



**MTI RADARLARINDA FİLTRELEME TEKNİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE OPTİMAL GERİ BESLEMELİ İPTALLEYİCİ
FİLTRE TASARIMI**

Ahmet Said AKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet Said AKAN

15/04/2024

MTI RADARLARINDA FİLTRELEME TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE OPTİMAL GERİ BESLEMELİ İPTALLEYİCİ FİLTRE TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet Said AKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2024

ÖZET

Hareketli Hedef Göstergesi (Moving target indication - MTI) radarları izlenen bölgedeki hareketsiz veya yavaş hareket eden cisimleri hareketli cisimlerden ayırır. MTI radarların bu çalışma mantığı sayesinde, radar istenmeyen sinyalleri ayırarak sadece hareket eden cisimlerden gelen sinyal dönüşlerine odaklanır. Kargaşa (clutter) sinyalleri görülmek istenen hedefin dışında radarda istenmeyen sinyallerin de çıkmasına neden olduğundan hedeflerin görülmesini zorlaştırır. Bu nedenle hedeflerin kargaşa sinyallerinden ayrılması için farklı filtreleme teknikleri kullanılır. Filtrelerin kargaşa sinyalini bastırmadaki başarısı kadar, alınan hedef sinyallerini de zayıflatmaması önemlidir. Bu tez çalışmasında MTI radarlarında kullanılan filtre tekniklerinin hedefi tespit etme başarısı ve kargaşa sinyalinin bastırılması açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada MTI radarın simüle edilebilmesi için MATLAB programında bir kod ortamı oluşturulmuştur. Radarın menziline olacak şekilde üç adet hedef tanımlanmış ve bu hedeflere birbirinden ayrı konumlar ve hızlar atanmıştır. MTI radarın kör hız problemini de inceleyebilmek adına hedeflerden biri radarın kör hızında hareket edecek şekilde seçilmiştir. Hedefler her bir iptalleyici filtresine (canceler) tespit ettirilerek alınan sonuçlar karşılaştırılmış, buradan alınan sonuçlara göre de hedef tespiti ve kargaşa bastırma performansını artırmak üzere yeni parametrelerle yeni bir Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi belirlenmiştir. Yeni belirlenen filtrenin sonuçları kargaşanın tepe yaptığı noktada simülasyon yapılarak incelenmiştir.

Bilim Kodu : 90516

Anahtar Kelimeler : MTI radar, filtreleme, darbe iptalleyici, kargaşa sinyali bastırma, hedef tespiti

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Prof. Dr. Nursel AKÇAM

COMPARISON OF FILTERING TECHNIQUES AND OPTIMAL FEEDBACK
CANCELLER FILTER DESIGN IN MTI RADAR

(M. Sc. Thesis)

Ahmet Said AKAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2024

ABSTRACT

Moving target indication (MTI) radars distinguish stationary or slow-moving objects from moving objects in the monitored area. Thanks to this operating logic of MTI radars, the radar separates unwanted signals and focuses only on signal returns from moving objects. Clutter signals make it difficult to see targets because they cause unwanted signals to appear on the radar in addition to the target that is intended to be seen. Therefore, different filtering techniques are used to separate targets from clutter signals. It is important that the filters do not attenuate the received target signals as much as they are successful in suppressing the clutter signal. In this thesis study, the filter techniques used in MTI radars are compared in terms of target detection success and clutter signal suppression. In the study, a code environment was created in the MATLAB program to simulate the MTI radar. Three targets were defined to be within the range of the radar, and separate locations and speeds were assigned to these targets. In order to examine the blind speed problem of the MTI radar, one of the targets was chosen to move at the blind speed of the radar. The targets were detected by each canceller filter (canceler) and the results were compared, and according to the results obtained, a new Feedback Delay Line Cancellor filter was determined with new parameters to increase target detection and clutter suppression performance. The results of the newly determined filter were examined by simulation at the point where the clutter peaked.

Science Code : 90516

Key Words : MTI radar, filtering, pulse canceller, clutter signal suppression, target detection

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Nursel AKÇAM

TEŐEKKÖR

Tez sürecim boyunca tecrübeleri ile yolumu aydınlatan ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Nursel AKÇAM hocama,

Her zaman bir ferdi olmaktan büyük gurur duyduğum şirketim ASELSAN A.Ő. ailesine,

Tüm yüksek lisans sürecimde ve yoğun tez yazım sürecimde her zaman yanımda olan ve en büyük destekçim olan kıymetli eşim Dilruba KIZILTAŐ AKAN'a,

Teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RADAR TEMELLERİ.....	3
2.1. Radar Türleri ve Sınıflandırılması.....	3
2.2. Temel Radar Kavramları.....	5
3. HAREKETLİ HEDEF GÖSTERGESİ RADARI.....	11
3.1. Kör Hız.....	12
3.2. MTI Radar Performansını Etkileyen Faktörler	13
3.3. Hareketli Hedef Göstergesi Radarında Kullanılan Filtreleme Teknikleri	14
4. FİLTRE KARŞILAŞTIRMALARI VE YENİ FİLTRENİN SEÇİMİ.....	19
4.1. Filtre Performanslarını Karşılaştırma Algoritması.....	19
4.1.1. Simülasyon ortamı ve değişkenler	19
4.1.2. Simülasyonun açıklanması	21
4.2. Filtre Karşılaştırma ve Yeni Filtre Tasarım Senaryoları.....	21
4.2.1. Senaryo 1	21

	Sayfa
4.2.2. Senaryo 2.....	27
4.2.3. Senaryo 3.....	36
4.2.4. Senaryo 4.....	38
4.2.5. Senaryo 5.....	39
4.2.6. Senaryo 6.....	41
4.2.7. Senaryo 7.....	43
4.2.8. Senaryo 8.....	53
5. SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Simülasyon değişkenleri çizelgesi	20
Çizelge 4.2. K değişiminin hedef 1 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar	31
Çizelge 4.3. K değişiminin hedef 2 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar	32
Çizelge 4.4. K değişiminin hedef 3 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar	33
Çizelge 4.5. Kargaşa sinyali başlangıcının senaryolar arası karşılaştırılması	43
Çizelge 4.6. Hedef 1 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması.....	45
Çizelge 4.7. Hedef 2 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması.....	47
Çizelge 4.8. Hedef 3 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması.....	49
Çizelge 4.9. Tüm senaryoların karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.10. Hedef ve kargaşa sinyalleri için en iyi senaryoların çizelgesi	52
Çizelge 4.11. Senaryo 8'den alınan sonuçların çizelgesi.....	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Monostatik radar blok diyagramı.....	5
Şekil 2.2. PRI ve PRF kavramlarının görselleştirilmesi	5
Şekil 2.3. Darbeli radarlarda dalga gönderme alma süreleri.....	7
Şekil 2.4. Radar gönderme-alma modları arasındaki uyumsuzluk durumu.....	8
Şekil 2.5. Sinyal gürültü oranının görsel açıklaması	9
Şekil 3.1. İki darbe iptalleyici filtresi blok şeması.....	15
Şekil 3.2. Üç darbe iptalleyici filtresi blok şeması	15
Şekil 3.3. Geri beslemeli gecikme hattı iptalleyici filtresi blok şeması.....	15
Şekil 3.4. İki darbe iptalleyici filtresi genlik cevabı	17
Şekil 3.5. İki ve üç darbe iptalleyici filtreleri genlik cevabı karşılaştırması.....	17
Şekil 3.6. K değişiminin geri beslemeli iptalleyici filtresi genlik cevabına etkisi.....	18
Şekil 4.1. Tek PRF'li iki darbe iptalleyici filtresinin çıktıları	22
Şekil 4.2. Kademeli PRF'li iki darbe iptalleyici filtresinin çıktıları	22
Şekil 4.3. Tek PRF'li üç darbe iptalleyici filtresinin çıktıları.....	24
Şekil 4.4. Kademeli PRF'li üç darbe iptalleyici filtresinin çıktıları	24
Şekil 4.5. Tek PRF'li geri beslemeli iptalleyici filtresinin çıktıları	26
Şekil 4.6. Kademeli PRF'li geri beslemeli iptalleyici filtresinin çıktıları	26
Şekil 4.7. $K = 0,5$ için tek PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları	28
Şekil 4.8. $K = 0,5$ için kademeli PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları	29
Şekil 4.9. $K = 0,125$ için tek PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları.....	30
Şekil 4.10. $K = 0,125$ için kademeli PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları	31
Şekil 4.11. K değişiminin hedef 1 sinyalleri üzerindeki etkisi	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. K değişiminin hedef 2 sinyalleri üzerindeki etkisi	33
Şekil 4.13. K değişiminin hedef 3 sinyalleri üzerindeki etkisi	34
Şekil 4.14. $K = 0,25/10$ için geri beslemeli filtrede kargaşa sinyalinin durumu	35
Şekil 4.15. $K = 0,25/11$ için geri beslemeli filtrede kargaşa sinyalinin durumu	36
Şekil 4.16. Senaryo 3 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	37
Şekil 4.17. Senaryo 3 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	37
Şekil 4.18. Senaryo 4 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	38
Şekil 4.19. Senaryo 4 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	39
Şekil 4.20. Senaryo 5 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	40
Şekil 4.21. Senaryo 5 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	41
Şekil 4.22. Senaryo 6 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	42
Şekil 4.23. Senaryo 6 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı	42
Şekil 4.24. Kargaşa sinyali başlangıç karşılaştırma grafiği	44
Şekil 4.25. Hedef 1 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik	46
Şekil 4.26. Hedef 2 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik	48
Şekil 4.27. Hedef 3 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik	50
Şekil 4.28. Kademeli PRF ile iki darbe iptalleyicinin yakın hedef performansı	54
Şekil 4.29. Kademeli PRF ile üç darbe iptalleyicinin yakın hedef performansı	54
Şekil 4.30. Kademeli PRF'li senaryo 4'teki geri beslemeli filtre yakın hedef performansı	55
Şekil 4.31. Kademeli PRF'li senaryo 5'teki geri beslemeli filtre yakın hedef performansı	55

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. MTI öncesi (solda) ve sonrası (sağda) radarda tespit edilen hedefler.....	11



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c	Işık hızı
dB	Desibel
E_{GÜRÜLTÜ}	Gürültü enerjisi
E_{SİNYAL}	Sinyal enerjisi
f_d	Doppler frekansı
F_n	Genel radar gürültü rakamı
f_r	Darbe tekrarlama frekansı
GHz	Giga hertz
G_R	Alıcı anten kazancı
G_T	Verici anten kazancı
H(z)	Transfer fonksiyonu
Hz	Hertz
k	Boltzmann sabiti
K	Kazanç faktörü
km	Kilometre
L	Radarın tüm kayıplarının toplamı
MHz	Mega hertz
m	Metre
P_D	Tespit olasılığı
P_{FA}	Yanlış alarm olasılığı
P_T	Tepe iletim gücü
R	Menzil
s	Saniye
S/N	Sinyal gürültü oranı
t	Zaman
T_a	Ortam veya anten gürültü sıcaklığı
T₀	Kelvin cinsinden referans sıcaklık

Simgeler**Açıklamalar**

T_s	Sistem gürültü sıcaklığı
T/R	Verici/Alıcı
V	Hız
$V_{k\ddot{o}r}$	Kör hız
W	Watt
W_s	Watt saniye
λ	Dalga boyu
$\tau_{d\ddot{o}nen}$	Dönen dalga süresi
τ_{giden}	Giden dalga süresi
τ_{PRI}	Darbe tekrarlama süresi
τ_p	İletim darbe genişliği
τ_r	Toplam dalga seyahat süresi
τ_{toplam}	Toplam dalga seyahat süresi
σ	Radar kesit alanı
μs	Mikro saniye

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CW	Continuous Wave
IF	Improvement Factor
MATLAB	Matrix Laboratory
MTI	Moving Target Indicator
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRI	Pulse Repetition Interval
RCS	Radar Cross Section
RF	Radyo Frekansı
SCR	Signal to Clutter Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio

1. GİRİŞ

Radar, hedeflerin varlığını ve hedefe ait konum, hız, büyüklük ve benzeri birçok bilgiyi tespit etmek için kullanılan bir sistemdir [1]. Basit olarak bir radar sisteminin genel çalışma prensibi, gönderdiği elektromanyetik dalgaların nesnelere yansıtılması sonrası, yansıyan dalganın özelliklerini kullanarak nesnelere ait bilgileri elde etmek olarak açıklanabilir [2, 3].

Hareketli Hedef Göstergesi (Moving Target Indicator – MTI) radarları gelişmiş sinyal işleme teknikleri kullanarak aynı anda birden fazla hedefi aramak ve tespit etmek için darbeleri kullanırlar [4, 5]. Yüksek performansa sahip bu radarların yoğun kargaşa ortamında yeteri kadar kargaşa bastırma performansına sahip olması beklenir. Aynı zamanda hedef tespit performansının yeteri kadar iyi olması sayesinde de hedeflerin beklenen Doppler frekans aralığı boyunca sabit kalması ve tespit işlemlerinin de hedef dönüşlerindeki belli darbeleri alarak yapılmasını sağlaması istenir.

Literatürde kullanılan MTI sistemlerin tasarımları çoğu zaman yeterli kargaşa bastırma performansına sahip değildirler. Ancak hedeflerin Doppler frekansları değiştikçe algılanabilme performansları da değişir [6]. Bu durumda farklı filtre tasarımları gerekir. Literatürde, yayın olarak kullanılan filtre tasarım teknikleri kullanıldığında çok sayıda darbe sinyalinin alındığı ve bunun da hedeflerin kargaşa sinyalleri arasında kaybolmasına neden olabildiği bilgisi bulunmaktadır [7]. Ayrıca kullanılan filtre tekniğine ve filtrelerin parametrelerine göre alınan sonuçlar da değişmektedir [7].

Bu çalışmada, MTI radarlarında yaygın olarak kullanılan filtrelerden *İki Darbe İptalleyici (Two Pulse Canceller)*, *Üç Darbe İptalleyici (Three Pulse Canceller)* ve *Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici (Delay Line With Feedback) filtreleri*, hedef tespiti performansları ve gürültü/kargaşa bastırma performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Araştırma kapsamında yazılan koddaki ayarlamalar sayesinde, MTI radarı monostatik olacak şekilde simüle edilmiştir. MTI radarının menziline konum ve hızları birbirlerinden farklı üç adet hedef oluşturulmuştur. MTI radarda ortaya çıkan kör hız problemini de görebilmek ve simülasyonu biraz daha sınamak amacıyla, oluşturulan hedeflerden birinin radarın kör hızında hareket ettiği varsayılmış ve bu hedefin tanımlaması buna göre yapılmıştır.

Oluşturulan hedeflerin iptalleyiciler tarafından tespit edilmesi sağlanarak iptalleyicilerin hedef tespitindeki başarı durumları ve gürültü/kargaşa bastırma yetenekleri karşılaştırılmıştır. Simülasyonlarda ayrıca her bir filtrenin Tek Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency – PRF) ve Kademeli PRF modlarında ayrı ayrı çalışması sağlanmış ve bu modların sonuçları da karşılaştırılmıştır. Böylelikle PRF modları arasındaki değişimin hedef tespiti ve kargaşa bastırma performansına etkisi gözlemlenmiştir. Kargaşa sinyalinin simüle edilebilmesi için Sabit Gama Dağımlılık Modeli (Constant Gama Clutter Model) sinyali kullanılmıştır. Simülasyonlar MATLAB programında gerçekleştirilmiştir.

Alınan sonuçlar sonrasında Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin performansını artırabilmek amacıyla farklı senaryolar tasarlanmış ve hedefler bu senaryolarda da simüle edilerek sonuçlar alınmıştır. Senaryolar karşılaştırılarak en iyi performans veren Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi yeni filtre tasarımı olarak seçilmiştir.

Bu çalışma, klasik filtre tekniklerinin yeniden incelenerek daha az kullanılan bir filtre ile karşılaştırılması ve bu daha az kullanılan filtrenin yeni parametrelerle verdiği performans sonucunda kullanılabilirliğinin artmasına öncülük etmesi bakımından önemlidir. Ayrıca çalışmanın, çok küçük güç değişimlerinin bile önemli olduğu uygulamalarda kullanılmak üzere bir dizi karşılaştırmalar içermesi bakımından da literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir.

Tezin içeriği beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, MTI radarları hakkında genel bilgilerin verildiği giriş bölümüdür. İkinci bölümde genel olarak, radar temellerinden bahsedilmiştir. Radar türleri, sınıflandırılması ve darbe tekrarlama frekansı, menzil, maksimum menzil, kargaşa sinyali, sinyal gürültü oranı gibi temel radar kavramları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde; MTI radarı, kör hız, MTI radar performansını etkileyen faktörler ve MTI radarında kullanılan filtreleme tekniklerinden bahsedilmiştir. MTI radarlarda kullanılan en yaygın iptalleyiciler olan iki darbe iptalleyici filtresi ve üç darbe iptalleyici filtresi ve geri beslemeli gecikme hattı iptalleyici filtresi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde filtre performanslarının karşılaştırması farklı senaryolar oluşturularak yapılmış ve filtre performans testleri sonuçlarına yer verilmiştir. Tezin son bölümü olan beşinci bölümde ise tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirilerek elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

2. RADAR TEMELLERİ

Budge'nin aktardığına göre "elektromanyetik radyasyon yoluyla hedef tespiti yapabilmeye atılan ilk adım 1904 tarihinde Christian Hülsmeier'in bir gemiden dalgaları yansıtmasıdır" [8]. Radar sistemlerinde önemli ilk başarılar İkinci Dünya Savaşı'nda elde edilmiş olup günümüze kadar radar teknolojisi hızlı şekilde büyümeye devam etmiştir [9].

Radar sistemleri, hedefleri aramak ve tespit etmek amacıyla elektromanyetik enerjiyi iletebilmek için farklı modülasyonlara sahip dalga formları kullanır ve bu iletimi yönlendiren anten yapılarına sahiptir [10, 11]. Radarın arama alanı içindeki cisimler kendilerine radarın gönderdiği enerjinin bir kısmını yansıtır. Bu enerjinin radara ulaşan kısmına radar geri dönüşü veya yankı (eko) sinyali denir [12]. Bu yankı sinyalleri cisimlerin konum, hız gibi bilgilerini taşıdığından radar alıcısı tarafından işlenerek kullanılır [12].

Radar sistemleri elektromanyetik spektrumda Radyo Frekans (RF) bandı olan 5 MHz ile 300 GHz frekans aralığında çalışırlar [8]. Bu frekans dışında farklı frekanslarda çalışan radarlarda mevcuttur.

2.1. Radar Türleri ve Sınıflandırılması

Radarlar kullandıkları sinyalin türüne göre; Sürekli Dalga Radarı (Continuous Wave Radar – CW Radar) ve Darbeli Radar (Pulsed Radar) olmak üzere ikiye ayrılırlar [8, 13].

CW radarları, Radyo Frekans (RF) enerjisini sürekli bir şekilde iletirler. Darbeli radarlar ise bu enerjiyi bir darbe dizisi halinde hedefe yollarlar [14]. Mahafza "CW radarın işlevini modüle edilmiş veya başka şekilde sürekli dalga formları kullanan radarlar olarak, Darbeli radarların işlevini ise zaman sınırlı darbe formlarını kullanan radarlar olarak" ifade etmektedir [12].

CW radarları genellikle ayrı alma - gönderme antenlerini (bistatik radar) kullanır [15]. Bunun nedeni yüksek güçlü bir sinyal iletirken aynı antenle yüksek hassasiyetle alım yapmanın mümkün olmamasıdır [8]. Modüle edilmemiş CW radarları hedeflerin açılal

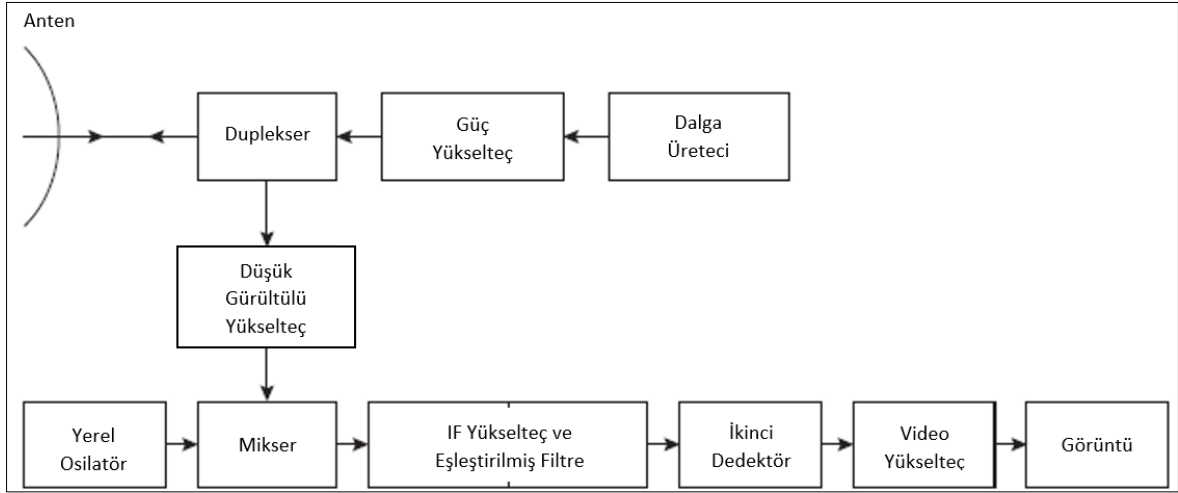
konumu ve radyal hızlarını doğru şekilde ölçebilir, hedefin mesafe bilgisi modülasyon işlemi yapılmadan belirlenemez [12].

Darbeli radarlar ise genellikle bir anten ile hem gönderme hem de alma işlemini yapabilir (monostatik radar). Alıcı sisteme ulaşan sinyallerden ilgilenilen sinyallerin tespit edilmesi ve tanımlanması için darbeler dizi şeklinde kullanılır [16]. Zaman çoğullaması (time multiplexing) işlemi sayesinde darbe iletilirken anten vericiye bağlanır, iletim tamamlandıktan sonra da alıcıya bağlanır. Bu bağlama işlemlerini alıcı/verici (Transmit/Receive - T/R) anahtar adı verilen donanım sağlar [8]. Darbeli radarların zaman çoğullaması işlemi PRF adı verilen frekans aracılığı ile yapılır. Bu frekans ile ilgili bilgi Bölüm 2.2'de verilmektedir.

Radarlar kullandıkları anten çeşidine göre de monostatik ve bistatik olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Monostatik radarda verici ve alıcı birimler yan yana yerleştirilir ve tek bir anten kullanılır [17]. Bu radar kompakt olduğundan en yaygın radar türüdür [8]. Şekil 2.1'de Monostatik radarın basit blok diyagramı verilmiştir. Şekilde dalga üretici olarak belirtilen blok, radar sistemi genelinde ihtiyaç duyulan senkronizasyon zamanlaması için gereken sinyalleri üretir. Verici/modülatör bloğu modüle edilmiş bir sinyal üreterek antene gönderir. Duplekser bloğu bir antenin hem gönderme hem alma işlemlerinde kullanılmasını sağlar, yani antenin gönderme ve alma modları arasında geçiş yapmasına olanak tanır. İletim sırasında; gönderme modunda enerjisini antene, alma modunda ise alınan geri dönüş sinyallerini alıcı bloğuna yönlendirir [12]. Alıcı, hedeften dönen sinyalleri güçlendirip işlemek üzere sinyal işlemci bloğuna yönlendirir. Sinyal işleme bloğunda hedefe ait bilgiler sinyaller arasından ayrıştırılır.

Bistatik radarda ise verici ve alıcı antenler arası mesafe genellikle büyüktür (1 km veya daha fazla) [8, 17]. Bu tür radarlara vericisi uçakta, karada, gemide ve alıcısı uçan veya hareketli bir nesne üzerinde olan sistemler örnek olarak verilebilir.

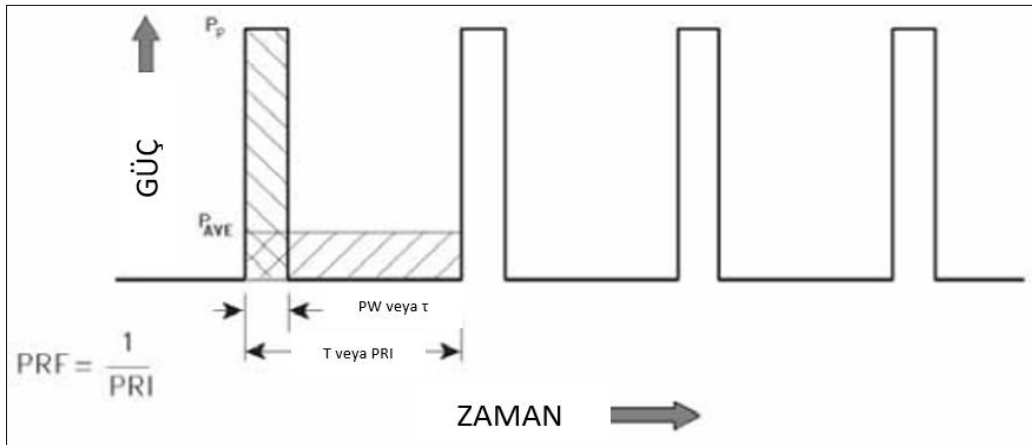


Şekil 2.1. Monostatik radar blok diyagramı [18]

2.2. Temel Radar Kavramları

Darbe tekrarlama frekansı

Darbeleri radarlar belli bir zaman aralığında belli bir darbe genişliğine sahip darbeler kullanarak çalışırlar [19]. Bu zaman aralığında geçen süreye Darbe Tekrarlama Süresi (Pulse Repetition Interval - PRI) adı verilir. Frekans, geçen sürenin tam tersi olduğundan bu darbelerin frekansı da PRF olarak bilinir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. PRI ve PRF kavramlarının görselleştirilmesi [19]

Radar sistemleri darbe tekrarlama frekansına göre düşük PRF, orta PRF ve yüksek PRF radarlar olarak sınıflandırılır [20]. Düşük PRF radarları öncelikle hedef hızının dikkate

alınmadığı yerlerde menzili belirlemek için kullanılırlar. Yüksek PRF radarları ise daha çok hedef hızını ölçmek için kullanılırlar [12].

Menzil ve maksimum menzil

Şekil 2.3'te bir darbeleri radarın basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir [8]. Burada R hedefin menzili yani radara olan mesafesini temsil etmektedir. Hedefin menzili belirlenirken genelde dalga biçimi olarak kısa darbe kullanılır [18]. Gönderilen darbe ne kadar kısa olursa mesafe ölçümü de o kadar hassas olur. İki veya daha fazla CW dalgalarının frekansları arasındaki faz farkı hesaplanarak tek bir hedefin menzili ölçmek de mümkündür.

Bir radarda menzili ölçmek için yapılmakta olan işlem, temelde iletilen ve alınan darbeler arasındaki zamanı ölçmektir ve bu işlemin mantığı Şekil 2.3'te gösterilmektedir. RF dalgasının enerjisi ışık hızıyla hareket eder ($c = 3 \times 10^8$ m/s). İletilen darbenin hedefe gidiş süresi Eş. 2.1 ile ifade edilmektedir [8].

$$\tau_{giden} = R/c \quad (2.1)$$

Yansıyan dalgaların geri dönüşünde geçen süre ise Eş. 2.2 ile ifade edilmektedir [8].

$$\tau_{döner} = R/c \quad (2.2)$$

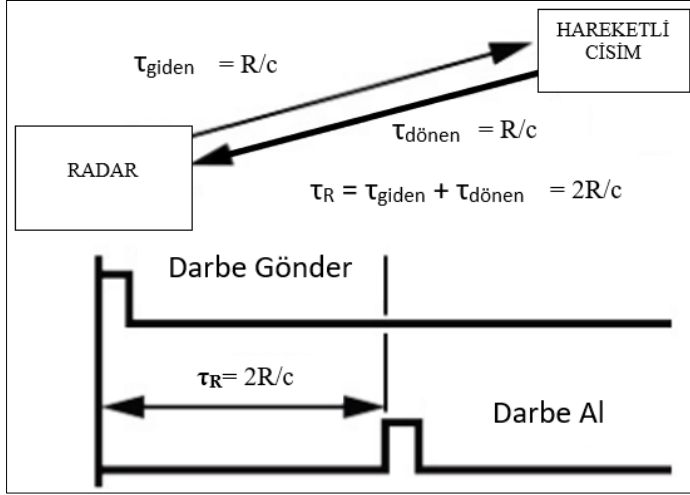
Toplamda dalganın gidiş-dönüş süresi, τ_T Eş. 2.3'te verilmektedir [8].

$$\tau_{toplam} = \tau_r = 2R/c \quad (2.3)$$

Buna göre radar ile hedef arasındaki mesafe R, [8].

$$R = (c \times \tau_r) / 2 = ((3 \times 10^8 \text{ m/s}) / 2) \times (\tau \mu\text{s} \times 10^{-6} \text{ s} / \mu\text{s}) = 150 \times \tau \text{ metre} \quad (2.4)$$

olarak elde edilir.

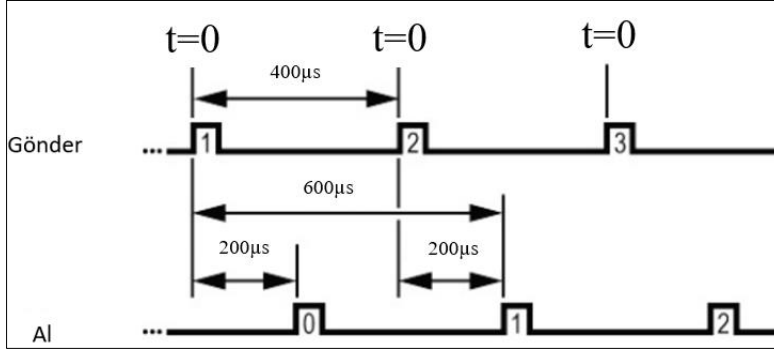


Şekil 2.3. Darbeli radarlarda dalga gönderme alma süreleri [8]

Darbeli radarlarda, darbeler arası geçen süreden kaynaklı olarak menzil belirsizliği problemi oluşur [21]. Bu problem şu şekilde açıklanabilir [8]: Darbe tekrarlama süresi 400 mikro saniye (μs) olan bir radar sisteminin 90 km uzaklıktaki bir hedefi tespit etmesi için gönderdiği darbenin toplam gidiş dönüş süresi Eş. 2.5'te görüldüğü üzere 600 μs olur. Buna göre gönderilen dalga henüz geri dönmeden yeni bir dalga üretilip yollanmaktadır. Yani ilk gönderilen sinyalin yankı sinyali, radar ikinci sinyalin iletim moduna geçtiğinde alınır (Şekil 2.4). Bu nedenle radar tarafından yansıyan birinci sinyal ile iletilen ikinci sinyal arasındaki süre farkı esas alınarak bir mesafe ölçümü yapılmalıdır. Bu süreye menzil gecikmesi denir. Bu sırayla tüm dalgalar için aynı şekilde olur. Bu durumda hedef gerçek yerinden daha yakın görünür [22]. Verilen örnek için menzil gecikmesi 200 μs ölçülmektedir. Buna göre hedefin menzili Eş. 2.6 ile belirlenmektedir.

$$\tau_{toplam} = (2R/c) = (2 \times 90 \times 10^3) / (3 \times 10^8) = 600 \mu s \quad (2.5)$$

$$R_A = 150 \times \tau = 150 \times 200 = 30000 m = 30 km \quad (2.6)$$



Şekil 2.4. Radar gönderme-alma modları arasındaki uyumsuzluk durumu [22]

Bu mesafe belirsizliğinin ortadan kalkması için darbeler arasında geçen süre en az PRI kadar olmalıdır, çünkü ilk dalga gönderildikten sonra onun yankısı gelmeden ikinci dalga gönderilmez. Bu nedenle maksimum menzil veya radarın maksimum ölçüm menzili [22] Eş. 2.7 ile hesaplanmalıdır [8].

$$R_{maksimum} = (c \times \tau_{PRI}) / 2 \quad (2.7)$$

Kargaşa sinyali

Kargaşa sinyali radarın tespit ettiği sinyaller arasında bulunan istenmeyen sinyaller olarak tanımlanır [23]. Bu sinyaller nedeniyle radarla tespit edilmek istenen asıl hedef sinyalleri görülmeyebilir veya yanlış bilgilere sahip olacak şekilde görülür. Kısacası kargaşa sinyalleri hedef tespiti yapılırken hedeflerden dönen sinyallerle birlikte alınarak tespit performansını düşürür. Kargaşa sinyalleri zeminden, denizden [24], hava koşullarından binalardan, kuşlardan, böceklerden ve diğer istenmeyen hedef benzeri yansımalarından kaynaklanır [25].

Bu çalışmada kargaşa sinyalini simüle etmek için MATLAB programındaki Sabit Gama Dağınıklığı Modeli (Constant Gama Clutter Model) kullanılmıştır. Bu modelde radar sisteminin monostatik olduğu, radar sinyallerinin boş bir alana yayıldığı, arazinin homojen olduğu ve dağınıklığın sabit olduğu, radar sisteminin ise bulunduğu yüksekliği sabit bir şekilde koruduğu varsayılmaktadır [26].

Arazinin homojen olduğu durumlar gerçek dünyada her zaman olmaz. Herhangi bir alanın ne kadar gerçek simüle edildiği arazinin her bir parçasının kendi alanıyla sınırlıdır ve eğer

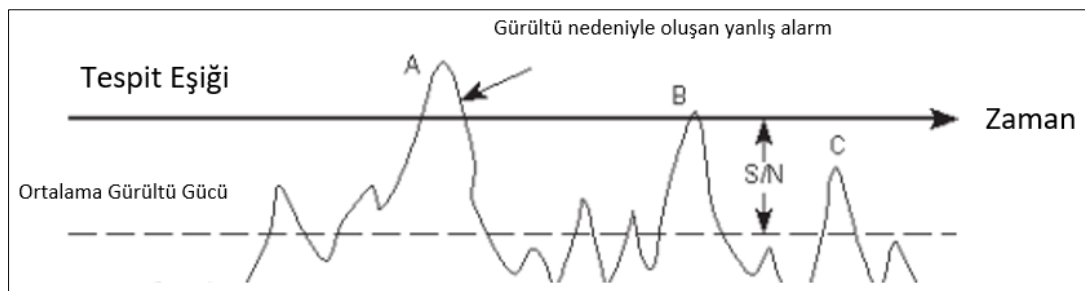
bir arazi parçası birden fazla arazi türü içeriyorsa Gama değeri bu arazi tiplerinin arasında bir değer alınır [27].

Her arazi kendine özgü Gama değerlerine sahiptir. Her arazi türünün Gama değerlerinin tek tek doğrulanması kolay olmadığından MATLAB programının sağladığı Gama değerleri doğru kabul edilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. MATLAB programında her bir arazi türü için belirli Gama değerleri vardır ve arazi türleri düz araziler, ormanlar, dağlar, metropol, tarım arazileri ve ormanlık tepeler olarak belirlenmiştir [26]. Varsayılan Gama değerleri radar çalışma frekansı 10 GHz'e kadar olan koşullarda geçerlidir [26].

Bu tez çalışmasında yapılan simülasyonlarda dağınıklığın sabit bir tipte olduğu varsayılmıştır ve arazi tipi olarak düz arazi seçilmiştir.

Sinyal gürültü oranı

Radar alıcılarında toplanan sinyaller arasında hedef sinyalleri dışında gürültü sinyalleri de bulunur (Şekil 2.5). Bu gürültü sinyallerinin alınan sinyal içerisinde bir oranı vardır ve bu oran Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio - SNR) olarak bilinir [28]. SNR alıcıdaki sinyal gücünün gürültü gücüne bölünmesi ile elde edilir. Tüm alıcılarda sinyal seviyesinin gürültü seviyesinden yüksek olması beklenir [19].



Şekil 2.5. Sinyal gürültü oranının görsel açıklaması [19]

Sinyal gürültü oranı (Signal/ Noise - S/N) Eş. 2.8 aracılığıyla hesaplanır [8].

$$SNR = E_{SINYAL} / E_{GÜRÜLTÜ} = (P_T \times G_T \times G_R \times \lambda^2 \times \sigma \times \tau_p) / ((4\pi)^3 \times R^4 \times k \times T_s \times L) \quad (2.8)$$

Burada; E_{SINYAL} sinyal enerjisini temsil eder ve birimi J'dir. $E_{GÜRÜLTÜ}$ gürültü enerjisini temsil eder ve birimi J'dir. P_T radarın tepe iletim gücü, G_T verici anten kazancı, G_R alıcı anten kazancı, λ dalga boyu, σ radar kesit alanı, τ_p iletim darbe genişliği, R mesafe, k Boltzmann sabiti $1,38 \times 10^{-23}$ W/(Hz Kelvin)'dir, T_s sistem gürültü sıcaklığıdır ve Eş. 2.9 ile hesaplanır. L ise radarın kayıplarının tümünü temsil eder.

$$T_s = T_a + (F_n - 1) \times T_0 \quad (2.9)$$

Burada; T_a ortam veya anten gürültü sıcaklığı ve F_n genel radar gürültü faktörüdür. T_0 Kelvin cinsinden referans (oda) sıcaklığı temsil eder ve 290 Kelvin değerine sahiptir [8].

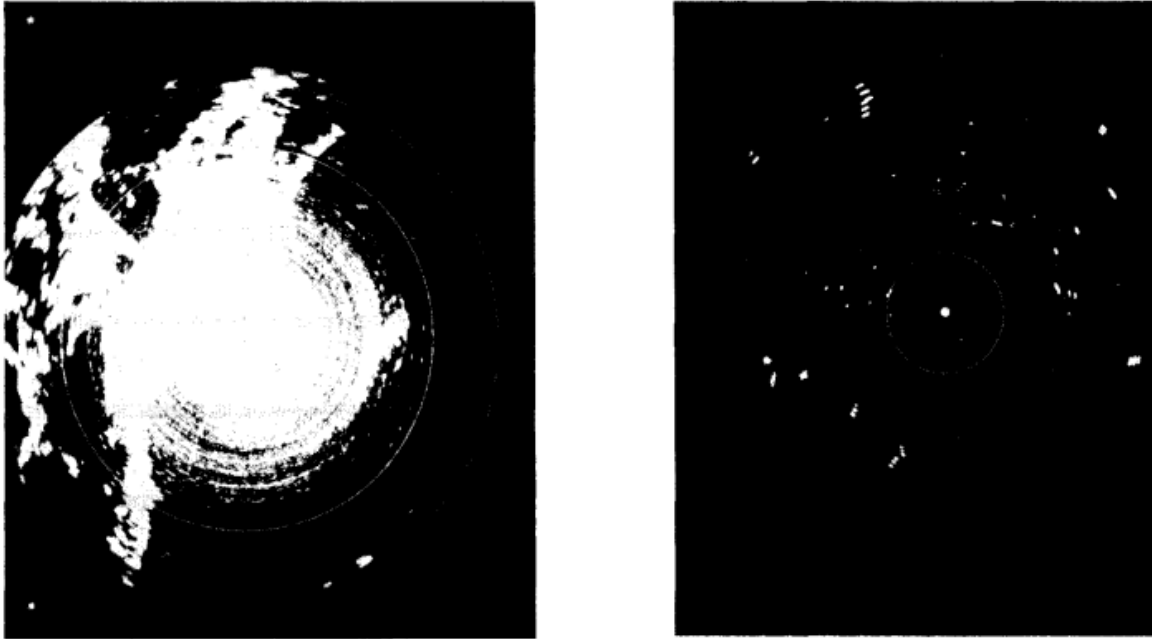
Bu tez çalışmasında SNR Albersheim metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için MATLAB programında yer alan *albersheim* fonksiyonu kullanılmıştır.

Çalışmada Albersheim metodunun kullanılma nedeni, bu metodun bu çalışmada kullanılan kargaşa sinyalinin özellikleri olan düzgün ve sabit Gauss kargaşa sinyalinin olması ve Gama değerinin sabit olduğu yerlerde kullanılabilmesindedir [29].

Albersheim metodunda SNR değerinin hesaplanabilmesi için Yanlış Alarm Olasılığı (False Alarm Probability - P_{FA}) ve Algılama Olasılığı (Probability of Detection - P_D) değerleri yeterlidir [29].

3. HAREKETLİ HEDEF GÖSTERGESİ RADARI

MTI radarlar darbeli radar kategorisindedir [18]. MTI radarlarının kullanım amacı hareket eden nesnelere tespit etmek olarak kısaca açıklanabilir [14]. Bu amaç Skolnik'e göre "binalar, ağaçlar, tepeler, yağmur, kar gibi hareketsiz çevresel etkilerden veya hareketsiz nesnelere gelen sinyalleri almayarak hareketli nesnelere gelen sinyalleri görüntülemek için tutmaktır" [18]. Hareketli hedeflerin tespitinde Doppler kayması kullanılır [31]. Doppler kayması ardışık darbeler arası faz kaymasından hesaplanır. Resim 3.1'de verilen iki adet radar tespit fotoğrafları, MTI filtrelemesinin ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.



Resim 3.1. MTI öncesi (solda) ve sonrası (sağda) radarda tespit edilen hedefler [18]

MTI radarlar coherent ve non-coherent olarak bilinen iki farklı moda çalışabilirler. Bu modlardan coherent moda MTI radar kendisine ulaşan yankı sinyalinin hedef tarafından yansıtılan parçasını tanımak için faz dalgalanmasına bakar ve bu faz dalgalanmasını tespit edebilmek için bir faz dedektör kullanır. Faz dalgalanmasına bakabilmek için ise coherent moda bir referans genlik kullanılır [18].

Non-coherent moda çalışan bir MTI radar ise kendisine ulaşan yankı sinyalinin hedef tarafından yansıtılan kısmını tanıyabilmek için genlik dalgalanmasına bakar. Bu moda

herhangi bir referans sinyal veya faz detektörü kullanılmaz. Bu modu kullanan radara ulaşan kargaşa sinyali coherent moddaki referans sinyalin fonksiyonunu görür [18].

Genel radar uygulamalarında non-coherent modun hem avantajları hem de dezavantajları bulunmaktadır. Non-coherent mod coherent moddan daha basit bir yapıya sahip olduğundan daha çok tercih edilen bir moddur. Ancak non-coherent modda çalışan radara ulaşan kargaşa sinyali ortamdaki yeterli miktarda alınamazsa hedef tespiti de yapılamaz. Eğer böyle bir durumla karşılaşılır ise modlar arasında yapılacak bir anahtarlama ile bu durum çözülebilir.

3.1. Kör Hız

MTI radarında yapılacak çalışmalarda öncelikle bilinmesi gereken bu radarda karşılaşılma ihtimali olan *Kör Hız* sorunudur [32]. Bu sorun özellikle sabit ve Tek PRF kullanan radar sistemlerinde ortaya çıkmaktadır. Bu radar sistemlerinde PRF ve PRF'nin tam katlarına denk gelen frekanslarda Doppler kaymasına neden olan hedeflerden, yani hareketli hedeflerden gelen sinyaller, yapılan filtrelemeler nedeniyle kargaşa sinyalleri ile birlikte bastırılmakta ve radar sistemi bu hedefleri tespit edememektedir [33]. Çünkü MTI filtrelerinde frekans tepkileri PRF'nin tam katlarındaki sıfır noktalarında periyodiktir [12].

Doppler frekansı Eş. 3.1'de belirtildiği üzere hedeflerin hızı ile alakalı olduğundan PRF'nin tam katlarındaki sıfır noktalarında yapılan filtrelemelerde sadece dağılımın DC değeri ortadan kaldırılmakla kalmaz, aynı zamanda $n \times \text{PRF}$ değerinde Doppler frekansına sahip hedefler zayıflatılır veya ortadan kaldırılır [1, 34, 35]. Burada $n=1,2,3,\dots$ dır.

$$f_d = (2 \times V) / \lambda \quad (3.1)$$

Kör hız,

$$V_{k\ddot{o}r} = (n \times \lambda \times f_r) / 2, \quad n \geq 0 \quad (3.2)$$

biçiminde olup PRF ile ilişkilidir [36]. Bu ilişkide ilk kör hızı en yüksek hedef hızının üstünde tutmak için yüksek bir PRF kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak menzil belirsizliklerinden kurtulabilmek için de düşük bir PRF kullanmak gerekir.

Kör hız sorununun farklı çözümleri bulunmaktadır. Bu çözümlerden biri yüksek PRF değerlerinde çalışma yapılmasıdır. Bu sayede kör hız değerinin de artması sağlanmış olur ve nesnenin hızı tespit edilebilir. Ancak bu yöntem menzil belirsizliklerinin ortaya çıkmasına neden olur ve nesnenin yeri tam doğru belirlenemeyebilir.

Nesneyi algılamak için radarın gönderdiği dalganın dalga boyu artırılarak da bu soruna çözüm bulunabilir. Ancak bu durumda da radar sisteminde kullanılacak antenin boyunun büyümesine gerek duyulacaktır.

Çözümler arasında diğer bir çözüm en yaygın çözüm olarak da bilinen Kademeli PRF uygulamasıdır. Bu yöntem, radarların birden fazla PRF arasında geçiş yapabilmesine olanak tanıyarak [14] kör hız değerini artırmakta ve Tek PRF uygulamasına göre daha geniş Doppler frekans bandında hedef algılaması yaptırılmasını sağlar [37].

Kademeli PRF iki şekilde kullanılabilir: Ya farklı PRF değerlerine sahip birden fazla radar kullanılabilir veya iki veya daha fazla PRF'li tek bir radar kullanılabilir. Kör hız PRF ile orantılı olduğundan ilk seçenek değerlendirilirse radarların PRF'leri farklı olduğundan kör hızları da farklı olacaktır. Ancak sadece bu sorunu çözmek için birden fazla radar kullanmak maliyetli bir seçenek haline gelmektedir. Bunun yerine iki veya daha fazla PRF'ye sahip tek bir radar kullanmak gerekmektedir.

Burada iki farklı periyodu olan bir radar sistemi düşünülürse ve bu periyotlara T1 ve T2 denilirse bu iki periyot arasındaki orana ($T1/T2$) kademe oranı (stagger ratio) adı verilir.

3.2. MTI Radar Performansını Etkileyen Faktörler

MTI radarın performansını etkileyen birden fazla faktör bulunmaktadır. Bu faktörler doppler sinyal işleyicisinin tasarımı, alıcı ve verici sistemlerinin yani donanım sistemlerinin kararsızlıkları, kargaşa sinyalinin birden çok yüzeyden gelen yansımalarının vektörel toplamlarının değişken olması (kargaşa dalgalanması), tarama modülasyonu ve MTI iyileştirme faktörü yani IF (Improvement Factor) olarak sayılabilir.

Donanım kararsızlıkları konusunda MTI radar sistemleri diğer radar sistemlerine göre daha stabil olarak bilinmektedir [12]. Bu kararsızlığa neden olan etkenlerin başında tasarım ve

üretim süreçlerinde yeterli dikkatin gösterilmemesi gelmektedir. Ayrıca alıcı ve vericide bulunan osilatörlerdeki değişimler ve darbeler arasındaki zaman gecikmesindeki değişim de bu kararsızlığa neden olmaktadır.

Kargaşa dalgalanması kargaşanın karakteristiğinden ötürü meydana gelir. Radar sistemine ulaşan yankı sinyalleri birden çok yüzeyden yansıyan yankıların toplamıdır. Hareketli yüzeyler de bu yankı sinyallerinin dalgalanmasına neden olurlar. Bu yankı sinyali içerisinde kargaşa sinyalini de barındırdığından kargaşa sinyali de dalgalanmış olur. Bu dalgalanma MTI iyileştirme faktörünün de azalmasına neden olur.

MTI iyileştirme faktörü (IF) radar sistemi çıkışındaki sinyal/kargaşa oranının sistem girişindeki sinyal/kargaşa oranına oranı olarak bilinmektedir [12]. Sinyal/kargaşa oranı SCR (signal to clutter ratio) olarak bilinir ve sinyal seviyesinin kargaşa seviyesine oranı olarak ifade edilir. MTI radarda IF Eş. 3.3 ile gösterilmektedir. Burada S_o çıkış sinyalini, C_o çıkıştaki kargaşayı, S_i giriş sinyalini, C_i ise girişteki kargaşayı temsil eder.

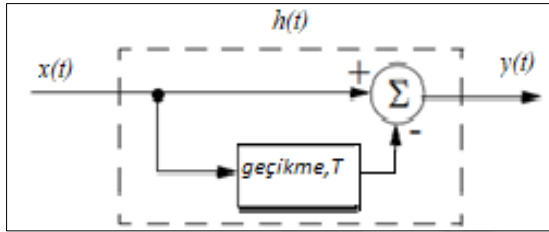
$$IF = (S_o/C_o)/(S_i/C_i) \quad (3.3)$$

3.3. Hareketli Hedef Göstergesi Radarında Kullanılan Filtreleme Teknikleri

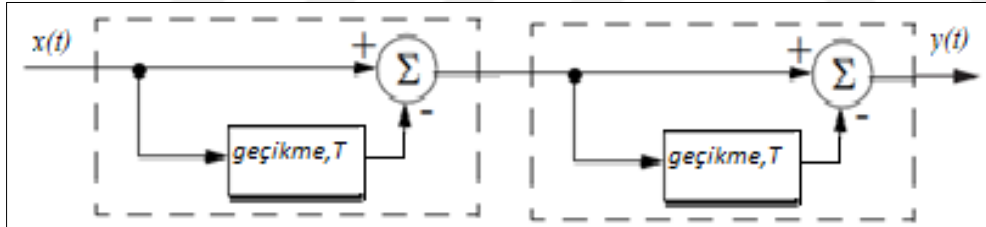
MTI radarları gelen hareketli hedef sinyallerinin hareketsiz hedef sinyallerinden ayrılması amacıyla bazı filtreleme teknikleri kullanılır [38]. Bu filtreler gecikme hattı iptalleyici (delay line canceler) veya diğer adıyla darbe iptalleyici (pulse canceler) olarak bilinir [25]. Bu iptalleyiciler sinyal işleme tekniği olarak kullanıldıkları için, MTI radarın çok önemli bir parçasıdır ve MTI iyileştirme faktörünün düzeltilmesinde önemli rol oynarlar [39]. Ewell'in aktardığı bilgiye göre, "uygulamada kargaşa sinyalini tam olarak elimine edilebilmesi için iptalleyiciler genellikle iki veya daha fazla alınan darbeyi işlemektedir" [7]. Radar tarafından alınan hedef geri dönüş sinyalleri içerisinde bulunan dinamik ve statik sinyallerden dinamik olanlar bir gecikme hattında dönüş sinyali belli bir ertelemeye maruz bırakıldıktan sonra ayrılırlar. Ayrılan statik sinyaller filtreleme aracılığı ile bastırıldıktan sonra dinamik sinyaller artık kullanılabilir hale gelirler.

En yaygın iptalleyiciler; İki Darbe İptalleyici Filtresi ve Üç Darbe İptalleyici Filtresidir [8, 38, 40]. Bu iptalleyicilerin dışında Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici Filtresi olarak bilinen üçüncü bir iptalleyici filtresi daha bulunmaktadır [12, 36, 38]. İki Darbe İptalleyici filtresi Tek Gecikmeli Hat İptalleyici ve Üç Darbe İptalleyici filtresi de Çift Gecikmeli Hat İptalleyici olarak da bilinirler [38].

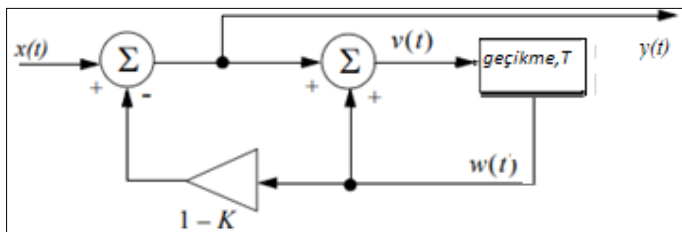
İki Darbe İptalleyici filtresinin blok şeması Şekil 3.1’de, Üç Darbe İptalleyici Filtresinin blok şeması Şekil 3.2’de, Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin blok şeması ise Şekil 3.3’te verilmektedir.



Şekil 3.1. İki darbe iptalleyici filtresi blok şeması [12]



Şekil 3.2. Üç darbe iptalleyici filtresi blok şeması [12]



Şekil 3.3. Geri beslemeli gecikme hattı iptalleyici filtresi blok şeması [12]

Bu filtrelerden İki Darbe İptalleyici filtresinin dürtü yanıtı (impulse response) Z alanında (Z domain) Eş. 3.3’te verilmektedir.

$$H(z) = 1 - z^{-1} \quad (3.3)$$

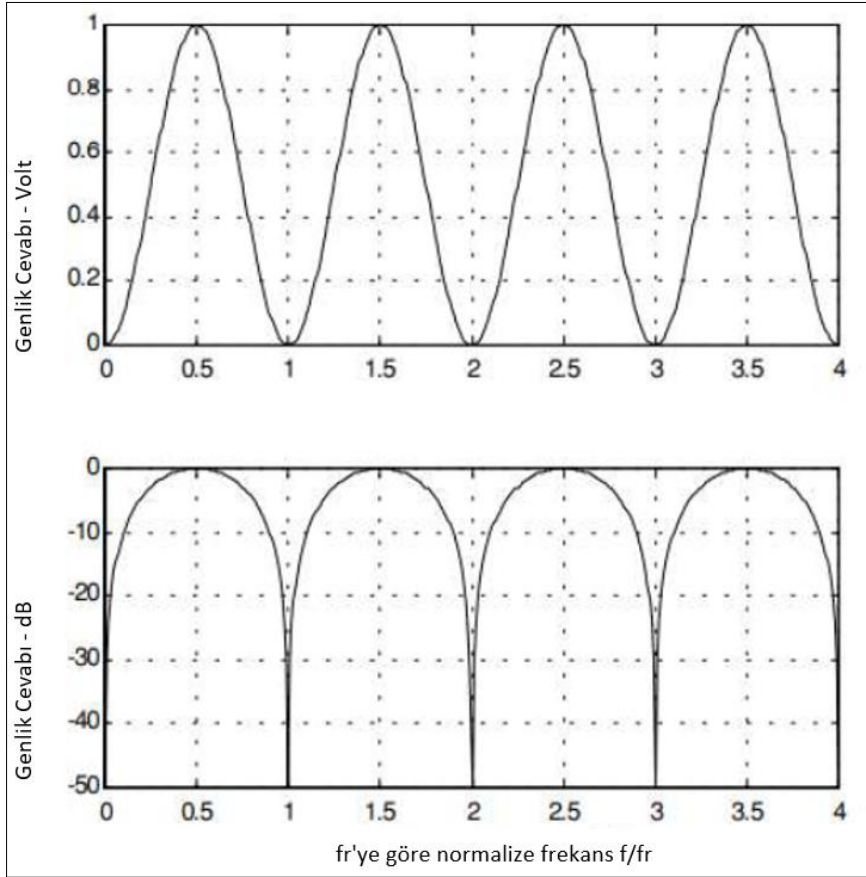
Üç Darbe İptalleyici filtresinin dürtü yanıtı Z alanında Eş. 3.4'te verilmektedir.

$$H(z) = 1 - 2z^{-1} + z^{-2} \quad (3.4)$$

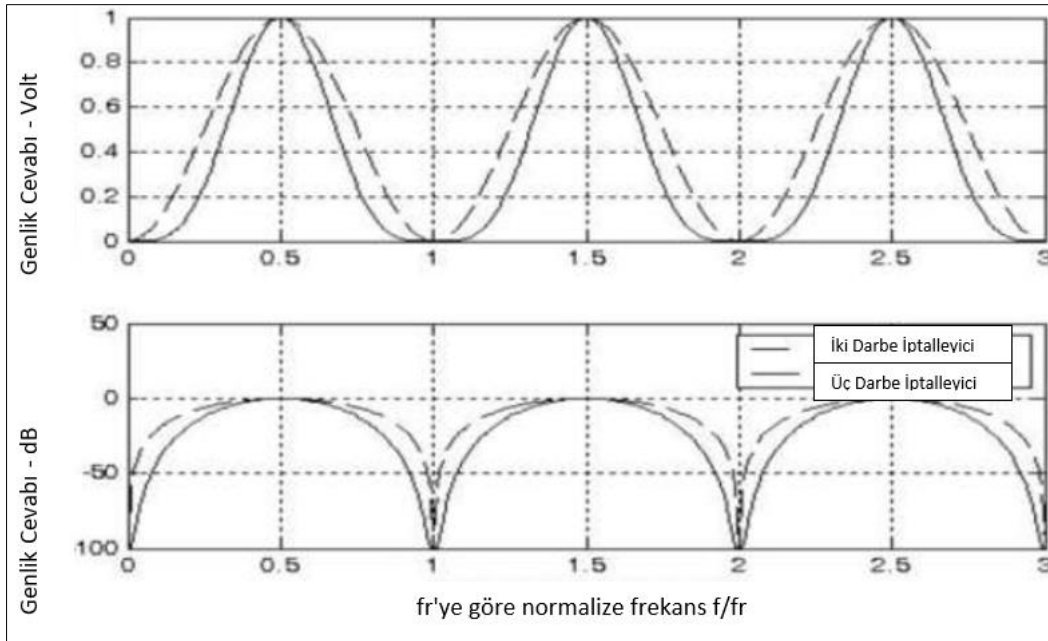
Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin dürtü yanıtı ise Eş. 3.5'te verilmektedir. Bu eşitlikte ve Şekil 3.3'te "K" olarak belirtilen değişken filtre yanıtını belirleyen kazanç faktörü olarak bilinir. K değeri eğer sıfır olursa Geri Beslemeli İptalleyici filtresi İki Darbe İptalleyici filtresine dönüşür, ayrıca pozitif geri beslemeden dolayı oluşacak salınımların önüne geçebilmek için K değerinin 1'den küçük olması gerekir [12, 36].

$$H(z) = (1 - z^{-1}) / (1 - Kz^{-1}) \quad (3.5)$$

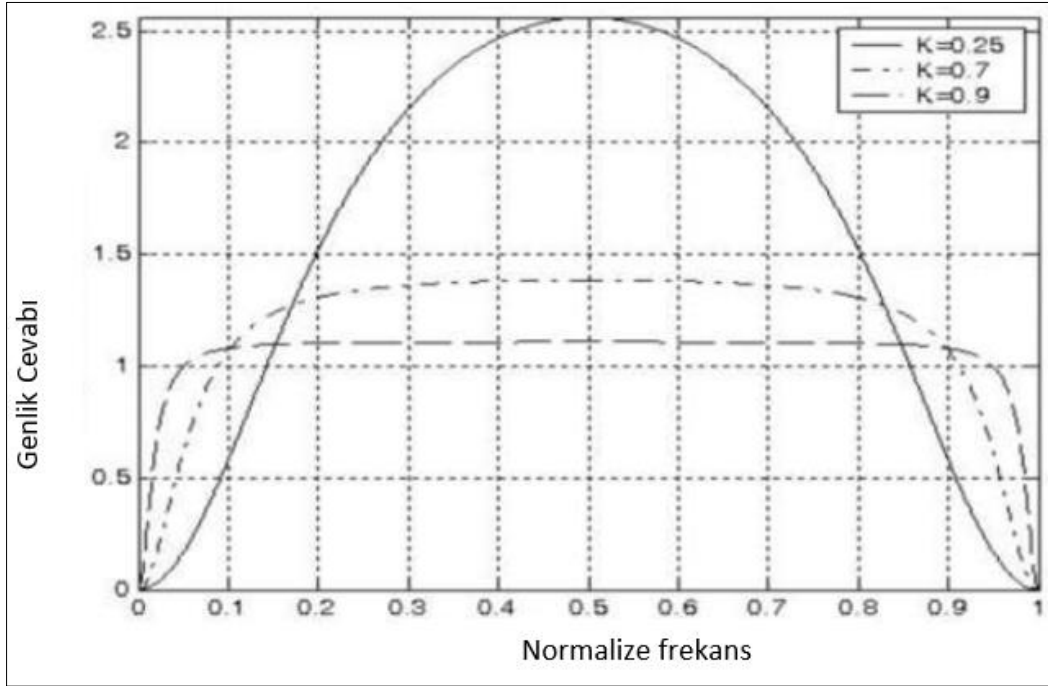
İki Darbe İptalleyici filtresinin genlik cevabı Şekil 3.4'te verilmiştir. Üç Darbe İptalleyici filtresinin genlik cevabı ve İki Darbe İptalleyicisinin genlik cevaplarının karşılaştırılması ise Şekil 3.5'te verilmiştir. Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin K değerinin değişimine göre genlik cevabı değişimi de Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.4. İki darbe iptalleyici filtresi genlik cevabı [12]



Şekil 3.5. İki ve üç darbe iptalleyici filtreleri genlik cevabı karşılaştırması [12]



Şekil 3.6. Farklı K değerlerine göre geri beslemeli iptalleyici genlik cevabı değişimi [12]

4. FİLTRE KARŞILAŞTIRMALARI VE YENİ FİLTRENİN SEÇİMİ

Bu bölümde filtre karşılaştırmalarının yapılabilmesi için tasarlanan senaryolar, bu senaryolardan alınan sonuçlar ve sonuçların yorumları verilmektedir.

Yapılan simülasyonlarda her filtre için hem Tek PRF hem Kademeli PRF modları kullanılmış ve bu modlar arasındaki değişimler de incelenmiştir.

Filtre performansları hedeflerin ve kargaşa sinyallerinin güçlerinde oluşan değişimlere göre incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Hedeflerin yüksek güçle tespit edilmesi, kargaşanın ise bastırmalar sonrası düşük güçle görünmesi beklenecek nihai karar verilmiştir.

En iyi performansı veren Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi seçilerek sınanmıştır. Dağınıklığın en yüksek güce sahip olduğu noktada bu filtre tekrar test edilmiştir.

4.1. Filtre Performanslarını Karşılaştırma Algoritması

4.1.1. Simülasyon ortamı ve değişkenler

Simülasyonların tamamı MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır. Yazılan koddaki ana değişkenlerin ilk değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Burada senaryodan senaryoya değiştirilen değişkenler de belirtilmektedir.

Çizelge 4.1. Simülasyon değişkenleri çizelgesi

Her Senaryoda Değişecek Mi?	Değişken	Açıklaması	Değeri
Hayır	pd	Algılama Olasılığı	0,9
Hayır	pfa	Yanlış Alarm Olasılığı	10^{-6}
Hayır	max_range	Maksimum Anlaşılır Menzil	5000
Hayır	range_res	Menzil Çözünürlüğü	50
Hayır	tgt_rcs	Hedef Radar Kesiti	1
Hayır	prop_speed	Yayıma Hızı	3×10^8 (Işık hızı)
Hayır	pulse_bw	Darbe Bant Genişliği	$\text{prop_speed}/(2 * \text{range_res})$
Hayır	pulse_width	Darbe Süresi	$1/\text{pulse_bw}$
Hayır	prf	Darbe Tekrarlama Frekansı	$\text{prop_speed}/(2 * \text{max_range})$
Hayır	fs	Örnekleme Hızı, frekansı	$2 * \text{pulse_bw}$
Hayır	noise_bw	Gürültü Bant Genişliği	pulse_bw
Hayır	snr_db	SNR Değerleri	[-inf, 0, 3, 10, 13]
Hayır	num_pulse_int	Darbe Sayısı	10
Hayır	snr_min	Albersheim SNR	$\text{albersheim}(\text{pd}, \text{pfa}, \text{num_pulse_int})$
Hayır	tx_gain	Verici Kazancı	20
Hayır	fc	Radar İşletme Frekansı	10^9
Hayır	blindspd	Kör Hız	$\text{dop2speed}(\text{prf}, \text{wavelength})/2$
Evet	tgt_pos	Hedeflerin Konumları	[[1600 0 1300]', [2900 0 800]', [3800 0 100]']
Evet	tgt_vel	Hedeflerin Hızları	[[100 80 0]', [-blindspd 0 0]', [200 0 80]']
Hayır	tgt_rcs	Hedef Radar Kesitleri	[25 25 25]
Hayır	pulsenum	Alınan ve Simüle Edilecek Darbe Sayısı	10
Hayır	h_two_pulse	İki Darbeli İptalleyici Katsayıları	[1 -1]/1
Hayır	h_three_pulse	İki Darbeli İptalleyici Katsayıları	[1 -2 1]/1
Evet	K	Kazanç Faktörü	0,25
Evet	h_feedback	Geri Beslemeli İptalleyici Katsayıları	[1 -1]/[1 -K]
Hayır	prf_ortak_kademeli	Tüm filtreler için ortak Kademeli PRF	$\text{wavespeed}/(2 * [6000 5000])$

4.1.2. Simülasyonun açıklanması

Simülasyonların amacı hedef tespit ve kargaşa bastırma performanslarının incelenmesi ve karşılaştırılması, sonuçlar alındıkça da filtre parametrelerini değiştirerek hedef tespiti ve kargaşa sinyalinin bastırılması açısından ideal bir Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyicisi seçmektir. Bu nedenle birden fazla senaryo tasarlanmıştır.

4.2. Filtre Karşılaştırma ve Yeni Filtre Tasarım Senaryoları

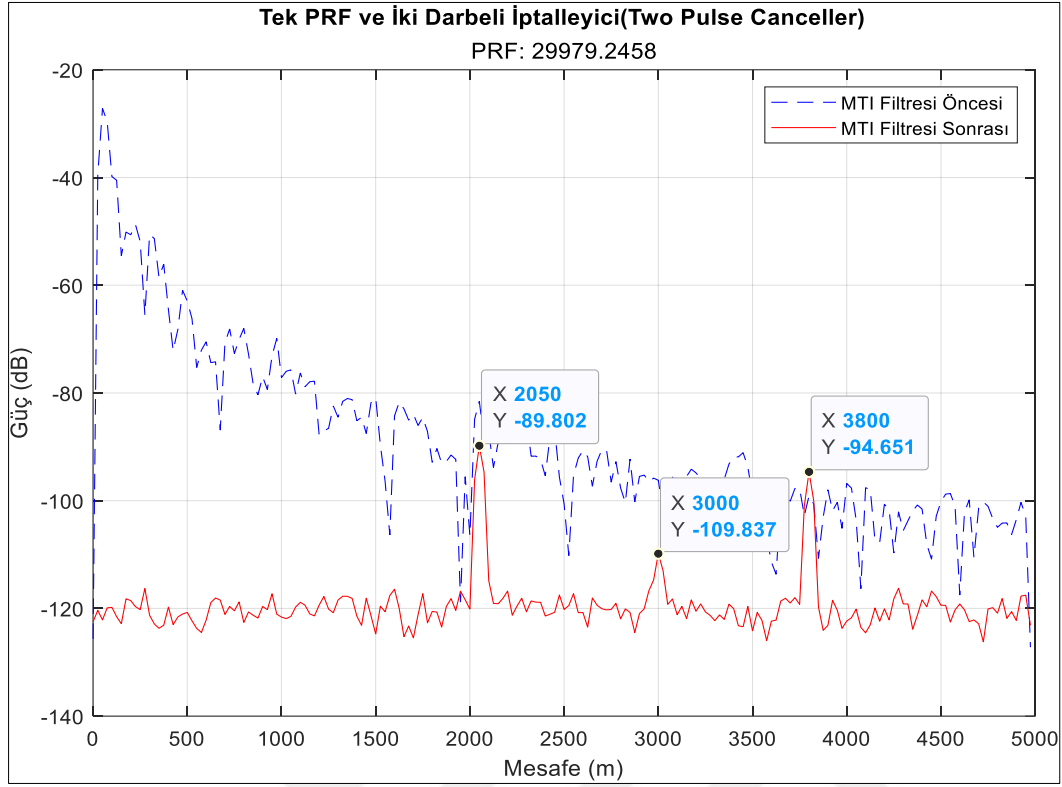
Bu tez çalışması kapsamında sekiz adet simülasyon senaryosu tasarlanmıştır.

4.2.1. Senaryo 1

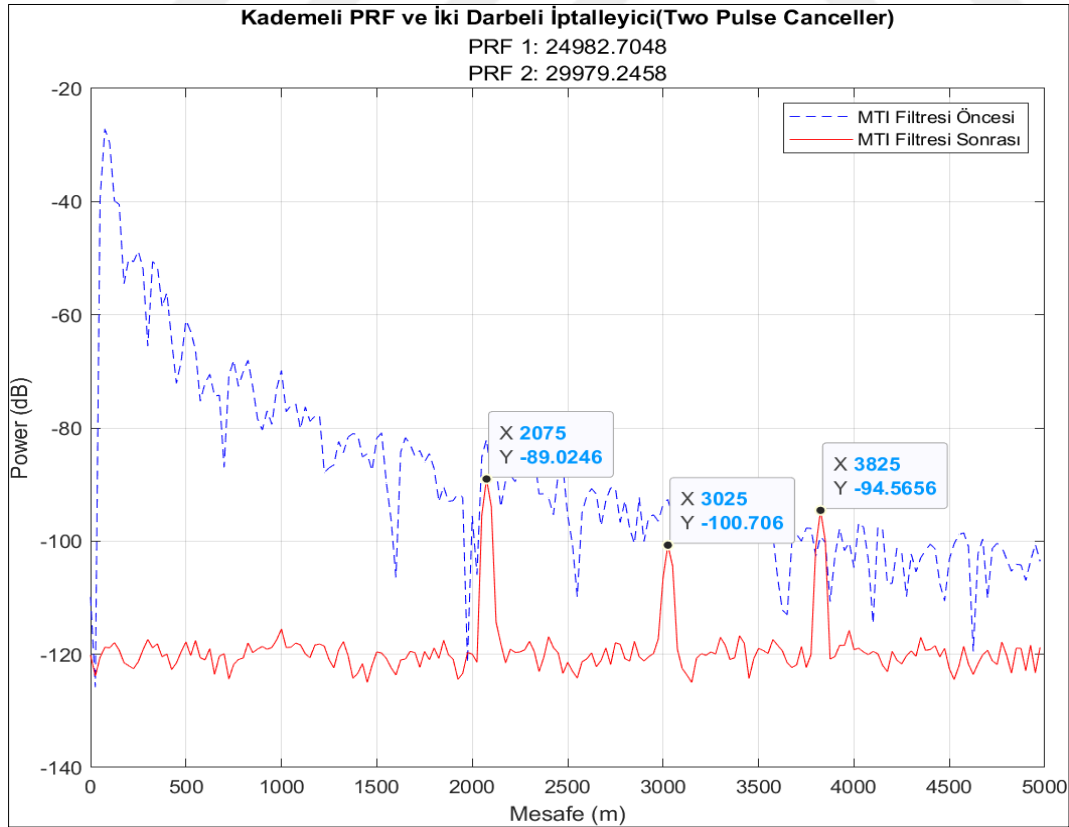
Tüm filtrelerde(Tek PRF'li İki Darbe İptalleyici, Kademeli PRF'li İki Darbe İptalleyici; Tek PRF'li Üç Darbe İptalleyici, Kademeli PRF'li Üç Darbe İptalleyici; Tek PRF'li Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici, Kademeli PRF'li Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici) belirlenen ilk parametre değerleri ile kullanılmıştır. Burada Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin Kazanç faktörü 0,25 olarak ayarlanmıştır. Alınan sonuçlar hedef tespit ve kargaşa bastırma performansları açısından değerlendirilmiştir.

İki darbe iptalleyici için sonuçların alınması ve yorumlanması

İki Darbe İptalleyici Tek PRF ile kullanıldığında 1600 m'de olan Hedef 1, 2050 m'de, 3800 m'de olan Hedef 3, 3800 m'de tespit edilmiş olup sinyal güçleri sırasıyla -89,802 desibel (dB) ve -94,651 dB olarak tespit edilmiştir. 2900 m'de olan ve kör hızda hareket eden Hedef 2'nin de radar tarafından düşük sinyal gücüyle (-109,83 dB) bile tespit edildiği görülmektedir. Alınan çıktılar Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Tek PRF'li iki darbe iptalleyici filtresinin çıktıları



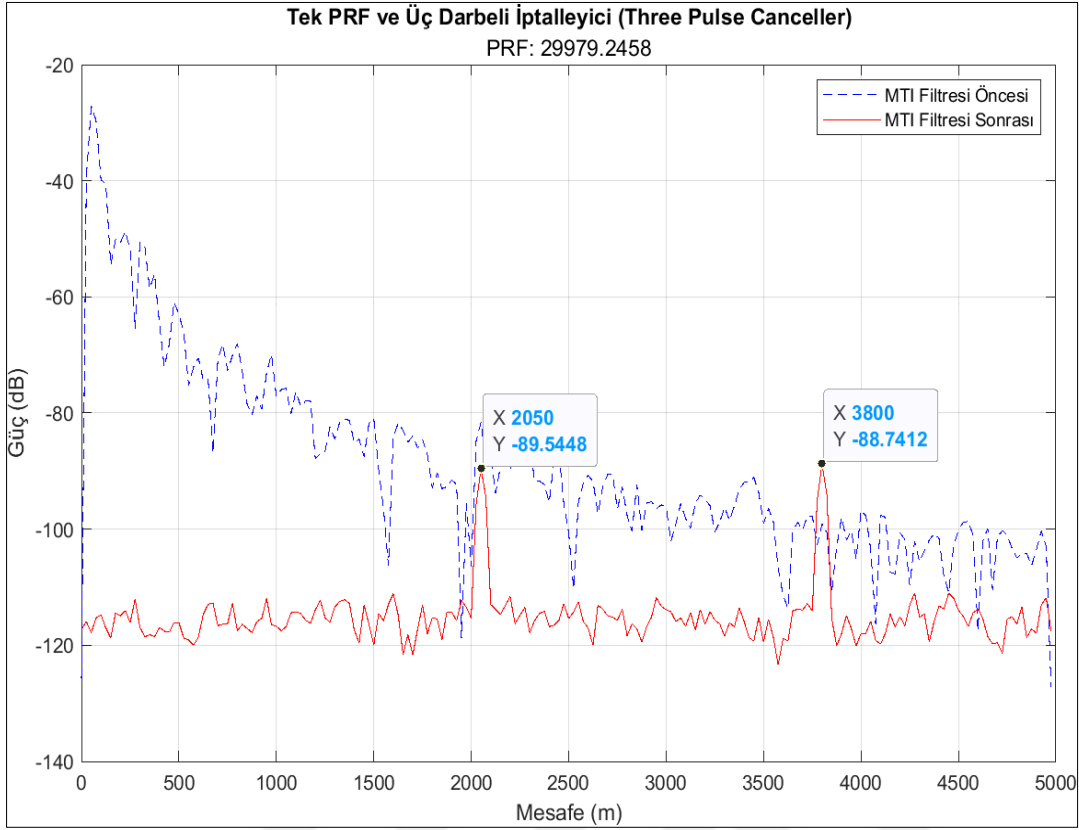
Şekil 4.2. Kademeli PRF'li iki darbeli iptalleyici filtresinin çıktıları

Kademeli PRF kullanılması ile İki Darbe İptalleyiciden alınan çıktılar sonucunda Hedef 1 2075 m’de, Hedef 2 3025 m’de, Hedef 3 ise 3825 m’de tespit edilmiştir. Hedef sinyallerinin gücü sırasıyla -89,02 dB, -100,7 dB ve -94,56 dB olarak tespit edilmiştir. Birinci ve üçüncü hedeften alınan sinyallerin gücünün Tek PRF uygulamasına göre az miktarda artmış olduğu, ikinci hedeften alınan sinyal gücünün ise hala diğer hedeflere göre daha az, ancak Tek PRF kullanımına göre artmış olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).

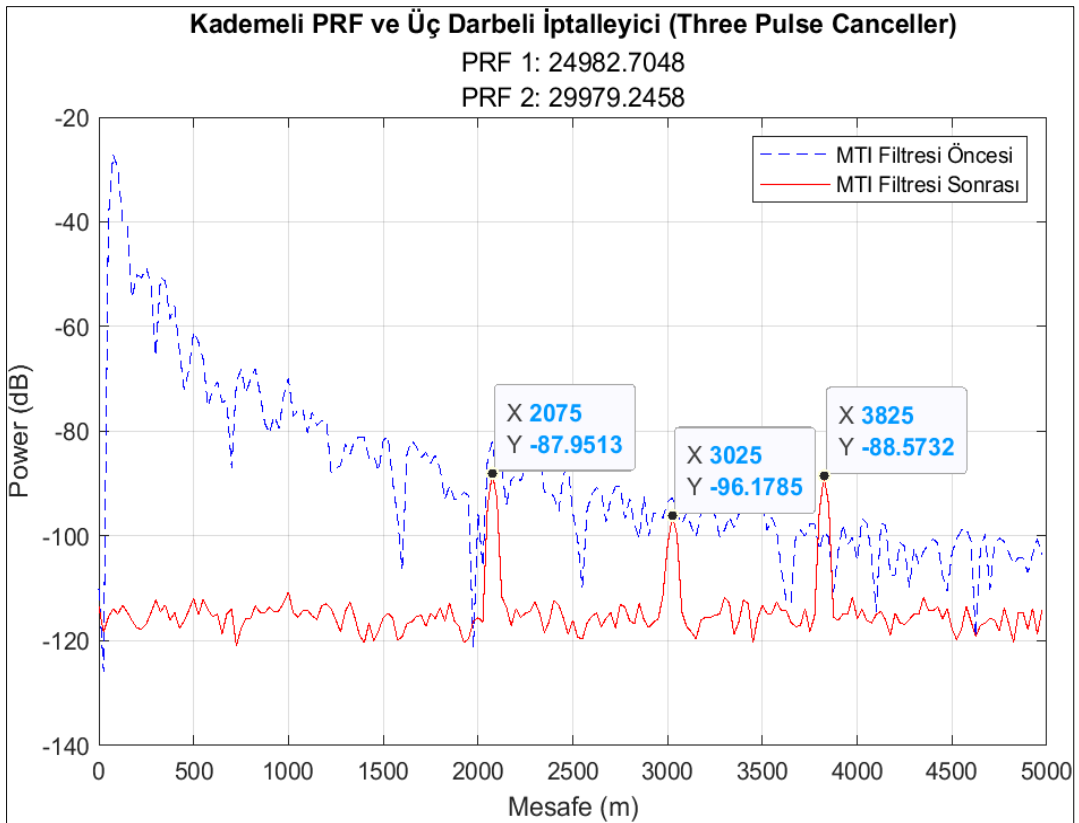
Üç darbe iptalleyici için sonuçların alınması ve yorumlanması

Üç Darbe İptalleyici Tek PRF ile kullanıldığında 1600 m’de olan Hedef 1, 2050 m’de, 3800 m’de olan Hedef 2, 3800 m’de tespit edilmiş olup sinyallerinin gücü sırasıyla -89,54 dB ve -88,74 dB olarak radar tarafından görülmüştür. 2900 m’de olan ve kör hızda hareket eden Hedef 2’nin hedefin ise radar tarafından tespiti yapılamamış, kargaşa sinyalinden ayırt edilememiştir (Şekil 4.3).

Üç Darbe İptalleyici eğer Kademeli PRF uygulaması ile kullanılırsa, Hedef 1 yine İki Darbe İptalleyicideki gibi 2075 m’de, Hedef 2 3025 m’de, Hedef 3 ise 3825 m’de tespit edilmiştir. Sinyallerin gücü sırasıyla -87,95 dB, -96,17 dB ve -88,57 dB olarak tespit edilmiştir. Hedef 1’den alınan sinyal Tek PRF uygulamasına göre artmıştır ve bu artış İki Darbe İptalleyicideki Tek PRF – Kademeli PRF karşılaştırmasındaki artışa nazaran daha fazladır. Hedef 3’ün sinyal gücünde ise İki Darbe İptalleyici filtresindeki Tek PRF ve Kademeli PRF karşılaştırmasındaki artış gibi yine küçük bir artış meydana gelmiştir. Hedef 1 ve Hedef 3’ten alınan sinyallerin gücünün arttığı yine aynı İki Darbe İptalleyici filtresindeki gibi görülmüştür. Hedef 2 ise filtreye Tek PRF uygulandığında ortaya çıkmazken Kademeli PRF uygulamasında ortaya çıkmıştır yani konumu tespit edilebilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Tek PRF'li üç darbe iptalleyici filtresinin çıktıları



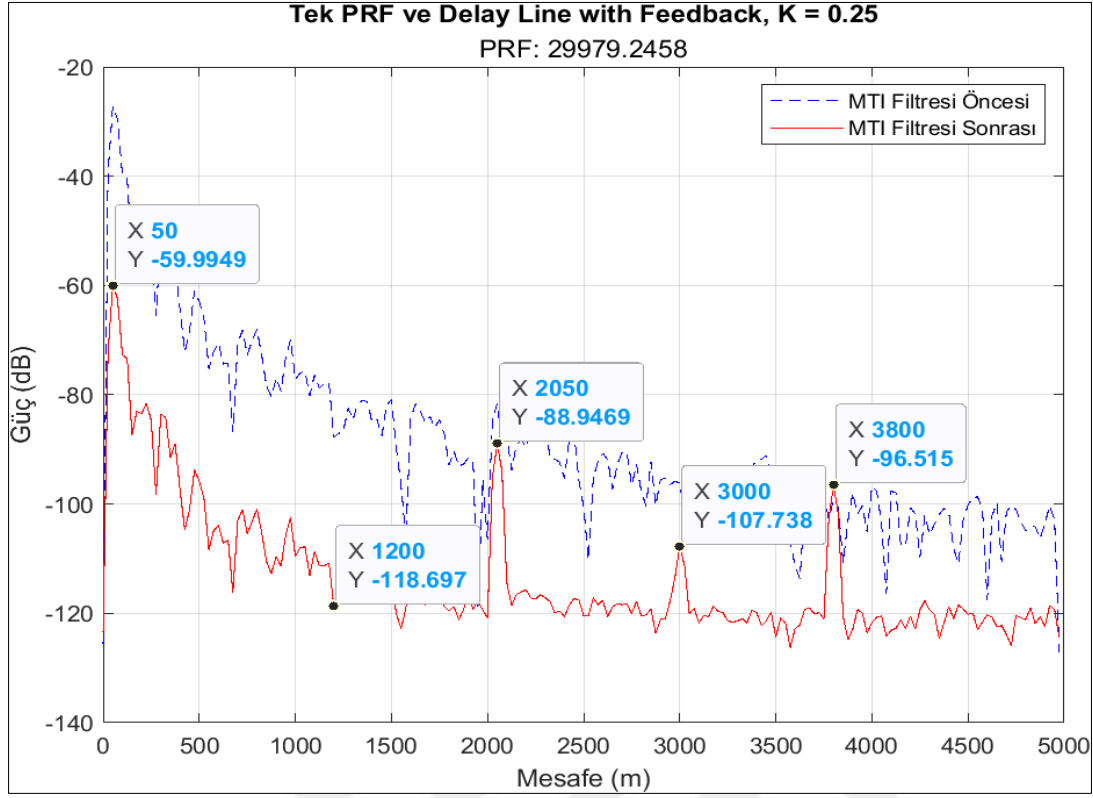
Şekil 4.4. Kademeli PRF'li üç darbe iptalleyici filtresinin çıktıları

Geri beslemeli gecikme hattı iptalleyici için sonuçların alınması ve yorumlanması

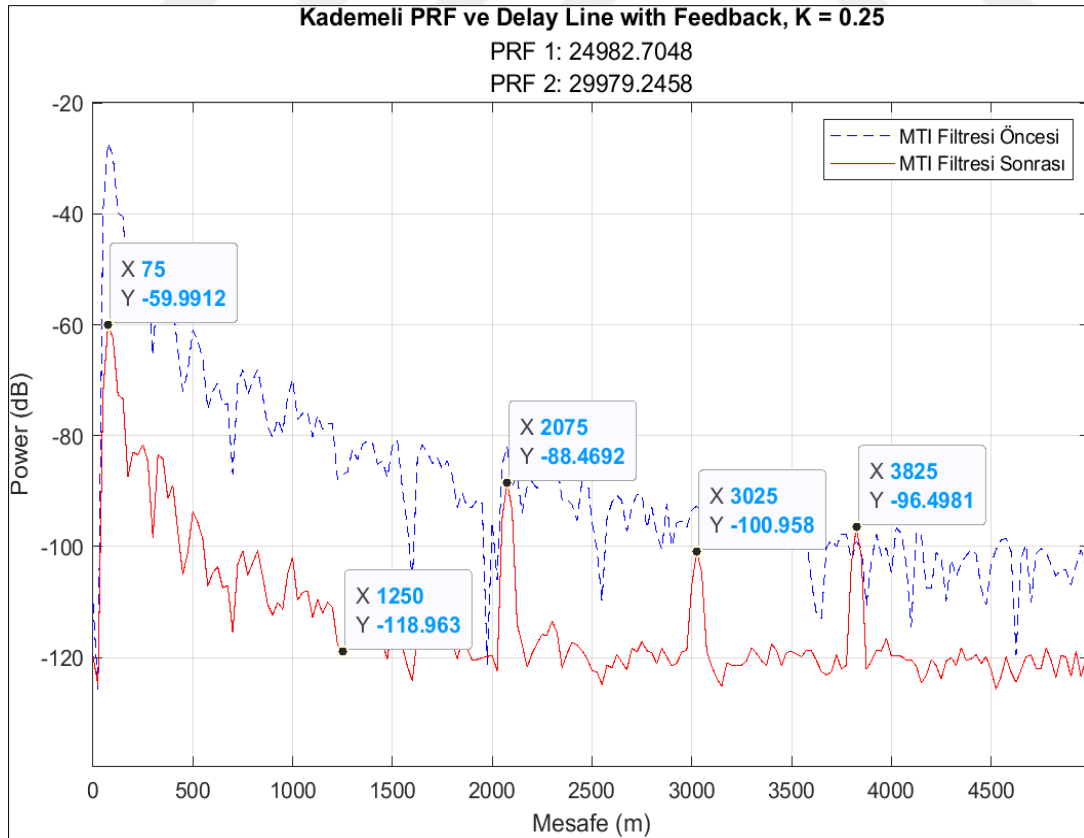
Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi Tek PRF ile kullanıldığında ve “K” değeri yani kazanç faktörünün değeri 0,25 olarak ayarlandığında, 1600 m’de olan Hedef 1, 2050 m’de, 3800 m’de olan Hedef 3, 3800 m’de tespit edilmiş olup tespit sinyallerinin gücü sırasıyla -88,94 dB ve -96,515 dB olarak radar tarafından görülmüştür. 2900 m’de olan ve kör hızda hareket eden Hedef 2’nin sinyalinin de radar tarafından düşük güç (-107,73 dB) ile de olsa tespit edildiği görülmektedir. Burada kargaşa sinyalinin bastırılmasında da problemler olduğu görülmektedir. Özellikle ilk 1000-1200 m’ye kadar olan kısımda kargaşa sinyali İki Darbe İptalleyici ve Üç Darbe İptalleyici filtrelerine göre çok az bastırılabilmiştir. İki ve Üç Darbe İptalleyici filtrelerinde kargaşa sinyali bu mesafe bölgesinde -120 dB’ye kadar indirilebilmişken bu filtrede kargaşa sinyalinin -60 dB seviyeleri ile -118,69 dB seviyeleri arasında hala belli bir güce sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.5).

Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici eğer Kademeli PRF uygulaması ile kullanılırsa ve “K” değeri yani kazanç faktörünün değeri yine 0,25 olarak ayarlanırsa, Hedef 1 2075 m’de, Hedef 2 3025 m’de, Hedef 3 ise yine 3825 m’de tespit edilmiştir. Hedeflerden alınan sinyallerin gücü sırasıyla -88,46 dB, -100,95 dB ve -96,49 dB olarak tespit edilmiştir. Hedef 1 ve Hedef 3’ten alınan sinyallerin gücünde ciddi miktarda değişim olmazken Hedef 2’den alınan sinyalde iyileşme sayısal olarak da görülmektedir. Burada kargaşa sinyalinin bastırılması yine zayıf kalmaktadır. Tek PRF uygulamasında olduğu gibi Kademeli PRF uygulamasında da kargaşa sinyali 1250 m’ye kadar -60 dB ile -119 dB arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.6).

Bu üç filtrenin çıktıları göz önüne alındığında Kademeli PRF uygulamasının hedef konumlarını 25 m ilerde tespit ettiği görülmektedir. Buna Hedef 3’ün Tek PRF uygulamasında tam olarak doğru konumda tespit edilirken Kademeli PRF uygulamalarında 25 m ilerde görülmesinden varılmıştır.



Şekil 4.5. Tek PRF'li geri beslemeli iptalleyici filtresinin çıktıları



Şekil 4.6. Kademeli PRF'li geri beslemeli iptalleyici filtresinin çıktıları

4.2.2. Senaryo 2

Bu senaryoda Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinde Kazanç faktörü değişiminin filtre performansına etkisi incelenmiştir. Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici Filtresi farklı parametreler ile yeniden çalıştırılmıştır. Bu simülasyonda $K = 0,5$ ve $0,125$ için de sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlar Senaryo 1 ile ($K = 0,25$) karşılaştırılmıştır. Bu senaryoda yapılan K değişikliğinin hedef sinyallerine olan etkisi de karşılaştırılmış ve kargaşa sinyalini bastırabilmeyi sağlayan yani hedeflerden en az sinyal veren hedefin altına düşüren Sınır K değeri simülasyonlar yapılarak araştırılmıştır.

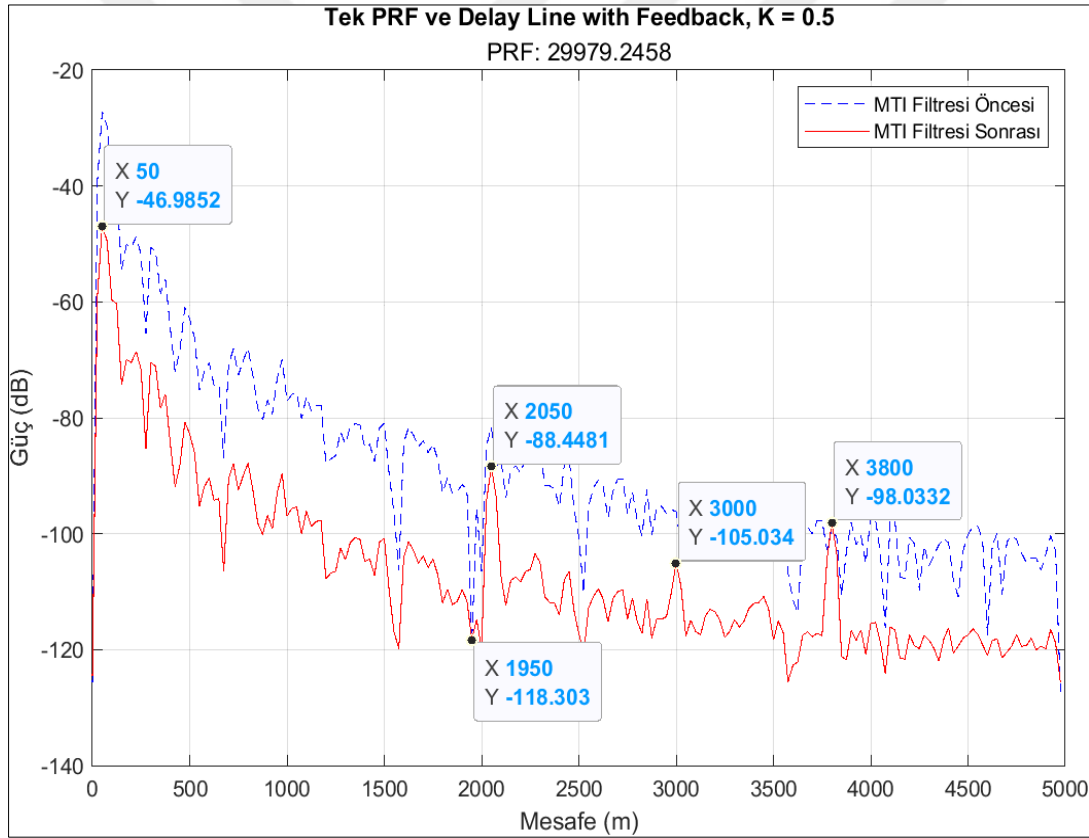
Farklı K değerleri için sonuçların alınması ve senaryo 1 ile karşılaştırılması

$K = 0,5$ alındığında;

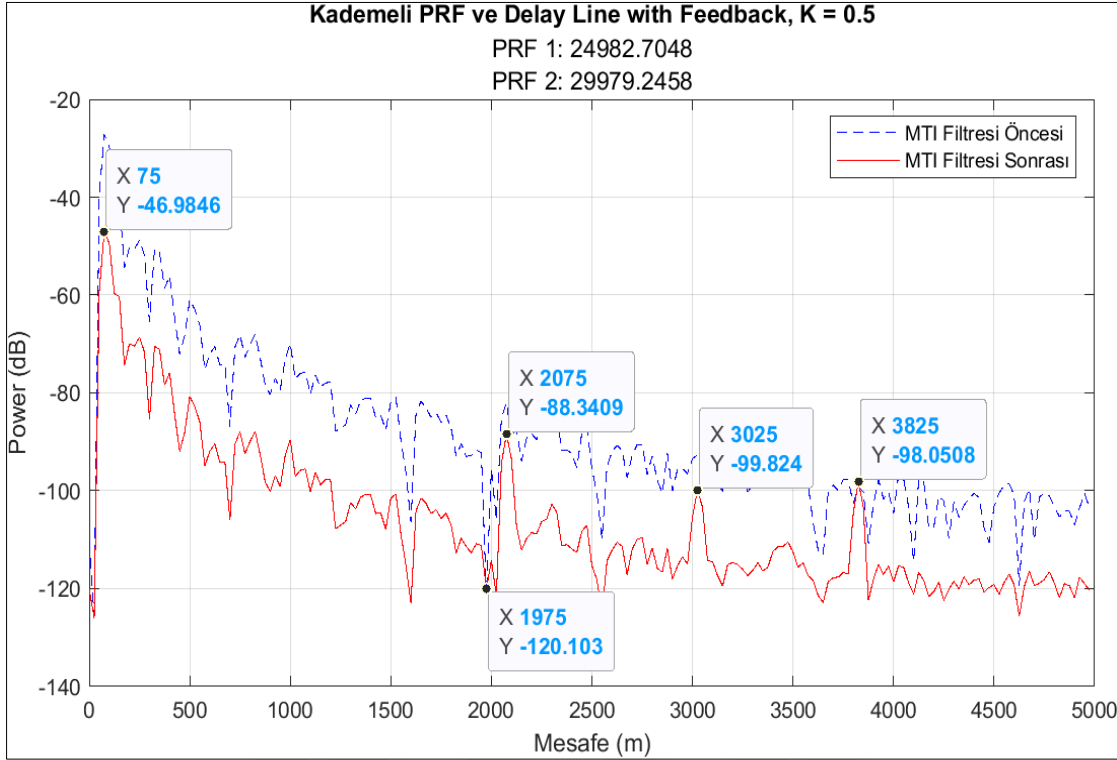
Senaryo 2’de eğer Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinde kullanılan kazanç faktörü “ K ” artırılarak $0,5$ değerine ayarlandığında (Tek PRF için), kargaşa sinyalinin filtreleme işlemi sonrasında bile hala geldiği görülmektedir. Bu durumdaki çıktılar incelendiğinde filtreden geçen kargaşa sinyalinin gücünün tepe noktasının $-46,98$ dB olduğu gözlenmektedir. Kargaşa normal seviyesi olan -118 dB’ler seviyelerine 1950 m’de inmektedir. $K = 0,25$ için kargaşa tepe noktası -60 dB seviyelerinde iken bu senaryoda bu seviyenin artmış olması ve normal seviye olan -118 dB’ler seviyesine $K = 0,25$ için 1200 m’ler mertebesinde inilirken bu senaryoda bu değer 1950 m’ler mertebesine kayması kargaşa sinyalinin $K = 0,25$ ’e göre hem daha zayıf bir bastırma yapıldığını hem de kargaşa sinyalinin daha geniş bir alana yayılmasına olanak sağlandığını göstermektedir. Dolayısıyla bu durumda zaten zayıf olan kargaşa bastırma işleminin daha da kötüleştiği görülmektedir. Burada Hedef 1’in mesafesine çok yakın (2500 m’ye kadar) iki adet daha sinyal alınmış olup bu sinyaller de $K = 0,25$ ’te görülmemektedir, bu durum da yine kargaşa sinyalinin bastırılmasının yeterince yapılamadığını hatta daha da kötüleştiğini göstermektedir. Sinyal güçleri karşılaştırılacak olursa, Hedef 1’in sinyal gücünde herhangi bir büyük değişiklik gözlenmezken, Hedef 2’nin sinyal seviyesinin arttığı, Hedef 3’ün sinyal seviyesinin ise azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.7).

$K = 0,5$ iken Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresine Kademeli PRF uygulandığında, kargaşa sinyalinin bastırılmasında hala tamamıyla başarılı olunmadığı

görülmüştür. Kargaşa sinyalinin tepe noktasına ulaştığı mesafe ve kargaşa sinyalinin normal seviyeye indiği mesafe $K = 0,5$ için Tek PRF sonuçlarına benzerlik göstermektedir. Burada hedeflerin tespiti incelenirse Hedef 1 ve Hedef 3'te Tek PRF'li $K = 0,5$ 'e göre çok büyük değişiklik gözlenmemiştir, Hedef 2 sinyalinin arttığı görülmektedir. $K = 0,5$ için Tek PRF durumu gibi bu durumda da Hedef 1'e çok yakın mesafeden (2500 m'ye kadar) iki sinyal daha alınmaktadır. Bu da bu PRF modunda da kargaşa sinyalinin çok iyi bastırılmadığını gösterir. Aynı $K = 0,25$ için ve $K = 0,5$ için Tek PRF uygulamasının sonuçlarında olduğu gibi $K = 0,25$ ve $K = 0,5$ (bu durum) için Kademeli PRF uygulamasının sonuçları da karşılaştırıldığında yine Hedef 1 sinyalinin çok az değiştiği, Hedef 2 sinyalinin çok az miktar arttığı, Hedef 3 sinyalinin ise azaldığı görülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. $K = 0,5$ için tek PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları

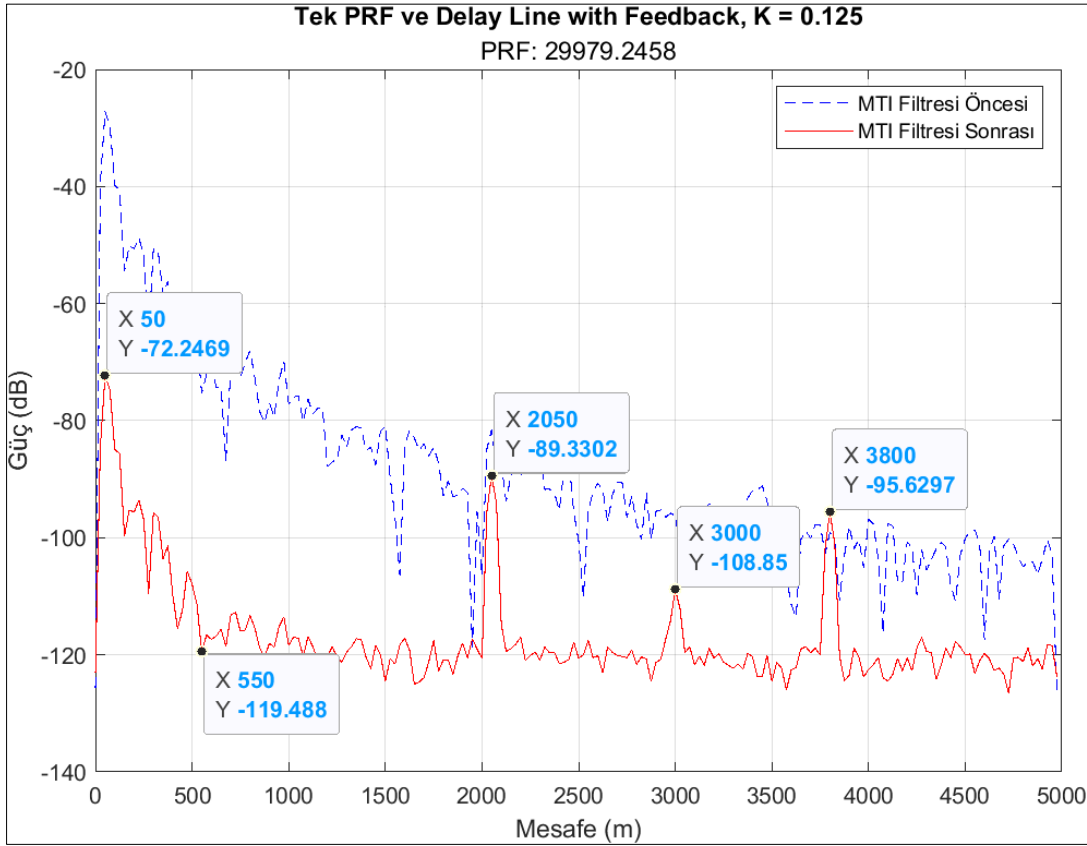


Şekil 4.8. K = 0,5 için kademeli PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları

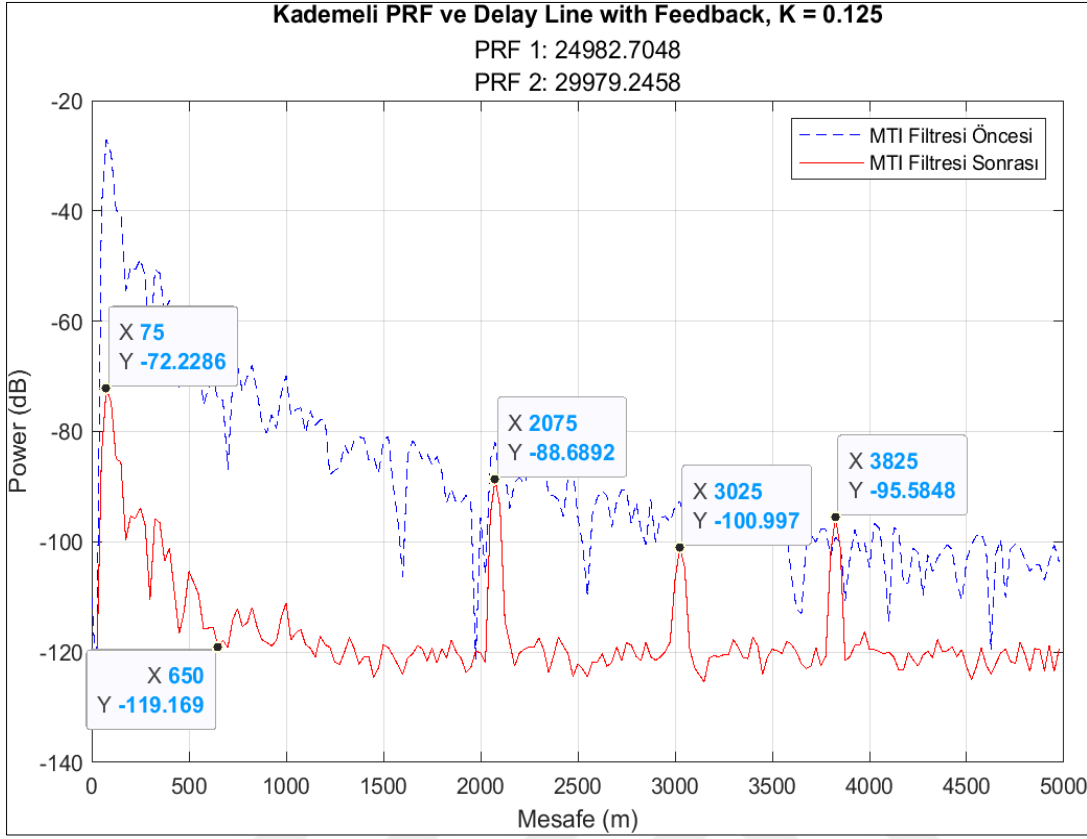
K = 0,125 alındığında;

Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresine eğer Tek PRF uygulanırsa ve $K = 0,125$ olarak ayarlanırsa, kargaşa sinyal seviyesinin $K = 0,25$ 'e göre daha çok düştüğü görülmektedir. Öyle ki filtre çıkışında hala kargaşa sinyali görülmekte ancak sinyalin tepe noktası artık $-72,24$ dB olarak ölçülmektedir. Ayrıca kargaşa sinyalinin -119 dB'ye 550 m mesafelerinde indiği görülmektedir. Burada Hedef 1'in 2050 m'de $-89,33$ dB sinyal gücüyle, Hedef 2'nin 3000 m'de $-108,85$ dB ile, Hedef 3'ün 3800 m'de $-95,62$ dB sinyal gücüyle tespit edildiği görülmektedir. Burada hedeflerden alınan tespit sonuçları $K = 0,25$ parametrelili filtrenin Tek PRF kullanıldığında alınan sonuçları ile karşılaştırıldığında Hedef 1'den alınan sinyalin gücünde çok az bir azalma olduğu, Hedef 2'den alınan sinyal gücünde azalma olduğu, Hedef 3'ten alınan sinyal gücünde ise artış olduğu görülmektedir. Ayrıca Hedef 1'in hemen yanından alınan (2500 m'ye kadar) sinyallerin de tekrar kaybolduğu gözlenmektedir. Bu durum ise $K = 0,5$ 'e göre daha iyi bir kargaşa bastırma yapıldığını gösterir (Şekil 4.9).

$K = 0,125$ iken Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresine Kademeli PRF uygulandığında, kargaşa sinyalinin bastırılmasında hala tamıyla başarılı olunmadığı görülmüştür. Kargaşa tepe noktası mesafesi ve kargaşa sinyalinin normal seviyeye indiği mesafe $K = 0,125$ için Tek PRF sonuçlarına benzerlik göstermektedir. Buradaki hedeflerden alınan sinyaller Bölüm 4.2.1'de yer alan Kademeli PRF'li $K = 0,25$ bölümü ile karşılaştırılırsa, Hedef 1 ve Hedef 2'den alınan sinyal güçlerinde ciddi bir değişiklik gözlenmediği, Hedef 3 sinyalinin ise arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. $K = 0,125$ için tek PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları



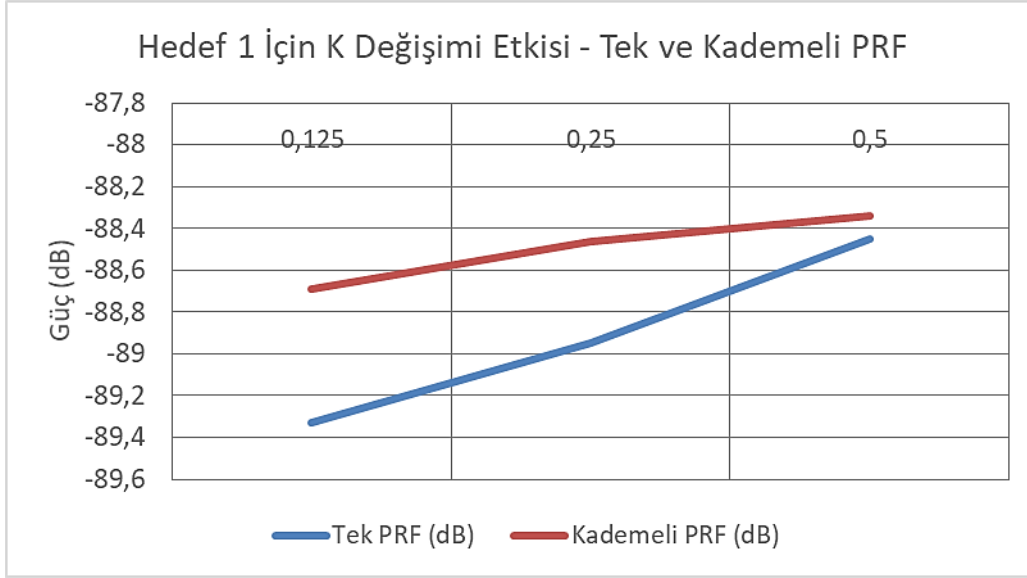
Şekil 4.10. K = 0,125 için kademeli PRF'li geri beslemeli filtre çıktıları

K parametresinde yapılan değişikliklerinin her hedef için ayrı ayrı incelenmesi;

Farklı K değerleri için hedefler incelenmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar alınmıştır. Hedef 1 için, yani en yakındaki hedef için K değeri azaldıkça sinyal seviyesi azalmakta, K değeri arttıkça sinyal seviyesi artmaktadır (Çizelge 4.2). Ayrıca Kademeli PRF uygulandığında alınan sinyal seviyeleri Tek PRF uygulamasındaki sinyal seviyelerinden her K değeri için daha yüksektir. Şekil 4.11'den görüldüğü üzere K değeri düştükçe Kademeli PRF ve Tek PRF arasındaki fark da artmaktadır.

Çizelge 4.2. K değişiminin hedef 1 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar

Hedef 1 İçin K Değişimi Etkisi - Tek ve Kademeli PRF			
K Değeri	Tek PRF (dB)	Kademeli PRF (dB)	Fark (dB)
0,125	-89,3302	-88,6892	0,641
0,25	-88,9469	-88,46	0,4869
0,5	-88,4481	-88,3409	0,1072

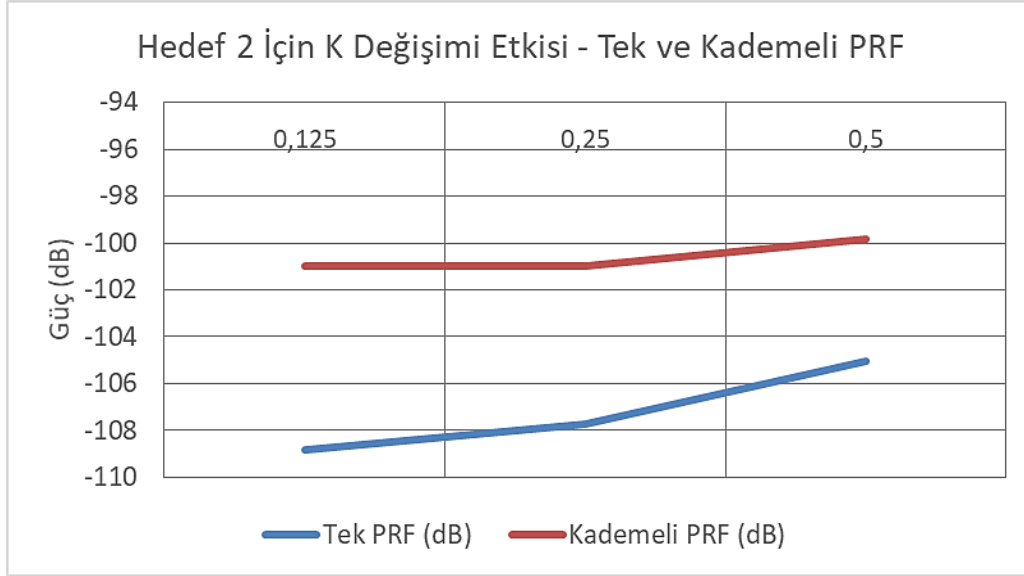


Şekil 4.11. K değişiminin hedef 1 sinyalleri üzerindeki etkisi

Çizelge 4.3’de görüleceği üzere Hedef 2 için yani orta uzaklıktaki hedef için de Hedef 1’de elde edilen sonuçlara benzer bir sonuç elde edilmiştir. Buradaki temel fark Kademeli PRF uygulamasında K değerinin düşmesi sinyal seviyesinde bir azalmaya neden olmazken, Tek PRF uygulamasında bu durumun sinyal seviyesinde düşmeye neden olmasıdır. Bu hedefte de Kademeli PRF uygulandığında alınan sinyal seviyeleri her K değeri için Tek PRF uygulamasından daha fazladır. Şekil 4.12’deki grafik incelendiğinde K değeri azaldıkça Kademeli PRF ve Tek PRF uygulamaları arasındaki fark artmakta olup bu artışın Hedef 1’deki gibi değil, daha yumuşak bir artış olduğu söylenebilir, zira burada alınan Kademeli ve Tek PRF grafikleri birbirlerine daha benzer şekilde artıp azalmaktadır.

Çizelge 4.3. K değişiminin hedef 2 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar

Hedef 2 için K Değişimi Etkisi - Tek ve Kademeli PRF			
K Değeri	Tek PRF (dB)	Kademeli PRF (dB)	Fark (dB)
0,125	-108,85	-100,997	7,853
0,25	-107,738	-100,958	6,78
0,5	-105,034	-99,824	5,21

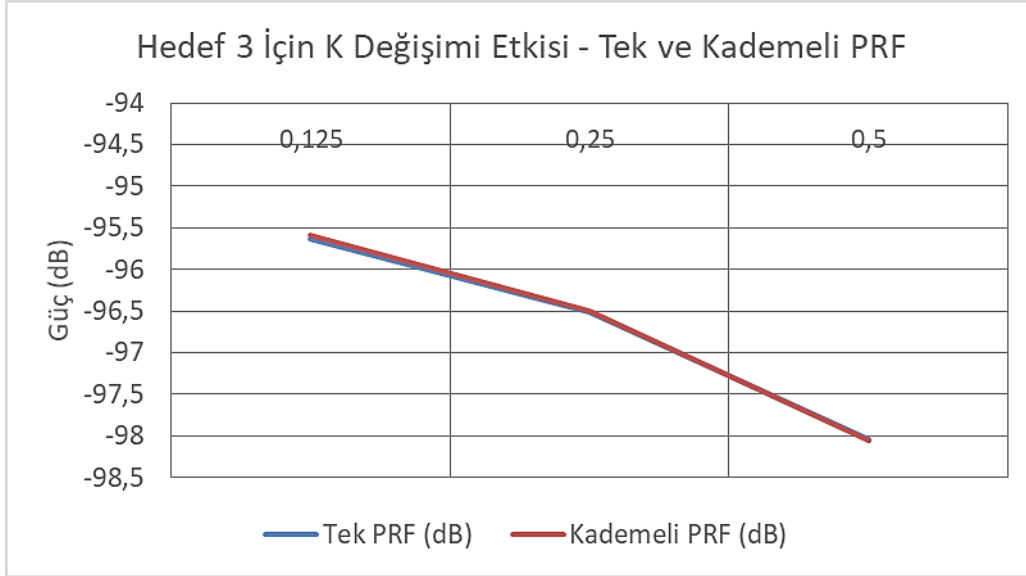


Şekil 4.12. K değişiminin hedef 2 sinyalleri üzerindeki etkisi

Çizelge 4.4'den Hedef 3 (yani en uzakta bulunan hedef) için ise diğer iki hedefe göre farklı bir sonuç elde edildiği görülmektedir. Grafiğe göre K değeri azaldıkça sinyal seviyeleri artmakta, K değeri arttıkça sinyal seviyeleri azalmaktadır. Şekil 4.13'ten K = 0,5 değerinde Tek PRF uygulaması ile alınan sinyal seviyesi Kademeli PRF uygulaması ile alınan sinyal seviyesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak K değeri azaldıkça Kademeli PRF ile alınan sinyal seviyesi diğer hedeflerde olduğu gibi bu hedefte de Tek PRF'yi geçmiştir. Burada K değeri değiştikçe Kademeli ve Tek PRF uygulamalarından alınan sinyaller arasındaki fark yok denecek kadar azdır (Şekil 4.13).

Çizelge 4.4. K değişiminin hedef 3 üzerindeki etkisi ve oluşan farklar

Hedef 3 İçin K Değişimi Etkisi - Tek ve Kademeli PRF			
K Değeri	Tek PRF (dB)	Kademeli PRF (dB)	Fark (dB)
0,125	-95,6297	-95,5848	0,0449
0,25	-96,515	-96,4981	0,0169
0,5	-98,0332	-98,0508	0,0176



Şekil 4.13. K değişiminin hedef 3 sinyalleri üzerindeki etkisi

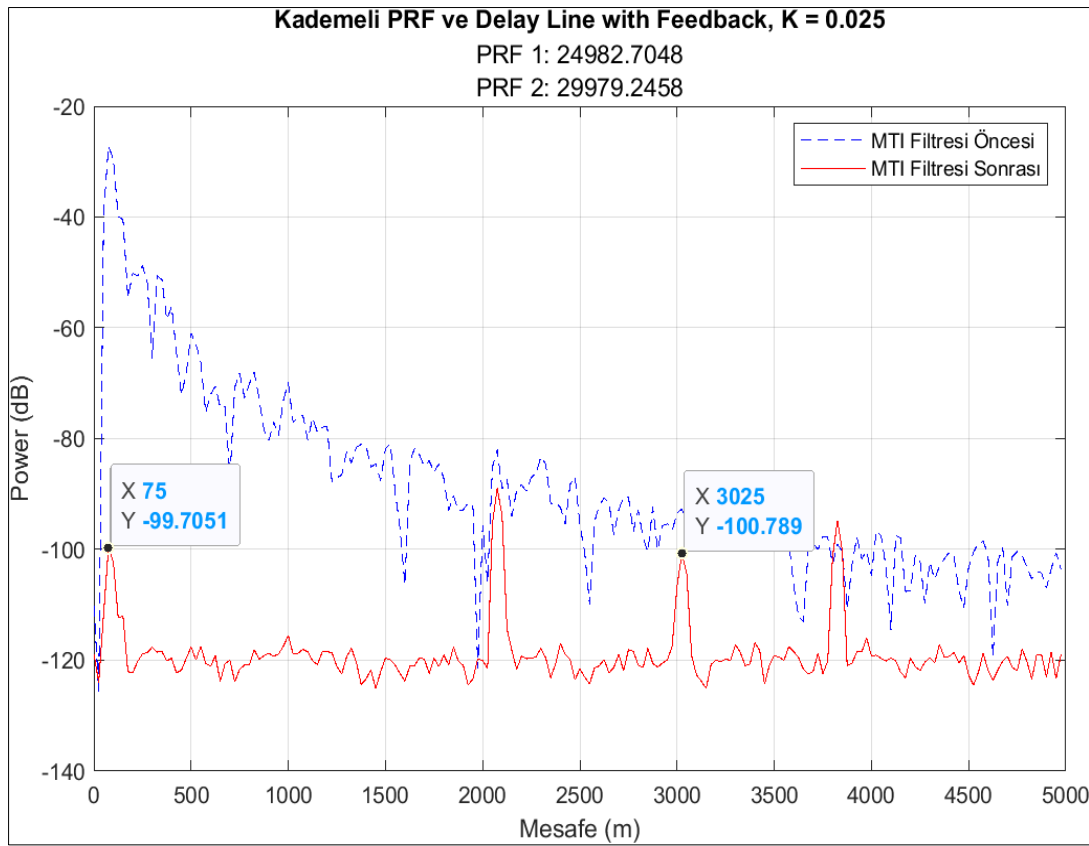
Genel olarak hedefler için bir değerlendirme yapılırsa, yakın mesafedeki hedefler için K değeri ne kadar azalırse hedeflerden alınan sinyal o kadar azalmaktadır. K değerinin artması hedeflerden alınan sinyallerin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, Kademeli ve Tek PRF uygulamalarından Kademeli PRF daha yüksek sinyal seviyeleri elde etmeye yardımcı olmaktadır. Kademeli ve Tek PRF uygulamaları arasındaki fark yakın hedefler için daha fazladır, yani yakın hedeflerde Kademeli PRF uygulaması Tek PRF uygulamasına göre daha iyi sinyal seviyeleri sağlamaktadır. Mesafe uzaklaştıkça Kademeli ve Tek PRF uygulamaları arasındaki fark azalmakta, yani uzaklaştıkça Kademeli veya Tek PRF kullanılması arasında fark kalmamakta, her ikisi de yakın değerlerde iyileştirme yapmaktadırlar.

Sınır K değerinin bulunması

K değeri azaldıkça kargaşa bastırma performansının arttığı görüldüğünden K değeri azaltılarak kargaşa sinyalini en düşük sinyal seviyesine sahip hedef sinyalinden daha düşük seviyede tutacak K değeri araştırılmaktadır.

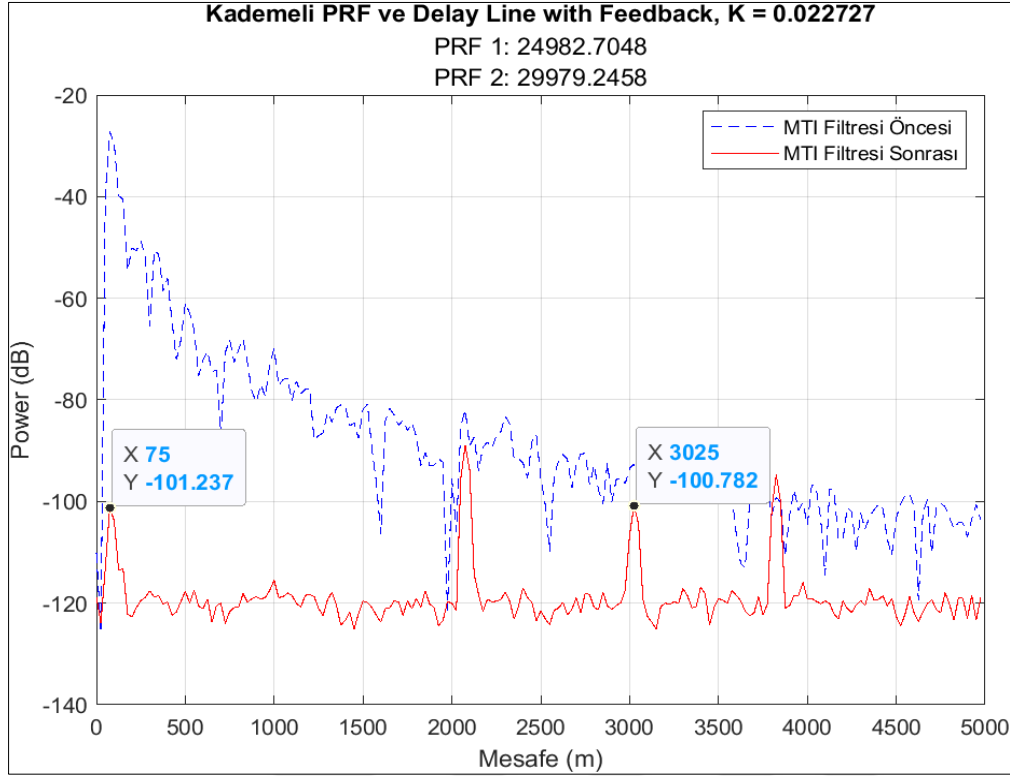
En düşük sinyal seviyesi Hedef 2 için alınmaktadır. $K = 0,25/10$ değerine kadar hep kargaşa sinyali Hedef 2 sinyalinden yüksek, $K = 0,25/11$ değerinde ilk kez Hedef 2 sinyalinden düşük olarak elde edilmiştir.

K değeri düşürüldükçe kargaşa sinyalinin daha bastırıldığı görüldüğünden, K değeri sırasıyla payda artırılacak şekilde bölünmeye başlamıştır. $K = 0,25/10 = 0,025$ değeri için kargaşa sinyalinin iyice bastırıldığı Şekil 4.14’de görülmektedir. Ancak dikkat edilirse en düşük sinyal alınan hedef olan Hedef 2 sinyaline göre hala yüksek bir sinyal seviyesindedir, bu durumda eğer -100 dB’ye hatta -100,788 dB’ye bile bir eşik konulursa ve bu eşikten yüksek değere sahip sinyaller tespit edilmek istenirse Hedef 2 algılanmayacak, onun yerine 75 m’de bir hedef algılanacaktır. Eğer en az -100,790 dB’ye bir eşik konulursa da toplamda 4 adet hedef tespit edilmiş olacak, 75 m’de bulunan kargaşa sinyali sahte hedef gibi görülecektir.



Şekil 4.14. $K = 0,25/10$ için geri beslemeli filtrede kargaşa sinyalinin durumu

Eğer $K = 0,25/11 = 0,022727$ olarak ayarlanırsa, Şekil 4.15’de görüldüğü gibi kargaşa sinyalinin pik değeri Hedef 2’nin sinyal seviyesinin altına düşmektedir. Böyle bir durumda artık eşik değeri -101,237 dB üzerinde ama -100,782 dB seviyesinden de düşük olacak şekilde belirlenirse sadece üç hedef görülecek, kargaşa sinyalinin sahte hedef oluşturma durumu ortadan kalkmış olacaktır. Bu K değeri sınır değer olarak bundan sonra anılacaktır.



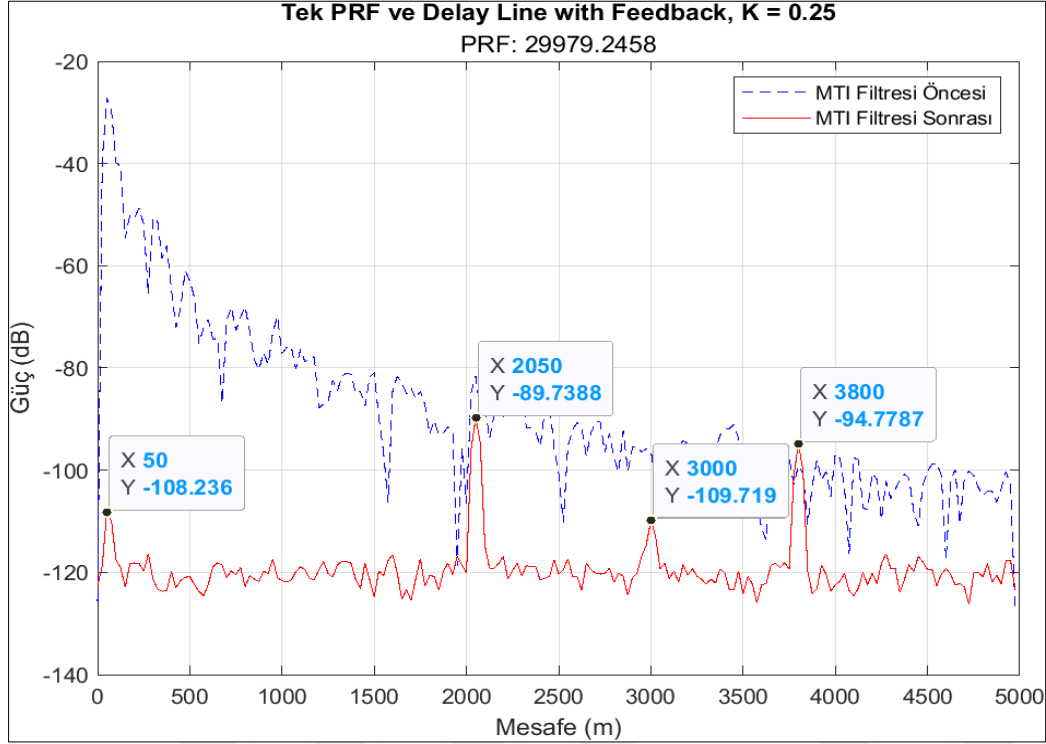
Şekil 4.15. $K = 0,25/11$ için geri beslemeli filtrede kargaşa sinyalinin durumu

4.2.3. Senaryo 3

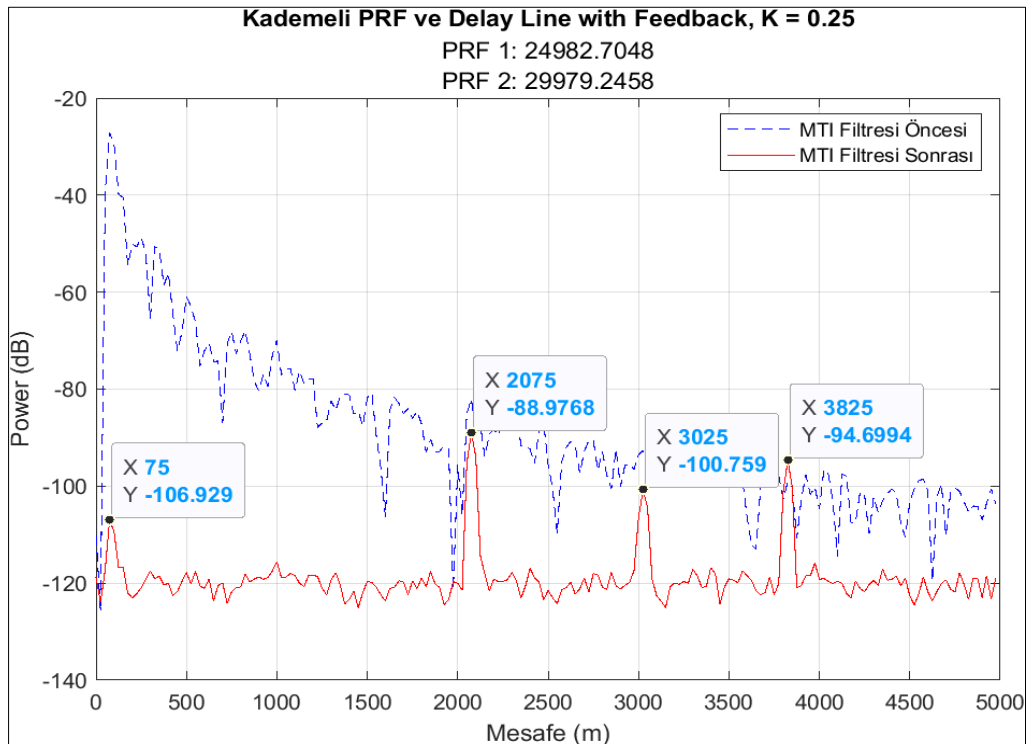
Bu senaryoda Geri Beslemeli İptalleyici filtresinin frekans tepkisinin paydasında yer alan $[1 - K]$ ifadesinin değişiminin filtre performansına etkisi incelenmiştir. Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici Filtresi yeni parametrelerle çalıştırılmıştır. Bu simülasyon yapılırken filtre frekans tepkisinin (H) paydası $[1 - K]^3$ yapılmış ve $K = 0,25$ olarak ayarlanmıştır.

Eğer Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin paydasında bulunan ve kazanç faktörünün de içerisinde bulunduğu kısım $[1 - K]^3$ olarak düzenlenirse, $K = 0,25$ için Tek PRF uygulamasında kargaşa gücünün $-108,236$ dB, Hedef 1 gücünün $-89,73$ dB, Hedef 2 gücünün $-109,719$ dB, Hedef 3 gücünün $-94,77$ dB olduğu görülür. Kademeli PRF uygulamasında ise kargaşa gücünün $-106,92$ dB, Hedef 1 gücünün $-88,97$ dB, Hedef 2 gücünün $-100,759$ dB ve Hedef 3 gücünün $-94,69$ dB olduğu görülür. Buna göre Tek PRF ve Kademeli PRF uygulamaları birbirleri ile karşılaştırıldığında kargaşa gücünün Kademeli PRF ile biraz artırıldığı, tüm hedeflerin sinyal gücünde artış olduğu ancak bu artışın Hedef

2'de çok yüksek olduğu, Hedef 1'de orta derecede olduğu, Hedef 3'te ise az olduğu görülmüştür. Alınan çıktılar Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'te verilmektedir.



Şekil 4.16. Senaryo 3 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

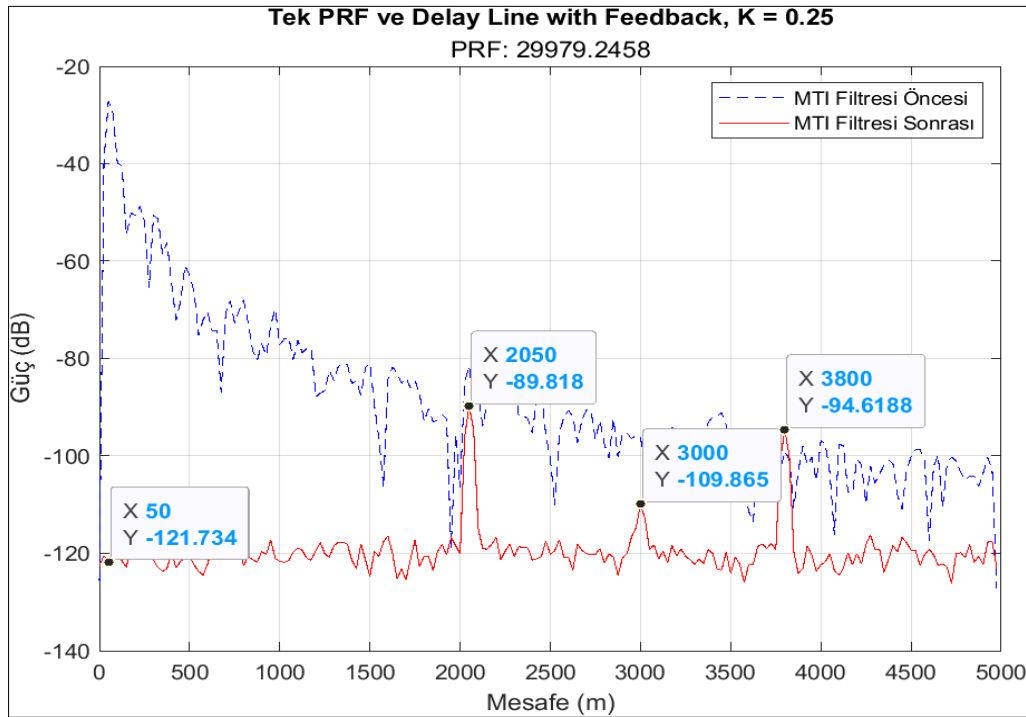


Şekil 4.17. Senaryo 3 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

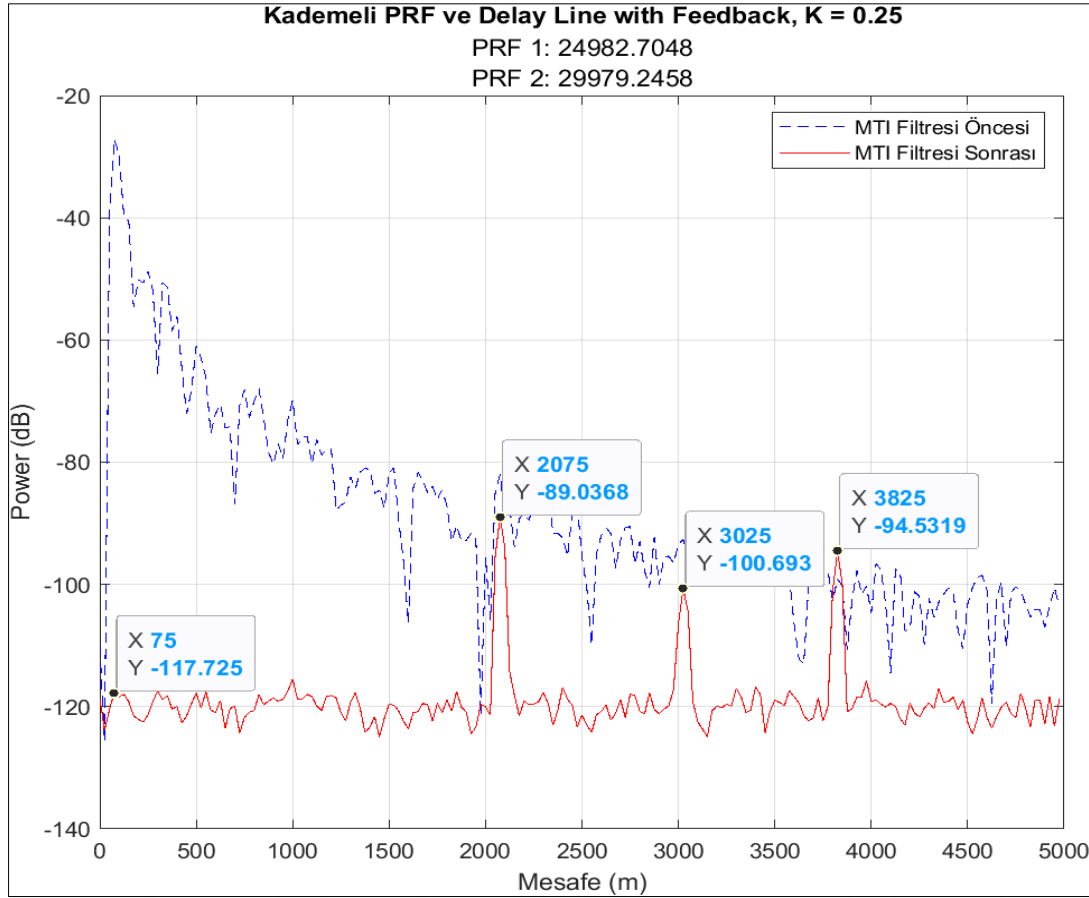
4.2.4. Senaryo 4

Bu senaryoda da Senaryo 3 gibi Geri Beslemeli İptalleyici filtresinin frekans tepkisinin paydasında yer alan $[1 - K]$ ifadesinin değişiminin filtre performansına etkisi incelenmiştir. Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici Filtresi Senaryo 3'teki paydadan farklı bir değerle yeniden çalıştırılmıştır. Bu simülasyon yapılırken filtre frekans tepkisinin (H) paydası $[1 - K]^4$ yapılmış ve $K = 0,25$ olarak ayarlanmıştır.

Eğer Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin paydasında bulunan kısım $[1 - K]^4$ olarak düzenlenirse, $K = 0,25$ için Tek PRF uygulamasında kargaşa gücünün $-121,734$ dB, Hedef 1'in tespitindeki gücün $-89,818$ dB, Hedef 2'nin tespitindeki gücün $-109,865$ dB, Hedef 3'ün tespitindeki gücün $-94,618$ dB olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Kademeli PRF uygulamasında ise kargaşa gücünün $-117,725$ dB, Hedef 1 gücünün $-89,03$ dB, Hedef 2 gücünün $-100,693$ dB ve Hedef 3 gücünün $-94,53$ dB olduğu görülür. Buna göre Tek PRF ve Kademeli PRF uygulamaları birbirleri ile karşılaştırıldığında kargaşa gücünün Kademeli PRF ile artırıldığı, tüm hedeflerin sinyal gücünde artış olduğu, ancak bu artışın Hedef 2'de çok yüksek olduğu, Hedef 1'de orta derecede olduğu, Hedef 3'te ise az olduğu görülmüştür. Alınan çıktılar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.18. Senaryo 4 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı



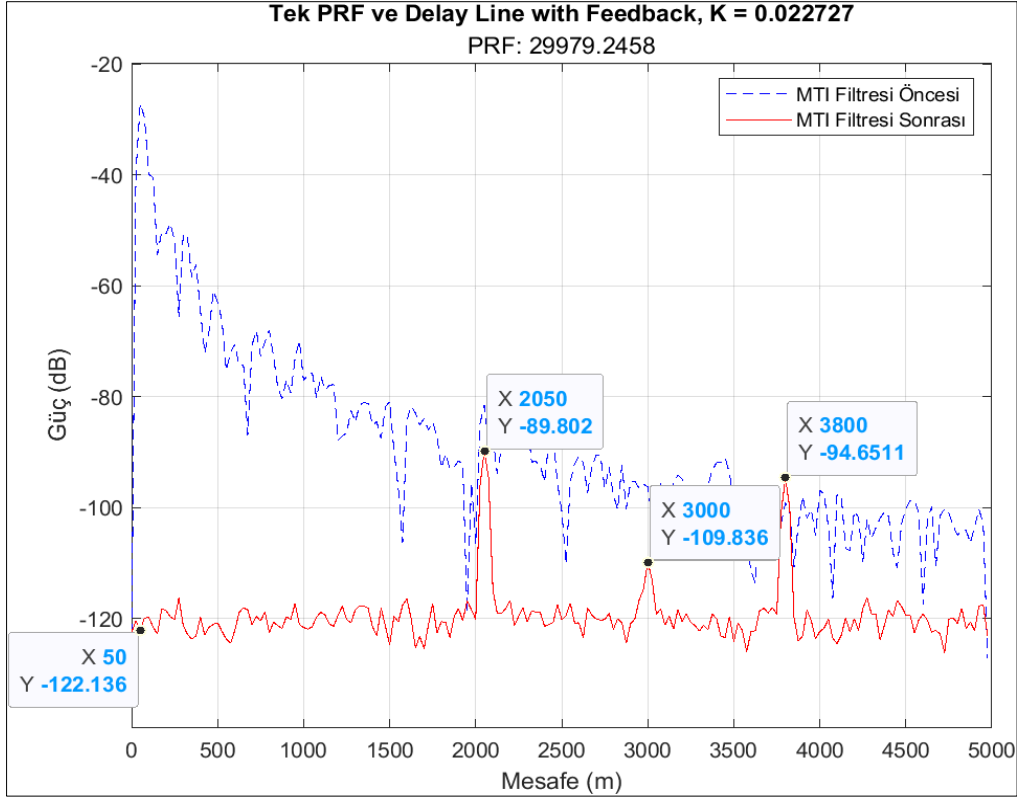
Şekil 4.19. Senaryo 4 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

4.2.5. Senaryo 5

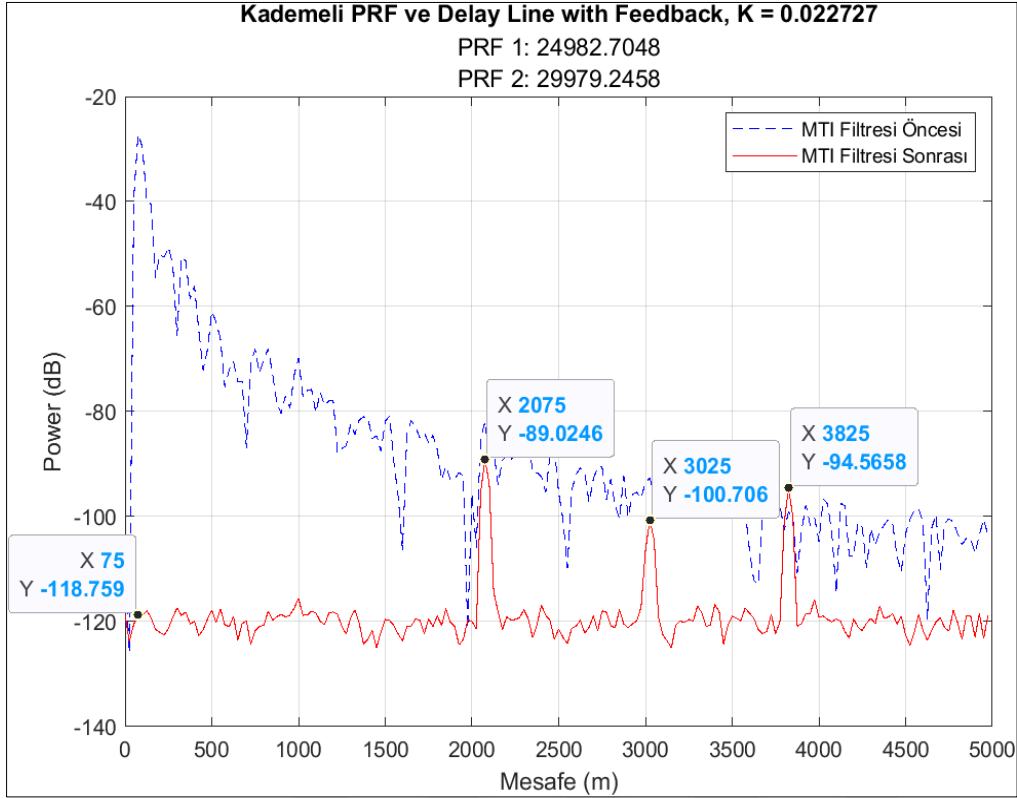
Bu senaryoda Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin payda değişimi içerisinde sınır K değerinin etkisini de görmek amaçlanmıştır. Senaryo 3'teki simülasyon K değeri sınır değere eşit olacak şekilde tekrar edilmiştir (Filtre paydası = $[1 - K]^3$, K = sınır değeri).

Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi kullanılarak yapılan MTI işleminde eğer filtre paydasındaki ifade $[1 - K]^3$ olarak değiştirilir ve K değeri de yukarıda Senaryo 2'de bulunan sınır değere ($K = 0,25/11 = 0,022727$) ayarlanırsa, Tek PRF uygulamasında kargaşa gücünün -122,136 dB, Hedef 1 sinyal gücünün -89,802 dB, Hedef 2 sinyal gücünün -109,836 dB, Hedef 3 sinyal gücünün ise -94,651 dB olduğu görülür. Eğer aynı filtre aynı koşullarda Kademeli PRF uygulanarak kullanılırsa kargaşa gücünün -118,759 dB, Hedef 1 sinyal gücünün -89,02 dB, Hedef 2 sinyal gücünün -100,706 dB ve Hedef 3 sinyal gücünün -94,565 dB olduğu görülmektedir. Buna göre kargaşa gücünün de hedeflerin gücünün de arttığı

görülmektedir. Hedeflerin gücündeki artışlar Tek PRF ve Kademeli PRF arasında karşılaştırılırsa Hedef 1 gücünün orta derecede arttığı, Hedef 2 gücünün ciddi olarak arttığı, Hedef 3 gücünün ise düşük bir şekilde arttığı söylenebilir. Alınan çıktılar Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmektedir.



Şekil 4.20. Senaryo 5 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

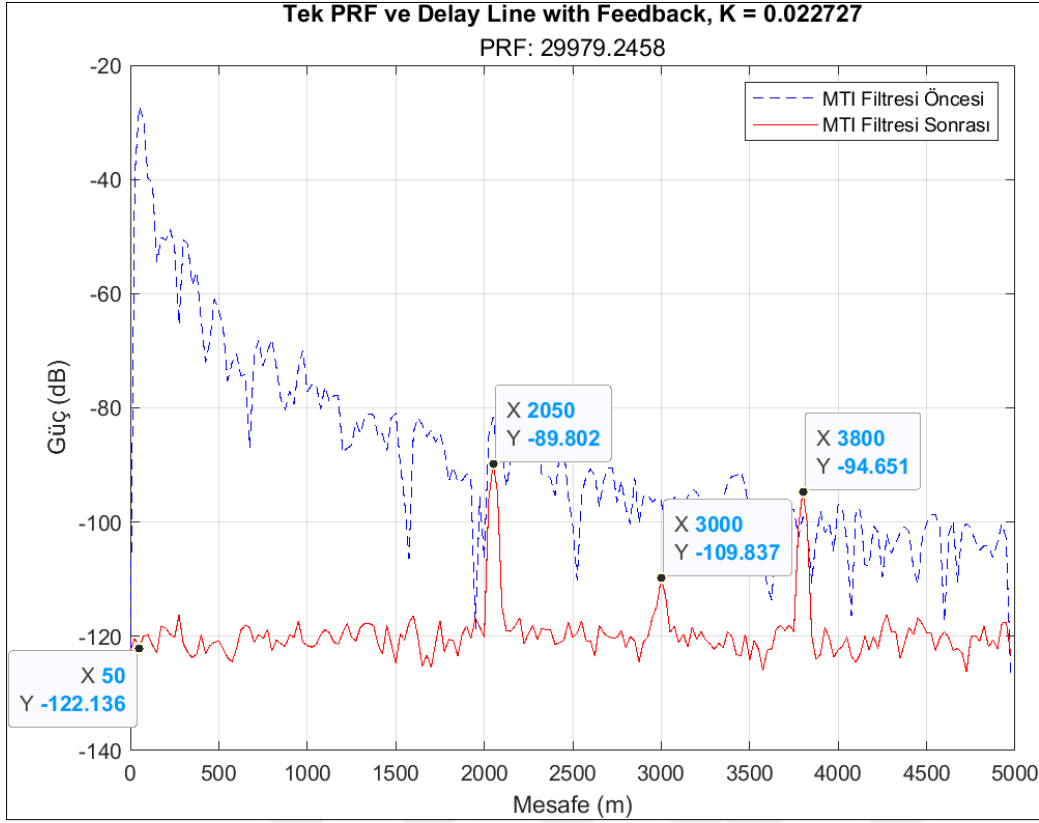


Şekil 4.21. Senaryo 5 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

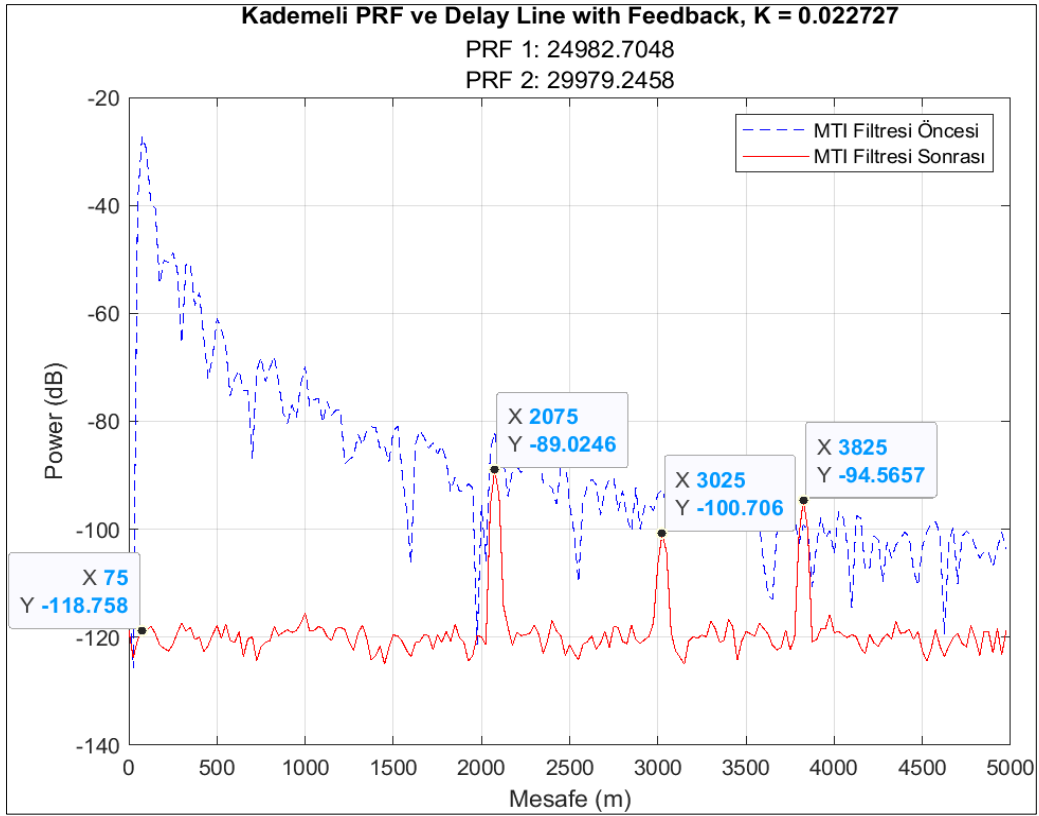
4.2.6. Senaryo 6

Bu senaryoda da Senaryo 5'te olduğu gibi Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin payda değişimi içerisinde sınır K değerinin etkisini de görmek amaçlanmıştır. Senaryo 4'teki simülasyon K değeri sınır değere eşit olacak şekilde tekrar edilmiştir (Filtre paydası = $[1 - K]^4$, K = sınır değer).

Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin paydasında bulunan ifade bu senaryoda $[1 - K]^4$ olarak değiştirilmiş ve K sınır değere ayarlanmıştır. Sonuçların Senaryo 5 ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Senaryo 5'teki yorumlar aynı şekilde geçerli olup iki senaryo arasında sinyal seviyelerinde ciddi bir değişiklik görülmemiştir. Alınan çıktılar Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilmektedir.



Şekil 4.22. Senaryo 6 parametreleri ve tek PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı



Şekil 4.23. Senaryo 6 parametreleri ve kademeli PRF ile geri beslemeli filtre çıktısı

4.2.7. Senaryo 7

Bu senaryo karşılaştırma ve karar verme senaryosudur. Bu senaryoda hangi Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin en iyi kargaşa bastırma performansı gösterdiğine ve hangi filtrenin en iyi hedef tespit yeteneğine sahip olduğuna karar verilmiştir (hedef tespit yeteneği için her hedefe ayrı ayrı bakılır). Bu karar Senaryo 1, Senaryo 3, Senaryo 4, Senaryo 5 ve Senaryo 6 karşılaştırarak verilmiştir. Bu senaryoda hangi PRF modunun hedef tespiti ve kargaşa bastırma açısından daha başarılı olduğu da değerlendirilmektedir.

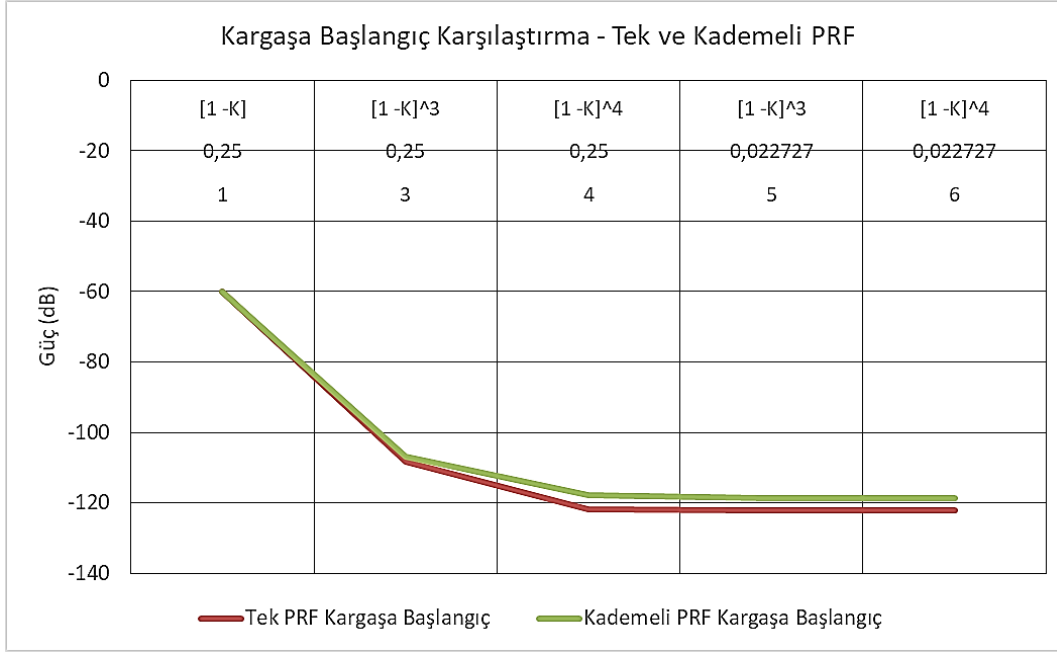
Senaryo 1’de K değeri 0,25 olarak alınmış ve sonuçlar bu değere göre incelenmişti, burada filtre paydası $[1 - K]$ idi. Filtre performansının görülebilmesi için Senaryo 3’te ve Senaryo 4’te yine K değeri 0,25 iken Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin paydası sırasıyla $[1 - K]^3$ ve $[1 - K]^4$ olarak seçilmiş ve filtre performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerden sonra Senaryo 5 ve 6’da ise Senaryo 2’de belirlenen sınır K değeri için Senaryo 3 ve Senaryo 4’teki filtre paydaları kullanılarak algoritma ayrı ayrı koşturulmuş ve sonuçlar alınmıştır.

Kargaşa bastırma performansı bakımından karşılaştırma

Kargaşa sinyalinin başladığı sinyal değerleri her senaryo için toplanıp karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu Çizelge 4.5’te ve Şekil 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kargaşa sinyali başlangıcının senaryolar arası karşılaştırılması

Kargaşa Başlangıç Karşılaştırma - Tek ve Kademeli PRF				
Senaryo	K Değeri	Filtre Paydası	Tek PRF Kargaşa Başlangıç (dB)	Kademeli PRF Kargaşa Başlangıç (dB)
1	0,25	$[1 - K]$	-59,9949	-59,9912
3	0,25	$[1 - K]^3$	-108,236	-106,929
4	0,25	$[1 - K]^4$	-121,734	-117,725
5	0,022727	$[1 - K]^3$	-122,136	-118,759
6	0,022727	$[1 - K]^4$	-122,136	-118,758



Şekil 4.24. Kargaşa sinyali başlangıç karşılaştırma grafiği

Yapılan değerlendirmeler ise şu şekildedir:

- i. Kargaşa bastırma performansındaki iyileşmenin filtre paydası ile olan ilişkisi incelenmek istenmiş, bunun için Senaryo 1, 3 ve 4 karşılaştırılmıştır. Aynı K değerleri için filtre paydası her $[1 -K]$ ile çarpıldığında kargaşa sinyalinin başladığı sinyal seviyesi düşmektedir. Bu durum Tek PRF uygulamasında da Kademeli PRF uygulamasında da görülmektedir. Bu sonuca göre $K = 0,25$ olduğunda en iyi filtre performansı Senaryo 4'te elde edilmiştir.
- ii. Kargaşa bastırma performansındaki iyileşmenin Tek PRF ve Kademeli PRF uygulamaları ile bağlantısı araştırıldığında ise (aynı K değerleri için), Tek PRF uygulamasında Senaryo 1'den 3'e geçince iyileşme 48,246 dB seviyelerinde iken Kademeli PRF uygulamasında bu değer 46,939 dB seviyesindedir. Senaryo 1'den Senaryo 4'e geçilecek olursa bu değer Tek PRF için 61,744 dB ve Kademeli PRF için 57,735 dB'dir. Senaryo 3'ten Senaryo 4'e geçilecek olursa bu değer Tek PRF için 13,498 dB, Kademeli PRF için 10,796 dB'dir. Bu sonuca göre $K = 0,25$ olduğunda ve filtre paydası her $[1 -K]$ ile çarpıldığında Tek PRF uygulamasıyla filtrenin kargaşa bastırmadaki yeteneğini daha üst seviyede sergileyebildiği görülmektedir.
- iii. Kargaşa bastırma performansındaki iyileşmenin K değeri ile olan ilişkisi araştırılmak istendiğinde, Senaryo 3 ile Senaryo 5 ve Senaryo 4 ile Senaryo 6 karşılaştırılmıştır.

Senaryo 5'in senaryo 3'e göre ve Senaryo 6'nın da Senaryo 4'e göre Kargaşa seviyesini hem Tek PRF uygulamasında hem de Kademeli PRF uygulamasında daha aşağı çektiği gözlenmiştir. Buna göre aynı filtre paydaları için K değeri azaldıkça filtre kargaşa bastırma performansı da artmaktadır.

- iv. "iii" karşılaştırması Tek ve Kademeli PRF için yapılırsa Senaryo 3'ten Senaryo 5'e geçişte Tek PRF uygulaması 13,9 dB iyileşme sağlarken, Kademeli PRF uygulaması ise 11,83 dB iyileşme sağlamıştır. Bu duruma göre aynı filtre paydaları için K değerinin çok küçültülmesi ile Tek PRF uygulaması Kademeli PRF'ye göre daha iyi kargaşa bastırma performansı gösterdiğini açıklamaktadır.
- v. Senaryo 5 ve 6 karşılaştırıldığında ise kargaşa bastırma performansında değişim görülmemiştir. Bu karşılaştırma yöntem olarak "ii" maddesinde yapılan karşılaştırmaya benzemektedir, hem "ii" karşılaştırmasında hem de "iv" karşılaştırmasında yapılan şey aynı K değerleri için filtre paydasının değiştirilmesidir. "ii" karşılaştırmasında payda değişimi ile kargaşa bastırma performansı artmış ancak "iv" karşılaştırmasında bu performansta değişim olmamıştır. Buradan; K değeri yüksek iken paydada oluşan değişim filtre kargaşa bastırma performansını artırıp azaltabilir, ancak K değeri düşükçe bu performansta ciddi bir değişiklik görülmemeye başlayacaktır sonucu çıkarılabilir.

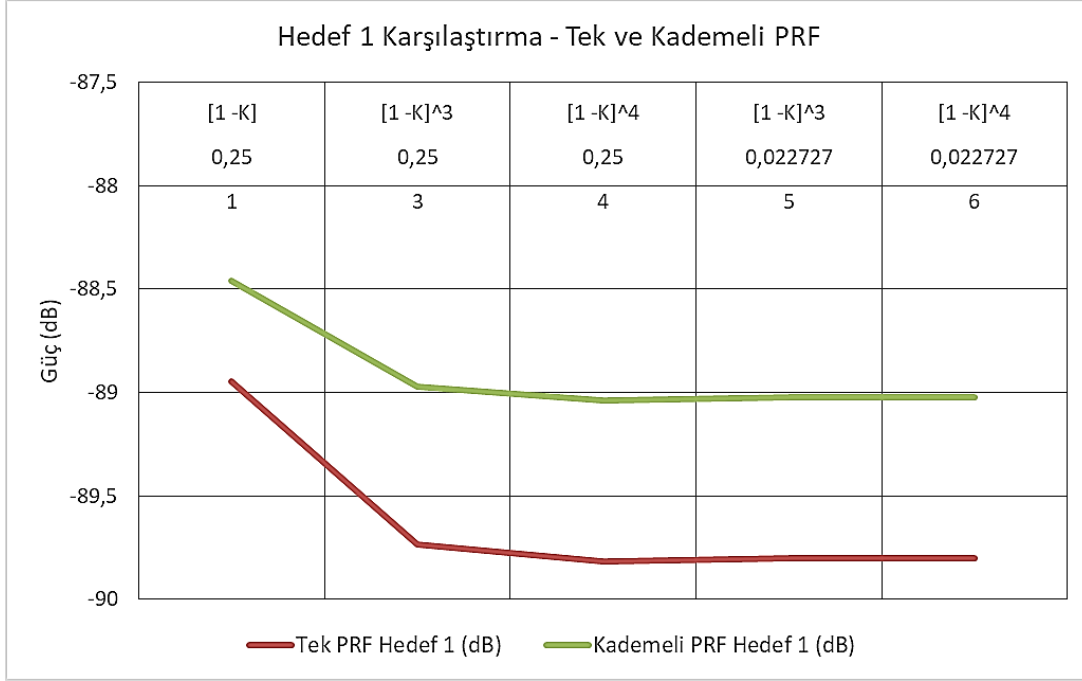
Hedef tespit performansı açısından karşılaştırma

Hedef 1 için karşılaştırma

Hedef 1'den alınan sinyal değerleri her senaryo için toplanıp karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu Çizelge 4.6'da verilmiş ve grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hedef 1 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması

Hedef 1 Karşılaştırma - Tek ve Kademeli PRF				
Senaryo	K Değeri	Filtre Paydası	Tek PRF Hedef 1 (dB)	Kademeli PRF Hedef 1 (dB)
1	0,25	[1 -K]	-88,9469	-88,46
3	0,25	[1 -K] ³	-89,738	-88,97
4	0,25	[1 -K] ⁴	-89,818	-89,036
5	0,022727	[1 -K] ³	-89,802	-89,024
6	0,022727	[1 -K] ⁴	-89,802	-89,024



Şekil 4.25. Hedef 1 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik

Alınan sonuçlar şu şekilde değerlendirilmiştir:

- i. Genel olarak grafik incelendiğinde Kademeli PRF uygulamasıyla alınan sinyal seviyeleri Tek PRF ile alınan sinyal seviyelerinden daha yüksektir.
- ii. Senaryo 1, 3 ve 4 kendi aralarında karşılaştırıldığında K değeri aynı iken filtre paydası her $[1 -K]$ ile çarpıldığında alınan sinyal seviyesi azalmaktadır. Bu durum hem Kademeli hem Tek PRF uygulamasında görülmektedir. Buna göre $K = 0,25$ için en iyi sonucun Senaryo 1’de elde edildiği görülmektedir.
- iii. Hedef 1’in tespitindeki sinyal seviyesindeki değişim Tek PRF ve Kademeli PRF için araştırılıp karşılaştırılırsa (aynı K değerleri için), Tek PRF uygulamasında Senaryo 1’den 3’e geçildiğinde sinyal seviyesi 0,791 dB düşerken Kademeli PRF uygulamasında 0,51 dB düşmüştür. Senaryo 1’den 4’e geçilecek olursa sinyal seviyesi Tek PRF uygulamasında 0,871 dB düşmekte, Kademeli PRF uygulamasında ise 0,576 dB düşmektedir. Senaryo 3’ten 4’e geçilecek olursa Tek PRF uygulamasıyla sinyal 0,08 dB düşerken Kademeli PRF uygulamasıyla 0,066 dB düşmektedir. Sonuç olarak $K = 0,25$ değeri için filtre paydası her $[1 -K]$ ile çarpıldığında Kademeli PRF uygulamasıyla Hedef 1 sinyallerinin daha az kayba uğradığı görülmektedir.

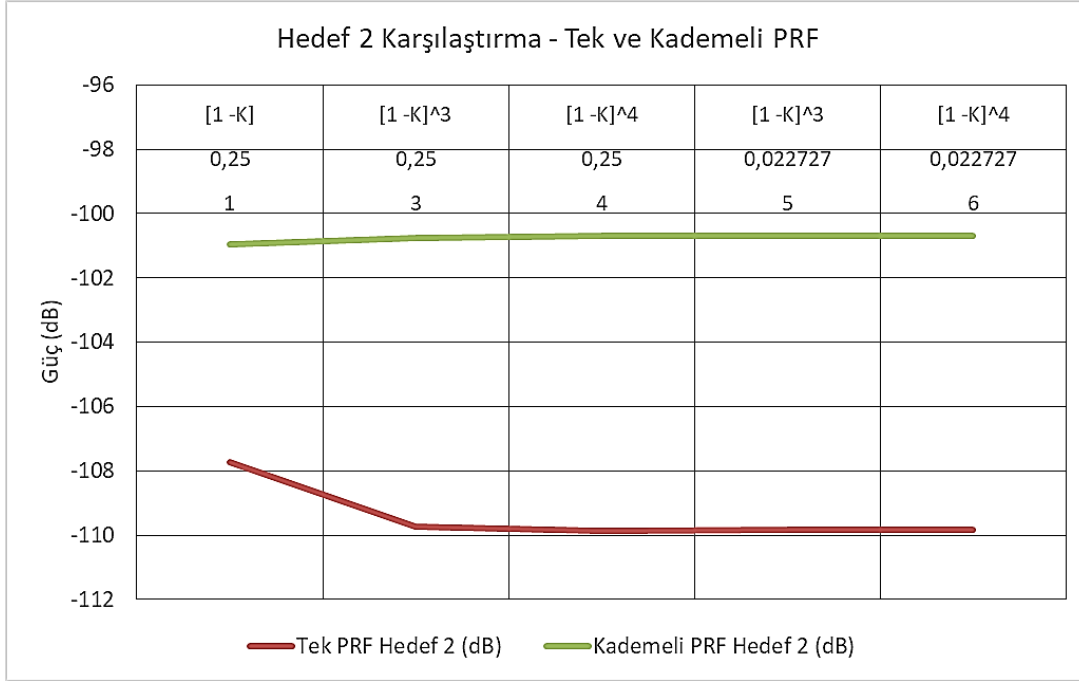
- iv. Hedef 1'in tespitindeki sinyal seviyelerindeki değişimin K değeri ile ilişkisine bakıldığında, Senaryo 3 ve 5 ile Senaryo 4 ve 6 kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Buna göre hem Tek PRF hem Kademeli PRF uygulamaları için Senaryo 3'ten 5'e geçişte sinyal seviyesinde azalma görülmüştür. Senaryo 4'ten Senaryo 6'ya geçişte ise sinyal seviyesi artmıştır. Buradan aynı filtre paydaları için K değeri azaldıkça ne olacağı konusunda kesin bir çıkarıma varılmamıştır.
- a. Senaryo 2'deki hedef karşılaştırmalarından Hedef 1 için alınan sonuçlara göre bu maddenin sonuçları değerlendirilirse (orada filtre paydası $[1 - K]$ idi ve K düştükçe sinyal seviyesinde ciddi düşme gözüküyordu) filtre paydası burada Senaryo 2'ye göre çok küçültülmüş (yani $[1 - K]^3$ ve $[1 - K]^4$ olarak ayarlanmış) bu durum da sinyal seviyesindeki azalmanın Senaryo 2'ye göre daha az oluşmasını sağlamıştır. Bu da "iii" maddesindeki sonucu desteklemektedir.
- v. Senaryo 5 ve 6 karşılaştırıldığında ise sinyal seviyelerinde ne Kademeli PRF için ne de Tek PRF için ciddi bir değişim görülmemiştir.

Hedef 2 için karşılaştırma

Hedef 2'den alınan sinyal değerleri her senaryo için toplanıp karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu Çizelge 4.7'de verilmiş ve grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Hedef 2 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması

Hedef 2 Karşılaştırma - Tek ve Kademeli PRF				
Senaryo	K Değeri	Filtre Paydası	Tek PRF Hedef 2 (dB)	Kademeli PRF Hedef 2 (dB)
1	0,25	$[1 - K]$	-107,738	-100,958
3	0,25	$[1 - K]^3$	-109,719	-100,759
4	0,25	$[1 - K]^4$	-109,865	-100,693
5	0,022727	$[1 - K]^3$	-109,836	-100,706
6	0,022727	$[1 - K]^4$	-109,837	-100,706



Şekil 4.26. Hedef 2 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik

Hedef 2 için alınan sonuçlar şu şekilde değerlendirilmektedir:

- i. Genel olarak incelendiğinde Kademeli PRF uygulamasının Hedef 2 sinyalini tespit konusunda Tek PRF uygulamasına göre karşılaştırılan tüm senaryolarda daha başarılı olduğu görülmüştür.
- ii. Senaryo 1,3 ve 4 kendi içlerinde karşılaştırılarak K değeri aynı iken filtre paydasının tespit performansına etkisi incelenmiştir. Buna göre filtre paydası $[1 -K]$ ile çarpıldıkça Kademeli PRF uygulamasında sinyal seviyesi artarken Tek PRF uygulamasında ise azalmıştır. Elde edilen çıktıya göre Kademeli PRF uygulamasının Hedef 2 tespitinde daha başarılı olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Sinyal seviyeleri göz önüne alınırsa Kademeli PRF uygulamasında Senaryo 4'ün, Tek PRF uygulamasında ise Senaryo 1'in en iyi sonuç verdiği görülmektedir.
- iii. Hedef 2 tespitindeki sinyal seviyesinin K değişimi ile olan ilişkisi incelendiğinde Senaryo 3 ve 5'in birbiri ile karşılaştırılması sonucunda Kademeli PRF uygulamasında 3'ten 5'e geçişte sinyal seviyesinde küçük bir artış (0,053 dB), 4'ten 6'ya geçişte ise küçük bir azalış (0,013 dB) söz konusudur. Tek PRF uygulamasında ise 3'ten 5'e geçişte bir azalış (0,117 dB), 4'ten 6'ya geçişte ise küçük bir artış (0,028 dB) görülmüştür. Bu artış ve azalışlara göre aynı filtre paydaları için K değerinin azalmasıyla hedef sinyali değişimi konusunda kesin bir sonuç elde edilmemiş olup

artış ve azalışların değerlerinin çok küçük olmasından dolayı grafikteki eğime bakılarak Kademeli PRF uygulamasında sinyal seviyesinin artma, Tek PRF uygulamasında ise azalma eğiliminde olduğu yorumu yapılabilmektedir.

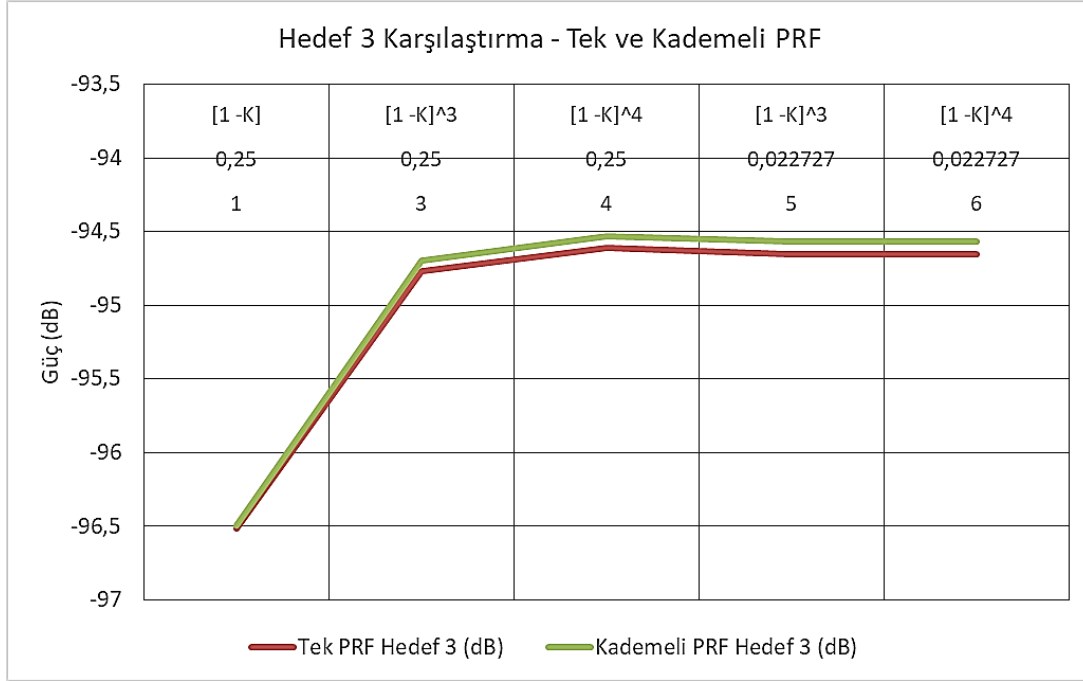
- a. Senaryo 2'deki hedef karşılaştırmalarından Hedef 2 için alınan sonuçlara göre bu maddenin sonuçları değerlendirilirse (orada filtre paydası sadece $[1 - K]$ idi ve K düştükçe sinyal seviyesinde ciddi düşme gözüküyordu) filtre paydası burada Senaryo 2'ye göre çok küçültülmüş (yani $[1 - K]^3$ ve $[1 - K]^4$ olarak ayarlanmış) bu durum da sinyal seviyesindeki azalmanın aksine Kademeli PRF'de artışa neden olmuştur. Bu durum "ii" maddesini de desteklemektedir.
- iv. Senaryo 5 ve 6 karşılaştırıldığında ise hem Kademeli PRF hem de Tek PRF uygulamalarında sinyal seviyelerinin birbiri ile aynı olduğu görülmektedir. Bu duruma göre K değeri çok düşürüldüğünde paydanın azalması ciddi sinyal değişikliklerine neden olmamaktadır.

Hedef 3 için karşılaştırma

Hedef 3'ten alınan sinyal değerleri her senaryo için toplanıp karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu Çizelge 4.8'de verilmiş ve grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Hedef 3 sinyallerinin senaryolar arası karşılaştırılması

Hedef 3 Karşılaştırma - Tek ve Kademeli PRF				
Senaryo	K Değeri	Filtre Paydası	Tek PRF Hedef 3 (dB)	Kademeli PRF Hedef 3 (dB)
1	0,25	$[1 - K]$	-96,515	-96,4981
3	0,25	$[1 - K]^3$	-94,77	-94,699
4	0,25	$[1 - K]^4$	-94,61	-94,531
5	0,022727	$[1 - K]^3$	-94,6511	-94,565
6	0,022727	$[1 - K]^4$	-94,651	-94,565



Şekil 4.27. Hedef 3 sinyallerini senaryolar arası karşılaştıran grafik

Hedef 3 için yapılan karşılaştırmalar şu şekildedir:

- i. Genel olarak incelendiğinde Kademeli PRF uygulamasının hedef sinyalinin tespiti konusunda Tek PRF uygulamasına göre karşılaştırılan tüm senaryolarda daha başarılı olduğu görülmüştür.
- ii. K değeri sabit iken filtre paydasının değişiminin sinyal tespitine etkisini gözlemlemek için Senaryo 1, 3 ve 4 sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre filtre paydası her $[1 -K]$ ile çarpıldığında sinyal seviyesinin arttığı görülmektedir. Bu durum hem Kademeli hem Tek PRF için görülmüştür. Bkz. Şekil 4.27'deki grafiğin ilgili bölgelerindeki eğime göre Kademeli PRF kullanılarak yapılan tespitteki artışın Tek PRF kullanılarak yapılan tespitteki artışa göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buna göre her iki PRF uygulaması için de en iyi senaryonun Senaryo 4 olduğu görülmektedir.
- iii. Hedef 3 tespitindeki sinyal seviyesinin K değişiminden nasıl etkilendiği incelendiğinde Senaryo 3 ve 5 ile Senaryo 4 ve 6 karşılaştırılmaktadır. Buna göre 3'ten 5'e geçişte bir artış, 4'ten 6'ya geçişte küçük bir azalış görülmektedir. Genel olarak bu artış ve azalışlara göre elde edilecek sonuç Bkz. Şekil 4.27'deki grafikte yer alan eğrinin durumuna göre belirlenmiş olup hem Kademeli hem de Tek PRF için genel olarak bir artış söz konusudur.

- a. Senaryo 2'deki hedef karşılaştırmalarından Hedef 2 için alınan sonuçlara göre bu sonuçlar paralellik göstermektedir. Burada Senaryo 2'ye göre filtre paydası daha da küçültülmüş, bu da hedef sinyal seviyelerini daha da artırmıştır.
- iv. Senaryo 5 ve 6 karşılaştırması yapıldığında ise sinyal değerlerinin aynı olduğu hem Bkz. Tablo 4.8'den hem de Bkz. Şekil 4.27'deki grafik eğiminden görülmektedir.

En iyi performans veren geri beslemeli gecikme hattı iptalleyici filtresinin seçimi

Çizelge 4.9'da Geri Beslemeli Hat İptalleyici filtresi üzerinde koşturulan tüm senaryolardan alınan tüm sonuçlar toplu olarak verilmiştir. Buna göre yeşil hücreler her bir sütundaki hedef sinyalleri için en yüksek, kargaşa sinyali için en düşük değeri göstermektedir.

Çizelge 4.9. Tüm senaryoların karşılaştırılması

Senaryolar Arası Güç Karşılaştırma							
PRF Modu	Senaryo	K Değeri	Filtre Paydası	Hedef 1 (dB)	Hedef 2 (dB)	Hedef 3 (dB)	Kargaşa Başlangıç (dB)
Tek PRF	1	0,25	[1 -K]	-88,9469	-107,738	-96,515	-59,9949
	3	0,25	[1 -K] ³	-89,738	-109,719	-94,77	-108,236
	4	0,25	[1 -K] ⁴	-89,818	-109,865	-94,61	-121,734
	5	0,022727	[1 -K] ³	-89,802	-109,836	-94,6511	-122,136
	6	0,022727	[1 -K] ⁴	-89,802	-109,837	-94,651	-122,136
	Kademeli PRF	1	0,25	[1 -K]	-88,46	-100,958	-96,4981
3		0,25	[1 -K] ³	-88,97	-100,759	-94,699	-106,929
4		0,25	[1 -K] ⁴	-89,036	-100,693	-94,531	-117,725
5		0,022727	[1 -K] ³	-89,024	-100,706	-94,565	-118,759
6		0,022727	[1 -K] ⁴	-89,024	-100,706	-94,565	-118,758

Filtrenin kargaşa bastırma performansının yüksek olması açısından Senaryo 5 veya Senaryo 6'daki filtre tasarımı kullanılabilir, iki senaryo arasında bir fark bulunmamaktadır. Kargaşa bastırma performansının en iyi Senaryo 5 veya 6'nın Tek PRF uygulaması ile sağlandığı Çizelge 4.9'dan da görülmektedir.

Hedef 1'in yani en yakın hedefin sinyal tespit performansının en iyi seviyede olması için Senaryo 1'deki filtre tasarımı kullanılabilir. Hedef 1'in tespiti en iyi Senaryo 1'in Kademeli PRF uygulaması ile yapılabilmektedir.

Hedef 2'nin yani orta uzaklıktaki hedefin sinyal tespit performansının en yüksek seviyede olması için Tek PRF'de Senaryo 1, Kademeli PRF'de Senaryo 4 kullanılabilir. Hedef 2'nin tespiti en iyi Kademeli PRF ile yapılmaktadır, bu yüzden Senaryo 4'ün kullanımı idealdir (Çizelge 4.9).

Hedef 3'ün yani en uzaktaki hedefin sinyal tespit performansının en yüksek seviyede olması için Senaryo 4'teki filtre tasarımı kullanılabilir. Hedef 3'ün tespiti en iyi Senaryo 4'ün Kademeli PRF uygulaması ile yapılmaktadır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.10'da hangi hedef için hangi senaryonun en iyi olduğu ve kargaşa için en iyi senaryonun hangisi olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. Hedef ve kargaşa sinyalleri için en iyi senaryoların çizelgesi

Senaryo Seçimi		
Tür	Senaryo No	PRF Modu
Hedef 1	1	Kademeli
Hedef 2	4	Kademeli
Hedef 3	4	Kademeli
Kargaşa Bastırma	5 veya 6	Tek

Karşılaştırma hakkında genel bir değerlendirme yapılırsa;

- Hedefler için; yakın mesafede bulunan hedefler için filtre paydasının katlanması olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Mesafe olarak hedefler uzaklaştıkça bu katlanma olumlu etki göstermeye başlamaktadır. K değerinin azaltılması ise yakın mesafede bulunan hedefler için sinyalde azalmaya neden olurken uzak mesafedeki hedefler için sinyalde artış sağlamaktadır. Ayrıca hedef sinyal tespitinde Kademeli PRF uygulaması Tek PRF uygulamasına göre daha iyi sonuçlar vermektedir.
- Kargaşa bastırma performansında; filtre paydası ne kadar katlanırsa kargaşa o kadar daha iyi bastırılmaktadır. K değerinin azalması da yine kargaşa bastırma performansını artırmaktadır. Tek PRF uygulaması kargaşa sinyalinin bastırılmasında Kademeli PRF uygulamasına göre daha iyi performans vermektedir.

Tüm bu çıktılar değerlendirildiğinde bu simülasyonda 75 m'de bulunan bir hedefin sinyalini daha iyi tespit edebilmek ve aynı mesafede bulunan kargaşa sinyalini daha iyi bastırmak için

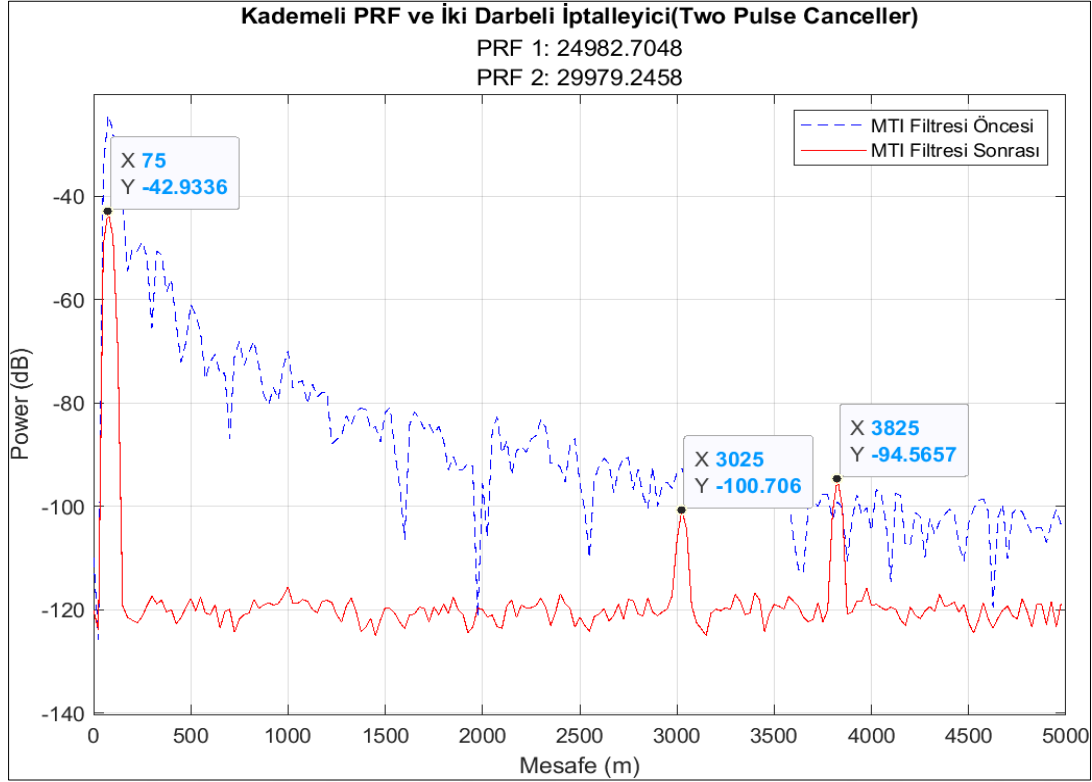
Senaryo 5 koşturulmalı ve Kademeli PRF kullanılmalıdır. Kademeli PRF uygulaması her hedefin tespitinde Tek PRF uygulamasına göre daha iyi sonuç vermektedir. Yakın mesafedeki hedef için en yüksek sinyal Senaryo 1’de alınıyor olsa da kargaşa bastırma performansında Senaryo 1 zayıf kalmaktadır. Hedeflerin tespitinde ise en iyi sonuçlar Senaryo 4’te alınmaktadır. Ancak Senaryo 4 genel olarak Senaryo 5’e göre az da olsa daha iyi sonuçlar veriyor olsa da kargaşa bastırma performansları Senaryo 4 ve Senaryo 5 arasında karşılaştırıldığında Senaryo 5, 1 dB daha iyi kargaşa bastırırken Senaryo 4 tüm hedeflerde en fazla 0,03 dB daha iyi sonuç vermektedir. Hatta yakın hedef olan Hedef 1’de Senaryo 5 daha iyi sonuç vermektedir. Senaryo 5 ve Kademeli PRF uygulaması tüm senaryolar için ortak paydada buluşmayı sağlamaktadır, hem hedef performanslarında Senaryo 4’e göre ciddi bir eksilmeye neden olmamakta (hatta yakın hedefte daha iyi sonuç vermekte), hem kargaşa sinyalinin iyi bastırılmasını sağlamaktadır. Yine de Senaryo 4 ve 5’in birbirlerine yakın performans verdikleri ve bunların diğer senaryolara göre en iyileri olduğu görülmektedir.

4.2.8. Senaryo 8

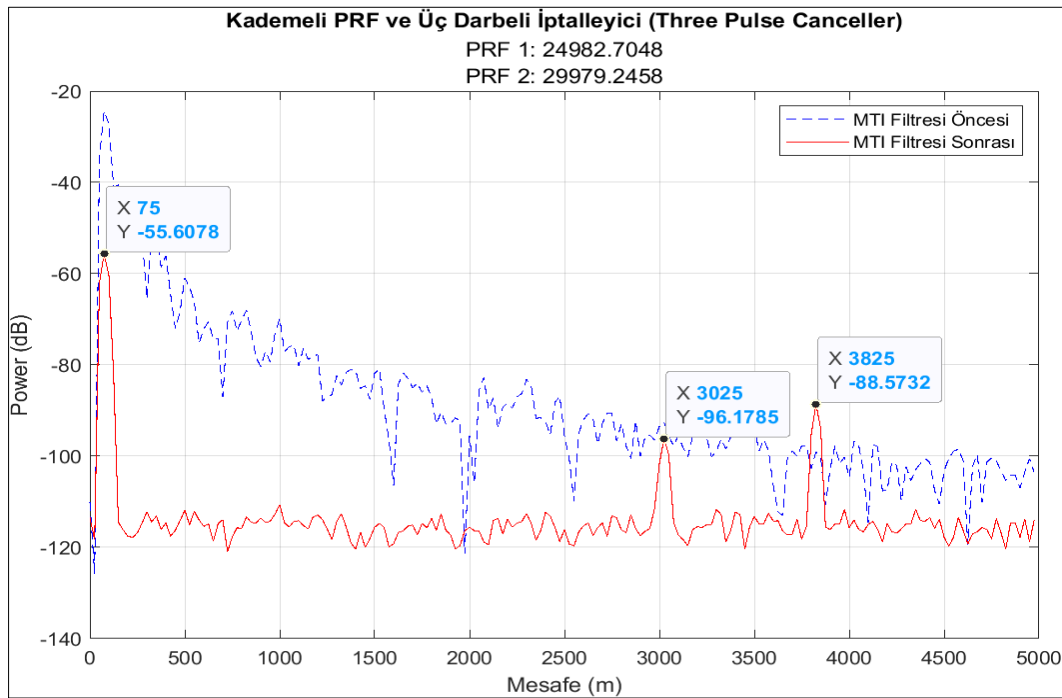
Bu senaryo Senaryo 7’de belirlenen en iyi Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresini sınamak amacıyla tasarlanmıştır. Buna göre Hedef 1 konumu kargaşa sinyalinin tepe noktasının olduğu konum olacak şekilde değiştirilmiştir. Yani bu senaryo yapılırken Hedef 1’in pozisyonu [50 0 30] olarak ayarlanmış ve diğer hedeflerin konumları değiştirilmemiştir. Burada Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi olarak Senaryo 7’de yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre bir filtre tasarımı kullanılmıştır. Ardından tüm filtrelerin Kademeli PRF performansları karşılaştırılmıştır. Hedef 1’in 50 m mesafede seçilme nedeni kargaşa gücünün 50 m’de tepe noktaya ulaşmış olmasındandır. Kademeli PRF uygulamasının tespit edilen sinyalleri 25 m daha ilerde olacak şekilde tespit ettiği görülmektedir. Buna göre Kargaşa 50 m’de görülmeye başlamıştır ve 75 m olarak tespit edilmiştir. Bunun için Hedef 1’in konumu da kargaşa sinyalinin başladığı orijinal konum olan 50 m olarak ayarlanmıştır.

Senaryo 7’de yapılan karşılaştırma sonucunda bu filtrelerden Senaryo 4 ve Senaryo 5 en iyi sonuçları vermekte olduğundan, iki filtrenin performansı diğer İki ve Üç Darbeli İptalleyici filtreleri ile kargaşa sinyalinin tepe noktasındaki bir hedef için ve diğer hedefler için karşılaştırılmıştır. Filtrelerin Kademeli PRF uygulaması ile kullanılmasının en uygun olduğu

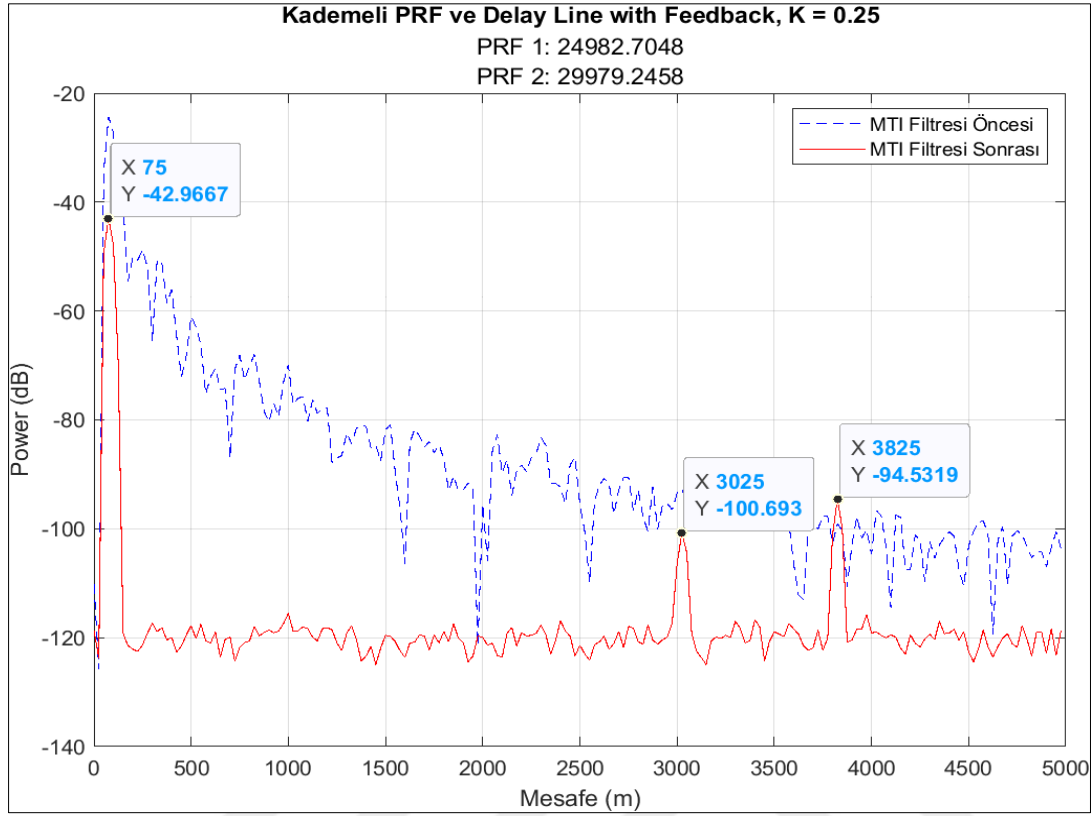
değerlendirilmiştir. Alınan simülasyon sonuçları Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’te verilmektedir.



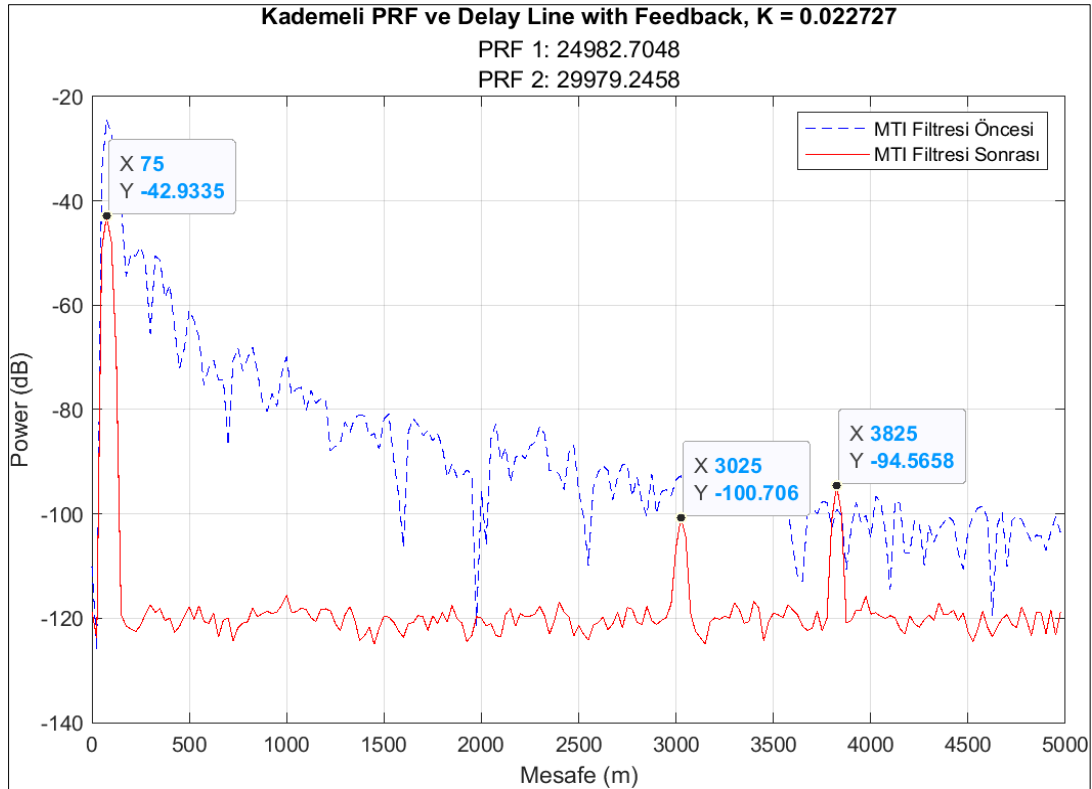
Şekil 4.28. Kademeli PRF ile iki darbe iptalleyicinin yakın hedef performansı



Şekil 4.29. Kademeli PRF ile üç darbe iptalleyicinin yakın hedef performansı



Şekil 4.30. Kademeli PRF'li senaryo 4'teki geri beslemeli filtre yakın hedef performansı



Şekil 4.31. Kademeli PRF'li senaryo 5'teki geri beslemeli filtre yakın hedef performansı

Alınan sonuçlara göre Çizelge 4.11 oluşturulmuştur:

Çizelge 4.11. Senaryo 8'den alınan sonuçların çizelgesi

Filtre Türü	Filtre Transfer Fonksiyonu	K Değeri	Hedef 1 (dB)	Hedef 2 (dB)	Hedef 3 (dB)
İki Darbe İptalleyici	[1 -1]	-	-42,9336	-100,706	-94,5657
Üç Darbe İptalleyici	[1 -2 1]	-	-55,6078	-96,1785	-88,5732
Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici (Senaryo 4 Parametreleri)	$[1 -1]/[1 -K]^4$	0,25	-42,9667	-100,693	-94,5319
Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici (Senaryo 5 Parametreleri)	$[1 -1]/ [1 -K]^3$	0,022727	-42,9335	-100,706	-94,5658

Eğer kargaşanın tepe noktasındaki mesafede bir hedef var ise, o hedefin en iyi tespiti Senaryo 5 parametreleri kullanıldığında yapılabilmektedir.

Seçilen Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtreleri Üç Darbe İptalleyici ile karşılaştırılırsa, yakın mesafede olmayan hedeflerin tespiti açık ara Üç Darbe İptalleyici ile yapılıyor olsa bile, bu filtre yakın mesafede olan ve yüksek kargaşa seviyesine denk gelen hedefin tespitinde en kötü performansa sahiptir. Yapılan analizler sonucu seçilen filtreler olan Senaryo 4'teki ve Senaryo 5'teki Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtreleri hedef tespitinde Üç Darbe İptalleyici filtresinden daha iyidir, yani kargaşa sinyalinin seviyesini daha çok düşürebilmiştir.

Seçilen filtreler eğer İki Darbe İptalleyici filtresi ile karşılaştırılırsa Senaryo 4'ün yakın mesafede olmayan hedeflerin tespitinde diğer iki senaryodan daha iyi olduğu görülmektedir. Yakın mesafede olan Hedef 1'in tespitinde ise Senaryo 4'ün en kötü performans verdiği yani kargaşa sinyalini en az zayıflattığı görülmektedir. Senaryo 5 ve İki Darbe İptalleyici ise genel olarak tüm hedefler için benzer bir profil ortaya koymaktadır, ancak Senaryo 8'in amacı Kargaşa içerisindeki hedefin tespiti olduğundan, bu konuda Senaryo 5 çok çok az bir fark ile daha iyi görünmektedir.

Yeni tasarlanan ve karşılaştırmalar sonucunda seçilen Senaryo 5 ve Senaryo 4 birbirleri ile karşılaştırılacak olursa, yakın mesafedeki hedeflerin kargaşa sinyali içerisinde ayırt edilmesinde Senaryo 5'in daha başarılı olduğu görülmektedir. Buna göre de K değeri sınır

değer olarak belirtilen değerin altına çekilecek kadar küçüldüğünde daha iyi sonuç vermekte ve İki Darbe İptalleyici filtresinden daha iyi performansa bile sahip olabilmektedir.





5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, öncelikle temel radar kavramlarından, MTI radarlarından, kör hız ve kargaşa ve kargaşa bastırma tekniklerinden bahsedilmiştir. Sonrasında MTI radarlarında yaygın olarak kullanılan filtrelerden İki Darbe İptalleyici, Üç Darbe İptalleyici ve Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtreleri hedef tespiti performansları ve gürültü/kargaşa bastırma performansları bakımından karşılaştırılmıştır.

Performansı düşük MTI filtrelerinde kazanç faktörü olan K değerinin filtre hedef tespit ve kargaşa bastırma performanslarına etkisi incelenmiştir. Bu etkinin incelenebilmesi için bir simülasyon ortamı ve farklı simülasyon senaryoları oluşturulmuştur. Senaryolar her defasında farklı parametrelere sahip radarların simüle edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Senaryoların gerçekleştirilmesi sonucunda optimal Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtreler olarak bazı filtreler belirlenmiştir. Bu filtrelerin performanslarını sınavabilmek adına son olarak kargaşa sinyal seviyesinin en yüksek olduğu noktada bulunduğu varsayılan bir hedef için tekrar simülasyon yapılarak sonuçlar alınmıştır.

Oluşturulan filtre tasarımlarından Senaryo 5 parametrelerine sahip Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin yakın mesafede bulunan hedeflerin tespitinde diğer filtrelere göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Literatürde Kazanç faktörünün değeri sıfır olduğunda Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresinin İki Darbe İptalleyici filtresine dönüştüğü bilgisi yer almaktadır [36]. Bu çalışmada tasarlanan Senaryo 5 parametrelili filtrede kazanç faktörü sınır değeri olarak belirtilen değere kadar düşürülmüş ve ayrıca filtre parametresi de senaryolar arasındaki en küçük hale getirilmiş, bu tasarımla birlikte de yeni filtrenin İki Darbe İptalleyici filtresinden de daha iyi performans verdiği görülmüştür. Hiçbir değişiklik yapılmayan Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi yani Senaryo 1 parametrelili filtre ile yeni tasarlanan filtre karşılaştırıldığında da yeni filtrenin başarısı daha belirgin hale gelmektedir.

Yapılan çalışmadaki sonuçlar detaylı şekilde değerlendirilirse; eğer hedefler yakın mesafede bulunuyorsa Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtresi paydasının $[1 - K]$ ile çarpılması olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Hedefler uzaklaştıkça bu çarpımın sinyal seviyelerinde artışı sağladığı görülmektedir. Aynı durum Kazanç faktöründe de

görülmektedir, Kazanç faktörünün değeri azaldıkça yakın hedeflerin sinyal seviyeleri azalmakta, hedefler uzaklaştıkça sinyal seviyeleri artmaktadır. Bu iki etkenin filtre kargaşa bastırma performanslarına etkileri incelendiğinde ise paydanın $[1 - K]$ ile her çarpıldığında bu performansın arttığı görülmüştür. Ayrıca tüm filtre senaryolarında Kademeli PRF modunun Tek PRF moduna göre daha başarılı olduğu genel olarak söylenebilmektedir.

Yapılan simülasyonlar sonunda alınan sonuçlar ne hedef tespit performansı ne de kargaşa bastırma performansından vazgeçilmeyecek şekilde değerlendirildiğinde en iyi performans veren Geri Beslemeli Gecikme Hattı İptalleyici filtreleri olarak Senaryo 4 ve Senaryo 5 filtrelerinin Kademeli PRF modlarında kullanılabilir oldukları görülmüştür.



KAYNAKLAR

1. Singh, A., Shah, V., Sarnaik, A. (2013). Moving target indication radar. *International Journal of Student Research in Technology & Management*, 1(1), 27-38.
2. Dinç, M.F. (2020). *Bir radar hedef ortam simülatorü için rastgele pürüzlü dünya yüzeyi üzerinde elektromanyetik dalga saçılımının modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
3. Yousuf, M., Mahmud, R., Aziz, A. (2013). *Simulation design of an efficient MTI processing module for embedded platform*. 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing.
4. Gilon, S. (1979). Design of MTI Radar On The Basis of Detection Probabilty. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 15, 106-118.
5. Goodman, N.A., Stiles, J.M. (2001). A general signal processing algorithm for MTI with multiple receive apertures. *Proceedings of the 2001 IEEE Radar Conference*.
6. Kronauge, M., Schroeder, C., Rohling, H. (2010). *Radar target detection and Doppler ambiguity resolution*. 11-th International Radar Symposium. 1-4.
7. Ewell, G.W. (1974). *Design of moving target indicator radar processors*, Doctoral Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
8. Budge, M.C., German, S.R. (2015). *Basic Radar Analysis*. (2. Edition). Norwood, USA: Artech House. 19-37.
9. İnternet: Radarın Kısa Tarihiçesi. *Radar Tutorial*. Web: <https://www.radartutorial.eu/04.history/hi04.tr.html>, Son Erişim Tarihi: 01.12.2023.
10. Steer, M. (2010). *Microwave and RF Design: A Systems Approach*. (1. Edition). North Carolina: USA, SciTech Publishing Inc., 61-64.
11. Balanis, C.A. (2005). *Antenna Theory Analysis And Design*. (3. Edition). New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 1-24.
12. Mahafza, B.R., Elsherbeni, A.Z. (2004). *MATLAB Simulations For Radar System Design*. (1. Edition). Boca Raton, Florida, USA: Chapman & Hall/CRC Press, 307-331.
13. Şireci, A.E., Demirhan, S., Hatipoğlu, A., Fidanboylu, K. (2020). Radarlarda hava aracı konumunun kalman filtresi ile kestirimi. *3rd International Conference on Data Science and Applications*.
14. Uttamchandani D. (2013). *Handbook of Mems For Wireless and Mobile Applications*. (1. Edition). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 520-522.

15. Balkan, A.T. (2020). *Optimize edilmiş özdevimli öğrenme metotları kullanılarak FMCW radarı ile aktif ve pasif hareketli hedeflerin sınıflandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
16. Fişne N., Pakfiliz, A.Z. (2023). Bağlı bileşen etiketleme tabanlı öbekleme ile DTA ayrıştırımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(6), 589-595.
17. Richards, M.A., Scheer, J.A., Holm, W.A. (2010). *Principles of Modern Radar*. (1. Edition). New Jersey, USA: Sci-Tech Publishing Inc., 309-347.
18. Skolnik, M.I., (2008). *Radar Handbook*. (3. Edition). USA: The McGraw-Hill Companies, 1.1-2.5.
19. O'neil, S., (2013). *Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook*. (4. Edition). California, USA: Naval Air Warfare Center Weapons Division Technical Communication Office, 4-4.1 – 4-4.6.
20. Irmak, M.R. (2016). *Darbe doppler radarlarda belirsiz çoklu hedef durumları için performans analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
21. Stimson, G.W. (1998). *Introduction to Airborne Radar*. (2. Edition). New Jersey, USA: Sci-Tech Publishing Inc., 311-313.
22. İnternet: Radar maksimum kesin menzil ve darbe tekrarlama frekansı hesaplayıcı. Web: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/tr-TR/calculator/radar-unambiguous-range/?f=2&fu=kHz>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2023.
23. Shnidman, D.A. (1999). Generalized radar clutter model. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 35, 857-865.
24. Hu, J., Gao, J., Posner, F.L., Zheng, Y., Tung, W. (2006). Target detection within sea clutter: A comparative study by fractal scaling analyses. *World Scientific Fractals*, 14, 187-204.
25. Karmakar, P., Dhar, S., Chakraborty, M., Paul, T. (2013). Comparative study of four different types of MTI filters for radar clutter rejection. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 5, 40-46.
26. İnternet: constantGammaClutter. (2021). *The Mathworks Inc*. Web: <https://www.mathworks.com/help/radar/ref/constantgammaclutter-system-object.html>, Son Erişim Tarihi: 01.12.2023.
27. Gilliam, M.D. (2020). *All-weather sense and avoid (SAA) radar clutter modelling and control*, Master of Science Thesis, University of Oklahoma School of Electrical And Computer Engineering, Oklahoma.
28. Welvaert, M., Rosseel, Y. (2013). On the definition of singal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio for fMRI data. *PLoS ONE*, 8(11), e77089.

29. İnternet: albersheim. (2021). *The Mathworks Inc.* Web: <https://www.mathworks.com/help/phased/ref/albersheim.html>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2023.
30. İspir, M., Candan, Ç. (2016). On the design of staggered moving target indicator filters. *The Institution of Engineering and Technology Journals*, 10, 205-215.
31. Skolnik, M.I. (1981). *Introduction to Radar Systems*. (2. Edition). Singapore: The McGraw-Hill Companies, 139-140.
32. Wiesbeck, W. (2010). *Radar Systems Engineering*. (16. Edition). Karlsruhe, Germany: Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, 53-54.
33. Rihaczek, A.W. (1973). A systematic approach to blind-speed elimination. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 9(6), 940-947.
34. (2000). *Electronic Warfare Fundamentals*. Nevada, USA: Nellis Air Force Base, 2-5 – 2-6.
35. Mahafza, B.R. (2009). *Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB*. (1. Edition). Boca Raton, Florida, USA: Chapman & Hall/CRC Press, 1-10.
36. Mahafza, B.R. (2013). *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. (3. Edition). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 361-402.
37. İspir, M., Candan, Ç. (Nisan 2013). *Düzensiz Darbe Tekrarlama Aralıklı MTI Süzgeçlerinin Min-Max Tasarımı*. 21. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildirileri.
38. İspir, M. (2013). *Design of moving target indication filters with non-uniform pulse repetition intervals*, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
39. Eskelinen, P. (2003). *Introduction to RF Equipment and System Design*. (1. Edition). Norwood, USA: Artech House, 15-36.
40. Wu, D., Xu, Z., Zhang, L., Xiong, Z., Xiao, S. (2012). Performance Analysis of Polarization-Space-Time Three-Domain Joint Processing for Clutter Suppression in Airborne Radar. *Progress In Electromagnetics Research*, 129, 579-601.





Gazili olmak ayrıcalıktır