



**ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİYLE SİLOLARDAKİ**

**TAHİL MİKTARININ TESPİT EDİLMESİ**

**Hüseyin DUYSAK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı**

**Doç.Dr., Enes YİĞİT**

**MAYIS, 2018**

**T.C**  
**KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİYLE SİLOLARDAKİ TAHİL**  
**MİKTARININ TESPİT EDİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Hüseyin DUYSAK**

**Anabilim Dalı: İleri Teknolojiler**

**Programı : Elektrik Elektronik Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Enes YİĞİT**

**KARAMAN, 2018**

## TEZ ONAYI

Hüseyin DUYSAK tarafından hazırlanan “**Elektromanyetik Alan Ölçümleriyle Silolardaki Tahıl Miktarının Tespit Edilmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Enes YİĞİT

### Juri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Enes YİĞİT  
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği)

Doç. Dr. Serhan YAMAÇLI  
(Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği)

Dr. Öğr. Ü. Şevket DEMİRCİ  
(Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği)

Tez Savunma Tarihi: 11.05.2018

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

Doç. Dr. Kamil ARI  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**Hüseyin DUYSAK**

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİYLE SİLOLARDAKİ TAHIL MİKTARININ TESPİT EDİLMESİ**

**Hüseyin Duysak**

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Enes YİĞİT**

**MAYIS, 2018, 68 Sayfa**

Tahıl canlıların için önemli bir besin kaynaklarından biridir. Bu nedenle tahılın bozulmadan depolanmasında kullanılan en popüler ticari ürünler silolardır. Silolardaki tahıl miktarının bilinmesi hem ticari açıdan hem de ekonomik durumlar için önemlidir. Savaş, kıtlık gibi zor koşullarda tahıl miktarının bilinmesi gerekli önlemlerin alınması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu tezde silolardaki tahıl miktarının elektromanyetik(EM) alan ölçümleriyle bulunmasına yönelik yapılan çalışmalar sunulmuştur. Farklı miktarlarda tahıl içeren gerçek boyutlu silolarda EM işaretlerin elde edilmesi oldukça uzun süreli ve maliyetli olacağından ölçeklendirme tekniği sayesinde laboratuvar ortamında model silo üzerinde ölçümler yapılmıştır. Model silo üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş ve iç yüzeyi iletkenliği sağlaması için alüminyum ile kaplanmıştır. Deneylerde EM saçılım bilgisi vektör network analizör ile 18-40 GHz frekanslarında toplam 301 nokta için elde edilmiştir. Silonun dolumu ve boşaltılması gerçek silolara uygun olarak gerçekleştirilmiştir ve tahıl olarak ölçeklendirme oranına uygun boyutlarda kırık tahıl kullanılmıştır. Geleneksel seviye ölçüm yöntemleri tek noktadan ölçüm yaptığı için silolarda dolun ve boşaltım sonrası oluşan konik tepe ve çukurlar ölçüm hatalarına sebep olmaktadır. Bu çalışmada silonun tüm iç yüzeyini EM olarak aydınlatan geniş huzmeli antenler kullanılmış ve tüm olası tahıl yığına ait geri saçılım sinyalleri elde edilmiştir. Çelik silo duvarının sinüzoidal halkalarından gelen çok yönlü ve güçlü ayna yansımaları sinyal işlemeyi zorlaştırdığından, olası tüm tahıl miktarları için seviye bilgisini elde etmek için sezgisel öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Böylece farklı seviyelerdeki tahıla ait 4500 adet ölçüm içeren veri tabanı oluşturulmuştur. Ölçümlerde tahılın dolun ve boşaltılmasından sonra oluşan konik yapılar dikkate alınmıştır. Elde edilen her bir ölçüm verisinden farklı sinyal işleme teknikleriyle 8 farklı özellik çıkartılmıştır. Bu özellikler yapay sinir ağları, K-en yakın komşuluk ve aşırı öğrenme makinesi algoritmalarında eğitim verisi olarak kullanılmıştır ve test verileriyle yapay zekâ algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radar, silo, seviye ölçümü, makine öğrenimi, yapay sinir ağları, tahıl

## ABSTRACT

Ms Thesis

### DETERMINATION OF GRAIN QUANTITY WITH ELECTROMAGNETIC FIELD MEASUREMENTS IN SILO

Hüseyin DUYSAK

Karamanoglu Mehmetbey University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Advanced Technology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Enes YİĞİT

MAY, 2018, 68 Pages

Grain is one of the most important food sources for humans and animals. Silos are the most preferred devices for grain storage. Knowing the amount of grain in silos is important in terms of commercial and critical situations. Owing to known the right quantity of the grain, precautions can be taken in case of scarcity and war. In this thesis, studies are presented that is carried out to find the amount of grain in silos by means of electromagnetic(EM) field measurements. Since measurements are quite long time and costly to obtain the EM signal in real size silos containing different amounts of grain, measurements are performed using model silo in the laboratory environment. The model silo is produced with a three-dimensional printer and is covered with aluminium for inner conductivity. In the experiments, EM scattering information is obtained with a vector network analyzer for a total of 301 points at 18-40 GHz frequencies. The filling and emptying of the silos are carried out in accordance with the real silos, and broken grains are used in sizes suitable for the grain-to-scale ratio. Since traditional level measurement methods can measure grain level from a single point, the conical stack occurred after the filling and emptying of the grain aren't considered. In this study, wide beam antennas illuminating the whole inner surface of the silo are used and back-scattering signals for all possible grain stacks are obtained. Since the multipath and strong mirror reflections from the sinusoidal rings of steel silo wall make the signal processing challenging, intuitive learning methods have been used to obtain backscatter information for all possible grain quantities. Thus, a database containing 4,500 measurements of different levels of grain was created. The measurements are carried out taking into consideration the conical stacks occurred after the filling and emptying of the grain. Eight different features have been extracted from each measurement data by different signal processing techniques. These features were used as training data in artificial neural networks, K-nearest neighbours and extreme learning machine algorithms and performance of algorithms are evaluated by test data.

**Keywords:** Radar, silo, level measurement, machine learning, artificial neural network, grain

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında silolarda tahıl miktarının radar ve makine öğrenimi algoritmaları ile tespitine yönelik çalışmalar verilmiştir. Gerekli radar sinyali VNA ile elde edilmiş ve silo içi geri yansımalar toplanmıştır. Silolarda tahılın doldurulmasından ve boşaltılmasından kaynaklı konik tepe veya çukurlar oluşmaktadır. Hem bu konik yapılardan dolayı hem de silonun metalik yapısından dolayı tek bir yansıma yerine çok yönlü yansımalara neden olmaktadır. Bu yüzden Fourier dönüşümü kullanılarak menzil profiline dayalı makine öğrenme yöntemleri ile tahıl miktarının tespiti yapılmıştır.

Tez çalışması süresince sabır ve desteklerinden dolayı eşim Naime DUYSAK'a teşekkür ederim.

Bu tezin savunması öncesinde haberini almış olduğum kızıma/oğluma manevi desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez konusunu öneren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Doç. Dr. Enes YİĞİT'e teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca yardımlarından ve desteklerinden dolayı Mustafa TEKBAŞ'a, Mehmet YERLİKAYA'ya ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2018

KARAMAN

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>ÖNSÖZ</b> .....	iii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	x
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	3
2.1. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLARI .....	3
2.2. HAVA RADARINA GENEL BAKIŞ.....	6
2.2.1. Radarın Tarihçesi .....	6
2.2.2. Radar Temelleri.....	6
2.2.3. Anten.....	7
2.2.4. Adım Frekanslı Sürekli Dalga Radarı(AFSDR) .....	13
2.3. HAVA RADARI İLE SEVİYE ÖLÇÜMÜ.....	15
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	18
3.1. KULLANILAN MATERYALLER.....	18
3.1.1. Deney Düzenegi.....	18
3.2. KULLANILAN METOT.....	29
3.2.1. Saçılma(S) Parametreleri .....	29
3.2.2. Fourier Dönüşümü .....	31
3.2.3. Tek Boyutlu Menzil Profil Bilgisinin Elde Edilmesi.....	33
3.2.4. K-En yakın Komşu Algoritması KNN.....	35
3.2.5. Yapay Sinir Ağları .....	37
3.2.6. Aşırı Öğrenme Makinesi(ELM).....	40
3.2.7. Menzil Profilinden Özellik Türetimi (Feature Extraction) .....	41
3.2.8. Sonuçların Değerlendirilmesi .....	47
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR</b> .....	48
4.1. DENEYSEL BULGULAR.....	48
4.1.1. Boş Silo Ölçüm Deneyleri .....	48
4.1.2. Dolu Silo Seviye Ölçümler .....	49



4.1.3. Tahıl Seviyesinin Belirlenmesi .....	57
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>67</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Farklı huni antenler ait anten parametre değerleri .....	11
Çizelge 3.1: 3B yazıcı temel özellikleri .....	22
Çizelge 3.2: Keysight N5224A VNA temel özellikleri.....	24
Çizelge 3.3: A-INFO INC LB- 180400 huni anten özellikleri.....	26
Çizelge 3.4: Huni antenlerin frekansa göre hüzme (beam) açıları .....	26
Çizelge 3.5: Schwarzbeck bbha 9170 huni anten özellikleri.....	27
Çizelge 3.6: KNN algoritması uzaklık fonksiyonları .....	36
Çizelge 3.7: YSA toplam fonksiyonlarından bazıları .....	38
Çizelge 3.8: YSA aktivasyon fonksiyonlarından bazıları ve matematiksel ifadeleri.....	39
Çizelge 4.1: 15 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri .....	52
Çizelge 4.2: 7,5 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri .....	55
Çizelge 4.3: 10 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri .....	56
Çizelge 4.4: 15 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri .....	56
Çizelge 4.5: Sinyal özellikleri .....	57
Çizelge 4.6: Kombinasyon örnekleri ve sayıları .....	58
Çizelge 4.7: YZA için test veri tabanı .....	59
Çizelge 4.8: KNN algoritması sadece menzil profili ile doğruluk sonucu.....	60
Çizelge 4.9: KNN algoritması doğruluk oranları .....	60
Çizelge 4.10: YSA parametreleri .....	61
Çizelge 4.11: YSA menzil profili doğruluk oranı .....	61
Çizelge 4.12: YSA doğruluk oranları .....	61
Çizelge 4.13: ELM algoritması parametreleri .....	62
Çizelge 4.14: ELM algoritması menzil profili doğruluk sonucu.....	62
Çizelge 4.15: ELM doğruluk oranları .....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekiller</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Radar çalışma diyagramı.....	7
Şekil 2.2: Anten iletim modeli .....	7
Şekil 2.3: Çeşitli tiplerdeki antenler .....	8
Şekil 2.4: Anten güç ışıma deseni .....	9
Şekil 2.5: İzotropik anten ışıma deseni .....	9
Şekil 2.6: Anten kazancı.....	10
Şekil 2.7: Huni (Horn) anten .....	10
Şekil 2.8: Anten alan bölgeleri .....	12
Şekil 2.9: Yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine anten ışıma deseni oluşumu ....	13
Şekil 2.10: AFSDR Frekans Değişimi .....	14
Şekil 2.11: Radar ile seviye ölçümü şematik gösterimi .....	15
Şekil 2.12: Dar huzmeli anten ile seviye ölçümü.....	16
Şekil 2.13: Dar huzmeli anten ile gerçekleştirilen ölçüme ait menzil profili.....	16
Şekil 2.14: Geniş huzmeli anten ile ölçüm.....	17
Şekil 2.15: Geniş huzmeli anten ile yapılan ölçüme ait menzil profili .....	17
Şekil 3.1: Deney düzeneği.....	18
Şekil 3.2: Huni antenlerin silo içerisinden görünüşü .....	19
Şekil 3.3: Silonun bir parçasının 3B CAD ortamında görüntüleri ve teknik çizimi .....	20
Şekil 3.4: Montajlanmış silonun 3B CAD ortamında kesit görünümü, .....	21
Şekil 3.5: Silonun 3B CAD ortamında üstten(a) ve alttan(b) görünümü .....	21
Şekil 3.6: Ultimaker extended 2+ 3B yazıcı.....	22
Şekil 3.7: Silo parçalarının üç boyutlu yazıcıda üretim anından görüntüleri.....	23
Şekil 3.8: Montajlanmış model silo.....	23
Şekil 3.9: Keysight N5224A VNA.....	24
Şekil 3.10: Bilgisayara bağlı VNA.....	25
Şekil 3.11: A-INFO INC LB- 180400 Huni(Horn) antenler .....	25
Şekil 3.12: A-INFOINC LB-180400 Anten 18-40 GHz $S_{11}$ geri yansıma katsayısı ölçüm grafiği.....	26
Şekil 3.13: Schwarzbeck bbha 9170 huni anten.....	27

Şekil 3.14: VNA ile bağlantılı Bilgisayar .....	27
Şekil 3.15: Silo seviye ölçümü için kullanılan bulgur.....	28
Şekil 3.16: VNA bağlantı arayüzü .....	29
Şekil 3.17: İki kapılı ağ ve S parametreleri .....	30
Şekil 3.18: VNA'da S parametreleri .....	31
Şekil 3.19: 50 Hz frekansa sahip sinüs sinyali .....	32
Şekil 3.20: Şekil 3.19'da verilen sinyalin ters Fourier dönüşümü .....	32
Şekil 3.21: İki noktasal hedefe ait menzil gösterimi .....	33
Şekil 3.22: P1 ve P2 noktasal hedefleri için elde edilen menzil profili.....	34
Şekil 3.23: KNN kullanım örneği.....	35
Şekil 3.24: YSA temel modeli.....	37
Şekil 3.25: Nöron modeli .....	38
Şekil 3.26: ELM'nin yapısal gösterimi .....	40
Şekil 3.27: 20 kg bulgur içeren siloya ait grafiksel gösterim .....	42
Şekil 3.28: Silo içi anten uzak alan bölgesi.....	42
Şekil 3.29: Farklı seviyedeki tahıla ait menzil profilleri .....	43
Şekil 3.30: 40-76 cm arasında karşılık gelen menzil profili.....	45
Şekil 3.31: 40-76 cm arasında karşılık gelen menzil profilinin genlik değerleri .....	46
Şekil 3.32: Menzil profili maksimum genlik ve menzil değerleri.....	46
Şekil 4.1: Silo bakır plaka deneylerinden bir kare .....	48
Şekil 4.2: Antenden 10,5 cm uzaklıktaki plakaya ait menzil profili .....	48
Şekil 4.3: Deney düzeneği grafiksel gösterim.....	49
Şekil 4.4: Silo tek anten ile ölçüm deneylerinden bir kare.....	50
Şekil 4.5: Silo tek anten boş ölçüm geri yansıma sinyali.....	51
Şekil 4.6: Tahıl yüzey modelleri (a) düz (b) tepe (c) çukur .....	51
Şekil 4.7: Tahıl doldurulduktan ve boşaltıldıktan sonra oluşan konik tepe ve çukur ....	52
Şekil 4.8: 15 kg düz yüzeyli tahıl içeren siloya ait menzil profili.....	52
Şekil 4.9: 15 kg tepe yüzeyli tahıl içeren siloya ait menzil profili.....	52
Şekil 4.10: 15 kg çukur yüzeyli tahıl içeren siloya ait menzil profili .....	52
Şekil 4.11: Silo tahıl seviye ölçümü monostatik-benzeri deney düzeneğinin grafiksel gösterimi .....	53
Şekil 4.12: Silo tahıl seviye ölçümü monostatik-benzeri deney düzeneğinin grafiksel gösterimi .....	54

**Şekil 4.13:** Silo monostatik benzeri ölçüm anından bir kare..... 55



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\epsilon$	Dielektrik sabiti
$\lambda$	Dalga boyu
$\mu$	Manyetik geçirgenlik
$\sigma$	Ortamın iletkenliği
$c$	Elektromagnetik dalga yayılma hızı
$B$	Manyetik akı yoğunluğu
$BW_f$	Bant genişliği
$D$	Elektrik akı yoğunluğu
$D_a$	Anten en büyük açıklık boyutu
$dz$	Çözünürlük
$E$	Elektrik alan şiddeti vektörü
$E_s$	Sinyalin enerjisi
$f$	frekans
$H$	Manyetik alan şiddeti vektörü
$J$	Akım yoğunluğu
$k$	Dalga numarası
$N$	Toplam frekans sayısı
$R$	Hedef ile radar arasındaki mesafe
$s$	Standart sapma
$\bar{x}$	Ortalama

**Kısaltmalar****Açıklama**

<b>3B</b>	Üç boyutlu
<b>AFSD</b>	Adım frekanslı sürekli dalga
<b>AFSDR</b>	Adım frekanslı sürekli dalga radarı
<b>EM</b>	Elektromanyetik
<b>FD</b>	Fourier dönüşümü
<b>KNN</b>	K en yakın komşuluk,
<b>KDR</b>	Kılavuzlu dalga radar
<b>OMYD</b>	Ortalama mutlak yüzdellik doğruluk
<b>PLA</b>	Polylactic acid
<b>SGO</b>	Sinyal gürültü oranı
<b>TAR</b>	Thru-air radar
<b>TFD</b>	Ters Fourier dönüşümü
<b>VNA</b>	Vektör network analyzer
<b>HR</b>	Hava radarı
<b>YSA</b>	Yapay sinir ağları
<b>YZA</b>	Yapay zekâ algoritmaları

## 1. GİRİŞ

Tahıl, insanlar ve hayvanlar için en temel gıda maddesidir. Tahılın hasattan sonra kısa sürede tüketilmesine kadar geçen sürede bozulmadan saklanması gerekir. Bu amaca yönelik olarak en çok kullanılan araçlar tahıl silolarıdır(Enes ve ark, 2016, Yiğit, 2018a, Yiğit, 2017).

Depolan tahılın miktarının bilinmesi savaş, kıtlık gibi zor durumlarda gerekli önlemlerin alınması açısından büyük öneme sahiptir(Enes ve ark., 2016, Yiğit, 2018a). Bu yüzden silolarda depolanan tahılın miktarının ölçülebilmesi için birçok seviye ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Günümüzde ticari olarak en çok kullanılan miktar ve seviye ölçüm teknolojileri şunlardır; kablolu ağırlık (çekül ucuna bağlı kurşun (plumb-bob), yo-yo, vb.), ultrasonik, kılavuzlu dalga radar (KDR) (Guided Wave Radar), lazer, yük hücresi, gerinim ölçer ve hava radarı (HR)(Thru Air Radar). Bu teknolojilerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Kablolu ağırlık yöntemleri ve ultrasonik tekniklerinin düşük çözünürlüğe sahip olması, lazer tekniğinin tozlu ortamlarda çalışmaması, yük hücresi ve gerinim ölçer teknolojilerinin de küçük boyutlardaki silolarda kullanılabilmesi gibi dezavantajlardan ötürü(Lewis Sr, 2004), KDR ve HR teknolojileri son yıllarda oldukça popüler olmuştur. KDR sistemleri kablolu bir dalga kılavuzu aracılığıyla radar darbelerini iletirken tahıldan yansıyan sinyaller sadece kılavuz üzerinden alıcıya geri ulaştığından sinyal gürültü oranı (SGO) (signal to noise ratio) oldukça yüksektir böylece KDR sadece tek bir yansıyan sinyali değerlendirerek oldukça hassas bir sonuç vermektedir (Lewis, 2007). Mevcut HR sistemleri ise kılavuz kullanmadan dar huzmeli anten kullanarak tahıl yüzeyinden saçılan elektromanyetik (EM) dalgalar işlenerek seviye hesaplanır. Fakat bu teknolojiler tek bir noktadan ölçüm yaptıklarından dolayı tahıl silolarında dolum ve boşalmasından kaynaklı konik tepe ve çukurlar hesaba katılmamakta ve ölçümler hatalı yapılmaktadır. HR teknolojisi ile geniş huzmeli anten kullanılarak tahılın tüm yüzeyi aydınlatılarak tüm tahıl yüzeyinden saçılmalar elde edilebilir. Ancak silonun çelik duvarlarından dolayı oluşan geri yansımalar tahıla göre daha yüksek genliğe sahip olması, seviye bilgisinin elde edilmesini zorlaştırmaktadır (Yiğit, 2017).

Bu tez çalışmasında son zamanlarda popüler olan YZA ile tahıl miktarının tespiti yapılmıştır. YZA olarak KNN, YSA ve ELM kullanılmıştır. Farklı miktarlardaki tahıl miktarına ait elde edilen 4500 ölçüm ile algoritmaların eğitilmesi için gerekli veri tabanı



oluşturulmuştur. Sinyallerin menzil profiline ait 8 özelliği çıkartılarak algoritmaların eğitimi için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında geniş huzmeli HR kullanımıyla tahıl seviyesinin ölçümüne yönelik araştırmalar ve çalışmalar verilmiştir. Bölüm 2’de HR tekniği çalışma prensibi ve seviye ölçümünde kullanımı anlatılmıştır. Bölüm 3’de ise kullanılan materyaller, cihazlar, silo seviye ölçüm deney düzeneği ve problemin çözümüne dair kullanılacak olan Fourier dönüşümü, sinyal özelliklerinin elde edilmesi ve makine öğrenimi algoritmaları sunulmuştur. Bölüm 4’de makine öğrenimi algoritmalarının ıktıları ve performansları verilerek, son bölümde bu sonuçlar değerlendirilmiş ve ileride yapılması planlanan çalışmalar bahsedilmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. TEMEL ELEKTROMANYETİK KAVRAMLARI

Tüm EM olgular Maxwell denklemleriyle ifade edilebilir. Temel Maxwell denklemleri şu şekildedir,

$$\nabla \times \mathbf{E}(r, t) = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(r, t) \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H}(r, t) = \mathbf{J}(r, t) + \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}(r, t) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}(r, t) = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D}(r, t) = \rho(r, t) \quad (4)$$

Bu denklemlerde  $\mathbf{E}$  elektrik alan şiddeti vektörü,  $\mathbf{H}$  manyetik alan şiddeti vektörü,  $\mathbf{D}$  elektrik akı yoğunluğu vektörü,  $\mathbf{B}$  manyetik akı yoğunluğu vektörü,  $\mathbf{J}$  akım yoğunluğu ve  $\rho$  ise elektrik yük yoğunluğudur.

Maxwell denklemleri ile süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilebilir,

$$\nabla \cdot \mathbf{J}(r, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho(r, t) \quad (5)$$

$\mathbf{D}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{J}$  bünye denklemleriyle aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (6)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (7)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (8)$$

Bu denklemlerde  $\epsilon$  dielektrik sabiti,  $\mu$  manyetik geçirgenlik,  $\sigma$  ortamın iletkenliğidir.

$\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  parametreleri ortamın elektromanyetik alana nasıl davranacağını gösterir.

Maxwell denklemleri zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüştürülecek olursa şöyle yazılabilir,

$$\nabla \times \mathbf{E}(r, w) = -jw\mathbf{B}(r, w) \quad (9)$$

$$\nabla \times \mathbf{H}(r, w) = \mathbf{J}(r, w) + jw\mathbf{D}(r, w) \quad (10)$$

$$\nabla \mathbf{B}(r, w) = 0 \quad (11)$$

$$\nabla \mathbf{D}(r, w) = \rho(r, w) \quad (12)$$

Süreklilik denklemi ise şöyle olur,

$$\nabla J(r, w) = -jw\rho(r, w) \quad (13)$$

Ortamin admittivity  $Y$  ve impedivity si  $Z$  de şu şekilde tanımlanır,

$$Y = \sigma + jw\varepsilon \quad (14)$$

$$Z = jw\mu \quad (15)$$

Dalga numarası  $k$ , ise şöyle olur,

$$k = \sqrt{-ZY} \quad (16)$$

### 2.1.1. Dalga Denklemi

Bu denklemler sayesinde  $J(r, t) = 0$  ve  $\rho(r, t) = 0$  olmak üzere kaynaksız, homojen ve izotropik bölge için 9. ve 10. Maxwell denklemleri şu şekilde yazılabilir,

$$\nabla \times \mathbf{E}(r, w) = -z\mathbf{H} \quad (17)$$

$$\nabla \times \mathbf{H}(r, w) = y\mathbf{E} \quad (18)$$

Bu iki denklemden aşağıdaki dalga denklemleri elde edilir,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} - k^2\mathbf{E} = 0 \quad (19)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} - k^2\mathbf{H} = 0 \quad (20)$$

Laplaz operatörü eşitliği kullanılarak,

$$\nabla^2 \mathbf{A} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A} \quad (21)$$

vektör dalga denklemlerine ulaşılır.

$$\nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = 0 \quad (22)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = 0 \quad (23)$$

$\mathbf{E}$  ve  $\mathbf{H}$ 'nin her bir bileşeni Helmholtz denklemini sağlar,

$$\nabla^2 \psi + k^2 \psi = 0 \quad (24)$$

Burada  $\psi$  yerine  $\mathbf{E}_x$ ,  $\mathbf{E}_y$ ,  $\mathbf{E}_z$  veya  $\mathbf{H}_x$ ,  $\mathbf{H}_y$ ,  $\mathbf{H}_z$  konulabilir. Burada x, y, z Kartezyen koordinatlarıdır.

### 2.1.2. Genel Düzlem Dalga

Genellikle düzlemsel dalgaların birçoğu, bir fonksiyon tarafından ifade edilebilir,

$$\psi = e^{-jkh+jwt} \quad (25)$$

Burada h orijinden uzaklığı göstermektedir. Yayılan dalganın normali ise

$\mathbf{n} = n_x \hat{a}_x + n_y \hat{a}_y + n_z \hat{a}_z$  olduğu için h aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$h = \mathbf{n} \cdot \mathbf{R} = n_x x + n_y y + n_z z \quad (26)$$

vektör dalga numarası şu şekilde tanımlanır,

$$\mathbf{n} = kn_x \hat{a}_x + kn_y \hat{a}_y + kn_z \hat{a}_z = k_x \hat{a}_x + k_y \hat{a}_y + k_z \hat{a}_z \quad (27)$$

Bu denklemlerle temel dalga fonksiyonu şöyle olur,

$$\psi = e^{-jkR+jwt} \quad (28)$$

$\psi$  fazör formda şu şekilde yazılabilir,

$$\psi = e^{-jkR} \quad (29)$$

Bu çalışma radar sinyali için denklem 29 esas alınmıştır.

## 2.2. HAVA RADARINA GENEL BAKIŞ

### 2.2.1. Radarın Tarihçesi

Radar ilk olarak ikinci dünya savaşı sırasında düşman uçaklarının tespit edilmesinde kullanılmıştır(Skolnik, 2001). Daha sonra birçok ülke uçakların inişinde ve kalkışına yardımcı olmak için kullanmıştır. Günümüzde radarlar hava trafik kontrolü, araç hız tespiti, seviye ölçümü, savunma sanayinde vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

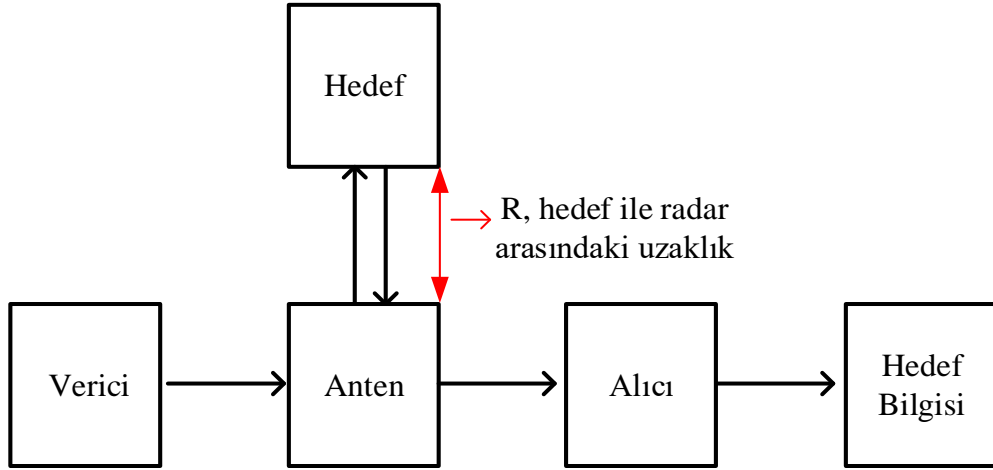
### 2.2.2. Radar Temelleri

Radar, “radio”, “detection” and “ranging” kelimelerinin baş harflerinden oluşur. Cisimlerin mesafe, istikamet veya yükseklikleri hakkında bilgi sağlayan tarama cihazıdır. Radarlar hava savunma, hava trafik kontrolü, uçakların indirilmesi ve takibinde, hız ölçümlerinde, seviye ölçümlerinde yaygın olarak kullanılır(Skolnik, 2001). Temeli elektromanyetik dalganın bir hedefe çarptıktan sonra geri yansıyan sinyallerin toplanarak işlenmesine dayanır. Elektromanyetik dalganın hedefe gidiş ve hedeften geri yansımada geçen toplam süre belirlenerek hedefin menzil bilgisi elde edilir. Bu süreye uçuş süresi denir.(Mahafza ve Elsherbeni, 2003) Hedefe olan uzaklık R şöyle hesaplanır,

$$R = c \times \frac{\Delta t}{2} \quad (30)$$

Burada  $c$  ışık hızını,  $\Delta t$  uçuş süresini temsil eder.

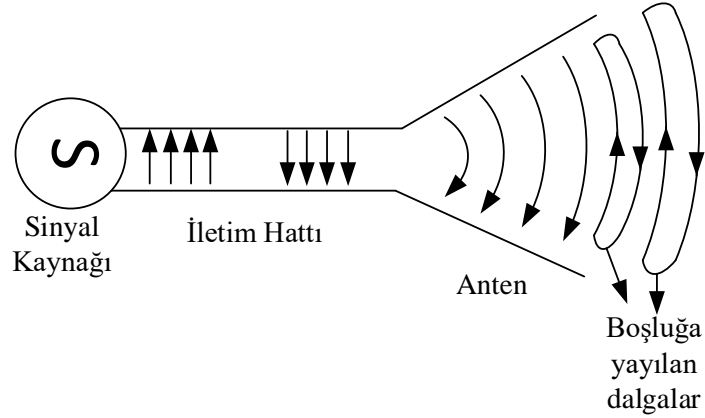
Şekil 2.1’de radarın çalışma diyagramı gösterilmiştir. Elektromanyetik dalga vericisi tarafından üretilen dalgalar anten ile hedef bölgeye gönderilir. Hedeften yansıyan dalgalar anten tarafından toplanır ve alıcı tarafından genlik ve faz bilgisine dönüştürülerek kayıt edilir. Bu veriler bilgisayar ortamında işlenerek hedef bilgisi elde edilir.(Mahafza ve Elsherbeni, 2003, Skolnik, 2001)



Şekil 2.1 Radar çalışma diyagramı

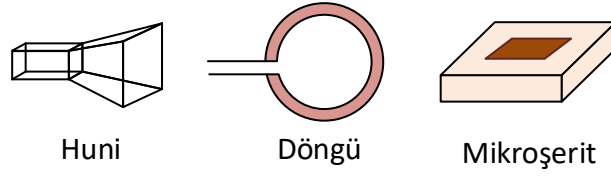
### 2.2.3. Anten

Anten temel olarak radyo dalgalarını alabilen ve yayabilen cihaz olarak tanımlanır. Şekil 2.2’de anten iletim modeli verilmiştir. Sinyal kaynağından üretilen radyo dalgaları koaksiyel kablo veya dalga kılavuzu gibi bir iletim hattı yoluyla antene ulaşır ve anten ile radyo dalgaları boşluğa yayılır ve aynı şekilde bu durumun tam tersi de doğrudur. (Balanis, 1982, Kraus, 1950, Ulaby, 2007)



Şekil 2.2 Anten iletim modeli

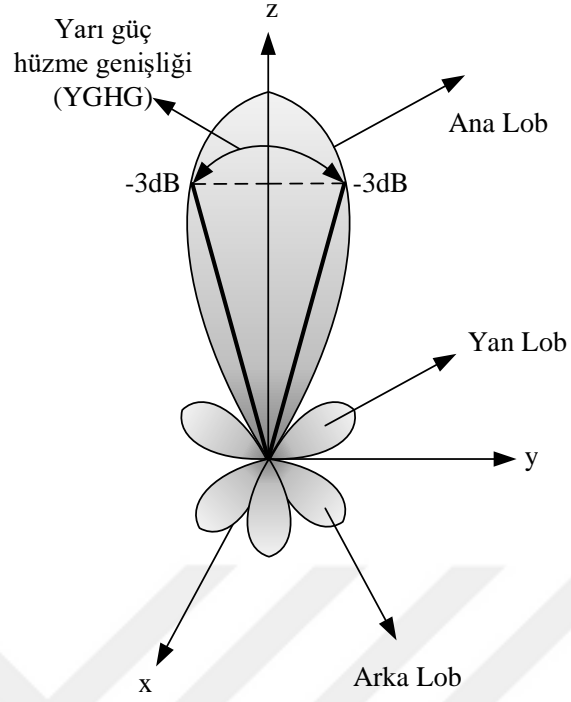
Antenler günümüzde radyo-televizyon yayınlarında, radar sistemlerinde, cep telefonlarında ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Antenler Şekil 2.3’de görüldüğü gibi farklı tipleri mevcuttur.



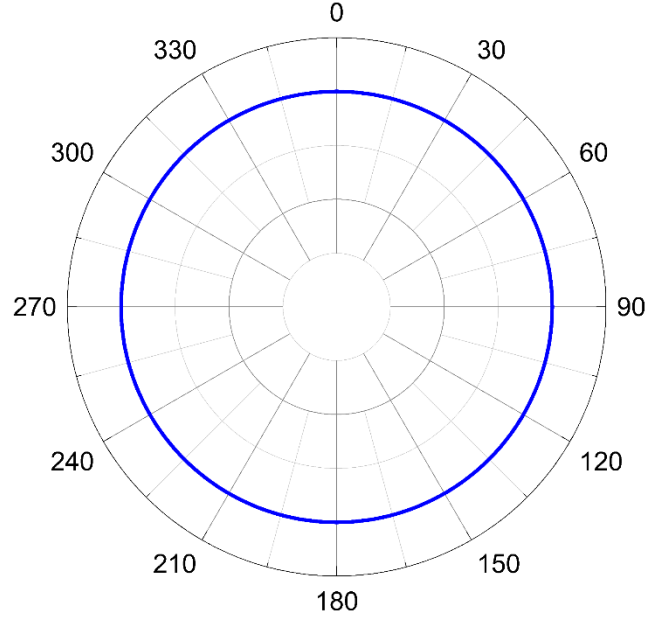
**Şekil 2.3** Çeşitli tiplerdeki antenler

Antenler kullanılacak uygulamaya yönelik olarak seçilmektedir. Anten seçimi yapılırken temel parametreler olarak çalışma frekansı, anten ışınma deseni, kazanç, huzme (beam) açısı ve boyutları esas alınır (Kraus, 1950).

Işınma deseni bir antenin hangi yönde ne kadar iyi ışınma yaptığını gösterir. Tek yönde ışınma yapan antenler yönlü anten, çok yönde yayın yapan antenler çok yönlü antenler, tüm yönlerde eşit yayın yapan antenler ise izotropik anten olarak adlandırılır. Antenlerin yayılım özelliği antenin fiziksel ve elektriksel tasarımına göre değişir. Anten yayın deseni azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak matematiksel fonksiyon veya grafiksel olarak ifade edilebilir. Grafiksel gösterimde kartezyen veya polar koordinat sistemi kullanılır. Grafik üzerinde ölçümler genellikle logaritmik olarak verilir. Şekil 2.4 'de bir antenin ışınma deseni verilmiştir. Anten ışınma deseni pratikte ana, yan ve arka loblardan oluşur. Ana lob antenin yayabileceği gücün büyük bir kısmına sahiptir ve antenin hangi yönde yayın yapacağını bu lob gösterir. Ana lobda gücün yarıya düştüğü noktalar arasındaki açı (logaritmik gösterimde -3dB, lineer gösterimde maksimum gücün 0.5 katı) antenin yarı güç huzme genişliği (YGHG) olarak adlandırılır (Balanis, 1982, Kraus, 1950). Şekil 2.4'de YGHG gösterilmiştir. Şekil 2.5 'de ise tüm yönlere eşit yayın yapan izotropik antenin ışınma deseni verilmiştir.



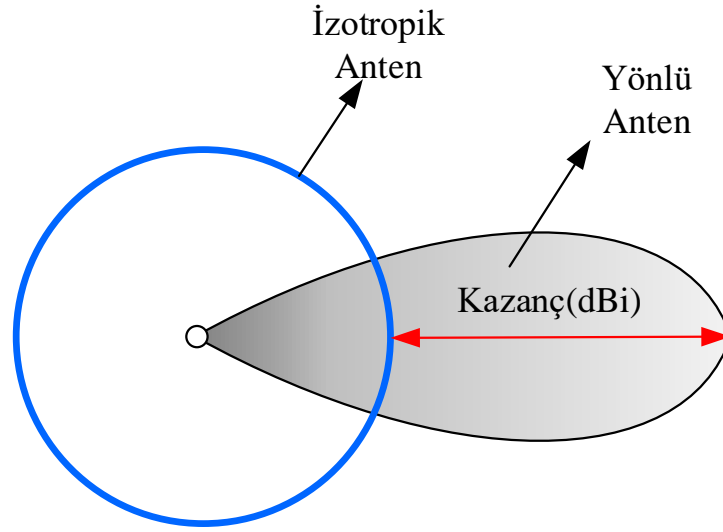
Şekil 2.4 Anten güç ışıma deseni



Şekil 2.5 İzotropik anten ışıma deseni

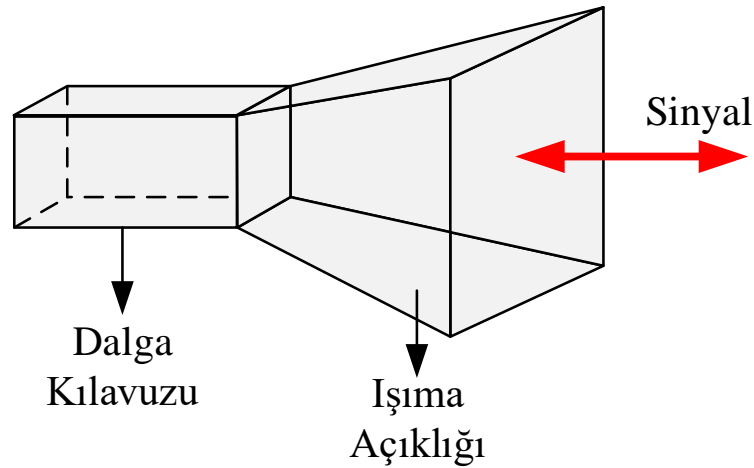
Anten kazancı ise, antenin belirli bir yönde yaydığı güç yoğunluğunun, antenin izotropik karşılığına gelen güç yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. (Balanis, 1982) Yönlü bir antenin kazancının izotropik karşılığıyla olan ilişkisi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.





**Şekil 2.6** Anten kazancı

Bu çalışmada yönlülüğü ve huzme açısı bilinen huni antenler kullanılmış böylece sadece silo içi EM olarak aydınlatılmıştır. Bu sayede arka ve yan loblardan kaynaklı bozucu etkiler engellenmiştir. Şekil 2.7’de huni tipi anten verilmiştir. Huni antenler, basit tasarım, yüksek kazanç ve geniş frekans bandına sahip olmaları nedeniyle pratikte sıkça kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada tercih edilmiştir. Dalga kılavuzu ile ilerleyen elektromanyetik dalgalar ışınma açıklığı ile ortama yayılırlar. Işınma açıklığı antenin kazancı ve ışınma deseni üzerinde etkilidir.



**Şekil 2.7** Huni (Horn) anten

Çizelge 2.1’de iki farklı huni antene ait bazı parametreler verilmiştir. Antenlerin ışınma desenlerinden de görüleceği gibi 1. antenin huzme açısı  $37^\circ$ , diğer antenin huzme açısı  $55,9^\circ$ ’dir yani 1. anten diğerine göre dar huzmelidir. Antenlerin kazançları karşılaştırılırsa 1. Antenin kazancı daha fazladır.

**Çizelge 2.1** Farklı huni antenler ait anten parametre değerleri

Parametre	1. Huni Anten	2. Huni Anten
Anten Işıma Deseni		
Anten Kazancı	13,22 dBi	9,89 dBi
YGHG	37°	55,9°

### Anten Alan Bölgeleri

Anteni çevreleyen uzay genelde reaktif yakın alan, ışınım yakın alan ve uzak alan olmak üzere üç bölgeye ayrılmaktadır. Şekil 2.8’de bu bölgeler gösterilmiştir. Her bir bölgenin belirli bir sınır koşulu vardır(Balanis, 1982). Açıklığı  $D_a$  olan ve çalışma frekansında dalga boyu  $\lambda$  metre olan bir anten için reaktif yakın alan bölge için sınır koşulu şu şekildedir

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D_a^3}{\lambda}} \quad (31)$$

Işınım yakın alan (Fresnel) bölgesi reaktif yakın alan ve uzak alan bölgesi arasındaki kalan alanlardır ve sınır koşulları şu şekildedir,

$$0.62 \sqrt{\frac{D_a^3}{\lambda}} < R < \frac{2D_a^2}{\lambda} \quad (32)$$

Uzak alan için ise sınır koşulları şu şekildedir,

$$R > \frac{2D_a^2}{\lambda} \quad (33)$$

Uzak alan bölgesinde elektromanyetik dalga düzlemsel olarak ele alınabilir ve aşağıdaki alan denklemleri geçerli olur (Ulaby, 2007).

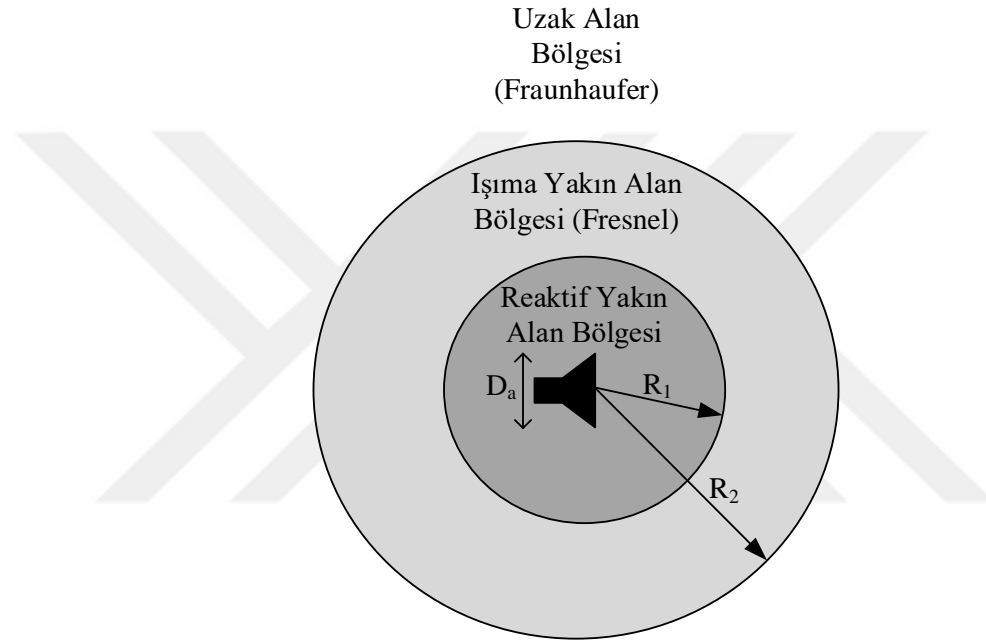
$$E_{\theta} = \frac{jI_0 l k \eta_0}{4\pi} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \sin \theta = p e^{-jkR} \quad (34)$$

Denklem 34  $p e^{-jkR}$  olarak yazılabilir ve denklem 29'a benzer.

$$H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{\eta_0} \quad (35)$$

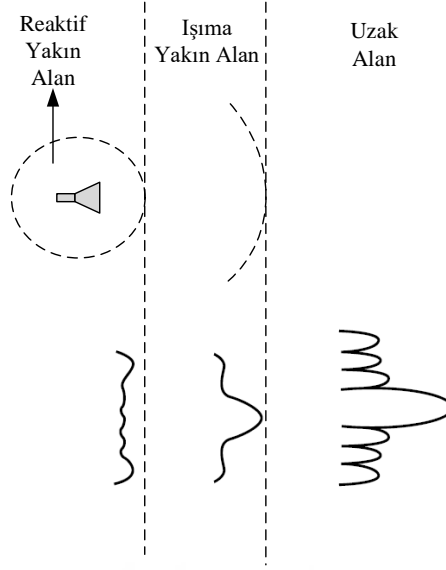
Burada  $\theta$  ve  $\phi$  küresel koordinat sistemi bileşenleridir.

Denklem 34 ve 35'den anlaşılacağı gibi elektrik ve manyetik alanları  $\sin \theta$  ile orantılıdır ve  $\phi$  'den bağımsızdır.(Ulaby, 2007)



**Şekil 2.8** Anten alan bölgeleri

Anten yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine anten ışınma deseni oluşumu Şekil 2.9'da verilmiştir. Reaktif yakın alan bölgesinde düzgün dağılımlı bir ışınma deseni vardır. Işınma yakın alan bölgesinde anten ışınma loblarının oluşmaya başladığı görülmektedir. Uzak alan bölgesinde ise anten ışınma deseni tam olarak şekillenerek ana ve yan loblar görülmektedir.(Balanis, 1982)



**Şekil 2.9** Yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine anten ışınma deseni oluşumu

Bu çalışmada kullanılan huni antenlerin uzak alan bölgesindeki huzme açıları referans alındığı için ölçümler bu alan şartlarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca antenden yayılan ve toplanan sinyaller düzlem dalga özelliği gösterdiği için tahılın tüm yüzeyi aydınlatılmış ve tüm yüzeyinden saçılan sinyaller toplanmıştır.

#### 2.2.4. Adım Frekanslı Sürekli Dalga Radarı(AFSDR)

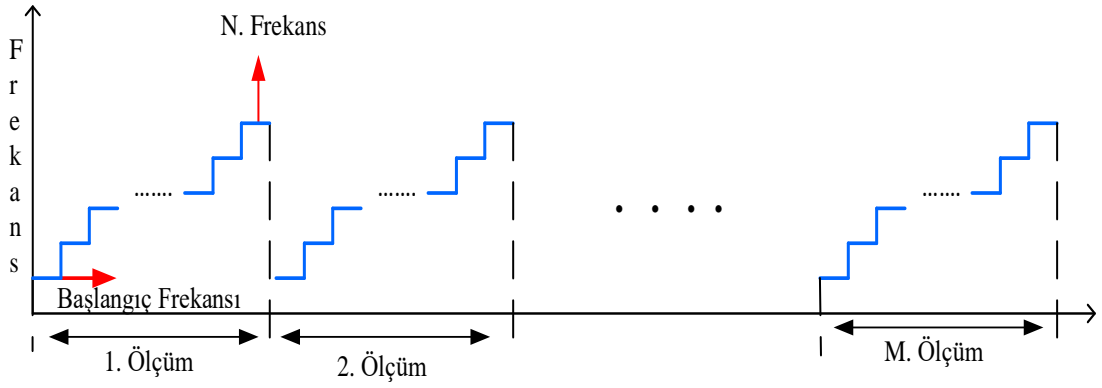
AFSDR, verici darbe sinyalinin tek bir frekans yerine bir dizi frekansa sahip olduğu hedef bölgeye sürekli darbe gönderen radar çeşididir. Hedef bölgeye gönderilen sinyalin frekansı bir başlangıç değerinden başlar ve adım adım artarak bitiş değerine ulaşır. Hedef bölgeye gönderilen sinyal her bir frekans adımında belirli bir süre hedef bölgeye gönderilir. Bitiş frekans değerine ulaşan sinyal tekrar başlangıç frekans değerine döner ve bu bir döngü olarak devam eder(Şekil 2.10).(Mahafza ve Elsherbeni, 2003, Wehner, 1987). Frekansın değişim fonksiyonu şu şekilde şekildedir,

$$f_i = f_0 + i\Delta f, \quad i = 1, 2, 3, \dots \dots N \quad (36)$$

burada  $f_0$  başlangıç frekansını,  $\Delta f$  ise her bir adımdaki frekans artışını temsil eder.

AFSDR sinyalinin bant genişliği  $BW_f$ , şöyle hesaplanır,

$$BW_f = f_N - f_0 \quad (37)$$



**Şekil 2.10** AFSDR Frekans Değişimi

Radarın menzil çözünürlüğü ise kullanılan frekansın bant genişliğine bağlıdır (Mahafza ve Elsherbeni, 2003). Radarın çözünürlüğü  $dz$  şu şekilde hesaplanır,

$$dz = \frac{c}{2BW_f} \quad (38)$$

Radarın tarama yapabileceği maksimum menzil ise çözünürlüğe ve Şekil 2.2’de gösterilen frekans bandının kaç noktada yapıldığına bağlıdır.

$$R_{max} = N \cdot dz \quad (39)$$

AFSDR’de radardan R uzaklığındaki hedeften yansıyan sinyal tek bir frekans için ise şu şekildedir,

$$S = pAe^{-jk2R} \quad (40)$$

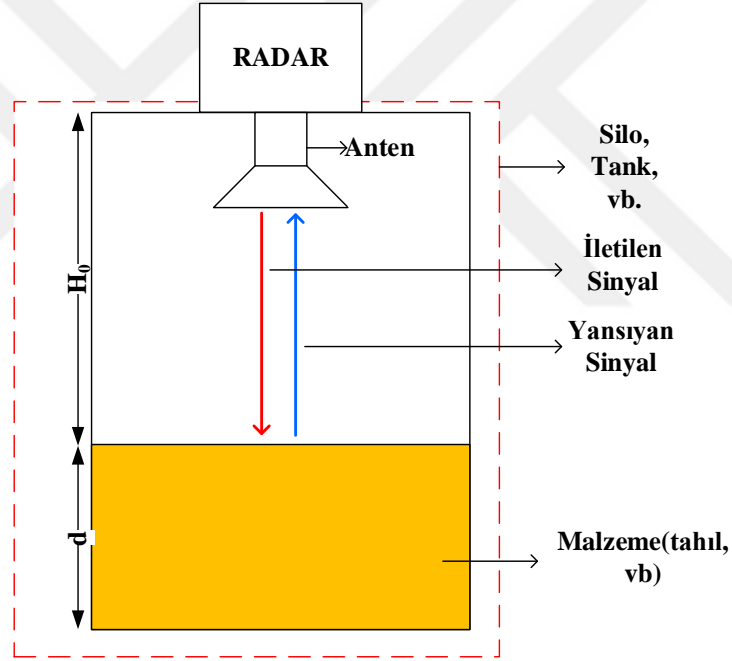
Tüm frekans için yazılacak olursa şöyle olur,

$$S = \sum_{i=1}^N p e^{-jk_i 2R} \quad (41)$$

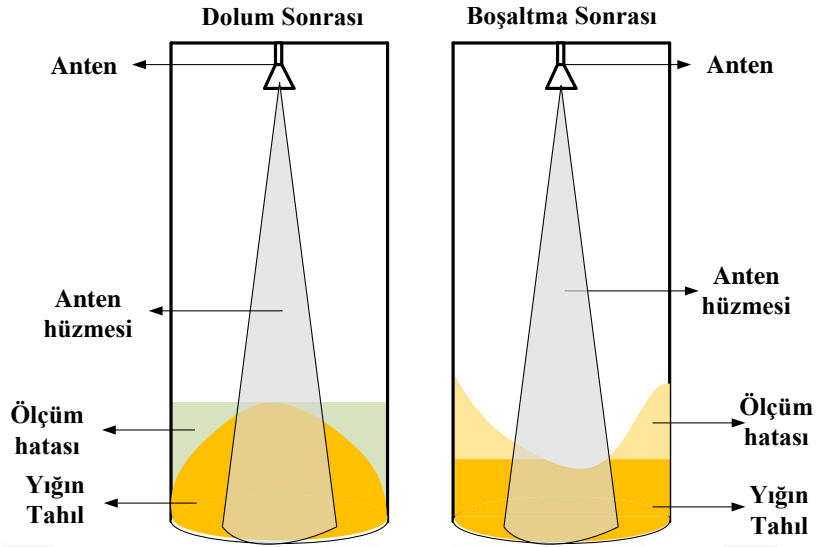
Burada k dalga numarasıdır.

### 2.3. HAVA RADARI İLE SEVİYE ÖLÇÜMÜ

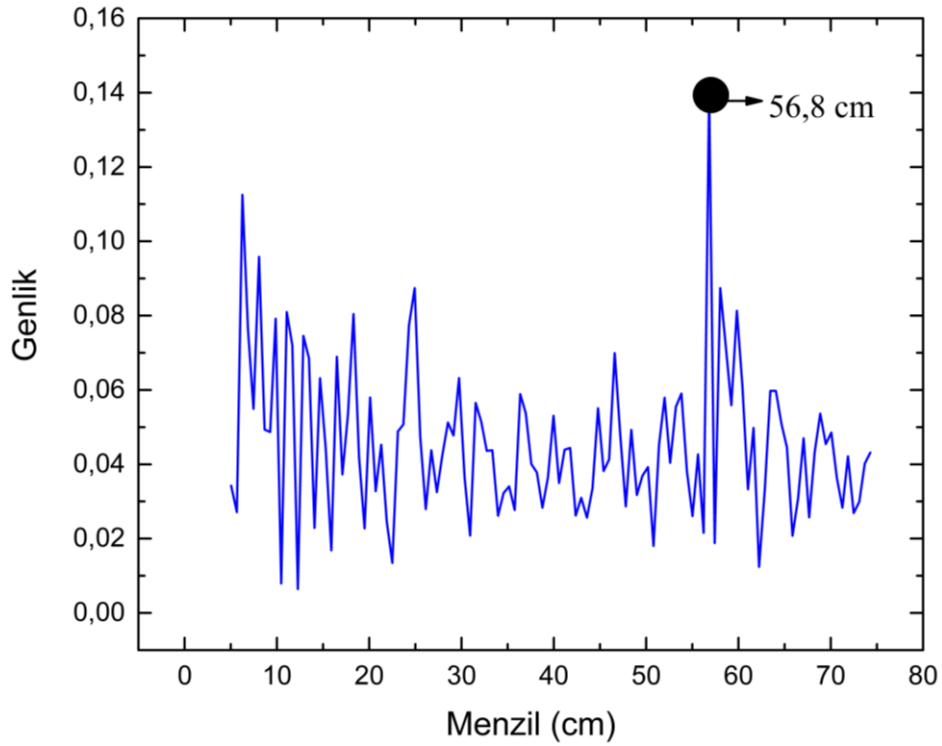
Radar ile seviye ölçümü malzeme ile radar arasındaki mesafe ölçülerek bulunabilir. Radarın seviye ölçümünde kullanımına yönelik bir şema Şekil 2.11’ de verilmiştir. Sıvı maddeler içinde bulunduğu kabın şeklini alacağından dar bir anten ile tek noktadan yansıma (Şekil 2.13) ile elde edilecek ölçümler sayesinde seviye ölçümü yapılabilir fakat tahıl gibi bulunduğu kaba homojen bir şekilde yayılmayan malzemeler için bu durum geçerli değildir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, tahıl silolarında dolun ve boşaltımdan kaynaklı konik tepe ve çukurlar oluşur. Tahılın miktarının hesabı yapılırken bu konik yapıların hesaba katılması gerekir. Dar huzmeli anten ile yapılan ölçümlerde tek bir noktadan yansıma olacağı için bu konik yapılar hesaba katılmaz (Şekil 2.12) ve tahılın seviyesi yüksek hata ile belirlenir.



Şekil 2.11 Radar ile seviye ölçümü şematik gösterimi



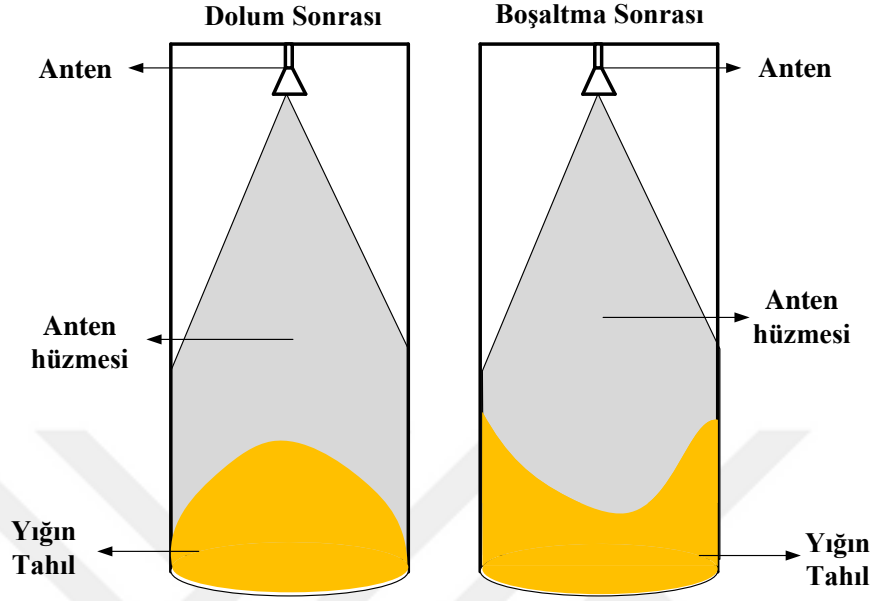
Şekil 2.12 Dar hüzmelili anten ile seviye ölçümü



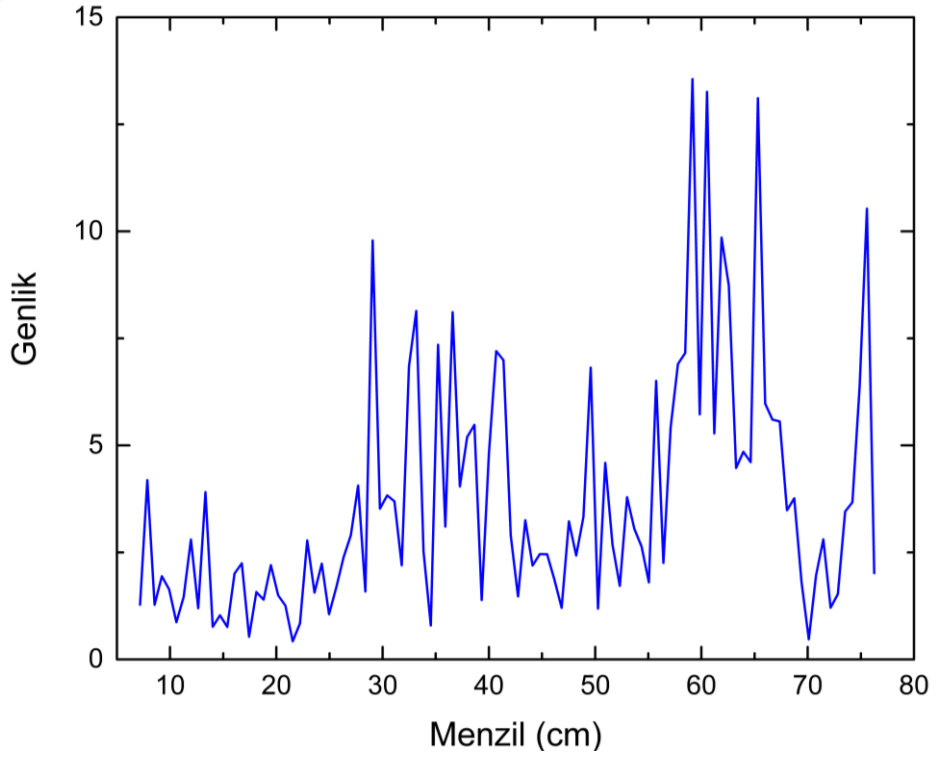
Şekil 2.13 Dar hüzmelili anten ile gerçekleştirilen ölçüme ait menzil profili

Geniş hüzmelili anten kullanıldığı zaman tahılın tüm yüzeyinden yansımalar elde edilir (Şekil 2.14) ancak silonun çelik iç duvarlarından dolayı genliği tahıl yüzeyine göre daha büyük genlikli geri yansımalar (Şekil 2.15) oluşur (Yigit, 2018a) (Şekil 2.5). Bu yansımalar menzil profilinde istenmeyen hedefler (Şekil 2.15) olarak görülür ve tahıl miktarının hesaplanmasını zorlaştırır. Ancak önceden belirlenmiş eğitim verisi üzerinden

öğrenme işlemini tamamlamış performansı yüksek ve etkili YZA kullanılarak bu probleme çözüm sunulabilir.



Şekil 2.14 Geniş huzmeli anten ile ölçüm



Şekil 2.15 Geniş huzmeli anten ile yapılan ölçüme ait menzil profili



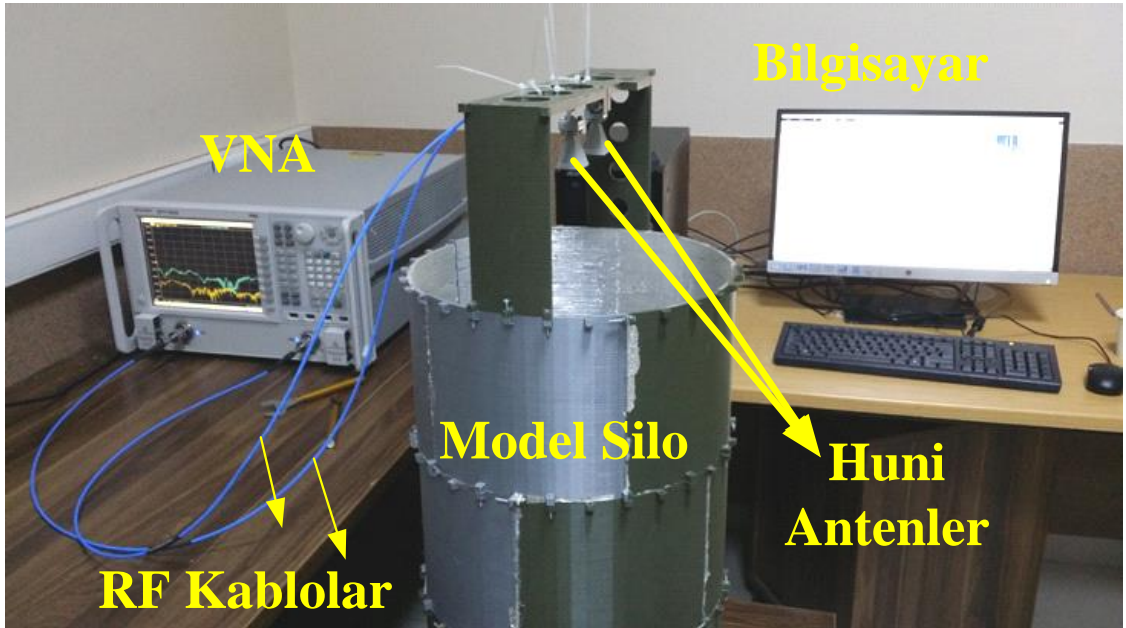
### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. KULLANILAN MATERYALLER

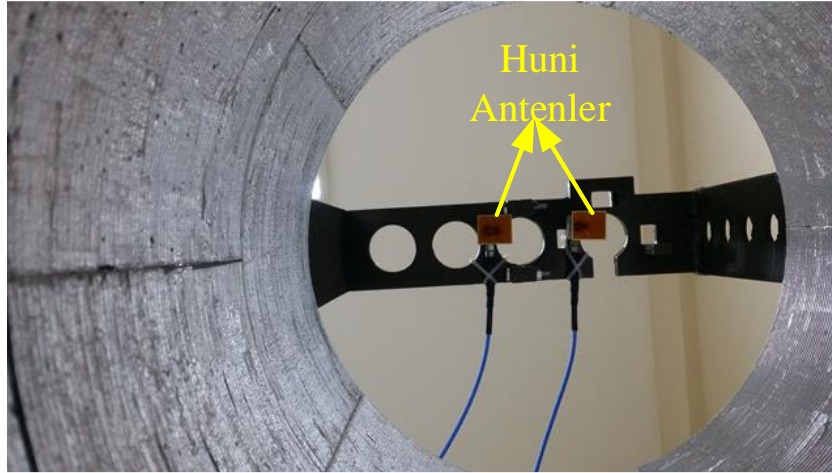
Tahıl seviye ölçümünde gerçek silolarda ölçüm yapmak maliyetli ve zaman alıcı olacağından 3B yazıcı ile model bir silo üretilmiştir. Model silo ticari bir silonun 12,5 kat küçültülmüş haline denk gelmektedir. Deneylede test malzemesi olarak buğday yerine, bir buğdayın onda biri boyutlarına sahip bulgur kullanılmıştır. Ayrıca model silonun üretiminde kullanılan 3B yazıcı filamentler, alüminyum bant ve 20 kg bulgur Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri “19M17” proje koduyla desteklenerek satın alınmıştır. Ölçümler ve model silonun üretimi Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Mikrodalga ve Haberleşme laboratuvarında aşağıda ismi geçen cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneği model silo, bulgur, huni tipi antenler (LB-180400-KF ve bbha9170), bilgisayar, RF bağlantı kabloları ve VNA'dan (Keysight N5224A) oluşmaktadır. Deney düzeneğine ait şema Şekil 3.1 de verilmiştir. Şekil 3.2 'de silo içerisinde antenlerin görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği



Şekil 3.2 Huni antenlerin silo içerisinden görünüşü

### 3.1.1.1 Ölçeklendirme Yöntemi ile Model Silo

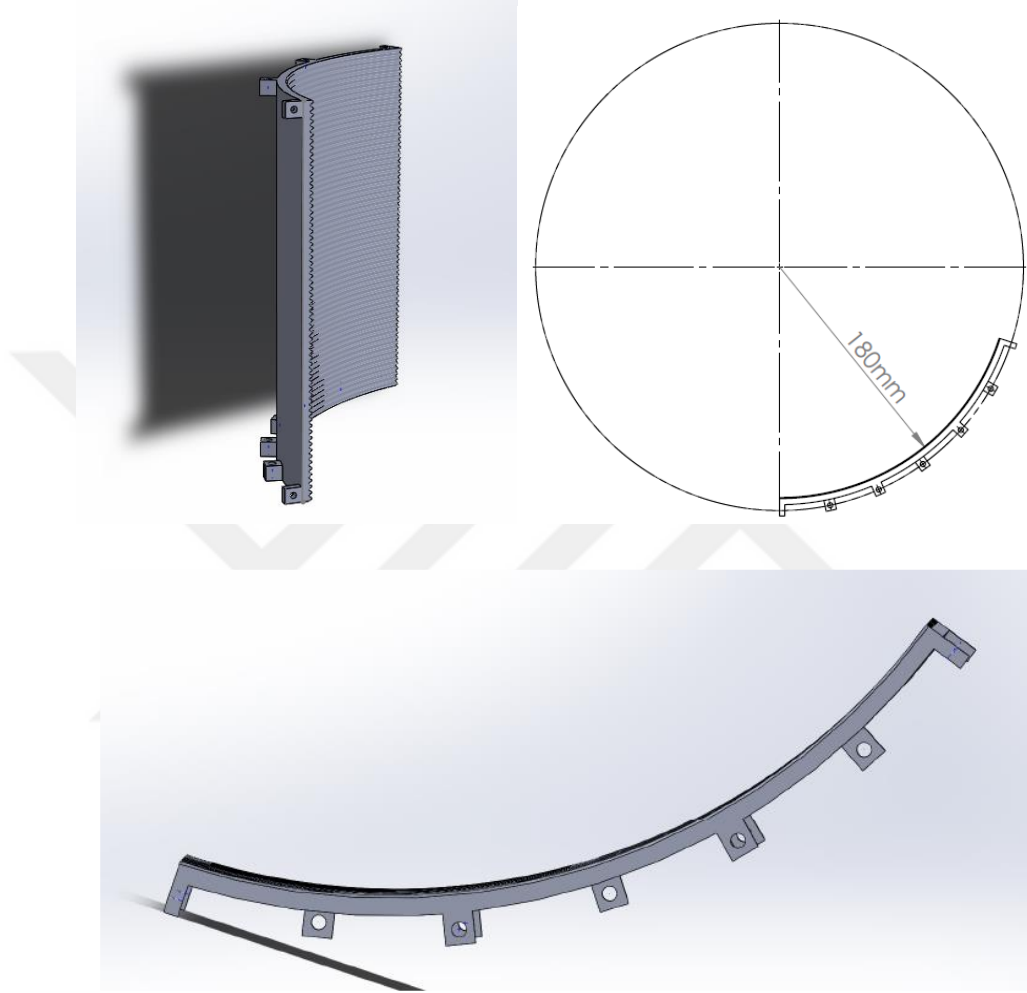
Radar ile ölçümlerde kullanılan frekans alt ve üst limitinin artırılması ölçüm yapılacak hedef cismin küçültülmesine imkân verir. Bu yöntem savunma sanayinde, yolcu uçakları, gemi gibi prototip üretimi yüksek maliyet gerektiren büyük geometrik yapılara ait çeşitli ölçümlerin gerçekleştirmesinde kullanılmaktadır (Jacobs ve Baker, 2012, Jansen ve ark., 2009). Bu yöntem, hem büyük nesnelere için gerçekleştirilecek ölçümlerin zor olması hem de tasarımdan kaynaklı hataların önüne geçilmesinde üretim öncesinde olanak sağlar. Bu büyük geometrik yapılar tüm boyutları “a” oranında küçültülerek bir modeli üretilir. Aynı şekilde ölçüm frekansı da küçültme oranında yani “a” kadar büyütülür (Jansen ve ark., 2009). Bu şekilde ölçümler laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilir ve gerçek geometrik yapıya karşılık gelen ölçümler daha kolay elde edilebilir. (Jacobs ve Baker, 2012) Tahıl siloları da büyük bir geometrik yapıya sahip olması nedeniyle tahılın doldurulması ve boşaltılması maliyetli ve zaman alıcı olduğundan seviye ölçümleri yapmak zordur. Bu yüzden bu tez çalışmasında ticari silonun %8 boyutlarında bir model silo üretilmiştir. 4.52 m çapa sahip ticari silo (Yigit ve ark., 2015) için model silonun çapı  $R_m$ , şöyle olur,

$$R_m = 4.52 \times 0.08 \cong 36 \text{ cm}$$

Silonun yüksekliği ise anten montaj mekanizmasıyla birlikte yaklaşık 81 cm dir.

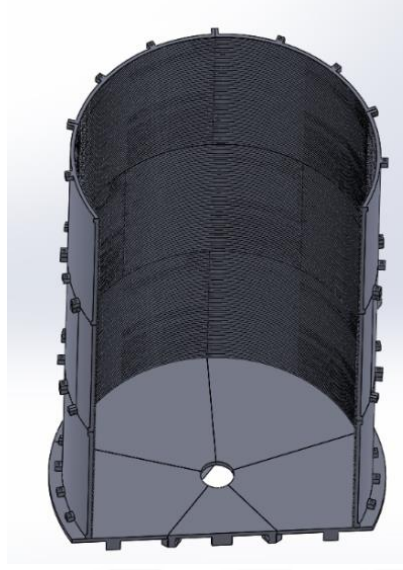
Model silonun tasarımı 3B bilgisayar destekli tasarım (3B CAD) kullanılarak tasarlanmıştır. Model silonun boyutları yazıcının üretebileceği maksimum boyut (Bkz. Çizelge 3.1) kapasitesini aştığı için tek parça yerine birçok parça üretilmiş ve bu

parçaların montajlanmasıyla model silo üretilmiştir. Model silonun gövde kısmı, Şekil 3.3’ de teknik çizimi ve 3B CAD ortamında görüntüsü verilen parçadan 15 adet üretilerek montajlanmasından oluşmaktadır.

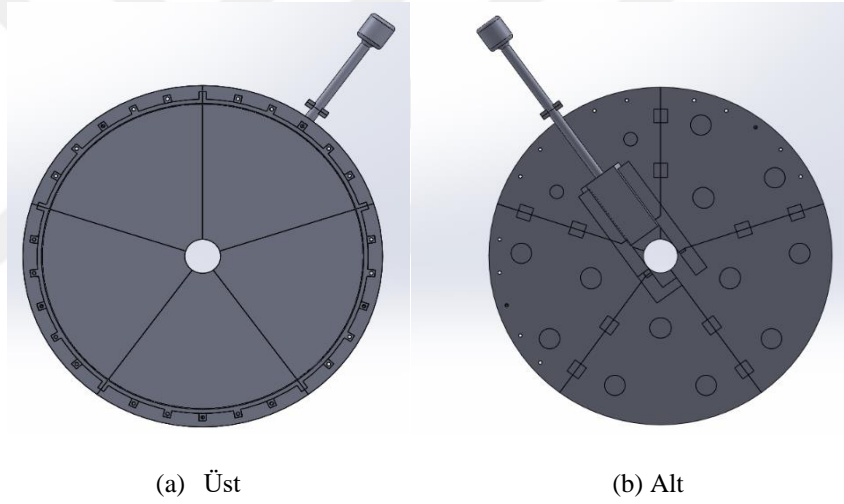


**Şekil 3.3** Silonun bir parçasının 3B CAD ortamında görüntüleri ve teknik çizimi

Şekil 3.4’ de montajlanmış silonun kesit görüntüsü verilmiştir. Model silonun taban kısmı ise Şekil 3.5’de görüldüğü gibi 5 adet parçanın montajlanmasından oluşmaktadır. Model silonun tabanı ticari silolarda olduğu gibi kızak sürgü sayesinde taban kısmından tahılın boşaltılabileceği şekilde tasarlanmıştır.



**Şekil 3.4** Montajlanmış silonun 3B CAD ortamında kesit görünümü,



**Şekil 3.5** Silonun 3B CAD ortamında üstten(a) ve alttan(b) görünümü

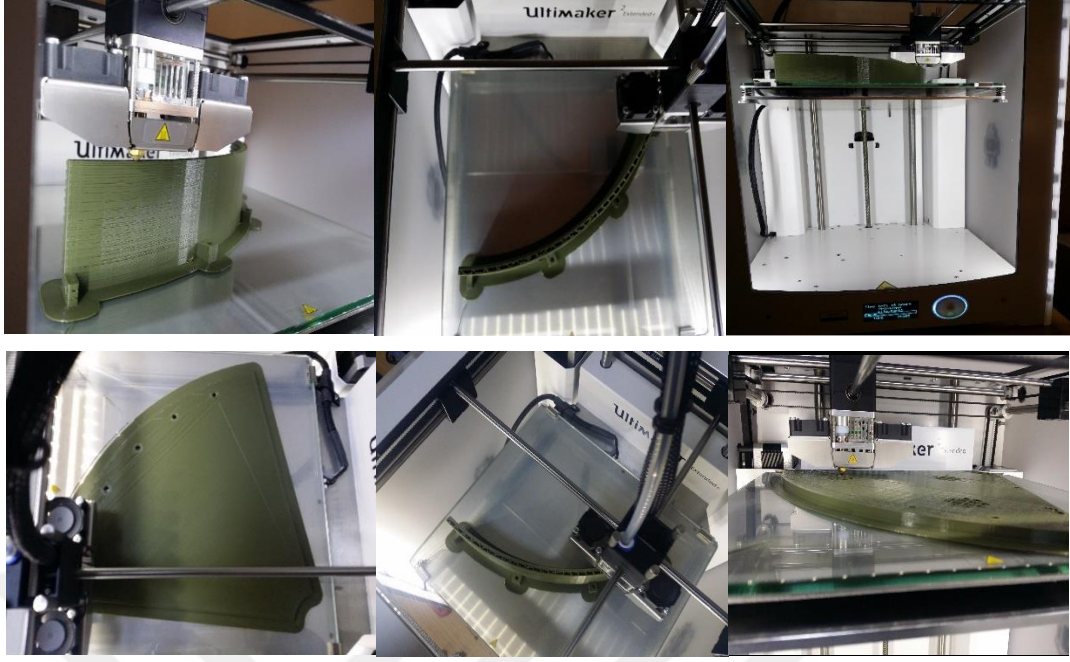
Model silonun üretiminde PLA kullanılmıştır. Silonun parçalarının üretimi Şekil 3.6'da verilen 3B yazıcı kullanılarak yapılmıştır. 3B yazıcının temel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. 3B yazıcıda model silo parçalarının üretim anından görüntüleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Silonun iç yüzeyi yansıtıcılığın sağlanması için alüminyum bant ile kaplanmıştır.



**Şekil 3.6** Ultimaker extended 2+ 3B yazıcı

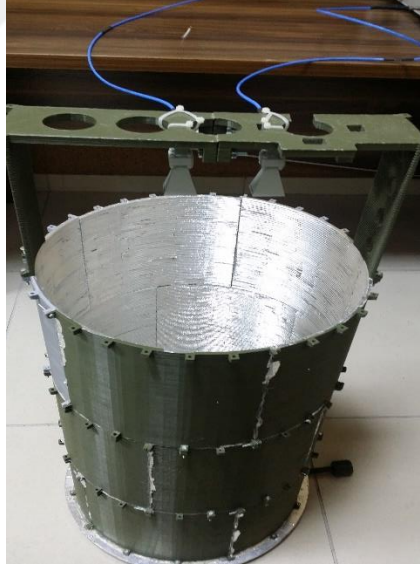
**Çizelge 3.1** 3B yazıcı temel özellikleri

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Maksimum Baskı Alanı	22.3x22.3x30.5 cm
Katman Kalınlığı	20 mikron
Hammadde	PLA, ABS, vb.
Kafa sayısı	1
Hammadde Çapı	2.85 mm
Nozzle Çapı	0.25, 0.4, 0.6, 0.8 mm
Ebatları	35x35x49 cm
Ağırlık	12.3kg
Veri Giriş	SD kart
Yazdırma Yazılımı	Cura



**Şekil 3.7** Silo parçalarının üç boyutlu yazıcıda üretim anından görüntüleri

Şekil 3.8’de üretilen model silonun montajlanmış görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 3.8** Montajlanmış model silo

Silo seviye ölçümlerinde çözünürlük önemli bir parametredir. Çözünürlüğü ise denklem 37’den görüleceği gibi tek bir frekansa değil bant genişliğine bağlıdır. Seviye ölçümlerinde geniş huzmeli anten kullanıldığı için (Yigit ve ark., 2015) 1,5-3,2 GHz arasında yapılan ölçüme karşılık gelen bant genişliği şu şekilde olur,

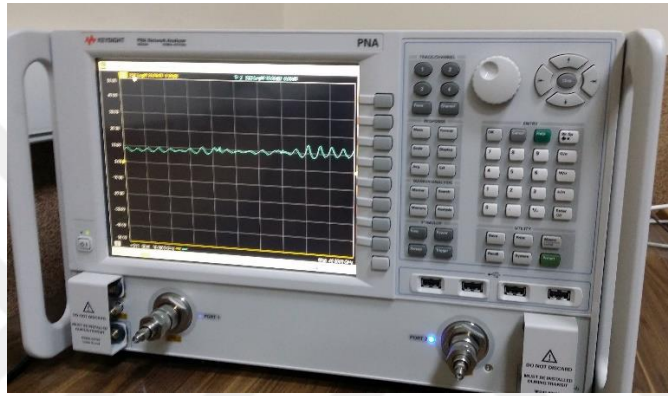
$$B_m = \frac{Bwf}{a} = \frac{(3,2 - 1,5)GHz}{0,08} = 21,25GHz$$

Çözünürlük ise denklem 38'den hesaplanırsa 7 mm olarak bulunur.

Bu çalışmada 18-40 GHz frekans aralığında çalışan huni tipi anten kullanılmıştır. Yani sistemin bant genişliği 22 GHz, çözünürlük ise denklem 38'den hesaplanırsa 6,8 mm olarak bulunur ve gerçek silo ölçümlerinin ölçeklenmiş karşılığını sağlamaktadır.

### 3.1.1.2 Vektör Network Analizör(VNA)

VNA vektörel olarak saçılma parametrelerini (Bkz. Bölüm 3.2.1) analiz eden cihazdır. Deneylerde Şekil 3.9'de verilen VNA kullanılmıştır.



Şekil 3.9 Keysight N5224A VNA

Silo tahıl seviyesi ölçüm sisteminde gerekli olan AFSD işareti VNA ile üretilmiş ve saçılma verileri toplanmıştır. Keysight N5224A cihazının temel özellikleri Çizelge 3.2'de özetlenmiştir. Şekil 3.10'da ise bilgisayara bağlı VNA'nın görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 3.2 Keysight N5224A VNA temel özellikleri

Özellik	Değer
Frekans Aralığı	10MHz-43.5GHz
Dinamik Aralık (S21, S12)	127 dB
Çıkış Gücü	13dm (Maksimum)
Port Sayısı	2
Harmonik	-60dBc
Gürültü Seviyesi	-114dBm



**Şekil 3.10** Bilgisayara bağlı VNA

### 3.1.1.3 Huni(horn) Antenler

Ölçümlerde A-INFO INC LB- 180400 ve Schwarzbeck bbha 9170 Şekil 3.11 ve Şekil 3.13’de verilen geniş huzmeli huni(horn) antenler kullanılmıştır.

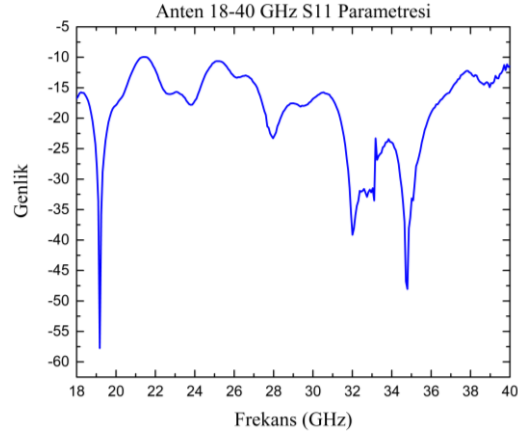
A-INFO INC LB- 180400 için Şekil 3.12’de antenin 18-40 GHz frekansları arasında VNA ile ölçülen  $S_{11}$  geri yansımaya katsayısının grafiği dB olarak verilmiştir. Antenin fiziksel ve diğer karakteristik parametreleri Çizelge 3.3 ‘de özetlenmiştir. Antenin 18-40 GHz arasındaki bazı frekansları için huzme(beam) açıları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Schwarzbeck bbha 9170 huni antene ait fiziksel ve diğer parametreleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.



**Şekil 3.11** A-INFO INC LB- 180400 Huni(Horn) antenler





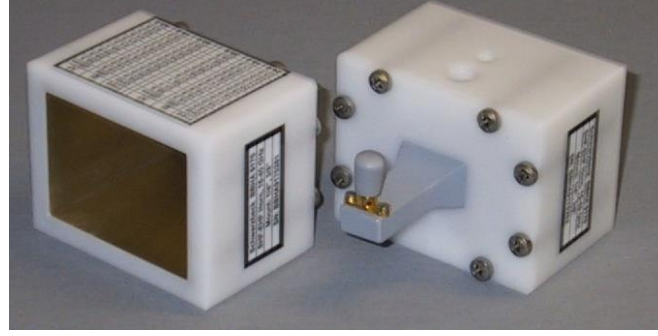
**Şekil 3.12** A-INFOINC LB-180400 Anten 18-40 GHz  $S_{11}$  geri yansımaya katsayısı ölçüm grafiği

**Çizelge 3.3** A-INFO INC LB- 180400 huni anten özellikleri

Parametre Adı	Değer
Frekans Aralığı(GHz)	18-40
Gain(dB)	15-18
VSWR	1.5:1 (Tipik) 2:1 (Maksimum)
Konnektör	2.92mm(K) Dişi
Boyutlar(mm)	32x27x71
Ağırlık(kg)	0.08

**Çizelge 3.4** Huni antenlerin frekansa göre hüzme(beam) açıları

Frekans (GHz)	H-Düzlem (Derece)	E-Düzlem (Derece)
18	44.79	43.59
20	38.33	40.43
22	33.87	35.39
24	30.78	31.31
26	25.2	28.18
28	26.25	28.18
30	23.33	27.30
32	21.57	26.53
34	21.2	25.73
36	19.95	25.68
38	19.45	23.53
40	18.74	22.99



**Şekil 3.13** Schwarzbeck bbha 9170 huni anten

**Çizelge 3.5** Schwarzbeck bbha 9170 huni anten özellikleri

Parametre Adı	Değer
Frekans Aralığı(GHz)	15-40
Kazanç(dB)	15-20
Huzme Açısı(E Düzlem)	13°-21°
Huzme Açısı (H düzlem)	14°-23°
Konnektör	2.92mm(K) Dişi
Boyutlar(mm)	75x86x60
Ağırlık(kg)	0.3

#### 3.1.1.4 Kontrol Bilgisayarı

Kontrol bilgisayarı VNA ile gerçekleştirilen ölçümlerde saçılma parametrelerini(S) VNA'dan alarak kayıt etmek için kullanılmıştır. MATLAB'de yazılan bir ara yüz ile VNA kontrol edilmiş ve veriler bilgisayara kayıt edilmiştir. Şekil 3.14'de kullanılan bilgisayar verilmiştir.



**Şekil 3.14** VNA ile bağlantılı Bilgisayar

### 3.1.1.5 Bulgur

Deneylerde tahıl seviye ölçümü için bulgur kullanılmıştır. Şekil 3.15’de kullanılan bulgura ait bir fotoğraf verilmiştir. Kullanılan bulgur buğdayın yaklaşık onda biri büyüklüğündedir.

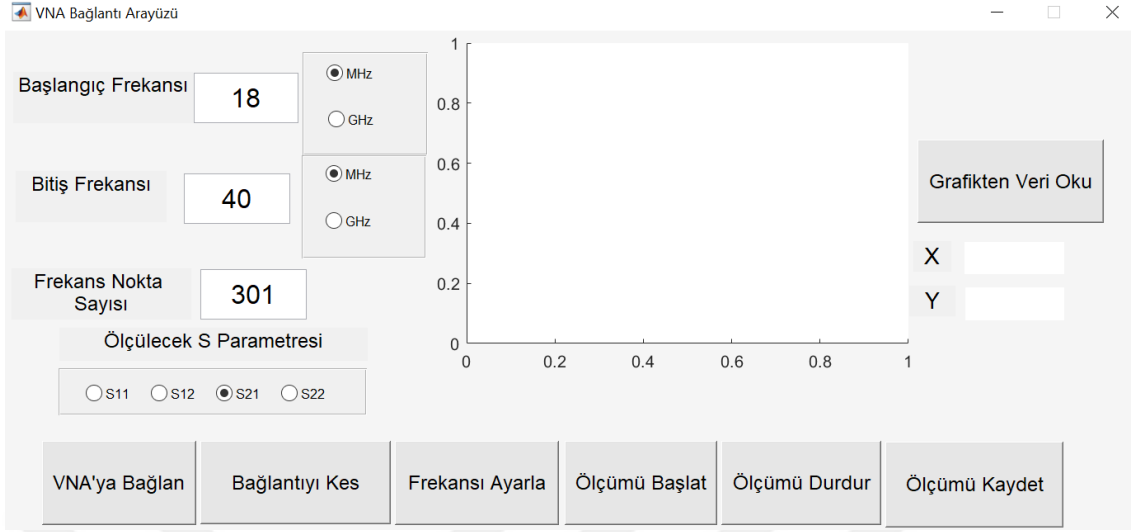


Şekil 3.15 Silo seviye ölçümü için kullanılan bulgur

### 3.1.1.7 MATLAB

MATLAB bilimsel ve mühendislik alanlarında sayısal hesaplamalar için kullanılan işlemlerini diziler üzerinden yapan geniş kapsamlı bir programdır. Akademik alanlarda ve endüstride sistemlerin simülasyonu için yaygın olarak kullanılır. MATLAB kelimesi “**Matrix Laboratory**” kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. MATLAB sinyal işleme, kontrol sistemleri, yapay sinir ağları, bulanık mantık, görüntü işleme, benzetim, optimizasyon, istatistik, matematik ve daha birçok alanda kullanılan araç kutularına sahiptir(Yiğit, 2007).

Şekil 3.16’da MATLAB üzerinde yazılan VNA bağlantı ara yüzü verilmiştir. Bu ara yüz ile VNA ve bilgisayar arasında bağlantı sağlanarak verilerin bilgisayar ortamına kayıt edilmesi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında MATLAB’in yapay sinir ağları araç kutusu da kullanılmıştır.



Şekil 3.16 VNA bağlantı arayüzü

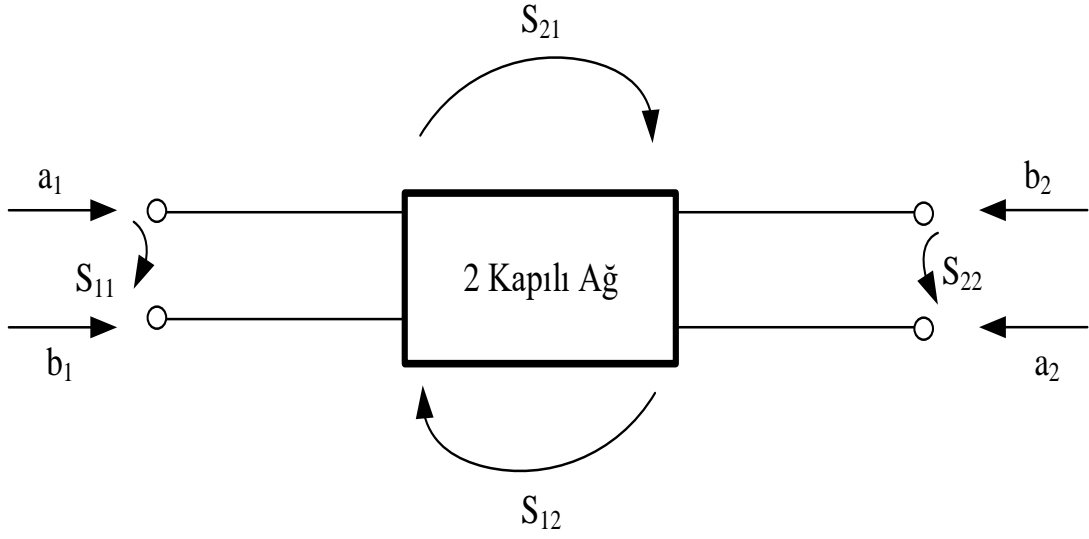
## 3.2. KULLANILAN METOT

### 3.2.1. Saçılma(S) Parametreleri

Saçılma parametreleri RF/Mikrodalga frekanslarında, devre tasarımı, mikrodalga elemanlarının tasarımında ve karakteristiklerinin çıkartılmasında sıkça kullanılmaktadır.(Chang, 2004) S parametrelerinin ölçümü VNA ile gerçekleştirilir. N kapılı ağ için S matrisi şu şekilde ifade edilir,

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2N} \\ & & \vdots & & \\ & & \vdots & & \\ & & \vdots & & \\ S_{N1} & S_{N2} & S_{N3} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} \quad (42)$$

burada 1, 2, 3, ... N kapıları için  $a_1, a_2, a_3 \dots \dots a_N$  iletilen dalga gerilimi,  $b_1, b_2, b_3 \dots \dots b_N$  yansıyan dalga gerilimleridir. S parametreleri ise bu gerilimler arasındaki ilişkidir.(Chang, 2004)



Şekil 3.17 İki kapılı ağ ve S parametreleri

Şekil 3.17’de verilen iki kapılı ağ için S parametreleri şu şekilde olur,

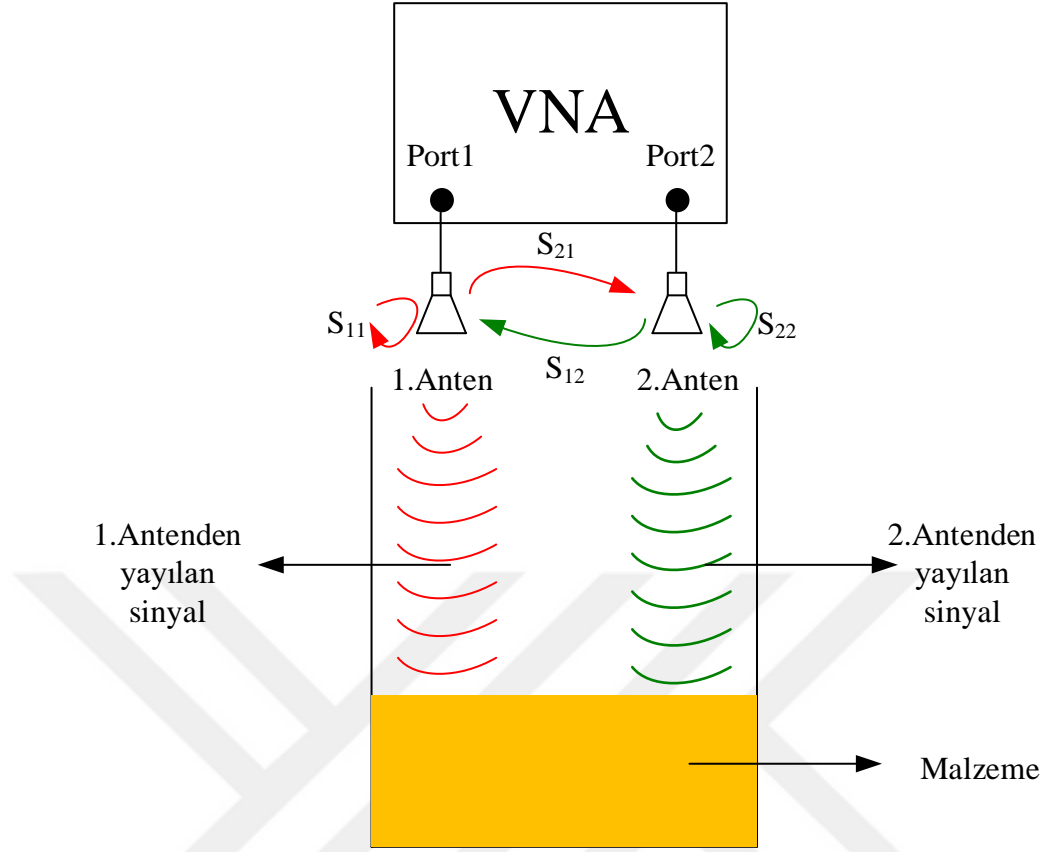
$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \Gamma_1 \quad \text{Birinci kapı için yansıtma katsayısı (} a_2 = 0 \text{)} \quad (43)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = T_{21} \quad \text{Birinci kapıdan ikinci kapıya iletim katsayısı (} a_2 = 0 \text{)} \quad (44)$$

$$S_{22} = \frac{b_1}{a_2} = \Gamma_2 \quad \text{İkinci kapı için yansıtma katsayısı (} a_1 = 0 \text{)} \quad (45)$$

$$S_{12} = \frac{b_2}{a_2} = T_{12} \quad \text{İkinci kapıdan birinci kapıya iletim katsayısı (} a_1 = 0 \text{)} \quad (46)$$

Şekil 3.18’de ise S parametrelerinin bir VNA ölçüm sistemi üzerinde karşılıkları gösterilmiştir. Burada  $S_{11}$  parametresi 1. Antenden yayılan sinyalin hedefe çarptıktan sonra geri yansıyan sinyallerin aynı port üzerinden toplanmasıdır. Aynı şekilde  $S_{22}$  ise 2. antenden yayılan sinyallerin 2. port üzerinden ölçülmesidir.  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  parametreleri ölçümlerinde VNA’nın sadece ilgili parametreye ait portu aktif olur yani  $S_{11}$  ölçümünde VNA’nın ikinci portuna bağlı antenden sinyal iletilmez ve sadece birinci antenden yayılan sinyalin geri yansımalarının toplanmasıyla ölçüm gerçekleştirilir. Aynı durum  $S_{22}$  ölçümü içinde geçerlidir.



**Şekil 3.18** VNA'da S parametreleri

$S_{21}$  ise 1. antenden yayılan sinyallerin 2. anten ile ölçülmesiyle elde edilir. Bunun tam tersi olarak  $S_{12}$  ise ikinci antenden yayılan sinyallerin 1. anten ile ölçülmesiyle elde edilir.  $S_{21}$  ve  $S_{12}$  parametreleri ölçülürken VNA'nın iki portu aktif olarak çalışır. Yukarıda verilen ifadeler  $S_{33}$ ,  $S_{44}$ , ...,  $S_{NN}$  gibi parametreler için de aynı şekilde ifade edilebilir.

### 3.2.2. Fourier Dönüşümü

Sinyaller pratikte genlik-frekans veya genlik-zaman bölgesinde ifade edilirler. Bazen sinyalin bulunduğu bölgeden sinyalden bilgi çıkarmak zordur. Zaman bölgesinde bulunan bir sinyalden frekans bölgesine geçiş Fourier Dönüşümü ile sağlanabilir ve sinyalin içerdiği frekans bilgisi elde edilir. Aynı şekilde frekans bölgesinde bulunan bir sinyalin zaman bölgesine geçişi ise Ters Fourier Dönüşümü (TFD) ile bulunabilir. (Haykin ve Van Veen, 2007, Oppenheim ve ark, 1997)

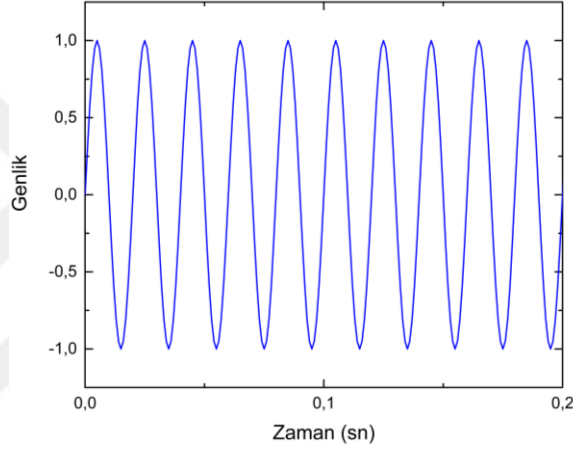
$X(k)$  ayrık sinyalinin Fourier dönüşümü şu şekildedir,

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)e^{-j2\pi nk/N} \quad (47)$$

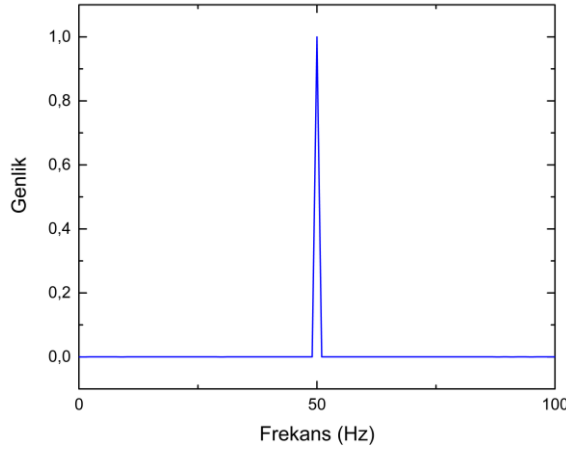
ve  $X(n)$  ayrık sinyalinin ters Fourier dönüşümü ise şu şekilde hesaplanır,

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{j2\pi nk/N} \quad (48)$$

Şekil 3.19'da zaman bölgesinde bulunan bir sinüs sinyali verilmiştir. FD uygulanarak elde edilen sinyalin frekans bilgisi Şekil 3.20'de verilmiştir. Sinyalin frekansı 50 Hz olarak görülmektedir.



**Şekil 3.19** 50 Hz frekansa sahip sinüs sinyali



**Şekil 3.20** Şekil 3.19'da verilen sinyalin ters Fourier dönüşümü

Bu çalışmada VNA ile tahıl yüzeyinden geri yansıyan sinyaller frekans bölgesinde toplanmıştır. Bu yüzden tahıl yüzeyi ile anten arasındaki gerekli olan menzil bilgisi TFD dönüşümü ile geri yansıyan sinyallerin zaman bölgesine dönüştürülmesiyle sağlanmıştır.

### 3.2.3. Tek Boyutlu Menzil Profil Bilgisinin Elde Edilmesi

Denklem 40' da verilen sinyalin TFD aşağıdaki şekildedir,

$$S(t) = \frac{pA}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(t - 2\frac{R}{c}\right) \quad (49)$$

Bu denklem sadece faz bilgisini içermektedir. Bu veriyi menzil düzlemine aktarmak için denklem 49 ile zaman eksenini ölçeklendirebilir,

$$z = c \frac{t}{2} \quad (50)$$

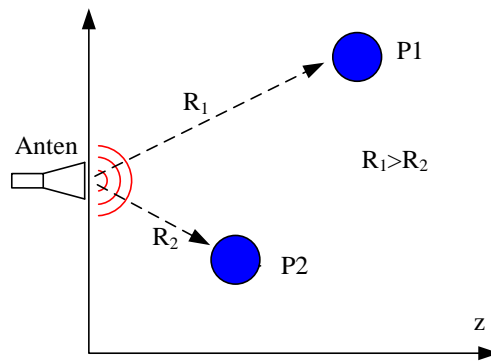
Zamana bağlı yansıyan sinyal menzil düzlemine aktarılırsa şu şekilde olur,

$$S(z) = \frac{pA}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(\frac{2}{c}(z - R)\right) \quad (51)$$

Burada  $\delta$  birim darbe fonksiyonu, A genliktir.

Yukarıdaki denklem tüm frekans bandının toplanmasıyla elde edilecektir fakat pratikte sinyalin frekansı sınırlı olduğu için birim darbe fonksiyonu *sinc* fonksiyonuna dönüşecektir.(Mahafza ve Elsherbeni, 2003, Yiğit, 2007)

Antenden  $R_1$  ve  $R_2$  uzaklığında konumlandırılmış P1 ve P2 noktasal hedefleri için deneysel düzenek Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 İki noktasal hedefe ait menzil gösterimi

Denklem 40 kullanılarak her iki hedef için radar geri yansıma sinyali şu şekilde yazılabilir,

$$S_1 = pA_1 e^{-jk2R_1} \quad (52)$$



$$S_2 = pA_2 e^{-jk2R_2} \quad (53)$$

Denklem 52 ve 53 zaman bölgesindeki ifadeleri şöyle olur,

$$S_1(t) = \frac{pA_1}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(t - 2\frac{R_1}{c}\right) \quad (54)$$

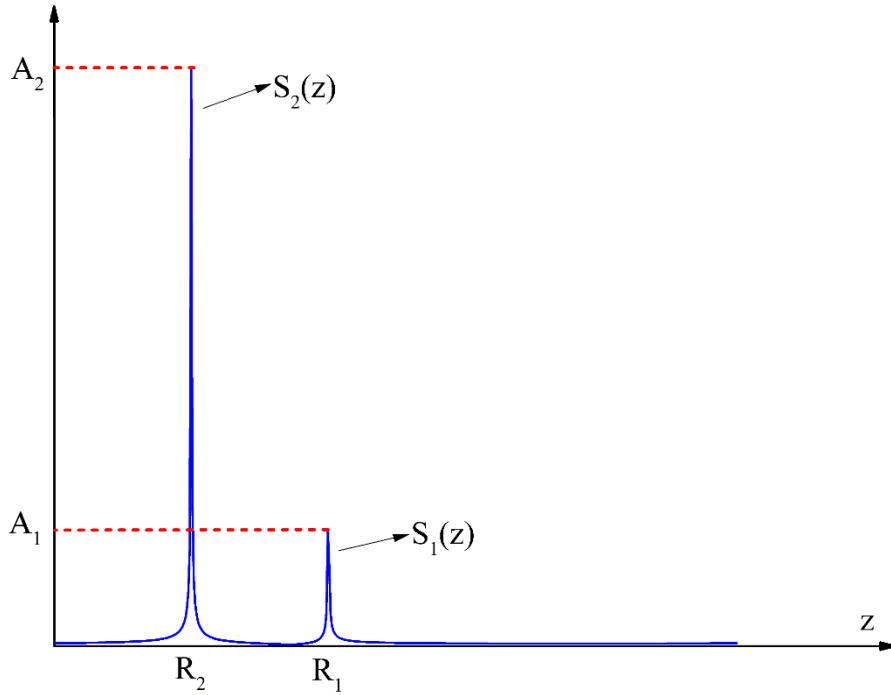
$$S_2(t) = \frac{pA_2}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(t - 2\frac{R_2}{c}\right) \quad (55)$$

Denklem 54 ve 55'in menzil bölgesine aktarılırsa denklemler şu şekilde olur,

$$S_1(z) = \frac{pA_1}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(\frac{2}{c}(z - R_1)\right) \quad (56)$$

$$S_2(z) = \frac{pA_2}{\sqrt{2\pi}} \delta\left(\frac{2}{c}(z - R_2)\right) \quad (57)$$

Bu ifadelerin toplamından elde edilecek menzil profilleri Şekil 3.22'de



**Şekil 3.22** P1 ve P2 noktasal hedefleri için elde edilen menzil profili

Elde edilen menzil profilinde hedeflerin menzil bilgisinin birim darbe fonksiyonu olduğu görülmektedir.

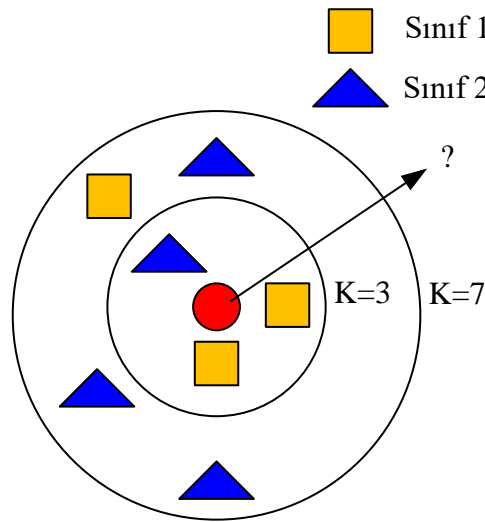
Bu çalışmada ise menzil profili farklı seviyedeki tahıl yüzeyinden geri yansıyan sinyaller için elde edilmiştir. Yukarıda noktasal hedefler için elde edilen menzil profilinden hedeflerin antenden uzaklıkları net bir şekilde görülmektedir. Fakat tahıl seviye ölçümlerinde hem silo duvarından hem de tahıl yüzeyinden geri yansıyan sinyaller menzil profilinde birden fazla hedef olarak görülmektedir. Geleneksel sinyal işleme teknikleri ile

tek bir menzil profilinden tahıl miktarını (hacmini) tespit etmek neredeyse imkansızdır. Bu yüzden farklı miktarlardaki tahıla ait elde edilen menzil profillerinden 8 farklı özellik çıkartılarak YZA’nda öğrenme girdisi olarak kullanılmış ve sezgisel yöntemler tahıl miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tezde kullanılan 3 farklı YZA ve ayrıntıları sonraki bölümde anlatılmıştır.

### 3.2.4. K-En yakın Komşu Algoritması KNN

K en yakın komşu algoritması sınıflandırma problemlerinde kullanılan basit etkili makine öğrenme yöntemlerinden biridir. Bu algoritmanın özellikleri önceden belirlenmiş örneklerin özellikleri ile sınıfları aranan yeni örneğin özellikleri arasındaki uzaklık ilişkisine bakarak en yakınındaki K adet örnek çoğunluk hangi sınıfa aitse yeni örneğin de o sınıftan olduğunu düşünerek sınıflandırma yapar(Mitchell, 1997, Taşcı ve Onan, 2016, Yigit, 2018b).

Şekil 3.23’de iki sınıfa ayrılmış nesnelerin bulunduğu bir örnek görülmektedir. Burada sarı kareler “Sınıf 1” ve mavi üçgenler ise “Sınıf 2” ye aittir. Kırmızı daire olarak verilen şeklin hangi sınıfı ait olduğu aranmaktadır. Kırmızı dairenin etrafına uzaklıklarına göre diğer sınıflar yerleşmiştir. Grafiğe göre K=3 komşuluğunda 2 adet sarı kare ve 1 adet mavi üçgen vardır. Sarılar daha fazla olduğu için kırmızı daire Sınıf 1’e aittir. Aynı şekilde K=7 komşuluğuna bakılırsa 3 adet sarı ve 4 adet mavi vardır. Bu yüzden 7. komşulukta Sınıf 2’ye aittir.



Şekil 3.23 KNN kullanım örneği

KNN algoritmasında sınıflara olan uzaklıkların hesaplanması için kullanılan bazı uzaklık fonksiyonları Çizelge 3.6'da verilmiştir.  $a$  ve  $b$  vektörleri için Çizelge 3.6'da uzaklık fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri verilmiştir.

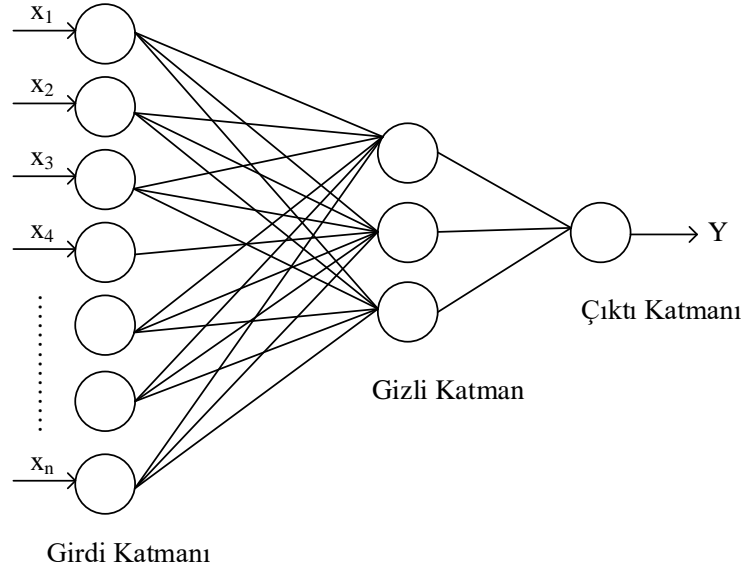
**Çizelge 3.6** KNN algoritması uzaklık fonksiyonları

Uzaklık Fonksiyon Adı	Matematiksel İfadesi
Öklid	$\sqrt{\sum_{i=1}^k (a_i - b_i)^2}$ (58)
Manhattan	$\left  \sum_{i=1}^k a_i - b_i \right $ (59)
Korelasyon	$1 - \frac{(a_s - \bar{a}_s)(b_t - \bar{b}_s)}{\sqrt{(a_s - \bar{a}_s)(a_s - \bar{a}_s)' \sqrt{(b_t - \bar{b}_s)(b_t - \bar{b}_s)'}}$ (60) $\bar{a}_s = \frac{1}{n} \sum_j a_{sj} \text{ ve } \bar{b}_t = \frac{1}{n} \sum_j b_{tj}$
Minkowski	$\left( \sum_{i=1}^k  a_i - b_i ^q \right)^{1/q}$ (61)

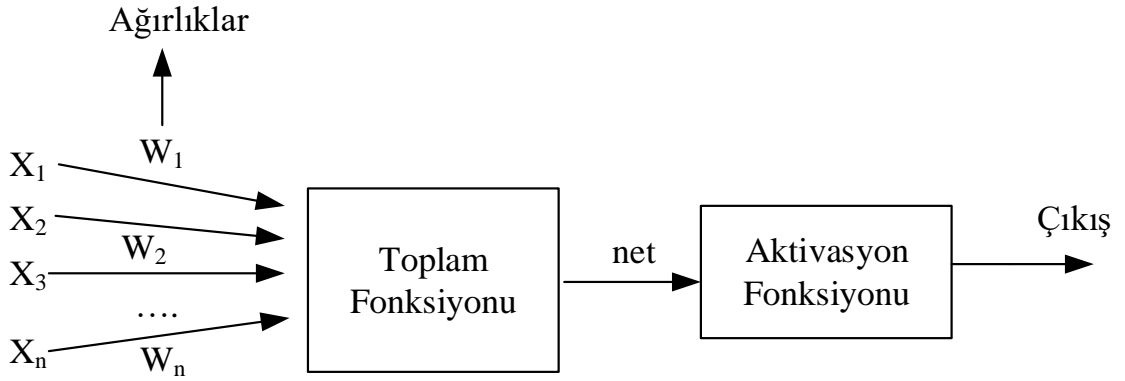
KNN algoritması literatürde ağaçların sınıflandırılmasında(Unlersen ve Sabanci, 2016), buğday türlerinin sınıflandırılmasında(Sabancı ve Akkaya, 2016), anten frekansının hesaplanmasında(Yigit, 2018b), hastalıkların sınıflandırılmasında(Shirvan ve Tahami, 2011), yazı metinlerinin sınıflandırılmasında(Bijalwan ve ark, 2014) ve daha birçok sınıflandırma çalışmalarında kullanılmıştır. Bu çalışmada ise tahıl seviyesinin belirlenmesine yönelik olarak EM geri saçılım sinyallerinin sınıflandırılmasında kullanılmıştır.

### 3.2.5. Yapay Sinir Ağları

YSA tahmin ve sınıflandırma problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan etkili makine öğrenme yöntemlerinden biridir. YSA çalışma mantığını insan sinir sisteminin çalışma şekline ilham alır. YSA temel olarak girdi katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşur (Şekil 3.24) YSA girdi ve çıktı katmanları arasında gerçekleşen hesaplamaların net olarak açıklanamaması sebebiyle burada gerçekleşen hesaplamalar “kara kutu” olarak adlandırılır. (Öztemel, 2003). İnsan beynine benzeyen nöronlar ağı işlem elementleridir ve sinaptik ağırlıklar ile karşılıklı olarak bağlanan doğrusal olmayan fonksiyonlardan oluşurlar. YSA, hedef ve çıktı arasındaki hatayı en aza indirmek amacıyla girdi ve çıktılara sahip ölçülen veya simüle edilmiş veri havuzu aracılığıyla eğitilebilir. Eğitim sırasında, sinaptik ağırlıklar hedefe daha yakın çıktı getirmek için zayıflatılır veya güçlendirilir. Ayrıca, YSA bazı matematiksel fonksiyonları kullanarak çıktı ile hedef arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modellemektedir. Giriş verileri doğrudan giriş katmanına uygulanır, yani, giriş nöronlarının sayısı, her farklı giriş örneğinin sayısına eşit olmalıdır. Ardından çıkışa katma, çoğaltma ve aktivasyon fonksiyonu gibi işlemler çıktı katmanına uygulanır. Son olarak, bu veriler doğrudan çıktı katmanına verilerek çıkış değerleri elde edilir. (Sabancı ve ark, 2017) Bu tez çalışmasında ağı eğitimi için olarak “Levenberg Marquardt” algoritması kullanılmıştır.



Şekil 3.24 YSA temel modeli



**Şekil 3.25** Nöron modeli

Şekil 3.25’de bir nöronun çalışma modeli gösterilmiştir. X giriş değerlerine karşılık gelen ağırlıklar rastgele belirlenir. Belirlenen ağırlıklar ve giriş değerleri Çizelge 3.7’de örnekleri verilen toplam fonksiyonlarından birine gönderilerek ağın net girdisi hesaplanır(Haykin, 2011). Net girdi genel olarak şu şekilde ifade edilir.

$$net = \sum_{i=1}^N W_i X_i \quad (62)$$

Burada W her bir giriş değerine karşılık gelen ağırlıkları, X giriş değerlerini temsil eder.

**Çizelge 3.7** YSA toplam fonksiyonlarından bazıları

$Net = \sum_{i=1}^N X_i \times W_i \quad (63)$
$Net = \prod_{i=1}^N X_i \times W_i \quad (64)$
$Net = maksimum(X_i \times W_i) \quad (65)$
$Net = minimum(X_i \times W_i) \quad (66)$

Toplam fonksiyonu ile hesaplanan girdilerin net ağırlık değerleri daha sonra Çizelge 3.8’de verilen bir aktivasyon fonksiyonuna gönderilerek çıkışlar hesaplanır (Haykin,

2011). Çıkış değerlerini aktivasyon fonksiyonuyla matematiksel ifade şu şekilde yazılabilir,

$$\text{Çıkış} = F(\text{net}) \quad (67)$$

Burada F aktivasyon fonksiyonudur.

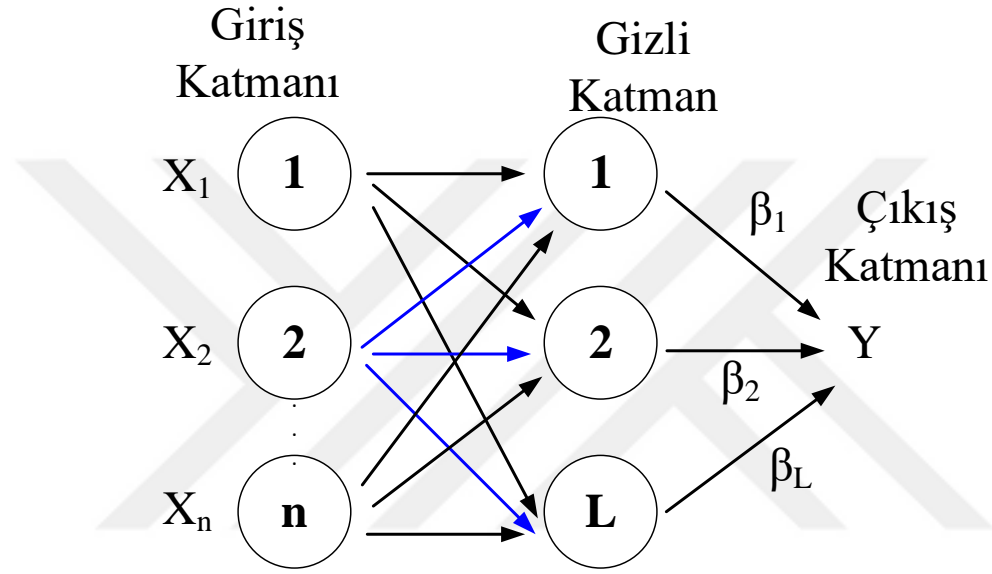
**Çizelge 3.8** YSA aktivasyon fonksiyonlarından bazıları ve matematiksel ifadeleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Matematiksel İfadesi	
Doğrusal	$F(\text{net}) = A \times \text{net}$	(68)
Adım	$F(\text{net}) = \begin{cases} 1 & \text{Net} > \text{eşikdeğer} \\ 0 & \text{Net} < \text{eşikdeğer} \end{cases}$	(69)
Sigmoid	$F(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{Net}}}$	(70)
Tanjant Hiperbolik	$F(\text{net}) = \frac{e^{\text{Net}} + e^{-\text{Net}}}{e^{\text{Net}} - e^{-\text{Net}}}$	(71)

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bilgisayarların işlemci hızlarında ve veri depolama kapasitelerinde önemli artışlar meydana gelmiştir ve buna bağlı olarak nöronların çalışma yapısı bilgisayar ortamında modellenerek mühendislik, istatistik, tıp gibi birçok alanda sınıflandırma, tahmin veri ilişkilendirme vb. işlemler için kullanılmaktadır (Şentürk ve Şentürk, 2016). YSA literatürde kanser tanısının tahmininde(Khan ve ark, 2001, Şentürk ve Şentürk, 2016), buğday türlerinin sınıflandırmasında(Kayabaşı ve ark, 2017), anten çentik frekansının hesaplanmasında(Sabancı ve ark., 2017), görüntü işleme uygulamalarında(Egmont-Petersen ve ark, 2002), biyomedikal sinyallerin sınıflandırılmasında(Ersöz ve Özşen) ve daha birçok makine öğrenimi tabanlı çalışmada YSA kullanılmıştır. Birçok farklı uygulamada kullanılan YSA, bu çalışmada tahıl miktarının tahmini için uygulanmıştır.

### 3.2.6. Aşırı Öğrenme Makinesi(ELM)

Aşırı öğrenme makinesi yapısal (Şekil3.26) olarak YSA'ya benzer. YSA'da ağırlıklar iterasyonla güncellenirken, ELM'de bir defada ağırlıklar belirlenerek  $\beta$  katsayısı hesaplanır ve çıkış bulunur. Bu yüzden ELM YSA'ya göre çok daha hızlı çalışır. YSA çok fazla özellik içeren verilerin sınıflandırılmasında ve tahmininde yüksek donanımlı bilgisayarlara ihtiyaç duyarken, ELM algoritması bunlara ihtiyaç duymaz.(Sabancı ve ark., 2017)



Şekil 3.26 ELM'nin yapısal gösterimi

YSA'da olduğu gibi her bir giriş nöronun rastgele ağırlıklar belirlenir ve gizli katmandaki her bir nöronun ağırlık değeri hesaplanır. Ağırlık ifadesi şu şekilde ifade edilebilir,

$$G = [W_1 \times X_1 + W_2 \times X_2 + \dots + W_n \times X_n] \quad (72)$$

G matrisi daha sonra bir aktivasyon fonksiyonuna gönderilerek  $H_g$  matrisi hesaplanır. Bu çalışmada kullanılan sigmoid aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi şu şekildedir,

$$H_g = \frac{1}{1 + e^{-G}} \quad (73)$$

$H_g$  matrisi,  $\beta$  katsayısı ve  $Y$  çıkışı arasında şu ifade yazılabilir.

$$\beta H_g = Y \quad (74)$$

$\beta$  şu şekilde hesaplanır.

$$\beta = H_g'Y \quad (75)$$

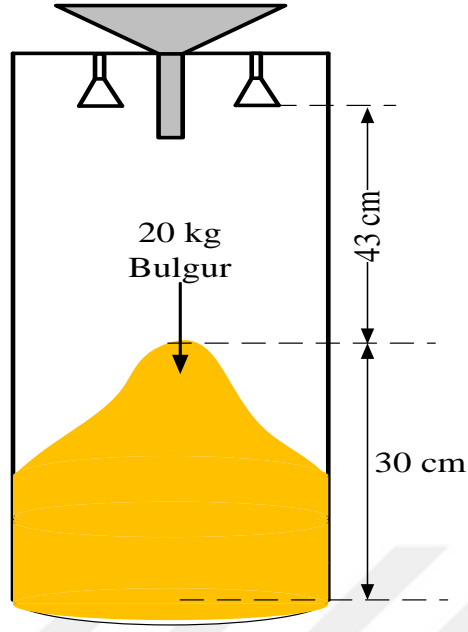
Böylece giriş ve çıkış arasındaki ilişki YSA'dan farklı olarak tek bir iterasyonda hesaplanmış olur ve bu sayede büyük verilerin işlenmesinde hem süre açısından hem de daha düşük seviyede bilgisayar donanımı gereksiniminden dolayı önemli bir avantaj sağlar.

### 3.2.7. Menzil Profilinden Özellik Türetimi (Feature Extraction)

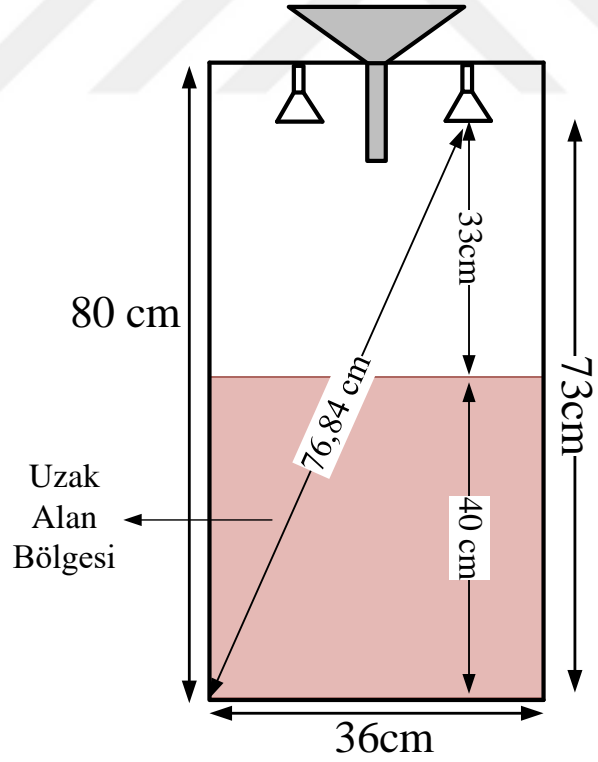
Makine öğrenimi algoritmalarının daha doğru sonuçlar vermek için sinyalinin bazı özelliklerinin elde edilerek kullanılmasına ihtiyaç duyar. Ham sinyal verilerinin veri sayısını fazla olması hem işlem hızı açısından hem de makine öğrenimi algoritmasının giriş verisinin fazla olması performansı etkilemektedir. Verilerin özellik çıkartılmasının temel amacı algoritmanın öğrenme performansını artırarak hatayı azaltmaktır. Menzil profil bilgisinden farklı özelliklerin çıkartılması işlemi tahıl seviyesindeki küçük değişimlerin farklı özellik türleri vasıtasıyla elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Sadece menzil profili kullanılan YZA, çok yüksek hatalı sonuçlar üretmekte ve birbirine yakın doluluktaki silolarda hatalar artmaktadır. Ancak, menzil profil bilgisinden, farklı sinyal işleme teknikleri ile yeni özellikler türetilerek geri saçılım sinyallerine ait farklı özelliklere ulaşılabilir. Bu nedenle HR verilerinden aşağıda verilen 8 farklı özellik türetilmiştir.

Tahıl seviye ölçümlerinde elde edilen radar geri yansıma sinyallerine TFD uygulanarak menzil profilleri edilmiştir. Şekil 3.27'de konik tepe şeklinde 20 kg bulgur içeren silonun grafiksel gösterimi verilmiştir. Şekil 3.27'e göre tahıl yüzeyinden yansıyabilecek sinyalin en kısa mesafesi 43 cm'dir. Bu bölgeyi kapsayacak şekilde menzil profilinin 40 cm'ye kadar olan kısmı kırılmıştır ve sinyalin boşlukta yayılan kısmı yok edilmiştir. Ayrıca "A-INFO INC LB- 180400" huni antenin merkez frekansında (29 GHz) uzak alan bölgesi (Şekil 3.28) denklem 33'ten hesaplanarak 33 cm olarak bulunmuştur. Menzil profilini 40 cm'lik kısmının kırılması sayesinde sadece uzak alan bölgesi yansımaları değerlendirilmiştir.



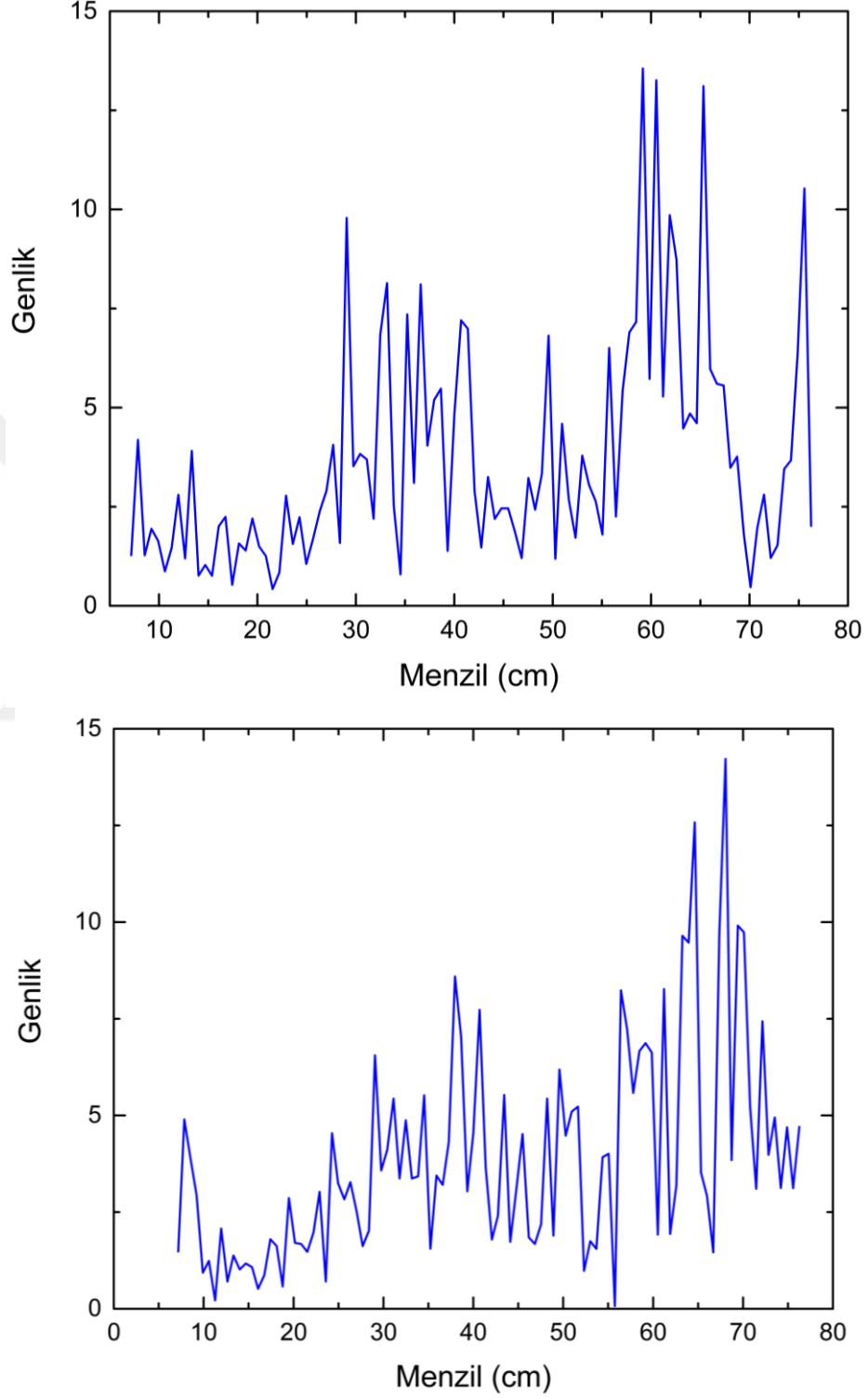


Şekil 3.27 20 kg bulgur içeren siloya ait grafiksel gösterim



Şekil 3.28 Silo içi anten uzak alan bölgesi

Şekil 3.29’da iki farklı seviyedeki tahıla ait elde edilen menzil profilleri verilmiştir. Menzil profilinin 40-76 cm aralığı kullanılmıştır ve bazı istatistiksel özellikleri hesaplanarak sinyalin 8 özelliği çıkartılmıştır.



Şekil 3.29 Farklı seviyedeki tahıla ait menzil profilleri

Tahıl seviyesindeki değişimler geri yansıyan sinyalin şiddetini (Şekil 3.29) etkilemesinden dolayı sinyale ait aşağıda matematiksel ifadeleri verilen **enerji**, **ortalama**, **çarpıklık**, **basıklık** gibi istatistiksel özellikleri de içermektedir. Menzıl profilinden çıkartılan 8 özellik aşağıda verilmiştir.

### 1) Sinyalin Enerjisi

Tahıl miktarındaki en küçük değişimler bile geri yansıyan sinyallerin şiddetini etkilemektedir ve bu nedenle farklı miktardaki tahıldan yansıyan sinyalleri enerjisindeki değişimlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bir  $x$  sinyalinin enerjisi şu denklem ile hesaplanır,

$$E_s = \int_{-\infty}^{\infty} |x^2| dt \quad (76)$$

Denklem 76 vektörel bir sinyali skaler bir değere dönüştürür ve böylece tek bir menzıl profiline ait enerji değerini verir.

### 2) Sinyalin Ortalaması

Farklı tahıl miktarlarından elde edilen menzıl profillerindeki genlik değerlerindeki küçük değişimler, sinyalin toplam enerjisinde ayırt edilebilir farklara neden olurken, ortalama değerinde bu fark oluşmamaktadır. Ancak büyük değişimler ortalama değerde kendini göstermektedir. Bu nedenle farklı yapılarıdaki ve yüksekliklerdeki tahıl yığınlarının birbirlerinden net bir şekilde ayrılabilmesi için sinyalin ortalama değerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Herhangi bir  $x$  sinyalinin aritmetik ortalaması şu denklem ile hesaplanır,

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \quad (77)$$

### 3) Sinyalin Çarpıklığı(Skewness)

Bir  $x$  sinyalinin çarpıklığı (Skewness) şu şekilde hesaplanır,

$$\text{çarpıklık} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s(x)} \right)^3 \quad (78)$$

Çarpıklık sinyalin normal dağılışa göre bozulma derecesidir(Özkan, 2008). Dağılışı sağa doğru ise pozitif çarpık veya sağa çarpık, dağılışı sola doğru ise negatif çarpık veya sola çarpık olarak adlandırılır. Tahılın miktarının değişimleri veya silo içerisinde yerleşim şekli yani konik yapıda veya düz olması çarpıklık katsayısını etkilemektedir.

#### 4) Sinyalin Basıklığı

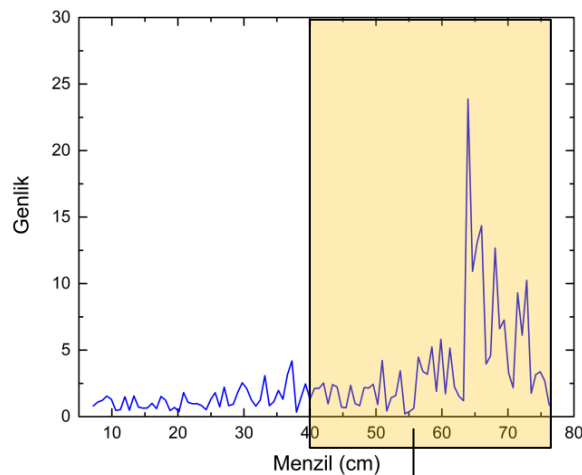
Kurtosis(basıklık) normal dağılışı eğrisinin sivrilik veya yayvanlık derecesi olarak ifade edilir(Özkan, 2008). Bir  $x$  sinyalinin basıklığı(Kurtosis) şu şekilde hesaplanır,

$$basıklık = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s(x)} \right)^4 \quad (79)$$

Burada  $s$   $x$  sinyalinin standart sapması,  $\bar{x}$  sinyalin ortalamasıdır. Tahılın miktarının değişimleri veya silo içerisinde yerleşim şekli yani konik yapıda veya düz olması basıklık katsayısını etkilemektedir.

#### 5) Sinyalin Menzil Değerleri

Silodaki tahıl miktarı arttıkça geri saçılan sinyalin farklı menzillerdeki saçılım şiddetleri de değişmektedir. Bu nedenle herhangi bir menzil bilgisine karşılık gelen saçılım şiddetinin hesaplanabilmesi için, sinyalin menzil değerlerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Menzil profillerinin 40-76 cm aralığındaki menzil değerleri (Şekil 3.30) kullanılmıştır.

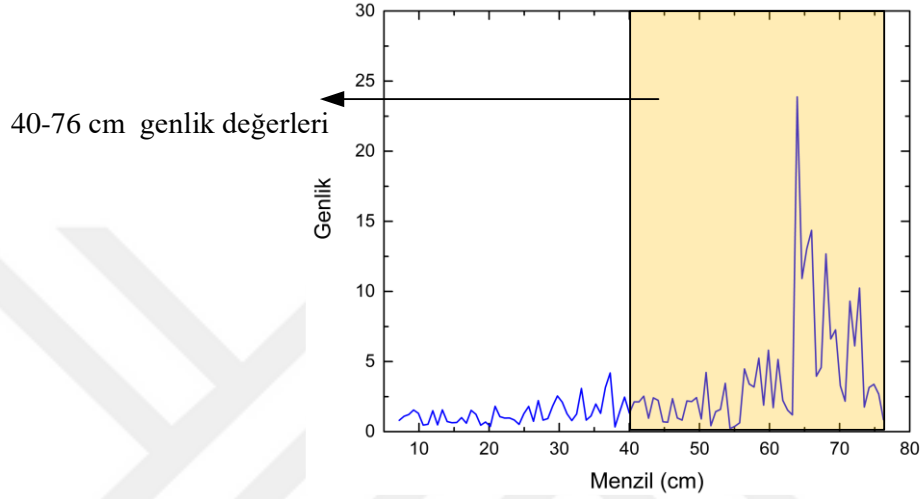


40-76 cm menzil değerleri

Şekil 3.30 40-76 cm arasında karşılık gelen menzil profili

## 6) Sinyalin Genlik Değerleri

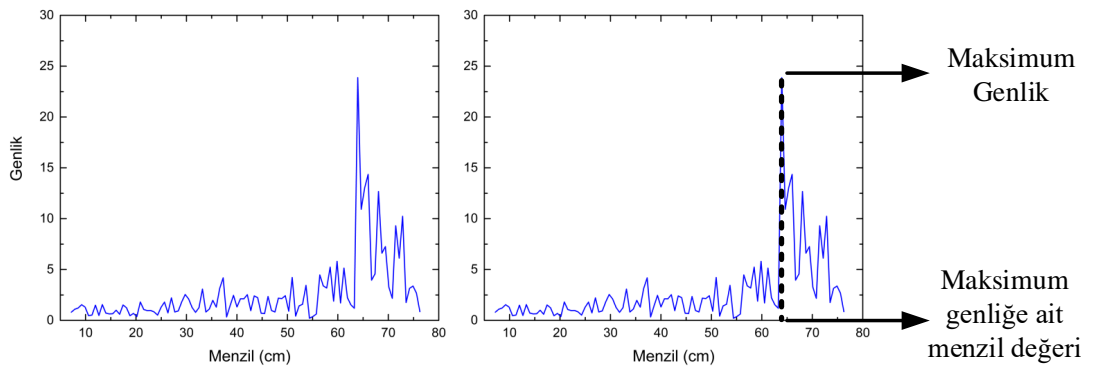
Bir önceki özellik gibi genlikteki değişimlerde tahıl miktarına ait bir çok bilgiyi içermektedir. Bu nedenle olası tahıl seviyelerinin tümüne ait genlik bilgilerinin her birisinde YZA'na girdi olarak alınmıştır. Menzil profillerinin 40-76 cm aralığındaki genlik değerleri Şekil 3.31' de temsil edilmiştir.



Şekil 3.31 40-76 cm arasında karşılık gelen menzil profilinin genlik değerleri

## 7) Sinyalin Maksimum Genliğinin Menzil Değeri

Sinyalin maksimum yansıma yaptığı genlik değerine ait menzil değeri (Şekil 3.32) kullanılmıştır. Özellikle tahılın silo içerisinde düz olarak yerleştiği durumlarda anten ile tahıl yüzeyi arasındaki mesafeye karşılık gelen genlik değeri maksimum olmaktadır.



Şekil 3.32 Menzil profili maksimum genlik ve menzil değerleri

### 8) Sinyalin Genlik-Menzil Ağırlığı(SGMA)

Tahıl miktarına göre sinyal menzil noktalarından farklı şiddetlerde yansıma yapmaktadır. Düşük yansımaların bile etkisini değerlendirmek için sinyalin genlik-menzil ağırlığı yani genlik ve menzil değerlerinin çarpımlarının toplamı da hesaplanmıştır. SGMA'nın matematiksel ifadesi şu şekildedir,

$$SGMA = \sum_K^m R_k G_k \quad (80)$$

Burada  $R_k$  sinyalin menzil bilgisini verirken,  $G_k$  da ona karşılık gelen şiddet bilgisini içermektedir.

### 3.2.8. Sonuçların Değerlendirilmesi

YZA ile elde edilen sonuçlar gerçek tahıl miktarları ile karşılaştırılarak ortalama doğruluk oranları hesaplanmıştır. T adet test verisinin YZA ile elde edilen sonuçları için ortalama mutlak yüzdelik doğruluğu (OMYD) şu şekilde hesaplanır,

$$OMYD = \frac{1}{T} \left| \sum_{ii=1}^T \frac{\text{Bulunan değer}}{\text{Gerçek değer}} \right| . 100 \quad (81)$$

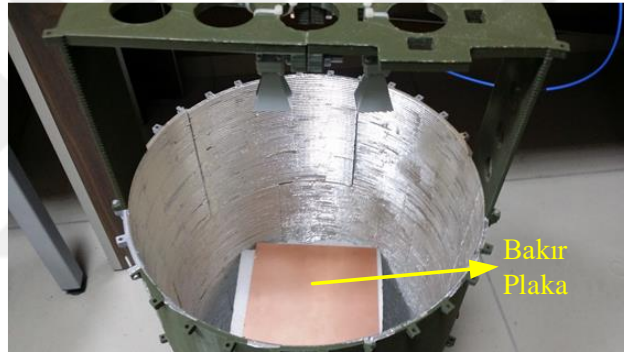
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde, gerçekleştirilen tahıl seviye ölçümleri deneylerine ait bulgular verilmiştir. Bölüm 2 ve 3 de verilen Fourier dönüşümü ve YZA'nın deneysel verilere uygulanması anlatılmıştır.

### 4.1. DENEYSEL BULGULAR

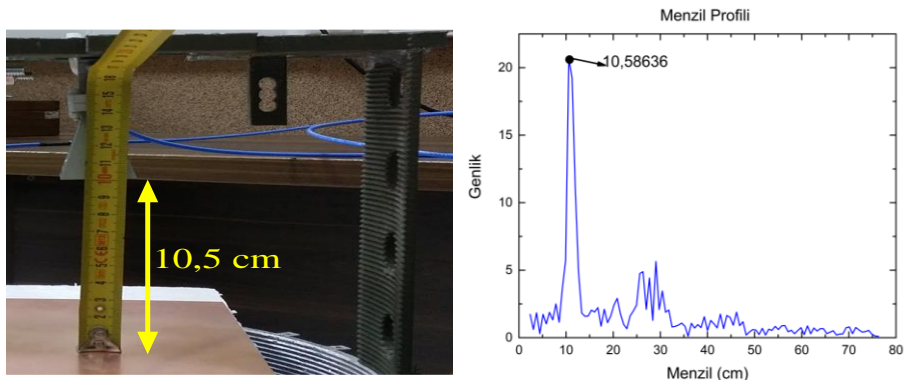
#### 4.1.1. Boş Silo Ölçüm Deneyleri

Bu deneylerde silo içerisine Şekil 4.1 de ki gibi bakır plaka konularak sistemin çalışması test edilmiştir. Ölçümler 18-40 GHz frekans aralığında toplam 301 frekans noktası için gerçekleştirilmiştir. VNA ile toplanan  $S_{21}$  verilerine TFD uygulanarak menzil profilleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Silo bakır plaka deneylerinden bir kare

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi plaka ve anten arasındaki mesafe 10,5 cm'dir. Bu deneye ait elde edilen  $S_{21}$  verisinin menzil profili Şekil 4.2 'de verilmiştir. Menzil profilinde görüldüğü gibi anten ve plaka arasındaki mesafe 10,5 cm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2 Antenden 10,5 cm uzaklıktaki plakaya ait menzil profili

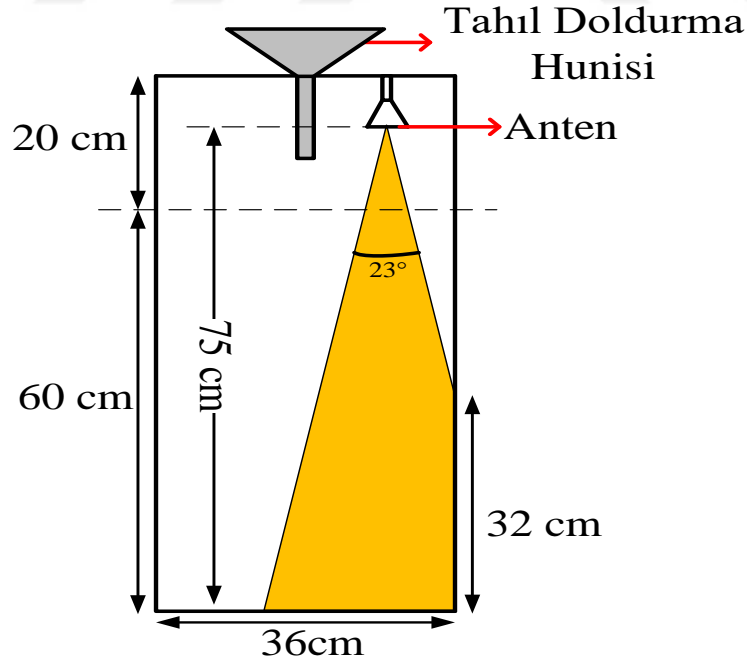
EM dalga iletkenen tam olarak yansıma yapacağından dolayı Şekil 4.2’de verilen resimde olduğu gibi bakır plakalar kullanılarak deney sistemi test edilmiştir ve bakır plaka deneylerinde anten ile plaka arasındaki mesafe tam doğrulukla ölçülmüştür.

#### 4.1.2. Dolu Silo Seviye Ölçümler

Silo tahıl seviye ölçümlerinde silonun doldurulmasına ve boşaltılmasına yönelik iki tip ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tahıl dolum deneylerinde ilk olarak tek anten ile monostatik olarak 15-40 GHz arasında  $S_{11}$  ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra iki anten ile 18-40 GHz arasında monostatik-benzeri(quasi-monostatic)  $S_{21}$  ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerde KNN, YSA ve ELM makine öğrenme algoritmaları kullanılarak tahıl seviyesi belirlenmiştir.

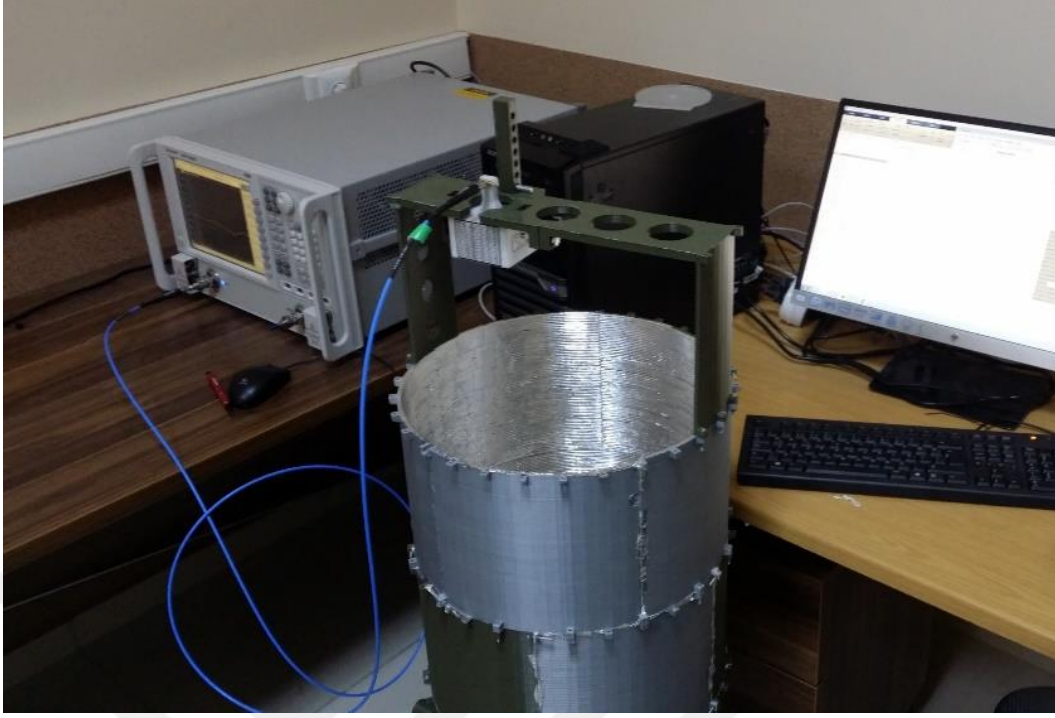
##### 4.1.2.1. Silo Monostatik Ölçüm Deneyleri

Silo seviyesini ölçmek için tek anten ile oluşturulan deney düzeneğinin silo içi grafiksel gösterimi Şekil 4.3 ‘de verilmiştir ve Şekil 4.4’de deney düzeneğine ait bir görüntü verilmiştir. Model silo ticari silolarda olduğu gibi ortasından dolum yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden anten silo duvarı ile dolum hunisinin arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3 Deney düzeneği grafiksel gösterim





**Şekil 4.4** Silo tek anten ile ölçüm deneylerinden bir kare

Ölçümler 15-40 GHz arasında toplam 301 frekans noktası için model silo içerisine farklı miktarlarda bulgur konularak gerçekleştirilmiştir. Sistemin menzil çözünürlüğü denklem 38'den hesaplanırsa şu şekilde olur,

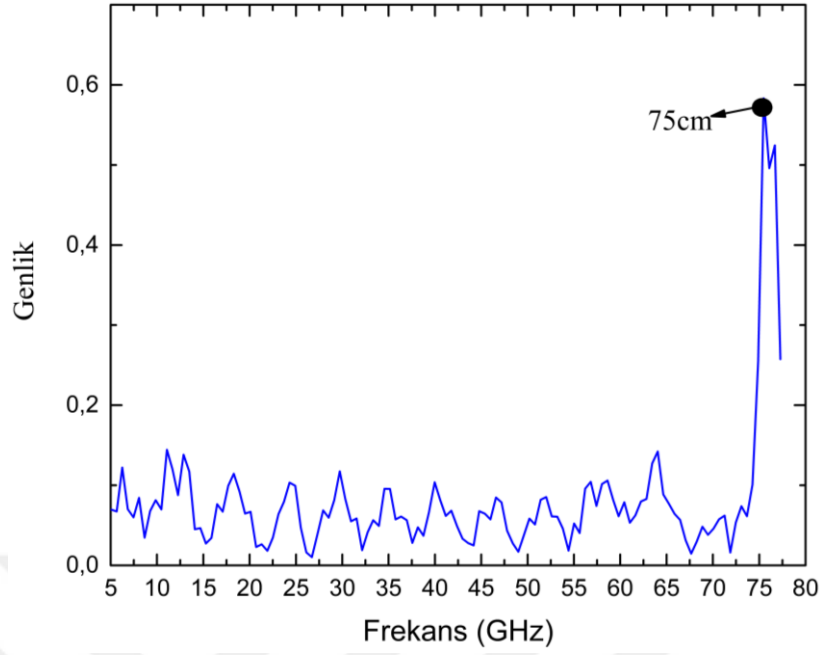
$$dx = \frac{c}{2B} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{2(40 - 15)GHz} = 6mm$$

Maksimum menzil ise;

$$R_{max} = Ndz = 301 \times 6mm = 1,8 m$$

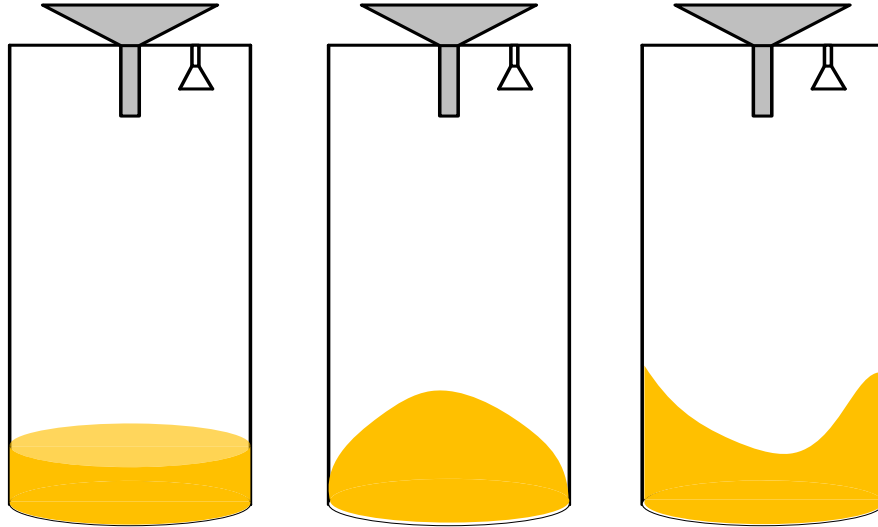
olarak hesaplanır ancak silo tabanından antene olan maksimum uzaklık 75 cm olduğu için menzil profilinde buraya kadar olan kısmı kullanılmıştır.

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi anten ile silo tabanı arasındaki uzaklık 75 cm'dir. Silo boşken gerçekleştirilen  $S_{11}$  ölçümüne TFD uygulanarak elde edilen menzil profili Şekil 4.5'de verilmiştir. Antenden tabana olan uzaklık menzil profilinde gösterildiği gibi 75 cm olarak ölçülmüştür.



**Şekil 4.5** Silo tek anten boş ölçüm geri yansıma sinyali

Silo içerisinde tahılın doldurulmasından ve boşaltılmasından kaynaklı Şekil 4.6’da grafiksel gösterimleri verilen yüzey şekilleri oluşmaktadır. Tahıl seviye ölçümlerinde bu yüzey şekilleri dikkate alınarak üç yüzey tipi içinde ölçümler yapılmıştır. Konik ve çukur yüzey şekilleri için model silo içerisinde gerçek fotoğraflar Şekil 4.7’de verilmiştir.

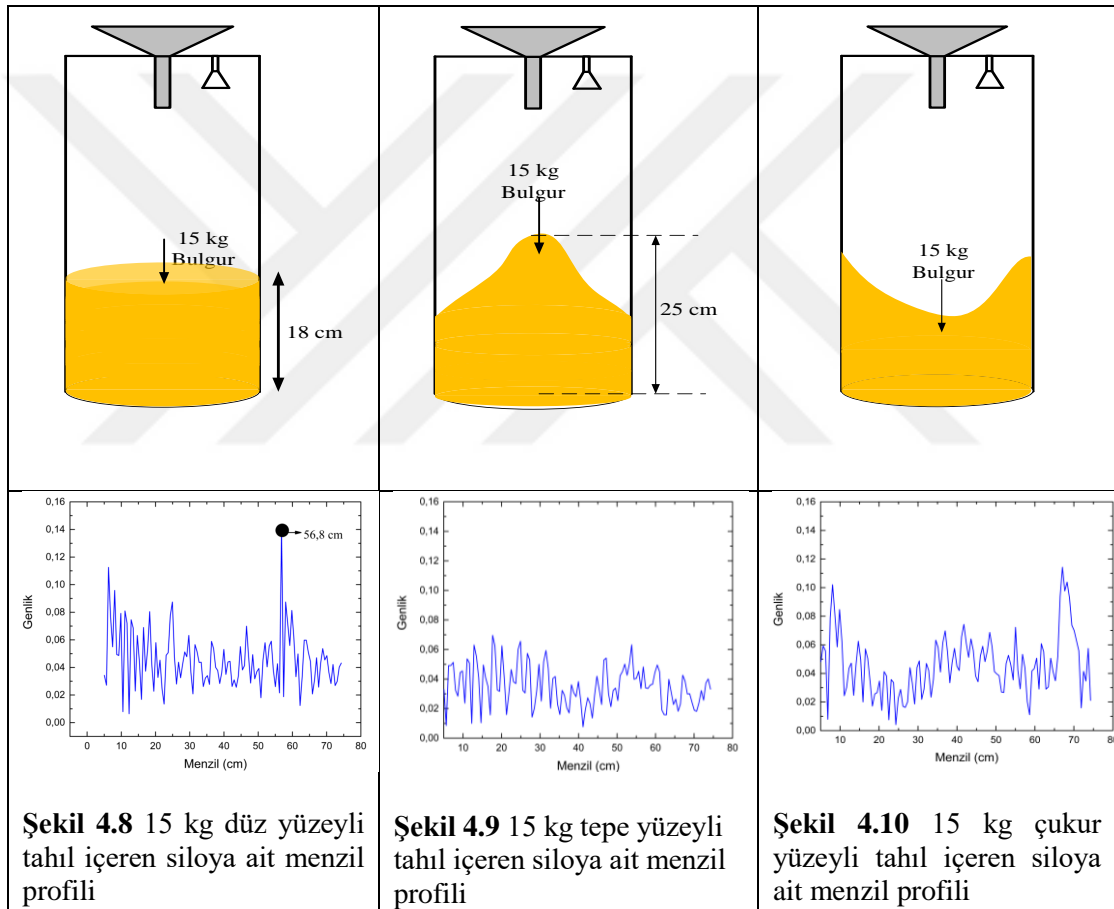


**Şekil 4.6** Tahıl yüzey modelleri (a) düz (b) tepe (c) çukur



**Şekil 4.7** Tahıl doldurulduktan ve boşaltıldıktan sonra oluşan konik tepe ve çukur

**Çizelge 4.1** 15 kg tahıl içeren siloya ait menzıl profilleri

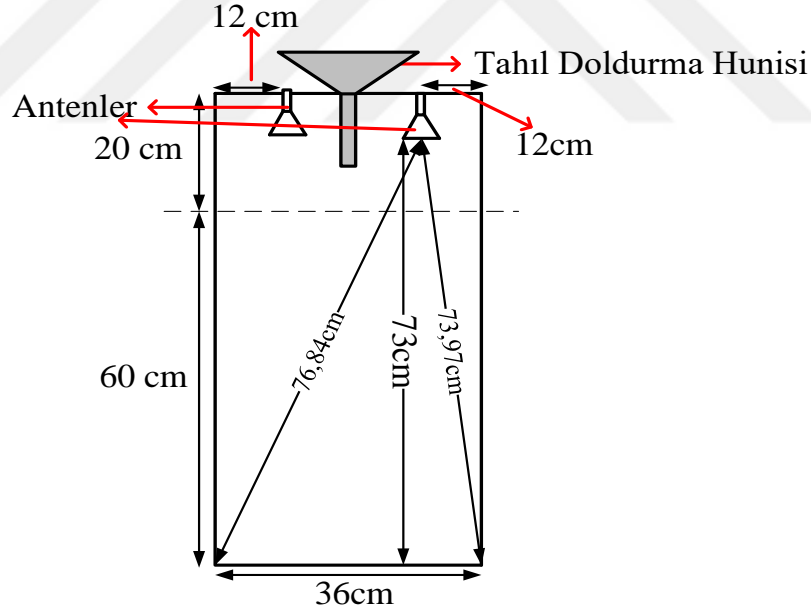


Çizelge 4.1’de 15 kg bulgur içeren silonun üç yüzey tipi içinde gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen  $S_{11}$  sinyaline TFD uygulanarak elde edilen menzıl profilleri verilmiştir. Şekil 4.8’de düz yüzey tipli tahıl içeren silo için menzıl profili verilmiştir. Elde edilen menzıl profilinden görüleceği gibi tahıl ile anten arasındaki ölçülen mesafe 56,8 cm olarak bulunmuş ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Anten ile silo tabanı arasındaki mesafe 75 cm (Şekil 4.3) ve 15 kg tahılın yüksekliği de 18 cm olduğu için gerçek mesafe  $75 - 18 = 57$  cm’dir yani  $57 - 56,8 = 0,2$  cm’lik küçük bir hatayla seviye

belirlenmiştir. Fakat tahılın konik tepe ve çukur yüzey şekilleri için menzil profilinden seviye belirlemek mümkün değildir çünkü bu yüzey şekilleri için elde edilen farklı seviyedeki tüm ölçümler için Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilen menzil profillerinin neredeyse aynısı elde edilmiştir. Tahılın miktarının değişmesi menzil profilinde kayda değer değişimler göstermemiştir. Tek anten ile gerçekleştirilen  $S_{11}$  ölçümlerinden sadece tahılın yüzeyinin düz olduğu durumlar için düzgün sonuçlar elde edilmiştir. Bu yüzden deneylere iki anten kullanılarak monostatik-benzeri  $S_{21}$  ölçümleri araştırılmıştır.

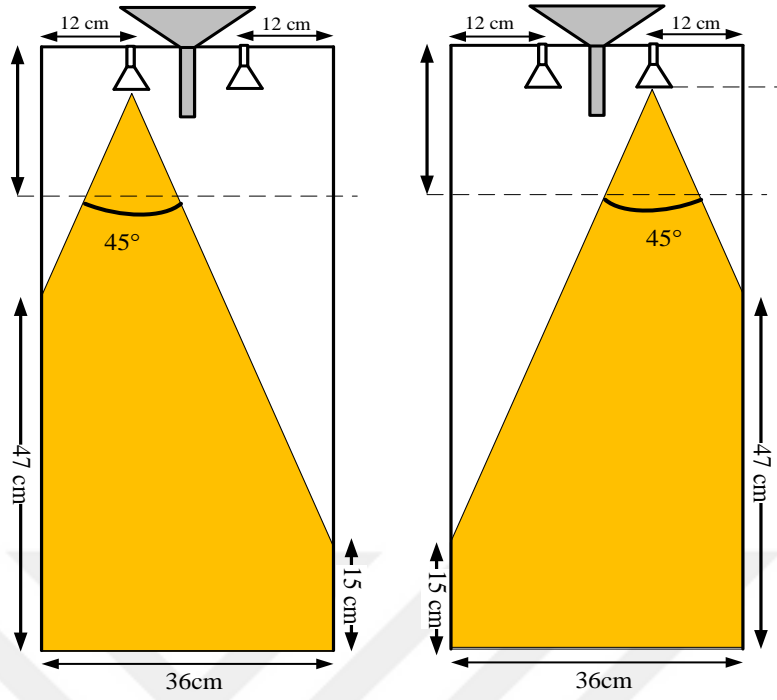
#### 4.2.1.2 Silo Monostatik Benzeri Ölçümler

Silo tahıl seviye ölçümü için 18-40 GHz frekanslarında çalışan iki adet anten kullanılarak Şekil 4.11’de gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur. Antenler konumu ve model silonun boyutları şekil üzerinde gösterilmiştir. Model silo ticari silolarda olduğu gibi ortasından dolum yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden antenler dolum hunisinin kenarlarına merkeze yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 4.11 Silo tahıl seviye ölçümü monostatik-benzeri deney düzeneğinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.12’de ise huni antenlerin 30 GHz de silo içini aydınlatacağı bölgeler gösterilmiştir.



**Şekil 4.12** Silo tahıl seviye ölçümü monostatik-benzeri deney düzeneğinin grafiksel gösterimi  
Ölçümler 18-40 GHz arasında toplam 301 frekans noktası için VNA kullanılarak  $S_{21}$  verileri elde edilmiştir. Sistemin menzil çözünürlüğü denklem 38'den hesaplanırsa şu şekilde bulunur,

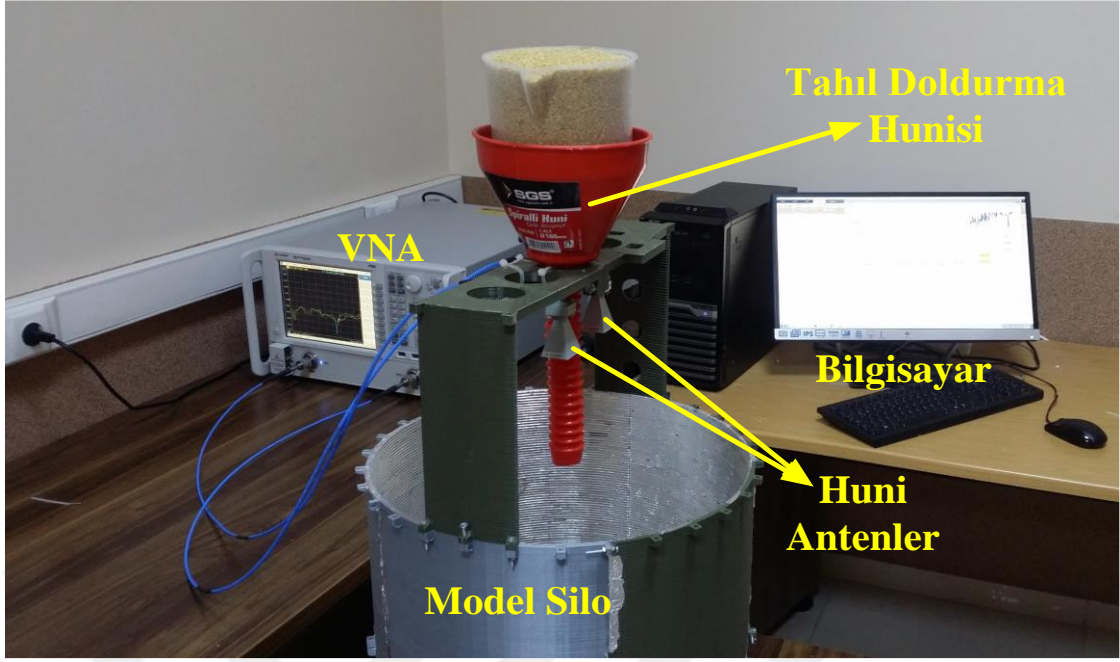
$$dz = \frac{c}{2B} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{2(40 - 18)GHz} = 6,8 mm = 0,0068 m$$

Maksimum menzil ise;

$$R_{max} = N \times dz = 301 \times 0,0068 m = 2,04 m$$

olarak bulunur. Şekil 4.11'de görüleceği gibi maksimum mesafe 76,84 cm olduğu için menzil profilinde bu noktaya kadar olan uzaklığı kısmı alınmıştır.

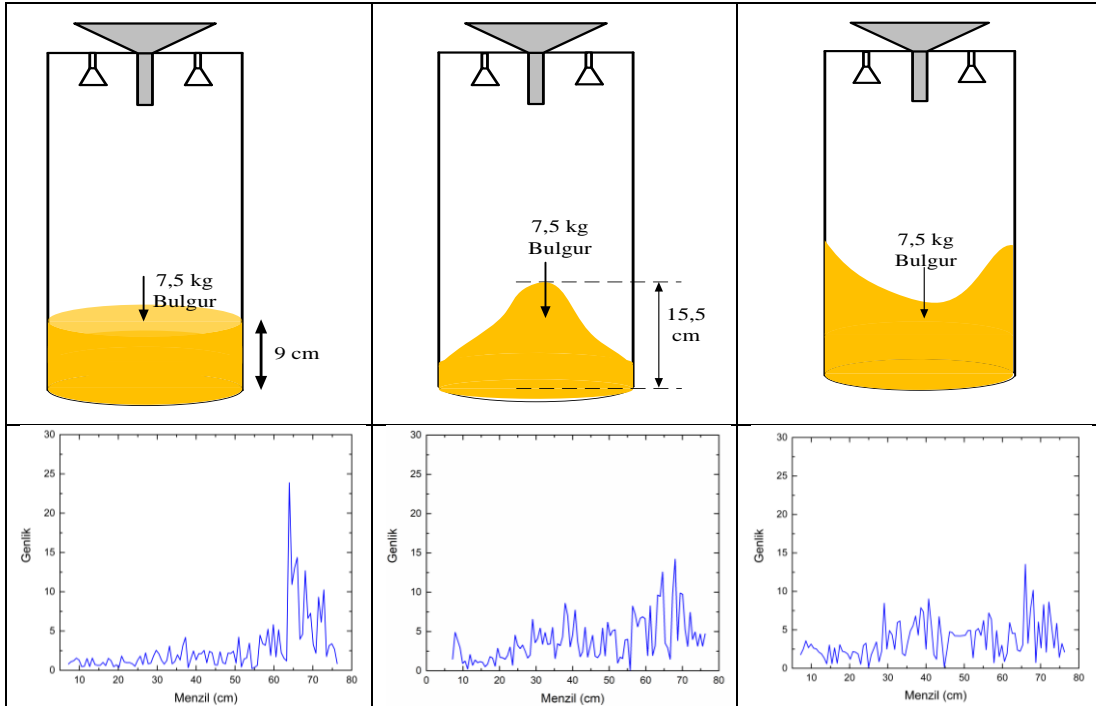
Tahıl ölçümlerinde 1500 ml, 1000 ml, 750 ml ve 500 ml hacimli kaplar kullanılarak farklı seviyedeki tahıla ait deneyler gerçekleştirilmiştir. 4500'e ölçümle tahıl seviyesi veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı düz, konik tepe ve çukur yüzey şeklinde olan tahıl yüzeyine ait ölçümleri içermektedir. Monostatik-benzeri Ölçüm anından bir kare Şekil 4.13'de verilmiştir.



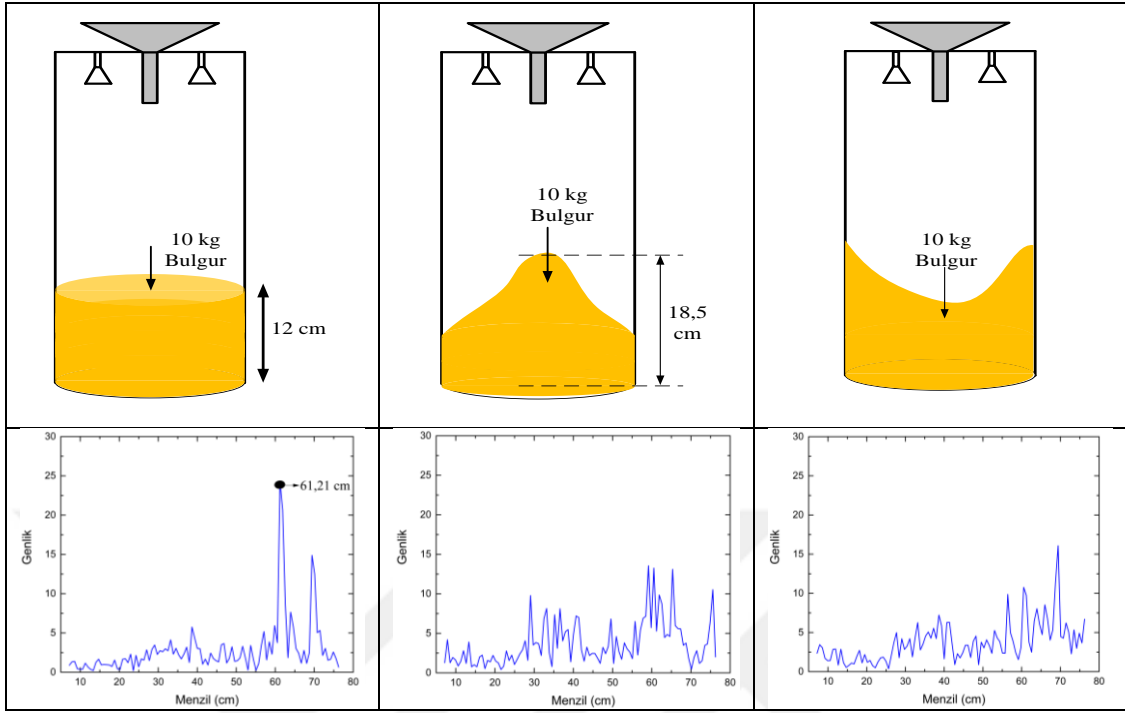
**Şekil 4.13** Silo monostatik benzeri ölçüm anından bir kare

Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’de sırasıyla 7,5, 10 ve 15 kg tahıl içeren model siloya ait elde edilen  $S_{21}$  ölçümlerine TFD uygulanarak elde edilmiş menzil profilleri verilmiştir.

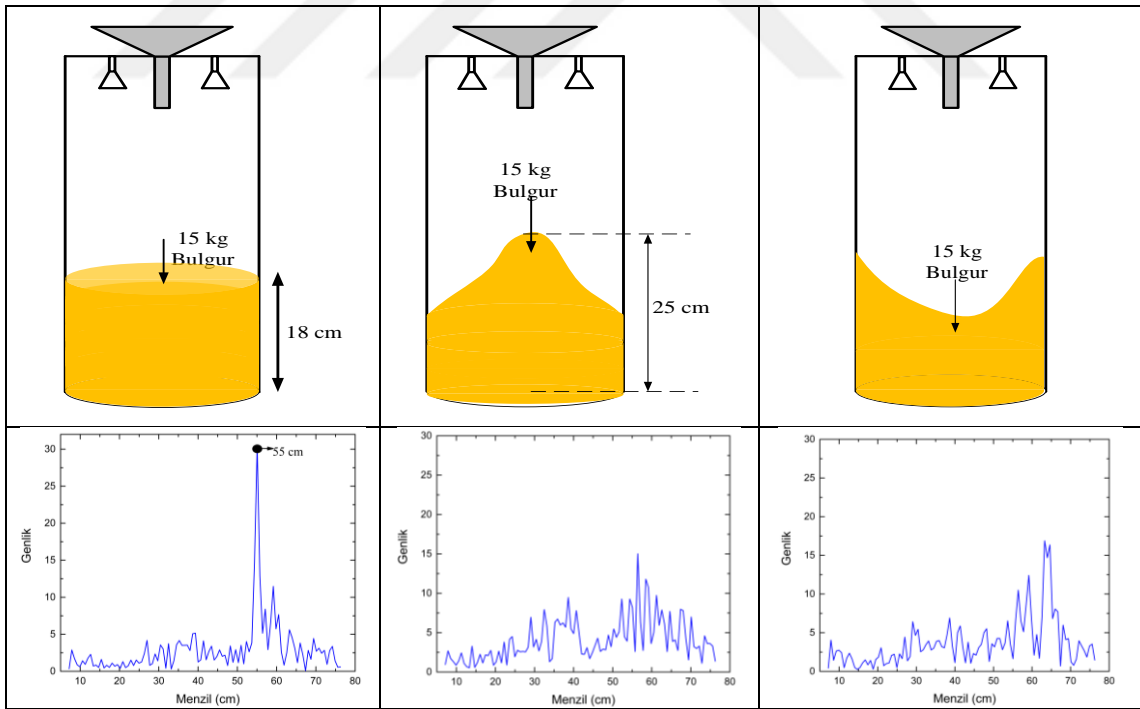
**Çizelge 4.2** 7,5 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri



**Çizelge 4.3** 10 kg tahıl içeren siloya ait menzil profilleri



**Çizelge 4.4** 15 kg tahıl içeren siloya ait menzül profilleri



### 4.1.3. Tahıl Seviyesinin Belirlenmesi

Tahıl seviyesi MATLAB® programı kullanılarak KNN, YSA ve ELM algoritmaları ile belirlenmiştir. Elde edilen veri tabanı algoritmalara öğretilerek tahıl miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylede elde edilen sinyallere ait Çizelge 4.5’de verilen özellikler elde edilmiştir. 4500 adet sinyalin özelliği çıkartılarak makine öğrenimi algoritmalarının öğrenimi için gerekli olan öğrenme veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca algoritmaları test etmek için bu veri tabanında bulunmayan farklı seviye ve tahıl yerleşim şekline ait 40 test verisi kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 Sinyal özellikleri

Özellik Numarası	Özellik
Ö <sub>1</sub>	Menzil profilinin 40-76 cm aralığına karşılık gelen genlik değerleri
Ö <sub>2</sub>	Menzil profilinin 40-76 cm aralığına ait menzil değerleri
Ö <sub>3</sub>	En büyük genlik değerine ait menzil değeri
Ö <sub>4</sub>	Menzil profilinin 40-76 cm aralığına ait genlik menzil değerlerinin çarpımlarının toplamı
Ö <sub>5</sub>	Menzil profilinin 40-76 cm aralığına ait genlik menzil değerlerinin ortalaması
Ö <sub>6</sub>	Enerjisi
Ö <sub>7</sub>	Kurtois
Ö <sub>8</sub>	Skewness

Çizelge 4.5’de verilen 8 özellik ile oluşturulabilecek tüm kombinasyonlar makine öğrenme algoritmalarında kullanılarak sonuca etkileri incelenmiştir. Çizelge 4.6’da özelliklerin oluşturabileceği kombinasyon örnekleri ve sayıları verilmiştir. Oluşabilecek toplam kombinasyon 255’tir. KNN, YSA ve ELM makine algoritmaları ile tüm kombinasyon için sonuçlar bulunmuş ve doğruluk oranları hesaplanmıştır.



**Çizelge 4.6** Kombinasyon örnekleri ve sayıları

<b>N’li Kombinasyon</b>	<b>Kombinasyon örneği</b>	<b>Kombinasyon Sayısı</b>
N=1	(Ö <sub>1</sub> ), (Ö <sub>2</sub> ), (Ö <sub>3</sub> ), (Ö <sub>4</sub> ), (Ö <sub>5</sub> ), (Ö <sub>6</sub> ), (Ö <sub>7</sub> ), (Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{1} = 8$
N=2	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> ), ..., (Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{2} = 28$
N=3	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>4</sub> ), ..., (Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{3} = 56$
N=4	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> ), ..., (Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{4} = 70$
N=5	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>6</sub> ), ..., (Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{5} = 56$
N=6	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>7</sub> ), ..., (Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{6} = 28$
N=7	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> ), (Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>8</sub> ), ..., (Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{7} = 8$
N=8	(Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub> )	$\binom{8}{8} = 1$
	<b>Toplam</b>	255

Çizelge 4.7’de algoritmaları test etmek için kullanılan test veri tabanı verilmiştir. Çizelgede “0” düz, “1” tepe, “2” çukur tahıl yüzey şekillerini temsil eder.

Çizelge 4.7 YZA için test veri tabanı

İndeks	Tahlıl Miktarı(kg)	Tahlıl Yerleşim Şekli
1	1,5625	0
2	2,8125	0
3	4,0625	0
4	5,3125	0
5	6,5625	0
6	7,8125	0
7	9,0625	0
8	10,3125	0
9	11,5625	0
10	12,8125	0
11	14,0625	0
12	15,3125	0
13	16,5625	0
14	17,8125	0
15	19,0625	0
16	1,5625	1
17	2,8125	1
18	4,0625	1
19	5,3125	1
20	6,5625	1
21	7,8125	1
22	9,0625	1
23	10,3125	1
24	11,5625	1
25	12,8125	1
26	14,0625	1
27	15,3125	1
28	16,5625	1
29	17,8125	1
30	19,0625	1
31	19,0625	2
32	17,8125	2
33	16,5625	2
34	15,3125	2
35	14,0625	2
36	12,8125	2
37	11,5625	2
38	10,3125	2
39	9,0625	2
40	7,8125	2

## KNN Algoritması

Test veri tabanı Çizelge 4.6’da verilen 255 kombinasyonun tümü için KNN algoritması “Öklid” uzaklığı kullanılarak doğruluk oranları denklem 81 ile 10 komşuluk için bulunmuştur. Giriş verisi olarak sadece Ö1 özelliği kullanıldığı zaman %37,8 doğrulukla (Çizelge 4.8) tahıl miktarı bulunmuştur. Çizelge 4.9’da her bir kombinasyon türü (1’li, 2’li, ..., 8’li) için en iyi bulunan sonuçlar verilmiştir. En iyi sonuç 6’lı kombinasyonda “Ö1, Ö2, Ö3, Ö6, Ö7, Ö8” özellikleri ile elde edilerek %92,24 doğrulukla 2. komşulukta bulunmuştur. Çizelge 4.9’daki sonuçlarda tüm kombinasyon türlerinde “Ö2” özelliği ortaktır. Buradan anlaşılacağı üzere “Ö2” özelliği sonuç üzerinde en etkin özelliktir. 5’li kombinasyonda ise daha az özellikle sonuç %91,79 doğrulukla en iyi ikinci sonuçtur.

Çizelge 4.8 KNN algoritması sadece menzil profili ile doğruluk sonucu

Özellikler	KOMŞULUK SAYISI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ö1	20,57	26,08	7,03	<b>37,80</b>	23,41	32,60	25,09	34,12	6,72	18,09

Çizelge 4.9 KNN algoritması doğruluk oranları

Özellik Sayısı	Özellikler	KOMŞULUK SAYILARINA GÖRE DOĞRULUK ORANLARI(%)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ö2	65,77	73,49	73,17	77,40	74,63	75,19	74,19	69,86	68,21	66,82
2	Ö1, Ö2	83,90	85,62	87,48	86,72	86,72	83,78	83,85	80,21	78,93	79,62
3	Ö1, Ö2, Ö8	86,87	88,23	87,81	89,04	88,86	87,66	84,31	85,29	83,59	83,65
4	Ö1, Ö2, Ö7, Ö8	87,31	89,98	90,95	88,81	88,89	87,72	87,02	84,54	83,59	82,91
5	Ö1, Ö2, Ö3, Ö6, Ö7	82,39	91,79	89,00	88,39	87,65	87,15	89,02	86,65	83,45	84,18
6	Ö1, Ö2, Ö3, Ö6, Ö7, Ö8	82,94	<b>92,24</b>	90,52	90,71	89,96	89,10	88,70	86,82	84,00	84,60
7	Ö1, Ö2, Ö3, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8	82,94	<b>92,24</b>	90,66	89,91	89,82	88,59	90,03	86,82	84,00	84,60
8	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8	82,94	<b>92,24</b>	90,66	90,08	89,82	88,67	90,03	86,82	84,00	84,60

## YSA Algoritması

YSA algoritması için kullanılan parametreler Çizelge 4.10’da verilmiştir. Test veri tabanı Çizelge 4.6’da verilen 255 kombinasyonun tümü için YSA algoritması kullanılarak doğruluk oranları denklem 81 ile bulunmuştur. Giriş verisi olarak sadece Ö1 özelliği kullanıldığı zaman %46,87 doğrulukla (Çizelge 4.11) tahıl miktarı bulunmuştur. Çizelge 4.12’de her bir kombinasyon türü (1’li, 2’li, ..., 8’li) için en iyi bulunan sonuçlar verilmiştir. En iyi sonuç 4’lü kombinasyonda “Ö<sub>2</sub>, Ö<sub>3</sub>, Ö<sub>4</sub>, Ö<sub>5</sub>,” özelliklerine sahip olup %83,07 doğrulukla bulunmuştur. KNN algoritması ile bulunan sonuçlarda olduğu gibi Çizelge 4.12’deki sonuçlarda tüm kombinasyon türlerinde “Ö<sub>2</sub>” özelliği ortaktır.

Çizelge 4.10 YSA parametreleri

Parametre	Değer
Nöron sayısı	8
İterasyon	1000
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid
Eğitim algoritması	Levenberg Marquardt

Çizelge 4.11 YSA menzil profili doğruluk oranı

Özellik	Doğruluk Oranları
Ö <sub>1</sub>	%46,87

Çizelge 4.12 YSA doğruluk oranları

Özellikler	Doğruluk Oranları
Ö <sub>2</sub>	78,73
Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>4</sub>	80,92
Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>8</sub>	82,56
Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub>	<b>83,07</b>
Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	79,73
Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>8</sub>	81,46
Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>8</sub>	79,09
Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>2</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>4</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub> , Ö <sub>7</sub> , Ö <sub>8</sub>	64,36

Sadece menzil profili ile tahıl miktarının tespiti yüksek hata ile yapılmaktadır fakat çıkartılan özellikler sayesinde %83,07 doğruluk oranı ile tahıl miktarının tespiti yapılmıştır.

## ELM Algoritması

ELM algoritması için kullanılan parametreler Çizelge 4.13’de verilmiştir. Test veri tabanı Çizelge 4.6’da verilen 255 kombinasyonun tümü için YSA algoritması kullanılarak doğruluk oranları denklem 81 ile bulunmuştur. Giriş verisi olarak sadece Ö1 özelliği kullanıldığı zaman %70,86 doğrulukla (Çizelge 4.14) tahıl miktarı bulunmuştur. Çizelge 4.15’de her bir kombinasyon türü (1’li, 2’li, ..., 8’li) için en iyi bulunan sonuçlar verilmiştir. Bu algorithmada en iyi sonuç %85,19 olarak 4’li kombinasyonda “Ö1, Ö2, Ö4, Ö5” özellikleri ile sağlanmıştır. En iyi ikinci sonuç 2’li kombinasyonda %84,68 ile Ö4 ve Ö5 özelliklerine aittir. 1’li kombinasyonda ise “Ö2” özelliği ile %80,16 olarak bulunmuştur. Bu yüzden ELM algoritması ile bulunan sonuçlarda “Ö2, Ö4, Ö5” özelliklerinin doğru sonuç üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13 ELM algoritması parametreleri

Parametre	Değer
Nöron sayısı	400
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid

Çizelge 4.14 ELM algoritması menzil profili doğruluk sonucu

Özellik	Doğruluk Oranı(%)
Ö1	%70,86

Çizelge 4.15 ELM doğruluk oranları

Özellik Sayısı	Özellikler	Doğruluk Oranı
1	Ö2	80,16
2	Ö4, Ö5	84,68
3	Ö1, Ö2, Ö4	84,13
4	Ö1, Ö2, Ö4, Ö5	<b>85,19</b>
5	Ö2, Ö4, Ö5, Ö7, Ö8	83,93
6	Ö1, Ö2, Ö4, Ö5, Ö7, Ö8	83,36
7	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö7, Ö8	82,15
8	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8	55,40

ELM algoritması ile sadece menzil profili kullanılarak diğer algoritmalara göre daha iyi bir sonuç vermesine rağmen yeterli değildir. Bu tezde çıkartılan özellikler sayesinde tahıl miktar tespitinin doğruluk oranı artmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada silolarda tahıl miktarının belirlenmesine yönelik gerekli deneysel düzenek kurulmuş ve sinyal işleme tabanlı makine öğrenimi algoritmalarının kullanımı sunulmuştur. Tahıl silolarında oluşan konik ve çukur yapılarına yönelik ileri sinyal işleme tekniklerini kullanmadan tespiti başarılı bir şekilde yapılmıştır. Ticari bir silo yerine 3B yazıcı kullanılarak üretilen bir model silo ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde geniş huzmeli anten kullanılarak tahıl yüzeyinin büyük bölümünden yansımalar elde edilmiştir. Yansımaların fazla olması nedeniyle ileri sinyali işleme tekniklerine ihtiyaç vardır. Fakat bu tez çalışmasında makine öğrenimi algoritmaları ile tahıl miktarı belirlenmiştir. YZA olarak KNN, YSA ve ELM kullanılmıştır. Gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen geri yansıma sinyallerine TFD uygulanarak menzil profilleri elde edilmiştir. YZA eğitimi için 4500 adet ölçüm veri seti kullanılmıştır. Algoritmaları test için eğitim veri setinin içerisinde bulunmayan 40 adet ölçüm veri seti kullanılmıştır. YZA'na ilk olarak giriş verisi için sadece menzil profili kullanılmış ve KNN %37,8 doğrulukla, YSA %46, ELM %70,86 doğrulukla tahıl seviyesi bulunmuştur. Bu nedenle menzil profilinden 8 farklı özellik elde edilmiş ve bu özellikleri birbirleriyle olan 255 farklı kombinasyonda YZA algoritmalarına giriş verisi olarak uygulanmıştır. Tüm kombinasyonlara ait doğruluk oranları elde edilmiştir. KNN algoritması ile en iyi sonuç 2. komşulukta 6 özellik ile %92,74 olarak bulunmuştur. YSA'da ise 4 özellik ile %83,04 olarak elde edilmiştir. ELM de ise 4 özellik ile %85,19 doğrulukla bulunmuştur.

İleri ki çalışmalarda makine öğrenimi algoritmalarının doğruluk oranlarının artırılmasına yönelik ve diğer YZA'nın ve ticari silolarda gerçekleştirilen ölçümler üzerinde kullanılması planlanmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Balanis, C. A. 1982. *Antenna theory: analysis and design*, Wiley.
- Bijalwan, V., Kumar, V., Kumari, P. ve Pascual, J. 2014. KNN based machine learning approach for text and document mining. *International Journal of Database Theory and Application*, 7 (1), 61-70.
- Chang, K. 2004. *RF and Microwave Wireless Systems*, Wiley.
- Egmont-Petersen, M., De Ridder, D. ve Handels, H. 2002. Image processing with neural networks—a review. *Pattern Recognition*, 35 (10), 2279-2301.
- Enes, Y., Hakan, I. ve Huseyin, D. 2016. Cross Correlation Based Level Measurements Method for Grain Silos. *International Conference On Advanced Technology*. Roma, Italy.
- Ersöz, A. ve Özşen, S. Uyku EEG Sinyalinin Yapay Sinir Ağ Modeli ile Sınıflandırılması.
- Haykin, S. ve Van Veen, B. 2007. *Signal and Systems, 2ND ED*, Wiley India Pvt. Limited.
- Haykin, S. O. 2011. *Neural Networks and Learning Machines*, Pearson Education.
- Jacobs, B. ve Baker, D. Validation of a computational electromagnetic model of a boeing 707 aircraft by comparison to scale model measurements. *Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), 2012 IEEE-APS Topical Conference on*, 2012. IEEE, 1001-1004.
- Jansen, C., Krumbholz, N., Geise, R., Enders, A. ve Koch, M. Scaled radar cross section measurements with terahertz-spectroscopy up to 800 GHz. *2009 3rd European Conference on Antennas and Propagation*, 23-27 March 2009 2009. 3645-3648.
- Kayabaşı, A., Sabancı, K., Yiğit, E., Toktaş, A., Yerlikaya, M. ve Yıldız, B. Image processing based ann with Bayesian regularization learning algorithm for classification of wheat grains. *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Nov. 30 2017-Dec. 2 2017 2017. 1166-1170.
- Khan, J., Wei, J. S., Ringner, M., Saal, L. H., Ladanyi, M., Westermann, F., Berthold, F., Schwab, M., Antonescu, C. R. ve Peterson, C. 2001. Classification and diagnostic prediction of cancers using gene expression profiling and artificial neural networks. *Nature medicine*, 7 (6), 673.
- Kraus, J. D. 1950. *Antennas*, McGraw-Hill.

- Lewis, J. D. 2007. Ensuring Successful Use of Guided-Wave Radar Level Measurement Technology. *Technical Exclusive*, 28-33.
- Lewis Sr, J. D. 2004. Technology Review Level Measurement of Bulk Solids in Bins, Silos and Hoppers. *2004 Monitor Technologies LLC*.
- Mahafza, B. R. ve Elsherbeni, A. 2003. *MATLAB Simulations for Radar Systems Design*, CRC Press.
- Mitchell, T. M. 1997. Machine learning (mcgraw-hill international editions computer science series).
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. ve Nawab, S. H. 1997. *Signals and Systems*, Prentice Hall.
- Özkan, Y. 2008. *Uygulamalı istatistik I*, Sakarya Kitabevi.
- Öztemel, E. 2003. *Yapay Sinir Ağları*, PapatyaYayincilik, İstanbul.
- Sabancı, K. ve Akkaya, M. 2016. Classification of Different Wheat Varieties by Using Data Mining Algorithms. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4 (2), 40-44.
- Sabancı, K., Yiğit, E., Kayabasi, A., Toktas, A., Duysak, H. ve Aslan, M. F. 2017. ANN and ELM Based Notch Antenna Operating Frequency Determination. *8th International Advanced Technologies Symposium*. Elazığ, Turkey.
- Shirvan, R. A. ve Tahami, E. Voice analysis for detecting Parkinson's disease using genetic algorithm and KNN classification method. *2011 18th Iranian Conference of Biomedical Engineering (ICBME)*, 14-16 Dec. 2011 2011. 278-283.
- Skolnik, M. I. 2001. *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill.
- Şentürk, Z. K. ve Şentürk, A. 2016. Yapay Sinir Ağları İle Göğüs Kanseri Tahmini. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3 (2).
- Taşcı, E. ve Onan, A. 2016. K-en yakın komşu algoritması parametrelerinin sınıflandırma performansı üzerine etkisinin incelenmesi. *Akademik Bilişim*.
- Ulaby, F. T. 2007. *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, Pearson/Prentice Hall.
- Unlarsen, M. F. ve Sabancı, K. 2016. The Classification of Diseased Trees by Using kNN and MLP Classification Models According to the Satellite Imagery. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4 (2), 25-28.
- Wehner, D. R. 1987. *High resolution radar*, Artech House.
- Yigit, E. 2018a. A novel compressed sensing based quantity measurement method for grain silos. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 179-186.



- Yigit, E. 2018b. Operating Frequency Estimation of Slot Antenna by Using Adapted kNN Algorithm. *2018*, 6 (1), 4.
- Yigit, E., İsiker, H., Toktas, A. ve Tjuatja, S. CS-based radar measurement of silos level. *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 26-31 July 2015 2015. 3746-3749.
- Yiğit, E. 2007. *Elektromanyetik Alan Ölçümleriyle Yeraltındaki Nesnelerin Tespit Edilmesi ve Yere Nüfuz Eden Radar(YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesi.*
- Yiğit, E. 2017. Yayılımlı Radar ile Tahıl Silolarında Seviye Ölçümü için Yeni ve Pratik Bir Yöntem. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22 (2), 65-74.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hüseyin DUYSAK  
Doğum Tarihi ve Yer : 1990, KONYA  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
Telefon : 033822622200/5157  
e-mail : huseyinduysak@kmu.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği (İngilizce) (%100 Burslu)	2013

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015 - Devam ediyor	T.C. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği	Araştırma Görevlisi

### Yayımlar

Sabancı, K., Aslan, M., Yigit, E., Kayabasi, A., Toktas, A. ve **Duysak, H.** 2017. A Comparative Classification of Wheat Grains for Artificial Neural Network and Extreme Learning Machine.

Sabancı, K., Aslan, M. F., Yiğit, E., Kayabaşı, A., Toktaş, A. ve **Duysak, H.** 2017a. Classification of Bread and Durum Wheat Using ELM and ANN. *3rd International Conference on Science, Ecology and Technology (ICONSETE)* Roma, Italy.

Sabancı, K., Yiğit, E., Kayabaşı, A., Toktaş, A., **Duysak, H.** ve Aslan, M. F. 2017b. ANN and ELM Based Notch Antenna Operating Frequency Determination. *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS)*. Elazığ, Turkey.

Şeflek, İ., Kaldız, E. ve **Duysak, H.** Spectrum Occupancy Measurements for Terrestrial TV Bands in Turkey.

Yigit, E., Kayabaşı, A., Toktaş, A., Sabancı, K., Tekbaş, M. ve **Duysak, H.** Millimetre wave isar imaging technique based on sparse aperture data collection. *2017 5th*

*International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, 20-22 Oct. 2017 2017. 1-4.

Yiğit, E., **Duysak, H.**, Toktaş, A., Sabancı, K., Kayabaşı, A. ve Yerlikaya, M. 2017. CFAR Detector Based Morphological Filter Design to Remove Clutter From GB-SAR Images. *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS)*. Elazığ, Turkey.

Yiğit, E., Tekbaş, M. ve **Duysak, H.** 2016. Seviye Ölçüm Radarları İçin Üç Boyutlu Yazıcı Kullanarak Boynuz Tipi Anten Üretimi. *UNIKOP*.

