

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PARALEL HATLAR İLE SINIRLI KANALDAN GEÇİŞ YAPAN
HEDEFİN TESPİTİ PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU**

ENDÜSTRİ MÜH. HAKAN GEÇİLİ

KOCAELİ 2012

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PARALEL HATLAR İLE SINIRLI KANALDAN GEÇİŞ YAPAN
HEDEFİN TESPİTİ PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU

ENDÜSTRİ MÜH. HAKAN GEÇİLİ

Yrd.Doç.Dr. Pınar Yıldız KUMRU
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Harun Reşit YAZGAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2012

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İnsan hayatının kurtarılması, ülke güvenliğinin sağlanması, kayıp cisimlerin bulunması ve derin uzay keşifleri gibi hem askeri hem de sivil alanlarda sıklıkla kullanılan arama teorisi, teknoloji tarafından kabiliyetleri artırılan sensörlerin nasıl daha etkin kullanılabilceği sorusuna cevap aramaktadır. Bu çalışmada paralel hatlarla sınırlı bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespiti probleminin optimizasyonu kapsamında, koordineli hat bariyeri yöntemlerinde planlayıcılar tarafından kullanılacak hedef tespit olasılığı tahmini formüllerinin geliştirilmesi ve arayan ile hedef özelliklerine göre en uygun arama yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalarda arama teorisi ve geometri olasılığı teorisi yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Çalışmanın her aşamasında deneyimini, bilgisini, yardım ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Pınar Yıldız KUMRU'ya,

Bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Kasım BAYNAL'a,

Arama teorisi konusunda sahip olduğu bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşım Dr. Mümtaz KARATAŞ'a,

Bu günlere gelmemde pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz - 2012

Hakan GEÇİLİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. PARALEL HATLAR İLE SINIRLI KANALDAN GEÇİŞ YAPAN HEDEFİN TESPİTİ PROBLEMİ OPTİMİZASYONUN METODOLİJİSİ.....	4
1.1. Arama Teorisinde Kullanılan Temel Tanımlar.....	4
1.1.1. Sensör	4
1.1.2. Arama sahası (Search Area)	4
1.1.3. Arama sürati (Searcher Speed) (v)	4
1.1.4. Arama süresi (Search Duration) (t)	4
1.1.5. Arama gayreti (Search Effort) (Z).....	5
1.1.6. Yan menzil (Lateral Range) (x).....	5
1.1.7. Yan menzil eğrisi (Lateral Range Curve).....	6
1.1.8. Tespit olasılığı (Probability of Detection) (TO).....	8
1.1.9. Tarama genişliği (Sweep Width) (W)	10
1.1.10. Kurabiye kalıbı (Cookie Cutter) tespit modeli	12
1.1.11. Kaplama faktörü (Coverage Factor) (C)	15
1.1.12. Poisson sahaları (Poisson Area)	15
1.2. Arama Teorisinde Kullanılan Temel Yöntemler.....	17
1.2.1. SistematiK arama	17
1.2.2. Rastgele arama	18
1.2.3. Difüzyon yansıma.....	22
1.2.4. Paralel arama	23
1.2.5. Küp kök yasası	28
1.2.6. Bariyer arama	29
1.2.6.1. Kelebek bariyer arama.....	30
1.2.6.2. Hat bariyer arama yöntemi	36
1.2.7. Hat bariyer arama ve kinematik geliştirilmesi	40
1.2.7.1. Arayanın saha sınırında dönüşü (Yöntem-I).....	40
1.2.7.2. Arayanın saha sınırına R mesafe kala dönüşü (Yöntem-II)	44
2. OPTİMİZASYON İÇİN ÖNERİLEN MODEL	48
2.1. Koordineli Hat Bariyer Arama Yöntemleri	49
2.2. İki Arayan ile Koordineli Hat Bariyer Arama	50
2.2.1. Yan yana hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-I).....	50
2.2.2. Farklı sahalarda hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-II)	57
2.2.3. İki arayan için yöntem-I ile yöntem-II'nin karşılaştırılması	61
2.3. Üç Arayan ile Koordineli Arama	62
2.3.1. Yan yana hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-I).....	62

2.3.2. Farklı sahalarda hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-II).....	67
2.3.3. Üç arayan için yöntem-I ile yöntem-II' nin karşılaştırılması	71
2.4. Çok Arayan Bulduğunda Tek Arayan İçin Hazırlanan Denklemin Kullanılması Yönteminin İncelenmesi.....	72
2.4.1. İki arayan için mevcut yöntem, yöntem-I, yöntem-II karşılaştırılması	72
2.4.2. Üç arayan için mevcut yöntem, yöntem-I, yöntem-II karşılaştırılması	73
2.4.3. Günümüzdeki uygulama hakkında düşünceler	74
2.5. Simülasyon Sonuçları.....	75
2.5.1. Simülasyonun tanıtılması.....	75
2.5.2. Tek arayan için Monte Carlo simülasyonu	77
2.5.3. İki arayan yöntem-I için Monte Carlo simülasyonu	78
2.5.4. İki arayan yöntem-II için Monte Carlo simülasyonu	79
2.5.5. Üç arayan yöntem-I için Monte Carlo simülasyonu	81
2.5.6. Üç arayan yöntem-II için Monte Carlo simülasyonu.....	82
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	93
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yan menzil	6
Şekil 1.2. Yan menzil eğrisi	6
Şekil 1.3. Yan menzil eğrisinin hesaplanması	7
Şekil 1.4. Yan menzil eğrisinin oluşturulması	7
Şekil 1.5. Bariyer hesaplaması	9
Şekil 1.6. Örnek yan menzil eğrisi	9
Şekil 1.7. Alanların oranı	10
Şekil 1.8. Tarama genişliği	11
Şekil 1.9. Sahaya düzgün dağılımla rastgele dağılmış hedefler	12
Şekil 1.10. s_1 sensörü tespit mesafesi eğrisi	13
Şekil 1.11. s_2 sensörü tespit mesafesi eğrisi	13
Şekil 1.12. s_1 sensörü ile süpürülen saha	14
Şekil 1.13. s_2 sensörü ile süpürülen saha	14
Şekil 1.14. Dikdörtgen sahada oluşturulan örnek bir Poisson sahası	16
Şekil 1.15. Lawn Mover Search yöntemi	18
Şekil 1.16. Rastgele arama	19
Şekil 1.17. Rastgele arama izi	21
Şekil 1.18. Arama yöntemleri tespit olasılıklarının karşılaştırılması	22
Şekil 1.19. Difüzyon yansıma geometrisi	23
Şekil 1.20. Örnek yan menzil eğrisi	24
Şekil 1.21. Arama sahası	24
Şekil 1.22. Paralel sensörler ile arama	25
Şekil 1.23. Paralel arama	26
Şekil 1.24. Genişleyen kare arama yöntemi	30
Şekil 1.25. Sabit hedefler için bariyer arama yöntemi	31
Şekil 1.26. Hareketli hedefler için bariyer arama yöntemi	31
Şekil 1.27. İlerleyen kelebek bariyer arama	34
Şekil 1.28. Gerileyen kelebek bariyer arama	34
Şekil 1.29. Simetrik kelebek bariyer arama	35
Şekil 1.30. Hat ve kelebek bariyer arama yöntemleri karşılaştırması	37
Şekil 1.31. Hat ve kelebek bariyerlerinin etkinliğinin karşılaştırılması	38
Şekil 1.32. Hat ve kelebek bariyerlerinin etkinlik bölgeleri	39
Şekil 1.33. Hat bariyeri yöntem-I ve yöntem-II	40
Şekil 1.34. Hat bariyeri (i) yöntem-I ile taranan alan (ii) yöntem-II ile aranan alan ..	41
Şekil 1.35. Yöntem-I ile bir adımda taranan göreceli alan	42
Şekil 1.36. Yöntem-II ile bir adımda taranan göreceli alan	42
Şekil 1.37. Saha dışında kalan alan (Yöntem-I)	43
Şekil 1.38. Saha dışında kalan alan (Yöntem-II)	45
Şekil 1.39. Yöntem-I ve yöntem-II'nin karşılaştırılması	47
Şekil 2.1. Koordineli bariyer arama (i) yöntem-I (ii) yöntem-II	50
Şekil 2.2. İki arayanın yöntem-I ile koordineli hat bariyeri	51
Şekil 2.3. Yöntem-I koordineli arama ile aranan alan	51
Şekil 2.4. İki arayan yöntem-I için olasılık hesaplaması	52

Şekil 2.5. $ GG' $ uzunluğunun hesaplaması	53
Şekil 2.6. Yöntem-II koordineli arama ile aranan alan	58
Şekil 2.7. Bir adımda yöntem-II ile aranan alan	58
Şekil 2.8. Yöntem-II tespit olasılığı hesaplaması	59
Şekil 2.9. Koordineli hat bariyer arama yöntemlerinin karşılaştırması	61
Şekil 2.10. Üç arayanın yöntem-I ile koordineli hat bariyeri.....	63
Şekil 2.11. Üç arayanın yöntem-I ile her adımda taradığı alan.....	63
Şekil 2.12. Arayanlar tarafından taranamayan alanlar	64
Şekil 2.13. Üç arayan yöntem-I için olasılık hesaplaması	64
Şekil 2.14. Üç arayanın yöntem-II ile koordineli hat bariyeri	68
Şekil 2.15. Üç arayanın yöntem-II ile bir adımda aranan alan.....	68
Şekil 2.16. Üç arayan yöntem-II olasılık hesaplaması.....	69
Şekil 2.17. Üç arayan için yöntem-I ve yöntem-II karşılaştırması	71
Şekil 2.18. İki arayan arama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 2.19. Üç arayan arama yöntemlerinin karşılaştırılması	74
Şekil 2.20. Tek arayan için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması	78
Şekil 2.21. İki arayan, yöntem-I için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması	79
Şekil 2.22. İki arayan, yöntem-II için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması	80
Şekil 2.23. Üç arayan, yöntem-I için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması	81
Şekil 2.24. Üç arayan, yöntem-II için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması	83

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Tek arayan için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri	77
Tablo 2.2. İki arayan, yöntem-I için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri	79
Tablo 2.3. İki arayan, yöntem-II için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri	80
Tablo 2.4. Üç arayan, yöntem-I için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri	81
Tablo 2.5. Üç arayan, yöntem-II için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri.....	82

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A	: Arama sahası, (mil ²)
C	: Kaplama faktörü, (%)
c _s	: Arayanın rotası, (°)
C _t	: Tespit edilen hedef sayısı
D	: Kanal genişliği, (mil)
D _s	: Simülasyon deneme sayısı
dt	: İterasyon süresi, (dakika)
H.T.O _{sim}	: Simülasyon sonucunda elde edilen hedef tespit olasılığı
H.T.O _{teori}	: Hesaplanan hedef tespit olasılığı
L	: Hat uzunluğu, (mil)
N	: Kelebek bariyerinde icra edilen temel eleman sayısı
n	: Arayan sayısı
P(x)	: Birikimli tespit olasılığı
R _m	: Maksimum tespit menzili, (mil)
S	: Arayanlar arası mesafe, (mil)
t	: Arama süresi, (dakika)
t _{maks}	: İterasyon sayısı
T _o	: Kelebek bariyerinde bir temel elemanı icra etme süresi, (dakika)
T _s	: Arama yapılmayacak süre, (dakika)
T _t	: Taranmamış ilk banttaki hedefin bariyer hattına ulaşma süresi, (dakika)
u	: Hedef sürati, (mil/saat)
v	: Arayan sürati, (mil/saat)
W	: Tarama genişliği, (mil)
x	: Yan menzil, (yarda)
Z	: Arama gayreti
α	: Arayan ile hedef ilerleme vektörleri arasında kalan açı, (°)
λ	: Hedef yoğunluğu (adet/mil ²)
θ	: α'nın radyan cinsinden değeri, (radyan)

Kısaltmalar

AYN	: Azami Yaklaşma Mesafesi
ÇAT	: Çıkarılacak Toplam Alan
HTO	: Hedef Tespit Olasılığı
TKU	: Taban Kenar Uzunluğu
TO	: Tespit Olasılığı

Alt indisler

i	: Arayan sayısı
j	: Arama yöntemi

PARALEL HATLAR İLE SINIRLI KANALDAN GEÇİŞ YAPAN HEDEFİN TESPİTİ PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada bir kanaldan geçiş yapan hedefin etkin bir şekilde tespiti için en uygun arama yöntemlerinin belirlenmesinde planlayıcılara karar desteği sağlanması amaçlanmıştır ve bu kapsamda arama teorisi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Arama teorisi çalışmaları, II. Dünya Savaşı'nda başlatılmış ve günümüzde kayıp cisimleri ve insanları bulmak, sınır güvenliğini sağlamak ve üretim kalitesini artırmak gibi konularda kullanılmaktadır. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalar sınırlıdır, konunun anlaşılabilmesi için ilk aşamada arama teorisinin temel kavram ve yöntemlerinden ve bu alanda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Aranan cismin/ kişinin en düşük maliyetle en kısa zamanda bulunmasının hedeflendiği arama faaliyetlerinde kullanılan yöntemlerin etkinliğinin hesaplanabilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada arayan sayısı birden fazla ve arayan sürati hedef süratine yakın olduğunda yaygın olarak kullanılan arayanların yan yana arama yapması yöntemi ile farklı sahalarda arama yapması yöntemi incelenmiştir. Her iki yöntemin etkinliğinin analitik yöntemlerle hesaplanabilmesi için kullanılacak denklemler literatüre kazandırılmıştır. Bu denklemlerden elde edilen sonuçlar MATLAB programlama dilinde hazırlanan Monte Carlo simülasyonları sonuçları ile doğrulanmıştır.

Bu çalışma ile hazırlanan denklemler; denizde kazazedelerinin aranması, nehirde/ kanalda kaybolan cismin/ insanın aranması, silah, akaryakıt, insan veya uyuşturucu maddeleri yasal olmayan yollarla ülke sınırları içine sokmaya veya ülke sınırları dışına çıkarmaya çalışan kaçakçıların yakalanması, korunmaya ihtiyacı olan liman, havalimanı gibi alan/ binalarının emniyetinin sağlanması vb. arama faaliyetlerinde planlayıcılar tarafından aramanın etkinliğinin hesaplanması, arzu edilen etkinliği sağlamak için ihtiyaç duyulan arama gayreti miktarının belirlenmesi, optimum arama sahası boyutlarının belirlenmesi için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Arama Teorisi, Bariyer Karakolu, Kelebek Karakolu, Paralel Arama, Tespit Olasılığı.

OPTIMIZATION OF SEARCHING MOBILE TARGETS TRANSITING THROUGH A CHANNEL BOUNDED BY PARALLEL LINES PROBLEM

ABSTRACT

The aim of this study is to support the search planners in selecting the best method for detecting a target transiting through a channel. In this context this study we used the principles of search theory. Search theory studies had during WWII and its principles have been applied in numerous operations. These include finding lost people, objects, saving casualties, border security. Since studies of search theory are limited in Turkish science literature, we decided to provide the information for search theory terms, principles and applications.

It is very important to calculate the effectiveness of search methods used to find lost objects in the shortest time with the minimum cost. In this thesis, we studied on two methods (line abreast formation and search in two/three identical areas) commonly used when there are two, three searchers and target-searcher speeds are close. We developed theoretical formulas for each method for analytically predicting the effectiveness. All theoretical results are confirmed through Monte Carlo simulations developed by using MATLAB.

The formulas can be used by planning authorities for computing target detection probability for operations like maritime surveillance, searching objects/person in a river, border security against weapon, human, oil, drug smugglers, securing private and state facilities. Using the formulas one can also compute the optimal search area size and needed search efforts.

Key Words: Search Theory, Barrier Search, Crossover Search, Parallel Sweep, Probability of Detection.

GİRİŞ

Paralel hatlarla sınırlandırılmış bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespiti problemi yöneylem araştırmasının konu başlıklarından biri olan Arama Teorisi'nin bir uygulamasıdır ve tarihi İkinci Dünya Savaşına dayanmaktadır. İkinci Dünya Savaşında itilaf devletlerinin en büyük problemlerden biri Alman U-botlarına karşı nasıl en etkin harekât yürütüleceğidir. Bu bölümde U-botlar özellikle İngiltere için önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. İngiltere'nin ihtiyaç duyduğu asker, mühimmat ve erzakın büyük bir çoğunluğunu taşıyan ticari gemi filolarının batırılması Alman U-botlara verilen en önemli vazifeydi.

Atlas okyanusuna bir geçit niteliğinde olan, İspanya'nın kuzeyinde, Fransa'nın batısında ve İngiltere'nin güneyinde yer alan ve 130 000 mil² alana sahip Biskay Körfezi'nde U-botlar itilaf devletlerine ait üç milyon ton ağırlığında sivil ve askeri gemiyi batırmışlardır. Dönemin başbakanı Winston Churchill İtilaf devletlerinin U-botlar hakkındaki endişelerini savaş zamanında beni gerçekten korkutan tek şey U-Bot tehlikesiydi sözleriyle ifade etmiştir [1]. Hitler ise U-botlar hakkındaki beklentilerini U-botlar zaferi kazanacaklar sözleriyle dile getirmiştir [2].

İtilaf devletleri tarafından denizdeki bu tehdidi ortadan kaldırmak için tedarik malzemelerini taşıyan ticari filolara değişen miktarlarda askeri gemi ve uçaklarla refakat edilmiş ve Biskay Körfezinde gemi ve uçaklar kullanılarak U-botlar aranmıştır [3]. Arama teorisi İkinci Dünya Savaşı esnasında U-botları tespit ederek maruz kalınan büyük kayıpları en az seviyeye indirmek amacıyla mevcut kısıtlı gemi ve uçak sayısının optimum kullanımının hesaplanması ihtiyacından ortaya çıkmıştır.

Arama teorisi konusunda ilk çalışmalar İkinci Dünya Savaşı yıllarında Denizaltı Savunma Harbi Yöneylem Araştırma Grubunda görev alan B.O.Koopman ve çalışma arkadaşları tarafından başlatılmıştır. Arama teorisi o dönemden günümüze kadar yöneylem araştırması bilimi içinde büyük bir disiplin haline gelmiştir. Arama teorisi, derin okyanus dibinde batık cisimlerin araştırılmasından, yapay uydular ile derin uzay araştırmalarına kadar geniş bir yelpaze içersinde kullanılmaktadır [4].

İkinci Dünya Savaşından günümüze kadar arama teorisi;

- 1966 yılında Akdeniz’de İspanya’nın güney sahilleri açıklarında kaybolan güçlü bir nükleer bomba olan hidrojen bombasının aranmasında,
- 1968 yılında Atlantik Okyanusu’nda Azorlar adalarının açıklarında kaybolan Scorpion isimli kayıp nükleer denizaltı gemisinin aranmasında [5],
- 1974 yılında 6 yıl savaşlarında sonra Süveyş Kanalı’nın deniz trafiğine tekrar açılabilmesi için batık mayın temizleme harekâtında [6],
- Türkiye ve A.B.D. Sahil Güvenlik birimleri tarafından açık denizde arama ve kurtarma faaliyetlerinde [7],
- Radar ile asteroit ve uydu aramasında[8] ve daha pek çok alanlarda kullanılmıştır. İlaç üretimi, maden arama gibi pek çok endüstriyel alanda 1980 yılı öncesi uygulamaları hakkında yazılmış makaleler NATO İleri Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan Arama Teorisi ve Uygulamaları kitabında [9] yer almaktadır. Biyoloji alanındaki uygulamalar [10,11]’de, makine bakımı ve onarımı hakkındaki çalışmalar [12]’de, arama kurtarma faaliyetlerinde köpek timlerinin kullanımı [13]’te yer almaktadır.

Arama Teorisi ile ilgili yapılan ilk çalışmalar hakkında Koopman [14] ve Morse [15], günümüz arama teorileri uygulamaları konusunda Stone [16], Washburn [17] ve arama teorisi literatür taraması için bu konuda yapılan en kapsamlı çalışma olan Benkovski [18] referans olarak kullanılabilir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde arama teorisinin tarihi gelişim süreci ve bu konuda yapılan çalışmalar hakkında özet bilgi verilmiş, ikinci bölümde arama teorisinde kullanılan temel kavramlardan yan menzil eğrisi, tarama genişliği, kurabiye kalıbı modeli, kaplama faktörü, poisson sahası ve tespit olasılığı (TO) açıklanmış, temel yöntemler kapsamında sistematik arama, rastgele arama, paralel arama, bariyer arama yöntemleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde bariyer aramasında birden fazla arayan bulunduğu kullanılan koordineli arama yöntemleri incelenmiştir. Bu konuda yapılan incelemeler

sonucunda, günümüze kadar yapılan çalışmalarda arama faaliyeti hesaplamalarının kelebek bariyer araması için tek arayan ve çoklu arayan için yapıldığı, hat bariyer araması için ise tek arayan için hedef tespit olasılığı (HTO) denklemi bulunduğu ve birden fazla arayan olduğunda tüm arayanların toplam tarama genişliğine sahip tek arayan olduğu varsayılarak hesaplamaların yapıldığı görülmüştür.

Gerçek hayatta kazazede araması veya ülke sınırlarından geçiş yapmaya çalışan kaçakçıların tespit edilmesi gibi arama faaliyetleri birden fazla arayan ile koordineli bir şekilde yapılmaktadır. Arama faaliyetlerinin uzun süreli ve yüksek maliyetli olması, arama faaliyetlerinde aranan kişinin hayatının veya aranan şeyin önemine istinaden çok iyi planlama yapılmalıdır. Planlamanın çok iyi yapılabilmesi için ise arama faaliyetleri planlayıcıları tarafından hangi yöntemin daha etkin olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle arama faaliyetlerinde sıkça kullanılan yan yana hat bariyer araması (yöntem-I) ve saha ayırımı ile hat bariyer araması (yöntem-II) yöntemlerinden hangisinin daha etkin olduğu incelenmiş ve MATLAB programı kullanılarak oluşturulan Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen sonuçların doğrulaması yapılmıştır.

1. PARALEL HATLAR İLE SINIRLI KANALDAN GEÇİŞ YAPAN HEDEFİN TESPİTİ PROBLEMİ OPTİMİZASYONUN METODOLİJİSİ

Paralel hatlar ile sınırlandırılmış bir kanaldan geçiş yapan hedefin yakalanması problemi, arama teorisinin bir uygulaması olması sebebiyle, bundan sonraki bölümlerin daha rahat anlaşılabilmesi için bu bölümde arama teorisinde kullanılan temel tanımlar, kavramlar ve yöntemlerden bahsedilecektir.

1.1. Arama Teorisinde Kullanılan Temel Tanımlar

TO arama teorisinde en sık kullanılan etkinlik ölçütüdür. TO'nın hesaplanması için fizik, matematik ve istatistik gibi mühendislik uygulamalarından istifade edilir. Bu kapsamda; bu çalışmada kullanılacak matematiksel ifadeler ve olasılık hesaplamaları, arama yöntemlerinin etkinliğinin ölçülebilmesi ve etkin planlamaların yapılabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

1.1.1. Sensör

Sensör, bir hedefi tespit etme kabiliyetine sahip olan cihazdır. Göz, kulak, radar, sonar ve kamera sensöre örnek olarak gösterilebilir [19].

1.1.2. Arama sahası (Search Area)

Deniz, kara, hava veya uzayda yer alan, içinde hedef olduğu bilinen veya varsayılan ve sınırları önceden belirlenmiş alandır.

1.1.3. Arama sürati (Searcher Speed) (v)

Sensörün arama esnasında kullandığı sürat değeridir.

1.1.4. Arama süresi (Search Duration) (t)

Arama süresi, arama faaliyetinin başlangıcı ile bitişi arasında geçen süredir. Arama faaliyeti hedefin bulunmasıyla veya aramak için ayrılan enerji/ sürenin tükenmesi ile

bitmektedir. Arama sahasına ulaşılan kadar geçen süre, duraklama, dinlenme ve mola süreleri bu süreye dahil edilmez.

1.1.5. Arama gayreti (Search Effort) (Z)

Arama gayreti, hedefin bulunması için elde bulunan kaynakların kullanım miktarı olarak ya da arayanın arama sahasında kapladığı saha büyüklüğü şeklinde tanımlanabilir. Pek çok şekilde tanımlanabilecek olan arama gayreti, arama teorisinde sensörün kendisine tahsis edilen arama sahası içinde kat ettiği yol olarak tanımlanmaktadır ve Z ile gösterilmektedir.

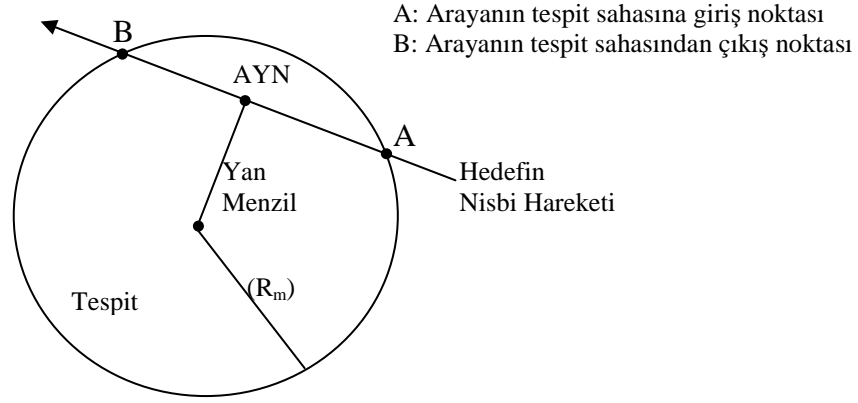
Washburn [20], arama gayretini, arama faaliyetinin en önemli kısıtlarından ve parametrelerinden birisi olan süre olarak tanımlamaktadır. Arama gayretinin matematiksel ifadesi W tarama genişliğine sahip arayanın arama sahası içerisinde kat ettiği yol olarak tanımlanmaktadır [21]. Tarama genişliğini W, arayan sürati v ile arama süresi t'nin çarpımı sonucu elde edilen hat uzunluğu L ile ifade edildiğinde, arama gayretinin matematiksel ifadesi Denklem (1.1)'de belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$Z = W \cdot L = W \cdot v \cdot t \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de yer alan W (tarama genişliği) hakkında detaylı bilgi 2.1.9'dadır.

1.1.6. Yan menzil (Lateral Range) (x)

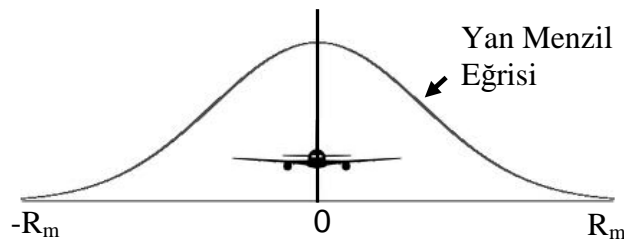
Eğer arayan ile aranan arasındaki göreceli hareketin bir hat üzerinde devamlı olduğu düşünülürse, yan menzil bu hat üzerinde arayan ile hedef arasındaki minimum mesafedir. En yakın mesafe aynı zamanda Azami Yaklaşma Mesafesi (AYN) olarak da kullanılmaktadır. Yan menzil genellikle x ile gösterilmektedir. Yan menzil x, Şekil 1.1'de görülmektedir [22].



Şekil 1.1. Yan menzil

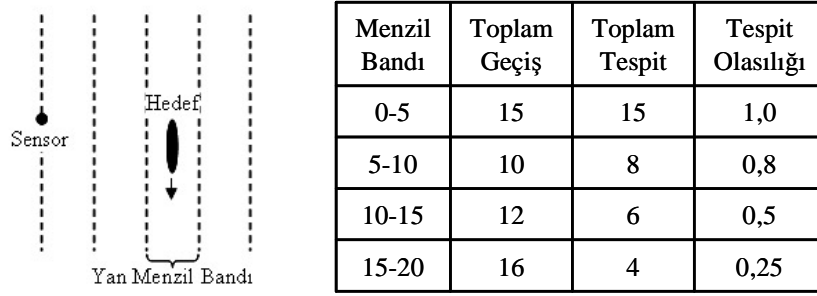
1.1.7. Yan menzil eğrisi (Lateral Range Curve)

Tüm mesafeler için bir sensörün tespit menzili (R_m) içine giren bir hedefi tespit olasılığı değerlerinin belirtildiği eğriye yan menzil eğrisi denir. Arama sensörü tespit sahası içinden sabit bir nispi rotayla geçtiğinde Şekil 1.1’de gösterilen hedefin birikimli TO sahaya A noktasından girişinden B noktasından çıkışına kadar geçen süre içerisinde artacaktır. Hedefin arayan tarafından tespit edilebileceği tek zaman aralığı bu aralıktır. Hedefin x AYN mesafesinden geçtiği bu zaman aralığında tespit edilebilmesi birikimli TO, $\bar{P}(x)$ ile ifade edilir. $\bar{P}(x)$ değerinin tüm x değerleri için hesaplanmasıyla oluşan ve Şekil 1.2’de gösterilen grafiğe Yan Menzil Eğrisi denir [22].



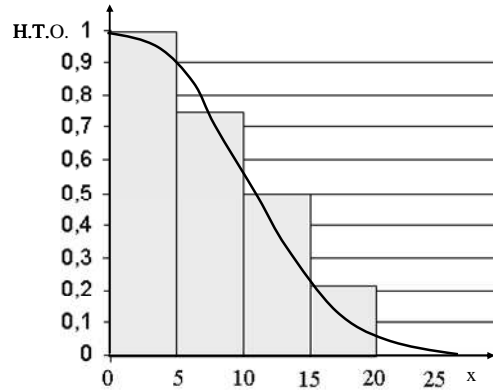
Şekil 1.2. Yan menzil eğrisi

Yan menzil eğrilerinin oluşturulması yöntemlerinden birisi, sabit bir sensörün değişik yan menzillerinden çok sayıda hedefler geçirilmesi ve her bir yan menzil bandı için tespit edilen hedef sayısının kaydı tutularak her bir bant için TO’nun Şekil 1.3’te gösterildiği şekilde hesaplanmasıdır [22].



Şekil 1.3. Yan menzil eğrisinin hesaplanması

Yan Menzil Eğrisi, mesafeye göre TO'nı gösteren grafikdir ve arayanın belirli bir x mesafesinden geçen hedefi tespit olasılığını belirtir. Şekil 1.3'te yer alan olasılık değerleri Şekil 1.4'te verilen grafik ile ifade edildiğinde yan menzil eğrisi elde edilir. Yan menzil eğrisi genellikle $x=0$ eksenine göre simetriktir.



Şekil 1.4. Yan menzil eğrisinin oluşturulması

Çıplak bir gözün gündüz, açık bir arazide bir insanı bir mil menzilden tespit edebileceği ifade edebilir. Her ne kadar sabit bir tespit menzili kullanımı ortam şartlarının değişmediği yapay sistemler için doğru olsa da gerçek hayatta bu husus geçerli olmamaktadır. Gözün tespit menzili, hedefin hızına, renklerinin ortam renkleri ile oluşturduğu kontrasta, yağmur, sis ve kar gibi çevresel faktörlere bağlı olarak sürekli değişmektedir [20]. Bu husus göz önünde bulundurulduğunda yan menzil eğrilerinin arama sensörünün belirli bir hedefin, belirli ortam şartlarında birikimli tespit olasılık değerlerini gösterdiği ve bunlardan herhangi birisinin değişmesi ile bahse konu eğrinin de değişebileceği ifade edilebilir.

1.1.8. Tespit olasılığı (Probability of Detection) (TO)

Arama sahasına rastgele yerleştirilen bir hedef sensör yan menzili içinden geçtiğinde arayan tarafından yan menzil eğrisinde belirtilen olasılık ile tespit edilir. Hedefin mevkiisi bilinmediğinden hedefin herhangi bir x yan menzilden geçme olasılığı $-R_m$ ve $+R_m$ arasında düzgün dağılıma uymaktadır. Basit olasılık teoremi kullanarak hedefin herhangi bir x yan menzilden geçiş olasılığı Denklem (1.2)'de belirtildiği şekilde hesaplanır [22],

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2R_m}, & -R_m < x < +R_m \\ 0, & \text{Diğer değerler} \end{cases} \quad (1.2)$$

Bir önceki bölümde ifade edildiği üzere $\bar{P}(x)$ belirli bir x yan menzilden geçiş yapan hedefin tespit edilme olasılığını belirtmektedir. Yan menzili bilinmeyen ya da rastgele olan bir hedefin TO, x 'in alabileceği tüm değerlerin toplamı olan $\bar{P}(x)$ 'in beklenen değeridir. Bir sürekli rassal değişkenin beklenen değeri Denklem (1.3)'te yer alan fonksiyon ile hesaplanır,

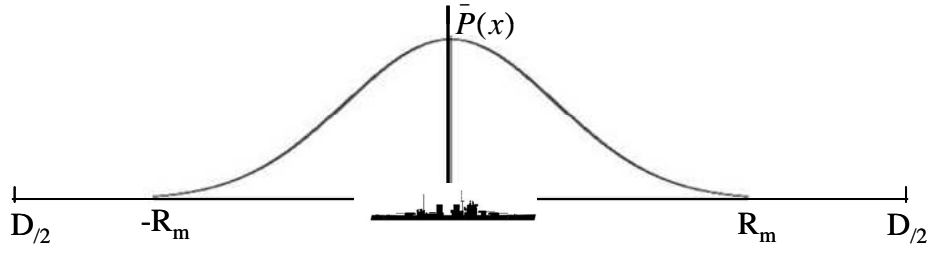
$$E[\bar{P}(x)] = \int_{\forall x} \bar{P}(x) f(x) dx \quad (1.3)$$

Denklem (1.2)'de yer alan fonksiyon Denklem (1.3)'teki yerine konulduğunda beklenen değer hesaplanması Denklem (1.4)'te olduğu gibidir,

$$E[\bar{P}(x)] = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx \quad (1.4)$$

Denklem (1.4) arayan sensörünün tespit alanı içinden rastgele geçiş yapan bir hedefin TO'nı vermektedir.

Şekil 1.5'te gösterilen ve uzunluğu D olan bir bariyerin ortasında sabit duran bir geminin, bariyerin neresinden geçeceği bilinmeyen bir hedefi tespit etmesi olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır,



Şekil 1.5. Bariyer hesaplaması

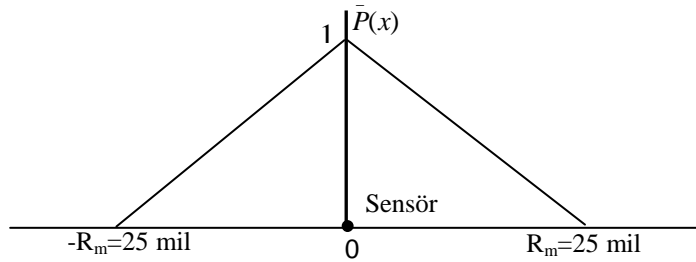
Hedef D bariyerin herhangi bir noktasından geçebileceğinden hedef yan menzili x düzgün dağılıma uyar. Bu durumda hedefin yan menzilin olasılık yoğunluk fonksiyonunu Denklem (1.5)'te verildiği şekilde ifade edilebilir,

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{D}, & -\frac{D}{2} < x < \frac{D}{2} \\ 0, & \text{Diğer değerler} \end{cases} \quad (1.5)$$

Bu fonksiyon kullanarak HTO hesaplanabilir. $D/2 > R_m$ iken Denklem (1.4)'te R_m değişkeninin yerine $D/2$ kullanıldığında, beklenen değer fonksiyonu Denklem (1.6)'da verildiği şekilde hesaplanır,

$$E[\bar{P}(x)] = \frac{1}{D} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx \quad (1.6)$$

Bu örnek için gemi sensörünün yan menzil eğrisinin Şekil 1.6'daki gibi olduğu varsayılırsa;



Şekil 1.6. Örnek yan menzil eğrisi

Şekil 1.6'da belirtilen eğrinin fonksiyonu Denklem (1.7)'de sunulmuştur,

$$\bar{P}(x) = \begin{cases} 1 + \frac{x}{25} & -25 < x < 0 \\ 1 - \frac{x}{25} & 0 < x < 25 \\ 0 & \text{Diğer değerler} \end{cases} \quad (1.7)$$

Bariyer genişliğinin 60 mil olduğu varsayıldığında TO'nun hesaplanması aşağıda verildiği şekilde yapılır,

$$\begin{aligned} E[\bar{P}(x)] &= \frac{1}{D} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx \\ &= \frac{1}{60} \left[\int_{-25}^0 \left(1 + \frac{x}{25}\right) dx + \int_0^{25} \left(1 - \frac{x}{25}\right) dx \right] = \frac{25}{60} = 0,42 \end{aligned}$$

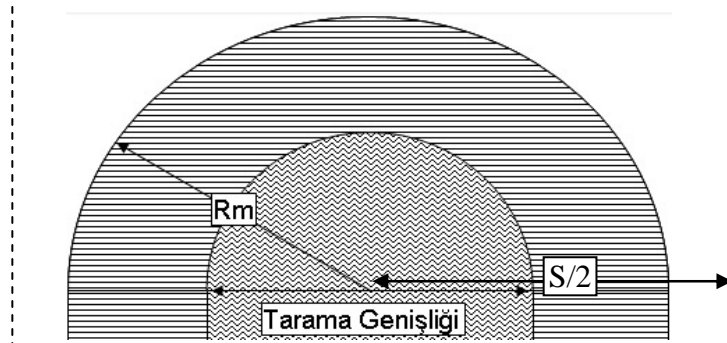
Yan menzil eğrisi simetrik olduğunda sadece bir tarafta bulunan eğrinin altında kalan alanın hesaplanması ve iki ile çarpılması çözümü hızlandırır.

1.1.9. Tarama genişliği (Sweep Width) (W)

Bir arayanın etkinliğini ifade etmekte en çok kullanılan birim olan tarama genişliği bir sensörün tespit menzilinun efektif genişliğidir. W ile ifade edilen bu değer bir sensörün tespit yapabildiği toplam alandır ve Denklem (1.8) kullanılarak hesaplanır,

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx \quad (1.8)$$

Bu alan ise mesafeye göre TO'nı gösteren yan menzil eğrisi altında kalan toplam alandır.

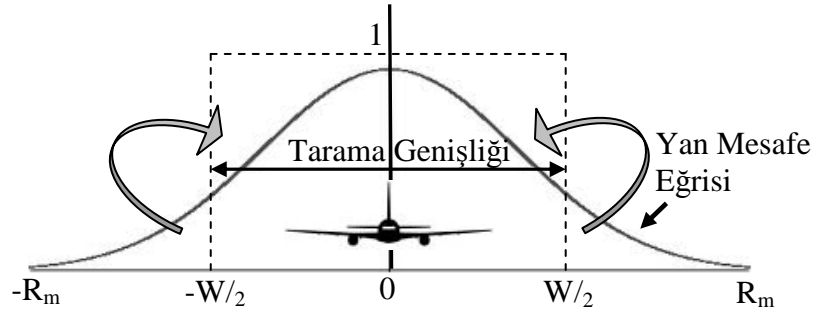


Şekil 1.7. Alanların oranı

Bir sensör sahada arama yaparken tespit menzili içinde kalan alanı tarayarak ilerlediği kabul edilir. Şekil 1.7’de görüldüğü üzere sensörün tespit menzilinin alanı, yan menzil eğrisi altında kalan alandan daha büyüktür. Bölüm 1.1.8’de verilen örnekte TO, tarama genişliğinin (W) bariyer genişliğine (S) oranı olarak belirtilmektedir,

$$E[\bar{P}(x)] = \frac{\int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx}{S} = \frac{W}{S} \quad (1.9)$$

Tarama genişliği içine giren hedeflerin TO 1 ve tarama genişliği dışından geçen hedeflerin ise TO 0 dır. Tarama genişliği ile yan menzil eğrisinin ilişkisi Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8. Tarama genişliği

Yan menzil eğrisinde mesafe arttıkça hedefin TO azalmaktadır. Tarama genişliğinde ise yan menzil eğrisi altında kalan alan tespit olasılığı/ yükseklik değeri 1 olacak şekilde yeniden şekillendirilir. Bu kapsamda tarama genişliği içinden geçen tüm hedeflerin TO 1’dir.

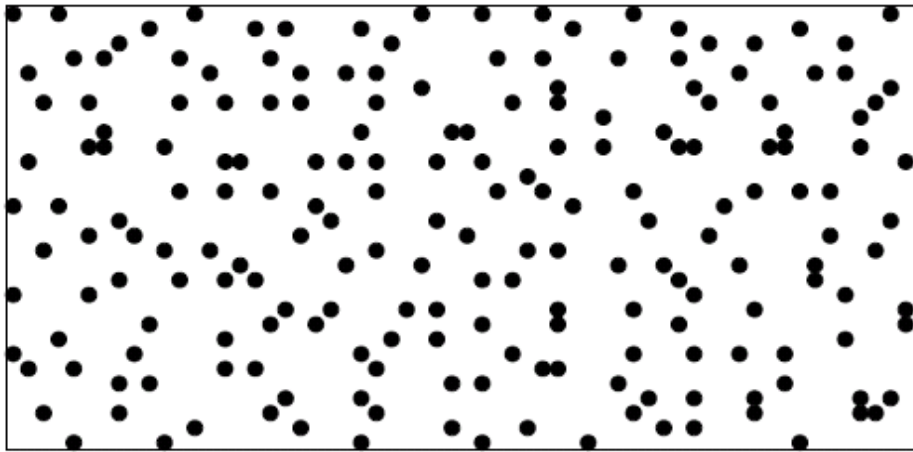
Tarama genişliğinin birimi, alan birimi yerine uzunluktur. Bunun sebebi yan menzil eğrisinin dikey boyutunun birimsiz bir değer olan olasılık değeri olmasıdır. Tarama genişliği aynı tipte birden çok sensör ile arama yapılırken sensörler arasındaki mesafenin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

1.1.10. Kurabiye kalıbı (Cookie Cutter) tespit modeli

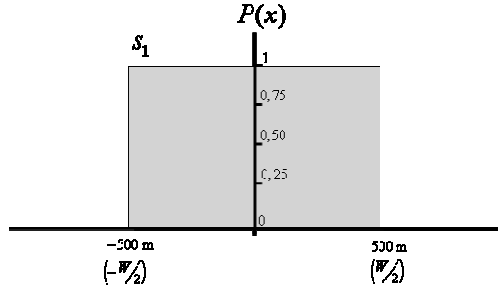
Kurabiye kalıbı tespit modeli, TO'nın hedefin sensör tarama genişliği içinden geçtiğinde daima 1 ve dışından geçtiğinde ise daima 0 alındığı modeldir. Bu çerçevede, tarama genişliği W olan bir kurabiye kalıbı sensörü, kendisine $W/2$ 'den daha yakın mesafedeki hedefleri her zaman tespit edebilen ve $W/2$ 'den daha uzaktakileri hiçbir zaman tespit edemeyen sensör olarak ifade edilebilir [23]. Sensör ile hedef arasındaki mesafe d ile gösterildiğinde HTO fonksiyonu matematiksel olarak Denklem (1.10)'daki şekilde ifade edilebilir,

$$\text{HTO} = \begin{cases} 1 & ,d \leq W/2 \\ 0 & ,d > W/2 \end{cases} \quad (1.10)$$

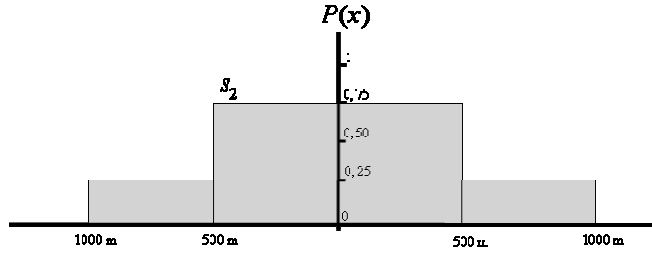
Bu hususun daha iyi anlaşılabilmesi için kurabiye kalıbı tespit modeli, aşağıda verilen bir örnek yardımıyla açıklanmıştır. Şekil 1.9'da yer alan siyah noktalar tüm sahaya düzgün dağılımla rastgele dağıtılmış aynı özelliklere sahip hedefleri simgelemektedir. Sahanın herhangi bir kısmındaki hedef sayısı ile aynı boyutta başka bir kısmında bulunan hedef sayısının aynı olmasını sağlamak, hedef mevkilerinin tahmin edilebilir olmalarını engellemek ve sahanın bir kısmının diğerinden daha fazla tercih edilmesi sebebiyle daha fazla sayıda hedef içermesini önlemek için hedefler düzgün dağılıma uyacak şekilde rastgele yerleştirilmiştir.



Şekil 1.9. Sahaya düzgün dağılımla rastgele dağıtılmış hedefler



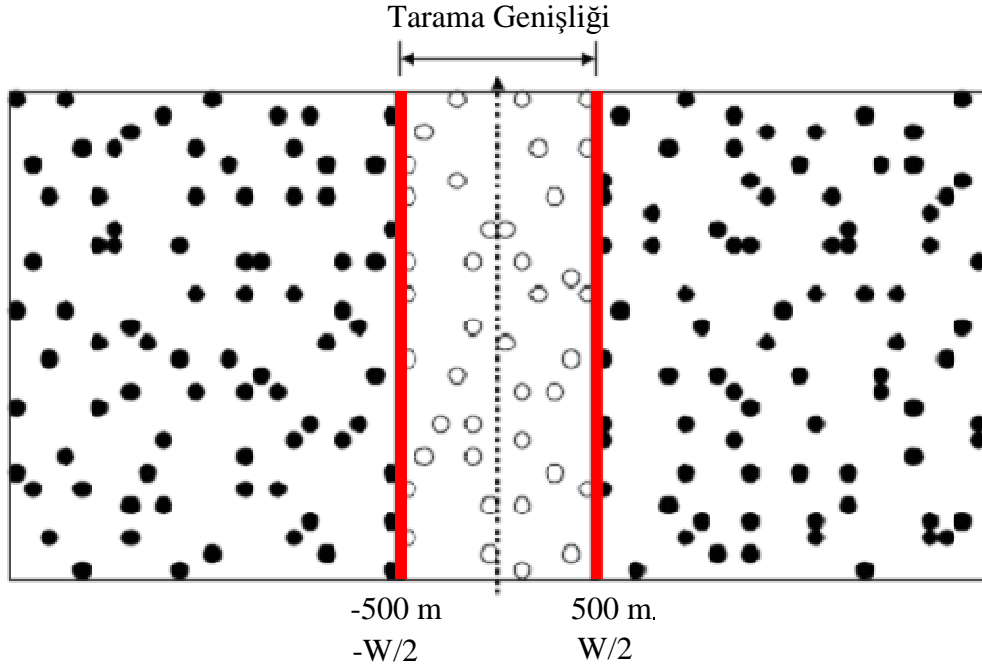
Şekil 1.10. s_1 sensörü tespit mesafesi eğrisi



Şekil 1.11. s_2 sensörü tespit mesafesi eğrisi

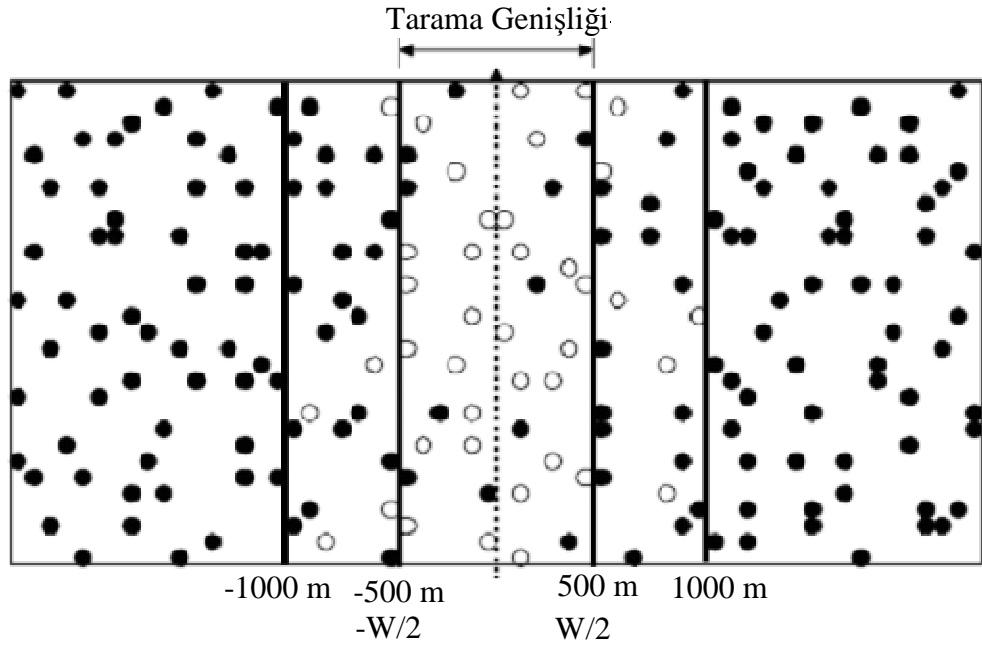
Şekil 1.10 ve Şekil 1.11’de bu örnekte kullanılan iki farklı sensör olan s_1 ve s_2 ’ye ait $P(x)$ tespit fonksiyonları görülmektedir. s_1 kurabiye kalıbı sensörü olup 0-500 m arasındaki hedefleri 1 olasılık ile, 500 m’den daha uzakta olan hedefleri 0 olasılık ile tespit edebilmektedir. s_2 ise 0-500 m mesafesi içinde bulunan hedefleri 0,75 ve 500-1000 m mesafesi içinde bulunan hedefleri 0,25 olasılıkla tespit edebilen daha gerçekçi bir sensördür. s_1 , s_2 ’nin kurabiye kalıbı sensörü olarak ifade edilmiş halidir. s_1 , s_2 ’nin HTO fonksiyonları matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [24],

$$\bar{P}(x_{s_1}) = \begin{cases} 1 & -500 < x < 500 \\ 0 & \text{Diğer değerler} \end{cases}, \bar{P}(x_{s_2}) = \begin{cases} 0,25, & -1000 < x < -500 \\ 0,75, & -500 < x < 500 \\ 0,25, & 500 < x < 1000 \\ 0, & \text{Diğer değerler} \end{cases} \quad (1.11)$$



Şekil 1.12. s_1 sensörü ile süpürülen saha

İlk adımında s_1 sensörü Şekil 1.9’da belirtilen sahayı, alt kenardan üst kenara kadar sabit bir rotada Şekil 1.12’deki gibi süpürmüştür. Bu durumda tarama genişliği içinde tespit edilemeyen hedef sayısı 0’dır. Tarama genişliği dışında tespit edilebilen hedef yoktur. Taranan alandaki 40 hedefin hepsi tespit edilmiştir.



Şekil 1.13. s_2 sensörü ile süpürülen saha

İkinci adımında ise s_2 sensörü Şekil 1.9’da belirtilen sahayı, alt kenardan üst kenara kadar sabit bir rotada Şekil 1.13’teki gibi süpürmüştür. Bu işlem sonucunda 0-500 m mesafedeki hedeflerden 11 adedinin tespit edilemediği, 500-1000 m mesafedeki hedeflerden ise 11 adedinin tespit edildiği ve toplamda da 40 adet hedefin tespit edildiği görülmektedir.

Neticede, gerçekte hedefleri farklı olasılıklar ile tespit edebilen bu iki sensörün TO açısından birbirlerine denk olduğu görülmektedir. Matematiksel hesaplamalarda kullanımı kolay olan kurabiye kalıbı tespit modeli bu özelliği nedeniyle farklı sensörlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında ve hedef tespit olasılıklarının hesaplanmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [21]. Bu özelliği nedeniyle bu çalışmada ele alınan sensörler için de aynı yaklaşım kullanılmış ve sensörlerin etkinliği kurabiye kalıbı tespit modeli kullanılarak belirlenmiştir.

1.1.11. Kaplama faktörü (Coverage Factor) (C)

Kaplama faktörü, aranan sahanın tüm arama sahasına oranıdır [20]. Diğer bir ifade ile kaplama faktörü arama için harcanan gayret miktarının tüm sahayı bir defa arayabilmek için ihtiyaç duyulan gayret miktarına oranıdır ve Denklem (1.12)’de belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$C = \frac{Z}{A} = \frac{WVt}{A} = \frac{WL}{A} \quad (1.12)$$

1.1.12. Poisson sahaları (Poisson Area)

İki boyutlu Öklit uzayında bulunan bir Poisson sahası, birim alanda ortalama nokta sayısını belirten λ parametresi ile ifade edilmektedir. a sahası içersindeki her küçük alan, λa olasılığı ile bir hedef içermekte, bu alan yeterince küçük seçildiğinde birden fazla hedef içirme olasılığı göz ardı edilebilecek seviyede küçük olmaktadır. Bu durumda, NA adet nokta ihtiva eden A sahasını A/K alanına sahip birbirinden bağımsız K parçaya bölündüğünde, A alanında hiçbir noktanın bulunmama olasılığı Denklem (1.13)’te belirtildiği şekilde hesaplanır [23],

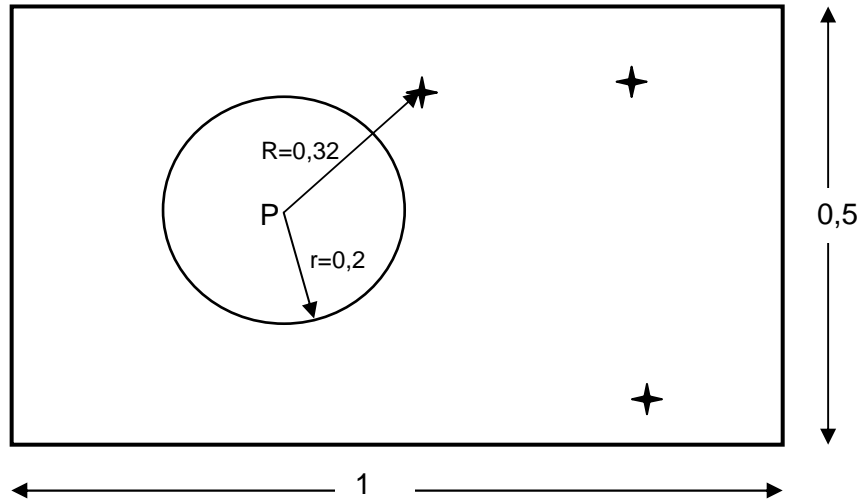
$$P(N_A = 0) = \lim \left(1 - \lambda \frac{A}{K} \right)^K = e^{-\lambda A} \quad (1.13)$$

A alanında n adet nokta bulunması olasılığı Denklem (1.14) kullanılarak hesaplanır,

$$P(N_A = n) = \lim \frac{(\lambda A)^n}{n!} e^{-\lambda A} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.14)$$

Bir poisson dağılımı olduğundan bu tür sahalar Poisson Sahaları denilmektedir. P, A sahası üzerindeki herhangi bir mevki ve bu mevkinin kendisine en yakın noktaya olan mesafesi R olsun. P noktasına r mesafesinde daha yakın bulunan noktaların toplam sayısına N_r dersek, $R > r$ ile $N_r = 0$ olayları eş olaylardır. Yarıçap r uzunluğunda olan dairenin alanı $\pi.r^2$ olduğundan $R > r$ ile $N_r = 0$ olasılıkları Denklem (1.15)'te belirtildiği gibi hesaplanır[25],

$$P(R > r) = P(N_r = 0) = e^{-\lambda \pi r^2} \quad (1.15)$$



Şekil 1.14. Dikdörtgen sahada oluşturulan örnek bir Poisson sahası

Şekil 1.14'te $\lambda=5,2$ ad./mil yoğunluğuna sahip bir Poisson sahası görülmektedir. İlk olarak P noktası etrafına $r=0,2$ mil yarıçaplı bir daire çizilmiş, daha sonra ortalaması 2,6 olan Poisson dağılımından örnekleme yapılmış (örnek 3 çıkmıştır) ve noktalar birbirlerinden bağımsız olarak sahaya gelişi güzel yerleştirilmiştir. Bu örnekte noktalardan hiçbiri dairenin içinde değildir ve $R=0,32$ mildir. $P(R > 0,2)$ değeri, bu özelliklerde binlerce Poisson sahası simüle edilerek hesaplanabileceği gibi, Denklem (1.15) kullanılarak $P(R > 0,2) = e^{-(5,2)\pi(0,2)^2} = 0,52$ olarak kolayca hesaplanabilir.

1.2. Arama Teorisinde Kullanılan Temel Yöntemler

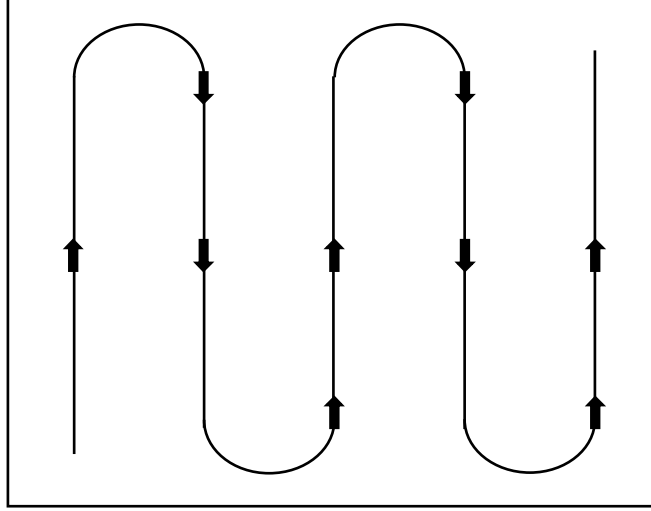
Arama teorisinde kullanılan temel yöntemler takip eden alt bölümlerde sunulmuştur.

1.2.1. Sistematik arama

Bir arayanın yapabileceği en iyi arama, arama gayretini aranan saha içerisinde üst üste bindirme olmayacak şekilde dağıtmasıdır. Sistematik aramada, sensörün kurabiye kalıbı sensör olduğu, hedefin hareketsiz olduğu ve hedef mevkisinin bilinmediği varsayımı kullanılır. Mvkisi bilinmediğinden hedefin A sahasının her yerinde bulunma olasılığı birbirine eşittir ve hedefin TO, $\frac{WVt}{A}$ kaplama faktörü ile aynıdır. H.T.O, 1'i geçemeyeceğinden dolayı TO Denklem (1.16)'daki gibi hesaplanır,

$$HTO = \min(1, z), \quad z = \frac{WVt}{A} \quad (1.16)$$

Bu denklem bir sahada elde edilebilecek en yüksek TO'nı veren en iyimser çözümdür. Arayan bu değerden daha yüksek olasılık değeri elde edemeyecektir. Denklem (1.16), arayan saha içinde hatasız bir şekilde hareket eder ve çok az ya da hiç dönüş yapmazsa geçerli olacaktır. Sistematik arama yapmak isteyen bir kişi muhtemelen çim biçme makinesinin bir bahçede bıraktığı ize benzer bir yol izleyecektir. Bu sebepten Şekil 1.15'te gösterilen bu yöntem Lawn Mower Search diye de anılmaktadır.



Şekil 1.15. Lawn Mover Search yöntemi

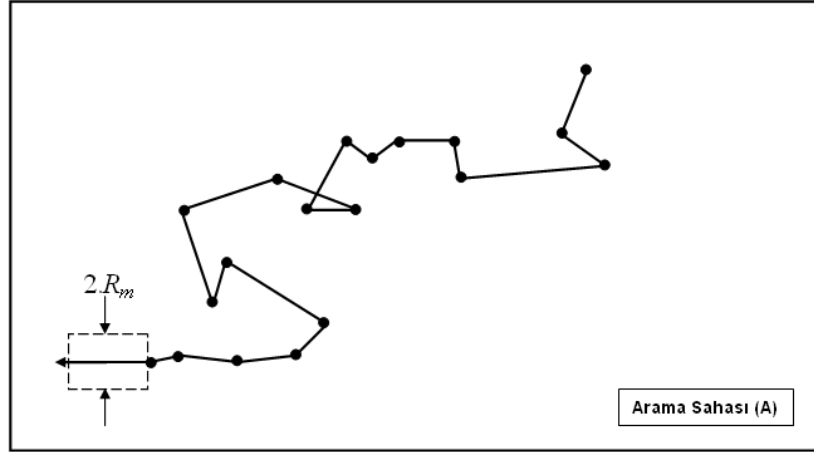
Eğer aranan alan dairevi bir alan ise arayan spiral hareketlerle tüm sahayı üst üste bindirmeler olmadan kaplayabilir. Sistemik aramada tespit için maksimum süre

$\frac{A}{WV}$ ile hesaplanabilir. Tespit için geçecek ortalama süre ise bu sürenin yarısıdır.

1.2.2. Rastgele arama

Yeri bilinmeyen bir hedefin, sahanın herhangi bir noktasında bulunma olasılığının başka bir noktasında bulunma olasılığı ile aynı olması nedeniyle hedef dağılımının düzgün dağılıma uygun dağıldığı varsayılır. Bu arama yönteminde arayanın hedefi simetrik ya da sistemik olmayan yöntemlerle aradığı kabul edilir. Rastgele aramada; arayanın saha içersinde L kadar mesafe kat etmesi sonucunda elde edilecek HTO hesaplanır.

Arayanın saha içersinde yan menzil eğrisi fonksiyonunu $\bar{P}(x)$ ile ifade edilir ve arayanın arama izini N adet L/N uzunluğunda eşit adımlara Şekil 1.16'da görüldüğü şekilde bölündüğünde,



Şekil 1.16. Rastgele arama

Hedefin tespit edilebilmesi hedefin L/N uzunluğunda ve $2R_m$ genişliğindeki sahanın içinde bulunması $P(B)$ olasılığı ve hedefin tespit edilme olasılığı $P(C)$ 'ye bağlı olur. Bu durumda TO hesaplaması için aşağıda belirtilen Denklem (1.17) kullanılarak Denklem (1.18) elde edilir,

$$P(B) = \frac{2R_m L / N}{A} \quad (1.17)$$

$$P(C|B) = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx \quad (1.18)$$

Hedef arayanın tespit menzili içine girmediği sürece tespit edilemeyeceğinden ($C \subset B$), hedefi tespit $P(C)$ olasılığı, C ve B olaylarının, olasılıklarının çarpımı ($P(C \cap B)$) ile elde edilir; Bu durumda ilk adım için $HTO = P(C|B) P(B)$ 'dir ve bu ifadenin açık hali Denklem (1.19)'de verilmiştir,

$$HTO = \frac{2R_m L / N}{A} \cdot \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx$$

$$HTO = \frac{L}{NA} \cdot \int_{-R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx$$

$$= \frac{WL}{NA} \quad (1.19)$$

i'nci adımda yapılan arama sonucunda elde edilen TO için,

$$P(i'nci adımda tespit edilme | i'nci adıma kadar tespit edilememe) \geq \frac{WL}{NA} \quad (1.20)$$

i'nci adımda daha önce arama yapılan saha parçalarında hedef olmadığı bilindiği için A sahasının boyutu başlangıç boyutuna göre daha küçülür,

$$P(i'nci tespit edememe olasılığı | i'nciye kadar tespit edilememe) \leq 1 - \frac{WL}{NA} \quad (1.21)$$

Denklem (1.21) i'nci adımda başarısızlık için üst sınır değerini belirtir. N'nci adımda tespit edememe her adımdaki olasılığı durumsal olasılıkların çarpımı sonucu elde edildiğinden bütün aramalar için üst limit,

$$P(\text{tespit edememe}) = \prod_{i=1}^N \left(1 - \frac{WL}{NA}\right) = \left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^N \quad (1.22)$$

Yukarıdan elde edilen sonuç kullanılarak tüm aramalar için elde edilecek TO alt limiti Denklem (1.23) kullanılarak elde edilir,

$$P(\text{tespit}) = 1 - \left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^N \quad (1.23)$$

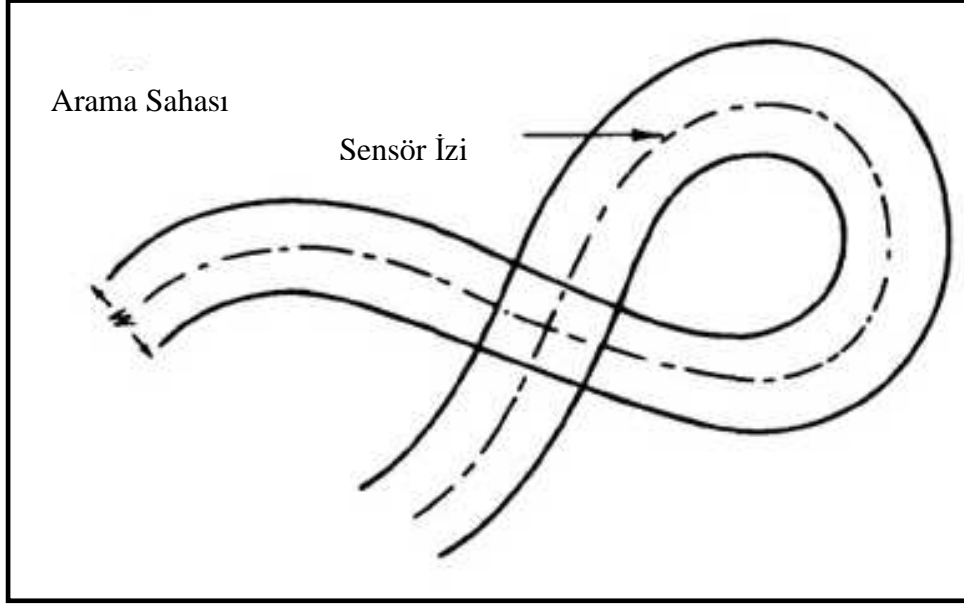
Denklem (1.23) içersinde yer alan ifadeler üstel denklem ile sadeleştirildiğinde Denklem (1.24) elde edilir,

$$\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^N = e^{N \ln\left(1 - \frac{WL}{NA}\right)} \quad (1.24)$$

$\frac{WL}{NA}$ değeri küçük olduğunda $\ln\left(1 - \frac{WL}{NA}\right) \cong -\frac{WL}{NA}$ olduğu varsayılır, rastgele arama modelinde TO alt limiti, her bir adımda aranan sahanın boyutunun tüm saha boyutuna oranının $\left(\frac{WL}{NA}\right)$ küçük olduğu, hedefin mevkisinin A sahası içersinde rastgele dağıldığı ve arayanın rastgele arama yaptığı varsayıldığında TO Denklem (1.25)'te belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$P(\text{tespit}) = 1 - e^{-\frac{WV}{A}} \quad (1.25)$$

Bölüm 1.1.11’de verilen Denklem (1.12) kullanılarak Denklem (1.25) sadeleştirildiğinde TO, $P(\text{tespit}) = 1 - e^{-c}$ şeklinde ifade edilebilir [26].



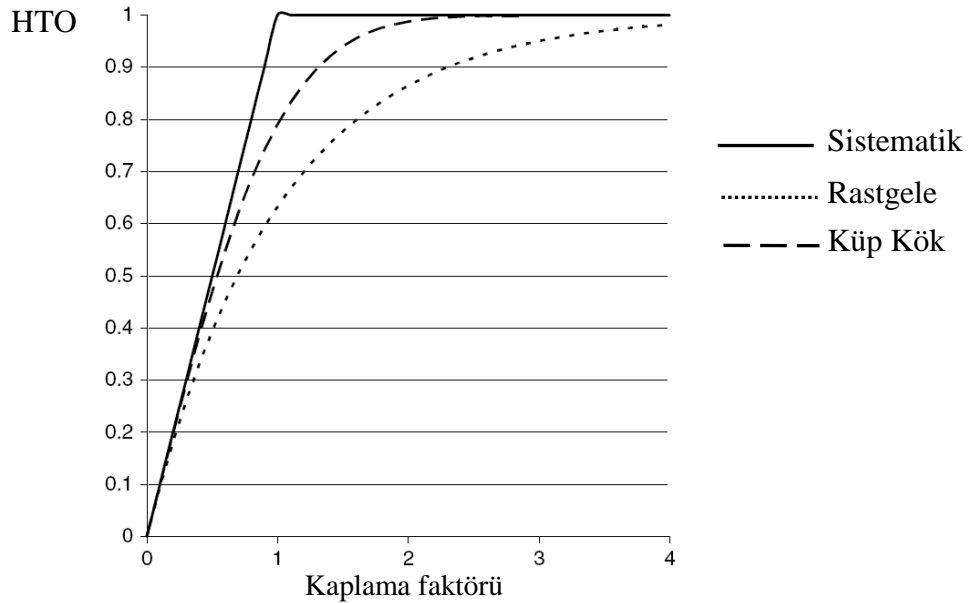
Şekil 1.17. Rastgele arama izi

Rastgele aramada temel varsayım arama esnasında kaplanan sahaların birbirleri üzerine rastgele olacak şekilde Şekil 1.17’de gösterildiği biçimde bindirme yapacağıdır. WVt ile kaplanan sahanın n adet eşit konfeti parçalarına parçalandığını ve arama sahası üzerine rastgele serpildiğini varsayalım. Bu durumda her bir konfeti parçasının hedefi örtme olasılığı $\frac{WVt}{nA}$ ’dır. Her bir konfeti parçasının atılışının bağımsız bir olay olması sebebiyle TO hesaplaması Denklem (1.25) ile yapılması doğru olur. Ancak burada önemli olan husus, konfeti parça sayısının sonsuza yaklaşacak kadar büyük seçilmiş olması gerektiğidir [20].

Rastgele Arama denklemi, Denklem (1.25) arama teorisinde en çok kullanılan denklemdir. Gerçekte hayatta, hiç kimse arama yapmadan önce arayacağı sahanın üzerine konfeti dökmez, ancak burada vurgulanmak istenen husus gerçek hayatta yapılan aramalarda çevre ve kullanılan cihazlar ya da dönüş yapılması gibi zorunluluklar sonucu aranan sahaların üst üste gelmesinin, konfeti parçalarının birbirlerinin üzerine düşmeleri gibi kaçınılmaz olduğudur. Rastgele aramadaki

$\frac{WV}{A}$ değeri Poisson tespit işleminde sabit tespit oranı olan λ katsayısı olarak kullanılabilir. Bir sensör arama yaparken aynı anda sadece bir bakış /arama icra etmesi sebebiyle üstel rastgele arama formülü Poisson sürecine uygundur. Poisson sürecinin karakteristik varsayımı olayların meydana geliş zamanlarının aynı anda olamamasıdır yani olayların birbirinden bağımsız ve örtüşmeyen zaman aralıkları ile gerçekleşmesidir. Rastgele bir aramada tespit zamanı T, ortalaması $\frac{A}{VW}$ ve parametresi λ olan eksponansiyel bir rassal değişkendir.

Şekil 1.18'de hem (1.16) hem de (1.25) denklemlerinden elde edilen değerler sergilenmektedir. Şekilde ortada görülen üçüncü eğri takip eden maddelerde açıklanacak olan Küp Kök Yasası kullanılarak elde edilir. Şekilde yer alan her üç eğri aynı eğimle yükselmekte ancak daha sonra eğimler farklılaşmaktadır. Değerler arasındaki farklılık en fazla sistematik arama için kaplama faktörünün bir olduğu noktadan sonra artmaktadır.



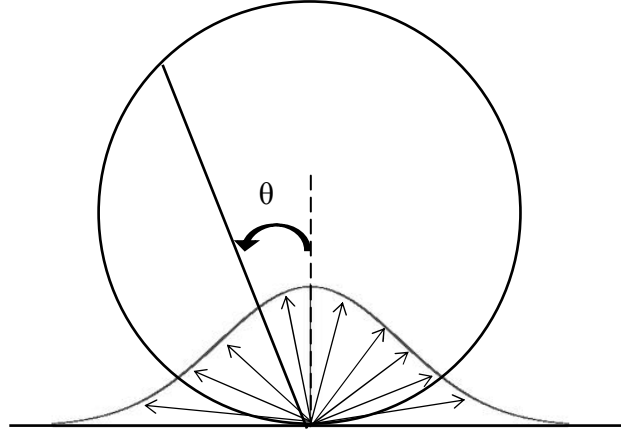
Şekil 1.18. Arama yöntemleri tespit olasılıklarının karşılaştırılması

1.2.3. Difüzyon yansıma

Arama teorisinde yapılan simülasyon çalışmalarında hedeflerin arama sahasında herhangi bir noktada bulunma olasılığının sahada bulunan tüm noktalar için eşit olasılıkta dağıldığı varsayımının sağlanması için değişik yöntemler denenmiştir. Bu

varsayımın gerçekleştirilebildiği yöntem Difüzyon Dağılım (Diffuse Reflection) yöntemidir.

Bu yöntemde arayanın arama izi pürüzlü bir duvardan yansıyan ışık fotonlarının izlediği yol ile aynı istatistiksel özelliklere sahiptir. Dikdörtgen ya da daire gibi iki boyutlu düzlem içersinde herhangi bir noktadan başlayarak sınıra ulaşana kadar düz hat üzerinde hareket eden ve sınıra geldiğinde yansiyarak diğer sınıra kadar yine düz hat üzerinde ilerleyen bir doğru düşünün. Sınırdan her yansıma, sınıra komşu olan tanjanttan ölçülen rassal θ açısı ile gerçekleşmektedir. Bahse konu yoğunluk fonksiyonu $0 \leq \theta \leq \pi$ olduğunda $0,5 \sin(\theta)$ 'dir. Difüzyon yansımanın yoğunluk fonksiyonu düzgün dağılıma uymaz [27]. Şekil 1.19 difüzyon dağılımı göstermektedir.



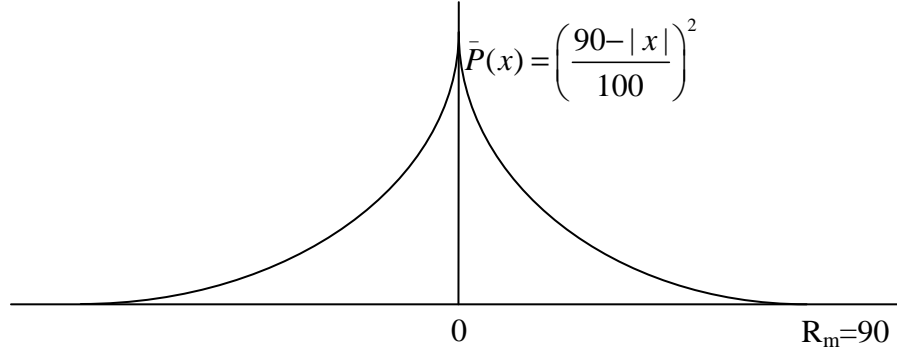
Şekil 1.19. Difüzyon yansıma geometrisi

Difüzyon yansıma yöntemi kullanıldığında saha sınırlarının düzensiz olması durumunda dahi tüm saha düzgün dağılıma uygun olarak kaplanabilmektedir. Eğer bir sahada rastgele arama yapılacaksa difüzyon yansıma metodu kullanılmalıdır, aksi halde başka bir hareket tarzı seçilebilir ancak sahanın tamamının kaplanamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır [27].

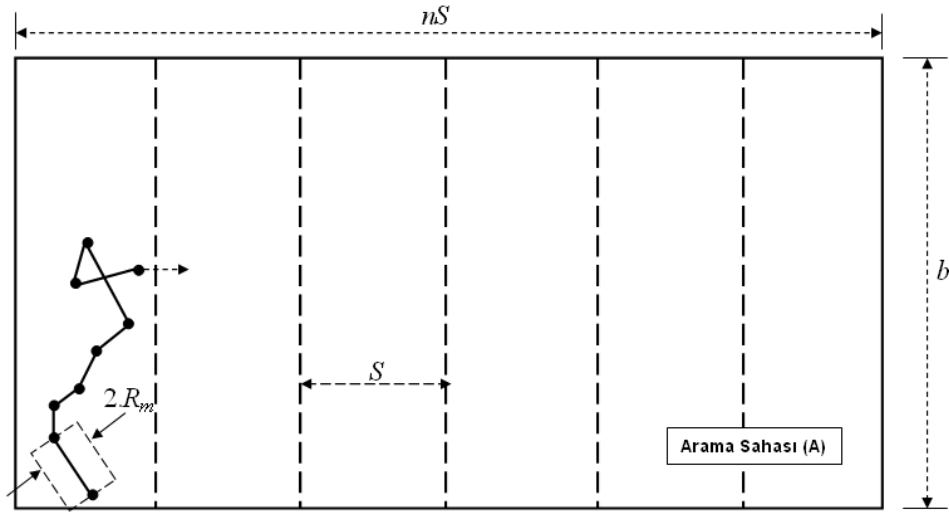
1.2.4. Paralel arama

Mevkisi bilinmediği durumda hedefin sahanın herhangi bir noktasında bulunma olasılığı diğer herhangi bir noktasında bulunma olasılığı ile aynı olacağı daha önce belirtilmişti. Bu şartlar altında sahada en iyi kaplamayı sağlamak üzere en çok kullanılan metot paralel arama metodudur. Paralel arama arayanların S mesafe

aralıklarla yan yana, paralel rotalarda arama yaptığı bir yöntemdir. Her arayanın yan menzil eğrisinin Şekil 1.20'deki gibi olduğunu ve pek çok arayanın Şekil 1.21'de gösterilen sahanın aranması için aynı anda kullanıldığını düşünelim. Her arayan kendi bandında aşağı doğru hareket ederek arama yaptığı ve arayanların yan menzil eğrileri çakışmadığında TO, W/S'dir [22].

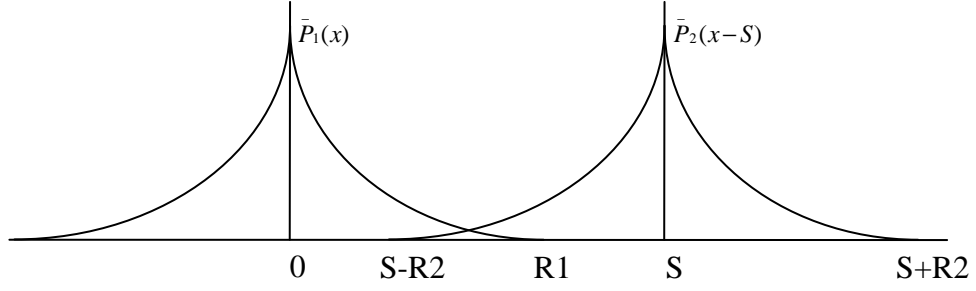


Şekil 1.20. Örnek yan menzil eğrisi



Şekil 1.21. Arama sahası

Arayanlar arasındaki mesafe (S), $2R_m$ 'den küçük olduğunda hedef aynı anda birden fazla arayan tarafından tespit edilebilir. Eşit ortam şartları ve sensörlerin olduğu bir sahada her iki sensöre de eşit mesafede olacak şekilde iki sensör arasında geçiş yapan bir hedefin tespit edilme olasılığı, tüm sensörlerin bu hedefi TO ile aynıdır [22].



Şekil 1.22. Paralel sensörler ile arama

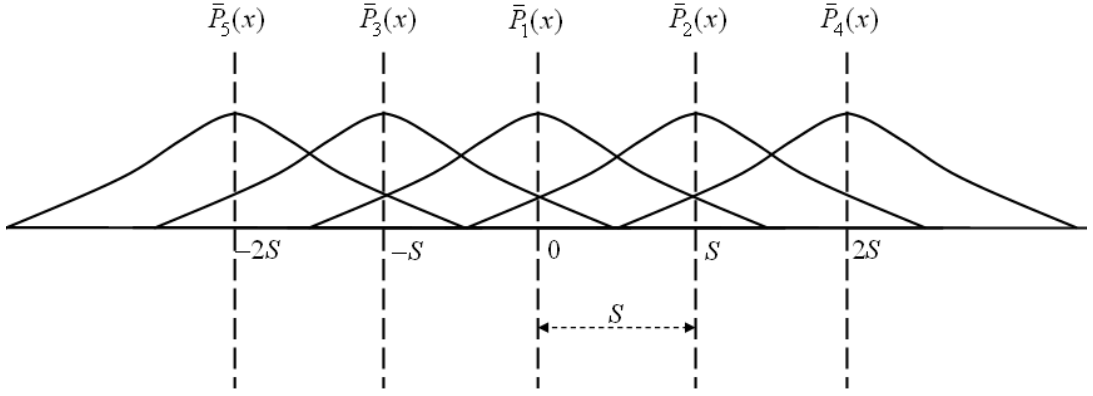
Aralarında S mesafe bulunan, X ekseninde biri sıfıra diğeri S'e yerleştirilen Şekil 1.22'de gösterilen iki sensör arasında herhangi bir noktadan geçiş yapan hedefin TO denklemi Denklem (1.26)'da verilmiştir,

$$E[P(x)] = \int_0^S P(x) \frac{1}{S} dx \quad (1.26)$$

$E[P(x)]$ 'e etki eden yan menzil eğrileri 0-S arasında yer alan P_1 sensörünün sağ tarafında ve P_2 sensörünün sol tarafında kalan eğrilerdir. P_1 için değişkenin gösterimi $P_1(x)$ ve P_2 için değişkenin gösterimi $P_2(x-S)$ 'dir. P_1 ve P_2 'nin maksimum menzilleri R_1 ve R_2 ve $S < R_m$ olması durumunda TO'nun beklenen değeri Denklem (1.27)'de ifade edilmiştir,

$$E[P(x)] = \frac{1}{S} \left(\int_0^{S-R_2} P(x) dx + \int_{R_1}^S P(x-S) dx + \int_{S-R_2}^{R_1} \left[\bar{P}_1(x) \cup \bar{P}_2(x-S) \right] dx \right) \quad (1.27)$$

Arayanlar arası mesafe 60 mil olduğunda sensörlerin yan menzil eğrilerinin bindirmelerinin gösterimi Şekil 1.23'te sunulmuştur.



Şekil 1.23. Paralel arama

Şekil 1.23'teki arayanlar ortadaki referans olacak şekilde numaralandırılmıştır. Her ne kadar arayanlar birbirlerine 60 mil mesafede yerleştirilmiş olsalar da aynı aynı desen her 30 birimde bir kendini tekrarlamaktadır. Bir numaralı arayanın 20 mil sağından geçen bir hedef ile iki numaralı arayanın 20 mil solundan geçen bir hedefin TO aynıdır. Bu durumda bir numaralı sensöre 30 mil yan menzilden geçiş yapan bir hedef bir, iki ve üç numaralı sensörlerden biri, ikisi veya üçü tarafından tespit edilebilecektir.

i 'nci hedefin TO'nun $\bar{P}_i(x)$ göstereceğini belirtmektedir. x birinci sensör için yan menzil değerini gösterdiğinden $P_2(x)$ ve $P_3(x)$ için kullanılacak fonksiyonda x 'e göre uyarılama yapılması gerekmektedir,

$$\bar{P}_1(x) = \bar{P}(x) = \left[\frac{90-x}{100} \right]^2 \quad (1.28)$$

$$\bar{P}_2(x) = \bar{P}(S-x) = \left[\frac{90-(60-x)}{100} \right]^2 \quad (1.29)$$

$$\bar{P}_3(x) = \bar{P}(S+x) = \left[\frac{90-(60+x)}{100} \right]^2 \quad (1.30)$$

$P(x)$ birinci sensörden x mesafeden geçen bir hedefin TO'nun versin. Bu olasılık $0 \leq x \leq 30$ için her üç sensörün başarısızlık olasılığı çarpımının birden çıkarılmasıdır,

$$P(x) = 1 - \left[1 - \bar{P}_1(x) \right] \left[1 - \bar{P}_2(x) \right] \left[1 - \bar{P}_3(x) \right] \quad (1.31)$$

Denklem (1.31)'de belirtilen değerler Denklem (1.28), (1.29) ve (1.30) kullanılarak açıldığında TO Denklem (1.32)'de gösterildiği şekilde hesaplanır,

$$P(x) = 0,843 - [1 - 1,49 \times 10^{-2}] x + [1,24 \times 10^{-4}] x^2 + [3,92 \times 10^{-6}] x^3 - [2,37 \times 10^{-8}] x^4 \\ - [1,8 \times 10^{-10}] x^5 + 10^{-12} x^6 \quad (1.32)$$

Bu arama için ortalama TO, P(x)'in beklenen değerinin Denklem (1.3) kullanılarak hesaplanması ile bulunabilir. x sıfır ile 30 arasında düzgün dağıldığından dolayı f(x) fonksiyonu Denklem (1.33)'teki gibi ifade edilir,

$$f(x) = \frac{1}{30} \quad (1.33)$$

$$E[P(x)] = \int_0^{30} P(x) \frac{1}{30} dx \quad (1.34)$$

Denklem (1.31) kullanılarak P(x) hesaplandığında sonuç 0,6785 olmaktadır. Eğer hedef başka bir sensörün sağından 0-30 mil mesafeden geçseydi en sağda bulunan sensör hariç yine aynı sonuç elde edilecekti. Herhangi bir yan menzil eğrisi için bir hedefin ortalama TO sensörler arası mesafe S'e bağlıdır. Verilen örnekte S=60 mil için P(S)=0,6785 sonucu elde edilmektedir.

Bu sonuç Şekil 1.20'de yan menzil eğrisi verilen sensörün tarama genişliğinin Denklem (1.35)'teki şekilde hesaplanması ile rastgele arama metodundan elde edilecek sonuç karşılaştırılabilir,

$$W = \int_{-90}^{90} \left(\frac{90 - |x|}{100} \right)^2 dx = 2 \int_0^{90} \left(\frac{90 - x}{100} \right)^2 dx = 48,6 \quad (1.35)$$

$$\frac{W}{S} = \frac{48,6}{60} = 0,81 \quad (1.36)$$

Eş değer bir arama gayreti ile yapılan rastgele arama için TO Denklem (1.37)'de verilmiştir,

$$1 - e^{-\frac{W}{S}} = 1 - e^{-0,81} = 0,5551 \quad (1.37)$$

Rastgele arama yöntemi ile elde edilen değer paralel arama yönteminden elde edilen 0,6785'ten daha küçük olduğu görülmektedir.

Paralel arama yöntemi, yeterli sayıda yan yana arama yapan sensörün sahayı bir defada kaplayabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Arama esnasında hedefin mevkisi ve hareketleri hakkında tahminde bulunulamamaktadır. Eğer hedef sabit olsaydı çok sayıda arayanın yaptığı aramayı bir arayan S mesafe aralıklı paralel aramalarla yapabilir. Aynı sonuç S mesafe aralıklarla yerleştirilmiş sensörler bulunan bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespit edilmesi olayında da elde edilebilir.

1.2.5. Küp kök yasası

Aynı alana sahip farklı şekillerdeki yan menzil eğrileri için elde edilecek ortalama olasılık değeri farkı ihmal edilebilir derecede azdır. Bu nedenle formu bilinmeyen yan menzil eğrileri için, tarama genişliği değeri kullanılabilir [14]. Tarama genişliği bilindiğinde paralel arama yöntemi ile elde edilecek TO'nu hesaplamannın bir diğer yöntemi ise Küp Kök Yasasıdır. Bu yöntem, II. Dünya Savaşı esnasında gemilerin su üstünde bıraktıkları beyaz izin tespit edilmesi için kurulan geometrik bir modeldir. Bu modelde aralarında S mesafe bulunan arayanların HTO hesaplamalarında standart normal dağılım tablosu (z tablosu) kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan HTO denklemi Denklem (1.38)'de verilmiştir,

$$P(S) = 2 \int_0^z f(t) dt, \text{ ve } z = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{W}{S} = 1,253 \frac{W}{S} \quad (1.38)$$

Paralel arama yöntemi anlatımında çözülen problem küp kök yasası kullanılarak çözüldüğünde elde edilecek sonuç Denklem (1.40)'da verilmiştir,

$$W=48,6 \text{ mil, } S=60 \text{ mil için } z = 1,253 \frac{W}{S} = 1,015 \text{ ve} \quad (1.39)$$

$$\bar{P}(60) = 2 \int_0^{1,015} f(t) dt = 2 (0,3449) = 0,6898 \quad (1.40)$$

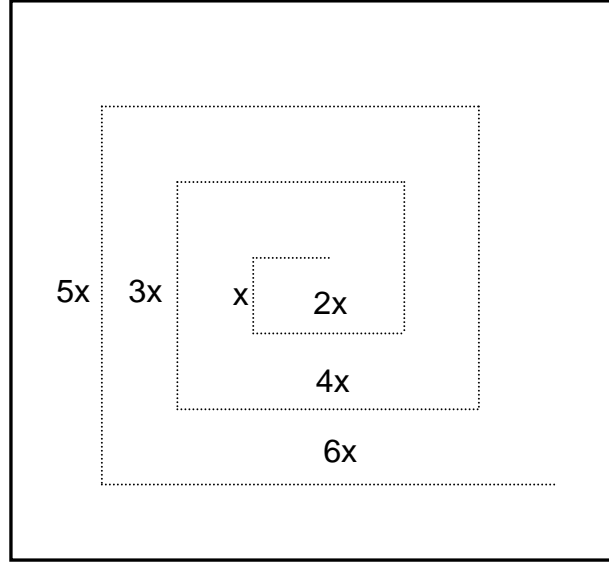
Denklem (1.40) kullanılarak elde edilen değer paralel arama yöntemi kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen 0,6785 değerine çok yakındır.

1.2.6. Bariyer arama

Arama faaliyetlerinde genellikle hedefin özellikleri, tahmini mevkisi ve niyet ettiği hareketler önceden tahmin edilebilmektedir. Hedefin hareketleri önceden tahmin edilemediğinde pek çok alternatifi olan ve maliyet etkin olmayan bir arama faaliyeti planlamak zorunda kalınmaktadır. Bu yöntemde hedefin niyetinin ve kabiliyetinin bilindiği varsayımı altında çözüm üretilmektedir. Hedefin niyetini bilmek onun hangi yolları, geçitleri, sahayı kullanabileceği hakkında tahmin yürütebilmeyi, hedefin özelliklerini bilmek ise onun sürati, dayanıklılığı gibi fiziksel özellikleri hakkında tahmin yürütebilmeyi mümkün kılar.

Bu yöntemde hedefin tespit edilebilirliğinin düz bir ovada, arazide ya da su üstünde bulunan bir cismin göz veya radar ile aranması örneklerinde olduğu gibi arama faaliyetleri esnasında değişmediği ve hedefin gizlenmediği varsayılır.

Bariyer arama yöntemi kullanılarak üç farklı durum için hesaplamalar yapılabilmektedir. Birinci durumda hedefin niyetinin kanal ya da boğaz gibi paralel hatlarla sınırlanmış bir sahadan geçiş yaptığı öngörülmektedir. Bu niyete sahip bir hedefin rota sürat vektörü kanalın her yerinde kanal sınırlarına paraleldir. (Geçiş Vektör Alanı). Bu durumda hat bariyer arama yapılır. İkinci durumda ise hedef bir noktadan uzaklaşacak şekilde hareket etmeyi amaçlamaktadır. Bu duruma hapisneden kaçan bir mahkûm örnek verilebilir. Bir noktadan uzaklaşacak şekilde hareket edildiğinde hedefin hareket vektörü merkezden dışarıya olacak şekildedir ve vektör yönleri daire oluşturacak şekilde 360 dereceye yayılmıştır (Merkezkaç Radyal Vektör Alanı). Hedefin niyeti bir noktadan uzaklaşmak olduğunda kullanılacak arama yöntemi Şekil 1.24'te verilen Genişleyen Kare Arama yöntemidir [28].



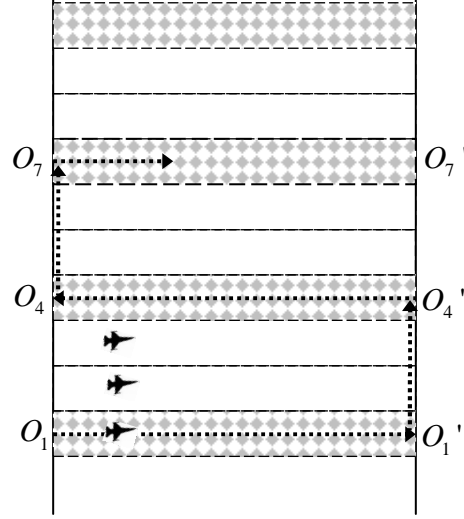
Şekil 1.24. Genişleyen kare arama yöntemi

Üçüncü durumda ise hedef bir adaya çıkarma yapmak isteyen gemiler örneğinde olduğu gibi düzlem üzerinde belirli bir noktaya varmayı niyet etmektedir. Bu durumda hedefin rota/ sürat vektörlerinin büyüklüğü eşittir ve ulaşılmak istenen noktaya doğrudur. (Merkezi Radyal Vektör Alanı). Niyeti bir noktaya ulaşmak olan hedefin tespit etmek için kullanılan yöntem kapalı bariyer arama paternidir.

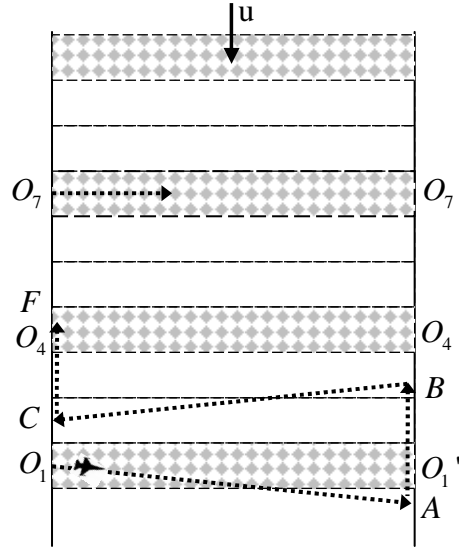
1.2.6.1. Kelebek bariyer arama

Bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespiti probleminde genellikle arayanın sürati v , hedefin sürati u 'dan fazla olmaktadır. Bir uçağın gemiyi, bir geminin can salını araması bu hususa örnek olarak gösterilebilir. Bu bölümde D genişliğinde paralel hatlarla sınırlandırılmış Şekil 1.26'da verilen sahaya benzer bir sahadan sabit u süratiyle geçiş yapan bir hedefi en yüksek olasılıkla tespit edebilmek için arayanın nasıl bir rota izlemesi gerektiği incelenmektedir.

Arayanın faaliyetlerinin planlanabilmesi için arama başlangıç mevkisi O_1 'in referans noktası olarak belirlenmesine ihtiyaç vardır. O_1 noktası coğrafi olarak uygun olan veya kanalın en dar olan noktası seçilebilir. Şekil 1.26'da gösterilen $|\overline{OO_1}|$ hattı referans olarak kullanılacak olan bariyer hattıdır.



Şekil 1.25. Sabit hedefler için bariyer arama yöntemi



Şekil 1.26. Hareketli hedefler için bariyer arama yöntemi

Aralarında S birim mesafe bulunan üç arayan kanaldan geçiş yapmakta olan bir hedefi tespit etmek için paralel arama yöntemini uygulayın. Şekil 1.26'da gösterilen saha S genişliğinde parçalara bölünmüştür. Hedefler sabit olduğunda Şekil 1.25'te verilen sahada arayanlar sahanın bir kenarında diğer kenarına doğru hareket ettiklerinde ilk üç bantı ve aksi istikamete döndüklerinde ise diğer üç bant olan 4., 5. ve 6. bantları taramış olurlar. Şekil 1.25'te birinci arayanın izi gölgelendirilerek belirtilmiştir. Şekil 1.26'da ise hedefler sahanın kuzeyinden güneyine doğru hareket ettiklerinden dolayı arama paterninde değişiklik yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Birinci arayan O_1 , A, B, C, F noktalarını izleyerek Şekil 1.26’da gösterilen şekilde hareket etsin. Arayanın α rotası/açısı, O_1 ’de bulunan bir hedefin arayanlar ile aynı anda A noktasına varmasını sağlayacak olan açıdır. A noktasının mevkisi u, v ve D’ye bağlıdır. Birinci arayan ilk geçişte birinci bantta bulunan hedefleri dönüş yaptığında ise aramaya başladığında dördüncü bantta olan hedefleri arayacaktır. Bunu yapabilmek için birinci arayıcı kuzeye doğru B noktasına kadar ilerleyerek daha önce O_4 noktasında olan hedef ile buluşacaktır. Birinci arayanın kuzeye doğru $M=|AB|$ ilerlemesini tamamladıktan sonra tekrar kanal içersine doğru dönerek α rotası ile daha önce dördüncü bantta yer alan hedeflerin üzerinden geçerek onları tespit etmek için ilerler. Son olarak arayan C noktasından F noktasına kuzeye doğru hareket ederek daha önce O_7 ’de bulunan hedefler için arama paternini tekrar başlatır. O_1 ’den başlayan ve F’de sona eren arama izi Temel Eleman olarak adlandırılmaktadır. Arayan F noktasına geldiğinde ikinci temel elemanı icra etmek üzere arama faaliyetlerine devam eder.

Aynı anda ikinci ve üçüncü arayanlar birinci arayanın rotasına paralel hatlarda ilk geçişte ikinci ve üçüncü bantları ve dönüşte beşinci ve altıncı bantları arayacaklardır. Bariyer arama yönteminde üç farklı alternatif vardır;

- İlerleyen Kelebek Bariyer :Her bir temel elemanın yapılması ile bariyer hedefin geldiği yöne doğru ilerler.
- Gerileyen Kelebek Bariyer: Her bir temel elemanın yapılması ile bariyer hedef ile aynı yöne doğru ilerler.
- Simetrik Kelebek Bariyer: Bariyerin mevkisi ve şekli arama süresince değişmez. Bu üç alternatiften hangisinin kullanılacağı u, v, D, S ve arayan sayısına bağlıdır. Daha önce belirtilen α açısı bariyer aramasında kritik bir rol oynamaktadır ve sadece hedef ve arayanın süratlerine bağlıdır. α açısının hesaplanması Denklem (1.41)’de verilmiştir,

$$\sin \alpha = \frac{|O_1'A|}{|O_1A|} \Rightarrow \alpha = \sin^{-1} \frac{u}{v} \quad (1.41)$$

Arayanın bir temel elemanı tamamlaması için geçen süre (T_o) aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$D = \sqrt{(vt_1)^2 - (ut_1)^2} \quad (1.42)$$

$$= t_1 \sqrt{v^2 - u^2}$$

$$t_1 = \frac{D}{\sqrt{v^2 - u^2}} \quad (1.43)$$

n adet arayan A noktasına ulaştığında, O_1 noktasından n adet bant uzaklıkta (nS) olan hedef ile buluşmak üzere yukarı doğru harekete geçerler. Aynı anda hedef (nS) birim A'nın kuzeyinde bir noktadan güneye doğru u sürat ile ilerler. Arayanın hedef ile buluşmasına kadar geçen zaman t_2 zamanı Denklem (1.44)'te belirtilen şekilde hesaplanır,

$$t_2 = \frac{nS}{u + v} \quad (1.44)$$

İlk arayanın B noktasına ulaşmasına kadar geçecek süre t_1+t_2 'dir. Bu kapsamda t_B Denklem (1.45)'te belirtilen şekilde hesaplanır,

$$t_B = \frac{D}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{nS}{u + v} \quad (1.45)$$

Kuzeye, yukarı doğru ilerleme mesafesi $M=|AB|$ arayanın t_2 zamanı süresince kat ettiği mesafedir. Bu mesafe arayan sürati ile t_2 zamanının çarpımı sonucu elde edilir ve aynı zamanda Denklem (1.46)'da belirtilen şekilde de hesaplanır,

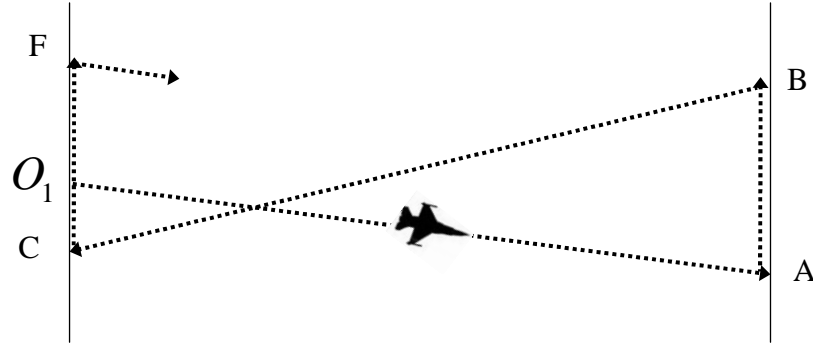
$$M = \frac{vnS}{u + v} \quad (1.46)$$

Bu noktaya kadar hesaplanan sürelerin toplamı bir yarım elemanı oluşturmak için geçen süredir. Bir temel eleman için ihtiyaç duyulan süre T_o 'ın denklemi Denklem (1.47)'de sunulmuştur,

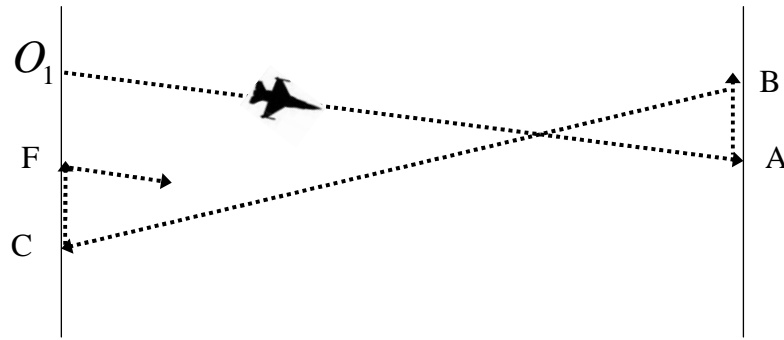
$$T_o = 2t_B \Rightarrow T_o = \frac{2D}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{2nS}{u + v} \quad (1.47)$$

Simetrik kelebek bariyer aramasının temel özelliği, ilk ve ikinci temel elemanların başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olmasıdır. Simetrik kelebek bariyer aramada Şekil 1.26'da başlangıçta O_7 'de yer alan hedef ile başlangıçta O_1 noktasında bulunan arayanın F noktasına varmasına kadar geçen süre (T_o) aynıdır. Eğer F noktası O_1 noktası ile aynı olsaydı O_7 'de bulunan hedef F noktasına gelene kadar 6 bant geçmek zorunda kalacaktı. Bir aramada n adet arayan kullanıldığında bir temel elemanın tamamlanması için 2n adet bant taranması gerekecek ve birinci temel eleman ile taranamayacak ilk bant başlangıç bariyer hattına 2nS mesafede olacaktır. Taranmamış olan bu kanal içerisindeki bir hedefin bariyer hattına ulaşmasına kadar geçecek süre Denklem (1.48)'de verilen T_t olsun,

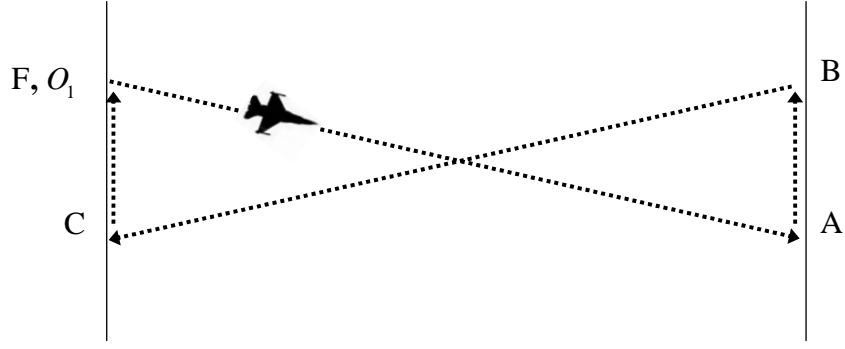
$$T_t = \frac{2nS}{u} \quad (1.48)$$



Şekil 1.27. İlerleyen kelebek bariyer arama



Şekil 1.28. Gerileyen kelebek bariyer arama



Şekil 1.29. Simetrik kelebek bariyer arama

- İlerleyen kelebek bariyer aramasında Şekil 1.27’de gösterildiği gibi F noktası O_1 noktasının kuzeyinde, yukarısındadır ($T_t > T_o$)
- Gerileyen kelebek bariyer aramasında Şekil 1.28’de gösterildiği gibi F noktası O_1 noktasının güneyinde, aşağısındadır ($T_t < T_o$)
- Simetrik kelebek bariyer aramasında Şekil 1.29’da gösterildiği gibi F noktası ile O_1 noktası çakışır ($T_t = T_o$)

Yukarıda verilen ifadeler kullanılarak simetrik kelebek bariyer arama yönteminde ihtiyaç duyulan arayan sayısı (n) Denklem (1.50) ile ve arayanlar arası mesafe (S) Denklem (1.51) ile hesaplanabilir,

$$T_o = T_t \Rightarrow \frac{2nS}{u} = \frac{2D}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{nS}{u+v} \quad (1.49)$$

$$n = K \frac{D u}{S v}, \quad K = \sqrt{(v+u)(v-u)} \quad (1.50)$$

$$S = \frac{K D u}{n v} \quad (1.51)$$

İlerleyen kelebek bariyer araması, bariyer hattını kaplamak için yeterli sayıdan daha fazla miktarda arayan bulunduğu tercih edilir. Yeterli miktarda arayan bulunduğu, arama faaliyeti genellikle daha çok tercih edilen gündüz saatleri, yağışsız, rüzgârsız hava koşulları gibi zaman dilimlerinde yapılır. Bunun için arayanlar kanal içindeki alanı kanal boyunca arayarak ilerlerler, neticede hedefin

aramanın sonlandırıldığı noktadan ilk arama hattına gelmesine kadar geçecek sürede arama faaliyetlerine ara verilebilir.

Paralel bir rotada n adet arayanın ilerleyerek N adet kelebek bariyer arama temel elemanı paternini icra ettiğini varsayalım. Bu durumda potansiyel hedeflerin bulunduğu ilk bant $|O_1O_1'|$ hattından $2nN$ mesafede olacaktır. Hedefin kat etmesi gereken mesafe $2nNS$ ve bariyer hattına varma zamanı $\frac{2nNS}{u}$ 'dir. Arayanın N temel elemanı icra etmesi için geçecek süre ise NT_o olacaktır. Burada en son temel elemanın yukarı hareketi kaplama faktörüne fayda sağlamadığı için göz ardı edilir,

$$\text{Arama periyodu} = NT_o - \frac{nS}{u+v}, \quad (1.52)$$

Arama yapılmasına ihtiyaç duyulmayan zaman periyodu T_s (NT_t - Arama periyodu) Denklem (1.53)'te belirtilen şekilde hesaplanabilir,

$$T_s = N(T_t - T_o) + \frac{nS}{u+v}, \quad (1.53)$$

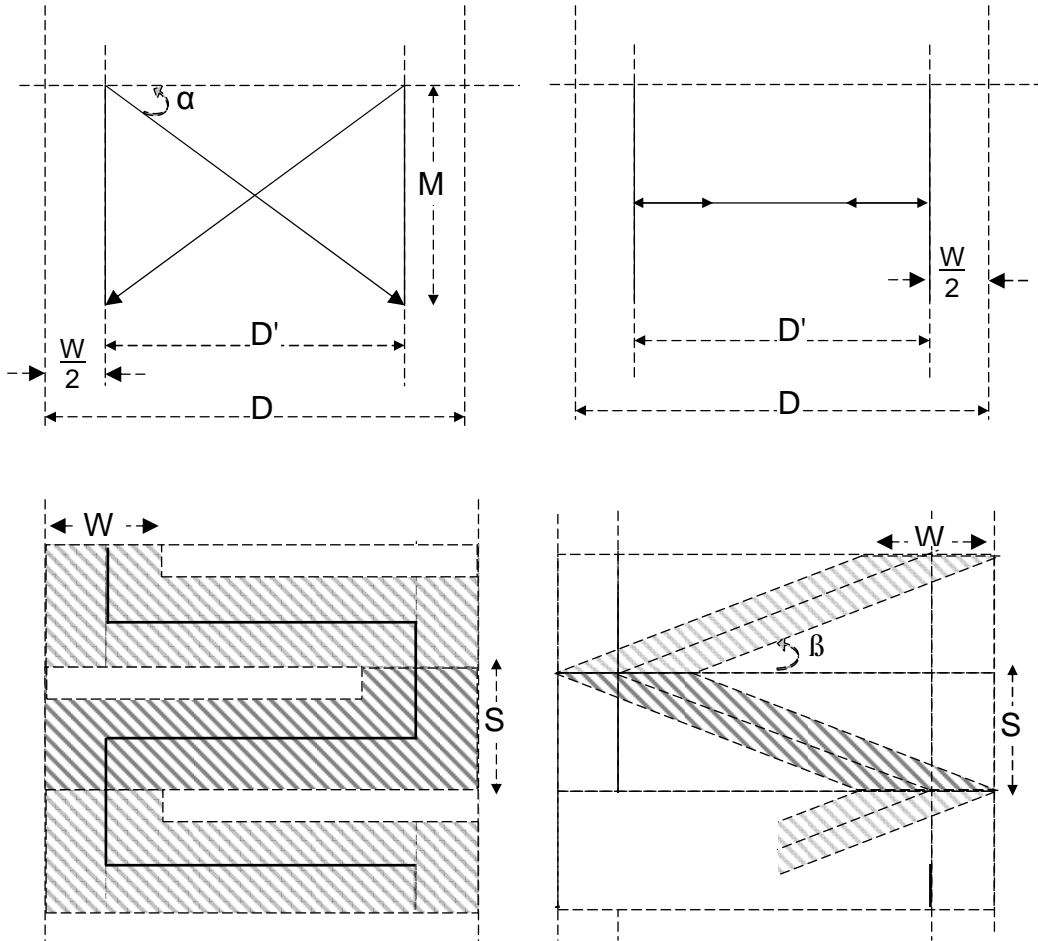
Bariyer aramasında iki probleme çözüm bulunmaya çalışılır;

- Arzu edilen TO , $\overline{P(S)}$ 'yi elde edebilmek için ihtiyaç duyulan n, N, S ve arama periyodunun belirlenmesi
- İhtiyaç duyulan arayan miktarının N, S, $\overline{P(S)}$ 'ye göre belirlenmesi.

1.2.6.2. Hat bariyer arama yöntemi

Bu noktaya kadar hedef süratinin arayan süratinden küçük olduğu varsayılmıştır. Arayan sürati hedef süratine yakın olduğunda bariyer araması icra etmek etkin olmamaktadır. Hedef sürati arayan süratine yakın olduğunda α açısı büyük olmakta ve kelebek araması yapılacak sahanın boyutu büyümektedir. Bu durumda kullanılacak en iyi arama yöntemi sahanın paralel olan sınırlarına dik bir hat üzerinde Hat Bariyer Araması yapmaktır.

Hat bariyer araması ile kelebek bariyer araması, hedef süratının arayan süratinden küçük ancak ona yakın olduğu süratler için karşılaştırılacaktır. Her iki tip arama paterni için göreceli arama izleri Şekil 1.30'da sunulmuştur. Her iki arama tipinde arayan saha sınırına en fazla $W/2$ mesafeye kadar yaklaşmaktadır. Bu sayede arama sahası dışında arama gayreti kullanılmasına engel olunur. Takip eden maddelerde incelenecek çözümlerde iki arama tipinde de sadece bir arayan kullanılacak ve kelebek bariyer araması simetrik olacak şekilde dizayn edilecektir. Şekil 1.30'da her iki arama izinde, bir temel elemanın yarısında taranan alan gölgeli olarak gösterilmiştir. TO her bir temel elemanın yarısı içinde kalan gölgeli alanın temel elemanı icra etmek için kullanılan toplam alana oranıdır.

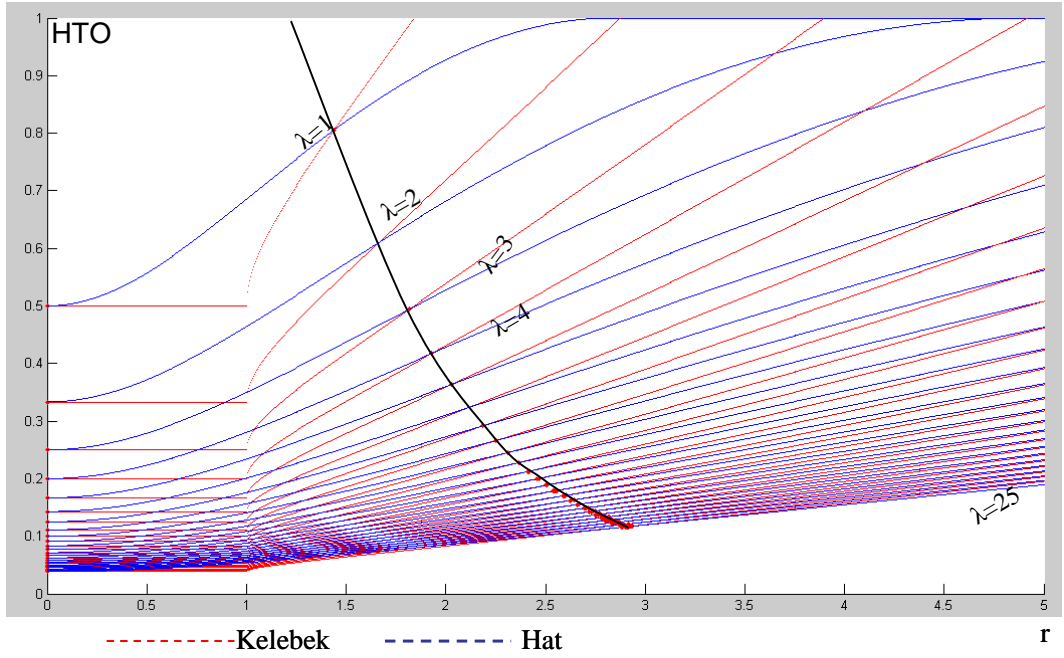


Şekil 1.30. Hat ve kelebek bariyer arama yöntemleri karşılaştırması

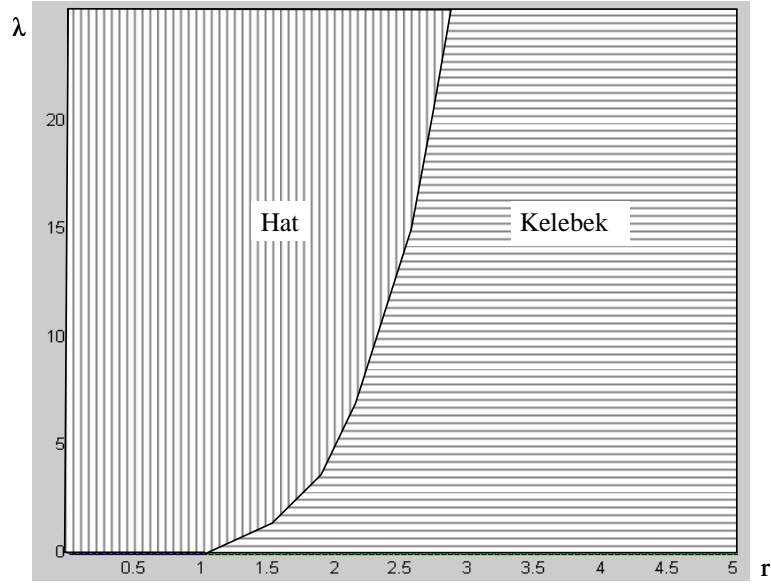
Kelebek ve hat bariyer araması için TO, $r = \frac{v}{u}$, $\lambda = \frac{D'}{w}$, $D' = D - 2R$ ile ifade edildiğinde kelebek bariyer araması için HTO Denklem (1.54)'te, hat bariyer araması için HTO, Denklem (1.55)'te belirtilmiştir,

$$\text{HTO}_{\text{kelebek}} = \min \left(1, \left(\left(1 + \frac{r\sqrt{r^2-1}}{r+1} \right) \frac{1}{\lambda+1} \right) \right) \quad (1.54)$$

$$\text{HTO}_{\text{hat}} = \begin{cases} 1 - \left[\frac{\left(\lambda - \frac{\sqrt{r^2+1}-1}{2} \right)^2}{\lambda(\lambda+1)} \right] & r \leq 2\sqrt{\lambda(\lambda+1)} \\ 1 & r > 2\sqrt{\lambda(\lambda+1)} \end{cases} \quad (1.55)$$



Şekil 1.31. Hat ve kelebek bariyerlerinin etkinliğinin karşılaştırılması



Şekil 1.32. Hat ve kelebek bariyerlerinin etkinlik bölgeleri

Şekil 1.31’de r sabit tutularak farklı λ değerlerine göre oluşturulan P olasılık grafiği verilmiştir. Kelebek ile hat bariyer araması aynı λ değerine sahip eğriler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan eğrilerin kesişim noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulan siyah eğri, hat ve kelebek bariyer arama yöntemlerinin tercih edilme alanlarını birbirinden ayırmaktadır. λ ve r parametrelerine göre hangi bariyer arama yönteminin tercih edileceği hakkında hazırlanan grafik Şekil 1.32’de verilmiştir. Bu eğri λ ve r eğrileri arasındaki ilişkiyi Şekil 1.31 referans alarak göstermektedir.

Örnek olarak; Tarama genişliği $W=2$ mil olan, 12 mil/saat sürat ile arama yapan bir arayanın, 6 mil/saat sürat ile hareket eden ve bariyer hattını geçmeyi amaçlayan bir hedefi genişliği $D=8$ mil olan bir kanalda hangi yöntemi kullanarak araması daha etkin olur problemine cevap aranır;

$$D=8-2=6 \text{ mil}, \lambda=6/2=3, \quad r=12/6=2,$$

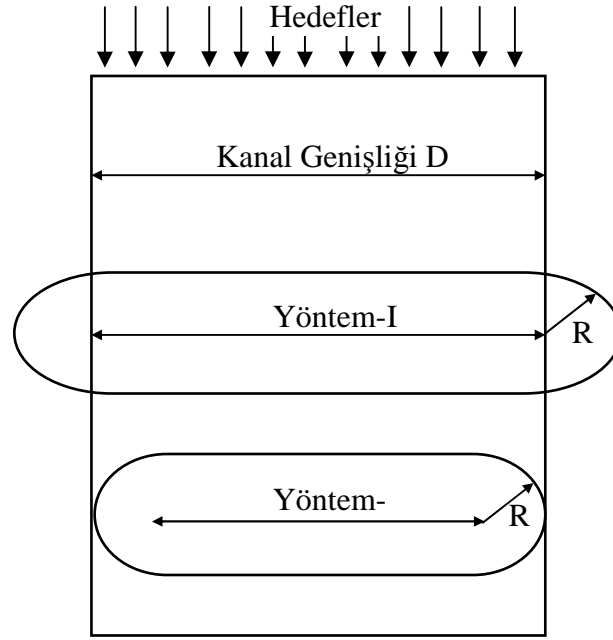
Yukarıda verilen değerler kullanılarak Şekil 1.32 incelendiğinde λ ve r değerlerinin kesişiminin, grafiğin kelebek bariyer araması tarafında kaldığı görülür. Sonuç olarak yukarıda verilen değerlere istinaden arayanın kelebek bariyer araması yöntemi tercih etmesi daha etkin olacaktır.

1.2.7. Hat bariyer arama ve kinematik geliştirilmesi

Bu bölümde Şekil 1.33'te gösterilen yöntem-I ve yöntem-II'nin karşılaştırılması yapılacaktır.

Yöntem-I: Arayan saha sınırına geldiğinde aksi yöne döner,

Yöntem-II: Arayan saha sınırına R mesafe kala aksi yöne döner.



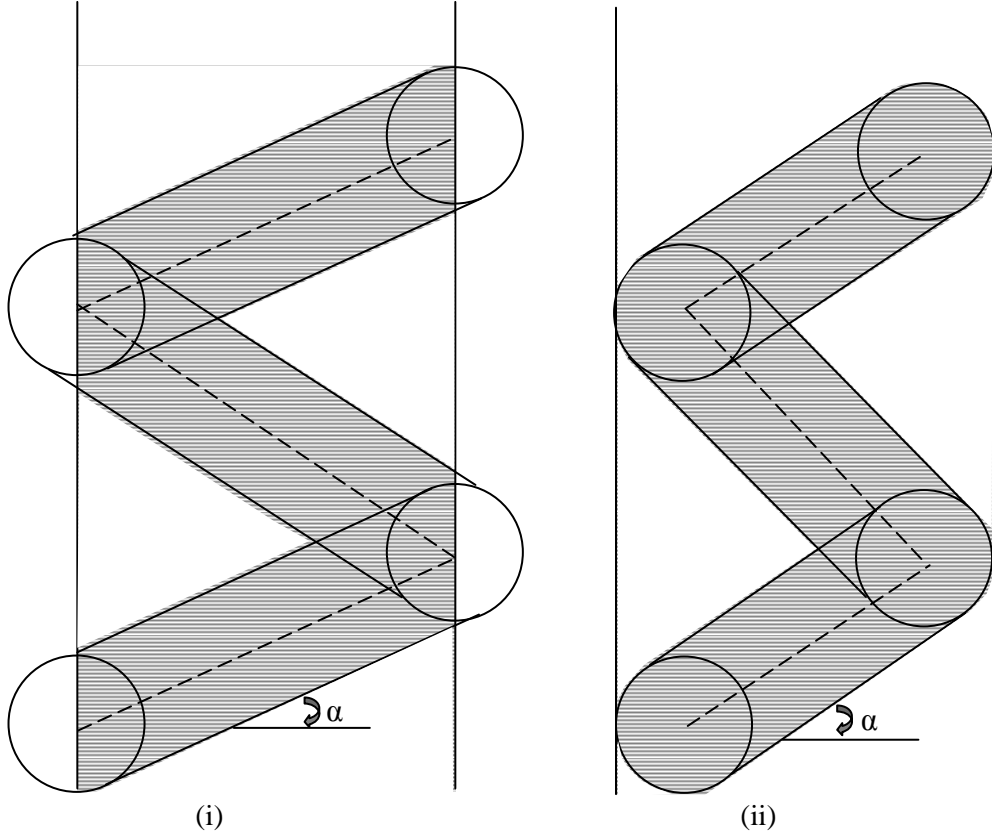
Şekil 1.33. Hat bariyeri yöntem-I ve yöntem-II

Hat bariyer aramasında kullanılan birinci ve ikinci yöntemlerin kullanımından elde edilen olasılık değerlerinin hesaplanmasında geometri kuralları kullanılacaktır.

1.2.7.1. Arayanın saha sınırında dönüşü (Yöntem-I)

Bu yöntemde arayan, sahaya düzgün dağılımla dağılmış ve bariyer hattında geçiş yapması beklenen hedefi tespit etmek için saha sınırına dik bir hat üzerinde ilerler. Bu yöntemde arayan saha sınırına geldiğinde aksi rotaya döner. Arayanın tespit menzili R içine giren hedefleri tespit ettiği dışındakileri ise tespit edemediği varsayılır.

Hesaplamanın kolaylaştırılması için hedef mevkiisi sabit tutularak ve arayanın göreceli hareketi üzerinden hesaplamalar yapılır. Arayanın bahse konu göreceli hareketi Şekil 1.34'te olduğu gibidir.

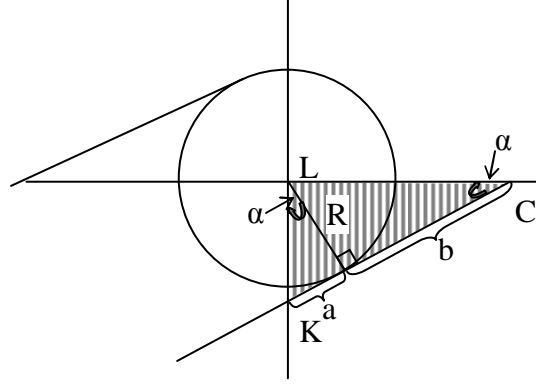


Şekil 1.34. Hat bariyeri (i) yöntem-I ile taranan alan (ii) yöntem-II ile aranan alan

Şekil 1.34'te yer alan α açısı arayan ve hedefin süratlerinin oranıdır ve Denklem (1.56)'da belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{u}{v} \quad (1.56)$$

Hedef sürati u ve arayan sürati v birbirlerine yakın değerlerdir ve D genişliğindeki saha içerisinde taranmış alanın toplam alana oranı HTO'nı vermektedir. α açısı hedefle arayan arasındaki göreceli hareket sonucu oluşmaktadır. Şekil 1.34'te yer alan yöntem-I ve yöntem-II incelendiğinde aynı hareketin kendini sürekli tekrarlaması sebebiyle bir arama adımı için yapılan hesaplamaların tüm aramalar sonucu elde edilecek olasılık değerinin hesaplanması için yeterli olduğu görülmektedir. TO arayanın bir adımda taradığı alanın, arayanın bir adımda kullandığı toplam alana oranıdır.



Şekil 1.37. Saha dışında kalan alan (Yöntem-I)

$$\sin(\alpha) = \frac{R}{|LC|} \quad (1.57)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{R}{|LC|} \Rightarrow \sin(\alpha) = \frac{R}{\frac{TKU}{2}} = \frac{2R}{TKU} \quad (1.58)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{u^2}}} \quad (1.59)$$

$$TKU = \frac{2R}{\sin \alpha} = 2R \sqrt{1 + \frac{v^2}{u^2}} \quad (1.60)$$

Denklem (1.61)'de verilen ABCE Paralelkenarın yüksekliği kanal genişliği ile α açısının bir fonksiyonudur (Bkz. Şekil 1.36),

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{D} \quad \text{ve} \quad \tan(\alpha) = \frac{u}{v} \Rightarrow h = D \frac{u}{v}, \quad (1.61)$$

$$A(ABCE) = 2RD \frac{u}{v} \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} \quad (1.62)$$

Şekil 1.37'de gösterilen taralı alan paralelkenarın toplam alanından çıkarılacak alanın yarısını göstermektedir. Şekil 1.37'de gösterilen daire merkezinden üçgen hipotenüsüne bir dik çizilmesi hesaplamayı kolaylaştırır. KLC üçgenin yüksekliği hipotenüsüne çizilen doğrudur ve uzunluğu daire yarıçapı R'dir. Üçgenin taban

kenarı uzunluğu a ile b 'nin toplamıdır. Taralı üçgen içindeki küçük üçgenler için

$$\tan(\alpha) = \frac{a}{R} \text{ ve } \tan(\alpha) = \frac{R}{b} \text{ olduğundan,}$$

$$\text{TKU} = R \tan(\alpha) + \frac{R}{\tan(\alpha)} \quad (1.63)$$

KLC üçgeninin alanı Denklem (1.64)'te belirtilen şekilde hesaplanır,

$$\frac{R^2}{2} \left(R \tan(\alpha) + \frac{R}{\tan(\alpha)} \right), \quad \tan(\alpha) = \frac{u}{v} \Rightarrow \quad A(\text{KLC}) = \frac{R^2(u^2 + v^2)}{2uv} \quad (1.64)$$

Şekil 1.35'te yukarıda alanı hesaplanan üçgenden iki tane olduğu görülmektedir. Bu kapsamda paralelkenarın toplam alanından çıkarılacak alan Denklem (1.65)'te verilmiştir,

$$\frac{R^2(u^2 + v^2)}{uv} \quad (1.65)$$

Arayan tarafından ilk adımda kullanılan YMLT dikdörtgeninin alanı, taranan alanın ilk hattan uzaklaştığı dikey mesafe ile kanal genişliği (D)'nin çarpımıdır ve Denklem (1.66)'da belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$A(\text{YMLT}) = D \cdot D \cdot \frac{u}{v} = D^2 \frac{u}{v} \quad (1.66)$$

Sonuç olarak tek arayan ve yöntem-I için elde edilen toplam TO, H.T.O₁₋₁ fonksiyonu Denklem (1.67)'de sunulmuştur,

$$\text{HTO}_{1-1} = 2 \frac{R}{D} \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} - \frac{R^2}{D^2} \left[1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2 \right] \quad (1.67)$$

1.2.7.2. Arayanın saha sınırına R mesafe kala dönüşü (Yöntem-II)

Birinci yöntemde kullanılan varsayımlar bu yöntemde de geçerlidir. Ancak bu yöntemde arayan saha sınırına tespit menzili kadar mesafe kaldığında aksi rotaya döner. Şekil 1.36'da D genişliğindeki bant içerisinde taranmış alanın toplam bant

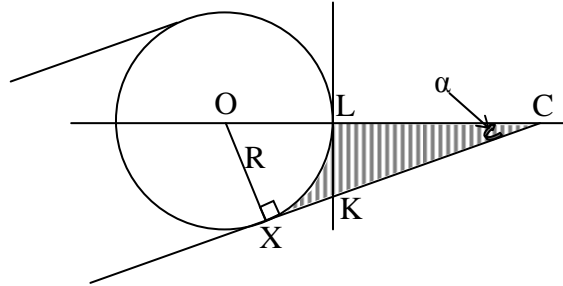
alanına oranı TO 'nu vermektedir. Yöntem-I ve II'nin karşılaştırılmasında u ve v süratleri değişmediğinden α açısı da değişmemektedir. Yöntem-II'de de yöntem-I'de olduğu gibi bir adımda taranan alanın Şekil 1.36'da gösterilen arayan tarafından kullanılan bant alanına oranı hesaplanmaktadır. Bu kapsamda paralelkenar alanından, daire alanı dışında kalan alan çıkarılacaktır.

ABCE paralelkenarın alanı, taban kenarının yükseklik ile çarpımıdır. Yöntem-I'de taban kenar uzunluğu Denklem (1.60) ile hesaplanmıştı. Yöntem-II'de paralelkenarın alanı Denklem (1.69), paralelkenarın yüksekliği $|ML|$ ve Denklem (1.68) kullanılarak hesaplanır,

$$h=|ML| = (D - 2R) \frac{u}{v} \quad (1.68)$$

$$A(ABCE) = 2R(D - 2R) \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} \left(\frac{u}{v}\right) \quad (1.69)$$

Paralelkenarın toplam alanından çıkarılması gereken alanlardan bir tanesi Şekil 1.38'de gösterilmiştir.



Şekil 1.38. Saha dışında kalan alan (Yöntem-II)

$$A(COX) = \frac{R}{2} \frac{R}{\tan(\alpha)} = \frac{R^2}{2} \frac{u}{v} \quad (1.70)$$

$$A(LOX) = \pi R^2 \left(\frac{90 - \alpha}{360} \right) \quad (1.71)$$

Şekil 1.36'daki taralı alanın boyutunun hesaplanması Denklem (1.72) ile hesaplanan paralelkenarın alanından iki üçgenin alanının çıkarılması ve iki daire dilimi alanının eklenmesi sonucu bulunur.

$$A(ABCE) = 2R(D - 2R) \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} \left(\frac{u}{v}\right) - R^2 \frac{u}{v} + 2\pi R^2 \left(\frac{90 - \alpha}{360}\right) \quad (1.72)$$

Arayanın bir adımda kullandığı YMLT dikdörtgeninin alanı kanal genişliği D ile yükseklik |ML|'nin çarpımıdır. YMLT dikdörtgeninin alan hesaplaması Denklem (1.73)'te verilmiştir,

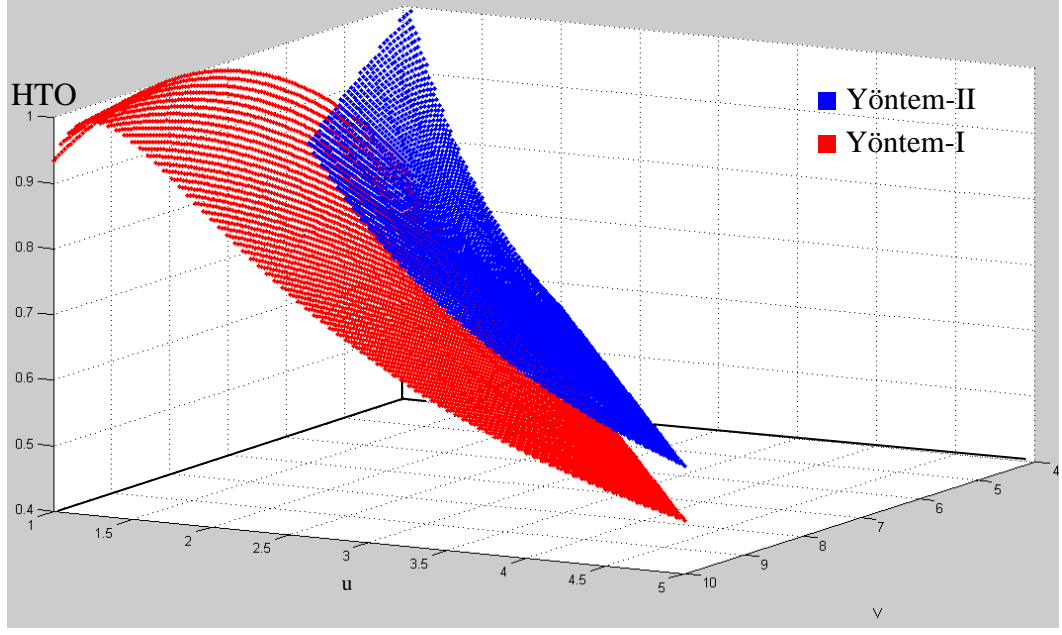
$$A(YMLT) = D(D - 2R) \frac{u}{v} \quad (1.73)$$

Sonuç olarak bir arayan ve yöntem-II için elde edilen toplam TO, H.T.O₁₋₂ fonksiyonu Denklem (1.74)'te verilmiştir,

$$\begin{aligned} \text{HTO}_{1-2} &= \frac{2R(D - 2R) \left(\frac{v}{u}\right) \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} - 2R^2 \left[\frac{1}{2} \frac{v}{u} \pi \left(\frac{90 - \alpha}{360}\right)\right]}{D(D - 2R) \frac{u}{v}} \\ &= \frac{2R}{D} \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} - \frac{R^2}{D(D - 2R)} \left(\frac{u}{v}\right)^2 + \frac{R\theta}{D(D - 2R)} \left(\frac{v}{u}\right) \end{aligned} \quad (1.74)$$

θ , α 'nın radyan cinsinden değeridir. Yöntem-II için geliştirilen Denklem (1.74)

$\frac{1}{4} < \frac{u}{v} < 4$ ve $\frac{D}{R} > 2$ değerleri için tutarlı sonuçlar vermektedir.



Şekil 1.39. Yöntem-I ve yöntem-II'nin karşılaştırılması

Denklem (1.67) ve (1.74) kullanılarak farklı arayan ve hedef süratleri için hazırlanan olasılık grafiği Şekil 1.39'da sunulmuştur. Grafikte kırmızı ile plotlanan noktalar yöntem-I ve mavi ile plotlanan noktalar yöntem-II kullanılması sonucu elde edilen olasılık değerlerini temsil etmektedirler. Şekil 1.39'da görüldüğü üzere tüm arayan ve hedef süratlerinde yöntem-II kullanılarak elde edilen olasılık değerleri yöntem-I kullanılarak elde edilen olasılık değerlerinden daha yüksektir. Bunun temel sebebinin yöntem-II kullanıldığında arama yapılan kanalın bir kenarından diğer kenarına ulaşana kadar geçen sürenin veya bir temel elemanı icra etmek için geçecek sürenin yöntem-II'ye göre daha kısa olmasıdır. Yöntem-II'nin yöntem-I'e göre diğer bir üstünlüğü ise yöntem-I'de bir temel eleman yapıldığında arama yapılan sahanın dışında hedefin bulunma olasılığının sıfır olduğu bölgede yapılan ve arama faaliyetine katkısı olmayan gayret israfının bulunmaması, dolayısı ile daha etkin olmasıdır.

2. OPTİMİZASYON İÇİN ÖNERİLEN MODEL

Ülke sınırlarından, kanal ve limanlarından silah, insan, uyuşturucu madde kaçırın kaçakçıların aranması, bir kaza yerinde kazazedelerin aranması, hapisneden kaçan bir mahkumun aranması, nehirde kaybolan bir nesnenin aranması veya kayıp bir çocuğun aranması gibi pek çok arama faaliyetleri genellikle birden fazla arayanın koordineli kullanımını gerektirmektedir.

İnsan hayatı ve toplumun güvenliği söz konusu olduğunda arama faaliyetinin amacının hedefin en kısa zaman içinde bulunması olduğu ve arama faaliyetlerinin tehlike içermesi ve maliyetlerinin yüksek olması dikkate alındığında birden fazla arayan bulunduğu planlayıcılar tarafından çok iyi planlama yapılması ve koordinasyon kurulmasının gerekli olduğu aşikârdır. İyi bir planlama yapılabilmesi için hedef özelliklerinin çok iyi bilinmesinin ve hedefe uygun arama sensörlerinin/ araçlarının kullanılmasının yanı sıra arayan, hedef ve coğrafyaya göre hangi arama yönteminin daha etkin olduğunun bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada paralel hatlar ile sınırlı kanaldan geçiş yapan hedefin tespiti probleminin optimizasyonu konusunda ikinci bölümde arama teorisinde kullanılan terimler ve yöntemler tanıtıldı ve kanaldan geçiş yapan bir hedefin tespitinde kelebek ve hat bariyer araması yöntemlerinin kullanıldığına değinildi.

Yapılan literatür araştırmasında kelebek bariyer araması için tek arayan ve birden fazla arayan için TO denklemlerinin mevcut olduğu [4, 14, 16-18] ancak hat bariyer araması için sadece tek arayan için TO denkleminin mevcut olduğu, birden fazla arayan bulunduğu ise HTO hesaplamalarında tek arayan için kullanılan denklemin tüm arayanların toplam tarama genişliğine sahip bir arayan varmış gibi kabul edilerek hesaplamalar yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada hat bariyer aramasında birden fazla arayan bulunduğu koordineli arama için sıklıkla kullanılan yan yana hat bariyer araması (yöntem-I) [26] ve saha ayırımı ile hat bariyer araması (yöntem-II) yöntemleri için;

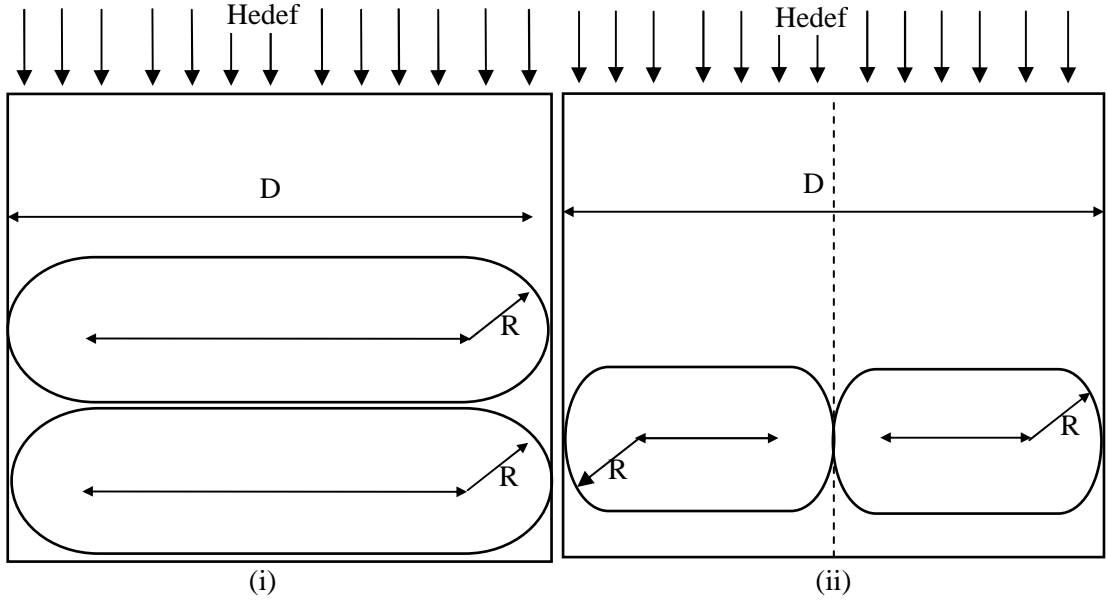
- HTO denklemleri tanımlanmış,
- Hedef ve arayanların özelliklerine göre hangi yöntemin daha etkin olduğu belirlenmiş,
- Yöntem-I ve yöntem-II için elde edilen HTO değerleri ile tek arayan için kullanılan denklemin tüm arayanların toplam tarama genişliğine sahip bir arayan varmış gibi kabul edilmesi sonucu elde edilen HTO değerleri karşılaştırılmış,
- Her bir koordineli arama yöntemi için MATLAB programı kullanılarak hazırlanan Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen sonuçlar analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2.1. Koordineli Hat Bariyer Arama Yöntemleri

Birden fazla arayan bulunduğu arayanların nasıl kullanılacağı HTO'nı doğrudan etkilemektedir. Arayan sayısının artması, sistematik bir arama için arayanlar arasında koordinasyon kurulmasını zorunlu hale getirmektedir.

Arama faaliyetlerinde maliyetlerin yüksek olması ve aranan cismin önemi sebebiyle hangi koordineli arama yönteminin daha etkin olduğunun bilinmesi planlayıcılar açısından çok önemlidir.

Arayan sayısı iki ve üç olduğunda çok farklı şekillerde yapılabilen koordineli hat bariyer araması yöntemlerinden en sık kullanılan ve Şekil 2.1'de sunulan yan yana arama (Yöntem-I) ve aynı saha içinde tahsis edilmiş farklı alanlarda arama (Yöntem-II) yöntemleri incelenmektedir.



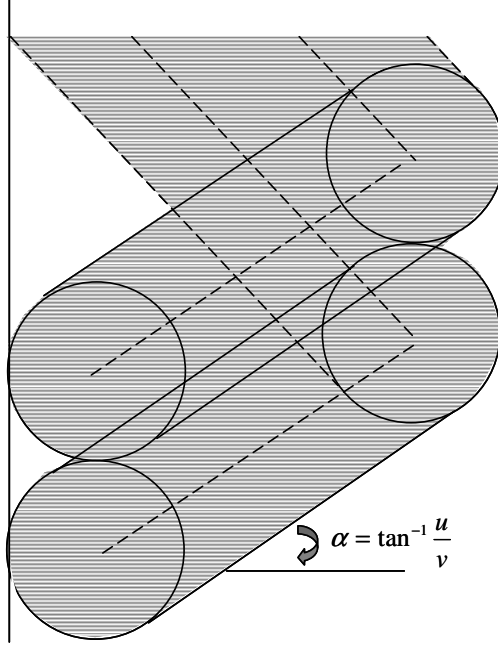
Şekil 2.1. Koordineli bariyer arama (i) yöntem-I (ii) yöntem-II

2.2. İki Arayan ile Koordineli Hat Bariyer Arama

2.2.1. Yan yana hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-I)

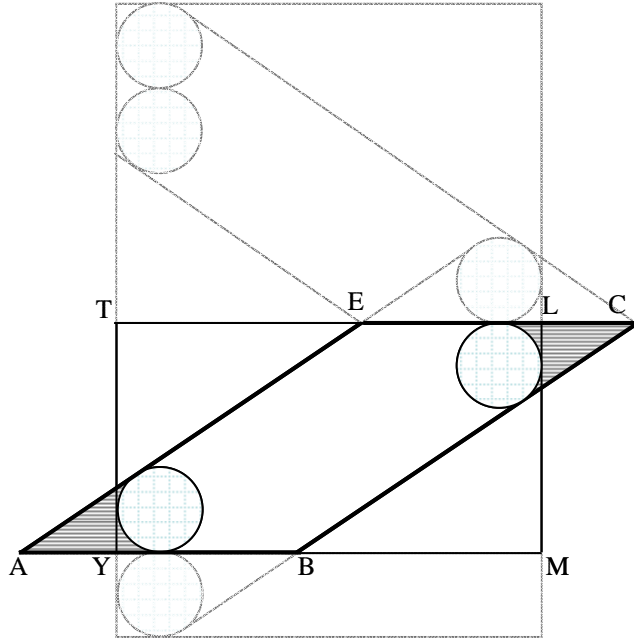
Bu arama yönteminde arayanlar kanal içinde hedef hattına dik bir açıyla aralarında $2R$ mesafe olacak şekilde aynı rota ve sürat ile ilerleyerek arama ve dönüşleri aynı anda yaparlar. Arayanlar arasında koordinasyon ve haberleşme daha kolay olduğu için bu arama yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Saha sınırına gelindiğinde dönme yönteminden daha etkin olduğundan saha sınırına R mesafe kaldığında aksi yöne dönme yöntemi kullanılır.

Bu yöntemde arayanlar sahaya düzgün dağılımla dağılmış ve bariyer hattında geçiş yapması beklenen hedefi tespit etmek için saha sınırına dik bir hat üzerinde hareket ederler. Arayanların tespit menzili R içine giren hedefleri tespit ettikleri dışındakileri ise tespit edemedikleri varsayılır. Hesaplamanın kolaylaştırılması için hedef sabit tutularak arayanların göreceli hareketi üzerinden hesaplamalar yapılır. Arayanların bu göreceli hareketi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

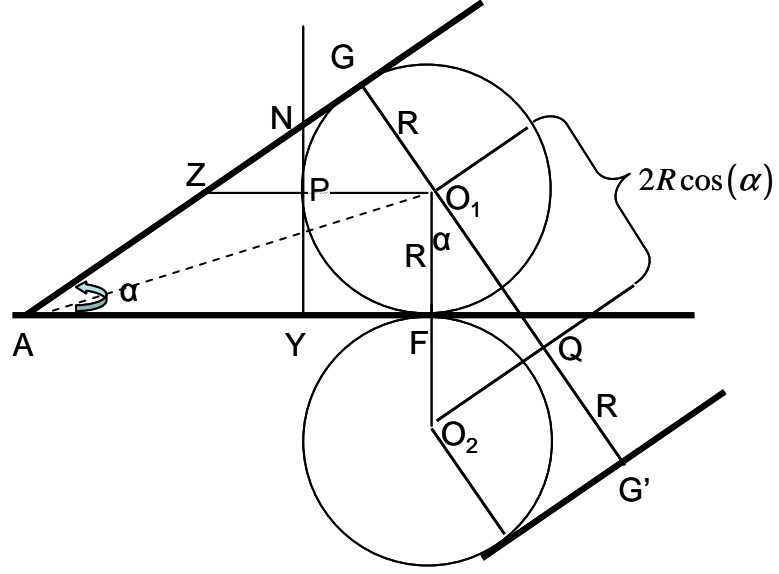


Şekil 2.2. İki arayanın yöntem-I ile koordineli hat bariyeri

Şekil 2.2’de saha içinde taranan alanın toplam alana oranı HTO’nu vermektedir. α açısı hedefle arayan arasındaki göreceli hareket sonucu oluşur. Şekil 2.3’te görüldüğü üzere bir adımda taranan alan arama süresince kendini tekrarlamaktadır. Bu sebepten bir arama adımı için yapılan hesaplama tüm hareketler sonucu elde edilecek olasılık değerinin hesaplanması için yeterli olur.



Şekil 2.3. Yöntem-I koordineli arama ile aranan alan



Şekil 2.5. |GG'| uzunluğunun hesaplaması

ABCE paralelkenarının |AB| alt kenar uzunluğu |JB| 'nin $\sin(\alpha)$ 'ya bölünmesi sonucu elde edilir,

$$|AB| = \frac{2R(1 + \cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} \quad (2.2)$$

ABCE paralelkenarının yüksekliği |ML|, YMLT dikdörtgenin yüksekliği ile aynıdır ve |MK| ile |KL| uzunluklarının toplamına eşittir.

|MK| uzunluğu; Kanal genişliği D'den |YB| uzunluğunun çıkarılması ile elde edilen |BM| uzunluğunun $\tan(\alpha)$ ile çarpımı sonucu elde edilir. Bu durumda |YB| uzunluğunun hesaplanabilmesi için |AF| uzunluğunun bilinmesine ihtiyaç duyulur.

|AF| uzunluğu; $|O_1G|$ ve $|O_1F|$ uzunluklarının birbirine eşit olması ve O_1 merkezli ve R yarıçaplı daireye teğet olmasından dolayı |AG| uzunluğuna eşittir. Bu durumda $|AO_1|$ doğrusu α açısını iki eşit parçaya böler,

$$|AF| = \frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (2.3)$$

$$|KM| = \tan(\alpha) \left[D - \frac{2R(1 + \cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - R \right] \quad (2.4)$$

|ML| uzunluğunun hesaplanabilmesi için ihtiyaç duyulan |KL|, |AF| uzunluğundan R uzunluğunda olan |YF|'nin çıkarılması sonucu elde edilen |AY|'nin $\tan(\alpha)$ ile çarpımı sonucu elde edilir. |KL|'nin hesaplanması Denklem (2.5)'te belirtildiği şekilde yapılır,

$$|KL| = R \tan(\alpha) \left(\frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Bu noktaya kadar hesaplanan taban kenar uzunluğu ve yükseklik değerleri kullanılarak ABCE paralelkenarının alanı Denklem (2.6)'da belirtilen şekilde hesaplanır,

$$\text{Alan (ABCE)} = 4R^2 \frac{(1 + \cos(\alpha))}{\cos(\alpha)} \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1 + \cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

- YMLT dikdörtgeninin alan hesabı Denklem (2.7)'de belirtildiği şekilde yapılır,

$$\text{Alan (YMLT)} = 2DR \tan(\alpha) \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1 + \cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

- ABCE paralelkenar alanından çıkarılacak alanların hesaplanması aşağıda belirtilen şekilde yapılır.

Paralelkenar içinde ve arama sahası dışında kalan alan ile, arama sahası ve paralelkenar içinde kalan ancak arayan tarafından taranamayan alanların paralelkenar alanından çıkarılması gerekmektedir. Paralelkenarın alanından Çıkarılacak Alan Toplamı (ÇAT) hesaplanması Denklem (2.8) ile bulunur,

$$\text{ÇAT} = 2(A(\text{PNG}) + A(\text{PYF}) + A(\text{AYN})) \quad (2.8)$$

PNG alanı, ZOG üçgeninin alanından POG daire diliminin ve ZPN üçgeninin alanlarının çıkarılması ile elde edilir ve Denklem (2.9)'da belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$A(\text{ZOG}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} \quad (2.9)$$

POG daire diliminin alanı Denklem (2.10)'da belirtilen şekilde hesaplanır,

$$A(\text{POG}) = \pi R^2 \frac{(90 - \alpha)}{360} \quad (2.10)$$

ZPN üçgeninin alanı Denklem (2.11)'de belirtilen şekilde hesaplanır,

$$A(\text{ZPN}) = \frac{R^2 \tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha)} - 1 \right)^2 \quad (2.11)$$

$$A(\text{PNG}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} - \frac{R^2 \tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha)} - 1 \right)^2 - \pi R^2 \frac{(90 - \alpha)}{360} \quad (2.12)$$

PYF alanı, PYOF karesi alanından, POF daire diliminin alanının çıkarılması ile elde edilir ve Denklem (2.13) kullanılarak hesaplanır,

$$A(\text{PYF}) = R^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \quad (2.13)$$

AYN üçgeninin alanı, |AF| uzunluğundan R'nin çıkarılması ve |YN| uzunluğunun yarısı ile çarpılması sonucu elde edilir ve Denklem (2.15)'te belirtildiği şekilde hesaplanır. |AF| uzunluğu, |AO₁| doğru parçasının açıortay olmasından dolayı Denklem (2.14)'te belirtilen şekilde hesaplanır,

$$|AF| = \frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned}
A(\text{AYN}) &= \left(\frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - R \right) \left(\frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - R \right) \frac{\tan(\alpha)}{2} = \frac{\tan(\alpha)}{2} \left(\frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - R \right)^2 \\
&= R^2 \frac{\tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right)^2 \tag{2.15}
\end{aligned}$$

Denklem (2.8)'de verilen ifadeler yerlerine konulduğunda ÇAT, Denklem (2.16)'da belirtilen şekilde hesaplanır,

$$\begin{aligned}
\text{ÇAT} &= 2 \left[\frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} - \frac{R^2 \tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha)} - 1 \right)^2 - \pi R^2 \frac{(90 - \alpha)}{360} + \right. \\
&\quad \left. R^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) + R^2 \frac{\tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right)^2 \right] \\
&= R^2 \left[\frac{1}{\tan(\alpha)} - \tan(\alpha) \left(\frac{1}{\sin(\alpha)} - 1 \right)^2 - \pi + \frac{(\pi\alpha)}{180} + \frac{\tan(\alpha)}{2} \left(\frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right)^2 \right] \\
&= R^2 \left[2 + \cot(\alpha) - \pi + \frac{(\pi\alpha)}{180} - \frac{2(1 - \sin(\alpha))^2}{\sin(2\alpha)} + \tan(\alpha) \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right)^2 \right] \\
&= R^2 \left[2 + \cot(\alpha) - \pi + \theta - \frac{2(1 - \sin(\alpha))^2}{\sin(2\alpha)} + \tan(\alpha) \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right)^2 \right] \tag{2.16}
\end{aligned}$$

- İki arayan yöntem-I için (HTO₂₋₁) Denklemi (2.17) aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır,

$$\begin{aligned}
\text{HTO}_{2-1} &= \frac{\left\{ 4R^2 \frac{(1+\cos(\alpha))}{\cos(\alpha)} \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1+\cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right] - \right. \\
&\quad \left. R^2 \left[2 + \cot(\alpha) - \pi + \theta - \frac{2(1-\sin(\alpha))^2}{\sin(2\alpha)} + \tan(\alpha) \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right)^2 \right] \right\}}{2DR \tan(\alpha) \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1+\cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right]} \\
&= \frac{\left\{ \frac{2R \frac{(1+\cos(\alpha))}{\cos(\alpha)}}{D \tan(\alpha)} - \right. \\
&\quad \left. R^2 \left[2 + \cot(\alpha) - \pi + \theta - \frac{2(1-\sin(\alpha))^2}{\sin(2\alpha)} + \tan(\alpha) \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right)^2 \right] \right\}}{2DR \tan(\alpha) \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1+\cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right]} \\
&= \frac{\left\{ \frac{2R(1+\cos(\alpha))}{D \sin(\alpha)} - \right. \\
&\quad \left. R \left[2 + \cot(\alpha) - \pi + \theta - \frac{2(1-\sin(\alpha))^2}{\sin(2\alpha)} + \tan(\alpha) \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right)^2 \right] \right\}}{2D \tan(\alpha) \left[\frac{D}{2R} - \frac{(1+\cos(\alpha))}{\sin(\alpha)} + \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right]} \quad (2.17)
\end{aligned}$$

2.2.2. Farklı sahalarda hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-II)

Bu yöntemde arayanlar kendilerine tahsisli birbirinden farklı sahalarda, saha sınırına R mesafe kaldığında aksi yöne dönerler ve hedefler sahaya düzgün dağılmışlardır. Arayanların tespit menzili içine giren hedeflerin tespit edildiği, dışında kalanların ise tespit edilemediği, arayanların aynı sürati ve rotaları kullandıkları varsayılır. Bir önceki yöntemde olduğu gibi hesaplamamanın kolay yapılabilmesi için hesaplamalar hedeflere göre arayanların göreceli hareketi üzerinden yapılır.

KAF alanı Denklem (2.23) kullanılarak hesaplanır. Bu denklemde yer alan FOK üçgenin alanı Denklem (2.21) ve AOK daire diliminin alanı Denklem (2.22) kullanılarak elde edilir,

$$A(\text{FOK}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} \quad (2.21)$$

$$A(\text{AOK}) = \frac{\pi R^2 (90 - \alpha)}{360} \quad (2.22)$$

$$A(\text{KAF}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} - \frac{\pi R^2 (90 - \alpha)}{360} = \frac{R^2}{2} \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi(90 - \alpha)}{180} \right) \quad (2.23)$$

- HTO_{2.2} denklemi aşağıda belirtilen şekilde hazırlanır.

HTO Denklem (2.24)'te belirtilen FGHI paralelkenar alanından KAF alanının iki katının çıkarılması sonucu kalan alanın ABCE dikdörtgeninin alanına oranındır. Denklem (2.24)'te gerekli sadeleştirmeler yapıldığında Denklem (2.25)'te verilen TO denklemi elde edilir,

$$\text{HTO}_{2.2} = \frac{A(\text{FGHI}) - 2(A(\text{KAF}))}{A(\text{ABCE})} \quad (2.24)$$

$$\text{HTO}_{2.2} = \frac{\frac{2R}{\sin(\alpha)} \left(\frac{D}{2} - 2R \right) \tan(\alpha) - 2 \left(R^2 \left(\frac{\tan(\alpha)}{2} - \frac{\pi(90 - \alpha)}{360} \right) \right)}{\frac{D}{2} \left(\frac{D}{2} - 2R \right) \tan(\alpha)}$$

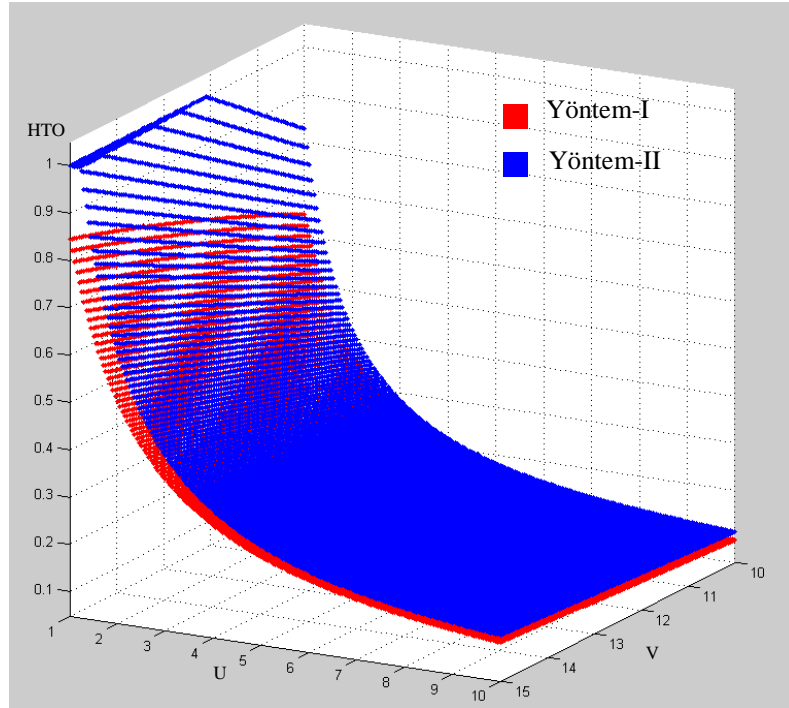
$$\text{HTO}_{2.2} = \frac{\frac{2R}{\sin(\alpha)} - \frac{R^2 \left(\frac{\tan(\alpha)}{2} - \frac{\pi(90 - \alpha)}{360} \right)}{\frac{D}{4} (D - 4R) \tan(\alpha)}}{\frac{D}{2}} = \frac{4R}{D \sin(\alpha)} - \frac{4R^2 \left(\tan(\alpha) - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{D(D - 4R) \tan(\alpha)}$$

$$\text{HTO}_{2.2} = \frac{4R}{D} \left[\frac{1}{\sin(\alpha)} - \frac{R \left(\tan(\alpha) - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{(D - 4R) \tan(\alpha)} \right] \quad (2.25)$$

2.2.3. İki arayan için yöntem-I ile yöntem-II'nin karşılaştırılması

Koordineli hat bariyer aramasında anlatılan iki farklı arama yönteminin karşılaştırılması, her iki arama yöntemi için ortaya konulan olasılık hesabı denklemleri Denklem (2.17) ve Denklem (2.25) kullanılarak, sabit tespit menzili ve kanal genişliği, farklı arayan ve hedef süratleri için elde edilen olasılık değerleri Şekil 2.9'da verilen üç boyutlu grafikte gösterilmiştir.

Bu grafikte kırmızı ile işaretlenen olasılık değerleri her iki arayanın dikey düzlemde yan yana aralarında $2R$ tespit menzili olacak şekilde icra ettikleri arama yöntemi-I'den elde edilen değerleri, mavi ile işaretlenen olasılık değerleri ise her iki arayanın yatay düzlemde aralarında $D/2$ mesafe olacak şekilde arama sahasını ortadan ikiye bölen iki eş sahada icra ettikleri arama yöntemi-II'den elde edilen değerleri temsil etmektedir. Bu grafikte kanal genişliği 10 mil, tespit menzili 1 mil sabit alınmış ve arayan sürati 10-15 mil/saat, hedef sürati 1-10 mil/saat arasındaki süratler için elde edilen olasılık değerleri Şekil 2.9'da verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Koordineli hat bariyer arama yöntemlerinin karşılaştırması

Şekil 2.9’da verilen grafikte görüldüğü üzere;

- Hedef sürati maksimum ve arayan sürati minimum olduğunda TO minimumdur,
- Hedef sürati minimum ve arayan sürati maksimum olduğunda TO maksimum değeri almaktadır.
- Yöntem-II kullanılarak yapılan aramalardan elde edilen tüm olasılık değerleri, yöntem-I kullanılarak elde edilen olasılık değerlerinden daha yüksektir.

Yöntem-I’den elde edilen TO değerlerinin daha düşük olmasının sebebi her iki arayanın aynı anda hareketi sonucunda taradıkları sahalarda bindirme olmasıdır. Bindirme miktarının hesaplanmasında Denklem (2.26) kullanılır, bu miktar her iki arayan arasında dikey düzlemdeki mesafe ile hedef ve arayan arasındaki göreceli hareket sonucu oluşan açının kosinüsünün çarpımının 2R tespit menziline çıkarılması ile elde edilebilir,

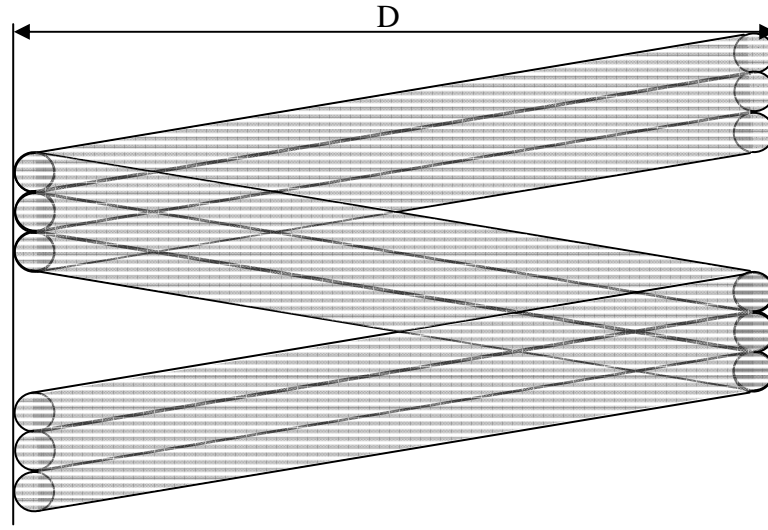
$$\begin{aligned} \text{Bindirme Miktarı} &= 2R - (2R \cdot \cos(\alpha)) \\ &= 2R \cdot (1 - \cos(\alpha)) \end{aligned} \quad (2.26)$$

2.3. Üç Arayan ile Koordineli Arama

2.3.1. Yan yana hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-I)

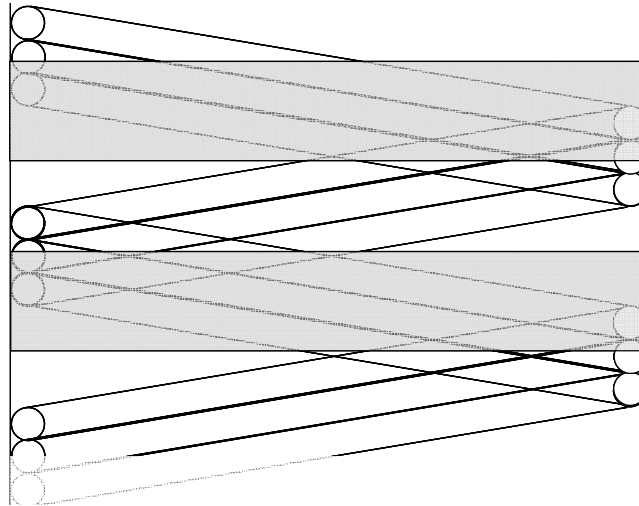
Bu yöntemde arayanlar aralarında iki tespit menzili olacak şekilde aynı rota ve sürat ile ilerleyerek arama ve dönüşleri aynı anda yaparlar. Daha önce belirtildiği üzere bu yöntemde koordinasyon ve haberleşme daha kolay olduğundan sıklıkla kullanılmaktadır. Arayanlar saha sınırına R mesafe kaldığında dönerler.

Yöntem-I’de arayanlar sahaya düzgün dağılımla dağılmış ve bariyer hattından geçiş yapması beklenen hedefi tespit etmek için saha sınırına dik bir hat üzerinde hareket ederler. Arayanların tespit menzili içine giren hedefleri tespit ettikleri dışındakileri ise tespit edemedikleri varsayılır. Hesaplamanın kolay yapılabilmesi için hedeflere göre arayanların göreceli hareketi üzerinden hesaplamalar yapılır. Arayanların bu göreceli hareketi Şekil 2.11’de sunulmuştur.

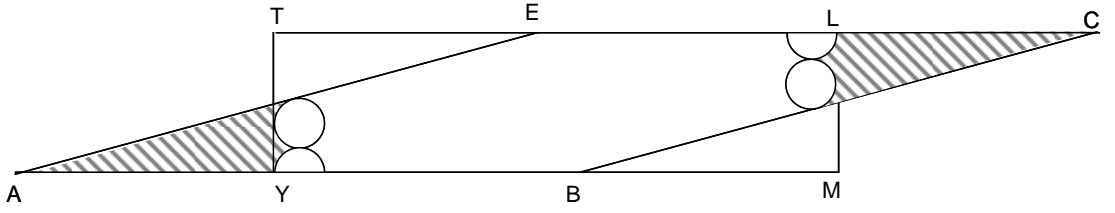


Şekil 2.10. Üç arayanın yöntem-I ile koordineli hat bariyeri

Şekil 2.10'da D genişliğindeki saha içerisinde taranmış alanın toplam alana oranı HTO' nı vermektedir. α açısı hedefle arayan arasındaki göreceli hareket sonucu oluşur. Şekil 2.11'de bir adımda taranan alanın arama süresince kendini tekrarladığı görülmektedir. Bu nedenle bir arama adımı için yapılan hesaplama tüm hareketler sonucu elde edilecek olasılık değeri hesaplanması için yeterli olur.

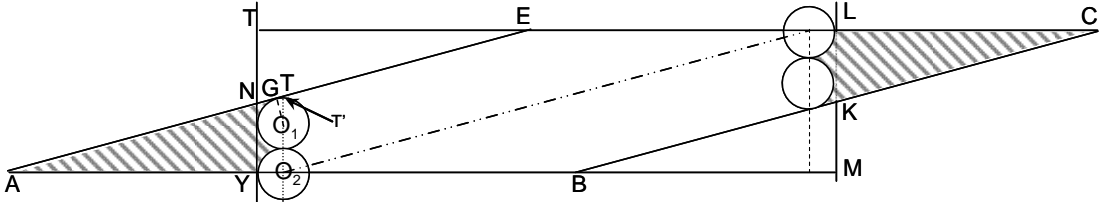


Şekil 2.11. Üç arayanın yöntem-I ile her adımda taradığı alan



Şekil 2.12. Arayanlar tarafından taranamayan alanlar

TO arayanların bir adımda taradığı alanın, Şekil 2.12’de gösterilen YMLT dikdörtgeni alanına oranıdır. Arayanların kanal içinde bir adımda taradığı alan ise ABCE paralelkenarın alanından koyu renk ile taranan alanın çıkarılması ile elde edilir. Yöntem-I’de yapılan alan hesaplamaları Şekil 2.13 yardımıyla izleyen alt bölümlerde açıklanmaktadır.



Şekil 2.13. Üç arayan yöntem-I için olasılık hesaplaması

Bu yöntemde; arayanlar tarafından taranan alanın YMLT dikdörtgeni alanına oranı TO' 'nı verir. Bu doğrultuda yapılan hesaplamalar aşağıda sunulmuştur;

- ABCE paralelkenarının alan hesabı Denklem (2.27)'de verilen ifadelerin yerine konulması sonucu elde edilen Denklem (2.35)'te belirtilen şekilde yapılır,

$$A(ABCE)=|AB| \cdot |ML| \quad (2.27)$$

$$|ML| = (D - 2R) \tan(\alpha) \quad (2.28)$$

$$|AB|=|AO_2|+|O_2B| \quad (2.29)$$

$$|AO_2| = \frac{|O_2T|}{\tan(\alpha)} \quad (2.30)$$

$$|O_2T| = \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \quad (2.31)$$

$$|AO_2| = \frac{1}{\tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \quad (2.32)$$

$$|O_2B| = \frac{3R}{\tan(\alpha)} \quad (2.33)$$

$$|AB| = \frac{1}{\tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) + \frac{3R}{\tan(\alpha)} = \frac{1}{\tan(\alpha)} \left(5R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} A(ABCE) &= \left[\frac{1}{\tan(\alpha)} \left(5R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \right] [(D - 2R) \tan(\alpha)] \\ &= \left(5R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) (D - 2R) \end{aligned} \quad (2.35)$$

- YMLT dikdörtgeni alan hesabı aşağıda belirtilen şekilde yapılır.

Bir adımda taranan YMLT dikdörtgeninin alanı kanal genişliği $|YM|$ ile yükseklik $|ML|$ 'nin çarpımına eşittir. $|ML|$ yüksekliği ise, kanal genişliğinden iki tespit menzili çıkarılması sonucu elde edilen değer $\tan(\alpha)$ ile çarpılması ve $4R$ eklenmesi ile elde edilir ve Denklem (2.37)'de belirtilen şekilde hesaplanır,

$$|ML| = (D - 2R) \tan(\alpha) \quad (2.36)$$

$$A(YMLT) = D((D - 2R) \tan(\alpha)) \quad (2.37)$$

- ABCE paralelkenar alanından çıkarılacak alanların hesaplanması aşağıda belirtilen şekilde yapılır;

Paralelkenar içinde ve arama sahası dışında kalan alan ile, arama sahası ve paralelkenar içinde kalan ancak arayan tarafından taranamayan alanların paralelkenar alanından çıkarılması gerekmektedir. Bu kapsamda paralelkenarın alanından çıkarılması gereken alanlar toplamı Denklem (2.38) ile bulunur,

$$\mathcal{C}AT = 2 \left(AO_2T - \frac{3}{4} \pi R^2 - GTT' \right) \quad (2.38)$$

$$A(AO_2T) = \frac{1}{2} |AO_2| \cdot |O_2T| \quad (2.39)$$

$$|O_2T| = \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \quad (2.40)$$

$$|AO_2| = \frac{|O_2T|}{\tan(\alpha)} = \frac{1}{\tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} A(AO_2T) &= \frac{1}{2 \tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right)^2 \\ &= \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} \left(2 + \frac{1}{\cos(\alpha)} \right)^2 \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$A(GTT') = A(GO_1T) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \quad (2.43)$$

$$A(GO_1T) = \frac{1}{2} |GT| \cdot R \quad (2.44)$$

$$|GT| = R \cdot \tan(\alpha) \quad (2.45)$$

$$A(GO_1T) = \frac{R^2}{2} \tan(\alpha) \quad (2.46)$$

$$A(GTT') = \frac{R^2}{2} \tan(\alpha) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \quad (2.47)$$

ÇAT Denklem (2.38)'de yukarıdaki denklemler yerlerine konularak elde edilen Denklem (2.48) ile hesaplanır,

$$\text{ÇAT} = 2 \left[\frac{1}{2 \tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right)^2 - \frac{3}{4} \pi R^2 - \left(\frac{R^2}{2} \tan(\alpha) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \right) \right] \quad (2.48)$$

- TO denklemi Denklem (2.49) ile hesaplanır. Denklem (2.49)'daki ifadelerde sadeleştirme yapıldığında Denklem (2.51) elde edilir,

$$\text{HTO}_{3-1} = \frac{\text{A(YBKLEN) içinde taranan alan}}{\text{A(YMLT)}} \quad (2.49)$$

$$\text{A(YBKLEN) içinde taranan alan} = \text{A(ABCE)} - \text{ÇAT} \quad (2.50)$$

$$\text{HTO}_{3-1} = \frac{\left\{ \left(5R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right) (D - 2R) - 2 \left[\frac{1}{2 \tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right)^2 - \frac{3}{4} \pi R^2 - \left(\frac{R^2}{2} \tan(\alpha) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \right) \right] \right\}}{D(D - 2R) \tan(\alpha)}$$

$$\text{HTO}_{3-1} = \left\{ \frac{\left[R \left(1 + \frac{1}{\cos(\alpha)} \right) \right]}{D \tan(\alpha)} - 2 \frac{\left[\frac{1}{2 \tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right)^2 - \frac{3}{4} \pi R^2 - \left(\frac{R^2}{2} \tan(\alpha) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \right) \right]}{D(D - 2R) \tan(\alpha)} \right\}$$

$$\text{HTO}_{3-1} = \frac{R \left(1 + \frac{1}{\cos(\alpha)} \right)}{D \tan(\alpha)} - 2 \frac{\frac{1}{2 \tan(\alpha)} \left(2R + \frac{R}{\cos(\alpha)} \right)^2 - \frac{3\pi}{4} R^2 - \left(\frac{R^2}{2} \tan(\alpha) - \pi R^2 \frac{\alpha}{360} \right)}{D(D - 2R) \tan(\alpha)}$$

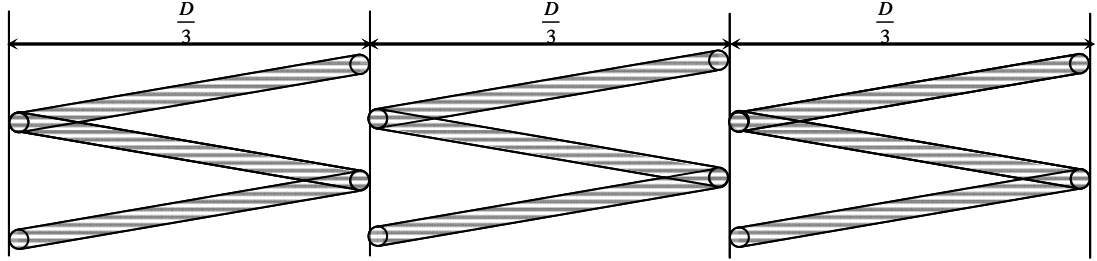
$$= \frac{R}{D} \left(\frac{\cos(\alpha) + 1}{\sin(\alpha)} \right) - \frac{\left[\frac{R^2}{\tan(\alpha)} \left(2 + \frac{1}{\cos(\alpha)} \right)^2 - \frac{3}{2} \pi R^2 - R^2 \tan(\alpha) + R^2 \theta \right]}{D(D - 2R) \tan(\alpha)}$$

$$\text{HTO}_{3-1} = \frac{R}{D} \left(\frac{\cos(\alpha) + 1}{\sin(\alpha)} \right) - \frac{R^2 \left(\frac{2(2\cos(\alpha) + 1)^2}{\sin(2\alpha)} - \frac{3}{2} \pi - \tan(\alpha) + \theta \right)}{D(D - 2R) \tan(\alpha)} \quad (2.51)$$

2.3.2. Farklı sahalarda hat bariyer arama yöntemi (Yöntem-II)

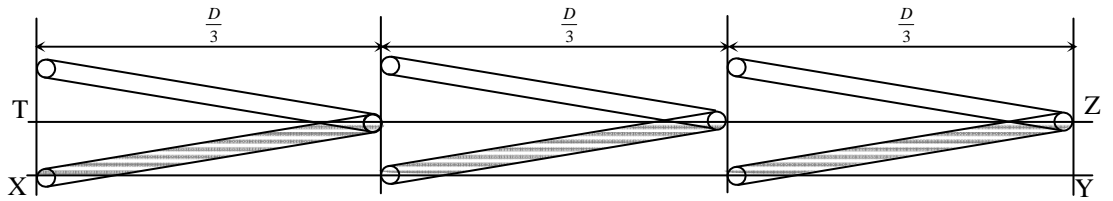
Bu yöntemde arayanlar kendilerine tahsisli birbirinden farklı sahalarda, saha sınırına R mesafe kaldığında aksi yöne dönerler ve hedefler sahaya düzgün dağılmışlardır. Arayanların tespit menzili içine giren hedeflerin tespit edildiği, dışında kalanların ise

tespit edilemediği varsayılır. Arayanlar aynı sürati ve rotaları kullanırlar. Olasılık hesaplamaları hedeflere göre arayanların göreceli hareketi üzerinden yapılır. Bu yöntemde, aranacak kanal uzunluğu üç eşit parçaya bölünerek her parçada bir arayan olacak şekilde Şekil 2.14'te gösterildiği gibi yerleştirilir.



Şekil 2.14. Üç arayanın yöntem-II ile koordineli hat bariyeri

Şekil 2.14'te görüldüğü üzere her üç arayan için bir adımda taranan alan kendini tekrar etmektedir. Alanların oranı hesaplanacağından bir adımda elde edilecek oran tüm adımlarda elde edilecek oran ile eşit olacaktır. Bu durumda Şekil 2.15'te gösterilen sadece bir adımda taranan alanın hesaplaması yapılacaktır.



Şekil 2.15. Üç arayanın yöntem-II ile bir adımda aranan alan

HTO Şekil 2.15'te gösterilen her üç arayanın bir adımda taradığı koyu alan toplamının XYZT alanına oranı bulunarak hesaplanır. Hesaplamaların açıklanmasında Şekil 2.16 kullanılacaktır.

Paralelkenarın alanından çıkarılacak alan Şekil 2.16'da gösterilen FGHI paralelkenarı alanından koyu renk ile taranmış olan alanın çıkarılması sonucu elde edilir. Denklem (2.58) ile hesaplanan bu alan ise Denklem (2.55) ile hesaplanan FOK üçgeni alanından, Denklem (2.56) ile hesaplanan AOK daire dilimi alanının çıkarılması ve iki ile çarpılması sonucu elde edilir,

$$A(\text{FOK}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} \quad (2.55)$$

$$A(\text{AOK}) = \frac{\pi R^2 (90 - \alpha)}{360} \quad (2.56)$$

FOK üçgeninin alanından AOK daire diliminin alanının çıkarılması sonucu elde edilen KAF üçgeninin alanı Denklem (2.57)'de belirtildiği şekilde hesaplanır,

$$A(\text{KAF}) = \frac{R^2}{2 \tan(\alpha)} - \frac{\pi R^2 (90 - \alpha)}{360} = \frac{R^2}{2} \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi(90 - \alpha)}{180} \right) \quad (2.57)$$

$$\text{ÇAT} = R^2 \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi}{2} + \theta \right) \quad (2.58)$$

- TO denklemi Denklem (2.59) ile hesaplanır. Denklem (2.59)'daki ifadelerde sadeleştirme yapıldığında Denklem (2.60) elde edilir,

$$\text{HTO}_{3-2} = \frac{A(\text{FGHI}) - \text{Ç.A.T.}}{A(\text{ABCE})} \quad (2.59)$$

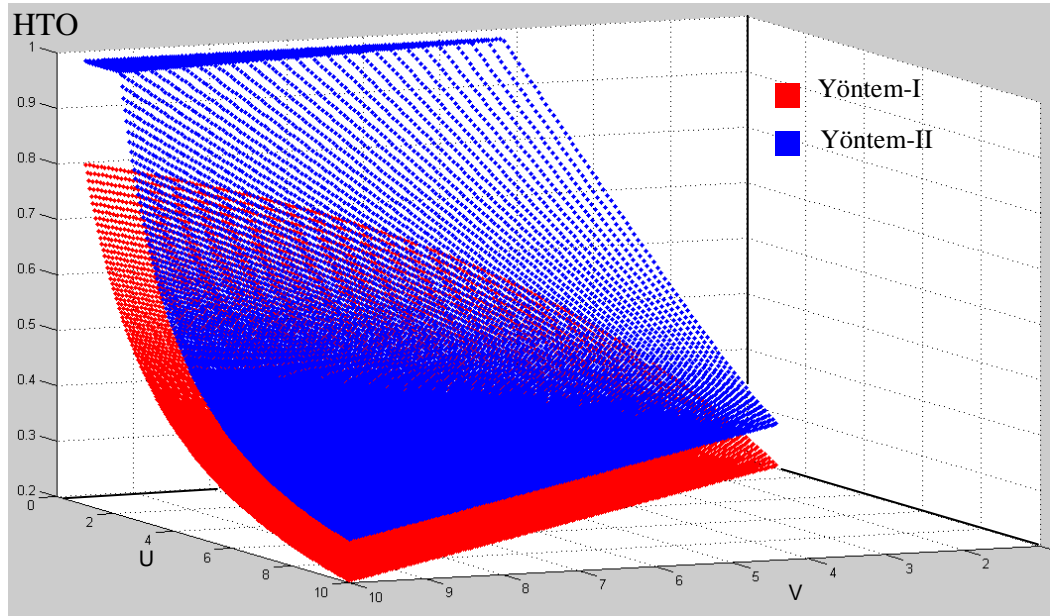
$$\text{HTO}_{3-2} = \frac{\frac{2R}{\sin(\alpha)} \left(\frac{D}{3} - 2R \right) \tan(\alpha) - R^2 \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{\frac{D}{3} \left(\frac{D}{3} - 2R \right) \tan(\alpha)}$$

$$\text{HTO}_{3-2} = \frac{\frac{2R}{\sin(\alpha)}}{\frac{D}{3}} - \frac{R^2 \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{\frac{D}{9} (D - 6R) \tan(\alpha)} = \frac{6R}{D \sin(\alpha)} - \frac{9R^2 \left(\frac{1}{\tan(\alpha)} - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{D (D - 6R) \tan(\alpha)}$$

$$HTO_{3-2} = \frac{3R}{D} \left[\frac{2}{\sin(\alpha)} - \frac{3R \left(\cot \alpha - \frac{\pi}{2} + \theta \right)}{(D - 6R) \tan(\alpha)} \right] \quad (2.60)$$

2.3.3. Üç arayan için yöntem-I ile yöntem-II'nin karşılaştırılması

Koordineli hat aramasında anlatılan iki farklı arama yönteminin karşılaştırılması için, sabit tespit menzili ve kanal genişliği, farklı arayan ve hedef süratleri değerleri için her iki arama yöntemi denklemleri (2.51) ve (2.60) kullanılarak elde edilen üç boyutlu olasılık değerleri grafiği Şekil 2.17'de sunulmuştur.



Şekil 2.17. Üç arayan için yöntem-I ve yöntem-II karşılaştırması

Bu grafikte kırmızı ile işaretlenen değerler her üç arayanın dikey düzlemde yan yana aralarında $2R$ tespit mesafesi olacak şekilde yaptıkları arama yöntem-I'den elde edilen olasılık değerlerini, mavi ile işaretlenen değerler ise üç arayanın yatay düzlemde aralarında $D/3$ mesafe olacak şekilde üç farklı eş sahada yaptıkları arama yöntemi-II'den elde edilen TO değerlerini temsil etmektedir. Bu grafikte kanal genişliği 10 mil, tespit menzili 1 mil sabit alınmış, arayanın ve hedefin 1-15 mil/saat arasındaki süratleri için elde edilen TO değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 2.17'de verilen grafikte görüldüğü üzere;

- Hedef sürati maksimum olduğunda TO minimum değerini almaktadır.

- Hedef sürati minimum ve arayan sürati maksimum olduğunda TO maksimum değer almaktadır.
- Yöntem-II kullanılarak yapılan aramalardan elde edilen tüm olasılık değerleri, yöntem-I kullanılarak elde edilen olasılık değerlerinden daha yüksektir.

Yöntem-I'den elde edilen TO değerlerinin daha düşük olmasının sebebi her üç arayanın aynı anda hareketi sonucunda kapladıkları sahalarda bindirme olmasıdır. Bindirme miktarının hesaplanmasında iki arayan için hazırlanan Denklem (2.26) kullanılarak elde edilen değer iki ile çarpılır.

2.4. Çok Arayan Bulduğunda Tek Arayan İçin Hazırlanan Denklemin Kullanılması Yönteminin İncelenmesi

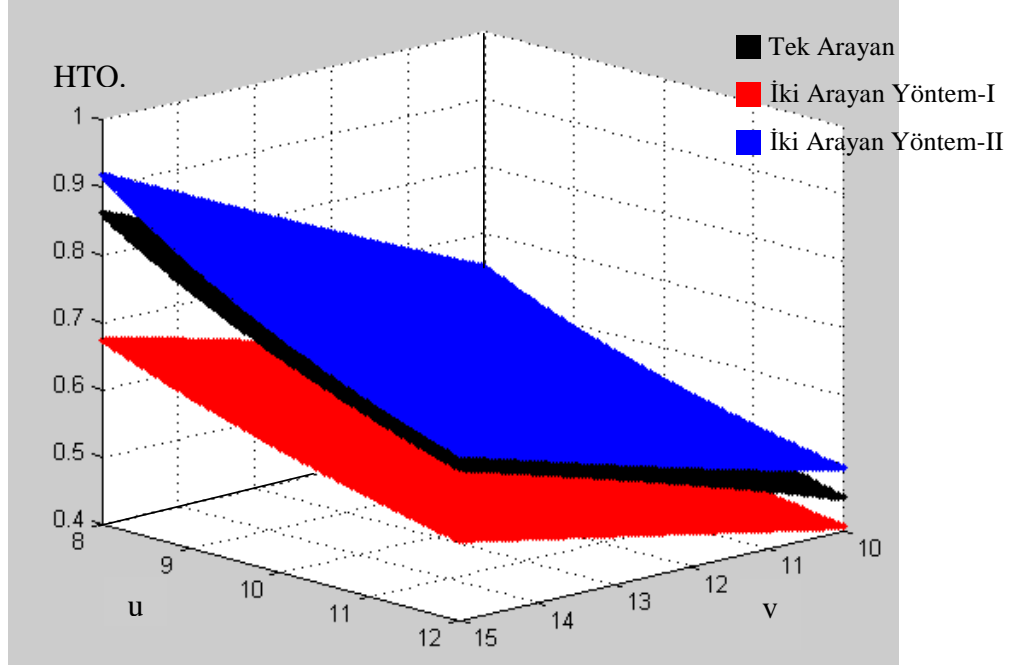
Günümüzde birden fazla arayan bulunduğunda arama faaliyetlerinin planlanmasında bir arayan için hazırlanan Denklem (1.74) kullanılmaktadır. Örnek olarak her birinin tarama genişliği 2 mil olan 3 arayan için TO hesaplaması, tarama genişliği 6 mil olan bir arayan olduğu varsayılarak bir arayan için Denklem (1.74) kullanılarak yapılmaktadır.

İki ve üç arayan için koordineli arama yöntem-I ve yöntem-II'den elde edilen HTO denklemleri önceki maddelerde sunulmuştur. Bu denklemler kullanılarak günümüzde arama uygulamalarında kullanılmakta olan yöntem ile karşılaştırılarak etkinliği takip eden maddelerde değerlendirilmiştir.

2.4.1. İki arayan için mevcut yöntem, yöntem-I, yöntem-II karşılaştırılması

Mevcut yöntem ile koordineli arama yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması için her üç yöntemde arayan tespit menzili 1 mil, kanal genişliği 10 mil, arayan sürati 10-15 mil/saat, hedef sürati 1-10 mil/saat arasında değişen değerler için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik Şekil 2.18'de sunulmuştur

Şekil 2.18'de iki arayan için, tespit menzili iki katı olan tek arayan var olduğu kabul edilerek yapılan hesaplamalardan elde edilen TO değerleri siyah renkle, yöntem-I kullanılarak elde edilen TO değerleri kırmızı renkle ve yöntem-II kullanılarak elde edilen olasılık değerleri mavi renkle grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.18. İki arayan arama yöntemlerinin karşılaştırılması

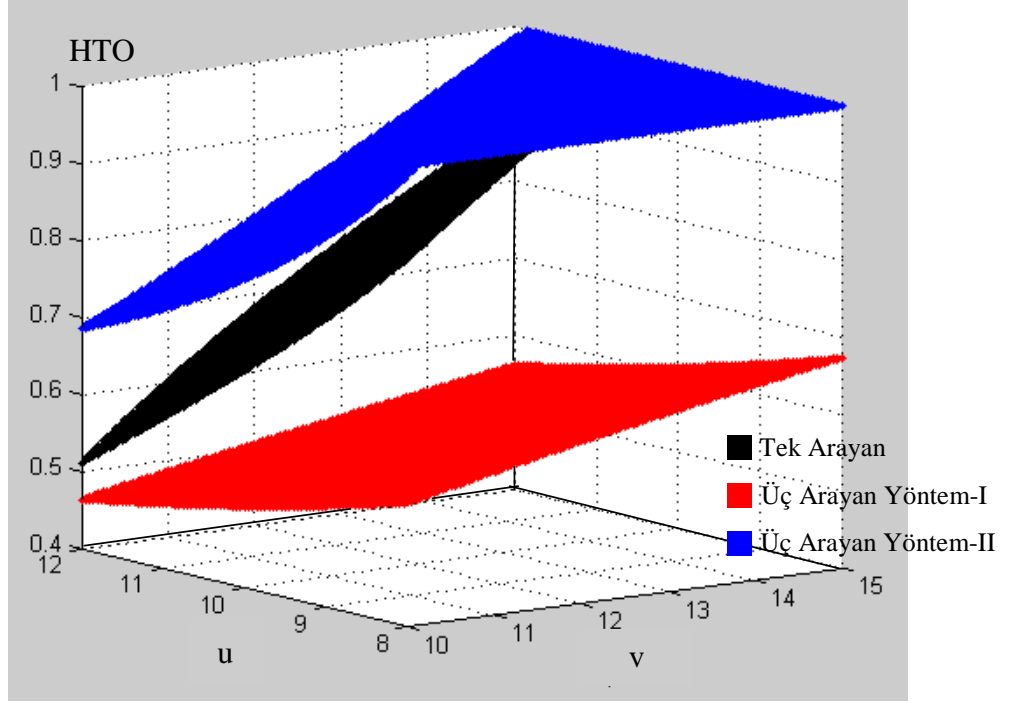
Şekil 2.18 incelendiğinde;

- Her üç yöntemden elde edilen değerlerin sergilendiği grafikte koordineli arama yöntem-I kullanıldığında elde edilen HTO değerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha düşük olduğu,
- Koordineli arama yöntem-II kullanıldığında elde edilen HTO değerlerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu, görülmektedir.

2.4.2. Üç arayan için mevcut yöntem, yöntem-I, yöntem-II karşılaştırılması

Kanalda üç arayan olduğunda tarama genişliği üç arayanın toplam tarama genişliğine eşit bir arayan var olduğu kabul edilerek hesaplama yapılması yöntemi ile yöntem-I ve yöntem-II'nin karşılaştırılması yapılmıştır. İki arayan için yapılan hesaplamalarda kullanılan model bu hesaplamalarda üç arayan için yeniden düzenlenmiştir.

Şekil 2.19'da üç arayan için, tespit menzili üç katı olan tek arayan var olduğu kabul edilerek yapılan hesaplamalardan elde edilen TO değerleri siyah renkle, yöntem-I'den elde edilen TO değerleri kırmızı renkle ve yöntem-II kullanılarak elde edilen değerler mavi renkle grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Üç arayan arama yöntemlerinin karşılaştırılması

Şekil 2.19’da verilen üç boyutlu grafik incelendiğinde;

- Koordineli arama yöntem-I kullanıldığında elde edilen HTO değerlerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha düşük olduğu,
- Koordineli arama yöntem-II kullanıldığında elde edilen HTO değerlerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

2.4.3. Günümüzdeki uygulama hakkında düşünceler

Şekil 2.18 ve Şekil 2.19 incelendiğinde iki ve üç arayan için;

- Günümüzde kullanılan TO hesaplama yönteminden elde edilen değerler, Yöntem-I’den elde edilen değerlere göre daha yüksektir. Bu planlayıcıları hatalı bir iyimserliğe yönlendirmekte ve gerçekte arzu edilen TO’na daha az arama gayreti kullanarak ulaşıldığı kanaatine sahip olmalarına sebep olmaktadır. Bu durumda yetersiz arama gayretinin tahsisi neticesinde aranan cismin veya kişinin bulunması olasılığı azalmaktadır. Koordineli arama yöntem-I için TO hesaplamalarının

günümüzde kullanılan yöntem ile yapılması aranan cismin önemi veya aranan kişinin hayatı göz önüne alındığında olumsuz sonuçlar doğurması olasıdır.

- Günümüzde kullanılan TO hesaplama yönteminden elde edilen değerler, Yöntem-II'den elde edilen HTO değerlerine göre daha düşüktür. Bu, planlayıcıların kötümser bir yaklaşım sergilemelerine sebep olmakta ve bunun sonucunda aranan cismin, kişinin bulunması için fazla miktarda arama gayreti tahsis edilmektedir. Başka arama faaliyetlerinde kullanılabilecek arama gayretlerinin yeterinden fazla miktarda kullanılması kısıtlı kaynakların yanlış kullanımına sebep olmakta ve arama faaliyetlerinin etkinliğini azaltmaktadır.

2.5. Simülasyon Sonuçları

Paralel hatlarla sınırlandırılmış bir kanaldan geçen hedefin tespit edilmesi probleminin optimizasyonu çalışmaları sonucunda oluşturulan denklemlerin doğrulanması için MATLAB programlama dilinde Monte Carlo simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonda kullanılan modelin kurulması aşamasında tez çalışması kapsamına alınan yöntemlerde kabul edilen varsayımların geçerliliği sağlanmış, sabitler ve değişkenler tanımlanmış, değişkenler arası matematiksel ilişkiler kurulmuş ve model için ihtiyaç duyulan kurallar konularak her bir simülasyon 10^6 defa çalıştırılmıştır. Modele ilişkin daha detaylı bilgi al bölümlerde sunulmuştur.

2.5.1. Simülasyonun tanıtılması

Hazırlanan simülasyon kesik zamanlı bir simülasyondur. Simülasyonda kullanıcı tarafından ilk olarak arayan ve hedef sürati, kanal genişliği, tespit menzili, deneme adedi, iterasyon süresi değişkenlerine başlangıç değeri atanır. İterasyon süresine göre simülasyonda ihtiyaç duyulan iterasyon sayısı hesaplanır. İterasyon sayısı hedef ve arayanın iki boyutlu düzleminde mevki bilgilerinin kaydedildiği dizin değişkenlerinin boyutlarının belirlenmesinde ve simülasyonun zamanının takip edilmesinde kullanılır. Daha sonra hedefin başlangıç mevkisinin belirlenmesi için düzgün dağılımdan rastgele bir sayı üretilir, rota bilgisine hareket yönü güney olacak şekilde sabit değeri atanır. Arayan başlangıç mevkisi kanalın sol kenarına R mesafede ve başlangıç hareket yönü doğuya olacak şekilde sabit değeri atanır.

Simülasyonun başlatılmasıyla hedef ve arayan aynı anda hareket etmeye başlarlar ve bilgisayar tarafından her bir iterasyonda;

- Hedef ve arayanın bir önceki iterasyondaki mevki bilgisi rota ve sürat bilgilerini kullanarak hedef ve arayanın yeni mevki bilgisi hesaplanır, arayanın bir sonraki adımdaki rotasını belirlenir ve ilgili değişkenlere kaydedilir,
- Hedef ile arayan arasındaki mesafenin hedef tespit menziline küçük olup olmadığını sorgulanır,
- Hedef ile arayan arasındaki mesafe tespit menziline küçük olduğunda hedef tespit edilmiş olarak kabul edilir ve tespit edilen hedef sayısı sayacı bir artırılarak deneme sonlandırılır ve ikinci deneme başlatılır,
- Hedef ile arayan arasındaki mesafe tespit menziline büyük ise simülasyon bir sonraki iterasyona geçerek yukarıda belirtilen işlemleri tekrar edilir,
- Her bir iterasyonda ayrıca hedefin bariyeri geçip geçemediği kontrol edilir.
- Hedef bariyeri geçmiş ise bir sonraki denemeye geçilir ve bu deneme başarısız olarak kaydedilir,
- Hedef bariyeri geçmemiş ise bir sonraki iterasyona devam edilerek yukarıda belirtilen işlemler tekrar edilir.

Kullanıcı tarafından belirlenen deneme sayısını D_s ile, tespit edilen hedef sayısını C_t ile ve simülasyon tarafından hesaplanan hedef TO'nı, HTO_{sim} ile gösterecek olursak, HTO_{sim} Denklem (2.61)'de belirtildiği şekilde elde edilir,

$$HTO_{sim} = \frac{C_t}{D_s} \quad (2.61)$$

Simülasyonda kullanılan varsayımlar aşağıda sunulmuştur;

- Hedefin D genişliğindeki kanala giriş noktaları $X_t \sim U[0,D]$ dağılımına uyar.
- Arayan sensör Kurabiye Kalıbı modeli ile modellenmiştir.

- Hedef sabit u sürati ve arayan sabit v sürati ile ilerler.
- Hedefler doğrusal bir hat üzerinde ilerlerler.
- Kanal boyunca ortam şartları homojendir. Sensörün tespit menzili kanal içinde her bölgede eşittir.
- Simülasyonda kullanılan kanalın genişliği kullanıcı tarafından belirlenir ve kanal sınırları birbirlerine paraleldir.

Simülasyonda kullanılan arayanın özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

- Arayan sabit v sürati ile ilerler.
- Arayan, hedef hareket hattına ve kanal sınırlarına dik bir açı ile ilerler.
- Arayan, kanal sınırına bir tespit menzili kadar mesafe kala döner.
- Arayan sayısı birden fazla olduğunda ve yöntem-I kullanıldığında arayanlar arası mesafe tespit menzilin iki katı kadar alınır.
- Yöntem-II kullanıldığında; arayan sayısı iki olduğunda arayanlar arası mesafe $D/2$, arayan sayısı üç olduğunda arayanlar arası mesafe $D/3$ olarak alınır.

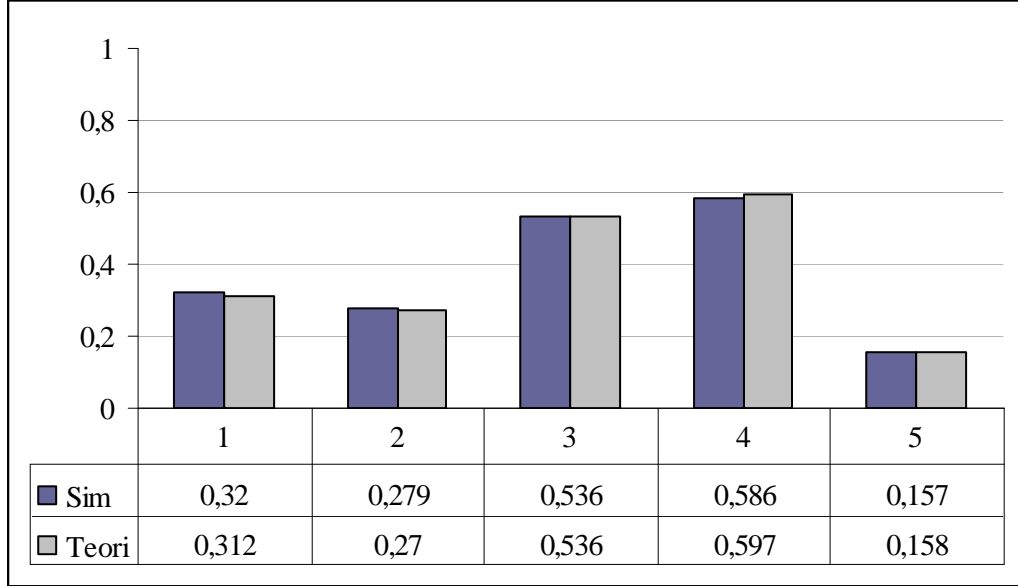
2.5.2. Tek arayan için Monte Carlo simülasyonu

Tek arayanın kanal sınırına R mesafe kala dönmesi yönteminin benzetildiği bu simülasyondan elde edilen TO değerleri ve literatürde yer alan Denklem (1.74)'ten elde edilen H_{teori} değerlerin karşılaştırılması ile hazırlanan modelin doğrulaması hedeflenmiştir. Bu amaçla değişik arayan ve hedef sürati, tespit menzili ve kanal genişliği için Tablo 2.1'de sunulan beş senaryo üretilmiştir.

Tablo 2.1. Tek arayan için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri

Deneme No	#1	#2	#3	#4	#5
v	10	8	10	10	10
u	8	8	4	8	8
R	1	1	1	2	1
D	10	10	10	10	20
HTO_{teori}	0,312	0,270	0,536	0,597	0,158

Bir tane arayan ile HTO'nın bulunabilmesi amacıyla her bir senaryo için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda tespit edilen hedef sayıları kullanılarak elde edilen HTO_{sim} ile Denklem (1.74) kullanılarak elde edilen HTO_{teori} değerlerinin karşılaştırması için hazırlanan grafik Şekil 2.20'de sunulmuştur.



Şekil 2.20. Tek arayan için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması

Şekil 2.20'de görüldüğü üzere Denklem (1.74)'ten elde edilen HTO_{teori} değerleri ile simülasyondan elde edilen HTO_{sim} değerleri uyumludur. Bu kapsamda hazırlanan simülasyonun iki arayan yöntem-I için hazırlanan (2.17), iki arayan yöntem-II için hazırlanan (2.25), üç arayan yöntem-I için hazırlanan (2.51) ve üç arayan yöntem-II için hazırlanan (2.60) denklemlerinin doğrulamasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

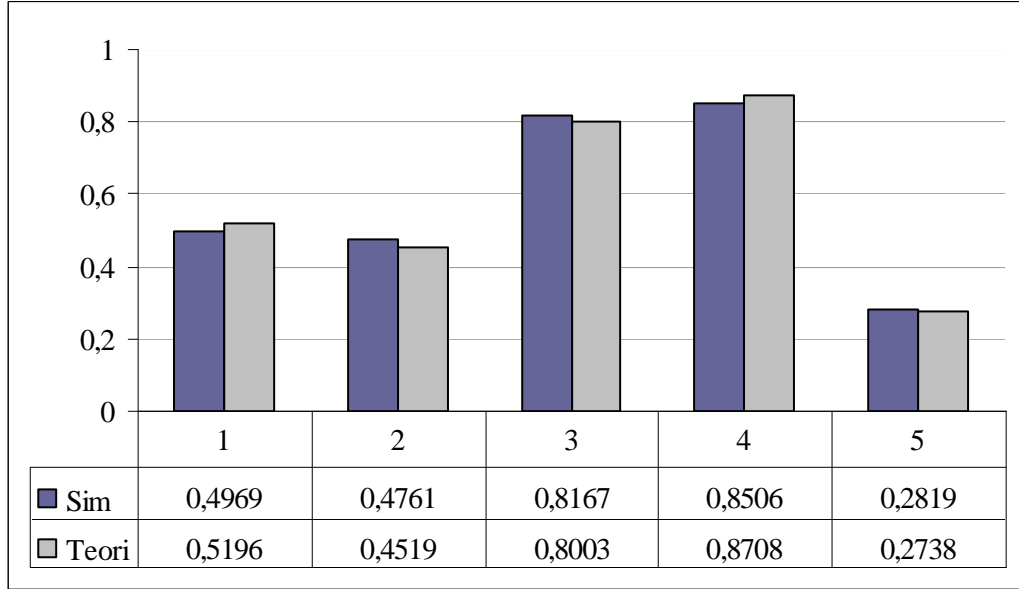
2.5.3. İki arayan yöntem-I için Monte Carlo simülasyonu

İki arayan ile yöntem-I kullanıldığında simülasyon başlangıcında, arayanlar aralarında 2R mesafe olacak şekilde apsis değerleri aynı ordinat değerleri R ve 3R olarak yerleştirilirler. Arayanlar kanal sınırına bir tespit menzili kalana kadar ilerler ve daha sonra aksi yöne dönerler. İki arayan yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.17)'den elde edilen değerlerin doğrulaması için hazırlanan beş deneme senaryosuna ilişkin bilgiler Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.2. İki arayan, yöntem-I için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri

Deneme No	#1	#2	#3	#4	#5
v	10	8	10	10	10
u	8	8	4	8	8
R	1	1	1	2	1
D	10	10	10	10	20
HTO _{teori}	0,5196	0,4519	0,8003	0,8708	0,2738

İki arayan yöntem-I için HTO'nun bulunabilmesi amacıyla her bir senaryo için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda tespit edilen hedef sayıları kullanılarak elde edilen HTO_{sim} değerleri ile Denklem (2.17) kullanılarak elde edilen tespit olasılığı HTO_{teori} değerlerinin karşılaştırması için hazırlanan grafik Şekil 2.21'de sunulmuştur.



Şekil 2.21. İki arayan, yöntem-I için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması

Şekil 2.21'de görüldüğü üzere Denklem (2.17)'den elde edilen HTO_{teori} değerleri ile simülasyondan elde edilen değerler uyumludur. Arayan sayısı iki ve yöntem-I için Denklem (2.17)'den elde edilen HTO_{teori} değerleri simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

2.5.4. İki arayan yöntem-II için Monte Carlo simülasyonu

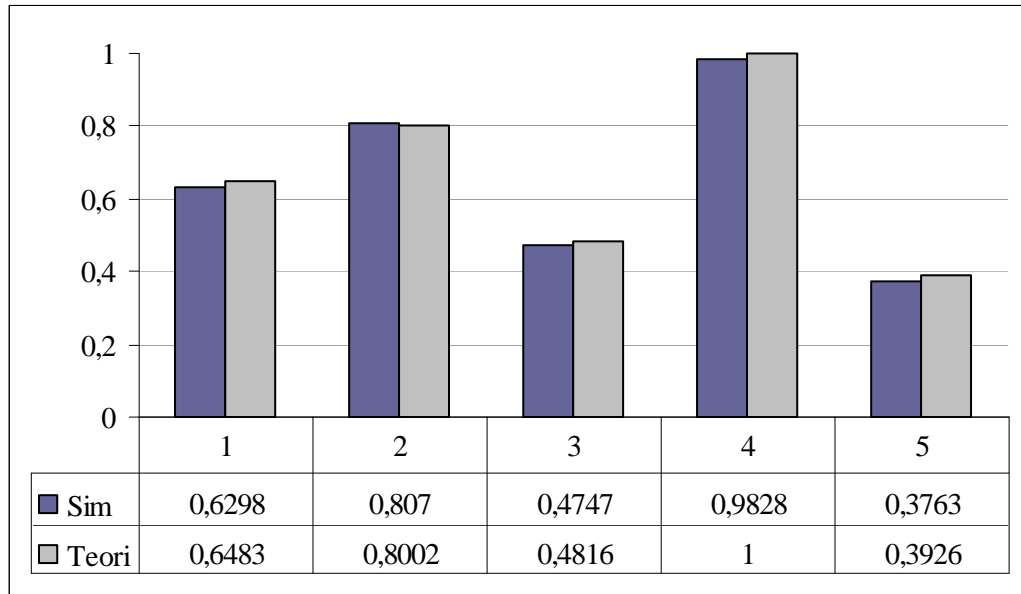
İki arayan ile yöntem-II kullanıldığında simülasyon başlangıcında, arayanlar aralarında D/2 mesafe olacak şekilde ordinat değerleri aynı apsis değerleri R ve

(D/2+R) olarak yerleştirilirler. Arayanlar kendilerine tahsisli sahaların sınırına bir tespit menzili kalıncaya kadar ilerler ve daha sonra aksi yöne dönerler. İki arayan yöntem-II için hazırlanan Denklem (2.25)'ten elde edilen değerlerin doğrulaması için hazırlanan beş deneme senaryosuna ilişkin bilgiler Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. İki arayan, yöntem-II için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri

Deneme No	#1	#2	#3	#4	#5
v	10	8	10	12	15
u	8	8	8	8	8
R	1	1,5	1,5	2	0,9
D	10	10	15	10	20
HTO_{teori}	0,6483	0,8002	0,4816	1	0,3926

İki arayan yöntem-II ile HTO 'nın bulunabilmesi amacıyla her bir senaryo için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda tespit edilen hedef sayıları kullanılarak elde edilen HTO_{sim} değerleri ile Denklem (2.25)'ten elde edilen HTO_{teori} değerlerinin karşılaştırması için hazırlanan grafik Şekil 2.22'de sunulmuştur.



Şekil 2.22. İki arayan, yöntem-II için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması

Şekil 2.22'de görüldüğü üzere Denklem (2.25)'ten elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerler uyumludur. Arayan sayısı iki ve yöntem-II için Denklem (2.25) HTO_{teori} değerleri simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

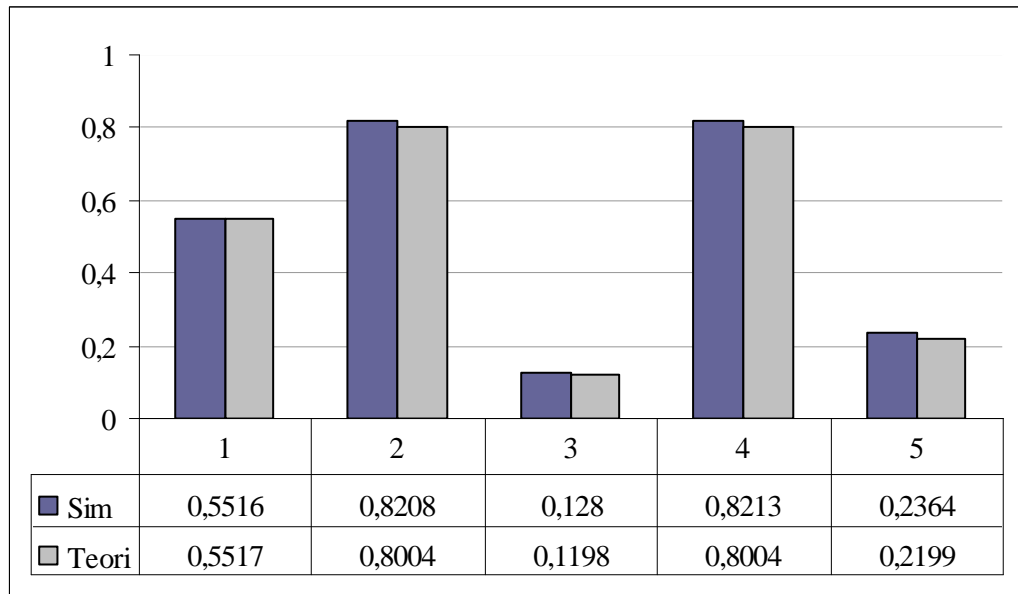
2.5.5. Üç arayan yöntem-I için Monte Carlo simülasyonu

Üç arayan ile yöntem-I kullanıldığında simülasyon başlangıcında, arayanlar aralarında 2R mesafe olacak şekilde apsis değerleri aynı ordinat değerleri R, 3R ve 5R olarak yerleştirilirler. Arayanlar kanal sınırına bir tespit menzili kalıncaya kadar ilerler ve daha sonra aksi yöne dönerler. Üç arayan yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.51)'den elde edilen değerlerin doğrulanması amacıyla hazırlanan beş deneme senaryosuna ilişkin bilgiler Tablo 2.4'te sunulmuştur.

Tablo 2.4. Üç arayan, yöntem-I için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri

Deneme No	#1	#2	#3	#4	#5
v	10	5	12	10	12
u	8	4	8	8	10
R	1	1	4	2	5
D	10	5	300	10	160
HTO_{teori}	0,5617	0,8004	0,1198	0,8004	0,2199

Üç arayan yöntem-I ile HTO'nın bulunabilmesi amacıyla her bir senaryo için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda tespit edilen hedef sayıları kullanılarak elde edilen HTO_{sim} değerleri ile Denklem (2.51)'den elde edilen HTO_{teori} değerlerin karşılaştırması Şekil 2.23'te sunulmuştur.



Şekil 2.23. Üç arayan, yöntem-I için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması

Şekil 2.23'te görüldüğü üzere Denklem (2.51)'den elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerler uyumludur. Arayan sayısı üç ve yöntem-I için Denklem (2.51)'den elde edilen HTO_{teori} değerleri simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

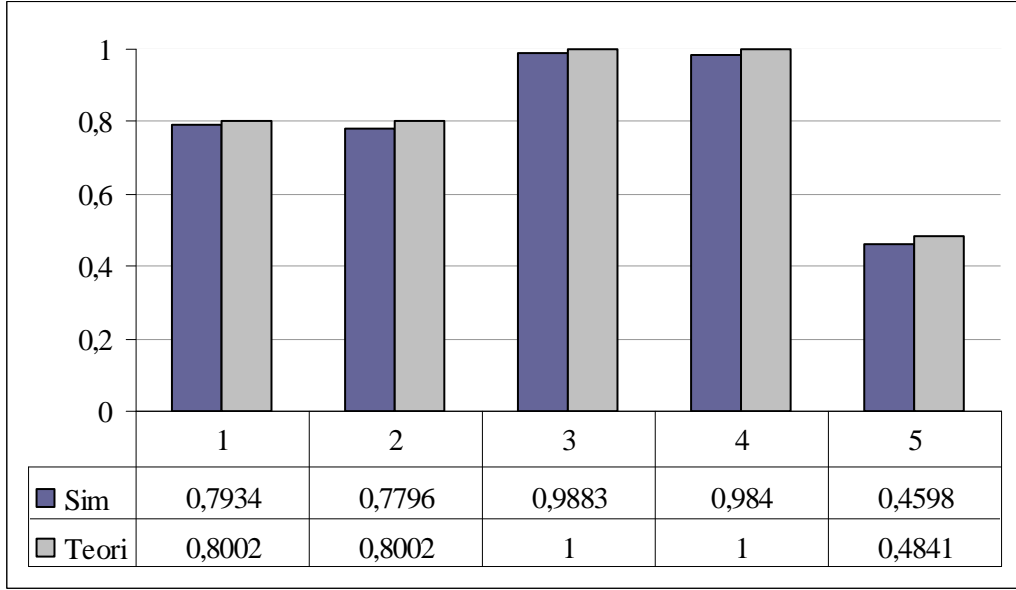
2.5.6. Üç arayan yöntem-II için Monte Carlo simülasyonu

Arayan sayısı üç için ve yöntem-II kullanıldığında simülasyon başlangıcında, arayanlar arası $D/3$ mesafe olacak şekilde ordinat değerleri aynı apsis değerleri R , $(D/3+R)$ ve $(2D/3+R)$ olarak yerleştirilirler. Arayanlar kendilerine tahsisli sahaların sınırına bir tespit menzili kalıncaya kadar ilerler ve daha sonra aksi yöne dönerler. İki arayan yöntem-II Denklemi (2.60)'tan elde edilen değerlerin doğrulanması için hazırlanan beş deneme senaryosuna bilgileri Tablo 2.5'te sunulmuştur.

Tablo 2.5. Üç arayan, yöntem-II için oluşturulan simülasyon senaryo bilgileri

Deneme No	#1	#2	#3	#4	#5
v	10	8	10	10	10
u	10	8	4	8	8
R	1	1	1	2	1
D	10	10	10	10	20
HTO_{teori}	0,8002	0,8002	1	1	0,4841

Üç arayan yöntem-II ile HTO 'nın bulunabilmesi amacıyla her bir senaryo için simülasyon 10^6 defa tekrarlanmış ve tüm tekrarlar sonucunda tespit edilen hedef sayıları kullanılarak elde edilen HTO_{sim} değerleri ile Denklem (2.60)'tan elde edilen HTO_{teori} değerlerinin karşılaştırması için hazırlanan grafik Şekil 2.24'te sunulmuştur.



Şekil 2.24. Üç arayan, yöntem-II için yapılan simülasyon sonuçları ile teorik değerlerin karşılaştırılması

Şekil 2.24'te görüldüğü üzere Denklem (2.60)'tan elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerler uyumludur. Arayan sayısı iki ve yöntem-II için Denklem (2.60)'tan elde edilen HTO_{teori} değerleri simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

Nihai sonuç olarak hazırlanan dört simülasyonun kullanılması sonucunda elde edilen değerlerin teorik değerler ile uyumlu olduğu, bu kapsamda birden fazla sayıda arayan bulunduğu, (2.17), (2.25), (2.51) ve (2.60) denklemlerinin HTO hesaplamalarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada paralel hatlarla sınırlandırılmış bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespiti probleminin optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için yapılan literatür araştırması sonucu konunun yöneylem araştırması bilimi çalışmalarının bir konusu olan arama teorisi çerçevesinde incelendiği tespit edilmiştir. Arama teorisi konusunda yapılan incelemede ise bu konuda Türkçe kaynaklarda yeterli düzeyde kaynak bulunmadığı, çalışmaların daha çok İngilizce kaynaklarda yer aldığı tespit edilmiştir. İncelenen konunun daha iyi anlaşılabilmesi için ilk aşamada arama teorisinin hangi ihtiyaçtan ortaya çıktığı, tarihçesi, bu konuda yapılan çalışmalar, arama teorisinde kullanılan temel tanım ve yöntemler açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında arama teorisinde kullanılan temel kavramlar tanıtılmıştır. Bu çerçevede arama teorisinde yer alan önemli kavramlardan;

- Arama gayretinin hedefin bulunması için elde bulunan kaynakların kullanım miktarı veya arayanın arama sahasında kapladığı saha büyüklüğü olduğu ve Denklem (1.1) kullanılarak hesaplanabildiği,
- Yan menzil eğrisinin bir sensörün mesafeye göre HTO'nı gösteren grafik olduğu ve belirli bir hedef için, belirli ortam şartlarında geçerli olduğu ve bunlardan herhangi birisinin değişmesi ile bu eğrinin de değişebileceği ve Şekil 1.3'te gösterildiği şekilde hesaplanabildiği,
- Tarama genişliğinin yan menzil eğrisi altında kalan toplam alana eşit olduğu ve Denklem (1.8) kullanılarak hesaplanabildiği,
- Kurabiye kalıbı tespit modelinin, TO'nın hedefin sensör tarama genişliği içinden geçtiğinde daima 1 ve dışından geçtiğinde daima 0 alındığı model olduğu, tarama genişliği W olan bir kurabiye kalıbı sensörünün, kendisine $W/2$ 'den daha yakın mesafedeki hedefleri her zaman tespit edebildiği ve $W/2$ 'den daha uzaktakileri hiçbir zaman tespit edemediği ve bu modelin matematiksel hesaplamalarda kullanımı kolay

olması nedeniyle farklı sensörlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında ve hedef tespit olasılıklarının hesaplanmasında oldukça yaygın olarak kullanıldığı ve bu çalışmada da aynı yaklaşımın kullanıldığı,

- Kaplama faktörünün, arama için harcanan gayret miktarı olduğu ve Denklem (1.12) kullanılarak hesaplanabildiği örnekler verilerek anlatılmış ve hesaplamalar yapılmıştır.

Üçüncü aşamada arama teorisinde kullanılan temel yöntemlerden olan,

- Sistemik aramanın; bir arayanın bir sahada elde edilebilecek en yüksek TO'nı veren en iyimser çözüm olduğu ve Denklem (1.16) kullanılarak hesaplanabildiği ve arayanın bu değerden daha yüksek olasılık değeri elde edemeyeceği, sistemik arama yapmak isteyen bir kişinin Şekil 1.15'te gösterilen çim biçme makinesinin bir bahçede bıraktığı ize benzer bir yol izleyeceği,
- Rastgele aramanın; sistemik/ simetrik olmayan yöntemlerle yapıldığı, HTO'nın hedefin Şekil 1.16'da gösterilen her bir adımında o adım için hedefin tespit menzili içinde bulunması ile hedefin sensör tarafından tespit edilmesi olasılıklarının çarpımına eşit olduğu, her bir adımda HTO'nın Denklem (1.19) kullanılarak hesaplanabildiği, tüm arama faaliyetleri için toplam TO'nın Denklem (1.25) kullanılarak hesaplanabildiği,
- Paralel arama yönteminin; mevkisi bilinmeyen bir hedefin aranmasında en çok kullanılan yöntemlerden biri olduğu, yeterli sayıda arayan bulunduğu anda arama sahasının bir defada kaplanabilmesi için geliştirildiği, bu yöntemde arayanların S birim mesafe aralıklarla yan yana, paralel rotalarda arama yaptığı ve hedefin ortalama TO'nın arayanlar arası mesafeye bağlı olduğu,
- Küp kök yasasının; kaplama faktörü bilindiğinde paralel arama yöntemi ile elde edilecek TO'nı hesaplamının bir diğer yöntemi olduğu, bu modelde aralarında S mesafe bulunan arayanların hedefi tespit olasılığı hesaplamalarında standart normal dağılım tablosu (z tablosu) kullanıldığı ve olasılık hesaplamasının Denklem (1.38) kullanılarak yapılabildiği,

- Bariyer arama yönteminin; niyeti ve kabiliyeti önceden tahmin edilebilen hedefler için kullanıldığı ve bu yöntem ile niyeti kanal veya boğaz gibi paralel hatlarla sınırlandırılmış bir sahadan geçiş yapmak, belirli bir noktadan uzaklaşmak ve düzlem üzerinde/ alanda belirli bir noktaya varmak/ ulaşmak olan hedeflerin tespit edilebildiği, bariyer araması kapsamında genişleyen kare araması, kelebek bariyer araması ve hat bariyer araması yöntemlerinin kullanıldığı anlatılmış ve bu çalışma kapsamına giren kelebek bariyer araması ve hat bariyer araması hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Kelebek bariyer aramasının; bir kanaldan geçiş yapan sürati arayan süratinden küçük olan hedeflerin tespitinde kullanıldığı, arayan sayısı, arayan sürati, hedef sürati ve kanal genişliğine göre ilerleyen, gerileyen ve simetrik kelebek bariyer araması şekillerinde yapılabildiği, simetrik kelebek aramasında arayanın Şekil 1.29'da gösterildiği şekilde sürekli aynı hat üzerinde arama yaptığı, Şekil 1.27'de gösterilen ilerleyen kelebek bariyer aramasının genellikle tercih edilen zaman dilimlerinde yapılmasına imkân tanıdığı ve bariyer hattını kaplamak için fazla miktarda arayan bulunduğu belirtilmiştir.

Hat bariyer araması bir kanaldan geçiş yapan sürati arayan süratine yakın olan hedeflerin tespitinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada literatürde yer alan bir arayan ile yapılan iki farklı hat bariyer arama yönteminin etkinliklerinin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Arayanın saha sınırında aksi yöne döndüğü yöntem-I ve arayanın saha sınırına R mesafe kala aksi yöne döndüğü yöntem-II karşılaştırılması, yöntem-I için hazırlanan Denklem (1.67) ve yöntem-II için hazırlanan Denklem (1.74) kullanılarak yapılmış ve karşılaştırma grafiği Şekil 1.39'da sunulmuştur. Sonuç olarak yöntem-II kullanılarak arama yapmanın daha etkin olduğu görülmüştür.

Hat bariyeri ile kelebek bariyerinin karşılaştırması, yöntem-II için geliştirilen hat bariyeri Denklemi (1.55) ve kelebek bariyer Denklemi (1.54) kullanılarak elde edilen ve Şekil 1.32'de verilen grafik yardımıyla yapılmıştır.

Üçüncü bölümde genellikle arama faaliyetlerinin birden çok arayan ile yapıldığı ve bu sebepten dolayı arama faaliyetlerinde koordinasyon ve planlamanın çok önemli

olduğu, hedefe ve coğrafyaya uygun arama yonteminin kullanılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Koordineli arama yontemleri konusunda arama teorisi literatüründe bariyer araması yontemlerinden kelebek bariyer yontemi için incelemelerin yer aldığı ancak hat bariyeri için herhangi bir çalışma yer almadığı, birden fazla arayan bulunduğunda ise HTO hesaplamalarında tek arayan için kullanılan denklemin tüm arayanların toplam tarama genişliğine sahip bir arayan var olduğu kabul edilmesi ile hesaplandığı belirtilmiş ve bu kapsamda günümüzdeki kullanılmakta olan yontemin doğruluğunun test edilmesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bu amaçla arayan sayısı iki ve üç olduğunda çok farklı şekillerde yapılabilen koordineli hat bariyer araması yontemlerinden en sık kullanılan ve şekil 2.1’de sunulan yan yana arama yontem-I ve aynı saha içinde tahsis edilmiş farklı sahalarda arama yontem-II incelenmiştir.

İki arayanın aralarında iki tespit menzili olacak şekilde aynı rota sürat ile ilerleyerek arama ve dönüşleri aynı anda yaptıkları yontem-I için HTO_{2-1} Denklemi (2.17) ve arayanların aralarında $D/2$ mesafe olacak şekilde kendilerine tahsisli birbirinden farklı sahalarda, saha sınırına R mesafe kaldığında aksi yöne dönerek yaptıkları arama yontem-II için HTO_{2-2} Denklemi (2.25) geometrik hesaplamalar kullanılarak oluşturulmuştur.

Her iki yontemin karşılaştırılması olasılık hesabı denklemleri, HTO_{2-1} Denklemi (2.17) ve HTO_{2-2} Denklemi (2.25) kullanılarak elde edilen değerler kullanılarak hazırlanan şekil 2.9 yer alan üç boyutlu grafik ile yapılmıştır. İki arayan için yapılan karşılaştırma sonucunda;

- Hedef sürati maksimum, arayan sürati minimum olduğunda TO’nın minimum olduğu,
- Hedef sürati minimum, arayan sürati maksimum olduğunda TO’nın maksimum olduğu,
- Yontem-II kullanılarak yapılan aramalardan elde edilen tüm olasılık değerlerinin yontem-I değerlerinden daha yüksek olduğu bu kapsamda iki arayan ile yapılan koordineli aramalarda yontem-II’nin daha etkin olduğu,

- Yöntem-I'den elde edilen TO değerlerinin, her iki arayanın aynı anda hareketi sonucunda kapladıkları sahalarda bindirme olması sebebiyle daha düşük olduğu, bindirme miktarının ise Denklem (2.26) kullanılarak hesaplanabildiği tespit edilmiştir.

Üç arayanın aralarında iki tespit menzili olacak şekilde aynı rota sürat ile ilerleyerek arama ve dönüşleri aynı anda yaptıkları yöntem-I için HTO_{3-1} Denklemi (2.51) ve arayanların aralarında $D/3$ mesafe olacak şekilde kendilerine tahsisli birbirinden farklı sahalarda, saha sınırına R mesafe kaldığında aksi yöne dönerek yaptıkları arama yöntem-II için HTO_{3-2} Denklemi (2.60) geometrik hesaplamalar kullanılarak hazırlanmıştır.

Her iki yöntemin karşılaştırılması olasılık hesabı denklemleri, HTO_{3-1} Denklemi (2.51) ve HTO_{3-2} Denklemi (2.60) kullanılarak elde edilen değerler kullanılarak hazırlanan Şekil 2.17'de yer alan üç boyutlu grafik ile yapılmıştır. Üç arayan için yapılan karşılaştırma sonucunda;

- Hedef sürati maksimum olduğunda TO'nın minimum olduğu,
- Hedef sürati minimum ve arayan sürati maksimum olduğunda TO'nın maksimum olduğu,
- Yöntem-II kullanılarak yapılan aramalardan elde edilen tüm olasılık değerlerinin yöntem-I değerlerinden yüksek olduğu,
- Yöntem-I'den elde edilen TO değerlerinin, her iki arayanın aynı anda hareketi sonucunda kapladıkları sahalarda bindirme olması sebebiyle daha düşük olduğu,
- Bindirme miktarının hesaplanması iki arayan için hazırlanan Denklem (2.26) kullanılarak elde edilen değer iki katı olduğu,

tespit edilmiştir.

Günümüzde yapılan arama faaliyetlerinde birden fazla arayan bulunduğu uygun olasılık denklemi bulunmadığından arama faaliyetleri planlamasında bir arayan için kullanılan hedef TO Denklemi (1.74) kullanılmaktadır. Bu eksikliği gidermek için bu tez çalışmasında birden fazla arayanın koordineli arama yapması durumu için olasılık

hesaplama denklemleri hazırlanmıştır. Günümüzde uygulanmakta olan koordineli arama olasılık hesaplama yönteminden elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada hazırlanan denklemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak günümüzde uygulanmakta olan yöntem incelenmiş ve iki arayan için karşılaştırma grafiği Şekil 2.18’de, üç arayan için karşılaştırma grafiği Şekil 2.19’da verilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde; arayan sayısı iki ve üç olduğunda yöntem-I kullanılarak elde edilen hedef TO değerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha düşük olduğu, koordineli arama yöntem-II kullanıldığında elde edilen hedef TO değerlerinin günümüzde kullanılan yöntemden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

İki ve üç arayan yöntem-I ile arama yaptığında günümüzde kullanılan yöntem ile daha yüksek tespit olasılıkları hesaplandığı tespit edilmiştir. Bu durumun planlayıcıları hatalı bir iyimserliğe yönlendirdiği ve gerçekte arzu edilen TO değerine daha az arama gayreti kullanılarak ulaşıldığı kanaatine sahip olmalarına sebep olduğu ve arama gayretinin yetersiz tahsisi neticesinde aranan cismin veya kişinin bulunması olasılığını azalttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak koordineli arama yöntem-I için TO hesaplamalarının günümüzde kullanılan yöntem ile yapılması aranan cismin önemi veya aranan kişinin hayatı göz önüne alındığında ağır sonuçlar doğurması muhtemeldir.

İki ve üç arayan yöntem-II ile arama yaptığında günümüzde kullanılan yöntem ile daha düşük tespit olasılıkları hesaplandığı tespit edilmiştir. Bu durumun planlayıcıları kötümser bir çözüme yönlendirdiği ve bunun sonucunda aranan cismin/kişinin bulunması için fazla miktarda arama gayreti tahsis edilebileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak başka arama faaliyetlerinde kullanılacak arama gayretlerinin gereğinden fazla miktarda kullanılması kısıtlı kaynakların yanlış kullanımına sebep olmakta ve arama faaliyetlerinin etkinliğini azalmaktadır.

Paralel hatlarla sınırlandırılmış bir kanaldan geçen hedefin tespit edilmesi probleminin optimizasyonu çalışmaları sonucunda oluşturulan denklemlerin doğrulanması için MATLAB programlama dilinde Monte Carlo simülasyonları hazırlanmıştır.

İlk aşamada tek arayanın kanal sınırına R mesafe kala dönmesi yönteminin benzetildiği simülasyondan elde edilen TO değerleri ve literatürde yer alan Denklem (1.74)'ten elde edilen değerlerin karşılaştırılması ile hazırlanan modelin doğrulaması için değişik arayan ve hedef sürati, tespit menzili ve kanal genişliği için senaryolar üretilmiş ve her bir senaryo 10^6 defa tekrar edilmiş, tüm tekrarlar sonucunda elde edilen TO değerleri ile Denklem (1.74) kullanılarak elde edilen TO değerlerinin karşılaştırması için Şekil 2.21'de verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde Denklem (1.74)'ten elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerlerin uyumlu olduğu, sonuç olarak hazırlanan simülasyonun tutarlı sonuçlar ürettiği ve iki arayan yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.17), iki arayan yöntem-II için hazırlanan Denklem (2.25), üç arayan yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.51) ve üç arayan yöntem-II için hazırlanan Denklem (2.60) denklemlerinin doğrulamasında kullanılabilceği tespit edilmiştir.

İkinci aşamada arayan sayısı iki ve yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.17)'den elde edilen değerlerin doğrulanması için deneme senaryoları oluşturulmuş, her bir deneme için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda elde edilen TO değerleri ile Denklem (2.17)'den elde edilen değerlerinin karşılaştırması için Şekil 2.21'de verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde Denklem (2.17)'den elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerlerin uyumlu olduğu bu kapsamda arayan sayısı iki ve yöntem-I için Denklem (2.17)'nin HTO hesaplamalarında kullanılabilceği,

Üçüncü aşamada arayan sayısı iki ve yöntem-II için hazırlanan Denklem (2.25)'ten elde edilen değerlerin doğrulanması için deneme senaryoları oluşturulmuş, her bir deneme için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda elde edilen TO değerleri ile Denklem (2.25)'ten elde edilen TO değerleri karşılaştırılması için Şekil 2.22'de verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde Denklem (2.25)'ten elde edilen değerlerin ile simülasyondan elde edilen değerler ile uyumlu olduğu bu kapsamda arayan sayısı iki ve yöntem-II için Denklem (2.25)'nin HTO hesaplamalarında kullanılabilceği,

Dördüncü aşamada arayan sayısı üç ve yöntem-I için hazırlanan Denklem (2.51)'den elde edilen değerlerin doğrulanması için deneme senaryoları oluşturulmuş, her bir

deneme için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda elde edilen TO değerleri ile Denklem (2.51)'den elde edilen değerleri karşılaştırılması için Şekil 2.23'te verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde Denklem (2.51)'den elde edilen değerler ile simülasyondan elde edilen değerlerin uyumlu olduğu bu kapsamda arayan sayısı iki ve yöntem-II için Denklem (2.51)'nin HTO hesaplamalarında kullanılabilceği,

Beşinci aşamada arayan sayısı üç ve yöntem-II için hazırlanan Denklem (2.60)'tan elde edilen değerlerin doğrulanması için deneme senaryoları oluşturulmuş, her bir deneme için simülasyon 10^6 defa tekrar edilmiş ve tüm tekrarlar sonucunda elde edilen TO değerleri ile Denklem (2.60)'tan elde edilen değerleri karşılaştırılması için Şekil 2.24'te verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde Denklem (2.60)'tan elde edilen HTO değerleri ile simülasyondan elde edilen değerlerin uyumlu olduğu bu kapsamda arayan sayısı iki ve yöntem-II için Denklem (2.60)'ın HTO hesaplamalarında kullanılabilceği ,

Nihai sonuç olarak yapılan dört simülasyon sonucunda elde edilen değerlerin teorik değerler ile uyumlu olduğu, bu kapsamda bu çalışma ile oluşturulan (2.17), (2.25), (2.51) ve (2.60) denklemlerinin birden fazla sayıda arayan bulunduğu HTO hesaplamalarında kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile arama teorisi temel kavramları ve yöntemleri hakkında bilgi verilerek bu konuda kısıtlı sayıda olan Türkçe kaynaklara katkı sağlanmış, literatürde eksikliği tespit edilen koordineli hat bariyer arama yöntemi konusunda HTO denklemleri hazırlanarak koordineli arama yöntemleri karşılaştırılmış ve günümüzde kullanılmakta olan TO hesaplama yönteminin etkinliği değerlendirilmiştir.

Hazırlanan bu çalışma ile elde edilen sonuçlar; batan gemi kazazedelerinin, bir nehirde ya da kanalda kaybolan bir cismin veya insanın aranması, silah, akaryakıt, insan ve uyuşturucu maddeleri yasal olmayan yollarla ülke sınırları içine sokmaya veya ülke sınırlarından dışarı çıkarmaya çalışan kaçakçılarının yakalanması, korunmaya ihtiyacı olan liman, havalimanı, özel, kamu alan ve binaları vb. yerlerin emniyetinin sağlanması gibi alanlarda arama ekipleri, uçaklar, insansız hava araçları, gemilerin daha etkin kullanılması için kullanılabilir.

Gelecek dönemde yapılacak çalışmalarda, bu çalışma sonucunda elde edilen teorik bilgiler kullanılarak bir kanaldan geçiş yapan hedefin tespit edilmesi probleminin daha farklı alanlarda da incelenebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, denizde sonar ile yapılan aramalarda süratin artması ile sensör tespit menziline azalması göz önünde bulundurularak en uygun arama süratinin belirlenmesi, düzgün dağılımdan farklı hedef dağılım yoğunluğuna sahip bir sahada hedef araması, arayan sayısı, arama süresine göre HTO'nun maliyet etkinliğinin analizinin yapılması, arama faaliyetlerini etkileyen değişik ortam şartları altında (kar, yağmur, rüzgar, akıntı vb.) hedef araması, farklı hedef tipleri için çözüm geliştirilmesi, vb. konular gelecekte ayrı birer araştırma konusu olarak ele alınabilecektir.

Bu tez tamamen yazarın bireysel görüşlerini yansıtmakta olup Türk Silahlı Kuvvetlerinin görüşlerini yansıtmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Churchill W., *The Second World War. Vol. II, Their Finest Hour*, Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts, 718, 1949
- [2] Dr.Sheffield G., The Battle of the Atlantic: The U-boat peril, BBC History, http://www.bbc.co.uk/history/worldwars/wwtwo/battle_atlantic_01.shtml, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2011).
- [3] Llewellyn-jones M., *The Royal Navy and Anti-Submarine Warfare, 1917-49*, Routledge, London and New York, 2006.
- [4] Chudnovsky D, *Search Theory Some Recent Developments*, Marcel Decker, 1989.
- [5] Richardson H. R., Stone L. D., Operations Analysis During the Underwater Search for the Scorpion, *Naval Research Logistics*, 1970, **18**, 141-157.
- [6] Carr S., *US Navy Salvage Report, Suez Canal Salvage Operations in 1974*, Department of Navy, Naval Sea Systems Command, 2008.
- [7] Richardson H. R., Discenza J. H., National Sar manual, *Naval Research Logistics*, 1980, **27**, 659-680.
- [8] Taff L. G., J. Icarus., *Optimal searches for asteroids*, Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts, 1984.
- [9] Haley K. B., Stone L. D., *Search Theory and Applications*, Plenum Press, New York , 1980.
- [10] Hoffman G., The search behavior of the desert isopod *Hemilepistus reaumuri* as compared with a systematic search, *Behavioral Ecology Sociobiology*, 1983, **13**, 93-106.
- [11] Hoffman G., *Optimization of Brownian Search Strategies*, Biological Cybernetics, Springer-Verlag, 21-31, 1983.
- [12] Ozan T. M., Chang-Tong N., Saatcioglu O., Application of search theory to maintenance and inspection problems, *International Journal of Production Research*, 1976, **14**, 85-98.
- [13] Middlemas T., *Observations from UK Dog Training Data*, Centre for Search Research and Northumberland National Park SAR Team, 2001.
- [14] Koopman B. O., *Search and Screening, General Principles and Historical Applications*, Pergammon Press, New York, 1980.

- [15] Morse P. M., *In at the Beginnings: A Physicist's Life*, MIT Press, Cambridge, 1977.
- [16] Stone L. D., *Theory of Optimal Search*, Academic Press, New York, 1975.
- [17] Washburn A. R., *Search and Detection. Military Applications Section*, ORSA, Arlington, Virginia, 1981.
- [18] Benkoski S., Monticino J., Weisinger A., *Survey of the Search Theory Literature*, Naval Research Logistics, 38, 1991.
- [19] Stone L. D., *Theory of Optimal Search*, Academic Press, New York, 22, 1975.
- [20] Washburn A., Kres M., *Combat Modelling*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 145, 2009.
- [21] Cooper D. C., Frost J. R., Quincy Robe R., *Compatibility of Land SAR Procedures with Search Theory*, Potomac Management Group Inc., 2003.
- [22] Operations Analysis Study Group, *Naval Operations Analysis*, Naval Institute Pres, 112, 1989.
- [23] Papoulis A., *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, McGraw Hill-Inc, 55, 1991.
- [24] Karataş M., Bistatik ve multistatik sualtı sensör ağlarının optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 301634.
- [25] Washburn A., *Search and Detection*, Informs Topics in Analysis series, 2-9, 2002.
- [26] Frost J.R., *The Theory of Search*, Soza&Company Ltd. and Office of Search and Rescue U.S. Coast Guard, 5-1, 1999.
- [27] McNish M. J., Effects of Uniform Target Density on Random Search, Doktora Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey/ABD, 1987.
- [28] Canadian Coast Guard, *National Search And Rescue Manual*, BGA 209001/FP001-DFO 5449, 1998.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Erseven M., **Geçili H.**, Çınar A., Kumru P.Y., Yapay Bağışıklık Sisteminin iş çizelgelemeye uygulanması ve SPSS yazılımı ile istatistiksel fark testleri ile analiz edilmesi, *Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği 31. Ulusal Kongresi*, Sakarya, Sakarya Üniversitesi, 05-07 Temmuz 2011.
- [2] Karataş M., **Geçili H.**, The role of decision support systems in steel industry, *International Iron & Steel Symposium*, İstanbul, Karabük Üniversitesi, 2-4 Nisan 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Geçili 1979 yılında Niğde’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa’da, liseyi Deniz Lisesi/ İstanbul’da tamamladı. 2002 yılında lisans eğitimini Deniz Harp Okulu Endüstri Mühendisliği A.B.D’da tamamladı. 2002-2008 yılları arasında Harp Filosu Komutanlığında teğmen ve üsteğmen rütbesi ile görev yapmasını takiben 2008-2010 yılları arasında Karamürselbey Eğitim Merkezi Komutanlığında bölük komutanlığı görevini yaptı. Deniz Yüzbaşı Hakan Geçili halen Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde Denizaltı Savunma Harbi taktik geliştirme çalışmalarına devam etmektedir.