

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ve OTONOM TAŞIT TEKNOLOJİLERİ İÇİN YÜKSEK
DOĞRULUKLU KONUMLANDIRMANIN SAĞLANMASI**

DOKTORA TEZİ

Elektronik Yük. Müh. Erhan SESLİ

**Kasım 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Erhan SESLİ Tarafından Hazırlanan**

**AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ve OTONOM TAŞIT TEKNOLOJİLERİ İÇİN
YÜKSEK DOĞRULUKLU KONUMLANDIRMANIN SAĞLANMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 15 /10 /2019 gün ve 1823 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali GANGAL

Üye : Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Üye : Doç. Dr. İbrahim Yücel ÖZBEK

Üye : Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU

Üye : Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Otonom Taşıt Teknolojileri için Kablosuz Algılayıcı Ağı aracılığı ile alınan işaret gücü tabanlı ve yüksek doğruluklu konumlandırmayı amaçlayan bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Bu tezde özellikle Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Otonom Taşıt Teknolojileri için geleneksel olarak kullanılan Küresel Konumlandırma ve Farksal Küresel Konumlandırma Sistemleri'nin yetersiz kaldığı ortam ve koşullarda yüksek doğruluklu konumlandırmayı sağlayacak yaklaşım ve algoritmalar önerilmiş, sonuçlar geleneksel yöntemler ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmaların yürütülmesi sırasında yardım ve desteğini asla esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez izleme jürimde bulunarak, önerileriyle beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Ali GANGAL, Sayın Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU'na çok teşekkür ediyorum. Ayrıca tez çalışmasını Doktora Projesi (FDK-2016-5410) kapsamında destekleyen KTU Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim

Bu çalışmayı yaparken verdiği destek ve fikirlerden ötürü değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖRMÜŞ, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erdiç ŞAHİN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin ŞİMŞEK, Sayın Doç. Dr. Özcan ÖZYURT, Sayın Öğr. Gör. Ahmet AKTOĞAN'a da teşekkür ediyorum.

Son olarak tüm hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme en içten şükranlarımı sunuyorum.

Bu tezin gelecekteki çalışmalara katkı sağlaması temennisiyle.

Erhan SESLİ

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Otonom Taşıt Teknolojileri için Yüksek Doğruluklu Konumlandırmanın Sağlanması’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç Dr. Gökçe HACIOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 04/11/2019

Erhan SESLİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Otonom Taşıt Teknolojilerinde Konumlandırmanın Önemi	4
1.2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri	4
1.2.1.1. Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Konumlandırma Uygulamaları	7
1.2.1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarına Genel Bakış	8
1.2.1.3. AUS'lerde KAA Kullanımı ve KAA Üzerinden Konum Tahmini	10
1.2.2. Otonom Taşıt Teknolojileri	11
1.2.2.1. Otonom Taşıt Teknolojilerinde Konumlandırmanın Önemi	11
1.2.2.2. OTT'de KAA Kullanımı ve KAA Üzerinden Konum Tahmini.....	12
1.3 KKS/FKKS Bağımsız Konumlandırma Teknolojileri.....	12
1.3.1. Radyo Bağımsız Konumlandırma Teknolojileri.....	13
1.3.1.1. Manyetik Konumlandırma.....	13
1.3.1.2. Atalet Ölçüm Birimleri (AÖB) ile Konumlandırma.....	13
1.3.1.3. Görsel İşaretçiler Yardımıyla Konumlandırma	14
1.3.2. Radyo Bağımlı Konumlandırma Sistemleri	16
1.3.2.1. Mesafe-Bağımsız Konumlandırma Yaklaşımları	17
1.3.2.1.1. Ağırlık Merkezi (Centroid) Yaklaşımı	17
1.3.2.1.2. DV-Hop Yaklaşımı.....	18

1.3.2.1.3.	Amorphous Konumlandırma Yaklaşımı.....	20
1.3.2.1.4.	APIT Konumlandırma Yaklaşımı.....	21
1.3.2.2.	Mesafe Bağımlı Konumlandırma Yaklaşımları.....	22
1.3.2.2.1.	Variş Açısı Yaklaşımı.....	22
1.3.2.2.2.	Variş Zamanı Yaklaşımı.....	23
1.3.2.2.3.	Variş Zamanı Farkı Yaklaşımı	25
1.3.2.2.4.	Alınan İşaret Gücü (AİG)Yaklaşımı.....	26
1.3.2.3.	Melez Konumlandırma Yaklaşımları	26
1.4.	AİG Tabanlı Mesafe Tahmini	27
1.4.1.	AİG Tabanlı Yayılım Modelleri	28
1.4.1.1.	Serbest Uzay Yayılım Modeli	29
1.4.1.2.	İki-Işınlı Zemin Yansıtma Modeli.....	29
1.4.1.3.	Log-Normal Gölgeleme Modeli	30
1.4.2.	Geleneksel AİG Tahmin Süreci.....	31
1.4.3.	K-En Yakın Komşuluk (K-Nearest Neighborhood) Algoritması.....	32
1.5.	Cramér-Rao Alt Sınırı	33
1.6.	Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	35
1.7.	Çiçek Tozlaşması Algoritması (ÇTA).....	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	40
2.1.	Giriş	40
2.2.	Fiziksel Ağ Topolojisi	40
2.3.	Çapa Düğümler İçin AİG-Mesafe Kayıt Süreci	43
2.4.	Mesafe Tahmin İyileştirme Yaklaşımları.....	48
2.4.1.	Uyarlamalı Süzgeç ile Gürültü Azaltma.....	48
2.4.2.	Sonlu Dürtü Yanıtı Süzgeç ve PSO ile Gürültü Azaltma.....	51
2.4.3.	Sonlu Dürtü Yanıtı Süzgeç ve ÇTA ile Gürültü Azaltma	52
2.4.4.	Doğrusal İnterpolasyon	54
2.4.5.	Kalman Süzgeci.....	56
2.5.	DeneySEL Çalışmalar ve Bulgular	60
2.5.1.	Önerilen Yöntemlerin CRAS ile Kıyaslanması.....	63
2.5.2.	Yol Zayıflatma Etkeni'nin Zamanla Değişiminin İzlenmesi	64
2.5.3.	Mesafe Tahmin Başarımları	66
2.5.3.1.	Dış Ortam Mesafe Başarımları	71

2.5.3.1.1.	Hız Bilgisi Bilinmediği Durumda Önerilen Yöntemlerin Başarım Analizi .	71
2.5.3.1.2.	Hız Bilgisi Bilindiği Durumda Önerilen Yöntemlerin Başarım Analizi	88
2.5.3.2.	İç Ortam Mesafe Başarımları	98
3.	SONUÇLAR.....	110
4.	ÖNERİLER	112
5.	KAYNAKLAR.....	113
6.	EKLER	124
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ve OTONOM TAŞIT TEKNOLOJİLERİ İÇİN
YÜKSEK DOĞRULUKLU KONUMLANDIRMANIN SAĞLANMASI

Erhan SESLİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU
2019, 123 Sayfa, 1 Ek Sayfa

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ve Otonom Taşıt Teknolojileri'nde (OTT) mesafe bilgisi yüksek bir doğruluk ile tahmin edilmelidir. Düğüm sayısının hızlı değiştiği ağlar için; çoklu erişimde ve eş zamanlamada yaşanan zorluklar, alınan işaret gücü (AİG) tabanlı yöntemleri AUS ve OTT için uygun hale getirmektedir. Bu tezde AİG tabanlı mesafe tahmininin; OTT ve AUS'nin gerektirdiği doğruluğa ulaşabilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla; öncelikle fiziksel bir ağ topolojisi önerilmiştir. Böylece bilinen mesafelere ait AİG'ler, yol kenarındaki düğümlerce gürültüsü azaltılarak elde edilmiştir. Ayrıca ağdaki düğümlerin enerji tüketimini azaltmak ve ağın yükünü hafifletmek amacıyla bir hiyerarşi önerilmiştir. Gezgin araçlarca yapılan AİG ölçümlerindeki gürültü; uyarlanırlı süzgeç yaklaşımıyla azaltılmıştır. Önerilen yaklaşımda süzgeç katsayıları; AİG-mesafe veri tabanı ve en küçük kareler, parçacık sürü optimizasyonu ve çiçek tozlaşması gibi algoritmalarla bulunmuştur. Gezgin araçlar, gürültüsünü azalttıkları ölçümlerini ve referans düğümden aldıkları mesafe-AİG veri tabanını kullanarak doğrusal interpolasyon ile referans düğüme olan mesafelerini tahmin etmektedirler. Son olarak gezgin araç; kendi hız bilgisi, tahmin ettiği mesafe ve Kalman süzgeç yardımıyla mesafe tahminini iyileştirmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ve benzetimler sonucu önerilen yöntemin karşılaştırılan geleneksel yöntemlere göre oldukça iyi bir başarımlı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım Sistemleri, Otonom araçlar, RSS, LMS, PSO, FPA, Kablosuz algılayıcı ağları, Konum kestirimi

PhD Thesis

SUMMARY

PROVIDING POSITIONING WITH HIGH ACCURACY IN INTELLIGENT
TRANSPORTATION SYSTEMS AND AUTONOMOUS VEHICLE TECHNOLOGIES

Erhan SESLİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe HACIOĞLU
2019, 123 Pages, 1 Additional Pages

In Intelligent Transport Systems (ITS) and Autonomous Vehicle Technologies (AVT), distance information must be estimated with high accuracy. For networks where the number of nodes changes quickly; difficulties in multiple access and synchronization, make Received Signal Strength (RSS) based methods suitable for ITS and AVT. In this thesis, studies have been made to reach required distance accuracy for ITS and AVT through using RSS based estimation approaches. For this purpose, firstly a physical network topology was proposed. Thus, mean of RSS values of known distances were obtained through the roadside anchor nodes. Also, a hierarchy has been proposed to reduce the energy consumption and network load of the nodes. Noise in RSS measurements made by mobile vehicles was reduced through adaptive filter approach. In proposed approach, filter coefficients were estimated over RSS-distance database and least square, particle swarm optimization and flower pollination algorithm. The mobile vehicles estimate their distance to the reference node by using linear interpolation, the adaptive filter output and the RSS-distance database received from the reference anchor node. Finally, the mobile vehicle improves the distance estimation with the help of its own speed information, estimated raw distances and the Kalman filter. As a result of the experimental studies and simulations, it is seen that the proposed method provides better performance compared to the traditional methods.

Key Words: Intelligent transportation systems (ITS), Autonomous vehicle technology, RSS, LMS, PSO, FPA, Wireless sensor networks, Distance estimation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Genel FKKS mantığı.....	2
Şekil 1.2. AUS'yi ve unsurlarını anlatan bir çizim (URL-1, 2018).....	4
Şekil 1.3. Bir KAA düğümünün temel çalışma mekanizması.....	8
Şekil 1.4. KAA'nın genel mimarisi.....	9
Şekil 1.5. CHR-6d model bir AÖB (URL-3, 2018).....	13
Şekil 1.6. AÖB'den hız, konum ve yönelme bilgisi elde edilmesini gösteren blok diyagram.....	14
Şekil 1.7. Çeşitli düzlemsel işaretçi sistemlerine ait 2-boyutlu kodlanmış desenler.....	15
Şekil 1.8. Robot konumunun işaretçiye göre belirlenmesi.....	15
Şekil 1.9. Ağırlık merkezi yaklaşımında kon. bilinmeyen düğüm ve kapsama alanındaki çapa düğümler	18
Şekil 1.10. DV-hop konumlandırma algoritması(Wang vd., 2015)	19
Şekil 1.11. APIT ile olası alan elde edilmesi (He vd., 2005).....	21
Şekil 1.12. Aralarında U mesafe olan N adet antene sahip bir alıcı anten dizisi.....	23
Şekil 1.13. Hedefin çapa düğümlere olan olası konumlarının belirlenmesi.....	24
Şekil 1.14. Bir verici ve farklı konumdaki iki alıcı anten.....	25
Şekil 1.15. Karla kaplı açık alanda ölçülen yol kaybı ve mesafe arasındaki ilişki.....	30
Şekil 1.16. K-NN algoritmasına ait akış diyagramı	32
Şekil 1.17. PSO akış diyagramı	36
Şekil 1.18. Tozlaşma tipleri.....	37
Şekil 1.19. ÇTA akış diyagramı (Alyasseri vd., 2018)	39
Şekil 2.1. Yol kenarı düğümler için önerilen fiziksel topoloji	41
Şekil 2.2. Önerilen fiziksel düğüm topolojisi için örnek bir dizilim	42
Şekil 2.3. Düğümlere ait zaman-akış çizelgesi.....	44
Şekil 2.4. Referans çapa düğüm hariç diğer çapa düğümlerde AİG-Mesafe veri tabanı kayıt ve güncelleme sürecine ait akış diyagramı.....	47
Şekil 2.5. Uyarlamalı süzgeç blok şeması	49
Şekil 2.6. PSO-SDY süzgeç blok şeması	51
Şekil 2.7. ÇTA-SDY süzgeç blok şeması.....	53
Şekil 2.8. Araç içi düğümde doğrusal interpolasyon ile mesafe tahmin edilmesi.....	54

Şekil 2.9. Uygulanan değiştirilmiş doğrusal interpolasyona ait akış diyagramı	55
Şekil 2.10. Kalman Süzgeci algoritması.....	58
Şekil 2.11. Araç içi düğümde mesafe tahmin algoritması.....	60
Şekil 2.12. Contiki ağ yığını.....	62
Şekil 2.13. Cooja benzetim ortamına ait bir ekran görüntüsü	63
Şekil 2.14. İdeal şartlar altında önerilen yaklaşımların başarımları	64
Şekil 2.15. Yol zayıflatma etkeninin izlenmesi amacıyla gerçekleştirilen düzenek ve deney ortamı.....	65
Şekil 2.16. Yol zayıflatma etkeninin zamanla değişimi	65
Şekil 2.17. Çalışmalarda kullanılan özdeş düğümlerden biri	67
Şekil 2.18. cc2538-rf.c dosyasının CC2538-2592EMK güç seçeneklerine göre güncellenmesi	68
Şekil 2.19. project-conf.h dosyasının yapılandırılması	68
Şekil 2.20. Cooja benzetim ortamında algoritmaların sınanmasına ait ekran görüntüsü (referans çapa düğümün araç içi düğüme AİG-Mesafe veri tabanını broadcast ileti olarak göndermesi)	70
Şekil 2.21. Cooja benzetim ortamında algoritmaların sınanmasına ait ekran görüntüsü (1 numaralı çapa düğümün ham AİG-Mesafe veri tabanını broadcast ileti olarak göndermesi)	70
Şekil 2.22. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği 18x33m açık alan.....	71
Şekil 2.23. 18x33m açık alan çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları	72
Şekil 2.24. 18x33m açık alanda elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi.....	73
Şekil 2.25. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS)+interpolasyon tabanlı)	74
Şekil 2.26. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları(Uyarlamalı süzgeç (LMS)+interpolasyon tabanlı)	74
Şekil 2.27. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon tabanlı).....	75
Şekil 2.28. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları(Uyarlamalı süzgeç (PSO)+interpolasyon tabanlı)	76
Şekil 2.29. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon tabanlı)	77
Şekil 2.30. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları(Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+interpolasyon tabanlı)	77

Şekil 2.31. Önerilen yöntemlerin 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri	78
Şekil 2.32. Önerilen yöntemlerin 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları	79
Şekil 2.33. Karayolu yol kenarı çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam	80
Şekil 2.34. Karayolu çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları	80
Şekil 2.35. Karayolu çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi	81
Şekil 2.36. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)	82
Şekil 2.37. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı).....	82
Şekil 2.38. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)	83
Şekil 2.39. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı).....	84
Şekil 2.40. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı).....	85
Şekil 2.41. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı).....	85
Şekil 2.42. Önerilen yöntemlerin karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri	86
Şekil 2.43. Önerilen yöntemlerin karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları.....	87
Şekil 2.44. IEEE 802.15.4 Paket yapısı.....	88
Şekil 2.45. IEEE 802.15.4 Çerçeve yapısı.....	88
Şekil 2.46. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam	90
Şekil 2.47. Hız bilgisine dayalı karayolu çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları	91
Şekil 2.48. Hız bilgisine dayalı karayolu çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi	91
Şekil 2.49. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)	93
Şekil 2.50. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı).....	93

Şekil 2.51. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı).....	94
Şekil 2.52. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı).....	95
Şekil 2.53. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)	96
Şekil 2.54. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı).....	96
Şekil 2.55. Önerilen yöntemlerin hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m arasında mesafe tahminleri.....	97
Şekil 2.56. Önerilen yöntemlerin hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında -24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları	98
Şekil 2.57. İç ortam çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam	99
Şekil 2.58. İç ortam çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin ortalama varyansları	100
Şekil 2.59. İç ortam çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi	100
Şekil 2.60. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı).....	102
Şekil 2.61. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)	102
Şekil 2.62. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı).....	103
Şekil 2.63. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı).....	104
Şekil 2.64. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)	105
Şekil 2.65. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)	105
Şekil 2.66. Önerilen yöntemlerin iç ortam çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri.....	106
Şekil 2.67. Önerilen yöntemlerin iç ortam çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları	107
Şekil 2.68. Benzetim çalışmasında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları.....	108
Şekil 2.69. Benzetim çalışmasında 1-100m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları.....	108

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Mevcut AUS uygulamaları ve nitelikleri	6
Tablo 2.1. 1-25m arası 1m aralıklarla AİG-Mesafe veri tabanı oluşturmak için haberleşmesi gereken düğüm çiftleri.....	43
Tablo 2.2. Yol zayıflatma etkeninin değişik güncelleme sürelerinde gösterdiği standart sapma ve elde edilecek en büyük mesafe hataları.....	66
Tablo 2.3. Çapa düğümler için gerçekleştirilen yapılandırmalar	67
Tablo 2.4. CC2538-2592EMK için iletim gücü seçenekleri	67
Tablo 2.5. Araç içi düğüm için gerçekleştirilen yapılandırmalar	69
Tablo 2.6. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (LMS)+ İnterpolasyon tabanlı)	75
Tablo 2.7. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (PSO) +İnterpolasyon tabanlı)	76
Tablo 2.8. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon tabanlı).....	78
Tablo 2.9. Karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları.....	79
Tablo 2.10. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar	83
Tablo 2.11. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar.....	84
Tablo 2.12. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar	86
Tablo 2.13. Karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları.....	87
Tablo 2.14. 20km/s hızla ilerleyen aracın 0.25s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri	92
Tablo 2.15. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi	94
Tablo 2.16. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi	95
Tablo 2.17. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi	97

Tablo 2.18. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları	98
Tablo 2.19. 10km/s hızla ilerleyen aracın 0.4s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri	101
Tablo 2.20. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)-İnt. + Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi.....	103
Tablo 2.21. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)-İnt. + Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi.....	104
Tablo 2.22. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)-İnt. + Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi.....	106
Tablo 2.23. İç ortam çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları	107



SEMBOLLER DİZİNİ

- $\tilde{A}IG_{\text{çta}}(j)$: Çiçek tozlaşması algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç ile araç içindeki düğümün herhangi bir j . anda aldığı süzgeçlenmiş $AIG(j)$ ölçümü
- \underline{AIG}_n : n . çapa düğümün diğer çapa düğümlere gönderdiği alınan işaret gücü-mesafe bilgi dizisi
- \underline{AIG}_m : n . çapa düğümün bir m . çapa düğümünden elde ettiği alınan işaret gücü-mesafe bilgi dizisi
- $\tilde{A}IG_{\text{pso}}(j)$: Parçacık sürü optimizasyonu–SDY uyarlamalı süzgeç ile araç içindeki düğümün herhangi bir j . anda aldığı süzgeçlenmiş $AIG(j)$ ölçümü
- $\tilde{A}IG_s(j)$: ($s=u, \text{pso}$ yâda çta) olmak üzere ilgili yaklaşım ile araç içindeki düğümün herhangi bir j . anda aldığı süzgeçlenmiş $AIG(j)$ ölçümü
- $\tilde{A}IG_u(j)$: En küçük kareler algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç ile araç içindeki düğümün herhangi bir j . anda aldığı süzgeçlenmiş $AIG(j)$ ölçümü
- AIG : Alınan işaret gücü
- AIG_i : $(i+1)\rho$ m uzaklıktan alınan işaret gücü bilgisinin hangi yol kenarı çapa düğümlerden alındığını gösterir bilgi
- Al-Ar : Altyapıdan araca
- AOKE : Araç ortamında kablosuz erişim
- AÖB : Atalet ölçü birimi
- AUS : Akıllı ulaşım sistemleri
- Ar^2 : Araçtan araca
- Ar-Al : Araçtan altyapıya
- \underline{aig} : Referans mesafelere karşılık gelen hesaplanmış alınan işaret gücü değerleri dizisi
- $\underline{aig}(i)$: Uyarlanır süzgecin girişindeki i . alınan işaret gücü
- aig_i : i . referans mesafeye karşılık gelen hesaplanmış alınan işaret gücü değeri
- \underline{aig}_n : n . çapa düğümüne ilişkin içinde belirli uzaklıklardan elde edilen işaret güçlerini barındıran dizi
- $\underline{aig}_n(i)$: Uyarlanır süzgeç için bilinmeyen sistem çıkışındaki i , alınan işaret gücü
- aig_{ni} : n . çapa düğümün $(i+1)\rho$ kadar uzaklıktan aldığı işaret gücü

$\underline{\tilde{a}i g}_{\text{çta}}$: Çiçek tozlaşması algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç ile gürültüsü bastırılmış \underline{aig} dizisi
$\underline{\tilde{a}i g}_{\text{pso}}$: Parçacık sürü optimizasyonu–SDY uyarlamalı süzgeç ile gürültüsü bastırılmış \underline{aig} dizisi
$\underline{\tilde{a}i g}_s$: ($s=u, \text{pso}$ yâda çta) olmak üzere ilgili yaklaşım ile gürültüsü bastırılmış \underline{aig} dizisi
$\underline{\tilde{a}i g}_s(m)$: Doğrusal interpolasyonda belirlenen alınan işaret gücü değerinin üst komşuluk değeri
$\underline{\tilde{a}i g}_s(p)$: Doğrusal interpolasyonda belirlenen alınan işaret gücü değerinin alt komşuluk değeri
$\underline{\tilde{a}i g}_u$: En küçük kareler algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç ile gürültüsü bastırılmış \underline{aig} dizisi
B	: Kamera optik merkezinin x-ekseni boyunca işaretçi merkezine bağlı konumu
B_k	: Artçıl hata kovaryansı
$B_{k k-1}$: Öncül hata kovaryansı
b	: Variş zamanı yaklaşımı için bilinmeyen işaret
b_K	: ($K+1$). En küçük kareler algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç katsayısı
$\tilde{b}_k(i)$: i . iterasyon için güncellenmiş $k+1$. bilinmeyen SDY sistem katsayısı
CRAS	: Cramér-Rao alt sınırı
c	: Işık hızı
c_K	: ($K+1$). parçacık sürü optimizasyonu–SDY uyarlamalı süzgeç katsayısı
ÇTA	: Çiçek tozlaşması algoritması
ζ_i	: i . çapa düğüm
D-DFKA	: Dikgen- dört evreli faz kaydırmalı anahtarlama
D	: Variş zamanı farkı
d	: Alıcı verici arasındaki mesafe
$d(j)$: Doğrusal interpolasyonda bir j anında alınan $AIG(j)$ işaret gücüne karşılık hesaplanan j . mesafe bilgisi
\hat{d}	: Azami olabilirlik tahmini
\underline{d}	: Mesafe dizisi

d_i	: \underline{d} dizisi içindeki i . mesafe bilgisi
$\underline{d}_s(m)$: Doğrusal interpolasyonda belirlenen üst komşuluk AİG değerine karşılık mesafe bilgisi
$\underline{d}_s(p)$: Doğrusal interpolasyonda belirlenen alt komşuluk AİG değerine karşılık mesafe bilgisi
d_0	: Dayanak mesafe
$dhop_i$: Amorphous yaklaşımı için i . düğümün ortalama hop mesafesi
$E\{.\}$: Beklenen değer
$\underline{e}(i)$: En küçük kareler–SDY uyarlanır süzgeç için i , alınan işaret gücünden elde edilen hata işareti
$\underline{e}_2(i)$: Parçacık sürü optimizasyonu–SDY uyarlanır süzgeç için i , alınan işaret gücünden elde edilen hata işareti
$\underline{e}_3(i)$: Çiçek tozlaşması algoritması–SDY uyarlanır süzgeç için i , alınan işaret gücünden elde edilen hata işareti
FKKS	: Farksal küresel konumlandırma sistemi
f	: Frekans
$f(\phi)$: Toplam kablosuz düğüm sayısı fonksiyonu
$f_d(\cdot)$: Rastgele değişkenler fonksiyonu
f_D	: Doopler frekansı
f_{\min}	: En az kablosuz düğüm sayısı
G/Ç	: Giriş çıkış
GHZ	: Giga Hertz
G_k	: k anındaki durum geçiş matrisi
G_R	: Alıcı anten kazancı
G_T	: Verici anten kazancı
g	: Varış zamanı yaklaşımı için işaret gecikme zamanı
g_b	: t . iterasyondaki en iyi çözüm
H_k	: Ölçüm matrisi
HM_i	: DV-Hop yaklaşımı için i . çapa düğümün ortalama hop mesafesi
h_{ij}	: DV-Hop yaklaşımı için i . çapa düğüm ile j . çapa düğüm arasındaki hop mesafesi

h_R	: Alıcı anten yüksekliği
h_T	: Verici anten yüksekliği
I_d	: Fisher bilgisi
ID_n	: n . Çapa düğümün kimlik bilgisi
İGO	: İşaret gürültü oranı
$J(.)$: Amaç fonksiyonu
L	: Tozlaşma gücü
L_h	: Ağırlık merkezi yöntemi için konum hatası
KAA	: Kablosuz algılayıcı ağları
KAKS	: Kapsamlı araç kontrol sistemi
KKS	: Küresel konumlandırma sistemi
K-NN	: K-En yakın komşuluk
K	: Süzgeç katsayı sayısı
\tilde{K}	: 2–25 arasında seçilebilecek olası süzgeç katsayısı
k	: Kapsama alanı içindeki konumu bilinen algılayıcı düğüm sayısı
<u>$kayit_n$</u>	: n . çapa düğümüne ait kayıt matrisi
kb/s	: Saniyede aktarılan kilo bit sayısı
km	:Kilometre
MHz	: Mega Hertz
M_k	: Kalman süzgeci ölçüm vektörü
ms	: Milisaniye
$N_T(x_t, y_t)$: Ağırlık merkezi yöntemi için 2 boyutlu uzayda tahmin edilen konum
$N_A(x_t, y_t)$: Ağırlık merkezi yöntemi için 2 boyutlu uzayda gerçek konum
N_σ	: Gauss gürültüsü
n_{yerel}	: Amorphous yaklaşımı için ortalama ağ bağlantısıdır
OTT	: Otonom taşıt teknolojileri
OYF	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu
ÖKMİ	: Özel kısa menzilli iletişim
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
$P_L(d)$: d mesafesinde meydana gelen yol kaybı

$\overline{P}_L(d_0)$: dayanak mesafede meydana gelen yol kaybı
P_R	: Alıcı anten gücü
P_T	: Verici anten gücü
p_a	: Çiçek tozlaşması algoritması için anahtarlama olasılığı
Q	: Süreç gürültü kovaryansı
RF	: Radyo frekansı
RFT	: Radyo frekansı ile tanımlama
R	: Ölçüm gürültü kovaryansı
R_{xy}	: Varış zamanı farkı yaklaşımı için çapraz-ilinti bağımsız değişkeni
r	: Kablosuz düğümün haberleşme yarıçapı
r_1, r_2	: (0, 1) aralığında normal dağılımlı rastgele değişkenler
SDY	: Sonlu dürtü yanıtı
S	: Kamera merkezinin B uzaklığına dik olan uzaklığı
S_k	: Kalman süzgeci durum vektörü
$\hat{S}_{k k}$: S_k 'nin artçıl tahmini
$\hat{S}_{k k-1}$: S_k 'nin öncül tahmini
s	: Adım aralığı
TTS	: Taşıtsal tasarsız ağ
T_C	: Kanalın evre uyumlu zamanı
t	: Zaman
t_u	: Alıcı düğümüne varış zamanı
t_g	: Verici düğümün gönderme zamanı
U	: Varış açısı yaklaşımı için anten dizisinin her biri arasındaki mesafe
\ddot{U}_i	: APIT yaklaşımı için var olan çapa düğümlerden oluşturulacak tüm 3 lü tertiplerden meydana gelen i . Üçgen
v_a	: Gezgin araç hızı
$v_{i,j}^k$: k . iterasyonda i . parçacığın j . elemanının hızı
w	: Atalet ağırlığı
X_W	: Gezgin robotun işaretçi merkez koordinatına olan uzaklığının x-bileşeni

x_{best_i}	: i . parçacığın o ana kadar elde etmiş olduğu en iyi değer
x_{gbest}	: Bütün sürüde o ana kadar elde edilmiş olan en iyi değer
$x_{i,j}^k$: k . iterasyonda i . parçacığın j . elemanının konumu
x_k	: k . andaki aracın yetkili düğüme olan mesafe bilgisi
x_n	: n . çapa düğümün koordinatının x-bileşeni
x_t	: Ağırlık merkezi yönteminde tahmin edilen apsis
Y_w	: Gezgin robotun işaretçi merkez koordinatına olan uzaklığının y-bileşeni
$\underline{y}(i)$: En küçük kareler algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç çıkışı
$\underline{y}_2(i)$: Parçacık sürü optimizasyonu–SDY uyarlamalı süzgeç çıkışı
$\underline{y}_3(i)$: Çiçek tozlaşması algoritması–SDY uyarlamalı süzgeç çıkışı
y_t	: Ağırlık merkezi yönteminde tahmin edilen ordinat
y_n	: n . çapa düğümün koordinatının y-bileşeni
v_k	: k . andaki gezgin aracın hız bilgisi
$\Gamma(\lambda_L)$: Ölçünlü (standart) gamma işlevi
Δ	: Fiziksel topolojide yol kenarı kablosuz düğümlerin yerleştirileceği toplam uzunluk
Δt	: Ölçüm zaman aralığı
$\Delta\phi_k$: Variş açısı yaklaşımı iki anten arasındaki faz kayması
δ	: Değeri 1.5 ~ 5 arasında değişebilen yol zayıflatma etkeni
$\tilde{\delta}$: Ortalama yol zayıflatma etkeni
δ_i	: ζ_i çapa düğümüne ait yol zayıflatma etkeni
ε	: Variş zamanı yaklaşımı için alıcılardaki gürültü işareti
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: Parçacığın kendisine (bilişe) ve sürüye (sosyal davranış) olan güvenini temsil eden parametreler
η	: Variş zamanı yaklaşımı için işaret zayıflatma katsayısı
η_k	: Sıfır ortalamalı gaussian süreç gürültüsü
θ	: Variş açısı
θ_k	: Kalman süzgeci için sıfır ortalamalı gaussian ölçüm gürültüsü
κ_k	: Kalman süzgeci

λ	: İşaret dalga boyu
λ_L	: Lévy dağılımı katsayısı
μ	: Sign-Sign LMS algoritması için adım aralığı
μ_s	: Mikrosaniye
ρ	: 1. Kesimde yerleştirilen kablosuz düğüm aralığı
σ_i	: Konumu bilinmeyen düğüm ile \mathcal{C}_i çapa düğümü arasındaki sistem gürültüsünün standart sapması
τ	: Varış zamanı yaklaşımı için varış zamanı farkı
ϕ	: 2. Kesimde yerleştirilen kablosuz düğüm aralığı
ϕ_G	: Kamera ile işaretçi arasındaki açı
ϕ_i^t	: t. iterasyondaki i. çözüm vektörü
ϕ_j^t	: t. iterasyondaki Aynı türden j çiçeğindeki polen
ϕ_k^t	: t. iterasyondaki aynı türden k. çiçeğindeki polen
ϵ	: [0, 1] aralığında düzgün dağılımlı rastgele yürüyüş karakteristiği

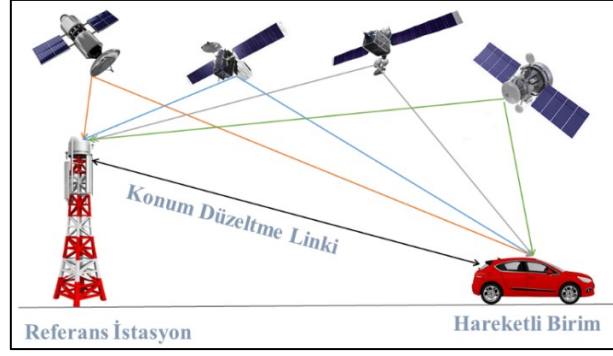
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu düşünen varlık olarak; bilgiyi aramak, araştırmak ve kullanmak gibi temel davranışlar gösterir (Wilson, 2000). İnsanoğlunun bilgi edinme davranışının, Maslow'un (1943) ihtiyaçlar kademelendirmesinde emniyet-ihtiyacına karşılık geldiği söylenebilir. Çünkü Maslow varlıkta bulunan algılayıcı ve eyleyicilerin birer emniyet-arayış aracı olduğundan bahseder. O zaman varlıkta bulunan algılayıcılar ve eyleyiciler onu bilgiye götüren araçlardır. Günümüze baktığımızda ise insanoğlunun bilgiye olan ihtiyacını karşılamak için modern algılayıcı ve bilgi işleme sistemlerini geliştirdiğini ve geliştirmekte olduğunu görmekteyiz.

Lojistik veya stratejik açıdan bakıldığında; bir nesnenin yeryüzü üzerindeki konumu ya da kişinin bilmediği bir bölgedeki kendi konumu, ihtiyaç duyulan önemli bilgilerdendir. Konum bilgisini edinecek ilk yaklaşımlar, 1970'lerin başlarında Amerika Birleşik Devletleri ordusunun başlattığı NAVSTAR GPS (Global Positioning System) programı ile ortaya konulmuştur (Kumar ve Moore, 2002). Temel olarak dünya çevresindeki 24 adet bu amaçla görevlendirilmiş NAVSTAR uydunun en az dört tanesinden alınan işaretler yardımı ile kişinin ya da bir nesnenin konumunu (x, y, z) koordinatlarında elde edilmesini sağlamıştır. Fakat Küresel Konumlandırma Sistemi'nde (KKS) 20m'yi bulan, çok yönlü yayılımdan kaynaklı hatalar oluşabilmektedir (Milanés vd., 2008; Tang vd., 2015). Bu amaçla uzaydaki 24 adet uyduya ilave olarak nesnenin veya kişinin olduğu bölgede bir yer istasyonunu ihtiva eden Farksal Küresel Konumlandırma Sistemi (FKKS) geliştirilmiş ve hata, metre seviyesinden santimetre seviyesine düşürülmüştür (Milanés vd., 2008). FKKS genel mantığı Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

Geliştirilen bu küresel konumlandırma sisteminde, yer istasyonu (Referans istasyon) NAVSTAR uydulardan elde ettiği bilgi ve kendi kesin konum bilgisinden hatayı bulup düzeltme işareti üretir. Elde edilen düzeltme işareti gezgin istasyona gönderilir. Böylece gezgin istasyon konum bilgisini iyileştirir (Hartenstein, 2010).



Şekil 1.1. Genel FKKS mantığı

Özellikle son yıllarda hızla gelişim gösteren Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ve otonom taşıt teknolojileri düşünüldüğünde, KKS ve FKKS kullanımı olası bir çözüm gibi görünse de uygulamada kullanımının birçok zorluğu bulunmaktadır. Örneğin uydu-taşıtların direk görüşünün olmadığı tüneller vb. noktalarda konum tespitinin yapılması zorlaşır. Bu problemin çözümü için ölü tahmin (Dead Reckoning) gibi yöntemler kullanılmaktadır (Kao, 1991). Fakat ölü tahmin yönteminin en önemli sakıncası; tahminler bir önceki bilinen pozisyona yönelik olduğundan eklenerek artan (cumulative) bir hatanın oluşmasıdır. Ayrıca taşıtların içerisinde yön bilgisini elde edebilmek için jiroskop gibi ekstra algılayıcı donanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Durazo-Cardenas, 2014). Buna ek olarak; atmosferik olaylar, uydu saat işaret hatası, radyo işaretlerinin bina ve çevresel yapılardan yansarak gelmesi sonucu oluşan çok yönlü haberleşme ve maliyet diğer dezavantajları arasında sıralanabilir (Amini vd., 2014; Wahab vd., 2013; He vd., 2005).

Son yıllarda AUS'lerde konum iyileştirmek için yapılan birçok çalışma mevcuttur (Li vd., 2010; Obst vd., 2012; Chen ve Ho, 2018). KKS tabanlı konumlandırmayı göz önünde bulundurduğumuzda bu konuda öne çıkan iyileştirme çalışmaları da mevcuttur (Amini vd., 2014; Shladover ve Tan, 2006; Feng ve Law, 2002). Fakat KKS tabanlı konumlandırma yaklaşımı konusunda bu tür gelişmeler söz konusu olsa da KKS ve FKKS şehir içinde yüksek binaların varlığından kaynaklı uydu-taşıtların direk görüşünün olmadığı noktalarda yetersiz kalabildiği aşikârdır. Ayrıca yine tüneller, alışveriş merkezi (AVM) kapalı otoparkları vb. kapalı mekânlarda konumlandırmanın sağlanması da başka bir sorundur.

Otonom taşıt teknolojileri göz önüne alındığında ise fabrikalar, lojistik merkezleri vb. yerlerde kendilerine verilen malzemeyi taşıma, istifleme gibi uygulamalar ile karşılaşılmaktadır (Durrant-Whyte vd., 2007). Otonom taşıtların konumlarını tespit ederken kullandığı görüntü işleme tabanlı yöntemler ortamdaki ışıktan, etraftaki konum tespitinde

kullanılan işaretlerin zamanla eskimesinden vb. dış etkenlerden etkilenmektedir (Jung ve Kelber, 2005; Wang vd., 2004). Bunun yanında kapalı ortam uygulamalarının sıklığı KKS veya FKKS kullanımını da sınırlamaktadır.

AUS'lerde ve otonom taşıt teknolojilerinde KKS kullanımının yetersiz kaldığı durumlar sorun oluşturmakta ve çözüm gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Çözüm için, son yıllarda birçok uygulaması geliştirilmekte olan Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA) düşünüldüğünde; KAA'ların KKS ve FKKS'nin yetersiz kaldığı noktalarda işlevsel olmasının yanında özellikle konum tespiti için KKS ve FKKS göre önemli bir maliyet ve donanımsal sadelik avantajının olduğu görülmektedir (Akyıldız vd., 2002; Alrajeh vd., 2013). Bu nedenlerden ötürü KAA'nın, AUS'lerin ve otonom taşıt teknolojilerinin bir parçası olması kaçınılmaz bir hal almaktadır.

Bu tez çalışmasında; geleneksel konumlandırma yaklaşımları olan KKS ve FKKS'ye katkı sağlayacak, iş birlikçi bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için Kablosuz Algılayıcı Ağları'ndan (KAA) faydalanılmıştır. Mesafe tahmininin, KAA düğümlerinde artık neredeyse standart bir donanım haline gelen alınan işaret gücü göstergecinden (RSSI) elde edilen işaret gücü seviyelerine dayalı gerçekleştirilmiştir. KAA'ların algılama özelliğinden yararlanılmamıştır. Yeni bir protokol oluşturulması yerine KAA kullanımının nedenlerini;

- KAA'ların mevcut hazır altyapı (Ağ yapısı, Güvenlik vb.) avantajlarının olması,
- Maliyet ve donanımın yanında işbirlikçi zekâ avantajına sahip olması,
- Otonom taşıt teknolojileri için uygun olması,
- AUS uygulamaları için (Kaygan zemin, don tehlikesi, yaya geçidi veya tespiti vb.) algılayıcı kullanımının elzem olması

Şeklinde sıralamak mümkündür. Önerilen yaklaşım otonom taşıt teknolojilerinde, AUS'lerde akıllı altyapı ve de akıllı taşıt sistemleri uygulamalarında kullanılabilir niteliklere sahiptir. Çalışmada yüksek doğrulukta mesafe tahmini ve konumlandırmanın sağlanması için önerilen sistem; dinamik parametre kestirimi ve sistem gürültüsünün bastırılmasını içeren özgün mesafe ölçüm algoritmaları ile özgün maliyet etkin bir düğüm topolojisini içermektedir. Önerilen sistemin geçerliliği ve uygulanabilirliği yapılan deneysel çalışmalar ve benzetim çalışmalarıyla tartışılmıştır.

1.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Otonom Taşıt Teknolojilerinde Konumlandırmanın Önemi

1.2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri

Basit anlamıyla Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); bilgi ve iletişim teknolojilerini taşıtlar, yol kenarı altyapısı ve sürücü gibi trafik unsurlarıyla bütünleştiren sistemlere verilen isimdir. Radyo, kızılötesi ve yarı iletken teknolojilerindeki gelişmelerin araç-yol kenarı ve araç-arac iletişiminde kullanımının sağlanması, AUS'nin gelişimi açısından tarihsel bir başlangıç noktası olma özelliği göstermiştir.



Şekil 1.2. AUS'yi ve unsurlarını anlatan bir çizim (URL-1, 2018).

AUS teknolojisi ile ilgili bazı önemli kilometre taşlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür; AUS ile ilgili ilk fikirler 1939 yılında Futurama Dünya Fuarı'nda General Motors firması tarafından ortaya atılmıştır.

1960'larda ilk radyo tabanlı yol özdevinim (automation) sistemi geliştirilmiştir. Rosen vd. (1970) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde Elektronik Yön Rehber Sistemi (EYRS) önerilmiştir. EYRS varılacak noktaya dayalı çalışmaktaydı. Yani sürücü varacağı noktayı temsil eden bir kelime kodu girer, bu kod yol kenarındaki unsurlara iletilir ve unsurlardan yönlendirme bilgisi araca gönderilirdi.

AUS ile ilgili fikirler ve tasarımlar doğuda da popüler olmaya başlamış ve Japonya'da 1970'lerin sonlarında sonuçlanan Kapsamlı Araç Kontrol Sistemi anlamına gelen (KAKS)

bir tasarı yürütülmüştür. KAKS akıllı trafik sistemlerinin varoluş amaçlarına temel oluşturmaktaydı. KAKS'ın ana amaçları aşağıda sıralanmıştır;

- Trafik tıkanıklığını azaltmak,
- Egzoz dumanı oranını azaltmak,
- Trafik kazalarını önlemek,

• Otomobillerin kamu ve sosyal rolünün artırılması adına; sürücülere en uygun rota bilgisi verilerek tıkanıklık ve oluşacak hava kirliliğinden sakınmak, kullanışlı bilgiler vererek sürüş güvenliğine katkıda bulunmak, kamu ve acil araç geçişlerine öncelik tanımak ve acil durum bilgilerini hızlı bir şekilde sürücüye bildirmek.

KAKS tasarısı kapsamındaki ilk pilot uygulama Japonya'nın güney batısındaki Shibuya'da yaklaşık 30km²'lik bir alanda, toplam 100 km uzunluğundaki bir güzergâhta, 330 taşıtla 1977 yılında gerçekleştirilmiştir (Totani, 1980).

1980'li yıllara gelindiğinde ise Avrupa'da AUS alanında bir çerçeve programı başlatılmıştır. Avrupa Yüksek Verimli ve Eşsiz Güvenli Trafik Programı anlamına gelen PROMETHEUS (Programme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) çerçeve programına 1986 yılında ilk adımlar atılmıştır. Beş farklı Avrupa ülkesinden gelen, motorlu taşıtlar ve ulaşım bilgi teknolojileri alanında uzmanlaşmış, 300'ü aşkın bilim adamı ve mühendisin yaptığı önemli bir araştırma ve geliştirme faaliyeti sonucunda 1988 yılında program bitirilmiştir (Williams, 1988). PROMETHEUS'un amaçlarını; yol ve yolcu güvenliğini sağlamak, olumsuz çevresel etkenleri azaltmak ve ekonomik verimliliği arttırmak şeklinde sıralamak mümkündür. Bu amaçları gerçekleştirmek adına aşağıda sıralanan üç alanda alt programlar geliştirilmiştir.

- Elektronik sürücü yardım sistemleri
- Araç-araç haberleşme sistemleri
- Araç-yol kenarı haberleşme sistemleri

Ekim 1999'da Amerika Federal Haberleşme Komisyonu 5.9GHz (5.85-5.925 GHz) ve 75MHz'lik bant genişliğinde Özel Kısa Menzilli İletişim (ÖKMI) standardını oluşturmuştur. Bu bant sadece akıllı ulaşım sistemleri için tahsis edilmiştir (Zhu ve Roy, 2003). Yaşanan bu gelişme Taşıtsal Tasarsız Ağ (TTA) kavramının oluşmasını sağlamıştır. TTA'lar; AUS'ler için araç-araç ve araç-altyapı haberleşmesini sağlayan bir kablosuz yerel alan ağı teknolojisidir (Hartenstein ve Laberteaux, 2008). TTA içerisinde her araç, bilgi alışverişi konusunda gönderici, alıcı ya da yönlendirici rolünde olabilir. Yolda seyir halinde giden ya da duran taşıtlar ve yol kenarında bulunan altyapı araçları TTA'nın birer unsurudur. Yol

kenarlarındaki unsurlarda (road-side units) yolda seyir halinde olan ya da duran/duraklayan taşıtlarla iletişim kurabilmek için bir haberleşme donanımı bulunmaktadır. Aynı şekilde taşıtların bu haberleşmeye dâhil olabilmeleri için de taşıt içi unsurlara (on-board units) ihtiyaçları vardır (Zeadally vd., 2012). Araç-araç (Ar²) ve araç-altyapı (Ar-Al) haberleşmesinde IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) yani Araç Ortamında Kablosuz Erişim (AOKE) standardı kullanılır. IEEE 802.11p AOKE teknolojisi haberleşmede ÖKMİ bandını kullanmaktadır.

Bu bilgiler ışığında 1930 yıllarda ortaya atılan AUS fikrinin günümüze kadarki gelişimi açıkça ortadadır. Günümüzde AUS'ler konusunda birçok uygulama geliştirilmiştir. Papadimitratos vd. (2009) yılında yaptıkları çalışmada AUS uygulamaları ve niteliklerini Tablo 1.1.'deki gibi sıralamıştır.

Tablo 1.1. Mevcut AUS uygulamaları ve nitelikleri

Uygulama Adı	İletişim	Diğer İhtiyaçlar
Acil Elektronik Fren Işıkları	Tasarsız (Ad hoc) Ar ²	Menzil: 300m, Yüksek öncelik
Yavaş Araç Uyarısı	Tasarsız Ar ²	Yüksek Öncelik
Kavşak Çarpışma Uyarısı	Tasarsız Alt yapısal Ar ² ya da Ar-Al	Sayısal Harita Üzerinde Doğru Konumlandırma, Yüksek Öncelik
Tehlikeli Bölge Uyarısı	Tasarsız Altyapısal Al-Ar ya da Ar ²	Yüksek Öncelik
Trafik İşareti İhlali Uyarısı	Tasarsız Alt Yapısal Al-Ar	Menzil: 250m, Yüksek Öncelik
Çarpışma Öncesi Algılama	Tasarsız Ar ²	Menzil: 50m, Yayın için Yüksek/Orta Öncelik
Şerit Değişirme Uyarısı	Tasarsız Ar ²	Menzil: 150m, Bağıl Konumlandırma Doğruluğu < 2m
İşbirlikçi İleri Çarpışma Uyarısı	Tasarsız Ar ²	Menzil: 150m, Bağıl Konumlandırma Doğruluğu < 1.5m
Kavşak Yönetimi	Alt yapısal Tasarsız Ar ² ya da Ar-Al	Konumlandırma Doğruluğu < 5m
Sınırlı Erişim ve Yön Uyarısı	Alt yapısal Tasarsız Ar-Al	Orta/Düşük Öncelik
İşbirlikçi Uyarlamalı Hız Sabitleyici	Tasarsız Ar ²	Orta Öncelik
Elektronik Ücretli Geçiş	Alt yapısal, Tasarsız Ar-Al, Hücresele	CEN DSRC
Uzaktan Tanı	Alt yapısal, Tasarsız Ar-Al, Ar ² , Hücresele.	İnternet Erişimi
Medya İndirme	Alt yapısal, Hücresele.	İnternet Erişimi ve Sayısal Yönetim Hakları
Harita İndirme/Yükleme	Alt yapısal, Tasarsız Ar-Al, Ar ² , Hücresele	İnternet Erişimi ve Sayısal Yönetim Hakları
Ekolojik Sürücü Yardımcısı	Alt yapısal, Tasarsız Ar-Al, Ar ² , Hücresele	İnternet Erişimi ve Sayısal Yönetim Hakları

1.2.1.1. Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Konumlandırma Uygulamaları

Tablo 1.1'deki AUS uygulamalarına dikkat edilecek olursa; uygulamaların birçoğunda konum bilgisinin doğrudan veya dolaylı olarak kullanıldığı anlaşılır. AUS'lerde doğrudan konum bilgisini içeren uygulamalar; kavşak çarpışma uyarı sistemi, şerit değiştirme uyarı sistemi, işbirlikçi ileri çarpışma uyarı sistemi ve kavşak yönetim sistemi olarak sıralanabilir. Uygulamalardan da anlaşıldığı üzere AUS'lerde konumlandırma araç ve yolcu güvenliği konusunda hayati bir önem taşımaktadır.

Yazında AUS'lerde konumlandırma üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde birçoğunun geleneksel GPS tabanlı yöntemlerin geliştirilmesi üzerine olduğu görülmektedir. Örneğin; Meguro vd. (2009)'da yaptıkları çalışmada KKS'de şehir içi bölgelerde oluşan çok yollu yayılımı (multipath) azaltan çok yönlü kızılötesi kamera tekniğini önermiştir. Konumlandırma konusunda iyileştirmeler olsa da 3 adet KKS anten, bir kızılötesi kamera, atalet ölçüm sistemi ve jiroskop gibi ilave donanım gereksinimi olumsuz yönleri olarak sıralanabilir. Ayrıca tünel ortamında yetersiz kalması da önerilen yaklaşımın diğer bir olumsuz tarafı olarak değerlendirilebilir. Lee vd. (2009) FKKS'den farklı olarak radyo frekansıyla tanımlama (RFT) yardımcı KKS konum bilgisi iyileştirme yaklaşımı önermiştir. Yaklaşımında FKKS'deki sabit yer istasyonunun yaptığı işi yol kenarına yerleştirilmiş (konumu bilinen) bir RFT istasyonunun yanından geçen KKS+RFT+IEEE 802.11 donanımlı taşıt yapmaktadır. Bu taşıt yol kenarındaki RFT istasyonunun yanından geçerken aldığı gerçek konum bilgisi ve üzerindeki KKS birimi sayesinde aldığı konum bilgisi ile KKS konum hatası hesaplamakta ve bu bilgiyi IEEE 802.11 protokolünü kullanarak çevresindeki taşıtlara göndermektedir. Bu yaklaşımda karayolunda sadece sınırlı sayıdaki KKS birimine sahip taşıt konum düzeltilmesi gerçekleştirilebilmekte, KKS birimi olmayan diğer taşıtlar ise KKS birimi bulunan taşıtlarla iletişime geçerek kendi konumlarını hesaplamaktadır.

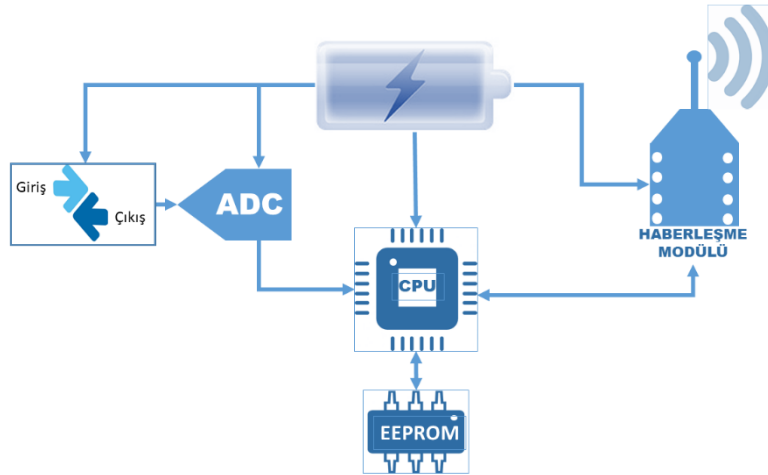
Tang vd. (2014)'te yaptığı çalışmada ise GPS tabanlı işbirlikçi bağıl konumlandırma yaklaşımı ele alınmıştır. Bu yaklaşıma göre şehir içi bölgede seyir halinde olan taşıtlar kendilerine her bir uydudan ulaşan işaret gürültü oranları ve yükselim (elevation) açısı bilgilerini bir tablo olarak tutar. Daha sonra komşu taşıtlar birbirleriyle haberleşerek ilintilerini ve bağıl konumlandırmalarını hesaplar. Önerilen yaklaşımla ilintili olmayan işaretler ortadan kaldırılarak oluşturacakları olası hataların önüne geçilmeye çalışılır. Fakat yaklaşımın olumsuz yönlerinden biri konum iyileştirmek için taşıtların yanlarında sürekli

başka komşu taşıtların bulunması gerekliliği, diğeri ise yine uydu işaretinin olmadığı tünel gibi kapalı alanlarda yetersiz kalmasıdır.

Amini vd. (2014)'te yaptıkları çalışmada KKS'nin yetersiz kaldığı noktalarda (Ar^2), (Ar-Al) ve RFT bileşimli kullanımını seçenek olarak göstermiş ($KKS+Ar^2$, $KKS+Ar-Al$ ve $KKS+RFT$) ve en iyi sonucu $KKS+Ar-Al$ 'in verdiğini söylemiştir. Yapılan çalışmaların birçoğu geleneksel olarak KKS bilgisinin iyileştirilmesi yönünde olmaktadır. KKS'nin kötü hava şartları, uydu-saat işareti kayması, tünel vb. ortamlarda ya da direk görüş olmayan noktalarda yetersiz kalması gibi olumsuzluklara karşı çözümler ise KAA ile konumlandırma konusu üzerinde yoğunlaşmaktadır.

1.2.1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarına Genel Bakış

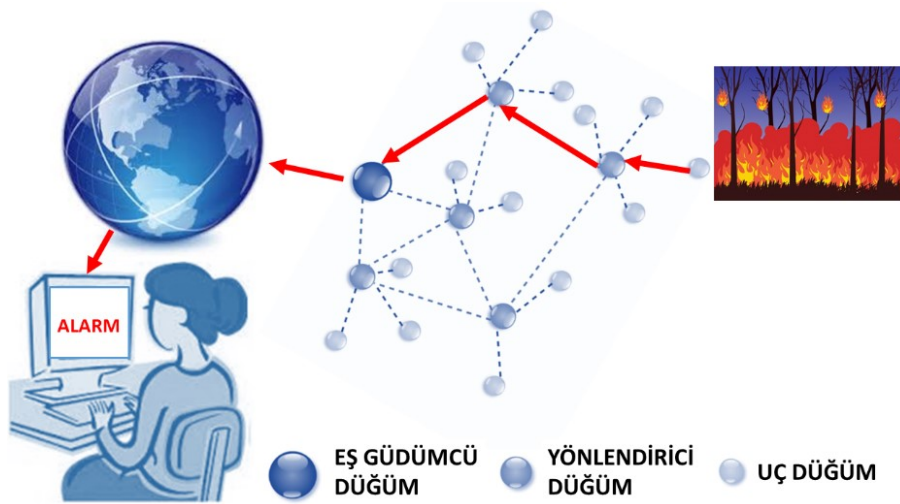
KAA'lar doğadaki fiziksel değişimleri (sıcaklık, basınç, hız, nem, ışık akısı vb.) algılayan, elde edilen bilgileri kurdukları kablosuz ağ aracılığı ile haberleşerek birbirlerine iletebilen ağlara verilen isimdir (Puccinelli ve Haenggi, 2005). Ağdaki her bir birime düğüm adı verilir ve farklı görevlere sahip olabilirler. Kurulan kablosuz ağ yüzlerce düğümden oluşabilir. Basit bir KAA düğümünün temel çalışma mekanizması, Şekil 1.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Bir KAA düğümünün temel çalışma mekanizması

Tipik bir KAA düğümü; algılayıcı G/Ç birimi, analog sayısal dönüştürücü (ADC), mikroişlemci, haberleşme modülü, güç birimi ve bellek bloğundan oluşmaktadır. KAA'lar genellikle bağımsız ve enerji kısıtı olan orman, dağlık arazi, çöl vb çevresel koşullarda çalışırlar. Bu nedenle güç genellikle güneş panelleri, piezo-elektrik donanım vb. enerji hasat yöntemleri ile sağlanır. Enerji toplama yöntemleri ile elde edilen güç, bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.

KAA'da, bilgiler genellikle ağın en uzak noktasında olan uç düğüm (end-device) olarak adlandırılan bir düğüm tarafından algılanır. Uç düğümler, Azaltılmış Fonksiyonlu Cihazlar (Reduced Functioned Devices) olarak üretilir ve analog bilgileri algılama ve iletme gibi basit görevlere sahiptir. Uç düğümler, yönlendirici (Router) olarak adlandırılan ağdaki daha yetkili düğümüne bilgiyi iletir. Yönlendiriciler genellikle Tam İşlevli Aygıtlar (Full Functioned Devices) olarak üretilir. Tam işlevli cihazlar diğer azaltılmış fonksiyonlu cihazlar ve diğer tam işlevli cihazlar ile iletişim kurma yeteneğine sahiptir. Bir tam işlevli cihaz olan yönlendirici, komşu düğümünden bilgiyi alabilir ve onu başka bir yönlendiriciye veya doğrudan eş güdümcü (coordinator) düğümüne iletebilir. Ağda en yetkili düğüm olan eş güdümcü düğüm tam işlevli cihaz olarak üretilmektedir. Eş güdümcü ağın ağ geçidi olarak düşünülebilir. Tipik bir KAA'nın genel mimarisi, Şekil 1.4.'deki bir senaryo ile gösterilmektedir.



Şekil 1.4. KAA'nın genel mimarisi

Senaryoda, bir ormanda oluşan yangın bilgisi, KAA ve internet aracılığıyla son kullanıcıya gönderilir. Öncelikle, yangın, uç düğümüne monte edilmiş bir algılayıcı tarafından algılanır. Daha sonra uç düğüm bilgileri komşu yönlendiriciye iletir. Bir sonraki adımda bilgi eş güdümcü düğümüne yönlendiriciler tarafından iletilir. Bundan sonra, eş güdümcü düğüm tarafından alınan bilgiler internete iletilir ve sonuçta istemci internet üzerinden hayati bilgileri alabilir (Sesli ve Hacıoğlu, 2017).

KAA'lar için uygulanan standartlar IEEE 802.15.4 ile belirlenir (URL-2, 2019). KAA'larda uygulamalar geliştirmek için birçok üretici firma çözümü vardır. Bazı çözümler maliyetlidir. Bu nedenle maliyet etkin veya maliyetsiz çözümler aramak önem arz etmektedir. Elbette maliyet etkin veya maliyetsiz çözümlerin getirileri aynı olamaz. Aralarında birbirlerine göre üstünlükleri mevcuttur(Sesli ve Hacıoğlu, 2017).

1.2.1.3. AUS'lerde KAA Kullanımı ve KAA Üzerinden Konum Tahmini

KAA'ların işlem kabiliyeti, enerji-etkin ağ yapılarına sahip olması, ekonomik oluşu ve kolay kurulumu AUS'lerde KAA kullanımını ve bu konuda yapılan çalışmaları gittikçe yaygınlaştırmaktadır. Chen vd. (2006)'da yaptıkları çalışmada AUS'lerin bilgi toplama ve iletme konusunda yaşadıkları olumsuzluklara çözüm olarak KAA teknolojisini önermişlerdir. Boukerche vd. (2008)'de yaptıkları çalışmada KAA'ların sahip olduğu özelliklerle Taşıtsal Tasarsız Ağlar'da konumlandırma doğruluğunu iyileştirebileceğinden bahsetmiştir. Khanafer vd. (2009) yaptıkları çalışmada AUS'lerin başarımını arttıracak bir KAA mimarisi üzerinde durmuşlardır. Tubaishat vd. (2009)'da yaptıkları çalışmada KAA kullanarak trafik tahmin ve denetimini amaçlamışlardır. Son yıllara gelindiğinde ise Balid vd. (2016) yaptıkları çalışmada KAA'ları kullanarak yeni, enerji etkin, gerçek zamanlı trafik görüntüleme sistemi tasarımını tanıtmışlardır. Jing (2018) benzer biçimde gittikçe yoğunlaşan araç trafiğini göz önünde bulundurarak akıllı şehir trafik bilgi sistemi için KAA tabanlı araç konumlandırmayı çözüm olarak göstermiştir. Feng vd. (2018) KAA'ları da ihtiva eden, akıllı kampüs uygulamaları için otobüs konumlandırma yaklaşımı geliştirmişler ve yaklaşımın servis kalitesini arttırdığını söylemişlerdir. Alawad ve Kaewunruen (2018) KAA'ları kullanarak akıllı ve raylı taşımacılık yapma konusunda bir araştırma çalışması yapmışlardır.

Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere KAA'lar AUS'lerin vazgeçilmez bir parçası haline gelirken KAA destekli konumlandırmanın da önemi giderek artmaktadır.

1.2.2. Otonom Taşıt Teknolojileri

AUS'ler gibi günümüzün diğer bir gözde teknolojisi otonom taşıt teknolojisi (OTT). OTT ilk kez ticari amaçlı olarak 1950'lerde ABD'de kullanılmıştır (Vahrenkamp, 2013). Otonom sürüşle ilgili ilk çalışmalar ise 1980'lerin sonlarında sunulan Navlab araçlarıyla başlamıştır (Thorpe vd., 1991). Günümüzde ise sahip oldukları algılayıcı donanımları sayesinde kendi kendilerine hareket etme yetkinliğine sahip olan otonom taşıtlar için taşıt trafik uygulamalarından fabrika araç otomasyonuna hatta kameralı otonom dronlara kadar çeşitli çalışmalar mevcuttur (Luettel vd., 2012; González vd., 2001; Senthilnathan vd., 2018). Otonom taşıtlar trafikte hızlı tepki süreleri ve ileri görüş yetenekleri ile daha az yakıt tüketimi ve dolayısıyla daha az karbon monoksit salınımı yayma, çarpışma önleme sistemleri ihtiva etmesi sayesinde kaza olasılığını azaltmaktadır (Luettel vd., 2012). Diğer taraftan fabrikalarda da bir yerden başka bir yere ürün nakliyesinde veya istifleme konusunda endüstriyel otonom taşıtlar kullanılmaktadır (González vd., 2001; Durrant vd., 2007; Machado ve Silva, 2018).

1.2.2.1. Otonom Taşıt Teknolojilerinde Konumlandırmanın Önemi

AUS'lerde olduğu gibi OTT'lerde de taşıtın konum bilgisine sahip olması son derece önemlidir (Gao vd., 2006). Otonom araçlar, kamera ve çeşitli algılayıcılar yardımı ile kendi konumlarını tespit edebilmektedirler (Borenstein vd., 1997; Rupp vd., 1998; Milanés vd., 2008). OTT'lerde konum tespitinde kullanılan görüntü işleme dayalı yöntemler; ortamdaki ışık şiddeti, sistem araçlarının ortam koşulları nedeniyle zaman içinde doğruluğunun azalması vb. dış etkenlerin etkisi altındadır (Jung ve Kelber, 2005; Wang vd., 2004). Konum tespitinde sıkça kullanılan KKS ise 20m'ye varan hatalarla tahmin yapabilmektedir (Milanés vd., 2008). Fabrika ve lojistik merkezler gibi kapalı ortamlar göz önüne alındığında KKS kullanımı hem kullanışsız bir hal almaktadır, hem de bahsi geçen konum hatası fabrika ve lojistik merkezler için kabul edilemez büyüklüktedir.

Alternatif çözüm arayışlarının içinde, AUS'de olduğu gibi OTT'de de KAA kullanımı önemli bir yer teşkil eder. Bir sonraki kısım OTT'de KAA ile konum tahmini konusunda yapılan çalışmaları özetlemektedir.

1.2.2.2. OTT'de KAA Kullanımı ve KAA Üzerinden Konum Tahmini

OTT'de de konumlandırma için KAA kullanımını içeren örnekleri şöyle sıralamak mümkündür; Fu vd., (2009) yaptıkları çalışmada bina içi ortamda bulunan gezgin robot için KAA tabanlı bir konumlama sistemi önermişlerdir. Ortama yerleştirilen algılayıcı düğümler ile arasındaki mesafeleri tahmin eden gezgin robot daha sonra KAA'larda sıkça kullanılan trilaterasyon yöntemi uygulayarak kendi konum bilgisini elde etmektedir. Başka bir çalışmada KAA destekli (IEEE 802.15.4a) otonom gezgin robotlar için küresel konumlandırma ve konum takip sistemi önermişlerdir. Önerilen sistemde depoda ürün dağıtımıyla görevli ve birbirleriyle KAA ile iletişim kuran gezgin robot sürüsü için küresel bir konumlandırma çözüm önerilmiştir. Gezgin robotlar konum bilgilerini her birinde var olan lazer mesafe bulucular sayesinde elde etmektedirler (Kirsch ve Röhrig, 2011). Zhang vd. (2014) yılında yaptıkları çalışmada gezgin robotun konum takibi için KAA tabanlı alınan işaret gücü (AİG) yönteminden yararlanılmıştır. AİG konum tahminini iyileştirmek için Kalman süzgeci kullanılmıştır (Kalman, 1960).

Görüldüğü üzere konumlandırma ve mesafe ölçümü AUS'ler ve OTT'ler için büyük önem arz etmektedir. AUS'ler ve OTT'lerin konumlandırma için kullandığı KKS veya FKKS'nin ise yetersiz kaldığı durum ve ortamlar oluşabilmektedir. Bu amaçla bir sonraki kısımda; KKS/FKKS bağımsız, konumlandırma doğruluğunu arttıracak, sıklıkla KAA'ları da içeren diğer konumlandırma seçenekleri ve yaklaşımları hakkında bilgiler verilmiştir.

1.3. KKS/FKKS Bağımsız Konumlandırma Teknolojileri

KKS/FKKS için uydu saat işareti hatası, atmosferik olayların olumsuz etkileri, KKS/FKKS işaretlerinin ulaşamadığı şehir içi, ormanlık alanlar veya bina içi uygulamalarda kullanılamama gibi olumsuz etkenler, çözüm üreten farklı teknolojiler ve yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu teknolojileri radyo bağımsız ve kablosuz konumlandırma teknolojileri olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.3.1. Radyo Bağımsız Konumlandırma Teknolojileri

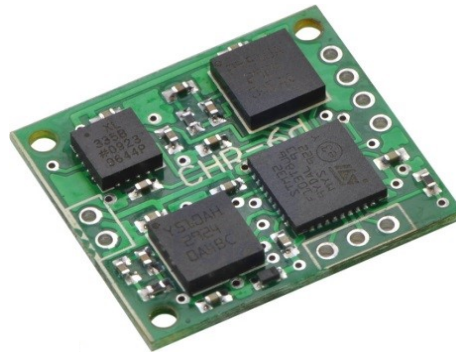
Radyo bağımsız konumlandırma teknolojileri adından da anlaşıldığı üzere, herhangi bir kablosuz altyapı veya teknoloji kullanmadan konumlandırma işlemini gerçekleştiren teknolojilerdir. Radyo bağımsız teknolojileri aşağıdaki gibi detaylandırmak mümkündür.

1.3.1.1. Manyetik Konumlandırma

Temel olarak, bazı hayvanların dünyanın manyetik alanındaki yerel değişimlerden faydalanarak yönlerini bulma ilkesine dayanan ve akıllı telefonlarda kullanılan bina içi konumlandırma teknolojisidir. Bina yapımında kullanılan çelik yapılar vb. manyetik alanda bozulmalara sebebiyet vermektedir. Oluşan bozulmaların tespitinden yararlanarak bina içi konum tahmini gerçekleştirilebilmektedir (Kim vd., 2012). Günümüzde bu yaklaşımı kullanan gezgin robot konumlandırma çalışmaları da mevcuttur (Suksakulchai vd., 2000; Haverinen ve Kemppainen, 2009; Metwally vd., 2004)

1.3.1.2. Atalet Ölçüm Birimleri (AÖB) ile Konumlandırma

AÖB'ler genellikle içinde ivmeölçer, jiroskop ve isteğe bağlı olarak manyetometre barındıran ve bir kişinin ya da aracın 3 eksenli atalet, yönelim veya çevresindeki manyetik alan bilgilerini ölçebilen elektronik devre veya cihazlardır. Şekil 1.5.'te 6-eksenli CHR-6d model STM32F103T8 ARM Cortex işlemcili bir AÖB gösterilmektedir.



Şekil 1.5. CHR-6d model bir AÖB (URL-3, 2018).

6-eksenli tümleşik devre Şekil 1.6.'dan da görüldüğü gibi 3'er adet jiroskop (J1, J2, J3) ve ivmeölçer (İ1, İ2, İ3) içermektedir. Jiroskop ve ivmeölçerlerden elde edilen bilgilerden; hız, konum ve yönelme bilgilerinin elde edilişi Şekil 1.6.'daki blok diyagramda gösterilmektedir.

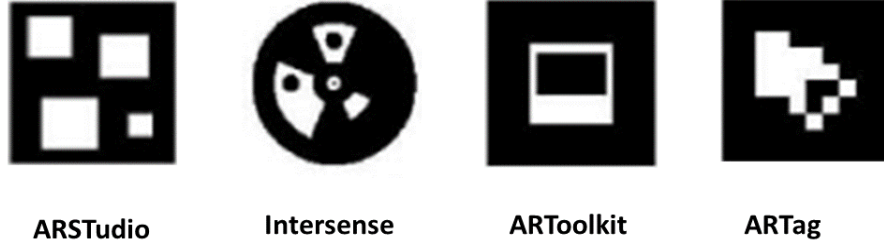


Şekil 1.6. AÖB'den hız, konum ve yönelme bilgisi elde edilmesini gösteren blok diyagram

Elde edilen hız, konum değişimi ve yönelme bilgisine göre taşıt veya kişinin son konumu tahmin edilir. Günümüzde AÖB'ler ve KKS'den elde edilen konum ve hız bilgilerini Kalman (1960) süzgeci ile iyileştirip konum ve hız tahmini gerçekleştiren melez yaklaşımlar mevcuttur (Caron vd., 2006).

1.3.1.3. Görsel İşaretçiler Yardımıyla Konumlandırma

Görsel işaretçiler yardımıyla konumlandırmanın en tipik örnekleri bina içi robotik konumlandırma uygulamalarıdır (Babinec vd., 2014; Mutka vd., 2008). Yaklaşım temel olarak bina içine yerleştirilmiş 2-boyutlu düzlemsel desenlerin kameralar yardımı ile yakalanması ve görüntü işleme metodu kullanılarak koordinatların tahmini ilkesine dayanır. Şekil 1.7.'den görüldüğü gibi ARStudio, Intersense, ARToolkit, ARTag gibi birçok 2-boyutlu düzlemsel işaretçi sistemi mevcuttur. 2-boyutlu düzlemsel işaretçi sistemi, döngüsel hareket ettirildiğinde birbirinin aynısı olmayan kodlanmış desenlerden ve kodlanmış desenlerin tanımlanması için oluşturulan bilgisayar görüntü algoritmalarından ibarettir (Fiala, 2005).

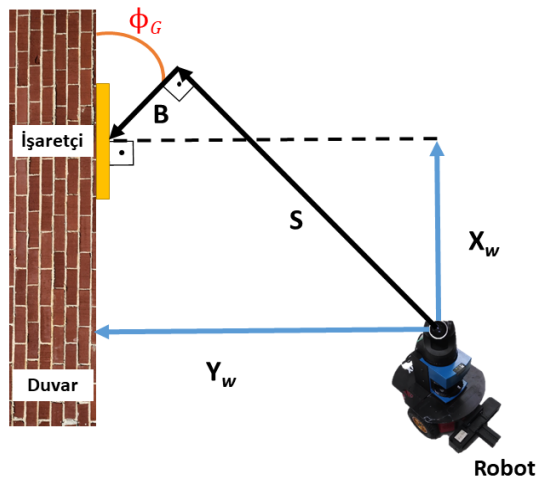


Şekil 1.7. Çeşitli düzlemsel işaretçi sistemlerine ait 2-boyutlu kodlanmış desenler

Kamera ile algılanan işaretçinin daha az hata ile elde edilmesi için Hamming kodlama vb. çeşitli sayısal kodlama teknikleri kullanılır. Böylece işaretçinin daha etkin bir şekilde algılanması sağlanır. İşaretçi algılandıktan sonra gömülü algoritmalar ve işaretçi sistem kütüphaneleri aracılığıyla standart dönüşüm matrisleri kullanılarak Euler açıları elde edilir. Gezgin robot konumlandırma için z-ekseni ile yapılan açı önemlidir.

$$\phi_G = a \tan(2(XY - WZ), W^2 - X^2 - Y^2 + Z^2) \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'deki X , Y , Z ve W işaretçi sistem kütüphanesinden tedarik edilen kuaterniyon elemanları olmak üzere ϕ_G açısı hesaplanır (Babinec vd., 2014). Şekil 1.8.'de gezgin robotun konumunun işaretçiye bağlı belirlenişi gösterilmektedir.



Şekil 1.8. Robot konumunun işaretçiye göre belirlenmesi

Şekil 1.8.'de gösterilen ϕ_G kamera ile işaretçi arasındaki açı, B kamera optik merkezinin x-ekseni boyunca işaretçi merkezine bağlı konumu, S ise kamera merkezinin B uzaklığına dik olan uzaklığı olmak üzere;

$$X_w = S \sin(\phi_G) - B \cos(\phi_G) \quad (1.2)$$

$$Y_w = S \cos(\phi_G) + B \sin(\phi_G) \quad (1.3)$$

konumlar elde edilir. Burada X_w gezgin robotun işaretçi merkez koordinatına olan uzaklığının x-bileşeni, Y_w gezgin robotun işaretçi merkez koordinatına olan uzaklığının y-bileşenidir (Babinec vd., 2014).

1.3.2. Radyo Bağımlı Konumlandırma Sistemleri

Radyo bağımlı konumlandırma sistemleri; 2.4 GHz bandını kullanan Wi-Fi, Bluetooth ve ZigBee teknolojilerini kullanarak konum kestirimi yapan sistemler olarak nitelendirilebilir. Son yıllarda Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA) konusundaki gelişmeler, KAA'yı radyo bağımlı konumlandırma sistemlerinin en önemli aktörü haline getirmiştir. KAA'larda temel konumlandırma hesaplamaları, Trilaterasyon (Trilateration), Üçgenlere Bölme (Triangulation) ve En-Olabilir Çoklu-Laterasyon (Maximum Likelihood Multilateration) teknikleriyle yapılır. Trilaterasyon tekniğinde konumu bilinmeyen ağ düğümü, konumu bilinen üç adet ağ düğümünden (çapa düğüm) elde ettiği mesafe bilgileri yardımıyla konumunu tahmin eder. Bu yaklaşımda çapa düğümün, konumu bilinmeyen düğüme olan mesafesi çapa düğümün yarıçapı olarak değerlendirilir. Sonuçta elde edilen dairelerin arakesiti hesaplanarak konumu bilinmeyen düğümün konumu tahmin edilir. Uygulamada mesafenin doğru bir şekilde ölçülmesi büyük önem taşır. İkinci temel hesaplama tekniği olan üçgenlere bölme (Triangulation) tekniğinde iki çapa düğümün; mesafe bilgisi, açı bilgisi ve trigonometrik yasalar yardımı ile düğümün konumu tahmin edilir. En-Olabilir Çoklu-Laterasyon (Maximum Likelihood Multilateration) tekniğinde ise birçok komşu düğümden alınan mesafe bilgilerine göre en olabilir konum hesaplaması yapılmaktadır (Alrajeh vd., 2013; Kulaib vd., 2011).

Üç temel konumlandırma hesaplaması yanında KAA'larda kullanılan konumlandırma yaklaşımları mesafe-bağımlı (range-based) ve mesafe-bağımsız (range-free) olarak sınıflandırılabilir. Yaklaşımlarda amaçlanan önemli noktalardan biri yüksek doğruluk diğeri ise kısa işlem zamanıdır.

1.3.2.1. Mesafe-Bağımsız Konumlandırma Yaklaşımları

Mesafe-bağımsız konumlandırma yaklaşımında işbirlikçi algoritmalar ile konumu bilinmeyen düğümün konumu tahmin edilmeye çalışılır. Mesafe-bağımlı yöntemlerden farklı olarak ilave bir donanıma gerek duymaksızın konum tahmininin yapılabilmesi maliyeti düşürür (Li Z. vd., 2010; Kumar vd., 2011). Bu yönüyle üstünlük sağlamasına rağmen konumu bilinmeyen düğümün konumu mesafe bağımlı yöntemler kadar doğru tahmin edilemez (Kumar vd., 2011). Ağırlık Merkezi (Centroid), DV-Hop, Amorphous ve APIT yaklaşımları tipik mesafe bağımsız konumlandırma yaklaşımlarıdır (Li Z. vd., 2010).

1.3.2.1.1. Ağırlık Merkezi (Centroid) Yaklaşımı

Ağırlık merkezi, en basit mantığa sahip mesafe-bağımsız konumlandırma yaklaşımı olarak değerlendirilebilir. Konumu bilinmeyen kablosuz düğüm, kapsama alanında bulunan çapa düğümlerden edindiği konum bilgilerinin ortalamasını alarak konum tahmini gerçekleştirir (Bulusu vd, 2000).

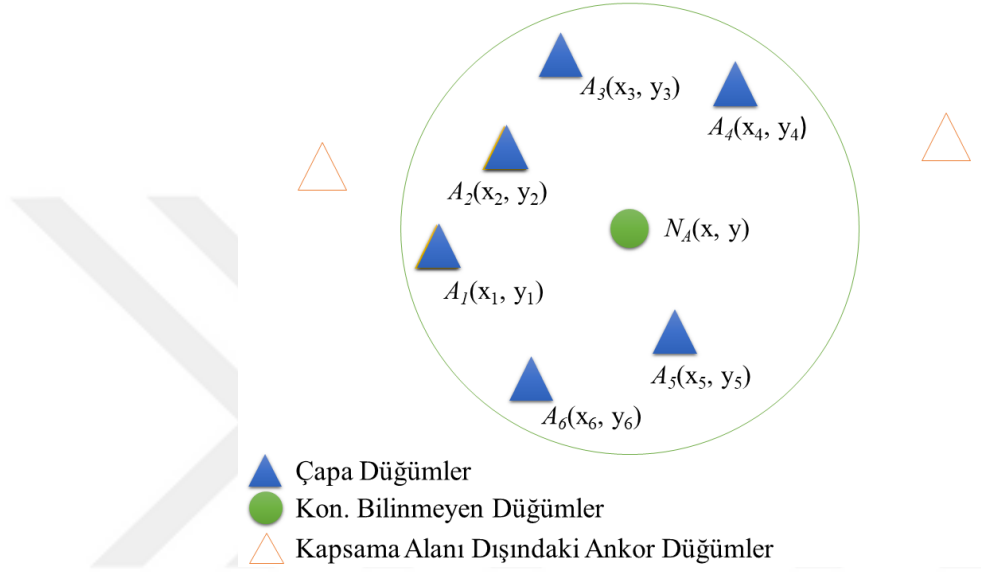
Şekil 1.9'dan görüldüğü gibi konumu bilinmeyen düğüm kapsama alanındaki tüm çapa düğümlerle haberleşerek onların konum bilgilerini alır. Daha sonra kendi gerçek konumu $N_A(x, y)$ iki boyutlu uzayda (1.4)'deki gibi $N_T(x_t, y_t)$ şeklinde tahmin eder.

$$x_t = \frac{\sum_{j=1}^k x_j}{k}, y_t = \frac{\sum_{j=1}^k y_j}{k} \quad (1.4)$$

Burada x_t tahmin edilen apsis, y_t tahmin edilen ordinat k ise kapsama alanındaki konumu bilinen algılayıcı düğüm sayısını ifade etmektedir. Tahmin edilen $N_T(x_t, y_t)$ ile gerçek konum olan $N_A(x, y)$ arasında ki konum hatası denklem (1.5) deki gibi hesaplanır.

$$L_h = \sqrt{(x_t - x)^2 + (y_t - y)^2} \quad (1.5)$$

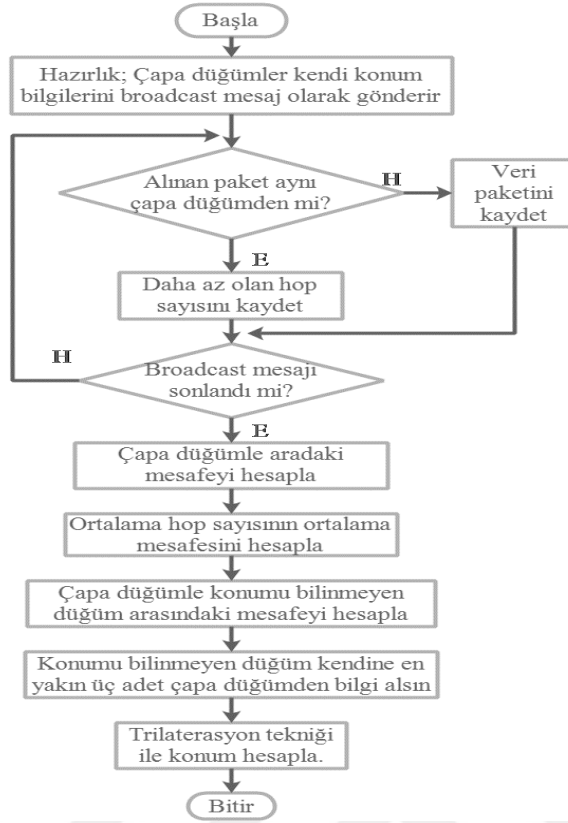
Burada L_h konum hatasını temsil etmektedir. Uygulanabilirliği ve basitliği yaklaşımın olumlu yönleridir (He vd., 2005). Fakat ağırlık merkezi algoritmasının doğruluğu, kapsama alanında bulunan ve konumu bilinen düğüm sayısı ile doğru orantılıdır.



Şekil 1.9. Ağırlık merkezi yaklaşımında kon. bilinmeyen düğüm ve kapsama alanındaki çapa düğümler

1.3.2.1.2. DV-Hop Yaklaşımı

Niculescu ve Bath'ın (2001) önerdiği mesafe-bağımsız konumlandırma yaklaşımıdır. Bir kablosuz düğümün diğer bir düğümle yaptığı haberleşme 1 hop kabul edilmek üzere rastgele dağıtılmış kablosuz çapa düğümlerin ortalama hop mesafelerinin hesaplanması ve hesaplanan değerlere göre konumu bilinmeyen kablosuz düğümün konumunun tahmin edilmesi ilkesine dayanır.



Şekil 1.10. DV-hop konumlandırma algoritması(Wang vd., 2015).

Akış diyagramı Şekil 1.10.'da gösterilen DV-Hop konumlandırma yaklaşımını genel olarak üç aşamaya ayırmak mümkündür. Birinci aşamada, konumu bilinmeyen düğüm ile her bir çapa düğüm arasındaki en az hop sayısı bulunur. Komşu kablosuz düğümler hangi çapa düğümün kendi konum bilgisini gönderdiğine dair bir grup iletisi alır. Alınan iletide başlangıç değeri 0 olan ve her bir hop işleminde 1 artan hop sayısı bilgisi bulunur. Alıcı düğüm kendine aynı çapa düğümünden gelen yüksek değerli hop sayılarını eler. Bu işlem her çapa düğümünden gelen en az hop sayıları elde edinceye kadar sürer. Daha sonra kendinde kayıtlı hop sayılarına 1 ekleyerek komşu kablosuz düğüme bilgiyi iletir. Bu yordamla ağdaki konumu bilinmeyen düğüm ya da düğümler ve tüm çapa düğümler her bir çapa düğüme dair en az hop sayısı bilgisini kaydederler.

İkinci aşamada konumu bilinmeyen düğümler ile çapa düğümler arasındaki uzaklık tahmin edilir. Her bir çapa düğüm için, iki çapa düğüm arasındaki hop sayıları kullanılarak ortalama hop mesafesi denklem (1.6)'daki gibi elde edilir.

$$HM_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{ij}} \quad (1.6)$$

Burada i çapa düğümünün koordinatları (x_i, y_i) , j çapa düğümünün koordinatları (x_j, y_j) , HM_i i çapa düğümünün ortalama hop mesafesi ve h_{ij} iki çapa düğüm arasındaki hop sayısıdır. Çapa düğümler hesapladıkları hop mesafelerini ağa bilgi olarak gönderirler. Konumu bilinmeyen düğüm ilk ortalama hop mesafe bilgisini alıp kaydeder. Daha sonra bilgiyi komşu düğüme gönderir. Bu yordam birçok düğümün çapa düğümlere ait en güncel ortalama hop mesafelerini elde etmek için uygulanır. Konumu bilinmeyen düğümden bütün çapa düğümlere olan mesafeler; kaydedilmiş hop sayısı ve hop mesafesi bilgisinden faydalanılarak hesaplanır.

Üçüncü aşamada ise konumu bilinmeyen düğümün konumu trilaterasyon (trilateration) ve azami olasılık tahmini (maximum likelihood estimation) yöntemleri uygulanarak tahmin edilir (Wang vd., 2015; Tian vd., 2007).

1.3.2.1.3. Amorphous Konumlandırma Yaklaşımı

Amorphous konumlandırma yaklaşımı (Nagpal, 1999), DV-hop yaklaşımından bağımsız olarak konum tahmini yaparken benzer bir algoritmayı kullanır. DV-hop yaklaşımına benzer şekilde her kablosuz düğüm broadcast iletisi ile hop mesafe bilgilerini edinir. Çapa düğümlerin tahminleri elde edildikten sonra hop mesafeleri yerel ortalamalar (local averaging) alınarak tahmin edilir. Her düğüm kendi komşu düğümlerinin hop mesafelerini tahmin eder. Düşük çözünürlüğün neden olduğu hatayı telafi etmek için radyo aralığının yarısı bu ortalama düşülür.

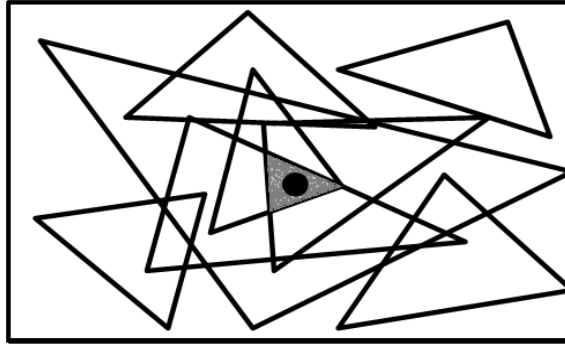
Amorphous konumlandırma yaklaşımının tek bir hopun ortalama mesafesini tahmin etmesi, DV-hop yaklaşımından farkını ortaya koymaktadır. Bir kablosuz ağdaki i düğümün ortalama hop mesafesi Kleinrock ve Silvester (1978) formülüne göre (1.7)'deki gibi hesaplanır.

$$dhop_i = r \left(1 + e^{-n_{yerel}} - \int_{-1}^1 e^{\frac{-n_{yerel}}{\pi} (\arccos(t) - t\sqrt{1-t^2})} dt \right) \quad (1.7)$$

Burada $dhop_i$ i . düğümün ortalama hop mesafesi, r düğümün haberleşme yarıçapı, n_{yerel} ortalama ağ bağlantısı ve t zamandır. Son aşamada hesaplanan $dhop_i$ değeri ile ilgili çapa düğümlere ait en az hop sayıları çarpılarak mesafe tahmini gerçekleştirilir (Tian vd., 2007).

1.3.2.1.4. APIT Konumlandırma Yaklaşımı

Üçgenlere bölmede yaklaşım noktası (Approximate Point in Triangulation) anlamına gelen APIT; konumu bilinmeyen düğümün olası konum bilgisini, çapa düğümler yardımıyla üçgen bölgeye sınırlandırarak tahmin etmeye çalışan, yeni sayılabilecek bir mesafe-bağımsız yaklaşımdır (He vd., 2005). APIT çapa düğümlerin oluşturduğu türdeş olmayan (heterogeneous) ağa ihtiyaç duyar. Konumu bilinmeyen düğümün olası alanı; bu düğümün, etrafındaki üçlü çapa düğüm grupları tarafından oluşturulan üçgen bölgelerin içinde ya da dışında olmasına bağlı olarak küçültülür. Süreç, çapa düğümlerin oluşturduğu farklı üçgen tertipleri oluşturularak tekrarlanırsa, olası bölge daha da küçülür. Dolayısıyla konum doğruluğu artar. Şekil 1.11’de çapa düğümlerin oluşturduğu üçgen gruplarının tertipleriyle elde edilmiş olası alan ve konumu bilinmeyen düğüm görülmektedir.



Şekil 1.11. APIT ile olası alan elde edilişi (He vd., 2005).

APIT ile konumlandırma algoritmasını aşağıdaki sözel kodla göstermek mümkündür;

N adet çapa düğümünden (x_i, y_i) konum bilgilerini al;

İçKüme;// konumu üçgen içinde tespit edilen üçgen kümesi


```

For ( $\forall \ddot{U}_i \in \binom{N}{3}$ )
{
If (Konumu bilinmeyen düğüm  $\ddot{U}_i$  içinde = = 1)
 $\dot{I}çKüme = \dot{I}çKüme \cup \{ \ddot{U}_i \};$ 
If ( $\dot{I}çKüme > arzu\ edilen\ değer$ )
break;
}
Konum Tahmini= Ağırlık merkezi ( $\cap \ddot{U}_i \in \dot{I}çKüme$ );

```

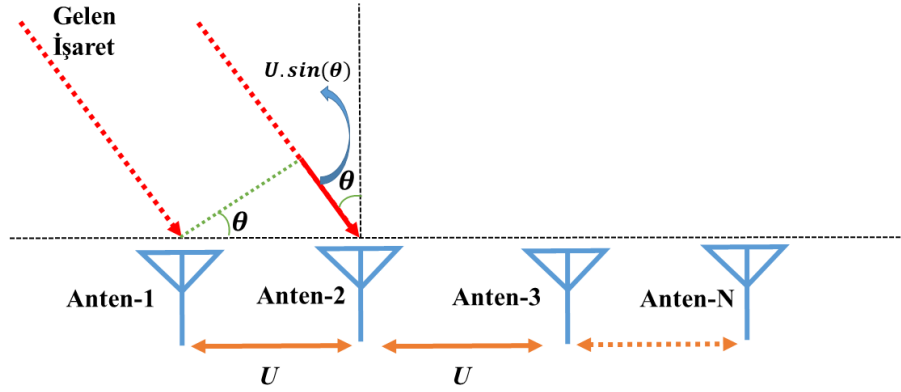
Sözel koddan da anlaşıldığı üzere oluşturulan toplam çapa sayısının 3'lü tertipleri \ddot{U}_i elde edildikten sonra konumu bilinmeyen düğümün bu tertipin içinde olup olmadığı tespit edilerek $\dot{I}çKüme$ kümesi oluşturulur. $\dot{I}çKüme$ kümesi elemanlarının ağırlık merkezi alınarak konum tahmini gerçekleştirilir (He vd., 2005).

1.3.2.2. Mesafe Bağımlı Konumlandırma Yaklaşımları

Mesafe-bağımlı konumlandırma yaklaşımlarında alıcı ve verici düğümler arasındaki mesafe; iletim ortamının karakteristiği, radyo sinyallerini zayıflatan, kıran ve yansıtan engeller ve ilave donanım gereksinimi gibi parametrelerin etkisi altındadır. İlave donanım gereksinimi ve bunun sonucu olan maliyet sıralanan yöntemlerin olumsuz taraflarıdır. Ancak, değişken olarak konumlandırma doğruluğu göz önüne alındığında mesafe-bağımlı yaklaşımların doğruluğunun daha iyi olduğu söylenebilir. Mesafe-bağımlı yaklaşımları; Varış Açısı (Angle of Arrival), Varış Zamanı (Time of Arrival), Varış Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival) ve Alınan Sinyal gücü (Received Signal Strength) olarak sıralamak mümkündür (Kristalina vd., 2011; Mao vd., 2007).

1.3.2.2.1. Varış Açısı Yaklaşımı

Alıcı iki adet antene gelen verici anten işareti, vericinin istikametine bağlı olarak gecikme gösterir. Varış açısı konumlandırma yaklaşımının temel mantığı bu düşünce üzerine kurulmuştur. Gelen işaret, bütün alıcı anten dizisine Şekil 1.12.'de da gösterildiği gibi θ varış açısı yapar.



Şekil 1.12. Aralarında U mesafe olan N adet antene sahip bir alıcı anten dizisi

Anten-2'ye gelen işaret Anten-1'e gelen işarete göre $U \cdot \sin(\theta)$ kadar daha fazla yol almalıdır. Anten dizisinin her biri arasında U mesafe olduğu göz önüne alınırsa bu mesafe ardışık olarak artar. Sonuç olarak her bir antene gelen işarete bir faz kayması oluşur. Her iki anten arasındaki faz kayması $\Delta\phi_k$ denklem (1.8)'deki gibi hesaplanır.

$$\Delta\phi_k = 2\pi \left(\frac{U \sin(\theta)}{\lambda} \right) \quad (1.8)$$

Burada λ gelen işaretin dalgaboyudur. Varış açısı θ ise denklem (1.9)'daki gibi basit bir şekilde elde edilir (Tzur vd., 2015; Schüssel, 2016).

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\Delta\phi_k \lambda}{2\pi U} \right) \quad (1.9)$$

Yaklaşım yüksek işaret gürültü oranı (İGO) olan ortamlarda çok iyi başarımlar göstermesine rağmen çoklu-yol (multipath) ve girişim (interference) olan ortamlarda başarımları düşer (Rappaport vd., 1996).

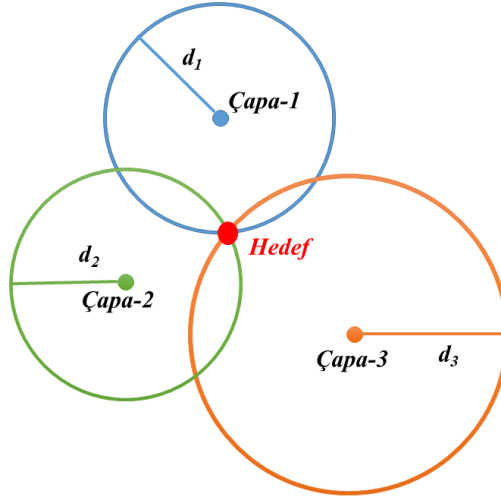
1.3.2.2.2. Varış Zamanı Yaklaşımı

Çok basit ve sık kullanılan bir konumlandırma yaklaşımıdır. Alıcı ve verici düğümler arasında iyi bir eş-zamanlılığa (synchronization) ihtiyaç duyan yaklaşımda verici

düğümün gönderdiği işaretin alınma süreleri elde edilir. Aradaki d mesafesi denklem (1.10)'daki gibi hesaplanır.

$$d = c(t_u - t_g) \quad (1.10)$$

Denklem (1.10)'da d alıcı-verici düğüm arasındaki mesafe, c ışık hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s), t_u alıcı düğümüne varış zamanı, t_g verici düğümün gönderme zamanıdır. 2-boyutlu konumlandırma için en az 3, 3-boyutlu konumlandırma için en az 4 adet çapa düğümüne ihtiyaç vardır. Alınan ve hesaplanan mesafe ve konum değerlerinden Şekil 1.13.'de gösterildiği gibi bilinmeyen düğümün konumu bulunur. Şekil 1.13.'de d_1 , d_2 ve d_3 mesafeleri çapa düğümlerin varış zamanı yaklaşımıyla yani denklem (1.10) ile elde edilen mesafelerdir. Elde edilen d_1 , d_2 ve d_3 mesafeleri çapa düğümlerin oluşturduğu çemberlerin yarıçaplarıdır. En son adımda Trilaterasyon tekniği uygulanarak konumu bilinmeyen düğümün konumu tespit edilmiş olur.



Şekil 1.13. Hedefin çapa düğümlere olan olası konumlarının belirlenmesi

Şekil 1.13.'de gösterilen senaryo bozucu parametrelerin olmadığı duruma aittir. Yaklaşımı etkileyen bozucu parametreler; Gauss gürültüsü (Ravindra ve Jagadeesha, 2013) ve haberleşme modüllerinde veriyi gönderirken ve alırken oluşan işlem zamanı (processing time) gecikmesi olarak sıralamak mümkündür (Wahab vd., 2013).

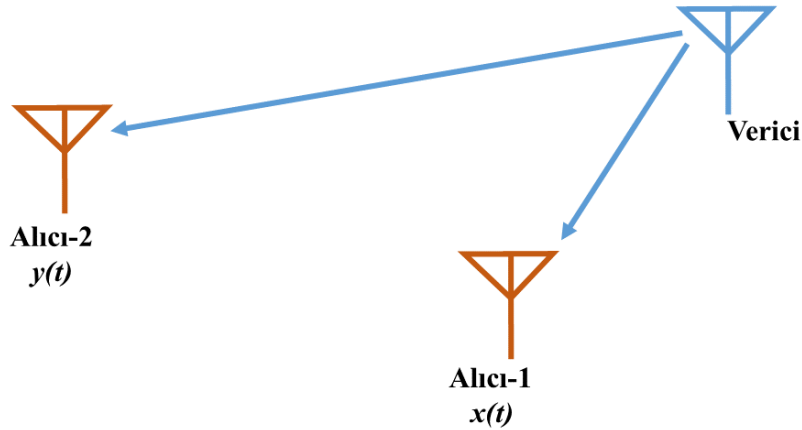
1.3.2.2.3. Varış Zamanı Farkı Yaklaşımı

Varış zamanı farkı konumlandırma için kullanılan diğer bir yaygın yaklaşımdır. Yaklaşım temel olarak; bir vericiden gelen işaretin farklı alıcılar tarafından alınma zamanları ve çapraz-ilinti fonksiyonları yardımı ile konum tahmini yapma ilkesine dayanır. Şekil 1.14.'de gösterildiği gibi bir adet vericiden gönderilen işaret farklı konumlardaki iki adet alıcıya ulaşmaktadır. Alıcı-1 ve Alıcı-2'ye sırasıyla gelen $x(t)$ ve $y(t)$ işaretleri arasında farklı mesafelerden dolayı bir zaman kayması oluşur. Alınan $x(t)$ ve $y(t)$ işaretlerini matematiksel olarak denklem (1.11) ve (1.12)'deki gibi göstermek mümkündür.

$$x(t) = \eta_1 b(t - g_1) + \varepsilon_1(t) \quad (1.11)$$

$$y(t) = \eta_2 b(t - g_2) + \varepsilon_2(t) \quad (1.12)$$

Denklemlerde $b(t)$ bilinmeyen işareti, $\varepsilon_1(t)$ ve $\varepsilon_2(t)$ alıcılardaki gürültü işaretlerini, g_1 ve g_2 işaret gecikme zamanlarını, η_1 ve η_2 zayıflatma katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 1.14. Bir verici ve farklı konumdaki iki alıcı anten

Varış zaman farkını (τ) elde edebilmek için çapraz-ilinti yöntemi, $x(t)$ ve $y(t)$ işaretlerinin $E\{.$ ile gösterilen beklenen değerine denklem (1.13)'deki gibi dönüştürülebilir.

$$R_{xy}(\tau) = E\{x(t)y(t-\tau)\} \quad (1.13)$$

(1.13)'de yapılan işlemde sıfır ortalamalı gürültüler hem birbirinden hem de işaretten bağımsız olduğundan beklenen değerleri 0'dır. (1.13) temel alındığında çapraz-ilinti metoduyla elde edilen değişkeninin en yüksek değeri yani varış zamanı fark değeri D (1.14) ile gösterilmektedir (Wiriyadinata vd., 2017).

$$D = \arg \max_{\tau} [R_{xy}(\tau)] \quad (1.14)$$

Varış zaman farkı yaklaşımında başarıyı etkileyen birkaç konu söz konusudur. Örneğin alıcı antenler arasındaki ayrıklığın artırılması, doğruluğu ve zamansal çözünürlük yeteneklerini artırır. Birbirine yakın konumlandırılmış çoklu alıcı antenlerin oluşturacağı çapraz-ilinti tepe noktaları birbirinden ayırt edilemez. Diğer bir bozucu etki ise çoklu-yol etkisidir. Çoklu-yol etkisi birbirinden ayırıştırılamayan çapraz ilinti tepe noktalarının çakışmasına neden olur (Mao vd., 2007).

1.3.2.2.4. Alınan İşaret Gücü (AİG) Yaklaşımı

AİG yaklaşımı, vericiden gönderilen işaretin alıcı antende oluşturduğu işaret gücüne dayalı olarak mesafe tahmini gerçekleştiren mesafe-bağımlı bir yaklaşımdır. AİG yaklaşımı bu tez çalışmasının da temel konusu olduğu için ayrı bir kısım olarak kısım 1.4.'te detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

1.3.2.3. Melez Konumlandırma Yaklaşımları

Melez konumlandırma yaklaşımları mesafe-bağımlı ve mesafe-bağımsız konumlandırma yaklaşımlarının çeşitli tertipleri şeklinde ortaya çıkmış yaklaşımlardır. Yapılan melez konumlandırma yaklaşımlarından biri ağırlık merkezi ile DV-hop yaklaşımını bir arada kullanan yinelemeli melez konumlandırma yaklaşımı olarak verilebilir (Nie ve Pan, 2012). Diğer bazı özgün örnekleri şöyle sıralamak mümkündür; varış açısı yardımcılı varış zamanı konumlandırma yaklaşımı (Wen ve Chan, 2010), geliştirilmiş melez

varış açısı/varış zaman farkı yaklaşımı (Bishop vd., 2008), mesafe bağımsız bir yaklaşım olan ağırlık merkezi ile AİG yöntemini kullanan ağırlıklı ağırlık merkezi yaklaşımı (Bulusu vd., 2000), büyük ölçekli KAA için önerilen melez AİG ve DV-hop yaklaşımı (Cheikhrouhou vd., 2018), KAA için önerilen varış zamanı ve AİG melez yaklaşımı (Coluccia ve Fascista, 2017), KAA'larda 3B konumlandırma için önerilen melez AİG ve varış açısı yaklaşımı (Tomic vd., 2015).

Melez yaklaşımların daha iyi sonuçlar vermesi olumlu özelliği olarak değerlendirilebilirken, iki yaklaşımı bir arada kullanmanın getirdiği karmaşıklık ve zorluk olumsuz özelliği olarak değerlendirilebilir.

1.4. AİG Tabanlı Mesafe Tahmini

Önceki kısımda açıklanan; varış açısı, varış zamanı ve varış zamanı farkı gibi diğer mesafe-bağımlı yaklaşımlar göz önüne alındığında AİG'ye göre çeşitli zorluklarının olduğu söylemek mümkündür. Örneğin varış açısı yaklaşımı gelen sinyalin geliş açısı bilgisine ihtiyaç duyar, ayrıca bahsedildiği gibi çoklu-yol (multipath) ve girişim (interference) olan ortamlarda yaklaşımın başarımı düşer (Rappaport vd., 1996). Varış zamanı ile konumlandırmanın ilave gürültüden ve çoklu-yoldan etkilenmesi olumsuz yönleri olarak nitelendirilebilir (Patwari vd., 2005; Ravindra ve Jagadeesha, 2013). Varış zamanı farkında ise alıcı antenler arasındaki mesafenin yakın olmasından kaynaklı çapraz-ilti tepe noktalarının birbirinden ayırt edilememesi bu yaklaşımın olumsuz yönleridir (Mao vd., 2007).

Diğer taraftan, AİG yaklaşımının, bahsedilen diğer yöntemler gibi ilave donanımlara ihtiyacı yoktur. Çünkü günümüzde üretilen IEEE 802.15.4 teknolojisini kullanan kablosuz düğümlerde standart olarak AİG ara yüzü bulunmaktadır (Blumenthal vd, 2007; Benkič vd., 2008; Adewumi vd., 2013). İlave donanım gerektirmemesi diğer mesafe-bağımlı yaklaşımlara göre maliyet uygunluğu da sunmaktadır.

AİG tabanlı ölçümler ortam karakteristiğinden ve gürültüden oldukça fazla etkilenmektedir. Üretilen IEEE 802.15.4 standardı haberleşme birimlerinin birçoğunun kataloğunda AİG doğruluğu verilmektedir. Örneğin Texas Instruments (TI) firmasının ürettiği CC2538'in kataloğunda mutlak kalibre edilmemiş RSSI/CCA doğruluğu $\pm 4\text{dB}$ olarak gösterilmiştir (URL-4, 2018). Örneğin; verici gücünün 20.1dBm, yol zayıflatma etkisinin $\delta=3$ ve 1m yol kaybının 42.95dBm olduğu deneysel ortam için (bkz. Log-Normal

Gölgeleme Modeli) ± 4 dB doğruluk 25m mesafe için yaklaşık ± 8 m gibi bir büyük sayılabilecek hata anlamına gelmektedir. Bu bakımdan günümüzde yapılan çoğu AİG tabanlı mesafe ölçüm çalışmalarında bozucu etkileri azaltacak yöntemler önerilmektedir.

AİG tabanlı mesafe ölçümü konusunda yapılan çalışmalar genelde üç temel alanda değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi yayılım modeli değişkenlerinin deneysel ya da devimsel (dynamic) olarak kestirimi ile mesafe tahminidir (Adewumi vd., 2013; Zheng vd., 2011; Botta ve Simek, 2013; Xu vd., 2010).

Adewumi vd (2013)'nin yaptıkları çalışmada yayılım değişkenlerinin tahmini için bir ölçümleme (calibration) denklemi deneysel olarak elde edilerek değişkenler tahmin edilmektedir. (Zheng vd., 2011; Botta ve Simek, 2013) yaptıkları çalışmada konumu bilinen düğümler arasında yapılan haberleşme ile yayılım değişkenleri tahmin edilmiş ve mesafe kestirilmiştir. Xu vd., (2010) yaptıkları çalışmada En küçük kareler (Least Squares, LS) metodu kullanılarak Log-normal gölgeleme modeli değişkenlerinin devimsel kestirimi yapılmıştır.

İkinci tür çalışmalar; AİG-mesafe bilgisi haritalama, veri tabanı ile hata azaltma yönünde yapılan çalışmalardır (Wang vd., 2011). Bu yapılan çalışmada Gauss dağılımına sahip olan AİG değerlerinden bir veri tabanı oluşturulmuş ve mesafe tahmini gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü tür çalışmalar ise AİG ile mesafe tahmini; çoklu anten ve parçacık süzgeci (particle-filtre) kullanımına ilişkin çalışmalar olarak değerlendirilebilir (Svečko vd., 2015).

Yapılan deneysel çalışmalar için önerilen senaryolarda konumu bilinen düğümler rastgele dağılımlı (Goldoni vd., 2010; Adewumi vd., 2013), dikdörtgen ya da kare bir alanda düzgün aralıklarla dağıtılmış (Zheng vd., 2011) konumu bilinen düğümler aracılığıyla mesafe ölçümü yapılmıştır.

1.4.1. AİG Tabanlı Yayılım Modelleri

Kablosuz Algılayıcı Ağları için yapılan çalışmalarda önerilen üç adet yayılım modeli mevcuttur. Bunlar serbest uzay (Willis ve Kikkert, 2005), 2-ışınlı zemin yansıtma (Nešković vd., 2000) ve log-normal gölgeleme modelleridir (Seidel ve Rappaport, 1992; Molisch vd., 2004). Serbest uzay ve 2-ışınlı zemin yansıtma modelleri belirli şartlar altında uygulanabilir. Bina içi ve dışı uygulamalarda iletilen işaret kırınım, saçılma, yansıma ve zayıflama gibi etkilerin altındadır. Dolayısıyla Log-normal gölgeleme modeli bina içi ve dışı uygulamalar

için uygun ve tercih edilen bir propagasyon modeli olmaktadır (Adewumi vd., 2013; Xu vd., 2010; Patwari vd., 2003).

1.4.1.1. Serbest Uzay Yayılım Modeli

Serbest uzay, alıcı anten ile verici anten arasında herhangi bir engelin olmadığı yani direk görüşün (Line of Sight) olduğu uygun uzayı tanımlar. Verici anten (yönsemez) etrafında düzgün dağılımlı küresel güç ışınımı oluşur. Kürenin herhangi bir noktasındaki güç yoğunluğu anten ile aradaki mesafe arttıkça ters orantılı olarak azalır. Bir d mesafesinde alınan işaret gücü P_R (1.15)'te gösterilmiştir.

$$P_R = \frac{P_T \lambda^2 G_T G_R}{16\pi^2 d^2} \quad (1.15)$$

Burada P_T verici anten gücü [dBm], G_T ve G_R sırasıyla verici ve alıcı anten kazançları [dBi], λ işaret dalgaboyu [m] ve d alıcı verici anten arasındaki mesafedir [m]. Fakat kablosuz iletişimde haberleşme ortamında çeşitli engeller ve bozucu etkiler bulunmaktadır (Willis ve Kikkert, 2005; Xu vd., 2010).

1.4.1.2. İki-Işınlı Zemin Yansıtma Modeli

Kablosuz haberleşmede engellerin var olduğu bir ortam düşünüldüğünde verici antenden gönderilen işaret, kendi dalgaboyundan büyük bir engele çarptığında yansıma meydana gelir. Alıcıya, doğrudan gelen işaret ve yansıyarak gelen işaret ulaşır. Yansıyarak gelen işarete belli bir zaman ve faz gecikmesi meydana gelir. Alıcıya ulaşan işarete ise çoklu yol işaretlerinden dolayı zayıflama veya artma oluşabilir. İki-ışınlı zemin yansıtma modelinde AİG denklem (1.16)'daki gibi hesaplanır.

$$P_R = P_T G_T G_R \frac{h_T^2 h_R^2}{d^4} \quad (1.16)$$

Burada h_T ve h_R sırasıyla verici ve anten yükseklikleridir [m]. İki-ışınlı zemin yansıtma modeli; iletim mesafesi d 'nin birkaç km den uzak olduğu ve verici ve alıcı anten

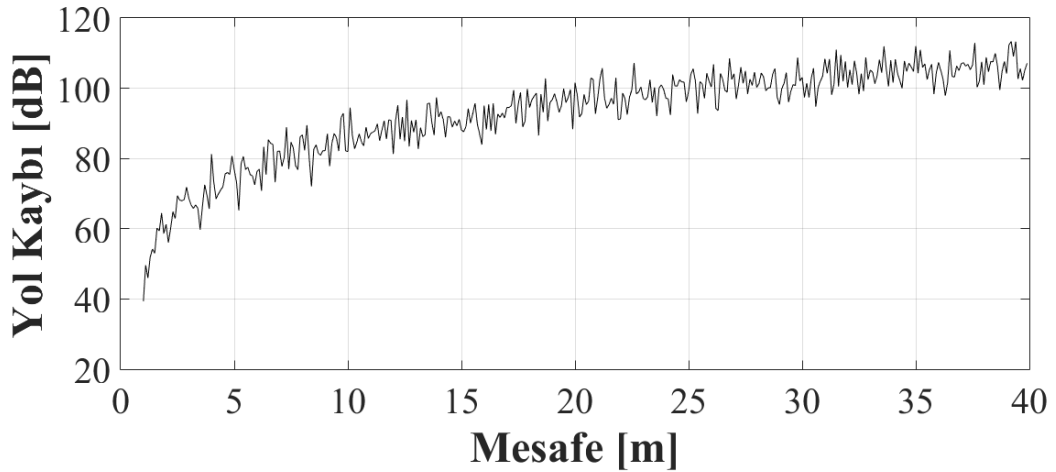
uzunluklarının 50m den uzun olduğu durumlar için daha doğru sonuçlar verir (Nešković vd., 2000; Adewumi vd., 2013; Xu vd., 2010)

1.4.1.3. Log-Normal Gölgeleme Modeli

AİG tabanlı bina içi ve dışı konumlandırma uygulamalarında sıkça kullanılan ve KAA'lar için en uygun yayılım modeli; Log-normal gölgeleme modelidir (Adewumi vd., 2013; Xu vd., 2010). Log-normal gölgeleme modeli ya da diğer ismiyle log-uzaklık yol kaybı modeli matematiksel olarak (1.17)'deki gibi ifade edilir.

$$P_L(d) = \overline{P_L}(d_0) + 10\delta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + N_\sigma \quad (1.17)$$

Denklemden; $P_L(d)$, d mesafesinde meydana gelen yol kaybının dB cinsinden değeri, N_σ , ortalama değeri sıfır ve standart sapması $0.83 \sim 6$ arasında ortamın karakteristiğine göre değişkenlik gösteren Gauss gürültüsü, δ değeri $1.5 \sim 5$ arasında değişebilen yol zayıflatma etkeni, d_0 dayanak (reference) mesafeyi (genellikle $1m$). $\overline{P_L}(d_0)$ ise dayanak mesafede meydana gelen yol kaybının dB cinsinden değeridir (Molisch vd., 2004).



Şekil 1.15. Karla kaplı açık alanda ölçülen yol kaybı ve mesafe arasındaki ilişki

Molisch vd., (2004)'de yaptıkları çalışmada karla kaplı açık bir alanda yapılan ölçümlerde $\delta = 1.58$, $N_\sigma \sim N(0, 3.96)$ ve $\overline{P}_L(d_0) = 48.96dB$ tespit edilmiştir. Verilen bu değerlere göre yol kaybı-mesafe arasındaki ilişki Şekil 1.15'te gösterilmektedir.

1.4.2. Geleneksel AİG Tahmin Süreci

Geleneksel AİG-tabanlı mesafe ölçümünde denklem (1.17)'den faydalanılarak d mesafesi ölçülmeye çalışılır. Fakat δ , d_0 ve $\overline{P}_L(d_0)$ 'ın bilinmesi gerekir. Öncelikle d_0 referans mesafesi belirlenir ve $\overline{P}_L(d_0)$ ölçülür (Bekçibaşı ve Tenruh, 2014; Singh vd., 2015; Dang vd., 2016). Yol zayıflatma etkeni δ , ortamın fiziksel durumuna göre değişen değerler alır. Bilinen bir d_i mesafesinden alınan işaret gücü (1.18) numaralı denklemde yerine konular ve (1.19)'daki gibi δ elde edilir (Singh vd., 2015; Oguejiofor vd., 2013).

$$AIG[dBm] = P_T - \overline{P}_L(d_0) - 10\delta \log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \quad (1.18)$$

$$\delta = \frac{(P_T - \overline{P}_L(d_0) - AIG)}{10 \log\left(\frac{d_i}{d_0}\right)} \quad (1.19)$$

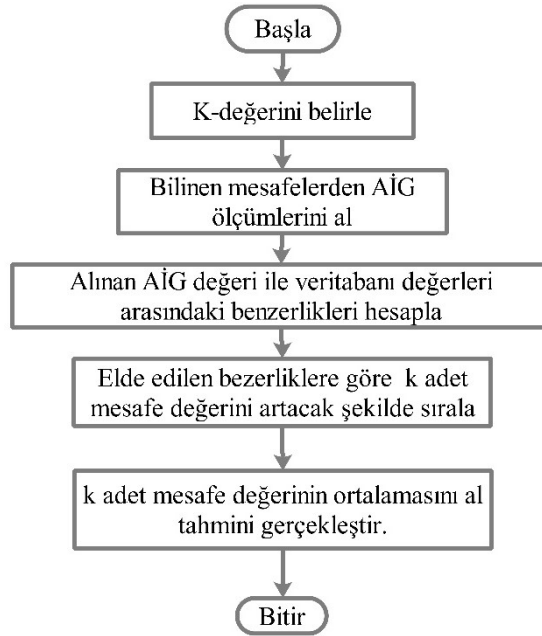
Yukarıdaki denklemlerde P_T verici gücünü ifade etmektedir. Elde edilen yol zayıflatma etkeni δ , herhangi bir d mesafesinde yapılan ölçümle edinilen AİG değeri, $\overline{P}_L(d_0)$, verici gücü P_T ve d_0 (1.20)'de yerine yazılarak d mesafe tahmini gerçekleştirilir.

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{(P_T - \overline{P}_L(d_0) - AIG)}{10\delta}} \quad (1.20)$$

Ancak elde edilen d mesafe değeri yapılan ölçümlerdeki gürültü sebebi ile hatalıdır. Var olan gürültünün çeşitli yöntemlerle bastırılarak daha doğru mesafe ve konum tahmini gerçekleştirmek bu tez çalışmasının en önemli amaçlarından birini oluşturmaktadır.

1.4.3. K-En Yakın Komşuluk (K-Nearest Neighborhood) Algoritması

Geleneksel tahmin sürecinde gerçekleşen tahminler çok yollu yayılım ve gürültünün etkisi altındadır. Xiao vd., (2015); He ve Chan, (2016) yaptıkları çalışmalarda AİG tabanlı konum tahmini için parmak izi yaklaşımının yüksek doğruluğa sahip olduğunu bildirmişlerdir. K-en yakın komşuluk (K-NN) algoritması ise parmak izi tabanlı tahmin yaklaşımında yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır (Li vd., 2016). K-NN algoritması bilinen mesafelerden bir veritabanına kaydedilen AİG ölçümlerini alır. Daha sonra elde edilen işaret gücü ve veri tabanında var olan AİG değerleri arasındaki benzerlikler hesaplanır. Bir sonraki adımda K-NN algoritması, elde edilen benzerliğe göre artacak şekilde uzaklık değerlerini sıralar. Sıralanan ilk k adet değerlerin ortalaması alınarak tahmin gerçekleştirilir. K-NN algoritmasının geliştirilmiş sürümü daha az mesafe hatası ile tahmin gerçekleştirirse de çok sayıda ölçüm ya da uzun ölçüm aralıkları gerektirmektedir(Li vd., 2016). Bilinen mesafelerden çok sayıda AİG değeri edinmek, dinamik olarak değişen ortamlarda parmak izi yaklaşımının uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Luo ve Hsiao, 2019). K-NN algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 1.16'da gösterilmektedir.



Şekil 1.16. K-NN algoritmasına ait akış diyagramı

1.5. Cramér-Rao Alt Sınırı

Cramér-Rao alt sınırı (CRAS) konumlandırma sistemleri için yaygın olarak kullanılan, kutupsuz (unbiased) tahmin edicinin kuramsal olarak ulaşabileceği en küçük varyans değerini ifade eden en etkin bir başarımlı ölçütüdür (Zhao vd., 2014; Closas vd., 2009). Kuramsal olarak denklem (1.17)'de verilen Log-normal yayılım modelini temel olan AİG tabanlı konumlandırma sistemleri için CRAS Mazuelas vd., (2009) tarafından tanımlanmıştır. Mazuelas vd., (2009) CRAS'ı belirlerken birtakım kabullerde bulunmuşlardır. Kabullerden birincisi Log-normal yayılım modelini temel almasıdır. İkinci kabul, P_T ve $\overline{P}_L(d_0)$ 'i sabit olduğudur. $\overline{P}_L(d_0)$ aynı ortamda yapılan ölçümlerle elde edilebilir. Son kabulde, her ne kadar δ , alıcı verici arasındaki iletim ortamına yüksek derecede bağımlıysa da kısa bir zaman aralığında değişmediği kabul edilmiştir.

Bu kabuller ışığında: $AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)$, $t_N - t_1$ gibi kanalın değişmediği kabul edilen çok kısa bir zaman aralığında ζ_i çapa düğümünden elde edilen AİG değerleri ise; δ_i de belli bir değere sahiptir. Öyleyse;

$$AIG_i(t_j) - \left[\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}\left(\frac{d_i(t_j)}{d_0}\right) \right] \rightarrow N(0, \sigma_i), j = 1, \dots, N \quad (1.21)$$

Burada σ_i konumu bilinmeyen düğüm ile ζ_i çapa düğümü arasındaki sistem gürültüsünün standart sapması ve N konumu bilinmeyen düğüm ile ζ_i çapa düğümü arasındaki AİG ölçüm sayısıdır. ζ_i çapa düğümünden t_j anında gönderdiği işaretin konumu bilinmeyen düğümde oluşturduğu $AIG(t_j)$ Gauss rastgele değişkeni olarak (1.22)'deki gibi örneklenebilir.

$$AIG_i(t_j) \rightarrow N\left(\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}\left(\frac{d_i(t_j)}{d_0}\right), \sigma_i(t_j)\right) \quad (1.22)$$

$AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)$ bağımsız rastgele değişkenler olmak üzere konumu bilinmeyen düğüm ile ζ_i çapa düğümü arasındaki d mesafesine göre koşullandırılmış ortak $(AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N))$ olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) denklem (1.23)'deki gibidir.

$$f_d(AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)) \propto \prod_{j=1}^N \frac{1}{\sigma_i(t_j)} e^{-\left(\frac{(AIG_i(t_j) - (\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}(\frac{d}{d_0})))^2}{2\sigma_i(t_j)^2} \right)} \quad (1.23)$$

Maksimumu elde etmek için fonksiyonun doğal logaritmasının türevi alındığında (1.24) elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln(f_d(AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)))}{\partial d} &= \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{(AIG_i(t_j) - (\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}(\frac{d}{d_0}))) \cdot 10\delta_i \log_{10} e}{\sigma_i(t_j)^2 \cdot d} \end{aligned} \quad (1.24)$$

$t_N - t_1$ gibi kısa bir zaman aralığı konumu bilinmeyen düğüm ile ζ_i çapa düğümü arasındaki mesafenin değişmediği varsayılabilir. O zaman $\forall j \neq k$ için $\sigma_i = \sigma_i(t_j) = \sigma_i(t_k)$ kabulü mantıklı hale gelir. Bu nedenle;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln(f_d(AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)))}{\partial d} &= 0 \\ \Leftrightarrow \sum_{j=1}^N \left[AIG_i(t_j) - (\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}(\frac{d}{d_0})) \right] &= 0 \\ \Leftrightarrow \frac{\sum_{j=1}^N AIG_i(t_j)}{N} &= \overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10}(\frac{d}{d_0}) \end{aligned} \quad (1.25)$$

Böylece azami olabilirlik tahmini (1.26)'daki gibi olur.

$$\hat{d} = 10^{\frac{(\overline{P}_L(d_0) - \overline{AIG}_i)}{10\delta_i}} \quad (1.26)$$

Denklem (1.26)'da gösterilen \overline{AIG}_i konumu bilinmeyen düğüm ile \check{C}_i çapa düğümü arasında alınan N adet AİG ölçümünün ortalama değeridir. Bu durumda Fisher bilgisi I_d (1.27)'deki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
I_d &= E_d \left[\frac{\partial \ln(f_d(AIG_i(t_1), \dots, AIG_i(t_N)))}{\partial d} \right]^2 \\
&= \frac{(10\delta_i \log_{10} e)^2}{\sigma_i^4 d^2} E_d \left[\sum_{j=1}^N AIG_i(t_j) - (\overline{P}_L(d_0) - 10\delta_i \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right)) \right]^2 \\
&= \left(\frac{10\delta_i \log_{10} e}{\sigma_i^2 d} \right) N \sigma_i^2 = \left(\frac{10\delta_i \log_{10} e}{\sigma_i d} \right)^2 N
\end{aligned} \tag{1.27}$$

Buradan $\text{var}(\hat{d}) \geq 1/I_d$ olduğundan, N adet AİG ölçümü için elde edilen CRAS;

$$\sqrt{\text{var}(\hat{d})} \geq \frac{\sigma_i d}{\sqrt{N} 10\delta_i \log_{10}(e)} \tag{1.28}$$

Olarak elde edilir.

1.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Kennedy ve Eberhart (1995) sürü halinde yaşayan canlılardan esinlendikleri meta-sezgisel bir en iyileştirme algoritmasını önermişlerdir. Sürü halinde yaşayan canlılar su veya besin kaynaklarını sürü bireylerinin rastgele hareketleri sonucu daha kolay buldukları anlaşılmıştır. PSO'da canlılar arasındaki sosyal haberleşme göz önünde bulundurulur. Her bir sürü elemanına parçacık adı verilir. Bir parçacık bir önceki tecrübesinden yararlanarak konumunu sürü için en iyi duruma ayarlar ve böylece kaynağa konum değişiklikleri ile ilerler. Parçacığın bir sonraki konumunu elde etmek için uygulanacak kurallar (1.29) ve (1.30)'daki gibidir.

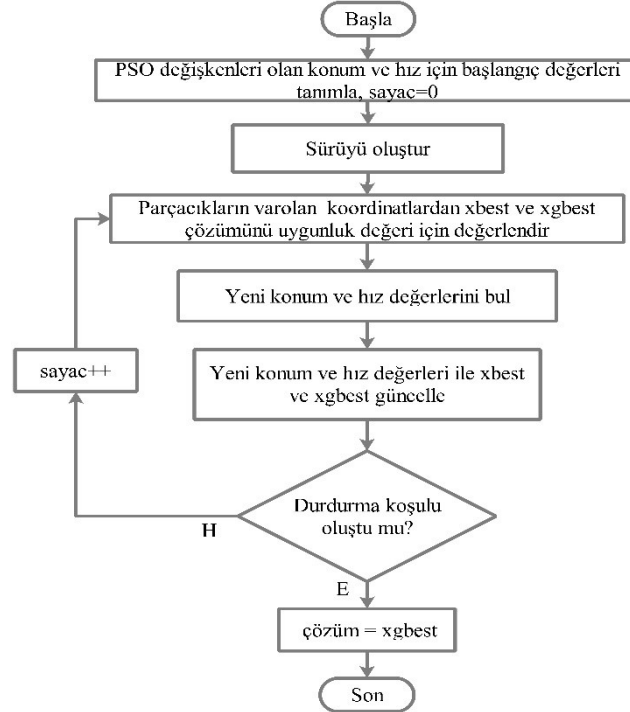
$$\mathbf{v}_{i,j}^{k+1} = \mathbf{v}_{i,j}^k + \varepsilon_1 r_1 (\mathbf{x}_{best_{i,j}}^k - \mathbf{x}_{i,j}^k) + \varepsilon_2 r_2 (\mathbf{x}_{gbest_j}^k - \mathbf{x}_{i,j}^k) \tag{1.29}$$

$$\mathbf{x}_{i,j}^{k+1} = \mathbf{x}_{i,j}^k + \mathbf{v}_{i,j}^{k+1} \tag{1.30}$$

Burada $x_{i,j}^k$ ve $v_{i,j}^k$ sırasıyla k . iterasyonda i . parçacığın j . elemanını ifade eden konum ve hız vektörleridir. ε_1 ve ε_2 , parçacığın kendisine (biliş) ve sürüye (sosyal davranış) olan güvenini temsil eden iki parametredir. r_1 ve r_2 (0, 1) aralığında normal dağılımlı rastgele değişkenleri, $xbest_i$ i . parçacığın o ana kadar elde etmiş olduğu en iyi değeri, $xgbest$ bütün sürüde o ana kadar elde edilmiş olan en iyi değeri ifade eder.

Yukarıda bahsedilen formülasyonu her ne kadar PSO yapısının temelini oluştursa da değişikliğe uğramıştır. Parçacıkların arama uzayının dışına çıkmasını önlemek için bir V_{max} en yüksek hız değişkeni tanımlanmıştır (Eberhart vd., 1996). (Shi ve Eberhart, 1998) yaptıkları çalışmada (1.29)'da verilen denklemde parçacığın önceki hızının (denklemin ilk terimi) küresel ve yerel arama dengesi üzerinde önemli bir rolü olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yine aynı çalışmada (1.31)'de gösterilen atalet ağırlığının (w) pozitif bir sabit veya zamanın pozitif doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonu olabileceğini belirtmiştir.

$$v_{i,j}^{k+1} = w * v_{i,j}^k + \varepsilon_1 r_1 (xbest_{i,j}^k - x_{i,j}^k) + \varepsilon_2 r_2 (xgbest_j^k - x_{i,j}^k) \quad (1.31)$$



Şekil 1.17. PSO akış diyagramı

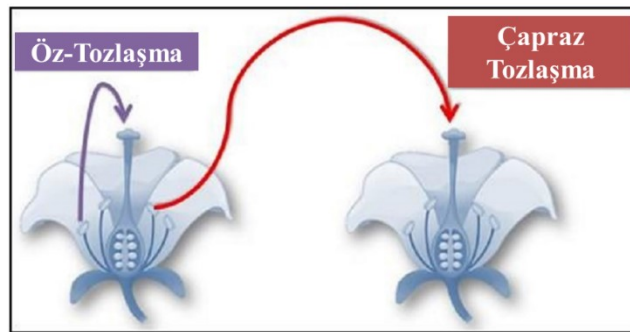
Eberhart ve Shi, (2000) yaptığı çalışmada atalet ağırlığının koşma boyunca 0.9 dan 0.4'e doğrusal azalışının birçok uygulama için başarımı arttırdığını göstermiştir. Yapılan çalışmalar ve edinilen tecrübeler nerdeyse bütün uygulamalar için ε_1 ve ε_2 tamsayı 2 değerini aldığı diğer taraftan sürüdeki parçacık sayısının yine çoğu uygulama için 2-50 arasında olduğu yönündedir (Eberhart ve Shi, 2001). Bu bilgiler ışığında PSO'ya ait akış diyagramı Şekil 1.17'de gösterilmiştir.

PSO ve bir sonraki kısımda anlatılan Çiçek Tozlaşması Algoritması tez çalışması için önerilen sistemde gürültüyü bastırmak için kullanılan sayısal süzgeç katsayılarının en uygunlaştırılarak tespit edilmesi için kullanılmıştır.

1.7. Çiçek Tozlaşması Algoritması (ÇTA)

Çiçek tozlaşması algoritması; PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), karınca kolonisi, arı, yarasa vb. sezgisel algoritmalar sınıfında değerlendirilebilecek sezgisel bir en iyileştirme algoritmasıdır.

Doğada çiçek tozlaşma süreci temel olarak iki farklı yolla gerçekleşmektedir. Bunlar biyotik ve abiyotik yolla tozlaşmadır. Biyotik yolla tozlaşma doğadaki tozlaşmayı sağlayan; arı, kelebek, yarasa, kuş vb. canlılarla gerçekleştirilen tozlaşmadır. Tozlaşma sürecinde biyotik yolla tozlaşma % 90'lık bir oranla gerçekleşir. Rüzgâr ve su yoluyla tozlaşma ise abiyotik yolla tozlaşmayı oluşturur ve tozlaşma sürecindeki geriye kalan % 10'luk payı oluşturur. Tozlaştırıcı canlılar uzun mesafeler kat ederek istedikleri besin kaynaklarına (bitkilere) ulaşırlar. Bu yolla, diğer türlerin üzerinden geçerek uzak mesafedeki aynı türler arasında tozlaşma olasılığını arttırlar (Yang, 2012).



Şekil 1.18. Tozlaşma tipleri

Tozlaşma öz-tozlaşma ve çapraz tozlaşma olarak iki tipte gerçekleşebilir. Bu tozlaşma tipleri Şekil 1.18.'de gösterilmiştir. Öz-tozlaşma aynı bitkinin kendisi ile gerçekleştirdiği tozlaşmayı tanımlarken, çapraz tozlaşma aynı türden başka bitkilerle gerçekleştirilen tozlaşma tipini tanımlar. Dolayısıyla tozlaştırıcı canlılar çapraz tozlaşma tipinde oldukça etkilidir. Kuş, yaras ve arı gibi tozlaştırıcı canlılar, Lévy uçuş davranışı ve uçuş adımı olarak ise Lévy dağılımı gösterirler (Pavlyukevich, 2007). ÇTA'ya ait kurallar aşağıda sıralandığı gibidir;

Kural-1: Biyotik çapraz-tozlaşma küresel tozlaşma süreci olarak kabul edilir. Polen taşıyan tozlaştırıcı canlılar Lévy uçuş davranışı gösterirler.

Kural-2: Abiyotik çapraz-tozlaşma yerel tozlaşma süreci olarak kabul edilir.

Kural-3: Çiçek tozlaşma bağıllığı, benzer iki türün birbiriyle tozlaşma olasılığıyla orantılıdır.

Kural-4: Küresel ve yerel tozlaşma olasılığı $p_a \in [0, 1]$ ile tanımlı bir anahtarlama olasılığı (p_a) ile denetlenir.

Fiziksel yakınlık, rüzgâr ve yerel tozlaşma gibi etkenler küresel tozlaşmanın göz önüne alınacak değişkenleri olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında anahtarlama olasılığı da dikkate alınması gereken diğer bir değişkendir. Algoritmada anahtarlama olasılığı denetlenerek diğer etkenler değiştirilebilir. Küresel tozlaşma aşamasında, en uygun tozlaşma uzak mesafelere uçabilen tozlaştırıcı canlılar ile gerçekleştirilir. En uygun tozlaşma değişkeni g_b olmak üzere çiçek tozlaşma bağıllığı matematiksel olarak (1.32)'deki gibi gösterilebilir.

$$\phi_i^{t+1} = \phi_i^t + L(\phi_i^t - g_b) \quad (1.32)$$

Burada ϕ_i^t , t . iterasyondaki i . çözüm vektörü, g_b t . iterasyondaki en iyi çözüm, L , tozlaşma gücünü ifade eder ve Lévy Flight ile karakterize edilen adım büyüklüğüdür (Pavlyukevich, 2007). L , Lévy dağılımı (1.33)'deki denklem ile elde edilebilir.

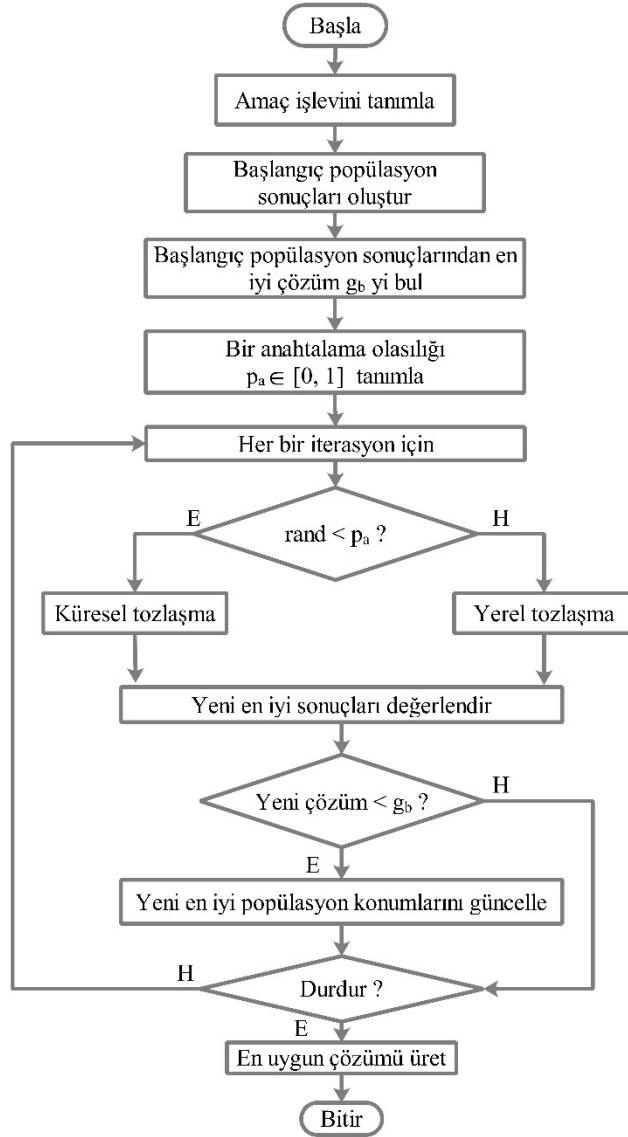
$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda_L) \sin(\pi \lambda_L / 2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda_L}}, (s \ll 0) \quad (1.33)$$

Burada $\Gamma(\lambda_L)$, $s > 0$ gibi büyük adımlar için geçerli olan standart gamma işlevidir. $\lambda_L = 1.5$ olarak seçilmesi tavsiye edilen bir katsayıdır (Yang, 2012).

Yerel tozlaşma için çiçek tozlaşma bağıllığı matematiksel olarak (1.34) ile gösterilmiştir.

$$\phi_i^{t+1} = \phi_i^t + \epsilon (\phi_j^t - \phi_k^t) \quad (1.34)$$

Burada ϕ_j^t ve ϕ_k^t aynı türden farklı çiçeklerdeki polenleri tanımlar. ϕ_j^t ve ϕ_k^t aynı türden ya da seçilmiş aynı popülasyondan geliyorsa, $\epsilon \in [0, 1]$ düzgün dağılımı ile tanımlanan bir rastgele yürüyüş karakteristiği gösterir (Yang, 2012). Bu tanımlama ve bilgiler ışığında ÇTA için oluşturulan genel akış diyagramı Şekil 1.19'da gösterilmiştir.



Şekil 1.19. ÇTA akış diyagramı (Alyasseri vd., 2018)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Giriş

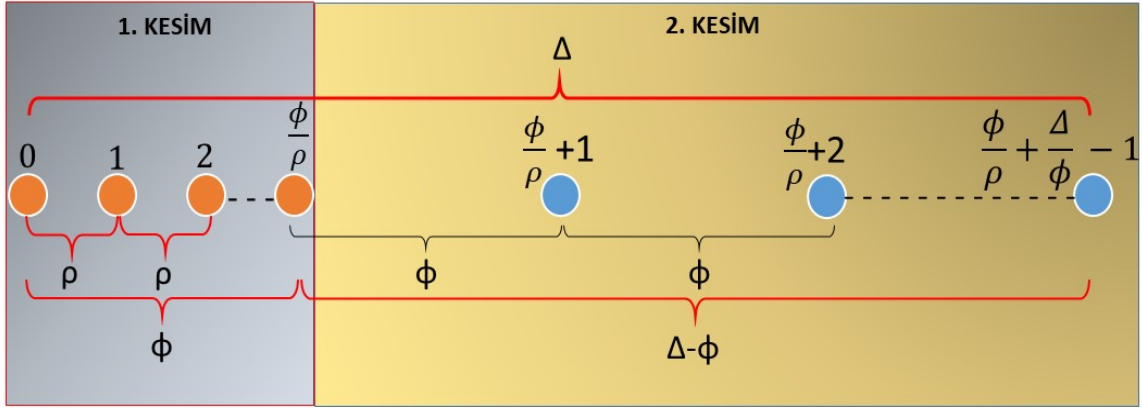
Bu tez çalışmasında, AUS'ler ve OTT'ler için AİG tabanlı özgün, iyileştirilmiş mesafe tahmin yaklaşımları önerilmiş ve yapılan çalışmalar ayrı başlıklar altında irdelenmiştir. Böylelikle KKS ve FKSS'lerin yetersiz kaldığı yer ve koşullarda bu teknolojilere yardımcı bir yaklaşım ortaya konulmuştur.

Yapılan özgün çalışmaların ilk kısmını; belirli bir yol boyunca hareket eden konumu bilinmeyen (non-anchor) araç ile konumu bilinen çapa (anchor) düğümler için bir fiziksel topolojinin önerilmesi, ikinci kısmını; düğümlerin birbirleriyle yapacağı haberleşme ile bir AİG-Mesafe veri tabanının elde edilmesi oluşturmaktadır. Tasarlanan fiziksel ağ topolojisi ve haberleşme modeli yapılan diğer iyileştirme çalışmalarında bir temel oluşturmuştur.

Yapılan çalışmaların üçüncü kısmını ise araç ya da otonom araç içerisinde elde edilen AİG-Mesafe veritabanına göre mesafe iyileştirme yaklaşımları ve çalışmaları oluşturmaktadır.

2.2. Fiziksel Ağ Topolojisi

Oluşturulan ağ topolojisinde; aracın sabit hızlı düzgün doğrusal hareket ettiği varsayılmış ve çapa düğümler yol kenarına bir hat boyunca hesaplanan belli aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Çapa düğümlerden bir tanesi yetkilendirilmiş ve referans çapa düğüm olarak isimlendirilmiştir. Referans çapa düğüm; yol kenarındaki diğer çapa düğümlerin kendisi ve birbirleri arasında bilinen mesafeler için AİG ölçüm güncellemesi yapmasını başlatır, belirli bir süre sonra güncellemeyi sonlandırıp çapa düğümlerin uyku durumuna geçmesi emrini verir. Referans çapa düğümün, belli bir Δ mesafesi için ρ aralıklarla düşük gürültülü AİG-Mesafe veri tabanını elde edip bunları araca göndermesi amaçlanmıştır. Çapa düğümlerin bahsedilen amaçlar doğrultusunda hat boyunca yerleşimine ilişkin önerilen topoloji Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



- 1. Kesime ait olan düğümler
- 2. Kesime ait olan düğümler

Şekil 2.1. Yol kenarı düğümler için önerilen fiziksel topoloji

Çapa düğümler 1. Kesim’de ρ aralıklarla 2. Kesim’de ise ϕ aralıklarla yerleştirilmiştir. Düğümlerin düz bir hat boyunca sabit ve ρ aralıklarla yerleştirilmesi de mümkündür fakat bu durumda ρ ’nun küçük değerleri için çok sayıda düğüm kullanmak gerekecektir. Örneğin $\Delta=25\text{m}$ hat boyunca $\rho=1\text{m}$ çözünürlükte AİG-Mesafe ölçümleri elde edebilmek için 1m aralıkla yerleştirilmiş 26 adet düğüm kullanmak gerekecektir. Yani 25m AİG bilgisi 1. ve 26. düğümün yapacağı haberleşme ile elde edilebilecektir. Fakat Şekil 2.1’de tasarlanan maliyet etkin bir fiziksel topoloji ile kullanılacak düğüm sayısı ve dolayısı ile maliyette azaltılmaktadır.

Önerilen maliyet etkin fiziksel topolojiyi şu şekilde açıklamak mümkündür; 1. Kesim’de aralarında ρ kadar mesafe olan $(\phi / \rho + 1)$ adet düğüm bulunmaktadır. 2. Kesim’de ise ϕ aralıklarla yerleştirilmiş $(\Delta / \phi - 1)$ adet düğümden oluşmaktadır. Toplam düğüm sayısı Δ ve ρ sabit olmak üzere ϕ ’nin bir fonksiyonu $f(\phi)$ olacak şekilde (2.1)’deki gibi gösterilebilir.

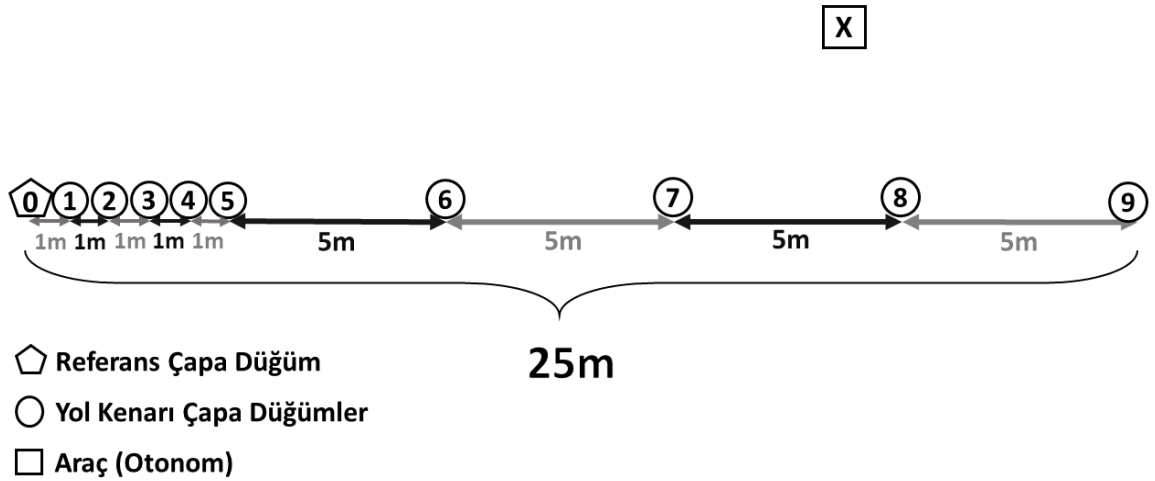
$$f(\phi) = \frac{\phi}{\rho} + \frac{\Delta}{\phi} \quad (2.1)$$

Toplam düğüm sayısı fonksiyonu $f(\phi)$ ’nin türevi 0’a eşitlenerek $\left(\frac{d}{d\phi} f(\phi) = 0\right)$ toplam düğüm sayısı en aza indirilebilir. Gerekli işlem yapıldığında en az düğüm sayısı için olması

gereken ϕ değeri $\sqrt{\Delta\rho}$ olarak bulunur. Bu değer denklem (2.1)'de yerine konulursa minimum düğüm sayısı f_{min} (2.2)'deki gibi bulunur.

$$f_{min} = 2\sqrt{\frac{\Delta}{\rho}} \quad (2.2)$$

Örneğin $\Delta=25m$ olan bir mesafe için $\rho=1m$ çözünürlüğe sahip AİG ölçümleri elde edebilmek için (2.2) uygulanırsa önerilen topolojide 10 adet düğüme ihtiyaç vardır. Görüldüğü gibi 1m aralıklı 26 düğüm kullanmak yerine 10 adet düğüm kullanarak aynı iş yerine getirilmektedir. Böylelikle 16 adet düğüm tasarruf edilebilir. Verilen örnek için elde edilen değerler ile oluşturulan fiziksel ağ topolojisi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Önerilen fiziksel düğüm topolojisi için örnek bir dizilim

Şekil 2.2'deki topoloji ile elde edilecek AİG ölçümlerinin $\rho=1m$ çözünürlükte mesafeler için, hangi düğüm çiftlerinin haberleşmesi ile oluşacağı Tablo 2.1.'de gösterilmektedir. Tablo 2.1.'de $AİG_i$, ($i = 0, \dots, 24$) olmak üzere $(i+1)\rho$ m uzaklıktan alınan AİG bilgisinin hangi yol kenarı çapa düğümlerden alındığını gösterir. Örneğin $AİG_{18}$ 19m AİG bilgisi sadece Şekil 2.19.'da görünen 1 ve 8 numaralı düğümlerden elde edilirken, $AİG_{19}$ yani 20m AİG bilgisi $\{0, 8\}$ ve $\{5, 9\}$ çapa düğüm çiftlerinden elde edilmektedir. Görüldüğü gibi her mesafe değeri için en az bir ölçüm, diğer bazı mesafe değerleri için birden çok ölçüm alınarak elde edilmektedir.

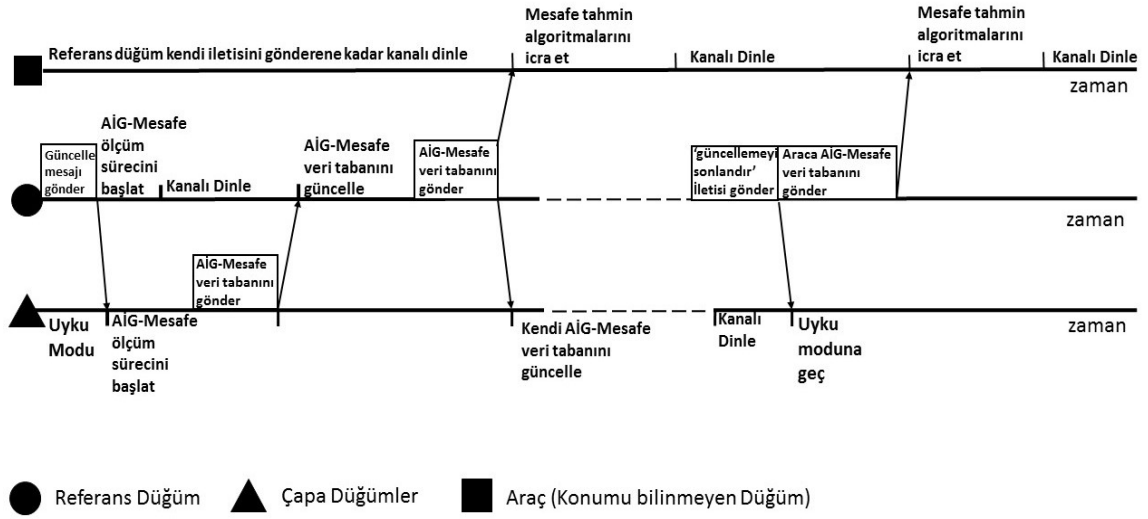
Tablo 2.1. 1-25m arası 1m aralıklarla AİG-Mesafe veri tabanı oluşturmak için haberleşmesi gereken düğüm çiftleri

$AİG_i$	Çapa düğüm ölçüm çiftleri	$AİG_i$	Çapa düğüm ölçüm çiftleri
$AİG_0$	{0, 1}, {1, 2}, {2, 3}, {3, 4}, {4, 5}	$AİG_{13}$	{1, 7}
$AİG_1$	{0, 2}, {1, 3}, {2, 4}, {3, 5}	$AİG_{14}$	{0, 7}, {5, 8}, {6, 9}
$AİG_2$	{0, 3}, {1, 4}, {2, 5}	$AİG_{14}$	{4, 8}
$AİG_3$	{0, 4}, {1, 5}	$AİG_{16}$	{3, 8}
$AİG_4$	{0, 5}, {5, 6}, {6, 7}, {7, 8}, {8, 9}	$AİG_{17}$	{2, 8}
$AİG_5$	{4, 6}	$AİG_{18}$	{1, 8}
$AİG_6$	{3, 6}	$AİG_{19}$	{0, 8}, {5, 9}
$AİG_7$	{2, 6}	$AİG_{20}$	{4, 9}
$AİG_8$	{1, 6}	$AİG_{21}$	{3, 9}
$AİG_9$	{0, 6}, {5, 7}, {6, 8}, {7, 9}	$AİG_{22}$	{2, 9}
$AİG_{10}$	{4, 7}	$AİG_{23}$	{1, 9}
$AİG_{11}$	{3, 7}	$AİG_{24}$	{0, 9}
$AİG_{12}$	{2, 7}		

2.3. Çapa Düğümler İçin AİG-Mesafe Kayıt Süreci

Yöntemin ikinci kısmını; bilinen uzaklıklardan çapa (anchor) düğümlerce alınan AİG-Mesafe ölçümlerinin gürültüsünün azaltılması ve gürültüsü azaltılmış ölçüm sonuçlarının güncelleme-kayıt süreçleri oluşturmaktadır. Düğümler arası gerçekleşen güncelleme, kayıt ve mesafe tahmin süreçlerine ilişkin akış-zaman çizelgesi Şekil 2.3.'te gösterilmektedir.

Üçgen ile temsil edilen çapa düğümler; konumu bilinen ve referans düğümün emri ile birbiriyle haberleşerek AİG-Mesafe veri tabanı oluşturan düğümleri ifade eder. Daire ile temsil edilen Referans düğüm; AİG-Mesafe veri tabanının oluşturulmasından ve oluşturulan veri tabanının araca gönderilmesinden sorumlu yetkili düğümü ifade eder. Son olarak kare ile temsil edilen araç; mesafe bilgisini AİG-Mesafe veri tabanından ve uyguladığı iyileştirme algoritmalarıyla elde eden düğümü ifade etmektedir.



Şekil 2.3. Düğümlere ait zaman-akış çizelgesi

Belli bir ρ çözünürlükle Δ mesafesine kadar olabilecek tüm mesafeler için AIG ölçümlerini elde edebilmek için n 'inci çapa düğüm diğer çapa düğümlere AIG_n isimli bilgi dizisini (AIG -Mesafe veri tabanı) gönderir. AIG_n dizisi (2.3)'de ifade edilmektedir.

$$\underline{AIG}_n = \left[ID_n \quad x_n \quad y_n \quad aig_{n0} \quad aig_{n1} \quad aig_{n2} \quad \dots \quad aig_{n(M-1)} \right] \quad (2.3)$$

\underline{AIG}_n 'in elemanları n 'inci düğümün; kimliği ID_n , koordinatları x_n , y_n ve ρ aralıklarla elde edilmiş AIG (aig_{ni})'dir. Burada $i = 0, 1, \dots, M-1$ olmak üzere; aig_{ni} , $(i+1)\rho$ kadar uzaklıktan alınan işaret gücünü göstermektedir. \underline{AIG}_n dizisinden n 'inci düğüme ilişkin içerisinde belli mesafelerden alınan işaret güçlerini barındıran aşağıdaki \underline{aig}_n dizisi (2.4)'deki gibi elde edilir.

$$\underline{aig}_n = \left[aig_{n0} \quad aig_{n1} \quad aig_{n2} \quad \dots \quad aig_{n(M-1)} \right] \quad (2.4)$$

\underline{aig}_n dizisinin i 'inci elemanı aig_{ni} , (2.5)'teki mesafe dizisi \underline{d} 'nin i 'inci elemanı d_i 'ye karşılık gelen uzaklıktan alınması gereken işaret gücünü verir.

$$\underline{d} = \left[d_0 \quad d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_{M-1} \right] \quad (2.5)$$

\underline{AIG}_n veri dizisi çapa düğümlerce birbirlerine *broadcast* iletisi olarak gönderilir. Ölçümlerin güncellenmesi ve kaydedilmesi evresinin denetimi referans çapa düğüme aittir. Kimliği diğer çapa düğümler tarafından bilinen referans çapa düğüm güncellemeyi başlat ve bitir emrini çapa düğümlere *broadcast* iletisi olarak gönderir. Böylece güncellemeyi başlatır ve bitirir. Daha sonra diğer çapa düğümler kendi *broadcast* iletilerini gönderirler. $n \neq m$ olmak üzere bir m . çapa düğüm n . çapa düğümden gelen \underline{AIG}_n dizisi yardımı ile bu düğüme olan mesafesini denklem (2.6)'daki gibi belirleyebilir.

$$d_i = \sqrt{\left(x_n - x_m \right)^2 + \left(y_n - y_m \right)^2} \quad (2.6)$$

Elde edilen d_i değeri ve bilinen \underline{d} dizisi yardımı ile i indeks numarası belirlenir ve ölçülen işaret gücü değeri bu indeks numarasına göre kaydedilir. Çapa düğümler \underline{aig}_n dizisinin değerlerini diğer çapa düğümlerden N adet ölçüm aldıktan sonra güncellerler. Herhangi bir n . çapa düğüm bir d_i mesafesine ilişkin j . alınan sinyal gücü değeri ölçümünü yaptığında bu ölçüm sonucunu (2.7)'de gösterilen kayıt matrisine $aig_{n(j,i)}$ değeri olarak kaydederler.

$$\underline{\underline{kayit}}_n = \begin{bmatrix} aig_{n(0,0)} & aig_{n(0,1)} & \dots & aig_{n(0,M-1)} \\ aig_{n(1,0)} & aig_{n(1,1)} & \dots & aig_{n(1,M-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ aig_{n(N-1,0)} & aig_{n(N-1,1)} & \dots & aig_{n(N-1,M-1)} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'de gösterilen matrisin i . sütununa ilişkin tüm değerler ölçüm yoluyla elde edildikten sonra $i = 0, 1, \dots, M-1$ için aig_{ni} değeri (2.8)'deki gibi hesaplanır.

$$aig_{ni} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} aig_{n(j,i)}}{N} \quad (2.8)$$

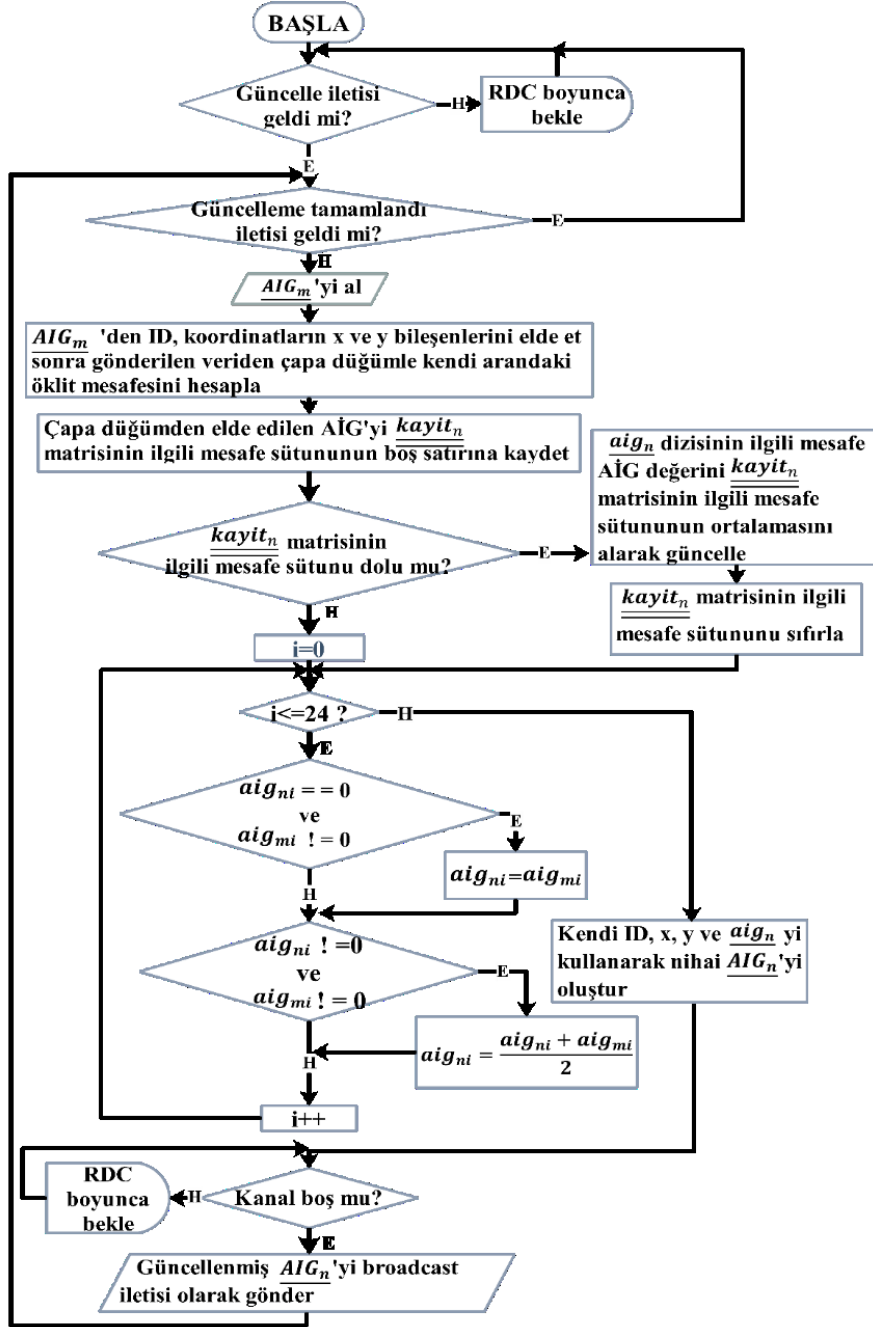
Herhangi bir i sütununa ilişkin tüm değerler ölçülüp aig_{ni} değeri hesaplandıktan sonra bu i sütundaki tüm ölçüm değerleri silinerek bu sütun sıfırlanır. Henüz N adet ölçüm alınmadığından hesaplanamayan aig_{ni} değerlerine karşılık \underline{AIG}_n 'deki değer olarak 0 yazılır. \underline{AIG}_n mesafe veritabanı dizisinin tüm değerleri hesaplandıktan sonra bir daha 0 değerini almazlar. Mesafe kestirimi için \underline{AIG}_n 'ye ihtiyaç duyan gezgin düğümler güncelleme evresinde de \underline{AIG}_n 'yi kullanabilirler. Çapa düğümlerden n . düğüm bir m . çapa düğümünden \underline{AIG}_m dizisini aldığı anda aig_n dizisinin elemanlarını aşağıdaki gibi günceller.

$$aig_{ni} = \begin{cases} 0 & aig_{ni} = aig_{mi} = 0, \text{ ise} \\ aig_{mi} & aig_{ni} = 0 \text{ ve } aig_{mi} \neq 0, \text{ ise} \\ aig_{ni} & aig_{ni} \neq 0 \text{ ve } aig_{mi} = 0, \text{ ise} \\ \frac{aig_{ni} + aig_{mi}}{2} & aig_{ni} \neq 0 \text{ ve } aig_{mi} \neq 0, \text{ ise} \end{cases} \quad (2.9)$$

Çapa düğümler; kendi ölçümleri ve komşu çapa düğümlerin paylaştığı ölçümler yardımı ile aig_n dizisinin tüm değerlerini kayıt ve güncelleme evresinde elde ederler. Çapa düğümün kayıt ve güncelleme evresine ilişkin akış diyagramı Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Şekil 2.4'te çapa düğümler için tasarlanan algorithmada aig_n dizisi için 1-25m arası AİG-Mesafe bilgileri tutulduğu varsayıldığından sayaç olan $i=0$ 'dan (dizinin 1. elemanından) başlar, dizinin son elemanı 24. eleman olduğu için akış diyagramında sayaç i 'nin 24'ye ulaşmış ulaşmadığı denetlenir.

Güncellenen AİG-Mesafe veri tabanı bütün çapa düğümlerce saklanır. Akış diyagramından da görüleceği gibi kayıt ve güncelleme evresi referans çapa düğüm tarafından yapılan isteğe göre başlatılır ve sonlandırılır. Referans çapa düğüm bu görevlerinin yanı sıra diğer çapa düğümler gibi kayıt ve güncelleme aşamasına katılır. Kayıt ve güncelleme sonrasında referans çapa düğüm dışındaki çapa düğümler uykuya geçerken referans çapa düğüm, araç için AİG-Mesafe veri tabanını *broadcast* iletisi olarak sürekli gönderir. Bu sebeple referans çapa düğüm diğer çapa düğümlerden daha fazla enerji harcar. Referans çapa düğüm enerji kısıtı olmayan çapa düğümlerden herhangi biri olabileceği gibi çapa düğümler arasından dönüşümlü olarak da seçilebilir. Güncelleştirme süreci içinde hareket halinde olan konumu bilinmeyen düğümler (araç, otonom araç vb.) referans çapa düğümünden AİG-Mesafe verisini almaya devam edebilirler. Kayıt ve güncelleme evresinin sonunda elde edilen AİG-

Mesafe veri tabanı bilgileri, güncelleme evresinin süresine göre çok daha uzun bir süre boyunca referans düğüm tarafından konumu bilinmeyen düğüme (araç) *broadcast* iletisi olarak gönderilir. Çapa düğümler için tasarlanan bu veri tabanı kayıt ve güncelleme süreci; tez yönteminin üçüncü kısmını oluşturan mesafe tahmin iyileştirme yaklaşımlarının tamamında ortaktır.



Şekil 2.4. Referans çapa düğüm hariç diğer çapa düğümlerde AIG-Mesafe veri tabanı kayıt ve güncelleme sürecine ait akış diyagramı

2.4. Mesafe Tahmin İyileştirme Yaklaşımları

Referans çapa düğüm tarafından gönderilen ve içinde AİG-Mesafe veri tabanı bulunan *broadcast* iletisi, araç (nonanchor) tarafından alınır. Araçtaki ya da otonom araçtaki düğümün enerji kısıtı olmadığı varsayılmıştır. Çünkü gerekli enerjiyi araç aküsünden sağlayabilir. Düğüm sürekli dinleme kipinde olup gelen tüm *broadcast* iletilerini alır. Araç edindiği *broadcast* iletisinden; referans çapa düğümün koordinatlarını, iki düğümün iletişiminden elde edilen alınan işaret gücü değerini ve AİG-Mesafe veri tabanını elde eder.

Bu kısımda aracın elde ettiği veritabanını kullanarak referans düğüme olan mesafe tahminini iyileştiren yaklaşımlar irdelenmiştir.

2.4.1. Uyarlamalı Süzgeç ile Gürültü Azaltma

Uyarlamalı süzgeç ile gürültü azaltmak için, araç içindeki düğüm öncelikle referans çapa düğümünden elde ettiği AIG_n dizisindeki referans alınan mesafeleri ve işaret gücü değerlerini kullanarak ortama yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta}$ 'yi (2.10)'daki gibi hesaplar.

$$\tilde{\delta} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \left(\frac{aig_{n0} - aig_{ni}}{10 \log \left(\frac{d_i}{d_0} \right)} \right) \quad (2.10)$$

Yukarıdaki denklemde işaretin alındığı düğümün numarası n ile temsil edilmiştir. Ortalama yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta}$ araç içindeki düğüm tarafından hesaplandıktan sonra referans mesafelere (d_i) karşılık, ölçülmesi gereken aig_i değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

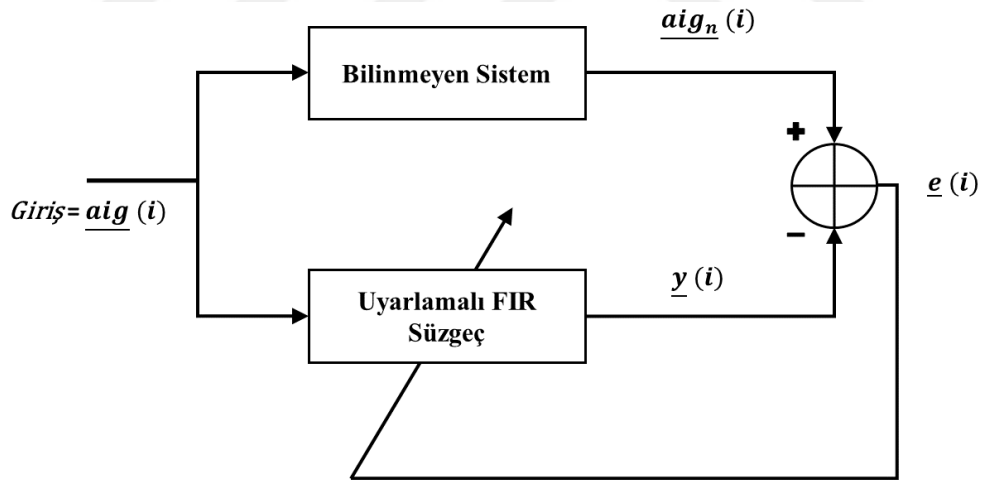
$$aig_i = aig_0 - 10\tilde{\delta} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.11)$$

Tüm d_i ($i = 1, 2, \dots, M-1$) değerlerine karşılık gelen aig_i 'ler (2.12)'deki gibi bir dizi içerisine yerleştirilir.

$$\underline{aig} = \begin{bmatrix} aig_{n0} & aig_1 & aig_2 & \cdots & aig_{(M-1)} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Ortamin ideal olması durumunda referans çapa düğümün gönderdiği bilgilerden elde edilen \underline{aig}_n dizisi \underline{aig} dizisine eşit olmalıdır. Ancak alınan değerler ideal değerlerden farklı olacaktır. Bu farka sebep olan çevresel etkiler ve gürültü katsayıları bilinmeyen bir Sonlu Dürtü Yanıtı (SDY) sistem olarak modellenmiştir. Sonlu dürtü yanıtı sisteme ilişkin katsayılar ise uyarlanır bir süzgeç yardımıyla araç içindeki düğüm tarafından kestirilmektedir.

Uyarlamalı süzgeçler sayısal işaret işleme uygulamalarında sistem kestirimi ve gürültü bastırma için kullanılmaktadır (Tan ve Jiang, 2013). Şekil 2.5.'ten görüldüğü gibi ideal alınan işaret gücü değerlerinin i . olan $\underline{aig}(i)$ hem uyarlanır süzgece hem de çevresel etkileri temsil eden bilinmeyen sisteme giriş olmaktadır. Çevresel etki ve gürültüyü temsil eden bilinmeyen sistemin çıkışı referans çapa düğümünden alınan $\underline{aig}_n(i)$ olmaktadır.



Şekil 2.5. Uyarlamalı süzgeç blok şeması

Bilinmeyen sistemin çıkışı $\underline{aig}_n(i)$, uyarlanır süzgeç çıkışı $\underline{y}(i)$ 'den çıkarılarak hata işareti $\underline{e}(i)$ elde edilir. Uyarlanır süzgeç katsayıları hatayı en az yapacak şekilde en küçük kareler (LMS) algoritması yardımıyla güncellenir. Uyarlamalı sonlu dürtü yanıtı süzgece ilişkin fark denklemi (2.13)'deki gibidir.

$$\underline{aig}_n(i) = b_0 \underline{aig}(i) + b_1 \underline{aig}(i-1) + \dots + b_K \underline{aig}(i-K) \quad (2.13)$$

Bilinmeyen sisteme ilişkin $K+1$ adet katsayı (b_0, b_1, \dots, b_K) olduğu varsayılmaktadır. Bu katsayılar uyarlamalı süzgeç yardımıyla kestirilmektedir. Uyarlamalı süzgecin bilinmeyen katsayılarını tahmin etmek için yapılan güncelleştirmelerde Sign-Sign LMS algoritması kullanılmıştır.

Sign-Sign LMS algoritmasında; eğer hata pozitifse, yeni katsayı önceki katsayı ile hata toplamının adım aralığı μ ile çarpımıdır. Eğer hata negatifse, yeni katsayı önceki katsayıdan hatanın çıkartılmasının adım aralığı μ ile çarpımıdır. Giriş 0 ise, yeni katsayılar öncekiler ile aynıdır. i . iterasyon için güncellenmiş bilinmeyen SDY sistem katsayıları $\tilde{b}_k (k = 0, 1, \dots, K)$ (2.14)'te gösterilmiştir.

$$\tilde{b}_k(i+1) = \tilde{b}_k(i) + 2\mu \operatorname{sgn}(e(i)) \operatorname{sgn}(\underline{aig}(i-k)) \quad (2.14)$$

Yapılan çalışmalarda adım aralığı $\mu=0.01$ olarak seçilmiştir. Yine olası katsayı sayısı $(\tilde{K} = 2, 3, \dots, 25)$ arasında seçilerek en az ortalama hata elde edilmiştir. K (2.16)'yı en az yapan değer olarak seçilir.

$$\underline{y}(i) = \sum_{k=0}^{\tilde{K}} \tilde{b}_k \underline{aig}(i-k) \quad (2.15)$$

$$K = \arg \min_{\tilde{K}} E[|\tilde{e}(i)|] = \arg \min_{\tilde{K}} E[|\underline{aig}_n(i) - y(i)|] \quad (2.16)$$

$\tilde{b}_k (k = 0, 1, \dots, K)$ olmak üzere tahmin edilen süzgeç katsayıları referans çapa düğümünden araca gönderilen AİG verilerini süzgeçten geçirmek için kullanılır. Araç içindeki düğüm herhangi bir j . anda aldığı $AIG(j)$ ölçümü ve daha önceki ölçümleri kullanarak aşağıdaki gibi süzgeçten geçirir.

$$\tilde{AIG}_u(j) = \tilde{b}_0 AIG(j) + \tilde{b}_1 AIG(j-1) + \dots + \tilde{b}_K AIG(j-K) \quad (2.17)$$

Ayrıca araç içi düğüm (2.12)'de gösterilen bilinen belli mesafelere karşılık alınması gereken işaret gücü değerlerinin saklandığı \underline{aig} dizisinin elemanlarını da aşağıdaki gibi süzgeçleyerek çıkışı $\underline{\tilde{aig}}_u$ dizisinin i . elemanı olarak $\underline{\tilde{aig}}_u(i)$ 'yi saklar.

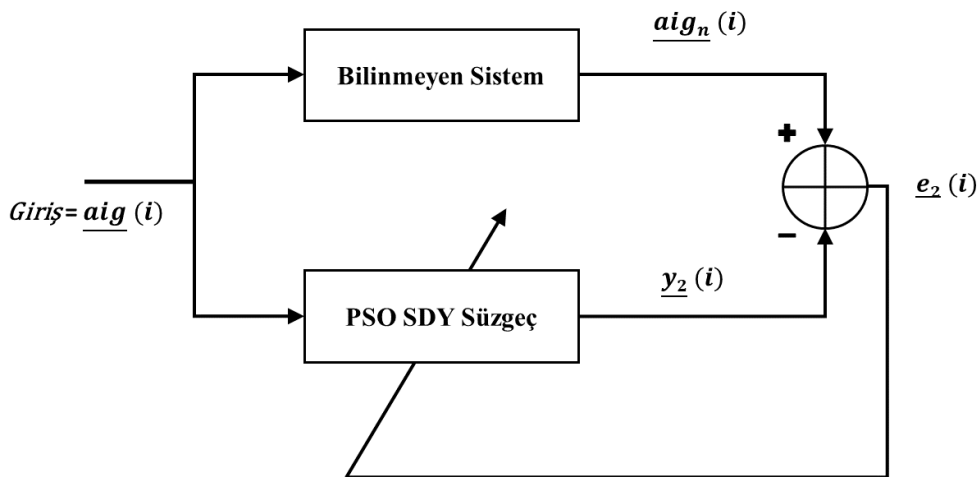
$$\underline{\tilde{aig}}_u(i) = \tilde{b}_0 \underline{aig}(i) + \tilde{b}_1 \underline{aig}(i-1) + \dots + \tilde{b}_K \underline{aig}(i-K) \quad (2.18)$$

Elde edilen $\underline{\tilde{aig}}_u$ dizisi gürültüsü azaltılmış AİG-mesafe bilgisini içerir.

2.4.2. Sonlu Dürtü Yanıtı Süzgeç ve PSO ile Gürültü Azaltma

SDY ve PSO ile gürültü azaltma yaklaşımı Uyarlamalı Süzgeç ile gürültü azaltma yaklaşımına benzemekle beraber SDY süzgeç katsayılarının LMS yerine PSO ile en uygunlaştırmasını temel alır (Ahirwal vd., 2012).

Uyarlamalı Süzgeç yaklaşımındaki gibi öncelikle \underline{AIG}_n dizisindeki referans alınan mesafeler ve işaret gücü değerlerini kullanarak ortama yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta}$ 'yi (2.10)'daki gibi hesaplanır. Daha sonra sırasıyla (2.11) ve (2.12)'deki gibi \underline{aig} elde edilir. Uygulanan sistemin blok diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. PSO-SDY süzgeç blok şeması

Bilinmeyen sistemin çıkışı $\underline{aig}_n(i)$ PSO SDY süzgeç çıkışı $\underline{y}_2(i)$ 'den çıkarılarak hata işareti $\underline{e}_2(i)$ elde edilir. Hatayı en az yapacak SDY katsayıları (c_0, c_1, \dots, c_K) PSO en iyileştirmesi yardımıyla elde edilir. PSO için kullanılan en uygunlaştırılacak amaç fonksiyonu (2.19)'da ifade edilmiştir.

$$\arg \min_{c_0, c_1, \dots, c_K} J(c_0, c_1, \dots, c_K) = \sum_{i=1}^{M-1} \frac{\left| \underline{aig}_n(i) - \sum_{j=0}^K c_j \underline{aig}(i-j) \right|}{\underline{aig}_n(i)} \quad (2.19)$$

Burada $K+1$ adet süzgeç katsayısı olmak üzere; (c_0, c_1, \dots, c_K) tahmin edilen süzgeç katsayılarını, M \underline{aig} dizi eleman sayısını, $J(c_0, c_1, \dots, c_K)$ amaç işlevini tanımlamaktadır. Elde edilen SDY süzgeç katsayıları (c_0, c_1, \dots, c_K) ile çapa düğümünden araca gönderilen AİG verileri süzgeçten geçirilir. Araç içindeki düğüm herhangi bir j . aldığı $AIG(j)$ ölçümü ve daha önceki ölçümleri kullanarak süzgeçleme işlemini (2.20)'deki gibi gerçekleştirir.

$$\tilde{AIG}_{ps0}(j) = c_0 AIG(j) + c_1 AIG(j-1) + \dots + c_K AIG(j-K) \quad (2.20)$$

Ayrıca araç içi düğüm (2.12)'de gösterilen bilinen belli mesafelere karşılık alınması gereken işaret gücü değerlerinin saklandığı \underline{aig} dizisinin elemanlarını da aşağıdaki gibi süzgeçler ve çıkışı $\underline{\tilde{aig}}_{ps0}$ dizisinin i . elemanı olarak $\underline{\tilde{aig}}_{ps0}(i)$ 'yi saklar.

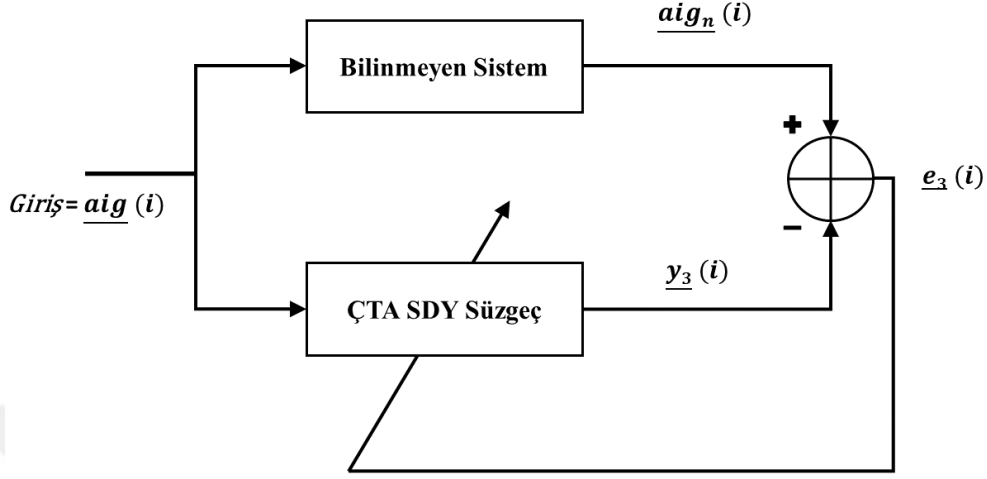
$$\underline{\tilde{aig}}_{ps0}(i) = c_0 \underline{aig}(i) + c_1 \underline{aig}(i-1) + \dots + c_K \underline{aig}(i-K) \quad (2.21)$$

Elde edilen $\underline{\tilde{aig}}_{ps0}$ dizisi gürültüsü azaltılmış AİG-mesafe bilgisini içerir.

2.4.3. Sonlu Dürtü Yanıtlı Süzgeç ve ÇTA ile Gürültü Azaltma

SDY ve ÇTA yaklaşımının Sonlu Dürtü Yanıtı (SDY) ve PSO ile gürültü azaltma yaklaşımından tek farkı isminden de anlaşılacağı gibi PSO yerine diğer bir önsezgisel en

iyileştirme algoritması olan ÇTA kullanılmasıdır. Uygulanan sistemin blok diyagramı Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. ÇTA-SDY süzgeç blok şeması

Bilinmeyen sistemin çıkışı $\underline{aig}_n(i)$ ÇTA SDY süzgeç çıkışı $\underline{y}_3(i)$ ’den çıkarılarak hata işareti $\underline{e}_3(i)$ elde edilir. Hatayı en az yapacak SDY katsayıları (z_0, z_1, \dots, z_K) ÇTA en iyileştirmesi yardımıyla elde edilir. ÇTA için kullanılan en uygunlaştırılacak amaç fonksiyonu (2.19)’daki ile aynıdır. (z_0, z_1, \dots, z_K) olmak üzere tahmin edilen süzgeç katsayıları ile süzgeçten geçirilmiş referans $\tilde{A}I\tilde{G}_{\zeta ta}(j)$ (2.22)’de ifade edilmiştir.

$$\tilde{A}I\tilde{G}_{\zeta ta}(j) = z_0 AIG(j) + z_1 AIG(j-1) + \dots + z_K AIG(j-K) \quad (2.22)$$

Ayrıca araç içi düğüm (2.12)’de gösterilen bilinen belli mesafelere karşılık alınması gereken işaret gücü değerlerinin saklandığı \underline{aig} dizisinin elemanlarını da (2.23)’deki gibi süzgeçler ve çıkışı $\underline{\tilde{a}i\tilde{g}}_{\zeta ta}$ dizisinin i . elemanı olarak $\underline{\tilde{a}i\tilde{g}}_{\zeta ta}(i)$ ’yi saklar.

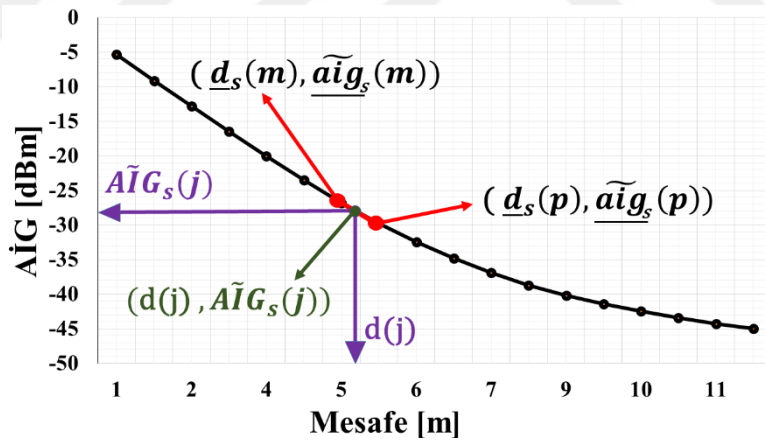
$$\underline{\tilde{a}i\tilde{g}}_{\zeta ta}(i) = z_0 \underline{aig}(i) + z_1 \underline{aig}(i-1) + \dots + z_K \underline{aig}(i-K) \quad (2.23)$$

Elde edilen $\underline{\tilde{a}i\tilde{g}}_{\zeta ta}$ dizisi gürültüsü azaltılmış AİG-mesafe bilgisini içerir.

2.4.4. Doğrusal İnterpolasyon

Araç içi düğüm bir sonraki adımda önceki kısımlarda anlatılan gürültü azaltma yaklaşımlarından elde edilen ($s=u, pso$ ya da $çta$ olmak üzere) $A\tilde{I}G_s(j)$ 'yi kullanarak o değer için $\underline{a\tilde{i}g}_s$ dizisinin hangi elemanları arasında yer aldığını bulur. Eğer $A\tilde{I}G_s(j)$; Şekil 2.8'de temsilen gösterilen $\underline{a\tilde{i}g}_s(m)$ ve $\underline{a\tilde{i}g}_s(p)$ elemanlarının değerleri arasında bir değer almışsa referans çapa düğüme olan mesafe (2.5)'te gösterilen \underline{d} dizisinin $\underline{d}_s(m)$ ve $\underline{d}_s(p)$ elemanlarının değerleri arasında olacaktır. Bir j anında alınan $AIG(j)$ işaret gücüne karşılık gelen $d(j)$ mesafesi doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılarak denklem (2.24)'deki gibi elde edilir.

$$d(j) = \frac{(A\tilde{I}G_s(j) - \underline{a\tilde{i}g}_s(m))}{(\underline{a\tilde{i}g}_s(p) - \underline{a\tilde{i}g}_s(m))} (\underline{d}_s(p) - \underline{d}_s(m)) + \underline{d}_s(m) \quad (2.24)$$



Şekil 2.8. Araç içi düğümde doğrusal interpolasyon ile mesafe tahmin edilmesi

Doğrusal interpolasyon işlevsel basitliği nedeniyle tercih edilmiştir. Şekil 2.8'deki AIG-Mesafe ilişkisi gürültüsüz (ideal) bir Log-normal gölgeleme modeline göre çizdirilmiştir. Fakat uygulamada Gauss gürültüsünün etkisiyle mesafeye bağlı olarak tekdüze azalan bir ilişki elde edilmesi mümkün değildir. Bazı noktalarda mesafe artsa bile AIG değerinin arttığı görülebilir. Aşağıda önerilen algoritma bu hatalı değerleri eleyerek daha doğru bir tahmin elde etmek için kullanılmıştır.

Eğer $A\tilde{I}G_s(j)$ için en yakın AİG değeri $\underline{a\tilde{i}g}_s(p)$ ise ve $\underline{a\tilde{i}g}_s(p)$ alt sınırından büyükse $\underline{a\tilde{i}g}_s(m)$ üst sınırı, $\underline{a\tilde{i}g}_s(p)$ 'den büyük oluncaya kadar araştırılır. Belirlenen değerlere karşılık gelen mesafe değerleri ile doğrusal interpolasyon uygulanır, d belirlenir. Son olasılık olarak, eğer $A\tilde{I}G_s(j)$ için en yakın değer $\underline{a\tilde{i}g}_s$ dizisi içindeki herhangi bir değere eşitse o değere karşılık olan mesafe d_{EYA} , d olarak belirlenir.

2.4.5. Kalman Süzgeci

Kalman Süzgeci, gürültülü ölçümlere sahip doğrusal devimsel (dinamik) sistemlerin durumunu tahmin eden özyineli bir süzgeçtir. En önemli özelliklerinden birisi ölçümleri kaydedip süzgeçten geçirmek yerine, bu işlemi ölçüm devam ederken yapabilmesidir. Kalman Süzgecinde durum ve ölçüm vektörleri söz konusudur. Durum vektörü S_k sistemin geçmiş bilgisinden geleceğe dair tahmin yapılabilmesi için gerekli olan minimum veriyi belirtir. Ölçüm vektörü M_k , k anında elde edilen ölçümleri belirtir. Kalman Süzgeci için kullanılacak olan süreç denklemi (2.25)'deki gibidir.

$$S_{k+1} = G_k S_k + \eta_k \quad (2.25)$$

Burada G_k : k anındaki durum geçiş matrisi, η_k : Sıfır ortalamalı Gaussian süreç gürültüsünü belirtir. Kalman Süzgeci için önemli olan diğer denklem ise ölçüm denklemdir. Ölçüm denklemi (2.26)'daki gibidir.

$$M_k = H_k S_k + \theta_k \quad (2.26)$$

H_k : Ölçüm matrisi, θ_k : Sıfır ortalamalı Gaussian ölçüm gürültüsünü belirtir. Kalman süzgeci için öncül ve artçıl zaman kavramları mevcuttur. Yani k anında $k-1$ anında elde edilmiş S_k durum tahmini mevcuttur. Kalman süzgeci için artçıl tahmini (2.27)'deki gibi ifade etmek mümkündür;

$$\hat{S}_{k|k} = \hat{S}_{k|k-1} + \kappa_k (M_k - H_k \hat{S}_{k|k-1}) \quad (2.27)$$

Burada $\hat{S}_{k|k-1}$: S_k 'nın öncül tahmini, $\hat{S}_{k|k}$: S_k 'nın artçıl tahmini, κ_k : Kalman kazancıdır. Kalman kazancı ise (2.28)'deki gibi hesaplanır.

$$\kappa_k = B_{k|k-1} H_k^T (H_k B_{k|k-1} H_k^T + R)^{-1} \quad (2.28)$$

Benzer olarak $B_{k|k-1}$: Öncül hata kovaryansı, B_k : Artçıl hata kovaryansını, R ölçüm gürültü kovaryansını ifade eder. Öncül ve artçıl hata kovaryansı arasındaki ilişki ise (2.29)'daki gibidir.

$$B_{k|k} = (I - \kappa_k H_k) B_{k|k-1} \quad (2.29)$$

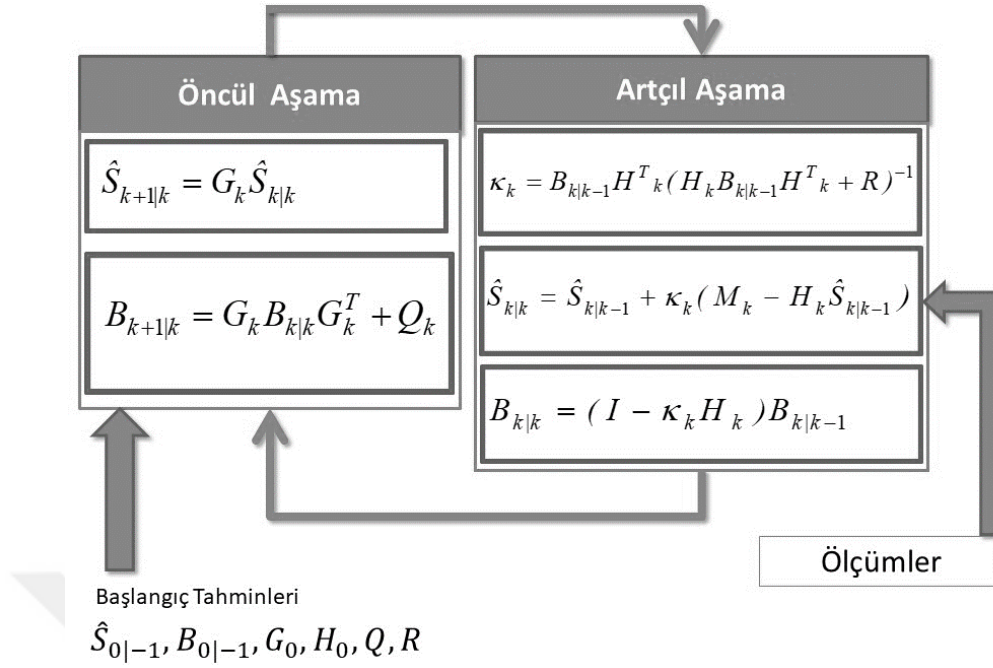
İleri adım tahmini ve ileri adım hata kovaryansı ise sırasıyla (2.30) ve (2.31)'de gösterildiği gibi hesaplanır (Kalman, 1960; Feng vd., 2015).

$$\hat{S}_{k+1|k} = G_k \hat{S}_{k|k} \quad (2.30)$$

$$B_{k+1|k} = G_k B_{k|k} G_k^T + Q_k \quad (2.31)$$

(2.31)'de Q süreç gürültü kovaryansını belirtir. Q süreç gürültü kovaryansı ve R ölçüm gürültü kovaryansı bilinmelidir. Süreç ve gürültü kovaryanslarını sistem hatası üzerine yapılacak olan deneysel analizler, deneme yanılma yöntemi ya da adaptif algoritmalar ile belirlenebilir(Feng vd., 2015).

Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan Kalman Süzgeci algoritması Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Kalman Süzgeci algoritması

Kalman süzgeci gezgin aracın mesafe bilgisini tahmin etmektedir. Süzgeç için durum vektörünü mesafe bilgisi ve gezgin aracın hız bilgisi oluşturur. $S_k = [x_k \quad v_k]^T$ olan 2x1 boyutundaki durum vektörü olsun. Burada x_k k . andaki aracın yetkili düğüme olan mesafe bilgisini tanımlarken, v_k k . andaki gezgin aracın hız bilgisidir. Yapılan çalışmada gezgin aracın sabit hızlı düzgün doğrusal hareket ettiği kabul edilmiş, belirlenen Δt aralıklarında durum vektörünün değişmediği varsayılmış ve y-eksenindeki yer değiştirme yolun enine olan kısmı olduğu için ihmal edilmiştir. Bu kabul ve varsayımlar ışığında gezgin aracın bir sonraki adımdaki yeni konumu (2.32)'deki gibi ifade edilebilir.

$$x_k = x_{k-\Delta t} + v_k \Delta t \quad (2.32)$$

Durum geçiş matrisi G_k 2x2 boyutunda olmak üzere (2.33)'deki gibi elde edilir.

$$G_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Burada Δt ölçüm aralığını belirtir. Tez çalışmasında otonom aracın 0.4s aralıklarla yetkili düğümden AİG bilgisi alması sağlanmıştır. Dolayısıyla $\Delta t = 0.4$ s'dir. Bu süre oldukça yeterlidir. Çünkü bir IEEE 802.15.4 standardındaki düğümün veri aktarım hızı 250kbps'dir ve göndereceği bir paketin maksimum büyüklüğü 133 byte'dir. O halde bir paketin iletim süresi yaklaşık 4ms olur. Yani paket iletim süresi seçilen zaman aralığının 1/100'ü kadar olacaktır. Diğer taraftan gezgin aracın sabit hızla gittiği kabul edilmiş ve hız değeri iç ortam çalışmalarında 10km/saat, dış ortam çalışmalarında 20km/saat olarak belirlenmiştir.

Ölçüm güncelleme aşamasında, bilinmeyen S_k durum vektörü tahmini, ölçüm vektörü M_k değerlerine göre ayarlanır. Tez çalışmasında doğrusal interpolasyondan gelen veriler mesafe ölçümlerini oluşturur. H_k ölçüm matrisinin belirlenen değeri (2.34)'de ifade edilmektedir.

$$H_k = [1 \quad 0] \quad (2.34)$$

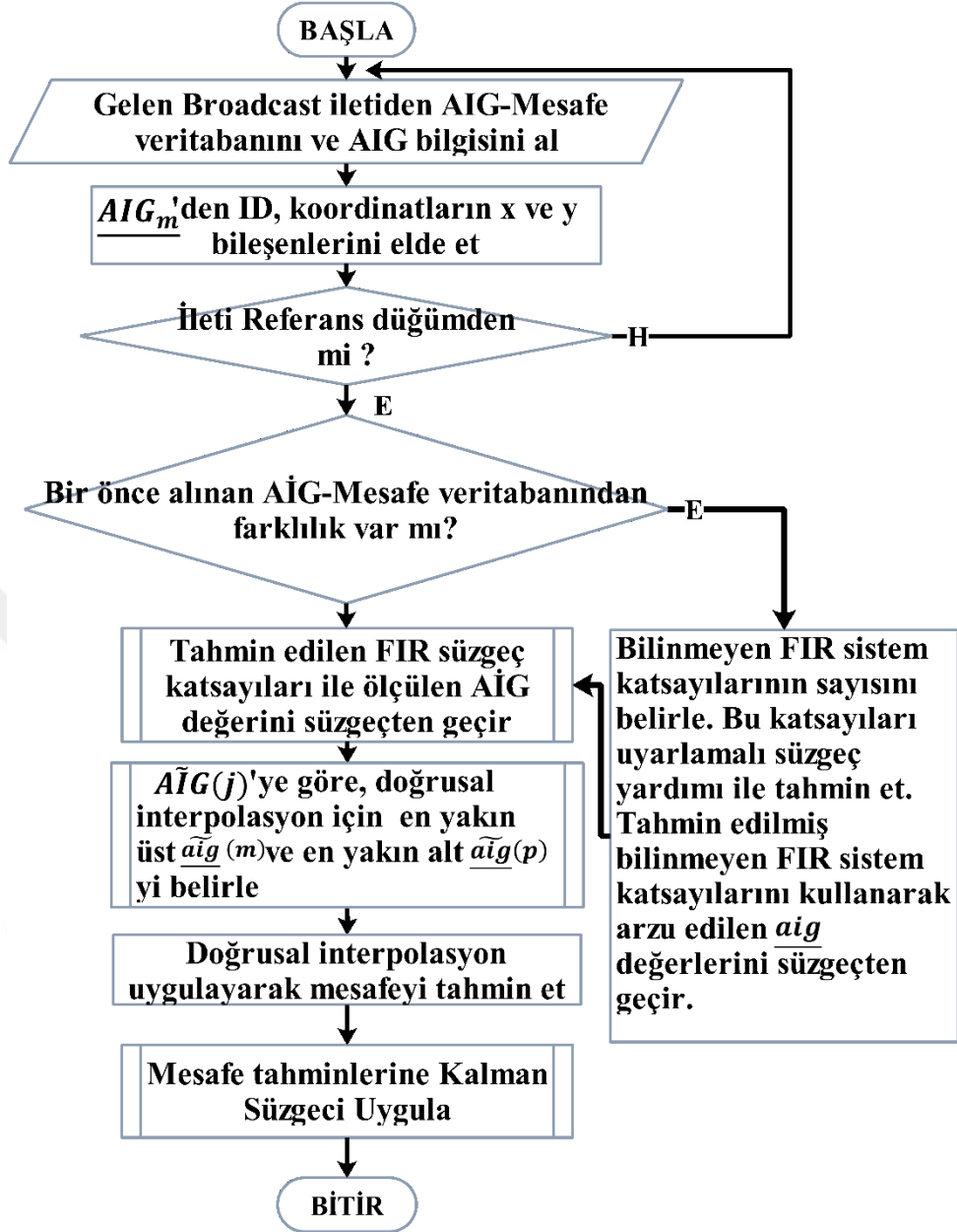
$B_{0|1}$ öncül hata kovaryansının başlangıç değerleri (2.35)'deki gibi belirlenmiştir.

$$B_{0|1} = \begin{bmatrix} 20000 & 0 \\ 0 & 20000 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Bunun yanında $R=0.35$ olarak ve Q ise (2.36)'daki gibi belirlenmiştir.

$$Q = \begin{bmatrix} 0000.1 & 0 \\ 0 & 0000.1 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Belirlenen değişkenlerle uygulanan Kalman süzgeci çıkışından elde edilen sonuçlar, aracın nihai mesafe tahmin bilgileridir. Araçtaki düğüme ait mesafe tahmin süreci Şekil 2.11'de bir akış diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Araç içi düğümde mesafe tahmin algoritması

2.5. Deneysel Çalışmalar ve Bulgular

Tez için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kullanılan donanımsal ve yazılımsal bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- CC2538-2592EMK
- SMARTRF06EB Modülü
- CC2531 USB EM

- LM-254 9dBi yönsemez anten

Yazılımsal bileşenler ise;

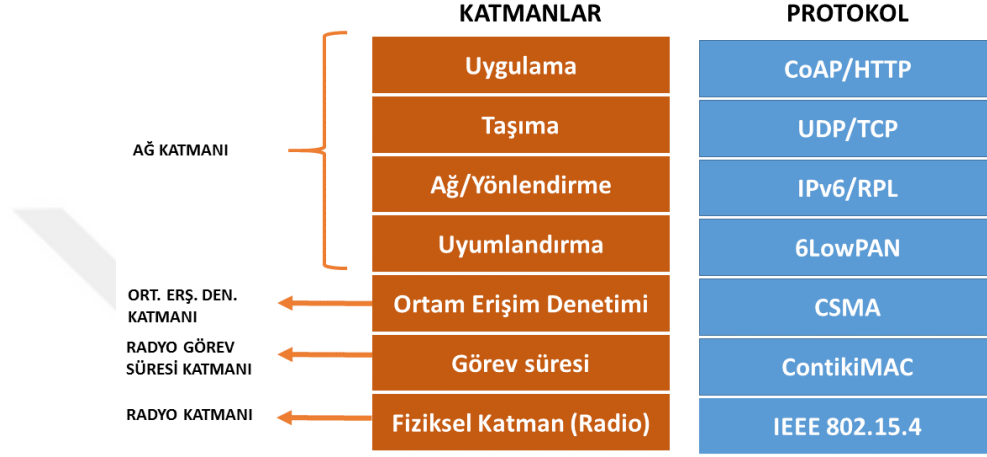
- SmartRF Flash Programmer 2
- SmartRFTM Packet Sniffer
- Contiki OS
- Cooja Benzetim Ortamı

CC2538 - CC2592 EMK; deneysel çalışmalarda kullanılan münferit kablosuz düğümlerin herbiridir. CC2538 kablosuz düğümün çıkış gücü CC2592 güç yükseltici artırılabilir. Bu sayede 7.5-22dBm arasında verici gücü sağlamaktadır (URL-5, 2019). SMARTRF06EB Modülü; SmartRF06 Uygulama geliştirme kartı TI firmasının düşük güç RF ARM® Cortex®-M serisi SoC (System on Chip) tüm devreler için ürettiği bir uygulama geliştirme kartıdır. Kablosuz iletişim başarımlarının gerçekleştirilebilmesine ve geliştirilen yazılımların CC2538-CC2592 modülüne yüklenmesini sağlamaktadır (URL-6, 2019). CC2531 USB EM; TI firması tarafından üretilen 8051 mikrodenetleyicisine sahip 2.4 GHz endüstriyel-bilimsel-tıbbi bandında çalışan ve veri paketi alma, şifreleme, yetkilendirme, temiz kanal değerlendirme, link kalitesi ve paket zamanlama bilgilerinin tedarik edilebileceği donanımsal özelliklere sahip bir tüm devredir. Bu yönüyle geliştirilen uygulamaların analizlerinde çok kullanışlı yardımcı bir enstrüman olmuştur (URL-7, 2019). LM-254 yönsemez 9dBi anten; deneysel çalışmalarda kullanılan ve kablosuz düğümlerin herbirinde kullanılan, 2.4GHz-2.5GHz aralığında çalışan ve 9dB anten kazancına sahip bir Omni dipol antendir.

Yazılımsal olarak ise kullanılan SmartRF Flash Programmer 2; ARM tabanlı düşük-güçlü RF kablosuz mikrodenetleyicileri seri arayüz üzerinden programlayan bir kullanıcı grafik ara yüzü yazılımıdır. Tasarlanan ve derlenen *.bin* uzantılı uygulamalar SmartRF Flash Programmer 2 aracılığıyla SmartRF06EB üzerine yerleştirilen CC2538'e gömülmüştür. SmartRFTM Packet Sniffer; kablosuz düğümler tarafından yakalanan RF paketlerinin depolanıp gösterildiği bir bilgisayar yazılımıdır. Çoklu RF protokolleri desteklenmektedir. Packer Sniffer paketleri filtreleyip kod çözümlenmesi yaparak uygun bir şekilde gösterir (URL-8, 2019). Tez çalışmasında gönderilen paketlerin gözlemlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Yazılımsal olarak kullanılan en önemli bileşenlerden biri ise; Contiki işletim sistemidir. Contiki OS, hafif ve düşük güçlü ağların esnekliği ve desteği sayesinde söz konusu

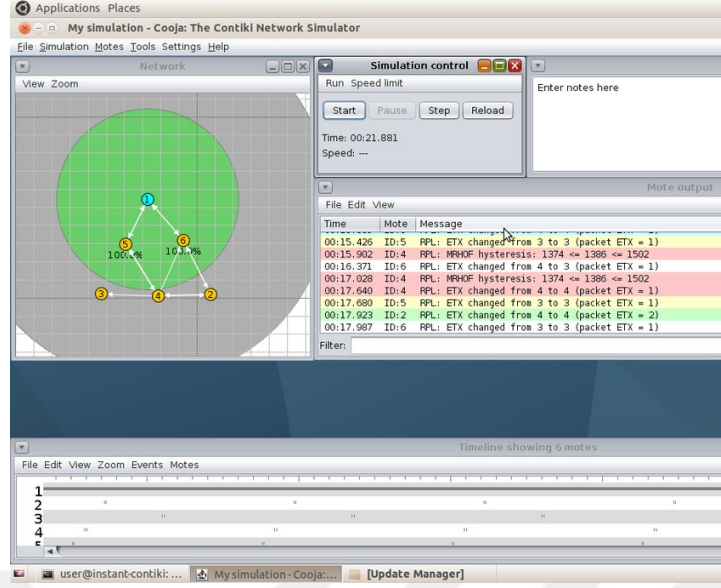
kısıtlamalarla başa çıkmak için uygun çözümlerden biri olarak nitelendirilmektedir (Dunkels vd., 2004). Normal şartlardaki bir Contiki yapılandırması, 2kB RAM ve 40kB ROM içeren bir mikrodenetleyici içindir. Bunun yanında Contiki, IPv4, IPv6 ve Rime ağ yığını (Rime Network Stack) üzerinden iletişim sağlayabilir (URL-9, 2019). Şekil 2.12. Contiki ağ yığını yapısı için daha fazla detay vermektedir.



Şekil 2.12. Contiki ağ yığını

Contiki OS işletim sistemindeki önemli noktalardan biri de contiki dizinidir. Contiki dizini uygulama geliştirmeye olanak sağlayan; sistem kaynak kodlarına, örnek uygulama kodlarına, pratik uygulamalara, birçok düğüm türüne ait sürücü kodlarına, belirli mikrodenetleyici dosyalarına ve Cooja gibi önemli araçlara erişim sağlar. Böylece yeni projeler geliştirmenin ve benzetim çalışmalarının yapılmasının yanında geliştiricilere mevcut örnekleri doğrudan kullanma veya bunları değiştirme fırsatı sunar. Bu özelliklerle araştırmacılar ve geliştiriciler etkili gelişim ortamını bulabilmektedir. Cooja; Contiki OS’de geliştirilen uygulamaları benzetiminin yapılmasını sağlayan bir KAA benzetim aracıdır. Cooja sayesinde denenen ve doğrulanan kodlar uygulamaya dönüştürülebilmektedir.

Şekil 2.13.’te, Cooja’da yapılan bir benzetimin ekran görüntüsü görülmektedir. Düğüm iletişim bilgileri, sağ penceredeki renkli ekranda akarken, sol taraftaki pencerede anlık bir şekilde düğüm iletişim yönleri ve düğümlerin iletişim aralıkları görülebilir.

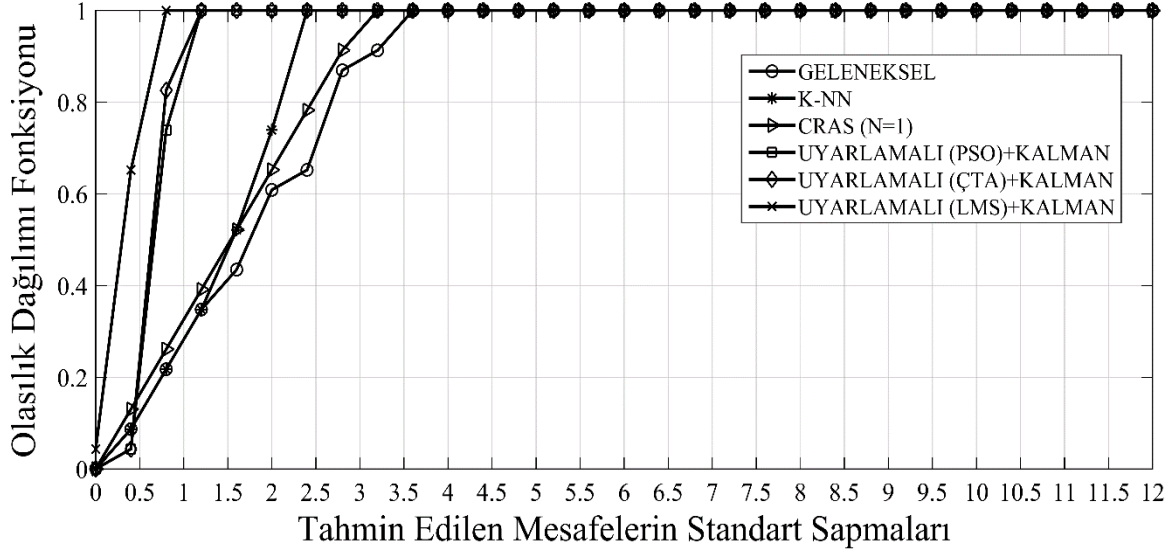


Şekil 2.13. Cooja benzetim ortamına ait bir ekran görüntüsü

2.5.1. Önerilen Yöntemlerin CRAS ile Kıyaslanması

Önerilen yöntemlerin CRAS çözümlemesi denklem (1.28) göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Matlab tabanlı benzetim çalışması; yol zayıflatma etkeni ($\delta = 1.73$), verici gücü $P_T = 20.1$ dBm ve referans mesafesindeki yol kaybının $\overline{P}_L(d_0) = 42.95$ dBm ve Gauss gürültüsünün $N(0,1)$ olduğu bir ortam için gerçekleştirilmiştir. AİG-Mesafe veri tabanı 1-24m arası 1m aralıklı elde edilmiştir. Benzetim 100 kez koşturularak yöntemlerin olasılık dağılımı-tahmin edilen mesafelerdeki standart sapma ilişkisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.14'te gösterilmiştir. AİG-Mesafe veri tabanı bilinen mesafelerden çoklu ölçümlere sahip olduğundan dolayı önerilen yöntemler ve K-NN tek ölçümlü CRAS değerinin altına düşebilmektedir. Yapılan benzetimde bütün yaklaşımlar için sayısal süzgeç katsayı sayısı 9 olarak belirlenmiş, ayrıca ÇTA için polen sayısı 20, anahtarlama olasılığı 0.8, iterasyon sınırı 100; PSO için sürü nüfusu 45, iterasyon sınırı 100 ve K-NN için $k=3$ alınmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında önerilen Uyarlamalı süzgeç (LMS)-Kalman, Uyarlamalı süzgeç (PSO)-Kalman, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)-Kalman yaklaşımlarının K-NN ve Geleneksel yaklaşımlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Uyarlamalı süzgeç (LMS)-Kalman en yüksek 0.8m standart sapmaya sahipken, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)-Kalman 1.2m ve Uyarlamalı süzgeç (PSO)-Kalman 1.2m standart sapma

göstermiştir. Diğer taraftan K-NN ve Geleneksel yaklaşımlar sırasıyla 2.4 ve 3.6m standart sapma göstermiştir.



Şekil 2.14. İdeal şartlar altında önerilen yaklaşımların başarımları

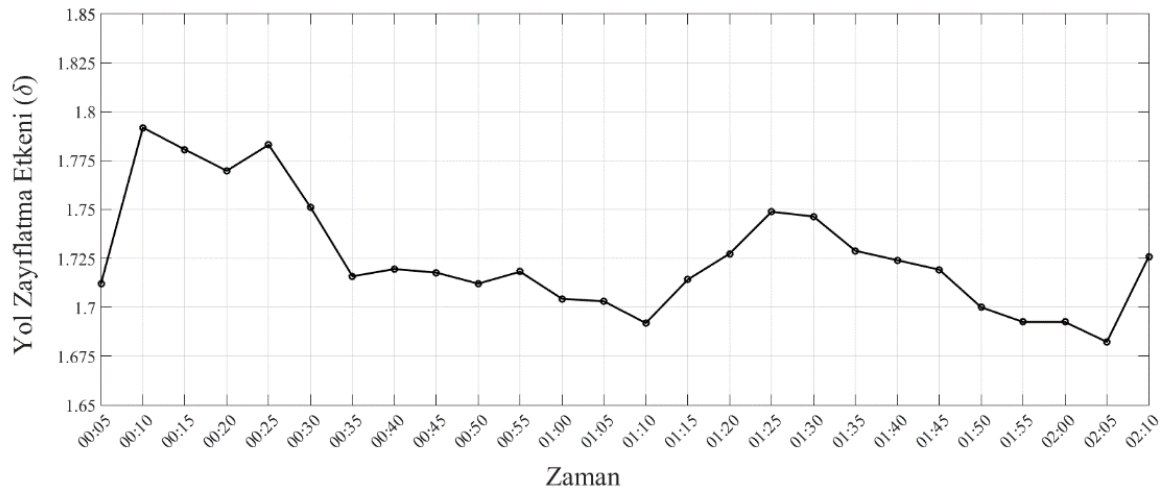
2.5.2. Yol Zayıflatma Etkeni'nin Zamanla Değişiminin İzlenmesi

AİG-Mesafe veri tabanının düğümler tarafından hangi zaman aralıklarıyla güncellenmesi gerektiğini yorumlamak için yol zayıflatma etkeninin zamanla değişimi izlenmiştir. Bu deneysel çalışma için otonom araçların genellikle fabrika ortamı gibi kapalı ortamlarda çalıştığı düşünülerek, çalışma benzer bir atölye ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın gerçekleştiği Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksek Okulu Kaynak Atölyesi ve kurulu deneysel düzenek Şekil 2.15'te görüldüğü gibidir. Çalışmada öncelikle önerilen fiziksel topoloji oluşturulmuş ve AİG-Mesafe veritabanı edinim süreci uygulanmıştır. Yetkili düğümde elde edilen AİG-Mesafe veritabanı seri port vasıtasıyla Matlab'a 5dk aralıklarla aktarılıp kaydedilmiştir. $P_T=20.1$ dBm, $\overline{P}_L(d_0)=39.34$ dBm olduğu bilinmekle beraber, her mesafe değerine karşılık elde edilen AİG de bilinmektedir. Dolayısıyla denklem (1.19) uygulanarak her mesafedeki yol zayıflatma etkeni tespit edilmiştir. 5 dk. aralıklarla her mesafeye ait elde edilen yol zayıflatma etkenleri ve ortalamaları Ek 1.'de bir tablo halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Yol zayıflatma etkeninin izlenmesi amacıyla gerçekleştirilen düzenek ve deney ortamı

Her mesafeye ilişkin ortalama yol zayıflatma etkeninin zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Yol zayıflatma etkeninin zamanla değişimi

Yaklaşık iki saatlik kayıtlar incelendiğinde en yüksek yol zayıflatma etkeni 1.791, en düşük yol zayıflatma etkeni 1.683 ve ortalama 1.726 olarak elde edilmiştir. Ölçümlerin ortalama standart sapması ise 0.0297 olarak elde edilmiştir. Tablo 2.2’de çeşitli süre aralıklarında yapılacak güncellemeler ile yol zayıflatma etkeninde elde edilen standart sapmalar gösterilmiştir.

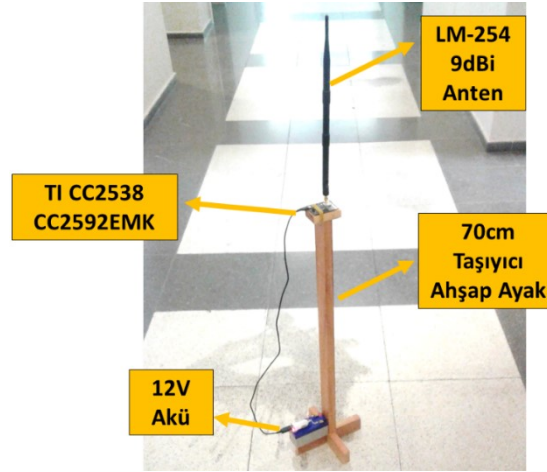
Tablo 2.2. Yol zayıflatma etkeninin değişik güncelleme sürelerinde gösterdiği standart sapma ve elde edilecek en büyük mesafe hataları (Geleneksel mesafe tahmin yaklaşımı)

Güncelleme Süreleri[dk]	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Standart Sapmalar	0.027	0.030	0.012	0.015	0.007	0.006	0.008	0.005	0.008	0.008	0.013
Elde Edilen En Büyük Mesafe Hataları[m]	1.1	1.22	0.5	0.62	0.29	0.25	0.33	0.21	0.33	0.33	0.54

Tablo 2.2’de son satır güncelleme sürelerine göre yol zayıflatma etkeni değişiminin oluşturduğu mesafe hataları görülmektedir. Yol zayıflatma etkeni değişiminin neden olacağı mesafe hatası ortalama 52cm olmaktadır. Değişimin toplam iki saatlik sürede ve farklı güncelleme süreleri (15, 20...65dk) için gösterdiği standart sapma değerleri göz önünde bulundurulduğunda saatlik güncellemenin uygun olacağı yapılan analizden de görülmüştür.

2.5.3. Mesafe Tahmin Başarımları

Başarım analizleri iç ve dış ortam olarak iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni önerilen tezin AUS’ler ve OTT’ler için bir çözüm oluşturmasıdır. Bütün deneysel çalışmalarda kablosuz düğümler için ortak bazı yapılandırmalar mevcuttur.



Şekil 2.17. Çalışmalarda kullanılan özdeş düğümlerden biri

Tüm deneysel çalışmalarda kullanılan özdeş düğümlerden biri Şekil 2.17’de görülmektedir. Yine tüm deneysel çalışmalarda çapa düğümler için gerçekleştirilen çeşitli yapılandırmalar ise Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Çapa düğümler için gerçekleştirilen yapılandırmalar

Değişkenler	Yapılandırma
İletim Gücü	20.1 [dBm]
Görev Süresi Döngüsü (GSD)	Saniyede 16 kere
İletişim Kanalı	25. Kanal
Ağ Yığını	Rime Ağ Yığını

Tablo 2.3’ten de görüldüğü gibi iletişim için kullanılan verici anten gücü 20.1 dBm olarak yapılandırılmıştır. CC2538-2592EMK iletim gücü 7.5-22 dBm aralığında Tablo 2.4’te belirtilen değerler için yapılandırılabilir.

Tablo 2.4. CC2538-2592EMK için iletim gücü seçenekleri

Onaltılı Değer	0xFF	0xED	0xD5	0xC5	0xB6	0xB0	0xA1	0x91	0x88	0x72	0x62	0x58	0x42
Güç [dBm]	22.0	21.5	20.9	20.1	19.6	19.0	17.8	16.4	14.9	13.0	11.0	9.5	7.5

```

static const output_config_t output_power[] = {
    {22, 0xFF},
    {21.5, 0xED},
    {20.9, 0xD5},
    {20.1, 0xC5},
    {19.6, 0xB6},
    {19, 0xB0},
    {17.8, 0xA1},
    {16.4, 0x91},
    {14.9, 0x88},
    {13, 0x72},
    {11, 0x62},
    {9.5, 0x58},
    {7.5, 0x42},
};

#define OUTPUT_CONFIG_COUNT (sizeof(output_power) / sizeof(output_config_t))

/* Max and Min Output Power in dBm */
#define OUTPUT_POWER_MIN (output_power[OUTPUT_CONFIG_COUNT - 1].power)
#define OUTPUT_POWER_MAX (output_power[0].power)

```

CC2538-2592EMK için iletim gücü seçeneklerine göre cc2538-rf.c dosyasının güncellenmiş hali

Şekil 2.18. cc2538-rf.c dosyasının CC2538-2592EMK güç seçeneklerine göre güncellenmesi

Gerekli yapılandırmayı Contiki OS üzerinden gerçekleştirmek mümkündür. Anten gücünü yapılandırmak için öncelikle Contiki OS içindeki *cpu/cc2538/dev/cc2538-rf.c* içindeki Şekil 2.18’de gösterilen kod satırları Tablo 2.4’e göre güncellenmiştir. İkinci adımda ise *contiki/examples/rime/project-conf.h* dosyası Şekil 2.19’daki gibi **#define CC2538_RF_TX_POWER 0xC5** ön işlemcisi ile yapılandırılmıştır.

```

example-abc-r | anmel.c x | project-conf.h x | example
#endif PROJECT_CONF_H_
#define PROJECT_CONF_H_
#define NETSTACK_RADIO_RADIO_PARAM_CHANNEL 25
#define CC2538_RF_TX_POWER 0xC5
// #define NETSTACK_CONF_RDC nullrdc_driver
#define NETSTACK_CONF_RDC_CHANNEL_CHECK_RATE 16
#endif /* PROJECT_CONF_H_ */

```

Şekil 2.19. project-conf.h dosyasının yapılandırılması

Görev süresi döngüsü ise (Radio Duty Cycle) 16Hz olacak şekilde **#define NETSTACK_CONF_RDC_CHANNEL_CHECK_RATE 16** ön işlemcisi ile yapılandırılmıştır. Kanal saniyede 16 kez kontrol edilmektedir. Böylece düğümler her zaman dinleme modunda olmadığından enerji tasarrufu sağlanmaktadır. 802.15.4’ün kablosuz internet bağlantısı (wi-fi) ile çakışmayan kanalları 15, 20, 25 ve 26. kanallarıdır. Yapılan çalışmalarda çakışma olmayan 25. Kanal (2475 MHz) iletişim kanalı olarak seçilmiştir. İletişim kanalı seçimi için gerekli yapılandırma Şekil 2.19.’daki gibi *project-conf.h* dosyası **#define NETSTACK_RADIO_RADIO_PARAM_CHANNEL 25** olacak şekilde

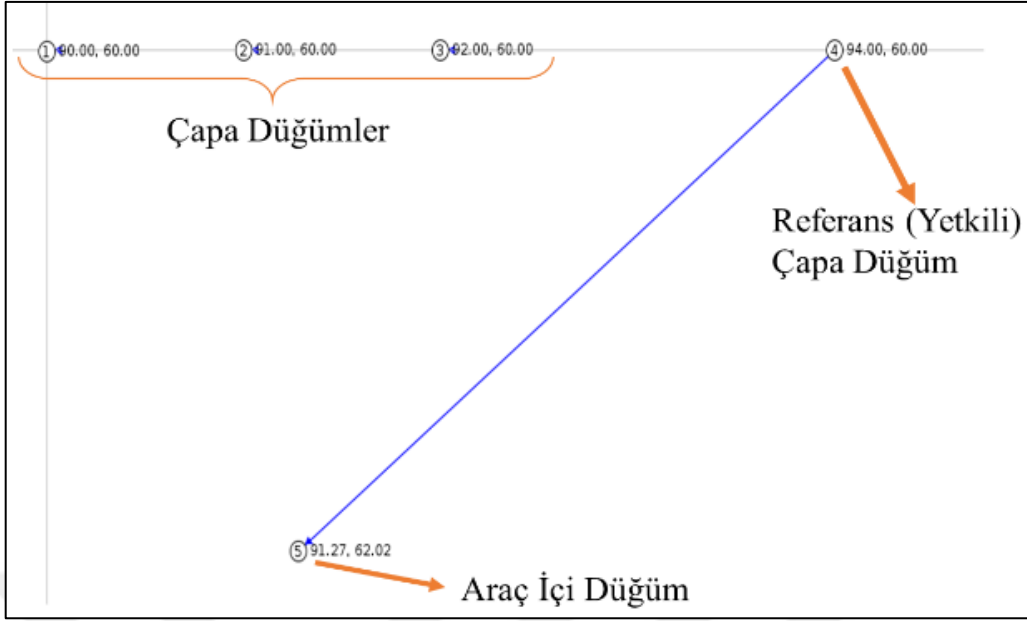
gerçekleştirilmiştir. Son yapılandırma ise Ağ yığını ile alakalıdır. Rime Ağ Yığını algılayıcı ağı uygulamaları için basit yapılı (light-wieght) protokollere sahiptir. Bu nedenle Ağ yığını olarak Rime Ağ Yığını tercih edilmiştir. Diğer taraftan araç içi düğüm için gerçekleştirilen yapılandırmalar ise Tablo 2.5’te gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Araç içi düğüm için gerçekleştirilen yapılandırmalar

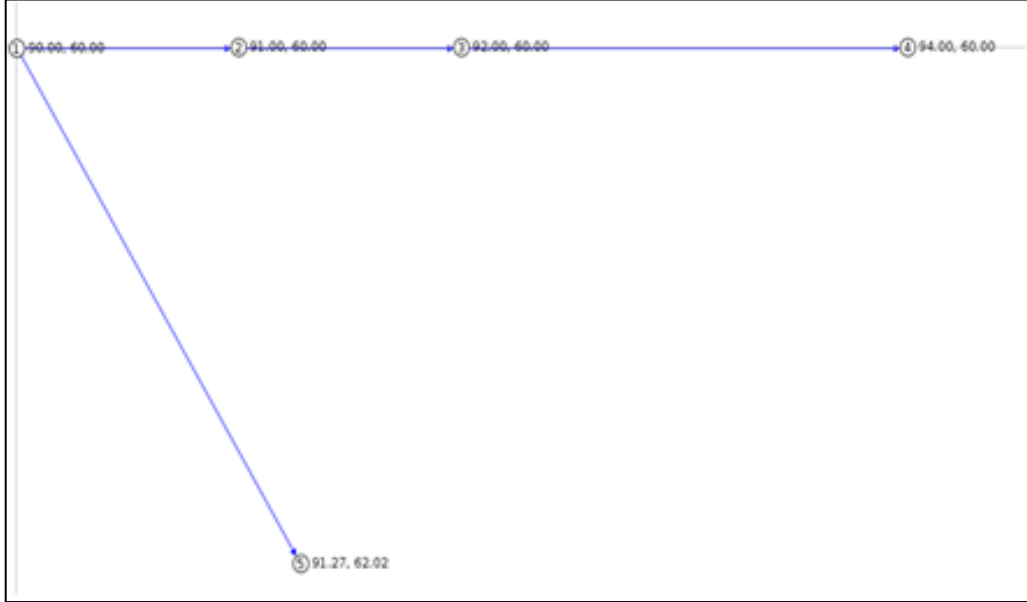
Değişkenler	Yapılandırma
İletim Gücü	20.1 [dBm]
Görev Süresi Döngüsü (GSD)	Sürekli dinleme(<i>nullrdc</i>)
İletişim Kanalı	25. Kanal
Ağ Yığını	Rime Ağ Yığını

Araç içi düğüm için çapa düğüm yapılandırmasındaki iletim gücü, iletişim kanalı ve ağ yığını tercihleri aynı şekilde uygulanmıştır. Araç içi düğümün enerji kısıtı olmadığı varsayıldığından ve kanalı sürekli dinlemesi gerektiğinden GSD *project-conf.h* dosyası **#define NETSTACK_CONF_RDC nullrdc_driver** olarak yapılandırılarak sürekli dinleme kipine (*nullrdc*) alınmıştır.

Gerçekleştirilen yapılandırmalardan sonra bütün rollerdeki düğümler için tasarlanan haberleşme yordamı ve algoritmaların geçerliliği Contiki OS’nin bir aracı olan Cooja benzetim ortamı üzerinden sınanmıştır. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21 bu sınama çalışmasına ait görüntüleri içermektedir. Yapılan benzetimde düğümler içine tasarlanan algoritmalar gömülmüş ve düğümlerin istenilen şekilde çalışıp çalışmadıkları sınanmıştır. Buna göre Şekil 2.20’deki ekran görüntüsünde, referans çapa düğümün (no:4) veri tabanını *broadcast* mesaj olarak araç içi düğüme (no:5) gönderdiği görülmektedir. Bu anda diğer çapa düğümler (no:1, 2, 3), referans düğümden aldıkları “*güncellemeyi durdur*” iletisi ile kanalı dinleme kipine geçmiştir. Araç içi düğüm ise sürekli dinleme kipinde (*nullrdc*) olduğu için sadece referans çapa düğümden gelen iletileri almaktadır. Şekil 2.21’deki ekran görüntüsünde ise Diğer çapa düğümlerin aktif olduğu güncelleme süreci görülmektedir. Çapa düğüm (no:1) *broadcast* mesajı ile AİG-Mesafe veri tabanını göndermektedir. Veri tabanını diğer çapa düğümler almaktadır. Fakat araç içi düğüm sadece referans düğümün (no:4) gönderdiği veri tabanı bilgisini alacağı için gelen bilgiyi değerlendirmemektedir.



Şekil 2.20. Cooja benzetim ortamında algoritmaların sınanmasına ait ekran görüntüsü (referans çapa düğümün araç i düğüme AIG-Mesafe veri tabanını *broadcast* ileti olarak göndermesi)



Şekil 2.21. Cooja benzetim ortamında algoritmaların sınanmasına ait ekran görüntüsü (1 numaralı çapa düğümün ham AIG-Mesafe veri tabanını *broadcast* ileti olarak göndermesi)

Algoritmaların geçerliliği de sınıandıktan sonra deneysel çalışmalardan ilk kısmını oluşturan dış ortam başarımları değerlendirilmiştir.

2.5.3.1. Dış Ortam Mesafe Başarımları

Dış ortam başarımları; hız bilgisi olmadan ve hız bilgisi olduğunda olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Hız bilgisi olmadan yapılan ölçümlerde Kalman süzgeci kullanılmamıştır.

2.5.3.1.1. Hız Bilgisi Bilinmediği Durumda Önerilen Yöntemlerin Başarım Analizi

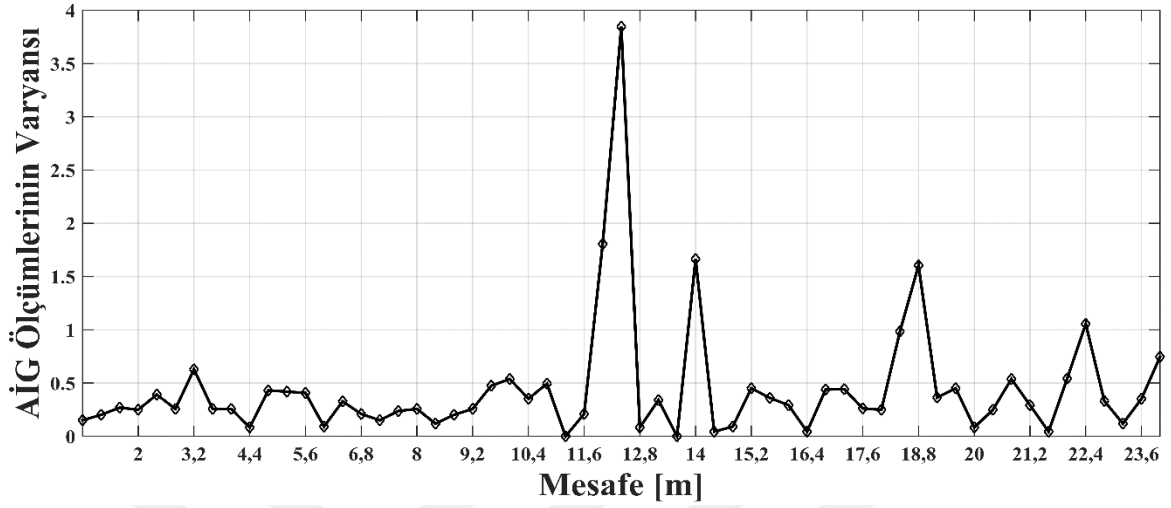
Analizde, önerilen uyarlamalı süzgeçlerle gürültü bastırılmış, elde edilen değerlere interpolasyon uygulanarak mesafe tahminleri gerçekleştirilmiştir. Hız bilgisiz dış ortam başarımları iki farklı mekânda analiz edilmiştir. Şekil 2.22’de deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği ilk mekân ve tasarlanan fiziksel topolojiye göre dizilmiş kablosuz düğümler görülmektedir.



Şekil 2.22. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği 18×33m açık alan

Yapılan analizde öncelikle iletim ortamındaki gürültünün durumu incelenmiştir. Açık alanda yapılan uygulamalarda çapa düğümler yardımı ile 40cm aralıklarla herbir mesafeye ait 25 adet AİG’ler elde edilmiştir. Her bir mesafe sütununun (25 ölçüm) varyans değerleri

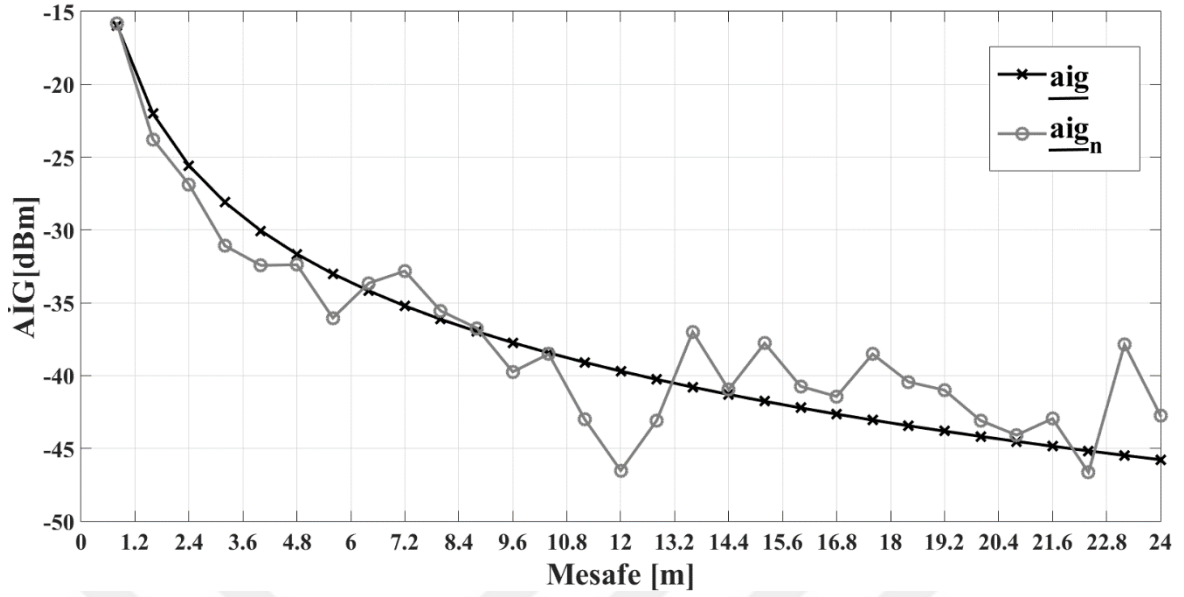
hesaplanarak mesafeye dayalı AİG'lerin varyansı elde edilmiştir. Elde edilen grafik Şekil 2.23'te görülmektedir.



Şekil 2.23. 18×33m açık alan çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları

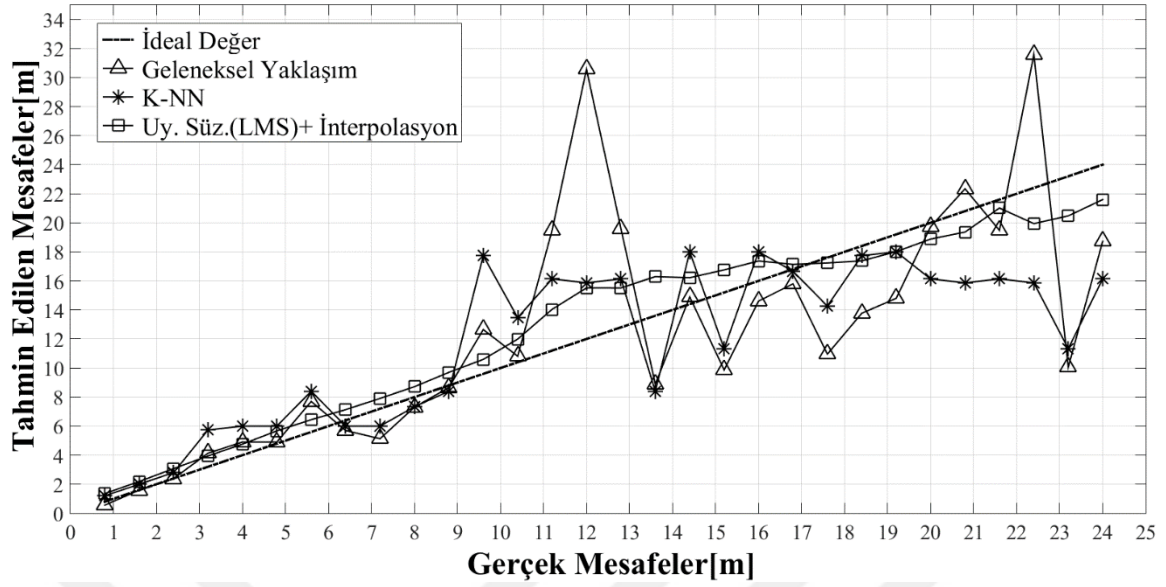
Şekilden de görüldüğü gibi 11.6m civarına kadar varyans değerleri fazla artış göstermemektedir. Fakat 11.6m'den sonra varyans değeri artış göstermektedir. 1-11.6m aralığında elde edilen ortalama varyans değeri 0.277 iken 11.6-24m aralığında 0.586 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan ikinci seviye çalışmalarda uyarlamalı süzgeçler (LMS, PSO ve ÇTA tabanlı) ve interpolasyon kullanımının başarımı incelenmiştir. Bu kısımdaki çalışmalarda bilinmeyen durağan mesafeler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Şekil 2.24'te denklem (2.4) ile belirtilen ve çapa düğümlerin birbirleri ile haberleşmesi sonucu elde edilen aig_n dizisi (80cm aralıklarla) ve denklem (2.12) ile elde edilen ideal AİG-Mesafe değerlerinin oluşturulduğu aig dizisinin mesafeye bağlı değişimleri görülmektedir. Çapa düğümlerde oluşturulan aig_n dizisi içerisinde AİG'lerde var olan gürültü çok sayıda ölçümün ortalaması alınarak bastırılmıştır. Elde edilen ölçümlerle ortalama yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta} = 1.761$ olarak elde edilmiştir. Bulunan $\tilde{\delta}$ değeri (2.11)'de yerine koyularak ideal aig değerleri elde edilmiştir.

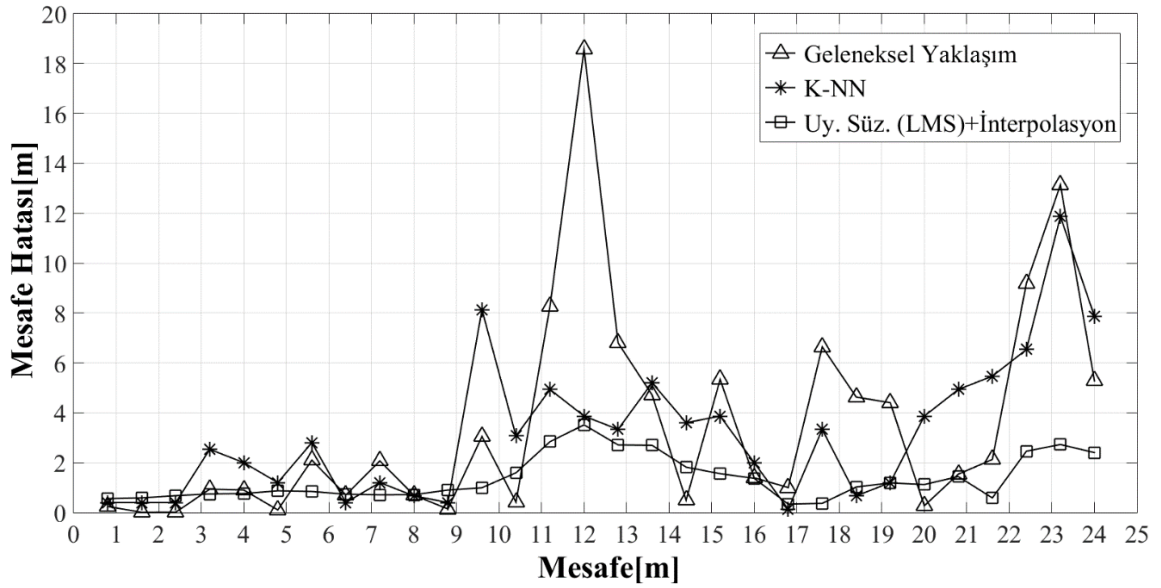


Şekil 2.24. 18×33m açık alanda elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi

Elde edilen aig_n ve aig bilgileri uyarlamalı süzgecin gerekli bilgileri olup süzgeçleme işleminde kullanılmıştır. Süzgeçlemeden sonra referans çapa düğümünden alınan AİG bilgisine göre doğrusal interpolasyon uygulanıp mesafe tahminleri gerçekleştirilmiştir. Başarım sonuçları önerilen her yaklaşım için daha iyi gözlemlenebilmesi için ayrı ayrı incelenmiştir. Uyarlamalı Süzgeç (LMS), K-NN ve Geleneksel yaklaşıma ilişkin 1-24m civarında 80cm aralıklarla gerçekleştirilen tahminler Şekil 2.25'teki grafikte düzenlenmiştir. Şekil 2.25'te ifade edilen ideal doğru, yapılması gereken ideal tahminleri göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde en kötü tahminlerin geleneksel yöntemle gerçekleştiği görülmektedir. Diğer çok kullanılan tahmin yöntemi olan K-NN ile Uyarlamalı Süzgeç (LMS)+İnterpolasyon değerlendirildiğinde 11m civarına kadar gerçekleştirilen tahminlerin her iki yaklaşım içinde oldukça ideale yakın olduğu görülmektedir. 11-24m aralığına bakıldığında ise tahminlerde hataların artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 2.23'te gösterilen gürültü analizi sonuçları da bu doğal sonucu desteklemektedir. 11-24m arasında özellikle geleneksel yaklaşımda gerçekleşen tahminlerin bazılarında 12m, 22.5m ve 23.5m gibi oldukça hatalı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnterpolasyon ise geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye göre iyi sonuçlar vermiştir. Durumu daha iyi analiz etmek için gerçekleşen mutlak mesafe hataları Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.25. 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS)+interpolasyon tabanlı)



Şekil 2.26. 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS)+interpolasyon tabanlı)

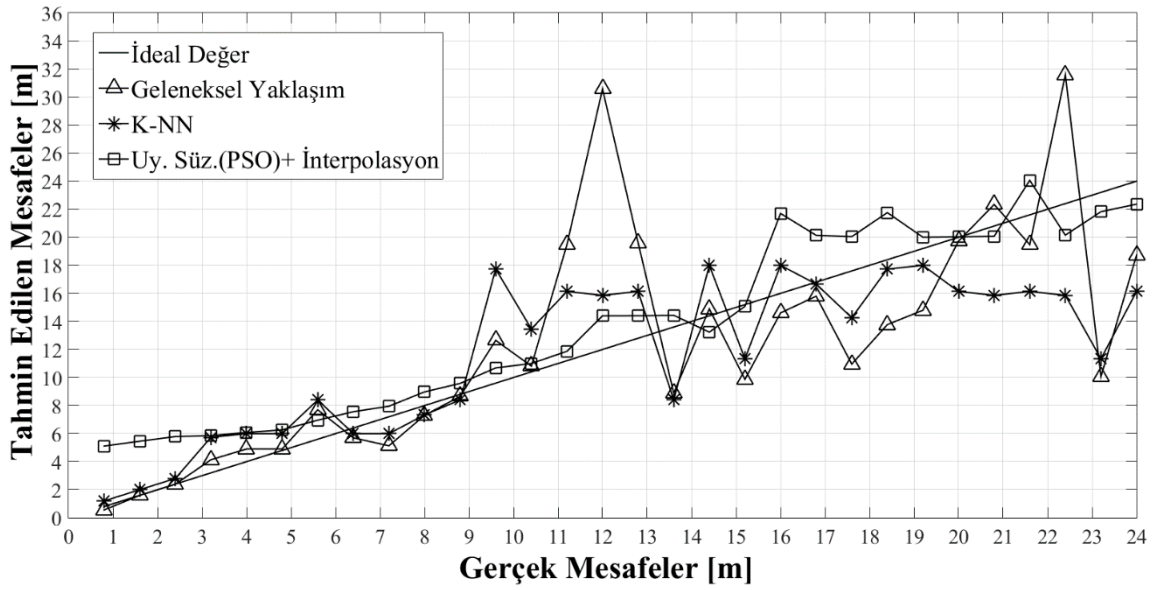
Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnterpolasyon, Geleneksel yaklaşım ve K-NN'nin yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 3.4 kat, geleneksel yaklaşıma göre 5.33 kat

daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN'ye göre yaklaşık 2.55 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 2.75 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2.6. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (LMS)+ İnterpolasyon tabanlı)

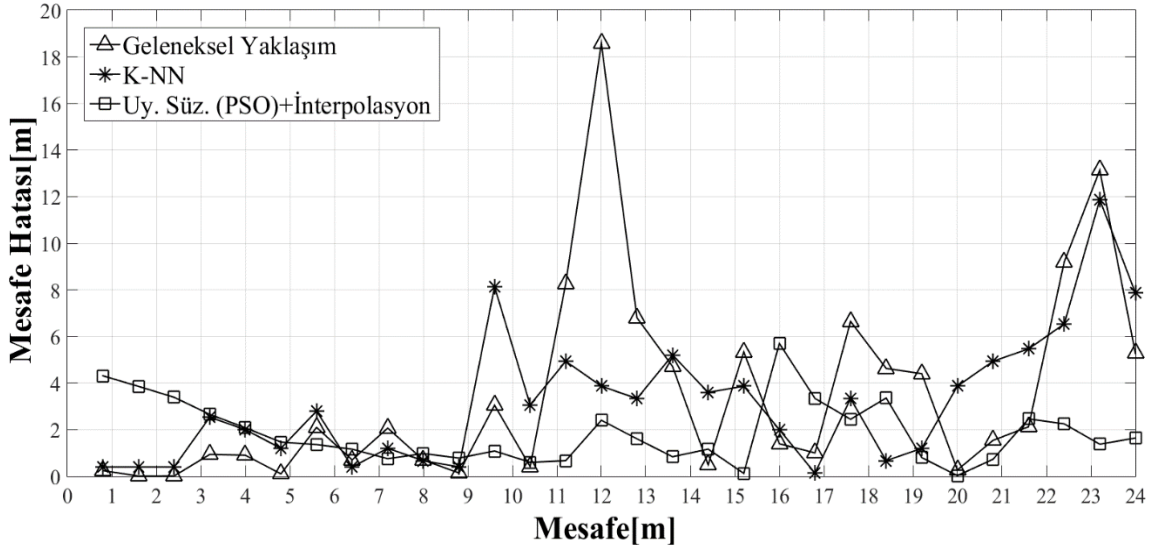
Hata Tipi	Uy. Süz (LMS) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	3.481	11.86	18.572
Ort. Mut. Hata [m]	1.272	3.208	3.505

Diğer önerilen yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (PSO) için aynı AİG ölçüm değerlerinde elde edilen tahminler ve başarımlar Şekil 2.27 ve Şekil 2.28'deki gibidir.



Şekil 2.27. 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon tabanlı)

Sonuçlara bakıldığında Uyarlamalı süzgeç (PSO)'nun 1-12m arası ideal değere yakın sonuçlar gösterirken 12-24m arası tahmin hataları artmaktadır. Bu yönüyle Uyarlamalı süzgeç (LMS)'ye benzer davranış göstermiştir.



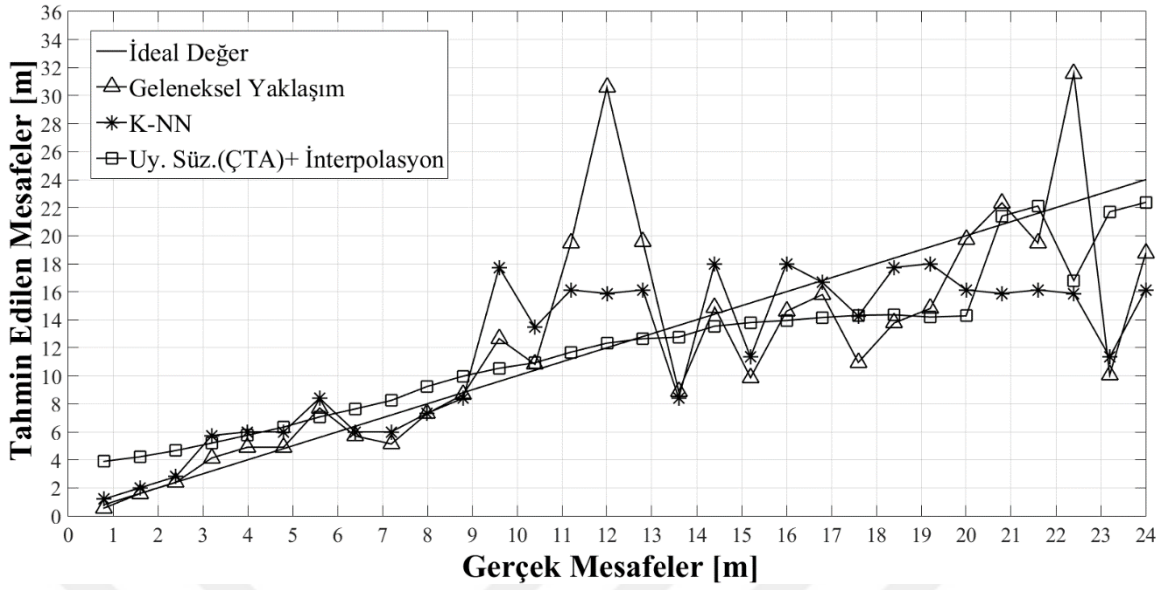
Şekil 2.28. 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları(Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon tabanlı)

Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon, Geleneksel yaklaşım ve K-NN'nin yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar Tablo 2.7'de gösterilmiştir. Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 2.08 kat, geleneksel yaklaşıma göre 3.26 kat daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN'ye göre yaklaşık 1.73 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 1.89 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 2.7. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (PSO) +İnterpolasyon tabanlı)

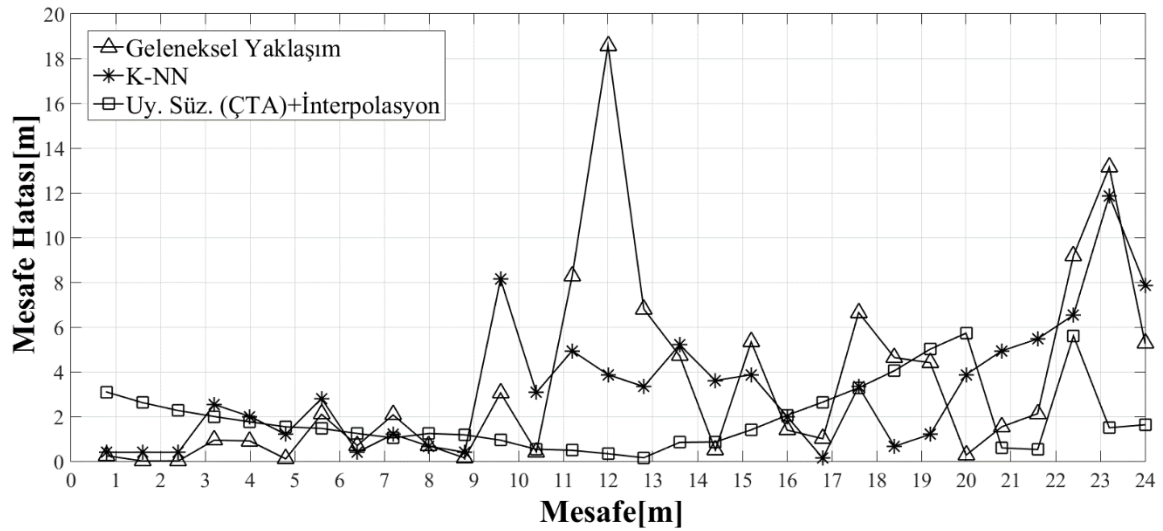
Hata Tipi	Uy. Süz (PSO) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	5.700	11.86	18.572
Ort. Mut. Hata [m]	1.847	3.208	3.505

Sonuncu önerilen yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) için aynı AİG ölçüm değerlerinde elde edilen tahminler ve başarımlar Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'daki gibidir.



Şekil 2.29. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon tabanlı)

Sonuçlara bakıldığında Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)'nın yaklaşık 1-15m arası ideal değere yakın sonuçlar gösterirken 15-24m arası tahmin hataları artmaktadır.



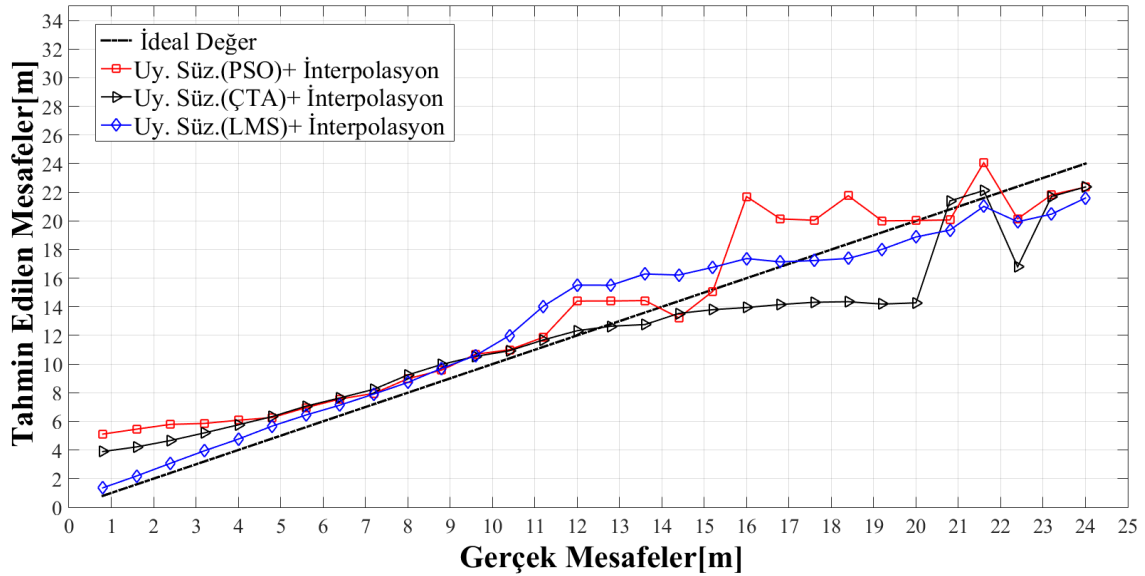
Şekil 2.30. 18x33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon tabanlı)

Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon, Geleneksel yaklaşım ve K-NN'nin yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar Tablo 2.8'de gösterilmiştir. Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 2.07 kat, geleneksel yaklaşıma göre 3.24 kat daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN'ye göre yaklaşık 1.67 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 1.82 kat daha iyi sonuç vermiştir.

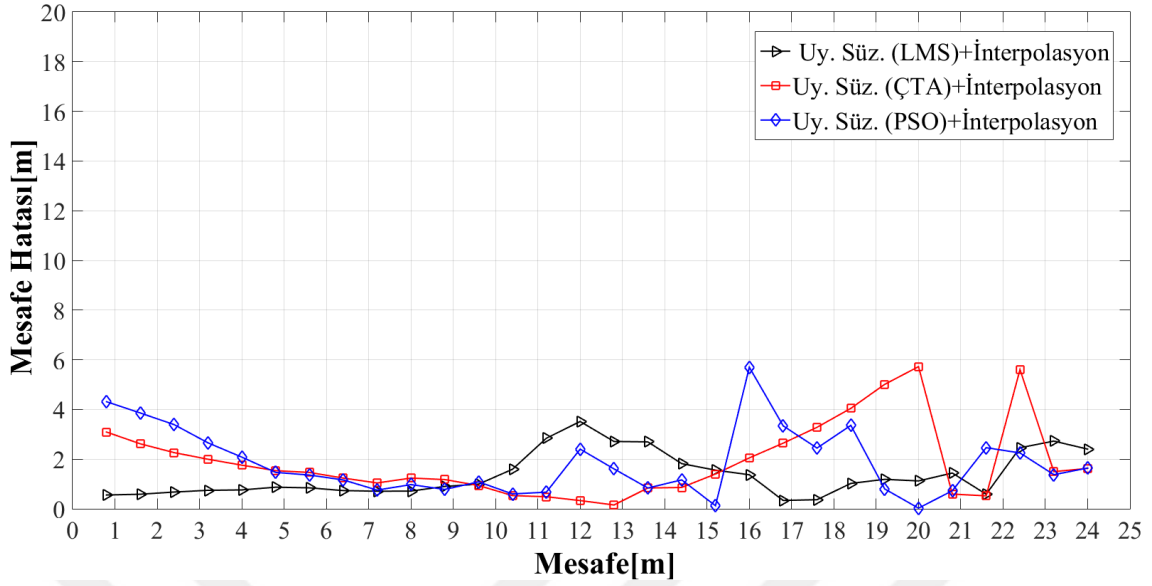
Tablo 2.8. 18×33m açık alan çalışmalarında elde edilen hatalar (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon tabanlı)

Hata Tipi	Uy. Süz (ÇTA) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	5.722	11.86	18.572
Ort. Mut. Hata [m]	1.918	3.208	3.505

Önerilen yöntemlerin kendi aralarında kıyaslanışımı ise Şekil 2.31 ve Şekil 2.32'de gösterilmiştir.



Şekil 2.31. Önerilen yöntemlerin 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminleri



Şekil 2.32. Önerilen yöntemlerin 18×33m açık alan çalışmalarında 1-24m (80cm aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları

Sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.9’da gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımların yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları

Hata Tipi	Uyar. Süz (LMS)+İnt.	Uyar. Süz (PSO)+İnt.	Uyar. Süz (ÇTA)+İnt.
En Büy. Mut. Hata [m]	3.481	5.700	5.722
Ort. Mut. Hata [m]	1.272	1.847	1.918

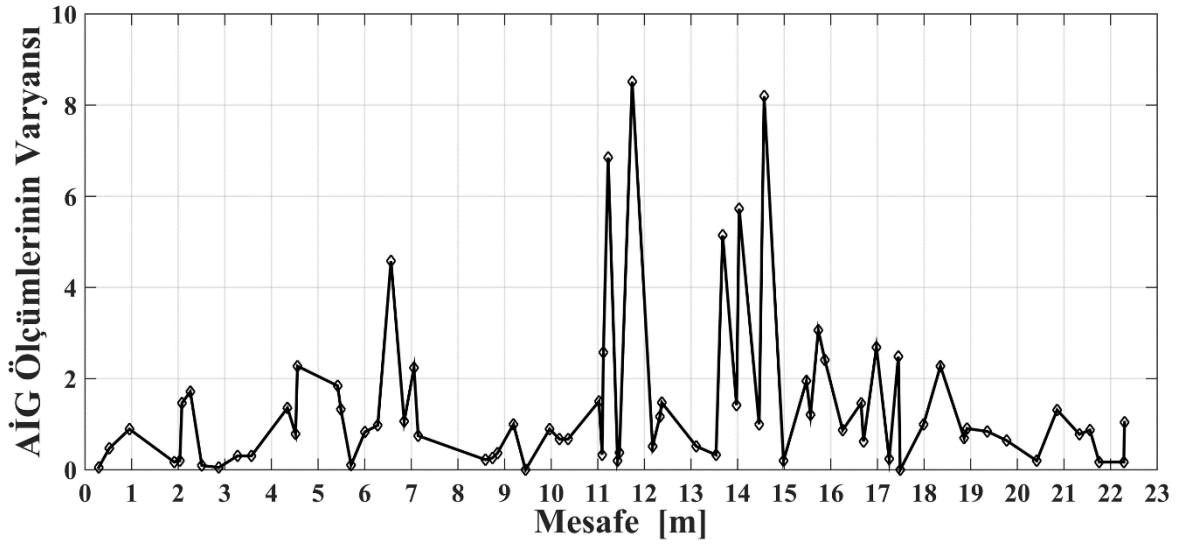
Önerilen yaklaşımlar arasında yapılan kıyaslamada; en büyük mutlak hata Uyar. Süz. (ÇTA)+İnterpolasyonda ortaya çıkarken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyon olmuştur. Ortalama mutlak hata da en iyi sonuçlar Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyondan alınırken bunu sırasıyla Uyar. Süz. (PSO)+İnterpolasyon ve Uyar. Süz. (ÇTA)+İnterpolasyon takip etmiştir.

Diğer bir açık alan çalışması ise karayolu kenarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği ortam Şekil 2.33’te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 1-22m arasında rastgele seçilen mesafelerde tahminler gerçekleştirilmiştir.



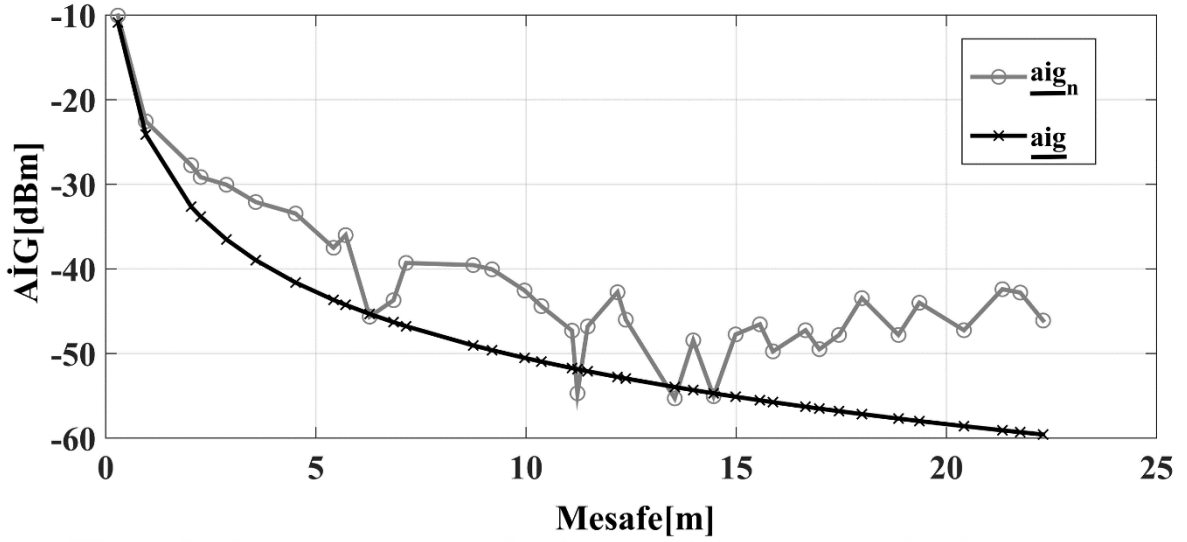
Şekil 2.33. Karayolu yol kenarı çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam

Yapılan çalışmada rastgele mesafelerde elde edilen AİG değerlerinin varyansları (20 ölçüm için) Şekil 2.34’te görülmektedir.



Şekil 2.34. Karayolu çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları

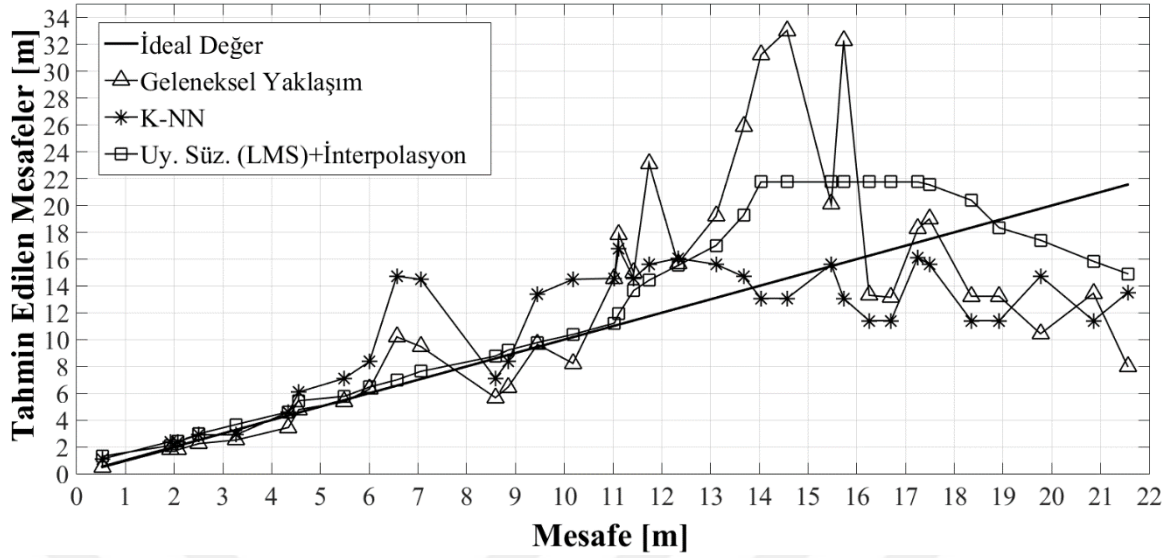
İkinci çalışmada elde edilen varyans değerleri 18x33m açık alan çalışmalarında elde edilen varyans değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bir başka deyişle karayolu çalışmalarında gürültünün etkisi daha fazla olmaktadır. 1-11m aralığında elde edilen ortalama varyans değeri 0.919 iken 11-22m aralığında 1.766 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.35. Karayolu çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi

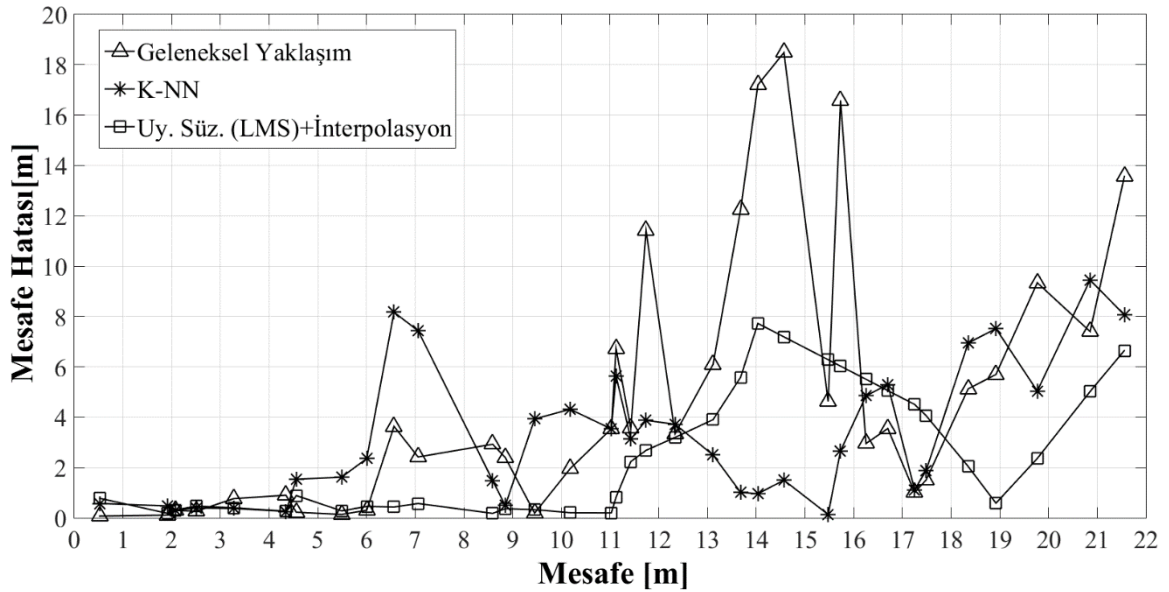
Şekil 2.35'te düğüm haberleşmeleri sonucu elde edilen aig_n dizisi (rastgele aralıklarla) ve ideal AİG-Mesafe değerlerinin oluşturulduğu aig dizisi görülmektedir. Karayolu çalışmalarında elde edilen yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta} = 2.03$ olarak bulunmuştur. Bulunan $\tilde{\delta}$ değeri (2.11)'de yerine koyularak ideal aig değerleri elde edilmiştir.

Uyarlamalı süzgeç (LMS), K-NN ve geleneksel yöntemle ilişkin 1-22m civarında rastgele aralıklarla gerçekleştirilen tahminler Şekil 2.36'daki grafikte düzenlenmiştir. Şekil 2.36'da görüldüğü gibi ilk çalışmaya benzer şekilde 1-11m aralığında tahminler daha kararlı olurken 11-22m aralığına bakıldığında ise tahminlerde hataların artış gösterdiği hatta ilk çalışmaya göre daha yüksek hatalar oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2.36. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)

Fakat Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnterpolasyon yaklaşımının K-NN ve Geleneksel yaklaşıma göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Durumu daha iyi analiz etmek için gerçekleşen mutlak mesafe hataları Şekil 2.37'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)

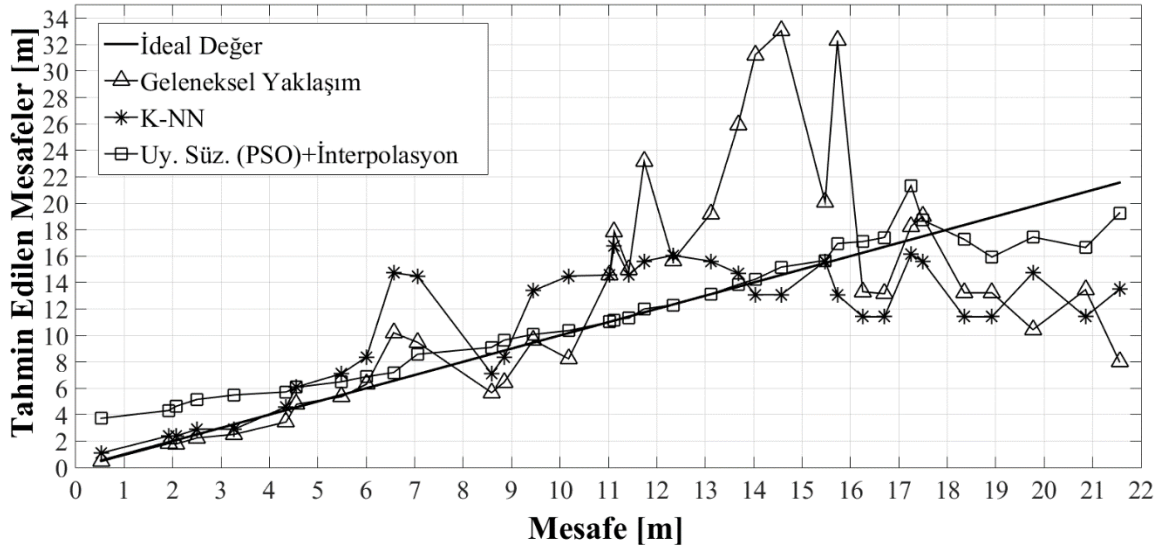
Elde edilen sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.10’da gösterilmiştir. Önerilen, K-NN ve geleneksel yaklaşımın yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

Tablo 2.10. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar

Hata Tipi	Uy. Süz (LMS) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	7.723	9.448	18.481
Ort. Mut. Hata [m]	2.505	3.214	4.870

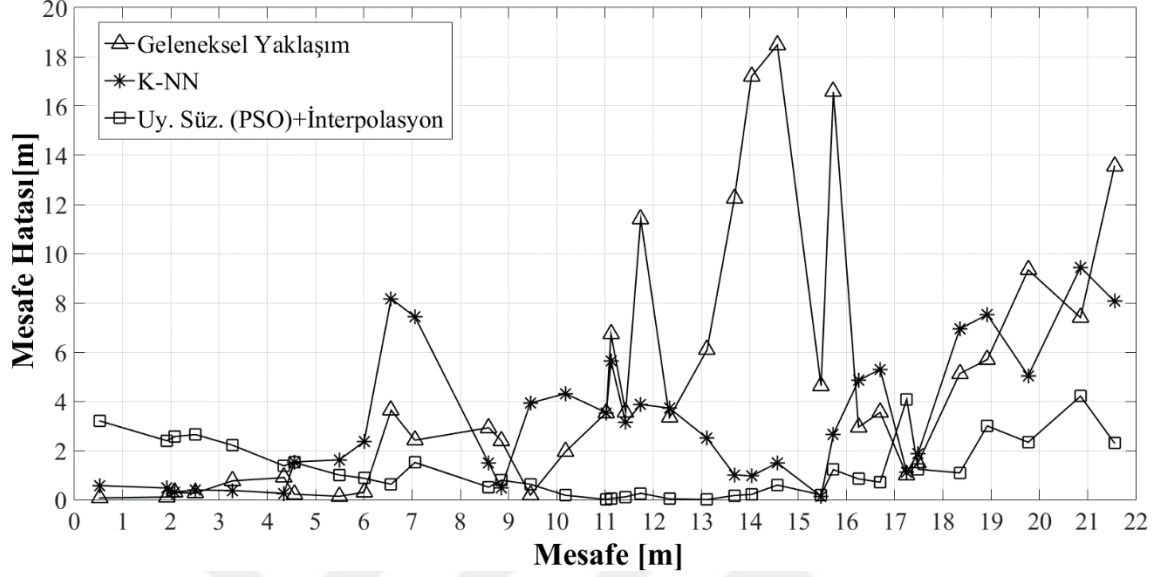
Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 1.22 kat, geleneksel yaklaşıma göre 2.39 kat daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN’ye göre yaklaşık 1.28 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 1.94 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Diğer bir önerilen yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (PSO) için aynı AİG ölçüm değerlerinde elde edilen tahminler ve başarımlar Şekil 2.38 ve Şekil 2.39’daki gibidir.



Şekil 2.38. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

Sonuçlara bakıldığında Uyarlamalı süzgeç (PSO)'nun 1-22m arası ideal değere yakın sonuçlar göstermiştir.



Şekil 2.39. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

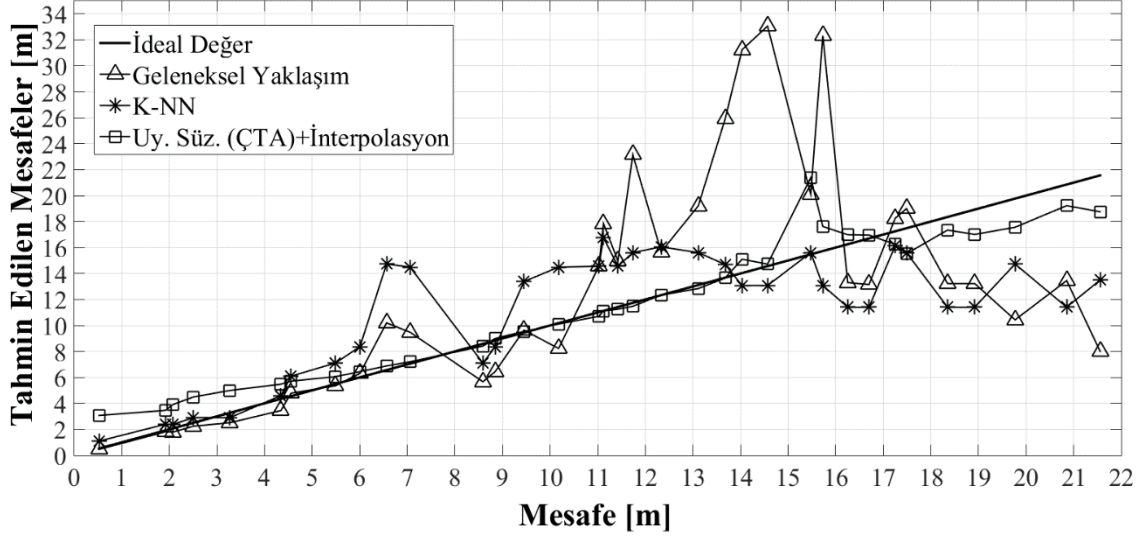
Elde edilen sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.11’de gösterilmiştir. Önerilen, K-NN ve geleneksel yaklaşımın yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

Tablo 2.11. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar

Hata Tipi	Uy. Süz (PSO) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	4.207	9.448	18.481
Ort. Mut. Hata [m]	1.276	3.214	4.870

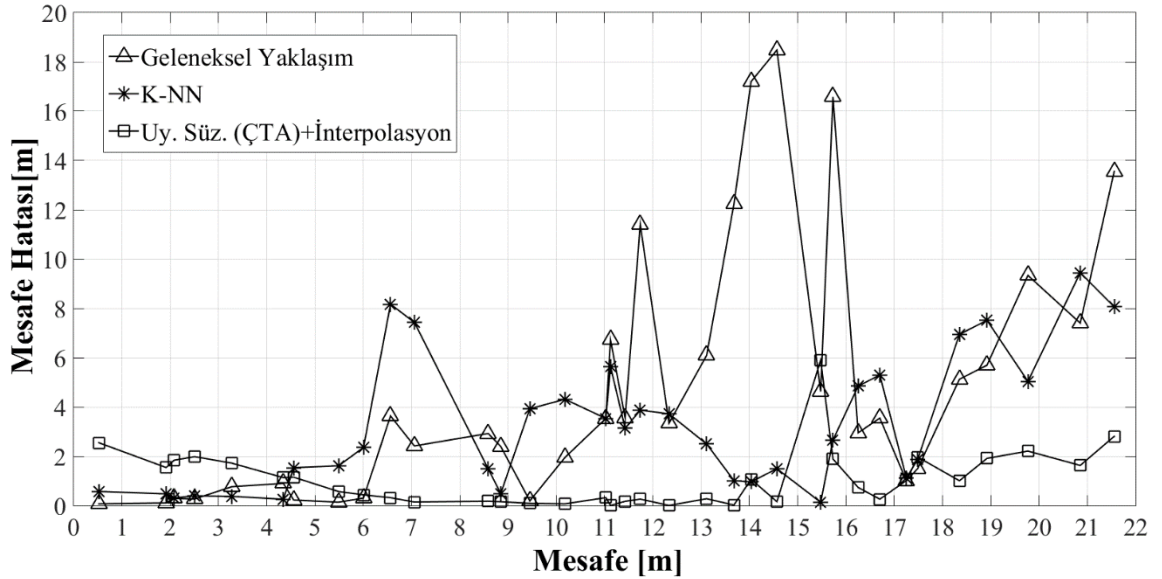
Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 2.24 kat, geleneksel yaklaşıma göre 4.39 kat daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN’ye göre yaklaşık 2.51 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 3.81 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Sonuncu önerilen yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) için aynı AİG ölçüm değerlerinde elde edilen tahminler ve başarımlar Şekil 2.40 ve Şekil 2.41'deki gibidir.



Şekil 2.40. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)

Sonuçlara bakıldığında Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)'nın 1-22m arası ideal değere yakın sonuçlar göstermiştir.



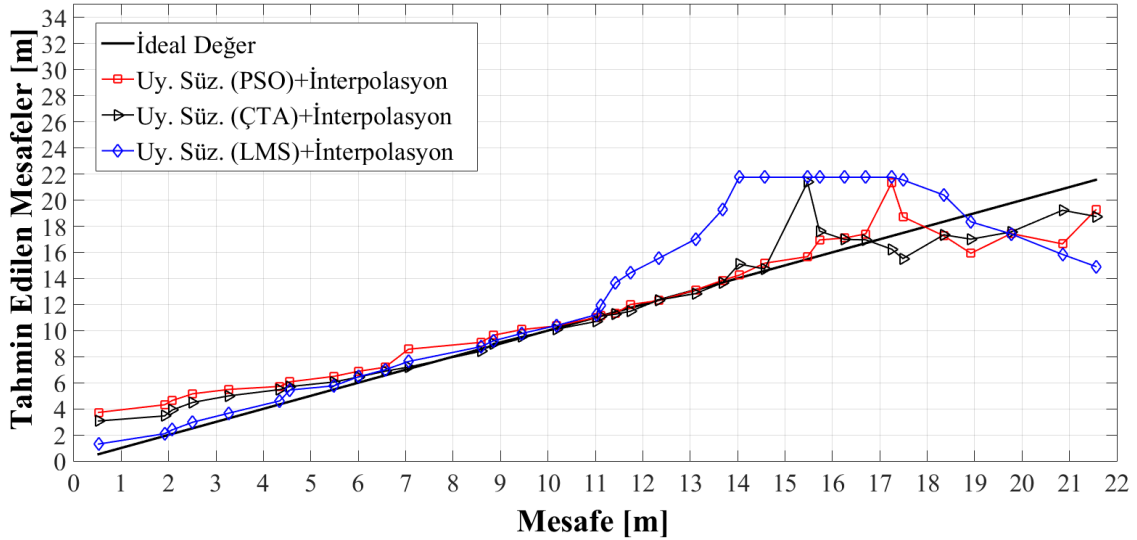
Şekil 2.41. Karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)

Elde edilen sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.12’de gösterilmiştir. Önerilen, K-NN ve geleneksel yaklaşımın yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

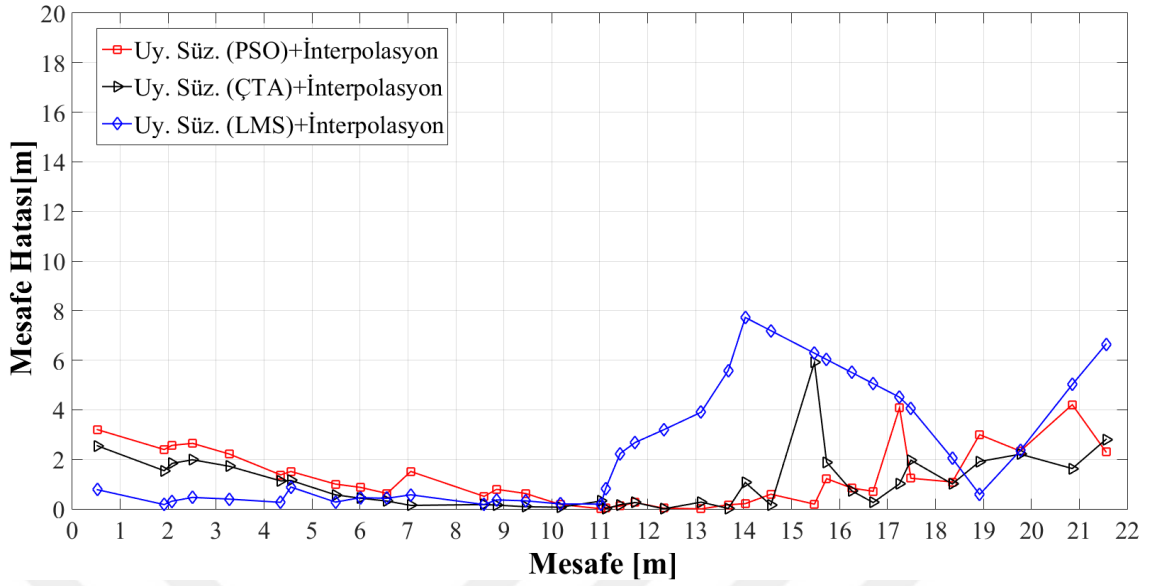
Tablo 2.12. Karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)+İnterpolasyon) ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hatalar

Hata Tipi	Uy. Süz (ÇTA) + İnterpolasyon	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	5.903	9.448	18.481
Ort. Mut. Hata [m]	1.070	3.214	4.870

Yapılan en büyük mutlak hata geleneksel yaklaşımda ortaya çıkarken, uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnterpolasyon K-NN ye göre yaklaşık 1.6 kat, geleneksel yaklaşıma göre 3.13 kat daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan ortalama mutlak hatalar göz önüne alındığında ise; K-NN’ye göre yaklaşık 3 kat, geleneksel yaklaşıma göre yaklaşık 4.55 kat daha iyi sonuç vermiştir. Önerilen yöntemlerin kendi aralarında kıyaslanışını ise Şekil 2.42 ve Şekil 2.43’te gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Önerilen yöntemlerin karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminleri



Şekil 2.43. Önerilen yöntemlerin karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-22m (rastgele aralıklı) mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları

Sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.13'te gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımların yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

Tablo 2.13. Karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları

Hata Tipi	Uy. Süz (LMS)+İnt.	Uy. Süz (PSO)+İnt.	Uy. Süz (ÇTA)+İnt.
En Büy. Mut. Hata [m]	7.723	4.207	5.903
Ort. Mut. Hata [m]	2.505	1.276	1.070

Önerilen yaklaşımlar arasında yapılan kıyaslamada; en büyük mutlak hata Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyonda ortaya çıkarken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım Uyar. Süz. (PSO)+İnterpolasyon olmuştur. Ortalama mutlak hata da en iyi sonuçlar Uyar. Süz. (ÇTA)+İnterpolasyondan alınırken bunu sırasıyla Uyar. Süz. (PSO)+İnterpolasyon ve Uyar. Süz. (LMS)+İnterpolasyon takip etmiştir.

2.5.3.1.2. Hız Bilgisi Bilindiği Durumda Önerilen Yöntemlerin Başarım Analizi

Referans çapa düğümün ilettiği mesajlar hareket halinde belli bir hızla ilerleyen araç tarafından alınır. Dolayısıyla hız bilgisinin bilindiği durumda başarımları inceleyebilmek için, aracın hareketinden kaynaklı oluşacak olan Doppler kaymasının haberleşmeyi nasıl etkilediği irdelenmiştir. Tez çalışmasında; referans çapa düğüm kendi ID, x, y koordinat bilgilerini ve 24 adet AİG bilgisini iletmektedir. Paket iletiminin kanalın evre uyumlu zamanı (coherence time) T_c 'den daha kısa sürede bitmesi gerekmektedir. Böylece Doppler kaymasından etkilenilmez. Bir Zigbee paketinin yapısı aşağıdaki gibidir.

Preamble (Başlangıç)	Start of Frame Delimiter(SFD) (Çerçeve Sınırlandırıcı Başlangıcı)	Frame Length (Çerçeve Uzunluğu)	Reserved (Saklanmış)	PSDU (Fiziksel Servis Veri Birimi)
-------------------------	---	------------------------------------	-------------------------	--

Şekil 2.44. IEEE 802.15.4 Paket yapısı

IEEE 802.15.4 2.4GHz taşıyıcısında dikgen- dört evreli faz kaydırmalı anahtarlama (D-DFKA) modülasyonu kullanıldığında; Çerçeve sınırlandırıcı başlangıcı 1 byte, başlangıç 4 byte, çerçeve uzunluğu 7 bit, saklanmış 1 bit ve fiziksel servis veri birimi ise 9 byte ile RF çerçevesinin maksimum boyutu 127 byte arası veri içerebilir. Bu durumda bir Zigbee paketi en az 15 byte en çok 133 byte boyutunda olabilir. Fiziksel servis veri birimi olarak isimlendirilen kısım ise aslında bir RF (radyo frekans) çerçevesidir. Bir RF çerçevesinin yapısı ise Şekil 2.45.'te gösterilmiştir.

Frame Control (Çerçeve Denetim)	Sequence Number (Dizi Numarası)	Addressing Fields (Adres Alanı)	Auxiliary Security HDR (Yardımcı Güvenlik)	Data Payload (Veri Bloğu)	FCS (Çerçeve Sınama Toplamı)
--	--	---------------------------------------	---	------------------------------------	---------------------------------------

Şekil 2.45. IEEE 802.15.4 Çerçeve yapısı

Şekil 2.45'te de görüldüğü uygulama katmanından gelen esas iletilmek istenen veri; veri yükü (Data payload) olarak isimlendirilmektedir. Veri yükü (Data payload) değişken bir

uzunluğa sahiptir ve en fazla 103 bytedir (URL-10, 2019). Çalışmada referans çapa düğüm kendi ID, x, y koordinat bilgilerini ve 24 adet AİG bilgisini iletmektedir. ID, x, y koordinatları bir tamsayı olacak şekilde kodlanarak gönderildiğinde 25 tamsayı değeri içerir. Diğer bir ifade ile $25 \times 4 = 100$ byte eder. Çerçeve denetim 2 byte, dizi numarası 1 byte, adres alanı 2 byte, yardımcı güvenlik hdr 0 byte ve çerçeve sınama toplamı (FCS) 2 byte olduğunda iletilmek istenen esas veri ile birlikte 7 byte daha iletmek gerekecektir. Buna göre referans çapa düğüm için Şekil 2.44'te gösterilen paketin boyu $107 + 6 = 113$ byte olmalıdır.

IEEE 802.15.4 2.4GHz taşıyıcı frekansı için veri aktarım hızı 250kb/s'dir. Buna göre 1 biti iletmek için gerekli süre $4\mu s$ 'dir. Tez çalışmasında referans çapa düğüm paketlerinin $113 \times 8 = 904$ bit içerdiği düşünüldüğünde; bir paketin iletim süresinin $3616\mu s \approx 3.6ms$ olur. Kanalin değişmiyor olarak kabul edildiği süre Doppler frekansı ile ters orantılıdır. Kanalin evre uyumlu zamanı kanalın zamana bağlı ilinti fonksiyonunun 0.5'in üzerinde olduğu süre olarak tanımlanırsa aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Rappaport, 1996).

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_D} \quad (2.37)$$

Paket iletimi bitmeden kanal değişmemelidir. Evre uyumlu zamanın $3616\mu s$ 'den daha büyük bir değer alması için Doppler frekansının olması gereken değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_D} \geq 3616\mu s \Rightarrow f_D \leq 49.54Hz \quad (2.38)$$

Buradan da aracın hızının 21.838km/saat'ten daha düşük olması gerektiği aşağıdaki gibi bulunur.

$$f_D = \frac{v_a}{\lambda} = \frac{v_a}{c} f = \frac{v_a}{3.10^8} 2450.10^6 \leq 49.54 \Rightarrow v_a \leq 6.06 m/s = 21.838km/saat \quad (2.39)$$

Yapılan deneysel çalışmalarda gezgin aracın hızı $v_a = 20$ km/saat belirlenmiştir. AUS'ler için bu hız değerinin çok düşük olduğu aşikârdır. Çünkü günümüz taşıtları genel olarak şehir içi 50, şehirlerarası 90km/saat hızla karayolunda seyretmektedirler. Sistem ürün haline dönüştürüldüğünde gönderilen veri paketinin boyutu düşürülüp gezgin aracın ulaşabileceği

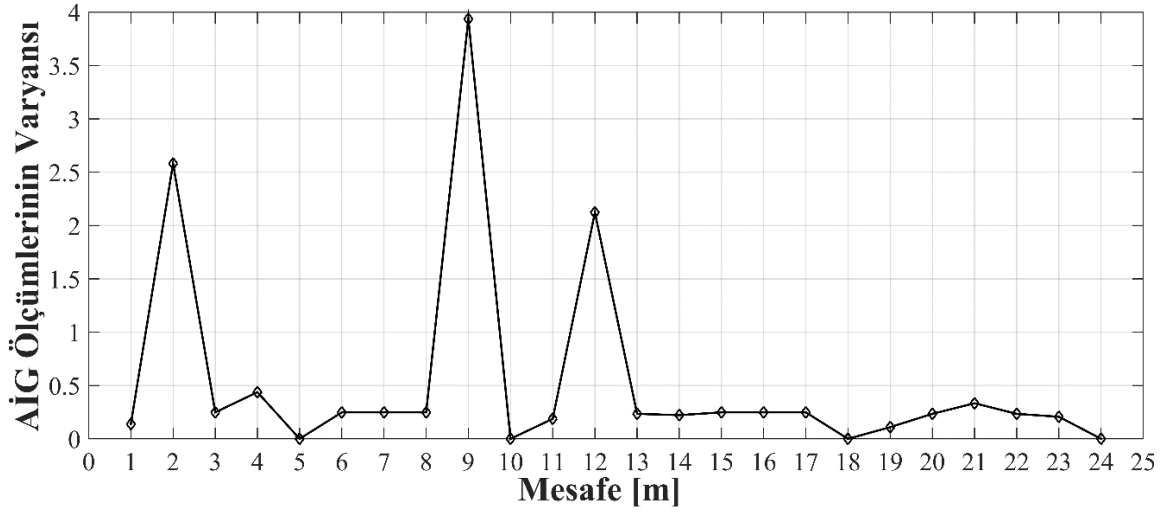
hız sınırı arttırılabilecektir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kablosuz düğümün alıcı hassasiyeti -97dBm dir. Bu çıkılabilecek en yüksek değer, pozitif bir tamsayı olarak gönderildiğinde (Alıcı tarafta negatif tamsayı karşılığı olduğu bilinecektir) 7 bitlik bir veri oluşturur. Bunun anlamı 4byte bir tamsayı(int) içine 24 elemanlı dizinin 4 adet elemanı saklanabilir. Yani bütün veri 6+1(ID, x ve y koordinatları) tamsayı(int) içinde 28 byte olarak gönderilebilir. Bu durumda diğer eklenen byte'larla $28+7+6=41$ byte'lık sıkıştırılmış veri elde edilir. Gönderilecek sıkıştırılmış veri boyutuna göre, (2.39) ile hesaplanan hız sınırı değeri yaklaşık 60.2km/saat olur. Elde edilen hız değeri şehir içi ve dışı seyreden araçlar için uygun olarak nitelendirilebilir.

Hız bilgisinin bilindiği dış ortam ölçümlerinde karayolunda seyreden AUS'ler dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği karayolu ortamı Şekil 2.46'da gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 1-24m arasında 20km/s olarak hızla ilerleyen aracın 0.25s aralıklarla konumu tahmin edilmiştir.



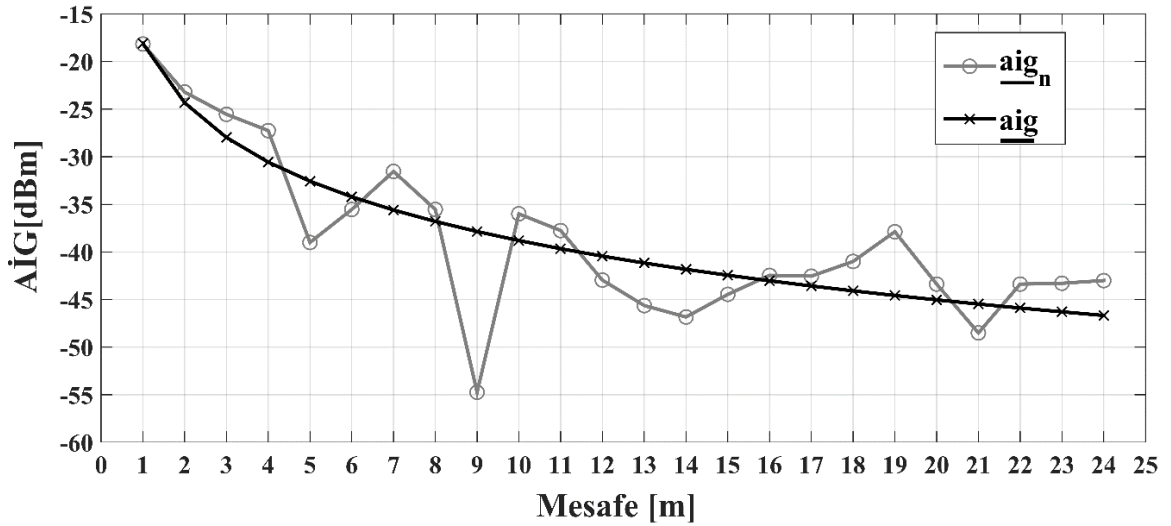
Şekil 2.46. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam

Yapılan çalışmada 1-24m arasında 1m aralıklarla elde edilen AİG değerlerinin varyansları (20 ölçüm için) Şekil 2.47'de görülmektedir.



Şekil 2.47. Hız bilgisine dayalı karayolu çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin varyansları

Yapılan analizde 1-13m aralığında elde edilen ortalama varyans değeri 0.818 iken 13-24m aralığında 0.189 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.48. Hız bilgisine dayalı karayolu çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi

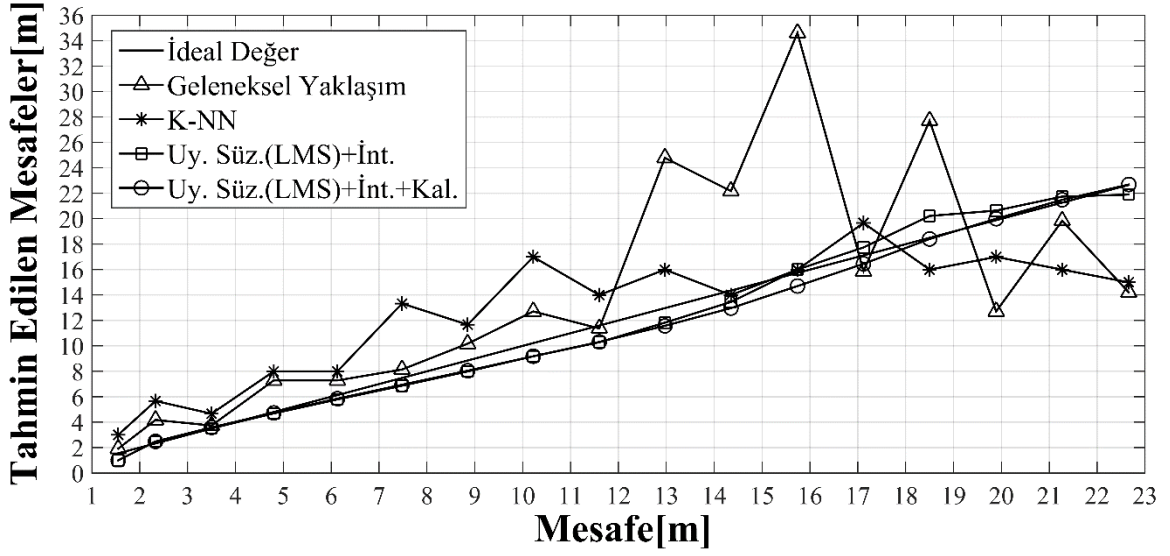
Şekil 2.48'de düğüm haberleşmeleri sonucu elde edilen aig_n dizisi (1-24m arası 1m aralıklı) ve ideal AİG-Mesafe değerlerinin oluşturulduğu aig dizisi görülmektedir. Hız

bilgisine dayalı karayolu çalışmalarında elde edilen yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta} = 2.07$ olarak bulunmuştur. Bulunan $\tilde{\delta}$ değeri (2.11)'de yerine koyularak ideal \underline{aig} değerleri elde edilmiştir. 1-24m arasında 20km/s hızla ilerleyen aracın sabit hızlı düzgün doğrusal hareket ettiği kabul edilmiş ve 0.25 sn aralıklarla mesafe bilgisi alması sağlanmıştır. 20km/s hızla ilerleyen aracın 0.25s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri Tablo 2.14'te gösterilmiştir. Hız bilgisini içermeyen Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt., hız bilgisini içeren Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman, Geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye ilişkin mesafe tahminleri Şekil 2.49'da gösterilmiştir.

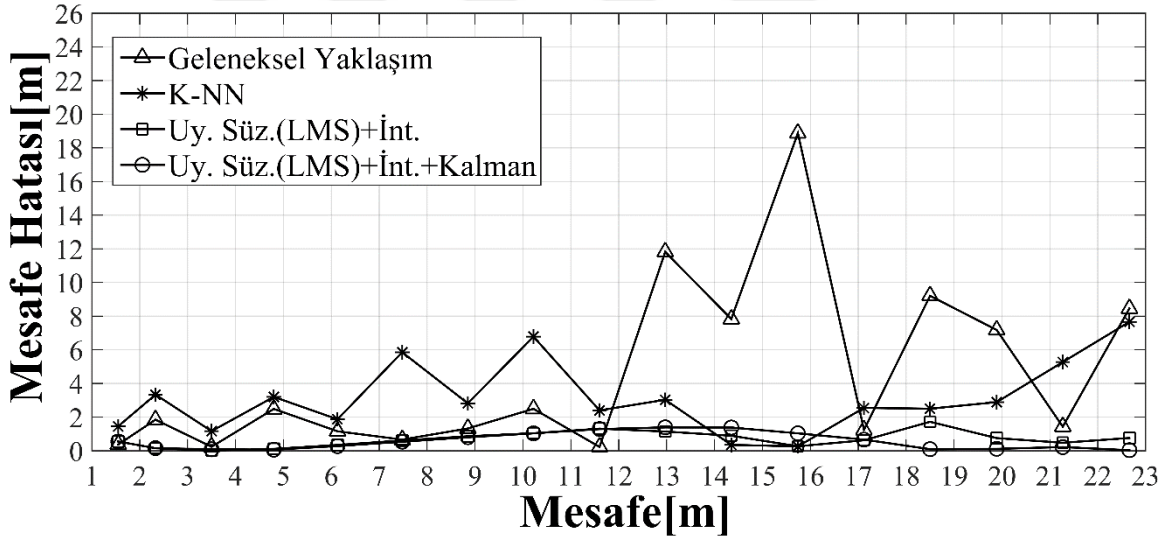
Tablo 2.14. 20km/s hızla ilerleyen aracın 0.25s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri

Zaman[s]	0.00	0.250	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
Mesafeler[m]	1.55	2.33	3.5	4.8	6.13	7.48	8.85	10.22	11.6
Zaman[s]	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
Mesafeler[m]	12.97	14.35	15.74	17.12	18.5	19.89	21.27	22.66	

Şekil 2.49'de görüldüğü gibi 1-24m arası tahminlerde Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt. ve Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman ideal değere çok yakın tahminler gerçekleştirirken diğer kökleşik yaklaşımlar olan geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye göre daha başarılı tahminler gerçekleştirmiştir. Yaklaşımlardan elde edilen mutlak hatalar Şekil 2.50'de gösterilmiştir. Şekil 2.50'de görüldüğü gibi Geleneksel yaklaşım 1-11m aralığında gösterdiği tahminler K-NN'ye göre daha iyi çıkarken 11-24m aralığında K-NN'ye göre oldukça kötü tahminler gerçekleştirmiştir. Önerilen Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman gürültüyü 1-24m aralığında oldukça iyi bastırdığı görülmüştür.



Şekil 2.49. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)



Şekil 2.50. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)

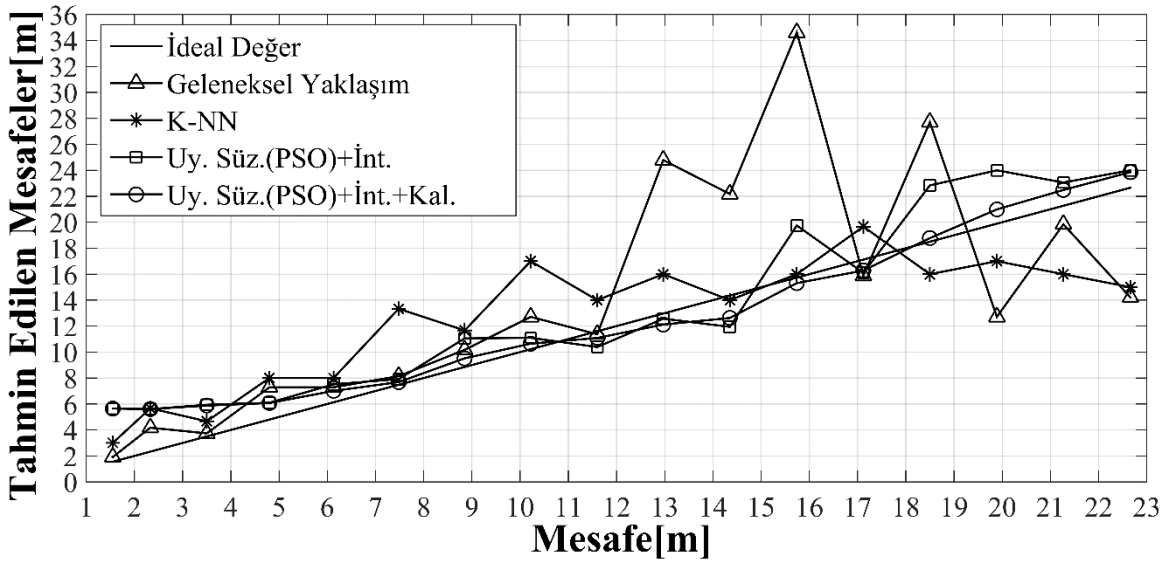
Tablo 2.15'teki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha net bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 0.572m ile Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım 1.389m ile yine Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.15. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

Hata Tipi	Uy. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman	Uy. Süz. (LMS)+İnt.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	1.389	1.720	7.660	18.876
Ort. Mut. Hata [m]	0.572	0.684	3.140	4.519

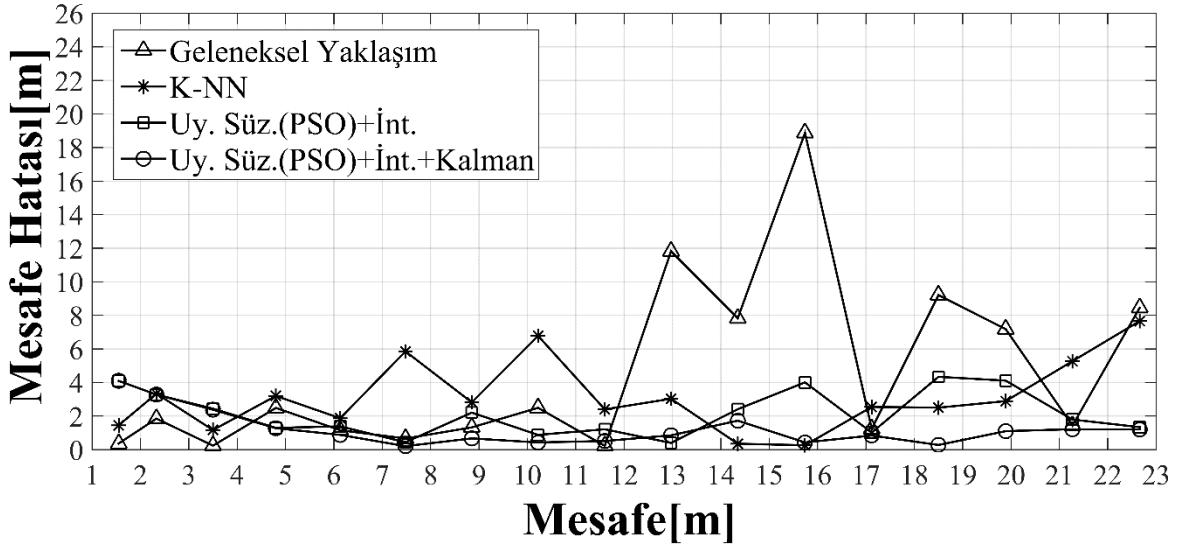
Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 13.59, K-NN'ye göre 5.51 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 7.9, K-NN'ye göre 5.49 kat daha iyi sonuç vermiştir.

İkinci yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman'a ilişkin tahmin ve başarımları ise Şekil 2.51 ve Şekil 2.52'de gösterilmiştir.



Şekil 2.51. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

Tahminlerde elde edilen mutlak hatalar incelendiğinde; Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman'nın Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre tüm tahmin aralığı göz önüne alındığında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Mutlak mesafe hatalarını Şekil 2.52'de gözlemek mümkündür.



Şekil 2.52. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

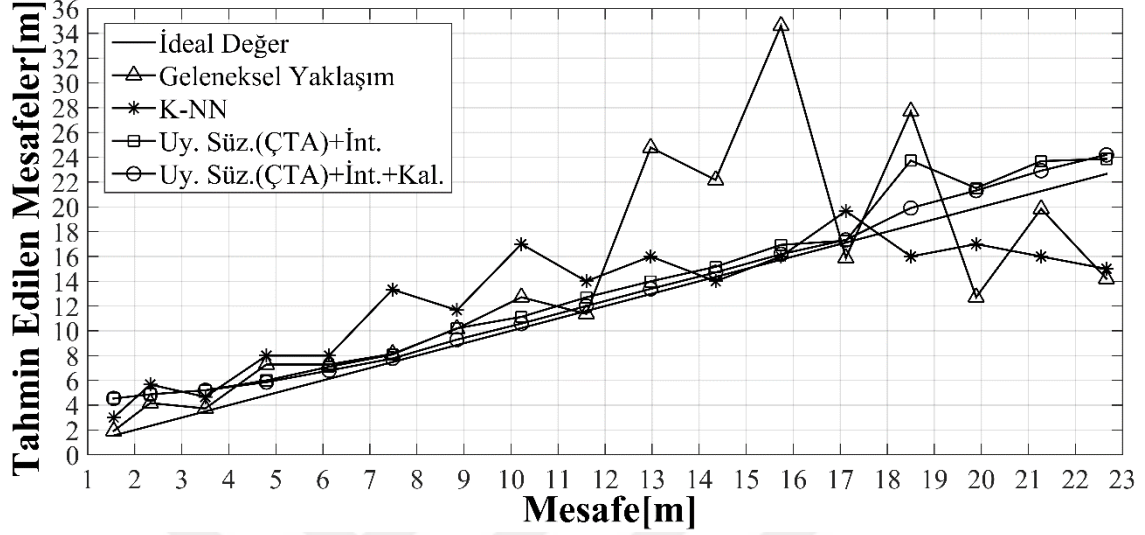
Tablo 2.16'daki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha net bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 1.256m ile Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım yine 4.098m ile Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.16. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

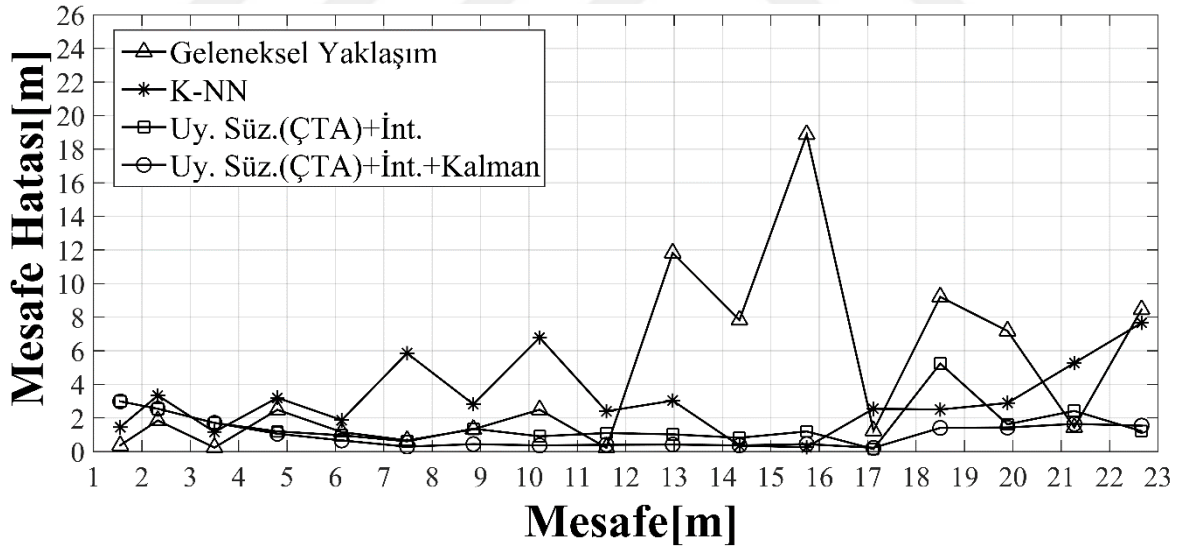
Hata Tipi	Uy. Süz. (PSO)+İn.+Kalman	Uy. Süz. (PSO)+İn.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	4.098	4.339	7.660	18.876
Ort. Mut. Hata [m]	1.256	2.150	3.140	4.519

Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 4.6, K-NN'ye göre 1.87, Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre 1.06 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 3.59, K-NN'ye göre 2.5, Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre 1.71 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Son yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman'a ilişkin tahmin ve başarımlarını Şekil 2.53 ve Şekil 2.54'te gösterilmiştir.



Şekil 2.53. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)



Şekil 2.54. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)

Tablo 2.17'deki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha net bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 1.050m ile Uyarlamalı

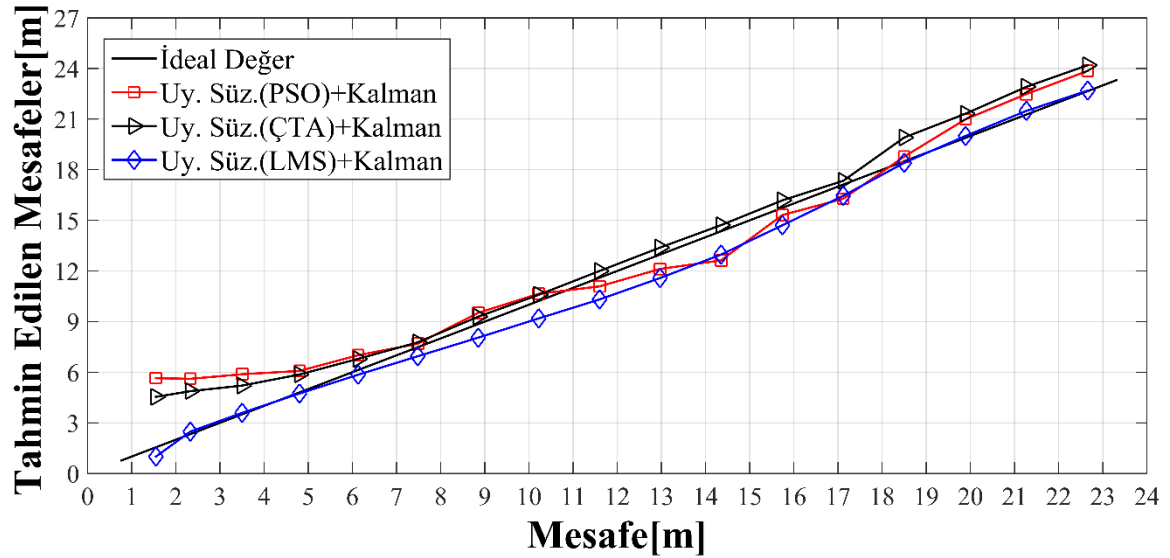
süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım yine 2.980m ile Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.17. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında önerilen yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)+İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

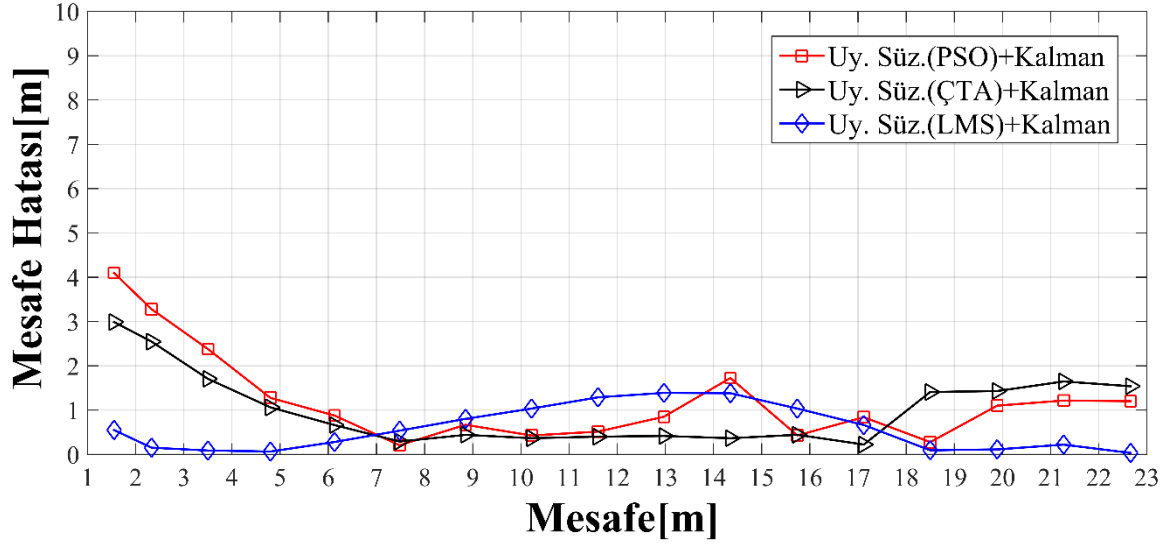
Hata Tipi	Uy. Süz. (ÇTA)+İnt.+Kalman	Uy. Süz. (ÇTA)+İnt.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	2.980	5.230	7.660	18.876
Ort. Mut. Hata [m]	1.050	1.590	3.140	4.519

Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 6.33, K-NN'ye göre 2.65, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.'e göre 1.75 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 4.3, K-NN'ye göre 2.99, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.'e göre 1.51 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Önerilen yöntemlerin kendi aralarında kıyaslanışını ise Şekil 2.55 ve Şekil 2.56'da gösterilmiştir.



Şekil 2.55. Önerilen yöntemlerin hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında 1-24m arasında mesafe tahminleri



Şekil 2.56. Önerilen yöntemlerin hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında - 24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları

Sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.18’de gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımların yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

Tablo 2.18. Hız bilgisine dayalı karayolu yol kenarı çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları

Hata Tipi	Uy. Süz (LMS) + İnt.	Uy. Süz (PSO) + İnt.	Uy. Süz (ÇTA) + İnt.+Kalman
En Büy. Mut. Hata [m]	1.389	4.098	2.980
Ort. Mut. Hata [m]	0.572	1.256	1.050

Önerilen yaklaşımlar arasında yapılan kıyaslamada; en büyük mutlak hata Uyar. Süz. (PSO)+İnt.+Kalman’da ortaya çıkarken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım Uyar. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman olmuştur. Ortalama mutlak hata da en iyi sonuçlar yine Uyar. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman alınırken bunu sırasıyla Uyar. Süz. (ÇTA)+İnt.+Kalman ve Uyar. Süz. (PSO)+İnt.+Kalman takip etmiştir.

2.5.3.2. İç Ortam Mesafe Başarımları

İç ortam başarımları da dış ortam başarımlarında olduğu gibi; hız bilgisi olmadan ve hız bilgisi olduğunda olmak üzere iki farklı şekilde ele alınmıştır. Hız bilgisi olmadığı

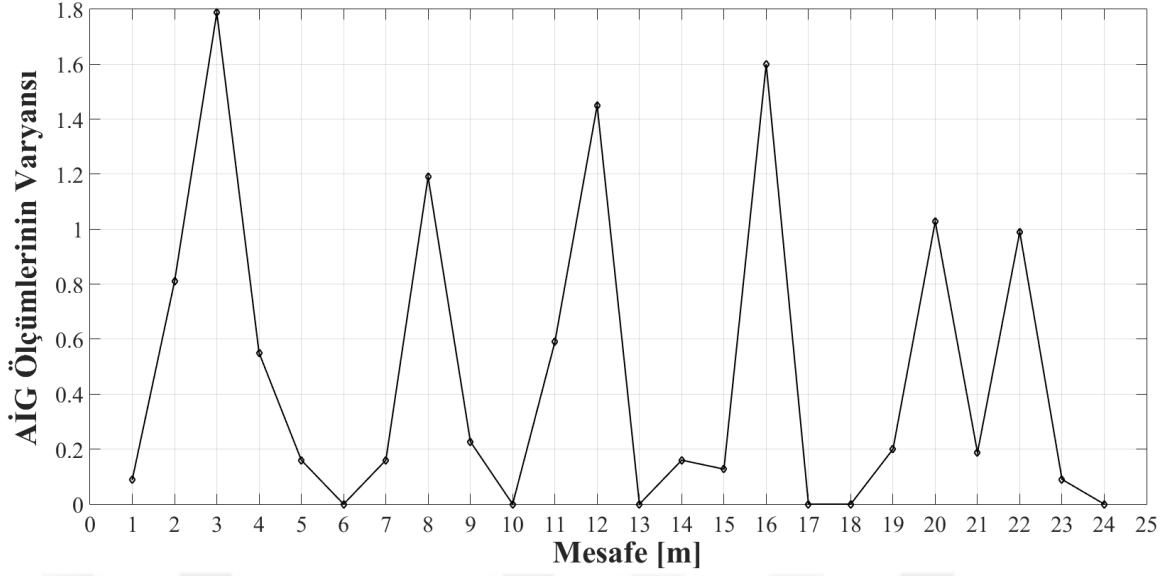
kabul edilerek gelen AİG bilgilerinden Uyarlamalı süzgeç(LMS, PSO veya ÇTA)+interpolasyon kullanılarak mesafe tahminleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hız ve zaman bilgisi dâhil edilerek elde edilen sonuçlar Kalman süzgecinden geçirilmiş ve nihai mesafe tahminleri elde edilmiştir. İç ortam başarımlarının analizlerinin gerçekleştirildiği ortam Şekil 2.57’de gösterilmiştir.

İç ortam ölçümlerinde fabrika vb. kapalı ortamda işlem gören OTT’ler dikkate alınmıştır. Gezgini aracın hızı 10km/saat olarak belirlenmiş ve 0.4s aralıklarla konum tahmini yapacak şekilde yapılandırılmıştır.



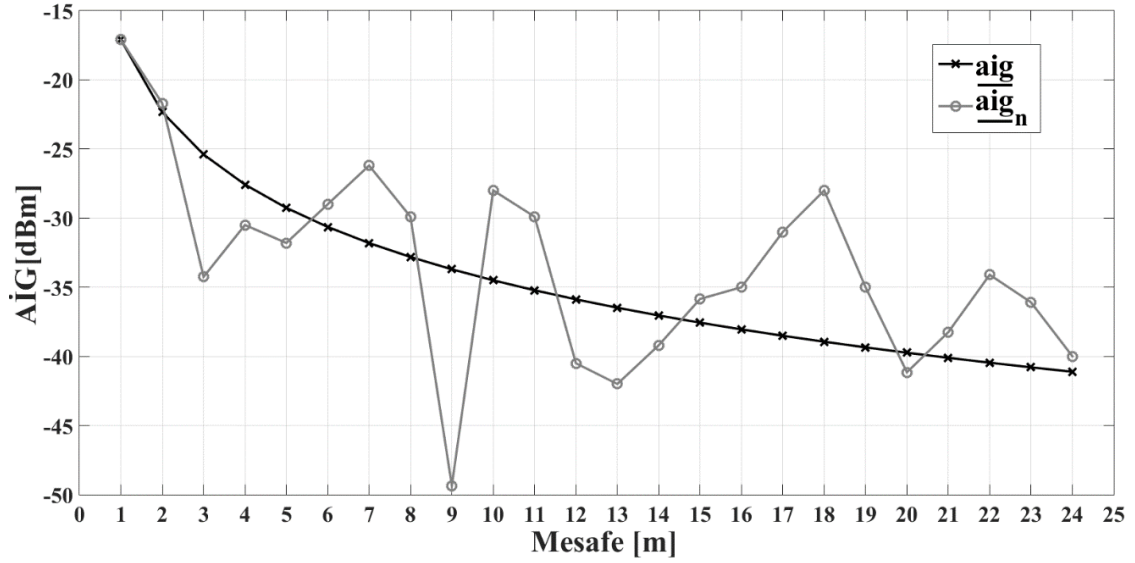
Şekil 2.57. İç ortam çalışmalarının gerçekleştirildiği ortam

Yapılan analizde öncelikle iletim ortamındaki gürültünün durumu incelenmiştir. İç ortamda yapılan uygulamalarda çapa düğümler yardımı ile 1m aralıklarla herbir mesafeye ait 24 adet AİG’ler elde edilmiştir.



Şekil 2.58. İç ortam çalışmalarında mesafeye göre AİG ölçümlerinin ortalama varyansları

Her bir mesafe sütununun (20 ölçüm) ortalama varyans değerleri hesaplanarak mesafeye dayalı AİG'lerin varyansı elde edilmiştir. Elde edilen grafik Şekil 2.58'de görülmektedir. Elde edilen ortalama varyans değerleri 0-1.8 arasında değişmektedir. Şekil 2.59'da düğüm haberleşmeleri sonucu elde edilen aig_n dizisi (rastgele aralıklarla) ve ideal AİG-Mesafe değerlerinin oluşturulduğu aig dizisi görülmektedir.



Şekil 2.59. İç ortam çalışmalarında elde edilen AİG-Mesafe veri tabanı ve ideal AİG-Mesafe bilgisi

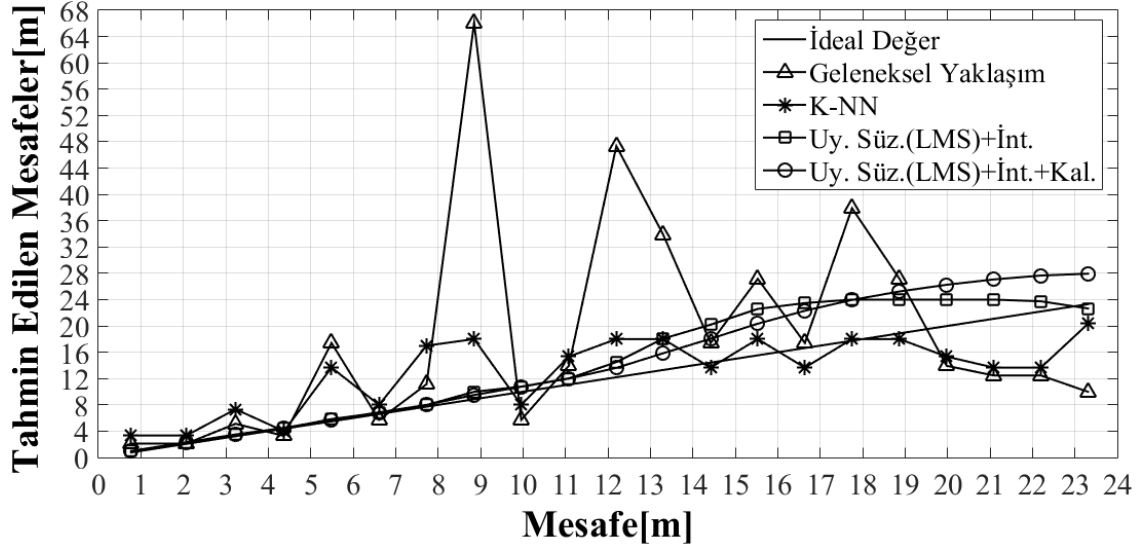
İç ortam çalışmalarında elde edilen yol zayıflatma etkeni $\tilde{\delta} = 1.74$ olarak hesaplanmıştır. Bulunan $\tilde{\delta}$ değeri (2.11)'de yerine koyularak ideal aig değerleri elde edilmiştir. 1-24m arasında 10km/s hızla ilerleyen aracın sabit hızlı düzgün doğrusal hareket ettiği kabul edilmiş ve 0.4 sn aralıklarla mesafe bilgisi alması sağlanmıştır. 10km/s hızla ilerleyen aracın 0.4s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri Tablo 2.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.19. 10km/s hızla ilerleyen aracın 0.4s aralıklarla yetkili düğüme olan gerçek mesafeleri

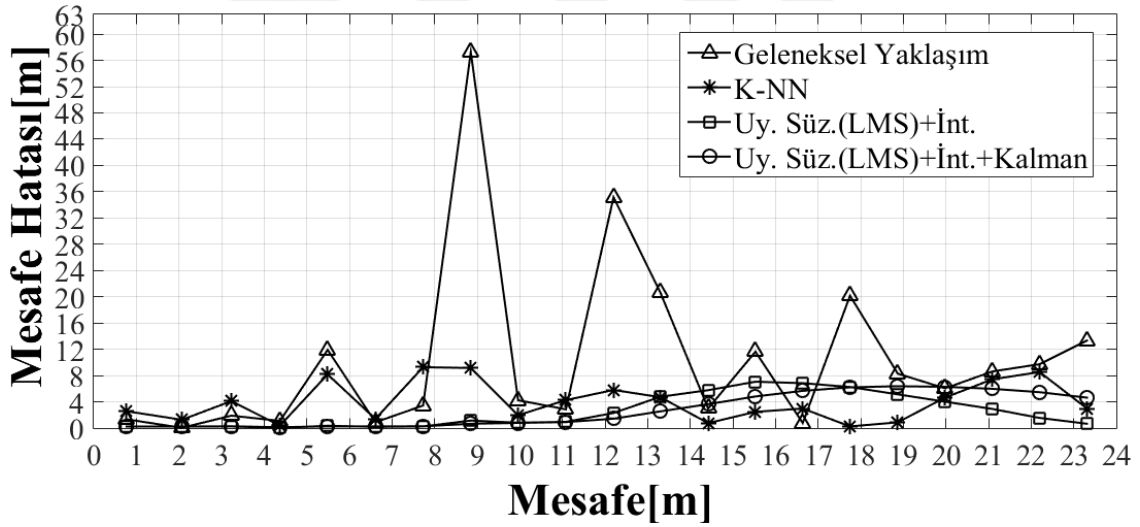
Zaman[s]	0.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40
Mesafeler[m]	0.77	2.07	3.23	4.37	5.49	6.61	7.73
Zaman[s]	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.20
Mesafeler[m]	8.85	9.96	11.08	12.20	13.30	14.42	15.53
Zaman[s]	5.60	6.00	6.40	6.80	7.20	7.60	8.00
Mesafeler[m]	16.64	17.75	18.87	19.98	21.09	22.20	23.31

Hız bilgisini içermeyen Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt., hız bilgisini içeren Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman, Geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye ilişkin mesafe tahminleri Şekil 2.60'ta gösterilmiştir. Şekil 2.60'ta görüldüğü gibi yaklaşık 12m kadar olan tahminlerde Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt. ve Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman ideal değere çok yakın tahminler gerçekleştirirken diğer kökleşik yaklaşımlar olan geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye göre daha başarılı tahminler gerçekleştirmiştir. Yaklaşımlardan elde edilen mutlak hatalar ise Şekil 2.61'de gösterilmiştir.

Tahminlerde elde edilen mutlak hatalar incelendiğinde; Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman'nın Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.'e göre 18m'ye kadar olan tahminlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 18-24m arası tahminler de ise Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt. daha iyi sonuçlar göstermiştir.



Şekil 2.60. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)



Şekil 2.61. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (LMS) tabanlı)

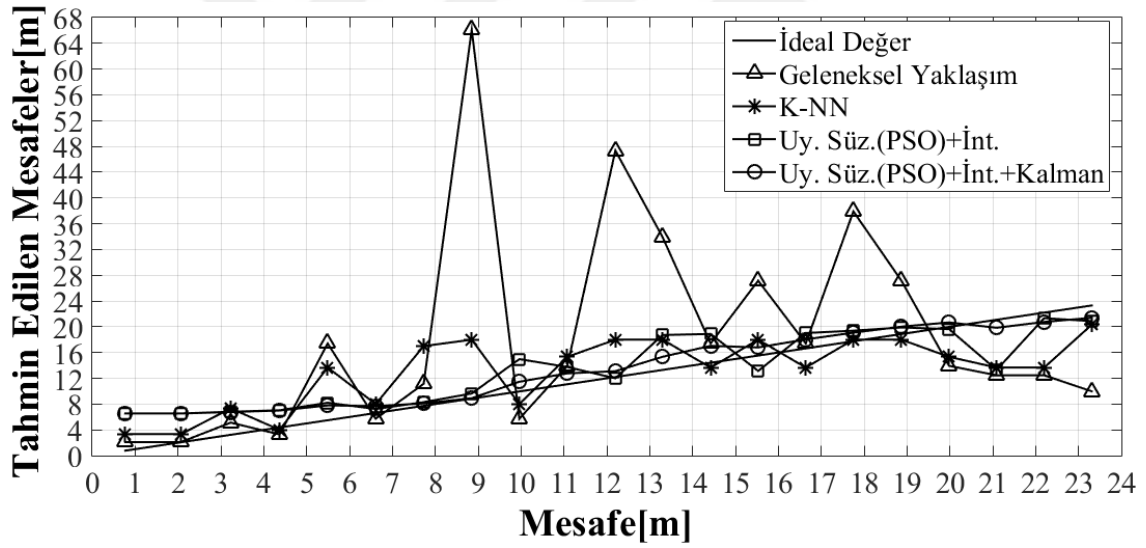
Tablo 2.20'deki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha net bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 2.459m ile Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt. elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım 6.372m ile Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.20. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (LMS)-İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

Hata Tipi	Uy. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman	Uy. Süz. (LMS)+İnt.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	6.372	7.057	9.270	57.253
Ort. Mut. Hata [m]	2.714	2.459	3.995	10.582

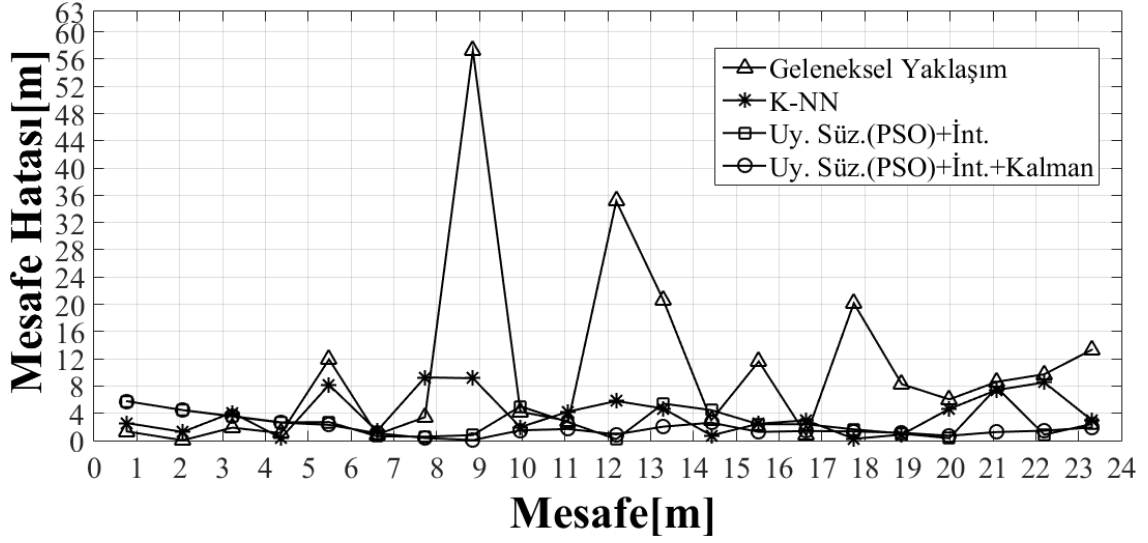
Uyarlamalı süzgeç (LMS)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 6.17, K-NN'ye göre 1.45 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 3.89, K-NN'ye göre 1.47 kat daha iyi sonuç vermiştir.

İkinci yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman'a ilişkin tahmin ve başarımları ise Şekil 2.62 ve Şekil 2.63'de gösterilmiştir.



Şekil 2.62. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

Tahminlerde elde edilen mutlak hatalar incelendiğinde; Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman'nın Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre tüm tahmin aralığı göz önüne alındığında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Mutlak mesafe hatalarını Şekil 2.63'te gözlemek mümkündür.



Şekil 2.63. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (PSO) tabanlı)

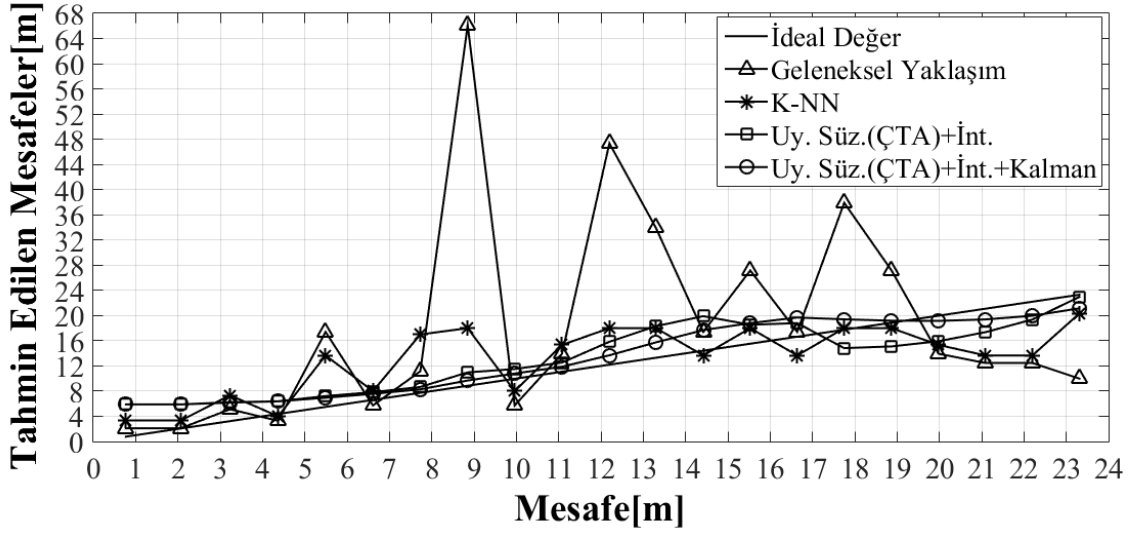
Tablo 2.21'deki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha net bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 1.877m ile Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım yine 5.770m ile Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.21. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (PSO)-İnt.+Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

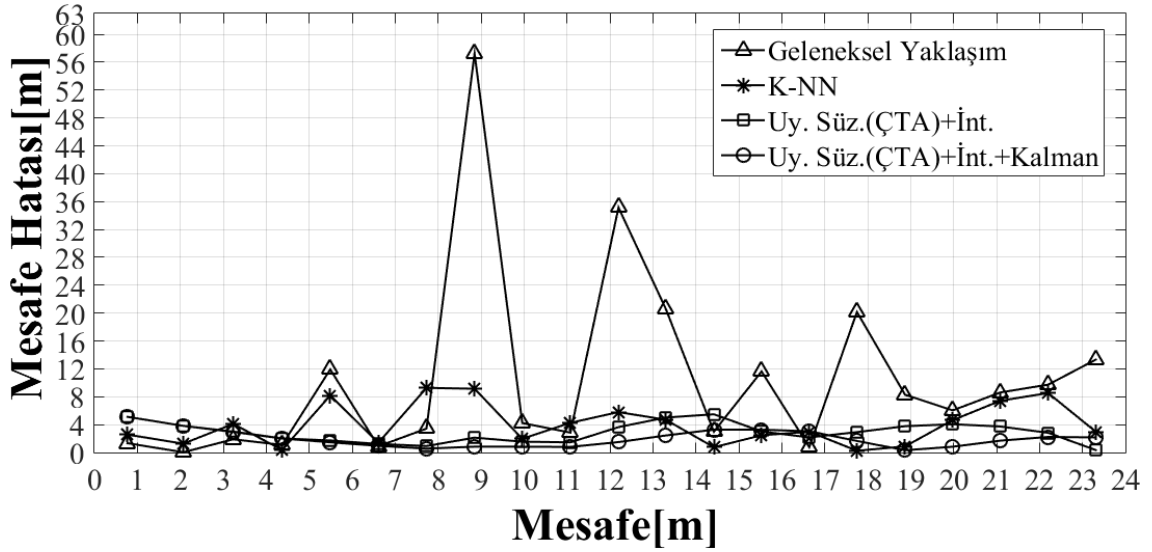
Hata Tipi	Uy. Süz. (PSO)+İnt.+Kalman	Uy. Süz. (PSO)+İnt.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	5.770	7.779	9.270	57.253
Ort. Mut. Hata [m]	1.877	2.754	3.995	10.582

Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 9.92, K-NN'ye göre 1.6, Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre 1.34 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 5.64, K-NN'ye göre 2.12, Uyarlamalı süzgeç (PSO)+İnt.'e göre 1.46 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Son yaklaşım olan Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman'a ilişkin tahmin ve başarımlar sonuçları Şekil 2.64 ve Şekil 2.65'te gösterilmiştir.



Şekil 2.64. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m mesafe tahminleri (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)



Şekil 2.65. İç ortam çalışmalarında elde edilen 1-24m arası mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları (Uyarlamalı süzgeç (ÇTA) tabanlı)

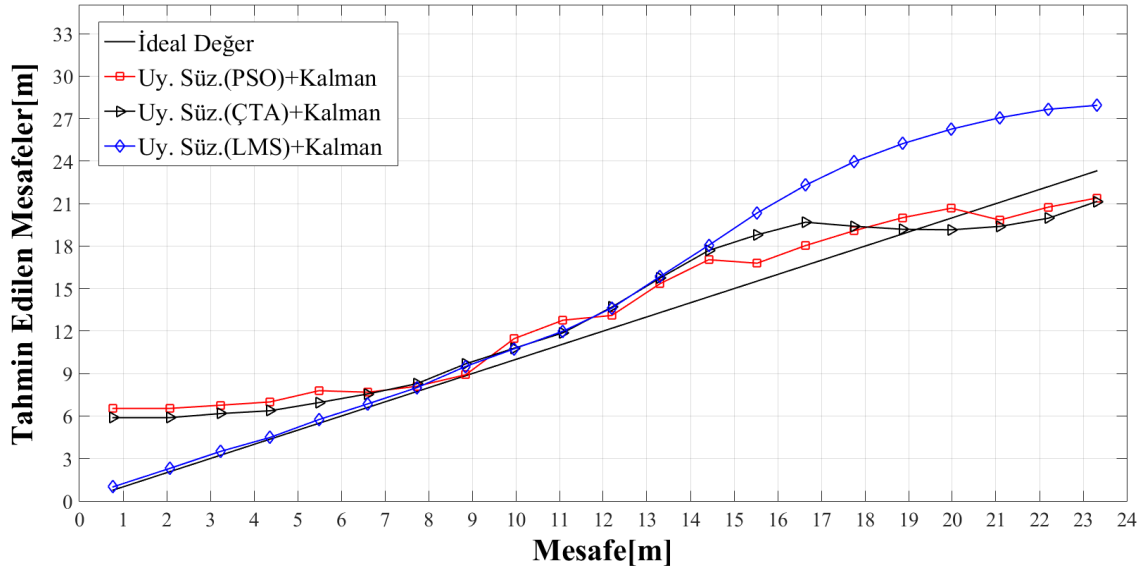
Tablo 2.22'deki sayısal bilgiler yöntemler arası kıyaslamayı daha iyi bir şekilde göz önüne sermektedir. Yaklaşımlar arasında en iyi ortalama mutlak hatayı 1.987m ile Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman elde ederken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım yine 5.118m ile Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman yaklaşımına aittir.

Tablo 2.22. İç ortam çalışmalarında Önerilen Yaklaşım (Uyar. Süz. (ÇTA)-İnt. + Kalman), K-NN ve geleneksel yaklaşım için elde edilen hataların sayısal analizi

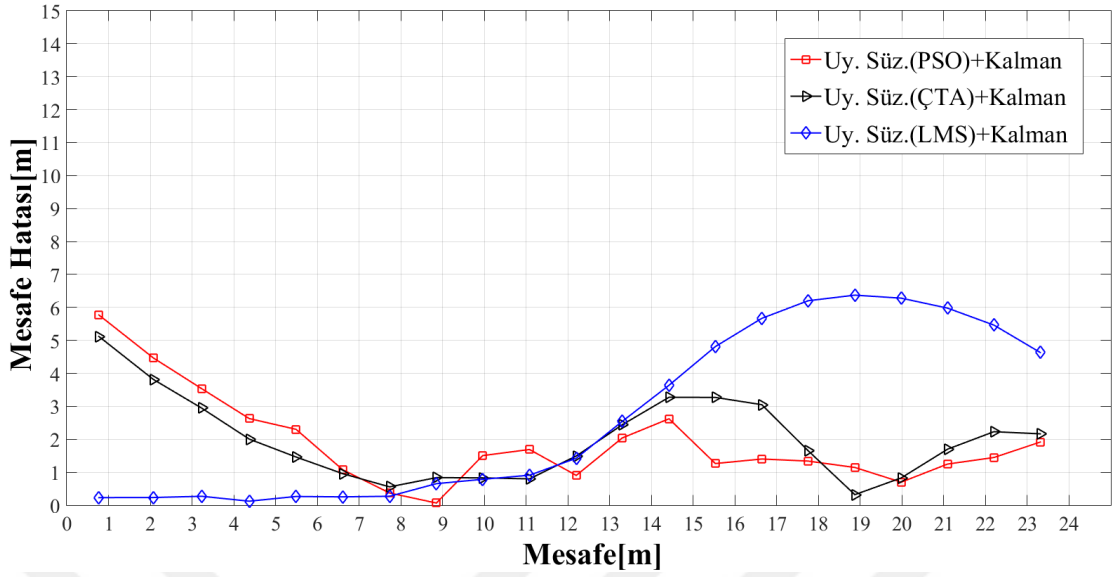
Hata Tipi	Uy. Süz. (ÇTA)+İn.+Kalman	Uy. Süz. (ÇTA)+İn.	K-NN	Geleneksel
En Büy. Mut. Hata [m]	5.118	5.483	9.270	57.253
Ort. Mut. Hata [m]	1.987	2.853	3.995	10.582

Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.+Kalman, en büyük mutlak hata açısından Geleneksel yaklaşıma göre 11.18, K-NN'ye göre 1.81, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.'e göre 1.07 kat daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama mutlak hata göz önüne alındığında ise Geleneksel yaklaşıma göre 5.32, K-NN'ye göre 2.01, Uyarlamalı süzgeç (ÇTA)+İnt.'e göre 1.43 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Önerilen yöntemlerin kendi aralarında kıyaslanışını ise Şekil 2.66 ve Şekil 2.67'de gösterilmiştir.



Şekil 2.66. Önerilen yöntemlerin iç ortam çalışmalarında 1-24m mesafe tahminleri



Şekil 2.67. Önerilen yöntemlerin iç ortam çalışmalarında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları

Sonuçlara ilişkin sayısal veriler Tablo 2.23'te gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımların yaptığı en büyük mutlak hatalar ve ortalama mutlak hatalar tabloda görülmektedir.

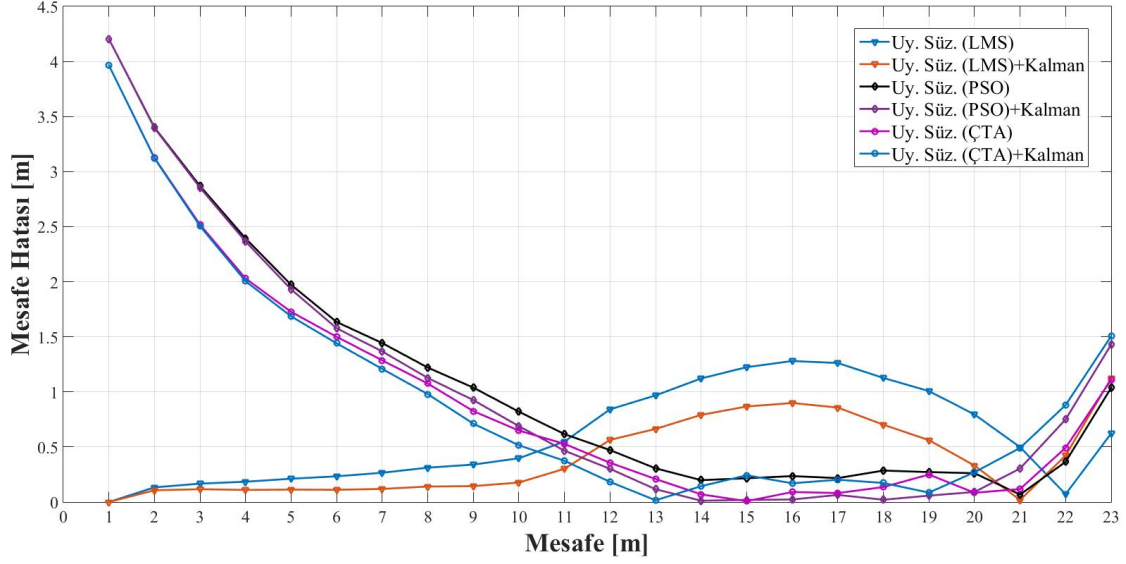
Tablo 2.23. İç ortam çalışmalarında tez çalışması için önerilen yaklaşımların başarımları

Hata Tipi	Uy. Süz (LMS) + İnt.	Uy. Süz (PSO) + İnt.	Uy. Süz (ÇTA) + İnt.+Kalman
En Büy. Mut. Hata [m]	6.372	5.770	5.118
Ort. Mut. Hata [m]	2.714	1.877	1.987

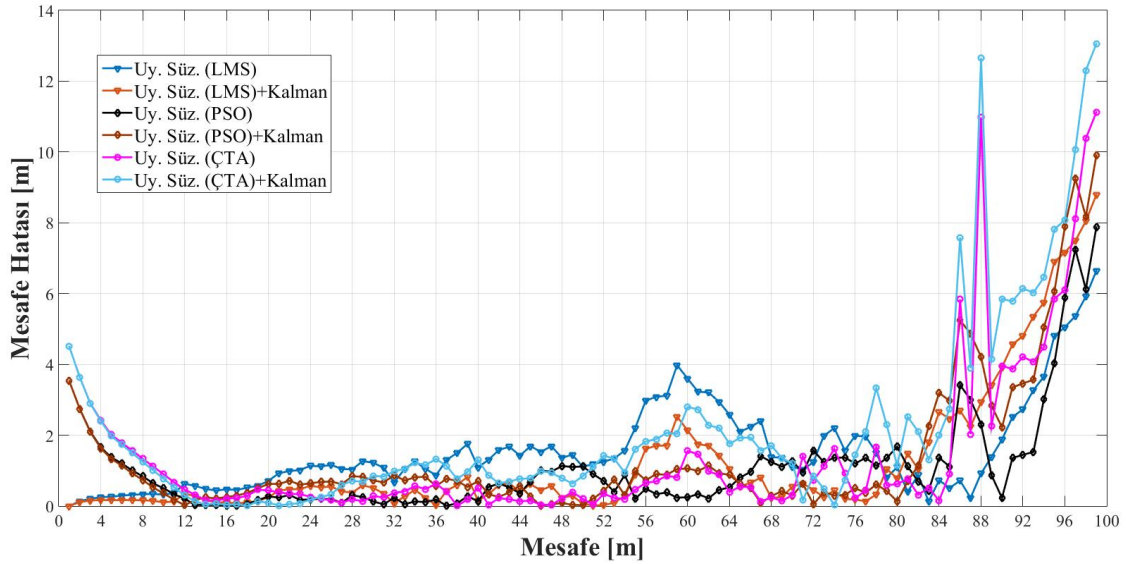
Önerilen yaklaşımlar arasında yapılan kıyaslamada; en büyük mutlak hata Uyar. Süz. (LMS)+İnt.+Kalman'da ortaya çıkarken, en büyük mutlak hata değeri en düşük olan yaklaşım Uyar. Süz. (ÇTA) +İnt.+Kalman'da olmuştur. Ortalama mutlak hata da en iyi sonuçlar Uyar. Süz. (PSO) +İnt.+Kalman'da alınırken bunu sırasıyla Uyar. Süz. (ÇTA) +İnt.+Kalman' ve Uyar. Süz. (LMS) +İnt.+Kalman takip etmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara dikkat edildiğinde 11m'ye kadar Uyar. Süz. (LMS) +İnt.+Kalman daha az hatalı sonuçlar verirken 11-23m arası Uyar. Süz. (PSO) +İnt.+Kalman ve Uyar. Süz. (ÇTA) +İnt.+Kalman daha az hata göstermektedir. Dikkat çeken bu durum için Matlab ortamında gerçekleştirilen başka bir benzetim çalışmasında yüksek gürültü değerleri için sonuçlar gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada

gürültünün standart sapması 4 olarak belirlenmiş ve algoritmalar 100 kere çalıştırılarak ortalamaları hesaplanmıştır. Tahminler 1-24m arası ve 1-100m arası olarak iki durum için elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 2.68 ve 2.69’da gösterilmiştir.



Şekil 2.68. Benzetim çalışmasında 1-24m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları



Şekil 2.69. Benzetim çalışmasında 1-100m mesafe tahminlerinde oluşan mutlak mesafe hataları

Benzetim çalışmalarında da yapılan deneysel çalışmalarla aynı karakteristik gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu durum gelecekteki çalışmalarda 1-11m arası tahminlerde Uyar. Süz. (LMS) +İnt.+Kalman 11-24m arası tahminlerde ise Uyar. Süz. (PSO) +İnt.+Kalman veya Uyar. Süz. (ÇTA) +İnt.+Kalman yordamlarının kullanılmasının ortalama ve en büyük hata değerlerini düşüreceğini göstermektedir. Oluşturulacak algoritmada elde edilen AİG değerine göre Uyar. Süz. (LMS) +İnt.+Kalman ya da Uyar. Süz. (PSO) +İnt.+Kalman ve Uyar. Süz. (ÇTA) +İnt.+Kalman'dan biri kullanılabilir. Diğer taraftan elde edilen sonuçlar gösteriyor ki araç referans çapa düğümünden uzaklaştığında elde edilen hatalar 24m civarlarında artış göstermektedir. Gezgin araç referans çapa düğümünden aldığı işaret gücü artık çok düşük seviyelere ulaşırsa ve bir diğer kısımdaki referans çapa düğümünden veri almaya başlarsa uzak mesafelerde ortaya çıkan mesafe tahmin hatalarının da önüne geçilebilir.

3. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında AUS'ler ve OTT'ler için KKS ve FKKS'nin yetersiz kaldığı durum ve ortamlar için IEEE 802.15.4 temelli konumlandırma yaklaşımları önerilmiştir. Önerilen yaklaşımlar; hem geleneksel yaklaşımlar hem teorik sınır (CRAS) hem de birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımların benzetimleri Cooja ortamında gerçekleştirilerek doğrulukları sınanmış ve yapılan deneysel çalışmalar ile başarımlar irdelenmiştir. Yapılan tez çalışmasının sonuç ve çıktılarını şu şekilde özetlemek mümkündür;

- Mesafe tahmini için kullanılan kablosuz ağ düğümleri için maliyet etkin bir fiziksel ağ topolojisi modeli önerilmiştir.
- Kablosuz düğümlerin hiyerarşik bir düzende haberleşip gürültüsü azaltılmış bir AİG-Mesafe veri tabanı oluşturulması sağlanmıştır.
- Konumu bilinmeyen düğüm (Gezgin araç), ilgili mesafe veri tabanını kullanarak önerilen yöntemlerle doğruluğu artırılmış mesafe tahminleri gerçekleştirmiştir.
- Durağan mesafe tahminleri gerçekleştirilmiş, önerilen Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt., Uyarlamalı Süz.(PSO)+İnt., Uyarlamalı Süz.(ÇTA)+İnt. gibi yaklaşımların diğer geleneksel yaklaşım ve K-NN'ye göre hem iç ortam hem de dış ortam tahminlerinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Önerilen yöntemlerin kendi aralarında yapılan kıyaslamada ise 1-10 m arası yapılan tahminler için Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt.'in diğerlerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 11-24m aralığında ise Uyarlamalı Süz.(PSO)+İnt. ve Uyarlamalı Süz.(ÇTA)+İnt. başarımlarının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.
- Hareketli araç için yapılan mesafe tahminlerinde sürece Kalman Süzgeç de eklenmiş ve sonuçlarda genel olarak iyileştirme sağlanmıştır. İç ortam mesafe tahminleri için Kalman Süzgeç kullanımı en büyük mutlak hatada yaklaşık 1.29 kat ortalama iyileştirme sağlarken, ortalama mutlak hatada yine yaklaşık 0.66 kat ortalama iyileştirme sağlamıştır. Önerilen yaklaşımların kendi aralarında yapılan kıyaslama da ise durağan mesafe tahminlerinde olduğu gibi iç ortam hareketli araç mesafe tahminlerinde de yaklaşık 1-11m arası Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt.+Kalman daha iyi sonuçlar vermiştir. 11-24m arası tahminlerde ise sırasıyla Uyarlamalı Süz.(PSO)+İnt.+Kalman ve Uyarlamalı

Süz.(ÇTA)+İnt.+Kalman, Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt.+Kalman'a göre daha iyi başarımlar göstermiştir. Dış ortam için ise Kalman Süzgeç kullanımı en büyük mutlak hatada yaklaşık 1.35 kat ortalama iyileştirme sağlarken, ortalama mutlak hatada yine yaklaşık 1.47 kat ortalama iyileştirme sağlamıştır. Önerilen yaklaşımların kendi aralarında yapılan kıyaslama da ise Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt.+Kalman daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çıktılar ışığında tez çalışması bir bütün olarak değerlendirilirse, önerilen yöntemlerin teorik sınırla uyumlu olması ve bütün yapılan deneysel çalışmalarda kökleşik yöntemlere göre daha iyi başarımlar göstermesi bu tez çalışmasının en önemli sonucunu oluşturmaktadır.

4. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında özellikle ve OTT'ler için konumlandırmanın doğruluğunu iyileştirmeye dayanan çalışmalar AUS'ler yapılmış ve farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Alınan işaret gücü ile konumlandırma konusunda çalışan bilim insanlarına, araştırmacılara yol göstermek ve edinilen sonuçları daha ileri götürmek amacıyla AİG tabanlı konumlandırmaya özgü başlıca öneriler şunlardır:

- Yetkili çapa düğümün ilettiği bilgi paketi sıkıştırılarak daha yüksek hızlarda konum tahmini gerçekleştirilebilir,
- Gönderilen veri paketi oldukça küçüktür. Daha düşük frekanslı bir RF standardı oluşturularak yapılan haberleşmede kanalın evre uyumlu zamanı (coherence time) T_c artırılabilir. Böylece gezgin aracın yüksek hızlarda mesafe tahmini gerçekleştirmesi sağlanabilir,
- Elde edilen sonuçlarda genel olarak Uyarlamalı Süz.(LMS)+İnt.+Kal. 1-11m arası çok daha iyi sonuçlar verirken Uyarlamalı Süz.(PSO)+İnt.+Kal. ve Uyarlamalı Süz.(ÇTA)+İnt.+Kal. 11m sonrası daha iyi sonuçlar vermektedir. Gezgin araçta elde edilen AİG seviyesine göre uygun algoritmayı tercih edip tahmin gerçekleştiren bir yaklaşım oluşturulabilir,
- Alıcı anten sayısı artırılıp gürültünün etkisi daha da azaltılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Adewumi, O. G., Djouani, K., ve Kurien, A. M., 2013. RSSI Based Indoor and Outdoor Distance Estimation for Localization in WSN, In IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Şubat, Cape Town-South Africa, Bildiriler Kitabı: 1534-1539.
- Ahirwal, M. K., Kumar, A., ve Singh, G. K., 2012. Analysis and Testing of PSO Variants Through Application in EEG/ERP Adaptive Filtering Approach, Biomedical Engineering Letters, 2, 3, 186-197.
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E., 2002. Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks, 38, 4 , 393-422.
- Alawad, H., ve Kaewunruen, S., 2018. Wireless Sensor Networks: Toward Smarter Railway Stations, Infrastructures, 3, 3, 24.
- Alrajeh, N. A., Bashir, M., ve Shams, B., 2013. Localization Techniques in Wireless Sensor Networks, International Journal of Distributed Sensor Networks, 9, 6, 1-9.
- Alyasseri, Z. A. A., Khader, A. T., Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., ve Yang, X. S., Variants of the Flower Pollination Algorithm: A Review. In Nature-Inspired Algorithms and Applied Optimization, 744, 91-118, Springer, Cham, 2018.
- Amini, A., Vaghefi, R.M., de la Garza, J. M. ve Buehrer, R.M., 2014. Improving GPS-Based Vehicle Positioning for Intelligent Transportation Systems, In Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, Haziran, Michigan-USA, 1023-1029.
- Babinec, A., Jurišica, L., Hubinský, P., ve Duchoň, F., 2014. Visual Localization of Mobile Robot Using Artificial Markers, Procedia Engineering, 96, 1-9.
- Balid, W., Tafish, H., ve Refai, H. H., 2016. Versatile Real-Time Traffic Monitoring System Using Wireless Smart Sensors Networks. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Nisan, Doha-Qatar, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Bekçibaşı, U., ve Tenruh, M., 2014. Increasing RSSI Localization Accuracy with Distance Reference Anchor in Wireless Sensor Networks, Acta Polytechnica Hungarica, 11, 8, 103-120.
- Benkič, K., Malajner, M., Planinsic, P., ve Cucej, Z., 2008. Using RSSI Value for Distance Estimation in Wireless Sensor Networks Based on ZigBee, In IEEE 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Haziran, Bratislava-Slovakia, Bildiriler Kitabı: 303-306.

- Bishop, A. N., Fidan, B., Doğançay, K., Anderson, B. D., ve Pathirana, P. N., 2008. Exploiting Geometry for Improved Hybrid AOA/TDOA-Based Localization, Signal Processing, 88, 7, 1775-1791.
- Blumenthal, J., Grossmann, R., Golatowski, F., ve Timmermann, D., 2007. Weighted Centroid Localization in Zigbee-Based Sensor Networks, In IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Ekim, Alcalá de Henares-Spain, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Borenstein, J., Everett, H. R., Feng, L., ve Wehe, D., 1997. Mobile Robot Positioning: Sensors and Techniques, Journal of Robotic Systems, 14, 4, 231-249.
- Botta, M., ve Simek, M., 2013. Adaptive Distance Estimation Based on RSSI in 802.15. 4 Network, Radioengineering, 22, 4, 1162-1168.
- Boukerche, A., Oliveira, H. A., Nakamura, E. F., ve Loureiro, A. A., 2008. Vehicular Ad hoc Networks: A New Challenge for Localization-Based Systems, Computer Communications, 31, 12, 2838-2849.
- Bulusu, N., Heidemann, J., ve Estrin, D., 2000. GPS-Less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices, IEEE Personal Communications, 7, 5, 28-34.
- Caron, F., Duflos, E., Pomorski, D., ve Vanheeghe, P., 2006. GPS/IMU Data Fusion Using Multisensor Kalman Filtering: Introduction of Contextual Aspects, Information Fusion, 7, 2, 221-230.
- Cheikhrouhou, O., M Bhatti, G., ve Alroobaea, R., 2018. A Hybrid DV-Hop Algorithm Using RSSI for Localization in Large-Scale Wireless Sensor Networks, Sensors, 18, 5, 1469.
- Chen, L. W., ve Ho, Y. F. 2018. Centimeter-Grade Metropolitan Positioning for Lane-Level Intelligent Transportation Systems Based on the Internet of Vehicles, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15, 3, 1474-1485.
- Chen, W., Chen, L., Chen, Z., ve Tu, S., 2006. Wits: A Wireless Sensor Network for Intelligent Transportation System, In IEEE First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, Haziran, Zhejiang-China, Bildiriler Kitabı: 635-641.
- Closas, P., Fernandez-Prades, C., ve Fernandez-Rubio, J. A., 2009. Cramér-Rao Bound Analysis of Positioning Approaches in GNSS Receivers, IEEE Transactions on Signal Processing, 57, 10, 3775.
- Coluccia, A., ve Fascista, A., 2017. On the Hybrid TOA/RSS Range Estimation in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 17, 1, 361-371.

- Dang, X., Hei, Y., ve Hao, Z., 2016. An Improved Indoor Localization Based on RSSI and Feedback Correction of Anchor Node for WSN, In IEEE International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), Temmuz, Kunming-China, Bildiriler Kitabı: 1-5.
- Dunkels, A., Gronvall, B., ve Voigt, T., 2004. Contiki-A Lightweight and Flexible Operating System for Tiny Networked Sensors 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, Kasım, FL-USA, Bildiriler Kitabı: 455-462.
- Durazo-Cardenas, I., Starr, A., Tsourdos, A., Bevilacqua, M., ve Morineau, J., 2014. Precise Vehicle Location as a Fundamental Parameter for Intelligent Self-Aware Rail-Track Maintenance Systems, Procedia CIRP, 22, 219-224.
- Durrant-Whyte, H., Pagac, D., Rogers, B., Stevens, M. ve Nelmes, G., 2007. An Autonomous Straddle Carrier for Movement of Shipping Containers, IEEE Robotics and Automation Magazine, 14, 3, 14-24.
- Eberhart RC, Simpson P ve Dobbins R., Computational Intelligence PC Tools. AP Professional Inc., Chapter 6, 212-226, San Diego, CA, 1996.
- Eberhart, R. C., ve Shi, Y., 2000. Comparing Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization, In IEEE Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, Temmuz, CA-USA, Bildiriler Kitabı: 84-88.
- Eberhart, R. C., ve Shi, Y., 2001. Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources. In IEEE Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, Mayıs, Seoul-South Korea, Bildiriler Kitabı: 81-86.
- Feng, H., Liu, C., Shu, Y., ve Yang, O. W., 2015. Location Prediction of Vehicles in VANETs Using a Kalman Filter, Wireless Personal Communications, 80, 2, 543-559.
- Feng, S., ve Law, C. L., 2002. Assisted GPS and Its Impact on Navigation in Intelligent Transportation Systems, The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Eylül, Singapore, 926-931.
- Feng, X., Zhang, J., Chen, J., Wang, G., Zhang, L., ve Li, R., 2018. Design of Intelligent Bus Positioning Based on Internet of Things for Smart Campus, IEEE Access, 6, 60005-60015.
- Fiala, M., 2005. A Fiducial Marker System Using Digital Techniques, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Temmuz, CA-USA, 590-596.
- Fu, S., Hou, Z. G., ve Yang, G., 2009. An Indoor Navigation System for Autonomous Mobile Robot Using Wireless Sensor Network, In IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Mart, Okayama-Japan, Bildiriler Kitabı: 227-232.

- Gao, J., Petovello, M. G., ve Cannon, M. E., 2006. Development of Precise GPS/INS/Wheel Speed Sensor/Yaw Rate Sensor Integrated Vehicular Positioning System. In Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation (ION NTM'06), Ocak, Monterey-CA, Bildiriler Kitabı: 780-792.
- Goldoni, E., Savioli, A., Risi, M., ve Gamba, P., 2010. Experimental Analysis of RSSI-Based Indoor Localization with IEEE 802.15. 4, In IEEE European Wireless Conference (EW), Nisan, Lucca-Italy, Bildiriler Kitabı: 71-77.
- González-Cantos, A., Maza, J. I., ve Ollero, A., 2001. Design of a Stable Backing up Fuzzy Control of Autonomous Articulated Vehicles for Factory Automation, In IEEE 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Ekim, Juan les Pins-France, Bildiriler Kitabı: 447-451.
- Hartenstein, H., ve Laberteaux, L. P., 2008. A Tutorial Survey on Vehicular Ad hoc Networks, IEEE Communications Magazine, 46, 6, 164-171.
- Hartenstein, H., 2010. VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies, Wiley, Chichester.
- Haverinen, J., ve Kempainen, A., 2009. Global Indoor Self-Localization Based on the Ambient Magnetic Field, Robotics and Autonomous Systems, 57, 10, 1028-1035.
- He, S., ve Chan, S. H. G. 2016. Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18, 1, 466-490.
- He, T., Huang, C., Blum, B.M., Stankovic, J.A. ve Abdelzaher, T.F., 2005. Range-Free Localization and Its Impact on Large Scale Sensor Networks, ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), 4, 4, 877-906.
- Jing, N., 2018. Application of Wireless Sensor Network in Urban Intelligent Traffic Information Acquisition, Automatic Control and Computer Sciences, 52, 5, 431-438.
- Jung, C. R. ve Kelber, C. R., 2005. Lane Following and Lane Departure Using a Linear-Parabolic Model. Image and Vision Computing, 23, 13, 1192-1202.
- Kalman, R. E., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Journal of basic Engineering, 82, 1, 35-45.
- Kao, W. W., 1991. Integration of GPS and Dead-Reckoning Navigation Systems. In Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Ekim, Michigan-USA, 635-643.
- Kennedy, J., ve Eberhart, R., 1995. Particle swarm optimization, In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Kasım, WA-Australia, Bildiriler Kitabı: 1942-1948.

- Khanafer, M., Guennoun, M., ve Mouftah, H. T., 2009. WSN Architectures for Intelligent Transportation Systems, In IEEE 3rd International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), Aralık, Cairo-Egypt, Bildiriler Kitabı:1-8.
- Kim, S. E., Kim, Y., Yoon, J., ve Kim, E. S., 2012. Indoor Positioning System Using Geomagnetic Anomalies for Smartphones, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Kasım, Sydney-Australia, Bildiriler Kitabı: 1-5.
- Kirsch, C., ve Röhrig, C., 2011. Global Localization and Position Tracking of an Automated Guided Vehicle, In Proceedings of the 18th IFAC World Congress, Ağustos, Milano-Italy, Bildiriler Kitabı: 14036-14041.
- Kleinrock, L., ve Silvester, J., 1978. Optimum Transmission Radii for Packet Radio Networks or Why Six is a Magic Number. In Proceedings of the IEEE National Telecommunications Conference, Aralık, Birmingham, Bildiriler Kitabı: 1-4.
- Kristalina P., Wirawan W. ve Hendratoro G., 2011. Improved Range-free Localization Methods for Wireless Sensor Networks, International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Temmuz, Bandung, Indonesia, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Kulaib, A. R., Shubair, R. M., Al-Qutayri, M. A., ve Ng, J. W., 2011. An Overview of Localization Techniques for Wireless Sensor Networks, In IEEE International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), Nisan, Abu Dhabi-UAE, 167-172.
- Kumar, A., Chand, N., Kumar, V., ve Kumar, V., 2011. Range free localization schemes for wireless sensor networks, International Journal of Computer Networks & Communications, 3, 6, 115.
- Kumar, S. ve Moore, K. B., 2002. The Evolution of Global Positioning System (GPS) Technology, Journal of Science Education and Technology, 11, 1 , 59-80.
- Lee, E. K., Yang, S., Oh, S. Y., ve Gerla, M., 2009. RF-GPS: RFID Assisted Localization in VANETs, IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'09), Ekim, Macau-China, Bildiriler Kitabı: 621-626.
- Li, D., Zhang, B., ve Li, C. 2016. A Feature-Scaling-Based k-Nearest Neighbor Algorithm for Indoor Positioning Systems. IEEE Internet of Things Journal, 3, 4, 590-597.
- Li, H., Nashashibi, F., ve Toulminet, G., 2010. Localization for Intelligent Vehicle by Fusing Mono-Camera, Low-Cost GPS and Map Data, 13th International IEEE Conference in Intelligent Transportation Systems (ITSC), Eylül, Funchal-Portugal, Bildiriler Kitabı: 1657-1662.
- Li, Z., Li, R., Wei, Y., ve Pei, T., 2010. Survey of localization techniques in wireless sensor networks. Information Technology Journal, 9, 8, 1754-1757.

- Luettel, T., Himmelsbach, M. ve Wuensche, H. J., 2012. Autonomous Ground Vehicles- Concepts and a Path to the Future, Proceedings of the IEEE, 100(Centennial-Issue), 1831-1839.
- Luo, R. C., ve Hsiao, T. J., 2019. Dynamic Wireless Indoor Localization Incorporating with an Autonomous Mobile Robot Based on an Adaptive Signal Model Fingerprinting Approach. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66, 3, 1940-1951.
- Machado, T., ve Silva, P. V., 2018. Mechatronic System Using a Straight-Line Motion Mechanism for AGV Application. Innovation, Engineering and Entrepreneurship, 505, 284-291.
- Mao, G., Fidan, B., ve Anderson, B. D., 2007. Wireless Sensor Network Localization Techniques, Computer Networks, 51, 10, 2529-2553.
- Maslow, A. H., 1943. A Theory of Human Motivation, Psychological Review, 50, 4, 370-396.
- Mazuelas, S., Bahillo, A., Lorenzo, R. M., Fernandez, P., Lago, F. A., Garcia, E., ... ve Abril, E. J., 2009. Robust Indoor Positioning Provided by Real-Time RSSI Values in Unmodified WLAN Networks, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 3, 5, 821-831.
- Meguro, J. I., Murata, T., Takiguchi, J. I., Amano, Y., ve Hashizume, T., 2009. GPS Multipath Mitigation for Urban Area Using Omnidirectional Infrared Camera, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 10, 1, 22-30.
- Metwally, I. A., Zischank, W. J., ve Heidler, F. H., 2004. Measurement of Magnetic Fields Inside Single-And Double-Layer Reinforced Concrete Buildings During Simulated Lightning Currents, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 46, 2 , 208-221.
- Milanés, V., Naranjo, J. E., González, C., Alonso, J. ve De Pedro, T., 2008. Autonomous Vehicle Based in Cooperative GPS and Inertial Systems, Robotica, 26, 5 , 627-633.
- Molisch, A. F., Balakrishnan, K., Cassioli, D., Chong, C. C., Emami, S., Fort, A., ... ve Siwiak, K., 2004. IEEE 802.15. 4a channel model-final report, IEEE P802, 15, 4, 0662.
- Mutka, A., Miklic, D., Draganjac, I., ve Bogdan, S., 2008. A Low Cost Vision Based Localization System Using Fiducial Markers, 17th World Congress of International Federation of Automatic Control, Temmuz, Seoul-Korea, Bildiriler Kitabı: 9528-9533.
- Nagpal, R., 1999. Organizing a Global Coordinate System from Local Information on an Amorphous Computer, A.I. Memo, MIT A.I. Laboratory, 1-11.

- Nešković, A., Nešković, N., ve Paunovic, G., 2000. Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 3, 3, 2-12.
- Niculescu, D., ve Nath, B., 2001. Ad hoc Positioning System (APS), In IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'01), Kasım, TX-USA, Bildiriler Kitabı: 2926-2931.
- Nie, X. H., ve Pan, Z. M., 2012. Iterated Hybrid Localization Algorithm for Random Wireless Sensor Networks Based on Centroid and DV-Hop Algorithm, In Applied Mechanics and Materials, 182, 1854-1857.
- Obst, M., Bauer, S., ve Wanielik, G., 2012. Urban Multipath Detection and Mitigation with Dynamic 3D Maps for Reliable Land Vehicle Localization, In Position Location and Navigation Symposium (PLANS), Nisan, SC- USA, Bildiriler Kitabı: 685-691.
- Oguejiofor, O., Okorogu, V., Adewale, A., ve Osuesu, B., 2013. Outdoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2, 2, 1-6.
- Papadimitratos, P., De La Fortelle, A., Evenssen, K., Brignolo, R., ve Cosenza, S., 2009. Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications and Future Outlook on Intelligent Transportation, IEEE Communications Magazine, 47, 11, 84-95.
- Patwari, N., Hero, A. O., Perkins, M., Correal, N. S., ve O'dea, R. J., 2003. Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Signal Processing, 51, 8, 2137-2148.
- Patwari, N., Ash, J. N., Kyperountas, S., Hero, A. O., Moses, R. L., ve Correal, N. S., 2005. Locating the Nodes: Cooperative Localization in Wireless Sensor Networks, IEEE Signal Processing Magazine, 22, 4, 54-69.
- Pavlyukevich, I., 2007. Lévy Flights, Non-Local Search and Simulated Annealing, Journal of Computational Physics, 226, 2, 1830-1844.
- Puccinelli, D. ve Haenggi, M., 2005. Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing, IEEE Circuits and Systems Magazine, 5, 3, 19-31.
- Rappaport T.S., 1996. Wireless Communications: Principles and Practice, vol. 2, Prentice Hall, New Jersey.
- Rappaport, T. S., Reed, J. H., ve Woerner, B. D., 1996. Position Location Using Wireless Communications on Highways of the Future, IEEE Communications Magazine, 34, 10, 33-41.

- Ravindra, S., ve Jagadeesha, S. N., 2013. Time of Arrival Based Localization in Wireless Sensor Networks: A Linear Approach, Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ), 4, 4, 13-30.
- Rosen, D. A., Mammano, F. J., ve Favout, R., 1970. An Electronic Route-Guidance System for Highway Vehicles, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 19, 1, 143-152.
- Rupp, T., Cord, T., Lohnert, R. ve Lazic, D. E., 1998. Positioning and Communication System for Autonomous Guided Vehicles in Indoor Environment. In MELECON'98. 9th Mediterranean Electrotechnical Conference, Mayıs, Tel-Aviv-Israel, Bildiriler Kitabı: 187-191.
- Schüssel, M., 2016. Angle of Arrival Estimation using WiFi and Smartphones, In International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Ekim, Alcalá de Henares-Spain, Bildiriler Kitabı: 7-10.
- Seidel, S. Y. ve Rappaport, T. S., 1992. 914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 40, 2, 207-217.
- Senthilnathan, R., Ahuja, N., Bhargav, G. V., Ahuja, D. ve Bagi, A. 2018. A Novel Flight Controller Interface for Vision-Guided Autonomous Drone. In International Conference on ISMAC in Computational Vision and Bio-Engineering, 16-17 Mayıs, Palladam-India, 1329-1338.
- Sesli, E. ve Hacıoğlu, G., 2017. Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs), Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 2, 2, 1-6.
- Shi, Y. ve Eberhart, R., 1998. A Modified Particle Swarm Optimizer, In IEEE Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation, Mayıs, AK-USA, Bildiriler Kitabı: 69-73.
- Shladover, S. E. ve Tan, S. K., 2006. Analysis of Vehicle Positioning Accuracy Requirements for Communication-Based Cooperative Collision Warning, Journal of Intelligent Transportation Systems, 10, 3, 131-140.
- Singh, A. P., Singh, D. P. ve Kumar, S., 2015. NRSSI: New Proposed RSSI Method for the Distance Measurement in WSNs, In IEEE 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT), 4-5 Eylül, Dehradun-India, 296-300.
- Suksakulchai, S., Thongchai, S., Wilkes, D. M. ve Kawamura, K., 2000. Mobile Robot Localization Using an Electronic Compass for Corridor Environment. In IEEE International Conference Systems, Man, and Cybernetics, Ekim, TN-USA, 3354-3359.
- Svečko, J., Malajner, M. ve Gleich, D., 2015. Distance Estimation Using RSSI and Particle Filter, ISA Transactions, 55, 275-285.

- Tan, L. ve Jiang J., 2013. Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications, Academic Press, Burlington, MA (USA).
- Tang, S., Kawanishi, N., Furukawa, R. ve Kubo, N., 2014. Experimental Evaluation of Cooperative Relative Positioning for Intelligent Transportation System, International Journal of Navigation and Observation, 1-12.
- Tang, S., Kubo, N., Kawanishi, N., Furukawa, R., Hasegawa, A. ve Takeuchi, Y., 2015. Cooperative Relative Positioning for Intelligent Transportation System, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 13, 3 , 131-142.
- Thorpe, C., Herbert, M., Kanade, T. ve Shafer, S., 1991. Toward Autonomous Driving: The CMU Navlab. Part I-Perception, IEEE Intelligent Systems, 4, 31-42.
- Tian, S., Zhang, X., Wang, X., Sun, P. ve Zhang, H., 2007. A Selective Anchor Node Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks, In IEEE International Conference on Convergence Information Technology, Kasım, Gyeongju, South Korea, Bildiriler Kitabı: 358-362.
- Tomic, S., Marikj, M., Beko, M., Dinis, R., ve Orfao, N., 2015. Hybrid RSS-AoA Technique for 3-D Node Localization in Wireless Sensor Networks, In IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Ağustos, Dubrovnik-Croatia, Bildiriler Kitabı: 1277-1282.
- Totani, S., 1980. Development and Current Status of CACS (Comprehensive Automobile Traffic Control System), In 30th IEEE Vehicular Technology Conference, Eylül, Michigan-USA, Bildiriler Kitabı: 336-341.
- Tubaishat, M., Zhuang, P., Qi, Q., ve Shang, Y., 2009. Wireless Sensor Networks in Intelligent Transportation Systems, Wireless Communications and Mobile Computing, 9, 3, 287-302.
- Tzur, A., Amrani, O., ve Wool, A., 2015. Direction Finding of Rogue Wi-Fi Access Points Using an off-the-Shelf MIMO-OFDM Receiver, Physical Communication, 17, 149-164.
- URL-1, <https://www.etsi.org/technologies-clusters/clusters/transportation>, 11 Eylül 2018
- URL-2, <http://www.iith.ac.in/~tbr/teaching/docs/802.15.4-2003.pdf>, IEEE 802.15.4 Standardı, 4 Şubat 2019
- URL-3, <https://www.pololu.com/product/1263> CHR-6d Tümlüşik Devre. 16 Temmuz 2018
- URL-4, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2538.pdf>, Veri Kataloğu. 20 Ocak 2018
- URL-5, <http://www.ti.com/lit/an/swra447/swra447.pdf>, Veri Kataloğu 30 Ocak 2019

- URL-6, <http://www.ti.com/lit/ug/swru321b/swru321b.pdf>, Veri Kataloğu 30 Ocak 2019
- URL-7, <http://www.ti.com/lit/ug/swru221a/swru221a.pdf>, Veri Kataloğu 30 Ocak 2019
- URL-8, <http://www.ti.com/lit/ug/swru187g/swru187g.pdf>, Veri Kataloğu, 7 Şubat 2019
- URL-9, https://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Network_Stack, Contiki Netstack, 6 Şubat 2019
- URL-10, 2019, <http://www.ti.com/lit/ug/swru214a/swru214a.pdf>, Veri Kataloğu, 11 Haziran 2019
- Vahrenkamp, R., 2013. Von Taylor zu Toyota: Rationalisierungsdebatten im 20. Jahrhundert, BoD–Books on Demand.
- Wahab, A.A., Khattab, A. ve Fahmy, Y.A, 2013. Two-Way TOA with Limited Dead Reckoning for GPS-Free Vehicle Localization Using Single RSU, 13th International Conference in ITS Telecommunications (ITST), Kasım, Tampere-Finland, 244-249.
- Wang, F., Wang, C., Wang, Z., ve Zhang, X. Y., 2015. A Hybrid Algorithm of GA+ Simplex Method in the WSN Localization, International Journal of Distributed Sensor Networks, 11, 7, 731894.
- Wang, H., Wan, J., ve Liu, R., 2011. A Novel Ranging Method Based on RSSI, Energy Procedia, 12, 230-235.
- Wang, Y., Teoh, E. K. ve Shen, D., 2004. Lane Detection and Tracking Using B-Snake, Image and Vision computing, 22, 4, 269-280.
- Wen, C. Y., ve Chan, F. K., 2010. Adaptive AOA-Aided TOA Self-Positioning for Mobile Wireless Sensor Networks, Sensors, 10, 11, 9742-9770.
- Williams, M., 1988. PROMETHEUS-The European Research Programme for Optimising the Road Transport System in Europe, In IEE Colloquium on Driver Information, Aralık, London-UK, 1-9.
- Willis, S. L., ve Kikkert, C. J. 2005. Radio Propagation Model for Long-Range Ad hoc Wireless Sensor Network, In IEEE International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Haziran, HI-USA, Bildiriler Kitabı: 826-832.
- Wilson, T. D., 2000. Human Information Behavior, Informing Science, 3,2, 49-56.
- Wiryadinata, R., Amany, A. S., ve Muttakin, I., 2017. Position Tracking for Static Target Using Burst Signals with Time Difference of Arrival Method, In IEEE 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), Eylül, Yogyakarta-Indonesia, Bildiriler Kitabı: 1-6.

- Xiao, Z., Wen, H., Markham, A., Trigoni, N., Blunsom, P., ve Frolik, J. 2015. Non-Line-of-Sight Identification and Mitigation Using Received Signal Strength, IEEE Transactions on Wireless Communications, 14, 3, 1689-1702.
- Xu, J., Liu, W., Lang, F., Zhang, Y., ve Wang, C., 2010. Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN, Wireless Sensor Network, 2, 8, 606.
- Yang, X. S., 2012. Flower Pollination Algorithm for Global Optimization, In International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation, Eylül, Orléans-Fransa, Bildiriler Kitabı: 240-249.
- Zeadally S., Hunt R., Chen Y.S., Irwin A. ve Hassan A., 2012. Vehicular Ad hoc Networks (VANETS): Status, Results and Challenges, Telecommunication Systems, 50, 4, 217-241.
- Zhang, L., Lim, C. C., Chen, Y., ve Karimi, H. R., 2014. Tracking Mobile Robot in Indoor Wireless Sensor Networks, Mathematical Problems in Engineering, 1-8.
- Zhao, Y., Yang, Y., ve Kyas, M. 2014. Cramér-Rao Lower Bound Analysis for Wireless Localization Systems Using Prior Information, In 11th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), Mart, Dresden-Germany, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Zheng, J., Wu, C., Chu, H., ve Xu, Y., 2011. An Improved RSSI Measurement in Wireless Sensor Networks, Procedia Engineering, 15, 876-880.
- Zhu, J., ve Roy, S., 2003. MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System, IEEE Communications Magazine, 41, 12, 60-67.

6. EKLER

Ek 1. Yol Zayıflatma Etkeninin Zamanla Değişimi

	Süreler																								ORTALAMA STD. SAP.
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
00:05	2.33	2.10	1.49	1.00	0.90	1.66	2.33	1.47	1.80	2.30	1.85	3.05	1.22	2.04	1.58	1.63	1.35	2.19	1.54	1.51	1.56	1.17	1.30	1.71	
00:10	2.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.47	1.80	2.30	2.59	3.23	1.22	2.04	1.58	1.63	1.35	2.27	1.54	1.44	1.49	1.17	1.30	1.79	
00:15	2.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.47	1.80	2.40	2.41	3.23	1.22	2.04	1.41	1.54	1.35	2.35	1.54	1.44	1.49	1.17	1.30	1.78	
00:20	2.66	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.47	1.80	2.40	2.41	3.23	1.22	2.04	1.49	1.54	1.35	2.35	1.54	1.44	1.49	1.17	1.30	1.77	
00:25	2.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.77	2.55	1.47	1.80	2.30	2.04	3.32	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.50	1.69	1.44	1.34	1.17	1.30	1.78	
00:30	2.33	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.66	1.36	1.80	2.30	2.13	3.23	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.42	1.61	1.51	1.42	1.17	1.30	1.75	
00:35	1.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.40	1.85	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.42	1.61	1.44	1.42	1.17	1.30	1.72	
00:40	1.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.55	1.36	1.80	2.40	1.95	3.23	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.42	1.61	1.44	1.34	1.17	1.30	1.72	
00:45	1.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	1.95	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.35	1.61	1.44	1.42	1.17	1.30	1.71	
00:50	1.66	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.50	2.04	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.35	1.54	1.51	1.42	1.17	1.30	1.71	
00:55	1.99	2.10	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.59	1.85	3.23	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.35	1.61	1.51	1.49	1.17	1.30	1.72	
01:00	1.66	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.59	1.85	3.23	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.27	1.61	1.51	1.49	1.17	1.30	1.70	
01:05	1.99	2.10	1.49	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.59	1.85	3.23	1.22	2.04	1.49	1.54	1.27	2.27	1.54	1.51	1.49	1.17	1.30	1.70	
01:10	1.66	2.10	1.49	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.59	1.67	3.23	1.22	2.04	1.49	1.54	1.27	2.27	1.61	1.51	1.56	1.17	1.30	1.69	
01:15	1.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	2.04	3.23	1.22	2.04	1.49	1.54	1.27	2.27	1.54	1.51	1.49	1.17	1.30	1.71	
01:20	1.66	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.21	1.36	1.80	2.50	2.04	3.23	1.22	2.04	1.58	1.54	1.27	2.27	1.61	1.44	1.49	1.17	1.30	1.73	
01:25	2.33	2.31	1.66	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.40	2.22	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.19	1.54	1.59	1.49	1.17	1.30	1.75	
01:30	2.33	2.31	1.66	1.00	0.90	1.66	2.44	1.36	1.80	2.40	2.13	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.19	1.54	1.59	1.42	1.17	1.30	1.75	
01:35	1.99	2.31	1.66	1.00	0.90	1.66	2.10	1.36	1.80	2.50	2.13	3.23	1.31	2.04	1.74	1.54	1.27	2.19	1.54	1.51	1.49	1.17	1.30	1.73	
01:40	1.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	2.13	3.23	1.31	2.04	1.58	1.54	1.27	2.19	1.54	1.51	1.49	1.17	1.30	1.72	
01:45	1.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.21	1.36	1.80	2.50	1.95	3.23	1.31	2.04	1.54	1.54	1.27	2.19	1.54	1.51	1.49	1.17	1.30	1.72	
01:50	1.99	2.10	1.49	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	1.85	3.23	1.31	2.04	1.49	1.54	1.27	2.19	1.54	1.51	1.42	1.17	1.30	1.70	
01:55	1.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	1.85	3.23	1.31	2.04	1.33	1.46	1.27	2.19	1.54	1.51	1.42	1.17	1.30	1.69	
02:00	1.99	2.10	1.66	1.00	0.90	1.66	2.33	1.36	1.80	2.50	1.85	3.23	1.31	2.04	1.33	1.46	1.27	2.19	1.54	1.51	1.42	1.17	1.30	1.69	
02:05	1.99	2.31	1.49	1.00	0.90	1.66	2.21	1.36	1.80	2.50	1.76	3.23	1.31	2.04	1.33	1.46	1.27	2.19	1.54	1.51	1.42	1.17	1.30	1.68	
02:10	2.17	2.19	1.57	1.00	0.90	1.66	2.37	1.38	1.80	2.46	2.03	3.23	1.26	2.04	1.53	1.54	1.29	2.28	1.57	1.49	1.45	1.17	1.30	1.73	

ÖZGEÇMİŞ

Erhan SESLİ 1983 yılında Trabzon’da doğdu. 2001 yılında girmiş olduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 2005 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 2009 yılında başlamış olduğu yüksek lisans eğitimini 2012 yılında Yüksek Elektronik Mühendisi ünvanıyla tamamlamıştır. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. İlgi alanları; Kablosuz algılayıcı ağlarında mesafe-tabanlı konumlandırma, en iyileştirme, meta-sezgisel algoritmalar ve akıllı ulaşım sistemleridir. Yetkin düzeyde İngilizce bilgisine sahiptir. Evli ve Göktuğ Kayhan isimli bir oğlu vardır.

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI/SCIE)

1. Hacıoğlu G., Kand V.F.A., Sesli E., Multi Objective Clustering for Wireless Sensor Networks, Expert Systems with Applications, 59 (2016) 86–100.

Diğer uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. Sesli E., Hacıoğlu G., Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs), Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 2, 2 (2017) 1–6.
2. Küçükali M., Sesli E., An Operator-Assisted Robotic Arm Implementation via Leap Motiontm Controller, Electronic Journal of Vocational Colleges, 7 (2017) 84–93.
3. Sesli E., Hacıoğlu G., RSSI and Flower Pollination Algorithm Based Location Estimation for Wireless Sensor Networks, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 4, 1 (2016) 13–17.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. Şahin E., Sesli E., Aktoğan A., Güncel Sorunlara Pratik Çözümler: Güvenilir Ütü Tasarımı, 3e Electrotech, (2016) 98–100.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Sesli E., Hacıoğlu G., Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET'17), Bayburt, TURKEY, 21–23 September 2017, 1054–1057.

2. Hacıoğlu G., Sesli E., Gangal V., Aydın V., Leach and AHP Based Clustering Algorithm For Wireless Sensor Networks, 5th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'17), Istanbul, TURKEY, 9–12 May 2017, 591–594.
3. Sesli E., Hacıoğlu G., RSSI and Flower Pollination Algorithm Based Location Estimation for Wireless Sensor Networks , International Conference on Advanced Technology & Sciences, Konya, TURKEY, 1–3 September 2016, 596–602.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Sesli E., Hacıoğlu G., Gangal V., Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Konum Tabanlı Araç Hızı Tahmin Yöntemlerinin Başarım Analizi", IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU2015), Malatya, Türkiye, 16–19 Mayıs 2015, 1500–1503.
2. Hacıoğlu G., Gangal V., Sesli E., Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Karınca Koloni Algoritması İle Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama, SİU 2015 IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Malatya, Türkiye, 16–19 Mayıs 2015, 1174–1177.
3. Sesli E., Akyazi Ö., Meslek Yüksekokulu ve Sanayi Entegrasyonunun Bölgeye Katkıları, Bölgesel Kalkınma Kongresi , Balıkesir, Türkiye, 14–16 Kasım 2009, 299–304.

Ödüller

Sesli E, Hacıoğlu G., “The Best Presentation Award”, 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, September 2017