

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSİK VERİ İÇİN SEYREK GÖSTERİMLER İLE RADAR
GÖRÜNTÜLEME**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nihat KOYUN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSİK VERİ İÇİN SEYREK GÖSTERİMLER İLE RADAR
GÖRÜNTÜLEME**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nihat KOYUN
(504131336)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Işın YAZGAN ERER

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131336 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nihat KOYUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “EKSİK VERİ İÇİN SEYREK GÖSTERİLİMLER İLE RADAR GÖRÜNTÜLEME” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Işın YAZGAN ERER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Selçuk PAKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet Korhan TANÇ
Biruni Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca destekleri, yardımları ve fedakarlıkları için öncelikle tez danışmanım Doç. Dr. Işın YAZGAN ERER'e teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca zor dönemlerimdeki destekleri için annem Nezahat KOYUN, babam Ali KOYUN ve kardeşim Fatma Çağla KOYUN'a teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Nihat KOYUN



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tez Çalışmasının İçeriği.....	4
2. FOURIER DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ İLE TERS YAPAY AÇIKLIKLI	
 RADAR GÖRÜNTÜLEME	7
2.1 Amaç	7
2.2 1 Boyutlu TYAR Görüntüleme.....	8
2.3 2 Boyutlu TYAR Görüntüleme.....	11
3. SEYREK GÖSTERİLİM (SPARSE) YÖNTEMİ İLE TERS YAPAY	
 AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLEME	15
3.1 Amaç	15
3.2 Seyrek Gösterilim (Sparse) Yöntemi	15
3.3 Ters Yapay Açıklıklı Radarlarda (TYAR) Seyrek Gösterilim Modeli	17
3.3.1 BP yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma	18
3.3.2 BPDN yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma	19
3.3.3 Ceza terimli BPDN yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü	
oluşturma	19
3.3.4 LASSO yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma	20
4. EKSİK VERİ İÇİN TYAR GÖRÜNTÜLEME	21
4.1 Eksik Veri Tanımlaması	21
4.2 Boşluklu Veri Durumunda TYAR Görüntüleme	23
4.2.1 Lineer öngörü yöntemi (LÖY) kullanılarak TYAR görüntüleme.....	23
4.2.2 Seyrek gösterilim yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme.....	26
4.2.3 Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu TYAR	
görüntüleme.....	26
4.3 Eksik Veri Durumunda TYAR Görüntüleme	27
4.3.1 İnterpolasyon yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme.....	27
4.3.2 Seyrek gösterilim yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme.....	29
4.3.3 Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu TYAR	
görüntüleme.....	29
4.4 Radar Görüntülemeye Kullanılan Metrikler	29
5. BENZETİM SONUÇLARI.....	31
5.1 Amaç.....	31
5.2 Boşluklu Veri Durumunda TYAR Görüntüleme Yöntemleri Sonuçları ve	
Sonuçların Karşılaştırılması.....	32

5.3 Eksik Veri Durumunda TYAR Görüntüleme Yöntemleri Sonuçları ve Sonuçların Karşılaştırılması.....	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

YAR	: Yapay Açıklıklı Radar
TYAR	: Ters Yapay Açıklıklı Radar
BP	: Basis Pursuit
LÖY	: Lineer Öngörü Yöntemi
RCS	: Radar Kesiti
FT	: Fourier Dönüşümü
IFFT	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.....	32
Çizelge 5.2: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.....	34
Çizelge 5.3: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.....	36
Çizelge 5.4: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	42
Çizelge 5.5: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	44
Çizelge 5.6: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	46
Çizelge 5.7: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	52
Çizelge 5.8: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.....	54
Çizelge 5.9: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.....	56
Çizelge 5.10: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	62
Çizelge 5.11: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	64
Çizelge 5.12: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: a)Yapay açıklıklı radar (YAR) gösterimi, b)Ters yapay açıklıklı radar (TYAR) gösterimi.	7
Şekil 2.2: Bir hedefin menzil profilinin çıkarılması.	8
Şekil 2.3: Polar verilerin kartezyen koordinat sistemine dönüşümü.	12
Şekil 2.4: 2 boyutlu TYAR görüntüsü elde etme basamakları.	13
Şekil 3.1: Seyrek işaretin matrislerle gösterimi.	16
Şekil 3.2: Hedefin 2 boyutlu ızgara ile parçalara ayrılmış haritası.	18
Şekil 4.1: Sembolik olarak 16x16 boyutunda orijinal bir veri matrisi.	21
Şekil 4.2: Sembolik olarak 16x16 boyutunda eksik bir veri marisi.	22
Şekil 4.3: Sembolik olarak 16x16 boyutunda boşluklu bir veri matrisi.	22
Şekil 4.4: Veri uzatma ile Burg yöntemi uygulanan 16x16 boyutunda boşluklu veri matrisinin gösterimi.	26
Şekil 4.5: Seyrek gösterim ile veri tamamlama yöntemi ile TYAR görüntüleme..	27
Şekil 5.1: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.	33
Şekil 5.2: Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.	35
Şekil 5.3: Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.	37
Şekil 5.4: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.	39
Şekil 5.5: Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e)	

- Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.40
- Şekil 5.6:** Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.41
- Şekil 5.7:** Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.43
- Şekil 5.8:** Dar-açı dar-bantta SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.45
- Şekil 5.9:** Dar-açı dar-bantta SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.47
- Şekil 5.10:** Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.49
- Şekil 5.11:** Dar-açı dar-bantta SNR=30dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.50
- Şekil 5.12:** Dar-açı dar-bantta SNR=10dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.51
- Şekil 5.13:** Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.53

- Şekil 5.14:** Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.55
- Şekil 5.15:** Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.57
- Şekil 5.16:** Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.59
- Şekil 5.17:** Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.60
- Şekil 5.18:** Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.61
- Şekil 5.19:** Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.63
- Şekil 5.20:** Dar-açı dar-bantta SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.65
- Şekil 5.21:** Dar-açı dar-bantta SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.67
- Şekil 5.22:** Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik

IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.69

Şekil 5.23: Dar-açı dar-bantta SNR=30dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.70

Şekil 5.24: Dar-açı dar-bantta SNR=10dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.71

EKSİK VERİ İÇİN SEYREK GÖSTERİLİMLER İLE RADAR GÖRÜNTÜLEME

ÖZET

Radar, hareketli veya hareketsiz hedeflerin konumunu, şeklini ve hızını tespit etmek amacıyla kullanılan, hedef cisme elektromanyetik dalga gönderip, geri saçılan alanları toplayan bir sistemdir.

Radar, hedefe elektromanyetik dalga gönderir, hedefteki saçıcı noktalarından farklı enerjilerde geri saçılan dalgaları bir alıcı anten ile algılayarak işler ve bu işlemler sonucunda hedefin görüntüsünü oluşturur. Tek bir bakış açısında gönderilen işaretten 1 boyutlu radar menzil profili çıkarılabilirken, farklı bakış açılarından toplanan işaretlerin işlenmesiyle 2 boyutlu radar görüntüleri de elde edilebilmiştir. 2 boyutlu radar görüntüleri çıkarılırken, radarın hedefe farklı açılardan elektromanyetik dalga göndermesi gerekmektedir. Bu sorun, radarlarda yapay açıklık kavramı geliştirilerek çözülmüştür. 2 boyutlu radar görüntüleri oluşturulurken eğer hedef sabit ve radar hareketli ise bu sistemlere Yapay Açıklıklı Radar (YAR), eğer hedef hareketli ve radar sabit ise bu sistemlere Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) denilmektedir.

Hareketli hedeflerin konumunu, hızını ve şeklini tespit eden TYAR sistemlerinde en önemli sorunlardan biri de 2 boyutlu radar görüntülerinin çözünürlüğü olmuştur. Radar görüntüsünün menzil çözünürlüğü gönderilen işaretin band genişliği, çapraz menzil çözünürlüğü ise işaretin gönderilip toplandığı integrasyon zamanı boyunca oluşan gözlem açısı aralığı ile doğru orantılıdır. Toplanan geri saçılan alanların ters Fourier dönüşümü radar görüntüsünü verir. Görüntünün yüksek çözünürlüklü olması için geniş band ve geniş gözlem açısı aralığında çalışmak gerekir. Ayrıca Fourier tabanlı yöntemde sınırlı band ve açısı aralığında çalışmak spektral sızmaya neden olduğu için radar görüntülerinde yan lob problemi gözlenir. Kuvvetli saçıcıların yanında yalancı saçıcıların oluşmasına neden olan bu problem pencereleme kullanılarak giderilse de çözünürlüğün azalmasına neden olduğundan Fourier dönüşümüne dayalı klasik radar görüntülemenin performansını sınırlandırır. Bu sebeple, görüntü çözünürlüğünün geliştirilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Temel yöntem olarak bir hedeften geri saçılan verilere klasik Fourier dönüşümü (FT) yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra ise çözünürlüğün iyileştirilmesi için AR ve MUSIC modelleme gibi spektral kestirim yöntemleri bulunmuştur. Son yıllarda ise çözünürlüğün daha da iyileştirilmesi için seyrek gösterilim (sparse) yöntemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Seyrek gösterilim yönteminde problemin çözümü için ise BP (Basis Pursuit), BPDN (Basis Pursuit Denoising) ve LASSO gibi farklı konveks minimizasyon yaklaşımları kullanılmıştır.

Genellikle seyrek gösterilim yöntemi ile çözünürlüğü yüksek radar görüntüleri elde edilebilirken, bazı durumlarda radardan hedefe gönderilen ve hedeften geri saçılan işaret verilerinde eksikler olabilir. Bu tip durumlarda, işlenecek veriler eksik olduğundan dolayı klasik Fourier dönüşüm tabanlı yöntem ile iyi bir görüntü

oluşturmak zordur. Klasik yöntem kadar olmasa da diğer yüksek çözünürlüklü radar görüntüleme yöntemlerinin performansları da bu durumdan etkilenmektedir. Bu sorunun çözümü için eksik veri durumunda çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, eksik veri durumunda radar görüntüleme yöntemlerinin performansları eksik veri ve verinin çeşitli yöntemlerle tamamlanması durumları için incelenmiştir. Hedeften geri saçılan veri matrisinde rastgele hücrelerin eksik olduğu eksik veri durumunda eksik hücreler kübik interpolasyon yöntemi ile doldurulmuş ve klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile radar görüntüsü oluşturulmuştur; fakat çözünürlükte anlamlı bir iyileşme olmamıştır. Seyrek gösterilim yönteminde geri saçılan alanlar Fourier sözlüğü kullanılarak modellenmekte, optimizasyon sonucu elde edilen seyrek katsayılar doğrudan radar görüntüsünü vermektedir. Farklı bir yaklaşım olarak elde edilen seyrek katsayı vektörü, Fourier sözlüğü ile çarpılarak geri saçılan alan verisi yeniden oluşturulabilir. Bu veri artık eksik olmayacağından klasik ya da yüksek çözünürlüklü yöntemler uygulanarak radar görüntüsü oluşturulabilir. Bu şekilde elde edilen radar görüntülerinde çözünürlüğün Fourier tabanlı yönteme göre arttığı, yan lobların azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak sonuçlar eksik veriye doğrudan seyrek gösterilim yönteminin uygulandığı duruma göre fazla bir iyileşme göstermemektedir.

Görsel sonuçların yanı sıra yöntemler, literatürde radar görüntüleme konusunda kabul görmüş metrikler kullanılarak nicel olarak da karşılaştırılmıştır. Bu metrikler hedefin arka plana oranı, entropi, hedefin arka plana entropi farkı, ana lob genişliği ve kontrasttır. Hedefin arka plana oranı, bir görüntüde arka plana göre hedefin piksellerinin kuvvetlendirilmesinin bir ölçütüdür ve bu değer büyüdükçe hedef, görüntüde daha belirgin görünür. Entropi, görüntü keskinliğinin bir ölçütüdür ve daha küçük entropi değerlerinde hata seviyesi düşük olduğundan daha keskin bir görüntü elde edilir. Hedefin arka plana entropi farkı, hedefin entropisi ile arka planın entropisi arasındaki fark olarak tanımlanır ve bu değer yükseldikçe hedef, arka plandan daha kolay ayırt edilebilir. Ana lob genişliği, çözünürlük göstergelerinden biridir ve bu değer düştükçe görüntü çözünürlüğü iyileşir. Kontrast ise görüntüde karışıklığın bir ölçütüdür ve bu değer yükseldikçe görüntü daha keskin olur.

Görsel ve nicel sonuçlar, verinin rastgele eksik olduğu durumda veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yönteminin en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Fourier sözlüğü kullanarak veriye doldurma yaklaşımı ise, interpolasyona göre daha iyi başarımlı sağlamıştır. Sonuç olarak rastgele eksik veri için veri tamamlama adımı kullanılmadan doğrudan veriye seyrek gösterilim yöntemini uygulamak yeterli olacaktır.

Geri saçılan veri matrisinde ardışık olarak boş olan satırların bulunduğu boşluklu veri durumunda ise geri saçılan verideki boşluklar Lineer Öngörü Yöntemi (LÖY) ile veri uzatma yapıp AR katsayıları Burg yöntemi ile bulunup hata minimize edilerek boşluklar doldurulmuş ve klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile radar görüntüsü oluşturulmuştur. İlave olarak, boşluklu veri boşluklar doldurulmadan direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi ile işlenmiş ve radar görüntüsü elde edilmiştir. Ayrıca farklı bir yöntem olarak seyrek gösterilim yöntemi ile oluşturulan görüntü sözlük matrisi ile çarpılarak geri saçılan veri matrisi tekrar oluşturulmuş ve Fourier dönüşümü tabanlı yöntem kullanılarak görüntü elde edilmiştir.

Elde edilen görsel ve nicel sonuçlar tüm yöntemlerin boşluklu veri durumundan rastgele eksik veri durumuna göre daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Boşluğun genişliği ve veri içindeki sayısına bağlı olarak seyrek gösterilim yönteminin

performansı, Fourier sözlükleri ile veri tamamlama yönteminin gerisinde kalabilmektedir. Özellikle boşluklu veri için Fourier sözlükleri ile veri tamamlamanın en iyi seçenek olduğu söylenebilir. Ayrıca doğrudan eksik veriye ya da tamamlanmış veriye de uygulansa seyrek gösterilim yöntemi doğası gereği seyrek görüntüler vermektedir. Hedefin sonlu sayıda nokta saçıcılardan oluştuğu varsayımına uymayan pek çok kompleks gerçek dünya hedefi için seyrek gösterilim yöntemiyle elde edilen radar görüntülerinde saçıcılarda parçalanma olmakta ya da bazı saçıcılar kaybolmaktadır. Bu durum, görüntülerin kullanılacağı radar hedef tanıma/sınıflama algoritmalarının başarımlarının düşmesine neden olabilir.





SPARSE REPRESENTATION RADAR IMAGING IN THE CASE OF MISSED DATA

SUMMARY

Radar is a system which is used to detect the position, shape and speed of moving or stationary targets and transmits electromagnetic waves to a target and then collects back scattered data.

A radar transmits electromagnetic waves to a target, detects and operates back-scattered waves from scatterer points on the target at different energy levels by its receiver antenna, and finally creates the image of the target. While the 1-dimensional radar range profile can be extracted from the signal which is sent at a single observation angle, 2-dimensional radar images can be obtained by processing the signals which is collected from different observation angles. When obtaining 2D radar images, the radar must transmit electromagnetic waves at different angles to the target. This problem was solved by invention synthetic aperture concept on the radars. If the target is stationary and radar is moving, these systems are called Synthetic Aperture Radar (SAR), and if the target is moving and radar is stationary, these systems are called Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) when obtaining 2D radar images.

One of the most important problems in the ISAR systems that determine the position, speed and shape of moving targets is the resolution of 2D radar images. While the range resolution of the radar image is directly proportional to the bandwidth of the transmitted signal, and the cross-range resolution is directly proportional to the range of observation angles that occur during the integration time at which the signal is transmitted and collected. After the inverse Fourier transform which is applied to collected back-scattered fields data, the radar image is obtained. It is necessary to work in wide band and wide observation angle range for a high resolution image. In addition, in the Fourier-based method, working in limited band and angle range causes spectral infiltration and side lobe problem which is observed in radar images. Although this problem, that causes the formation of false scatterers along with strong scatterers, is solved by using windowing, it limits the performance of classical radar imaging based on the Fourier transform because it reduces the resolution. Therefore, several methods have been developed to improve image resolution. In the literature, it has been proposed to model the collected data with spectral estimation methods such as AR and MUSIC in order to improve the resolution. In recent years, studies on sparse method have been made to enhance the resolution more. In order to solve the problem on sparse method, different convex minimization approaches such as BP (Basis Pursuit), BPDN (Basis Pursuit Denoising) and LASSO were used.

Generally, high-resolution radar images can be obtained in many times by sparse method, but in some cases there may be missings in the signal data which is sent from the radar to the target and back-scattered from the target. In such cases, it is difficult to obtain a good image with the classical Fourier transform based method

because of the data to be processed are missed. The performance of other high-resolution radar imaging methods is also affected, although not as much as the classical method. In order to solve this problem, various methods have been developed in case of missed data.

In this thesis study, the performance of radar imaging methods in case of missed data is investigated for missed data and completion of data with various methods. In the case of missed data with random cells missing in the back-scattered data matrix, the missed cells were filled with cubic interpolation and the radar image was generated by classical Fourier transform based method but there was no significant improvement in resolution. In the sparse representation method, the back scattered fields are modeled using the Fourier dictionary, and the sparse coefficients obtained from the optimization give directly the radar image. As a different approach, the sparse coefficient vector is multiplied by the Fourier dictionary and the back scattered field data can be reconstructed. Since this data will no longer be missing, radar image can be created by applying classical or high resolution methods. In the radar images obtained in this way, it was observed that the resolution increased according to the Fourier method and the side lobes decreased. However, the results do not show much improvement compared to the situation where direct sparse representation method is applied to the missed data.

In addition to the visual results, the methods have been compared quantitatively by using metrics accepted in the literature for radar imaging. These metrics are target-to-background ratio, entropy, target-to-background entropy difference, main lobe width and contrast. The target-to-background ratio is a measure of the strengthening of the target's pixels relative to the background in an image, and as this value increases, the target appears more pronounced in the image. Entropy is a measure of image sharpness, and in smaller entropy values a sharper image is obtained since the error level is low. The target to background entropy difference is defined as the difference between the entropy of the target and the entropy of the background, and as this value rises, the target can be more easily distinguished from the background. The main lobe width is one of the resolution indicators, and in the lower the value, the image resolution is enhanced. Contrast is a measure of contrast in the image, and in the higher the value, the image is sharper.

Visual and quantitative results show that the sparse representation method, which is applied directly to the data, gives the best results in case of random missed data. The data-filling approach using the Fourier dictionary provided better performance than interpolation. As a result, it is sufficient to apply the sparse representation method directly to the data without using the data completion step for random missed data.

In the case of gapped data in the back-scattered data matrix, gaps in the back-scattered data was filled by doing data extrapolation with Linear Prediction Method (LPM) and AR coefficients were found and error was minimized by Burg's Method in the case of gapped data with sequential blank rows in the back-scattered data matrix from the target, and radar image was obtained by using the classical Fourier transform based method. In addition, the gapped data were processed directly with sparse method without filling the gaps and radar image was obtained. Also, as a different method, the image generated by the sparse method was multiplied by the dictionary matrix and the back-scattered data matrix was reconstructed and the radar image was obtained by Fourier transform based method.

The obtained visual and quantitative results show that all methods are more affected by the gapped data state than the random missed data state. Depending on the width of the space and the number of data in the data, the performance of the sparse representation method lags behind the data completion method with Fourier dictionaries. It can be said that completing data with Fourier dictionaries is the best option, especially for gapped data. Moreover, if sparse representation method is applied directly to incomplete data or completed data, the sparse representation method presents sparse images by nature. For many complex real-world targets that do not conform to the assumption that the target is made up of a finite number of scatterer points, in the radar images obtained by sparse representation method, scatterers may cause fragmentation or some scatterers loss. This case may cause reduced performance of the radar target recognition/classification algorithms where the images will be used.





1. GİRİŞ

RADAR (RADio Detection And Ranging), sabit veya hareketli bir hedefin konumu, boyutları ve hızı gibi özellikleri hakkında bilgi alınmasını sağlayan elektronik bir araçtır. Hedef ile ilgili bilgi alınması, hedefin RCS (Radar Cross Section) değeri ile radar tarafından gönderilen elektromanyetik dalgaya bağlıdır. RCS değeri, hedefin radardan gelen elektromanyetik dalgaları radar yönünde geri yansıtabilme yeteneğidir. Bu değer arttıkça radarda hedef ile ilgili bilgiler daha kolay elde edilirken, bu değer azaldıkça radarda hedef ile ilgili bilgi edinilmesi güçleşmektedir. Radarlar, görüntüleme yapma aşamasında donanımsal olarak yapılarında bulundurdıkları mikrodalga kaynağı yardımı ile elektromanyetik dalga üreterek vericilerine göndermektedir. Radar verici anteni de kendisine ulaşan elektromanyetik dalgayı çevresine yaymaktadır. Hedefe ulaşan elektromanyetik dalgalar hedefin RCS değerine bağlı olarak hedefte bulunan saçıcılar tarafından geri saçılmakta ve geri saçılan dalgalar radar alıcı anteni ile alınmaktadır. Geri saçılan sinyalin küçük bir kısmı radar alıcı antenine ulaşmakta ve radar tarafından geri saçılan sinyal verisi işlenerek radar görüntüleri oluşturulmaktadır. Radar verici anteninden sinyalin çıktığı an ile hedef tarafından geri saçılan sinyalin radar alıcı anteninden alındığı ana kadar geçen süre yardımıyla hedefin menzili tespit edilebilmektedir. Hedefin hızı ise radar tarafından gönderilen sinyal ile alınan sinyal arasındaki frekans kaymaları yardımıyla belirlenmektedir.

Radar görüntülemeye önemli kısıtlardan biri de çözünürlüktür. Radar görüntülerinde çözünürlük, menzil çözünürlüğü ve çapraz menzil çözünürlüğü olarak iki açıdan ele alınmaktadır. Menzil çözünürlüğü radar tarafından atmosfere gönderilen sinyalin band genişliğine bağlı iken, çapraz menzil çözünürlüğü ise radarın anten açıklığına bağlıdır. Çapraz menzil çözünürlüğünü arttırmak için de radar anten açıklığının dolayısıyla da anten boyutlarının büyük olması gerekmektedir. Gerçek hayatta anten boyutlarının çok büyük olabilmesi pratik

olmadığı için çözüm olarak Yapay Açıklıklı Radar (YAR) kavramı ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir.

YAR sistemleri genel olarak hedefin sabit ve radarın hareketli olduğu durumlarda kullanılmaktadır ve uzamsal ya da açısal çeşitlilik hedefin çevresinde radarın hareketi ile elde edilmektedir. Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) sistemlerinde ise radar sabit ve uçak, gemi, tank gibi hedefler hareket halindedir. YAR sistemlerine benzer olarak menzil çözünürlüğü radar tarafından atmosfere iletilen sinyalin frekans band genişliği ile sağlanmaktadır. Çapraz menzil çözünürlüğünü sağlayan açısal çeşitlilik ise hedefin hareketli olmasından dolayı radarın hedefe olan açısının değişmesi sebebiyle elde edilmektedir [1].

TYAR sistemlerinde radar görüntüsü elde etme işleminde, hedefin tespiti için radar verici anteninden elektromanyetik dalga gönderilir. Hedefe gönderilen elektromanyetik dalga, hedefteki saçıcılardan geri yansır ve geri saçılan sinyal verilerinin bir kısmını radar alıcı anteni algılayarak işleme alır [2]. 2 boyutlu radar görüntüsünün oluşturulabilmesi için hedefin menzil profilinin ve çapraz menzil profilinin tespit edilmesi gerekmektedir. Menzil profili radar anteninin sabit bir açıda farklı frekanslarda gönderdiği sinyallerin hedeften geri yansması sonucu farklı frekanslardaki geri saçılan sinyal verilerinin işlenmesi ile elde edilirken, çapraz menzil profili ise radar anteninin farklı açılarda olduğu durumlarda aynı frekansta gönderilen sinyallerin hedeften geri yansması sonucu elde edilen geri saçılan sinyal verilerinin işlenmesi ile elde edilmektedir.

Radar alıcı anteni tarafından toplanan geri saçılan sinyal verileri için açı-frekans veri matrisi oluşturulmakta; fakat geri saçılan sinyal verileri farklı açılar sebebiyle kutupsal (polar) koordinat sisteminde bulunduğundan odaklanmış görüntü elde etmede probleme neden olmaktadır [3]. Bu sebeple kutupsal (polar) koordinat sisteminden kartezyen koordinat sistemine dönüşüm sağlanarak geri saçılan sinyal verileri uzamsal frekans domeninde örneklenmektedir [4]. Kutupsal (polar) koordinat sisteminden kartezyen koordinat sistemine dönüşümü sağlanmış veri matrisine daha pürüzsüz görüntü elde etmek için sıfır ekleme (zero padding) işlemi ile görüntüdeki yan lobların bastırılıp ana lobların belirginleştirilmesi için uygun olan çeşitli pencereleme (windowing) işlemleri uygulanmaktadır. Sonrasında ise Fourier Dönüşümü (Fourier Transform) yöntemleri uygulanarak veri matrisinden radar görüntüsü elde edilmektedir [5]. Radar sistemlerinde geniş açı-geniş bant çalışılması

ve elde edilen verilerin işlenerek görüntü elde edilebilmesi işlem süresini uzattığından verimli olmamaktadır. Bunun yerine dar açı-dar bant çalışması işlem süresini kısaltmaktadır; fakat dar açı-dar bant çalışmada da Fourier Dönüşümü (FT) tabanlı yöntemler ile elde edilen görüntünün çözünürlüğü düşük olmaktadır.

Radar görüntüsünün daha yüksek çözünürlükte elde edilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de görüntü işleme konularında en çok tercih edilen ve kullanılan Seyrek Gösterilim (Sparse) yöntemidir. Seyrek işaret görüntü matrisi x ile, sinyal ile ilgili az bilgi içeren sözlük matrisi de A ile, geri saçılan sinyalden elde edilen veri matrisi de y ile ifade edilirse $A.x = y$ denkleminin çözülmesi ile elde edilecek x matrisi seyrek işaret görüntü matrisi olacaktır. Sınırlı ve az sayıda sıfır olmayan veri içeren seyrek işaret görüntü matrisi x 'in elde edilmesi için minimizasyon problemlerinin farklı çözüm metotları bulunmaktadır. Bu metotlardan tez çalışmasında kullanılan BP (Basis Pursuit) metodudur; fakat BPDN (Basis Pursuit Denoising), ceza terimli BPDN (Basis Pursuit Denoising with penalty term) ve LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection) yöntemleri de farklı çözüm yolları olarak kullanılabilir [6].

Bunun yanında radar tarafından toplanan geri saçılan sinyal veri matrisinde bazı verilerin kaçırılarak kaydedildiği ve veri matrisinde eksiklerin olduğu durumlarla karşılaşılabilir. Bu veri matrisine eksik veri (missed data) matrisi denilmektedir. Eksik veri matrisinden radar görüntüsü elde edebilmek için öncelikle eksik hücrelerin doldurulması gerekmektedir. Eksik hücrelerin doldurulması için çeşitli metotlar bulunmakla beraber bu metotlardan biri de interpolasyon yöntemidir. Bu tez çalışmasında hata oranının daha düşük olduğu kübik interpolasyon yöntemi kullanılmış olmakla birlikte, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı hata oranlarında boşluklar doldurulup veri matrisi tamamlanabilmekte ve sonrasında tamamlanmış veri matrisine uygulanan Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) ile veya eksik veri matrisine direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi ile radar görüntüsü elde edilmektedir.

Buna ilaveten, geri saçılan sinyal verisinin doldurulması ile oluşan veri matrisinde satırların eksik olduğu durumlarla da karşılaşılabilir. Bu eksik veri matrisine de özel olarak boşluklu veri (gapped data) matrisi denilmektedir. Boşluklu veri matrisinden radar görüntüsü elde edebilmek için öncelikle boşlukların doldurulması gerekmektedir. Boşlukların doldurulması için AR modellemeye dayanan Lineer

Öngörü Yöntemi (LÖY) kullanılarak veri uzatma işlemi yapılır. Veri uzatma işleminde AR katsayılarının bulunması ve hatanın minimize edilmesi için Burg veya MCM metotları kullanılmakla beraber bu tez çalışmasında kullanılan yöntem Burg metodudur. Veri uzatma işleminde Burg metodu ile veri matrisi tamamlanabilmekte ve sonrasında tamamlanmış veri matrisine uygulanan Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) ile görüntü elde edilebilmektedir. Ayrıca boşluklu veri doldurulmadan seyrek gösterilim yöntemi ile de radar görüntüsü elde edilebilmektedir.

1.1 Tez Çalışmasının İçeriği

1.bölümde, radar ve radar görüntüleme hakkında temel bilgiler ve bu tez çalışmasında kullanılan seyrek gösterilim yönteminin özeti anlatılmış olup interpolasyon yöntemi ve veri uzatma kavramına kısaca değinilmiştir.

2.bölümde, Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) sistemlerinde Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) ile 1 boyutlu ve 2 boyutlu radar görüntüleme hakkında özet bilgiler anlatılmıştır.

3.bölümde, Seyrek Gösterilim (Sparse) yöntemi anlatılmış ve 2 boyutlu radar görüntülerinin bu yöntemle nasıl elde edileceği açıklanmıştır.

4.bölümde, eksik veri (missed data) kavramı ve eksik veri kavramının alt kümesi olan boşluklu veri (gapped data) anlatılarak boşluklu veriye Lineer Öngörü Yöntemi (LÖY) ile veri uzatma yapıp Burg metodu uygulanarak ve eksik veriye kübik interpolasyon yöntemi uygulanarak 2 boyutlu radar görüntülerinin elde edilmesi teorik olarak açıklanmıştır. Dolayısıyla bu bölümde, veri uzatma ve kübik interpolasyon kavramları anlatılmıştır. Ayrıca 2 boyutlu radar görüntülerinin performanslarının karşılaştırılmasında kullanılan bazı metrikler de bu bölümde anlatılmıştır.

5.bölümde, boşluklu veri durumunda, boşluklu veriye direkt uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, boşluklu veriye uygulanan Burg metodu ile veri uzatma işlemi sonrasında uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim görüntü matrisinin sözlük matrisiyle çarpılması sonucu yeniden oluşturulan geri saçılan sinyal verisine uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem sonucunda farklı gürültü seviyelerinde elde edilen 2 boyutlu radar görüntüleri çeşitli metrikler aracılığıyla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca eksik veri durumunda da, eksik veriye direkt uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi sonrasında uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim görüntü matrisinin sözlük matrisiyle çarpılması sonucu yeniden oluşturulan geri saçılan sinyal verisine uygulanan Fourier dönüşümü tabanlı yöntem sonucunda farklı gürültü seviyelerinde elde edilen 2 boyutlu radar görüntüleri çeşitli metrikler aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar üzerinde değerlendirme yapılarak boşluklu ve eksik veri durumlarında hangi yöntemin daha yüksek çözünürlük sağladığı belirlenmiştir.



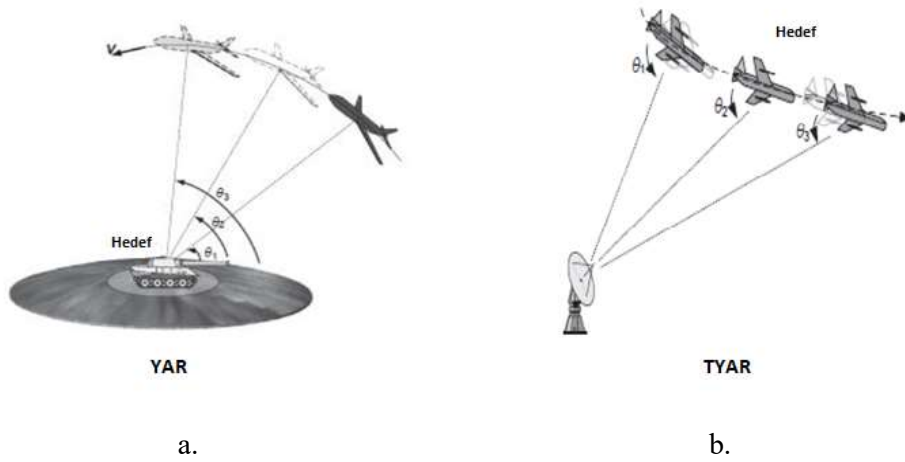


2. FOURIER DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ İLE TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLEME

2.1 Amaç

Radar görüntülerinde görüntü çözünürlüğü önemli bir özelliktir. Görüntü çözünürlüğü açısal genişliğe dolaylı olarak radar antenin genişliğine ve radar bant genişliğine bağlıdır. İyi bir çözünürlüğe sahip görüntü oluşturabilmek için radarlarda geniş bant genişliği ve geniş gözlem açısı ile çalışılması gerekmektedir; fakat bu durum radar antenin açıklığının çok büyük olmasını gerektirdiğinden fiziksel olarak gerçekleşmesi zor olduğundan dar bant genişliği ve dar gözlem açısı ile çalışılmaktadır. Dolayısıyla radar alıcı anteni ile algılanan hedeften yansıyan geri saçılan veriler dar bant genişliğinde ve dar gözlem açısında olmaktadır. Bu koşullar altında Şekil 2.1’de de gösterildiği gibi, hedefin sabit olduğu durumlarda Yapay Açıklıklı Radarlar (YAR) ile, hedefin hareketli olduğu durumlarda ise Ters Yapay Açıklıklı Radarlar (TYAR) ile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir [7].

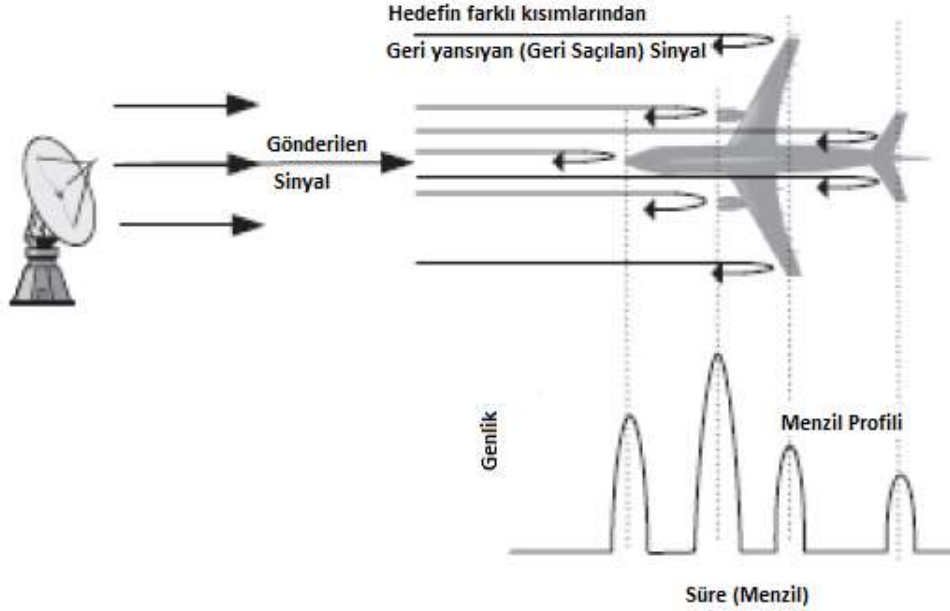
Tez çalışmasının bu bölümünde TYAR görüntülemenin temelleri hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 2.1 : a) Yapay açıklıklı radar (YAR) gösterimi, b) Ters yapay açıklıklı radar (TYAR) gösterimi [1].

2.2 1 Boyutlu TYAR Görüntüleme

Radarlarda görüntü oluşturmada menzil profili ile çapraz menzil profili iki önemli kıstastır. 1 boyutlu radar görüntüleme denildiğinde menzil profilinin görüntülenmesi ifade edilmektedir. Menzil, radar ile hedef arasındaki mesafeye verilen addır. Belirli bir gözlem açısında farklı frekanslarda sinyaller radarların verici anteninden hedefe doğru gönderilir. Hedefin farklı konumlarda bulunan saçıcı noktalarından geri saçılan sinyallerin bir kısmı ise radarların alıcı antenleri tarafından algılanır. Gönderilen sinyal ile farklı konumlardaki saçıcılardan geri saçılan sinyallerin radarların alıcıları tarafından algılanmasına kadar geçen süre farklı konumlardaki her saçıcıdan geri saçılan sinyaller için farklıdır. Dolayısıyla farklı konumlardaki saçıcıların konumu bu süre ile elektromanyetik dalgaların hızı da olan ışık hızının çarpımı sonucu bulunur ve her saçıcının konumu sürelerin farklı olması sebebiyle farklıdır. Böylece saçıcıların konumu tespit edilir ve bunun bir grafik ile gösterilmesi menzil profili olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de bir uçağa ait menzil profilinin oluşturulması şema ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Bir hedefin menzil profilinin çıkarılması [1].

Radardan gönderilen sinyalin hedeften geri yansması olan ve radar alıcısı ile algılanan geri saçılan sinyalin matematiksel gösterimi şu şekilde ifade edilmiştir:

$$E_S(f) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-j2\pi x_i \frac{2f}{c}} \quad (2.1)$$

Yukarıda gösterilen denklemde, A_i i.saçıcının genlik değerini, x_i i.saçıcının konumunu, f frekansı, c ışık hızını, n ise hedefteki saçıcı sayısını ifade etmektedir. Denklemden de görüldüğü gibi geri saçılan sinyal, gönderilen sinyalin frekansı, saçıcıların sayısı, konumu ve genliğine direkt olarak bağlıdır.

Şekil 2.2'den de görülebileceği üzere radar ile hedef arasındaki mesafe R olarak ifade edilmekte ve buna menzil denilmektedir.

Radar görüntülemeye menzil çözünürlüğü, yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmede önemli bir kriterdir. Menzil çözünürlüğü ne kadar yüksekse görüntünün çözünürlük kalitesi de o derecede yüksektir. Menzil çözünürlüğü ise saçıcılar arasındaki minimum mesafedir. R menzil mesafesi N bölmeye ayrılırsa her menzil hücresinin uzunluğu R / N olarak ifade edilir. Buna da menzil çözünürlüğü denir ve Δr ile ifade edilir ve $\Delta r = R/N$ 'dir. Menzil çözünürlüğü denklemi daha açık bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta r = \frac{c}{2B} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denklemden de görülebileceği üzere menzil çözünürlüğü direkt olarak bant genişliğine bağlıdır. Bant genişliği arttırıldığında, Δr azalacağından yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilebilecektir; fakat bant genişliğinin arttırılması beraberinde gürültü ile ilgili bazı olumsuzluklar da getirmektedir.

1 boyutlu TYAR (Ters Yapay Açıklıklı Radar) görüntüleme, hedefin menzil profili çizilerek gerçekleştirilmektedir. Hedefin menzil profili, hedefin uzunluğu ve saçıcı merkezlerinin bulunduğu konum hakkında bir fikir verir. Menzil profilinin çizilmesi ise belirli bir gözlem açısında frekans domeninde elde edilen verilerin işlenmesi ile yapılır [8].

1 boyutlu TYAR görüntülemeye hedefin menzil profili çizilirken faydalanan (2.1) denklemini herhangi bir saçıcı olan d. saçıcı için yazarsak;

$$E(f) = A_d e^{-j2\pi x_d \frac{2f}{c}} \quad (2.3)$$

bu saçıcı için geri saçılan alan denklemi elde edilir. Radardan hedefe gönderilen sinyalin frekansının belirli sabit aralıklarla arttırıldığı düşünülürse (2.3) denkleminin son hali aşağıdaki gibi olacaktır:

$$E(f) = A_d e^{-j \frac{4\pi}{c} f x_d} \quad (2.4)$$

$$E(f) = A_d e^{-j \frac{4\pi}{c} (f_0 + m\Delta f) x_d} \quad (2.5)$$

$$f(m) = f_0 + m \cdot \Delta f \quad m = 0, 1, 2, \dots, N \quad (2.6)$$

Denklemlerdeki f_0 arttırılan frekansın başlangıç değerini, Δf ise frekans arttırım aralığını temsil etmektedir. (2.6) denklemi (2.4) denklemi içine yazıldığında (2.5) denklemi elde edilmiştir. (2.5) denklemi daha açık bir şekilde geri saçılan sinyal denklemi frekans domeninde yazılırsa şu şekilde ifade edilir:

$$m = 0, 1, 2, \dots, N \quad E(m) = \sum_{i=1}^n A_i(m) e^{-j \frac{4\pi}{c} f_0 x_i} e^{-j \frac{4\pi}{c} m \Delta f x_i} \quad (2.7)$$

(2.7) denkleminden de anlaşılacağı üzere 1 boyutlu TYAR görüntülemeye menzil profili çizilir. Menzil profili de belirli sabit bir gözlem açısında farklı frekanslarda geri saçılan sinyal verisi ile elde edilir. Örneğin; tek satırlık bir vektörün sütunlarına geri saçılan sinyal verileri sırayla işlenebilir. Bir satır vektörün birinci elemanı olarak (2.7) denkleminde $m=0$ alınarak elde edilen sonuç yazılır. $m=1$ alınarak elde edilen yeni frekans değerinde elde edilen geri saçılan sinyal verisi satır vektörün 2. elemanı olarak yazılır. $m=N$ olana kadar her frekans değeri için elde edilen geri saçılan sinyal verileri satır vektöre yazılır. Böylece N elemanlı bir satır vektör elde edilir. Daha sonra oluşan bu satır vektöre ters Fourier dönüşümü uygulanarak menzil profili çizilir.

Hedefin içerdiği saçıcıların konumu ve hedefin boyutları sadece menzil profili çizilerek tespit edilemez. Menzil profili ile sadece hedefin uzunluğu ve saçıcıların radara uzaklığı tespit edilir; fakat saçıcıların konumunun kesin olarak belirlenebilmesi için çapraz menzil profilinin de çizilmesine ihtiyaç vardır [9]. Bu da 2 boyutlu TYAR görüntüleme konusunda anlatılacaktır.

2.3 2 Boyutlu TYAR Görüntüleme

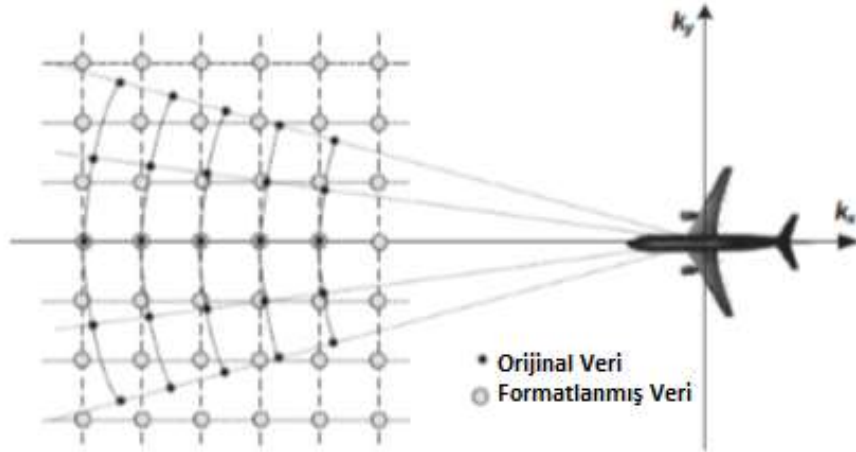
2 boyutlu TYAR görüntüsü, menzil profili ile çapraz menzil profilinin farklı eksenlerde birleştirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Görüntüden saçıcıların enerjisi hakkında fikir edinilebilir. 2 boyutlu radar görüntüsünün çözünürlüğünün kalitesi, radarın geniş bant genişliği ve geniş anten açıklığına sahip olmasına bağlıdır.

1 boyutlu radar görüntüsü çıkarılırken frekans domeninde çalışılırken, 2 boyutlu radar görüntüsü çıkarılırken frekans-gözlem açısı domeninde çalışılır. Dolayısıyla geri saçılan sinyalin matematiksel ifadesi hem frekans değişkenini hem de gözlem açısı değişkenini aynı anda içerir ve aşağıdaki gibidir:

$$E_s(f, \theta) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-j4\pi \frac{f}{c}(x_i \cos\theta + y_i \sin\theta)} \quad (2.8)$$

Daha önceden de belirtildiği gibi menzil çözünürlüğü radar anteninden gönderilen frekans bant genişliğine bağlıken, çapraz menzil çözünürlüğü ise radar anteninin yapay açıklığına bağlıdır. Menzil profili ise hedefin uzunluğu ve saçıcıların konumu hakkında yatay ekseninde bilgi verirken, çapraz menzil profili ise hedefin düşey eksenindeki uzunluğu ve saçıcıların düşey eksenindeki konumu hakkında bilgi verir [10]. İki profil, 2 boyutlu ekseninde birleştirildiğinde de 2 boyutlu görüntü oluşmaktadır.

2 boyutlu radar geri saçılan sinyal verileri frekans-açı domeninde bulunduğundan ayrılmaz 2 Fourier dönüşümü içerir. Bu sebeple görüntüde odaklanmama sorunu oluşur. Odaklanmamış görüntü sorununu çözmek için ise polar formdan kartezyen koordinat sistemi formuna geçilmesi gerekir. Bu dönüşüm sonucunda frekans-açı domeninden uzamsal frekans domenine geçilmiş olunur. Bu işleme polar formatlama denir [4]. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi orijinal verideki noktaların bazıları ile dikdörtgensel verideki noktalar örtüşmemektedir. Polar formatlama ile örtüşmeyen noktalar en yakın dikdörtgensel köşelerdeki noktalara taşınır ve uzamsal frekans domenine geçilir.



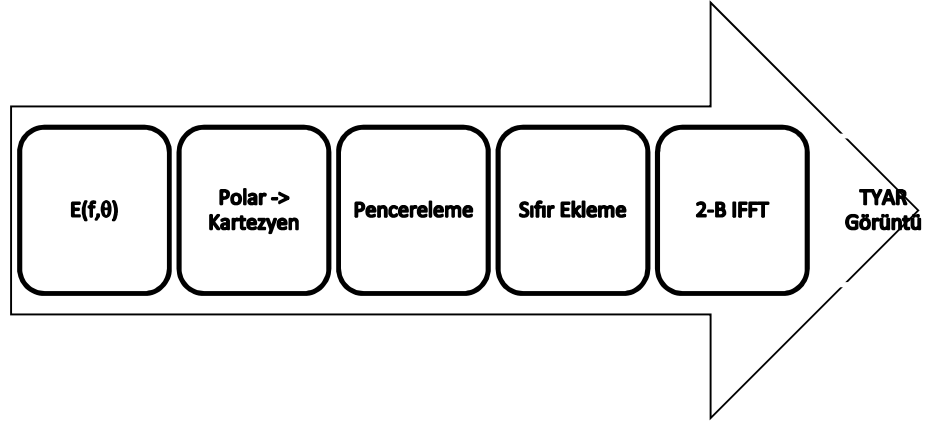
Şekil 2.3 : Polar verilerin kartezyen koordinat sistemine dönüşümü [1].

Polar formatlama sonucunda (2.8) denkleminin uzamsal frekans domenine geçilmiş hali olarak aşağıdaki gibidir:

$$E_S(f_x, f_y) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-j2\pi(f_x x_i + f_y y_i)} \quad (2.9)$$

$$f_x = \frac{2f \cos\theta}{c} \quad f_y = \frac{2f \sin\theta}{c} \quad (2.10)$$

Özet olarak, yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek için geniş bant ve geniş gözlem açısında toplanan veriler Fourier dönüşümü tabanlı metot ile işlenir. 2 boyutlu radar görüntüsü elde etmek için de öncelikle frekans-açı domeninde odaklanma problemini aşmak için polar formatlama işlemi ile kartezyen koordinat sistemine geçilir ve (2.10) denklemi kullanılarak 2 boyutlu Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) ile veriler işlenerek 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilir. Görüntü çözünürlüğünü arttırmak için sıfır ekleme ve yan lobları bastırıp saçıcıları daha iyi gösterebilmek için pencereleme işlemleri yapılsa da zayıf enerjiye sahip saçıcıları tespit etmede bu yöntemler tam olarak başarı sağlayamamaktadır.



Şekil 2.4 : 2 boyutlu TYAR görüntüsü elde etme basamakları.

Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile 2 boyutlu radar görüntüsü elde etmede geniş bant-geniş gözlem açısında başarı sağlanabilse de dar bant-dar gözlem açısında çözünürlük-yan lob ikilemi ortaya çıkmaktadır [11]. Bu sebeple dar bant-dar gözlem açısında yüksek çözünürlüklü radar görüntüsü elde etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları spektral kestirim yöntemleri olan AR modelleme ve MUSIC yöntemidir [12,13]. Bir diğer yöntem ise son dönemde daha çok kullanılan ve tercih edilen Seyrek Gösterilim (Sparse) yöntemidir. Bu tez çalışmasında da Seyrek Gösterilim yöntemi üzerinde çalışılmıştır.



3. SEYREK GÖSTERİLİM (SPARSE) YÖNTEMİ İLE TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLEME

3.1 Amaç

Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) görüntüleme, bir hedefin saçıcılarının konumunun 2 boyutlu kartezyen koordinat sisteminde görüntülenmesini sağlar. Hedefin tanımlanması ve sınıflandırılmasında sık kullanılan bir görüntüleme yöntemidir [14]. Bir önceki bölümde TYAR görüntülerinin 2 boyutlu Fourier dönüşümü tabanlı yöntem yardımıyla elde edilebildiği anlatılmıştı. Her ne kadar Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile görüntü elde edilebilse de dar bant-dar gözlem açısında görüntünün çözünürlüğü konusunda sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunları aşmak ve yüksek çözünürlüklü radar görüntüsü elde etmek için bazı farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri de Seyrek Gösterilim (Sparse) yöntemidir.

Bu bölümde öncelikle seyrek işaret kavramı üzerinde durulacaktır. Daha sonra TYAR görüntülemeye seyrek gösterilim yaklaşımı kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi teorik olarak anlatılacaktır.

3.2 Seyrek Gösterilim (Sparse) Yöntemi

Bir sinyal temel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\mathbf{y} = \mathbf{D}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (3.1)$$

Denklemden $\mathbf{y}$ $m \times 1$ boyutunda gözlem matrisi, $\mathbf{D}$ $m \times n$ boyutunda sözlük matrisi, $\mathbf{x}$ $n \times 1$ boyutunda sinyal matrisi ve $\mathbf{n}$ ise $m \times 1$ boyutunda gürültü matrisidir.

$\mathbf{D}$ sözlük matrisinin her sütununa atom denilir. Sözlük matrisinin n sütunu vardır ve her sütunu $m \times 1$ boyutundadır. Her bir atom $\mathbf{x}$ sinyali hakkında bilgi taşımaktadır. Eğer $\mathbf{D}$ sözlük matrisi kare matrisse yani $m=n$ ise n bilinmeyen ve m denklem olduğu için bu sistem sıfır hata ile çözülebilir ve tek bir çözümü olur. Bu sözlük matrisine tam sözlük denir. Eğer $m > n$ olursa yani bilinmeyen sayısı denklem sayısından az olursa bu durumda tek bir çözüm vardır ve bu sözlük matrisine redundant sözlük

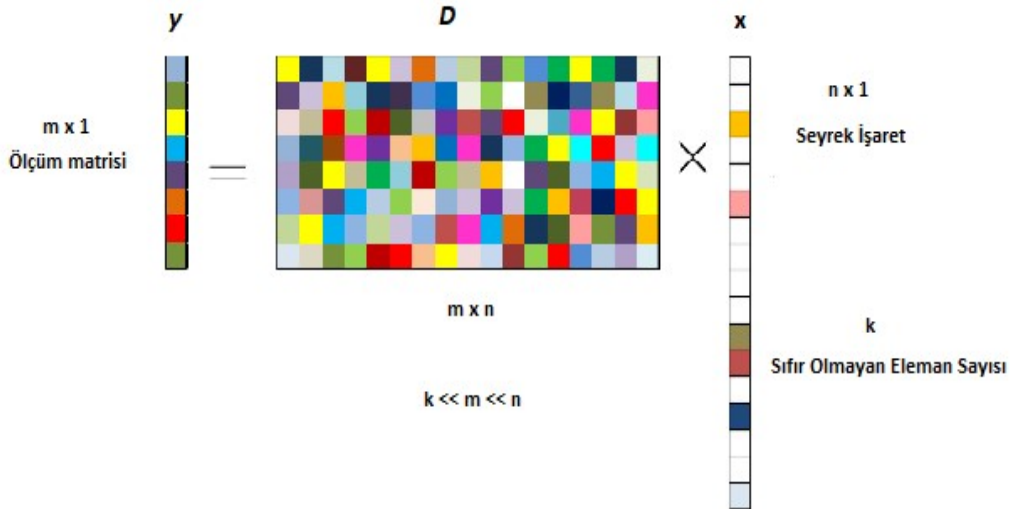
denir. $m < n$ olduğu durumda ise bilinmeyen sayısı denklem sayısından fazladır; dolayısıyla çözüm birden fazladır ve bu sözlük matrisine tam olmayan sözlük denir [15]. Bu durumda, çözümü bulurken ise sıfır olmayan katsayıların en az olduğu seyrek gösterilim çözümünü gerçekleştiren l-0 normundan faydalanılır. Seyrek gösterilimin amacı da asıl sinyal matrisinin sıfır olmayan elemanlarının minimum sayıda olması şartıyla sinyal matrisini seyrek biçimde gösterebilmektir. Sonuç olarak seyrek gösterilim problemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$\min \|x\|_0 \text{ koşulu ile } y = Dx + n \quad (3.2)$$

Fakat l-0 normu bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Sinyal matrisi olan x 'te sıfır olmayan elemanların yani saçıcıların belirtilmesi noktasında yüksek enerjiye sahip saçıcılar ile düşük enerjiye sahip saçıcıların tam olarak belirlenememesi hususunda bazı sorunlara sebep olmaktadır [16]. Bu sebeple de aşağıda da ifade edilen l-p normunda çözümlerle (3.2) denklemi çözülecektir:

$$\|x\|_p = (\sum_i |x_i|^p)^{1/p} \quad (3.3)$$

Seyrek gösterilim problemini çözmek için lineer optimizasyon problemini çözen l-1 normu tercih edilecektir [17]. Ayrıca (3.1) denklemi seyrek gösterilim olarak gürültüsüz ortamda özetle Şekil 3.1'deki gibi şematize edilebilir.



Şekil 3.1: Seyrek işaretin matrislerle gösterimi [18].

3.3 Ters Yapay Açıklıklı Radarlarda (TYAR) Seyrek Gösterilim Modeli

Daha önceden geri saçılan sinyalin matematiksel ifadesi (2.9) denkleminde ifade edilmişti. (2.9) denklemini aşağıdaki gibi de ifade edebiliriz:

$$E(l, n) = \sum_{i=1}^d A_i e^{-j2\pi(l \Delta f x_i + n \Delta f y_i)} \quad (3.4)$$

Menzil ve çapraz menzil yönünde sözlük matrisleri oluşturulursa, bu sözlük matrisleri aşağıdaki gibi olacaktır:

$$D_x = \sum_{l=1}^M e^{-j2\pi l \Delta f x_i} \quad i=1,2,\dots,P \quad (3.5)$$

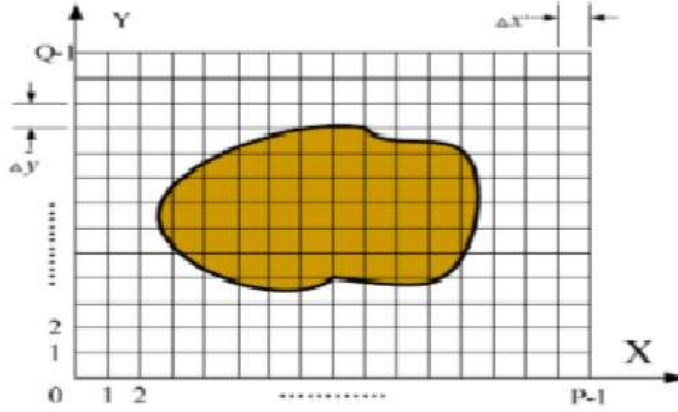
$$D_y = \sum_{n=1}^N e^{-j2\pi n \Delta f y_i} \quad i=1,2,\dots,Q \quad (3.6)$$

(3.5) ve (3.6) denklemleri (3.4) denkleminde yerine koyulursa ortaya şu şekilde bir matris denklemi çıkacaktır:

$$\mathbf{E} = \mathbf{D}_x \mathbf{A} \mathbf{D}_y^T \quad (3.7)$$

$\mathbf{E}$ (MxN) boyutunda geri saçılan sinyal matrisi, $\mathbf{D}_x$ (MxP) boyutunda sözlük matrisi, $\mathbf{A}$ (PxQ) boyutunda genlik (katsayılar) matrisi ve $\mathbf{D}_y$ (NxQ) boyutunda sözlük matrisidir.

Şekil 3.2’de ızgara haritasında hedefin saçıcılarının bulunduğu ızgara hücreleri sıfır olmayan katsayılarla sahipken, saçıcıların bulunmadığı hücrelerin değeri ise direkt olarak sıfır olacaktır. Böylece katsayılar diğer bir deyişle genlik matrisi olabildiğince fazla sayıda sıfır elemanlardan oluşacak ve sadece saçıcıların bulunduğu elemanlar sıfırdan farklı olacaktır ve mümkün olduğu kadar sıfır olmayan elemanlar $\mathbf{A}$ matrisinde az sayıda bulunacaktır ve böylece $\mathbf{A}$ matrisi seyrek işaret matrisi olacaktır [19]. $\mathbf{A}$ matrisinin en seyrek olduğu anda seyrek gösterilim (sparse) yöntemi ile yan lobların hemen hemen yok edildiği ve yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiş olacaktır.



Şekil 3.2: Hedefin iki boyutlu ızgara ile parçalara ayrılmış haritası.

A matrisinin mümkün olduğunca en seyrek olduğu hale zorlanması ve bu durumda E matrisinin elde edilmesi işlemi ise A matrisinin seyrek hale zorlanması sebebiyle bir minimizasyon problemidir. Bu minimizasyon problemi bu tez çalışmasında BP (Basis Pursuit) yaklaşımı ile çözülmüştür; fakat BPDN (Basis Pursuit Denoising), ceza terimli BPDN (Basis Pursuit Denoising with penalty term) ve LASSO yaklaşımı gibi farklı minimizasyon yaklaşımları da bulunmaktadır. Ayrıca minimizasyon probleminin çözümünde L1-Magic optimizasyon paketi kullanılmıştır.

3.3.1 BP yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma

BP yaklaşımında katsayılar yani genlik matrisi olan $\mathbf{A}$ matrisi l_1 normunda seyrek olmaya zorlanırken, (3.8) denklemi sağlanmak şartıyla $\mathbf{A}$ matrisinden 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilir. BP yaklaşımı ile minimizasyon probleminin çözümünde radar görüntüsünün çözünürlüğünün kalitesi ise direkt olarak $\mathbf{A}$ matrisinin minimize edilmesi ile ilgilidir. BP yaklaşımının matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir:

$$\min \|\mathbf{A}\|_1 \text{ koşulu ile } \mathbf{E} = \mathbf{D}_x \mathbf{A} \mathbf{D}_y^T \quad (3.8)$$

Bu tez çalışmasında Mig-25 ve Airbus verileri kullanılmakla beraber eksik veri ve boşluklu veri durumunda geniş bant-geniş gözlem açısı ile dar bant-dar gözlem açısında farklı seviyelerdeki gürültülü ve gürültüsüz ortamlarda BP yaklaşımı ile hava araçlarının radar görüntüleri elde edilmiştir.

3.3.2 BPDN yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma

BPDN yaklaşımında katsayılar yani genlik matrisi olan $\mathbf{A}$ matrisi l_1 normunda seyrek olmaya zorlanırken, geri saçılan sinyal matrisi olan $\mathbf{E}$ matrisinin seyrek olmaya zorlanan $\mathbf{A}$ matrisi ve sözlük matrisinin çarpımının farkının karelerinin toplamının belirli bir eşik değerin altında olması beklenir. (3.9) denklemi sağlanmak şartıyla $\mathbf{A}$ matrisi elde edilir ve daha sonra $\mathbf{A}$ matrisinden de 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilir. BPDN yaklaşımı ile minimizasyon probleminin çözümünde radar görüntüsünün çözünürlüğünün kalitesi ise direkt olarak eşik değeri ile ilgilidir. Eşik değeri değiştirilerek görüntü çözünürlüğü düzenlenebilir. BPDN yaklaşımının matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir:

$$\min \|\mathbf{A}\|_1 \text{ koşulu ile } \|\mathbf{E} - \mathbf{D}_x \mathbf{A} \mathbf{D}_y^T\|_2 \leq \epsilon \quad (3.9)$$

3.3.3 Ceza terimli BPDN yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma

Ceza terimli BPDN yaklaşımında sonuca, geri saçılan sinyal matrisi olan $\mathbf{E}$ matrisinin katsayılar yani genlik matrisi olan $\mathbf{A}$ matrisi ve sözlük matrisinin çarpımının farkının karelerinin toplamına ceza terimi ile katsayılar matrisi $\mathbf{A}$ 'nın l_1 normunun çarpımının eklenmesinin minimum yapılması ile ulaşılır. (3.10) denklemi sağlanmak şartıyla $\mathbf{A}$ matrisi elde edilir ve daha sonra $\mathbf{A}$ matrisinden de radar görüntüsü elde edilir. Ceza terimli BPDN yaklaşımı ile minimizasyon probleminin çözümünde önemli kistas ceza terimi olan λ 'dır. Ceza terimi değiştirilerek görüntü çözünürlüğü düzenlenebilir. Ceza terimli BPDN yaklaşımının matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir:

$$\min (\|\mathbf{E} - \mathbf{D}_x \mathbf{A} \mathbf{D}_y^T\|_2 + \lambda \|\mathbf{A}\|_1) \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemden de görülebileceği üzere ceza terimi λ küçük değerlerde seçilirse sonuç l_2 normunda minimizasyon problemi olur. Ceza terimi katsayılar matrisi $\mathbf{A}$ ile çarpıldığı için katsayılar matrisindeki sıfır olmayan terimleri güçlendirecek ve saçıcıların daha iyi ortaya çıkmasını sağlayacaktır ve yan lobları da bastıracaktır.

3.3.4 LASSO yaklaşımı ile seyrek gösterilim radar görüntüsü oluşturma

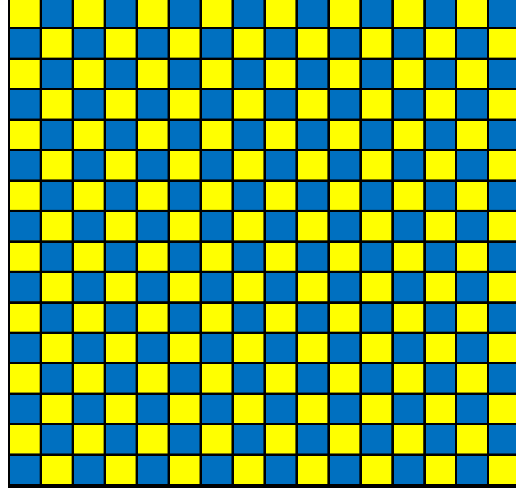
LASSO yaklaşımında, katsayılar matrisi olan $\mathbf{A}$ matrisinin l-1 normunun sabit bir eşik değerin altında olduğu durumda, geri saçılan sinyal matrisi olan $\mathbf{E}$ matrisinin katsayılar yani genlik matrisi olan $\mathbf{A}$ matrisi ve sözlük matrisinin çarpımının farkının karelerinin toplamının minimizasyonu hesaplanır. (3.11) denklemini sağlanmak şartıyla $\mathbf{A}$ matrisi elde edilir ve daha sonra $\mathbf{A}$ matrisinden de radar görüntüsü elde edilir. LASSO yaklaşımının matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir:

$$\|\mathbf{A}\|_1 \leq \tau \quad \text{koşulu ile} \quad \min(\|\mathbf{E} - \mathbf{D}_x \mathbf{A} \mathbf{D}_y^T\|_2) \quad (3.11)$$

4. EKSİK VERİ İÇİN TYAR GÖRÜNTÜLEME

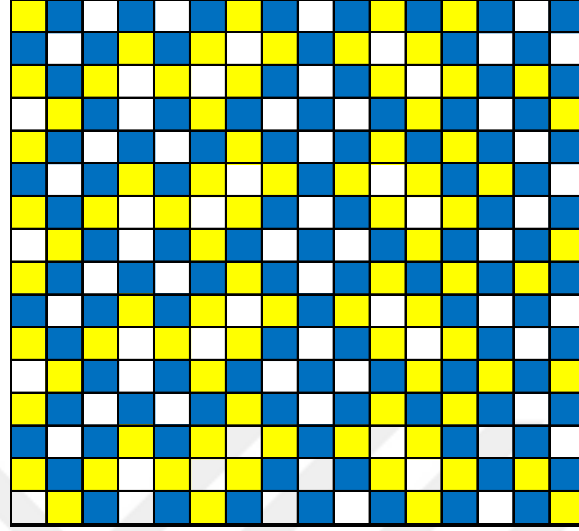
4.1 Eksik Veri Tanımlaması

Radar görüntülemenin temel mantığında bilindiği üzere radardan hedefe gönderilen elektromanyetik dalganın hedefteki saçıcı noktalardan geri saçılması sonucu geri saçılan sinyal verileri radar alıcı anteni tarafından algılanır ve veri matrisinde yerine konulur. Böylece $M \times N$ boyutunda bir veri matrisi oluşturulur. Bu tez çalışmasında geniş-açı geniş-bant durumu için 64×64 'lük Mig 25 ve 32×32 'lik Airbus veri matrisleri ile dar-açı dar-bant durumu için 32×32 'lik Mig 25 ve 16×16 'lık Airbus veri matrisleri kullanılmıştır. 16×16 'lık orijinal bir veri matrisi sembolik olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



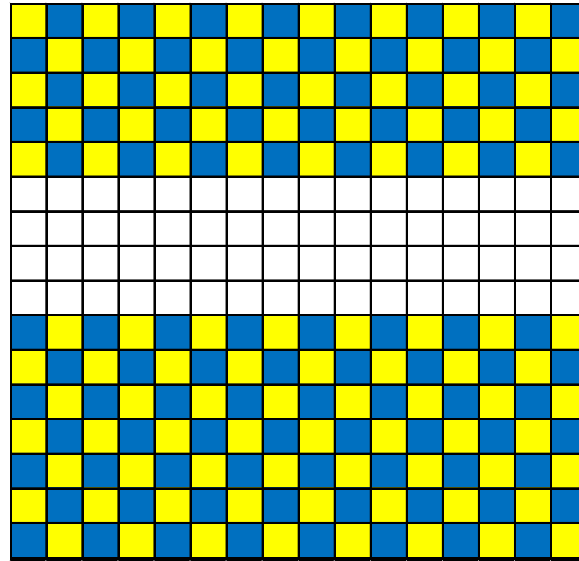
Şekil 4.1: Sembolik olarak 16×16 boyutunda orijinal bir veri matrisi.

Bazı durumlarda veri matrisinde rastgele açılma ve frekanslardaki veriler elde edilemez. Bir veri matrisinde eğer rastgele matris hücrelerindeki veriler alınamıyorsa bu veriye eksik veri (missed data) denir [20]. Şekil 4.2'de 16×16 'lık eksik veri sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Sembolik olarak 16x16 boyutunda eksik bir veri matrisi.

Bazı eksik veri durumlarında, veri matrisinde bir veya birden fazla satır boş olarak kalıyorsa bu veriye boşluklu veri (gapped data) denir. Bu durumlarda ardışık olarak bazı gözlem açılarında hiçbir şekilde veri alınmamıştır. Şekil 4.3'te 16x16'lık boşluklu veri sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Sembolik olarak 16x16 boyutunda boşluklu bir veri matrisi.

Boşluklu veri veya eksik veri durumunda da klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem kullanılarak 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilebilmektedir; fakat veri eksikliğinden dolayı bu görüntünün çözünürlüğü iyi olmamaktadır [21]. Bu duruma çözüm olarak boşluklu veya eksik veriye direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi uygulanabileceği gibi Lineer Öngörü Yöntemi (Lineer Prediction Method-LPM) ile boşluklu veriye veri uzatma işlemi uygulanarak ve lineer öngörü yöntemindeki AR katsayılarının bulunduğu ve hatanın minimize edildiği Burg metodu ile 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturulabilir [22]. Eksik veriye ise kübik interpolasyon yöntemi uygulanarak ve interpolasyon sonucu eksik verinin eksik hücreleri doldurularak Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilebilir. Bunların dışında bir diğer yöntem de boşluklu veya eksik veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi sonucu elde edilen seyrek işaret görüntü matrisinin sözlük matrisi ile çarpılıp geri saçılan sinyal matrisinin tekrar oluşturulduktan sonra geri saçılan sinyal matrisine Fourier dönüşümü tabanlı yöntem uygulanarak radar görüntüsü elde edilmesidir.

4.2 Boşluklu Veri Durumunda TYAR Görüntüleme

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi boşluklu verinin elde bulunduğu durumlarda yüksek çözünürlüklü görüntü elde edebilmek için bu tez çalışmasında 3 yöntem üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki, boşluklu verinin lineer öngörü yöntemi yardımıyla Burg metodu ile doldurularak 2 boyutlu radar görüntüsünün oluşturulmasıdır. İkinci yöntem ise boşluklu veride herhangi bir boşluk doldurma yapılmadan direkt olarak veriye seyrek gösterilim yönteminin uygulanarak radar görüntüsünün oluşturulmasıdır. Diğer yöntem ise boşluklu veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi sonucu elde edilen seyrek işaret görüntü matrisinin sözlük matrisi ile çarpılıp geri saçılan sinyal matrisinin tekrar oluşturulduktan sonra geri saçılan sinyal matrisine Fourier dönüşüm işlemleri uygulanarak radar görüntüsü elde edilmesidir.

4.2.1 Lineer öngörü yöntemi (LÖY) kullanılarak TYAR görüntüleme

Lineer Öngörü Yöntemi, esasında radar görüntülemeye faydalanan diğer bir model olan AR modelleme esasına dayanır [23]. Lineer öngörü yöntemi ileri yönlü veya

geri yönlü olarak yapılabilir [24]. İleri yönlü tahmin yapılmak istendiğinde bulunmak istenen noktadan geriye gidilerek belirli sayıda eski veriler alınarak kullanılır ve bulunmak istenen nokta tahmin edilir. Geri yönlü tahmin yapılmak istendiğinde ise bulunmak istenen noktadan belirli sayıda ileri gidilerek ileri değerler kullanılarak gerideki bulunmak istenen nokta tahmin edilir. Yöntemin isminden de anlaşılacağı üzere tüm işlemler birinci derecedendir yani lineerdir. Bu işlemler yapılırken AR katsayılarına da başvurulur. Lineer tahmin yönteminin matematiksel ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$\widehat{y}_n = -\sum_{i=1}^K a_i x_{n-i} , \quad n = K + 1, \dots, N \text{ (İleri Yönlü Lineer Öngörü) } \quad (4.1)$$

$$\widehat{y}_n = -\sum_{i=1}^K a_i^* x_{n+i} , \quad n = 1, 2, \dots, N - K \text{ (Geri Yönlü Lineer Öngörü) } \quad (4.2)$$

Yukarıdaki (4.1) ve (4.2) denklemlerinde a_i AR katsayısını, a_i^* AR katsayısının kompleks eşleniğini, K AR model derecesini, N ise çapraz menzil eksenindeki örneklenen hücre sayısını, $\widehat{y}_n$ ise tahmin edilecek hücrenin değerini ifade etmektedir.

İleri ve geri lineer öngörüler yapıldıktan sonra tahmin edilecek hücrenin gerçek değeri olan y_n ile ileri ve geri tahminde elde edilen tahmin değeri olan $\widehat{y}_n$ arasındaki fark hesaplanarak ileri ve geri lineer öngörü hataları hesaplanır. Hata hesabının matematiksel formülü ise aşağıdaki denklemlerdeki gibidir:

$$e_n^f = y_n - \widehat{y}_n = -a_0 y_n - \widehat{y}_n = -\sum_{i=0}^K a_i y_{n-i} , \quad n = K + 1, K + 2, \dots, N \quad (4.3)$$

$$e_n^b = y_n - \widehat{y}_n = -a_0^* y_n - \widehat{y}_n = -\sum_{i=0}^K a_i^* y_{n+i} , \quad n = 1, 2, \dots, N - K \quad (4.4)$$

Yukarıdaki (4.3) ve (4.4) hata denklemlerinde e_n^f ileri yönlü lineer öngörü hatasını, e_n^b ise geri yönlü lineer öngörü hatasını ifade etmektedir. Söz konusu denklemlerde $a_0=1$ alınarak işlemler yapılmıştır.

Tahmin edilmek istenen değeri bulmak için ise (4.3) ve (4.4) denklemlerindeki ileri ve geri yönlü lineer öngörü hataları AR katsayılarının kestirilmesi vasıtasıyla minimize edilir. Bu işlem ise bu tez çalışmasında Burg metoduyla yapılmıştır.

Burg metodunda AR katsayılarını bulmak için bir iterasyon işlemi kullanılır [25]. Öncelikle Şekil 4.4'te de gösterilen boşluklu veri matrisinin boşluk olan kısmının üst

tarafı küçük indisli hücreler iken, boşluk kısmının alt tarafı büyük indisli hücrelerdir. Burg metodunda sırasıyla şu işlemler uygulanır:

- ➔ Veri matrisinin ilk sütunu için Burg metodu ile boşluğun üst kısmındaki küçük indisli hücreler için a_i^L AR katsayıları ile boşluğun alt kısmındaki büyük indisli hücreler için a_i^H AR katsayıları hesaplanır.
- ➔ İlk sütun için işleme devam edilirken ilk sütundaki boşluk hücrelerinin değerlerini tahmin etmek için hem küçük indisli hücreler kullanılarak hem de büyük indisli hücreler kullanılarak veri uzatma yapılarak boşluktaki her bir hücre için ayrı ayrı 2 tane değer bulunur. Aşağıdaki denklemlerde bu 2 değer nasıl bulunduğu ifade edilmiştir:

$$\widehat{y}_n^L = -\sum_{i=0}^{K_L} a_i^L y_{n-i} , \quad n = N_1, N_1 + 1, \dots, N_2 \quad (4.5)$$

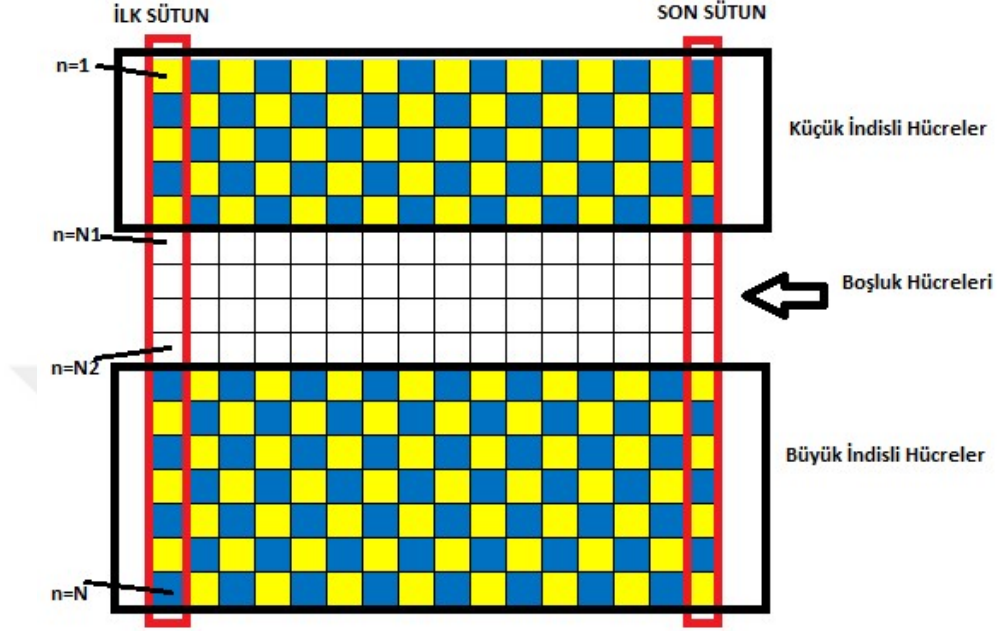
$$\widehat{y}_n^H = -\sum_{i=0}^{K_H} a_i^{H*} y_{n+i} , \quad n = N_2, N_2 - 1, \dots, N_1 \quad (4.6)$$

- ➔ Yukarıdaki denklemlerde K_L ve K_H sırasıyla küçük indisli hücreler için AR model derecesi ve büyük indisli hücreler için AR model derecesidir. Bu AR model derecesi büyük indisli hücreler için büyük indisli hücre sayılarının üçte biri ile yarısı arasında bir tam sayı seçilirken, küçük indisli hücreler için küçük indisli hücre sayılarının üçte biri ile yarısı arasında bir tam sayı seçilir [25].
- ➔ Daha sonrasında ise boşlukta bulunan öngörülen bir hücre için (4.5) denklemi kullanılarak hesaplanan küçük indisli hücrelerden veri uzatması yapılan boşluktaki hücre değeri ile (4.6) denklemi kullanılarak hesaplanan büyük indisli hücrelerden veri uzatması yapılan boşluktaki hücre değerinin ağırlıklı ortalaması (4.7) denklemindeki gibi alınarak boşluktaki bir hücrenin değeri bulunur. İlk sütundaki boşlukta bulunan hücrelerin her biri için bu işlemler tekrarlanır.

$$\widehat{y}_n = \left(\frac{N_2 - n}{N_2 - N_1} \right) \widehat{y}_n^L + \left(\frac{n - N_1}{N_2 - N_1} \right) \widehat{y}_n^H , \quad N_1 \leq n \leq N_2 \quad (4.7)$$

- ➔ Böylece ilk sütundaki boşlukta bulunan hücrelerin değerleri hesaplanmış olur. Aynı işlemler her bir sütun için yapılarak boşluklu veri matrisi doldurulur ve

daha sonrasında ise klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ile 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturulur.



Şekil 4.4: Veri uzatma ile Burg yöntemi uygulanan 16x16 boyutunda boşluklu veri matrisinin gösterimi.

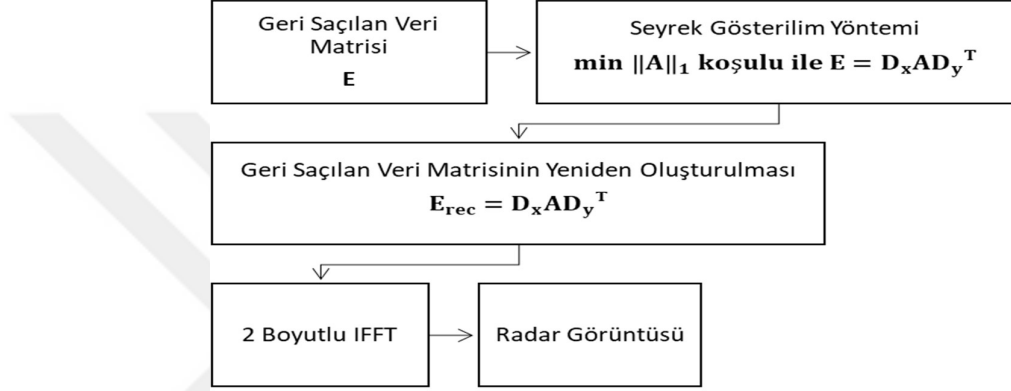
4.2.2 Seyrek gösterilim yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme

Radar hedefinden geri saçılan sinyalin boşluklu veri olması durumunda 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturmak için bir önceki bölümde anlatılan Burg metodu kullanılarak uygulanan lineer öngörü yönteminin dışında bu tez çalışmasında uygulanan diğer bir yöntem de seyrek gösterilim yöntemidir. 3.bölümde de anlatıldığı gibi seyrek gösterilim yönteminde BP minimizasyon yaklaşımı ile boşluklu veri doldurulmadan direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi ile çözülerek 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturulur.

4.2.3 Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu TYAR görüntüleme

Tez çalışmasında boşluklu veriye uygulanan diğer bir yöntem de seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlamadır. Bu yöntemde boşluklu veriye direkt olarak seyrek

gösterilim yöntemi uygulanır ve elde edilen seyrek görüntü matrisi sözlük matrisiyle tekrar çarpılarak geri saçılan veri matrisi yeniden oluşturulur [26]. Daha sonrasında ise yeniden oluşturulan geri saçılan veri matrisi Fourier dönüşüm işlemleri ile 2 boyutlu radar görüntüsünün elde edilmesini sağlar. Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu radar görüntüsünün oluşturulması Şekil 4.5'te bulunan diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Seyrek gösterilim ile veri tamamlama yöntemi ile TYAR görüntüleme.

4.3 Eksik Veri Durumunda TYAR Görüntüleme

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi eksik verinin elde bulunduğu durumlarda yüksek çözünürlüklü görüntü elde edebilmek için bu tez çalışmasında 3 yöntem üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki, eksik verideki eksik hücrelerin kübik interpolasyon yöntemi ile doldurularak 2 boyutlu radar görüntüsünün oluşturulmasıdır. İkinci yöntem ise eksik veride herhangi bir doldurma yapılmadan direkt olarak veriye seyrek gösterilim yönteminin uygulanarak radar görüntüsünün oluşturulmasıdır. Diğer yöntem ise eksik veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi sonucu elde edilen seyrek işaret görüntü matrisinin sözlük matrisi ile çarpılıp geri saçılan sinyal matrisinin tekrar oluşturulduktan sonra geri saçılan sinyal matrisine Fourier dönüşüm işlemleri uygulanarak radar görüntüsü elde edilmesidir.

4.3.1 İnterpolasyon yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme

İnterpolasyon yöntemi, birçok matematiksel problemde başvuru bir yöntemdir. Bir veri kümesinde en az iki veri biliniyorsa ve bu verilerin arasındaki bir değerin

tespit edilmesi isteniyorsa, genellikle interpolasyon yöntemine başvurulur. İnterpolasyon yöntemi temel olarak bilinen verilerin değerini sağlayan bir polinom bulma yöntemidir. $n+1$ veri biliniyorsa, bu verilerin değerini sağlayan polinom n .derecedendir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (4.8)$$

Yukarıdaki (4.8) denkleminde a_n polinom katsayılarını ifade ederken x ise bağımsız değişkendir.

İnterpolasyon yöntemi, işlevinden dolayı ara değer bulma yöntemi olarak da adlandırılabilir. Eğer iki nokta biliniyor ve bu iki nokta arasındaki herhangi bir değer bulunması isteniyorsa interpolasyon polinomu 1.derece olacağından dolayı yapılan işleme lineer interpolasyon, eğer üç nokta biliniyor ve bu üç nokta arasındaki herhangi bir değer bulunması isteniyorsa interpolasyon polinomu 2.derece olacağından dolayı yapılan işleme kuadratik interpolasyon, eğer dört nokta biliniyor ve bu dört nokta arasındaki herhangi bir değer bulunması isteniyorsa interpolasyon polinomu 3.derece olacağından dolayı yapılan işleme kübik interpolasyon denir.

Radarın görüntülediği hedeften geri saçılan sinyalden oluşturulan veri matrisinin hücrelerinin bazılarının eksik olması durumunda, bir diğer deyişle eksik veri durumunda eksik veri hücrelerinin değerleri, komşu hücrelerinin değerleri kullanılarak interpolasyon yapılarak kestirilebilir. Bu sebeple bu tez çalışmasında eksik veri durumunda lineer ve kuadratik interpolasyona göre hata oranı daha düşük olan kübik interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. İnterpolasyon polinomlarında en çok tercih edilen ise Newton'un bölünmüş farklar polinomları ile Lagrange polinomlarıdır [27]. Bu çalışmada kübik interpolasyon yönteminde çözüm polinomu olarak Lagrange polinomu tercih edilmiştir.

Kübik interpolasyon, bilinen dört nokta üzerinden bu dört nokta arasındaki değer hesaplanması işlemidir. Dört nokta bilindiği için interpolasyon polinomu 3.dereceden olacaktır. Dolayısıyla da 3.dereceden polinom, kübik denklem olarak da bilindiği için bu işlem kübik interpolasyon olarak adlandırılır. Kübik interpolasyon polinomu ise bu tez çalışmasında (4.9) ve (4.10) denklemlerindeki Lagrange polinomu ile hesaplanmıştır ve kübik interpolasyon polinomu (4.11) denklemindeki gibidir:

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x)f(x_i) \quad (4.9)$$

$$L_i(x) = \prod_{j=0}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} \quad (i \neq j) \quad (4.10)$$

$$f_3(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + L_2(x)f(x_2) + L_3(x)f(x_3) \quad (4.11)$$

Bu tez çalışmasında eksik veri matrisi durumunda eksik hücrelerin değeri kübik interpolasyon ile hesaplanırken değeri bilinen komşu dört hücre ile interpolasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve eksik olan hücrenin değeri hesaplanmıştır. Böylece eksik hücrelerin değeri kübik interpolasyonla bulunup veri matrisi dolu hale getirilip 2 boyutlu radar görüntüsü elde edilmiştir.

4.3.2 Seyrek gösterilim yöntemi kullanılarak TYAR görüntüleme

Radar hedefinden geri saçılan sinyalin eksik veri olması durumunda 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturmak için bir önceki bölümde anlatılan kübik interpolasyon yöntemi dışında, bu tez çalışmasında uygulanan ikinci bir yöntem de seyrek gösterilim yöntemidir. 3.bölümde de anlatıldığı gibi seyrek gösterilim yönteminde BP minimizasyon yaklaşımı ile eksik veri doldurulmadan direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi ile çözülerek 2 boyutlu radar görüntüsü oluşturulur.

4.3.3 Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu TYAR görüntüleme

Bu tez çalışmasında eksik veriye uygulanan diğer bir yöntem de seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlamadır. Bu yöntemde eksik veriye direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi uygulanır ve elde edilen seyrek görüntü matrisi sözlük matrisiyle tekrar çarpılarak geri saçılan veri matrisi yeniden oluşturulur. Daha sonrasında ise yeniden oluşturulan geri saçılan veri matrisi Fourier dönüşüm işlemleri ile 2 boyutlu radar görüntüsünün elde edilmesini sağlar. Seyrek gösterilim yöntemi ile veri tamamlama sonucu radar görüntüsünün oluşturulmasındaki işlem basamakları Şekil 4.5'te bulunan diyagramda gösterilmiştir.

4.4 Radar Görüntülemeye Kullanılan Metrikler

Tez çalışmasında oluşturulan görüntülerin birbirleriyle performans olarak karşılaştırılıp görüntüler arasında nesnel olarak değerlendirme yapılabilmesi için bazı ölçüm metrikleri kullanılmıştır.

Bu ölçüm metriklerinden ilki “Hedefin Arka Plana Oranı (Target to Background Ratio)” kavramıdır. Bu metrik arka plana göre hedefin piksellerinin belirtilmesinin (kuvvetlendirilmesinin) bir ölçütüdür [28]. “Hedefin Arka Plana Oranı” değeri büyüdükçe hedef radar görüntü çerçevesinde daha belirgin görünür. (4.12) denkleminde T hedef bölgesini, f piksel yoğunluğunu, B arka plan bölgesini, N_B arka plan bölgesindeki piksel sayısını ifade etmek üzere Hedefin Arka Plana Oranı (TBR) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$TBR = 20 \log_{10} \left(\frac{\max_{i \in T} (|\hat{f}_i|)}{(1/N_B) \sum_{j \in B} |\hat{f}_j|} \right) \quad (4.12)$$

Bu çalışmada kullanılan diğer bir metrik ise “Entropi”dir. Görüntü keskinliğinin bir ölçütüdür [29]. Daha küçük entropi değerlerinde hata seviyesi düşük olduğundan daha keskin bir görüntü elde edilir. Entropi değeri (4.13) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$ENT = - \sum_{i=0}^G p(i) \log_2(p(i)) \quad (4.13)$$

Bir diğer ölçüm metriği ise “Hedefin Arka Plana Entropi Farkı (Target to Background Entropy Difference)”dır. Bu metrik, hedefin arka plandan ayırt edilmesinin bir ölçütüdür. Hedefin entropisi ile arka planın entropisi arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu değer arttıkça hedef, arka plandan daha rahat ayırt edilebilir.

Bir diğer önemli ölçüm metriği ise “Ana Lob Genişliği (Main Lobe Width)”dir [30]. Bu değer çözünürlük hakkında bilgi vermektedir. Bu değer olabildiği kadar düşük olması durumunda görüntünün çözünürlüğünün yüksek olduğu anlaşılabılır. Bir diğer ölçüm metriği ise “Kontrast” kavramıdır. Kontrast kelime anlamında olduğu gibi karşıtlık demektir. Görüntüde karşıtlığın yüksek olması, görüntünün daha keskin olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla radar görüntülerinde “Kontrast” değerinin “Hedefin Arka Plana Oranı” değeri ile doğru orantılı olması gerekmektedir.

Radar görüntülerinin değerlendirilmesinde bu bölümde ifade edilen 5 adet ölçüm metriği her zaman yeterli olmayabilir. Radar hedefine ait saçıcıların konumlarının doğru tespit edilebilmesi de bir radar görüntüsü için önemli kriterlerden biridir.

5. BENZETİM SONUÇLARI

5.1 Amaç

Tez çalışmasının bu bölümünde ilk olarak, hedeften geri saçılan sinyaller ile oluşturulan veri matrisinin satırlarının eksik olması durumundaki boşluklu veri işlenerek sırasıyla klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, Burg yöntemi, seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim görüntü işareti kullanılarak yapılan veri tamamlama yöntemi ile radar görüntüleri gürültüsüz ve farklı gürültü seviyelerindeki ortamlarda elde edilmiş ve görüntüler metrikler aracılığıyla karşılaştırılmıştır.

Daha sonra ise, hedeften geri saçılan sinyaller ile oluşturulan veri matrisinde rastgele farklı hücrelerin bilgilerinin kaçırılmış olduğu eksik verinin işlenerek sırasıyla klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntem, kübik interpolasyon yöntemi, seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim görüntü işareti kullanılarak yapılan veri tamamlama yöntemi ile radar görüntüleri gürültüsüz ve farklı gürültü seviyelerindeki ortamlarda elde edilmiş ve görüntüler metrikler aracılığıyla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada simülasyonlar için MATLAB programı ve hedef olarak ise Mig-25 savaş uçağı ile Airbus uçağının verileri kullanılmıştır. Mig-25 verisi merkez frekansı $f_c = 9$ GHz olan radarla görüntülenen, yatay ekseninde 18 m ve düşey ekseninde 16 m boyutlarındaki alan gözlenilerek elde edilmiş 64x512 boyutlarındaki “mig25” verisidir. Airbus verisi ise merkez frekansı $f_c = 4$ GHz olan radarla görüntülenen, yatay ekseninde 80 m ve düşey ekseninde 66 m boyutlarındaki alan gözlenilerek elde edilmiş 32x64 boyutlarındaki “airbus” verisidir. Geniş-açı geniş-bant gözlem durumunda 64x64'lük “mig25” verisi ile 32x32'lik “airbus” verisi, dar-açı dar-bant gözlem durumunda 32x32'lik “mig25” verisi ile 16x16'lık “airbus” verisi kullanılmıştır.

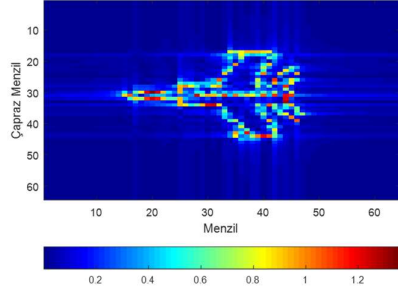
5.2 Boşluklu Veri Durumunda TYAR Görüntüleme Yöntemleri Sonuçları ve Sonuçların Karşılaştırılması

Radar görüntüleme, görüntülenen hedeften geri yansıyan sinyaller ile oluşturulan veri matrisinin bazı satırlarının boş olması durumunda boşluklu veri ile geniş-açı geniş-bant ve dar-açı dar-bant koşulları altında radar görüntüleri elde edilmiş ve görüntüler bir önceki bölümde belirtilen metrikler ile karşılaştırılmıştır.

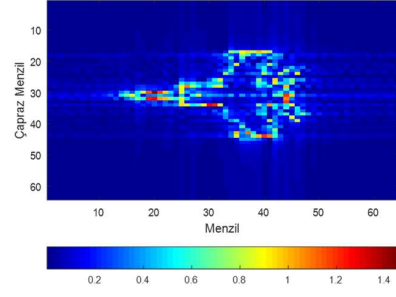
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.1’de görülebilmektedir. Gürültüsüz ortamda, Çizelge 5.1’deki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.1’deki radar görüntüleri incelendiğinde boşluklu veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir. Ayrıca hedefe ait saçıcılar da bu iki yöntemle elde edilen Şekil 5.1 e ve Şekil 5.1 f’deki radar görüntülerinde daha ayırt edilebilirdir.

Çizelge 5.1: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

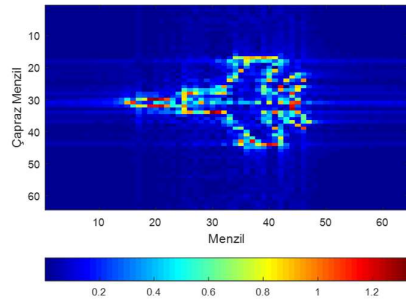
Gürültüsüz Ortam	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	36,05	4,67	0,52	131,00	1,68
Boşluklu Veri (IFFT)	36,01	4,66	0,51	103,00	1,64
Boşluklu Veri (Burg)	19,81	6,17	-0,01	72,00	0,91
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	55,13	2,08	1,18	20,00	7,68
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	39,33	4,10	0,69	34,00	6,56
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	29,43	3,57	0,76	51,00	1,49



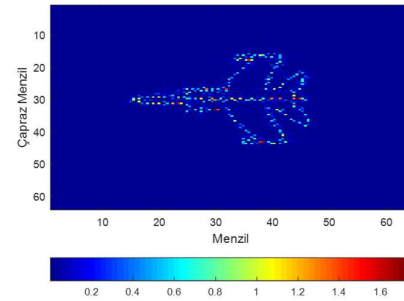
a.



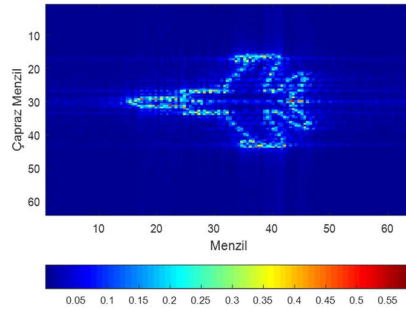
b.



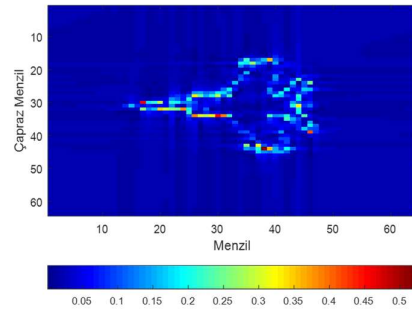
c.



d.



e.



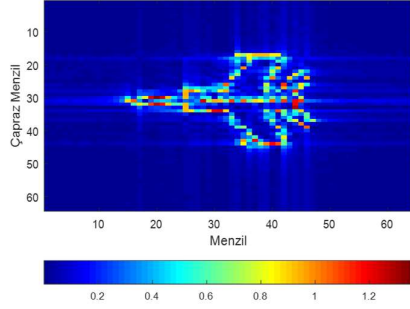
f.

Şekil 5.1: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

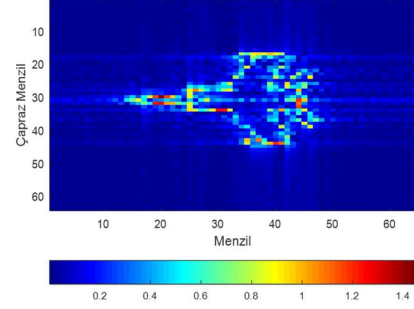
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında SNR=30 dB ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.2’de görülebilmektedir. SNR=30 dB gürültü seviyesinde de Çizelge 5.2’deki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.2’deki radar görüntüleri incelendiğinde boşluklu veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir. Ayrıca hedefe ait saçıcılar da bu iki yöntemle elde edilen Şekil 5.2 e ve Şekil 5.2 f’deki radar görüntülerinde daha ayırt edilebilirdir.

Çizelge 5.2: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

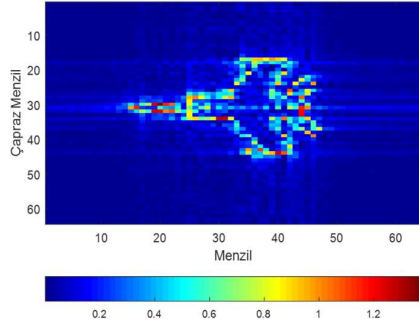
SNR 30 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	35,73	4,76	0,46	131,00	1,68
Boşluklu Veri (IFFT)	35,62	4,73	0,45	103,00	1,64
Boşluklu Veri (Burg)	20,62	6,18	-0,02	70,00	0,92
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	47,36	3,01	0,94	22,00	7,17
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	54,29	2,02	1,12	28,00	7,62
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	41,39	3,21	1,24	30,00	1,70



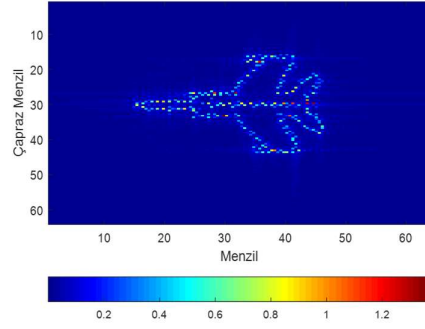
a.



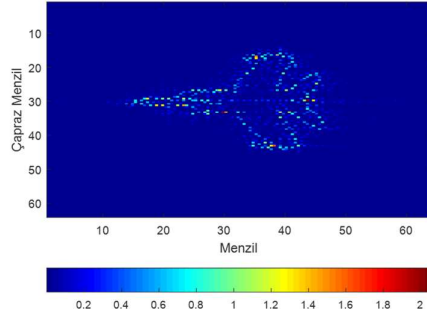
b.



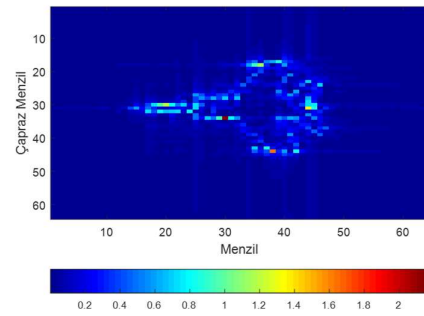
c.



d.



e.



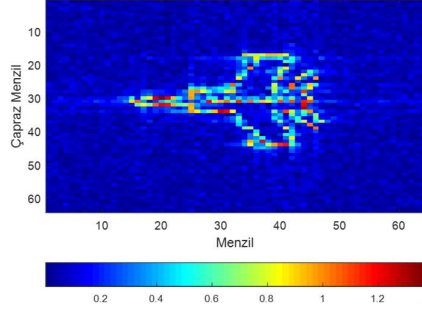
f.

Şekil 5.2: Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

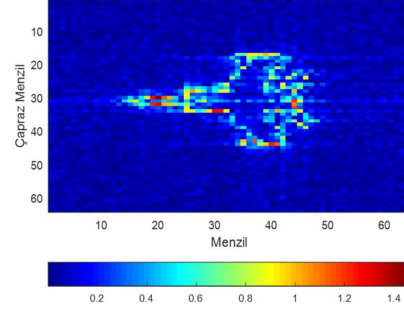
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında SNR=10 dB gürültü seviyesinin daha yüksek olduğu ortamda da, boşluklu veri durumunda en iyi görüntü performansının seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile sağlandığı Şekil 5.3 e ve Şekil 5.3 f’den görülebileceği gibi Çizelge 5.3’ten de anlaşılabilmektedir; fakat Şekil 5.3 f incelendiğinde seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yönteminin oluşturduğu görüntüde hedefin saçıcılarının kaybolmaya başladığı gözlemlenebilmektedir. Bu sebeple gürültü seviyesinin arttığı durumlarda boşluklu veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi performansa sahip radar görüntüleri oluşturmaktadır.

Çizelge 5.3: Boşluklu veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

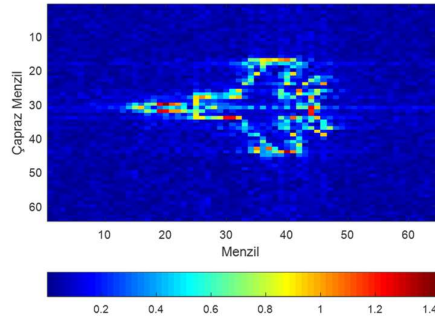
SNR 10 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	27,41	5,29	0,23	130,00	1,53
Boşluklu Veri (IFFT)	28,56	5,18	0,24	113,00	1,50
Boşluklu Veri (Burg)	21,37	6,21	-0,04	70,00	0,91
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	42,77	2,75	0,63	24,00	7,35
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	41,30	3,08	0,63	26,00	6,73
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	39,91	3,34	1,11	28,00	1,69



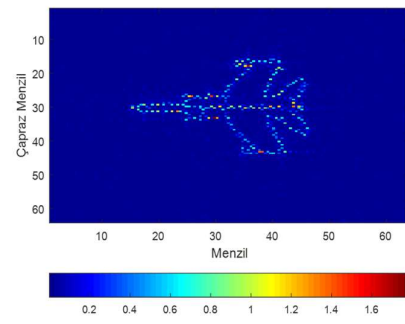
a.



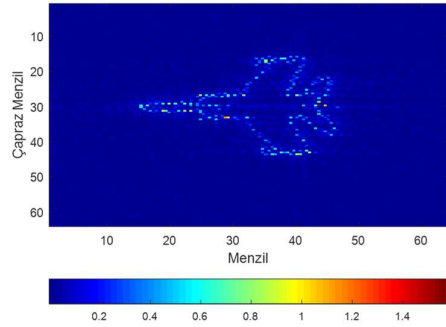
b.



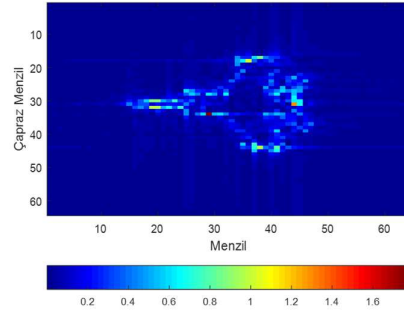
c.



d.



e.



f.

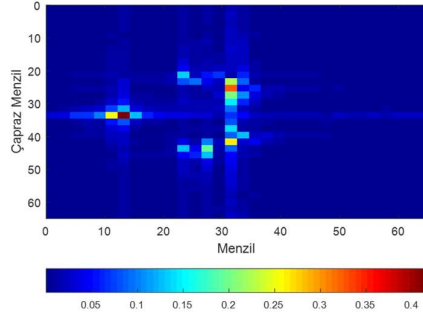
Şekil 5.3: Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

Geniş-açı geniş-bant koşulu altında gürültüsüz, SNR=10 dB ve SNR=30 dB ortamlarda boşluklu Mig-25 verisine uygulanan yöntemler boşluklu Airbus verisi için de uygulanmıştır. Benzer sonuçlar burada da elde edilmiştir.

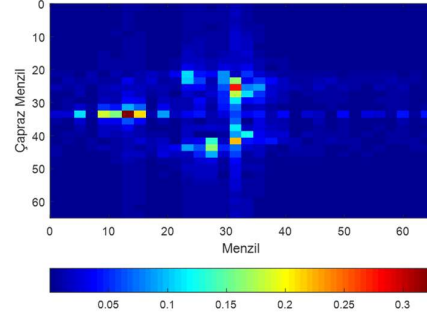
Şekil 5.4 a'da orijinal veriye IFFT uygulanarak radar görüntüsü elde edilmiştir. Şekil 5.4 d'de de orijinal veriye seyrek gösterilim yöntemi uygulanarak yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturulmuştur. İki yöntemle orijinal veriden elde edilen görüntüler incelendiğinde seyrek gösterilim yönteminde görüntünün daha keskin, çözünürlüğün daha yüksek olduğu, hedefin saçıcılarının daha iyi ayırt edilebildiği gözlemlenebilmektedir. Veri boşluklu olduğu zaman ise en iyi yöntemin, boşluklu veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi olduğu Şekil 5.4 e'den anlaşılabilmektedir. Boşluklu veriye seyrek gösterilim yöntemi uygulandığında Burg yöntemi ve seyrek gösterilim yöntemi sonucu veri tamamlama yöntemine göre görüntüde saçıcılar daha belirgin, görüntü daha keskin ve çözünürlük daha yüksektir. Boşluklu veri durumu için seyrek gösterilim yönteminden sonra en iyi yöntem seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemidir. Şekil 5.4 f incelendiğinde hedefteki Airbus uçağının saçıcılarının Burg yöntemiyle oluşturulan görüntüdekine göre daha belirgin olduğu görülebilmektedir. Benzer durumlar Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 incelendiğinde gürültülü ortamlarda da gözlemlenmektedir.

Özetle, gürültüsüz ortamdaki Şekil 5.4'teki radar görüntüleri ile SNR=30dB gürültü seviyesindeki ortamda Şekil 5.5'teki radar görüntüleri incelendiğinde seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yönteminden de verimli sonuçlar elde edilebilirken, gürültü seviyesinin arttırıldığı SNR=10dB ortamda Şekil 5.6 f görüntüsü incelendiğinde seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile oluşturulan görüntünün Şekil 5.6 c'deki Burg yöntemiyle oluşturulan görüntüye performans olarak yakınsadığı, özetle kötüleştiği gözlemlenebilmektedir.

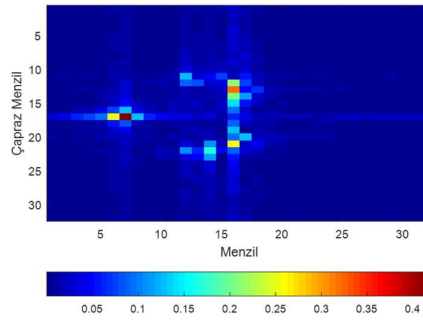
Sonuç olarak geniş-açı geniş-bant koşulunda boşluklu veriden radar görüntüsü elde edilirken görüntü performansı en yüksek 2 yöntem, seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi iken; gürültü seviyesi arttıkça boşluklu veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, başarılı görüntü elde etmede yalnız kalmaktadır.



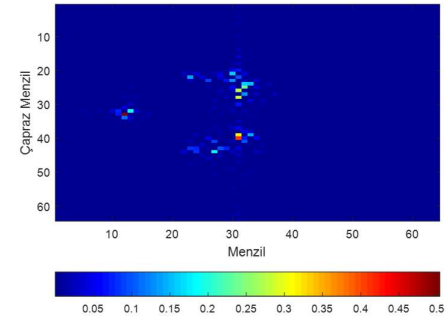
a.



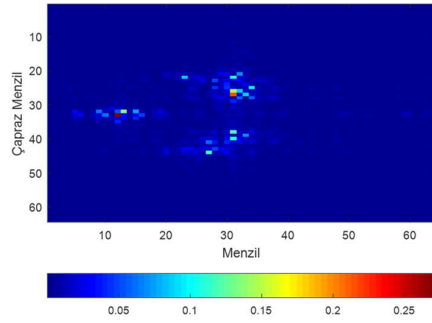
b.



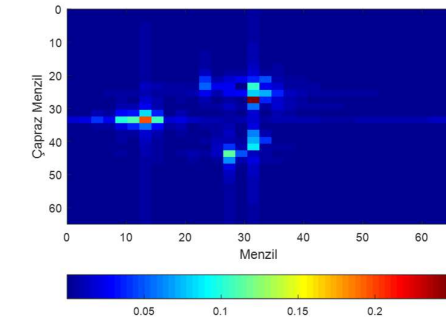
c.



d.

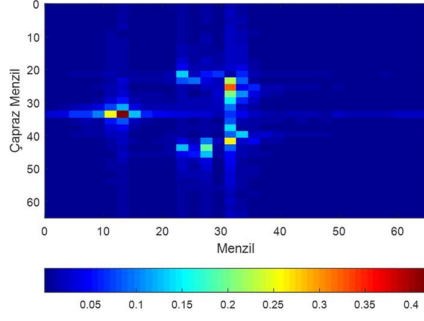


e.

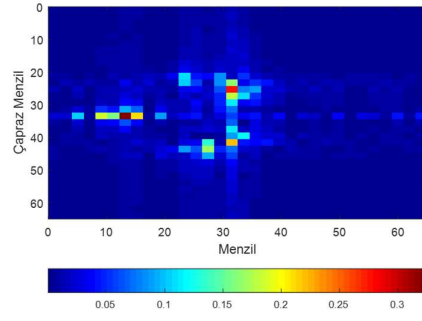


f.

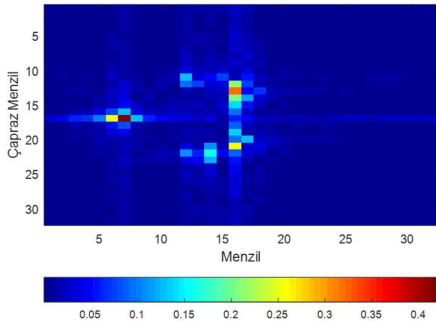
Şekil 5.4: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



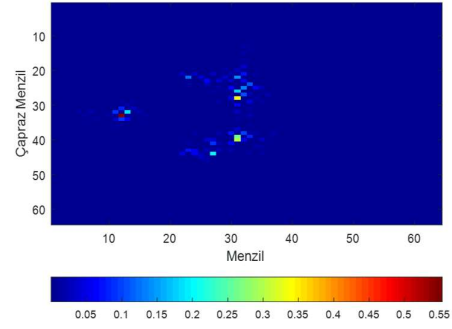
a.



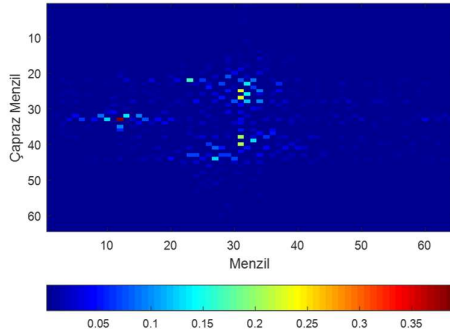
b.



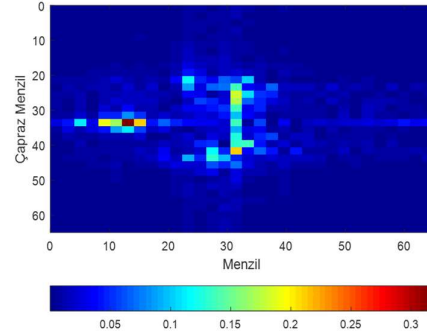
c.



d.

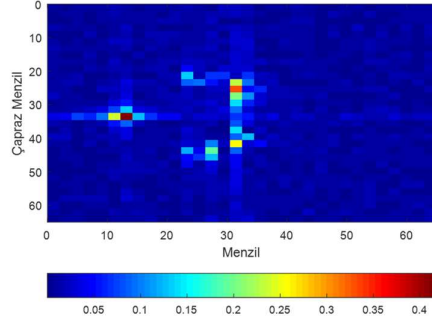


e.

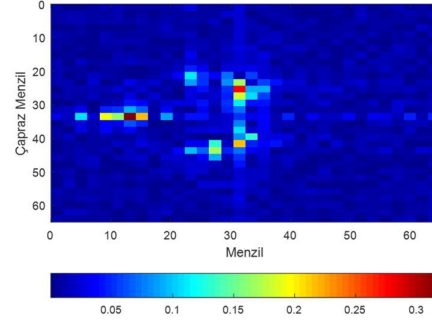


f.

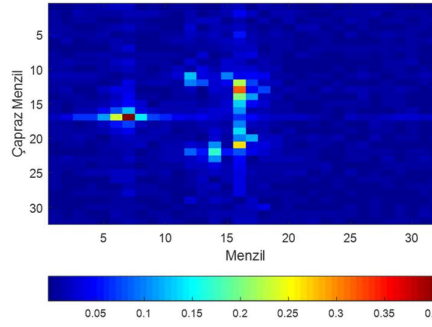
Şekil 5.5: Geniş-açı geniş-bantta SNR=30dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



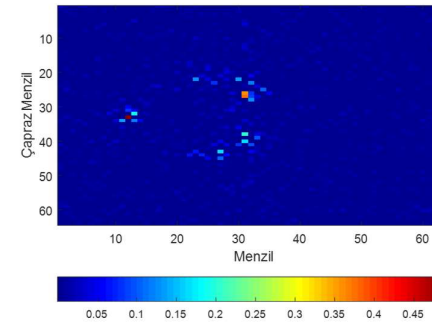
a.



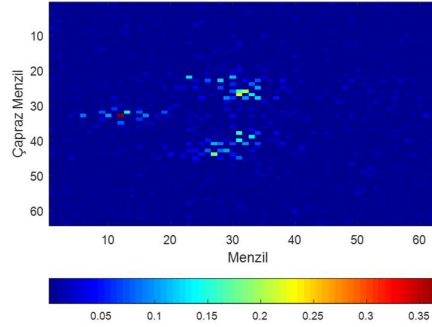
b.



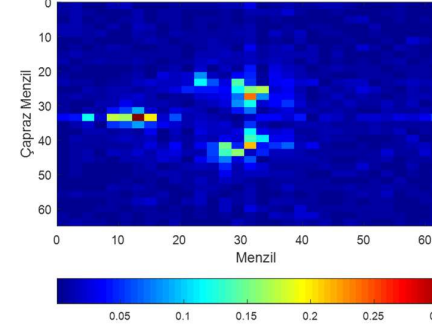
c.



d.



e.



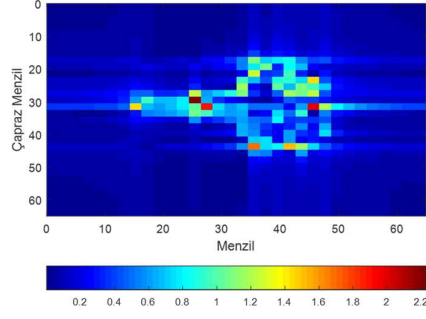
f.

Şekil 5.6: Geniş-açı geniş-bantta SNR=10dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

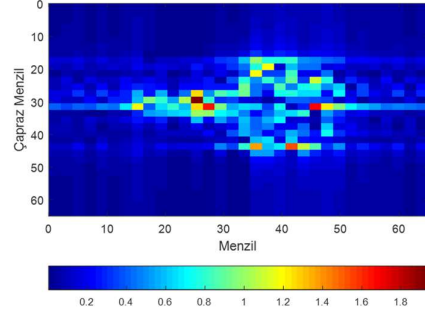
Boşluklu veri durumunda şimdi de dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda, 2 boyutlu radar görüntüleri çıkarılmıştır. Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.7’de görülebilmektedir. Gürültüsüz ortamda da Çizelge 5.4’teki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.7’deki radar görüntüleri incelendiğinde boşluklu veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.7 e ve Şekil 5.7 f’deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 5.4: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

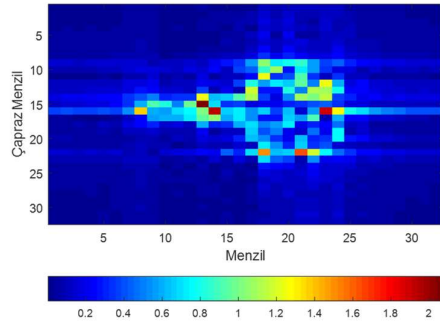
Gürültüsüz Ortam	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	29,25	5,30	0,34	56,00	0,37
Boşluklu Veri (IFFT)	27,78	5,52	0,29	99,00	0,37
Boşluklu Veri (Burg)	20,28	5,94	-0,01	59,00	0,24
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	41,82	3,43	0,70	20,00	1,72
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	41,40	3,37	0,65	30,00	1,74
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	32,05	4,36	0,68	36,00	0,37



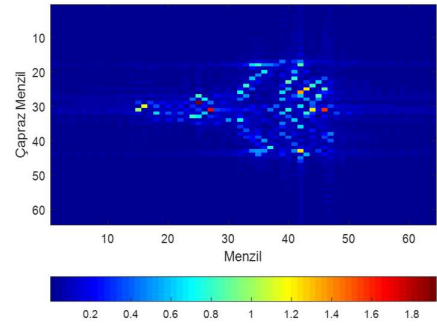
a.



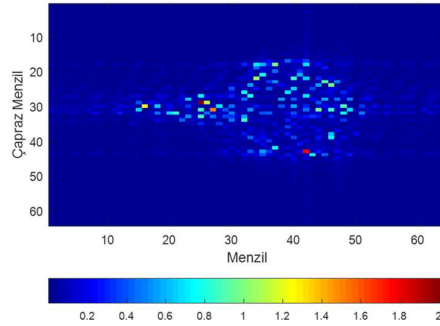
b.



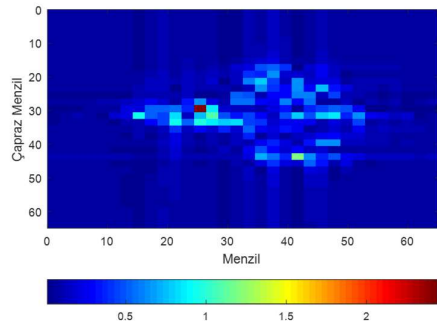
c.



d.



e.



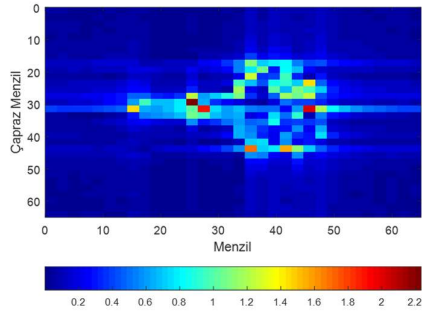
f.

Şekil 5.7: Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

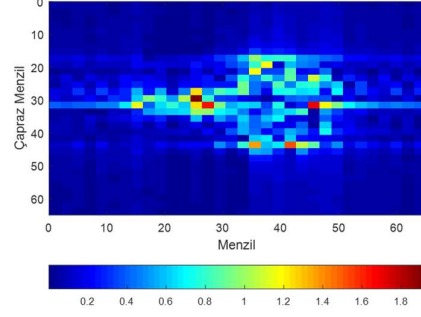
Dar-açı dar-bant koşulu altında SNR=30 dB ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.8’de görülebilmektedir. SNR=30 dB gürültü seviyesinde de Çizelge 5.5’teki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.8’deki radar görüntüleri incelendiğinde boşluklu veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.8 e ve Şekil 5.8 f’deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 5.5: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

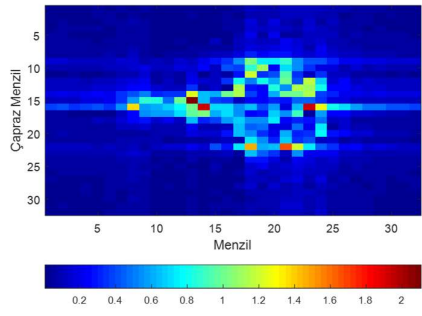
SNR 30 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	29,19	5,34	0,30	56,00	0,37
Boşluklu Veri (IFFT)	27,69	5,60	0,29	100,00	0,36
Boşluklu Veri (Burg)	20,29	5,92	-0,04	59,00	0,23
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	51,34	1,92	0,84	24,00	1,89
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	42,21	3,23	0,64	30,00	1,79
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	32,99	4,52	0,58	34,00	0,37



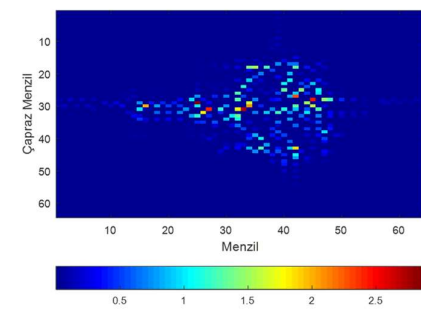
a.



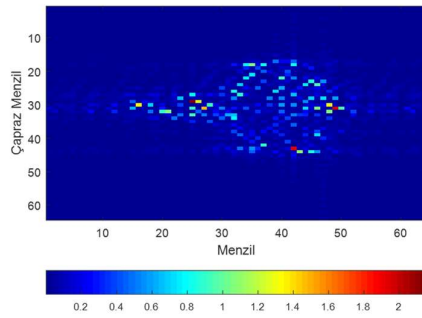
b.



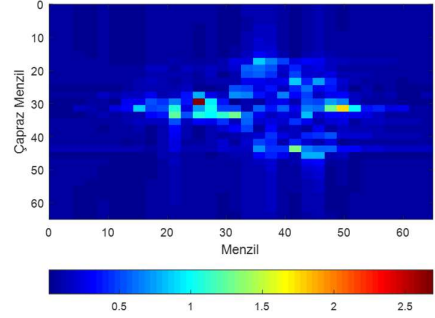
c.



d.



e.



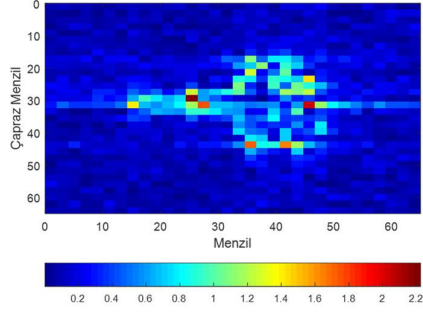
f.

Şekil 5.8: Dar-açı dar-bantta SNR=30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

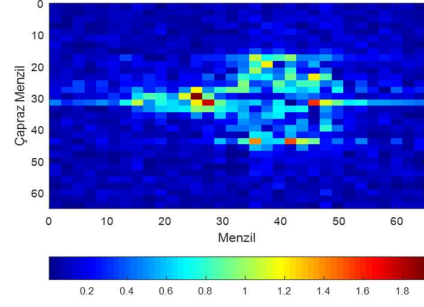
Dar-açı dar-bant koşulu altında SNR=10 dB gürültü seviyesinin daha yüksek olduğu ortamda da, boşluklu veri durumunda en iyi görüntü performansının seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile sağlandığı Şekil 5.9 e ve Şekil 5.9 f’den görülebileceği gibi Çizelge 5.6’dan da anlaşılabilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitindeki sorunların devam ettiği, saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.9 e ve Şekil 5.9 f’deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir. Bu sebeple gürültü seviyesinin arttığı durumlarda saçıcıların konumlarının tespitinde her yöntem için sorunlar bulunduğu söylenebilir.

Çizelge 5.6: Boşluklu veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR=10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

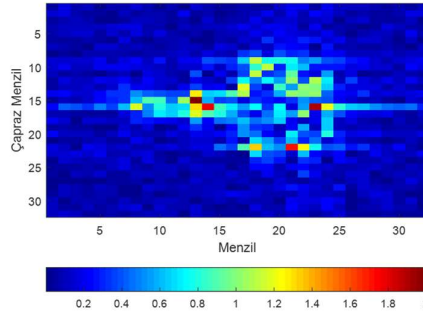
SNR 10 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	25,24	5,67	0,14	56,00	0,34
Boşluklu Veri (IFFT)	25,01	5,81	0,16	106,00	0,34
Boşluklu Veri (Burg)	19,36	6,02	0,00	62,00	0,23
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	36,20	3,97	0,38	32,00	1,58
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim)	39,09	3,10	0,23	34,00	1,79
Boşluklu Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	33,73	4,82	0,26	35,00	0,37



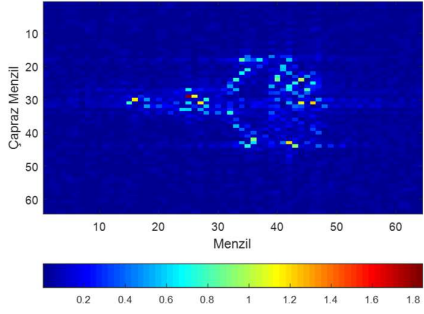
a.



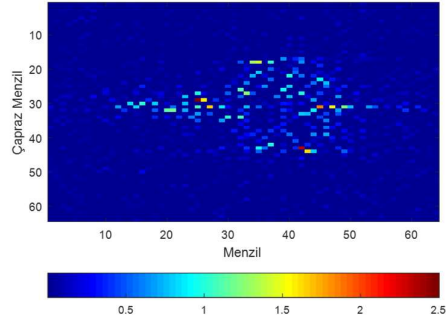
b.



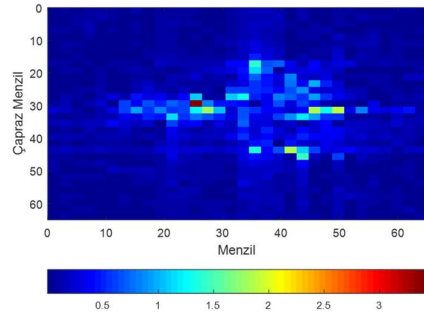
c.



d.



e.



f.

Şekil 5.9: Dar-açı dar-bantta SNR=10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

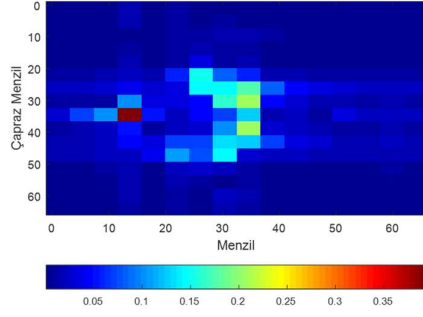
Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz, SNR=10 dB ve SNR=30 dB ortamlarda boşluklu Mig-25 verisine uygulanan yöntemler boşluklu Airbus verisi için de uygulanmıştır. Dar-açı dar-bant Airbus verisi 16x16'lık küçük bir matris olduğu için yöntemlerin oluşturduğu görüntülerde sorunlar oluşmaktadır.

Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.10'da görülebilmektedir. Gürültüsüz ortamda Şekil 5.10'daki radar görüntüleri incelendiğinde boşluklu veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.10 e ve Şekil 5.10 f'deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir. Benzer durumlar gürültülü ortamlarda Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de de görülebilmektedir.

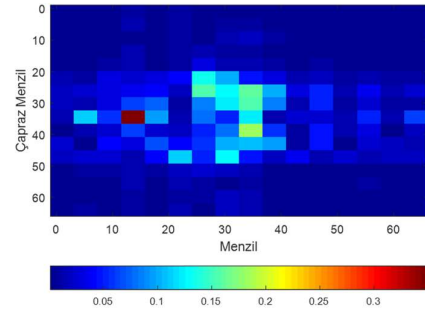
Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 incelendiğinde, seyrek gösterilim yönteminin boşluklu veriye direkt uygulanması sonucu elde edilen radar görüntüsünün çözünürlüğünün ve keskinliğinin daha iyi olduğu; fakat saçıcıların tespitinin zorlaştığı gözlemlenmiştir. Seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemiyle elde edilen radar görüntüsünün de Burg yöntemiyle elde edilen radar görüntüsüne göre saçıcıların tespitinde zayıf kaldığı anlaşılmıştır.

Özetle, dar-açı dar-bant boşluklu Airbus verisinden görüntü oluşturmada en etkili yöntemin seyrek gösterilim yöntemi olduğu görüntüler incelendiğinde anlaşılabilmektedir. Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 incelendiğinde çözünürlüğü iyi olmasa da saçıcıların konumunu yakın bulan diğer yöntemin de Burg yöntemi olduğu görülebilmektedir.

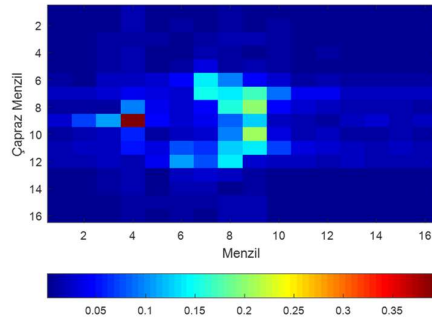
Sonuç olarak dar-açı dar-bant koşulunda boşluklu veriden radar görüntüsü elde edilirken görüntü performansı en yüksek 2 yöntemin seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi olduğu anlaşılmıştır.



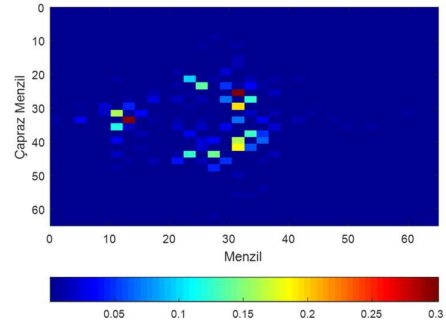
a.



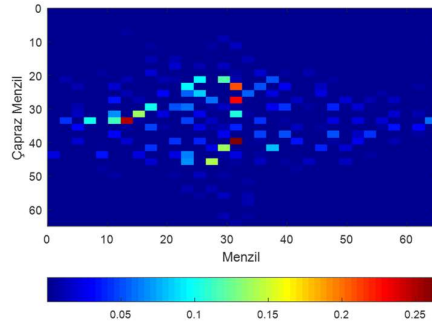
b.



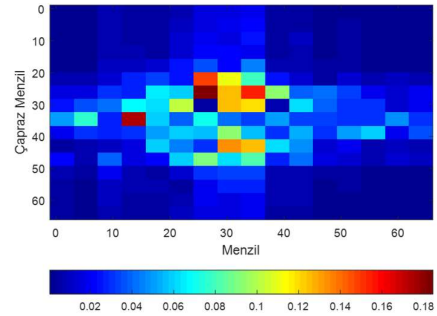
c.



d.

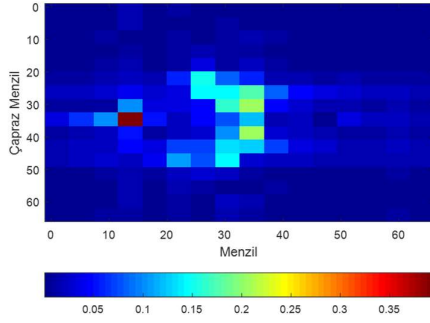


e.

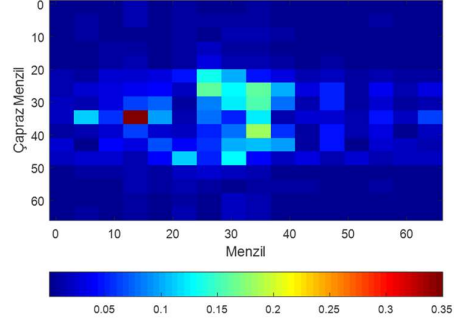


f.

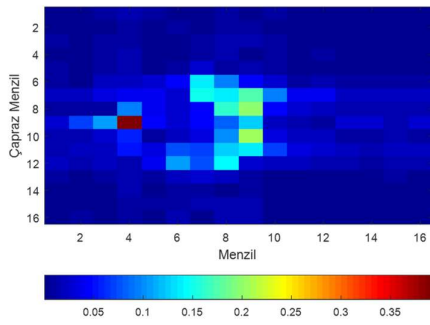
Şekil 5.10: Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



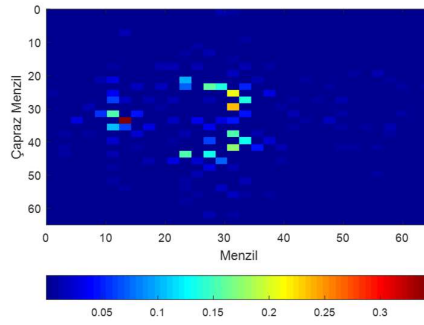
a.



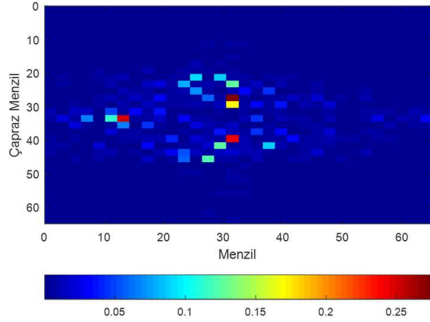
b.



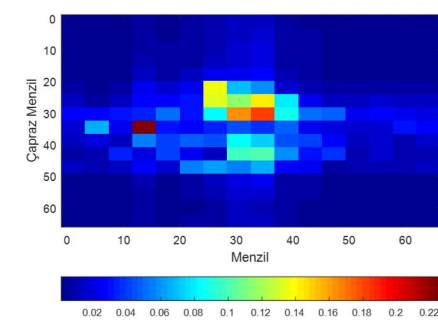
c.



d.

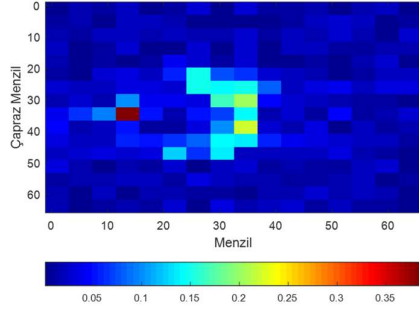


e.

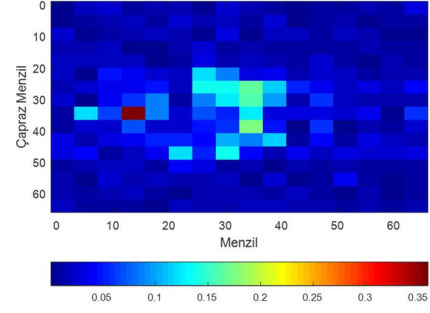


f.

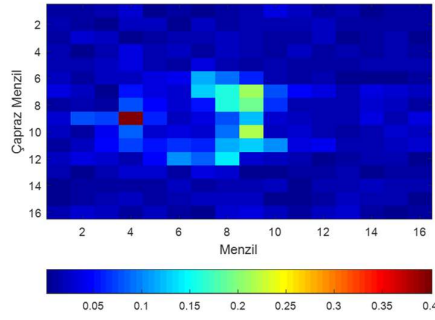
Şekil 5.11: Dar-açı dar-bantta SNR= 30 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



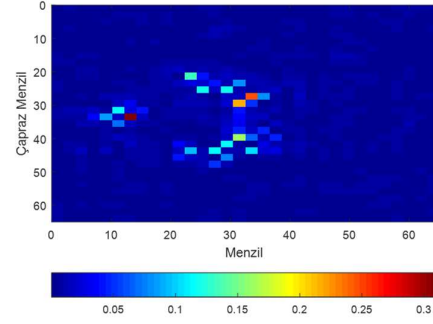
a.



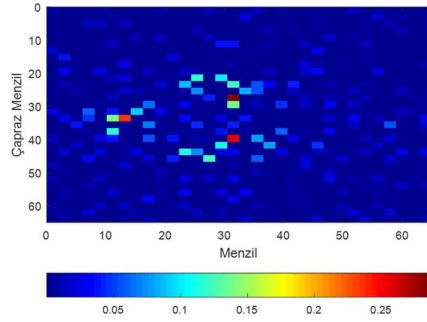
b.



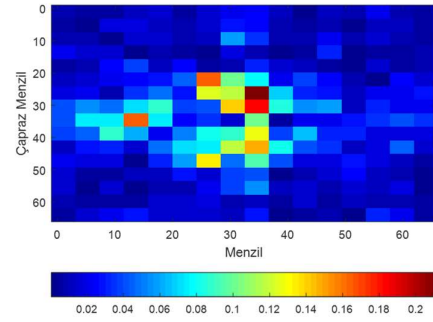
c.



d.



e.



f.

Şekil 5.12: Dar-açı dar-bantta SNR= 10 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Boşluklu veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Boşluklu veriye uygulanan Burg metodu, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Boşluklu veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Boşluklu veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

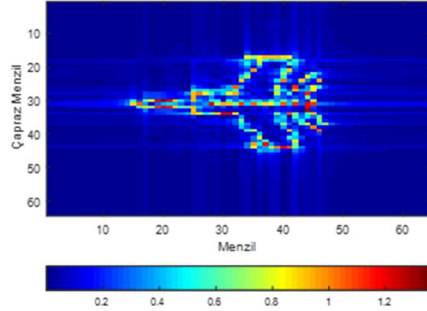
5.3 Eksik Veri Durumunda TYAR Görüntüleme Yöntemleri Sonuçları ve Sonuçların Karşılaştırılması

Radar görüntüleme, görüntülenen hedeften geri yansıyan sinyaller ile oluşturulan veri matrisinin bazı hücrelerinin eksik olması durumunda eksik veri ile geniş-açı geniş-bant ve dar-açı dar-bant koşulları altında radar görüntüleri elde edilmiş ve görüntüler bir önceki bölümde belirtilen metrikler ile karşılaştırılmıştır.

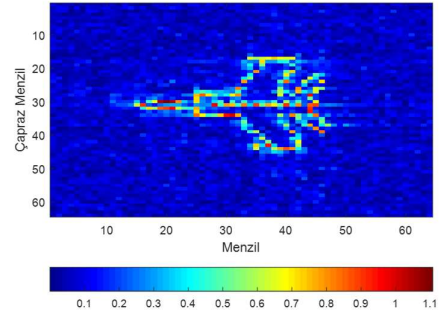
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda, gerek görüntü çözünürlüğü gerekse de görüntü keskinliği açısından Çizelge 5.7 ve Şekil 5.13 incelendiğinde de görülebileceği üzere en etkili iki yöntem seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemidir. Kübik interpolasyon yöntemi de görüntü keskinliği açısından başarılı olsa da çözünürlük açısından eksik veriye direkt uygulanan IFFT yönteminden çok fark içermemektedir.

Çizelge 5.7: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

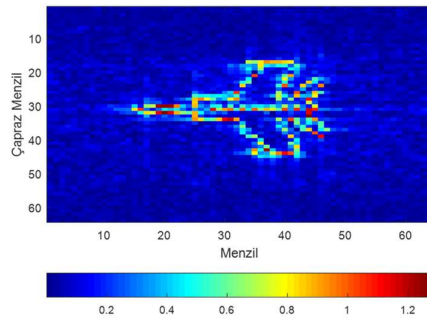
Gürültüsüz Ortam	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	36,05	4,67	0,52	131,00	1,68
Eksik Veri (IFFT)	24,48	5,62	0,18	137,00	1,37
Eksik Veri (İnterpolasyon)	27,52	5,35	0,23	128,00	1,55
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	55,13	2,08	1,18	42,00	7,68
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	36,97	3,57	0,45	52,00	6,74
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	39,44	3,65	0,87	27,00	1,70



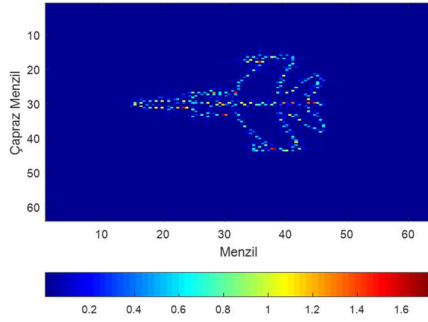
a.



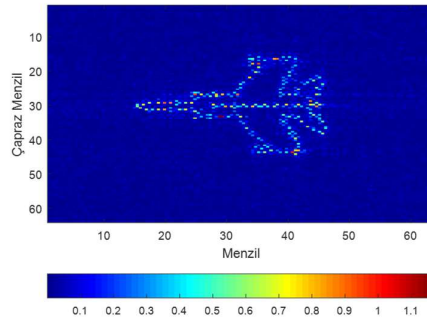
b.



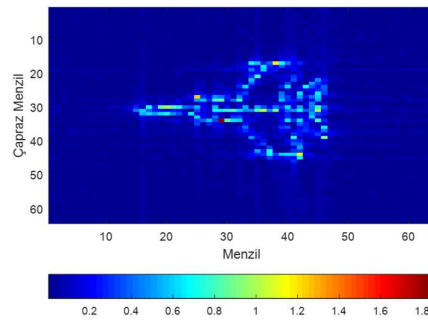
c.



d.



e.



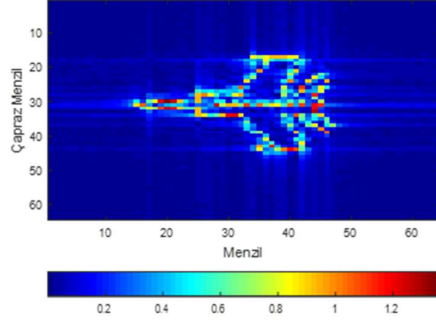
f.

Şekil 5.13: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

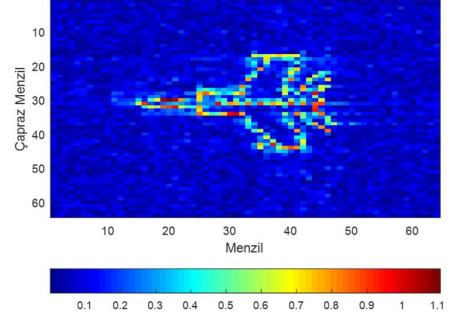
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında SNR= 30 dB ortamda da gerek görüntü çözünürlüğü gerekse de görüntü keskinliği açısından Çizelge 5.8 ve Şekil 5.14 incelendiğinde de görülebileceği üzere en etkili iki yöntem seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemidir. Kübik interpolasyon yöntemi de görüntü keskinliği açısından başarılı olsa da çözünürlük açısından eksik veriye direkt uygulanan IFFT yönteminden çok fark içermemektedir.

Çizelge 5.8: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

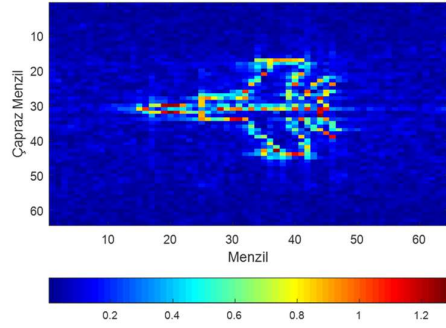
SNR 30 dB	Hedefin Arka Plana Oram	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	35,73	4,76	0,46	131,00	1,68
Eksik Veri (IFFT)	24,45	5,62	0,18	137,00	1,36
Eksik Veri (İnterpolasyon)	27,43	5,34	0,23	128,00	1,55
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	47,36	3,01	0,94	34,00	7,17
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	37,08	3,00	0,16	32,00	6,92
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	30,29	4,91	0,34	26,00	1,53



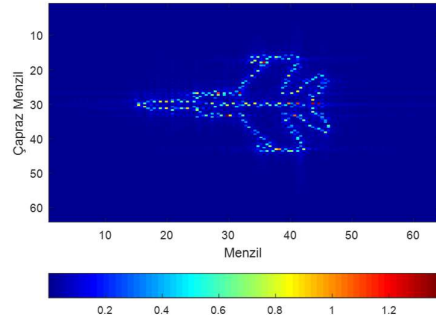
a.



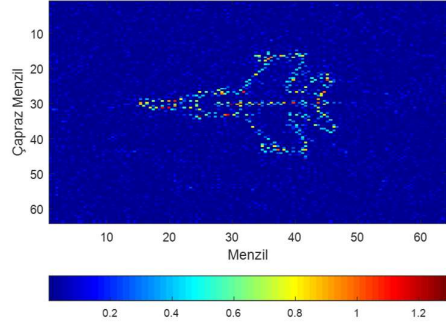
b.



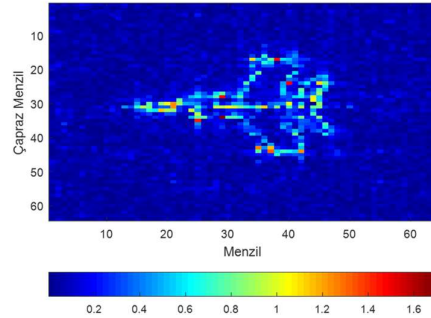
c.



d.



e.



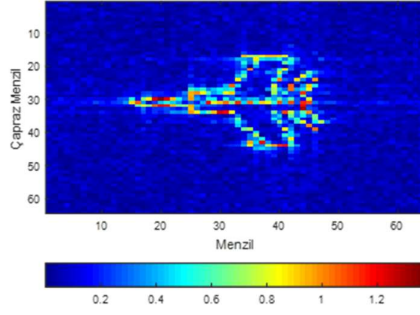
f.

Şekil 5.14: Geniş-açı geniş-bantta SNR= 30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

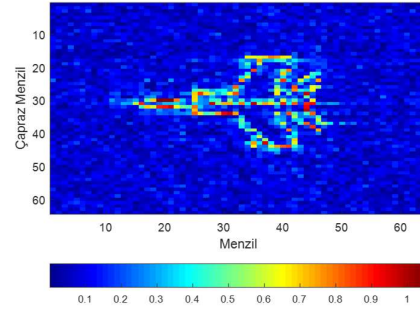
Geniş-açı geniş-bant koşulu altında SNR= 10 dB olduğu gürültünün arttığı ortamda da Çizelge 5.9 ve Şekil 5.15 incelendiğinde seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edilen görüntülerin çözünürlüklerinin ve keskinliklerinin diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.9: Eksik veri için geniş-açı geniş-bant koşulunda SNR=10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

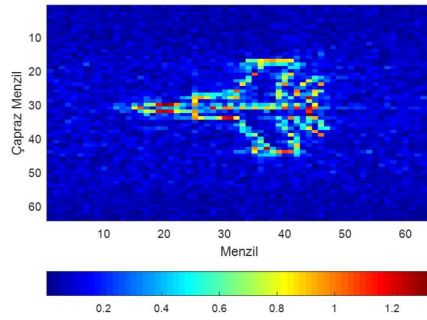
SNR 10 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	27,41	5,29	0,23	130,00	1,53
Eksik Veri (IFFT)	22,36	5,83	0,14	151,00	1,26
Eksik Veri (İnterpolasyon)	24,43	5,61	0,17	129,00	1,40
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	42,77	2,75	0,63	40,00	7,35
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	36,44	3,28	0,24	50,00	6,83
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	33,12	4,46	0,43	55,00	1,55



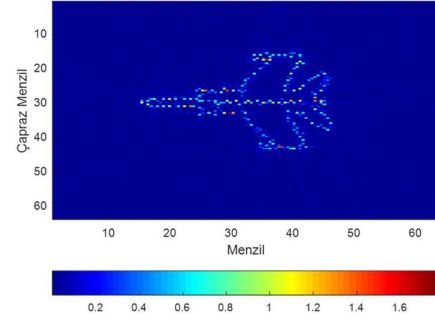
a.



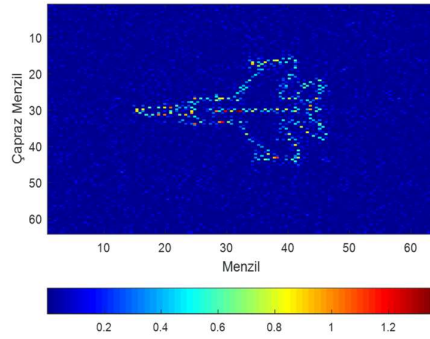
b.



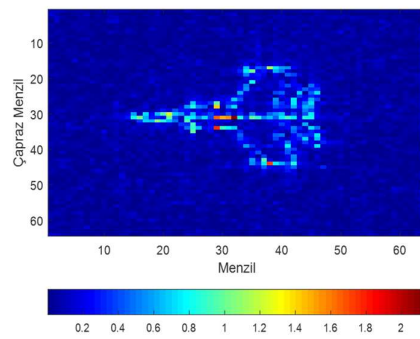
c.



d.



e.



f.

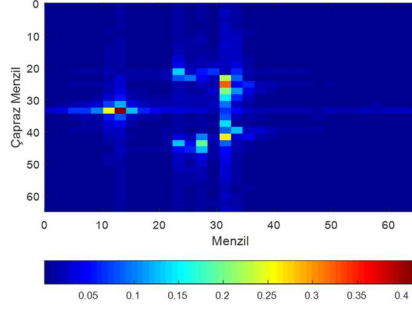
Şekil 5.15: Geniş-açı geniş-bantta SNR= 10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

Geniş-açı geniş-bant koşulu altında gürültüsüz, SNR=10 dB ve SNR=30 dB ortamlarda eksik Mig-25 verisine uygulanan yöntemler eksik Airbus verisi için de uygulanmıştır. Benzer sonuçlar burada da elde edilmiştir.

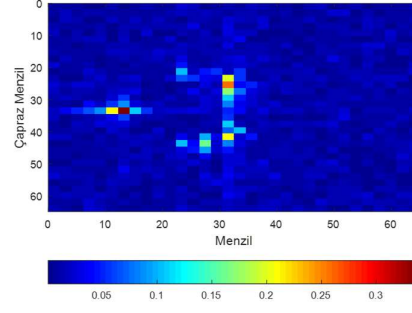
Şekil 5.16 a'da orijinal veriye IFFT uygulanarak radar görüntüsü elde edilmiştir. Şekil 5.16 d'de de orijinal veriye seyrek gösterilim yöntemi uygulanarak yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturulmuştur. İki yöntemle orijinal veriden elde edilen görüntüler incelendiğinde seyrek gösterilim yönteminde görüntünün daha keskin, çözünürlüğünün daha yüksek olduğu, hedefin saçıcılarının daha iyi ayırt edilebildiği gözlemlenebilmektedir. Veri eksik olduğu zaman ise en iyi yöntemin, eksik veriye direkt olarak uygulanan seyrek gösterilim yöntemi olduğu Şekil 5.16 e'den anlaşılabilmektedir. Eksik veriye seyrek gösterilim yöntemi uygulandığında kübik interpolasyon yöntemi ve seyrek gösterilim yöntemi sonucu veri tamamlama yöntemine göre görüntüde saçıcılar daha belirgin, görüntü daha keskin ve çözünürlük daha yüksektir. Eksik veri durumu için de seyrek gösterilim yönteminden sonra en iyi yöntem seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemidir. Şekil 5.16 f incelendiğinde hedefteki Airbus uçağının saçıcılarının kübik interpolasyon yöntemiyle oluşturulan görüntüdekine göre daha belirgin olduğu görülebilmektedir. Benzer durumlar Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 incelendiğinde gürültülü ortamlarda da gözlemlenmektedir.

Özetle, gürültüsüz ortamdaki Şekil 5.16'daki radar görüntüleri ile gürültülü ortamda Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'deki radar görüntüleri incelendiğinde seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yönteminden de verimli sonuçlar elde edilebilmektedir.

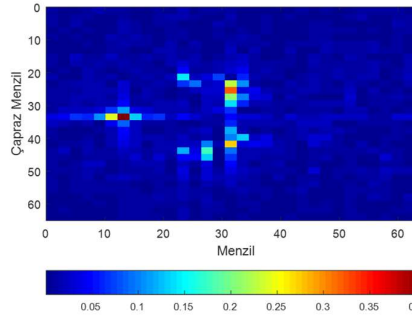
Sonuç olarak geniş-açı geniş-bant koşulunda eksik veriden radar görüntüsü elde edilirken görüntü performansı en yüksek 2 yöntem, seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemidir.



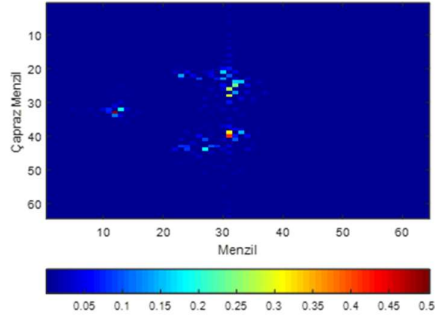
a.



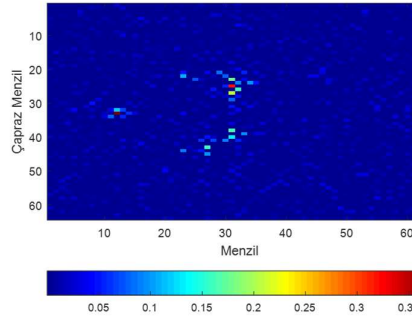
b.



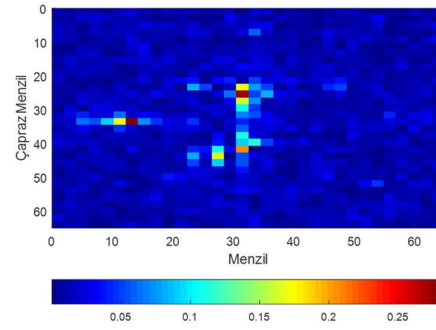
c.



d.

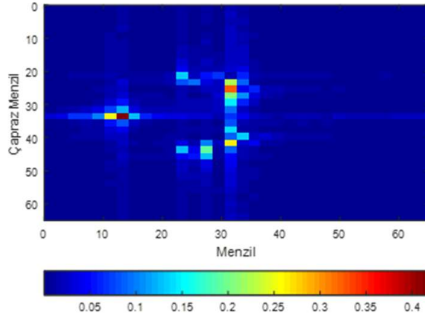


e.

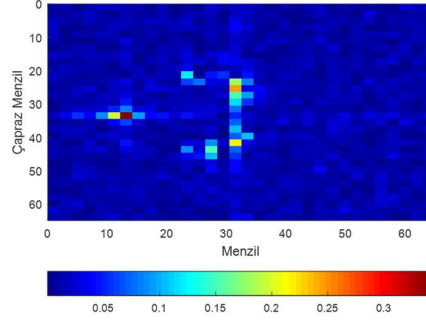


f.

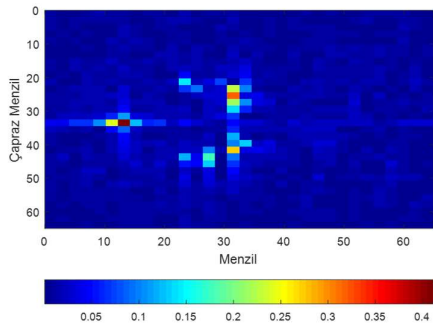
Şekil 5.16: Geniş-açı geniş-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



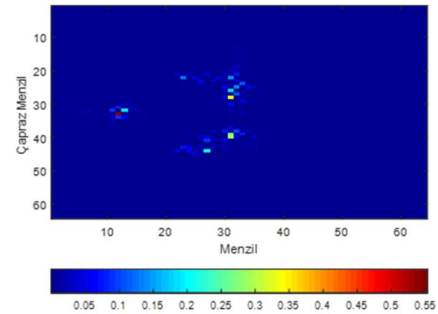
a.



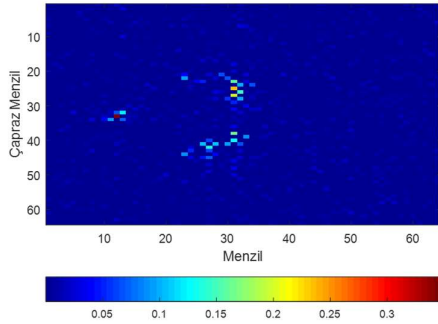
b.



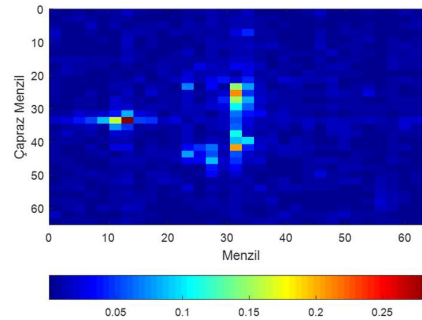
c.



d.

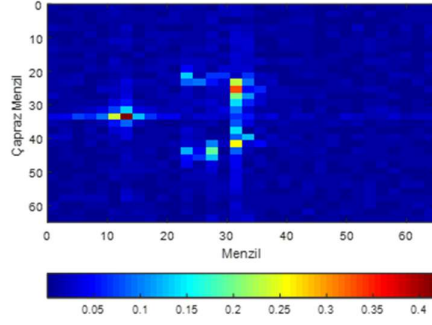


e.

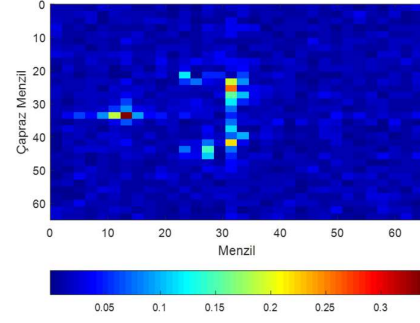


f.

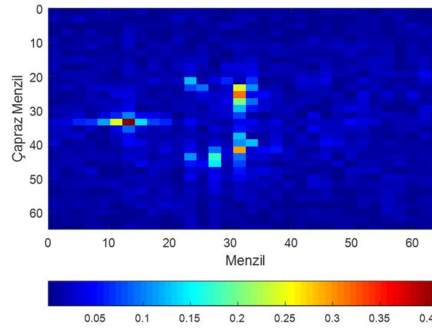
Şekil 5.17: Geniş-açı geniş-bantta SNR= 30 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



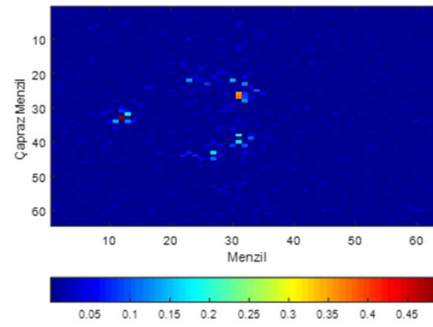
a.



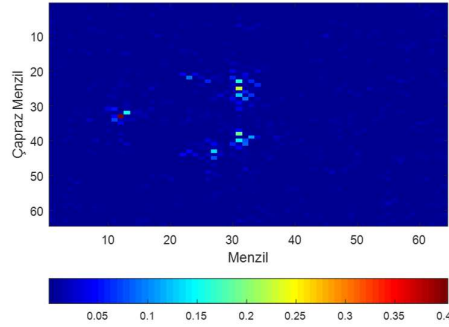
b.



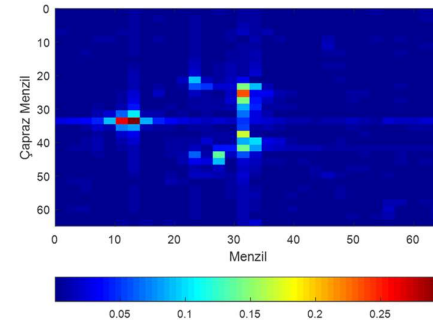
c.



d.



e.



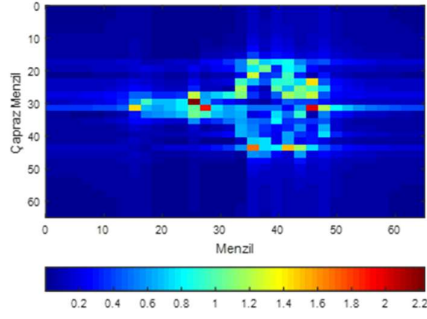
f.

Şekil 5.18: Geniş-açı geniş-bantta SNR= 10 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

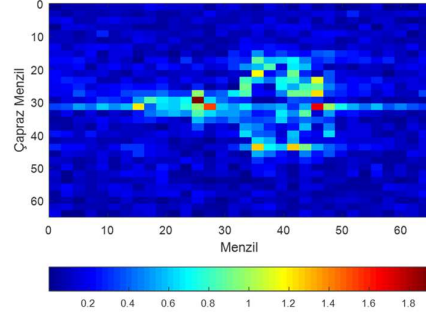
Eksik veri durumunda şimdi de dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda, 2 boyutlu radar görüntüleri çıkarılmıştır. Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.19'da görülebilmektedir. Gürültüsüz ortamda da Çizelge 5.10'daki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.19'daki radar görüntüleri incelendiğinde eksik veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.19 e ve Şekil 5.19 f'deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 5.10: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

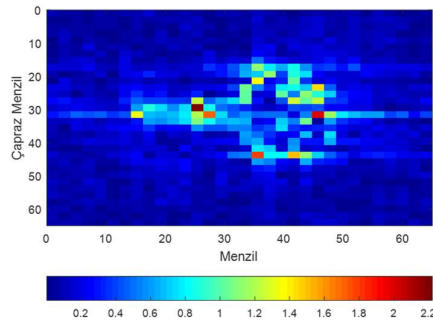
Gürültüsüz Ortam	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	29,25	5,30	0,34	56,00	0,37
Eksik Veri (IFFT)	22,52	5,80	0,11	54,00	0,31
Eksik Veri (İnterpolasyon)	26,81	5,63	0,16	64,00	0,35
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	41,82	3,43	0,70	20,00	1,72
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	34,47	3,86	0,33	20,00	1,64
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	28,83	4,67	0,38	32,00	0,35



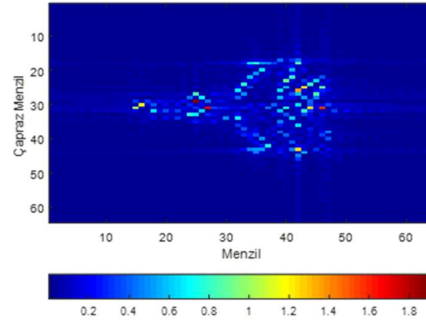
a.



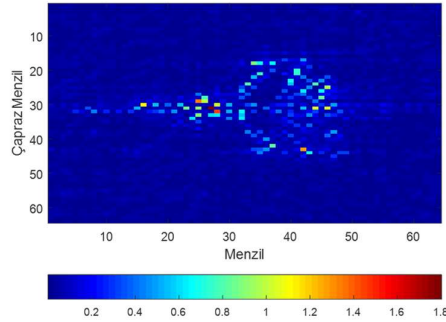
b.



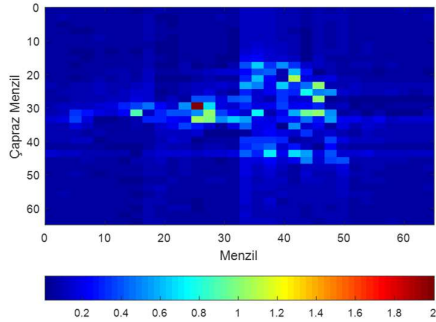
c.



d.



e.



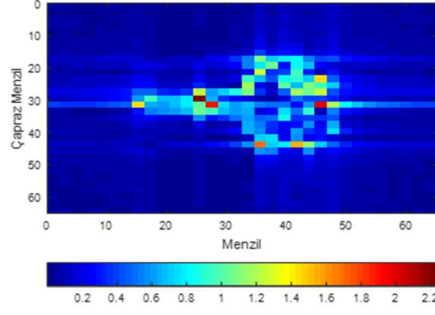
f.

Şekil 5.19: Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim yöntemi sonucu veri tamamlama yöntemi.

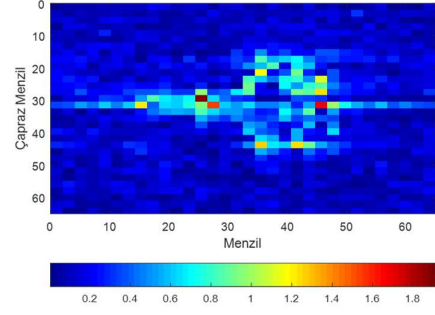
Dar-açı dar-bant koşulu altında SNR=30 dB ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.20’de görülebilmektedir. SNR=30 dB gürültü seviyesinde de Çizelge 5.11’deki ölçüm metrikleri ve Şekil 5.20’deki radar görüntüleri incelendiğinde eksik veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.20 e ve Şekil 5.20 f’deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 5.11: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR= 30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

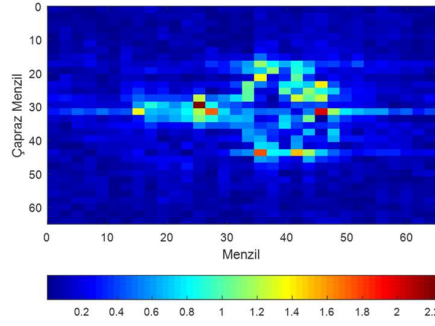
SNR 30 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	29,19	5,34	0,30	56,00	0,37
Eksik Veri (IFFT)	22,54	5,81	0,14	53,00	0,31
Eksik Veri (İnterpolasyon)	26,92	5,62	0,13	64,00	0,35
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	51,34	1,92	0,84	24,00	1,89
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	33,81	4,03	0,37	20,00	1,61
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	30,62	4,36	0,49	30,00	0,36



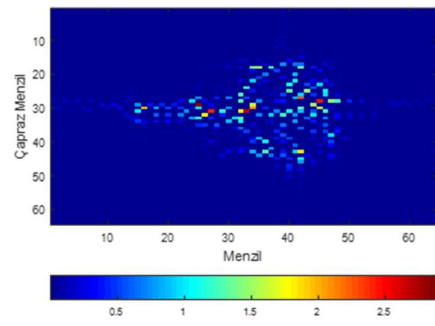
a.



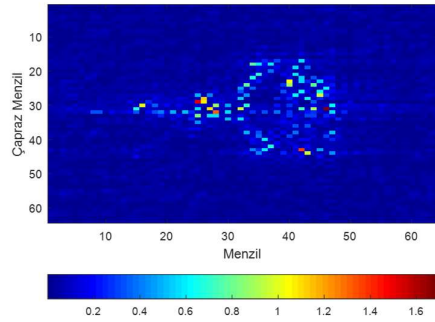
b.



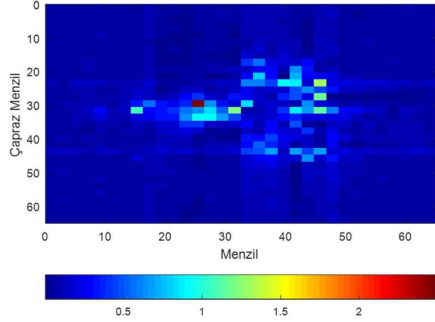
c.



d.



e.



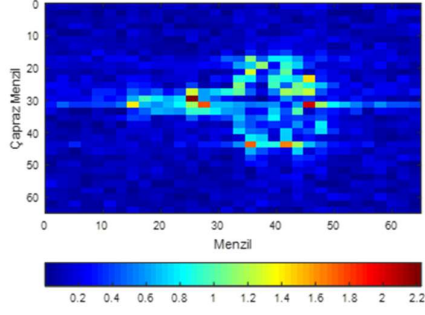
f.

Şekil 5.20: Dar-açı dar-bantta SNR= 30 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

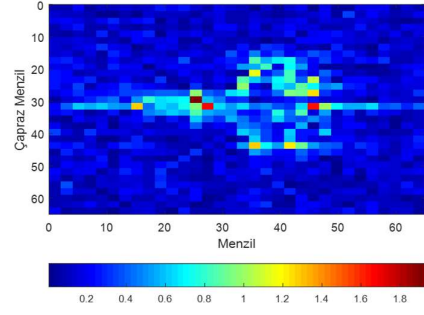
Dar-açı dar-bant koşulu altında SNR=10 dB gürültü seviyesinin daha yüksek olduğu ortamda da, eksik veri durumunda en iyi görüntü performansının seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile sağlandığı Şekil 5.21 e ve Şekil 5.21 f'den görülebileceği gibi Çizelge 5.12'den de anlaşılabilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitindeki sorunların devam ettiği, saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.21 e ve Şekil 5.21 f'deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir. Bu sebeple gürültü seviyesinin arttığı durumlarda saçıcıların konumlarının tespitinde her yöntem için sorunlar bulunduğu söylenebilir.

Çizelge 5.12: Eksik veri için dar-açı dar-bant koşulunda SNR= 10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüleri metrik tablosu.

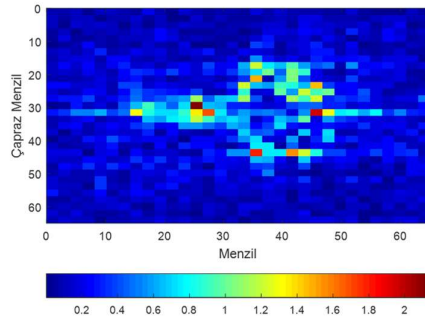
SNR 10 dB	Hedefin Arka Plana Oranı	Entropi	Hedefin Arka Plana Entropi Farkı	Ana Lob Genişliği (Çözünürlük Göstergesi)	VKontrast
Orijinal Veri (IFFT)	25,24	5,67	0,14	56,00	0,34
Eksik Veri (IFFT)	21,43	5,91	0,06	53,00	0,29
Eksik Veri (İnterpolasyon)	23,18	5,89	0,08	66,00	0,32
Orijinal Veri (Seyrek Gösterilim)	36,20	3,97	0,38	32,00	1,58
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim)	36,42	3,15	0,10	37,00	1,69
Eksik Veri (Seyrek Gösterilim Sonrası Veri Tamamlama)	28,19	5,10	0,14	40,00	0,33



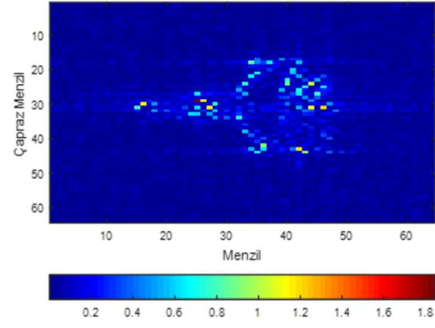
a.



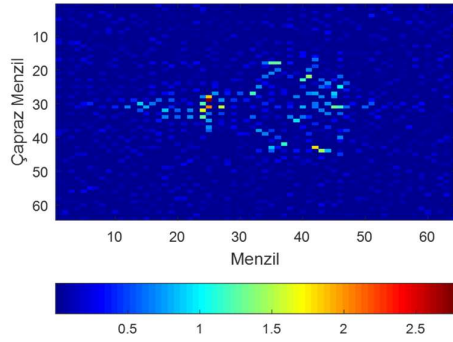
b.



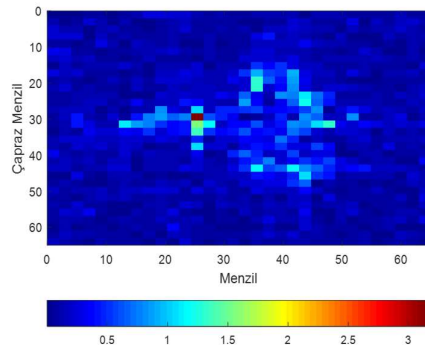
c.



d.



e.



f.

Şekil 5.21: Dar-açı dar-bantta SNR= 10 dB ortamda Mig-25 radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.

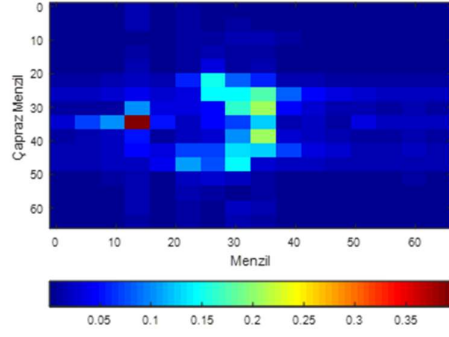
Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz, SNR=10 dB ve SNR=30 dB ortamlarda eksik Mig-25 verisine uygulanan yöntemler eksik Airbus verisi için de uygulanmıştır.

Dar-açı dar-bant koşulu altında gürültüsüz ortamda çıkarılan radar görüntüleri Şekil 5.22’de görülebilmektedir. Gürültüsüz ortamda Şekil 5.22’deki radar görüntüleri incelendiğinde eksik veride en iyi görüntü keskinliğinin ve çözünürlüğünün sırasıyla seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edildiği görülebilmektedir; fakat her iki yöntemde de hedefe ait saçıcıların konumunun tespitinde sorunlar olduğu saçıcıların ayırt edilmesinin güçleştiği Şekil 5.22 e ve Şekil 5.22 f’deki radar görüntülerinden de gözlemlenebilmektedir. Benzer durumlar gürültülü ortamlarda Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de de görülebilmektedir.

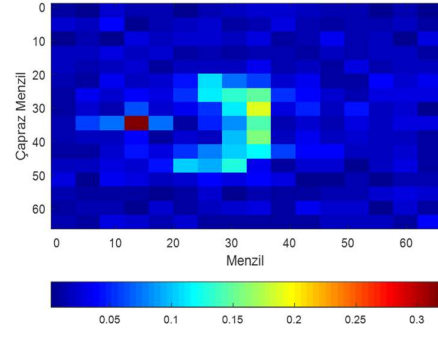
Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 incelendiğinde, seyrek gösterilim yönteminin eksik veriye direkt uygulanması sonucu elde edilen radar görüntüsünün çözünürlüğünün ve keskinliğinin daha iyi olduğu; fakat saçıcıların tespitinin zorlaştığı gözlemlenmiştir. Seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemiyle elde edilen radar görüntüsünün de kübik interpolasyon yöntemiyle elde edilen radar görüntüsüne göre saçıcıların tespitinde zayıf kaldığı anlaşılmıştır.

Özetle, dar-açı dar-bant boşluklu Airbus verisinden görüntü oluşturmada en etkili yöntemin seyrek gösterilim yöntemi olduğu görüntüler incelendiğinde anlaşılabilmektedir. Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24 incelendiğinde çözünürlüğü iyi olmasa da saçıcıların konumunu yakın bulan diğer yöntemin de kübik interpolasyon yöntemi olduğu görülebilmektedir.

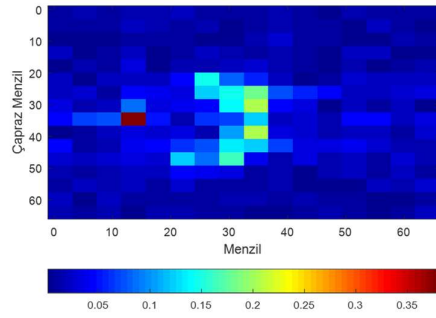
Sonuç olarak dar-açı dar-bant koşulunda eksik veriden radar görüntüsü elde edilirken görüntü performansı en yüksek 2 yöntemin seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi olduğu anlaşılmıştır. Kübik interpolasyon yönteminin de dar-açı dar-bant koşulunda eksik veri için çok tercih edilmese de kullanılabilecek yöntemlerden biri olduğu görülmüştür.



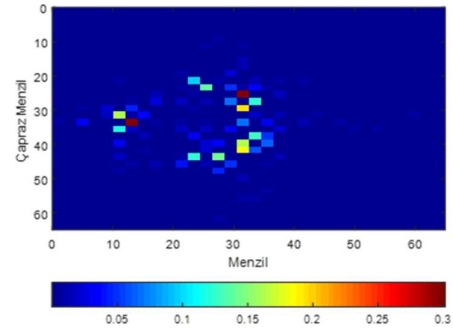
a.



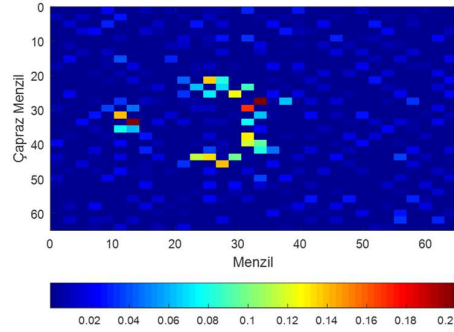
b.



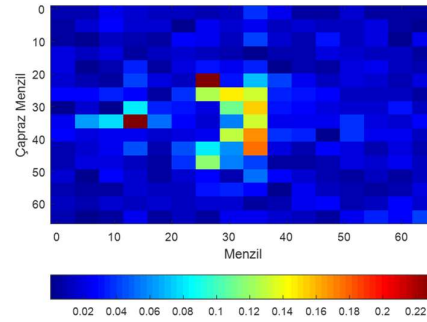
c.



d.

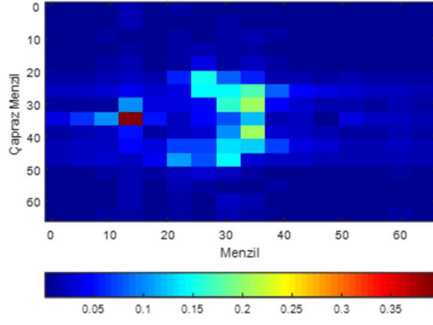


e.

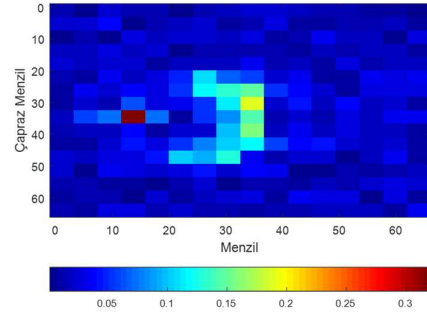


f.

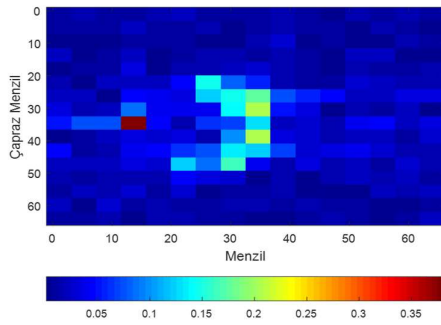
Şekil 5.22: Dar-açı dar-bantta gürültüsüz ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



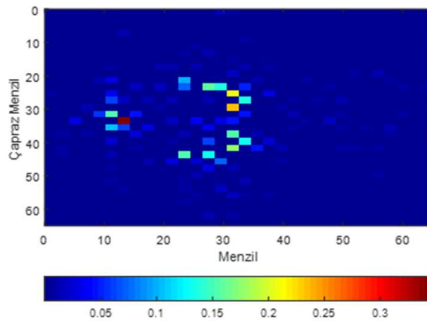
a.



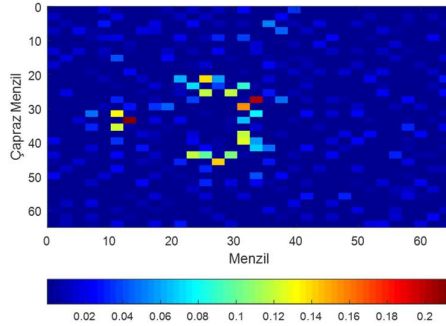
b.



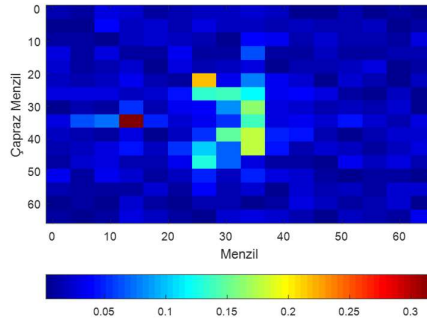
c.



d.

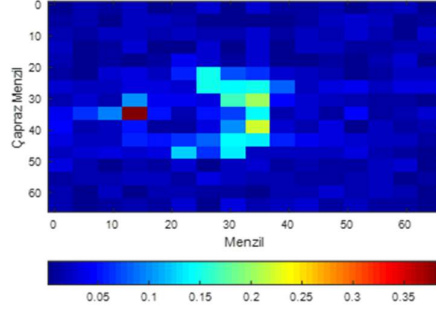


e.

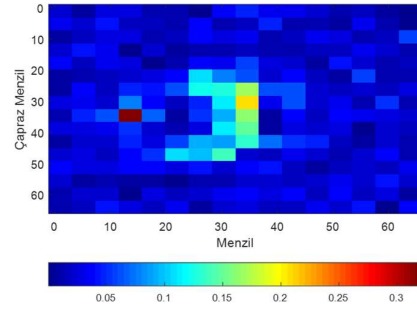


f.

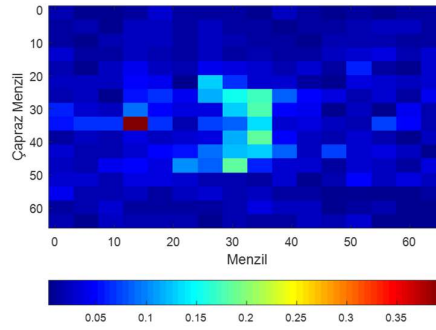
Şekil 5.23: Dar-açı dar-bantta SNR=30 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



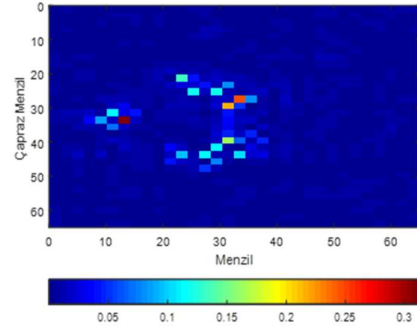
a.



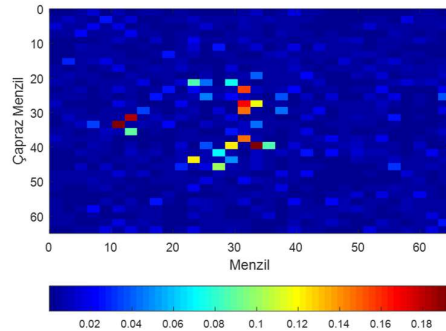
b.



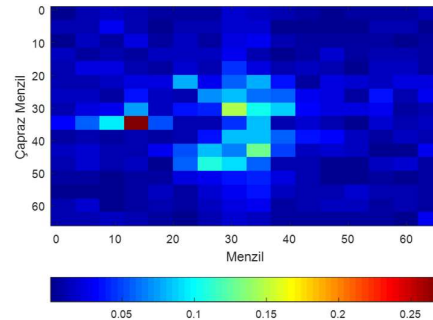
c.



d.



e.



f.

Şekil 5.24: Dar-açı dar-bantta SNR=10 dB ortamda Airbus radar görüntüsü a) Orijinal veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, b) Eksik veriye uygulanan klasik IFFT yöntemi, c) Eksik veriye uygulanan kübik interpolasyon yöntemi, d) Orijinal veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, e) Eksik veriye direkt uygulanan seyrek gösterilim yöntemi, f) Eksik veriye uygulanan seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, eksik veri durumu (konumsal frekans uzayındaki geri saçılan alan verisinin rastgele ya da bir band boyunca belirli bir aralıkta eksik olduğu durumda) için veri tamamlamanın radar görüntüleme yöntemleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Geri saçılan sinyallerden oluşan geri saçılan veri matrisinin orijinal tam haline geniş aç-geniş bant ve dar-açı dar-bant koşulu altında farklı gürültü seviyelerinde Fourier dönüşümü tabanlı yöntem ve seyrek gösterilim yöntemi uygulanarak 2 boyutlu radar görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntüler arasında görüntülerin çözünürlüğünün ve keskinliğinin yüksek ve saçıcı tespitinin iyi olduğu yöntemin seyrek gösterilim yöntemi olduğu görülmüştür.

Hedeften geri saçılan veri matrisinin boşluklu ve eksik olması durumlarında da farklı metotlarla radar görüntüleri elde edilmiştir. Geri saçılan veri matrisinin boşluklu olduğu durumlarda öncelikle boşluklu matris Burg yöntemi ile doldurulup Fourier dönüşümü tabanlı yöntem uygulanarak farklı gürültü seviyelerinde geniş-açı geniş-bant ve dar-açı dar-bant koşulu altında görüntüler oluşturulmuştur. Bunun yanında boşluklu veriye direkt olarak seyrek gösterilim yöntemi uygulanarak da görüntüler elde edilmiştir. Bir diğer yöntem olarak ise boşluklu veriye seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi kullanılmıştır. Geniş-açı geniş-bant koşulunda farklı gürültü seviyelerinde seyrek gösterilim yöntemi ile seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile çözünürlüğü ve keskinliği yüksek, hedefe ait saçıcıların iyi tespit edilebildiği 2 boyutlu radar görüntüleri elde edilmiştir. Dar-açı dar-bant koşulunda ise gürültü seviyesi arttıkça seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi saçıcı tespitinde kısmen başarısız olurken seyrek gösterilim yöntemi çözünürlüğü yüksek görüntüler elde etmede göreceli olarak daha başarılı olmuştur.

Geri saçılan veri matrisinin eksik olduğu durumlarda da öncelikle eksik matris kübik interpolasyon yöntemi ile doldurulup Fourier dönüşümü tabanlı yöntem uygulanarak farklı gürültü seviyelerinde geniş-açı geniş-bant ve dar-açı dar-bant koşulu altında

radar görüntüleri elde edilmiştir; fakat bu yöntemle elde edilen görüntülerde klasik Fourier dönüşümü tabanlı yöntemle elde edilen görüntülerden fazla bir iyileşme gözlemlenememiştir. Boşluklu veride olduğu gibi eksik veride de çözünürlüğü ve keskinliği yüksek, saçıcıların iyi ayırt edilebildiği radar görüntüleri seyrek gösterilim yöntemi ve seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yöntemi ile elde edilmiştir. Dar-açı dar-bant koşulunda ise boşluklu veride olduğu gibi gürültü seviyesi artırıldığında seyrek gösterilim sonucu veri tamamlama yönteminin saçıcı tespitinde başarısız olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak eksik veri ve boşluklu veri durumunda çözünürlüğü ve keskinliği yüksek, hedefe ait saçıcıların iyi ayırt edilebildiği 2 boyutlu radar görüntüleri elde etmek için bu tez çalışmasında kullanılan yöntemler arasında en iyi yöntem seyrek gösterilim yöntemidir. Seyrek gösterilim yöntemi, Fourier dönüşümü tabanlı yöntemle ya da interpolasyon veya lineer öngörü ile tamamlanan veriye Fourier dönüşümü uygulanmasına göre verinin eksik olmasından daha az etkilenmiştir. Görsel ve nicel sonuçlara göre de, Fourier sözlükleriyle veri tamamlama diğer yöntemlere göre daha üstün performans gösterse de doğrudan seyrek gösterilim yöntemi kullanılmasının gerisinde kalmaktadır. Dar-açı dar-bant koşulunda gürültü seviyeleri artırıldığında ise yöntemler saçıcı tespitinde sorunlarla karşılaşmaktadır.

Seyrek gösterilimler ile elde edilen radar görüntülerinde seyreklik varsayımı nedeniyle, özellikle hedefin nokta saçıcı varsayımına uymaması durumunda parçalanma ya da kayıp gözlemlenebilmekte, bu durum hedef tanıma/sınıflandırma algoritmalarının performansını düşürebilmektedir. Seyrek gösterilimler ile verinin tamamlanması ve klasik yöntemlerin uygulanması durumunda bu problemler gözlemlenmediğinden, bu yaklaşım hedef sınıflama gerektiren uygulamalar için daha uygun olacaktır.

Eksik veri ve boşluklu veri durumunda daha yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için ileriki çalışmalarda seyrek gösterilim yöntemi üzerine farklı yaklaşımlarla çalışılabilir. Verilerin gruplanarak grup hatalarının minimize edilip görüntü oluşturulan grup seyrek gösterilim yöntemleri gibi farklı metotlarla daha yüksek çözünürlüklü ve kaliteli 2 boyutlu radar görüntüleri elde edilebilir. Ayrıca eksik veri, Fourier sözlükleri yerine geri saçılan alan verisinden öğrenilecek sözlükler kullanılarak tamamlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Özdemir C.** (2012). *Inverse synthetic aperture radar imaging with Matlab algorithms*. Wiley Series in Microwave and Optical Engineering.
- [2] **Mahafza B.R.** (2000). *Radar systems analysis and design using MATLAB*. London: Chapman & Hall/CRC: 247-267.
- [3] **Mensa D.L.** (1981). *High resolution radar imaging*. Artech House.
- [4] **Park S.H., Kim H.T., Kim K.T.** (2011). *Cross-range scaling algorithm for ISAR images using 2-D fourier transform and polar mapping*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 49(2): 868-877.
- [5] **Wehner D.R.** (1994). *High resolution radar*. Artech House 2nd edition.
- [6] **Samadi S., Çetin M., Masnadi-Shirazi M.** (2011). *Sparse representation based synthetic aperture radar imaging*. Radar, Sonar, Navig IET 5(2): 182-193.
- [7] **Chen V.C., Martorella M.** (2014). *Inverse synthetic aperture radar imaging; principles, algorithms and applications*. Institution of Engineering and Technology.
- [8] **Kim K., Seo D, Kim H.** (2001). *Radar target identification using one dimensional scattering centres*. IEE Proceedings-Radar, Sonar Navig: 285-296.
- [9] **Mensa D.L.** (1990). *High resolution radar cross-section imaging*. Artech House.
- [10] **Park J.I., Kim K.T.** (2010). *A comparative study on ISAR imaging algorithms for radar target identification*. Progress in Electromagnetics Research 108: 155-175.
- [11] **Walton E.K., Moghaddar A.** (1991). *High resolution imaging using narrow band data*. IEEE AP Soc. Int. Symp., Londra.
- [12] **Li H.J., Liu T.Y., Yang S.H.** (1990). *Superhigh image resolution for microwave imaging*. Int. J. Imaging Syst. And Technol.2: 37-46.
- [13] **Ramakrishnan S., Demarcus V., Ny J.L., Patwari N., Gussy J.** (2002). *Syntethic aperture radar imaging using spectral estimation techniques*. University of Michigan EECS 559 - Advanced Signal Processing.

- [14] **Sarıkaya K.** (2014). *2-Boyutlu seyrek özbağlanımlı modelleme ile radar hedef sınıflandırma* (Yüksek Lisans Tezi).
- [15] **Özen B.** (2015). *Sparse linear prediction models for radar imaging and classification* (Yüksek Lisans Tezi).
- [16] **Ye F., Zhang F., Zhu J.** (2010). *ISAR super-resolution imaging based on sparse representation*. International Conference on Wireless Communications and Signal Processing.
- [17] **Donoho D.L., Elad M.** (2003). *Maximal sparsity representation via l_1 minimization*. Proc. Natl. Acad. Sci. 100: 2197-2202.
- [18] **Ma W.** (2012). *Sparse optimization lecture note of Eleg5481*. The Chinese University Hong Kong.
- [19] **Elad M.** (2010). *Sparse and redundant representations*. Springer, New York.
- [20] **Wang, Y., Kang, J., Zhang, R.** (2014). *ISAR imaging with random missing observations based on non-iterative signal reconstruction algorithm*. 2014 12th Int. Conf. on Signal Processing (ICSP): 1876–1879.
- [21] **Gupta I.J., Beals M.J., Moghaddar A.** (1994). *Data extrapolation for high resolution radar imaging*. IEEE Trans. Antennas Propag 42: 1540-1545.
- [22] **Kim K., Bae J., Seo D., Kim H.** (2001). *Study of experimental performance of AR-based data extrapolation algorithms for high resolution radar imaging*. Microwave and Technology Letters 31(2).
- [23] **Kim K.T., Bae J.H., Kim H.T.** (2003). *Effect of AR model-based data extrapolation on target recognition performance*. IEEE Trans Antennas Propag 51(4): 912–914.
- [24] **Gupta I.J., Member S.** (1994). *High-resolution radar imaging using 2-D linear prediction*. 42(1): 31–37.
- [25] **Bae J.H., Park S.H., Kang B.S., Kim K.T., Yang E.** (2015). *Comparison of reconstruction accuracy of sparse recovery algorithms for gapped RCS data*. Microwave and Optical Technology Letters 57(5): 1249-1255.
- [26] **Tomei S., Bacci A., Giusti E., Martorella M., Berizzi F.** (2016). *Compressive sensing-based inverse synthetic radar imaging from incomplete data*. IET Radar, Sonar and Navigation 10(2): 386-397.
- [27] **Chapra S.C., Canale R.P.** (2006). *Numerical methods for engineers*. Mcgraw-Hill.
- [28] **Benitz G.R.** (1997). *High-definition vector imaging*. Lincoln Laboratory Journal 10(2): 147-170.

- [29] **Wang J., Liu X.** (2006). *SAR minimum-entropy autofocus using an adaptive-order polynomial model*. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing 3(4): 512-516.
- [30] **Çetin M., Karl W.C., Castañon D.A.** (2003). *Feature enhancement and ATR performance using non-quadratic optimization-based SAR imaging*. IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems 39(4): 1375-1395.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nihat KOYUN

Doğum Tarihi ve Yeri : 09/06/1987, İstanbul

E-posta : koyunn@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği.

