

**TAHILLARIN DİELEKTRİK KATSAYILARINA
BAĞLI OLARAK NEM İÇERİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ
VE SİLOLARDA TAHİL SEVİYESİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN SİSTEM TASARLANMASI**

HAKAN İŞİKER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
EKİM – 2007**

**TAHILLARIN DİELEKTRİK KATSAYILARINA BAĞLI
OLARAK NEM İÇERİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ VE SİLOLARDA
TAHİL SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ İÇİN SİSTEM
TASARLANMASI**

HAKAN İŞİKER

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. HÜSEYİN CANBOLAT**

**MERSİN
Ekim-2007**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin CANBOLAT

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Koray PALAZOĞLU

Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Günümüzde tahıl ürünleri insan yaşamı için önemli bir yere sahiptir. Tahılın kalitesini ve depolama süresini etkileyen en önemli faktörler; tahılın nem miktarı, sıcaklık değeri ve böceklerin tahıla verdiği zararlardır. Bu çalışmada nem içeriğinin ölçülmesi üzerinde durulacaktır. Tahıldaki nem, dielektrik katsayısını ölçülebilir miktarda değiştirdiğinden kapasitif yöntemle nem ölçümü gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen ölçümde hassasiyet varolan cihazlarınkinin çok üstünde olacaktır. Bu cihazın ekstra özellikleri arasında, hassasiyeti, sıcaklık kompanzasyonu, taşınabilir olması vardır. Bunun yanında, tahıldan örnek alınmadan silodaki tahılın neminin sürekli izlenmesi için kullanılacak model de açıklanacaktır. Silodaki tahıl seviyesini hassas bir şekilde ölçen, tahılın türü, nemi, sıcaklığı ve tozu gibi etkenlerden bağımsız ve kurulum ve daha sonrasındaki aşamalarda kalibrasyona gerek duymayan bir kapasitif sensör düzeneği geliştirilmiştir. Sunulan bütün sensörler için gereken ara yüz devresi günümüz teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş ve hassas kapasitans ölçümleri AD7745 entegresi ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tahıl nemliliği, dielektrik sabiti, nem ölçümü, seviye ölçümü, mikrodenetleyici.

ABSTRACT

Grain products are very important for human life. Moisture, temperature, and insects are among the most important factors that affect grain quality and storage. In this thesis, the measurement of grain moisture is investigated. Since moisture changes the dielectric constant considerably, the capacitive method is used. The proposed measurement method is more sensitive than the existing devices. Portability, temperature compensation, and high accuracy and precision are the features of the device. Moreover, for continuous monitoring of grain moisture, a method is proposed in the study. Additionally, a sensor arrangement for continuous measurement of the grain level in a silo is developed. The measured value of this sensor arrangement is not affected by grain type, moisture, temperature and dust. The required interfaces are developed for each type of sensors. The precise capacitance measurement is performed using AD7745 integrated circuit.

Keywords: Grain moisture, dielectric constant, moisture measurement, level measurement, microcontroller.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve cihazın tasarımında emeği geen tez danıŐmanım Yrd. Do. Dr. Hüseyin CANBOLAT'a teŐekkürü bir bor bilirim.

Cihazın mekanik aksamalarının tasarlanmasında değerli yardımlarını esirgemeyen ukurova Silo İŐletmeciliđine, AD7745 entegrelerini projede kullanmak için örnek tedarikinde ANALOG DEVICE yetkililerine, baskı devrelerin çıkarımında Ahmet İMANLI'ya, tez yazımında yardımlarını esirgemeyen Yasin BEKTAŐ, Mehmet İŐIKER, Adnan İŐIKER, Remziye TİDİM ve en zor vakitlerimde anlayıŐ ve güler yüzlerini esirgemeyen aileme ve tüm dostlarıma teŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZ | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | viii |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ | x |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| | |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| | |
| 2.1. TAHILLARDAKİ NEMLİLİK MİKTARININ ÖLÇÜM METODLARI..... | 4 |
| 2.1.1. Direkt Metotlar..... | 4 |
| I. Kimyasal ayrışım..... | 4 |
| II. Isıtma(fırın)..... | 5 |
| III. Damıtma..... | 5 |
| IV. Kızılötesi ve mikrodalga yayını..... | 5 |
| 2.1.2. Endirekt Metotlar..... | 5 |
| I. Direnç..... | 5 |
| II. Kapasitans..... | 6 |
| III. Bağlı nem..... | 6 |
| IV. Nükleer manyetik rezonans..... | 6 |
| V. Mikro dalga spektroskopu..... | 7 |
| 2.2. SİLOLARDAKİ SEVİYE ÖLÇÜM METOTLARI..... | 7 |
| | |
| 3. MATERYAL ve METOD | 9 |
| | |
| 3.1. KAPASİTANS VE DİELEKTRİK..... | 9 |
| 3.1.1. Kapasitansın Tanımı..... | 9 |
| 3.1.2 Kapasitansın Hesaplanması..... | 10 |
| 3.1.2.1. Paralel-plakalı kapasitör..... | 11 |
| 3.1.2.2. Silindirik-Plakalı Kapasitör..... | 12 |
| 3.1.3. Dielektrikli Kapasitörler..... | 13 |
| 3.1.4. Dielektriklerin Atomik Tanımı..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 3.1.5. Plaka Kenarlarındaki Kaçak Elektrik Alan | 17 |
| 3.1.6. Metalik Tabakanın Etkisi | 18 |
| 3.1.7. Kısmen Dolu Kapasitör | 19 |
| 3.2. KAPASİTİF ÖLÇÜM | 20 |
| 3.2.1. Kapasitans-Dijital Dönüştürücü'nün (AD7745) Genel Özellikleri... | 22 |
| 3.2.2. AD7745'in Kayıt Defterinin Tanımı | 25 |
| 3.2.3. AD7745'in Uygulamaları | 26 |
| 3.3. TAHILLARDA NEM MİKTARININ HESAPLANMASI | 29 |
| 3.4. SİSTEMİN YAPISI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ | 30 |
| 3.4.1. Sistemin Genel Yapısı | 30 |
| 3.4.2. Nem Ölçerde Kullanılan Kapasitörler | 31 |
| 3.4.2.1. Paralel Plakalı Kapasitörler | 31 |
| 3.4.2.2. Silindirik Plakalı Kapasitörler | 33 |
| 3.4.3. Nem Ölçerde Kullanılan Kapasitörlerin Farklı Nem İçeriğine Sahip Tahıllara Göre Kapasitans Hesapları | 35 |
| 3.4.3.1 Paralel plakalı kapasitörün kapasitans hesabı | 35 |
| 3.4.3.2 Silindirik plakalı kapasitörün kapasitans hesabı | 37 |
| 3.4.4. Kontrol Devresi | 39 |
| 3.4.4.1. Besleme devresi | 41 |
| 3.4.4.2. Sensör arayüz devreleri | 42 |
| 3.4.4.2.1. Kapasitanstan dijitale dönüştürücü(CDC)..... | 42 |
| 3.4.4.2.2. Sıcaklık sensörü | 43 |
| 3.4.4.2.3. Ağırlık sensörü | 44 |
| 3.4.4.3. Aritmetik işlem ünitesi(mikrodenetleyici) | 45 |
| 3.4.4.3.1. Mikrodenetleyici reset devresi | 46 |
| 3.4.4.3.2. Mikrodenetleyici osilatör devresi | 47 |
| 3.4.4.4. İnsan arayüzü görüntüleme ünitesi | 48 |
| 3.4.4.5. Kontrol devresinin imalatı | 48 |
| 3.4.5. Yazılım | 50 |
| 3.5. UYGULAMA ÇEŞİTLERİ | 50 |
| 3.5.1. Silolarda Online Tahıl Nem Ölçer | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.2. Sıkıştırılmalı Silindirik Kapasitörlü Tahıl Nemölçer | 52 |
| 3.5.3. Tahıl Siloları İçin Yeni Bir Seviye Ölçüm Metodu | 54 |
| 3.5.3.1. Silonun doldurulması | 55 |
| 3.5.3.2. Düzey sensör ayarları | 55 |
| 3.5.3.3. Matematiksel analiz | 57 |
| 3.6. KALİBRASYON VE KIYASLAMA | 60 |
| 3.6.1. Nem Analiz Cihazı | 60 |
| 3.6.2. Hassas Terazî | 61 |
| 3.6.3. Kapasitif Tahıl Nem Ölçer | 63 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 65 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 72 |
| KAYNAKLAR | 74 |
| ÖZGEÇMİŞ | 78 |
| EKLER | 79 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>ÇİZELGE</u> | <u>SAYFA</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 3.1. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin yaklaşık dielektrik sabitleri. | 15 |
| Çizelge 3.2. AD7745'e ait kayıt değerleri ve açıklamaları | 25 |
| Çizelge 3.3. AD7745'e ait ölçülen CapDacA değerleri..... | 26 |
| Çizelge 3.4. Paralel plakalı kapasitörün %5 ile %25 nemliliğe sahip tahıl ile değişen kapasitans değerleri..... | 37 |
| Çizelge 3.5. Silindirik plakalı kapasitörün %5 ile %25 nemliliğe sahip tahıl ile değişen kapasitans değerleri..... | 38 |
| Çizelge 3.6. RADWAG WPS 50SX nem analiz cihazının teknik özellikleri..... | 61 |
| Çizelge 3.7. AJ-CE 420 hassas terazinin teknik özellikleri | 62 |
| Çizelge 3.8. PM-410'a ait ürün listesi..... | 64 |
| Çizelge 4.1. Kurutma işleminden önceki buğdaylara ait ölçüm değerleri | 69 |
| Çizelge 4.2. Kurutma işleminden sonraki buğdaylara ait ölçüm değerleri | 69 |
| Çizelge 4.3. Beş farklı numune için ölçüm değerleri ve tasarlanan cihazın direk yöntemine göre yüzdelik hata değeri | 70 |
| Çizelge 4.4. Ölçülen kapasitans ile teorik kapasitansın karşılaştırılması..... | 70 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>SEKİL</u> | <u>SAYFA</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Tahıldaki nem miktarının ölçülmesine ait metotların sınıflandırılması | 4 |
| Şekil 3.1. Yüzey alanı A ve aralarındaki uzaklık d olan iki iletken paralel plakadan oluşan kapasitör | 10 |
| Şekil 3.2. a. Paralel plakalı kapasitörlerde elektrik alan çizgilerinin dağılımı b. Paralel plaka arasındaki elektrik alanının yağ içindeki küçük parçacıkları etkileyişinin fotoğrafı. | 11 |
| Şekil 3.3. a. Kapasitör, batarya ve anahtardan oluşan devrede anahtar açık b. Anahtar kapalı. | 12 |
| Şekil 3.4. a. İç yarıçapı a ve uzunluğu ℓ olan silindir ile etrafı b yarıçaplı aynı eksenli silindir ile çevrelenmiş kapasitör sistemi b. Kesit görünümü.. | 13 |
| Şekil 3.5. a. Yüklü kapasitörün levhaları arasına dielektrik malzeme konmadan öncesi b. Dielektrik malzeme konduktan sonrası | 14 |
| Şekil 3.6. a. Kutuplu moleküllerin elektrik alan yokluğunda hali b. Elektrik alan uygulandıktan sonraki hali c. Dielektrik malzemenin oluşturmuş olduğu E_{ind} alanı..... | 16 |
| Şekil 3.7. Plakalar arasındaki dielektrik malzemenin indüktif yükleri | 17 |
| Şekil 3.8. Paralel plakaların kenarında oluşan kaçak elektrik alan | 18 |
| Şekil 3.9. a. Plakalar arasına konulmuş metal tabaka b. Oluşan eşdeğer devre | 18 |
| Şekil 3.10. a. $d/3$ kalınlıklı dielektrik malzemeli kapasitör b. Eşdeğer devresi | 20 |
| Şekil 3.11. AD7745'in fonksiyonel blok diyagramı | 22 |
| Şekil 3.12. AD7745'in pin konfigürasyonu | 23 |
| Şekil 3.13. a. AD7745'in seri haberleşmesine ait dalga gösterimi | 24 |
| b. AD7745'in seri haberleşmesine ait yazma ve okuma sıralaması..... | 24 |
| Şekil 3.14. AD7745'in basitleştirilmiş blok diyagramı | 27 |
| Şekil 3.15. AD7745'in ölçüm sığasının $8pF$ 'a çekilmiş hali | 27 |
| Şekil 3.16. AD7745'e parazitik kapasitör eklenmiş hali..... | 28 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.17. AD7745'in tüm bağlantılarına ait devrenin son hali..... | 28 |
| Şekil 3.18. Tasarlanan sistemin blok yapısı..... | 30 |
| Şekil 3.19. Paralel plakaların yerleşimi ve boyutları | 31 |
| Şekil 3.20. Aynı merkezli silindirik plakanın yerleşimi ve boyutları | 33 |
| Şekil 3.21. Silindirik plakanın kesit görünüşü ve alan dağılımı | 34 |
| Şekil 3.22. Kontrol devresinin blok diyagramı | 41 |
| Şekil 3.23. Step-up dc-dc converter devresinin bağlantı şeması..... | 42 |
| Şekil 3.24. Kapasitans-dijital dönüştürücü arayüz devresi | 43 |
| Şekil 3.25. Programlanabilir dijital termometre arayüz devresi | 44 |
| Şekil 3.26. Load cell ağırlık sensörü..... | 45 |
| Şekil 3.27. Mikrodenetleyiciye ait bağlantı uçları | 46 |
| Şekil 3.28. Reset devresi | 47 |
| Şekil 3.29. Kristal osilatör devresi | 47 |
| Şekil 3.30. LCD insan arayüzü devresi..... | 48 |
| Şekil 3.31. Kontrol devresi şematik çizimi | 49 |
| Şekil 3.32. Kontrol devresi için hazırlanan baskı devre şeması..... | 49 |
| Şekil 3.33. Silonun kesit alanına yerleştirilmiş online sensör..... | 51 |
| Şekil 3.34. Sıkıştırılmalı nem sensörünün kesitsel parçaları..... | 54 |
| Şekil 3.35. Tahıl taşıma ve silo doldurma sistemi | 55 |
| Şekil 3.36. Silodaki sensörün kurulması | 56 |
| Şekil 3.37. Sensör boyutları ve silo içindeki kurulumları..... | 57 |
| Şekil 3.38. Düzey ölçümünün fonksiyonel diyagramı | 59 |
| Şekil 3.39. WPS 50SX model nem analiz cihazı | 60 |
| Şekil 3.40. AJ-CE 420 model hassas terazi..... | 62 |
| Şekil 3.41. KETT marka PM-410 model tahıl nemölçer..... | 63 |
| Şekil 4.1. Kapasitif sensör..... | 66 |
| Şekil 4.2. Kapasitanstan Dijitale Dönüştürücüye (CDC) ait devre..... | 67 |
| Şekil 4.3. Kontrol devresi | 68 |
| Şekil 4.4. Deneyde kullanılan buğdaylar | 68 |
| Şekil 4.5. Fırında kurutulan tahılın saklanması..... | 71 |

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|---------------------|--|-------------------|
| C | : Potansiyel fark başına düşen yük miktarı | (Farad) |
| pF | : Picofarad | (10^{-12} F) |
| fF | : Femtofarad | (10^{-15} F) |
| aF | : Attofarad | (10^{-18} F) |
| Q | : Yük miktarı | (Coulombs) |
| ΔV | : Potansiyel voltaj farkı | (Volt) |
| E | : Elektrik alan | (V/m) |
| ϵ_0 | : Boşluğun dielektrik sabiti | (F/m) |
| ϵ_r | : Plakalar arasındaki materyalin bağıl dielektrik sabiti | (F/m) |
| ϵ_{r1} | : Saf suyun bağıl dielektrik sabiti | (F/m) |
| ϵ_{r2} | : Kuru tahılın bağıl dielektrik sabiti | (F/m) |
| ϵ_{r3} | : Tahılın içinde bulunan havanın bağıl dielektrik sabiti | (F/m) |
| a | : Silindirik kapasitörde iç silindirin yarıçapı | (m) |
| b | : Silindirik kapasitörde dış silindirin yarıçapı | (m) |
| ℓ | : Silindirik kapasitörde silindirin uzunluğu | (m) |
| A | : Paralel kapasitörlerde plaka alanı | (m^2) |
| L | : Tahıl seviyesi(Level) | (m) |
| d | : Paralel kapasitörlerde plakalar arası mesafe | (m) |
| K | : Dielektrik katsayısı | |
| σ | : Yüzeysel yük yoğunluğu | (Coulomb/ m^2) |
| CDC | : Capacitance to Digital Converter | |
| Σ - Δ | : Analogtan dijitale dönüştürmede kullanılan algoritma biçimi | |
| I ² C | : (Inter Integrated Circuit) serial bus protocol | |
| ADC | : Analog to Digital Converter | |
| N.T | : Nemli tahılın ağırlığı | |
| K.T | : Kurutulmuş tahılın ağırlığı | |
| LCD | : Liquid crystal display | |
| %N | : Yüzde cinsinden tahılın nem miktarı | |
| S.M | : Tahılın içinde bulundurmış olduğu su miktarının ağırlığı | |

T.D : Tahılın toplam dielektrik miktarı

1. GİRİŞ

Tahılların nem içeriği; hasat edilmeleri, depolanmaları, işlenmeleri, piyasaya sunulmaları, değerleri ve kalitelerinin belirlenmesinde devamlı göz önünde tutulması gereken en önemli parametrelerden biridir [1,2,3,4]. Aşırı nem içeren tahıllar uzun süre depolanmaları durumunda böcek, küf, fungi ve mantardan kaynaklanan zararlara maruz kalacak ve bozulacaklardır [5,6]. Bu yüzden tahıl ürünlerinde nem ölçümü büyük önem kazanmaktadır [7].

Nemölçerler, çiftçiler ve tahıl ticareti yapanlar için kullanılması zorunlu olan cihazlardır [7]. Ancak zorunlu ve gerekli olmasına rağmen şu an piyasada mevcut olan nemölçerlerdeki dönüşüm tabloları kullanıcılarının ölçümünü kolay bir şekilde okumasını sağlayabilecek düzeyde değildir [8]. Araştırmamız sonucunda geliştirilen tahıl nemölçer cihazı bu problemi ortadan kaldırmakla beraber direkt kullanıcıya nem içeriğini LCD ekranda göstermektedir. Geliştirmiş olduğumuz nem ölçüm cihazının içinde sıcaklık kompanzasyonu ve diğer dönüşüm parametreleri yazmış olduğumuz mikrodenetleyici yazılımı sayesinde otomatik olarak işlenip dönüştürülerek LCD'ye gönderilmektedir. Cihaz tasarlanırken düşük ücretli ve portatif bir ürün özelliği taşıması için de çalışılmıştır. Bu cihazda sensör olarak kapasitans kullanılmıştır.

Nemölçerin çalışma prensibi, tahıl ürününün dielektrik sabitinin değişiminin hesaplanmasına dayalıdır [24]. Nem içeriğinin değişimi tahılın dielektrik sabitini etkiler [9,10,11]. Bu da kapasitansta değişime yol açar [20]. Meydana gelen kapasitans değişimi voltaja dönüştürülüp işlem den geçirilerek miktarı hesaplanır [12,34]. Bu nem ölçüm cihazı istenen tahıl ürünlerinin parametreleri girilerek onların da nem içeriğini ölçmeye olanak sağlar. Bunun için kullanıcıların istenen tahıl grubu için ayrıca cihazı kalibre etmeleri gerekmektedir. Geliştirmiş olduğumuz cihazın teorik olarak %5-25 nem içeren tahılların nem içeriğini % 0.3 hata ile ölçmesi amaçlanmıştır.

Bir silo içerisindeki tahıl düzeyi ticari açıdan önemlidir. Bu çalışmaya ek olarak, bir silodaki tahıl düzeyini tespit etmek için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Mevcut yöntemler genel olarak silo içerisindeki tahıl tozuna bağlı olarak tahmini değerlere dayandırılmıştır. Burada amaçlanan; tahıl tozunun etkisini devreden çıkartıp tahıl düzeyinin tam olarak okunmasını sağlamaktır. Bu yöntem, paralel plakaların kapasitansının ölçümüne dayanmaktadır. Kullanılan yöntem, okumaları etkileyen farklı faktörleri elemek için matematiksel olarak geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, tahılların dielektrik sabitinin tespiti, endirekt ölçüm metotlarından olan kapasitif yönteminin geliştirilmesi, tahıllar için seviye ölçümünde yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve elde edilen sonuçların ülkemiz ve dünya endüstrisine aktarılması amaçlanmıştır.

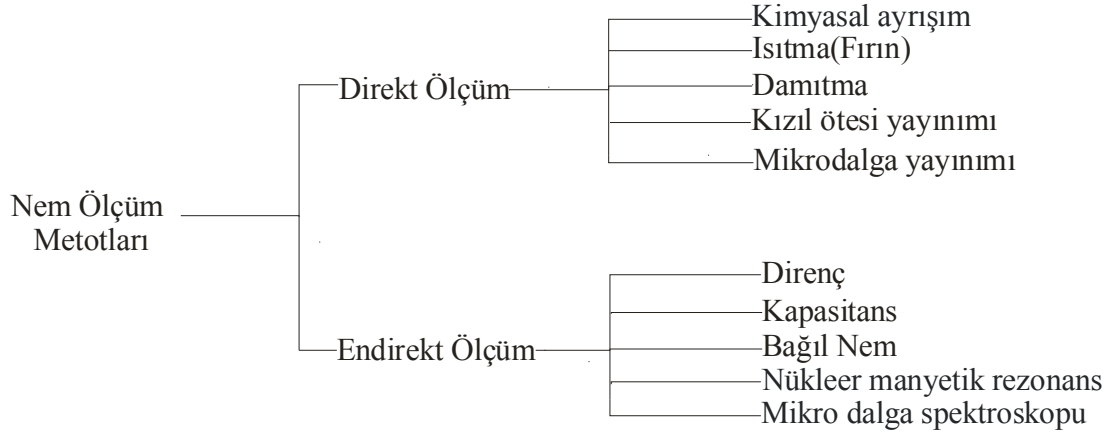
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tahılların kalitesini içerdikleri nem içeriği belirler [15]. Tahılların nem içeriği, optimum hasat edilme zamanının tespiti, depolama süresinin hesaplanması, maddi değerinin belirlenmesi ve araştırma-geliştirme uygulamaları gibi önemli sebeplerden dolayı bilinmelidir [2,7]. Tahılların nem ölçümünde geleneksel metodlar olan fırın-kurutma, damıtma, kurutucu maddeyle kurutma gibi metodlar çok zaman harcayan laboratuvar metodlarıdır [13,14]. Fakat alan etkili, kullanışlı, portatif tahıl nemölçer, çiftçilerin, tahıl depolama personellerinin ve gıda ürünleri pazarlayan kişilerin ihtiyaçlarını karşılamada hızlı ve kolay bir çözümdür [8,20].

Pazarlama ve depolama, nemin önemli bir rol oynadığı tahıl yönetiminde iki belirgin husustur [3,9,15,17]. Pazarlamada, satılan yada alınan tahılın ortalama nem içeriği önemlidir[15]. Örneğin, %14 nem içeriğine sahip 25,000 tonluk bir tahıl kargosu 3500 ton su ihtiva eder. Bu kargonun nem içeriği %13.5 olan tahıl barındırdığını varsayarsak su oranı 3375 ton olur. Kargo ücreti kilo başına 30 kuruş alındığında ortaya çıkan ücret farkı 37500 Ytl olmaktadır. Hem alıcının hem satıcının üstesinden gelmeleri gereken bu pahalı su miktarıyla ne kadar uğraşmaları gerektiği açıkça ortadadır. 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 [5,18,19]. Tahılın nem içeriğini tanımlamada kullanılan numunenin, düzgün bir nem dağılımı olduğu kabul edilmektedir[27]. Fakat tahıl depolama silolarından alınan örneklerin nem içeriği tahılın tüm bölgelerinde aynı olmamakla beraber dıştan içe doğru nem içeriği artmaktadır [4]. Bundan dolayı tahıl yığınının farklı noktalardan dıştan içe doğru örneklerin alınması ve bunların ortalaması hesaplanması gerekmektedir.

2.1. TAHILLARDAKİ NEM İÇERİĞİNİN ÖLÇÜM METODLARI

Tahıllardaki nem içeriğini belirleme metotları direkt ve endirekt metotlar olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılabilirler (Şekil 2.1.). Direkt metotlar tahıldaki suyun uzaklaştırılması ile nem içeriği değerini belirlemektedirler [13,14]. Örneğin, fırın metodunda tahıldaki su miktarı buharlaştırılarak üzerindeki nem sıfıra düşürülür ve su kaybından dolayı oluşan ağırlıktaki farkın ölçülmesiyle nem içeriği ölçülmüş olur. Endirekt metotlar, tahılın iletkenlik yada kapasitans gibi elektriksel bir özelliğinin ölçülmesini gerektirir [16,20,21,25]. Direkt metotlar, nem içeriğinin doğru ölçümlerini sağlamak için göz önünde tutulmalıdırlar. Direkt metotlar endirekt metotları daha hızlı ve daha pratik olarak kalibre etmede kullanılırlar.



Şekil 2.1. Tahıldaki nem içeriğinin ölçülmesine ait metotların sınıflandırılması

2.1.1. Direkt Metotlar

Direkt metotlar tahılı suyundan arındırmayla ilgili fiziksel işlemleri ele almaktadır. Tahılın belirleyici özellikleriyle uğraşmamaktadır.

I. Kimyasal ayrışım: Tahıllardaki suyun kimyasal olarak ayrışımından ibaret olan ve en doğru sonucu veren metottur. Kısaca, kimyasal metot sülfür dioksitin(SO₂) huzurunda su ile iyodun reaksiyona girmesine dayalı bir metottur. Bu yöntem pek az kullanılmaktadır çünkü çok zaman ve yüksek ücret gerektiren bir uygulamadır.

II. Isıtma(fırın): Tahılların nem içeriğini belirlemek için en çok tanınan metot fırın-kurutma metodudur. Bu metot temel metottur ve endirekt metotla kullanılan cihazların kalibrasyonunda kullanılır. Fırın kurutma metodunda iki genel prosedür mevcuttur. Birincisi tahılı öğütürerek 130 °C’de 1-2saatliğine kurutmaktır. İkincisi tahılları direkt olarak 72 ve 96 saatliğine 100 °C’lik fırında kurutmaya bırakmaktır. Tahıllar ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığına getirilmeleri için bir desikatör yada poşete transfer edilir. Böylece tahılın içerisinde ihtiva etmiş 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 baz yada kuru baza oranlanmasıyla belirlenir.

III. Damıtma: Ölçülecek tahıl örneği toluen ile karıştırılarak kaynatılır. Su buhar şeklinde tahıldan uzaklaştırılır ve ayrılan buhar toplanarak ne içeriği hesaplanır.

IV. Kızılötesi ve mikrodalga yayınımları: Kızılötesi ve mikrodalga enerjisinin her ikisi de tahıldaki ihtiva edilen suyu buharlaştırmada kullanılan bir yöntemdir. Bu iki yöntem genellikle diğer direkt yöntemlere göre daha hızlı bir sonuç vermektedir.

2.1.2. Endirekt Metotlar

Endirekt yöntem, materyalin nem içeriğine bağlı özelliklerinin ölçülmesiyle ilişkilidir [10,16,20,21]. Yukarıda açıklanan direkt metotlar, endirekt metotlara bağlı sistemleri kalibre etmede kullanılır.

I. Direnç: Bu tür nem ölçüm cihazları elektriksel bir akıma göre tahılın elektriksel direncinin ölçülmesine dayalı bir yöntemdir. Ölçülen direnç değeri tahıldaki nem içeriğini vermektedir. Ölçülecek olan tahıl örneği sıkıştırma hücreindeki iki elektrodun arasına yerleştirilir. Doğru ölçüm sonucuna ulaşmak için sıkıştırma hücreindeki tahıl, bilinen ve sabit bir değere sıkıştırılması gerekmektedir. Sıkıştırma işlemi düzgün yapılmadığı takdirde ölçülen direnç değeri sıkıştırma

oranıyla değiştiğinden ölçüm sonucu gerçek değerden uzak olacaktır. Ölçülecek tahıl değeri için sıcaklık düzeltme tablosu kullanılabilir. Sıcaklık değişimi tahılın direnç değerini değiştirdiğinden sıcaklık kompanzasyonu yapmak gerçeğe daha yakın ölçüm değerlerinin elde edilmesini sağlayacaktır.

II. Kapasitans: Ölçülecek tahıl yüksek bir frekans akımı tarafından tetiklenen kondansatör plakalarından düzenlenmiş kapalı bir kaba doldurulur. Doldurma işlemine yavaşça istenen ağırlık değerine kadar devam edilir. Sağlıklı ölçüm değerleri elde edebilmek için ölçüm cihazının ağırlık ölçüm düzeneğinin düzgün bir şekilde kalibre edilmiş olması ve 25 C^o'den farklı sıcaklık değerindeki tahıl örneği için sıcaklık farkından kaynaklanan düzeltmelerin yapılması gerekmektedir. Farklı türdeki her tahıl için bir kalibrasyon tablosuna ihtiyaç duyulur. Kapasitans ölçüm cihazı genel olarak direnç ölçüm cihazlarına göre daha doğru ve daha geniş nem içeriğine sahip olan tahılların nem içeriğini ölçebilmektedir [8].

III. Bağıl nem: Bu tür nem ölçüm cihazları tahıl taneleri arasındaki hava boşluğunun bağıl nemini ölçmektedir. Ölçülecek olan tahılı çevreleyen havadaki bağıl nem tahılın içerdiği nem miktarına bağlıdır. Değişik türde higrometreler bağıl nemi ölçmede kullanılır. Sıcaklığa bağlı düzeltme faktörü kullanılması gerekmektedir. Ölçümün doğruluğu ölçülecek olan tahılın etrafındaki nem dağılımının doğrusallığına bağlıdır. Bu yüzden, sağlıklı ölçüm yapılabilmesi için 1 saatten 2 saate kadar olan bir denge zamanına ihtiyaç duyulmaktadır.

IV. Nükleer manyetik rezonans: Bu ölçüm metodu, materyaldeki hidrojen çekirdeğinin taranmasına bağlı bir yöntemdir. Bu yöntem, ölçümü yapılacak tahıldaki hidrojen çekirdeğinin sayısıyla orantılı manyetizasyonun voltaja çevrilmesi esasına dayalıdır. Bu metot tahıldaki ve sudaki hidrojen atomunun toplamını ölçer ve tahılın kendi nem içeriğini esas almaz. Bu metodun avantajları; hızlı olması, güvenilirliğinin yüksek olması ve tahrip edici bir ölçüm tekniği olmaması şeklinde sıralanabilir. Metodun dezavantajları ise; metodun sudaki hidrojen atomu yerine toplam hidrojen atomu miktarını ölçmesi ve pahalı ekipmanlardan oluşmasıdır.

V. Mikro dalga spektroskopu: Bu ölçüm tekniği ise tahıldaki nem içeriğinin gönderilen dalganın genliğinin değişimini esas alan bir ölçüm metodudur. Tahıllardaki nem içeriği değişimi bağıl dielektrik sabitini değiştirdiğinden gönderilen ve ölçülen dalganın genliğini de değiştirecektir. Fakat bu metodun maliyeti yüksek olduğundan son kullanıcıya hitap etmemektedir [22,26].

Yapılan çalışmada kullanılan nem ölçüm metodu ise kapasitans (dielektrik) yöntemidir. Bu tekniğin altyapısında çalışan cihaz, nem içeriğinin doğrusal olmadığı ve fiziksel temasın iyi olmadığı durumlarda diğer endirekt cihazlardan daha az hata vermektedir. Bu metot iletkenlik (direnc) metodundan daha geniş aralıklarda nem ölçümüne izin vermektedir. Aynı zamanda düzgün kalibre edilmiş kapasitans metre, %3 doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bu oran gıda sektöründeki hemen hemen tüm pratik uygulamalar için tatmin edici bir değerdir. Araştırmamızda bu cihazın geliştirilmesiyle ilgili bir diğer amaç ise ölçüm hatasının en son teknolojinin sağlamış olduğu imkânlarla daha da iyileştirmektir.

2.2. SİLOLARDAKİ SEVİYE ÖLÇÜM METOTLARI

Kapasitif sensörler birçok uygulamada kullanıldığı gibi seviye ölçümünde de kullanılırlar [32]. Bazı sıvı düzeyleri kapasitif sensörler ile ölçülür [33,35,36]. Depolama için kullanılan silolardaki tahıl düzeylerinde aynı prensip uygulanabilir. Ancak, bu ölçümler tahıllar siloya dökülürken homojen olmayan dağılım ve tahılın düşük dielektrik sabitlerine ve toza bağlı olarak sıvı düzey ölçümlerinden çok daha zordur [9]. Bir tanktaki sıvı düzeyi için düşünülürse tankın doldurulması esnasında toz çıkma durumu olmamaktadır. Ancak tahıllar, dökülürken tahıldan kaynaklanan havaya yayılan tozlar içerir. Bu nedenle okumalar hatalı ve güvenilmez olmaktadır. Silolarda kullanılan düzey sensörleri azami doldurma düzeylerinin tespiti içindir [31]. Bu sensörler, silodaki güncel seviyeyi istendiği zaman ölçemezler daha doğrusu ancak belirlenen noktalardaki seviyeyi ölçebilmektedirler.

Sıvılar için genelde ultrasound sensörler ve fiber optik sensörler kullanılmaktadır. Ancak bu sensörlerin tahıl ölçümleri için bazı dezavantajları vardır

[35]. Ultrasound sensörler için sistem parçaları iyi akustik yankı özelliklerine sahip olmalıdır. Aksi halde ses dalgaları dağılacaktır. Ayrıca sıvının içinde gaz kabarcıkları varsa dalgalar dağılacaktır. Dağılma etkisi ve zayıf akustik yankı, katı düzey ölçümlerinde ultrasound sensörlerin sahip olduğu ana dezavantajdır. Tahıl siloları yükleme kapasitesini arttırmak için dalgalı materyallerden yapılmıştır. Silo duvarlarının dalgalı yapısı, ses dalgalarını kaçınılmaz şekilde dağıtmaktadır. Fiber optik sensörler optik bir dalga kılavuzu kullanırlar. Sıvılar için sensör üzerinde ince bir film tabakası kalacağından bu sensörün kapasitesini sınırlandırır. Ayrıca toz ve tanecikli cisimleri ihtiva eden tahıl gibi ürünlerde kullanımı uygun değildir [28,29,30,35].

Yapılan ek çalışmada silolarda ölçülmesi zor olan tahıl seviyesi ölçümünde iki adet referans sensörü kullanılarak nasıl kesin ölçüm yapılabileceği üzerinde durulacaktır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. KAPASİTANS VE DİELEKTRİK

3.1.1. Kapasitansın Tanımı

Bir kapasitör, aralarında izolatör olan birbirine paralel, silindirik yada küresel iki iletken plakadan oluşur. Bir kondansatörün kapasitesi geometrisine ve plakalar arasına konan dielektrik malzemeye bağlıdır. İki iletken aynı büyüklükte fakat zıt işaretli yükler taşır. Böyle bir sistem kapasitör olarak adlandırılır. İletkenler de plaka olarak isimlendirilir. Zıt işaretli yüklerden dolayı oluşan plakalar arasındaki potansiyel farka ΔV denir.

Kapasitans tanımına göre, plakalar üzerinde biriken Q yüküyle plakalar arasındaki ΔV voltajı doğru orantılıdır. Yani, $Q \propto \Delta V$ dir. Eşitlikteki orantı sabiti iletkenin şekline ve iletkenlerin birbirinden ayrılma mesafelerine bağlıdır. Bu eşitlik $Q = C \cdot \Delta V$ şeklinde tanımlanır. C kapasitansı iletkenler arasındaki potansiyel farkı başına düşen yük miktarının büyüklüğüdür.

$$C \equiv \frac{Q}{\Delta V} \quad (3.1.)$$

C = İletkenler arasındaki potansiyel fark başına düşen yük miktarı.

Q = Toplam yük miktarı.

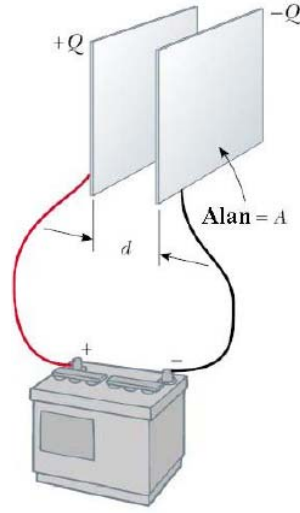
ΔV = Uygulanan potansiyel fark.

Dikkat edilirse kapasitans daima pozitif bir nicelik, büyüklüktür. Q ve ΔV değerlerine bağlı C kapasitansı formül 3.1.'deki gibi verilir. Potansiyel fark arttıkça depolanan yük miktarı da doğrusal olarak artar. Paralel plakalı ve silindirik plakalı kapasitörlerde $Q/\Delta V$ oranı her zaman sabittir. Kapasitans elektrik yükü depolayabilme kabiliyetidir. İletken levhalar negatif ve pozitif olarak yüklendikleri için sistemde elektrik potansiyel depolanmış olur.

Kapasitansın değeri SI birim sisteminde Coulomb/Volt(C/V) tur. Michael Faraday anısına kapasitansın SI birim sistemindeki birimi Farad (F) dır.

$$1F = 1C / V$$

Farad kapasitanslar için çok büyük bir değerdir. Pratikte tipik kapasitans değerleri mikrofarad'tan ($10^{-6} F$) pikofarad'a ($10^{-12} F$) kadar değişmektedir. Mikrofarad için μF kullanılır, mikrofarad için bazen Yunan alfabesinin kullanılmadığı yerlerde "mF" ve mikromikroFarad "mmF" yani pikoFarad'a "pF" eşit simge kullanılır.



Şekil 3.1. Yüzey alanı A ve aralarındaki uzaklık d olan iki iletken paralel-plakadan oluşan kapasitör

Kapasitörün levhaları bir bataryanın uçlarına değdirilince aynı yük miktarıyla fakat biri negatif diğeri pozitif yani zıt işaretli elektrik yükü ile depolanır (Şekil 3.1.).

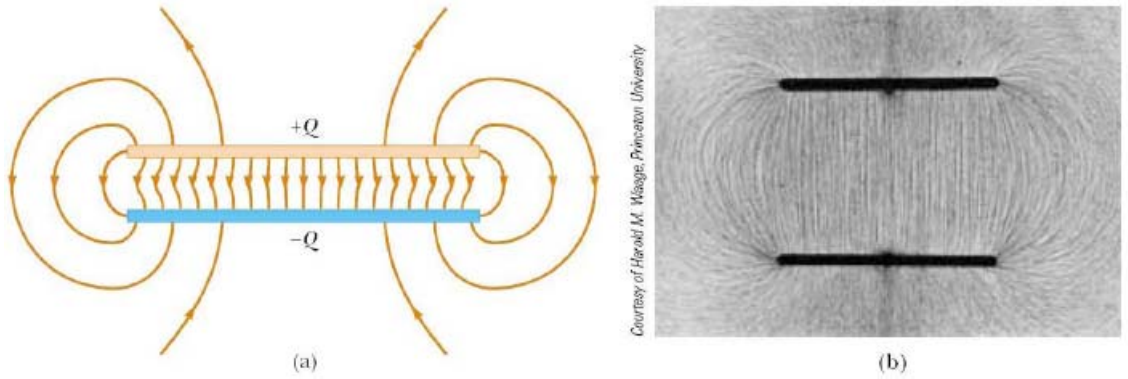
3.1.2. Kapasitansın Hesaplanması

Zıt işaretli yüklerle yüklenmiş iletken plakaların kapasitans değeri formül 3.1.'den hesaplanır. Kapasitans değeri, iletken levhaların geometrisine bağlıdır. Kapasitans hesaplamasında paralel plakalı ve aynı merkezli silindirik plakaların hesaplanması ele alınacaktır.

3.1.2.1. Paralel-plakalı kapasitör

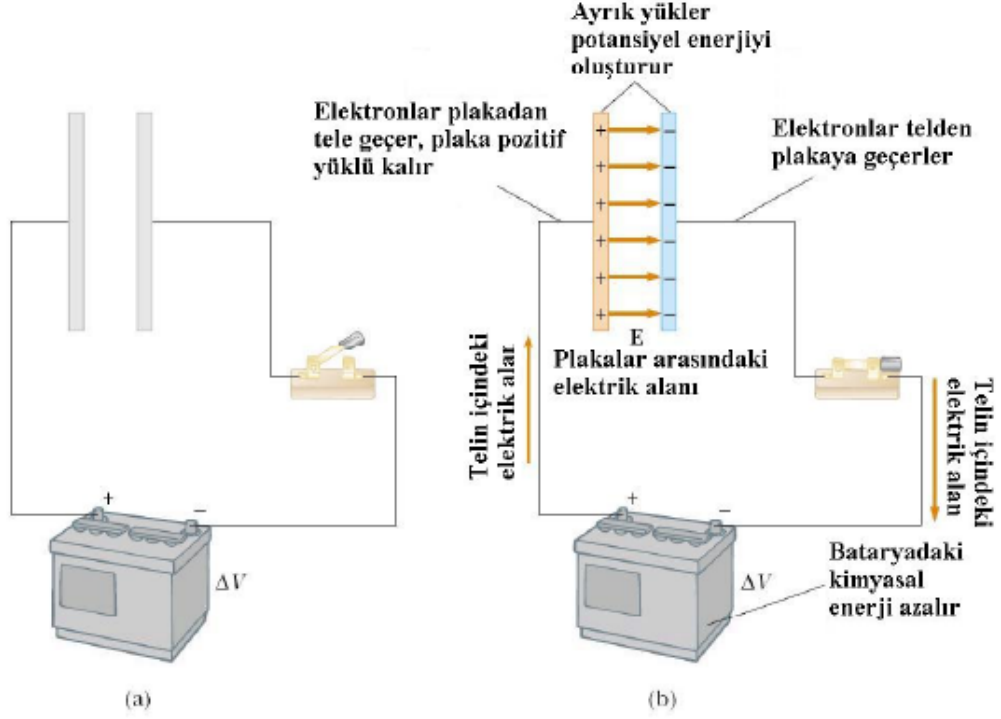
Yüzeyleri A ve aralarındaki uzaklık d olan iki metal plaka şekil 3.2.a.'daki gibi yerleştirilmişlerdir. Plakalardan biri Q , diğeri ise $-Q$ yükü taşımaktadır. Kapasitör, bir batarya ile doldurulduğunda elektronlar bir levhada toplanırken diğeri levhada boşluklar oluşacaktır. Plakaların yeteri kadar 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. Levhalar arasının yeteri kadar küçük ve levhalar içinde herhangi bir yük hareketinin olmadığı kabul edilirse plakalar arası potansiyel farkın büyüklüğü $\Delta V = E \cdot d$ 'ye eşit olacaktır. Bu demektir ki kapasitör gerilimi ve bataryanın uçları arasındaki potansiyel fark aynıdır. Batarya ile plakalar arasındaki tellerde bir potansiyel farkın olmadığı kabul edilir. Plakalar arası mesafe artırılırsa levhalarda depolanabilecek yük miktarı azalır. Bu demek oluyor ki kapasitans değeri levhalar arası uzaklık olan d ile ters orantılıdır. Paralel plakalı levhaların kapasitans hesabı formül 3.2. kullanılarak hesaplanır.

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (3.2.)$$



Şekil 3.2.a. Paralel plakalı kapasitörlerde elektrik alan çizgilerinin dağılımı b. Paralel plaka arasındaki elektrik alanının yağ içindeki küçük parçacıkları etkileyişinin fotoğrafı

Paralel plakalı kapasitörlerde plakalar arasındaki elektrik alanı, plakaların orta kısımlarında düzgün iken kenarlarda düzgün olmamaktadır (Şekil 3.2.a.). Zıt işaretli yüklerle yüklenmiş iki paralel plaka arasındaki elektrik alanının yağ içinde elektrik alandan etkilenen küçük parçacıklarla şekil 3.2.b.'de gösterilmiştir.

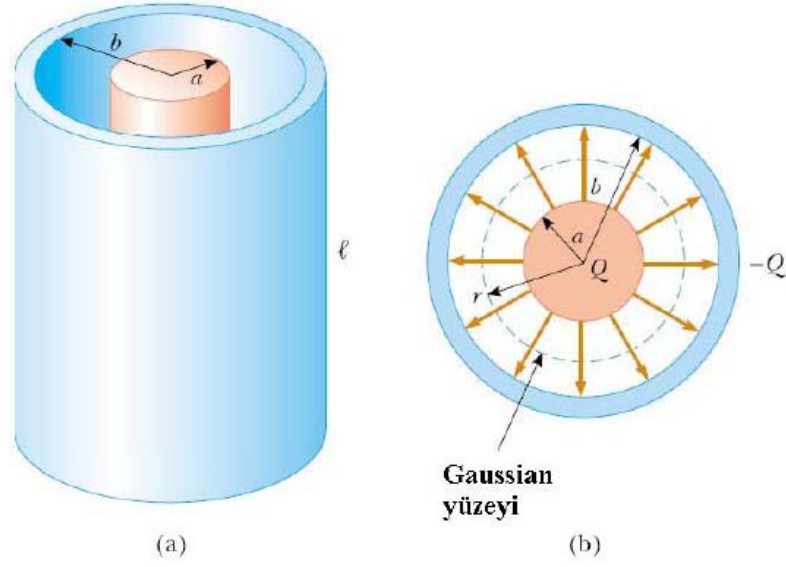


Şekil 3.3.a. Kapasitör, batarya ve anahtardan oluşan devrede anahtar açık b. Anahtar kapalı

Şekil 3.3.a.'daki Anahtar kapatılırsa, bataryanın tel içinde oluşturduğu elektrik alanı elektronların sol taraftaki plakadan sağ taraftaki plakaya geçmesine neden olur (Şekil.3.3.b.). Elektrik yüklerinin bu şekilde paylaşılması devre sisteminin elektrik potansiyel enerjisini artırırken bataryadaki kimyasal enerjiyi azaltır (enerji bir durumdan diğerine geçmiştir).

3.1.2.2. Silindirik-plakalı kapasitör

ℓ uzunluklu, yarıçapı a olan $+Q$ yüklü iletken bir silindir ve bunun dışına silindirik eksenleri aynı olmak üzere kalınlığı ihmal edilebilecek kadar küçük yarıçapı b olan $-Q$ yüklü yine ℓ uzunluğunda iletken bir silindirden oluşturulmuş sisteme silindirik-plakalı kapasitör denir (Şekil 3.4.a).



Şekil 3.4.a. İç yarıçapı a ve uzunluğu ℓ olan silindir ile etrafı b yarıçaplı aynı eksenli silindir ile çevrelenmiş kapasitör sistemi b. Kesit görünümü

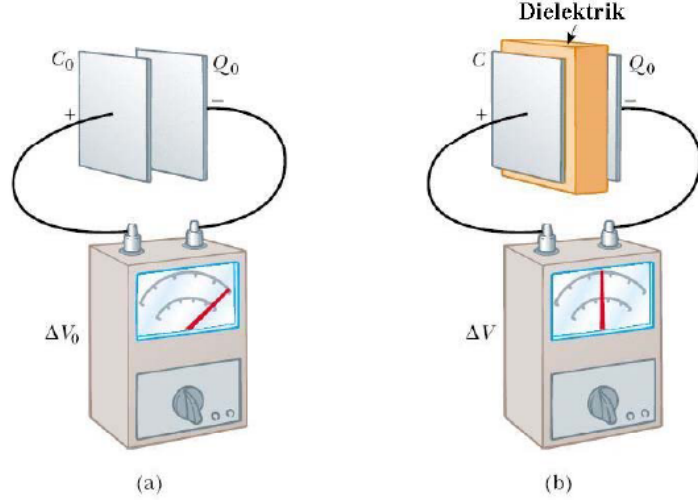
Şekil 3.4.b.'yi göz önüne aldığımız zaman elektrik alan çizgileri radyal doğrultuda olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 3.4.b.'deki kesikli çizgiler yarıçapı r ve uzunluğu ℓ olan silindirik gaussian yüzeyini belirtmektedir. Silindirik kapasitörlerde kapasitans hesabını formül 3.3.'ü kullanarak elde ederiz.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\ell}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (3.3.)$$

3.1.3. Dielektrikli Kapasitörler

Dielektrik, elektriği iletmeyen malzemeler için kullanılmaktadır. Örneğin plastik, cam, kâğıt vs. Bir kapasitörün levhaları arasına dielektrik malzeme konursa kapasitörün değeri artmaktadır. Bu artışı göstermek için boyutsuz K simgesi kullanılır ve bu değere dielektrik sabiti denir. Dielektrik sabiti malzemenin malzemeye değişir, yani malzemelerin fiziksel olarak ayırt edici bir özelliğidir. Bu çalışmada tahılların nem içeriğini ölçmek için tahılların ayırt edici özelliği olan dielektrik sabitlerinden faydalanılmıştır. Tahıl ürünlerinde 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 tahıl ürünleri için ayırt edici bir özelliktir.



Şekil 3.5.a. Yüklü kapasitörün levhaları arasına dielektrik malzeme konmadan öncesi
b. Dielektrik malzeme konduktan sonrası

Plakalar arasına şekil 3.5.b.'deki gibi bir dielektrik malzeme konduğu zaman yük miktarı sabit kalmaktadır, fakat potansiyel farkı ΔV_0 'dan $\Delta V = \Delta V_0 / K$ 'ya düşmektedir. Bu durumda kapasite değeri C_0 'dan KC_0 'a artar.

Paralel plakaları arasında herhangi bir malzeme olmayan levhalar üzerindeki yük miktarı Q_0 ve kapasitansı C_0 olan bir kapasitör göz önüne alındığında plakalar arasındaki potansiyel farkı $\Delta V_0 = Q_0 / C_0$ şeklinde olacaktır (Şekil 3.5.b.). Fakat plakalar arasına bir dielektrik malzeme konursa potansiyel farkı önceki değerinden daha düşük olur. Bu yeni potansiyel farka ΔV denirse, Formül 3.1.'de ΔV potansiyel fark değeri formül 3.5.'te yerine koyulursa çıkacak olan yeni C kapasitans değeri eski C_0 kapasitans değeri cinsinden formül 3.6.'daki gibi yazılabilir.

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{K} \quad (K > 1 \text{ olduğundan } \Delta V < \Delta V_0) \quad (3.4.)$$

$$C = \frac{Q_0}{\Delta V} = \frac{Q_0}{\Delta V_0/K} = K \frac{Q_0}{\Delta V_0} \quad (3.5.)$$

$$C = KC_0 \quad \text{Kapasite değeri artmaktadır.} \quad (3.6.)$$

İzolatörlerin K değerleri 1'den ve havanın dielektriğinden büyüktür. Dielektrik, kapasitörlerin bazı özelliklerini değiştirirken çeşitli avantajlar sağlar:

- Kapasitansı artırır.
- Çalışma gerilimini artırır.
- Plakalar arasında mekanik destek sağlar, böylelikle plakaların birbirine yaklaşmasını engeller.

Çeşitli malzemelerin oda sıcaklığındaki dielektrik sabitleri ile dielektrik sertlikleri çizelge 3.1.'de verilmiştir. Tahıllar için 25 °C'de yaklaşık değer 5'tir.

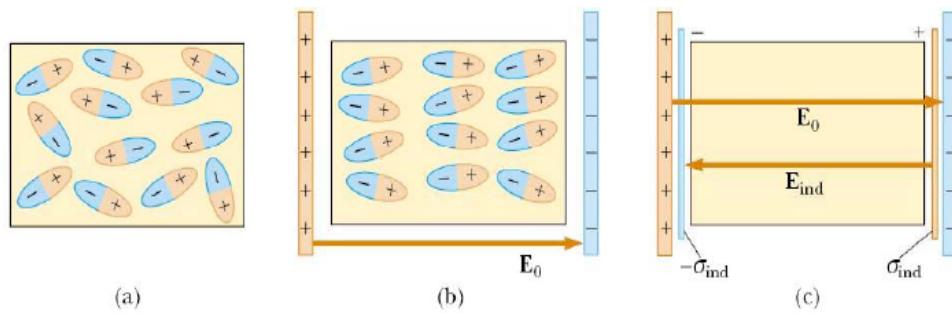
Çizelge 3.1. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin yaklaşık dielektrik sabitleri

| Malzeme | Dielektrik sabiti (K) | Dielektrik sertliği (10 ⁶ V/m) |
|--------------------|-----------------------|---|
| Hava (kuru) | 1.00059 | 3 |
| Bakalit | 4.9 | 24 |
| Erimiş kuartz | 3.78 | 8 |
| Mylar | 3.2 | 7 |
| Neoprene rubber | 6.7 | 12 |
| Naylon | 3.4 | 14 |
| Kâğıt | 3.7 | 16 |
| Parafinli kâğıt | 3.5 | 11 |
| Polistiren | 2.56 | 24 |
| Polyvinyl chloride | 3.4 | 40 |
| Porselen | 6 | 12 |
| Payrex cam | 5.6 | 14 |
| Silikon yağ | 2.5 | 15 |
| Strontium titanate | 233 | 8 |
| Tahıl(Grain) | 5 | - |
| Teflon | 2.1 | 60 |
| Vakum | 1.00000 | - |
| Su | 80 | - |

3.1.4. Dielektriklerin Atomik Tanımı

Kapasitörün levhaları arasındaki potansiyel farkın plakalar arasına bir dielektrik malzeme konduğunda ΔV_0 'dan $\Delta V_0 / K$ 'a düşmektedir. Bunun anlamı ara bölgedeki elektrik alanının zayıfladığını belirtir. E_0 dielektrik olmadan önceki elektrik alanı ise plakalar arasına bir dielektrik malzeme konduktan sonraki elektrik alan $E = E_0 / K$ olacağı anlamına gelir.

Kapasitör levhaları arasına konan dielektrik malzemenin kutuplu moleküllerden oluştuğu kabul edilirse malzeme içindeki dipoller (kutuplu moleküller) elektrik alanı yokluğunda şekil 3.6.a.'daki gibi rasgele düzenlenir. Plakalar arasında E_0 elektrik alanı oluşturulunca, dipoller üzerine döndürme kuvveti etki eder ve dipoller alan yönünde düzenlenmeye zorlanır (Şekil 3.6.b.). Yani dielektrik malzeme kutuplanmıştır. Dipollerin yönelimleri uygulanan elektrik alanının büyüklüğüne bağlıdır. Dielektrik malzemenin içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı azaltılırsa dipollerin yönelimi artar. Malzeme içindeki moleküller bir elektrik alan uygulandıktan sonra kutuplu hale geliyorsa, bu şekildeki bir etki dipol momentinin indüklenmesi olarak açıklanabilir. Dipol momentleri dış elektrik alan ile düzenlenirler. Molekül polarize olsun veya olmasın elektrik alan ile kutuplu hale getirilebilir.



Şekil 3.6.a. Kutuplu moleküllerin elektrik alan yokluğunda hali b. Elektrik alan uygulandıktan sonraki hali c. Dielektrik malzemenin oluşturmuş olduğu E_{ind} alanı

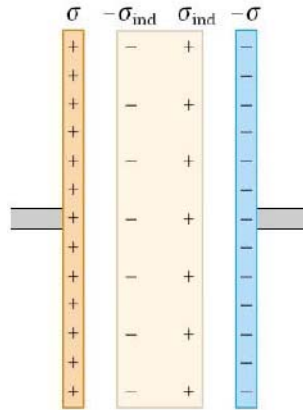
Şekil 3.6.a.'daki gibi tabaka şeklindeki bir dielektrik malzemeyi elektrik alanı E_0 olan bir kapasitörün plakaları arasına konursa sağa doğru yönelmiş olan E_0

elektrik alanı dielektrik malzemeyi Şekil 3.6.b.'deki gibi kutuplar. Elektrik alan, dielektrik malzemedeki yüzeye yakın yüklerden pozitif olanları sağ tarafta indüklenmiş halde yüzeysel yük yoğunluğu σ_{ind} olacak şekilde ve sol tarafta da eşit büyüklükte negatif yüzeysel yük yoğunluğu $-\sigma_{ind}$ olacak şekilde düzenler (Şekil 3.6.c.). Paralel plakalar ile oluşan bu yüzeysel yük dağılımı dielektriğin içinde E_0 'a zıt yönde indüklenmiş bir elektrik alanı E_{ind} oluşturur. Bu durumda net elektrik alanı formül 3.7.'deki gibi olur.

$$E = E_0 - E_{ind} \quad (3.7.)$$

Paralel plakalar arasındaki dış elektrik alanı E_0 plakalar üzerindeki yük yoğunluğu dağılımı σ 'ya $E_0 = \sigma/\epsilon_0$ şeklinde bağlıdır (Şekil 3.7.). İndüklemeye oluşturulmuş elektrik alanı indüktif yük yoğunluğu σ_{ind} 'e $E_{ind} = \sigma_{ind}/\epsilon_0$ şeklinde bağlıdır. Oluşan yük yoğunluğuna bağlı E elektrik alanı formül 3.8.'de verilmiştir. İndüklemeye oluşturulmuş yükler metal plakalardaki yüklerden sayıca daha azdır.

$$E = E_0/K = \sigma/K.\epsilon_0 \quad (3.8.)$$

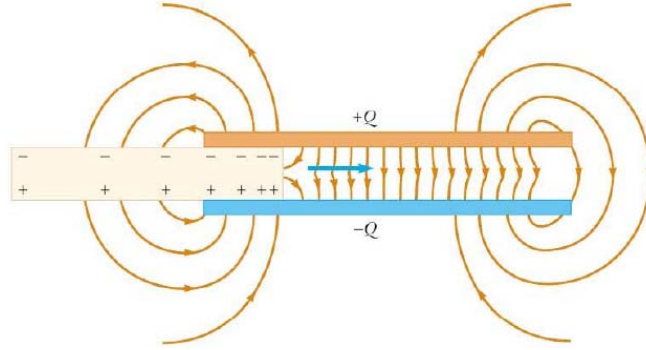


Şekil 3.7. Plakalar arasındaki dielektrik malzemenin indüktif yükleri

3.1.5. Plaka Kenarlarındaki Kaçak Elektrik Alan

Paralel plakaların kenarlarındaki elektrik alanının düzgün olmaması dielektrik malzemeyi kapasitörün plakaları arasına doğru çeker (Şekil 3.8.). Elektrik alan

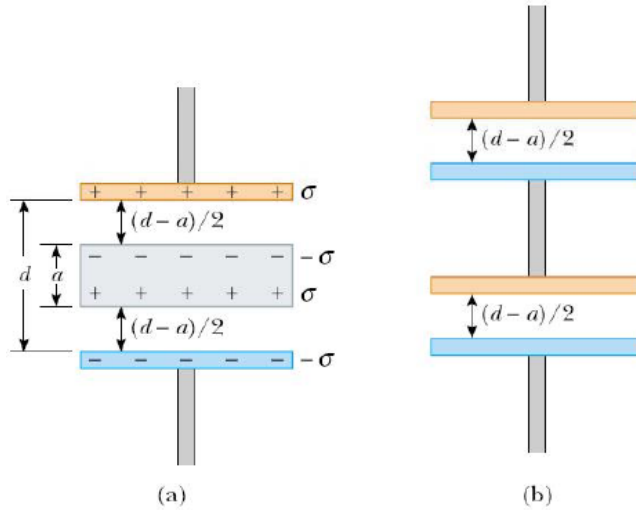
dielektrik malzemenin yüzeyindeki düzgün şekilde dağılmamış elektriksel yükleri etkiler. Kenarda oluşan bu elektrik alan kaçak alan denir ve aradaki mesafe ile artar.



Şekil 3.8. Paralel plakaların kenarında oluşan kaçak elektrik alan

3.1.6. Metalik Tabakanın Etkisi

Paralel plakalar arasına konan metal tabaka kapasitansı ikiye bölmektedir. Şöyle düşünülebilir. Araya konan metal tabakanın etkisi sonucunda iki tane seri bağlanmış kapasitör meydana gelir. Şekil 3.9.a. incelendiğinde a kalınlığındaki metal tabaka ile aralarındaki uzaklık d olan paralel-plakadan oluşan kapasitörün Şekil 3.9.b.'deki eşdeğer elektrik devresi plakalar arası uzaklık $(d - a)/2$ olan birbirine seri bağlı iki kapasitörden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.9.a. Plakalar arasına konulmuş metal tabaka b. Oluşan eşdeğer devre

Oluşan seri kapasitörlerin aralarındaki mesafeler eğer metal tabaka tam ortalanarak konmuş ve kalınlığı a olursa, oluşan yeni kapasitörlerin mesafesi $(d-a)/2$ olur. Fakat bu metal tabakanın kalınlığı olan a eğer çok küçük olursa formül 3.9.'deki gibi hesaplanır.

$$C = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\varepsilon_0 A}{d-a} = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \text{ olur.} \quad (3.9.)$$

3.1.7. Kısmen Dolu Kapasitör

Aralarındaki mesafe d olan ve levhaları arasında herhangi bir dielektrik malzeme bulunmayan paralel plakalı kapasitörün kapasitansının C_0 olduğu kabul edilirse, bu levhalar arasına dielektrik sabiti K olan ve kalınlığı $d/3$ olan bir dielektrik malzeme ile doldurulduğunda kapasitörün son hali Şekil 3.10.a.'daki gibi olacaktır. Oluşan kapasitörün eşdeğer devresi seri bağlı iki kapasitör şekil.3.10.b'deki gibi ifade edilir. Oluşan yeni devredeki kapasitans şu şekilde hesaplanır.

$$C_1 = \frac{K\varepsilon_0 A}{d/3} \text{ ve } C_2 = \frac{\varepsilon_0 A}{2d/3}$$

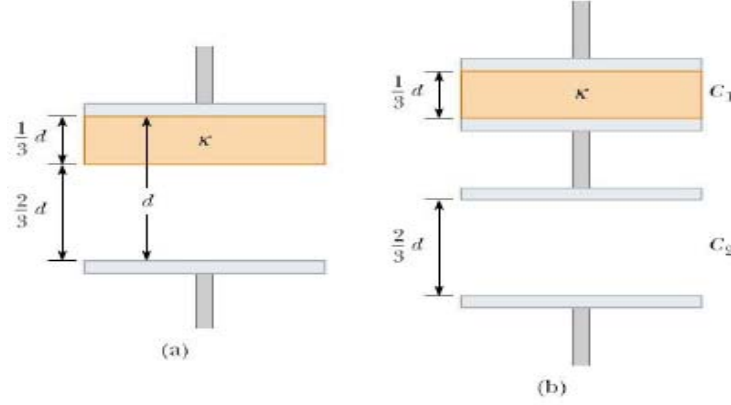
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{d/3}{K\varepsilon_0 A} + \frac{2d/3}{\varepsilon_0 A}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{d}{3\varepsilon_0 A} \left(\frac{1}{K} + 2 \right) = \frac{d}{3\varepsilon_0 A} \left(\frac{1+2K}{K} \right)$$

$$C = \left(\frac{3K}{2K+1} \right) \left(\frac{\varepsilon_0 A}{d} \right)$$

$$C_0 = \varepsilon_0 A/d \text{ Olduğundan.}$$

$$C = \left(\frac{3K}{2K+1} \right) C_0 \text{ Olur.}$$



Şekil 3.10.a. $d/3$ kalınlıklı dielektrik malzemeli kapasitör b. Eşdeğer devresi

3.2. KAPASİTİF ÖLÇÜM

Sensor olarak kullanılan plakaların kapasitelerini ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kapasitansın şarj ve deşarj sürelerini ölçmek suretiyle kapasitesini hesaplamaya dayalı yöntemlerdir. Bunu gerçekleştirebilmek için tasarım mühendisleri ilk olarak kapasitansı voltaja dönüştürmüşlerdir. Daha sonra bu voltajı analog-dijital dönüştürücü kullanarak dijital ortama taşımışlardır. Fakat bu, oluşturulurken çok kompleks ve yüksek maliyetli devreler ortaya çıkmıştır. Klasik kapasitans ölçüm metotları aşağıdaki gibidirler.

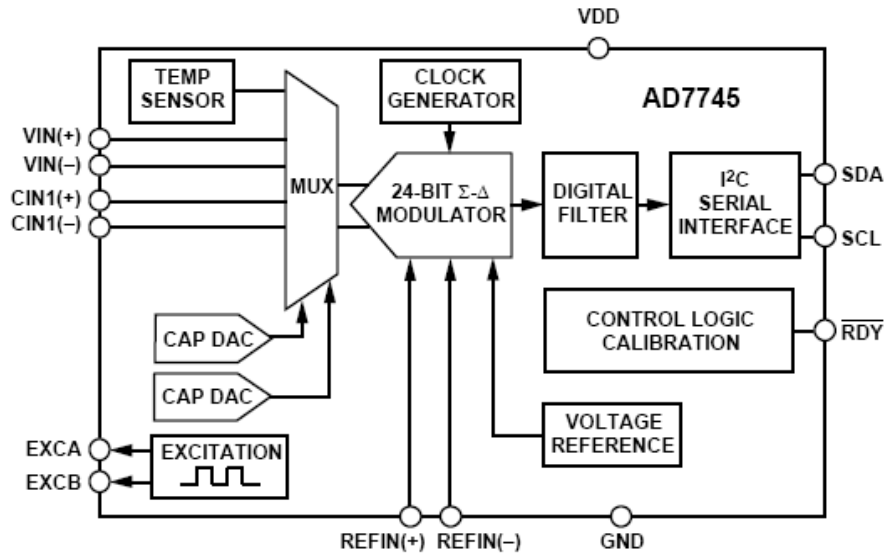
- Direkt ölçüm metodu; sabit akım kaynağıyla belirli bir süre için kapasitörü şarj etme ve daha sonra kapasitörün üzerindeki voltajı ölçmeye dayalıdır. Bu metot, tetikleme akımı için akımı düşük ve tutarlılığı yüksek bir başka deyişle hassas bir akım kaynağı gerektirmektedir. Kapasitörün üzerindeki voltajı ölçmek için ise çok yüksek empedanslı voltaj dönüştürücü kullanılmalıdır. Bu yöntemin gerektirdiği hassasiyeti sağlayacak elektronik devre elemanlarını sağlamak yeterince mümkün olmadığından, bu yöntem genellikle yüksek doğruluk istemeyen, en temel ölçüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır.

- İkinci metotta ise kapasitör ile bir RC osilatörü oluşturulduktan sonra bu osilatörün frekansı ya da periyodu ölçülür. Kapasitans değişimi burada devrenin frekansını değiştirmektedir. Bu metot basit olmakla beraber yüksek doğruluk isteyen yerlerde kullanılmamaktadır.
- Bir diğer metot kapasitörün AC empedansını ölçmeyle ilgilidir. Bu ölçüm metodunda bir sinüzoidal sinyal kaynağı kapasitansı tetikler bunun akabinde kapasitörün üzerindeki akım ve voltaj değeri ölçülür. Kapasitörde dört telli bir bağlantı ve senkron bir demodülatör kullanılması durumunda en doğru sonucu veren ölçümlerden biri elde edilmiş olur. Bu yöntem çok kompleks olmakla beraber maliyeti de çok yüksektir. Fakat bunların yanında tatmin edici doğrulukta değerler verdiği de unutulmamalıdır.
- En çok kullanılan ara yüz metodu ise ölçülecek olan kapasitansın değerini referans kapasitör cinsinden voltaja çeviren bir şarj amplifikatörü kullanılmasına dayanan bir ölçüm metodudur.

Yapılan çalışmada, Analog Device'in üretmiş olduğu kapasitans dijital dönüştürücü (Capacitance-to-Digital Converter (CDC)) olan tümleşik devre kullanılmıştır. Bu dönüştürücü içinde; ayrı olarak kullanılan tetikleme kaynağı, sigma-delta analog-dijital dönüştürücü, dijital filtre, kontrol lojik ünitesi ve tümleşik haberleşme ara yüzü bulundurmaktadır. CDC, bunların hepsini tümleşik bir entegrede ve 32 mm²'lik bir alana sıkıştırmakla tasarım mühendislerinin işini bir hayli kolaylaştırmıştır. Bu saydıklarımızın hepsinin tümleşik bir entegrede toplanması ve entegreye haberleşme ara yüzünün dijital olarak eklenmesi, ölçümdeki hata miktarını azaltmakla kalmayarak ölçümün doğruluğunu ve tutarlılığını da çok yüksek seviyelere çıkarmıştır. Projede bu entegrenin özellikle seçilmesinin nedeni de yukarda vurgulanan sahip olduğu özelliklerdir. Şu an için ülkemizde kullanılmayan bu entegreyi üretici firma AD7745 adıyla piyasaya sürmektedir. Bu entegrenin nasıl kullanılacağını işleyerek bu teknolojiyi yakalayabilmek ve bunun ülkemizde de kullanılmasına yardımcı olmak projenin önemli amaçları arasındadır.

3.2.1. Kapasitans-Dijital Dönüştürücü'nün (AD7745) Genel Özellikleri:

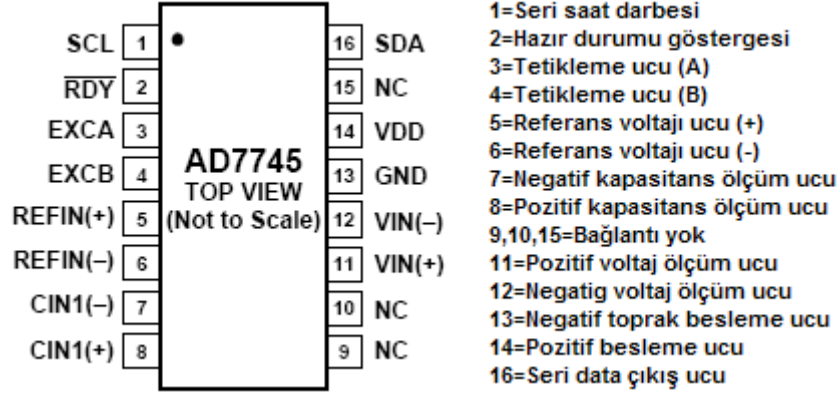
AD7745, yüksek çözünürlüklü bir Σ - Δ (Sigma-Delta) kapasitans-dijital dönüştürücüdür. Ölçülecek olan kapasitans herhangi bir ek devre elemanı gerektirmeden entegrenin ölçüm uçlarına bağlanır. AD7745'in mimarisi; 24 bit'lik yüksek çözünürlüklü dönüştürücü, ($\pm 0.01\%$) yüksek doğrusalık ve (± 4 fF fabrika kalibrasyonlu) yüksek doğruluktan oluşmaktadır. AD7745'in kapasitans ölçüm aralığı ± 4 pF olmakla beraber programlanarak 21 pF'a kadar çıkabilmektedir. Aynı zamanda içerisinde $\pm 2^\circ\text{C}$ doğrulukta çalışan ve 0.1°C çözünürlüklü sıcaklık sensörü bulunmaktadır. AD7745'in içinde ihtiva ettiği analog-dijital dönüştürücü 24 bit çözünürlüktedir. Dönüştürücü, içinde mikrodenetleyici ile haberleşmesine yarayan iki telli senkron seri haberleşme olan I²C protokolünü barındırmaktadır. ADC'nin işlevini yerine getirmesi için ihtiyacı olan güç kaynağı 2.7 V ile 5.25 V, çalışma sıcaklığı ise -40°C ile $+125^\circ\text{C}$ aralıklarında olması gerekmektedir. AD7745'in fonksiyonel blok diyagramı şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. AD7745'in fonksiyonel blok diyagramı

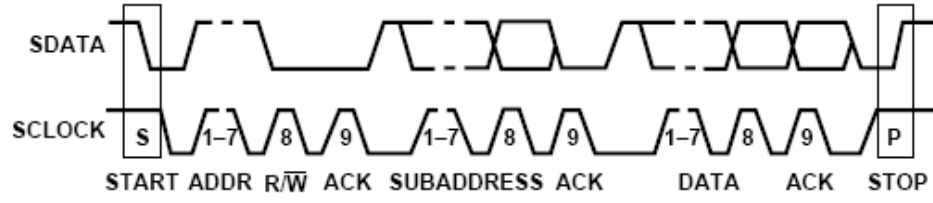
Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi AD7745 entegresi; tetikleme (excitation), karıştırıcı(mux), 24-Bit analog-dijital dönüştürücü(ADC), dijital filtre ve I²C protokolü bölümlerinden meydana gelmiştir. AD7745'in tetikleme uçları olan EXCA ile CIN(+) pinlerine ölçülecek olan kapasitörün uçlarını bağlamak sureti ile

kapasitördeki mevcut kapasitif değer ölçülebilmektedir. Entegrenin tetikleme frekansı 32 kHz olmakla beraber genliği Vdd'den Vdd/4'e kadar ayarlanabilmektedir. Şekil 3.11.'de görülen CAP DAC'lar ise negatif kapasitör görevini yapmaktadır. Ölçülen değer 24-Bit ADC'den ikili (binary) kodlara dönüştürülerek filtre edildikten sonra seri olarak mikrodenetleyiciye gönderilirler. AD7745'in pin konfigürasyonu şekil 3.12.'de görülmektedir.

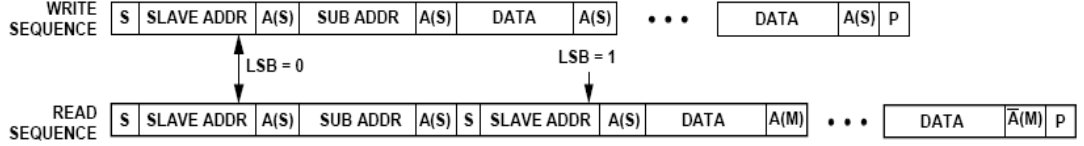


Şekil 3.12. AD7745'in pin konfigürasyonu

Yapılan uygulamada, şekil 3.12.'de görülen entegrenin 1,2,3,8,13,14 ve 16 numaralı uçları kullanılmıştır. Bu uçlardan 1 ve 16 numaralı uçlar mikrodenetleyicinin seri haberleşme kısmına 4.7 k Ω 'luk dirençlerle +5Volt'a bağlanarak voltajın yukarı çekilmesi(Pull Up) sağlanmıştır. Bunun sebebi I²C protokolündeki güvenlikten kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, haberleşen iki entegre birbirlerine sadece lojik-0 yani 0 Volt iletmektedirler, +5Volt göndermek için gönderici kısım çıkışını yüksek empedans yaparak +5Volt'un direnç üzerinden akmasını sağlamaktadır. Böylece haberleşme sırasında olası voltaj çakışmaları yani kısa devre olayları ortadan kaldırılmış olur. Besleme kısmı olan 13. ve 14. uçlara +5Volt gerilim uygulanmıştır. Ölçüm yapılacak kapasitör 3. ve 8. uçlara bağlanmıştır. Son olarak RDY ucu 1k k Ω 'luk direnç ile +5Volt'a bağlanmıştır. AD7745'in haberleşme protokolüne ait dalga gösterimi ve yazma-okuma sıralamasına ait gösterimler şekil 3.13.a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13.a. AD7745'in seri haberleşmesine ait dalga gösterimi



Şekil 3.13.b. AD7745'in seri haberleşmesine ait yazma ve okuma sıralaması

AD7745 haberleşmek için 7-bitlik adres kullanılmaktadır. Veri yazmak ve okumak için gerekli adres değerleri sırasıyla 90hex ve 91hex (16'lık sayı tabanı)'dir. Haberleşmeyi başlatmak için mikrodenetleyici ilk olarak start koşulunu başlatmalıdır. Daha sonra AD7745'in Slave Adres'i olarak tabir edilen ve gereken 91hex (okumak için) ve 90hex (yazmak için) adres verisini sclock'un yükselen kenarında sdata hattına sürmesi gerekmektedir. Bundan sonra mikrodenetleyici AD7745 adreslendiğine dair bilgilendirme yani lojik-0 palsını alması gerekmektedir. Mikrodenetleyicinin aldığı bu palsa bilgilendirme (ACK) palsı denir. Mikrodenetleyici artık AD7745'in içinde bulunan kayıt defterinden (register) istediği bilgiyi alabilir. Bunu yapabilmesi için gerekli kayıt defterinin adresini girmesi gerekmektedir. Bunu girip gönderdikten sonra tekrar alındı bilgisi AD7745'ten alınır ve daha sonra kayıt defterindeki bilgi mikrodenetleyiciye aktarılır. Bu işlemlerin hepsi senkron olarak yapılmaktadır.

3.2.2. AD7745'in Kayıt Defterinin Tanımı

Çizelge 3.2. AD7745'e ait register değerleri ve açıklamaları

| Register | Address Pointer | | Dir | Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
|--------------|-----------------|-------|-----|---|-------------------|----------|---------|---------|-------|----------|----------|
| | (Dec) | (Hex) | | Default Value | | | | | | | |
| Status | 0 | 0x00 | R | - | - | - | - | EXC ERR | RDY | RDY VT | RDY CAP |
| | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Cap Data H | 1 | 0x01 | R | Capacitive channel data—high byte, 0x00 | | | | | | | |
| Cap Data M | 2 | 0x02 | R | Capacitive channel data—middle byte, 0x00 | | | | | | | |
| Cap Data L | 3 | 0x03 | R | Capacitive channel data—low byte, 0x00 | | | | | | | |
| VT Data H | 4 | 0x04 | R | Voltage/temperature channel data—high byte, 0x00 | | | | | | | |
| VT Data M | 5 | 0x05 | R | Voltage/temperature channel data—middle byte, 0x00 | | | | | | | |
| VT Data L | 6 | 0x06 | R | Voltage/temperature channel data—low byte, 0x00 | | | | | | | |
| Cap Setup | 7 | 0x07 | R/W | CAP EN | CIN2 ¹ | CAP DIFF | - | - | - | - | CAPC HOP |
| | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| VT Setup | 8 | 0x08 | R/W | VTEN | VTM D1 | VTM D0 | EXT REF | - | - | VTSH ORT | VTC HOP |
| | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EXC Setup | 9 | 0x09 | R/W | CLK CTRL | EXC ON | EXCB | EXCB | EXCA | EXCA | EXC LVL1 | EXC LVL0 |
| | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Config | 10 | 0x0A | R/W | VTF S1 | VTF S0 | CAP FS2 | CAP FS1 | CAP FS0 | MD2 | MD1 | MD0 |
| | | | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cap DACA | 11 | 0x0B | R/W | DACA ENA | DACA—7-Bit Value | | | | | | |
| | | | | 0 | 0x00 | | | | | | |
| Cap DACB | 12 | 0x0C | R/W | DAC BENB | DACB—7-Bit Value | | | | | | |
| | | | | 0 | 0x00 | | | | | | |
| Cap Offset H | 13 | 0x0D | R/W | Capacitive offset calibration—high byte, 0x80 | | | | | | | |
| Cap Offset L | 14 | 0x0E | R/W | Capacitive offset calibration—low byte, 0x00 | | | | | | | |
| Cap Gain H | 15 | 0x0F | R/W | Capacitive gain calibration—high byte, factory calibrated | | | | | | | |
| Cap Gain L | 16 | 0x10 | R/W | Capacitive gain calibration—low byte, factory calibrated | | | | | | | |
| Volt Gain H | 17 | 0x11 | R/W | Voltage gain calibration—high byte, factory calibrated | | | | | | | |
| Volt Gain L | 18 | 0x12 | R/W | Voltage gain calibration—low byte, factory calibrated | | | | | | | |

Çizelge 3.2.'ye göre AD7745'in durum bilgisini 00hex alt adresinden okuyabiliriz. AD7745'in dönüştürmüş olduğu kapasitif değerleri sırasıyla 01hex, 02hex ve 03hex adreslerinden okuyabiliriz. Buradan okuyacağımız değerler 24-

bit'lik veriye karşılık gelmektedir. AD7745'in kapasitif dönüştürmeye başlayabilmesi için cap setup'tan yani 07hex adresinden capen'i lojik-1 yapmamız gerekmektedir. Negatif kapasitif değeri eklemek ve skala değerini 17pF'a kadar çekebilmek için capdacA adresindeki kayıt defterine gereken değeri yazmamız gerekmektedir. Burada 7 bit, capdacA'yı yetkilendirmeye yarar. Geriye kalan 7 bit ise gereken değeri yazmaya yaramaktadır. Her bir bit değeri 164fF'lık, toplamda ise 21pF'lık bir değere denk gelmektedir. Fakat firma bu değeri her üretilen AD7745 için garanti etmemekte ve yaklaşık olarak bu değeri vermektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada capdacA'nın değerini 1'den 128'e kadar olan kısmının ilk 16'lık bölümü test edildi ve test edilen sonuçlar çizelge 3.3.'de gösterildiği gibi kaydedildi.

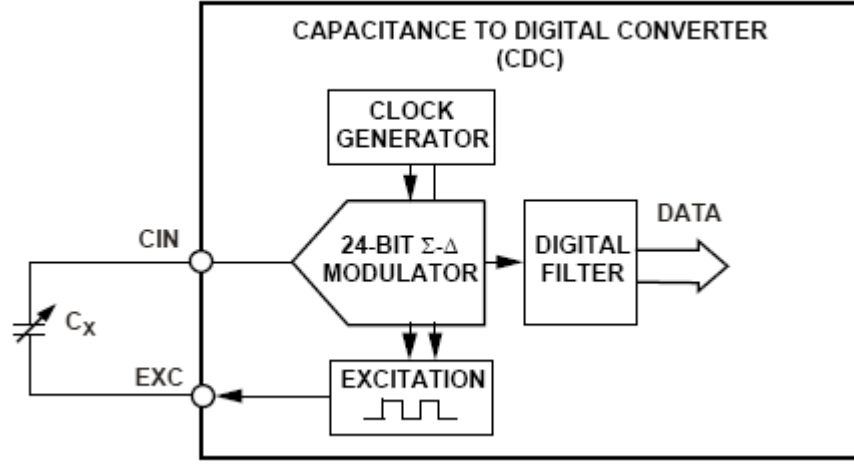
Çizelge 3.3. AD7745'e ait ölçülen CapDacA değerleri

| CapDacA Sayısı | CapDacA Değeri(fF) | CapDacA Sayısı | CapDacA Değeri(fF) | CapDacA Sayısı | CapDacA Değeri(fF) | CapDacA Sayısı | CapDacA Değeri(fF) |
|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 174fF | 5 | 169fF | 9 | 165fF | 13 | 165fF |
| 2 | 172fF | 6 | 170fF | 10 | 173fF | 14 | 164fF |
| 3 | 164fF | 7 | 160fF | 11 | 168fF | 15 | 162fF |
| 4 | 168fF | 8 | 163fF | 12 | 160fF | 16 | 166fF |

Çizelge 3.3.'de görüldüğü üzere capdacA'ların değerleri lineer gitmemektedir. Bundan dolayı eklenecek negatif kapasitör değeri olan capdacA'ların değerini ancak tahmini bir şekilde ve daha sonra bilinen bir kapasitif değer referans alınarak bulunabilmektedir. Negatif kapasitansı, uygulama devresinde ölçüm değeri skala değerini aştığı zaman kullanılmaktayız.

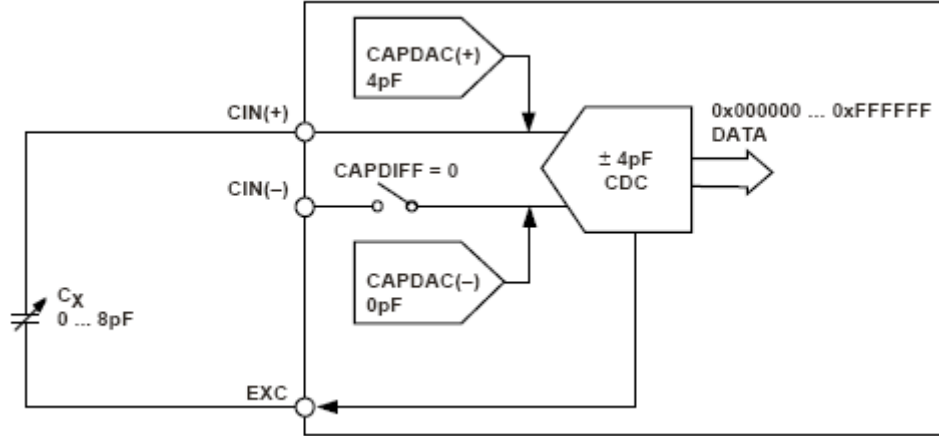
3.2.3. AD7745'in Uygulamaları

Ölçüm yapacağımız kapasitif değerimizi AD7745'in EXC ve CIN pinine bağlarız. Bunun basitleştirilmiş blok diyagramını şekil 3.14.'de görebiliriz.



Şekil 3.14. AD7745'in basitleştirilmiş blok diyagramı

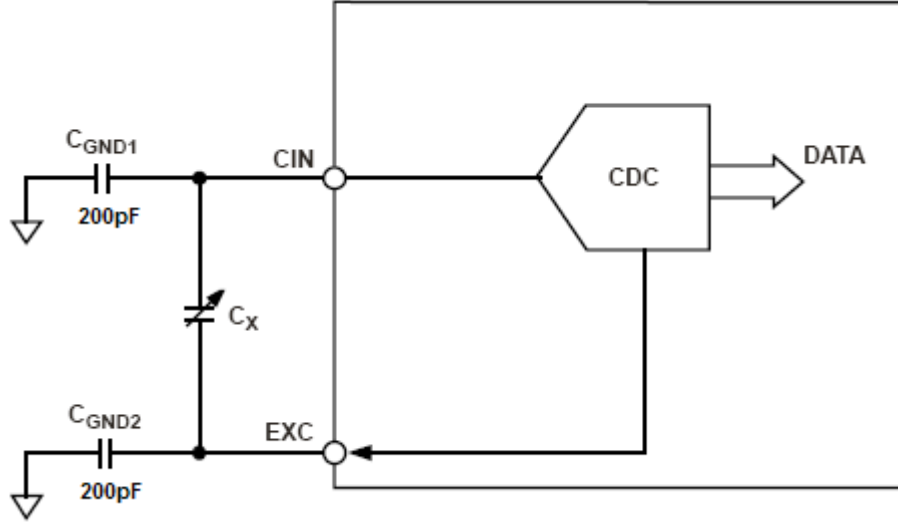
Şekil 3.14.'de görüldüğü üzere ölçülecek olan kapasitörümüz C_x CIN ve EXC uçlarına bağlanmıştır. Burada ölçülen değer ± 4 pF olmakla beraber reel olarak sadece $+4$ pF'a kadar olan değeri ölçebilmekteyiz. Tam skala değeri olan 8 pF'ı ölçebilmek için negatif kapasitörü kullanmamız ve capdac'ı 4 pF'a ayarlamamız gerekiyor. Yaklaşık olarak capdac'ı 4 pF'a ayarlamak için içine yazmamız gereken değer 18 hex 'dir. Buna ait devre şeması şekil 3.15.'te görülmektedir.



Şekil 3.15. AD7745'in ölçüm sıgasının 8 pF'a çekilmiş hali

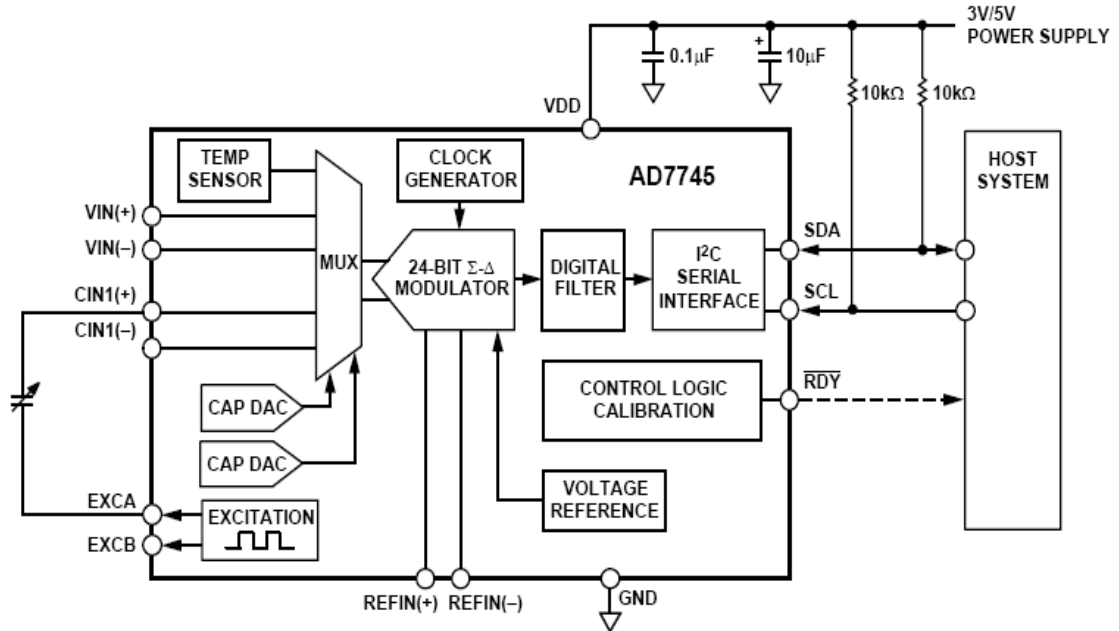
Yapılan uygulamada ölçülecek olan kapasitif değer çok küçük olduğundan sistemin parazitlerden etkilenmemesi için ölçülecek olan kapasitöre paralel olarak

200pF'lık iki adet parazit azaltıcı kapasitör eklenmiştir. Eklenen parazit giderici kapasitörleri ve devre şemasını şekil 3.16.'da görmekteyiz.



Şekil 3.16. AD7745'e parazitik kapasitör eklenmiş hali

AD7745'in tüm bağlantılarına ait devre şemasını şekil 3.17.'de görmekteyiz. Bu devreyi incelediğimizde AD7745 entegresi haberleşmek için bir mikrodenetleyiciye nasıl bağlandığını, besleme girişlerini ve ölçülecek olan kapasitörün bağlanmış halini görebiliriz.



Şekil 3.17. AD7745'in tüm bağlantılarına ait devrenin son hali

3.3. TAHILLARDA NEM İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI

Tahılın nem içeriği, kurutulmuş tahıl ağırlığı (Kuru bazda) yada nemli tahıl ağırlığına (Nemli bazda) bağlı bir nem yüzdeliği şeklinde ifade edilebilir. Genellikle nemli tahılın ağırlığına bağlı yüzdelik hesap kullanılır. Kuru tahılın ağırlığına bağlı olan yüzdelik hesaplama ise esasen araştırmalarda kullanılır.

$$\%Nem(Nemli_Baz) = \frac{N.T - K.T}{N.T} \times (100) \quad (3.10.)$$

$$\%Nem(Kuru_Baz) = \frac{N.T - K.T}{K.T} \times (100) \quad (3.11.)$$

$N.T$ =Nemli tahılın ağırlığı.

$K.T$ =Kurutulmuş tahılın ağırlığı.

Sağlıklı bir şekilde nem içeriğini ölçebilmek için ölçülecek olan tahılı temsil edecek bir numune alınmalıdır. Alınan numune, esas tahıl depolanana kadar nem içeriğini koruması gerekiyor ki sağlıklı ölçümler yapılabilsin ve yapılan ölçümler gerçeği yansıtsın. Eğer ölçüm yapılacak numunenin nem içeriği, ölçüm yapılacak zamana kadar esas olan nem içeriğini korumadığı takdirde çıkan sonuç bizi aldatacaktır. Bundan dolayı tahıl deposundan alınan örnek numune kapalı bir poşet içerisinde nem geçişini engelleyecek şekilde saklanmalıdır.

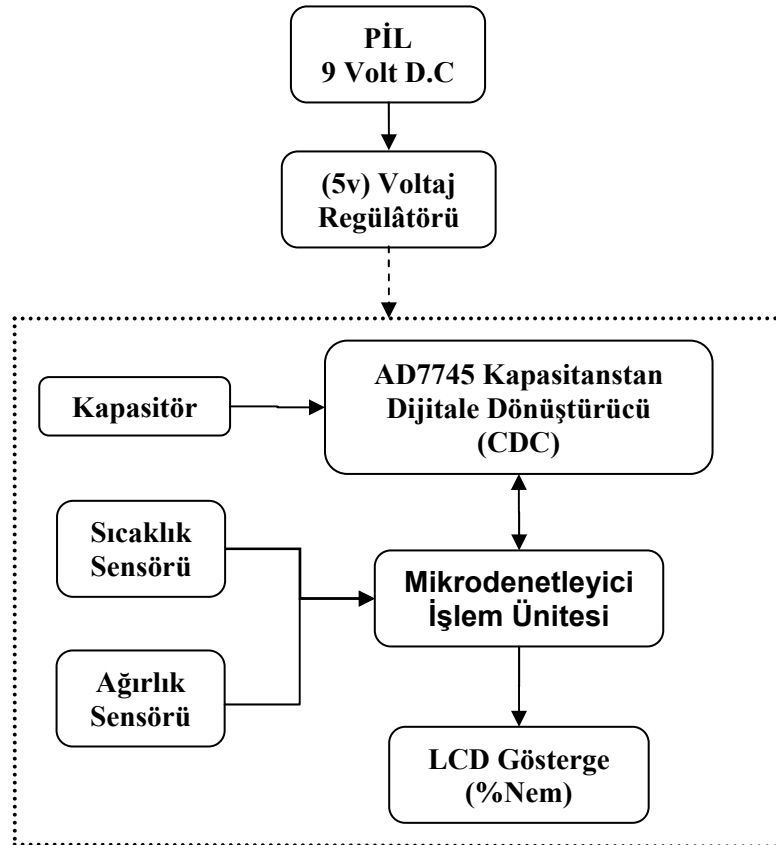
Nem içeriği, direkt bir yöntem olan fırın-kurutma metodu ile belirlenebilir. Ağırlığı ölçülen ve kurutulan tahıl sonra standartlaştırılmış yönteme uygun olarak tekrar ağırlığı ölçülür. Nem içeriği, nem içeriği hesaplama eşitliklerinden birisi kullanılarak hesaplanır.

3.4. SİSTEMİN YAPISI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sistem üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kapasitif sensör, kontrol devresi ve mikrodenetleyici için gereken yazılımdır.

3.4.1. Sistemin Genel Yapısı

Tasarlanan sistemin blok yapısı Şekil 3.18.'de görülmektedir. Nemölçer cihazını beslemek için 9 voltluk bir pil kullanılmaktadır. Sistem için gerekli olan 5 voltluk değeri elde etmek için voltaj regülatörü kullanılmıştır ve tüm devre elemanları buradan beslenmiştir. Ölçülen tahlılın yüzdelik cinsinden nem, sıcaklık ve ağırlık sonuçları LCD (liquid crystal display) aracılığı ile gösterilmektedir.



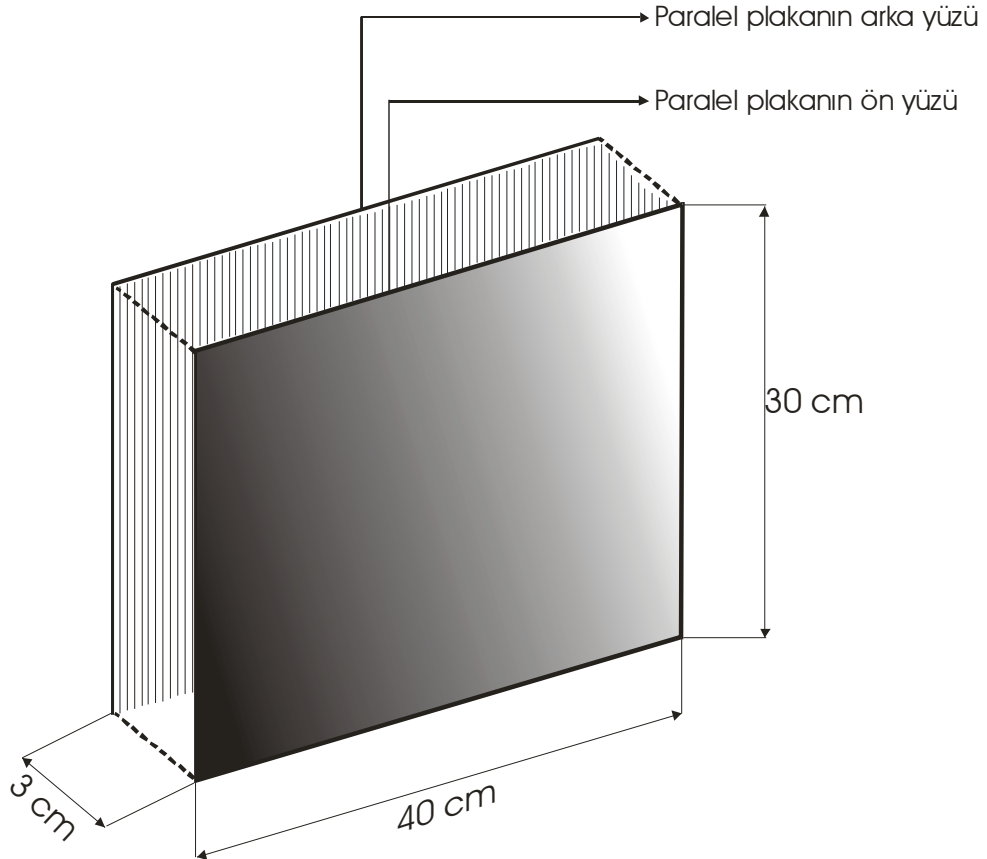
Şekil 3.18. Tasarlanan sistemin blok yapısı

3.4.2. Nem Ölçerde Kullanılan Kapasitörler

Tasarlanan nemölçer cihazında kapasitif sensör olarak iki çeşit kapasitans kullanılmıştır. Tahılın nem içeriği her iki türlü kapasitör çeşidiyle de ölçülebilir. Bunlar; paralel plakalı ve silindirik plakalı kapasitörlerdir.

3.4.2.1. Paralel plakalı kapasitörler

Plakaların yerleşimi Şekil.3.19.'da görüldüğü gibi olup oluşan bu şekle paralel plakalı kapasitör denir. Paralel plakalarda kullanılan materyal alüminyumdur. Paralel plakalarının ölçüleri $16 \times 14,5 \text{ cm}^2$ ve iki plaka arası mesafe 3 cm 'dir. Bu plakaların dış kısımları ve etrafı bir akrilik konteynır ile kaplanarak kapasitif sensör oluşturulmuştur. Ölçülecek tahıl örneği bu konteynırın içine yerleştirilir.



Şekil 3.19. Paralel plakaların yerleşimi ve boyutları

Paralel plakalı kapasitörün kapasitans değeri olan, C ise formül 3.12.'deki gibi hesaplanır.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad \text{Farad} \quad (3.12.)$$

$\epsilon_0 = 8.8419 * 10^{-12}$ farad/metre :Havanın mutlak geçirgenliği

ϵ_r =Bağıl dielektrik geçirgenliği ya da plakalar arasına yerleştirilen materyalin dielektrik sabitidir.

A = Plakaların alanı.

d = Plakalar arasındaki mesafe.

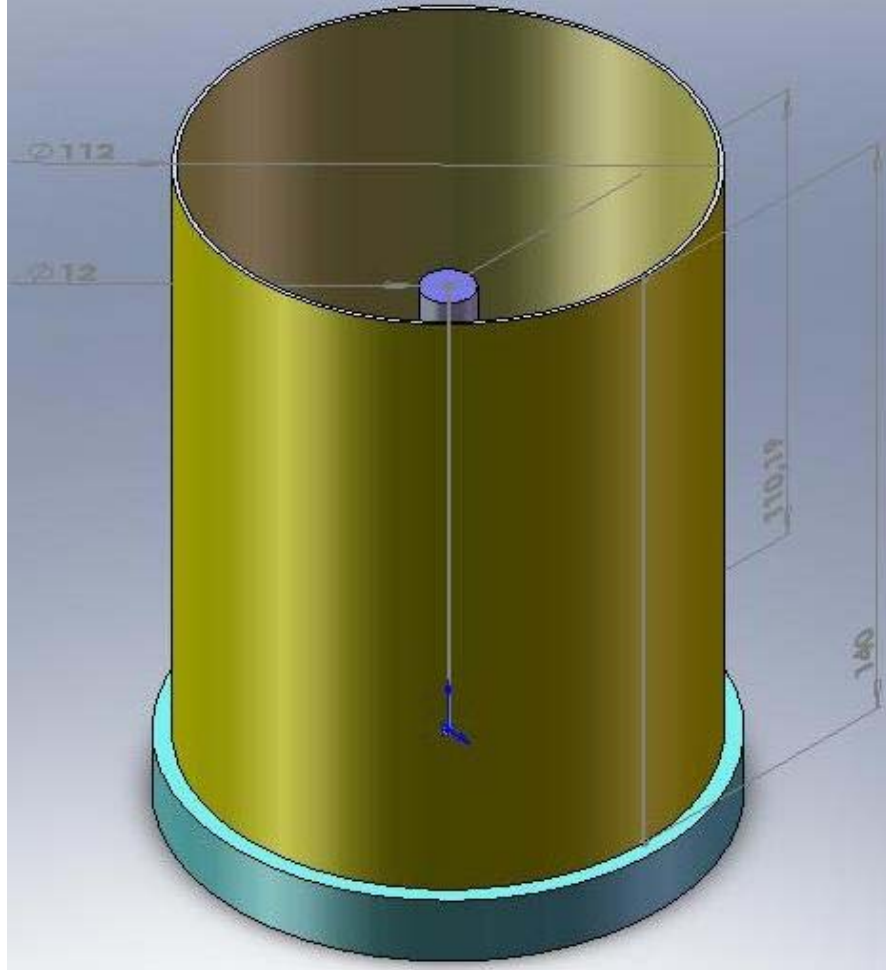
Nem içeriği ölçülecek tahıl, plakaların arasına doldurulur ve bu şekilde tahıl, paralel plakalı kapasitörün arasında dielektrik rolünü oynar. Böylece cihazın sensörü; su, kuru tahıl ve havadan oluşan birleşik dielektriğe sahip olan malzemelerden oluşmuş bir kapasitör olarak modellenebilir. ϵ_{r1} =suyu , ϵ_{r2} =kuru tahılı ve ϵ_{r3} =havayı temsil edecek olursa formül 3.12.'deki denklem formül 3.13.'deki gibi düzenlenebilir.

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} + \frac{d_3}{\epsilon_{r3}}} \quad (3.13.)$$

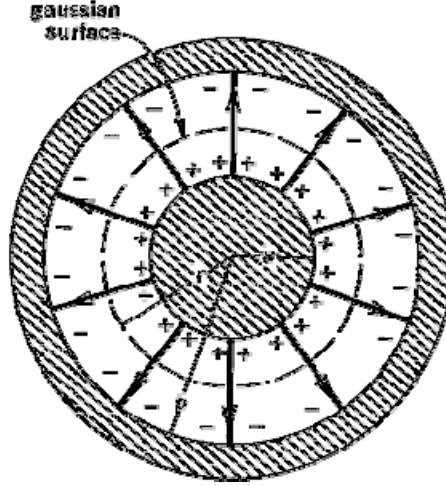
d_1 , d_2 ve d_3 sırasıyla tahılın suyu, kuru tahılın maddesi ve hava boşluklarının tahıl içinde kapladığı hacmi belirtmektedir. Suyun, kuru tahılın ve havanın dielektrik sabitleri sırasıyla 80, 5 ve 1'dir. Burada sensör, suyun miktarına bağlı değişen bir kondansatör olarak düşünülebilir. Kapasitörün değeri tahıldaki suyun miktarına bağlı olarak değişmektedir.

3.4.2.2. Silindirik plakalı kapasitörler

Silindirik plakalı kapasitörün yerleşimi ve boyutları Şekil.3.20.'de görülmektedir. Silindirik plakalar aynı merkezli yerleştirilmek üzere; içteki silindir plakanın çapı 1,2 cm ve uzunluğu 11 cm ve dıştaki silindir plakanın çapı 11,2 cm ve uzunluğu 14 cm'dir. Silindirik plakalı kapasitörde kullanılan materyal alüminyumdur ve bunun dış tarafı akrilikle kaplanarak bir kapasitif sensör elde edilmiştir. Ölçülecek tahıl örneği bu silindirik plakaların arasına doldurularak sensörün dielektrik sabiti değiştirilmiş olur. Bu değişiklik ile oluşan efektif dielektrik sabiti sensörümüzün kapasitansını değiştirdiği için değişim miktarı hesaplanmalı ve tahıl nem ölçümü yapılırken bu dikkate alınarak hesaplanmalıdır.



Şekil 3.20. Aynı merkezli silindirik plakanın yerleşimi ve boyutları



Şekil 3.21. Silindirik plakanın kesit görünüşü ve alan dağılımı

Şekil 3.21.'de silindirik plakanın kesit görünüşü ve hesaplamada kullanılacak yarıçap değerleri ile alan dağılımı görülmektedir. Oluşan kapasitörün kapasitans değeri olan, C ise formül 3.14. yardımıyla hesaplanır.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (3.14.)$$

$\epsilon_0 = 8,8419 \times 10^{-12}$ farad/metre: Havanın mutlak geçirgenliği.

ϵ_r =Bağıl dielektrik geçirgenliği ya da plakalar arasına yerleştirilen materyalin dielektrik sabitidir.

b =Silindirin merkezinden dış silindire olan yarıçap mesafesidir.

a =Silindirin merkezinden iç silindire olan yarıçap mesafesidir.

Nem içeriği ölçülecek tahıl silindirik plakaların arasına doldurulur. Doldurulan bu tahıl silindirik plakalı kapasitörün arasında dielektrik rolünü oynar. Böylece cihazın sensörü su, kuru tahıl ve havadan oluşan birleşik dielektriğe sahip olan malzemelerden oluşmuş bir kapasitör olarak modellenebilir. ϵ_{r1} =suyu , ϵ_{r2} =kuru tahılı ve ϵ_{r3} =havayı temsil edecek olursa denklemimiz formül 3.15.'deki gibi düzenlenir.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\frac{\ln\left(\frac{b_1}{a}\right)}{\epsilon_{r1}} + \frac{\ln\left(\frac{b_1}{a}\right)}{\epsilon_{r2}} + \frac{\ln\left(\frac{b_3}{b_2}\right)}{\epsilon_{r3}}} \quad (3.15.)$$

3.4.3. Nem Ölçerde Kullanılan Kapasitörlerin Farklı Nem İçeriğine Sahip Tahıllara Göre Kapasitans Hesapları

3.4.3.1. Paralel plakalı kapasitörün kapasitans hesabı

Sensör, paralel plakalardan oluşan bir kapasitör olarak tasarlandığından farklı nem içeriğine sahip tahılların kapasitansını teorik olarak hesaplayabilmek mümkün olmaktadır. Bunun hesaplanabilmesi için ilk bilinmesi gereken; kuru tahılın dielektrik sabitidir. Kuru tahılın dielektrik sabiti 5 kabul edilirse ve suyun dielektrik sabiti 80 olarak alındığında geriye kalan tahıldaki nem içeriği yani su miktarının toplam dielektrik sabitine olan etkisi hesaplanırsa ortaya nemli tahılın dielektrik sabiti çıkacaktır. Bulunan dielektrik sabiti formül 3.14.'de ϵ_{r1} 'in yerine yazıldığında formülden sensörün kapasitansı bulunur. %13 nem içeriğine sahip buğdayın toplam dielektrik sabiti şu şekilde hesaplanır. Formül 3.10.'daki eşitlikten K.T değeri çekilirse formül 3.16.'deki yeni eşitlik elde edilir.

$$K.T = \frac{100 * N.T - \%N * N.T}{100} \text{ olur.} \quad (3.16.)$$

Cihazın ölçüm sensörü 200 gramlık tahıl aldığından dolayı ;

$N.T=200$ gram'dır.

$\%N=13$ buğdayın nem içeriği.

N.T ve %N değerleri formül 3.16.'de yerine konulduğunda;

$K.T=174$ gram olarak bulunur.

Su miktarını;

$S.M=N.T-K.T$ 'den değerleri yerine koyduğumuz takdirde;

$S.M=26$ gram çıkmaktadır.

Nemli tahıldaki su miktarı bulunduğundan sonra bulunan su miktarı ile kuru tahıl miktarının toplam dielektrik sabitine olan etkisinin bulunabilmesi için değerleri formül 3.17.'de yerine konulursa T.D şu şekilde elde edilir.

$$\varepsilon_{K.T}=5.$$

$$\varepsilon_s=80.$$

$$S.M=26 \text{ gram.}$$

$$K.T=174 \text{ gram.}$$

$$T.D = \frac{K.T * \varepsilon_{K.T} + S.M * \varepsilon_s}{200} \quad (3.17.)$$

$$T.D=14,75' \text{ dir.}$$

$T.D$ =toplam dielektrik.

$K.T$ =Kuru tahıl.

$S.M$ =Su miktarı.

$\varepsilon_{K.T}$ =Kuru tahılın dielektrik sabiti.

ε_s =Suyun dielektrik sabiti.

Bulunan değer toplam dielektrik sabitidir. Bu değere sahip %13 nem içerikli tahıl 16*14,5 cm'lik 3 cm aralıklı paralel plakalı kapasitöre yerleştirildiğinde kapasitans değeri olan C değeri formül 3.14.'den değerler yerine yazılarak bulunur.

$$T.D = \varepsilon_{r1} = 14.75.$$

$$\varepsilon_0 = 8.8419 * 10^{-12} \text{ farad/metre}$$

$$A = 16 * 14.5 = 232 \text{ cm}^2 = 0.0232 \text{ m}^2.$$

$$d = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m.}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot A}{d}$$

$$C = 100,86 \text{ pf olarak bulunur.}$$

%5 ile %25 nem içeriğine sahip tahılın teorik olarak %1'lik nem artışı ile değişen kapasitans değerleri teorik olarak değişimi çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Paralel plakalı kapasitörün %5 ile %25 nem içeriğine sahip tahıl ile değişen kapasitans değerleri

| % nem | C (pF) |
|-------|--------|
| 5 | 59,83 |
| 6 | 64,96 |
| 7 | 70,09 |
| 8 | 75,22 |
| 9 | 80,34 |
| 10 | 85,47 |
| 11 | 90,6 |
| 12 | 95,73 |
| 13 | 100,86 |
| 14 | 105,98 |
| 15 | 111,11 |
| 16 | 116,24 |
| 17 | 121,37 |
| 18 | 126,5 |
| 19 | 131,63 |
| 20 | 136,75 |
| 21 | 141,88 |
| 22 | 147,01 |
| 23 | 152,14 |
| 24 | 157,27 |
| 25 | 162,4 |

3.4.3.2. Silindirik plakalı kapasitörün kapasitans hesabı

İç yarıçapı 1,2 cm ve uzunluğu 11 cm olan bir alimünyum çubuk ile et kalınlığı 0,2 cm olan 11,2 cm yarıçaplı ve 14 cm uzunluklu aynı merkezli silindirik plakadan oluşan kapasitör tasarlanmıştır. Tasarlanan kapasitör sistemin kapasitif değeri olan C'nin hesabı için paralel plakalı kapasitif sensörde kullanılan %13 nem içeriğine sahip tahıl için bulunan toplam dielektrik sabitini silindirik kapasitörün kapasitif hesabı için formül 3.17.'de yerine yazıldığı takdirde kapasitans şu şekilde hesaplanır.

$N.T=200$ gram'dır.

$$\varepsilon_r = 14,75.$$

$$\varepsilon_0 = 8.8419 * 10^{-12} \text{ farad/metre}$$

$$a=1,2 \text{ cm}=0,012 \text{ m}$$

$$b=11,2 \text{ cm}=0,112 \text{ m}$$

$$L=11 \text{ cm}=0,11 \text{ m}$$

$$C = \frac{2 \cdot \Pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$C=40.33 \text{ pf çıkmaktadır.}$$

Aynı şekilde %5 ile %25 nem içeriğine sahip tahılın %1 nem artışı ile silindirik kapasitöre göre değişen kapasitans değeri çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Silindirik plakalı kapasitörün %5 ile %25 nem içeriğine sahip tahıl ile değişen kapasitans değerleri

| % nem | C (pF) |
|-------|--------|
| 5 | 23,92 |
| 6 | 25,98 |
| 7 | 28,03 |
| 8 | 30,08 |
| 9 | 32,13 |
| 10 | 34,18 |
| 11 | 36,23 |
| 12 | 38,28 |
| 13 | 40,33 |
| 14 | 42,38 |
| 15 | 44,43 |
| 16 | 46,48 |
| 17 | 48,53 |
| 18 | 50,58 |
| 19 | 52,63 |
| 20 | 54,69 |
| 21 | 56,74 |
| 22 | 58,79 |
| 23 | 60,84 |
| 24 | 62,89 |
| 25 | 64,94 |

3.4.4. Kontrol Devresi

Tasarlanan nem ölçüm cihazının kontrol devresi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar şunlardır.

- Sensör arayüz devresi.
- Aritmetik işlem ünitesi.
- İnsan arayüzü görüntüleme ünitesi.

Kontrol devresinde yapılan işlemler ilk başta sensörlerden veri toplamayla başlar. Nem sensörüne konan nemli tahıla ait olan kapasitans değerleri kapasitanstan dijitale dönüştürücü tarafından dönüştürülerek işlenmek üzere mikrodnetleyiciye gönderilir. Daha sonra bu kapasitans değerleri mikrodnetleyici tarafından aşağıdaki işlemlerin sonucuna tabi tutulur.

$$C = \frac{2\Pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}, \text{den } \epsilon_r \text{ çekilerek formül 3.18. elde edilir.}$$

$$\epsilon_r = \frac{C \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2.\Pi.\epsilon_0 L} \quad (3.18.)$$

Formül 3.18.'de b, a, L, ϵ_0 değerleri yerine konulduğunda denklem sadece C'ye olan bağımlılığı kalmış olur. Bunlar yerine konulduğunda şu değer elde edilir.

$$\epsilon_r = 0,654880.C$$

Kapasitif sensöre konan toplam tahıl miktarı 200 gram olduğundan dolayı kuru tahıl miktarını su miktarı cinsinden formül 3.19.'deki gibi yazılır.

$$K.T= 200-S.M \quad (3.19.)$$

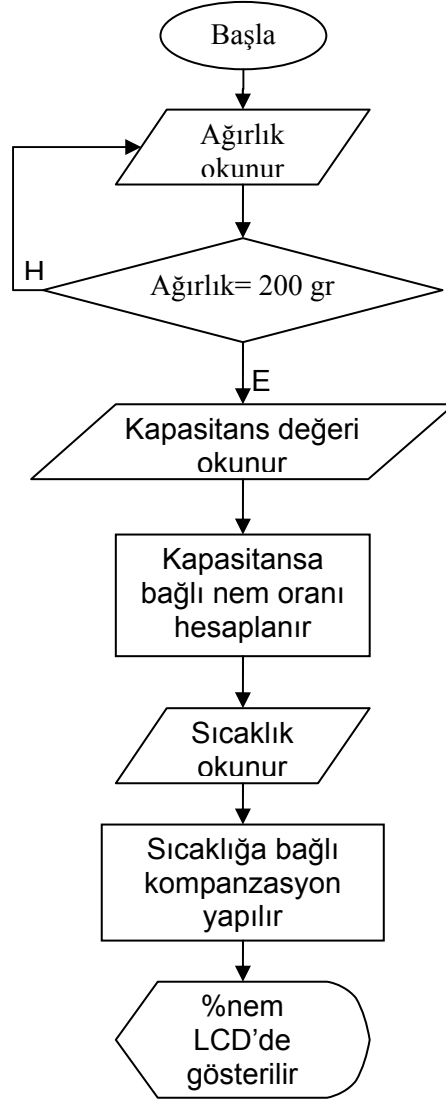
Formül 3.19.'deki K.T değeri ile bulunan ε_r değeri formül 3.17.'da yerine yazılır ve S.M değeri çekilir ise formül 3.20.'deki denklem elde edilir.

$$S.M = \frac{200(0,654880.C - \varepsilon_{K.T})}{\varepsilon_S - \varepsilon_{K.T}} \quad (3.20.)$$

Formül 3.20.'de $\varepsilon_{K.T}$ değeri yerine 5 ve ε_S değeri yerinede 80 yazılıp sadeleştirilirse şu sonuç elde edilir.

$$S.M = 1,746346.C - 2,66 \quad (3.21.)$$

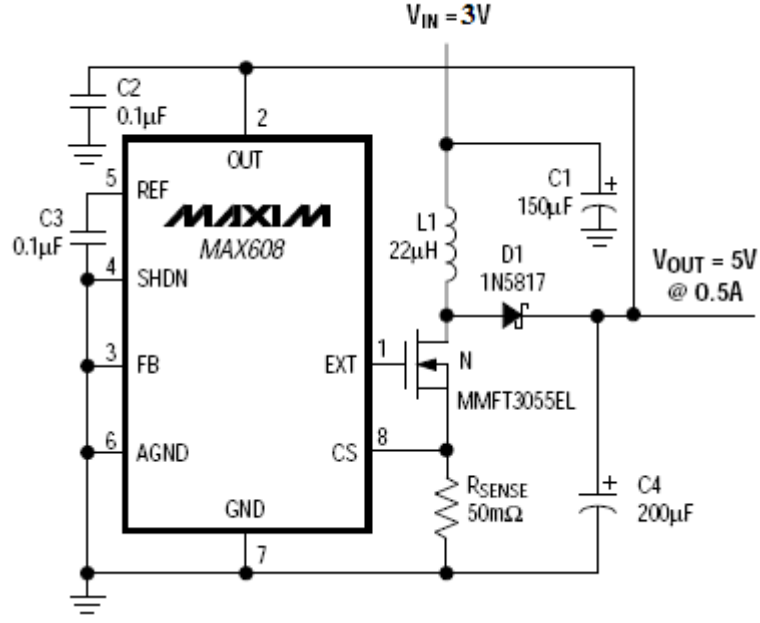
Elde edilen S.M değeri tahıldaki nem içeriği anlamına gelmektedir. Mikrodenetleyicinin yapması gereken işlem formül 3.21.'de verilen işlemdir. Mikrodenetleyici daha sonra tahılın sıcaklık değerini sıcaklık sensöründen alıp gerekli olan sıcaklık kompanzasyonunu yaptıktan sonra bu değeri görüntüleyebilmek için LCD birimine göndermektedir. Kontrol devresine ait akış diyagramı şekil 3.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Kontrol devresinin blok diyagramı

3.4.4.1. Besleme devresi

Kontrol kartında elektronik elemanların çalışma voltajı olarak 5Volt kullanılmıştır. Tasarlanan cihazın portatif olabilmesi için güç kaynağı olarak pil seçilmiştir. Fakat piyasada direkt olarak 5Volt üreten pil bulunmadığı için kullanılacak olan pilin voltaj değeri 5Volt'a dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için step-up dc-dc converter ve pil olarak piyasada bulunabilen 1,5Volt üreten iki adet alkalın pil kullanılmıştır. Bu devreye ait devre şeması şekil 3.23.'de görülmektedir.



Şekil 3.23. Step-up dc-dc converter devresinin bağlantı şeması

3.4.4.2. Sensör arayüz devreleri

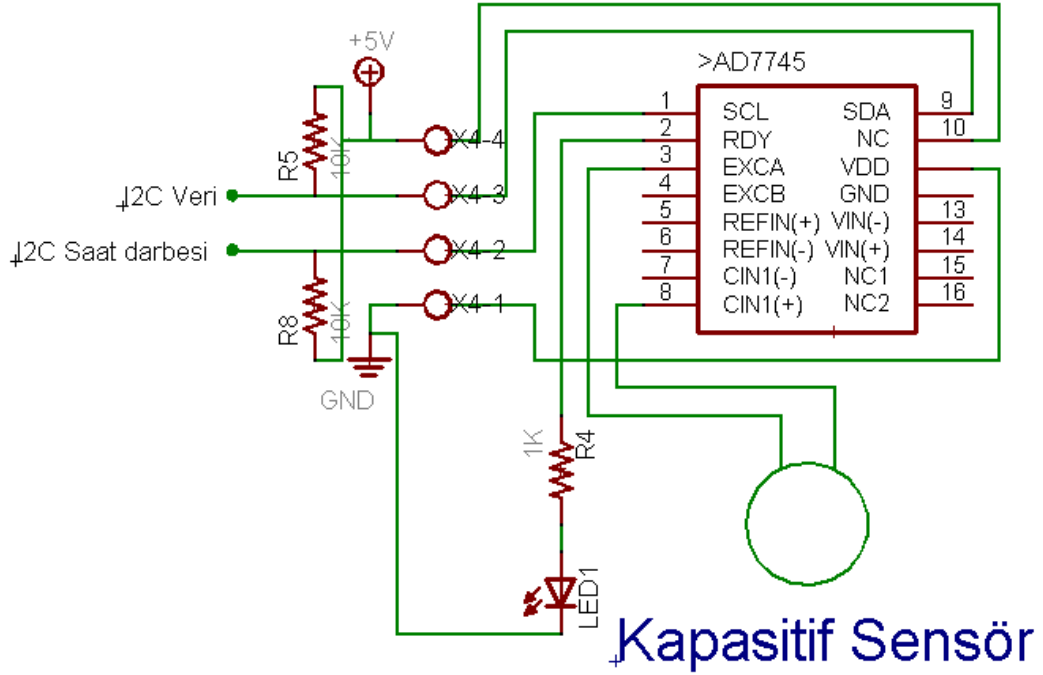
Sensör arayüz devresi olarak üç adet devre kullanılmıştır. Kullanılan devreler şunlardır.

- Kapasitanstan dijitale dönüştürücü(CDC) arayüz devresi.
- Sıcaklık sensörü arayüz devresi.
- Ağırlık sensörü olarak kullanılan yük hücresi(Load Cell) devresi.

3.4.4.2.1. Kapasitanstan dijitale dönüştürücü(CDC)

Kapasitanstan dijitale dönüştürücü olarak AD7745 entegresi kullanılmıştır. AD7745 entegresi mikrodenetleyici ile haberleşmesini seri olarak iki tel üzerinden I²C diye isimlendirilen protokol üzerinden yapmaktadır. AD7745 entegresine ait olan devre kapasitif sensörün hemen altına yerleştirilmiştir. Buradaki amaç ölçüm yapılacak kapasitans ile devre arasındaki bağlantının kısa tutularak hem gürültüden hem de kablolamadan kaynaklanan kapasitif etkiyi en aza indirmek içindir.

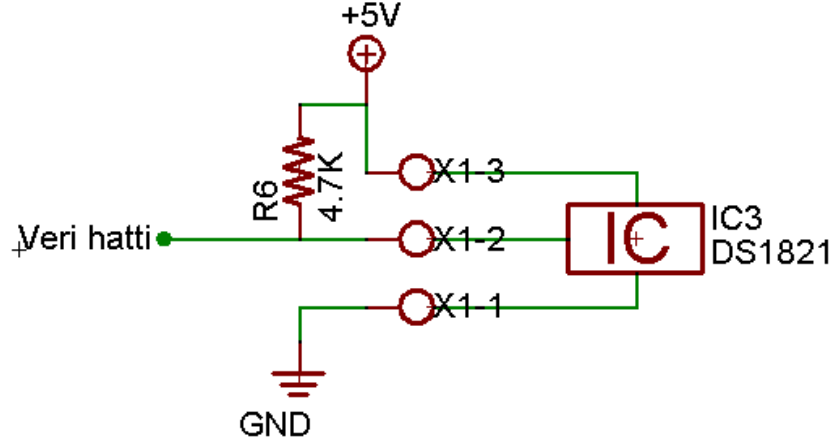
AD7745'e ait devre bağlantısı bir adet beslemeye ait olan +5Volt'luk ve toprak ile haberleşme için kullanılan veri hattı ve saat darbesi için gereken iki hat olmak üzere toplam 4 telden oluşmaktadır. Kapasitanstan dijitale dönüştürücünün arayüz devresi şekil 3.24.'de görülmektedir.



Şekil 3.24. Kapasitans-dijital dönüştürücü arayüz devresi

3.4.4.2.2. Sıcaklık sensörü

Sıcaklık sensörü olarak Maxim-Dallas firmasının üretmiş olduğu DS1821 programlanabilir dijital termometre kullanılmıştır. DS1821 ile haberleşebilmek için firmanın kendisinin üretmiş olduğu özel bir protokol olan ve tek tel haberleşme(one wire interface) olarak isimlendirilen protokol kullanılmıştır. Kullanılan bu protokolda veri ve senkronizasyon aynı hattan gönderilmekte ve alınmaktadır. Bu protokolün faydası haberleşme için gereken bağlantı sayısını minimuma indirerek gönderim ve alışı işlemlerinin tek hat üzerinden yapılmasıdır. Sıcaklık sensörünü beslemek için +5Volt enerji kullanılmıştır. Bu protokolün detayları için Maxim-Dallas firmasının sitesine başvurulabilir. Kullanılan sıcaklık sensörüne ait arayüz devresi şekil 3.25.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Programlanabilir dijital termometre arayüz devresi

3.4.4.2.3. Ağırlık sensörü

Ağırlık sensörü olarak load cell kullanılmıştır. Load cell içerisinde oluşan gerilmeye karşı direnci değişen yük hücreleri bulunmaktadır (Şekil 3.26.). Bu yük hücrelerindeki direnç değişimini wheatstone köprüsü ile ölçmek mümkündür. Kullanılan load cell sensörünün içinde bu yapı bulunmakla beraber besleme için iki adet giriş ve ağırlığın etkisinden dolayı oluşan gerilmeyi ölçmeye yarayan iki adet köprü çıkışı bulunmaktadır. Kullanılan load cell'in çıkışı girişine uygulanan voltajın oranına bağlıdır. Bu oran formül 3.22.'de verilmektedir.

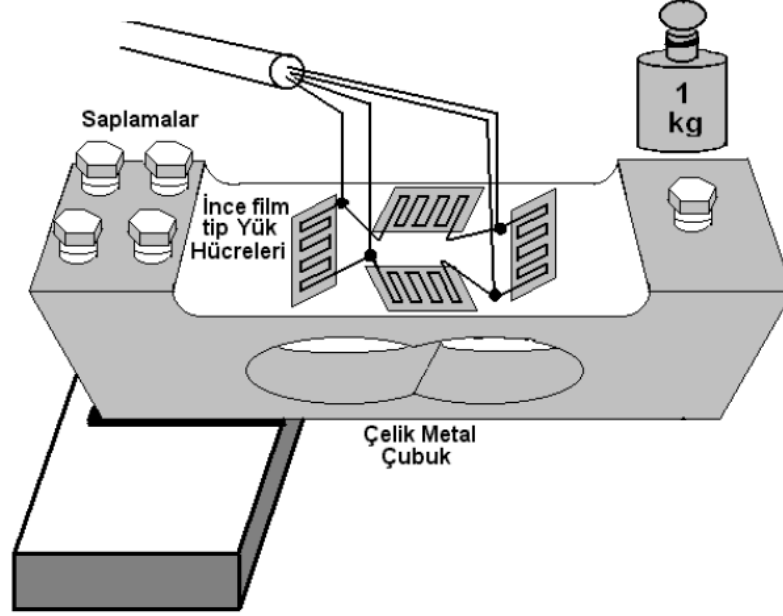
$$V_{\text{çıkış}} = 2\text{mv}/V_{\text{giriş}} \quad (3.22.)$$

$V_{\text{giriş}}$ voltajı olarak 5Volt kullanıldığında $V_{\text{çıkış}}$ şu şekilde olur;

$$V_{\text{çıkış}} = 2\text{mv}/5\text{v} = 0,4\text{mv/v.}$$

Bunun anlamı load cell'nin en küçük değişimi için üreteceği çıkış voltajını temsil etmektedir. Kullanılan load cell'in çözünürlüğü 0,1 gramdan oluşmakla beraber tam skala değeri 3kg'dır. Load cell hücrelerinde üretilen bu sinyalin küçük olmasından dolayı çıkıştaki bu sinyalin yükseltilmesi gerekmektedir. Üretilen sinyalin anlam kazanabilmesi için bunların dijital veriye dönüştürülmesi

gerekmektedir. Dijitale dönüştürme işleminin üstesinden gelmek için sinyalin bir ADC(Analog to digital converter) yardımı ile analogtan dijitale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için mikrodenetleyicide tümleşik olarak bulunan ADC kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Load cell ağırlık sensörü

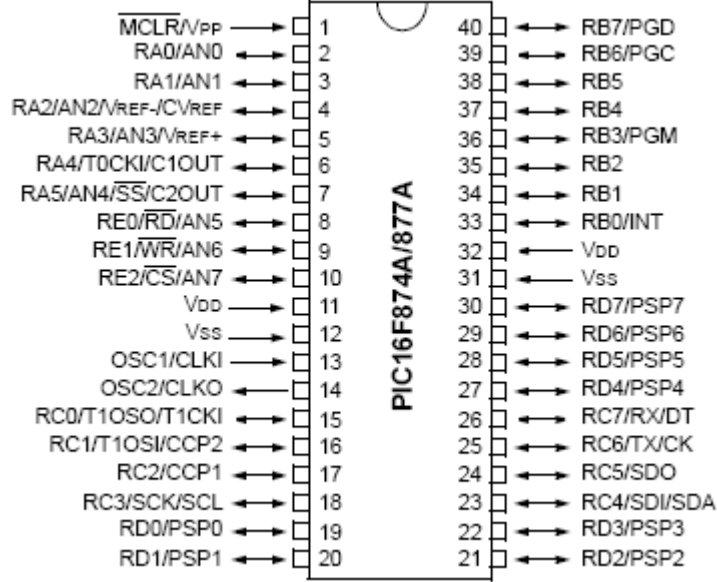
3.4.4.3. Aritmetik işlem ünitesi (mikrodenetleyici)

Tasarlanan cihazda aritmetik ve kontrol işlemlerinin yapılabilmesi için Microchip firmasının üretmiş olduğu PIC16f877A mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Kullanılan mikrodenetleyiciye ait bağlantı uçları ve anlamları şekil 3.27.'de verilmektedir.

Devrede kullanılan uçlar ve anlamları şunlardır;

- Besleme girişi olarak 11.(+5V) ve 12.(Toprak) uçlar kullanılmıştır.
- Reset ucu olarak 1. uç kullanılmıştır.(0V=reset durumu)
- Osilatör devresi için 13. ve 14. uçlar kullanılmıştır.
- Tuşlar için sırasıyla 37,38,39 ve 40. uç kullanılmıştır.

- DS1821 sıcaklık sensörü için 36. uç kullanılmıştır.
- AD7745(CDC) entegresi için 18. ve 23. uçlar kullanılmıştır.
- LCD arayüzü için 2,3,4,5,6 ve 7. uçlar kullanılmıştır.
- LCD ışıklandırması için 8. uç kullanılmıştır.

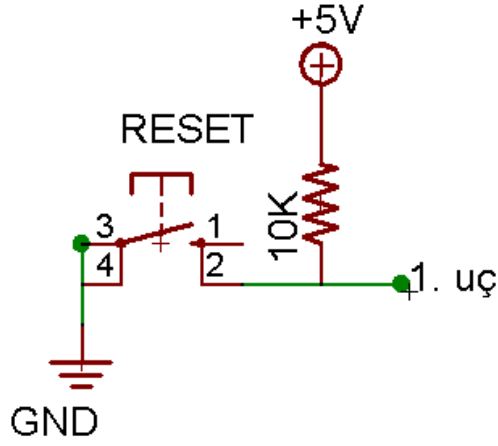


Şekil 3.27. Mikrodenetleyiciye ait bağlantı uçları

Kullanılan mikrodenetleyicinin çalışma frekansı olarak 8Mhz'lik kristal osilatör kullanılmıştır fakat komut işleme saykılı pic mikrodenetleyicilerinde kiristalin dörtte biri olmaktadır. Bunun anlamı her bir komutun işlenme zamanı 0.5 µsn olmasıdır. Kullanılan mikrodenetleyici sensörlerden veri toplamak, bunları işleyip yorumlamak ve görüntülemek için kullanılmıştır. Tasarlanan cihazın menüsüne ve diğer elektronik elemanlara erişim mikrodenetleyici sayesinde yapılmaktadır.

3.4.4.3.1. Mikrodenetleyici reset devresi

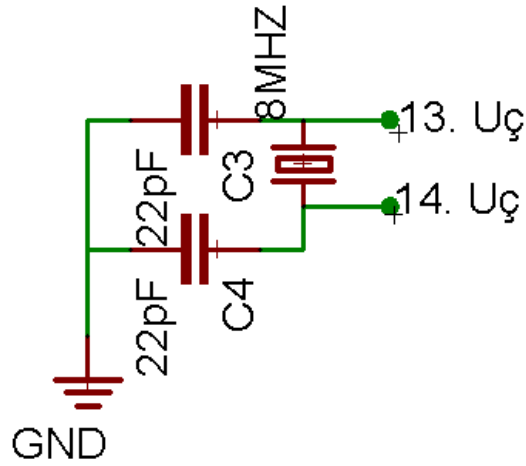
Kullanılan mikrodenetleyiciyi resetleyebilmek için 0V gerilim uygulamamız gerekmektedir. Mikrodenetleyiciler de bilgisayarlarda olduğu gibi arasıra haricen resetlenmeye ihtiyaç duyarlar. Bunu reset işlemini gerçekleştirmek için şekil 3.28.deki devre kullanılmıştır.



Şekil 3.28. Reset devresi

3.4.4.3.2. Mikrodenetleyici osilatör devresi

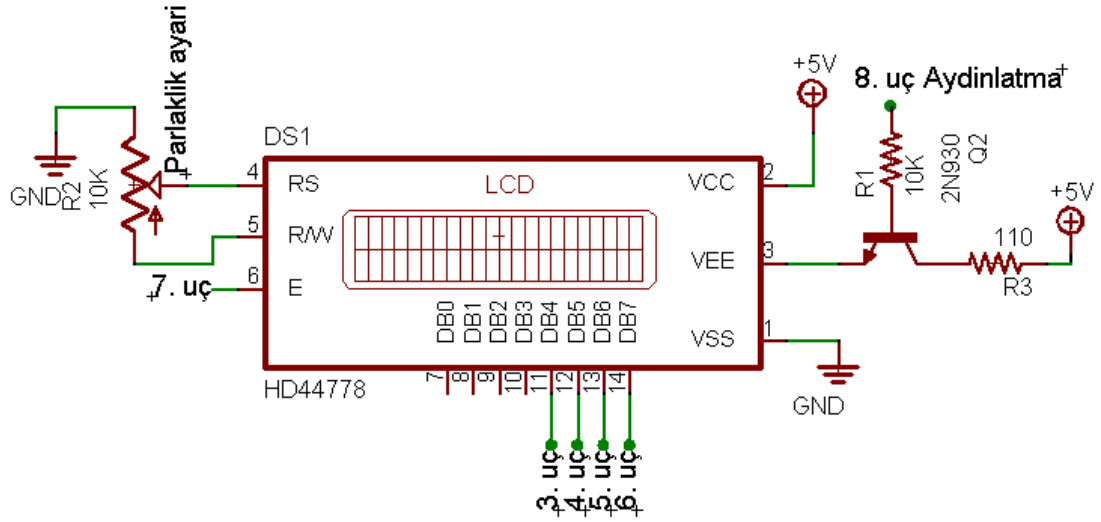
Mikrodenetleyicinin çalışabilmesi için gereken frekans değeri osilatör tarafından sağlanır. Çeşitli osilatör devreleri olmakla beraber devrede mikrodenetleyiciler için yük hız sayılan 8Mhz'lik kristal osilatör devresi kullanılmıştır. Kullanılan osilatör devresi şekil 3.29.'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Kristal osilatör devresi

3.4.4.4. İnsan arayüzü görüntüleme ünitesi

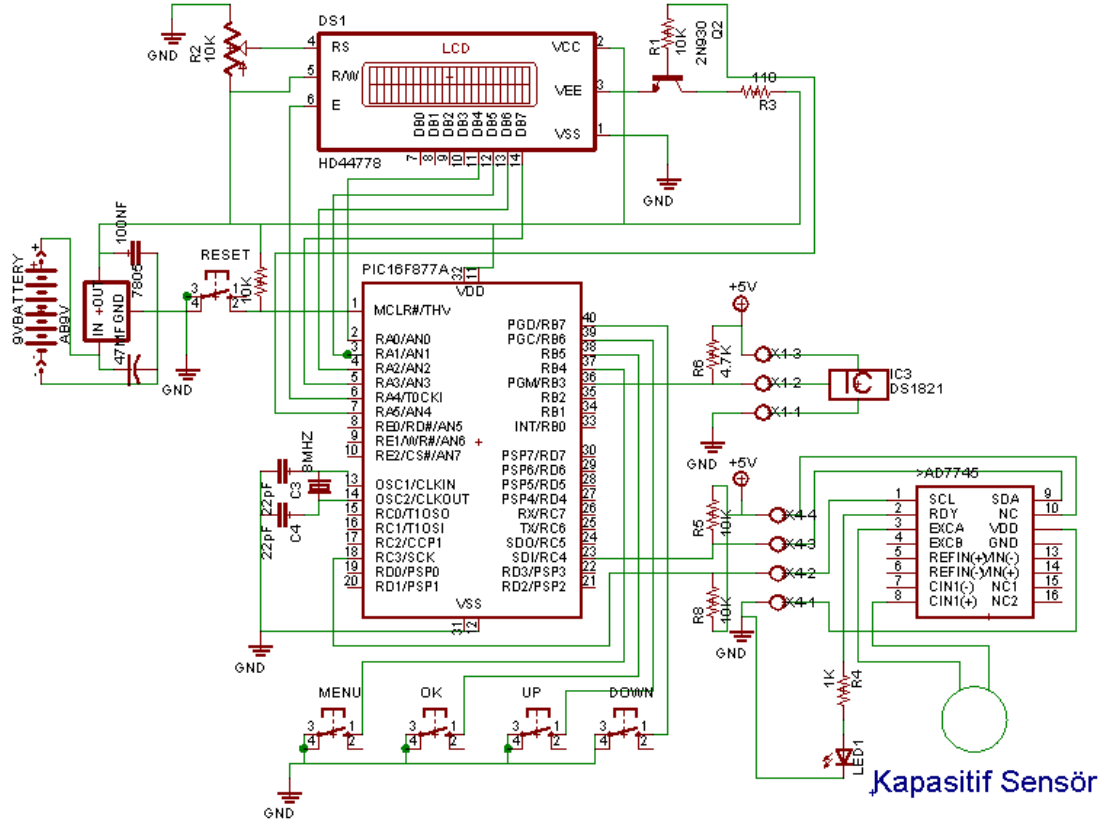
Yapılan çalışmada sonuçların görüntülenmesi için LCD(Liquid Crystal Display) kullanılmıştır. Kullanılan LCD iki satır yirmi dört sütundan(2*24) oluşan toplam kırk sekiz karakter bulundurmaktadır. Tasarlanan cihazla ilgili kontrollerin ve sonuçların gösterilmesi için bu karakter sayısı yeterli olmaktadır. Kullanılan LCD aynı zamanda karanlık ortamlarda görüntünün okunabilmesi için ışıklandırma da ihtiva etmektedir. LCD ile haberleşmek için altı hattan oluşan paralel veri iletimi kullanılmıştır. LCD'ye ait bağlantı şeması şekil 3.30.'de görülmektedir.



Şekil 3.30. LCD insan arayüzü devresi

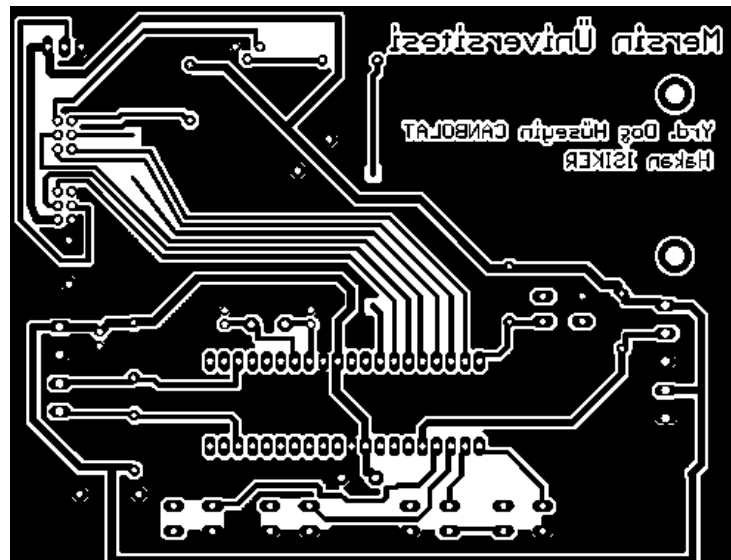
3.4.4.5. Kontrol devresinin imalatı

Amaçlanan kontrol devresini imal etmek için EAGLE layout baskı devre çizim programı kullanılmıştır. Kullanılan baskı devre programında aynı zamanda devrenin şematik çizimi de yapılmıştır. İmal edilen kontrol devresine ait şematik çizimi şekil 3.31.'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Kontrol devresi şematik çizimi

İmal edilen kontrol devresinin baskı devresi şekil 3.32.’te görülmektedir. Devre kartı pozitif-20 yöntemi denilen teknik ile çıkarılmıştır.



Şekil 3.32. Kontrol devresi için hazırlanan baskı devre şeması

3.4.5. Yazılım

Programlama dili olarak microEngineering Labs firmasının üretmiş olduğu pic basic pro dili kullanılmıştır. Bu dil microchip firmasının üretmiş olduğu PIC16F877A mikrodenetleyicisini programlamak için kullanılmıştır. Bu dilin avantajları, içinde birçok makroları bulundurmasından dolayı program yazım işini kolaylaştırmakla birlikte birçok işlemin tek komutla çözümlenmesine imkan vermektedir. Fakat bu dilin işlem süresi assembly diline kıyasla daha uzun zaman aldığından zamanın önemli olduğu yerlerde kullanılması uygun değildir. Aynı zamanda donanımın tam olarak kullanılmasına olanak sağlamamaktadır. Bundan dolayı program yazımında gereken yerlerde pic assembly dili kullanılmıştır. Tahıl nem ölçüm cihazı için yazılan program kodları Ek.1’de verilmiştir.

3.5. UYGULAMA ÇEŞİTLERİ

Yapılan araştırma konusu çok detaylı bir konu olduğundan dolayı bu çalışma ile ilgili farklı projeler de üretilmiştir. Bu projeler üç ana başlık altında toplanabilir.

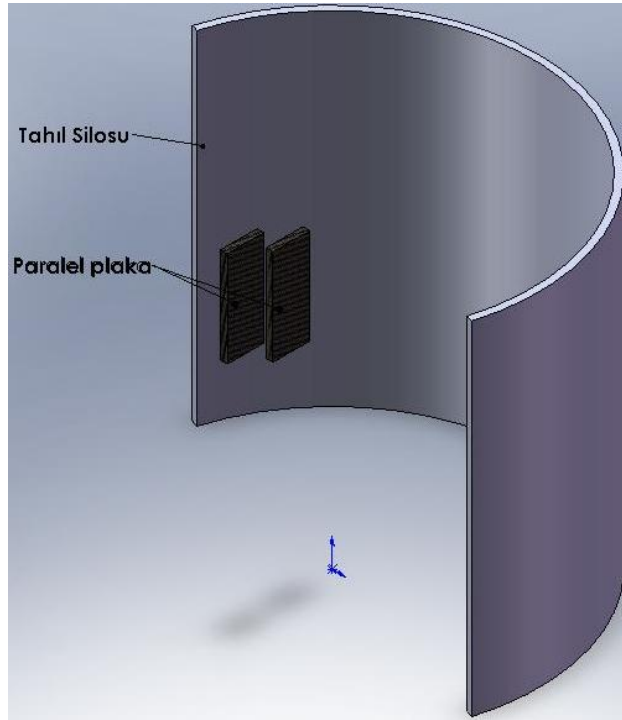
- Silolarda online tahıl nem ölçer.
- Sıkıştırma ile daha etkili ölçüm yapabilen ve tahılın ağırlığından bağımsız çalışan tahıl nemölçer cihazı.
- Tahıl siloları için yeni bir seviye ölçüm metodu.

3.5.1. Silolarda Online Tahıl Nem Ölçer

Tahılların nem içeriği portatif cihazlarla ölçüldüğü gibi yapılan çalışma ışığında tahıl silolarının içinde de rahatlıkla bu işlemin yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kapasitif ölçüm metodunun kullanıldığı portatif tahıl nemölçerlerde nem içeriği değeri genellikle silindirik kapasitörler ile yapılmaktadır. Bunun sebebi silindirik kapasitörün paralel kapasitöre oranla daha yüksek kapasitans değeri verebilmesidir. Eski yıllarda kapasitans çok hassas bir şekilde ölçülemediği için ölçüm yapılacak değerlerin yüksek değerlerde olması amaçlanmıştır. Bu şekilde daha

rahat ve daha doğru sonuçlar elde edilebilmiştir. Fakat günümüzde bu işlemi yapmak ve aF seviyelerinde kapasitansı ölçmek yapılan bu araştırmada da görülebileceği gibi mümkündür. Bu çalışmanın bir sonucu olarak silolardaki tahılın ölçüm için örnek alınmasına gerek kalmadan silo içinde nasıl yapılacağı anlatılacaktır.

Silolar tahıl ile doldurulduğu zaman tahılın paralel plakalara rahat bir şekilde dolabilmesi için kullanılacak olan paralel plakaların aralıkları oldukça geniş tutulmalıdır. Bunun sebebi dolun ve boşaltım sırasında tahılların sensör içerisine rahat bir şekilde girip çıkabilmeleridir. Siloların içerisindeki tahılın nem içeriği silonun içinden dışına doğru ve aşağıdan yukarı doğru arttığından dolayı bu sensörlerden birden fazla istenen noktalarda kullanılabilir. Bu şekilde kiritik noktalarda sürekli nem ölçümü yapılabilir ve hatta bir bilgisayar yardımı ile bunlar kayıt altına alınabilirler. Bu ölçüm sistemine ait dört farklı yerde konumlandırılan ve dört sensörden oluşan temsili bir gösterim şekil 3.33.'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Silonun kesit alanına yerleştirilmiş online sensör

Hatta bu ölçümün yapılmasında siloların içindeki tahıldan kaynaklanan basınçtan dolayı oluşan bir avantajdan da bahsedilebilir. Tahıllarda nem içeriği ölçümü incelendiği zaman dikkat edilirse ihmal edilen hava boşluklarının etkisi tahılın basıncından dolayı online ölçümde yok denebilecek seviyelere kadar düşmekte ve daha sağlıklı sonuçların elde edilmesine kendiliğinden yol açmaktadır. Bir sonraki uygulama çeşidinde nem ölçümünün verimliliğini arttırmak için suni olarak sıkıştırılma kullanılacaktır fakat burada bu sıkıştırma doğal bir şekilde olmaktadır.

3.5.2. Sıkıştırılmalı Silindirik Kapasitörlü Tahıl Nemölçer

Yapılan çalışmada tahıldaki nem içeriğini ölçebilmek için sensöre konulacak tahılın miktarının hesaplanması gerekiyordu. Bu miktarı hesaplayabilmek için ağırlık sensörü kullanılmıştı fakat nem içeriği ölçülecek tahılın ağırlıktan bağımsız hale getirilebilmesi için silindirik plakaların içerisinin tümünden tahıl ile doldurulması ve alttan ve üstten oluşacak kaçak alanların etkisini azaltabilmek için pay verilmesi gerekmektedir. Bu işlemin ilk maliyeti pahalı olduğundan bu yöntemin uygulaması yapılamamıştır. Fakat bu yöntemin tasarımı açıklanmıştır.

Tahıldaki nem içeriği dielektrik sabitini değiştirdiği için yapılması gereken şey ölçülecek tahılın dielektrigini sağlıklı bir şekilde ölçmektir. Bu işlem için ya kullanılan plakaların içerisi her defasında hatasız bir şekilde aynı miktarda tahıl ile doldurulması yada doldurulacak tahılın miktarı ağırlık ile sınırlandırılması gerekmektedir. Tahılın miktarının ağırlık ile sınırlandırılması ile ilgili çalışma bölüm 3.4.2.'de verilmiştir. Burada tahılın ağırlıktan bağımsız ve havanın etkisinin en aza indirildiği sıkıştırılmalı ve ağırlıktan bağımsız nem ölçümü gösterilecektir. Bu tasarımın yapılabilmesi için aynı yol izlenmekle beraber şu farklılıklar bulunmaktadır.

- Silindirik kapasitör sensörün tam ortasında bulunmalıdır.
- Silindirik plakanın dışında kalan ve plakaları taşıyan kısmın sert plastikten olması gerekmektedir.

- Doldurulacak tahıl miktarı belirlenen bir yüksekliğe kadar tahmini olarak doldurulması gerekmektedir.
- Havanın boşluklarının etkisinin azaltılması için tahılın her zaman sabit bir değere basınç sensörü yardımıyla sıkıştırılması gerekmektedir.

Sıkıştırılmalı ölçümün yapılabilmesi ve farklı sıkıştırma oranlarının ortadan kaldırılması için basınç sensörü kullanılması gerekmektedir. Tahılın sıkıştırılarak ölçülmesinin en büyük faydaları şunlardır;

- Ölçülecek olan tahıldaki hava boşlukları oldukça azaltılır ve bu da ölçüm hassasiyeti ve doğruluğunu artırır.
- Ölçüm sistemi ağırlıktan bağımsız olduğu için ağırlıktan kaynaklanabilecek kalibrasyon hatalarından etkilenmemektedir.
- Ağırlığın ölçülmesi gereken cihazlarda ağırlık sensörü düz bir zemine yere paralel olacak şekilde konulması gerekmektedir yoksa hatalı ölçüm yapması kaçınılmazdır fakat bu sistemde yatay konumda da rahat bir şekilde ölçüm yapabilmektedir.

Sıkıştırılmalı nemölçerin kontrol kartı ufak farklılıklar olmak kaydıyla tasarım mimarisi bölüm 3.4.4. ile aynıdır. Sıkıştırılmalı nemölçerin temsili tasarımı şekil 3.34.'de verilmiştir.



Şekil 3.34. Sıkıştırılmalı nem sensörünün kesitsel parçaları

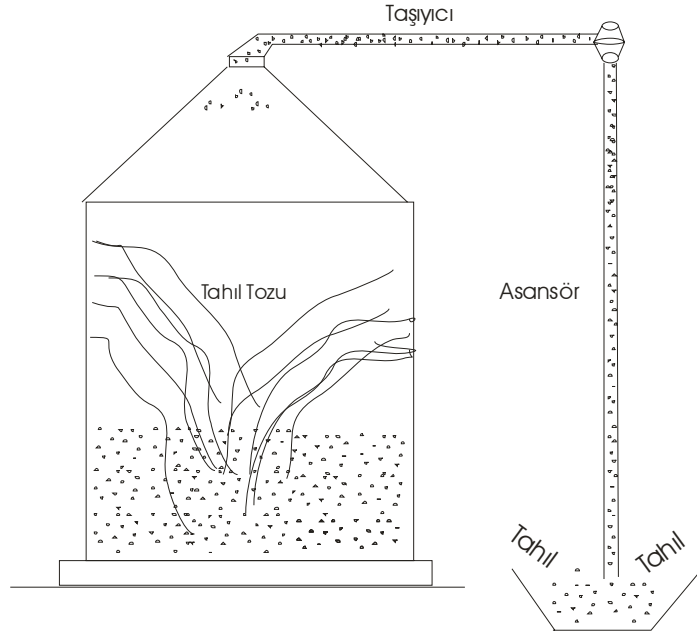
3.5.3. Tahıl Siloları İçin Yeni Bir Seviye Ölçüm Metodu

Kapasitif sensörlerde, tahıl düzeyleri, tahıl düzeyine bağlı olarak değişen kapasitansla ölçülebilir. Ancak, sensör okumasına etki eden faktörler çeşitlidir ve yüksek şekilde hatalı düzey okumaları potansiyeline sahiptir. İlk olarak tahılın nem içeriği, tahıldaki toz ve silo içindeki sıcaklık ve tahılın türü gibi etkenler kapasitörün dielektrik sabitini etkiler. Tüm bu faktörler, güvenilir okuma düzeyini elde etmek için telafi edilmelidir. Tek bir kapasitif sensörün kullanılması bu etkileri ortadan kaldıramaz. Bu nedenle sensör her madde için kalibre edilmelidir. Bu uygun değildir. Bu problem için bir çözüm yolu tüm bu faktörleri telafi eden iki referans kapasitör kullanmaktır. Bu yöntemin sadece silodaki tahıl düzeyine bağlı olan doğru sonucu verdiği gösterilebilir.

Bir sonraki bölümde, siloların tahılla doldurulma tekniği ayrıntılı olarak incelenecektir. Sonra da düzey ölçümünün teorik ayrıntıları hedeflenen yöntemle birlikte sunulmaktadır.

3.5.3.1. Silonun doldurulması

Silolar genellikle üst taraftan doldurulur. İlk önce tahıllar silonun tepesine elevatörlerle taşınır. Sonra tepeden silonun ortasına yatay olarak taşınırlar. Bu pozisyonda tahıllar silonun ortasına dökülür (Şekil 3.35.). Doğal olarak tahıllardaki tozlar havaya uçuşmaya başlar (Şekil 3.35.). Normalde hissedilen düzey havanın ve tahılın dielektrik sabitine bağlı olarak kalibre edilir. Havadaki tozlar, havanın dielektrik sabitini ve dolayısıyla benzer şekilde kapasitif sensörünün doldurulmamış olan kısmının kapasitansını değiştirir. Her sensör tozun etkilerine maruz kalır.

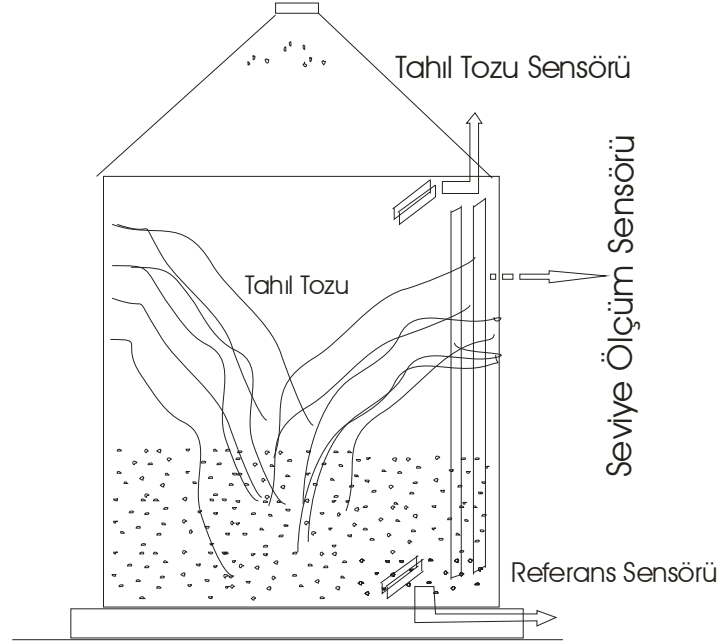


Şekil 3.35. Tahıl taşıma ve silo doldurma sistemi

3.5.3.2. Düzey sensör ayarları

Şekil 3.36.'da bir silo içerisindeki sensörler şematik olarak gösterilmiştir. 2 adet ekstra kapasitif sensör kullanılır. Tahıl dielektrik referansı için sensörün birisi

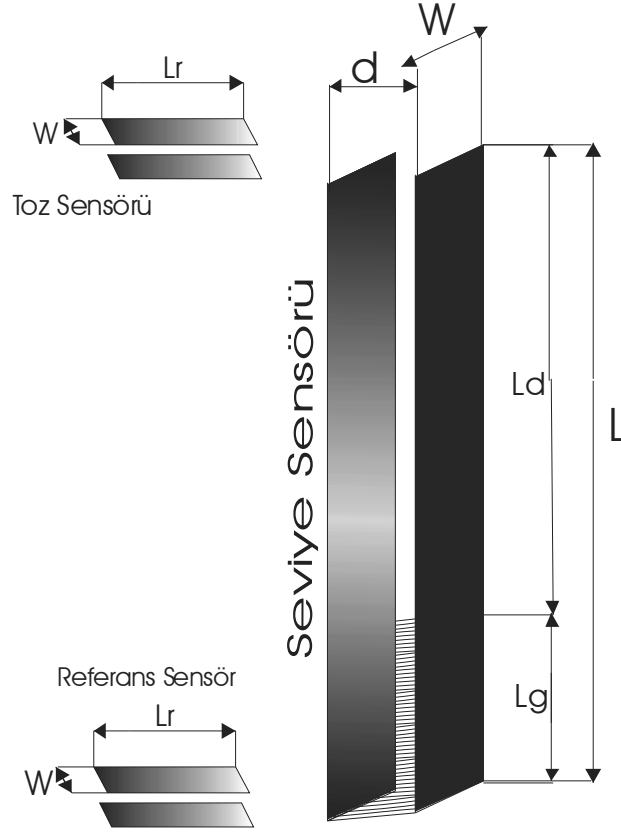
silonun tabanına yerleştirilir. Diğer tozlu hava dielektrik referansı için silonun tepesine yerleştirilir. Bu iki sensör özdeş boyuttadır. Üçüncü sensör silonun yüksekliği boyunca yerleştirilmiş olan düzey sensörüdür. Düzey bu sensörle ölçülür. Bu üç sensör de paralel plakalar arasında eşit mesafeye sahiptir. Ayrıca plakaların genişliği üçü için de aynıdır (Şekil 3.36.).



Şekil 3.36. Silodaki sensörün kurulması

Paralel plakalar alüminyumdan yapılmıştır. Silindirik plakaların yerine paralel plakaların kullanımı tahılların plakaların arasına girişini sağlar.

Dielektrik değerleri, bir kapasitanstan dijitale dönüştürücü (CDC) aracılığıyla dijital verilere dönüştürülür (Şekil 3.37.). Burada her bir sensör için bir adet CDC kullanılmalıdır. Bu CDC'ler kablo kaybını azaltmak için sensöre çok yakın olarak yerleştirilmelidir.



Şekil 3.37. Sensör boyutları ve silo içindeki kurulumları

3.5.3.3. Matematiksel analiz

Matematiksel işlemleri gerçekleştirebilmek için aşağıdaki değişkenler tespit edilir:

C_G = Düzey sensörünün tahıl doldurulmuş kısmının kapasitansı

C_D = Düzey sensörünün tozlu hava dolu kısmının kapasitansı

C_{LS} = tahıl dolu düzey sensörünün toplam kapasitansı

C_{DS} = Toz sensörünün toplam kapasitansı

C_{RS} = Tahıl referans sensörünün toplam kapasitansı

L = Düzey sensörünün toplam yüksekliği

L_g = Düzey sensörünün tahıl dolu kısmının yüksekliği

L_r = Tahıl referansının ve toz sensörünün toplam yüksekliği

L_d = Düzey sensörünün toz dolu kısmının yüksekliği

ϵ_g = Tahılın dielektrik sabiti

ε_d = Tozlu havanın dielektrik sabiti

W = Sensör plakalarının genişliği

d = Plakalar arası uzaklık

$$C_G = \frac{\varepsilon_g W L_g}{d} \quad (3.23.)$$

$$C_D = \frac{\varepsilon_d W (L - L_g)}{d} \quad (3.24.)$$

$$C_{LS} = C_G + C_D \quad (3.25.)$$

$$C_{DS} = \frac{\varepsilon_d W L_r}{d} \quad (3.26.)$$

$$C_{RS} = \frac{\varepsilon_g W L_r}{d} \quad (3.27.)$$

Seviye sensörünün tozlu hava ile dolu olduğu varsayılırsa kapasitansı formül 3.28.'deki gibi hesaplanabilir:

$$C_{DSfull} = \frac{L}{L_r} C_{DS} \quad (3.28.)$$

Kapasitör farklarının oranı formül 3.29.'daki gibi hesaplanır.

$$LR = \frac{C_{LS} - C_{DSfull}}{C_{RS} - C_{DS}} \quad (3.29.)$$

Aslında LR , düzey sensörünün tahıl dolu kısmının L_g yükseklik ve referans sensörü L_r yükseklik oranını verir. Bu aşağıdaki şekilde gösterilebilir. formül 3.29.'daki LR oranı:

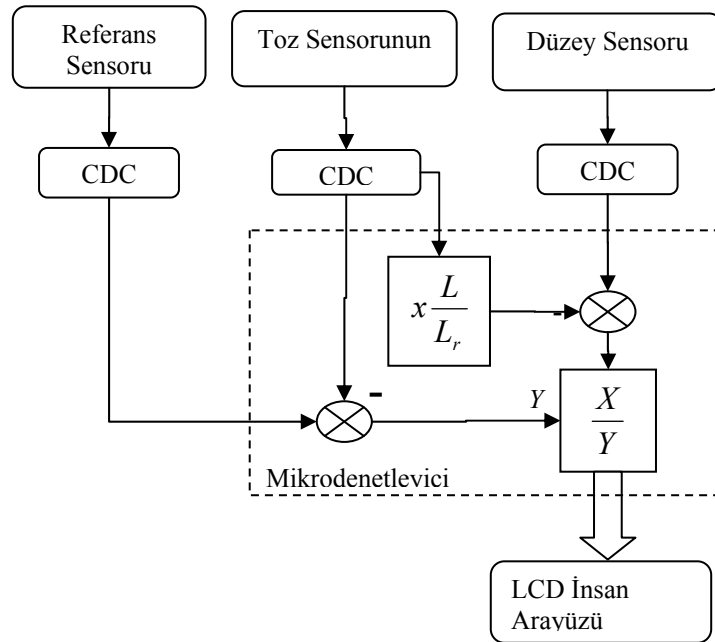
$$LR = \frac{\frac{W}{d} (\varepsilon_g L_g + \varepsilon_d L - \varepsilon_d L_g) - \frac{W}{d} \left(\frac{L}{L_r} \varepsilon_d L_r \right)}{\frac{W}{d} (\varepsilon_g L_r) - \frac{W}{d} (\varepsilon_d L_r)} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Yukarıdaki denklemlerde W/d oranı her terimde faktör olduğu için iptal edilir ve aşağıdaki denklem elde edilir:

$$LR = \frac{\varepsilon_g L_g - \varepsilon_d L_g}{\varepsilon_g L_r - \varepsilon_d L_r} = \frac{L_g (\varepsilon_g - \varepsilon_d)}{L_r (\varepsilon_g - \varepsilon_d)} = \frac{L_g}{L_r}. \quad (3.30.)$$

Böylece LR elde edildiği zaman, tahılın düzeyini L_g bulmak için basit olarak L_r ile çarpılır.

Sensörlerin kapasitansı CDC'lerle ölçülür ve hesaplamaları gerçekleştirmek için mikrodenetleyiciye gönderilir. Sonuç elde edildiğinde hemen ekranda görülebilir (Şekil 3.38.). Bu devrede, AD7745 ölçümlü bir kapasitansla bir PIC16F877A mikrodenetleyicisi devreye entegre edilmiştir. Herbir düzeye, tahıl referansına ve toz sensörlerine bir CDC devresi bağlanmalıdır. Bu devre, ana sistemden gelen komutlara göre kapasitansı ölçer. Frekans okuyan veriler, ana programla ayarlanabilir. Sonucu görüntülemek için CDC devreleri 2x24 LCD ekranı kullanılabilir.



Şekil 3.38. Düzey ölçümünün fonksiyonel diyagramı

3.6. KALİBRASYON VE KIYASLAMA

3.6.1. Nem Analiz Cihazı

Tasarımı yapılan cihazın doğru ölçüm yapabilmesi için direkt yöntemi kullanan bir cihazı referans olarak kalibrasyonun yapılması gerekmektedir. Bu kalibrasyon için proje kapsamında alınan RADWAG marka ve WPS 50SX model numaralı nem analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait resim şekil 3.39.'da görülmektedir.



Şekil 3.39. WPS 50SX model nem analiz cihazı

Cihazın teknik özellikleri çizelge 3.6.'da detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Kalibrasyon için kullanılan cihaz, kurutulacak örnek olarak maksimum 50 gramlık tahıl kabul etmektedir. Bundan dolayı tasarlanmış olduğumuz sensörün kapasitesini ve boyutlarını yeniden düzenlemek zorunda kaldık. Yeni tasarlanan sensör 30 gramlık tahıl kabul ettiği için dolayı kalibrasyon ve kıyaslama işlemleri kolaylaşmıştır.

Çizelge 3.6. RADWAG WPS 50SX nem analiz cihazının teknik özellikleri

| | |
|---------------------------|--|
| Kapasite | 50g |
| Minimum kapasite | 20mg |
| Doğruluk | 0,1mg |
| Çözünürlük(okunabilirlik) | 0,001% |
| Sonuçlar | % nem, % kuruluk, diyagram, gram. |
| Kurutma sıcaklıkları | Max 160 °C (250 °C'ye kadar opsiyonel) |
| Max. Kurutma zamanı | 9 saat 59 dakika |
| Artışlar | 1 °C |
| Kurutma programları | Standart, hızlı, adım, rampa. |
| Kapatma kriteri | Elle, otomatik, zamanlı, tanımlı. |
| Hafıza | 100 kurutma programı. |
| Menü dili | İngilizce |
| Ara yüz bağlantısı | Rs-232 |
| Tepsi çapı | Ø90 |
| Ekran | Grafik |
| Kullanım sıcaklık oranı | +10 °C - +40 °C |
| Dara oranı | -50g |
| Güç | 220-230V/50-60 Hz |

3.6.2. Hassas Terazi

Kapasitif sensöre doldurulacak tahılın ağırlığının hassas bir şekilde ölçülebilmesi için proje kapsamındaki ViBRA marka ve AJ-CE 420 model numaralı hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin resmi şekil 3.40.'da görülmektedir.



Şekil 3.40. AJ-CE 420 model hassas terazi

Hassas teraziye ait özellikler çizelge 3.7.'de verilmiştir. Terazinin çözünürlüğü 1mg hassasiyette seçilmiş olup kuru bazlı nem içeriği hesabı için gayet uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.7. AJ-CE 420 hassas terazinin teknik özellikleri

| | |
|---------------------------|----------------------------------|
| Kapasite | 420g |
| Minimum kapasite | 100mg |
| Doğruluk | 1mg |
| Çözünürlük(okunabilirlik) | 0,001% gram |
| Ağırlık ölçüm metodu | Ayarlı çatal titreşim modeli |
| Kalibrasyon metodu | Dahili ağırlıklı kalibrasyon |
| Tepsi çapı | Ø 118mm |
| Ara yüz bağlantısı | Rs-232 |
| Ekran | Grafik |
| Kullanım sıcaklık oranı | +10 °C - +30 °C (80% bağıl nem.) |
| Dara oranı | -50g |
| Güç | 220-230V/50-60 Hz – 9V DC |

3.6.3. Kapasitif Tahıl Nem Ölçer

Kıyas yapılabilmesi için piyasada bulunan ve tahılın nem içeriğini ölçmede kullanılan proje kapsamında alınan KETT marka PM-410 model tahıl nemölçer cihazı kullanılmıştır. Tahıl olarak laboratuvar ortamında Çukurova yöresine ait iki çeşit buğday ve Urfa yöresine ait bir çeşit buğday olmak üzere toplam üç çeşit buğday türünün testi her üç cihaz ile yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak bunlar ileriki bölümlerde yorumlanmıştır. Tahıl nemölçerin resmi şekil 3.41.de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. KETT marka PM-410 model tahıl nemölçer

Tahıl nem ölçerin ölçmüş olduğu tahıl çeşitleri ve bunlara ait oranlar ile hata miktarı teknik olarak çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. PM-410'a ait ürün listesi

| Ürün Numarası | Ürün | Ölçüm Aralığı | Kalibrasyon hatası(%) |
|---------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Buğday | 6.0-40.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 2 | Arpa | 6.0-40.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 3 | Mısır | 6.0-40.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 4 | Soya | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 5 | Kanola | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 6 | Çavdar | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 7 | Yulaf | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 8 | Sorgum (büyük) | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 9 | Ayçiçeği (uzun) | 6.0-30.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 10 | Ayçiçeği (küçük) | 6.0-20.0% | 0.5 (6.0-20.0%) |
| 11 | Çeltik (uzun,kısa) | 6.0-35.0% | 0.5 (8.0-20.0%) |
| 12 | Pirinç (uzun) | 6.0-20.0% | 0.5 (9.0-20.0%) |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tahılların nem içeriğinin tespiti ile ilgili deneyler Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kalibrasyon ve kıyaslama için gerekli olan ölçüm cihazları BAP projesi kapsamında alınmıştır ve deneyler için kullanılmıştır. Elektronik devre kartı ve sensör tasarımı yapıp imal ettirilmiştir.

Deneyde kullanılacak tahıl olarak buğday seçilmiş ve Çukurova bölgesine ait üç farklı buğday üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Deney adımları:

- Buğday kurutulmadan önce kapasitif sensörde kapasitansı ölçülür ve ölçüm anındaki sıcaklık ve kapasitans değeri kaydedilir.
- Kapasitansı ölçülen buğday daha sonra kapasitif sensördeki hacme karşılık gelen ağırlığı hassas terazi ile ölçülür.
- Ölçülen buğdayın gerçek nem içeriğini öğrenebilmek ve buğdayın nem içeriğini sıfıra getirip kurutabilmek için nem analiz cihazında buğday kurumaya bırakılır.
- Ölçülen buğdayın nem içeriği değerini kıyaslayabilmek için kurutulmadan önce endirekt yöntemi kullanan PM-410 model tahıl nemölçer ile de ölçülür ve değer kaydedilir.
- Buğday kurutulup sıfır nem içeriğine getirildikten sonra nem geçirmeyecek ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bir poşette soğumaya bırakılır.
- Soğuyan buğdayın ağırlığı tekrar ölçülür ve kapasitif sensörde kapasitansı ölçülür.
- Üç buğday çeşidinin de sıfır nem içeriğindeki kapasitansı ölçülür ve bu kapasitansa karşılık gelen dielektrik sabitleri hesaplanır.

Deneylere ilk başlandığında kapasitif sensörün alacağı buğday ağırlık cinsinden hesaplandı ve tasarlanılan kapasitif sensörün ortalama 400 g buğday aldığı ölçüldü. Bu miktardaki buğdayın kurutulması için mikrodalga fırın kullanıldı fakat 400 gram buğdayın homojen bir şekilde kurutulması üç ile dört denemeden sonra çok zor olduğu anlaşıldı. Bu sebepten dolayı kapasitif sensör hacmi küçültülerek nem analiz cihazının kurutma kapasitesine denk bir hacme indirilmesi gerekti. Bu yüzden kapasitif sensör tekrar boyutlandırıldı ve üretildi. Yeni kapasitif sensörün tam dolu kapasitesi 28 ile 32 gram arası olmuş ve boyutları şu şekilde değişmiştir. İç alüminyum çubuğun çapı 6 mm ve uzunluğu 30 mm. Dış alüminyum silindirin çapı 40 mm ile et kalınlığı 1mm ve uzunluğu 35 mm'dir. Silindir plakadan et kalınlığını çıkardığımız zaman iç çapı 38 mm olmaktadır. Kapasitif sensöre ait resim şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Kapasitif sensör

Yeniden tasarlanan kapasitif sensöre ait yeni kapasitans değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\epsilon_0 = 8.8419 * 10^{-12} \text{ farad / metre}$$

$$a=6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$$

$$b=40 \text{ mm}= 0,04 \text{ m}$$

$$L=30 \text{ mm}=0,03 \text{ m}$$

$$C = \frac{2 \cdot \Pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$C = \epsilon_r \cdot 0,8781 \text{ pf}$ çıkmaktadır.

$$\epsilon_r = \frac{C}{0.8781} \quad \text{Tahılın dielektrik sabiti.}$$

Kapasitif sensörün CDC devresine ait resim Şekil 4.2.'de ve kontrol devresine ait resim Şekil 4.3.'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Kapasitanstan Dijitale Dönüştürücüye (CDC) ait devre



Şekil 4.3. Kontrol devresi

Çukurova bölgesine ait iki çeşit buğday ve Urfa yöresine ait bir çeşit buğday olmak üzere toplam üç çeşit buğday türü ile deneyimizi gerçekleştirmiş bulunmaktayız. Bu buğday çeşitlerine ait resimler ve ölçümler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan buğdaylar

Resimdeki buğdaylardan 1 ve 2 numaralı olanları Çukurova bölgesine ait ve 3 numaralı buğday ise Urfa yöresine aittir. Bu buğdaylar ile yapılan ölçümler sırasıyla çizelge 4.1. ve çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.1.'in içeriği buğdaylar kurutma işlemine tabi tutulmadan önceki ölçümleri içermektedir. Çizelge 4.2.'de bulunan değerler kurutma işlemine tabi tutulduktan sonraki değerleri barındırmaktadır.

Çizelge 4.1. Kurutma işleminden önceki buğdaylara ait ölçüm değerleri

| Buğday Türü | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|---------|--------|---------|
| İlk Ağırlık(Gr) | 31,4827 | 29,084 | 29,1176 |
| Sıcaklık(°C) | 23 | 30 | 25 |
| İlk Kapasitans(pF) | 6,904 | 6,945 | 7,900 |
| Boş Kapasitans(pF) | 2,417 | 2,540 | 2,425 |
| Dielektrik Sabiti | 7,862 | 7,909 | 8,997 |
| Nem İçeriği(%) | 13,370 | 13,270 | 14,077 |

Çizelge 4.2. Kurutma işleminden sonraki buğdaylara ait ölçüm değerleri

| Buğday Türü | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| Son Ağırlık(Gr) | 27,2736 | 26,454 | 25,0185 |
| Sıcaklık(°C) | 26 | 30 | 21 |
| Son Kapasitans(pF) | 4,288 | 4,516 | 4,169 |
| Boş Kapasitans(pF) | 2,445 | 2,534 | 2,337 |
| Dielektrik Sabiti | 4,883 | 5,143 | 4,747 |
| Nem İçeriği(%) | 0 | 0 | 0 |

Çizelge 4.2.'de buğdayların sıfır nem içeriğine karşılık gelen dielektrik katsayıları verilmiştir. Bu katsayılardan anlaşılacağı gibi buğdayların üçü de beş dielektrik sabitine yakın bir değer vermektedir.

Tasarlanılan cihaz kalibre edildikten sonra beş farklı nem içeriğine sahip buğday için yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçların direkt yöntem ve Keet marka cihaz ile karşılaştırmalı sonuçlar çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beş farklı numune için ölçüm değerleri ve tasarlanan cihazın direk yonteme göre yüzdelik hata değeri

| Numune No | WPS 50SX (Direkt yöntem) | PM-410 (Endirekt kapasitif yöntem) | Tasarlanan cihaz | Hata(%) |
|-----------|--------------------------|------------------------------------|------------------|---------|
| 1.Numune | % 14.077 | %11.5 | %13.93 | 1.06 |
| 2.Numune | %13.271 | %10.6 | %13.14 | 1.00 |
| 3.Numune | %11.376 | %8.9 | %11.20 | 1.57 |
| 4.Numune | %9.723 | %8.2 | %9.57 | 1.60 |
| 5.Numune | %7.237 | %6.9 | %7.12 | 1.64 |

Teorik olarak hesaplanan kapasitans değeri ile ölçülen kapasitans değerlerinin karşılaştırmalı tabloları çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ölçülen kapasitans ile teorik kapasitansın karşılaştırılması

| % Nem | Ölçülen (pF) | Teorik(pF) | Hata(%) |
|---------|--------------|------------|---------|
| %0 | 4.288 | 5.00 | 16.60 |
| %5.234 | 5.312 | 7.837 | 47.53 |
| %7.546 | 5.764 | 9.359 | 62.37 |
| %8.987 | 6.046 | 10.308 | 70.49 |
| %9.213 | 6.090 | 10.457 | 71.71 |
| %9.653 | 6,195 | 10.747 | 73.48 |
| %11.274 | 6.790 | 11.814 | 73.99 |
| %13.275 | 6.885 | 13.132 | 90.73 |
| %13.370 | 6.904 | 13.195 | 91.12 |
| %14.992 | 7.221 | 14.263 | 97,52 |

Kurutulan buğdaylar tekrar nem kapmamaları için nem geçirmez ve sıcaklığa dayanıklı poşetlerde soğumaya bırakılmaktadır (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Fırında kurutulan tahılın saklanması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Buğday üzerine yapılan deneylerde görüldü ki sıfır nem içeriğine sahip buğdayın dielektrik sabiti, 4,7 ile 5,2 arası, değişmektedir. Bu değişimde bize buğdaydan buğdaya dielektrik sabiti değiştiğinden dolayı cihazı tek tür bir buğdaya göre kalibre ettiğimizde ve başka bir çeşit buğday cinsi ile ölçüm yaptığımız zaman ortaya çıkacak olan hata ölçümden değil buğday için genel bir ortalama değer alınarak hesaplandığından dolayı hatanın meydana geldiğini göstermektedir.

İkinci olarak hatanın bir diğer sebebi ise buğdayın sıkıştırılmadan ölçülmesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan deneylerde ölçülecek buğday sıkıştırılmadığı takdirde %1 ila %2 arasında yanlış ölçüm yapmaya yol açmaktadır. Bu yanlış ölçümün önüne geçmek için bölüm 3.5.2.'deki tasarım izlenmelidir.

Üçüncü olarak kıyaslama için kullanılan ve piyasadaki birçok firmanın da referans olarak tahılın ağırlığını alması yapılan deneyler sonucunda oldukça yanlış olduğu görülmüştür. Sebebi numune olarak kullanılan buğdaylar kurutulduğu zaman yoğunluklarının azaldığı ve dolayısıyla kapasitif sensörde yaş olarak yer kaplayan buğdayın kurutulduktan sonra aynı hacmi ve hatta daha fazla hacim kaplaması ve buna karşın ağırlığının azalması gösterilebilir.

Numune olarak alınan buğdaylardan 2 numaralı buğday diğer buğdaylara oranla sıfır nem içeriğinde daha fazla dielektrik sabitine sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak Çukurova bölgesinden alınan numuneler Urfa yöresine ait olan numuneden daha fazla dielektrik sabitine sahip olduğu görülmüş ve daha kapsamlı bir araştırma yapılarak bölgeye özel dielektrik sabiti nem ölçüm cihazına öğretilerek daha az hatalı nem ölçümleri yapılabileceği düşünülmüştür.

Uygulama çeşitlerinden online nem ölçerin tahıl depolama sistemlerinde kullanımının çok uygun olacağı ve sürekli nem kontrolü ve kaydı tutularak bozulmanın önüne geçileceği düşünülmektedir. Yapılan araştırmalarda tahıl

depolama silolarında böyle bir kullanıma rastlanmamıştır. Böyle bir online nem ölçerin maliyeti de oldukça uygun ve üretimi kolay olmaktadır.

Tahıl depolama sistemlerinde bir diğer problem ise siloda bulunan tahıl miktarının ölçülmesiyle ilgilidir. Silolardaki tahıl seviyesinin ölçümüyle ilgili birçok uygulama bulunmaktadır fakat bunların en büyük problemi tahılın dolumu sırasındaki tozun etkisinin kompanze edilememesi ve bundan dolayı dolum yaparken yanlış sonuçlar üretmeleridir. Üç sensörlü yaklaşım ile tahılın tozunun etkisi, tahılın türü ve neminden kaynaklanacak etkiler giderilmiştir. Bu ölçüm yöntemi ile sağlıklı ölçümler alınacağı düşünülmektedir.

Tahıllarda nem ölçümü bilhassa hassas ve doğru bir şekilde ölçülmesinin hem pazarlama hem de depolama açısından önemli olduğu bilindiğinden dolayı yapılan çalışmanın ilk başta ülkemiz insanına ve daha sonra dünya toplumuna ve endüstrisine faydalı olacağına inanıyoruz.

KAYNAKLAR

- [1] 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).
- [2] Zia-Ur, R. “ Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals ”, *Food Chemistry Journal*, **95(1)**: 53–57, (2006).
- [3] Srivastava, V.K. ve John, J. “ Deep bed grain drying modeling ”, *Energy Conversion and Management Journal*, **43(13)**: 1689–1708, (2002).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] Ronald R.M. “ Effects of molds and their toxins on livestock performance a western Canadian perspective ”, *Animal Feed Science and Technology Journal*, **58(1)**: 77–89, (1996).
- [7] Nelson, S.O. “ Sensing moisture content in grain ”, *Instrumentation & Measurement Magazine IEEE*, **3(1)**: 17–22, (2000).
- [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] 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).
- [10] Nelson, S.O. ve Trabelsi, S. “ Sensing grain moisture content through dielectric properties ”, *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, **2**: 320–323, (2002).
- [11] Nelson, S.O., Kraszewski, A.W., Trabelsi, S. ve Lawrence, K.C. “ Using cereal grain permittivity for quality sensing by moisture determination ”, *IMTC/99, Proceedings of the 16th IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology*, **1**: 237–242, (1999).

- [12] Sang Hou, A. ve Xiao-Ping Su, S. “ Design of a capacitive-sensor signal processing system with high accuracy and short conversion time ”, *Sensors and Actuators*, **119(1)**: 113–119, (2005).
- [13] Chiachung, C. “ Evaluation of Air Oven Moisture Content Determination Methods for Rough Rice ”, *Biosystems Engineering Journal*, **86(4)**: 447–457, (2003).
- [14] Bowden, P. J. “ Comparison of three routine oven methods for grain moisture content determination ”, *Journal of Stored Products Research*, **20(2)**: 97–106, (1984).
- [15] 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).
- [16] Nelson, S.O. “ Dielectric Properties of Agricultural Products ”, *Dielectrics and Electrical Insulation*, **26(5)**: 845–869, (1991).
- [17] 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).
- [18] 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).
- [19] Ranjana, N., Chauhan, G.S. ve Verma, N.S. “ Changes in the quality of soybean during storage. Part 1-Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean ”, *Food Chemistry Journal*, **27(1)**: 13–23, (1988).
- [20] 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).
- [21] Venkatesh, M.S. ve Raghavan, G.S.V. “ An overview of dielectric properties measuring techniques ”, *Canadian biosystems engineering*, **47(7)**: 15–30, (2005).
- [22] 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).
- [23] Kraszewski, A.W., Trabelsi, S. ve Nelson, S.O. “ Comparison of Density-independent Expressions for Moisture Content Determination in Wheat at Microwave Frequencies ”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **71(3)**: 227-237, (1998).

- [24] Altuntaş, E. ve Yıldız, M. “ Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) ”, *Journal of Food Engineering*, **78(1)**: 174–183, (2007).
- [25] 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).
- [26] 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).
- [27] Pixton, S.W. ve Griffiths, H.J. “ Diffusion of moisture through grain ”, *Journal of Stored Products Research*, **7(3)**: 133–152, (1971).
- [28] Mills, B.T. “ Multi-sensor system using plastic optical fibers for intrinsically safe level measurements ”, *Linear Applications Handbook* National Semiconductor Corporation, New York, 1978 s., (1986).
- [29] Vázquez, C., Garcinuño, J., Pena, J.M.S. ve Gonzalo, A.B. “ Multi-sensor system for level measurements with optical fibers ”, *Proceedings of the 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Sevilla, Spain, 5–8, (2002).
- [30] Betta, G., Pietrosanto, A. ve Scaglione, A. “ A Gray-Code based fiber optic liquid level sensor ”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **27(1)**: 174–178, (1998).
- [31] David, B.H. “ Fail-safe devices for the prevention of hazardous materials spills ”, *Journal of Hazardous Materials*, **13(2)**: 174–178, (1986).
- [32] Larry, K.B. “ Capacitive Sensors: Design and Applications ”, *IEEE Press Series on Electronics Technology*, New York, 320 s., (1996).
- [33] Vass, G. “ The principles of level measurement ”, *Sensors Magazine*, **17**: 142-161, (2000).
- [34] Haase, W.C. “ Digital measurement circuit and system using a grounded capacitive sensor ”, *US Patent* 6,700,392, (2004).
- [35] Stanley, E.W. ve Bryant, D.T. “ A Wireless Fluid-Level Measurement Technique ”, *Sensors and Actuators A: Physical*, **137(2)**: 268–278, (2007).
- [36] Ferran, R., Xiujun, L. ve Gerard, C.M.M. “ Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor ”, *Sensors and Actuators A: Physical*, **138(1)**: 1–8, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hakan İŞİKER

Doğum Tarihi ve Yeri: 24.12.1979 / ADANA

Öğrenim Durumu:

| | | |
|-------------|---|------|
| İlkokul: | Orhangazi İlkokulu-Adana | 1990 |
| Ortaokul: | Ahmet Cevdet Çamurdan Ortaokulu-ADANA | 1993 |
| Lise: | 19 Mayıs Lisesi-ADANA | 1996 |
| Üniversite: | Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.-NİĞDE | 1998 |

Yabancı Dili: İngilizce

Adres: İsmet Paşa Mah. 28.Sok No:9 Seyhan/ADANA

EK-1: MİKRODENETLEYİCİYE ATILAN YAZILIM

```
*****
* Name   : Grain Moisture Tester For Master Thesis.BAS      *
* Author : [By Hakan IŞIKER and Hüseyin CANBOLAT]          *
* Copyright (c) 2007 [Hakan IŞIKER and Hüseyin CANBOLAT]   *
* Programmer : Pic Basic Pro 2.46 (All Rights Reserved)     *
* Date    : 12.01.2007                                       *
* Version : 1.3                                              *
* Microcontroller : PIC16F877A                               *
*****
' I2C_READ and I2C_WRITE Commands
' Write to the first 16 locations of an external serial EEPROM
' Read first 16 locations back and send to serial out repeatedly
' Note: for EEPROMS with byte-sized address

*****Defining Osilator*****
DEFINE OSC 8
*****LCD PORT Configurations*****
DEFINE LCD_DREG PORTA
DEFINE LCD_DBIT 0
DEFINE LCD_RSREG PORTA
DEFINE LCD_RSBIT 4
DEFINE LCD_EREG PORTA
DEFINE LCD_EBIT 5
DEFINE LCD_BITS 4
DEFINE LCD_LINES 2
ADCON1=$07 'Bu portA yı açılıştta analog olarak kuruluyken digital I/O olarak set eder.
*****TEMPERATURE PORT Configurations*****
DQ1Var PORTB.3 ' One-wire data pin
TEMP1 VAR BYTE 'DEPOLANACAK OKUNAN SICAKLIK DEĞERİ
*****I2C Mode Configurations*****
*****SERIAL CLOCK (SCL) - RC3/SCK/SCL
*****SERIAL DATA (SDA) - RC4/SDI/SDA
TRISC=$0FF
SSPSTAT.7=1
SSPSTAT.6=0
SSPCON=%11111000 'SYNCHRONOUS SERIAL PORT ENABLE BIT (SSPEN) BIT.5
SSPADD=$30
*****Configurations <<<<I/O Port>>>> of microcontroller*****
*****Configurations <<<<REGISTERS>>>> of microcontroller*****
T_DATA VAR BYTE
R_DATA VAR BYTE
CAPDATA VAR WORD
ADRESS_W CON $90
ADRESS_R CON $91
SUB_ADRESS VAR BYTE
WRITE_DATA VAR BYTE
```

```

READ_DATA VAR BYTE
REGISTER_ADD VAR BYTE
ACK VAR BYTE
*****Configurations <<<<VARIABLES>>>> of microcontroller*****
SEN VAR SSPCON2.0
RSEN VAR SSPCON2.1
PEN VAR SSPCON2.2
RCEN VAR SSPCON2.3
ACKEN VAR SSPCON2.4
ACKDT VAR SSPCON2.5
ACKSTAT VAR SSPCON2.6
WCOL VAR SSPCON.7
SSPOV VAR SSPCON.6
SSPEN VAR SSPCON.5
P VAR SSPSTAT.4
S VAR SSPSTAT.3
BF VAR SSPSTAT.0
SSPIF VAR PIR1.3
BCLIF VAR PIR2.3
MENU VAR PORTB.4
DOWN VAR PORTB.5
UP VAR PORTB.6
OK VAR PORTB.7
SAYICI VAR BYTE
CAPDAC VAR BYTE
SCALA VAR WORD
SHOW_CAPDAC VAR BYTE
AUTOMATIC VAR BYTE
AUTO_NUMBER VAR BYTE
***Configurations <START REGISTER CONFIGURATIONS> of microcontroller
HIGH PORTE.0
TRISB=$0FF
OPTION_REG.7=0 'PULL UP
pause 1000
    Lcdout $fe, 1
    Lcdout "Mersin University "
Lcdout $fe, $C0
WCOL=0
*****Communication to AD7745*****
SCALA=0
SAYICI=5
CAPDAC=0
SHOW_CAPDAC=0
AUTO_NUMBER=0
AUTOMATIC=1
'CAP DAC A REGISTER Address Pointer 0x0B
SUB_ADRESS=$0B
WRITE_DATA=$00

```

```

    GOSUB I2C_WRITE
'CONFIGURATION REGISTER Address Pointer 0x0A
    SUB_ADDRESS=$0A
    WRITE_DATA=$39
    GOSUB I2C_WRITE
'EXC SET-UP REGISTER Address Pointer 0x09
    SUB_ADDRESS=$09
    WRITE_DATA=$0B
    GOSUB I2C_WRITE
'CAP SET-UP REGISTER Address Pointer 0x07
    SUB_ADDRESS=$07
    WRITE_DATA=$80
    GOSUB I2C_WRITE
MAIN:
'KEYS CONTROL
    IF MENU=0 THEN
        SAYICI=SAYICI-1
        IF SAYICI=0 THEN
            GOTO MENUU
        ELSE
            GOTO SUB_MAIN
        ENDIF
    ENDIF
    SAYICI=5
SUB_MAIN:
'TEMP CONTROL ROUTINE
    OWOut DQ1, 1, [SEE]    ' Start tmpr conversion
    PAUSE 35
    OWOut DQ1, 1, [AA]    ' Start tmpr conversion
    OWIn DQ1, 0, [TEMP1]
'CAP DATA REGISTER 24 Bits, Address Pointer 0x01, 0x02, 0x03, Read-Only,
    SUB_ADDRESS=$01
    GOSUB I2C_READ

    IF AUTOMATIC=1 THEN
        SCALA=44
        CAPDAC=0
        CAPDAC.7=1
        IF AUTO_NUMBER=127 AND CAPDATA=$FFFF THEN
            Lcdout$fe, $C0, "OUT OF RANGE "
            GOTO MAIN
        ENDIF
        IF CAPDATA=$FFFF THEN
            AUTO_NUMBER=AUTO_NUMBER + 10
            IF AUTO_NUMBER=130 THEN
                AUTO_NUMBER=127
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF

```

```

IF CAPDATA=0 THEN
  IF AUTO_NUMBER=127 THEN
    AUTO_NUMBER=130
  ENDIF
  IF AUTO_NUMBER >=10 THEN
    AUTO_NUMBER=AUTO_NUMBER - 10
  ENDIF
ENDIF
CAPDAC=CAPDAC + AUTO_NUMBER
SUB_ADRESS=$0B
WRITE_DATA=CAPDAC
GOSUB I2C_WRITE
SHOW_CAPDAC=AUTO_NUMBER
Lcdout  $fe, $80, "CAPDAC=", #SHOW_CAPDAC, " "
IF AUTO_NUMBER <> 0 THEN GOSUB CAPDAC_SELECT
ENDIF
CAPDATA=CAPDATA / 8
CAPDATA=CAPDATA + SCALA
CAPDATA=CAPDATA - $FFF
Lcdout  $fe, $C0, "READ ", #CAPDATA, " fF "
Lcdout  $fe, $C0 + 13, "TEMP ", #TEMP1, " C "
PAUSE 100
GOTO MAIN
*****(((WRITE))) I2C ADRESS AND DATA TO REGISTER*****
I2C_WRITE:
GOSUB START
IF BCLIF=1 THEN
  LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
T_DATA=ADRESS_W
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN
  Lcdout  $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
  Lcdout  $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
  GOTO HATA
ENDIF
T_DATA=SUB_ADRESS
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN
  Lcdout  $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
  Lcdout  $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
  GOTO HATA
ENDIF
T_DATA=WRITE_DATA
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN

```

```

    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
    GOTO HATA
ENDIF
GOSUB STOPP
IF BCLIF=1 THEN
    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
return
*****(((READ)))) WRITE I2C ADRESS AND READ DATA TO REGISTER
I2C_READ:
GOSUB START
IF BCLIF=1 THEN
    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
T_DATA=ADRESS_W
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
    GOTO HATA
ENDIF
T_DATA=SUB_ADRESS
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
    GOTO HATA
ENDIF
GOSUB R_START
IF BCLIF=1 THEN
    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
T_DATA=ADRESS_R
GOSUB SEND_DATA
IF ACKSTAT=0 THEN
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=0 "
ELSE
    Lcdout $fe, $80 + 18, "ACK=1 "
    GOTO HATA
ENDIF
GOSUB RECEIVING_DATA
CAPDATA.BYTE1=R_DATA
GOSUB ACK_0
IF BCLIF=1 THEN

```



```

    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
GOSUB RECEIVING_DATA
CAPDATA.BYTE0=R_DATA
GOSUB ACK_1
IF BCLIF=1 THEN
    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
GOSUB STOPP
IF BCLIF=1 THEN
    LCDOUT $fe, $C0, "BCLIF=1 "
ENDIF
return
*****START*****
START:
    SEN=1
S_1:
    IF (SEN=0) AND (SSPIF=1) THEN S_2
    GOTO S_1
S_2:
    SSPIF=0
    RETURN
*****STOP*****
STOPP:
    PEN=1
PS_1:
    IF (PEN=0) AND (SSPIF=1) THEN PS_2
    GOTO PS_1
PS_2:
    SSPIF=0
    RETURN
*****REPEAT START*****
R_START:
    RSEN=1
RS_1:
    IF (RSEN=0) AND (SSPIF=1) THEN RS_2
    GOTO RS_1
RS_2:
    SSPIF=0
    RETURN
*****SEND ACK=0 IN RECEIVE MOD*****
ACK_0:
    ACKDT=0
    ACKEN=1
ACK_01:
    IF (ACKEN=0) AND (SSPIF=1) THEN ACK_02
    GOTO ACK_01
ACK_02:

```

```

SSPIF=0
RETURN
*****SEND ACK=1 IN RECEIVE MOD*****
ACK_1:
  ACKDT=1
  ACKEN=1
ACK_11:
  IF (ACKEN=0) AND (SSPIF=1) THEN  ACK_12
  GOTO ACK_11
ACK_12:
  SSPIF=0
  RETURN
*****TRANSMITTING DATA*****
SEND_DATA:
  SSPBUF=T_DATA
  IF WCOL=1 THEN
    Lcdout $fe, $C0 + 8, "WCOL=1 "
  ENDIF
S_DATA_1:
  IF (BF=0) AND (SSPIF=1) THEN  S_DATA_2
  GOTO S_DATA_1
S_DATA_2:
  SSPIF=0
  RETURN
*****RECEIVING DATA*****
RECEIVING_DATA:
  RCEN=1
R_DATA_1:
  IF (RCEN=0) AND (SSPIF=1) THEN  R_DATA_2
  GOTO R_DATA_1
R_DATA_2:
  SSPIF=0
  R_DATA=SSPBUF
  RETURN
*****
MENUU:
  SCALA=0
  Lcdout $fe, 1
  SUB_ADRESS=$0B
  GOSUB I2C_READ
  CAPDAC=CAPDATA.BYTE1
  SHOW_CAPDAC=CAPDAC
  SHOW_CAPDAC.7=0
  Lcdout $fe, $80 , "CAPDAC=", #SHOW_CAPDAC
  PAUSE 200
  IF UP=0 THEN
    CAPDAC=CAPDAC+10
    SUB_ADRESS=$0B

```

```

WRITE_DATA=CAPDAC
GOSUB I2C_WRITE
ENDIF
IF DOWN=0 THEN
CAPDAC=CAPDAC-10
SUB_ADRESS=$0B
WRITE_DATA=CAPDAC
GOSUB I2C_WRITE
ENDIF
IF OK=0 THEN
GOTO SUB_MENUU
ENDIF
GOTO MENUU
SUB_MENUU:
IF CAPDAC.7=1 THEN
Lcdout $fe, $80 + 12, "CAPDAC=ON "
ENDIF
IF CAPDAC.7=0 THEN
Lcdout $fe, $80 + 12, "CAPDAC=OFF"
ENDIF
PAUSE 200
IF UP=0 THEN
CAPDAC.7=1
SUB_ADRESS=$0B
WRITE_DATA=CAPDAC
GOSUB I2C_WRITE
ENDIF
IF DOWN=0 THEN
CAPDAC.7=0
SUB_ADRESS=$0B
WRITE_DATA=CAPDAC
GOSUB I2C_WRITE
ENDIF
IF OK=0 THEN
IF CAPDAC.7=0 THEN
SCALA=0
ELSE
SCALA=44
ENDIF
GOSUB CAPDAC_SELECT
GOTO AUTO_MENU
ENDIF
GOTO SUB_MENUU

AUTO_MENU:
IF AUTOMATIC=1 THEN
Lcdout $fe, $80 + 11, "AUTOMATIC=ON "
ENDIF

```

```

IF AUTOMATIC=0 THEN
  Lcdout $fe, $80 + 11, "AUTOMATIC=OFF"
ENDIF
PAUSE 200
IF UP=0 THEN
  AUTOMATIC=1
ENDIF
IF DOWN=0 THEN
  AUTOMATIC=0
ENDIF
IF OK=0 THEN
  SAYICI=5
  GOTO MAIN
ENDIF
GOTO AUTO_MENU

```

CAPDAC_SELECT:

```

SELECT CASE SHOW_CAPDAC

CASE 10
SCALA=SCALA + 1536

CASE 20
SCALA=SCALA + 3024

CASE 30
SCALA=SCALA + 4504

CASE 40
SCALA=SCALA + 6031

CASE 50
SCALA=SCALA + 7533

CASE 60
SCALA=SCALA + 9016

CASE 70
SCALA=SCALA + 10479

CASE 80
SCALA=SCALA + 11962

CASE 90
SCALA=SCALA + 13465

CASE 100
SCALA=SCALA + 14973

```

```
CASE 110
SCALA=SCALA + 16487
```

```
CASE 120
SCALA=SCALA + 17975
```

```
CASE 127
SCALA=SCALA + 18669
END SELECT
```

```
RETURN
```

```
*****
```

```
HATA:
```

```
  Lcdout    $fe, $C0 + 4, "ERROR AND HALT"
  goto     HATA
END
```