

**ÇOKLU VERİ FÜZYONU TABANLI İÇ ORTAM
KONUMLANDIRMA VE TAKİP SİSTEMİ TASARIMI**

**MULTI SENSOR FUSION BASED INDOOR
LOCALIZATION AND TRACKING SYSTEM DESIGN**

SERTAÇ BUĞRA KAYA

PROF. DR. ALİ ZİYA ALKAR
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

SERTAÇ BUĞRA KAYA' nın hazırladığı "**Çoklu Veri Füzyonu Tabanlı İç Ortam Konumlandırma ve Takip Sistemi Tasarımı**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Umut ORGUNER
Başkan



Prof. Dr. Ali Ziya ALKAR
Danışman



Prof. Dr. Emre AKTAŞ
Üye



Doç. Dr. Umut SEZEN
Üye



Doç. Dr. Berkan DÜLEK
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin / raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren Ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

01. / 10. / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı SOYADI

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. Şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü ve fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7. 2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/10/2018



SERTAÇ BUĞRA KAYA

ÖZET

ÇOKLU VERİ FÜZYONU TABANLI İÇ ORTAM KONUMLANDIRMA VE TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

Sertaç Buğra KAYA

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Ziya ALKAR

Ekim 2018,98 Sayfa

Bu tez çalışmasında alınan sinyal gücü ve ivme ölçümleri kullanılarak iç ortam konumlandırma sistemi çalışılmıştır. Alınan sinyal gücü ve ivmeölçer ile ayrı ayrı yapılan konumlandırma çalışmalarının ardından bu iki veri farklı tipte Kalman filtresinde füzyonda kullanılarak iç ortamda konumlandırma ve takip konusu üzerine çalışılmıştır.

Alınan sinyal gücü ile yapılan çalışmalarda iç ortamda yol kayıp katsayısı olası farklı anten konumları ve bunun sonucu olarak farklı anten örüntüleri kesişimleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Simülasyon ortamında trilaterasyon yöntemi kullanılarak farklı standart sapmalara sahip gürültü sinyalleri ile alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma hedef hareketli ve hedef sabitken yapılmıştır.

Sayısal integral alma yöntemleri kullanılarak ivme verisinden konum hesaplanmıştır. İvmeölçer tabanlı konumlandırmada iki farklı ivmeölçer modeli çıkarılmış ve bu modeller üzerinden iki farklı algoritma ile hız ve konum hesaplanmıştır. Farklı ivme modelleri ile farklı iki konum ve hız hesaplama algoritması simülasyon ortamında test edilmiştir. Seçilen algoritma kullanılarak elde edilen hız verisi, veri füzyonunda ekstra girdi olarak kullanılmıştır.

İvme ve alınan sinyal gücü ölçümlerini veri füzyonunda kullanmak amacıyla genişletilmiş Kalman filtresi uygulanmıştır. Süreç gürültüsünün Genişletilmiş Kalman filtresinin kestirim performansına etkisi üretilen gürültüsüz ve gürültülü hareket verileri üzerinden

incelenmiştir. Genişletilmiş Kalman filtresinde ivme ve alınan sinyal gücü verilerine ek olarak, hız verisinin füzyona dâhil edilmesinin konum kestirim performansına etkileri incelenmiştir.

Alınan sinyal gücü gibi gürültü sinyalinin modellenmesi zor ve gürültü karakteristiği değişken verilerin kullanıldığı sistemlerde ölçüme ve sürece ait gürültü kovaryanslarını uyarlanır olarak hesaplayan uyarlanır Kalman filtresi tezde çalışılmıştır. Uyarlanır Kalman filtresinin değişken süreç gürültülerinde konum kestirim performansı incelenmiştir. Ayrıca, alınan sinyal gücü, ivme ve hız verilerine eklenen standart sapması değişen gürültü sinyalleri ile genişletilmiş Kalman filtresi ve uyarlanır genişletilmiş Kalman filtresinin konum kestirim performansları simülasyonlar yapılarak karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında kapalı ortamda deneysel veri toplamak ve simülasyonlar ile elde edilen sonuçları deneysel veriler üzerinde gözlemlemek amacıyla bir test düzeneği tasarlanmıştır. Sistemde sabit hareketli düğümler arasında alınan sinyal gücü ölçümü yapan ve ölçülen değeri sayısal sinyal işlemcisine gönderen, ivmeölçerden ve düğümlerden alınan ham verileri anlamlandıran ve veri kaydediciye istenilen frekansta gönderen gerçek zamanlıya yakın yazılımlar geliştirilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen çıkarımlar, veri kaydedicide kayıt altına alınan deneysel veriler üzerinde uygulanmış konum kestirim çıktıları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç Ortam Konumlandırma, Kalman Filtresi, Çoklu Veri Füzyonu, Uyarlanır Kalman Filtresi, Alınan Sinyal Gücü, İvme.

ABSTRACT

MULTI SENSOR FUSION BASED INDOOR LOCALIZATION AND TRACKING SYSTEM DESIGN

Sertaç Buğra KAYA

Master of Science, Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali Ziya ALKAR

October 2018, 98 Pages

In this thesis, indoor localization problem is investigated using received signal strength indicator and acceleration measurements. After localization with received signal strength and accelerometer separately, indoor localization is studied with the fusion of these two measurements with Kalman filter.

In studies with received signal strength, path loss exponent is calculated according to possible different antenna pattern intersections. Localization of a static and dynamic target with generated signals that have noise with different standard deviation is studied in a simulation environment. Position is calculated by using integration of the accelerometer data. In accelerometer based positioning, two accelerometer models with two different algorithms are studied to obtain velocity and position. The speed data obtained using the selected algorithm is used as an extra input in the data fusion.

Extended Kalman filter is applied to use the acceleration and received signal strength measurements in the data fusion. The values of the process and measurement noise used in the Extended Kalman filter are explained. Also the state transition matrix and measurement matrices used in thesis are specified. The effect of process noise on the estimation performance of Extended Kalman filter with noise and no noise motion is studied. In addition to acceleration and received signal strength in extended Kalman filter, the effect of inserting speed data into fusion is analyzed.

The estimation performance of adaptive Kalman filter with unknown noise characteristics of measurement model and the position estimation performance of the Kalman filter with variable process noise are studied. Extended Kalman filter and the adaptive extended

Kalman filter's position estimation performance in variable covariance values in received signal strength, acceleration and velocity data were compared by simulations.

In the thesis study, a test set up is designed to collect empirical data and to observe the results obtained by simulations in indoor environment. The interfaces of the hardware components and components used in the test setup are explained. Real-time software that measures the signal strength between anchor nodes and beacon node in the system is developed. Raw data that is obtained from the accelerometer and nodes is sent to the data recorder with the critical frequency by means of a real time software. The inferences obtained from the simulations are applied on the empirical data and the location estimation results on empirical data are shown.

Keywords: Indoor Localization, Extended Kalman Filter, Multi Sensor Fusion, Adaptive Kalman Filter, Receive Signal Strength Indicator, Acceleration.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkı ve eleőtirileriyle yol gösteren, her zaman yapıcı tavrıyla beni çalışmaya teővik eden Sayın Prof. Dr. Ali Ziya Alkar'a, yorum ve değerlendirmeleri ile tezime ve mesleki hayatıma katkıda bulunan Sayın Doç. Dr. Umut Orguner'e, Sayın Prof. Dr. Emre Aktaş'a, Sayın Doç. Dr. Umut Sezen'e ve Sayın Doç. Dr. Berkan Dlek'e içtenlikle teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan aileme ve sadece kalp atıőı sesleriyle bile beni çalışmaya ve daha iyiye ulaőmaya teővik eden kızım Birce'ye her zaman minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	viii
ŞEKİLLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 KONUMLANDIRMA VE TAKİP YÖNTEMLERİ	3
2.1 Kablosuz Sensör Ağlarında Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma	3
2.1.1 Ölçüm Çeşitleri.....	3
2.1.2 Yol Kayıp Tahmin Modelleri	6
2.1.3 Kablosuz Sensör Ağında Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma	11
2.2 İvme Ölçümü Tabanlı Konumlandırma.....	21
2.2.1 İlke.....	21
2.2.2 Sayısal İntegral Alma Yöntemleri	21
2.2.3 Örnekleme Frekansının İntegral İşlemine Etkileri	22
2.2.4 İvme Ölçer Sapması	23
2.3 Genişletilmiş Kalman Filtresi ile Hedef Konumlandırma ve Takip.....	28
2.3.1 Problem Tanımı	28
2.3.2 Sistem Modeli.....	30
2.3.3 Ölçüm Modelleri	30
2.3.4 İklendirme	32
2.3.5 Veri Füzyonu	32
2.4 Uyarlanırlı Genişletilmiş Kalman Filtre ile Hedef Konumlandırma ve Takip	35
2.4.1 Problem Tanımı	35
2.4.2 Sistem, Ölçüm Modelleri ve İklendirme	37
3 SİMÜLASYON SONUÇLARI	38
3.1 İvme Verileri Tabanlı Simülasyonlar	38
3.2 Alınan Sinyal Gücü Verileri Tabanlı Simülasyonlar.....	43
3.3 Alınan Sinyal Gücü ve İvme Verileri Füzyonu Simülasyonlar	47

3.3.1 Genişletilmiş Kalman Filtresinde Veri Füzyonu Simülasyonları.....	47
3.3.2 Uyarlanır Genişletilmiş Kalman Filtresinde Veri Füzyonu Simülasyonları	62
4 DENEYSEL ÇALIşMALAR	78
4.1 Sistemde Kullanılan Donanımsal Birimler.....	78
4.2 Sistem Mimarisi.....	81
4.3 Gerçek Zamanlı Yazılım Geliştirme	82
4.4 Deneysel Sonuçlar	85
4.4.1 İvme Ölçer Verileri Sonuçları	85
4.4.2 Alınan Sinyal Gücü Verileri Sonuçları.....	88
4.4.3 Veri Füzyonu Sonuçları.....	90
5 SONUÇLAR.....	94
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİş.....	98

ÇİZELGELER

Çizelge 1 Farklı Ortamlarda Ölçülen Yol Kayıp Katsayıları	10
Çizelge 2 Anten Konumlarına Göre Yol Kayıpları ve Hesaplanan Yol Kayıp Katsayıları	16
Çizelge 3 Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Simülasyon Parametreleri.....	43
Çizelge 4 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri	48
Çizelge 5 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri	54
Çizelge 6 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri	59
Çizelge 7 UGKF' de Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri.....	62
Çizelge 8 UGKF' de Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri.....	67
Çizelge 9 Değişken Gürültü Modelleri Değerleri Simülasyonları	73
Çizelge 10 RF100 PD6 RF modüllerin teknik özellikleri	78
Çizelge 11 MPU 6500 Teknik Özellikleri.....	79
Çizelge 12 F28335 Sayısal Sinyal Kontrolcüsü	79

ŞEKİLLER

Şekil 2-1 Üçgenleme Yöntemi	4
Şekil 2-2 Daire Keşimi Yöntemi.....	5
Şekil 2-3 Sabit Düğümünlerin Yerleşimi [20]	11
Şekil 2-4 Değişik Tiplerde Üçgen Yerleşim[20].....	12
Şekil 2-5 Yarım Dalga Dipol Antene Ait Yatay Yayın Şekli[26].....	14
Şekil 2-6 RF100PD6 Radyo Frekans Modülü.....	14
Şekil 2-7 Alıcı ve Verici Antenlerin Olası Farklı Patern Kesişimleri	15
Şekil 2-8 Yol Kayıp Katsayıları.....	17
Şekil 2-9 Daire Keşimi Metodu İle Konumlandırma	19
Şekil 2-10 Farklı Örnekleme Sıklıklarında Sayısal İntegral Alma.....	22
Şekil 2-11 MPU 6500 İvme Ölçümleri	23
Şekil 2-12 MPU 6500 İvme Ölçümleri	24
Şekil 2-13 Y Ekseninde Harekete Bağlı Standart Sapmadaki Değişim	24
Şekil 2-14 Sabit Hız ve Hedef Sabit Tespit Eklenmiş Algoritma Akış Diyagramı.....	26
Şekil 2-15 Sayısal İntegral Alma Algoritması	27
Şekil 3-1 MPU 6500 İvme Modeli ile Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği	39
Şekil 3-2 MPU 6500 İvme Modeli ile Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Konum Grafiği..	39
Şekil 3-3 MPU 6500 İvme Modeli ile Normal İntegral Alma Algoritması Hız Grafiği	40
Şekil 3-4 MPU 6500 İvme Modeli ile Normal İntegral Alma Algoritması Konum Grafiği	40
Şekil 3-5 Standart İvme Modeli Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği	41
Şekil 3-6 Standart İvme Modeli Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği	41
Şekil 3-7 Standart İvme Modeli ve Normal İntegral Alma Algoritması Hız Grafiği.....	42
Şekil 3-8 Standart İvme Modeli ve Normal İntegral Alma Algoritması Konum Grafiği.....	42
Şekil 3-9 Birinci Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri.....	44
Şekil 3-10 Birinci Simülasyon Konum Sonuçları	44
Şekil 3-11 İkinci Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri	45
Şekil 3-12 İkinci Simülasyon Konum Sonuçları.....	45
Şekil 3-13 Üçüncü Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri	46
Şekil 3-14 Üçüncü Simülasyon Alınan Konum Sonuçları.....	46
Şekil 3-15 Simülasyon 1 Konum Kestirimi Ortalama Karekök Hatası = 0,6430 m	49
Şekil 3-16 Simülasyon 1 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	49
Şekil 3-17 Simülasyon 1 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	50
Şekil 3-18 Simülasyon 1 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	50
Şekil 3-19 Simülasyon 2 Konum Kestirimi Ortalama Karekök Hatası = 1,1428 m	51
Şekil 3-20 Simülasyon 2 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	51
Şekil 3-21 Simülasyon 2 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	52
Şekil 3-22 Simülasyon 2 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	52
Şekil 3-23 Simülasyon 3 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 0,3995m.....	55
Şekil 3-24 Simülasyon 3 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	55
Şekil 3-25 Simülasyon 3 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	56
Şekil 3-26 Simülasyon 3 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	56
Şekil 3-27 Simülasyon 4 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,4015m	57
Şekil 3-28 Simülasyon 4 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	57
Şekil 3-29 Simülasyon 4 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	58
Şekil 3-30 Simülasyon 4 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	58
Şekil 3-31 Simülasyon 5 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 1,1438 m.....	60

Şekil 3-32 Simülasyon 5 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	60
Şekil 3-33 Simülasyon 5 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	61
Şekil 3-34 Simülasyon 5 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	61
Şekil 3-35 Simülasyon 6 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,7268 m	63
Şekil 3-36 Simülasyon 6 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	64
Şekil 3-37 Simülasyon 6 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	64
Şekil 3-38 Simülasyon 6 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	65
Şekil 3-39 Simülasyon 6 Iraksama Anında Konum Kestirimi	65
Şekil 3-40 Simülasyon 7 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,5413 m	68
Şekil 3-41 Simülasyon 7 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	68
Şekil 3-42 Simülasyon 7 Kovaryans Matrisi Değerler.....	69
Şekil 3-43 Simülasyon 7 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	69
Şekil 3-44 Simülasyon 8 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 0,6983.....	70
Şekil 3-45 Simülasyon 8 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	70
Şekil 3-46 Simülasyon 8 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	71
Şekil 3-47 Simülasyon 8 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	71
Şekil 3-48 Simülasyon 9 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,9459 m	74
Şekil 3-49 Simülasyon 9 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	74
Şekil 3-50 Simülasyon 9 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	75
Şekil 3-51 Simülasyon 9 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	75
Şekil 3-52 Simülasyon 10 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 1,0681 m	76
Şekil 3-53 Simülasyon 10 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi	76
Şekil 3-54 Simülasyon 10 Kovaryans Matrisi Değerleri.....	77
Şekil 3-55 Simülasyon 10 Ortalama Karekök Hatası Değişimi	77
Şekil 4-1 MPU 6500 Sayısal Hareket Takip Sensörü	79
Şekil 4-2 Veri Kaydedicisi	80
Şekil 4-3 Donanımsal Sistem Mimarisi	80
Şekil 4-4 Test Düzenegi	81
Şekil 4-5 Alınan Sinyal Gücü Verisi Ölçümü Akış Diyagramı	82
Şekil 4-6 Alınan Sinyal Gücü Verilerinin Anlamlandırılması	83
Şekil 4-7 İvmeölçer Verisinin Alınması ve Hesaplanması	84
Şekil 4-8 X ve Y Ekseninde İvme Verileri.....	85
Şekil 4-9 X ve Y Ekseninde Geleneksel İntegral Alma Yöntemi ile Hesaplanan Hız.....	86
Şekil 4-10 X ve Y Ekseninde Geleneksel İntegral Alma Yöntemi ile Hesaplanan Konum.....	86
Şekil 4-11 X ve Y Ekseninde Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması ile Hesaplanan Hız	87
Şekil 4-12 X ve Y Ekseninde Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması ile Hesaplanan Konum ...	87
Şekil 4-13 Sabit Düşümlerden Alınan Sinyal Güçleri Ölçümleri.....	88
Şekil 4-14 Trilaterasyon Yöntemi İle X ve Y Ekseninde Konum Hesabı.....	89
Şekil 4-15 Trilaterasyon Yöntemi İle Hareketli Hedefin Konumunun Harita Üzerinde Gösterimi.	89
Şekil 4-16 Trilaterasyon Yöntemi ile Sabit Hedef Konumunun Haritada Gösterimi.....	90
Şekil 4-17 GKF' de İvme ve Alınan Sinyal Gücü Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi.....	91
Şekil 4-18 GKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi .	91
Şekil 4-19 GKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi .	92
Şekil 4-20 UGKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
GKF	Genişletilmiş Kalman Filtresi
KF	Kalman Filtresi
UKF	Uyarlanır Kalman Filtresi
kWatt	Kilo Vat
dB	Desibel
DSP	Dijital Sinyal İşlemci
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
CAN	Controller Area Network
SPI	Serial Peripheral Interface
DA	Doğru Akım
Hz	Hertz

1 GİRİŞ

İç konumlandırma ve takip sistemleri farklı uygulamalarda önemli yer tutmaktadır. Küresel konumlandırma sistemi (GPS), konumlandırma sistemlerinden en çok kullanılanı ve en doğru çalışandır. Küresel konumlandırma sisteminin yüksek doğrulukta konum hesaplayabilmesi için kullanılan sensörün tipine bağlı olarak farklı sayıda uydu ile görüş hattında haberleşebilmesi gerekmektedir. Ancak görüş hattında haberleşme iç ortamlarda her zaman mümkün olmayan bir durumdur. Ayrıca, düşük güç tüketimi ile çalışması gereken pille beslenen sistemlerde küresel konumlandırma sistemi kullanılamamaktadır. Bu nedenle, kablosuz sensör ağlarında sinyalin ölçülebilen özelliklerinden varış zamanı (ToA) [1], varış açısı (AoA) [2] ve alma sinyal gücü göstergesi (RSSI) [3] kullanılarak konum tahmini yapan sistemler üzerine çalışılmıştır. Dış ortam konumlandırma uygulamalarındaki GPS gibi herkes tarafından ortak kabul görmüş bir çözüm bulunmaması nedeniyle daha düşük maliyetli ve doğruluğu daha yüksek yöntemlere erişmek amacıyla iç ortam konumlandırma sistemlerinde çalışmalar devam etmektedir.

İç ortam konumlandırma sistemlerinde sinyalin alıcı düğüm tarafında ölçülen açı, varış zamanı ve varış şiddeti gibi özelliklerine bağlı olarak elde edilen mesafeler; geometrik, parmak izi, maliyet fonksiyonu minimizasyonu gibi yöntemler kullanılarak gezgin düğümüne ait konum tahmin edilir. Üçgenleme yönteminde [4], üçgenin bir köşesi hesaplanmak istenen konum olup, bilinen bir kenar uzunluğunun ve hesaplanan iki açı değeri ile birlikte kullanılmasıyla hareketli düğümün konumu olan üçgenin bilinmeyen köşesi hesaplanabilir. Daire kesişimi yönteminde [5], sabit düğümlerle hareketli düğüm arasında ölçülen mesafelerde yarıçaplı daireler çizilir. Hareketli düğümün konumu iki boyutlu bir ortamda en az üç sabit düğüm yardımıyla çizilen üç dairenin kesiştiği nokta bulunarak yapılır. Parmak izi yönteminin çevrimdışı safhasında, hareketli düğüm bilinen bir nokta için tüm sabit düğümlerden ölçtüğü sinyal şiddetlerini kullanarak sinyal şiddeti haritası [6] oluşturulur. Çevrimiçi süreçte ölçülen sinyal şiddeti oluşturulan haritada kullanılarak hareketli düğüm konumlandırılır.

Farklı sensörler kullanılarak değişik yaklaşımlar ile hedefin konumlandırılmasına çalışılsa da iç konumlandırma sisteminde kullanılabilen sensörler ivme verilerinden konum elde eden ve sinyallere ait ölçtüğü farklı niceliklerden konum elde edebilen sensörlerdir. İvmeölçer gibi sensörlerde konum elde edebilmek için ilk konumun sisteme beslenmesi

gerekir. İklendirmenin ardından integral alınarak konumun hesaplanması nedeniyle küçük hatalar zamanla hesaplanan konumda büyük hatalara neden olmaktadır. Alıcı tarafında sinyallere ait ölçüm yapabilen sensörlerde ise bilinen koordinatlara olan mesafeler, yön veya sinyalin ulaşma zamanı ölçülerek konum hesaplanır. Referans koordinatlardan ölçülen değerler iki boyutlu uzayda konum bulmak için yeterlidir. Çalışmalarda bahsedilen iki tip sensörün birlikte kullanılmasıyla [7] ve [8], bu sensörlerin zayıf yanları giderilerek daha iyi sonuçlar alınabilmektedir.

İç ortam konumlandırmada ise alınan sinyal gücü, sinyal alış açısı, sinyal varış zamanı farkı ve ivme verilerinin Kalman filtre [9] ve türevlerinde birlikte kullanılmasıyla konum kestirim performansı artırılır. Küresel konumlandırma sistemi ve atalatsel ölçüm birimi verilerinin Kalman filtrede füzyonda kullanılması [10]'da bulunabilir. Varış zamanı farkı ile ivmeölçer verilerinin genişletilmiş Kalman filtresinde füzyonda kullanılmasıyla ilgili çalışma [11] ve alınan sinyal gücü ile ivmeölçer birimini Kalman filtresinde kullanan çalışma [12] iç ortam konumlandırmada farklı tipte konum elde edebilen sensörlerin birlikte kullanılmasına örnektir.

KF hareketli sistemlerin takibinde sıkça kullanılan bir uygulamadır. İlk durum vektörüne ve gürültü modellerine ait istatistiksel değerlerin bilinmemesi veya değişkenlik göstermesi KF' nin kullanıldığı uygulamalarda konum kestirim doğruluğunun düşmesine ve hatta ırsama problemlerine neden olabilir. Bu nedenle gürültü istatistikleri bilinmeyen veya değişen sistemlere uyarlanabilen KF, gürültü istatistiklerinin kestirim performansına etkisini azaltır. Yenilik tabanlı uyarlanır kestirim ve çok modellen uyarlanır kestirim olmak üzere genelde literatürde kullanılan iki çeşidi olan UKF' nin bu çeşitlerine ait bilgi [13]'de bulunabilir.

Bu tez çalışmasında konumlandırma, takip ve veri türetmede kullanılan formüller Bölüm 2'de anlatılmıştır. Bölüm 3'te çalışmada yapılan simülasyonlar ve parametreleri ile sonuçları verilmiştir. Deneysel veri toplamak amacıyla kurulan test düzeneği, deneysel veriler üzerinden yapılan çalışmalar ve gerçek zamanlı yazılıma ait detaylar ise Bölüm 4'te anlatılmıştır.

2 KONUMLANDIRMA VE TAKİP YÖNTEMLERİ

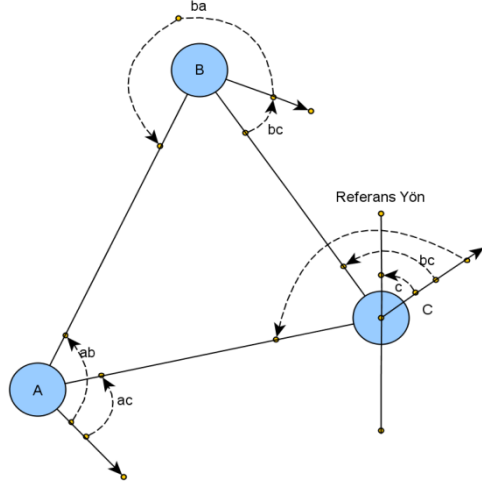
2.1 Kablosuz Sensör Ağlarında Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma

2.1.1 Ölçüm Çeşitleri

Alıcı düğüm tarafında sinyalin ölçülebilen nitelikleri iç ortam konumlandırma sistemlerinde mesafe ve konum tespitinde kullanılmaktadır. Açık ölçümünde (Angle-of-Arrival - AoA), alıcı tarafında alınan sinyalin referans bir doğru ile yaptığı açı kullanılarak konum tespiti yapılır. En az iki adet konumu bilenen noktadan ölçülen sinyalin açı değerlerine göre bir kenarının uzunluğu ve bu kenara ait iki köşesinin koordinatı bilinen üçgenin koordinatı bilinmeyen köşesi bulunabilir. Diğer bir deyişle, iki adet konumu bilinen sabit düğüm ve iki adet ölçülen açı değeri ile hareketli düğümün konumu bulunabilir. Varış zamanı (Time-of-Arrival - ToA) ölçümünde sinyalin verici ve alıcı arasında aldığı süre ölçülür ve yayılma hızı ile çarpılarak mesafe bulunur. Sinyalin alıcı ve verici arasındaki aldığı zamanın ölçülebilmesi için alıcı verici arasında zaman eşlemesi gereklidir. Hareketli düğümde en az üç sabit düğümden ölçülen sinyal varış zamanlarının daire kesişimi yönteminde kullanılmasıyla hareketli düğümün konumu tespit edilebilir. AoA ve ToA yöntemlerinde görüş açısında iletişimin sağlanabilmesi gerekmektedir ve bu isterin engeller nedeniyle iç ortamlarda sağlanması zordur. En kısa yoldan alıcıya ulaşmayan yansıyan sinyallerin bu yöntemlerde konum tahmini doğruluğunu azaltması nedeniyle alternatif bir yöntem olan alınan sinyal gücü göstergesi ölçümü (Received Signal Strength Indicator -RSSI) kullanılmıştır. Vericiden gönderilen sinyalin alıcıdaki ölçülen RSSI değerini temel alan konumlandırma yöntemlerinin iç ortam gibi yansımanın fazla olduğu ortamlarda AoA ve TOA gibi yöntemlere göre daha sağlıklı çalışması [14] ve kablosuz ağın mevcut yapısını kullanıp ekstra bir maliyete neden olmaması [15], bu yöntemlerin araştırmacıların ilgisini çekmesine neden olmuştur. RSSI yönteminde, verici sabit güçle yapılan yayınları alıcı bulunduğu noktada ölçer ve ölçtüğü sinyal şiddetini çevrimdışı süreçte elde edilen yol kayıp modelini kullanarak mesafeye çevirir. Sabit düğümlere göre ölçülen mesafelerin daire kesişimi yönteminde kullanılmasıyla hareketli düğüme ait konum hesaplanabilir.

2.1.1.1 Varış Açısı Tabanlı Mesafe Tahmini

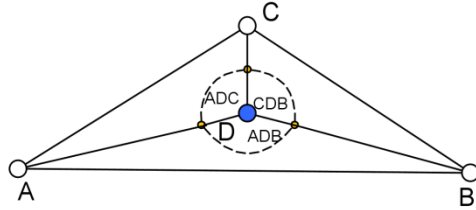
Kablosuz sensör ağları birbiri ile radyo mesafeleri içinde haberleşebilen düğümlerden oluşmaktadır. Ağda bulunan her bir düğüm uygun donanıma sahip olması durumunda komşu düğümden aldığı veri paketlerine ait açı değerini belli bir referans eksenine göre bildirebilir. Varış açısı tabanlı mesafe tahmini kullanılarak [2]'de hareketli düğümün konumu bulunmuştur. Ağda bulunan düğümler yerleştirildikten sonra Şekil 2-1'de kalın siyah çizgilerle gösterilen ve tam olarak yönü yerleşimde bilinmeyen baş açılarna



Şekil 2-1 Üçgenleme Yöntemi

sahiptirler. Konum açısı ve baş açısı olmak üzere düğümden iki tip açı tipi belirlenmiştir. Ağda bulunan her bir düğümün diğer bir düğüme göre referans ekseninden yaptığı açıya konum açısı (bearing) adı verilir. Radyal ise bir düğümün başka bir düğüme göre değil referans bir noktaya göre açısı olarak adlandırılır ve genelde kuzeye göre hesaplanır ve baş açısı (heading) olarak adlandırılır [2]. Şekil 2-1'de, B düğümünün A düğümüne göre konum açısı (bearing) \widehat{ba} , radyal açısı \widehat{ab} ve B düğümünün kuzeye yaptığı baş açısı \widehat{b} ile gösterilmiştir. Varış açısı ölçümü yönteminde komşu düğümlere göre konum açıları ölçüldüğünde, düğümlerde ölçülen açıyı gerçek kuzeye göre çevirmek problemdir. Bu problemi çözmek amacıyla pusula veya küresel konumlandırma sensörleri kullanılmaktadır. Düğümler ağda birbirleri ile haberleşirken aldıkları sinyalin kendi referans eksenleri ile kaç derecelik bir açıyla geldiğini ve hangi düğümden geldiğini bilgilerini uygun donanıma sahip olmaları durumunda elde edebilirler. Şekil 2-1'de gösterildiği gibi düğüm A, düğüm B ve düğüm C'yi referans eksenine göre \widehat{ac} ve \widehat{ab} açıları ile görmektedir. Üçgene ait \widehat{CAB} açısını, elde edilen \widehat{ac} ve \widehat{ab} açıları yardımıyla

hesaplamak mümkündür. Aynı yöntemle üçgene ait ağda bulunan düğümlerden biri, B düğümü, pusula veya GPS yardımıyla kuzeyle yaptığı baş açısını hesaplayabiliyorsa; A ve C düğümleri de B düğümünün baş açısını kullanarak kendi baş açılarını hesaplayabilirler [2].



Şekil 2-2 Daire Keşimi Yöntemi

B düğümünün kuzeyle yaptığı baş açısı \hat{b} olsun, A düğümü bu açı değerinden $2\pi - (\widehat{ba} + \pi - \widehat{ab}) + \hat{b}$ formülü yardımıyla kendi baş açısını hesaplayabilir [2]. Şekil 2-2'de gösterildiği gibi \widehat{BDA} , \widehat{ADC} ve \widehat{CDB} açıları biliniyorsa kesikli gösterilen çizgilerin kesişimi ile hareketli düğümün konumu bulunabilir.

2.1.1.2 Varış Zamanı Tabanlı Mesafe Tahmini

Sinyal varış zamanı, sinyalin yayılma hızının bilindiği durumlarda doğrudan mesafeye çevrilebilen bir niceliktir. Varış zamanı ölçümlerini elde etmek için, bir grup sensör ilk olarak kaynaktan yayılan sinyalleri alır. Kaynaklar ve alıcılar, varış zamanlarının kesinliğini sağlamak için zaman senkronizasyonuna sahip olmalıdır. Geometrik konumlandırmada sinyal varış zamanları ışık veya sesin yayılma hızının uygun ortamda çarpılmasıyla mesafe tahminlerine dönüştürülür. En az üç kaynaktan ölçülen sinyal varış zamanlarının mesafeye çevrilir ve her bir kaynağın etrafında ölçülen mesafe yarıçapına sahip üç adet çember çizilir. Hareketli düğüme ait konum oluşturulan üç adet çemberin kesiştiği noktanın bulunmasıyla hesaplanır.

2.1.1.3 Sinyal Alış Gücü Tabanlı Mesafe Tahmini

Sinyal alış gücünün mesafeye bağlı olarak küçülmesi gerçeği ve kablosuz ağlarda bulunan düğümler yardımıyla ekstra donanım gerektirmeden ölçülebilmesi, iç ortam konumlandırma sistemlerinde mesafe tahmininde kullanılmasına neden olmuştur. İç ortamda alınan sinyalin ölçülen şiddetinde; yansıyan, kaybolan ve birden fazla yoldan

dönen sinyaller nedeniyle oluşan gürültünün tahmin edilen mesafeye etkisi olacağı düşünülmelidir. Bu etkenlere ek olarak, anten özellikleri ve yerleşimi, iletim gücü ve haberleşme frekansı gibi kontrol edilebilir faktörlerde alınan sinyal gücü şiddeti ile mesafe tahmininde sonuca etki etmektedir. Metodun çevrimiçi aşamasında, konumlandırmanın yapılacağı ortamda mesafeye bağlı olarak alınan sinyal gücü şiddeti ölçülür. Daha sonra ölçülen sinyal şiddetlerinin mesafeye bağlı değişimleri; Cost-231 kanal modeli, Hata kanal modeli, Erceg kanal modeli, logaritmik yol kayıp ve logaritmik normal yol kayıp gibi modeller yardımıyla matematiksel olarak edilir ve her bir ortam için yol kayıp katsayısı hesaplanır.

2.1.2 Yol Kayıp Tahmin Modelleri

2.1.2.1 Boş Uzak Modeli

Boş uzak modeli [16], verici ve alıcı arasında hiçbir engel yokken uygulanabilecek yol kayıp modelidir. Gürültünün yok sayıldığı tamamen ideal ortam ele alınır. Bazı uygulamalarda referans mesafede ölçülen yol kaybını elde etmede kullanılır. Kablosuz sinyalin iletim gücü P_t olarak adlandırılırsa; d uzaklığında bulunan düğümde alınan güç aşağıdaki denklemle (1) hesaplanır. Denklemde; G_t ve G_r alıcı ve verici anten kazançları, c iletim hızı ve f frekanstır. (1) numaralı denklemin logaritmasının alınmasıyla, sinyal yol kaybı logaritmik olarak denklem (2) olarak elde edilir.

$$Pr(d) = \frac{P_t G_t G_r c^2}{(4\pi)^2 f^2 d^2} \quad (1)$$

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log G_t - 10 \log G_r + 20 \log f + 20 \log d + 20 \log \left(\frac{4\pi}{3 \times 10^8} \right) \quad (2)$$

Yatay ve dikey ekseninde aynı yayılım özelliklerine sahip antenler için sinyal yol kaybı denklemi aşağıdaki halini alır. 3 numaralı denklem, yatay ve dikey ekseninde aynı yayılım özelliklerine sahip antenler için yol kaybının desibel cinsinden ifade edilmesidir. Denklemde, f megahertz cinsinden frekans; d ise kilometre cinsinden alıcı ve verici arasındaki mesafedir.

$$PL(dB) = 32.44 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \quad (3)$$

2.1.2.2 Hata Kanal Modeli

Hata kanal modelinde yerleşim merkezinde toplanan deneysel sonuçlar sinyal iletim kaybını, $A + B \log_{10} R$ basit şekilde formüle etmek amacıyla kullanmıştır. Denklemde gösterilen A ve B frekans ve anten yüksekliği cinsinden ifade edilirken; R mesafe olarak

ifade edilir. Yatay ve dikey ekseninde aynı yayılım özelliklerine sahip antenler arası iletim kaybı verici gücünden alınan gücün çıkarılmasıyla (4) numaralı denklemde gösterildiği gibi elde edilir.

$$PL(dB) = P_t - P_r \quad (4)$$

$$= P_t(dBW) - E(db\mu V/m) - 10 \log_{10} \lambda^2/4\pi + 145.8$$

Tahmin eğrileri oluşturulmadan önce yapılan deneylerde 30 kWatt çıkış gücüne sahip verici ve 2,2 dB kazanca sahip anten kullanmıştır. Çıkış gücü verici ve antenin çıkış güçlerinin toplamı olarak (5) numaralı denklemle 32,2 desibel olarak hesaplanmıştır.

$$P_t = P_{TransmitterOut} + P_{AntennaGain} \quad (5)$$

$$P_t(dB) = 10 \log_{10} (30 kWatt/1kWatt) + 2.2 = 32.2 dB \quad (6)$$

(5) numaralı formülde elde edilen değer (4) numaralı formüle entegre edilmesiyle yol kaybı formülü (6) numaralı formülde gösterilen şekilde elde edilmiştir.

$$PL(dB) = 178 - 10 \log_{10}(\lambda^2/4\pi) - E(db\mu V/m) \quad (7)$$

Ortamda toplanan alınan sinyal gücü verilerinin mesafeye bağlı olarak çizdirilen eğrileri analiz edildiğinde, alan kuvvetinin mesafeye bağlı olarak (8) numaralı denklemdeki gibi ifade edilebileceği anlaşılmıştır. β ve γ katsayıları, sinyal frekansı f_c (MHz) ve alıcı anten yüksekliği h_b (m) verilerinin değişik değerlerine göre bulunur. Bu nedenle, (8) numaralı denklemin (7) ile kullanılmasıyla yol kaybının mesafeye bağlı olarak değişimi (9) şeklinde yazılır.

$$E(db\mu V/m) = \gamma + \beta \log_{10} R \quad (8)$$

A ve B değerlerine karşılık gelen formüller, sırasıyla (10) ve (11) numaralı denklemlerde gösterilmiştir.

$$PL(dB) = A + \beta \log_{10} R \quad (9)$$

$$A = 178 - 10 \log_{10}(\lambda^2/4\pi) - \gamma + a(h_m) \quad (10)$$

$$B = -\beta \quad (11)$$

A ve B değerleri ortamda yapılan deneysel sonuçlara göre bulunur. A değeri, alıcı ve verici arasındaki mesafe 1 m iken ölçülen elektrik alanı şiddetine karşılık gelir. B değeri ise ortamda ölçülen eğrilerin eğimine yani yol kaybı katsayısına karşılık gelmektedir. Deneysel sonuçlara göre yapılan düzeltmeler sonucunda yol kaybı Hata kanal modelinde (12) numaralı denklemdeki halini almıştır.

$$PL(dB) = 69.55 + 26 \log_{10} Rf_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \quad (12)$$

2.1.2.3 Erceg Kanal Modeli

1.9 GHz frekans sinyalle belirli bir sayıda baz istasyonu kullanılarak farklı alıcı verici arası mesafelerde veriler toplanmıştır. Veriler toplanırken her yöne yayılım yapan baz istasyonu anteni ve 2 metre uzunluğunda her yöne yayın yapan mobil antenler kullanılmıştır [17]. Modelde, verilerin toplanacağı ortam ağaç sayısı ve yeryüzü şekillerine bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Ağaç yoğunluğunun fazla ve yeryüzü şekillerinin engebeli olduğu dolayısıyla yüksek yol kaybına sahip ortamlar A sınıfı olarak nitelendirilmiştir. Ağaç yoğunluğunun az ve yeryüzü şekillerinin düzgün olduğu ve düşük yol kayıp katsayısına sahip ortamlar C sınıfı olarak tanımlanmıştır. Ağaç yoğunluğunun az ve yeryüzü şekillerinin engebeli veya ağaç yoğunluğunun fazla ve yeryüzü şekillerinin düz olduğu ortamlar ise orta yol kaybına sahip olan B sınıfı ortamlar olarak adlandırılmıştır.

Model oluşturulmadan önce, yol kaybı mesafenin belli katı γ ve referans mesafede ölçülen yol kaybı A cinsinden denklem (13)'de gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

$$PL(dB) = A + 10\gamma \log_{10} d/d_0 + s; \quad d \geq d_0 \quad (13)$$

Yansıyan sinyallerin etkilerini belirtmek amacıyla, logaritmik normal dağılıma sahip ve rastsal değişken s formüle(14) eklenmiştir. Denklemde, dalga boyu λ ve γ yol kayıp katsayısıdır.

$$PL(dB) = 20 \log_{10}(4\pi d_0/\lambda) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + s; \quad d \geq d_0 \quad (14)$$

Yapılan ölçümlerin minimum kareler yöntemi ile doğrusallaştırılmasıyla referans mesafede ölçülen alınan sinyal gücüne karşılık gelen A değeri 78 dB alınmıştır. Baz istasyonu anten

yüksekliğinin yol kayıp katsayısına bağlı değişimi yansıma katsayısı ve engel özellikleri bakımından farklı ortamlara göre analiz edilerek farklı a,b,c değerleri hesaplanmıştır. Formülde, h_b baz istasyonu anten yüksekliği, yol kaybı katsayısının standart sapması σ_γ ; x sıfır ortalamaya sahip normal dağılımlı rastsal değişken $N[0,1]$; a,b,c ve σ_γ ise her bir ortam türüne göre hesaplanan sabit katsayılarıdır.

$$\gamma = (a - bh_b + c/h_b) + x\sigma_\gamma \quad 10 \text{ m} \leq h_b \leq 80 \text{ m} \quad (15)$$

Yansıyan sinyallerin etkisini formüle yansıtmak amacıyla eklenen s normal dağılımlı rastsal değişkendir. Normal dağılımlı s, sıfır ortalamalı ve bir standart sapmalı y rastsal değişkeni ve standart sapma σ cinsinden formül (16)'da gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$s = y\sigma \quad (16)$$

Standart sapma, σ , her bir ortamda farklı değerlerde yansıma olduğu için belli bir ortalama etrafında normal dağılıma sahip rastsal değişken cinsinden (17) de ifade edilmiştir.

$$\sigma = \mu_\sigma + z\sigma_\sigma \quad (17)$$

(13) – (17) arası formüllerin birleştirilmesiyle, geniş bir ağda herhangi bir noktadaki yol kaybı (18) gibi yazılabilir.

$$PL(dB) = [A + 10(a - bh_b + c/h_b) \log_{10}(d/d_0)] + [10x\sigma_\gamma \log_{10}(d/d_0) + y\mu_\sigma + yz\sigma_\sigma] \quad (18)$$

Her üç kategori için de alıcı verici arasındaki d uzaklığının referans uzaklık d_0 'dan büyük olduğu durumlarda yol kaybı (18) de gösterilmiştir.

2.1.2.4 Logaritmik Yol Kayıp Modeli

Yol kaybı, iç ve dış ortamlarda, verici ve alıcı arasındaki değişken mesafe ve yol kayıp katsayısı n cinsinden ifade edilebilmektedir [18]. Yol kaybı, (19) numaralı formülde gösterildiği gibi verici ve alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak logaritmik artar.

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (19)$$

Verici ve alıcı arasındaki mesafe d iken ortalama yol kaybı PL(d), mesafe d ve yol kayıp katsayısı n cinsinden (20) numaralı formülde gösterildiği gibi ifade edilir.

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (20)$$

Logaritmik ölçekte çizilen yol kaybı – mesafe eğrisi eğimi 10n olan bir doğru parçasıdır. Yol kaybı katsayısı, n; ortamın yapısına, duvarların malzemesine ve konuma bağlı olarak değişen ve 1,6 ile 6 arasında değişen bir katsayıdır [19]. Çizelge 1 Farklı Ortamlarda Ölçülen Yol Kayıp Katsayılarında çeşitli ortamlara ait yol kaybı katsayıları verilmiştir[19].

Çizelge 1 Farklı Ortamlarda Ölçülen Yol Kayıp Katsayıları

Ortam	Yol Kayıp Katsayısı
Boş Uzay	2
Şehir Hücresel Ağı	2,7 – 3,5
Yansımali Şehir Hücresel Ağı	3-5
Görüş Açısında İç Ortam	1,6-1,8
Engellere Sahip İç Ortam	4-6
Engellere Sahip Fabrika Ortamı	2-3

İletilen sinyal, alıcı ve verici arasında herhangi bir engel mevcutsa; emilim, dağılma ve yansıma sonucu kaybolur. Bu nedenle yol kaybı, logaritmik normal yol kayıp formülü (21) ile gösterilir. Formülde X , σ standart sapmaya sahip normal dağılımlı desibel birimli bir değişkendir.

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X \quad (21)$$

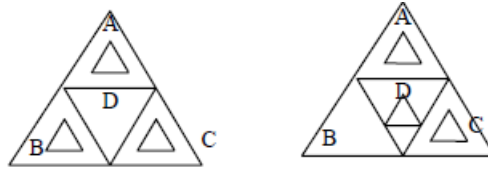
X değişkeni, yansıyan, kaybolan sinyaller nedeniyle tüm yönlerde d mesafede hesaplanan yol kaybındaki salınımları modellemektedir.

Tez çalışmasında benzetim ve deneysel veriler üzerinden konumlandırma çalışmaları logaritmik yol kayıp modeli kullanılarak yapılmıştır. Kablosuz sensör ağına üç adet sabit ve bir adet hareketli düğüm yardımıyla farklı anten örüntü kesişimlerine göre alınan sinyal güçleri ölçülmüştür. Ölçülen alınan sinyal güçleri logaritmik yol kayıp modelinde kullanılarak yol kayıp katsayısı hesaplanmıştır.

2.1.3 Kablosuz Sensör Ağında Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma

2.1.3.1 Dügümlerin Yerleştirilmesi

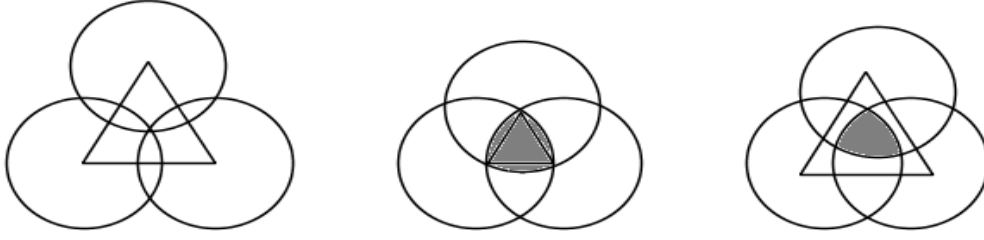
Kablosuz sensör ağlarında hareketli düğümün konumu, sabit konumda yer alan ve konumları bilinen düğümler yardımıyla bulunmaktadır. Sabit konumda yer alan düğümlerin yerleşimleri iç konumlandırma sisteminin kapsama alanını etkilemektedir. Bu nedenle sabit düğümlerin dikkatli konumlandırılması gerekmektedir. Kablosuz sensör ağında sabit düğümlerin sayısının sınırlı olması nedeniyle, sabit düğümlerin rastgele yerleştirilmesi durumunda konum bilgisi hesaplanmak istenen gezgin düğümlerin üç veya daha fazla sabit düğümle iletişim halinde olma olasılığı çok düşüktür. Oluşturulan üçgenin alanı içerisinde, iç ortamda bulunan her bir gezgin düğümün tüm sabit düğümler ile haberleşerek; sabit düğümleri konumlandırmada kullanabilmesi gerekmektedir. Üçgenleme tabanlı iç konumlandırma sistemlerinde hareketli düğümün iletişim halinde olduğu sabit düğüm sayısı arttıkça sistemin konum tahminindeki doğruluğu da artar. Şekil 2-3'de solda gösterilen eşkenar üçgen yerleşiminde, D bölgesinde bulunan ve konumu tespit edilmek



Şekil 2-3 Sabit Dügümlerin Yerleşimi [20]

istenilen hareketli düğümüne ait konumun tahmininde; A,B,C bölgelerine yerleştirilmiş sabit düğümler ile iletişime geçerek konum tespitinde üç sabit düğümü de kullanabilir. Ancak, Şekil 2-3'de sağda gösterilen üçgen olmayan yerleşim tipinde B bölgesinde yer alan hareketli düğüm; konum tahmininde sadece D bölgesinde bulunan sabit düğümü kullanabilir. Bu nedenle sabit düğümlerin üçgen şeklinde yerleştiği durumlardaki biriken hata, üçgen olmayan şekilde yerleştiği durumlara göre daha azdır [20].

Sabit düğümlerin üçgen şeklinde yerleştikleri durumda, eşkenar üçgenin her bir kenarı L ile düğümlerin haberleşebileceği azami mesafe ise R ile Şekil 2-4'te gösterilmiştir [20]. Dügümlerin haberleşebileceği mesafeyi gösteren R, çıkış gücü sabit olduğu sürece sabittir, sabit düğümler arası mesafe L ise yerleşime göre değişebilmektedir.



Şekil 2-4 Değişik Tiplerde Üçgen Yerleşim[20]

İki sabit düğümün arasındaki mesafe L , düğümlerin haberleşebileceği azami mesafe R 'nin $\sqrt{3}$ katından büyükse sabit düğümlerinin üçünün de haberleşebildiği ortak alan Şekil 2-4'te solda gösterildiği gibi bulunmamaktadır. Konumu bilinmeyen hareketli düğümün konumunu, trilaterasyon ile bulabilmek için, en az üç adet sabit düğüm ile iletişim gerekmesi nedeniyle; bu yerleşim tipinde konum tahmini mümkün olmayacaktır. İki sabit düğüm arasındaki mesafenin, düğümler arası haberleşme yarıçapından büyük ve düğümler arası haberleşme yarıçapının $\sqrt{3}$ katından küçük olduğu durumlar ($R < L < \sqrt{3}R$); Şekil 2-4'te sağda gösterilmiştir [20]. Bu durumda gri ile gösterilen alanda bulunan düğümler konumlandırılabilir. Sabit düğümler arasındaki mesafenin birbirine eşit ve düğümlerin haberleşme yarıçapına eşit olduğu durumlar ($R=L$) Şekil 2-4'te ortada gösterilmiştir [20]. Bahsedilen durumda, hareketli düğümün konumlandırılacağı alan gri ile gösterilmiştir ve diğer iki yerleşime göre daha fazladır.

2.1.3.2 Yol Kayıp Katsayısının Hesaplanması

Ortama bağlı olarak değişen yol kayıp katsayısını hesaplamak amacıyla, n yol kayıp katsayısının (21) numaralı formülden (22) numaralı formülde gösterildiği gibi elde edilir.

$$n = \frac{PL(dB) - PL(d_0)}{10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)} \quad (22)$$

Ortamda çevrimdışı süreçte yapılan ölçümler, doğru uydurma yöntemi yardımıyla yol kayıp katsayısı bulunmasında kullanılmaktadır. Belli mesafede pratikte ölçülen değer ve teorik olarak o mesafede ölçülmesi beklenen değer arasındaki farkların toplamı toplam hata olarak adlandırılır ve toplam hatanın karesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R^2 = \sum_{i=1}^M [P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)]^2 \quad (23)$$

Yol kayıp katsayısı n ise toplam hatanın karesini minimum yapan değer olarak (23) numaralı formülün n katsayısına göre türevinin sıfıra eşitlenmesiyle (24) numaralı formüldeki gibi bulunur.

$$\frac{\partial R^2}{\partial n} = -20 \log_{10} d \times \sum_{i=1}^M [P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)] = 0 \quad (24)$$

Yukarıdaki denklemin sonucunun sıfıra eşit olması için (25) numaralı formülün sıfıra eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_{i=1}^M [P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)] = 0 \quad (25)$$

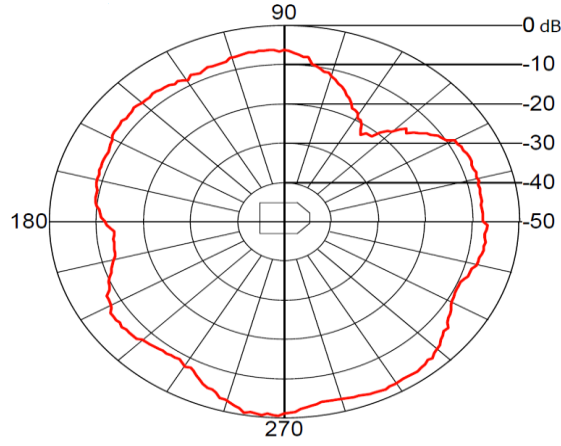
Toplamlar ayrılarak (26) numaralı formül elde edilir.

$$\sum_{i=1}^M [P_L(d_i) - P_L(d_0)] - \sum_{i=1}^M [10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)] = 0 \quad (26)$$

Yol kayıp katsayısı n , (26) numaralı formülden (27) numaralı formülde gösterildiği gibi elde edilir. Formülde, kapalı alanda değişen mesafelerde yapılan tüm sinyal güçleri ölçümleri $P_L(d_i)$, referans mesafede yapılan sinyal gücü ölçümü $P_L(d_0)$, referans mesafe (d_0) ve alıcı verici arasındaki mesafe d_i kullanılarak n aşağıdaki formülle bulunur.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^M [P_L(d_i) - P_L(d_0)]}{\sum_{i=1}^M [10 \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)]} \quad (27)$$

İç konumlandırma sisteminin uygulanacağı ortamda, çevrimdışı süreçte toplanan veriler yardımıyla yol kayıp katsayısı hesaplanmıştır.



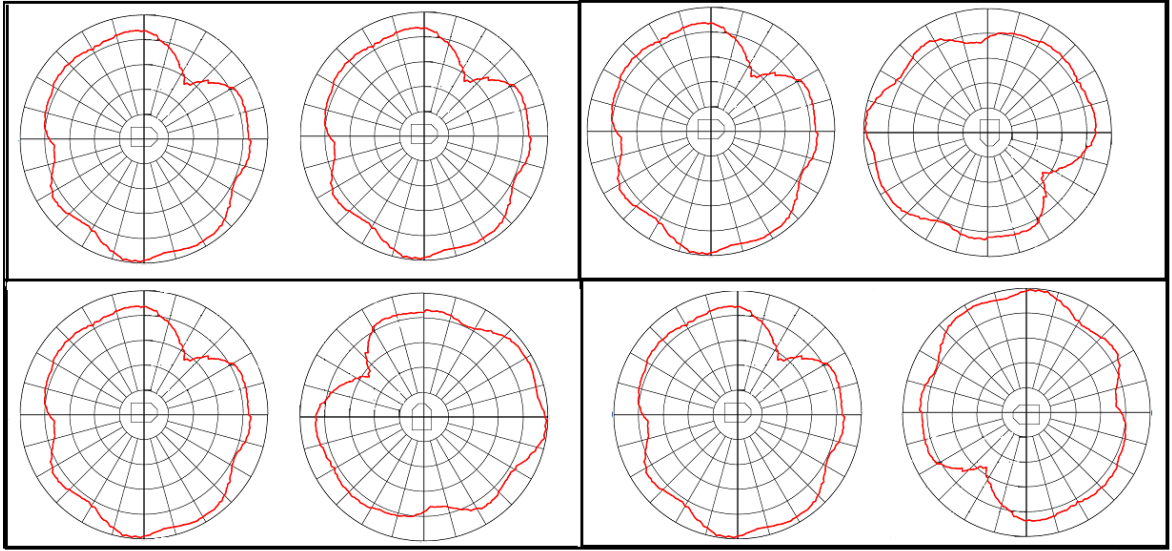
Şekil 2-5 Yarım Dalga Dipol Antene Ait Yatay Yayın Şekli[26]

Tez çalışmasında, Synapse Wireless [49] markasına ait Şekil 2-6'te gösterilen RF100PD6 model RF modüller ve Digi International [26] şirketine ait A24-HASM-450 antenler yardımıyla gerçek iç ortamda alınan sinyal gücü ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2-6 RF100PD6 Radyo Frekans Modülü

Sistemde kullanılan A24-HASM-450 modellenli antene ait yatay eksen yayın şekli, Şekil 2-5'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere anten her yöne aynı şiddette yayın yapamamaktadır. Hareketli düğümün hangi konumda iken sabit düğümle haberleşebileceği belli olmadığı için, alıcı ve verici antenlerin yayın örüntü kesişimi Şekil 2-7'de gösterildiği gibi farklı olabilecektir.



Şekil 2-7 Alıcı ve Verici Antenlerin Olası Farklı Patern Kesişimleri

Bu nedenle, alınan sinyal gücü tabanlı diğer iç konumlandırma sistemlerinden farklı olarak antenin yatay eksende her yöne aynı şiddette yayın yapamayacağı göz önünde bulundurulmuş ve yol kayıp katsayısı dört farklı kesişen anten örüntüleri için hesaplanmıştır. Dört farklı örüntü kesişimi için hesaplanan yol kayıp katsayılarının ortalamasının alınmasıyla, ortama ait mesafe tespitinde kullanılacak nihai yol kayıp katsayısı bulunmuştur. Antenlerin hedefin anlık durumuna göre Şekil 2-7’de gösterilen örüntü kesişimlerine göre farklı mesafelerde ölçülen yol kayıpları ve yol kayıp katsayıları ve Çizelge 2’de gösterilmiştir. Alıcı ve verici anten arasındaki mesafe, çizelge de metre cinsinden, ölçülen yol kaybı dBm cinsinden gösterilmiştir. Alıcı ve verici antenlerin farklı konumlarında oluşan farklı örüntü kesişimlerinde, alınan sinyal güçleri ölçülmüş ve dBm cinsinden Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2 Anten Konumlarına Göre Yol Kayıpları ve Hesaplanan Yol Kayıp Katsayıları

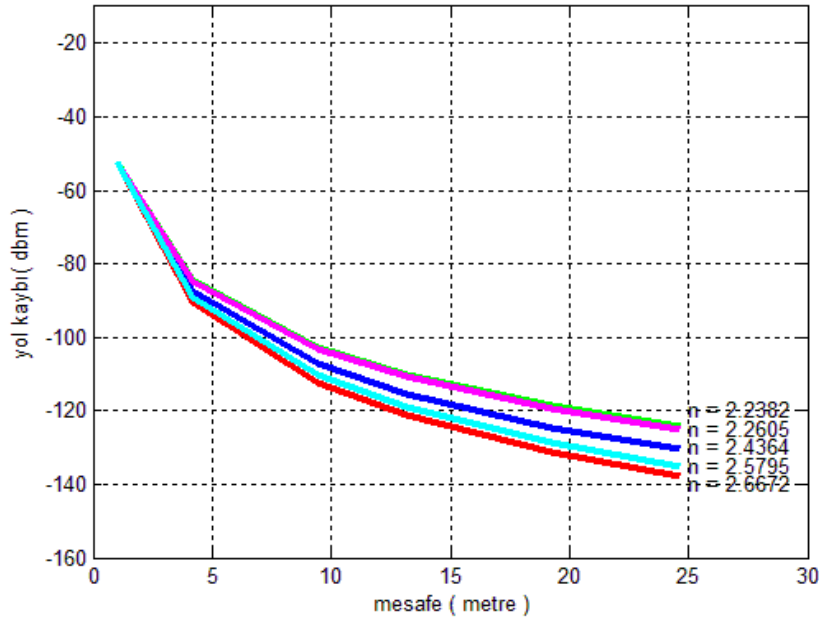
Anten Örüntü Kesişimi	Mesafe	Ölçülen Yol Kaybı	Yol Kayıp Katsayısı	Ortalama Yol Kayıp Katsayısı
1	4,17	-80,74	2,6672	2,4364
	9,43	-87,21		
	13,16	-83,45		
	19,23	-81,28		
	24,67	-94,66		
2	4,17	-70,3	2,2382	
	9,43	-75,7		
	13,16	-87,49		
	19,23	-86,43		
	24,67	-94,22		
3	4,17	-72,25	2,2605	
	9,43	-76,07		
	13,16	-79,2		
	19,23	-91,51		
	24,67	-95,53		
4	4,17	-80,85	2,5795	
	9,43	-88,21		
	13,16	-78,53		
	19,23	-85,57		
	24,67	-88,36		

Antenlerin çıkış güçleri 15,2 dBm olarak ayarlanmış ve 2 dBm kazanca sahip özdeş alıcı ve verici antenler sistemde kullanılmıştır. Alıcı ve verici çıkış güçleri sabitken, farklı mesafelerde sistemin çalışacağı ortamda alınan sinyal güçleri ölçülmüştür. Ölçülen değerden, alıcı ve verici antenlerin kazançları ile anten çıkış gücünün formül (28)'de gösterildiği gibi çıkarılmasıyla, ölçümün yapıldığı mesafedeki yol kaybı elde edilmiştir. Alıcı ve verici antenler arasındaki mesafenin değişmediği, ölçümün yapıldığı ortamın ve ortamda bulunan nesnelere değiştirilmediği koşullarda bile; ölçülen alınan sinyal güçlerinin antenin duruşuna bağlı olarak farklılık gösterdiği gerçek ortamda toplanan ve Çizelge 2'de gösterilen değerlerden çıkarılmaktadır. Antenlerin farklı duruşlarında, Şekil

2-6'de gösterilen kablosuz RF modüller yardımıyla ortamda toplanan veriler MATLAB ortamına aktarılmış; 27 numaralı formülde gösterilen formülün uygulanmasıyla her bir örüntü için ayrı olmak üzere Çizelge 2'de gösterildiği gibi dört ayrı yol kayıp katsayısı elde edilmiştir.

$$P_L(d) = \text{ÖlçülenGüç} - \text{Verici Anten Kazancı} - \text{Alıcı Anten Kazancı} \quad (28)$$

Ortama ait nihai yol kayıp katsayısı ise bahsedilen dört farklı katsayının ortalamasının alınmasıyla bulunmuştur. Antenlerin dört farklı örüntü kesişimine bağlı olarak hesaplanan dört farklı yol kayıp katsayısı ile bahsedilen dört farklı katsayının ortalamasının alınmasıyla elde edilen sistemde çevrim içi fazda konumlandırmada kullanılacak olan yol kayıp katsayısına karşılık gelen yol kaybı- yol grafiği Şekil 2-8'da belirtilmiştir.



Şekil 2-8 Yol Kayıp Katsayıları

Grafikten de anlaşılacağı üzere yol kaybı katsayısı arttıkça, aynı mesafede ölçülen alınan sinyal gücü düşmekte ve yol kaybı artmaktadır. Ortamda toplanan veriler üzerinden, dört farklı anten yayın örüntüsü için yol kaybı katsayısı hesaplanmıştır ve bu değerlerin ortalamasının alınmasıyla ortama ait yol kaybı katsayısı hesaplanmıştır. Sistemde çevrimiçi süreçte ve çevrim dışı süreçte MATLAB ortamında hesaplanan yol kaybı katsayısının ve her bir sabit düğümden ölçülen sinyal güçlerinin gömülü platforma iletilmesiyle konumlandırma yapılmaktadır.

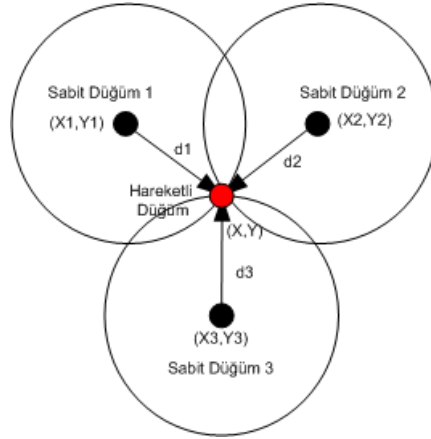
2.1.3.3 Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma Gerçeklenmesi

Konumlandırma yapılacak ortamda, mesafeye bağlı olarak ölçülen alınan sinyal güçlerinden yol kaybı katsayısı hesaplama; çalışmanın 2.1.3.2 Yol Kayıp Katsayısının Hesaplanması kısmında anlatılmıştır. Çevrimdışı süreçte elde edilen yol kaybı katsayısından, sinyal ölçümlerinin yapıldığı düğümler arası mesafenin ve hareketli düğüme ait iki boyutta konum tahmininin elde edilişi bu bölümde anlatılacaktır.

2.1.3.1 Düğümlerin Yerleştirilmesi kısmında anlatılan şekilde konumlandırılan 3 adet sabit düğüm ve 1 adet sabit düğüm kullanılmaktadır. Sistemde sinyal gücü ölçümü hareketli düğümün üzerinden yapılmaktadır. Hareketli düğüm tarafından ölçülen sinyal güçleri, UART protokolü ile hareketli düğüme ait DSP kitine gönderildikten sonra, ölçülen veriler kaydedilmiştir. Hareketli düğüm tarafından, sabit düğümlere sorulan her bir soruya alınan cevaplar ile ölçülen alınan sinyal güçlerinden ilk olarak (27) numaralı formül yardımıyla; yol kaybı, PL(d), hesaplanır.

$$d = d_0 10^{\frac{PL(d) - PL(d_0)}{10n}} \quad (29)$$

Hesaplanan yol kaybının formül (28) ile kullanılmasıyla, sinyal ölçümünün yapıldığı sabit düğüm ve hareketli düğüm arasındaki mesafe metre cinsinden bulunmaktadır. Formülde(29), d_0 referans mesafe, PL(d) referans mesafede ölçülen yol kaybının dBm cinsinden değeri, n ise çevrimdışı süreçte ortamda mesafeye bağlı olarak ölçülen yol kayıplarından elde edilen yol kaybı katsayısıdır. Çevrimdışı süreçte iç konumlandırma sisteminin çalışacağı ortamda 1 m referans mesafede yapılan ölçümlerde yol kaybı 58,1 dBm ve 2.1.3.2 Yol Kayıp Katsayısının Hesaplanması bölümünde n ortama ait yol kaybı katsayısı 2,4364 olarak hesaplanmıştır. Çevrimdışı süreçte elde edilen değerlerin, çevrim içi süreçte anlık ölçülen alınan sinyal gücünden elde edilen yol kaybı ile birlikte formülde(29) kullanılmasıyla; hareketli düğüm ve sinyalin alındığı sabit düğüm arasındaki mesafeyi belirten d hesaplanır. Hareketli düğüm ile sabit düğüm arasındaki mesafenin, en az üç konumu bilinen sabit düğümden ölçülen alınan sinyal gücü ile hesaplanmasının ardından; sabit düğümler etrafında merkezleri sabit düğümlerin konumları ve yarıçapı alınan sinyal gücünden formül (29) yardımıyla elde edilen mesafe olan çemberler çizilir.



Şekil 2-9 Daire Kesişimi Metodu İle Konumlandırma

En az üç sabit düğümün etrafında çizilen çemberlerin kesişim noktasının bulunmasıyla hareketli düğümün konum bilgisi Şekil 2-9'da gösterildiği gibi elde edilir. Şekilde belirtilen, d_1, d_2, d_3 sabit düğümlerden hareketli ölçülen mesafe; X_1, Y_1 sabit düğüm 1'e ait referans noktaya göre konum; X_2, Y_2 sabit düğüm 2'e ait referans noktaya göre konum; X_3, Y_3 sabit düğüm 3'e ait referans noktaya göre konum ve X, Y ise hareketli düğümün konumudur.

$$d = d_0 10^{\frac{PL(d) - PL(d_0)}{10n}} \quad (29)$$

Sabit düğüm ile hareketli düğüm arasındaki mesafeler d_1, d_2, d_3 sırasıyla denklem (30), (31) ve (32)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (30)$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (31)$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (32)$$

Denklem (30), (31) ve (32) açılarak aşağıda gösterilen şekli alırlar:

$$d_1^2 = x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 \quad (33)$$

$$d_2^2 = x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 + y_2^2 \quad (34)$$

$$d_3^2 = x^2 - 2xx_3 + x_3^2 + y^2 - 2yy_3 + y_3^2 \quad (35)$$

Denklem (34)'ten (33) çıkarılarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$d_2^2 - d_1^2 = 2x(x_1 - x_2) + x_2^2 - x_1^2 + 2y(y_1 - y_2) + y_2^2 - y_1^2 \quad (36)$$

Denklem (34)'ten (35) çıkarılarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$d_2^2 - d_3^2 = 2x(x_3 - x_2) + x_2^2 - x_3^2 + 2y(y_3 - y_2) + y_2^2 - y_3^2 \quad (37)$$

Denklem (36) ve (37)'de x ve y değişkenleri eşitlikte bir tarafa toplanarak aşağıdaki iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir:

$$x(x_3 - x_2) + y(y_3 - y_2) = \frac{(d_2^2 - d_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2)}{2} = V_a \quad (38)$$

$$x(x_1 - x_2) + y(y_1 - y_2) = \frac{(d_2^2 - d_1^2) - (x_2^2 - x_1^2) - (y_2^2 - y_1^2)}{2} = V_b \quad (39)$$

Denklem (38) ve (39)'da verilen iki bilinmeyenli iki denklemin çözülmesiyle hareketli düğümüne ait iki eksenindeki konumunun karşılığı x ve y aşağıda gösterildiği gibi elde edilir :

$$x = \frac{V_a - y(y_3 - y_2)}{(x_3 - x_2)} \quad (40)$$

$$y = \frac{V_b(x_3 - x_2) - V_a(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)(x_3 - x_2) - (y_3 - y_2)(x_1 - x_2)} \quad (41)$$

2.2 İvme Ölçümü Tabanlı Konumlandırma

2.2.1 İlke

Zamana bağlı pozisyonu $x(t)$ verilen bir nesnenin hızı $v(t)$; $x(t)$ 'nin ilk türevi alınarak bulunur.

$$V(t) = \frac{dx}{dt} \quad (42)$$

İvme değeri $a(t)$ ise konumun ikinci türevi ya da hızın ilk türevi alınarak elde edilir.

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dV}{dt} \quad (43)$$

Türev işleminin tersi olan integral alma işlemi kullanılarak da ivme verisinden pozisyon elde etmek mümkündür. İlk hız ve pozisyon verileri biliniyorsa ivme verisinden hesaplanan iki integral işlemi ile pozisyon elde etmek mümkündür. İlk integral alma işleminden sonra ilk hız, ikinci integral alma işleminden sonra ilk pozisyon sonuca eklenmelidir. Bu işlemler aşağıda gösterilmiştir:

$$V(t) = V(t_0) + \int_{t_0}^t a(\tau) d\tau \quad (44)$$

$$x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau \quad (45)$$

2.2.2 Sayısal Integral Alma Yöntemleri

İvme sinyalinin örneklenmesiyle f_s örnekleme frekanslı ayrık sinyal elde edilir. Sayısal integral almanın en kolay yolu dikdörtgensel integral alma yöntemidir. Bu yöntemde geçmiş tüm örneklerin toplamı ile güncel örneğin örnekleme hızı ile çarpımının toplanarak integral sonucu aşağıda gösterilen formülde gösterildiği gibi elde edilir:

$$y(n) = \frac{1}{f_s} \sum_{k=0}^n x(n-k) = y(n-1) + \frac{1}{f_s} x(n) \quad (46)$$

Sayısal integral alma yöntemlerinden bir diğeri ise Trapezoidal integral alma yöntemidir. İsminden de anlaşılacağı üzere bu sayısal integral alma yönteminde güncel alınan örnekleme zamanı önce alınan ve hafızada tutulan örnek arasında oluşturulan yamuğun alanı hesaplanarak, geçmiş örneklerin toplamına eklenir. Trapezoidal integral alma yöntemine ait denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$y(n) = y(n - 1) + \frac{1}{2f_s} [x(n - 1) + x(n)], n > 0 \quad (47)$$

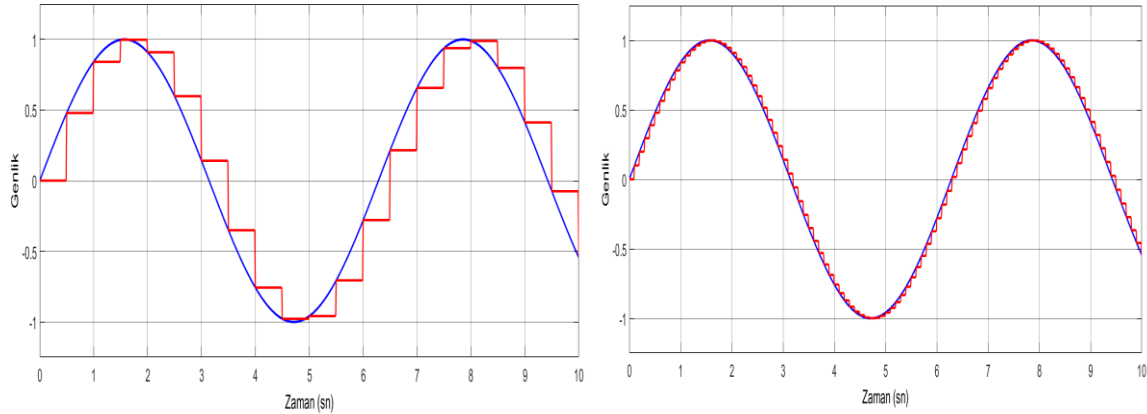
Simpson Kuralı ise ilk iki sayısal integral alma yönteminden farklı olarak, bilinen üç nokta üzerinden geçen ikinci dereceden bir polinomun oluşturulması ve bu polinomun altında kalan alanın hesaplanmasıyla integral alan bir yöntemdir. Polinomun altında kalan alanın hesaplanmasında kullanılan basitleştirilmiş algoritma yardımıyla Simpson Kuralı ile sayısal integral alma aşağıdaki gibi yapılabilir:

$$y(n) = y(n - 1) + \frac{1}{f_s} \frac{x(n - 1) + 4x(n) + x(n + 1)}{6} \quad (48)$$

Tez çalışması kapsamında Trapezoidal integral alma yöntemi kullanılarak ivme ölçerden hız ve pozisyon verileri elde edilmiştir.

2.2.3 Örnekleme Frekansının İntegral İşlemine Etkileri

Örnekleme frekansının seçimi integral alma işleminin doğruluğu için kritiktir. Örnekleme sıklığı arttıkça daha doğru integral sonuçları elde edilir. Şekil 2-10 farklı sıklıkta örneklenen sinüs sinyali gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere yüksek örnekleme hızları üzerinden alınan integral işleminde sinyalin orijinal haline daha yakın ve daha doğru sonuçlar elde edilecektir.

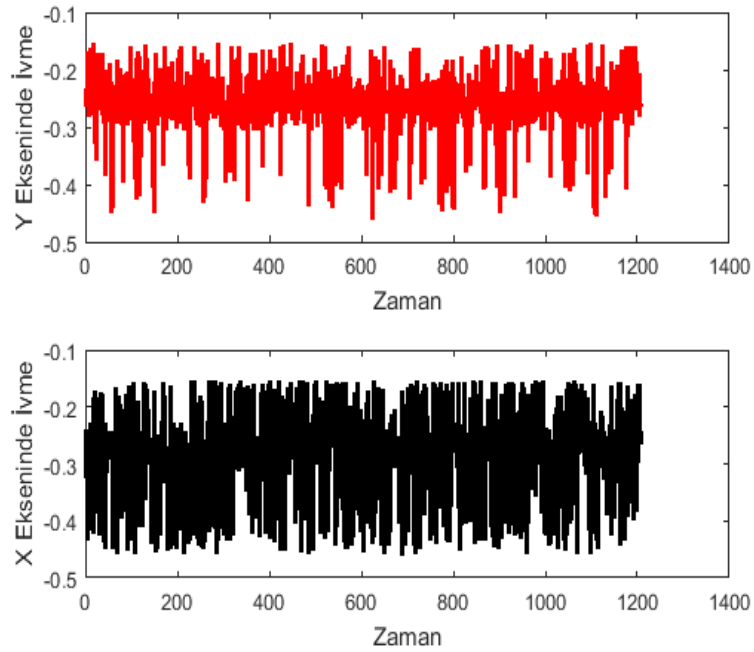


Şekil 2-10 Farklı Örnekleme Sıklıklarında Sayısal İntegral Alma

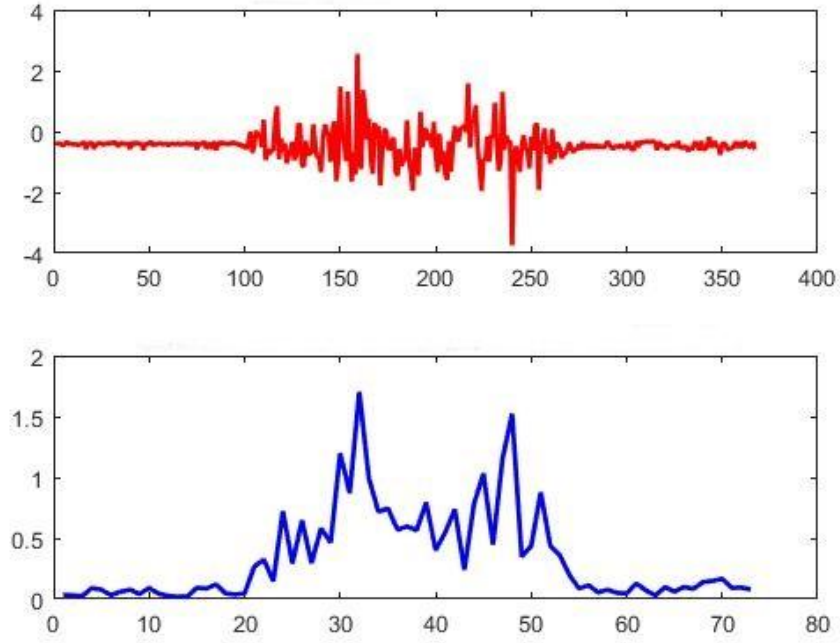
Tez çalışmasında ivmeölçerden veriler 200 Hz sıklıkla alınmış ancak veri kaydediciye 100 Hz ile gönderilmiştir. MATLAB ortamına veriler veri kaydediciden aktarıldığı için örnekleme sıklığı 100 Hz olarak alınmıştır.

2.2.4 İvme Ölçer Sapması

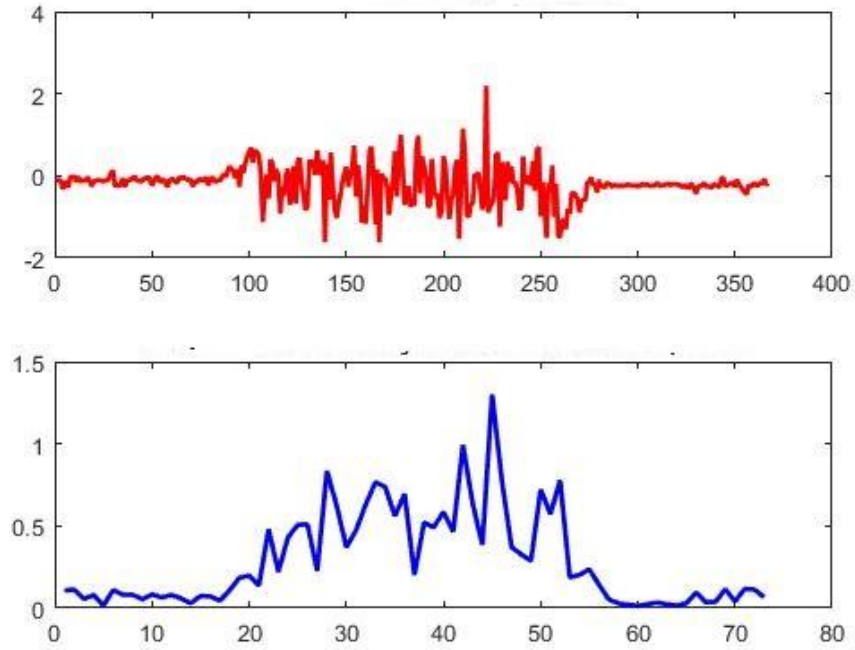
İvmeölçerler ivme verisini elektriksel sinyale çeviren birimlerdir. Ancak, ivmeölçer sapması olarak bilinen gürültü sinyali büyük integral hatalarına neden olmaktadır. Teoride, ivmeölçerin yaptığı titreşim ölçümlerinde DC sinyal kaynaklı sapmalar olmamalı ve titreşim sıfır ortalamalı ve sabit bir nokta etrafında ölçülmelidir. Şekil 2-11'de tez çalışması için kullanılan MPU 6500 ivmeölçerden sistem hareketsizken alınan X ve Y eksenine ait ivme ölçümleri gösterilmiştir. MPU 6500'de X ekseninde yaklaşık -0.281 m/s², Y ekseninde ise yaklaşık -0.258 m/s² sapmaya neden olan DA sinyal kaynaklı gürültü gözlemlenmiştir. Çalışmada, ivme ölçümleri ham ölçülen veriden hesaplanan kayma değerleri çıkarılarak integral almada kullanılmıştır.



Şekil 2-11 MPU 6500 İvme Ölçümleri

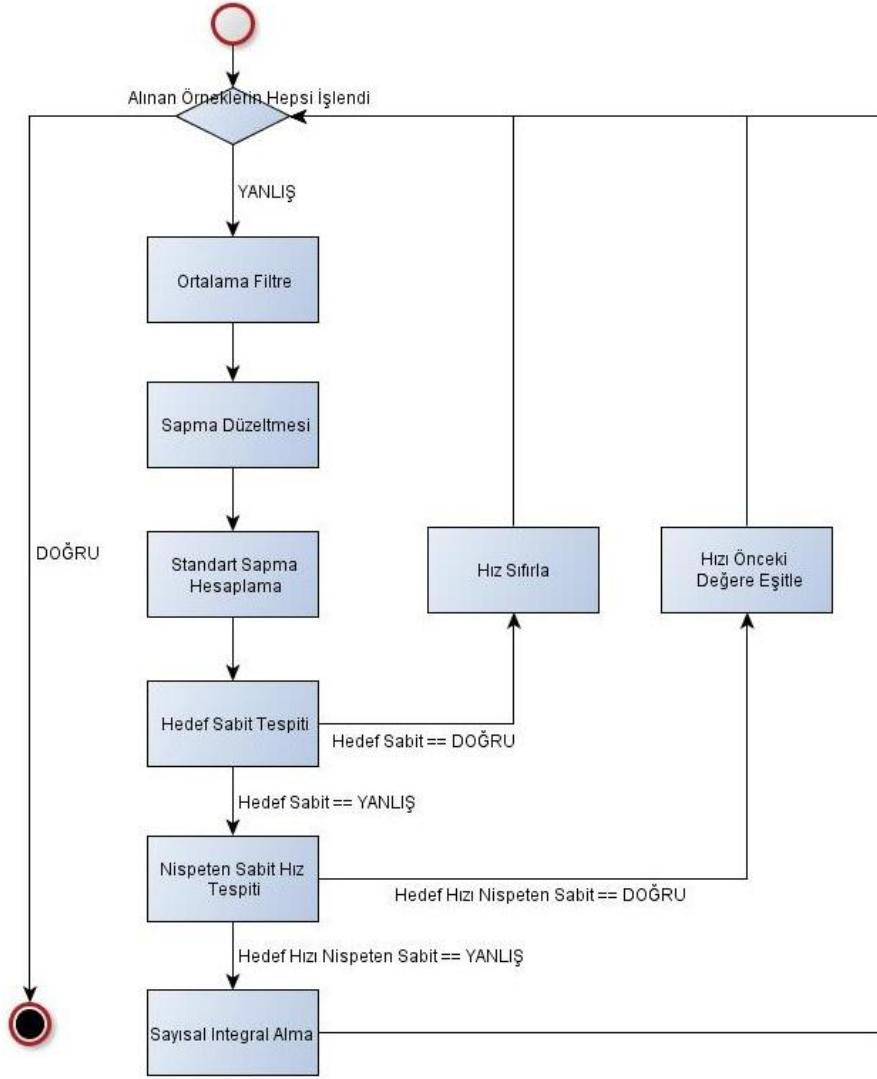


Şekil 2-12 MPU 6500 İvme Ölçümleri

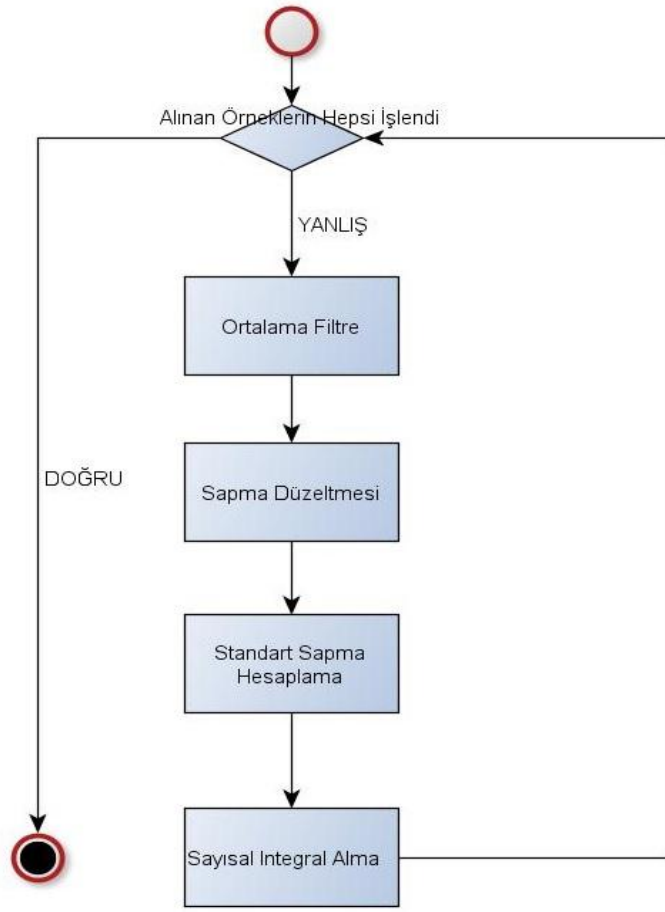


Şekil 2-13 Y Ekseninde Harekete Bağlı Standart Sapmadaki Değişim

MPU 6500 ivmeölçerden alınan veriler incelendiğinde, hedefin harekete geçmesiyle birlikte ivmeölçerden alınan verinin standart sapmasının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 2-12 ve Şekil 2-13'te görüldüğü gibi hedef sabitken ivmeölçerden alınan verinin standart sapması X ve Y ekseninde 0,15 civarındadır. Hedefin harekete geçmesiyle ivmeölçerden alınan X ve Y eksenlerindeki verinin standart sapmasında X ekseninde 1,7 değerine kadar Y ekseninde ise 1,3 değerine kadar artmış ve hedefin durması ile standart sapmanın tekrar 0,15 seviyelerine indiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç ile ivmeölçer sapması kaynaklı hataları integral alma işlemine sokmadan hızı sıfırlayacak bir sıfır hız tespit algoritması geliştirilmiştir. X ve Y eksenlerinde ivmeölçer verilerinin standart sapması 0,15'in altına inerse ölçülen hız 0'a eşitlenmiş ve integral işlemi durdurulmuştur. Hedefin harekete geçmesiyle, ivmeölçerden alınan veriden hedef sabitken hesaplanmış ivmeölçer sapmasının çıkarılmasıyla elde edilen hızlanmaya ait ivme verisinin hızlanma aşamasında 0.18 m/s^2 'den büyük değerler olarak her iki eksen de ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Nispeten daha sabit hıza yakın hareketlerde ise 0.18 m/s^2 bandında salınım yaptığı sonucuna varılmıştır. Bu ölçüm sonuçları göz önünde bulundurulduğunda hedefin nispeten sabit hızlarla yaptığı hareketin de tespitinin mümkün olduğu ve sabit hızlarda arttığı gözlemlenen ivmeölçer sapmasının integral alma işlemi durdurularak sabit hızlarda artan ivmeölçer sapmasının hız ve konuma ekleyeceği hata önlenmiştir. İvme verisinden hız ve konum hesaplamada kullanılan algoritmaya hedef sabit ve hedef hızı nispeten sabit tespit algoritmaları eklenmiş hali Şekil 2-14'te ve ivme verisinden hız ve konum hesaplamada kullanılan ilk algoritma ise Şekil 2-15'ta gösterilmiştir. Her iki algoritma ile deneysel veriler üzerinden hız ve konum hesapları gerçekleştirilmiş ve grafikler deneysel sonuçlar bölümüne eklenmiştir.



Şekil 2-14 Sabit Hız ve Hedef Sabit Tespit Eklenmiş Algoritma Akış Diyagramı



Şekil 2-15 Sayısal İntegral Alma Algoritması

2.3 Genişletilmiş Kalman Filtresi ile Hedef Konumlandırma ve Takip

2.3.1 Problem Tanımı

Kalman filtresi [9] sistemin doğrusal ve ölçüm hatalarının normal dağılıma sahip olduğu durumlarda konumlandırma ve takipte verimli ve en uygun çözümü sunar. Gerçek hayatta modellenen sistemlerin genelde doğrusal yapıya sahip olmaması nedeniyle doğrusal olmayan sistemler için uygulanabilen GKF [21] önerilmiştir. Tez çalışmasında ölçülen alınan sinyal gücü değerlerini durum vektörü uzayına yönlendiren matris doğrusal olmadığı için genişletilmiş kalman filtresi kullanılmıştır.

GKF tekrarlamalı olarak formül (49)'da ayırık zamanlı olarak modellenen sistemin durumunu kestirir. Formülde x_k k zamanındaki durum vektörünü, f durum geçiş matrisini, w_k ise durum tahmin sürecine ait bozucu etkileri modelleyen sıfır ortalama ve normal dağılıma sahip Q kovaryans matrisine sahip rast gele değişkendir.

$$x_k = f(x_{k-1}) + w_k \quad (49)$$

$$w_k \sim N(0, Q_k) \quad (50)$$

Sisteme ait ölçümler formül (50)'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Formülde, z_k k anında ölçülen değerlere ait vektör, h durum vektörünü ölçüm vektörü uzayına yönlendiren matris, v_k ise ölçüm hatalarını modelleyen sıfır ortalamalı ve normal dağılıma sahip R kovaryans matrisli rassal değişkendir.

$$z_k = h(x_{k-1}) + v_k \quad (50)$$

$$v_k \sim N(0, R_k) \quad (51)$$

Verilen her iki model için GKF tekrarlamalı olarak durumu tahmin ve düzeltme olmak üzere iki fazda hesaplar. Tahmin fazı k anında, GKF ilk olarak muhtemel bir durum vektörünü ($x_{k|k-1}$), önceki durum tahminini ($x_{k-1|k-1}$) kullanarak formül (52)'de gösterildiği gibi hesaplar.

$$x_{k|k-1} = f(x_{k-1|k-1}) \quad (52)$$

Tahmin fazında ayrıca tahmin edilen durum vektörü ($x_{k|k-1}$) ile ilgili $P_{k|k-1}$ kovaryans matrisi önceki kovaryans matrisi $P_{k-1|k-1}$ kullanılarak (53)'te gösterildiği gibi hesaplanır:

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (53)$$

Formülde, F_k doğrusal olmayan durum geçiş matrisi f 'in Jakobyen matrisinin önceki tahmin etrafında hesaplanan değerine eşittir.

Güncelleme fazında innovasyon vektörü y_k ölçülen değerlerden beklenen ölçümlerin çıkarılması ile aşağıdaki gibi bulunur:

$$y_k = z_k - h(x_{k|k-1}) \quad (53)$$

İnnovasyon vektörü ile ilişkili kovaryans matrisi S_k , beklenen ölçümün kovaryansı ile ölçümün kovaryans matrisinin toplanmasıyla elde edilir. Formül (54)'te H_k ölçümleri durum vektörüne yönlendiren doğrusal olmayan gözlem matrisinin Jakobyenin önceki tahmin fazında elde edilen durum vektörü etrafındaki değeridir.

$$S_{k|k-1} = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k \quad (54)$$

Kalman kazancı K_k , formül (55)'te gösterildiği gibi elde edilir ve sonraki durum tahmini ve bu tahmine karşılık gelen kovaryans matrisi Kalman kazancı kullanılarak bulunur.

$$K_{k|k} = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1} \quad (55)$$

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_{k|k} y_k \quad (56)$$

$$P_{k|k} = (I_n - K_{k|k} H_k) P_{k|k-1} \quad (57)$$

Formül (55)'ten ölçüm doğruluğu arttıkça ölçüm kovaryans matrisi sıfıra yakınsar ve Kalman kazancı H_k 'nin tersinin tanımlı olduğu durumlarda aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lim_{R_k \rightarrow 0} K_{k|k} = H_k^{-1} \quad (58)$$

Formül (54)'te hesaplanan Kalman kazancının (56)'da kullanılmasıyla güncelleme fazında tahmin edilen sonraki durum vektörü şu şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned} x_{k|k} &= x_{k|k-1} + H_k^{-1} (z_k - H_k x_{k|k-1}) \\ &= x_{k|k-1} + H_k^{-1} z_k - x_{k|k-1} \\ &= H_k^{-1} z_k \end{aligned} \quad (59)$$

Tersine durum vektörü tahmin fazında mükemmel yakın şekilde tahmin edilirse, önceki tahmine ait kovaryans matrisi sıfıra yakınsar ve Kalman kazancı şu şekilde hesaplanır:

$$\lim_{P_{k|k-1} \rightarrow 0} K_{k|k} = 0 \quad (60)$$

Kalman kazancının 0 olarak (56)'da kullanılmasıyla güncelleme fazında tahmin edilen sonraki durum vektörü şu şekilde elde edilir:

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + 0(z_k - H_k x_{k|k-1}) = x_{k|k-1} \quad (61)$$

2.3.2 Sistem Modeli

Hareketli düğüme ait durum; iki boyutta konumu, hızı ve ivmesi ile modellenmiştir.

$$X_k = [x, y, V_x, V_y, a_x, a_y]^T \quad (62)$$

Durum vektörünü k anında tahmin etmede kullanılacak olan durum geçiş matrisi ise (63)'de gösterilmiştir.

$$F_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt & 0 & dt^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt & 0 & dt^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (63)$$

Filtrenin tahmin yaptığı her bir adım arasındaki zaman aralığını belirten dt sistemde 0.01 saniye olarak alınmıştır. Tahmin sürecine ait gürültüleri modelleyen sıfır ortalamalı normal dağılıma sahip w_k rassal değişkenin kovaryans matrisi [22] referansında (64)'de gösterildiği gibi alınmıştır. Durum geçiş matrisine ait varyansa karşılık gelen q ise 0.03 olarak alınmıştır.

$$Q_k = q^* \begin{bmatrix} dt^4/4 & 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2/2 & 0 \\ 0 & dt^4/4 & 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2/2 \\ dt^3/2 & 0 & dt^2 & 0 & dt & 0 \\ 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2 & 0 & dt \\ dt^2/2 & 0 & dt & 0 & 1 & 0 \\ 0 & dt^2/2 & 0 & dt & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (64)$$

2.3.3 Ölçüm Modelleri

Sistemde hareketli düğüm ile sabit düğüm arası ölçülen alınan sinyal güçleri vektörü (65) ile gösterilmiştir.

$$z_k = [P_{ref1} \ P_{ref2} \ P_{ref3}]^T \quad (65)$$

Ölçülen değerleri durum vektörü uzayına çeviren doğrusal olmayan ölçüm modeli formül (21)'de gösterilen logaritmik yol kayıp modeli seçilerek aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$h_{x_k} = \begin{bmatrix} PL(do) - 10n \log(dist(x_k, x_{ref1})/d_0) \\ PL(do) - 10n \log(dist(x_k, x_{ref2})/d_0) \\ PL(do) - 10n \log(dist(x_k, x_{ref3})/d_0) \end{bmatrix} \quad (66)$$

Denklem (66)'da 1 numaralı referans düğüme olan uzaklık $dist(x_k, x_{ref1})$ ile gösterilmiştir. $x_{ref1,1}$ numaralı sabit düğüme ait konumun x eksenindeki karşılığı, $y_{ref1,1}$ numaralı sabit düğümün konumunun y eksenindeki karşılığıdır. x_k ve y_k ise hareketli düğümün k anındaki konumunu belirtmektedir.

$$dist(x_k, x_{ref1}) = \sqrt{(x_k - x_{ref1})^2 + (y_k - y_{ref1})^2} \quad (67)$$

Doğrusal olmayan ölçüm modelinin k anındaki Jakobiyen matrisi (68)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$H_k = \frac{-10n}{\ln(10)} \begin{bmatrix} \frac{x_k - x_{ref1}}{dist^2(x_k, x_{ref1})} & \frac{y_k - y_{ref1}}{dist^2(x_k, x_{ref1})} \\ \frac{x_k - x_{ref2}}{dist^2(x_k, x_{ref2})} & \frac{y_k - y_{ref2}}{dist^2(x_k, x_{ref2})} \\ \frac{x_k - x_{ref3}}{dist^2(x_k, x_{ref3})} & \frac{y_k - y_{ref3}}{dist^2(x_k, x_{ref3})} \end{bmatrix} \quad (68)$$

Formülde x_k, y_k hareketli düğümün k anındaki konumu, x_{refn}, y_{refn} ise $n=1,2,3$ olmak üzere sabit düğümlerin konumlarına karşılık gelmekte ve sabit düğümler sistemde $x_{ref1} = 0, y_{ref1} = 0, x_{ref2} = -8,75, y_{ref2} = 0, x_{ref3} = -4,7, y_{ref3} = 8,52$ konumlarında yer almaktadır.

Alınan sinyal ölçümlerine ait gürültüyü modelleyen rastgele değişkenin varyans matrisi yine aynı ortamda çevrimdışı süreçte yapılan ölçümler ile (69)'da gösterilen köşegen matris olarak alınmıştır:

$$R_{RSSI,k} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (69)$$

Sistemde hareket sensöründen ölçülen ivmeler ve anlık durumu ölçüm uzayına yönlendiren matrisler (70) numaralı formülde ifade edilmiştir.

$$Z_k = [Acc_x \ Acc_y]^T \quad (70)$$

$$H_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Çevrimdışı süreçte hesaplanan ivmeölçer verisine ait varyans değerleri kullanılarak ivme ölçümlerine ait gürültünün kovaryans matrisi bulunmuştur:

$$R_{Acc,k} = \begin{bmatrix} 0.0034 & 0 \\ 0 & 0.0037 \end{bmatrix} \quad (71)$$

2.3.4 İklendirme

Kalman filtre uygulamalarında durum vektörünün iklendirilmesi kestirim için geçen zaman ve doğruluk açısından önemlidir. Genelde uygulamalarda durum vektörü farazi olarak iklendirilir ve durum vektörünün ilk değerinin doğruluğu kovaryans matrisi P'nin ilk değerine yansıtılır. Kalman filtresi çalışmaya başladıkça kestirim gerçek konuma yaklaşır ve durum vektörünün her bir elemanına karşılık gelen kovaryansları tutan P matrisindeki değerler küçülür.

Kalman filtresi çalışmaya başlamadan önce, üç adet sabit düğümden ölçülen alınan sinyal güçleri formül (29) yardımıyla mesafeye çevrilmiş ve elde edilen mesafelerin trilaterasyon yönteminde [4] kullanılmasıyla hareketli düğüme ait bir konum elde edilmiştir. 100 adet örnek için aynı işleme uygulanarak konum hesaplaması yapıldıktan sonra ortalama alınmış ve sonuç ilk konum olarak tayin edilmiştir. Hesaplanan konumlara ait varyans değerleri ise Kalman filtresinin kovaryans matrisinin konuma karşılık gelen elemanlarına eşitlenmiştir. Hareket sensörünün kalibrasyon sürecinde elde edilen kovaryans değerleri ise P matrisinin diğer elemanlarını oluşturmuştur. P matrisi bir iklendirme anında şu değerleri almıştır:

$$P_0 = \begin{bmatrix} 1,25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,34 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,03 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,03 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,003 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,003 \end{bmatrix} \quad (72)$$

2.3.5 Veri Füzyonu

Otonom araçlar, keşif robotları, arama kurtarma faaliyetleri gibi hareketli birimler içeren uygulamaların kapalı ortamda konumlandırılması ve takibi temel ve önemli problemidir.

Farklı sensörler kullanılarak değişik yaklaşımlar ile bu problem çözülmeye çalışılsa da iç konumlandırma sisteminde kullanılabilen iki tip sensör vardır. Atalatsel ölçüm sistemi, atalatsel navigasyon sistemi gibi mevcut konumu ilk konum üzerinden integral alma işlemi uygulayarak yapan sensörlerde ilk konumun girilmesi gereklidir. İntegral alınarak konumun hesaplanması nedeniyle küçük hatalar zamanla hesaplanan konumda büyük hatalara neden olmaktadır. Bilinen koordinatlara olan mesafeleri, yön veya sinyalin ulaşma zamanı ölçülerek hesaplayan sensörlerde ise görüş hattında bir kanal olması gerekmektedir. Referans koordinatlardan ölçülen üç değer iki boyutlu uzayda konum bulmak için yeterlidir. Genellikle düşük maliyeti ve kablosuz sensör ağlarında ekstra donanım gerektirmemesi nedeniyle alınan sinyal gücü yardımıyla düğümler arası mesafenin bulunması uygulamalarda sıkça karşılaşılr. Çevrimdışı süreçte yapılması gereken bazı ölçümlerin ardından çevrimiçi süreçte konumlandırma mümkündür. Bu integral gerektirmeyen kesin konumlandırma yöntemi de yansıyan sinyaller, engeller ve bağlantının durumundan etkilenmektedir. Çalışmalarda tek bir sensör yerine farklı tipte sensörler birlikte kullanılarak konum kestirim doğruluğu arttırılmaya çalışılır. Uygulamanın maliyetine göre birlikte kullanılan sensörlerin teknik özellikleri değişebilmektedir.

Çalışmamızda sadece ivmeölçer tabanlı konumlandırma ve alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırmada karşılaşılan sıkıntıları aşmak amacıyla, GKF filtresinde ivme ve alınan sinyal gücü verilerini füzyon algoritmasında kullandık. Tahmin fazında sistem durumu ve sistem durumuna karşılık gelen kovaryans için tahmin yapıldıktan sonra güncelleme fazında önce alınan sinyal gücü yardımıyla konum kestirimi ve durum vektörü kovaryans matrisi güncellenmiş daha sonra ise ivmeölçer verisi yardımıyla konum kestirimi tekrar yapılmış ve kovaryans matrisi güncellenmiştir. Veri füzyonu tek bir iterasyon için aşağıdaki formüllerde gösterildiği şekilde gerçekleşmiştir.

$$x_{k|k-1} = f(x_{k-1|k-1}) \quad (73)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k|k} F_k^T + Q_k \quad (74)$$

$$y_{RSSI,k} = z_{RSSI,k} - h_{RSSI}(x_{k|k-1}) \quad (75)$$

$$S_{k|k-1} = H_{RSSI,k} P_{k|k-1} H_{RSSI,k}^T + R_{RSSI,k} \quad (76)$$

$$K_{k|k} = P_{k|k-1} H_{RSSI,k}^T S_{k|k-1}^{-1} \quad (77)$$

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_{k|k} y_{RSSI,k} \quad (78)$$

$$P_{k|k} = (I_n - K_{k|k} H_{RSSI,k}) P_{k|k-1} \quad (79)$$

$$x_{k|k-1} = x_{k|k} \quad (80)$$

$$P_{k|k-1} = P_{k|k} \quad (81)$$

$$y_{ACC,k} = z_{ACC,k} - h_{ACC}(x_{k|k-1}) \quad (82)$$

$$S_{k|k-1} = H_{ACC,k} P_{k|k-1} H_{ACC,k}^T + R_{ACC,k} \quad (83)$$

$$K_{k|k} = P_{k|k-1} H_{ACC,k}^T S_{k|k-1}^{-1} \quad (84)$$

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_{k|k} y_{ACC,k} \quad (85)$$

$$P_{k|k} = (I_n - K_{k|k} H_{ACC,k}) P_{k|k-1} \quad (86)$$

İlk olarak formül (73)'de doğrusal olmayan sistem durum geçiş modeli yardımıyla yeni durum tahmini yapılmıştır. Ardından kovaryans matrisinin yeni değeri, kovaryans matrisinin bir önceki değeri ile durum geçiş modelinin Jakobyeni ve durum geçiş modelinin Jakobyenin devriğinin çarpılmasıyla (74)'de elde edilmiştir. Tahmin fazında yapılan bu iki işlemin ardından alınan sinyal gücü güncelleme fazına geçilmiştir. Tahmin edilen durum vektörüne karşılık gelen ölçümler alınan sinyal gücü ölçüm modeli kullanılarak elde edildikten sonra ölçümden (75)'de gösterildiği gibi çıkarılarak hata hesaplanmıştır. Tahmin edilen ölçümlere ait kovaryans ve ölçüm modeline ait kovaryansın kesişimi ile (77)'de gösterildiği gibi alınan sinyal gücü için güncelleme fazında kullanılacak Kalman kazancı hesaplanmıştır. Hesaplanan kazancın (75)'de hesaplanan hata ile çarpılıp formül (78)'de gösterildiği gibi tahmin edilen duruma eklenmesiyle kestirilen konum elde edilir. Alınan sinyal gücü için tahmin ve güncelleme fazları tamamlandıktan sonra ivmeölçer verisinin Kalman filtrede kullanılmasına geçilir. Alınan sinyal gücü verileri kullanılarak elde edilen durum vektörü ve kovaryans matrisi ivme verileri ile tahmin fazında elde edilmiş gibi kullanılır. Alınan sinyal gücü verileri kullanılarak kestirilen durum vektörüne ait ivme verisinden ölçülen ivme verisinin (82)'de gösterildiği gibi çıkarılmasıyla hata bulunur. Tahmin edilen ölçümlere ait kovaryans ve ölçüm modeline ait kovaryansın kesişimi ile (84)'de gösterildiği gibi ivme verileri için güncelleme fazında kullanılacak Kalman kazancı elde edilir. Formül (85)'te, kazancın ivme verileri için hesaplanan hata ile çarpılıp alınan sinyal gücü verileri güncelleme fazında elde edilen durum vektörüne eklenmesiyle nihai durum vektörü kestirim sonucu elde edilir. Alınan sinyal gücü verileri ile bir sonraki döngüde kullanılacak kovaryans matrisi ise formül (86)'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

2.4 Uyarlanırlı Genişletilmiş Kalman Filtre ile Hedef Konumlandırma ve Takip

2.4.1 Problem Tanımı

Önceki bölümde anlatıldığı üzere Kalman filtresinde temel olarak sistemin davranışını tanımlayan sistem dinamik modeli ve sistem ve ölçüm gürültülerini modelleyen olasılıksal modeller kullanılarak kestirim yapılır. Kestirim performansının iyi olabilmesi için dinamik modelin ve ölçüm gürültüsü modellerinin bilinmesi gerekir. Ancak çoğu uygulamalarda bahsedilen modeller kısmi bilinir, bilenemez veya değişken olabilir. Bunun sonucunda Kalman filtresinin kestirim performansı düşebilir ya da ıraksayabilir. Kalman filtresi algoritmasında kazanç hesaplanırken gürültünün istatistiksel özellikleri kullanılmaktadır. Bu nedenle gürültü karakteristikleri kestiriminin doğruluğu açısından önem arz etmektedir. Uyarlanırlı Kalman filtresi, bilinmeyen gürültü ve sistem karakteristiklerine göre kendini uyarlar ve bu sayede bu parametrelerin kestirim performansına etkisini azaltır. Literatürde, UKF inovasyon tabanlı uyarlanırlı kestirim ve çoklu model uyarlanırlı kestirim olmak üzere iki tiptir. Bahsedilen UKF tiplerinin özeti [13]'de bulunabilir.

İnovasyon tabanlı uyarlanırlı kestirim Kalman filtresini temel alan bir filtre [23] tez çalışmasında kullanılmıştır. Formül (49)-(51) ile modellenebilen ayrık zamanlı doğrusal sistemde R_0 ve Q_0 matrislerinin ilk değerleri girilir. R_0 ve Q_0 değerlerine karşılık gelen $0 < \alpha_1 < 1$, $0 < \alpha_2 < 1$ ve N_R , N_Q sabitleri tayin edilir. Gürültü kovaryans hataları ΔQ ve ΔR hesaplanarak, ölçüm ve durum tahmin kovaryans matrislerinin güncellenmesinde kullanılır.

Tez çalışması kapsamında gerçeken uyarlanırlı GKF'nin formülleri (87) - (102) arasında verilmiştir.

$$\text{İlk değerler } \bar{w}_0, \bar{e}_0, P_0, N_Q, N_R, Q_0 > 0, R_0 > 0 \quad (87)$$

$$\hat{x}_{k|k-1} = f(x_{k-1|k-1}) \quad (88)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (89)$$

$$e_k = z_k - H_k x_{k|k-1} \quad (90)$$

$$\alpha_1 = \frac{N_R - 1}{N_R} \quad (91)$$

$$\bar{e}_k = \alpha_1 \bar{e}_{k-1} + \frac{1}{N_R} e_k \quad (92)$$

$$\Delta R_k = \frac{1}{N_R - 1} (e_k - \bar{e}_k)(e_k - \bar{e}_k)^T - \frac{1}{N_R} (H_k P_{k|k-1} H_k^T) \quad (93)$$

$$R_k = |diag(\alpha_1 R_{k-1} + \Delta R_k)| \quad (94)$$

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (F_k P_{k|k-1} F_k^T + R_k)^{-1} \quad (95)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k e_k \quad (96)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H) P_{k|k-1} \quad (97)$$

$$\hat{w}_k = \hat{x}_{k|k} - \hat{x}_{k|k-1} \quad (98)$$

$$\alpha_2 = \frac{N_Q - 1}{N_Q} \quad (99)$$

$$\bar{w}_k = \alpha_2 \bar{w}_{k-1} + \frac{1}{N_Q} \hat{w}_k \quad (100)$$

$$\Delta Q_k = \frac{1}{N_Q - 1} (\hat{w}_k - \bar{w}_k)(\hat{w}_k - \bar{w}_k)^T + \frac{1}{N_Q} (P_{k|k} - F_k P_{k|k-1} F_k^T) \quad (101)$$

$$Q_k = |diag(\alpha_2 Q_{k-1} + \Delta Q_k)| \quad (102)$$

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uyarlanırlı filtre ile geleneksel uyarlanırlı filtre arasında [24] verileri kaydetme ve kaydırma açısından farklar vardır. Geleneksel uyarlanırlı GKF' de her bir kestirim anında hafızada tutulan gözlem verileri kaydırılarak en güncel olan örneklerin sonuca yansıtılması amaçlanır. Tez çalışmasında uygulanan uyarlanırlı GKF' de ise örneklerin hafızada tutulmasına ve kaydırılmasına gerek yoktur.

(87)'de gösterildiği gibi ilk değerler atandıktan sonra GKF de olduğu gibi durum vektörü ve kovaryans matrisi tahmini (89) ve (90)'da gösterildiği gibi yapılır. Güncelleme fazında ölçüm hatası (91)'de gösterilen şekilde hesaplandıktan sonra geçmiş ölçüm hatalarının toplamı ile son hesaplanan hatadan (91)'de gösterilen katsayı hesaplanır. Bu katsayı kullanılarak yeni ölçüm hatası formül (92)'de gösterildiği gibi elde edilir. Elde edilen ölçüm hatasının kovaryansı ve tahmin edilen ölçüme ait kovaryans (93) numaralı formüldeki gibi kullanılarak ölçüm kovaryansı matrisini elde edilmesinde kullanılacak fark elde edilir. Bu farkın (94) numaralı formülde belirtilen şekilde bir önceki ölçüm modeline ait kovaryans matrisi ile ağırlıklı ortalaması alınarak ölçüm modeline ait gürültünün kovaryans matrisi uyarlanırlı olarak elde edilir. Güncelleme fazında durum vektörü ve kovaryans matrisleri formül (96) ve (97)'de gösterilen şekilde hesaplanır. Güncelleme fazında elde edilen durum vektörü ile tahmin fazında elde edilen durum vektörü çıkarılarak süreç hatası elde edilir (98). Elde edilen güncel süreç hatası ile geçmiş süreç hatalarının ağırlıklı ortalamasının alınmasında kullanılacak katsayı hesaplandıktan sonra (99), bu katsayı kullanılarak yeni ölçüm hatası elde edilir (100). Elde edilen yeni ölçüm hatasına ait kovaryansın ve durum tahmin sürecine ait kovaryansının farklı ağırlıkta ortalamasının

(101)'de gösterilen şekilde alınmasıyla süreç modeli kovaryans farkı elde edilir. Bu fark (102)'de belirtilen şekilde kullanılarak süreç modeline ait gürültünün kovaryansı uyarlanı olarak elde edilir.

2.4.2 Sistem, Ölçüm Modelleri ve İklendirme

Tez çalışmasında uyarlanı GKF' de; durum vektörü, hareket modeli ve durum vektörü kovaryans matrisi için Genişletilmiş Kalman Filtresi ile Hedef Konumlandırma ve Takip bölümündeki değerler kullanılmıştır. İlk değerler ise hareket modeli hataları için örnekleme sıklığı dt 0,01 ve q 0,03 olmak üzere aşağıdaki gibi alınmıştır:

$$Q_0 = q^* \begin{bmatrix} dt^4/4 & 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2/2 & 0 \\ 0 & dt^4/4 & 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2/2 \\ dt^3/2 & 0 & dt^2 & 0 & dt & 0 \\ 0 & dt^3/2 & 0 & dt^2 & 0 & dt \\ dt^2/2 & 0 & dt & 0 & 1 & 0 \\ 0 & dt^2/2 & 0 & dt & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (103)$$

Ölçümlere ait gürültüleri modelleyen kovaryans matrislerinin ilk değerleri ise (104) ve (105)'de gösterildiği gibi alınmıştır.

$$R_{RSSI,0} = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \quad (104)$$

$$R_{ACC,0} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 0,1 \end{bmatrix} \quad (105)$$

Durum vektörü kestirimine ait iki döngü arası farkın ilk değeri ise (106)'de gösterildiği gibi alınmıştır:

$$\bar{w}_0 = [1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1]^T \quad (106)$$

Ölçüm değerlerine ait farkın iki döngü arasındaki farkları ise aşağıda gösterilen ilk değerler ile çalışılmıştır:

$$\bar{e}_{0,RSSI} = [2, 2, 2]^T \quad (107)$$

$$\bar{e}_{0,ACC} = [0,5, 0,5]^T \quad (108)$$

3 SİMÜLASYON SONUÇLARI

3.1 İvme Verileri Tabanlı Simülasyonlar

Bu bölümde farklı ivmeölçer modelleri üzerinden 2.2.4 İvme Ölçer Sapması bölümünde anlatılan ivmeölçer verileri tabanlı konum bulma algoritmaları karşılaştırılacaktır.

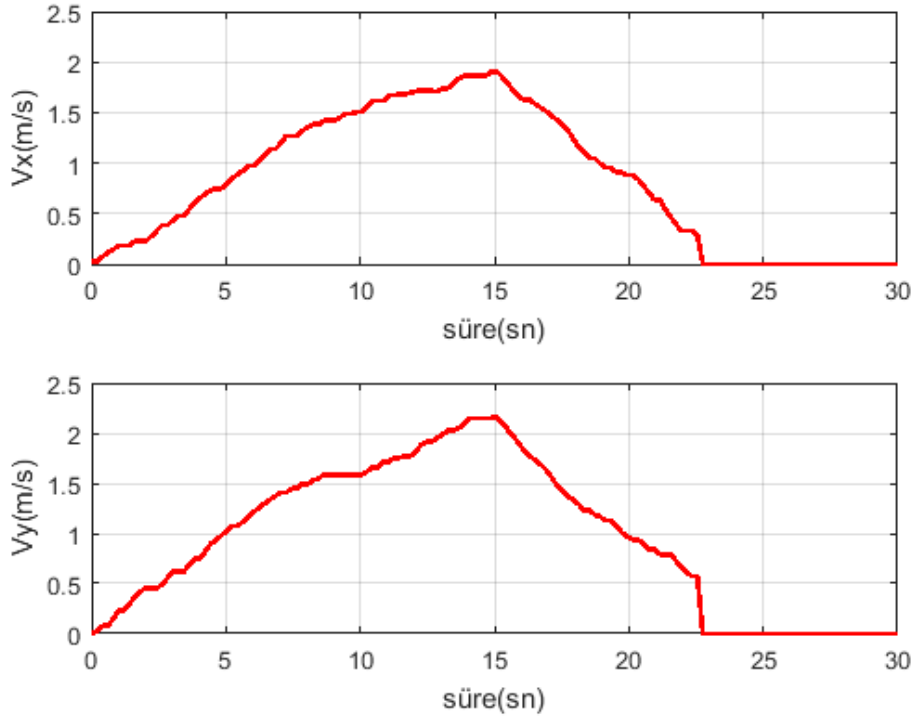
İlk modelde ivme ölçümleri, sabit bir sapma ve normal dağılıma sahip sıfır ortalamalı gürültüden oluşan model olarak (109)'da belirtilen şekilde alınmıştır. Modelde m ölçülen değere, a ilgili eksenindeki gerçek ivme değerine, b çevrimdışı süreçte hesaplanan ve sürekli sabit olan ivmeölçer sapmasına, v ise normal dağılımlı sıfır ortalamalı gürültüye karşılık gelmektedir.

$$m = a + b + v \quad (109)$$

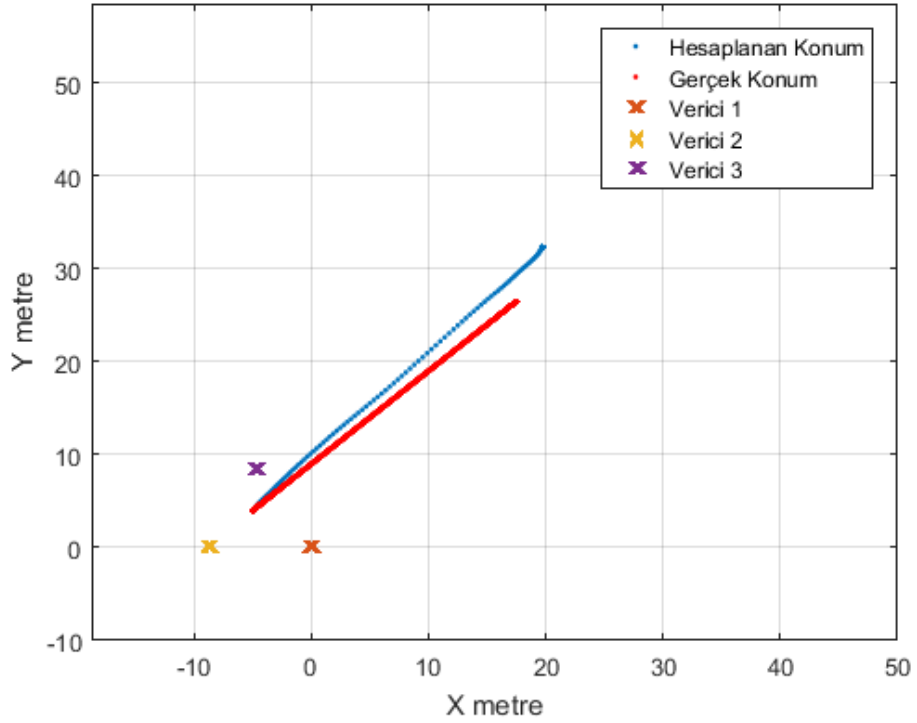
İkinci ivmeölçer modeli olarak tez çalışmasında kullanılan MPU 6500 ivmeölçeri modellenmeye çalışılmıştır. İvme ölçüm modeli (109)'da gösterildiği gibi alınmıştır. Sabit durumda normal dağılımlı sıfır ortalamalı gürültünün standart sapması 0,15 olarak, hedef hareketli iken normal dağılımlı sıfır ortalamalı gürültünün standart sapması 0,6 olarak alınmıştır. İvmeölçer sapması ise sabit durumda X ekseninde yaklaşık $-0,281 \text{ m/s}^2$, Y ekseninde ise yaklaşık $-0,258 \text{ m/s}^2$ olarak alınmış hareketli durumda ise X ekseninde yaklaşık $-0,381 \text{ m/s}^2$, Y ekseninde ise yaklaşık $-0,358 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır.

MPU6500 ivmeölçere ait modelin sıfır hız ve sabit hız tespit algoritması ile elde edilen hız grafiği Şekil 3-1'de ve konum grafiği ise Şekil 3-2'de gösterilmiştir. Şekil 3-1'de hızın belli bir ivmeyle arttığı ve bir miktar sabit kaldıktan sonra azaldığı ve hedefin durmasıyla sıfırlandığı gözlemlenmiştir. Yani konum bulmada ıraksamaya neden olacak sapmanın neden olduğu hız yok edilmiştir. MPU6500 ivmeölçere ait modelin normal integral alma yöntemi ile hesaplanan hız ve konum grafiği ise Şekil 3-3 ve Şekil 3-4'te gösterilmiştir. Şekil 3-3'te yine hızın belli bir ivme ile arttığı kısmen sabit kaldığı ve hedefin durmasına rağmen yaklaşık 1 m/sn 'de kaldığı gözlemlenmiştir. İvmeölçer sapmasının neden olduğu bu hızın konumda Şekil 3-4'te gösterildiği üzere sapmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan MPU6500 ivmeölçere ait modele göre uyarlanmış sabit hız ve sıfır hız tespit yeteneğine sahip konum bulma algoritmasının sapmanın neden olduğu konumdaki hızlı ıraksamaları engellediği gözlemlenmiştir.

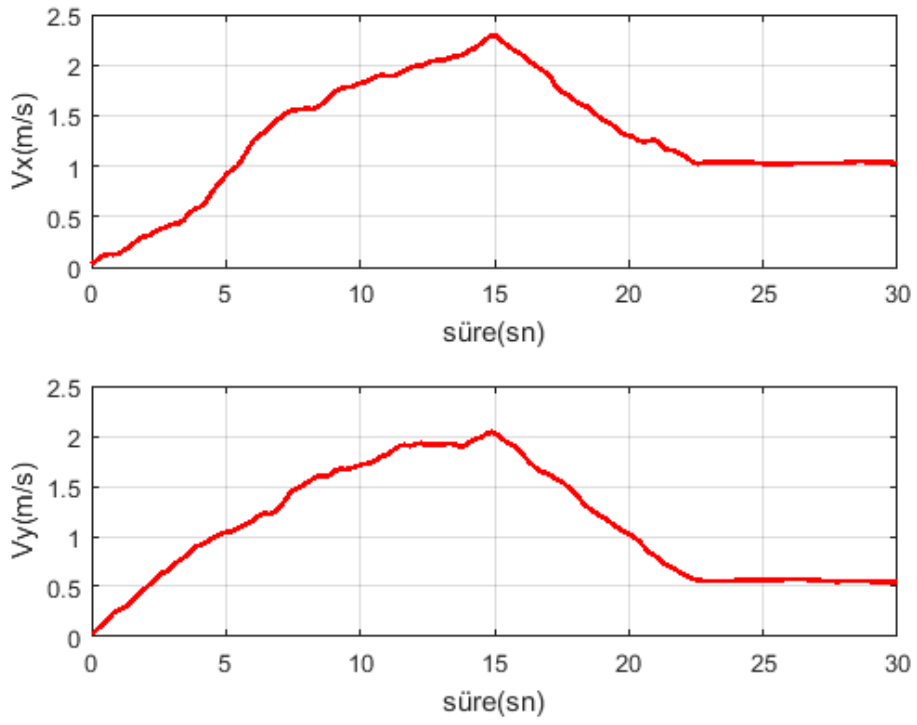
Standart ivme modeli ile sıfır hız ve sabit hız tespit algoritması kullanılarak elde edilen hız ve konum verileri sırasıyla Şekil 3-5 ve Şekil 3-6 'da, normal integral alma algoritması kullanılarak elde edilen hız ve konum verileri ise Şekil 3-7 ve Şekil 3-8'de gösterilmiştir.



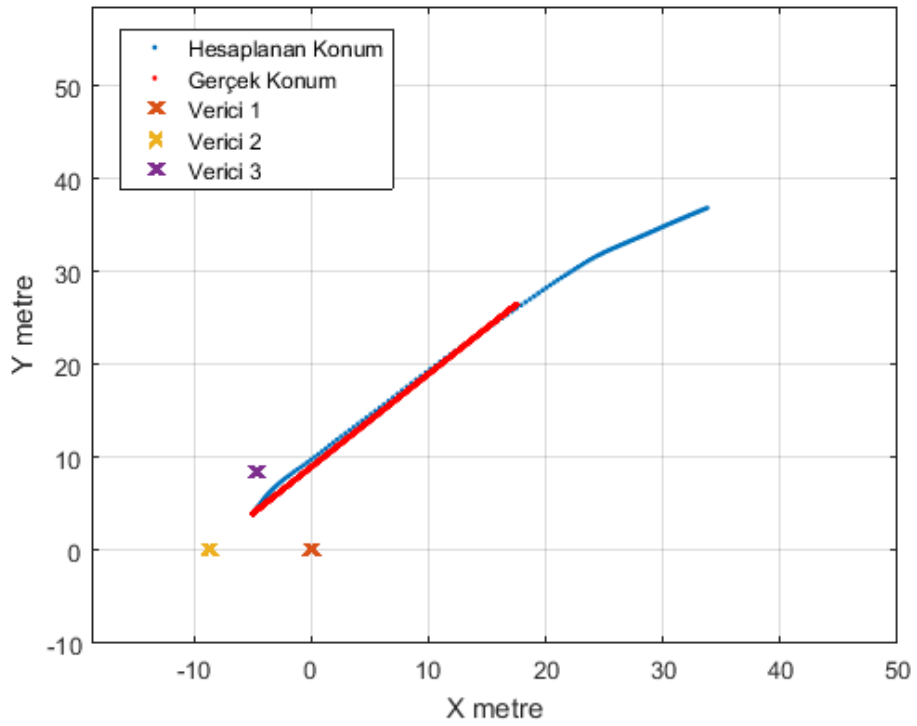
Şekil 3-1 MPU 6500 İvme Modeli ile Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği



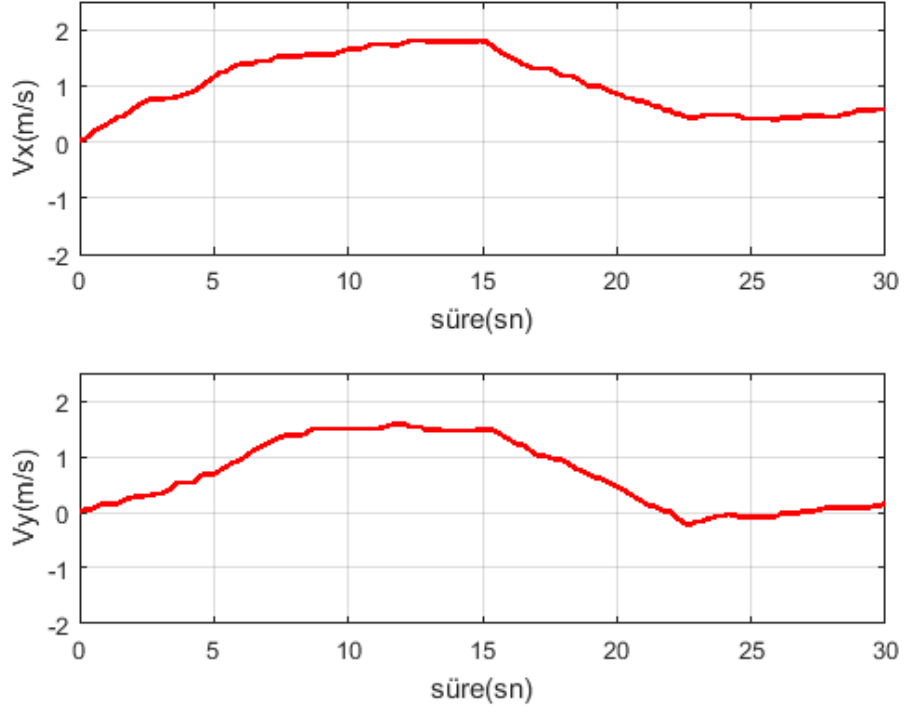
Şekil 3-2 MPU 6500 İvme Modeli ile Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Konum Grafiği



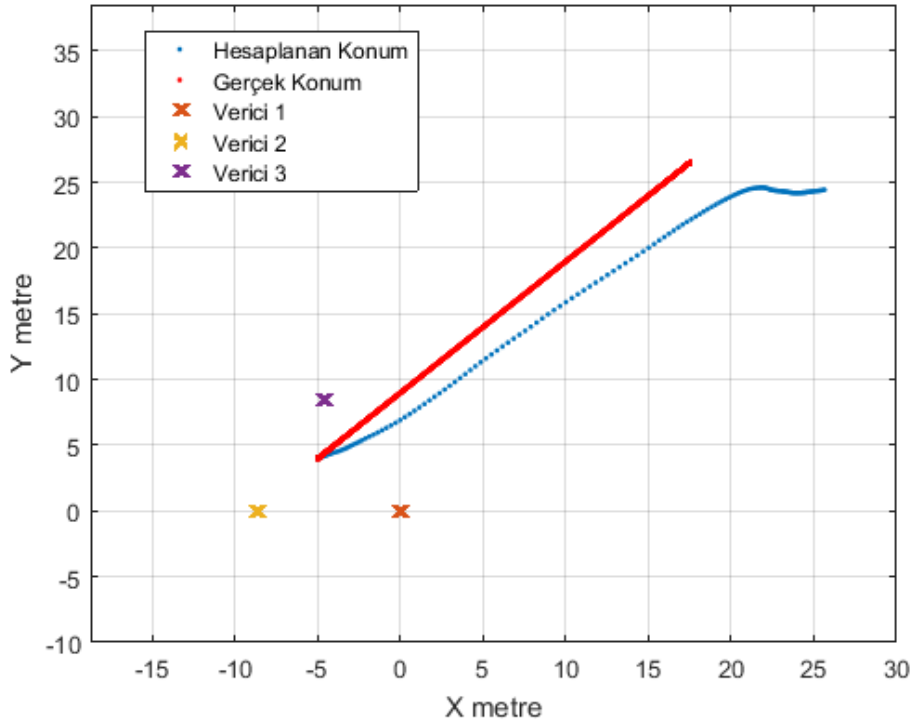
Şekil 3-3 MPU 6500 İvme Modeli ile Normal İntegral Alma Algoritması Hız Grafiği



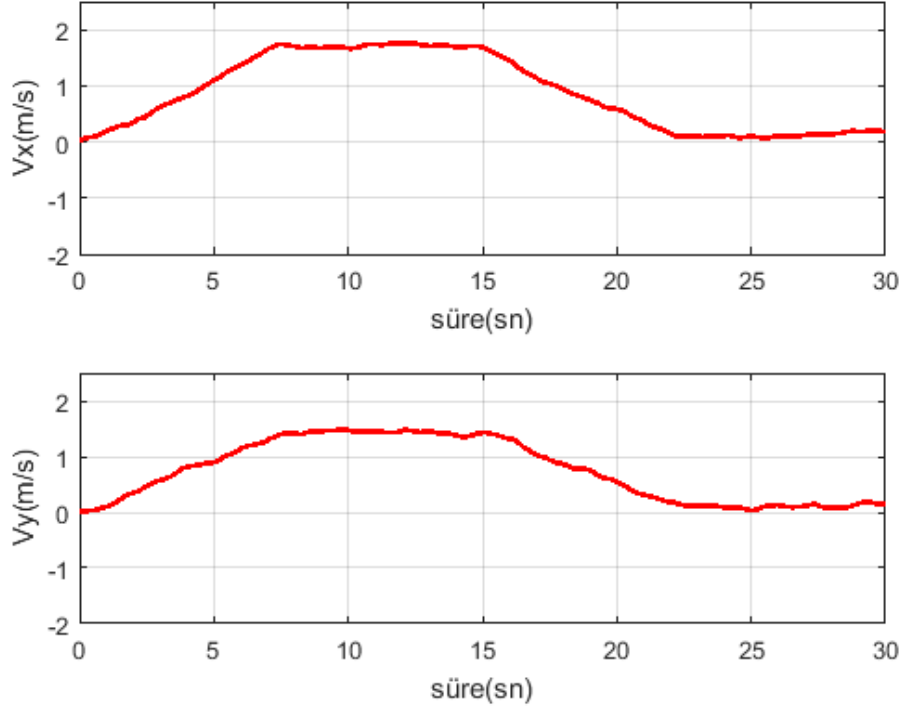
Şekil 3-4 MPU 6500 İvme Modeli ile Normal İntegral Alma Algoritması Konum Grafiği



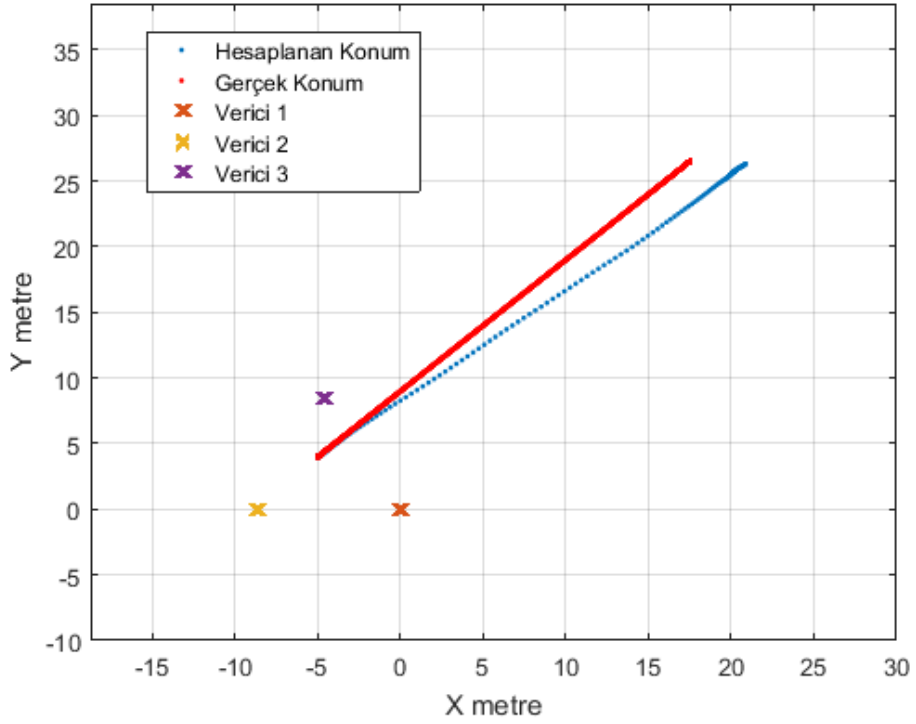
Şekil 3-5 Standart İvme Modeli Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği



Şekil 3-6 Standart İvme Modeli Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması Hız Grafiği



Şekil 3-7 Standart İvme Modeli ve Normal İntegral Alma Algoritması Hız Grafiği



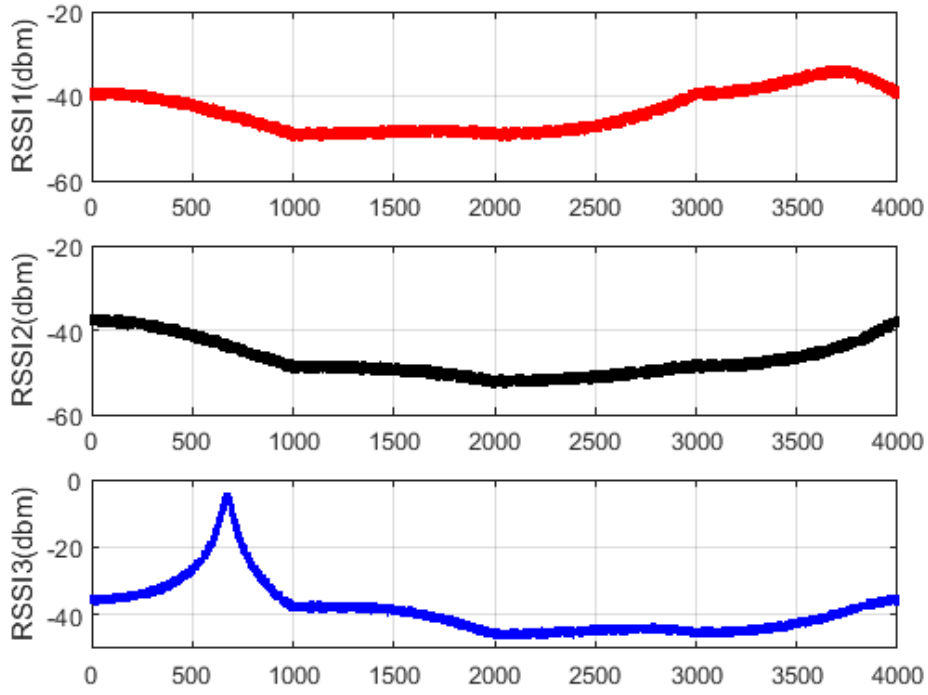
Şekil 3-8 Standart İvme Modeli ve Normal İntegral Alma Algoritması Konum Grafiği

3.2 Alınan Sinyal Gücü Verileri Tabanlı Simülasyonlar

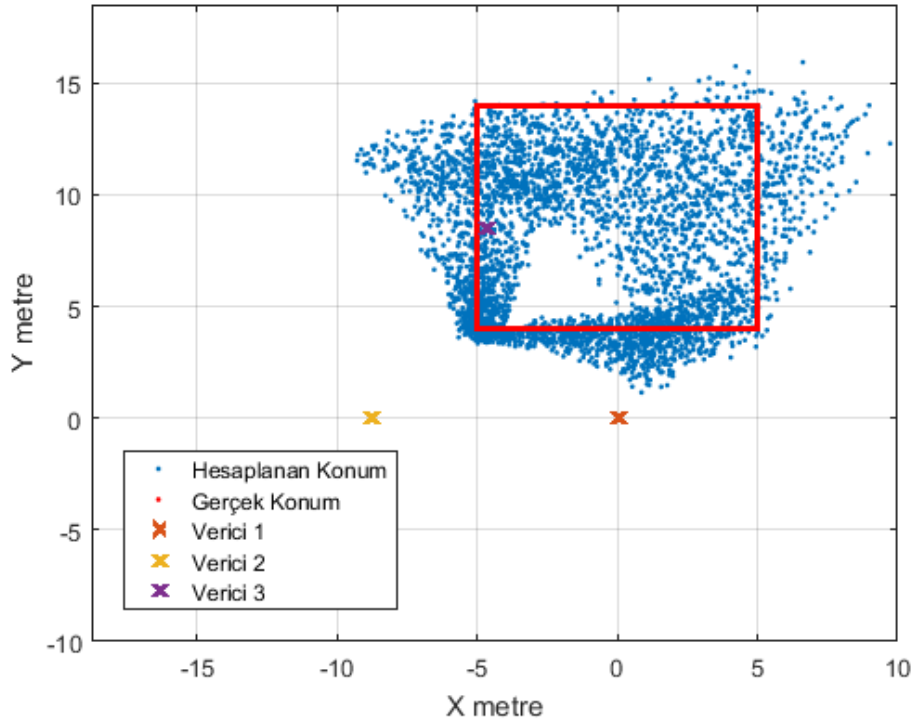
Çalışmanın bu kısmında Logaritmik Yol Kayıp Modeli bölümünde anlatılan ve (21)'de formülü verilen logaritmik yol kayıp modeli kullanılarak, Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma Gerçeklenmesi bölümünde denklemleri verilen trilaterasyon yöntemiyle alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma simülasyonları yapılmıştır. Hedef hareketli iken ve sabit iken yapılan simülasyonlarda alınan parametreler Çizelge 3'te gösterilmiştir. Tabloda verilen parametrelere göre yapılan simülasyonların sonuçları aşağıda verilmiştir. Şekil 3-9, Şekil 3-11 ve Şekil 3-13'de simülasyonlarda kullanılması için üretilen alınan sinyal gücü verileri gösterilmiştir. Şekil 3-10, Şekil 3-12 ve Şekil 3-14'te ise sırasıyla simülasyon 1,2 ve 3'te elde edilen alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3 Alınan Sinyal Gücü Tabanlı Simülasyon Parametreleri

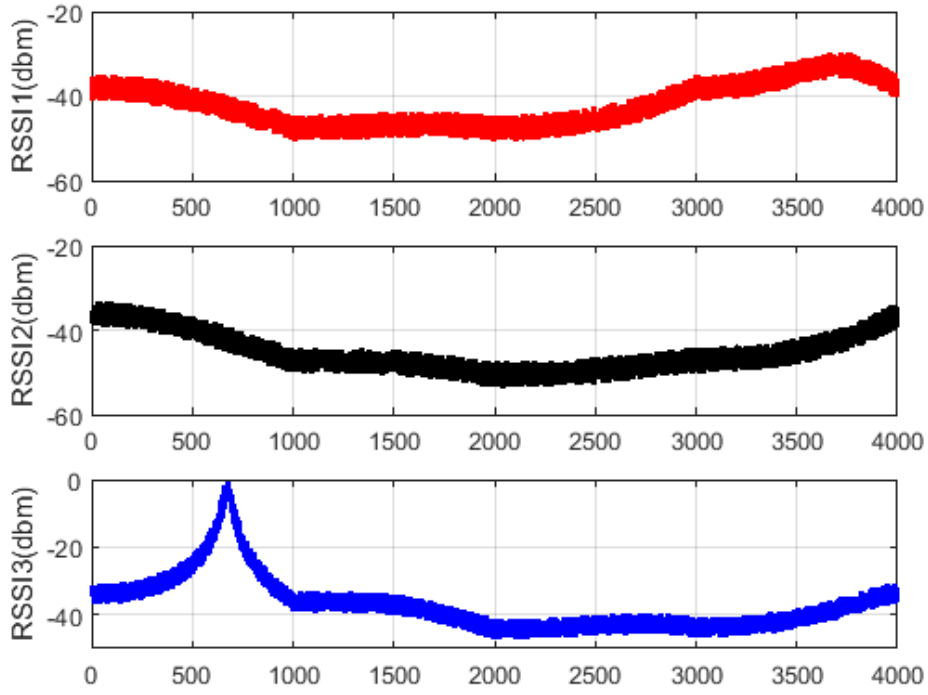
Simülasyon Bir	Yol Kayıp Katsayısı	2.6
	RSSI Sinyali Standart Sapması	3 dB
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hedef Durumu	Hareketli
Simülasyon İki	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	RSSI Sinyali Standart Sapması	6dB
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hedef Durumu	Hareketli
Simülasyon Üç	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	RSSI Sinyali Standart Sapması	3dB
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hedef Durumu	Sabit



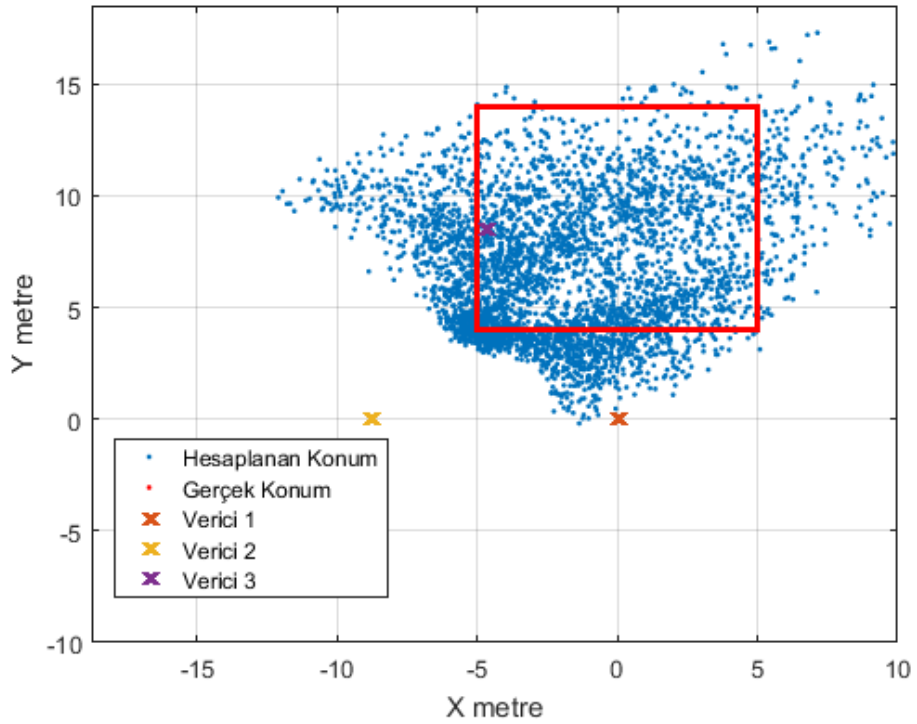
Şekil 3-9 Birinci Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri



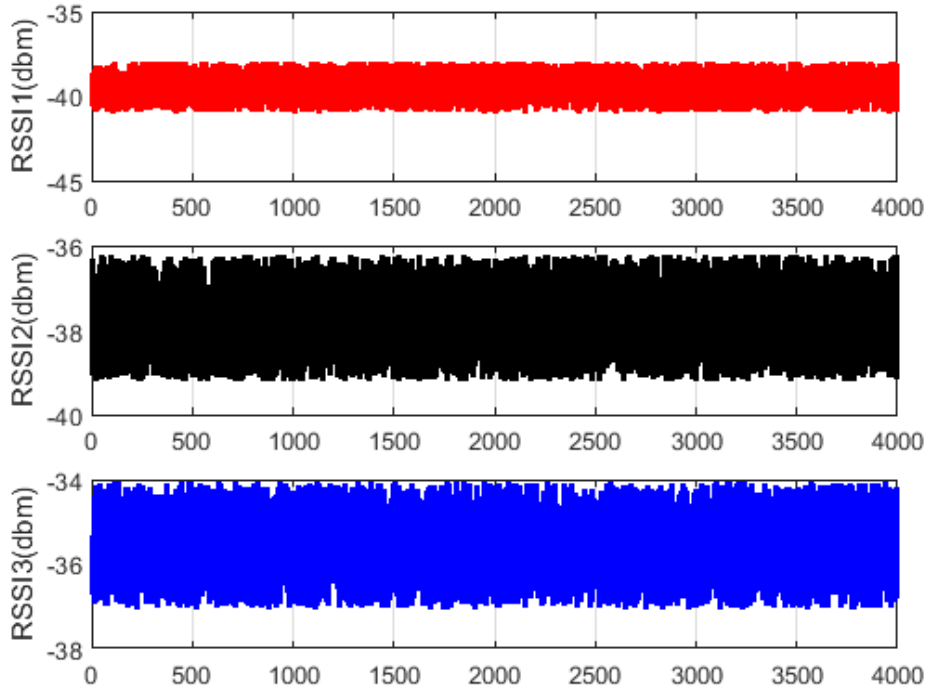
Şekil 3-10 Birinci Simülasyon Konum Sonuçları



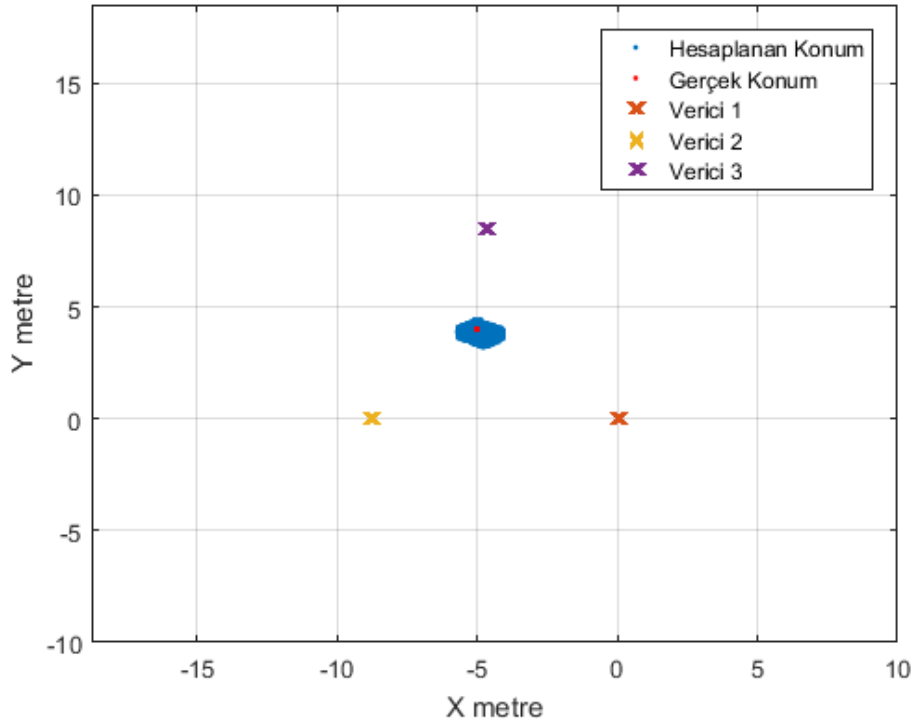
Şekil 3-11 İkinci Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri



Şekil 3-12 İkinci Simülasyon Konum Sonuçları



Şekil 3-13 Üçüncü Simülasyon Alınan Sinyal Gücü Değerleri



Şekil 3-14 Üçüncü Simülasyon Alınan Konum Sonuçları

3.3 Alınan Sinyal Gücü ve İvme Verileri Füzyonu Simülasyonlar

3.3.1 Genişletilmiş Kalman Filtresinde Veri Füzyonu Simülasyonları

Çalışmanın bu bölümünde Genişletilmiş Kalman Filtresi ile Hedef Konumlandırma ve Takip kısmında anlatılan formüller, modeller ve yöntemler kullanılarak GKF ile veri füzyonu simülasyonları yapılmıştır.

İlk olarak hareket modeli kısmen sabit ivmeli olarak alınmıştır. Kısmen sabit ivmeli hareket modeli ile ani duruşlar içeren bir simülasyonda, Sistem Modeli kısmında anlatılan durum geçiş matrisi gürültülerini modelleyen Q matrisi çarpanı q 'nun etkisi incelenmiştir. Simülasyon 1 ve Simülasyon 2'de farklı q değerleri alınmış ve her bir farklı q değeri için 100'er kez simülasyon koşulmuştur. Her bir simülasyonda elde edilen ortalama karekök hatası tutulmuş ve tutulan ortalama karekök hatalarının ortalaması alınarak sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

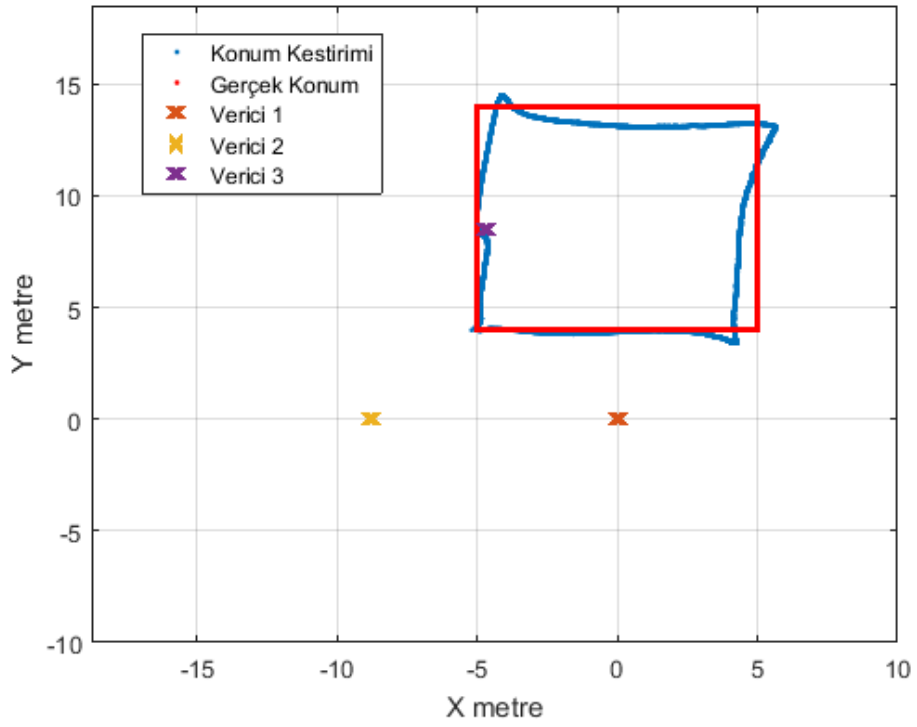
Çizelge 4'te gösterilen simülasyon 1 parametreleri kullanılarak koşulan 100 adet simülasyondan birine ait konum kestirimi grafik ile Şekil 3-15'te ve kestirime ait kovaryans matrisi sonuçları ise grafik ile Şekil 3-16'da gösterilmiştir. Simülasyon 1'de koşulan 100 adet simülasyona ait ortalama karekök hatası sonuçları ise Şekil 3-17'de verilmiştir.

Çizelge 4'te gösterilen simülasyon 2 parametreleri kullanılarak koşulan 100 adet simülasyondan birine ait konum kestirimi grafik ile Şekil 3-19'da ve kestirime ait kovaryans matrisi sonuçları ise grafik ile Şekil 3-21'ta gösterilmiştir. Simülasyon 2'de koşulan 100 adet simülasyona ait ortalama karekök hatası sonuçları ise Şekil 3-22'de verilmiştir.

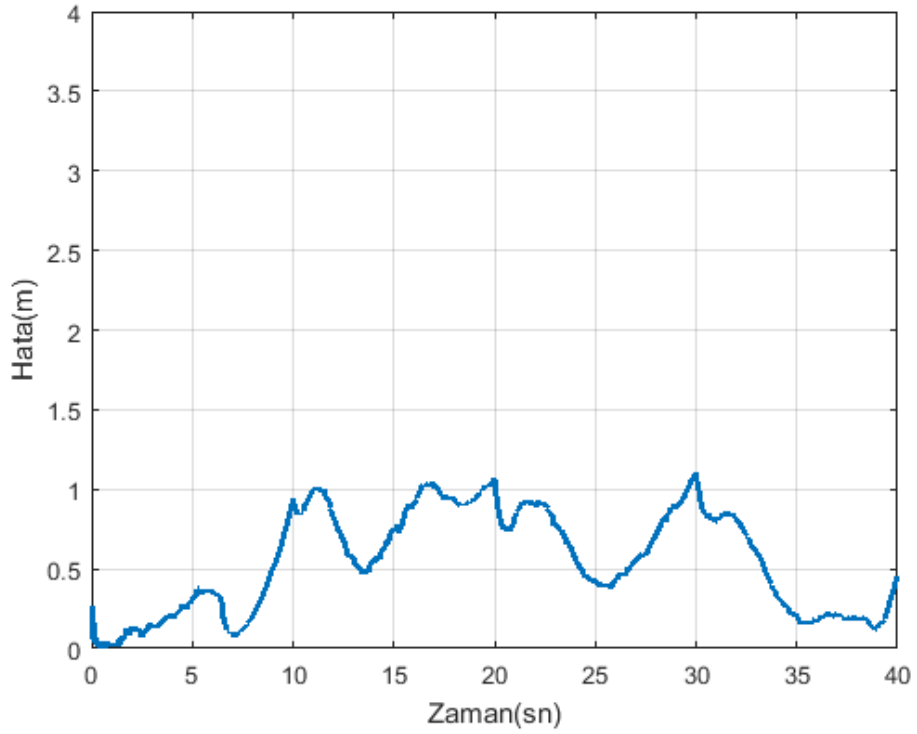
Simülasyon 1 ve simülasyon 2 parametreleri girilerek yapılan 100 adet simülasyondan birine ait iki boyutta gerçek konum ve kestirilen konum grafikleri Şekil 3-19 ve Şekil 3-21'de gösterilmiştir. Bu simülasyonların gerçek konum kestirilen konum arasındaki hatalarının zamana bağlı değişim grafikleri sırasıyla simülasyon 1 için Şekil 3-16'da ve simülasyon 2 için Şekil 3-20'de verilmiştir.

Çizelge 4 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri

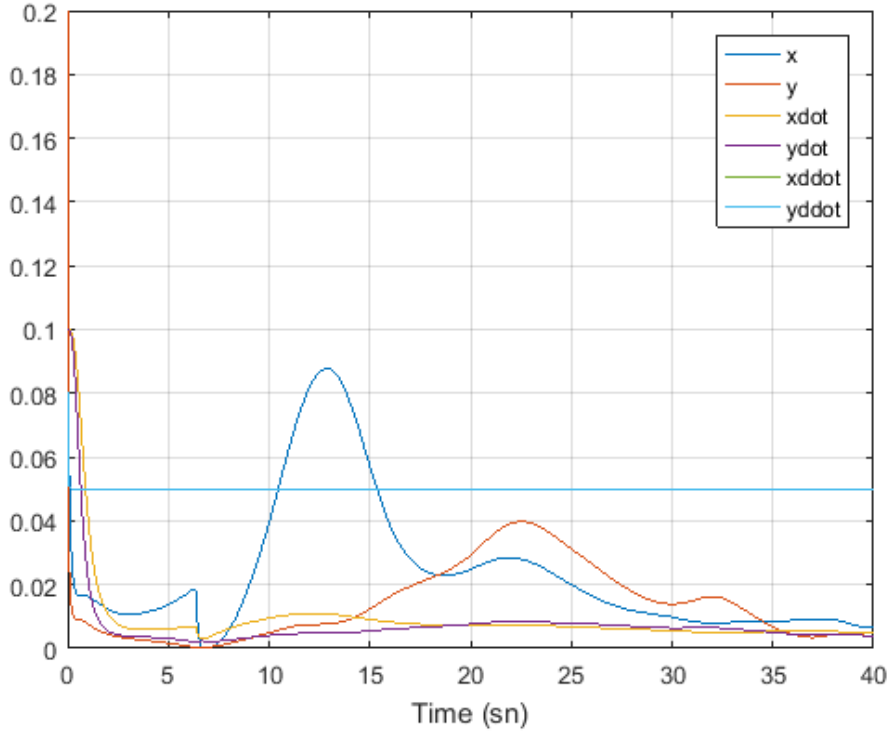
Simülasyon 1	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Kısmen Sabit İvme ve Ani Duruşlar
	Füzyonda Kullanılan Parametreler	İvme ve Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,1
Simülasyon 2	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Kısmen Sabit İvme ve Ani Duruşlar
	Füzyonda Kullanılan Parametreler	İvme ve Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,01



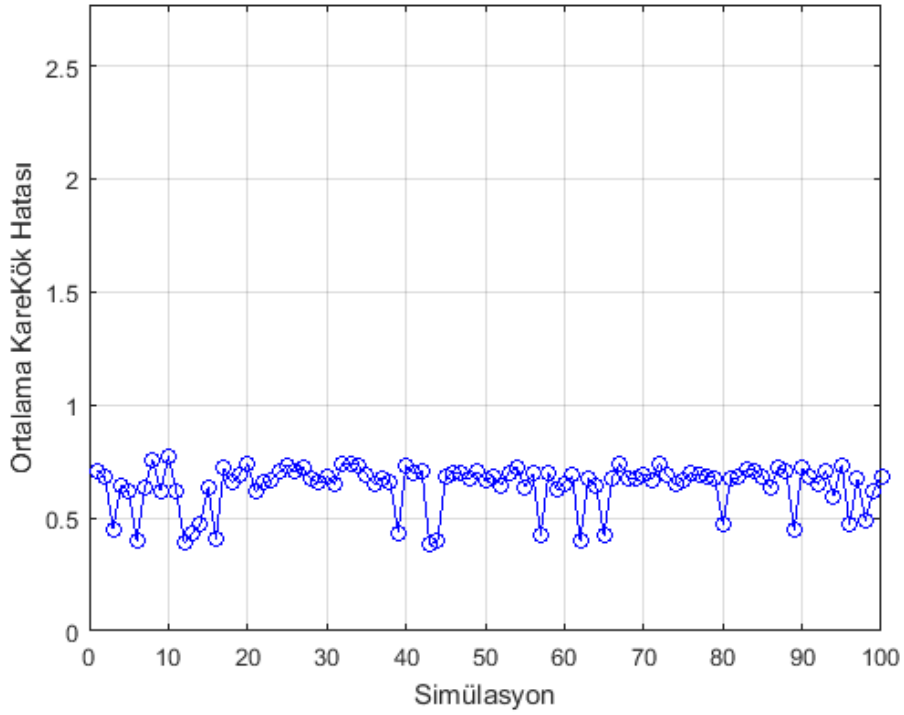
Şekil 3-15 Simülasyon 1 Konum Kestirimi Ortalama Karekök Hatası = 0,6430 m



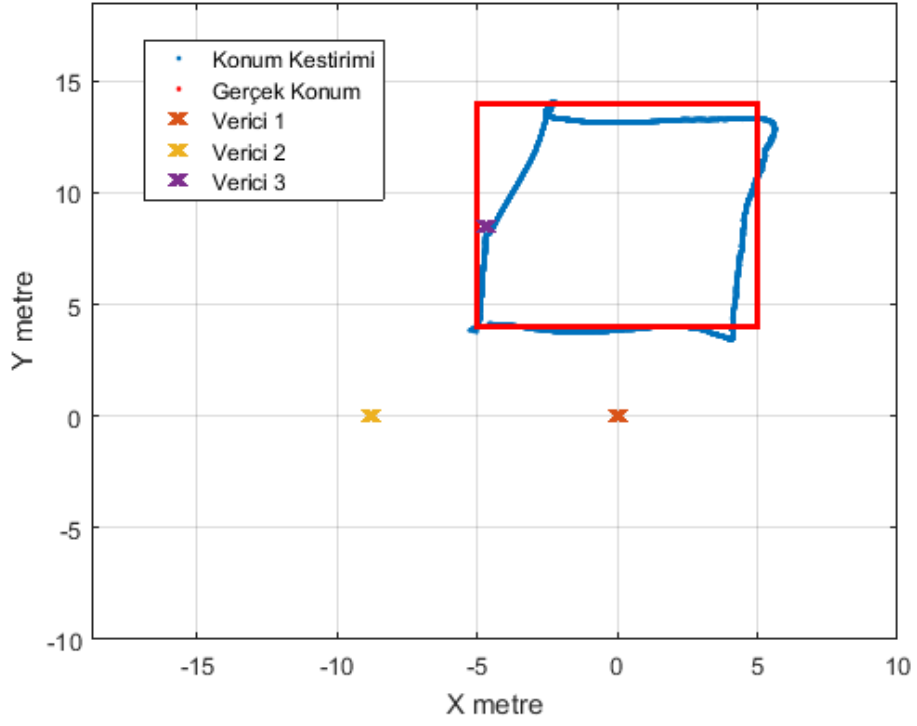
Şekil 3-16 Simülasyon 1 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



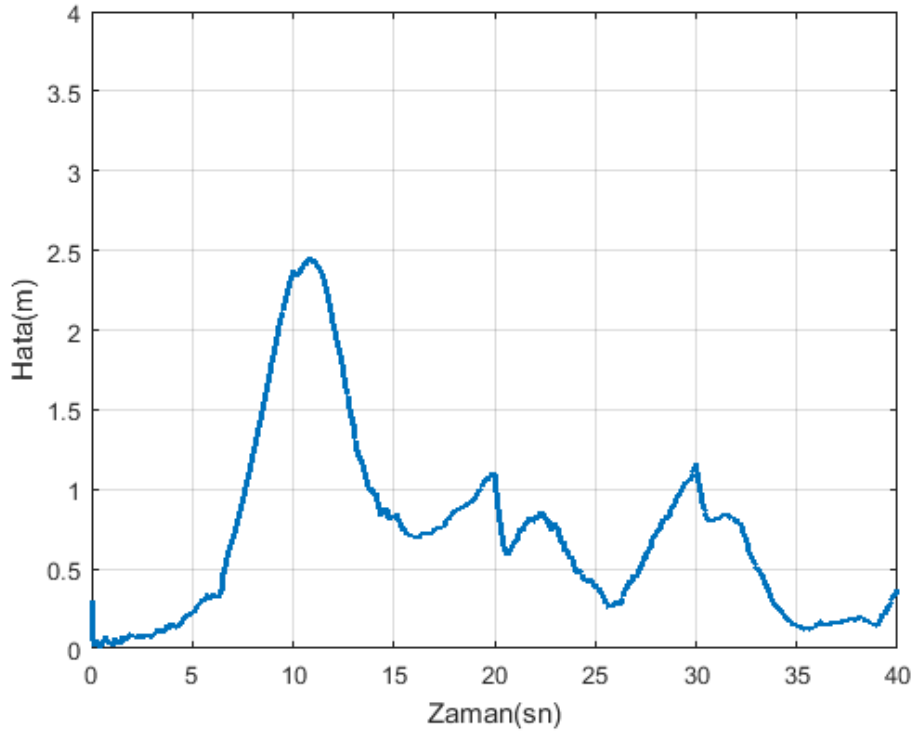
Şekil 3-17 Simülasyon 1 Kovaryans Matrisi Değerleri



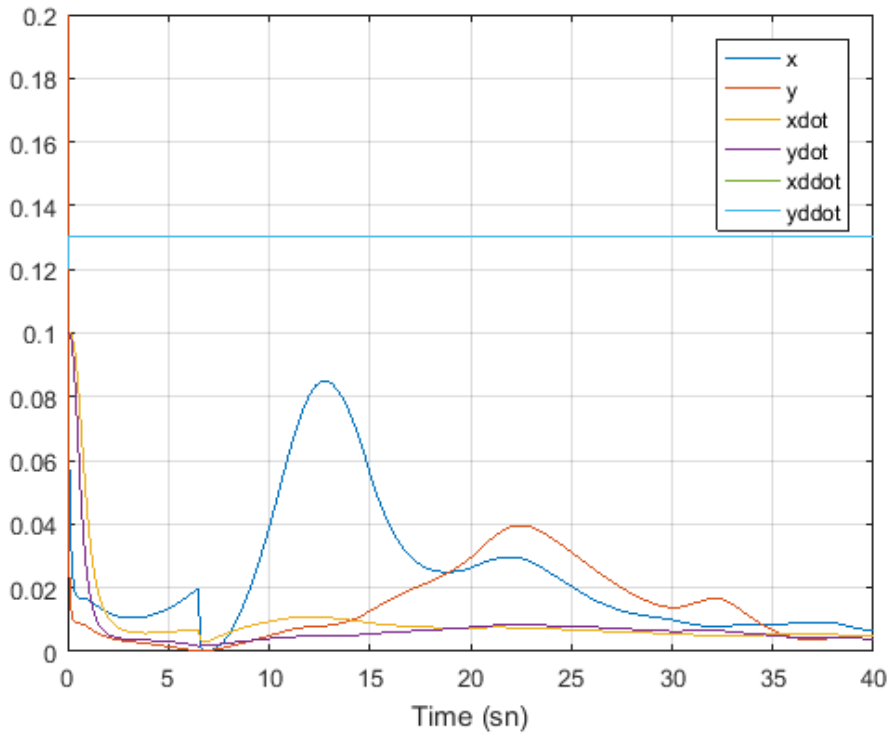
Şekil 3-18 Simülasyon 1 Ortalama Karekök Hatası Değişimi



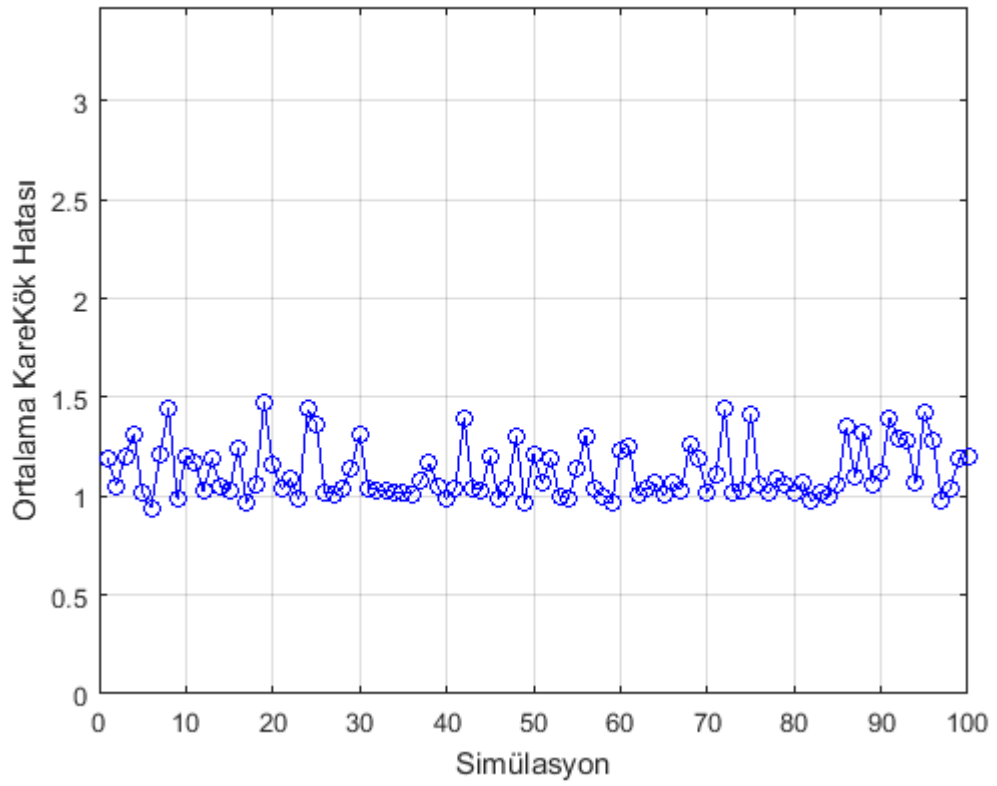
Şekil 3-19 Simülasyon 2 Konum Kestirimi Ortalama Karekök Hatası = 1,1428 m



Şekil 3-20 Simülasyon 2 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-21 Simülasyon 2 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-22 Simülasyon 2 Ortalama KareKök Hatası Değişimi

Çalışmada kullanılan hareket modeli ile aynı, sabit ivmeli hareket simülasyonlarında; Q matrisi çarpanı q parametresinin GKF'de konum kestirime etkisi Simülasyon 3 ve Simülasyon 4 koşularak incelenmiştir. Simülasyon 3 ve Simülasyon 4'te parametreler aşağıda Çizelge 5'te gösterildiği gibi alınmıştır. Her bir simülasyonda elde edilen ortalama karekök hatası tutulmuş ve sonra tutulan ortalama karekök hatalarının ortalaması alınarak sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Koşulan bir adet simülasyona ait konum kestirim sonucu filtrenin hedefin gerçek konumunu ıraksama yaşamadan devamlı bir konum kestirim sonucu ile takip ettiğini, kovaryans matrisinin değişim grafikleri ise filtrenin ıraksama problemi yaşamadığını göstermek amacıyla eklenmiştir.

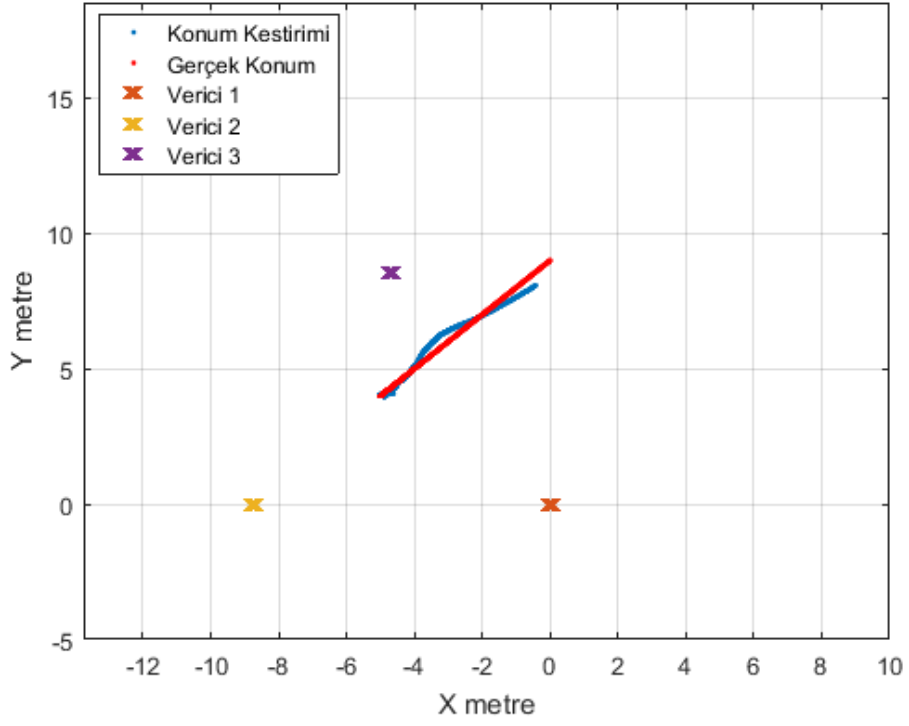
Çizelge 5'de gösterilen simülasyon 3 parametreleri kullanılarak koşulan 100 adet simülasyondan birine ait konum kestirimi Şekil 3-23'de ve kestirime ait kovaryans matrisi sonuçları ise Şekil 3-25'de gösterilmiştir. Simülasyon 1'de koşulan 100 adet simülasyona ait ortalama karekök hatası sonuçları ise Şekil 3-26'de verilmiştir.

Çizelge 5'te gösterilen simülasyon 4 parametreleri kullanılarak koşulan 100 adet simülasyondan birine ait konum kestirimi Şekil 3-27'de ve kestirime ait kovaryans matrisi sonuçları ise grafik ile Şekil 3-29'te gösterilmiştir. Simülasyon 2'de koşulan 100 adet simülasyona ait ortalama karekök hatası sonuçları ise Şekil 3-30'da verilmiştir.

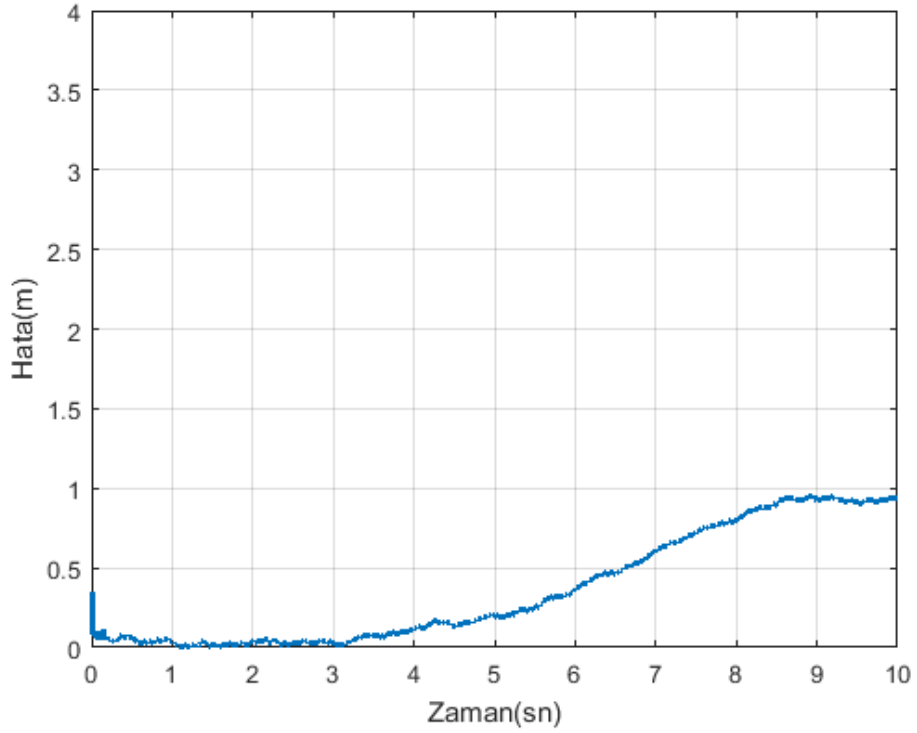
Simülasyon 3 ve simülasyon 4 parametreleri girilerek yapılan 100 adet simülasyondan birine ait iki boyutta gerçek konum ve kestirilen konum grafikleri Şekil 3-23 ve Şekil 3-27'de gösterilmiştir. Bu simülasyonların gerçek konum kestirilen konum arasındaki hatalarının zamana bağlı değişim grafikleri sırasıyla simülasyon 3 için Şekil 3-24'de ve simülasyon 4 için Şekil 3-28'de verilmiştir.

Çizelge 5 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri

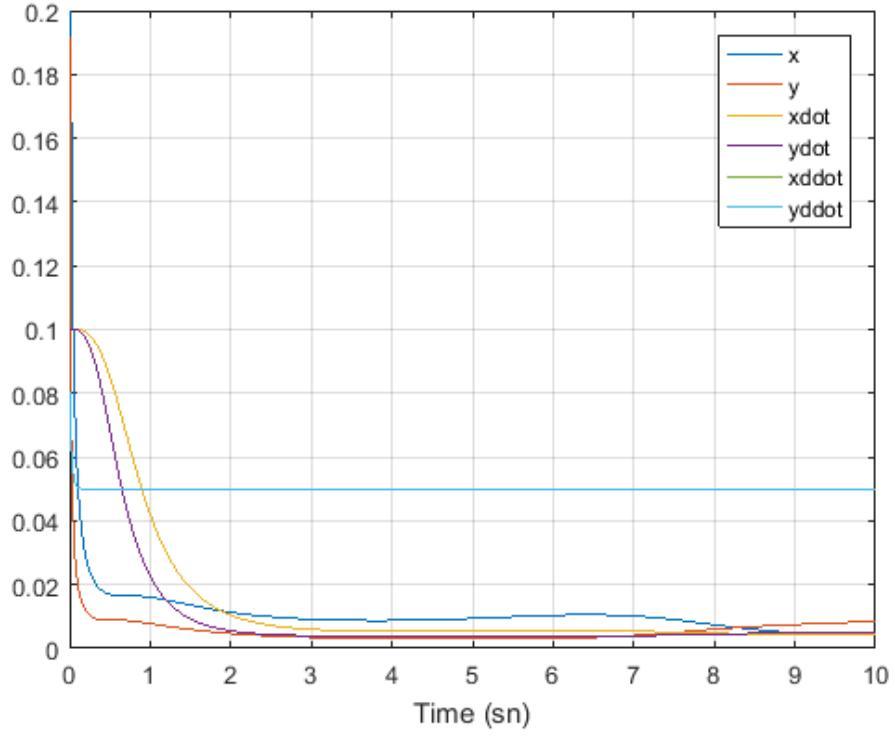
Simülasyon 3	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Sabit İvme
	Füzyonda Kullanılan Parametreler	İvme ve Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0.01
Simülasyon 4	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Sabit İvme
	Füzyonda Kullanılan Parametreler	İvme ve Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,1



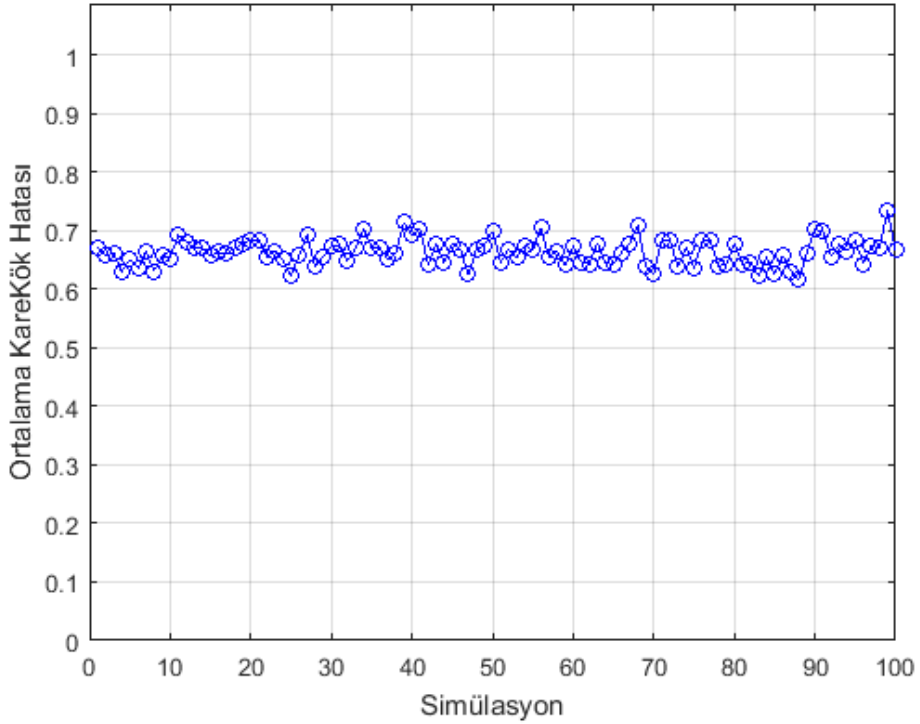
Şekil 3-23 Simülasyon 3 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 0,3995m



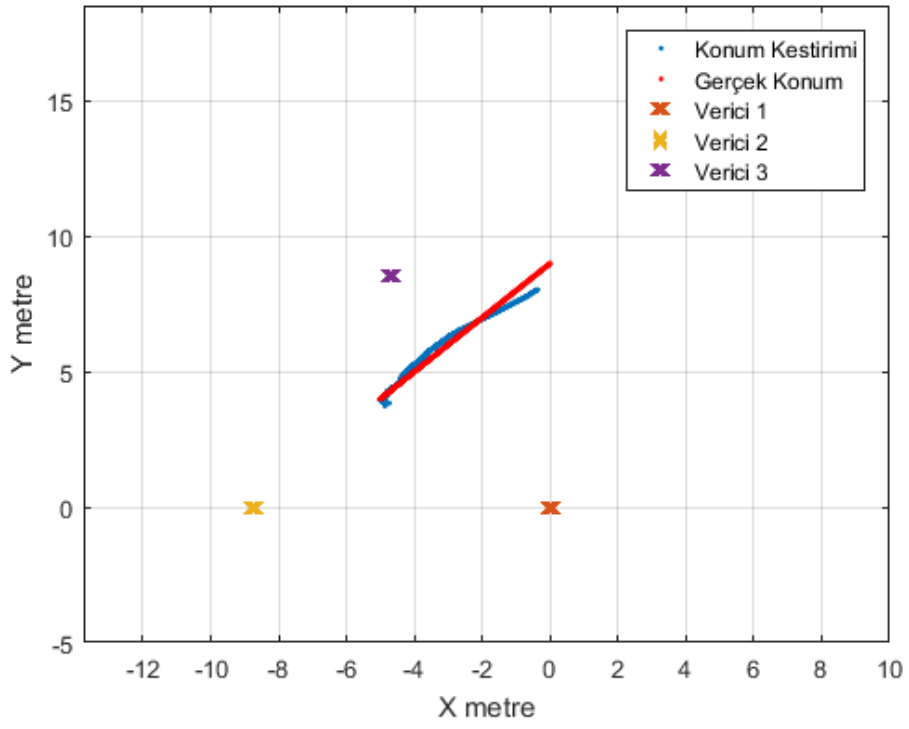
Şekil 3-24 Simülasyon 3 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



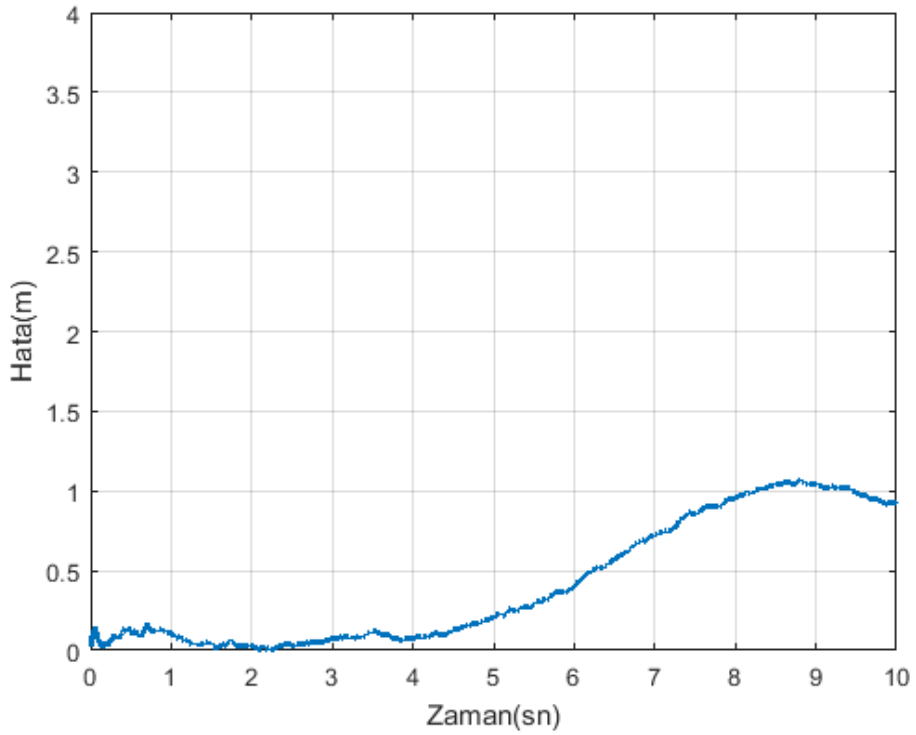
Şekil 3-25 Simülasyon 3 Kovaryans Matrisi Değerleri



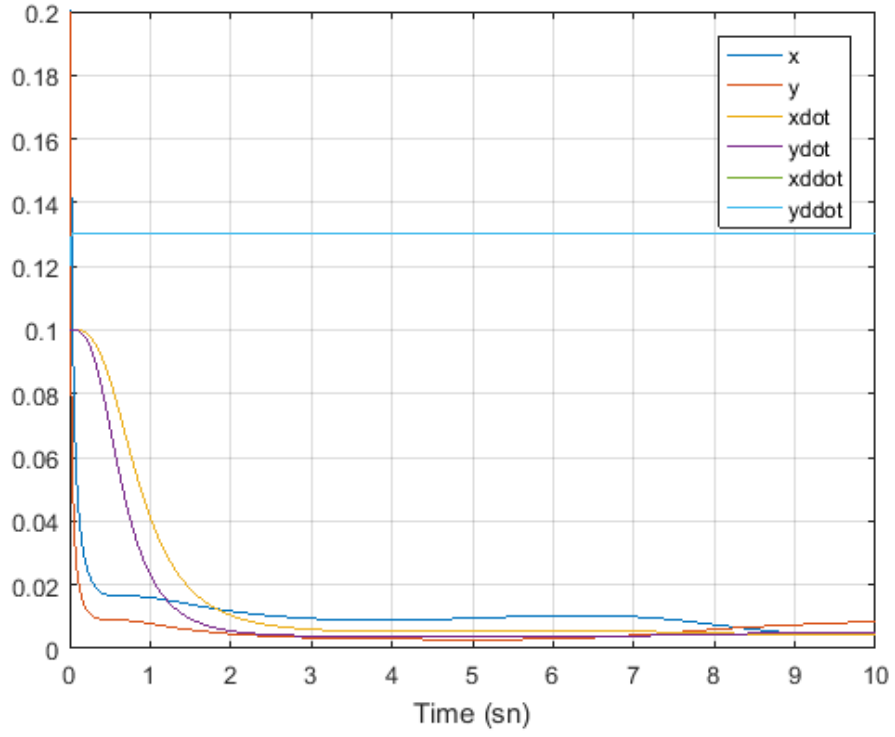
Şekil 3-26 Simülasyon 3 Ortalama Karekök Hatası Değişimi



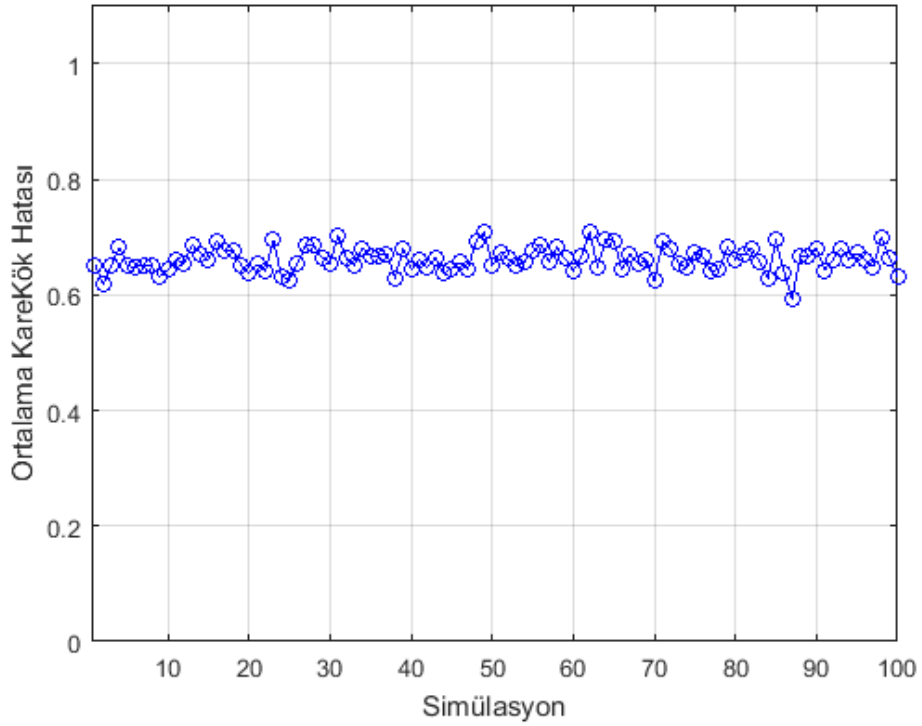
Şekil 3-27 Simülasyon 4 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,4015m



Şekil 3-28 Simülasyon 4 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-29 Simülasyon 4 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-30 Simülasyon 4 Ortalama Karekök Hatası Değişimi

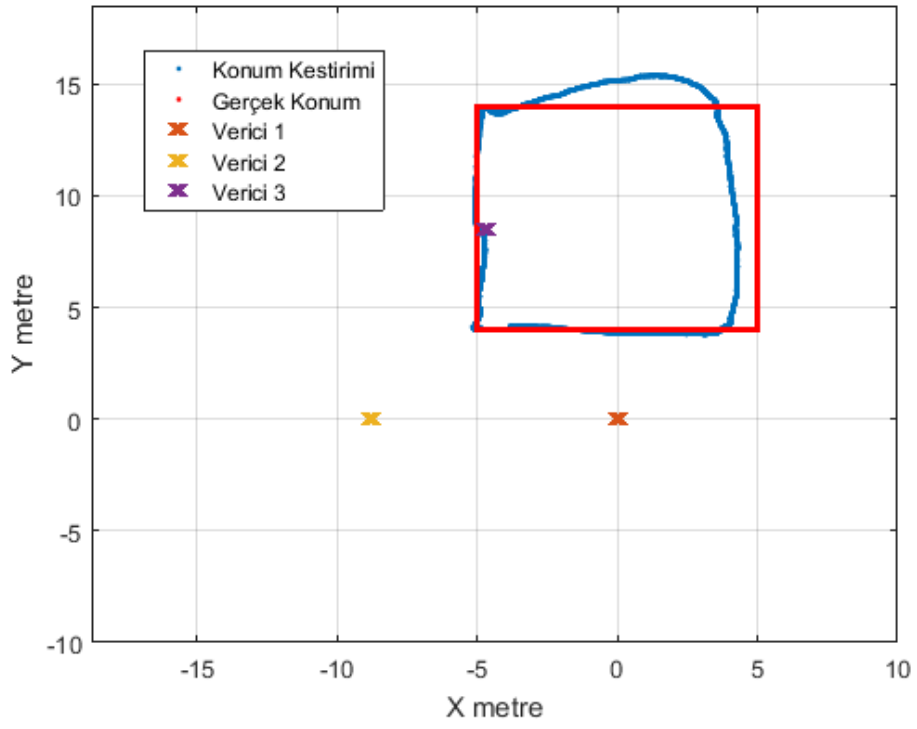
GKF ile yapılan simülasyon 5'te ise veri füzyonuna dahil edilen hız verisinin konum kestirimine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın, İvme Verileri Tabanlı Simülasyonlar kısmında ivmeölçer verileri ile sadece konum bulmak için çalışmalar yapılmamış ayrıca hız verisi türetebilme üzerine de çalışılmıştır. Elde edilen hız verisinin GKF'de veri füzyonunda kullanılmasının konum kestirimine etkisi, simülasyon 5 koşulduktan sonra elde edilen sonuçların simülasyon 1'de elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmasıyla çıkarılmıştır.

Çizelge 6 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri

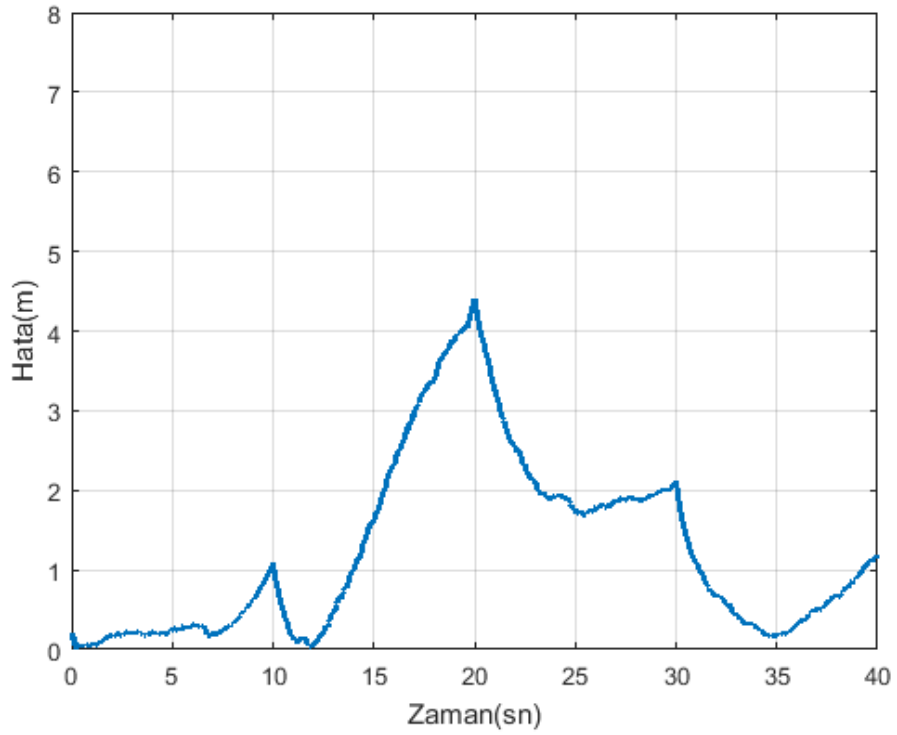
Simülasyon 5	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Kısmen Sabit İvme ve Ani Duruşlar
	Füzyonda Kullanılan Parametreler	İvme, Hız, Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Hız Ölçüm Modeli Kovaryansı	0,2
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,01

GKF ile Çizelge 6'da verilen parametreler girilerek, hız verisinin de füzyona dâhil edildiği 100 adet simülasyonun ortalama karekök hatası 1,1438 olarak hesaplanmıştır. Hız verisinin füzyona dahil edilmediği ve diğer tüm simülasyon parametrelerinin aynı olduğu simülasyon 1'de ise 100 adet simülasyonun ortalama karekök hatası 0,6597 olarak bulunmuştur. Aynı sensörden türetilen ivme ve hız verisinin alınan sinyal gücü ile füzyonda kullanılmasının kestirim doğruluğunu azalttığı gözlemlenmiştir.

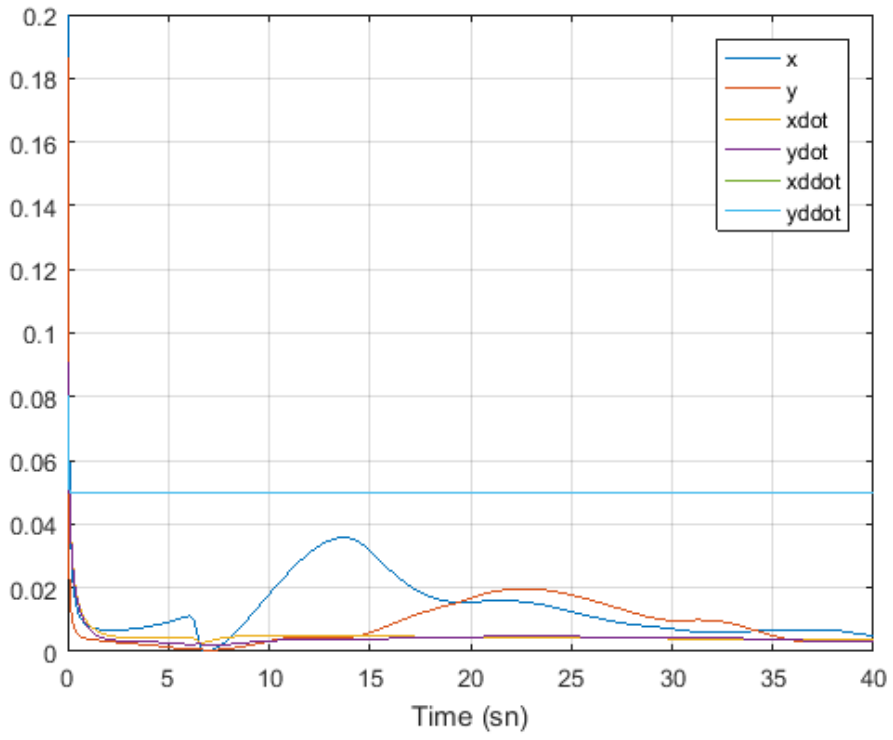
Simülasyon 5'te yapılan 100 adet simülasyondan birine ait iki boyutta konum kestirimi sonucu Şekil 3-31'de ve Şekil 3-31'de bulunan kestirime ait gerçek konum kestirilen konum arasındaki zamana bağlı hata değişimi ise Şekil 3-32'de bulunmaktadır.



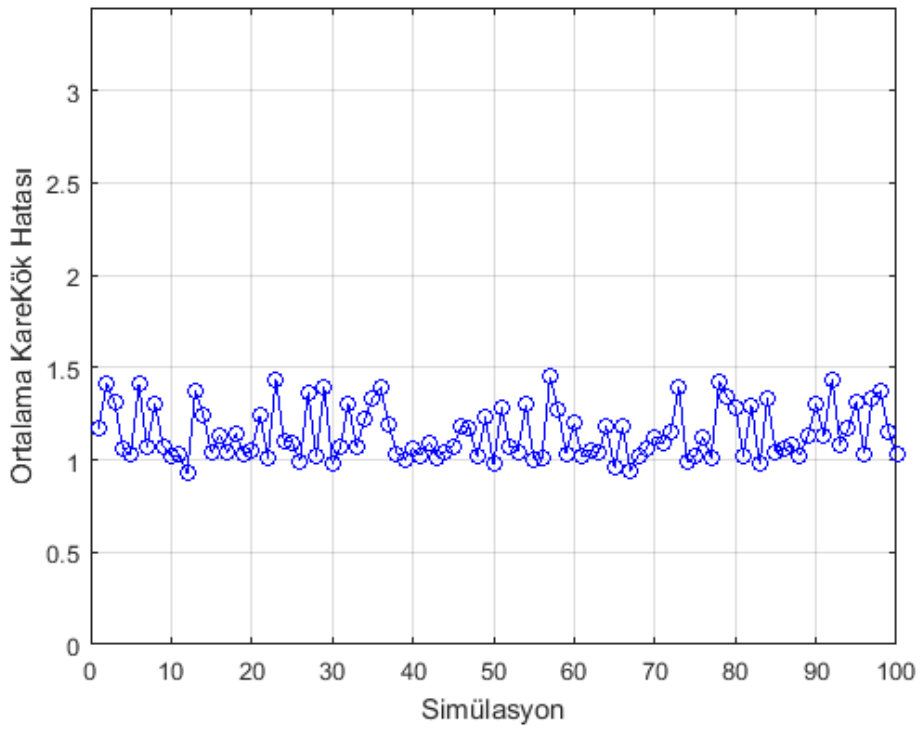
Şekil 3-31 Simülasyon 5 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 1,1438 m



Şekil 3-32 Simülasyon 5 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-33 Simülasyon 5 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-34 Simülasyon 5 Ortalama KareKök Hatası Değişimi

3.3.2 Uyarlanı Genişletilmiş Kalman Filtresinde Veri Füzyonu Simülasyonları

Çalışmanın bu bölümünde, alınan sinyal gücü gibi gürültü karakteristikleri değişken ölçüm verileri kullanılan ve sistem modelinin tam anlamıyla modellenemediği çalışmalarda Q ve R matrislerini uyarlanı olarak türetmenin kestirime doğruluğuna etkisi simülasyonlar ile çalışılmıştır. Tez çalışmasında alınan sistem modelinin basit kısmen sabit hareket modeli olması ve çevrimdışı süreçte toplanan alınan sinyal gücü verilerine ait kovaryans ölçümlerinin çevrimiçi süreçte değişken olması nedeniyle UGKF ile doğruluğu daha yüksek sonuçlar elde edilebileceği düşünölmüştür.

Uyarlanı Genişletilmiş Kalman Filtre ile Hedef Konumlandırma ve Takip bölümünde Problem Tanımı ve Sistem, Ölçüm Modelleri ve İklendirme başlıklarında anlatılan formüller ve modeller kullanılarak değişken ölçüm ve süreç gürültü modellerinde UGKF' nin konum kestirim performansı incelenmiştir.

İlk olarak kısmen sabit ivmeli ve ani duruşlar içeren hareket modelinde UGKF' nin performansı, parametreleri Çizelge 7'de verilen simülasyon 6 çalıştırılarak GKF ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7 UGKF' de Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri

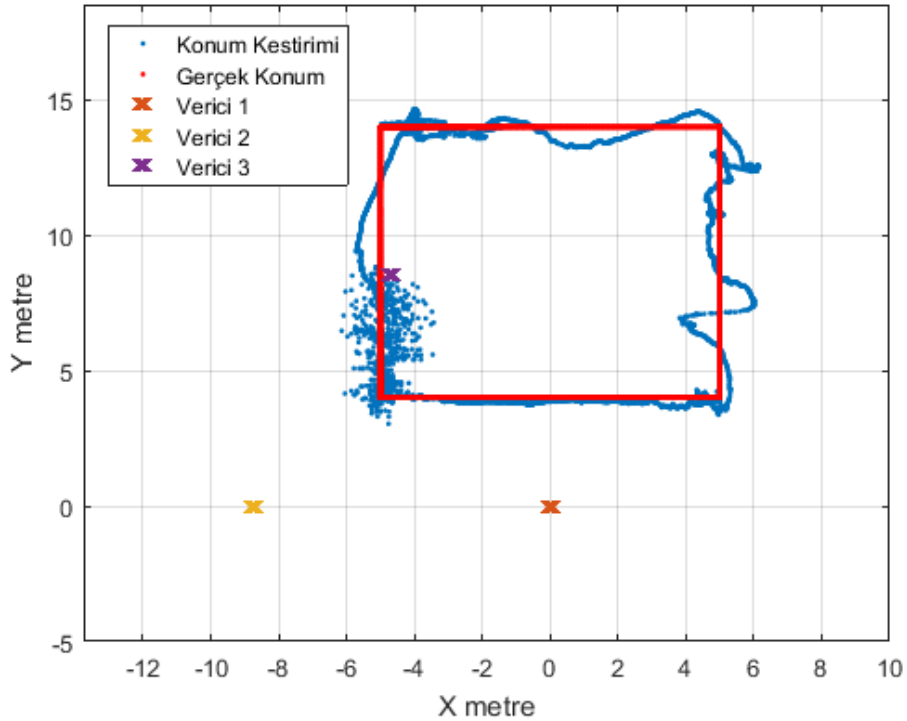
Simülasyon 6	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Kısmen Sabit İvme ve Ani Duruşlar
	Füzzyonda Kullanılan Parametreler	İvme, Hız, Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Hız Ölçüm Modeli Kovaryansı	1
	Sistem Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,01

UGKF ile Çizelge 7'de verilen parametreler girilerek yapılan 100 adet simülasyonun ortalama karekök hatası 0,7268 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 7'de verilen parametreler ile

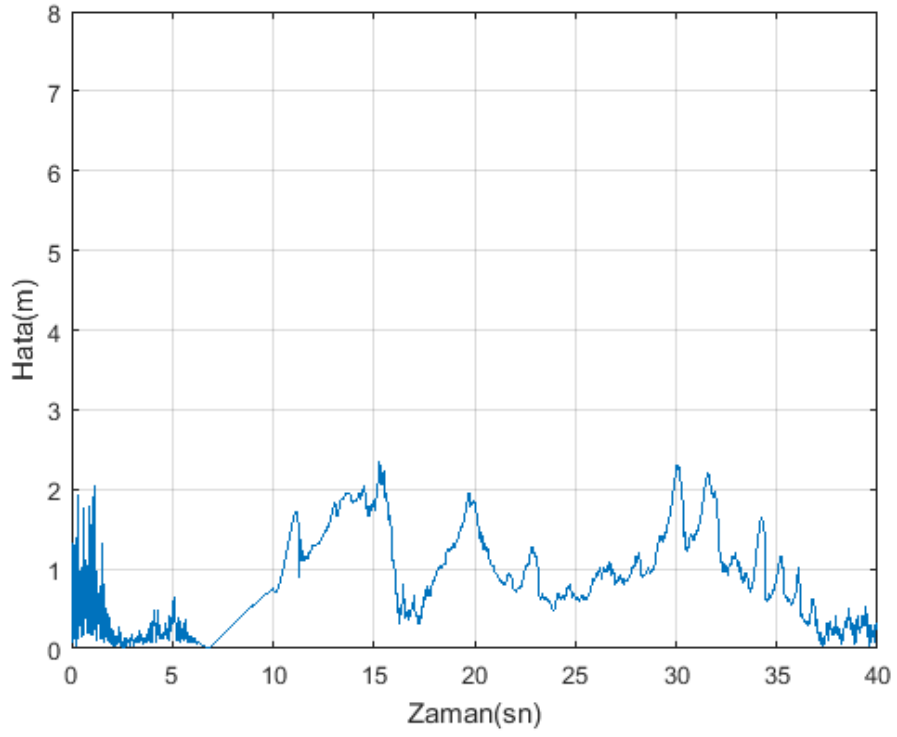
koşulan simülasyonlarda ıraksama problemi yaşanmıştır. ıraksama probleminin yaşandığı simülasyonlarda ortalama karekök hatası rakam değil (NaN) olarak hesaplanmıştır. ıraksamanın yaşandığı ve sonucun rakam değil (NaN) olarak hesaplandığı simülasyonlara ait karekök hatası sonucu ortalama karekök hesaplayabilmek amacıyla bir önceki simülasyona ait karekök hatası ile değiştirilmiştir.

UGKF ile ıraksama probleminin yaşanmadığı bir kestirime ait konum grafiği Şekil 3-35’de, bu kestirime ait gerçek konum ve kestirilen konum arasındaki hatanın zamana bağlı değişimi ise Şekil 3-36’da gösterilmiştir. Şekil 3-37’de kovaryans matrisinin değişim grafiğinde filtrenin ilk çalışma anında yüksek değerler gözlemlenmiş ve bununda konum çıktısında devamlılık problemine neden olduğu sonucuna varılmıştır. ıraksama probleminin yaşandığı konum kestirimine ait görsel ise Şekil 3-39’de verilmiştir. ıraksama probleminin yaşandığı durumlarda kovaryans matrisinin elemanlarının değerleri çok yüksek çıktığı için grafik çizdirilmemiştir.

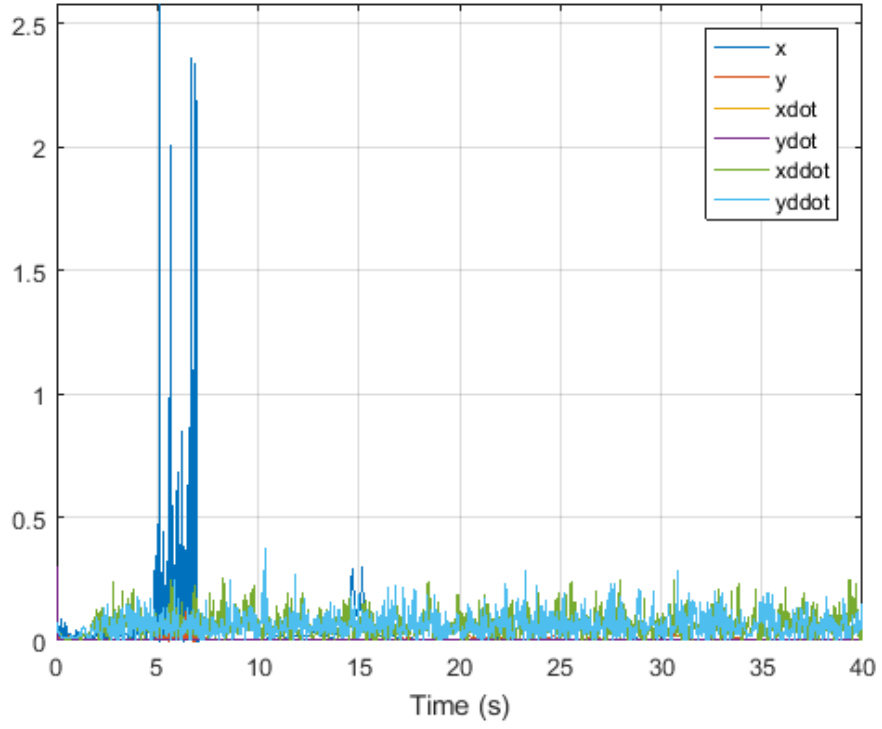
GKF ile Çizelge 6 Veri Füzyonu Simülasyonları Parametrelerinde belirtilen girdiler ile yapılan 100 adet simülasyonun ortalama karekök hatası 1,1438 olarak hesaplanmıştır.



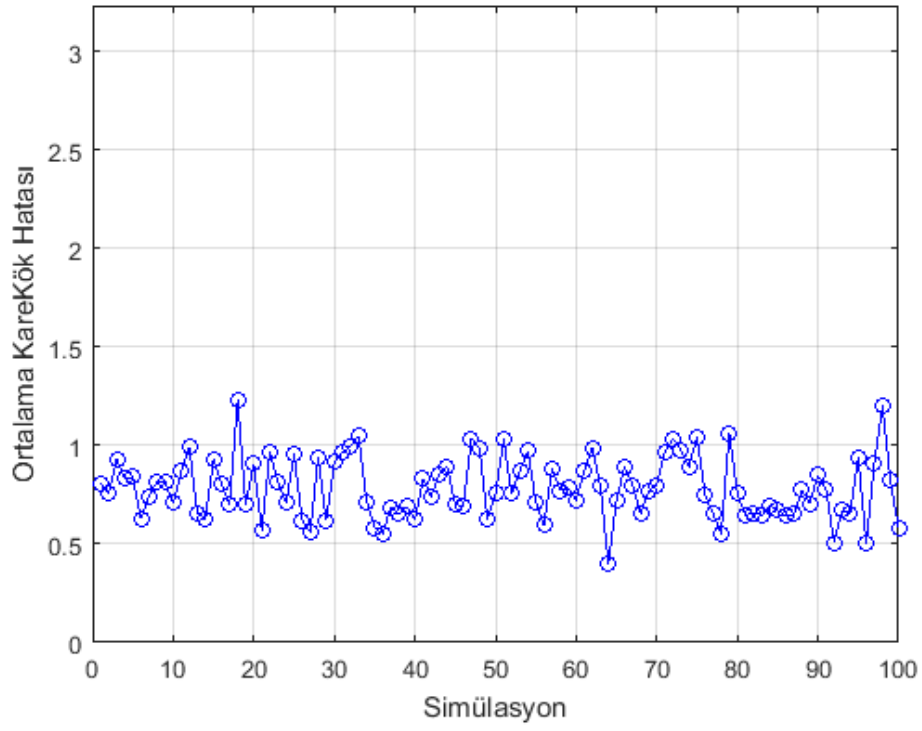
Şekil 3-35 Simülasyon 6 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,7268 m



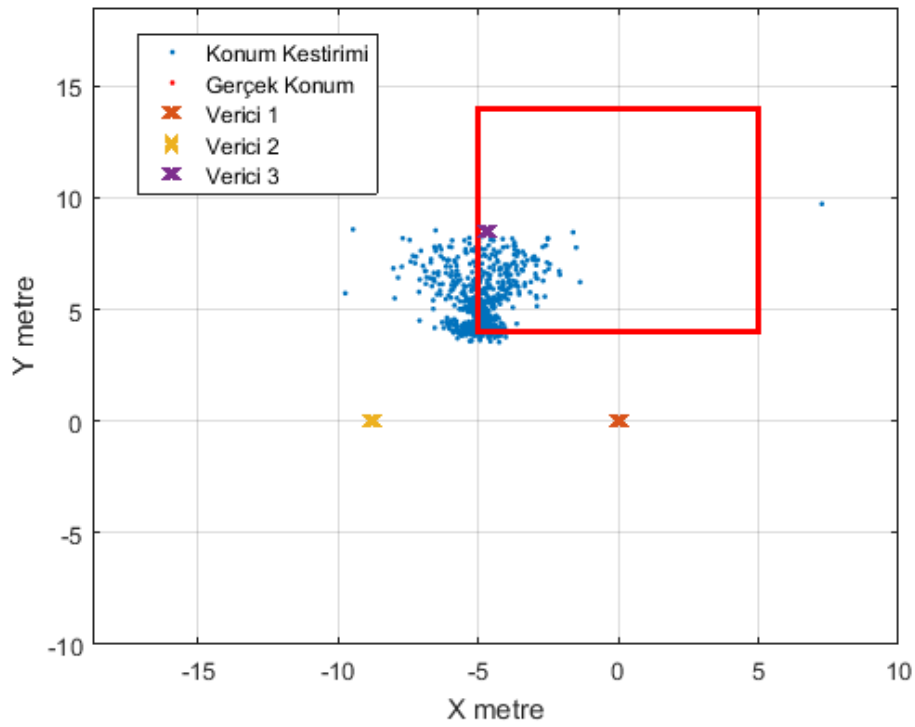
Şekil 3-36 Simülasyon 6 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-37 Simülasyon 6 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-38 Simülasyon 6 Ortalama Karekök Hatası Değişimi



Şekil 3-39 Simülasyon 6 Iraksama Anında Konum Kestirimi

Simülasyon 7 ve 8'de ise UGKF' nin değişen süreç gürültü modellerinde konum kestirimi performansı GKF ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon 7'de, UGKF kullanılarak hareket sabit ivmeli model olarak alınmış, sistem durum tahmini yapılırken eklenen sıfır ortalamalı gürültünün standart sapması değişken olarak girilmiştir. Simülasyon 8'de, sistem durum tahmini yapılırken eklenen sıfır ortalamalı gürültünün standart sapması değişken olarak GKF 'ye uygulanmış ve konum kestirim performansı UGKF ile karşılaştırılmıştır.

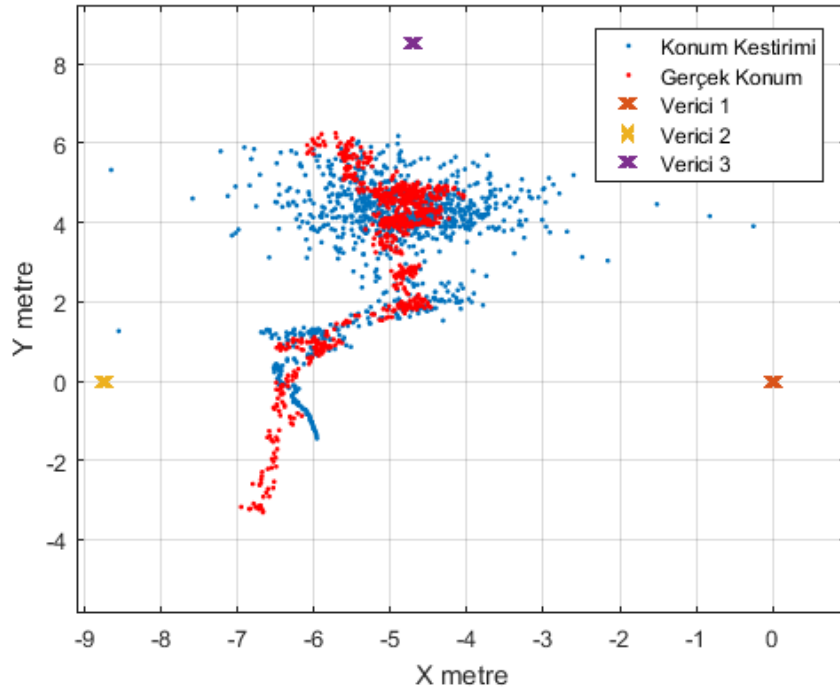
Her iki simülasyonda da durum geçiş modeline eklenen gürültünün standart sapması değişken olarak uygulanmıştır. Üretilen durum verileri örnekleri dört eşit parçaya bölünmüştür. İlk aralıkta 0,01 standart sapmalı, ikinci aralıkta 0,05, üçüncü aralıkta 0,1 ve dördüncü aralıkta ise 0.07 standart sapmalı sıfır ortalamalı gürültü sistemin durum denkleminde eklenmiştir. Çizelge 8'de verilen parametreler ve değişken olarak eklenen durum tahmin gürültüsü ile simülasyon 7 UGKF ile ve simülasyon 8'de ise GKF ile 100'er kez koşulmuştur. Ortalama karekök hatası GKF simülasyonlarında 0,6983 olarak elde edilirken UGKF simülasyonlarında ise 0,5413 olarak hesaplanmıştır.

Simülasyon 7'de koşulan 100 simülasyondan birinde elde edilen konum kestirimi Şekil 3-40'da, bu kestirime ait gerçek konum ile kestirilen konum arasındaki hata ise Şekil 3-41'de verilmiştir. Kovaryans matrisinin zamana bağlı değişimi Şekil 3-42'de gösterilmiştir. Simülasyon 7'de elde edilen konum ve gerçek konum arasındaki ortalama karekök hatasının koşulan 100 adet simülasyona bağlı değişimi ise Şekil 3-43'da gösterilmiştir.

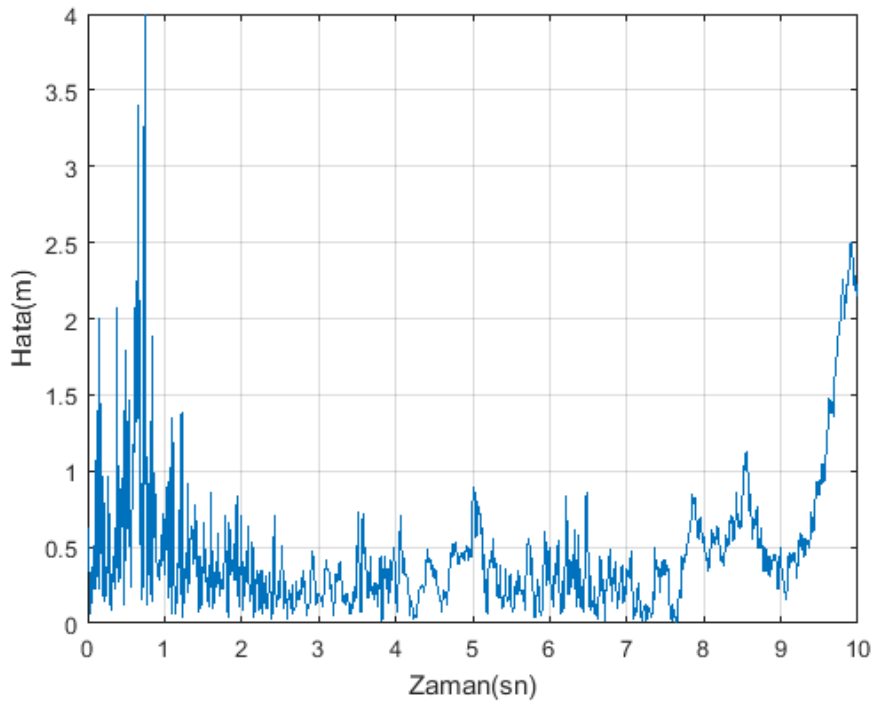
Simülasyon 8'de koşulan 100 simülasyondan birinde elde edilen konum kestirimi Şekil 3-44'te, bu kestirime ait kovaryans matrisi değişimi ile zamana bağlı gerçek konum ve kestirilen konum arasındaki hata grafiği ise sırasıyla Şekil 3-46'da ve Şekil 3-45'te gösterilmiştir. Simülasyon 8'de elde edilen konum ve gerçek konum arasındaki ortalama karekök hatasının koşulan 100 adet simülasyona bağlı değişimi ise Şekil 3-47'de gösterilmiştir.

Çizelge 8 UGKF' de Veri Füzyonu Simülasyonları Parametreleri

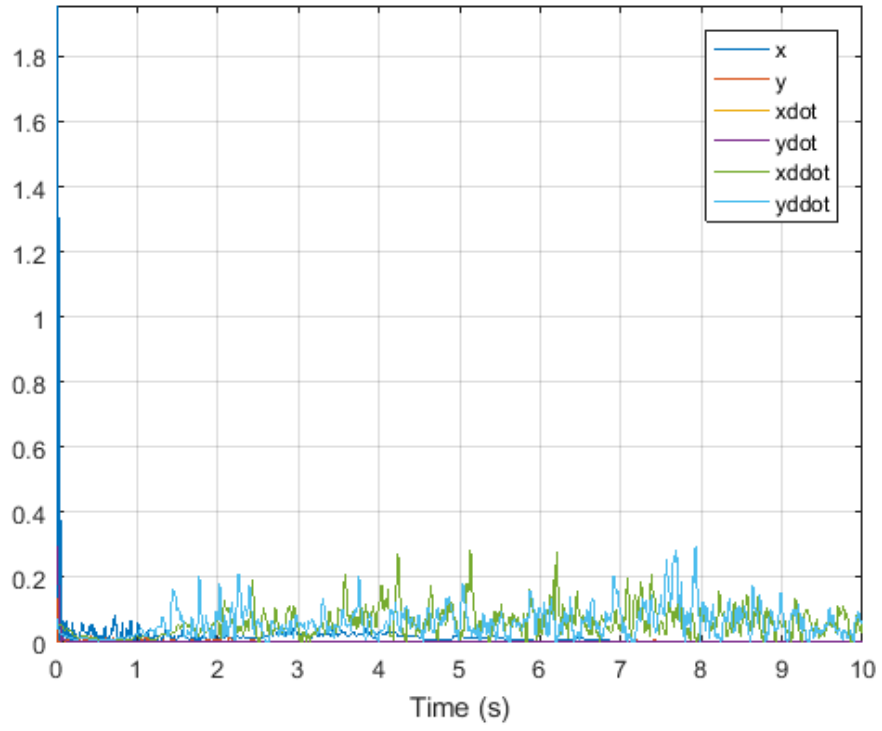
Simülasyon 7	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Sabit İvme Hareket Modeli ve Değişken Gürültü
	Füzyonda Kullanılan Veriler	İvme, Hız, Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Hız Ölçüm Modeli Kovaryansı	1
	Sistem Durum Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,01
Simülasyon 8	Yol Kayıp Katsayısı	2,6
	Referans Uzaklıkta Ölçülen Yol Kaybı	-20 dBm
	Hareket Modeli	Sabit İvme Hareket Modeli ve Değişken Gürültü
	Füzyonda Kullanılan Veriler	İvme, Hız, Alınan Sinyal Gücü
	İvme Ölçer Modeli Kovaryansı	0,3
	RSSI Ölçüm Modeli Kovaryansı	3 dB
	Hız Ölçüm Modeli Kovaryansı	1
	Sistem Durum Tahmin Gürültü Kovaryansı Çarpanı q	0,01



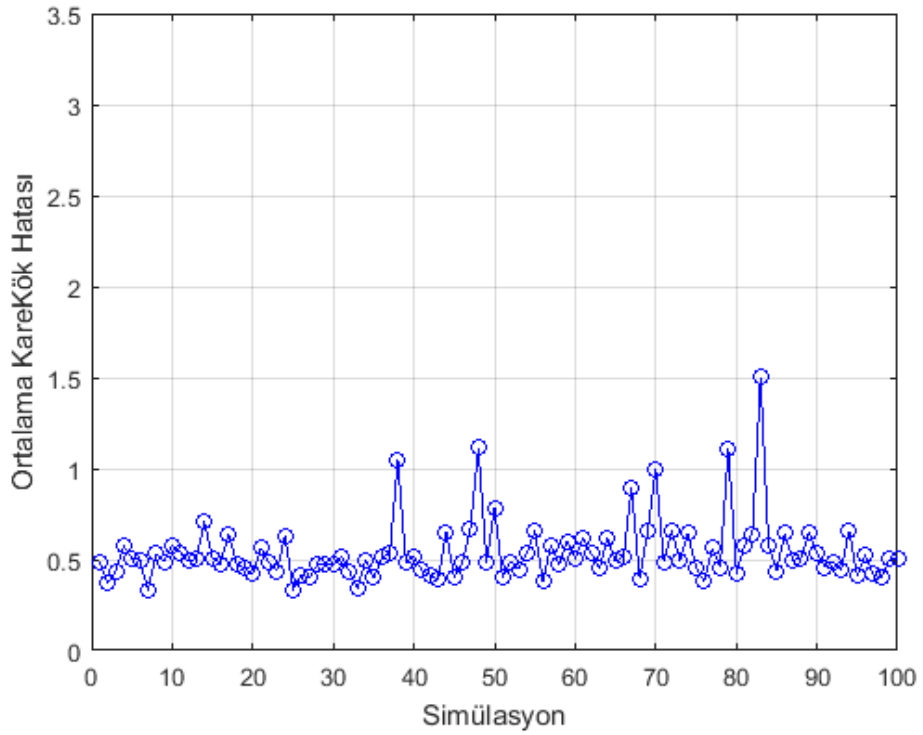
Şekil 3-40 Simülasyon 7 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,5413 m



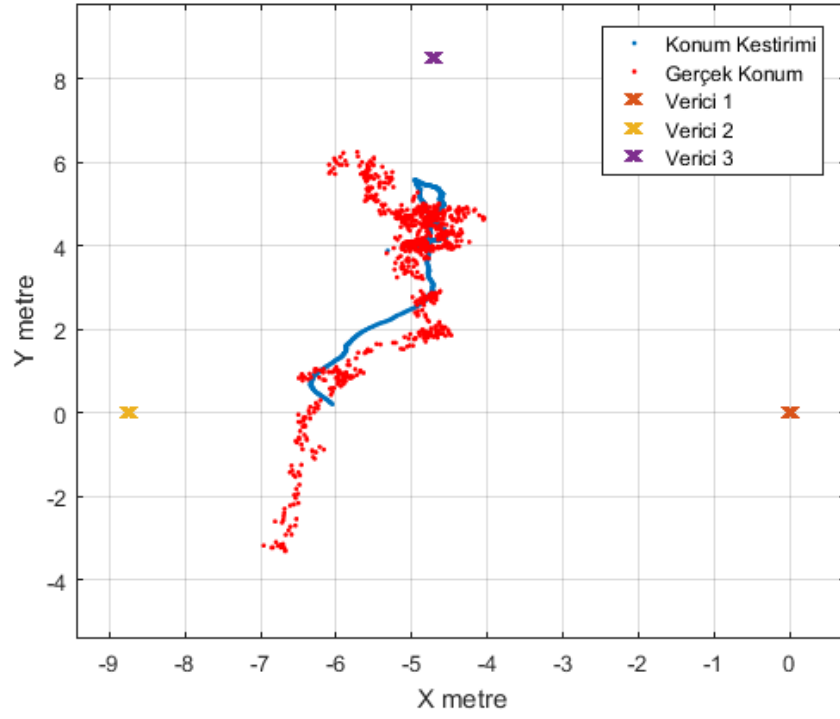
Şekil 3-41 Simülasyon 7 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



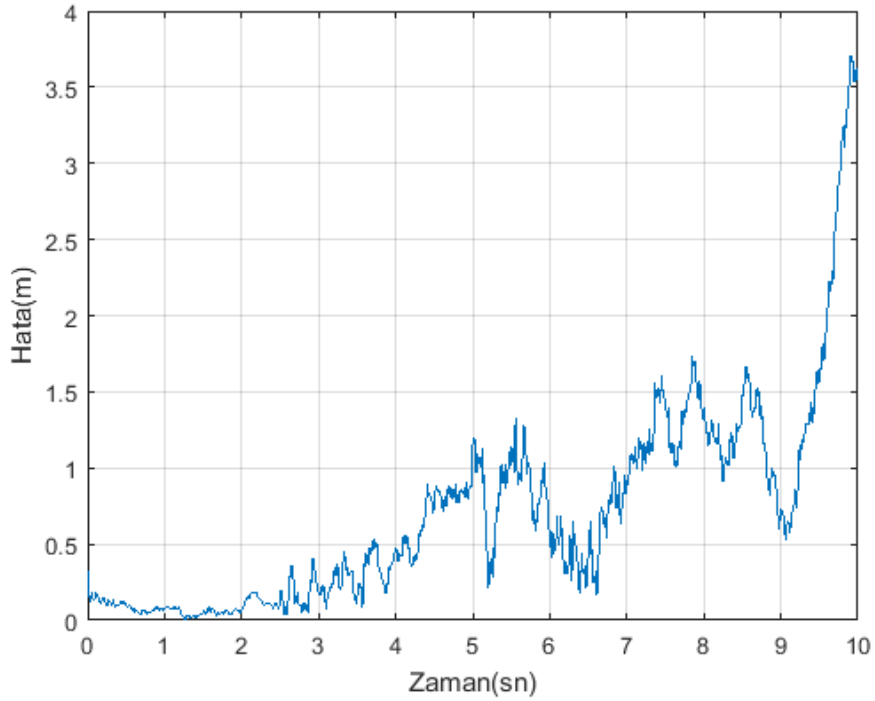
Şekil 3-42 Simülasyon 7 Kovaryans Matrisi Değerler



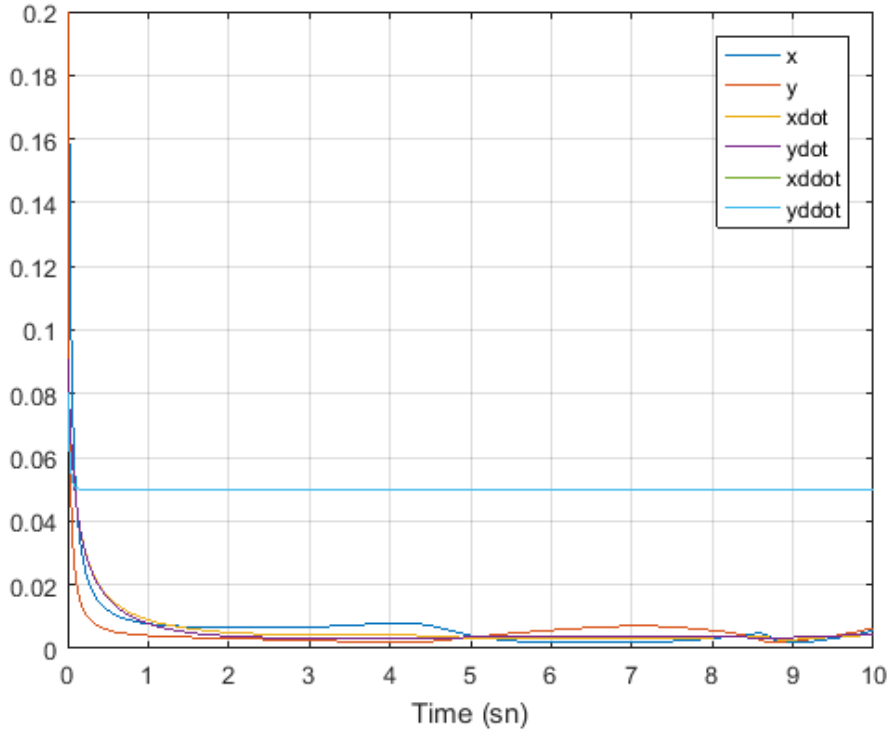
Şekil 3-43 Simülasyon 7 Ortalama KareKök Hatası Değişimi



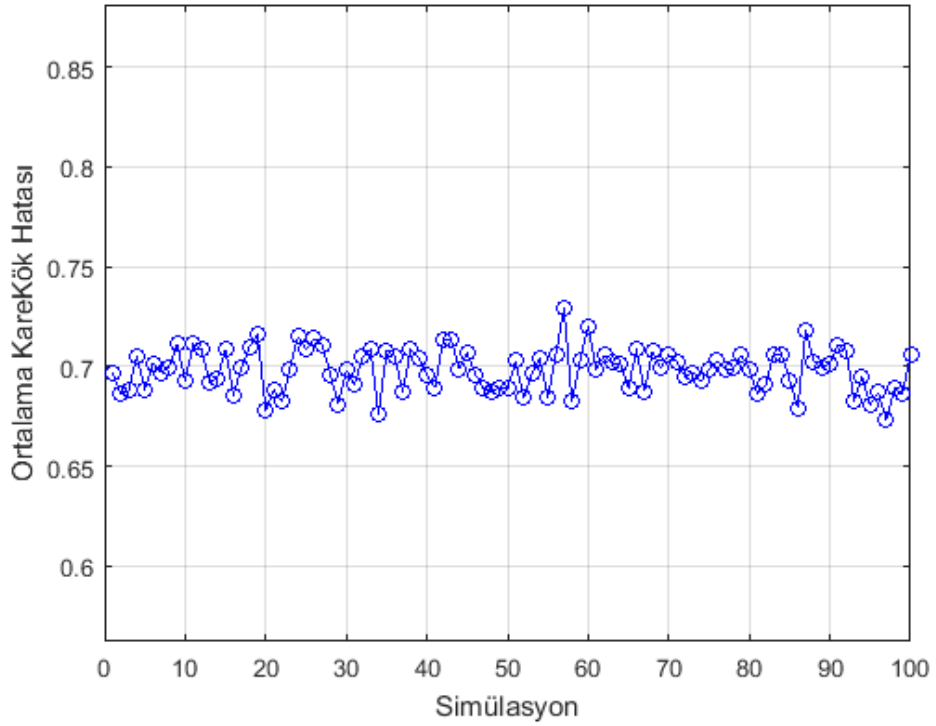
Şekil 3-44 Simülasyon 8 Konum Kestirim Ortalama Kare Kök Hatası = 0,6983



Şekil 3-45 Simülasyon 8 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-46 Simülasyon 8 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-47 Simülasyon 8 Ortalama KareKök Hatası Değişimi

Kapalı ortamlarda ölçülen alınan sinyal gücü değerleri yansıma ve engellerden etkilenirler. Yansıma ve engeller nedeniyle çevrimdışı süreçte ölçülen ve modellenen alınan sinyal gücü değerleri çevrimiçi süreçte tamamen farklı bir karakteristik gösterebilir. Çalışmanın bu bölümünde değişen alınan sinyal gücü, ivme ve hız ölçüm karakteristiklerine göre GKF ve UGKF' nin konum kestirimindeki performansı incelenecektir. Simülasyon 9 ve 10'da üretilen durum verileri dört eşit parçaya bölünmüştür. Her bir aralıkta ölçülen sinyallerine ait gürültü modellerinin varyansları Çizelge 9' da gösterilen şekilde uygulanmıştır.

Çizelge 9' da verilen değişken olarak eklenen ölçüm gürültüleri ile Simülasyon 9 GKF kullanılarak, simülasyon 10'da ise UGKF kullanılarak 100'er kez koşulmuştur. Ortalama karekök hatası GKF simülasyonlarında 0,9459 olarak elde edilirken UGKF simülasyonlarında ise 1,0681 olarak hesaplanmıştır.

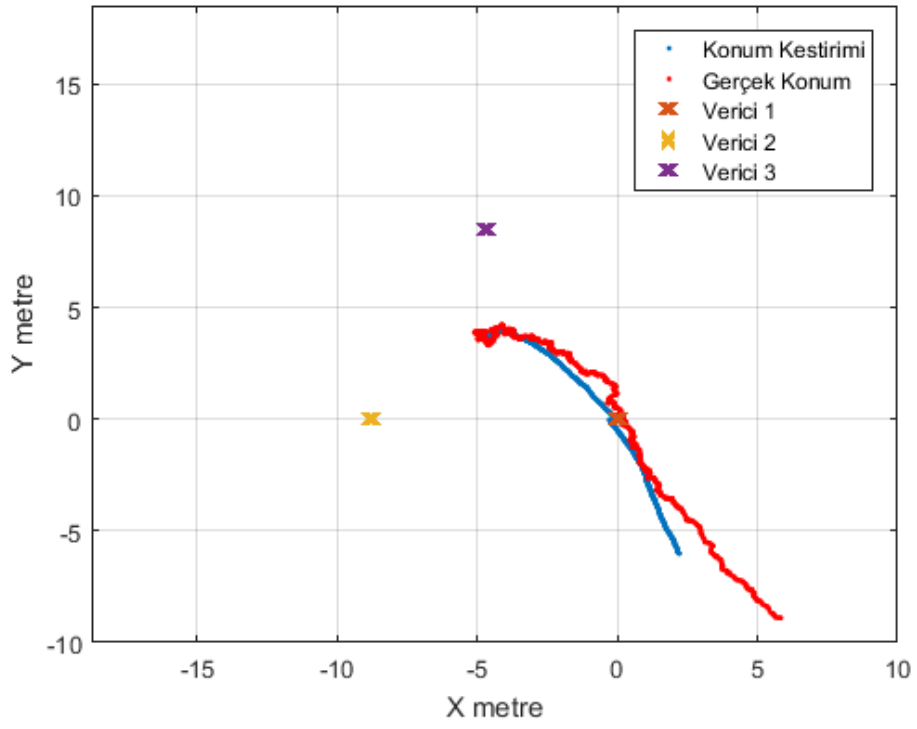
Simülasyon 9'da koşulan 100 simülasyondan birinde elde edilen konum kestirimi Şekil 3-48'de ve bu kestirime ait kovaryans matrisi değişimi Şekil 3-50'de gösterilmiştir. Simülasyon 9'da koşulan 100 simülasyondan birinde elde edilen konum kestirimine ait hatanın zamana bağlı değişimi Şekil 3-49'da verilmiştir. Kestirilen konum ve gerçek konum arasındaki ortalama karekök hatasının koşulan 100 adet simülasyona bağlı değişimi ise Şekil 3-51'de gösterilmiştir.

Simülasyon 10'da koşulan 100 simülasyondan birinde edilen konum kestirimi Şekil 3-52'de ve bu kestirime ait kovaryans matrisi değişimi Şekil 3-54'te gösterilmiştir. Simülasyon 10'da elde edilen konum ve gerçek konum arasındaki ortalama karekök hatasının koşulan 100 adet simülasyona bağlı değişimi ise Şekil 3-55'te gösterilmiştir. Simülasyon 10'da koşulan 100 simülasyondan birinde elde edilen konum kestirimine ait hatanın zamana bağlı değişimi Şekil 3-53'de verilmiştir.

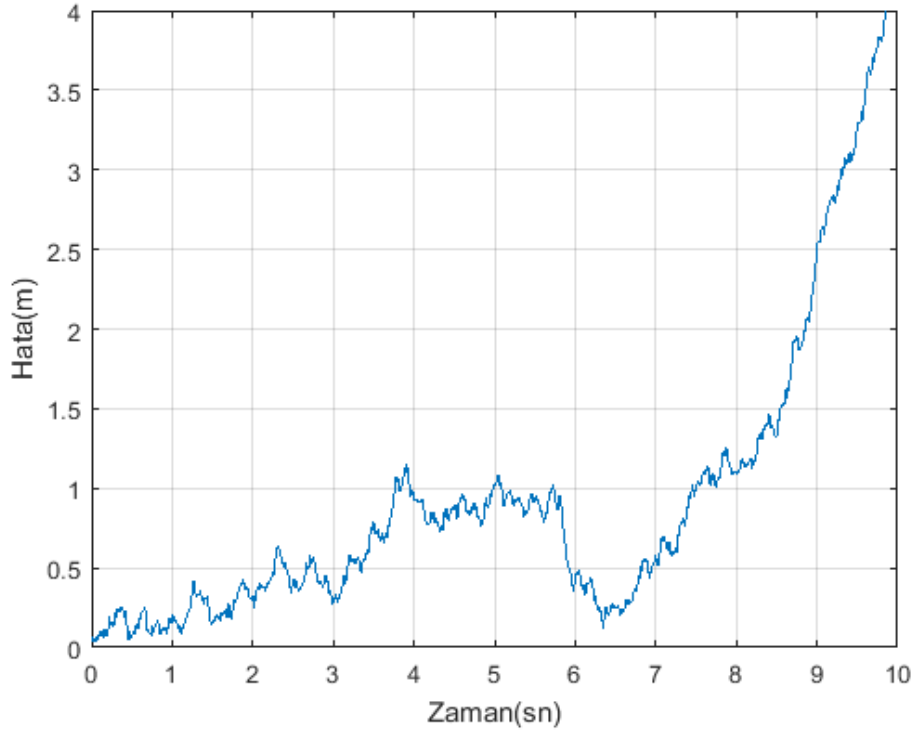
Simülasyonlarda sistemde alınan hareket modeli olan sabit ivmeli hareket modeline uymayan hareket tiplerinde Q sistem durum kovaryansını büyük girmenin daha doğru kestirim sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Alınan hareket modeli kullanılarak hesaplanan sistem durumuna ait yeni tahminlere eklenen gürültünün standart sapmasının değişken olduğu durumlarda UGKF doğruluğu daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Çizelge 9 Değişken Gürültü Modelleri Değerleri Simülasyonları

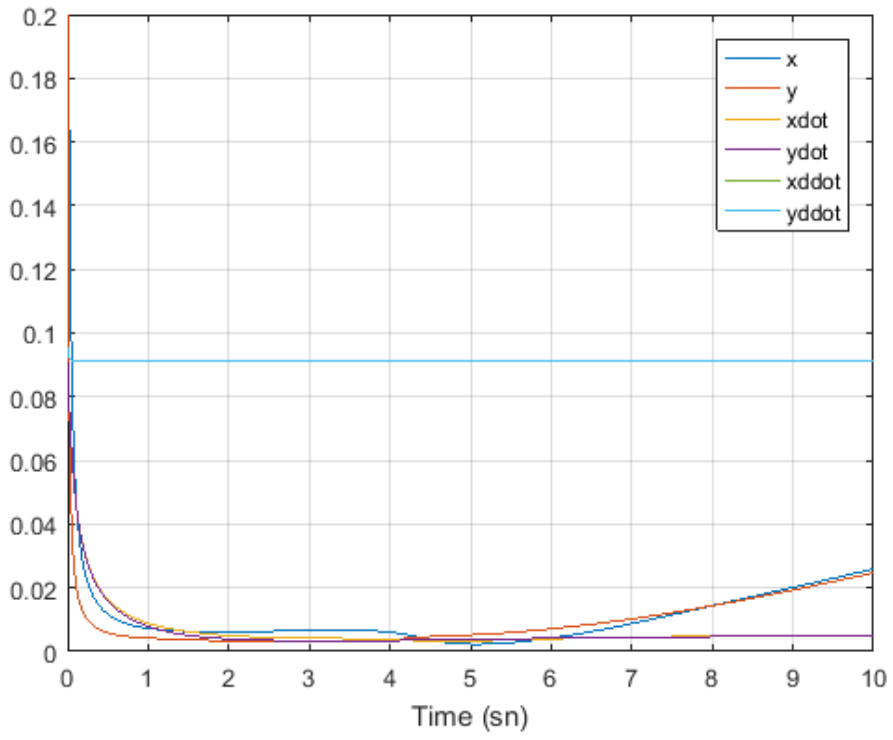
Simülasyon Parametreleri		Kestirim Algoritması
Simülasyon 9	Birinci Aralık	RSSI Kovaryansı = 3 İvme Kovaryansı = 0,03 Hız Kovaryansı = 1
	İkinci Aralık	RSSI Kovaryansı = 6 İvme Kovaryansı = 0,06 Hız Kovaryansı = 2
	Üçüncü Aralık	RSSI Kovaryansı = 4 İvme Kovaryansı = 0,05 Hız Kovaryansı = 1,5
	Dördüncü Aralık	RSSI Kovaryansı = 3 İvme Kovaryansı = 0,03 Hız Kovaryansı = 1
Simülasyon 10	Birinci Aralık	RSSI Kovaryansı = 3 İvme Kovaryansı = 0,03 Hız Kovaryansı = 1
	İkinci Aralık	RSSI Kovaryansı = 6 İvme Kovaryansı = 0,06 Hız Kovaryansı = 2
	Üçüncü Aralık	RSSI Kovaryansı = 4 İvme Kovaryansı = 0,05 Hız Kovaryansı = 1,5
	Dördüncü Aralık	RSSI Kovaryansı = 3 İvme Kovaryansı = 0,03 Hız Kovaryansı = 1



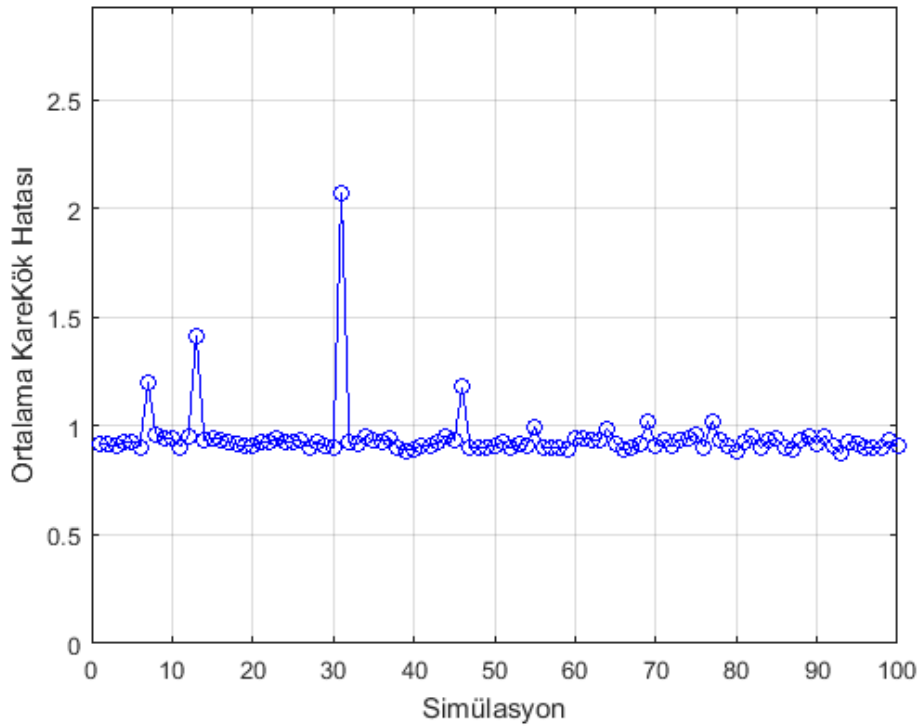
Şekil 3-48 Simülasyon 9 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 0,9459 m



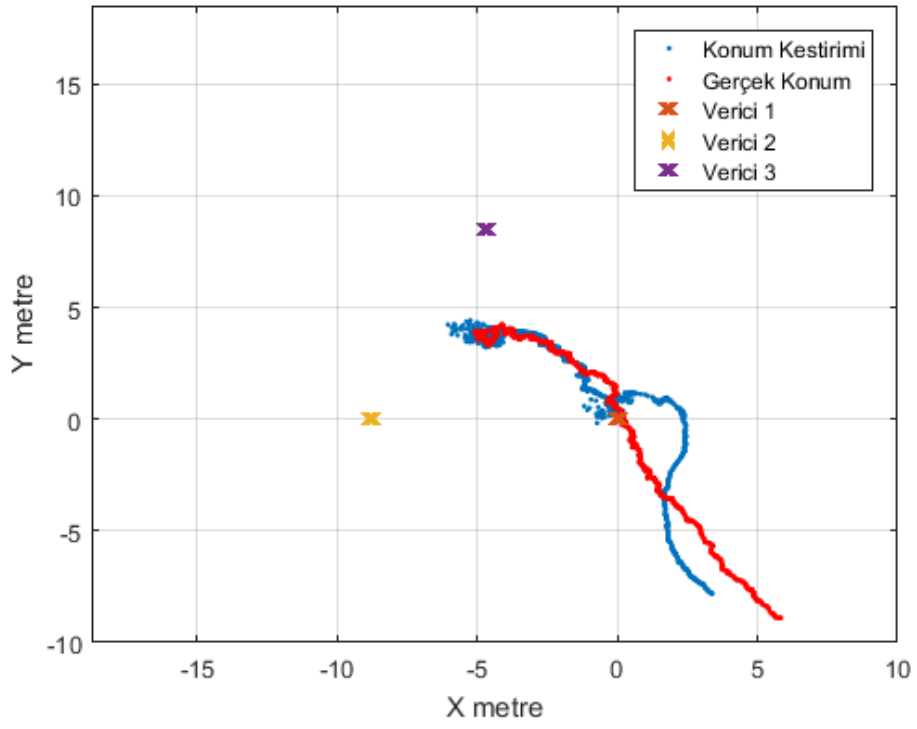
Şekil 3-49 Simülasyon 9 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



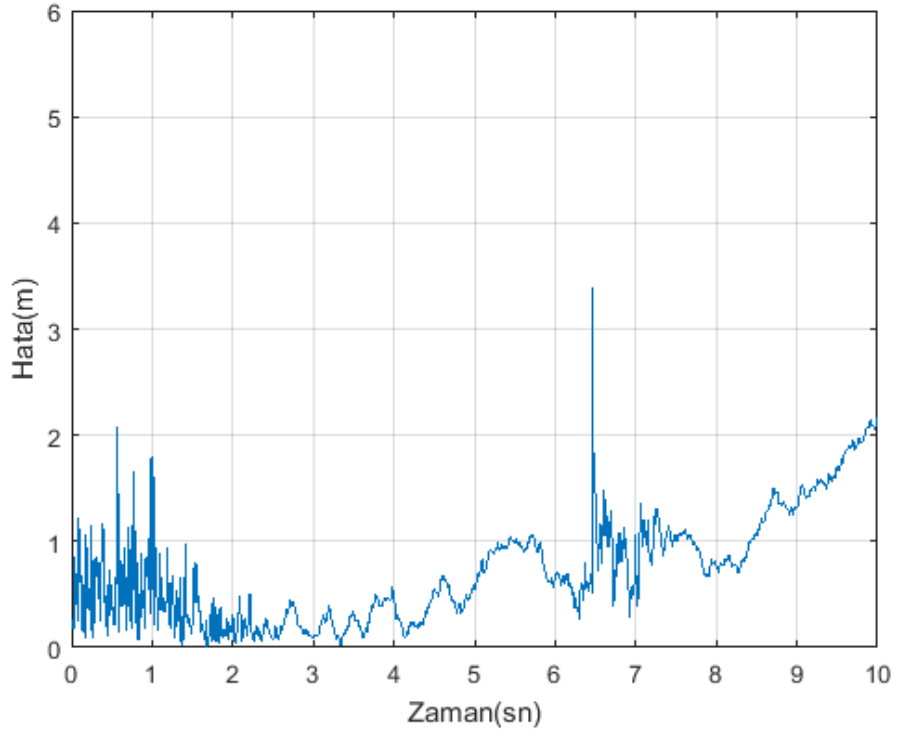
Şekil 3-50 Simülasyon 9 Kovaryans Matrisi Değerleri



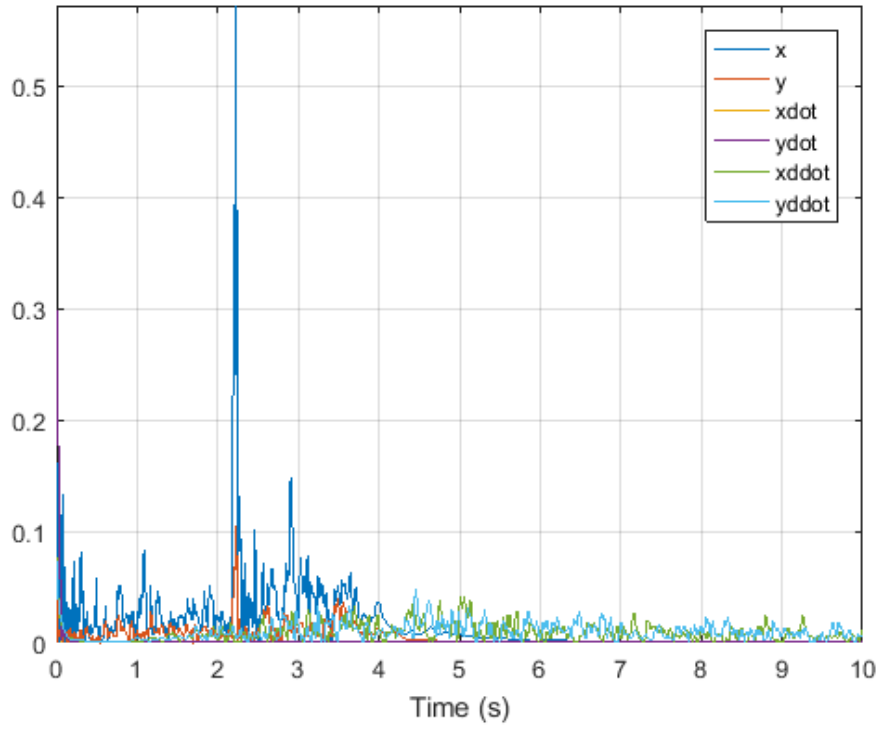
Şekil 3-51 Simülasyon 9 Ortalama KareKök Hatası Değişimi



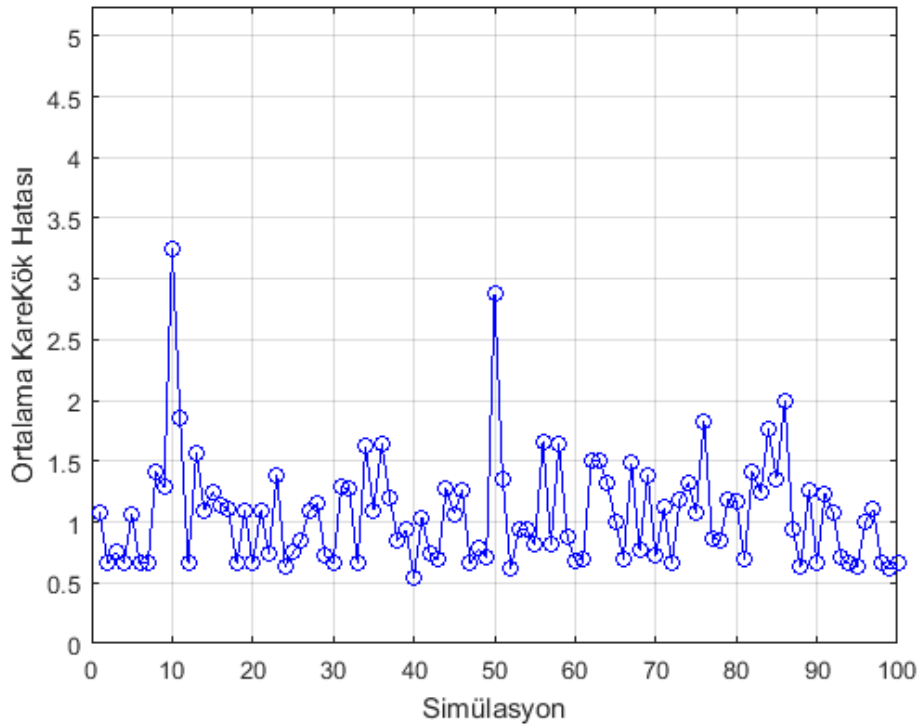
Şekil 3-52 Simülasyon 10 Konum Kestirimi Ortalama Kare Kök Hatası = 1,0681 m



Şekil 3-53 Simülasyon 10 Kestirim Hatasının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 3-54 Simülasyon 10 Kovaryans Matrisi Değerleri



Şekil 3-55 Simülasyon 10 Ortalama KareKök Hatası Değişimi

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

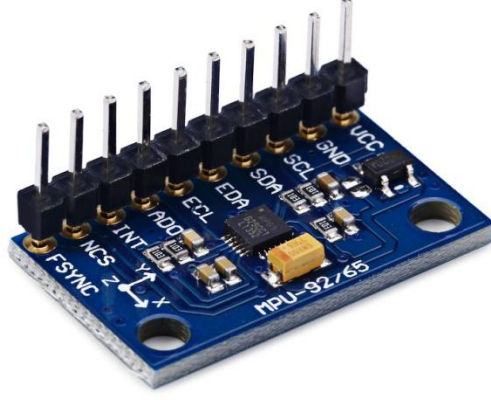
4.1 Sistemde Kullanılan Donanımsal Birimler

Deneysel çalışma kısmında, kapalı ortamda üç adet sabit düğüm bir adet hareketli düğümden oluşan kablosuz sensör ağı kurulmuştur. Kablosuz sensör ağında, Synapse Wireless [25] markasına ait Şekil 2-6 gösterilen ve teknik özellikleri Çizelge 10' de verilen RF100PD6 model RF modüller ve Digi International [26] şirketine ait A24-HASM-450 antenler yardımıyla kapalı ortamda alınan sinyal gücü ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 10 RF100 PD6 RF modüllerin teknik özellikleri

Performans	Dış Ortam Görüş Alanı Menzili	250 Kbps'de 5 km'ye kadar
	Verici Çıkış Gücü	18 dBm
	RF Data Hızı	250 Kbps'de
	Alıcı Hassasiyeti	-102 dBm
Güç Gereksinimleri	Besleme Voltajı	2,7-3,4
	Verici Akımı(@3,3 Volt)	115 mA
	Alıcı Akımı (@3,3 Volt)	60 mA
Genel	Frekans	2,4 GHz
	Anten Tipi	Harici RPSMA
	Hafıza	60 KByte
	Arayüz	UART ve GPIO

Deneysel çalışmada ivmeölçer olarak üç eksen jiroskop ve üç eksen ivmeölçeri birleşiminden oluşan altı eksenli ivme ölçebilen InvenSense [27] firmasının Şekil 4-1'te gösterilen MPU-6500 ve özellikleri Çizelge 11'de verilen sayısal hareket takip sensörü kullanılmıştır.



Şekil 4-1 : MPU 6500 Sayısal Hareket Takip Sensörü

Çizelge 11 MPU 6500 Teknik Özellikleri

Güç Gereksinimleri	Besleme Voltajı	2,7-3,45 Volt
	Akım Tüketimi	3,4 mA
Genel	Ölçüm Aralığı	$\pm 16g$
	Hassasiyet Çarpanı	2048 LSB/g
	Ara yüz	I2C

RF100 PD6 ve MPU6500 sensörlerinden alınan ham verilerin anlamlandırılması ve veri kaydediciye gönderilmesi amacıyla Texas Instruments firmasının C2000 ailesinden F28335 sayısal sinyal kontrolcüsü kullanılmıştır. F28335 sayısal sinyal kontrolcüsünün özellikleri Çizelge 12'te verilmiştir.

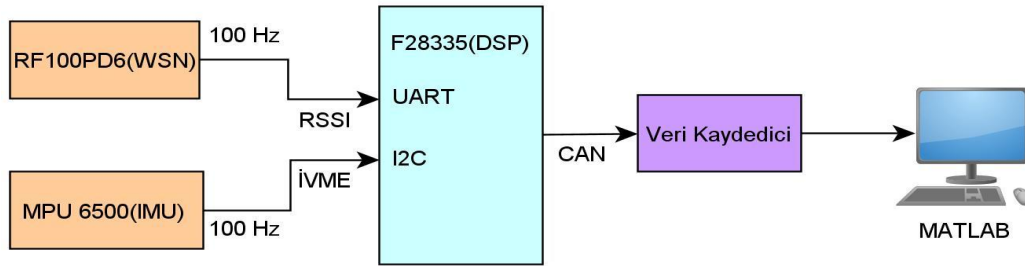
Çizelge 12 F28335 Sayısal Sinyal Kontrolcüsü

Genel	CPU	C28x (32 Bit)
	Frekans	150 MHz
	Flash Hafıza	512 KB
	RAM Hafıza	68 KB
	Ara yüz	I2C,CAN,UART , SPI
Güç Gereksinimleri	Besleme Voltajı	3,3 Volt

Kapalı ortamda ölçülen veriler Vector firmasının VN1630 veri kaydedicisi ile kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler, Vector firmasına ait Vector CAN Analyzer arayüzü kullanılarak mat uzantılı dosyalara çevrilmiş ve MATLAB ortamına alınmıştır. VN1630 veri kaydedicisine ait Şekil 4-2' de gösterilmiştir.



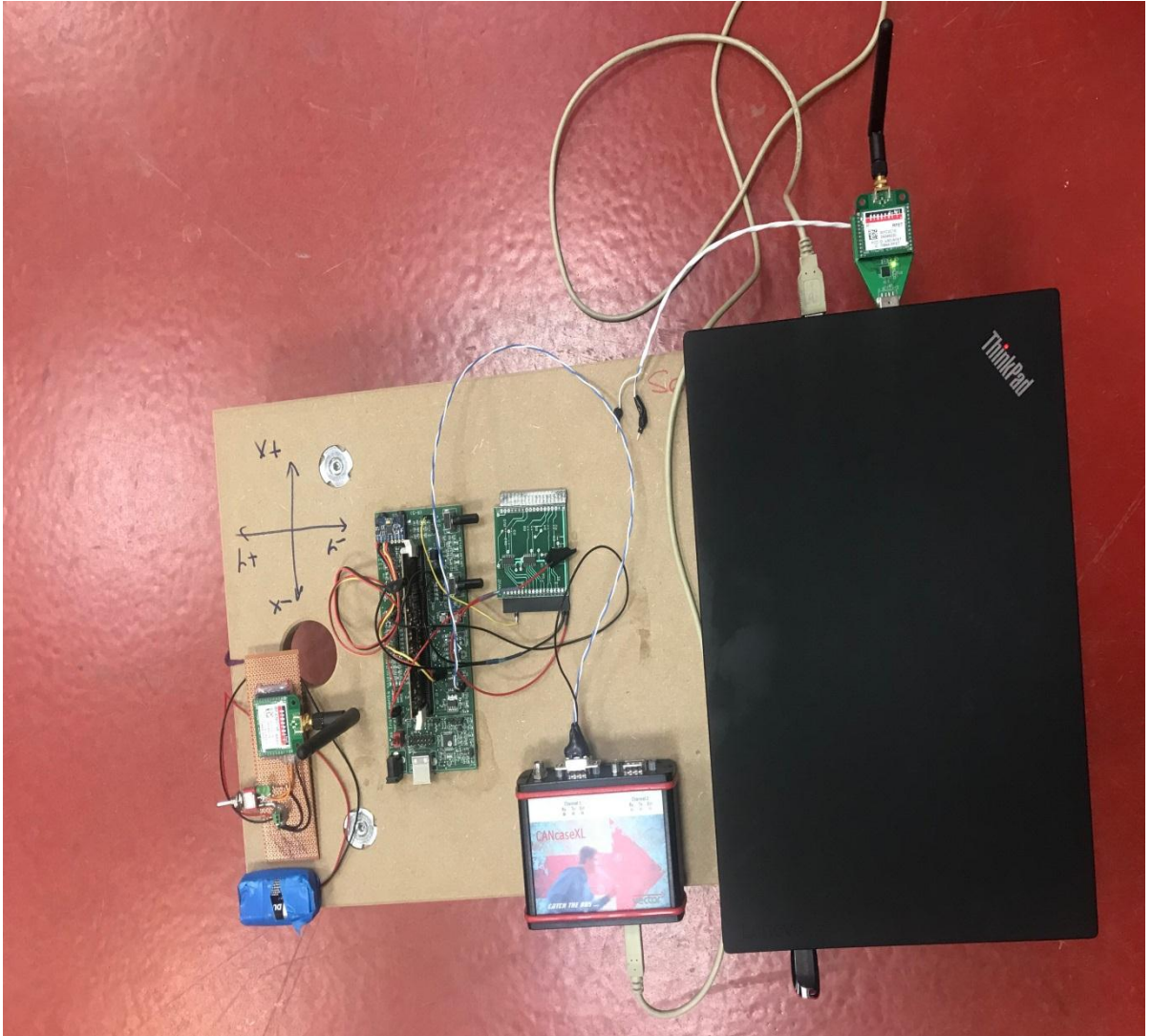
Şekil 4-2 Veri Kaydedicisi



Şekil 4-3 Donanımsal Sistem Mimarisi

4.2 Sistem Mimarisi

Donanımsal mimarisi Şekil 4-3'te gösterilen Şekil 4-4'teki test düzeneği alınan sinyal gücü ve ivme ölçme amaçlı kurulmuştur. Hareketli düğüm ve üç adet sabit düğümden her biri arasında 100 Hz frekansta ölçülen alınan sinyal güçleri UART ara yüzü ile F28335 sayısal sinyal işleyicisine gönderilmiştir. MPU 6500 hareket sensörü sistemde X ve Y eksenlerindeki ivme verilerini I2C ara yüzünden 100 Hz frekansta F28335 sayısal sinyal işleyiciye göndermiştir. Sayısal sinyal işleyici ile alınan veriler CAN ara yüzü ile VN1630 veri kaydedicisine gönderilmiştir. Veri kaydedicisinde kaydedilen veriler MATLAB ortamına alınarak işlenmiştir.

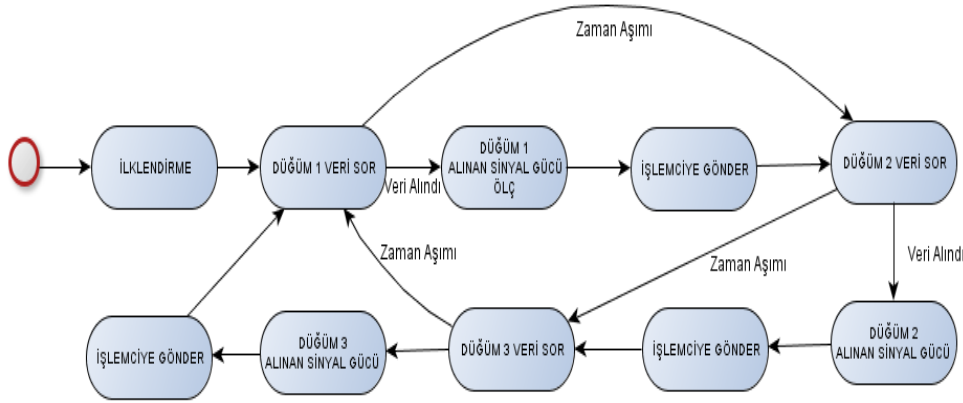


Şekil 4-4 Test Düzeneği

4.3 Gerçek Zamanlı Yazılım Geliştirme

Bu bölümde sensörlerden alınan verileri veri kaydediciye kritik zaman aralıklarında gönderebilmek amacıyla gerçek zamanlı işletim sistemi kullanılarak gerçekleştirilen yazılıma ait akış diyagramları ve yazılım tasarım notları anlatılacaktır.

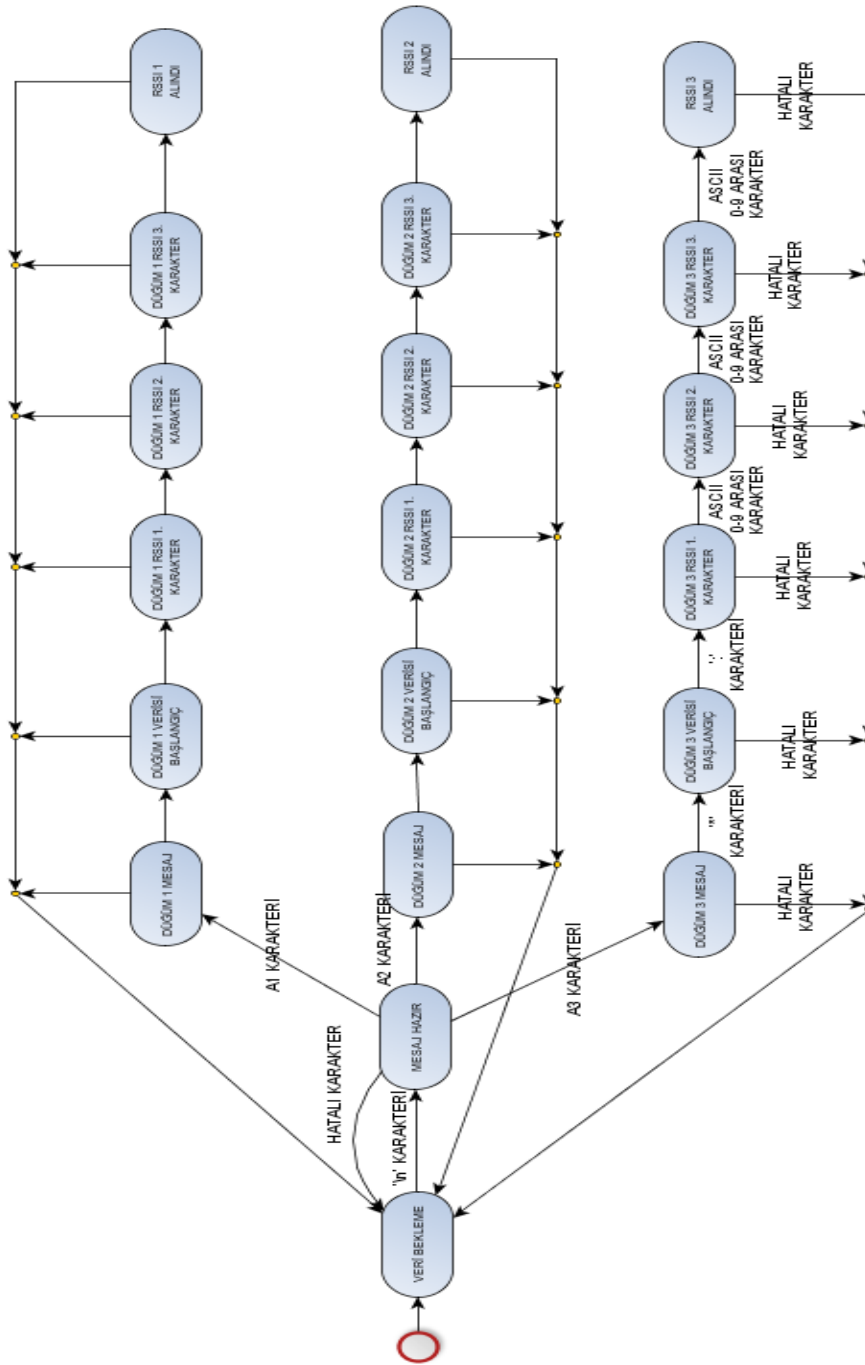
Kablosuz sensör ağında alınan sinyal güçlerini ölçmek amacıyla Synapse Portal arayüzü kullanılarak Python dilinde yazılım geliştirilmiştir. Hareketli ve sabit düğümlerde öncelikle kullanılacak UART ara yüzünün veri hızı ayarları ve anten çıkış gücü ayarları yapılmıştır. Hareketli düğümde 100 Hz sıklıkta çalışan bir döngü çalıştırılmıştır. Bu döngü içinde sabit düğümler ve hareketli düğüm arasında sırasıyla soru sor cevap al şeklinde senkronize edilmiş bir haberleşme protokolü gerçekleştirilmiştir. Hareketli düğüm soru sorduğu sabit düğüme ait cevabı aldıktan sonra alınan sinyal gücü verisine belirlenen protokole göre hangi düğümden ölçtüğü bilgisini de ekleyerek UART arayüzü üzerinden ASCII kodlar ile sayısal sinyal işleyiciye gönderir. Ana hatlarıyla anlatılan algoritmanın akış diyagramı Şekil 4-5'te gösterilmiştir.



Şekil 4-5 Alınan Sinyal Gücü Verisi Ölçümü Akış Diyagramı

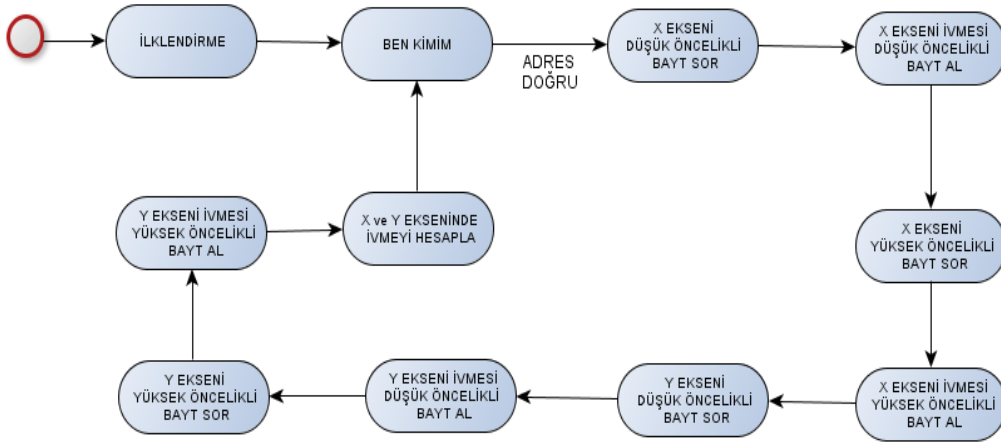
Sayısal sinyal işlemciye gönderilen veriler UART ara yüzü üzerinden alınarak sayısal sinyal işleyicide ASCII karakterlerin ondalık sayıya çevrilmesiyle anlamlandırılmıştır. Sayısal sinyal işlemcinin UART kesmesi kurularak, UART kesmesinin çalışacağı fonksiyona mobil düğümden gelen alınan sinyal gücü ölçümlerini bayt bayt bölecek kod yazılmıştır. Veri bekleme durumunda uygun ASCII karakterin alınmasıyla mesaj hazır durumuna geçen işlemci verinin hangi düğüme ait olduğunu anlamlandırdıktan sonra güvenlik amaçlı eklenen verileri beklemeye başlar. Mesajın bütün olarak alındığını

doğrulandıktan sonra alınan sinyal gücüne karşılık gelen üç bayt ASCII veriyi ondalık sayıya çevirerek veri kaydediciye göndermek üzere saklar. İşlemci tarafında alınan sinyal gücü ölçümlerinin alınması, parçalanması ve anlamlandırılmasına ait akış diyagramı Şekil 4-6'da gösterilmiştir.



Şekil 4-6 Alınan Sinyal Gücü Verilerinin Anlamlandırılması

Sayısal sinyal işlemciye ivmeölçer verileri I2C ara yüzünden bağlanmıştır. İlk olarak sayısal sinyal işlemcisi ivmeölçer arası I2C veri hızı, usta ve köle seçimi parametreleri girilerek haberleşme ayarları yapılmıştır. I2C ara yüzü çalışır hale getirildikten sonra ivmeölçerin ilklendirme komutları gönderilmiştir. İvmeölçerin ilklendirilmesinde I2C adresi, çözünürlüğü, ölçeceği azami ivme değeri gibi ayarları yapılmıştır. 1000 Hz sıklıkta çalışan döngüde işlemciden ivmeölçere; ben kimin, X ekseninde ivme verisinin bulunduğu adres ve Y ekseninde ivme verisinin bulunduğu adres sorulmuştur. Sorulan verilere ivmeölçer tarafından gönderilen ham ivme verisi işlemcide anlamlandırıldıktan sonra veri kaydediciye gönderilmek üzere saklanmıştır. İvmeölçer verilerinin sayısal sinyal işlemci tarafından alınmasına ve hesaplanmasına ait akış diyagramı Şekil 4-7'de gösterilmiştir.

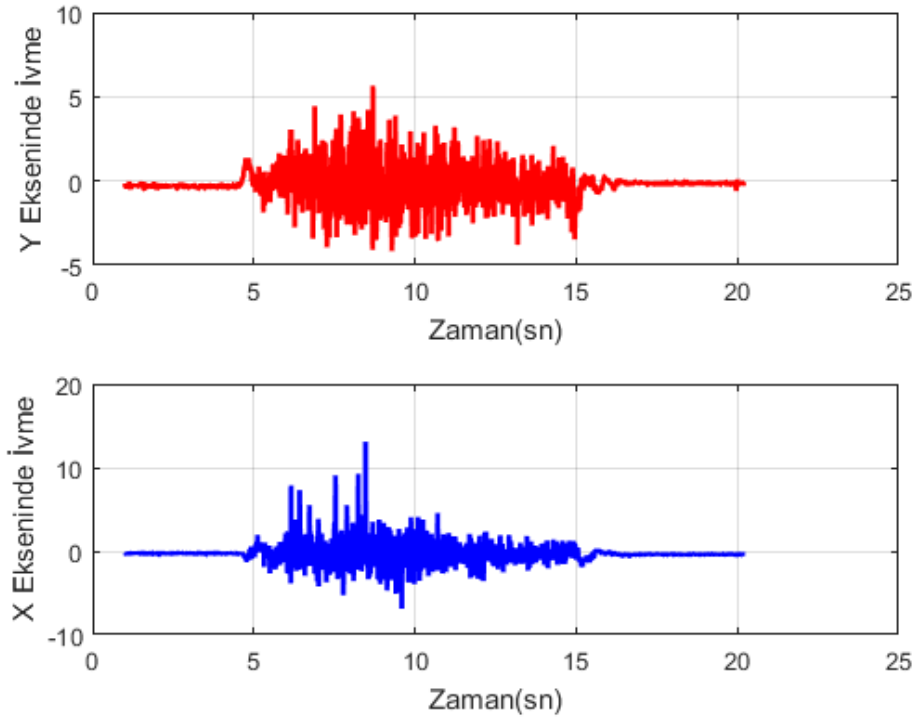


Şekil 4-7 İvmeölçer Verisinin Alınması ve Hesaplanması

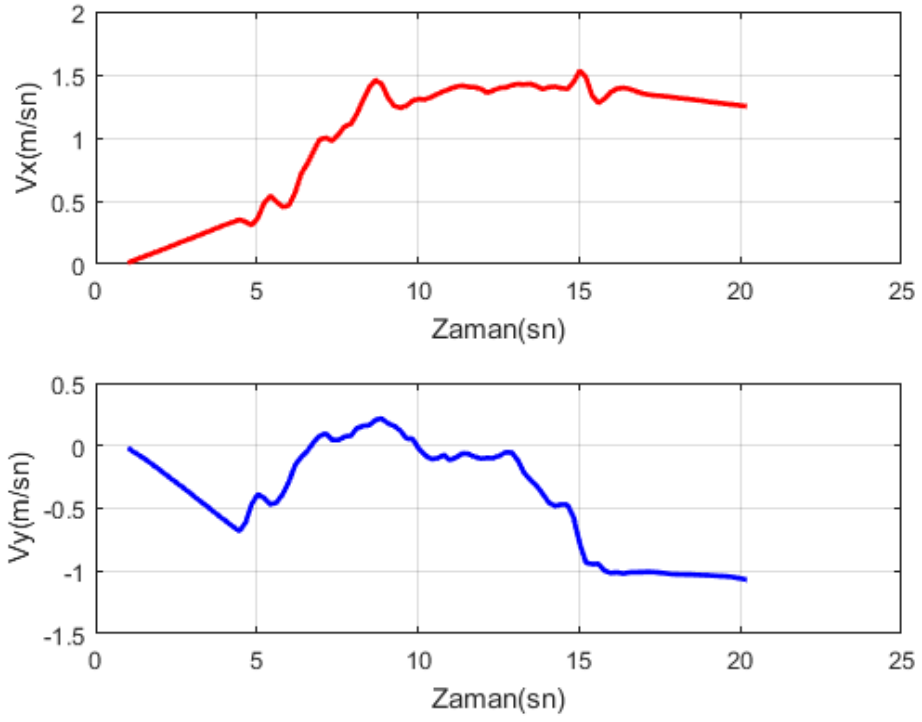
4.4 Deneysel Sonuçlar

4.4.1 İvme Ölçer Verileri Sonuçları

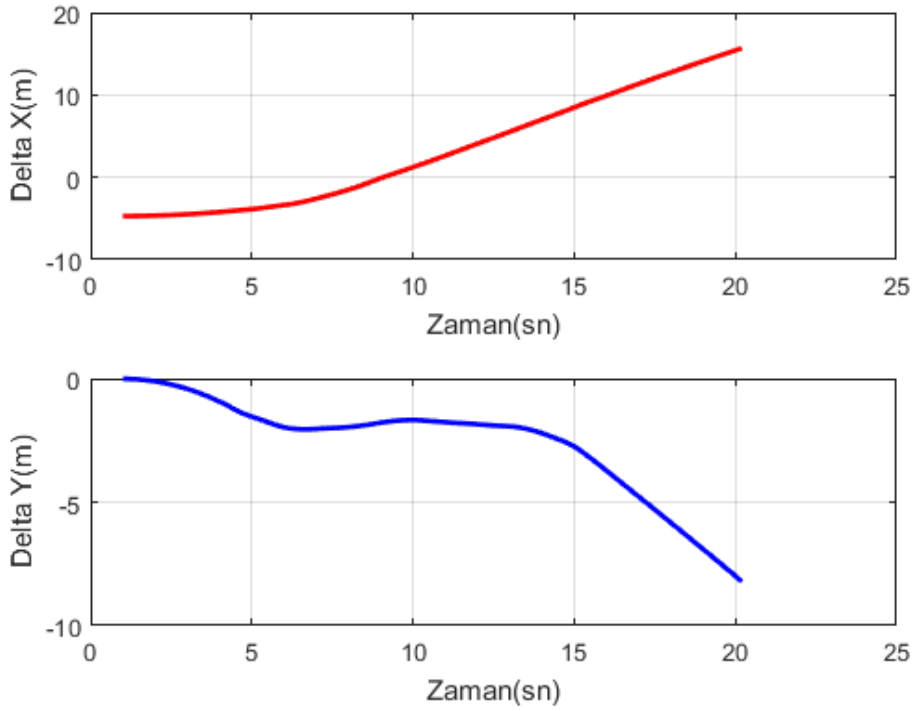
Çalışmanın bu bölümünde MPU6500'den ölçülen ivme verileri ile İvme Ölçer Sapması kısmında anlatılan iki farklı ivmeölçer tabanlı konum bulma algoritması kullanılarak konum ve hız hesabı yapılmıştır. Hedefin X ekseninde 8 metre ve Y ekseninde 6 metre hareket ettiği durumda MPU6500'den ölçülen ve kaydedilen veriler üzerinden konum ve hız hesaplaması yapılmıştır. İvme Ölçer Sapması kısmında anlatılan normal integral alma işlemi ile konum bulan algoritma ve sıfır hız ve kısmen sabit hız tespit eden algoritma ölçülen hız ve konum grafikleri üzerinden karşılaştırılmıştır.



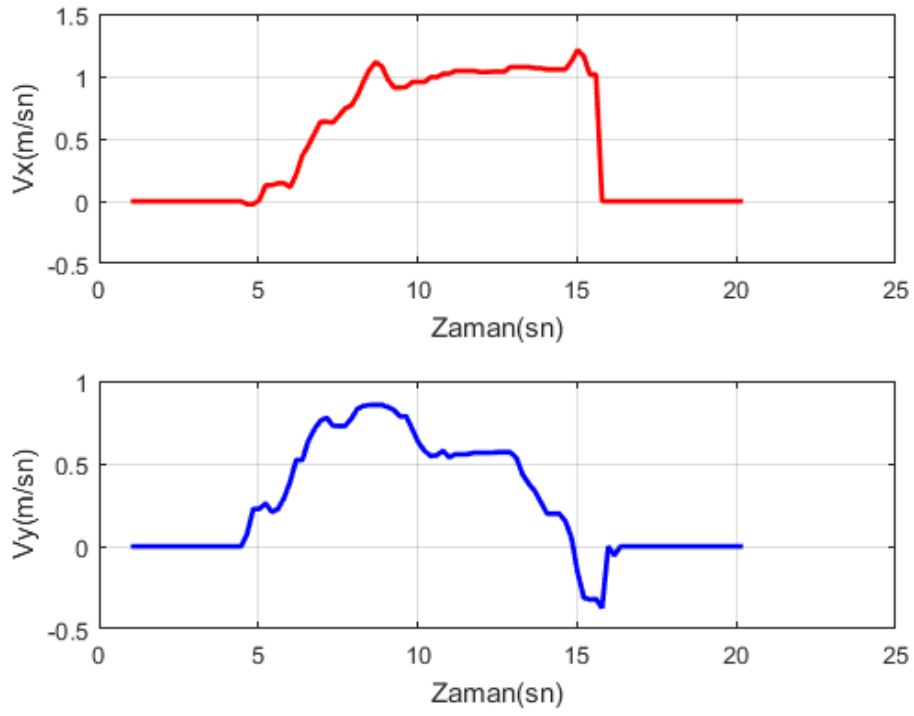
Şekil 4-8 X ve Y Ekseninde İvme Verileri



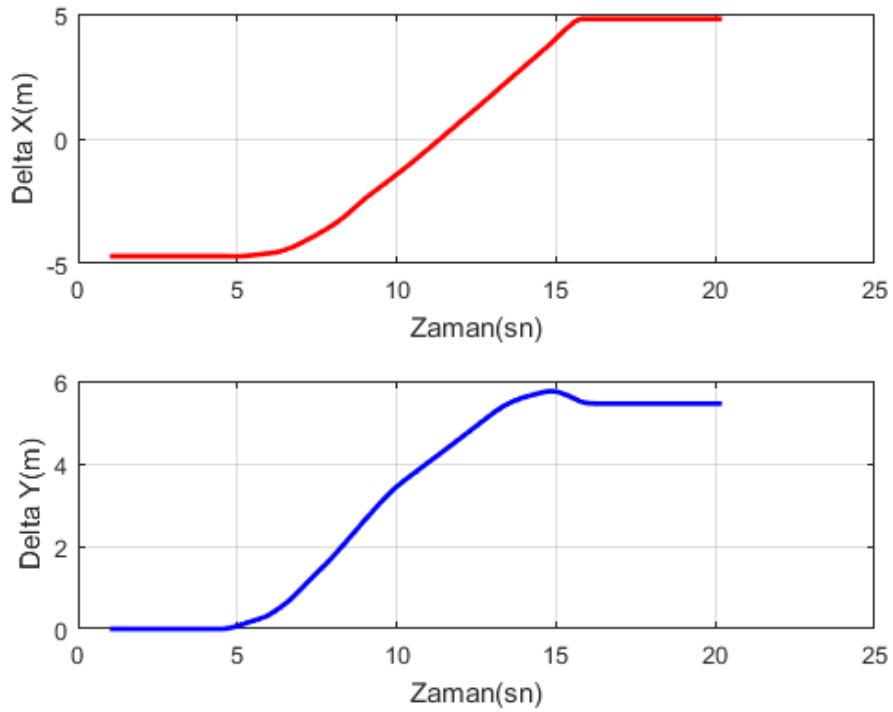
Şekil 4-9 X ve Y Ekseninde Geleneksel İntegral Alma Yöntemi ile Hesaplanan Hız



Şekil 4-10 X ve Y Ekseninde Geleneksel İntegral Alma Yöntemi ile Hesaplanan Konum



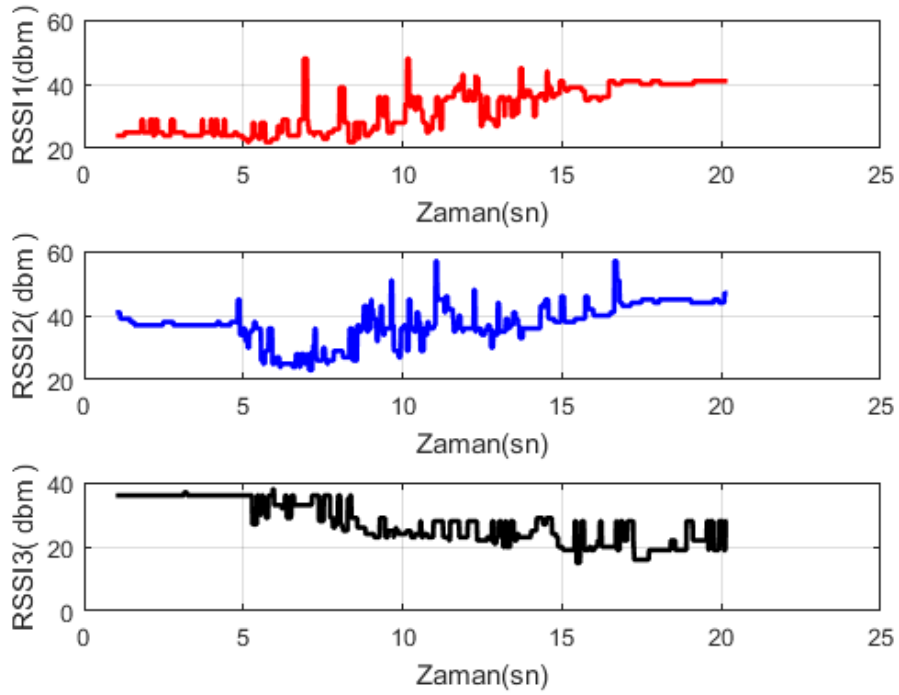
Şekil 4-11 X ve Y Ekseninde Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması ile Hesaplanan Hız



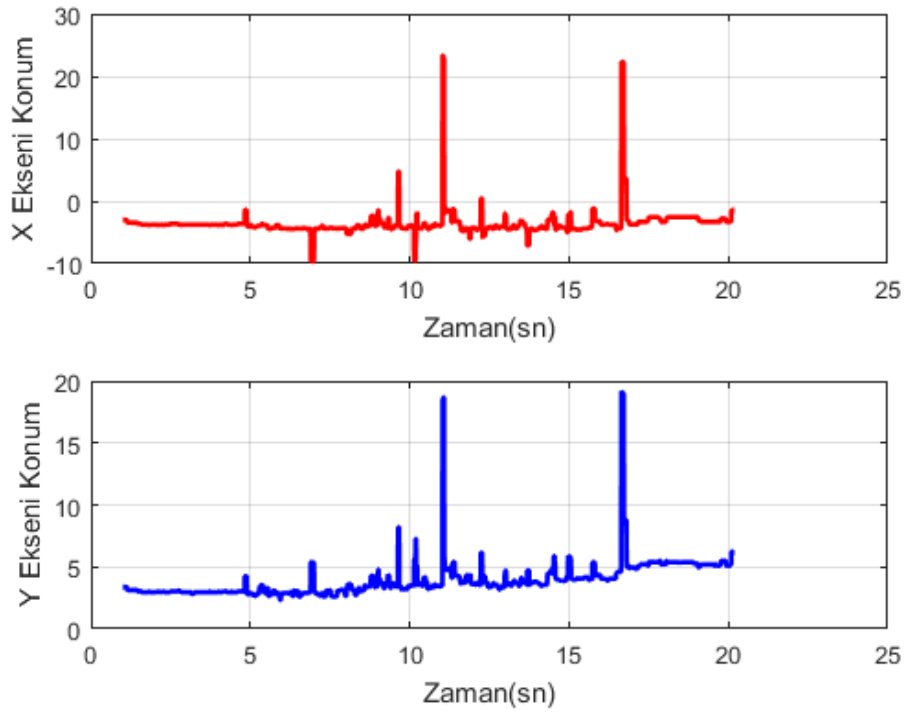
Şekil 4-12 X ve Y Ekseninde Sıfır Hız ve Sabit Hız Tespit Algoritması ile Hesaplanan Konum

4.4.2 Alınan Sinyal Gücü Verileri Sonuçları

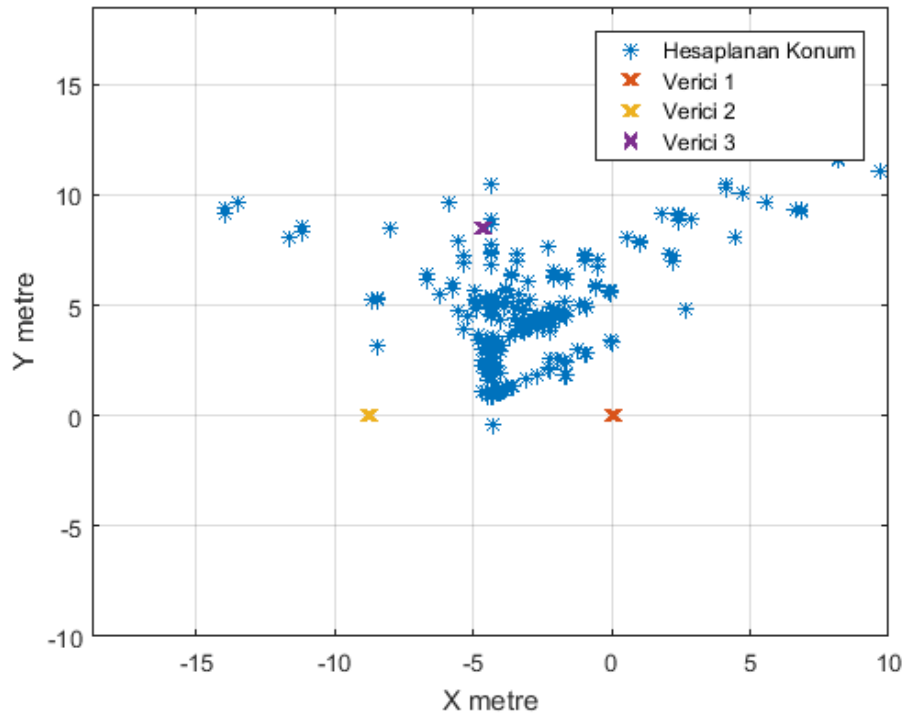
Kapalı ortamda bir adet hareketli düğüm ve çevresine yerleştirilen üç adet sabit düğüm kullanılarak alınan sinyal güçleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Hedef (-4,7,0) konumundan (-4,7,8,52) konumuna hareket ederken kaydedilen veriler, Sinyal Alış Gücü Tabanlı Mesafe Tahmini bölümünde anlatılan trilaterasyon algoritması kullanılarak MATLAB ortamında konum elde edilmiştir ve görseller Şekil 4-13 ve Şekil 4-14 gösterilmiştir. Şekil 4-15’de hedef hareketli durumda iken yapılan alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma harita üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4-16’te ise hedef (-4,7, 0) konumunda sabit dururken alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma sonuçları gösterilmiştir.



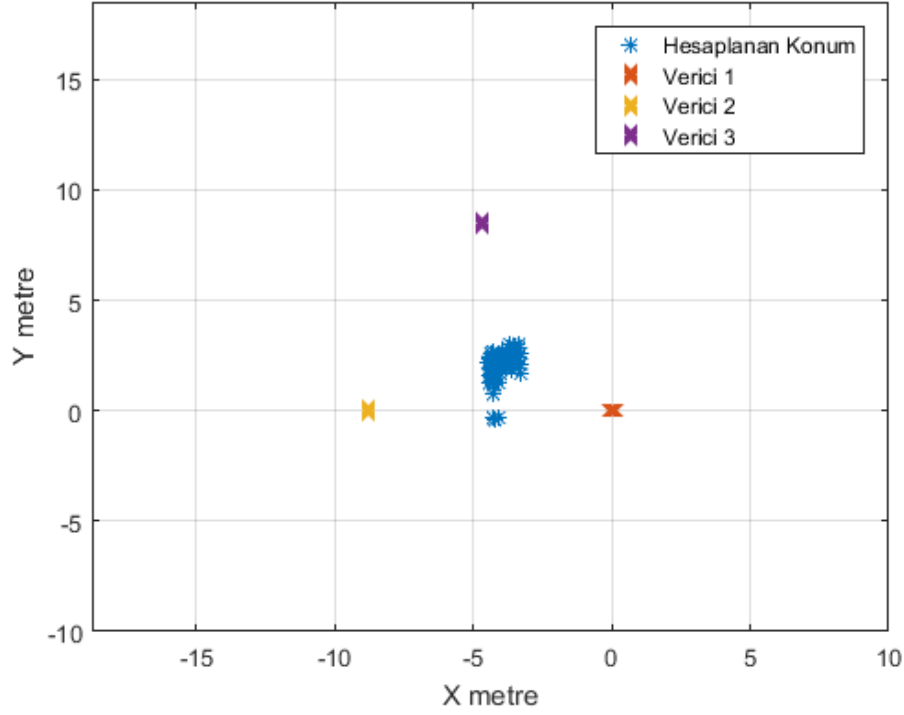
Şekil 4-13 Sabit Düğümlerden Alınan Sinyal Güçleri Ölçümleri



Şekil 4-14 Trilaterasyon Yöntemi İle X ve Y Ekseninde Konum Hesabı



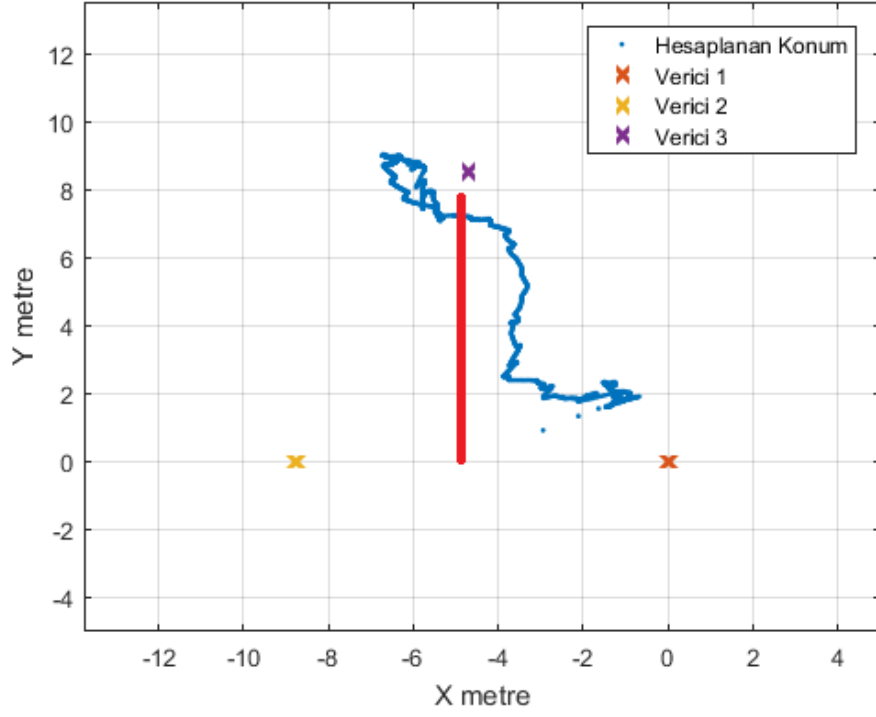
Şekil 4-15 Trilaterasyon Yöntemi İle Hareketli Hedefin Konumunun Harita Üzerinde Gösterimi



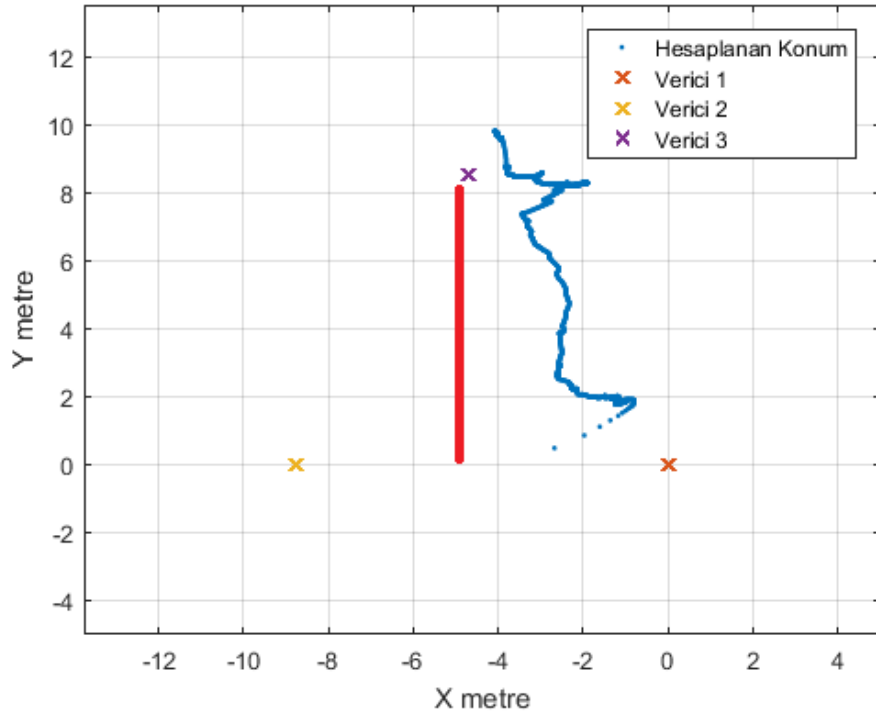
Şekil 4-16 Trilaterasyon Yöntemi ile Sabit Hedef Konumunun Haritada Gösterimi

4.4.3 Veri Füzyonu Sonuçları

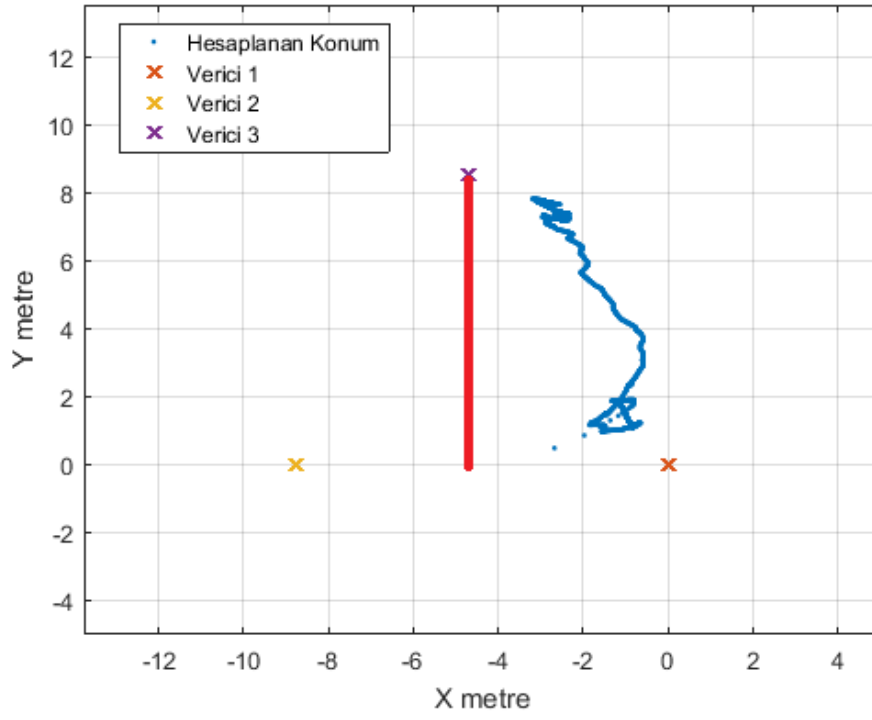
Hedef $(-4,7,0)$ konumundan $(-4,7,8,52)$ konumuna hareket ederken kaydedilen ivme ve alınan sinyal gücü verilerinin, GKF ve UGKF' de veri füzyonunda kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar görseller üzerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca GKF' de veri füzyonuna ivmeölçer ve alınan sinyal gücüne ek olarak ivme verisinde hesaplanan hız bilgisinin de dâhil edilmesiyle elde edilen sonuçlar görseller üzerinden karşılaştırılmıştır. Şekil 4-17'te hız verisinin füzyona katılmadığı durumda hedefin $(4,7,0)$ konumundan $(-4,7,8,52)$ konumuna hareket ettiği durumda GKF 'nin konum kestirimi gösterilmiştir. Şekil 4-18 'te ivme verisinden sıfır hız ve kısmen sabit hız algoritmaları kullanılarak hesaplanan hız verisinin füzyona katıldığı durumda, hedefin $(4,7,0)$ konumundan $(-4,7,8,52)$ konumuna hareketine ait GKF 'nin konum kestirimi gösterilmiştir. İvme verisinden geleneksel integral alma yöntemi ile hesaplanan hız verisinin füzyona katıldığı duruma ait GKF 'nin konum kestirimi ise Şekil 4-19'da gösterilmiştir. Son olarak, UGKF ile gerçekleştirilen veri füzyonunda hedefin $(4,7,0)$ konumundan $(-4,7,8,52)$ konumuna hareketine ait konum kestirim görseli Şekil 4-20'de gösterilmiştir.



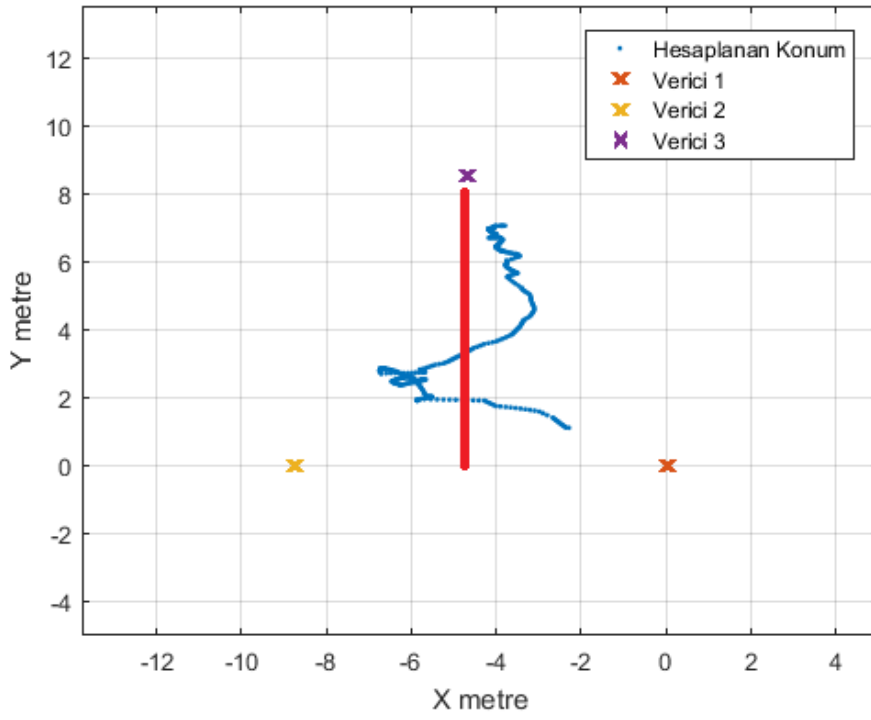
Şekil 4-17 GKF' de İvme ve Alınan Sinyal Gücü Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi



Şekil 4-18 GKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi



Şekil 4-19 GKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi



Şekil 4-20 UGKF' de İvme, Alınan Sinyal Gücü ve Hız Verilerinin Füzyonu ile Konum Kestirimi

Simülasyon sonuçlarında ivmeölçer verisinden türetilen hız verisinin füzyonda kullanılmasının konum kestirim doğruluğunu düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Deneysel veriler üzerinden hız verisinin füzyona dâhil edilmesinin etkisi Şekil 4-17 ve Şekil 4-18'in karşılaştırılmasıyla incelenmiştir. Geleneksel integral alma algoritması ile türetilen hız verisinin füzyona dâhil edildiği durumdaki kestirim sonuçlarında, hareket doğrultusunu belirten kırmızı çizgi ile kestirim sonucunu belirten mavi çizgi arasındaki farkın açıldığı Şekil 4-17 ve Şekil 4-18'in karşılaştırılması ile anlaşılmıştır. Deneysel veriler üzerinden geleneksel integral alma algoritması ile türetilen hız verisinin füzyona dâhil edilmesinin konum kestirimine etkisi simülasyon sonuçları ile uyusmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan ivmeölçer modeline yönelik geliştirilen hız hesaplama algoritması ile türetilen hız verisi ile geleneksel integral alma yöntemi ile türetilen hız verisinin deneysel veriler ile konum kestirimi doğruluğuna etkisi Şekil 4-18 ve Şekil 4-19'deki görsellerin karşılaştırılması ile elde edilmiştir. Her ne kadar yeni yöntemle türetilen hız verisinin füzyona dâhil edilmesiyle yapılan kestirim geleneksel integral alma yöntemi ile türetilen hız verisi ile yapılan kestirime göre hareket doğrultusundan daha az sapsa da hız verisinin füzyona dâhil edilmediği Şekil 4-17 'de gösterilen duruma göre hareket doğrultusundan daha fazla sapmıştır. Simülasyon sonuçlarında da gözlemlendiği gibi ivmeölçerden türetilen hız verisinin füzyona dâhil edilmesi kestirim doğruluğunu azaltmıştır. GKF ve UGKF'nin deneysel veriler üzerinden konum kestirim doğruluğu için Şekil 4-19 ve Şekil 4-20'deki görseller karşılaştırılmıştır. Şekil 4-20'de kestirimin başladığı anda simülasyon sonuçlarında da olan kestirimde salınımlar gözlemlenmiştir. İlklandirmede yaşanan bu durumun ardından UGKF'nin GKF'ye göre hedefin hareket doğrultusunun etrafında kestirimler yaptığı ve hedefin doğrultusunu daha yakından takip ettiği gözlemlenmiştir.

5 SONUÇLAR

Tez çalışmasında ilk olarak temel ivmeölçer modeli ve tez çalışmasında kullanılan MPU6500 ivmeölçer modeli çıkarılmıştır. MPU6500 ile yapılan deneysel çalışmalarla çıkarılan model üzerinden sıfır hız ve kısmen sabit hız tespiti yapan konum ve hız hesaplama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile her iki ivmeölçer modeli üzerinden konum ve hız hesaplaması yapılmıştır. Geleneksel integral alma yöntemi ile ivmeölçer verisinden hız ve konum hesaplaması yapan algoritmada gözlemlenen ivmeölçer sapmaları kaynaklı ıraksama ve hızda ani değişimler, sıfır hız ve kısmen sabit hız tespiti yapan algoritma sonuçlarında gözlemlenmemiştir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçları deneysel veriler üzerinden doğrulamak amacıyla test düzeneği kurulmuştur. Üç adet sabit düğüm, bir hareketli düğüm, bir adet ivmeölçer, bir sayısal sinyal kontrolcüsü ve bir adet veri kaydediciden oluşan test düzeneğinde kapalı ortamda ölçümler yapılmıştır. Kurulan kablosuz sensör ağında verileri kritik zaman aralıklarında veri kaydediciye göndermek için gerçek zamanlıya yakın yazılım geliştirilmiştir. Kaydedilen veriler incelendiğinde gerçek zamanlı yazılımın istenilen zaman aralıklarında alınan sinyal gücü ve ivme verilerini veri kaydediciye gönderdiği doğrulanmıştır. Kaydedilen veriler üzerinden GKF ve UKGF' nin kestirim performansları incelenmiştir.

Sabit ivmeli hareket modeli kullanılarak tasarlanmış GKF' nin kestirim performansı, ani duruşlar içeren bir harekette girilen farklı büyüklükte süreç gürültüsü kovaryanslarına göre karşılaştırılmıştır. Daha büyük süreç gürültüsü kovaryanslarında daha iyi kestirim yapıldığı gözlemlenmiştir. Sabit ivmeli ve ani duruşlar içermeyen harekette ise farklı büyüklükte girilen durum geçiş gürültüsü kovaryanslarında yaklaşık aynı kestirim performansları gözlemlenmiştir.

İvmeölçerden elde edilen hız verisinin GKF' de veri füzyonuna dâhil edilmesinin kestirim doğruluğunu azalttığı gözlemlenmiştir. İki farklı algoritma ile türetilen ve veri füzyonuna dâhil edilen hız verilerinin deneysel veriler kullanılarak konum kestirimine etkileri karşılaştırılmıştır. Kısmen sabit hız ve sıfır hız tespit algoritması ile türetilen hız verisinin GKF 'de veri füzyonu kullanılarak yapılan konum kestiriminde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Simülasyon verileri ile yapılan alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırmada gürültünün standart sapması belli limitlerin altında iken hedefin hareketinin takip edilebildiği ancak gürültünün standart sapması arttırıldığında hedefin takibinin mümkün olmadığı gözlemlenmiştir. Deneysel veriler ile yapılan alınan sinyal gücü tabanlı konumlandırma ise yansıyan ve engeller nedeniyle hesaplanan konumda anlık sıçramalar nedeniyle hedefin hareket yönünün takibinin mümkün olmadığı gözlemlenmiştir. Deneysel veriler üzerinden hedef sabitken yapılan konumlandırmada hesaplanan konumun GKF ve UGKF 'de ikklendirmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ölçüm gürültü modeli ve süreç gürültü modelinin bilinmediği veya değişken olduğu durumlarda UGKF ve GKF' nin kestirim performansları karşılaştırılmıştır. Sabit ivmeli ve ani duruşlar içeren hareket verileri ile UGKF' nin performansı GKF ile karşılaştırılmıştır. Ani duruşların yaşandığı köşelerde UGKF' nin daha az salınım yaptığı ve bu kısımlarda kovaryans matrisi değerlerinin GKF' ye göre daha az arttığı gözlemlenmiştir. Simülasyonlarda üretilen ölçüm verilerinin standart sapmaları değiştirilmiş ve GKF ve UGKF' nin kestirim performansları bu veriler üzerinden karşılaştırılmıştır. Değişen gürültü modellerinde UGKF' nin GKF' ye göre daha fazla hata ile kestirim yaptığı sonucuna varılmıştır.

Tez çalışmasında veriler kaydedildikten sonra çevrimdışı süreçte MATLAB ortamında işlenerek konum kestirimi yapılmaktadır. Konum kestiriminin de veri toplama gibi gömülü sistem üzerinde gerçekleşmesi çalışılacaktır. Deneysel veriler üzerinden konum kestirim doğruluğu sisteme entegre edilen harici bir konum ölçerden alınan veriler ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca ham hız verisi türeten bir sensörün sisteme entegrasyonu ve bu sensörden elde edilen hız verisinin veri füzyonunda konum kestirimine etkisi incelenecektir.

KAYNAKLAR

- [1] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, The cricket location-support system, in *Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, MA, 32–43, Aug. **2000**.
- [2] D. Niculescu and B. Nath, Ad hoc positioning system (APS) using AOA, in *IEEE INFOCOM*, April **2003**.
- [3] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In- Building RF-based User Location and Tracking System, *Proceedings of IEEE Infocom 2000*, Tel-Aviv, Israel, March **2000**.
- [4] Zheng Yang and Yunhao Liu. Quality of trilateration: Confidence-based iterative localization. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 21(5):631–640, **2010**.
- [5] Andreas Savvides, Heemin Park, and Mani B Srivastava. The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems. *In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pages 112–121. ACM, **2002**.
- [6] A. Papapostolou and H. Chaouchi, WIFE: wireless indoor positioning based on fingerprint evaluation. *In NETWORKING 2009, Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin/Heidelberg, 550, 234–247, **2009**.
- [7] F. Caron, E. Duflos, D. Pomorski, and P. Vanheeghe, “GPS/IMU data fusion using multisensor kalman filtering: introduction of contextual aspects,” *Information Fusion*, vol. 7, no. 2, pp. 221 – 230, **2006**.
- [8] A. Brown, “GPS/INS uses low-cost MEMS IMU,” *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, vol. 20, no. 9, pp. 3–10, **2005**.
- [9] R. Kalman, “A new approach to linear filtering and prediction problems,” *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 1, pp. 35–45, **1960**.
- [10] Francois Caron, Emmanuel Duflos, Denis Pomorski, and Philippe Vanheeghe. GPS/IMU data fusion using multisensor Kalman filtering: introduction of contextua aspects. *Information Fusion*, 7(2):221–230, **2006**.
- [11] Julian Lategahn, Marcel Müller, and Christof Röhrig. Robust pedestrian localization in indoor environments with an IMU aided TDoA system. *In Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, **2014**.
- [12] O. Woodman and R. Harle, “Pedestrian localisation for indoor environments,” *in Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing*, ser. UbiComp ’08. New York, NY, USA: ACM, **2008**, pp. 114–123.

- [13] Mohamed A, Schwarz K. Adaptive Kalman Filtering for INS/GPS. *J Geodesy* 73: 193-203, **1999**.
- [14] N. Swangmuang and P. Krishnamurthy, Location Fingerprint Analyses toward Efficient Indoor Positioning, *2008 Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 100–109, **2008**.
- [15] M. B. Kj and C. V. Munk, Hyperbolic Location Fingerprinting: A Calibration-Free Solution for Handling Differences in Signal Strength (concise contribution), *2008 Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 110–116, March **2008**.
- [16] D. Parsons, *the Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, New York, **1992**.
- [17] V. Erceg et. al, An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments. *IEEE JSAC*, vol. 17, no. 7, 1205-1211, July **1999**.
- [18] T.S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall, **1996**.
- [19] A. Neskovic, N. Neskovic, and G. Paunovic, Modern approaches in modeling of mobile radio systems propagation environment, *IEEE Communications Surveys*, **2000**.
- [20] Z. Shaoping et. Al, “A Novel Iterative Multilateral Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks”. *Journal of Networks* , vol. 5, no. 1,112-119, January **2010**
- [21] G. F. Welch and G. Bishop, “An introduction to the kalman filter,”University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA, Tech. Rep., **1995**.
- [22] M. Kohler, “Using the kalman filter to track human interactive motion modelling and initialization of the kalman filter for translational motion,” *Technical Report 629*, University of Dortmund, Germany, **1997**.
- [23] I.Hashlamon, K.Erbatur, “An improved real-time adaptive Kalman filter with recursive noise covariance updating rules”. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (2), 524-540, **2016**.
- [24] Myers K, Tapley BD. Adaptive sequential estimation with unknown noise statistics. *IEEE T Automat Contr* 1976; 21: 520-523.
- [25] Synapse Wireless, <https://synapsewireless.com>, (Mayıs,**2018**)
- [26] Digi International, <https://www.digi.com>, (Mayıs,**2018**)
- [27] InvenSense, <https://www.invensense.com>, (Mayıs,**2018**)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı :Sertaç Buğra Kaya

Doğum Yeri :Ankara

Medeni Hali : Evli

E-posta : sbugrakaya@gmail.com

Adresi : Şehit Cevdet Özdemir Mah. 1346. Sok. 18/10 Çankaya /Ankara

Eğitim

Lise : Çankaya Atatürk Lisesi (2000 -2004)

Lisans : Anadolu Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
(2005-2010)

Yabancı Dil Düzeyi

Yabancı Dil : İleri Seviyede İngilizce

İş Deneyimi

2011 - 2012 : Terralab Laboratuar Malzemeleri Sanayi A.Ş., AR-GE Mühendisi

2012 - Halen : Vestel Savunma Sanayi A.Ş. , Uzman Yazılım Mühendisi

Deneyim Alanları

Uçuş Kontrol ve Yönetim Sistemleri, Yazılım Geliştirme, Aviyonik Yazılım ve Aviyonik Sistem.

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Sertaç Buğra Kaya, Ali Ziya Alkar, Location estimation improvement by signal adaptive RSSI filtering. *SIU 2014*: 1183-1186

Sertaç Buğra Kaya, Ali Ziya Alkar, Indoor Localization and Tracking by Multi Sensor Fusion in Kalman Filter. *SIU 2018*

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunum ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 05/10/2018

Tez Başlığı / Konusu: Çoklu Veri Füzyonu Tabanlı İç Ortam Konumlandırma ve Takip Sistemi Tasarımı

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 98 sayfalık kısmına ilişkin, 05/10/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Sertaç Buğra KAYA
Öğrenci No: N10122401
Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği
Programı: Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

05/10/2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Ali Ziya ALKAR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)