, mobil nem ölçüm sistemi

elde edilebilecektir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analog anahtarlama tabanlı modülasyon tekniklerinden demodülasyon tekniğinin kullanıldığı elektronik ara yüz kullanılarak farklı kapasitif tabanlı sensörlere entegre edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Hakan Işıker, Hüseyin Canbolat “ *A Novel Grain Level Measurement Method for Silos* ”,2007.
- [2] Hong, S.C., Parkinson, G., Arthur, D.H. ve Andrew, A.P.G. “ *A method of determining the moisture content of bulk wheat grain* ”, *Journal of Food Engineering*, 78(4): 1155–1158, 2007.
- [3] Zia-Ur, R. “ *Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals* ”, *Food Chemistry Journal*, 95(1): 53–57, 2006.
- [4] Srivastava, V.K. ve John, J. “ *Deep bed grain drying modeling* ”, *Energy Conversion and Management Journal*, 43(13): 1689–1708, 2002.
- [5] Thorpe, G.R., Alberto Ochoa Tapia, J. ve Whitaker, S. “ *The diffusion of moisture in food grains —I. The development of a mass transport equation* ”, *Journal of Stored Products Research*, 27(1): 1–9, 1991.
- [6] Nelson, S.O. “ *Sensing moisture content in grain* ”, *Instrumentation & Measurement Magazine IEEE*, 3(1): 17–22, 2000.
- [7] Lessard, F.F. “ *Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain a promising new approach* ”, *Journal of Stored Products Research*, 38(3): 191–218, 2002.
- [8] Rai, A.K., Kottayi, S. ve Murty, S.N. “*A low cost field usable portable digital grain moisture meter with direct display of moisture (%)*”, *Science and Engineering Series AJST*, 6(1): 97–104, 2005.
- [9] Hunt W. H. and Pixton S.W. “ *Moisture, ITS Significance Behavior and Measurement. In: C.M. Christensen, Storage of Cereal Grains and Their Products. 1-55. American Association of Cereal Chemists (AACC). St Paul Minnesota USA* ”, 1974.

- [10] Nelson, S.O. “ *Measurement and use of dielectric properties of agricultural products* ”, *IEEE IMTC-91, Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp.636–640, 14–16 May 1991.
- [11] Digvir, S.J. ve Noel, D.G.W. “ *Storage and drying of grain in Canada: low cost Approaches* ”, *Food Control Journal*, 14(4): 255–261, 2003.
- [12] Lawrence, K.C., Nelson, S.O. and Bartley, Jr.P.G. “ *Measuring Dielectric Properties of Hard Red Winter Wheat from 1 to 350 MHz with a Flow-through Coaxial Sample Holder*”, *Transactions of the ASAE* , 41(1), 143-150, 1998.
- [13] Armitage, D., Wontner-Smith, T. and Wilkin, R. “ *Grain moisture guidelines for measurement. HGCA publication*”. Caledonia House, London. www.hcga.com, 2008.
- [14] Neethirajan, S., Karunakaran, C., Jayas, D.S. ve White, N.D.G. “ *Detection techniques for stored -product insects in grain* ”, *Food Control Journal*, 18(2): 157–162, 2007.
- [15] Karunakaran, C., Muir, W.E., Jayas, D.S., White, N.D.G. ve Abramson, D. “ *Safe storage time of high moisture wheat* ”, *Journal of Stored Products Research*, 37(3): 303–312, (2001).
- [16] Ranjana, N., Chauhan, G.S. ve Verma, N.S. “ *Changes in the quality of soybean during storage. Part I-Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean* ”, *Food Chemistry Journal*, 27(1): 13–23, (1988).
- [17] Pixton, S.W. ve Griffiths, H.J. “ *Diffusion of moisture through grain* ”, *Journal of Stored Products Research*, 7(3): 133–152, (1971).
- [18] Casada, M. E. and Armstrong P. R. "Wheat moisture measurement with a fringing field capacitive sensor", *An ASABE meeting presentation, Providence, Rhode Island. Paper number: 085207*, 2008.
- [19] Parviz TOMARAEI “*Development Of Rf Moisture Sensor For Measuring Moisture Content In Grain*”, 2010.

- [20] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı “*Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği No: 99/1*”, 2013.
- [21] Keskinöğlü R. Elgün A. Türker “*Bir un değirmeninde uygulanan farklı ılık tavlama işlemlerinin öğütme kalitesine etkisi*”, *Gıda Dergisi* 26 (6) Sayfa 419-427, 2001.
- [22] Datta A K; Sun E; Solis A. “*Food dielectric property data and their composition- based prediction in Engineering properties of foods*”, 2nd ed.; Rao, M.A., Rizvi, S.S.H.; Eds. Marcel Dekker Inc. New York. Pp 457–494, 1995.
- [23] Chiachung, C. “*Evaluation of Air Oven Moisture Content Determination Methods for Rough Rice*”, *Biosystems Engineering Journal*, 86(4): 447–457, 2003.
- [24] Bowden, P. J. “*Comparison of three routine oven methods for grain moisture content determination*”, *Journal of Stored Products Research*, 20(2): 97–106, 1984.
- [25] Hui, X., Haitao, H., Ronghui, Y. ve Yan, X. “*Application of data fusion technology in quick measurement of grain moisture*”, *IEEE WCICA, Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation*, 4(1): 3138–3140, 2004.
- [26] Nelson, S.O. “*Dielectric Properties of Agricultural Products*”, *Dielectrics and Electrical Insulation*, 26(5): 845–869, 1991.
- [27] Venkatesh, M.S. ve Raghavan, G.S.V. “*An overview of dielectric properties measuring techniques*”, *Canadian biosystems engineering*, 47(7): 15–30, 2005.
- [28] K. B. Kim, J. H. Kim, C. J. Lee, S. H. Noh, and M. S. Kim “*Simple instrument for moisture measurement in grain by free-space microwave transmission*,” *The American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 49, no. 4, pp. 1089–1093, 2006.
- [29] Y. Yueqian, W. Jianping, and W. Chengzhi “*Study on on-line measurement of grain moisture content by neutron gauge*,” *Transactions of the CSAE*, vol. 5, no. 16, pp. 99–101, 2000.

- [30] King, R.J. ve King, K.V. “ *Microwave moisture measurement of grains* ”, *IMTC-91, 8th IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology*, 506–512, 14-16 May 1991.
- [31] Okabe, T., Huang, M.T. ve Okamura, S. “ *A new method for the measurement of grain moisture content by the use of microwaves* ”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 18(1): 59–66, 1973.
- [32] Thorpe, G.R., Alberto Ochoa Tapia, J. ve Whitaker, S. “ *The diffusion of moisture in food grains—II. Estimation of the effective diffusivity* ”, *Journal of Stored Products Research*, 27(1): 11–30, (1991).
- [33] Singh M; Paulsen M R; Colbrook S A. "Corn Moisture Meter Comparisons to the Air Oven in Illinois", *The society of engineering in agriculture, food and biological system Sponsored by ASAE, Las Vegas, Nevada, USA. Pp 1-20, 2003.*
- [34] B. Zhai, H. Guo, and H. Xu “*Synthetic analyse and development survey of moisture measuring technology of grain,*” *Journal of Shenyang University of Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 413–416, 2001.
- [35] Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, "*Gıdalarda Nem Ve Kuru Madde Tayini*", 2019.
- [36] Bradford K J, Dahal P and Bello P 2016 "*Using Relative Humidity Indicator Paper to Measure Seed and Commodity Moisture Contents*", 10,2134/ael2016.04.0018, 2016.
- [37] McLendon B D; Branch B G; Thompson A; Kraszewski A; Nelson S O. "*Density independent microwave measurement of moisture content in static and flowing grain*", *American Society of Agricultural Engineers* 36(3): 827-835, 1993.
- [38] Thakur R; Chatterji R; Kumar A; Bansod B S. "*Studies on electrical properties of wheat as a function of moisture content*", *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 3: 198–204, 2011.

- [39] Bessa W S; Ribeiro E P; Bonfim M C; Leandro G V; and Errera M R "*Analysis of capacitive measurements at low frequencies for moisture content determination in soybeans*", *Brazilian journal of instrumentation and control*. 1 (1): 29-34, 2013.
- [40] Kandala C V K; Butts C L; Nelson S O. "*Determination of moisture content of in-shell peanuts by parallel plate impedance measurements in cylindrical sample holder*", *Sens. And instrument. Food qual.* (1): 72-78, 2007.
- [41] Usman Ahmed, Mahesh Kumar, Salamdin, BVC Mahajan and M S Alam "*Grain Moisture Measuring Techniques - A Review*", *Vol. 39(2)*, 2015.
- [42] František Kumhála, Václav Prošek, Jiří Blahovec "*Capacitive throughput sensor for sugar beets and potatoes*", *Biosystems Engineering Volume 102, Issue 1, Pages 36-43, January 2009*.
- [43] Nicholas R. Harris and Alexander Stonard "*A Printed Capacitance Sensor for Soil Moisture Measurement*", *Euroensors, Graz, Austria, 2018*.
- [44] N. Yamazoe, Y. Shimizu "*Humidity sensors: Principles and applications*" *Sens. Actuators*, pp. 379-398, (1986).
- [45] S. K. Kar, P. Chatterjee, B. Mukherjee, K. B. M. M. Swamy, S. Sen, Member, IEEE "*A Differential Output Interfacing ASIC for Integrated Capacitive Sensors*", *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 67, NO. 1, JANUARY 2018*.
- [46] G. Ferri, F. R. Parente, V. Stornelli, "*Analog current-mode interfaces for differential capacitance sensing*", *Proc. IEEE Sens. Appl. Symp. (SAS)*, pp. 1-6, Apr. 2016.
- [47] G. Scotti, S. Pennisi, P. Monsurrò, A. Trifiletti, "*88- μm 1-MHz stray-insensitive CMOS current-mode interface IC for differential capacitive sensors*", *IEEE Trans. Circuits Syst. I Reg. Papers*, vol. 61, no. 7, pp. 1905-1916, Jul. 2014.
- [48] V. Matko, M. Milanović, "*Temperature-compensated capacitance-frequency converter*

with high resolution", Sens. Actuators A Phys., vol. 220, pp. 262-269, Dec. 2014.

- [49] Fatemeh Aezinia and Behraad Bahreyni "A Sensitive Interface Circuit with Wide Dynamic Range for Capacitive Sensors", *SENSORS-IEEE, Taipei-Taiwan, 2012.*
- [50] Yunus T., S. E. Alper, Kıvanç A., Tayfun A. "A Capacitive MEMS Accelerometer Readout with Concurrent Detection and Feedback Using Discrete Components", *2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium - PLANS 2014.*
- [51] F. Aezinia and Behraad Bahreyni "An Interface Circuit With Wide Dynamic Range for Differential Capacitive Sensing Applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2013*
- [52] Kennel RM, Basler St "New developments in capacitive encoders for servo drives", *SPEEDAM 2008:190–195, 2008.*
- [53] Thilo Sauter, Member, IEEE, and Nikolaus Kerö, Member "System Analysis of a Fully-Integrated Capacitive Angular Sensor", *IEEE, 2002.*
- [54] Wen-Chieh Chou, Yu-Chun Hsu, and Lu-Po Liao "Modulation/ Demodulation System for Capacitive Sensors" *Industrial Technology Research Institute, 2006.*
- [55] Lijun Xu, Senior Member, IEEE, Haili Zhou, Zhang Cao, and Wuqiang Yang, Fellow "A Digital Switching Demodulator for Electrical Capacitance Tomography" *IEEE (2013).*
- [56] Byju's: Modulation and Demodulation, <http://www.byjus.com/physics/modulation-and-demodulation/>
- [57] M. A. Erismis, M. Karali, A. T. Karasahin, O. Keles, M. Kocak "A new capacitive rotary encoder based on analog synchronous demodulation", *2017.*
- [58] Rafael González-Landaeta, Juan Cota-Ruiz, Ernesto Sifuentes, José Díaz, and Oscar Casas, Member "A Fully Differential Synchronous Demodulator for AC Signals" *IEEE Accepted.*

- [59] R. Pallas-Areny, O. Casas "A novel differential synchronous demodulator for AC signals", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 45, no. 2, pp. 413-416, Apr. 1996.
- [60] Wen-Chieh Chou, Yu-Chun Hsu, and Lu-Po Liao "Modulation/ Demodulation System for Capacitive Sensors" *Industrial Technology Research Institute*, 2006.
- [61] K. Banerjee, B. Dam, K. Majumdar, R. Banerjee, D. Patranabis "A carrier peak synchronous direct digital demodulation technique and its FPGA implementation" *SCIENCE DIRECT 2004*.
- [62] H. Eller, A. Denoth "A capacitive soil moisture sensor" *ELSEVIER 1995*.
- [63] Chari V. K. Kandala, Senior Member, IEEE, Chris L. Butts, and Stuart O. Nelson, Life Fellow "Capacitance Sensor for Nondestructive Measurement of Moisture Content in Nuts and Grain" *IEEE 2007*.
- [64] Robert B. McIntosh, Life Senior Member, IEEE, and Mark E. Casada "Fringing Field Capacitance Sensor for Measuring the Moisture Content of Agricultural Commodities" *IEEE (2008)*.
- [65] Hakan Işıker, Hüseyin Canbolat "Concept for a novel grain level measurement method in silos" *ELSEVIER 2009*.
- [66] Lijun Xu, Haili Zhou, Zhang Cao ve Wuqiang Yang. "A Digital Switching Demodulator for Electrical Capacitance Tomography" *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 62, no. 5, Oct. 2013.
- [67] Harun ARSLAN "Farklı Giriş Frekans Değerlerine Yönelik Transempedans Yükselteçlerin Geliştirilmesi", 2018.
- [68] Ali Tahir KARAŞAHİN "Robotik Uygulamalar İçin Kapasitif Rotary Enkoder Geliştirilmesi", 2018.
- [69] Jakub Lev, Václav K Vepčík, Václav Prošek, František Kumhála "Capacitive throughput

sensor for plant materials – Effects of frequency and moisture content” Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering, Kamyčká 129, 165 21 Prague-6 Suchdol, Czech Republic, 2016.

- [70] M. R. Kirchhoff, C. Boese, J. Güttler, M. Feldmann, S. Büttgenbach *"Innovative High-Precision Position Sensor Systems for Robotic and Automotive Applications", Procedia chemistry, 1(1):501–504, 2009.*
- [71] Sima REZALOU *"SNO, ZNO VE SNO/ZNO Kompozit Nanoyapıların Elektrokimyasal Sentezi, Kapasitif, Fotoakım Ve Sensör Özelliklerinin İncelenmesi", 2019.*
- [72] Paula Ratajczaka, Matthew E. Sussb, Friedrich Kaasikc, François Béguina *"Carbon electrodes for capacitive technologies", Received 21 December 2017, Revised 17 April 2018, Accepted 28 April 2018, Available online 1 May 2018.*

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Süleyman HANLI
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Selçuklu-KONYA, 1996
Telefon : 0534 669 5229
e-mail :hanlisuleyman@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Lise	Özel Elmas Anadolu Lisesi, Konya	2014
Lisans	Necmmettin Erbakan Üniversitesi	2018
Yüksek Lisans		
Doktora		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	Endüstriyel Elektrik Elektronik San. Ve Tic.Ltd.Şti.	Elektrik-Elektronik Mühendisi/Ar-Ge Elemanı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR