

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABLOSUZ DUYARGA VE AKTİVATÖR AĞLARI YARDIMIYLA**  
**KARASAL FİLOLARIN İNSANSIZ DENETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Faruk Baturalp GÜNAY**

**OCAK 2015**  
**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABLOSUZ DUYARGA VE AKTİVATÖR AĞLARI YARDIMIYLA**  
**KARASAL FİLOLARIN İNSANSIZ DENETİMİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Faruk Baturalp GÜNAY**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**“YÜKSEK LİSANS (BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ)”**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.12.2014**  
**Tezin Savunma Tarihi : 29.01.2015**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr.Tuğrul ÇAVDAR**

**Trabzon 2015**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Faruk Baturalp GÜNAY tarafından hazırlanan**

**KABLOSUZ DUYARGA VE AKTİVATÖR AĞLARI YARDIMIYLA**  
**KARASAL FİLOLARIN İNSANSIZ DENETİMİ**

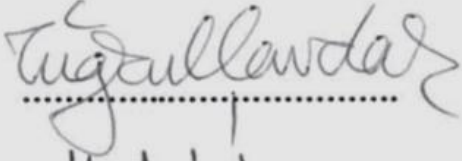
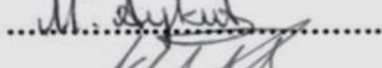
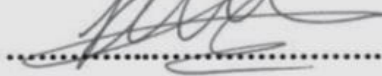
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13/01/2015 gün ve 1585 sayılı**  
**kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat AYKUT**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadir TÜRK**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Kablosuz duyurga ağlar yerleştirildiği ortamlarda haberleşme yapabilen ve mobil aygıtlarda kullanılabilen hafif aygıtlardır. Bu yönüyle lokalizasyon imkanı sağlayabilen altyapıları mevcuttur. Bu çalışmada hem bu imkanlardan faydalanarak lokalizasyon teknikleri kullanılarak lider aracı takip eden bir filo hem simüle edilmiş hem de uygulama olarak gerçekleştirilmiştir. Böylesine güncel ve önemli bir konuyu seçmemde bana destek olan ve tüm çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Tuğrul ÇAVDAR'a çok teşekkür eder, şükranlarımı sunarım. Ayrıca başta Arş. Gör. Ferhat BOZKURT olmak üzere çalışmada yardımı geçen herkese çok teşekkür ederim. Son olarak hayatım boyunca her an yanımda olan sevgili anneme ve saygıdeğer babama teşekkür ederim.

Faruk Baturalp GÜNAY  
Trabzon, 2015

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kablosuz Duyarga ve Aktivatör Ağları Yardımıyla Karasal Filoların İnsansız Denetimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr.Tuğrul ÇAVDAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, 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. 26/12/2014

Faruk Baturalp GÜNAY

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Kablosuz Duyarga Ağların Tarihçesi ve Tanımı .....	1
1.2. Kablosuz Duyarga Ağlarının Birimleri .....	6
1.3. KDA Yapılarının Karşılaştığı Zorluklar .....	7
1.4. Kablosuz Duyarga Ağların Uygulama Alanları .....	10
1.5. KDA Yapısı İçin Gereksinimler .....	11
1.6. Duyarga Düğüm Platformları .....	12
1.7. KDA Ağ Yapıları.....	15
1.8. Zigbee Altyapısıyla Konumlandırma .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Sistem Modeli.....	22
2.2. Simülasyonda Uygulanan Konumlama Teknikleri.....	23
2.2.1. RSSI.....	23
2.2.2. TOA (Time of Arrival) .....	23
2.2.3. TDOA (Time Difference of Arrival) .....	25
2.3. Önerilen Algoritma.....	26
2.3.1. Düz Yol Tekniği .....	27
2.3.2. Virajlar İçin Trilaterasyon ve Multilaterasyon Teknikleri.....	28
2.3.2.1. En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi .....	33
2.3.2.2. Tulip Yöntemi.....	35
2.3.2.3. Cramer-Rao Kuralı .....	36
2.4. Enlem Boylam-Metrik Çevrim.....	36
2.5. Araçların Tasarımı .....	37

2.5.1.	Lider Araç Tasarımı.....	37
2.5.1.1.	Arduino Uno Mikrodenetleyicisi.....	39
2.5.1.2.	Libelium GPS Modülü.....	40
2.5.1.3.	L293D Motor Sürücü Devresi .....	41
2.1.5.4.	MP1584 Gerilim Regülatörü .....	41
2.5.2.	Çapa Araç Tasarımı .....	42
2.5.3.	GPS'siz Gezgin Araç Tasarımı.....	43
2.6.	Sistem Ağ Yapısı .....	45
2.6.1.	Adresleme .....	46
2.6.2.	Konfigürasyon .....	46
3.	BULGULAR.....	53
4.	İRDELEME .....	58
5.	SONUÇLAR.....	62
6.	ÖNERİLER.....	63
7.	KAYNAKLAR .....	64
8.	EKLER .....	68
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KABLOSUZ DUYARGA VE AKTİVATÖR AĞLARI YARDIMIYLA KARASAL  
FİLOLARIN İNSANSIZ DENETİMİ

Faruk Baturalp GÜNAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Dr. Tuğrul ÇAVDAR  
2015, 67 Sayfa, 5 Ek Sayfa

Kablosuz duyarga ağlar birçok uygulamalarda kullanılan, belirli bir alandan bilgi toplayabilen düşük güçlü ve düşük maliyetli düğümlerin kullanıldığı ağlardır. Konum tahmini bu ağların kullanıldığı alanlardan biridir. Bu çalışmada, sadece en öndeki araçta sürücünün olduğu gezgin bir araç filosunda, gerideki insansız araçların kontrolünün kablosuz duyarga ağlarla sağlanması amaçlanmıştır. Simülasyon çalışmasında filo içindeki bazı araçların konumu GPS ile belirlenirken diğer araçların konumları RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival) ve TDOA (Time Difference of Arrival) lokalizasyon yöntemleriyle belirlenecektir. Simülasyonlarda MATLAB platformu kullanılmış olup, GPS ile konumlandırılan (çapa) düğüm sayısı, düğümler arası mesafe vb. faktörlerin etkileri analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları lokasyon tahmin hatalarının, doğru çapa düğüm sayısının sağlanması ve çapa düğümlerin uygun konumlandırılması ile önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

Uygulama çalışmasında ise üç aracın konumu GPS ile belirlenirken, GPS entegre edilmemiş aracın konumu RSSI tekniği vasıtasıyla trilaterasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken sırasıyla Cramer-Rao, Tulip ve En Küçük Kareler yöntemlerinden faydalanılacaktır. Uygulama çalışmasında simülasyon çalışmasında etki eden faktörlerin yanında haberleşme kalitesi, sistemin tepki süresi, senkronizasyon vb. birçok şartların etkileri de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Duyarga Ağlar, RSSI, TOA, TDOA, Lokalizasyon, Cramer-Rao, Tulip, En Küçük Kareler.



Master Thesis

SUMMARY

UNMANNED CONTROL OF TERRESTRIAL FLEET THROUGH WIRELESS  
SENSOR AND ACTUATOR NETWORKS

Faruk Baturalp GÜNAY

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Science  
Computer Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assistant Prof. Dr. Tuğrul ÇAVDAR  
2015, 67 Pages, 5 Pages Appendix

Wireless sensor networks are created for using low cost, low power sensor nodes to collect useful information from a targeted environment in various applications. Location estimations are one of the areas where these networks can be exploited. The main aim of this study is to control a fleet via wireless sensor networks that only leader vehicle has controlled by a human being. Instead, some of the vehicles can be equipped with GPS receivers and the rest of fleet can find their own position via RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival) and TDOA (Time Difference of Arrival) methods. Based on our MATLAB based simulations, we analyse the relationship among various factors such as GPS (beacon) node number and distance etc. Simulation results show that location estimation errors can be significantly reduced with right beacon node number selection and correct positioning of nodes.

There are three GPS integrated vehicles in this experimental study. Naturally, location informations of these vehicles will be known. Moreover another vehicle can estimate its location according to those three vehicles via Trilateration method with the help of RSSI technique. Cramer-Rao, Tulip and Least Square methods will be applied to trilateration and results of those methods will be compared. Communication quality, calculation time and speed synchronization will be other factors which affects in experimental study in addition to simulation factors.

**Key Words:** Wireless Sensor Networks, RSSI, TOA, TDOA, Localization, Cramer-Rao, Tulip, Least Mean Squares.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.	Kablosuz duyarga ağı ve duyarga düğümün genel yapısı ..... 9
Şekil 2.	MicaZ düğümü ..... 13
Şekil 3.	TelosB düğümü ..... 13
Şekil 4.	Algılayıcı ağlarında yönlendirme ..... 16
Şekil 5.	Xbee modüller için alınan işaretin gücünün uzaklıkla değişim karakteristiği ..... 18
Şekil 6.	Kablosuz konumlandırma sisteminin donanımsal yapısı ..... 21
Şekil 7.	Sistem modeli ..... 23
Şekil 8.	TOA kablosuz konumlama yöntemi ..... 24
Şekil 9.	TDOA kablosuz konumlama yöntemi ..... 26
Şekil 10.	Gezgin ve çapa düğümler için temel iletişim durumları ..... 27
Şekil 11.	Düz yol tekniklerine ait yapılar ..... 28
Şekil 12.	Önerilen algoritmanın akış diyagramı ..... 30
Şekil 13.	Trilaterasyon modellemesi ..... 32
Şekil 14.	ECEF koordinat sistemi ..... 37
Şekil 15.	Geliştirilen lider aracın görünümü ..... 38
Şekil 16.	Lider araç için sürücü baskı devresi ..... 39
Şekil 17.	Çalışmada kullanılan lipo bataryalar ..... 39
Şekil 18.	Libelium GPS modül ..... 40
Şekil 19.	Takipçi araçlara ait sürücü devre ..... 41
Şekil 20.	Gerilim regülatör devresi ve görünümü ..... 42
Şekil 21.	Geliştirilen GPS'siz gezgin aracın görünümü ..... 45
Şekil 22.	Sistemde kablosuz aktarılan veriler ..... 45
Şekil 23.	XBee modül ve dongle ..... 47
Şekil 24.	XBee modüle bağlanması için ilgili parametrelerin seçimi ..... 48
Şekil 25.	XCTU yazılımı tarafından lider aracın XBee modülünün tanınması ..... 49
Şekil 26.	Lider aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve ayarlanması ..... 49
Şekil 27.	XCTU yazılımı tarafından GPS'li takipçi aracın XBee modülünün tanınması ..... 50
Şekil 28.	GPS'li takipçi aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve parametrelerin ayarlanması ..... 50

Şekil 29.	XCTU yazılımı tarafından GPS'siz takipçi aracın XBee modülünün tanınması .....	51
Şekil 30.	GPS'siz takipçi aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve parametrelerin ayarlanması .....	52
Şekil 31.	Düz seyir esnasında RSSI yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini .....	54
Şekil 32.	Düz seyir esnasında TOA yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini.....	54
Şekil 33.	Viraj seyri esnasında TOA yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini.....	55
Şekil 34.	Viraj seyri esnasında TDOA yöntemiyle gezgin nod konum tahmini .....	55
Şekil 35.	Viraj seyri esnasında RSSI yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini.....	56
Şekil 36.	3, 4 ve 5 çapa düğüme sahip sistemlerin düğümler arası uzaklıklara (15, 25, 35 m.) göre toplam (RSSI+TOA+TDOA) konum tahmin hataları.....	56
Şekil 37.	Test esnasında filo yapısı .....	61

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Kablosuz duyurga ağ tanımları.....	7
Tablo 2. XBee konfigürasyonu için parametreler ve özellikleri .....	47
Tablo 3. Simülasyonlarda GPS'siz gezgin düğümün çeşitli yöntemlerle elde edilmiş ortalama konum hataları .....	53
Tablo 4. Uygulamada GPS'siz gezgin düğümün çeşitli yöntemlerle elde edilmiş ortalama konum hataları .....	57

## SEMBOLLER DİZİNİ

<b>WSN</b>	: Wireless Sensor Networks
<b>TOA</b>	: Time of Arrival
<b>TDOA</b>	: Time difference of Arrival
<b>RSSI</b>	: Received Signal Strength Indication
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>MAC</b>	: Medium-access control
<b>MATLAB</b>	: Matrix laboratory
<b>ECEF</b>	: Earth Centered, Earth Fixed
<b><math>d_i</math></b>	: Distance Between Beacon and mobile Nodes
<b><math>M_i</math></b>	: Coordinates of Mobile Node
<b><math>G_i</math></b>	: Coordinates of Beacon Node
<b>CH</b>	: Channel Address
<b>DH</b>	: Destination High Address
<b>DL</b>	: Destination Low Address
<b>SH</b>	: Source High Address
<b>SL</b>	: Source Low Address
<b>ID</b>	: ID Number Of Xbee Module
<b>BD</b>	: Baud R

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Kablosuz Duyarga Ağların Tarihçesi ve Tanımı

Bundan 20 yıl önce duyarga ağlarından gelen verileri toplamanın tek yolu kablo idi. Bu duyarga ağların yerleştirilmesi için ciddi bir problemdi. Ancak son zamanlarda kablosuz duyarga ağları bir çok alanda yeni araştırma imkanları sunmuştur [1].

Bir duyarga fiziksel büyüklüğü ölçebilen bir aygıttır. Bir aygıttan alınan ölçüm analog veya sayısal olarak yorumlanabilir. Eğer elde edilen değer analog ise mikro denetleyici veya mikroişlemci tarafından sayısal değere dönüştürülür. Bu değerde evrensel bir değere dönüştürülüp kullanıcıya sunulur. Mikro elektronikteki devam eden küçültme trendi ile kablosuz iletişimin birleşmesi sonucu ortaya çıkan sabit, ucuz ve özelleşmiş bir veya birden çok sensör yapısına sahip teknolojiye kablosuz sensörler denmektedir. Bu sensörlerin aktif halde kullanılıp, birlikte kullanılmalarıyla kablosuz sensör ağları ortaya çıkmaktadır. Bir kablosuz sensör ağı ise küçük boyutlu, düşük enerji kullanan ve istenen bölgeyi gözleyebilen cihazların oluşturduğu ağıdır [2]. Söz konusu kablosuz cihazlar hava ortamında kullanılır ve kısıtlı mesafeler içindir. Çoğu sensör veya düğüm çalışırken çok düşük güç kullanmaktadır. Bu yüzden genel olarak uyuma durumundadırlar. Genel olarak çalışma zamanları ise günün yüzde 5 ve yüzde 10 aralığındadır. Kablosuz sensör ağlarını kullanırken birçok önemli noktalar mevcuttur [3]. Bunlardan biri de ağ içindeki cihazlara kendilerini çalıştırması için kısıtlı olarak enerji sağlanmasıdır. Diğer bir ihtiyaç ise radyo alıcı-verici kısımlarının kullandığı enerjidir. Düşük bit oranı, düşük güç, kısıtlı yayın mesafesi, kullanılabilir hafıza ve işlemsel durum vb. bu zorluğa örnek teşkil eder. Kablosuz duyarga ağları (KDA) birbirleriyle rf (radyo frekanslı elektromanyetik dalga) iletişim ortamında çeşitli ağ iletişim protokollerine göre haberleşen birçok duyarga düğümünden oluşmuş kablosuz bir ağ yapısıdır. Kullanılan kablosuz duyarga düğümleri; mikro duyargalar ve ADC'ler (Analog Digital Converter), işaretlerin ön işlenmesi ve telsiz iletişimi protokollerinin yürütülmesini sağlayan, üzerinde işletim sistemi barındıran mikroişlemci ile rf ünitesi ve güç biriminden oluşmaktadır [4]. Duyarga düğümleri algıladıkları ortamsal ham verileri, mikroişlemcileri sayesinde ön işlemeden geçirip kablosuz ağ ortamında bulunan diğer düğümlere iletebilirler [5,6].

Duyarga düğümünün yerleşim şekillerinin önceden hesaplanmasına gerek yoktur. Bu durum aynı zamanda KDA protokol ve algoritmalarının kendi kendini organize etme yeteneğine sahip olmaları anlamına da gelmektedir. Bu özellikler KDA'lere, ulaşılamaz bölgelerde ve afet bölgelerinde kullanım esnekliği kazandırır.

Algılayıcı düğümünün geliştirilmesinin başlangıcı 1998 yılındaki Smartdust projesine dayanır. Bu çalışmanın amaçlarından biri kübik milimetre içerisinde otonom algılama ve iletişim yaratmaktır. Bu proje erken bitmesine rağmen, bir kaç araştırma projesinin doğmasına neden olmuştur. Bu çalışmalar ise *Berkeley NEST1* ve *CENS2* projeleridir. Bu projelerde yer alan araştırmacılar algılayıcı düğümü için *mote* terimini kullanmaktadır.

Diğer taraftan kablosuz duyarga ağları Ad-Hoc ağların bir alt sınıfıdır. Ad-Hoc ağ yapıları merkezi bir baz istasyondan yoksun olarak kendi kendini düzenleme yeteneğine sahiptir. Kablosuz duyarga ağlarının Ad-Hoc ağlardan ayrılan yönü ise merkezi yapıya sahip olup, küçük cihazların çevreden aldığı işaretleri algılama ve ölçme yeteneğidir. İki nodun iletişim durumunda arada bulunan nodlar mesajları ileri doğru iletir ve çok duraklı ağ (multi hop network) halini alır. Düğüm mobilitesine bağlı olarak, topoloji dinamik yapıya sahiptir. Ayrıca yönlendirme protokolleri mesajların uçtan uca ulaşması amacıyla kullanılırlar.

Duyarga düğümleri kendi aralarında radyo işaretlerini kullanarak anlaşılırlar. Bir duyarga düğüm temel olarak algılayıcı ve işlemci kısımlarının yanında, radyo alıcı-vericisine ve güç ile ilgili donanıma sahip olmak durumundadır. Duyarga düğümler yerleştirildikten sonra kendilerini çok duraklı, kendi kendini organize edebilen uygun bir haberleşme ağının bir elemanı olacak şekilde düzenlemekle sorumludurlar. Daha sonra ise bağlantılı olan duyargalar arzu edilen bilgileri toplamaya başlarlar. Kablosuz duyargalar kontrol alanından gönderilecek isteklere cevap olarak özel komutların uygulanışı yada algılama örneklerinin yollarlar. Duyarga düğümlerin çalışma şekilleri devamlı ya da olay tetiklemeli olmaktadır. GPS veya lokal konumlandırma algoritmaları konum bilgisi sağlayan yöntemlerdir. Ayrıca kablosuz duyargalar ortamın koşullarına müdahale edecek özellikte aktivatörlerle donatılabilmektedir.

Kablosuz duyarga ağları, gereksinimlerden dolayı yeni uygulamaları devreye sokup, daha önce uygulanmamış protokol örneklerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Düşük seviyedeki donanım karmaşıklığı ve düşük enerji tüketim gereksinimi, haberleşme ve işaret/veri işlem parametreleri arasında dengeyi ihtiyaç haline getirir. Bu durum, önemli

ölçüde araştırma çalışmalarını, standardizasyon işlevini ve endüstriyel yatırımı yanında getirmektedir. Şimdilerde konuyla ilgili çalışmalar, düşük enerji tüketimi ve verimli çalışmaya sebep olan algoritma tasarımı, veri görüntüleme, takip raporlama sistemlerinin oluşturulmasıdır.

Bu ağ yapısında duyurga düğümler birbirleri ile belirli bir hiyerarşiye göre haberleşip, merkezi birime topladıkları bilgileri iletmektedirler.

Bu bölüm konu ile ilgili yapılan çalışmaların genel olarak anlatılmasıyla ilgilidir. Konumlandırma alanında çok sayıda yapılmış çalışma mevcuttur. KDA yapılarında konumlandırma ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Srbinovska ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar [7] kast edilen genel yapılı çalışmalardan birisidir. Bu makalede RSSI (Received Signal Strength Indicator) yöntemi anlatılmış ve üçgenleme, trilaterasyon ve multilaterasyon teknikleri ile konumlandırma simüle edilmiştir. Uygulama olarak da klasik Xbee düğümler yerine Silicon Laboratories tarafından üretilen modüller kullanılmıştır. Düğümler hem simülasyon ortamında hem pratik uygulamada sabit olarak konumlandırılmıştır. Çalışmada elde edilen RSSI değerleri dB ve konum tahmin hataları metrik olarak gösterilmiştir. Düğümlerin birbirine uzaklığının 30 metre olduğu durumda 1 metrelik konumlandırma hatası elde edilmiştir.

Savares ve Rabaey KDA yapılarında konumlandırma için minimum dört robotun gerekliliğine vurgu yapmışlardır [8,9]. Ayrıca çalışmalarında bütün düğümlerin aynı işlem kabiliyetine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın bir diğer noktası ise dağıtılmış algoritmaların merkezi algoritmalara göre daha tercih edilebilir olduğudur. Çünkü bu duruma göre işlemler düğümün kendi üzerinde yapılabilmekte ve komşu düğümlerle olan uzaklıkların bulunması için komşu düğüm haricinde başka bir düğüme ihtiyaç duymamalarıdır. Eirod ve Estrin ise işaretin gönderim zamanına bakılarak elde edilen uzaklık bilgisinin, özellikle Rf ve akustik dalgaların birlikte kullanıldığında daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Ancak bu durumun direkt görüşe sahip olduğunda görüldüğü, alıcı ve vericinin arasında çok sayıda engel olduğu veya direkt görüşe sahip olmadığı durumda verimsiz olacağını belirtmiştir [10]. Ayrıca akustik işaretlerin sıcaklığa bağımlılığı yapılan çalışmayı sıcaklığa bağımlı hale getirmektedir.

Doherty ise çalışmasında düğümler arasındaki bağlantılar sayesinde bir geometrik sabitler kümesi elde etmeye çalışmış ve bu kümeyi konveks optimizasyonunu çözmek amacıyla kullanmıştır. Ancak söz konusu optimizasyonun merkez noktasındaki bir düğüm tarafından gerçekleştirilmesi ve çevre düğümlerden gerekli olan verinin tekrar bu merkez



düğümüne gelmesi fazladan maliyet ortaya çıkarmıştır. Ayrıca çeşitli çalışmalarda az sayıda çapa düğümüne ihtiyaç duyulmuştur. Bu makalelerde bir düğüm komşu düğümlere olan uzaklıkları ölçer ve elde edilen bu veriyi ilgili düğümlere kablosuz olarak gönderir. Bunun sonucu olarak ağda bulunan bir düğüm komşu düğümlere olan uzaklıkların yanında, başka düğümlerin komşu düğümlerine olan uzaklıklarını bilme şansına da sahip olmaktadır. Bu durumsa ağın kısmi haritasının ve düğüm konumlarının çıkarılmasına imkan verir. Bitişik lokal haritalar bu koordinat sistemlerinin sırayla birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Çapa düğümlerin bilinen konumları bu haritaların oluşması için kullanılır. Eğer bir ağda üç veya daha fazla çapa düğüm mevcutsa en basit yapıyla bir harita oluşur. Ancak böyle bir ağ haritalandırmasının konumlandırma noktasında bir dezavantajı vardır. Haritalar birleştirilirken uzaklık hataları da bu birleşmelerden dolayı artar. Whitehouse ve arkadaşları çalışmalarında yine RSS ile konum tahmini yapmışlardır [12].

Çeşitli çalışmalarda trilaterasyon yöntemi RSSI tekniği ile uygulanmıştır. Birçoğu iç mekan konumlandırmasına odaklanmıştır [13-17]. Hatta duvarların ve engellerin işaret propagasyonunu etkileyeceği durumu bilinmekteyken bu çalışmalar yapılmıştır [3]. Bazı çalışmalarda ise RSSI tabanlı sinir ağları vasıtasıyla uzaklık bulma gerçekleştirilmiştir [13]. Bu sistem ne kadar verimli olsa da uzaklıklar 5 metrenin altında olduğu için araç, hayvan, insan izleme gibi durumlarda yetersiz kalmaktadır. Çalışmada RSSI ile uzaklık tespiti için üstel bir fonksiyon kullanılmış, regresyon yöntemi kullanılarak uygun bir fonksiyona dönüştürmüşlerdir.

Bir diğer çalışmada ise [18] araştırmacılar RSSI Ölçümlerini IEEE 802.11b kartlarıyla yapmışlardır. Bu çalışmalarda RSSI ve uzaklık arasındaki korelasyon yüksek seviyede bulunmuştur. En uzak mesafe 40 metre olmak üzere ölçümler genel olarak kısa mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Makalede RSSI tabanlı algoritmanın konumsal kesinliği olmuştur. Belirsizlik veya kesin olmama durumu düşük seviyede bulunmuştur. Ancak uzun mesafe ölçümlerinde bulunan 25 metre hata çok iyimser bir senaryo olarak karşımıza çıkar. Benzer çalışmalarda yaklaşık 100 metrelik hata durumu ortaya çıkmıştır.

Yapılan ilginç bir çalışmada otlak alanlarda Büyükbaş hayvanlar RSSI ile konumlandırılmaya çalışılmıştır [19]. Çapa düğümler arası 80 metre olduğundan dolayı önemli miktarda düğüm ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu çalışma bu yönüyle hayvanlar için konumlandırmanın pahalı bir maliyeti olduğunu ortaya koyduğunu iddia etmektedir. Çünkü 5000 x 5000 metrelik bir alanda yaklaşık 3900 düğüm ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ancak ülkemizin büyükbaş hayvancılığının önemli noktalarından Erzurum-Kars

bölgelerinde bile böyle büyük alana yayılmış bir sürü çok nadir olarak karşımıza çıkar. Aslında yapılan gözlemler ülkemizde böyle bir uygulama yapıldığı takdirde 500 x500 metre bir alanın bir sürü için yeterli olacağı yönündedir.

Mobil robotlar ile yapılan uygulamalar az sayıdadır. Hatta açık alanlarda yapılan filo veya çoklu araç uygulamalar çok daha nadirdir. Kukshya ve arkadaşlarının çalışması bir örnek olarak verilebilir [20]. Çalışmanın amacı yapılan radyo uzaklık ölçümleriyle komşu düğümlerin konumlandırılmasını sağlamaktır. Tüm komşu düğümler ile beraber doğru bir haritanın ortaya çıkarılmasıdır. Ancak GPS olmadan bu sistemin uygulanması üzerinde çalışma yapılan sistemin tam verimli olmasını engellemiştir. Ayrıca çevresel faktörlerden kaynaklanan gürültünün araçların doğru konumlandırılmasını engellediği görülmüştür.

GPS kullanımı uygulamamızı daha önceki çoğu çalışmadan ayıran başka bir faktördür. Yapılan bazı çalışmaları ve genel olarak neler anlattığımızı aşağıdaki gibi anlatabiliriz.

Boukerche ve arkadaşları çalışmalarında çeşitli lokalizasyon teknikleri hakkında bilgi vermişlerdir [21]. RSSI, TOA ve TDOA yöntemleri hakkında genel bilgi vermişlerdir. Thomas ve Ros teorik çalışmalarında trilaterasyon tekniğini kullanmıştır [22]. Bu çalışmada çapa düğümlerin konumu bilinmekte ve sabit olmaktadır. Buna karşın ortada bir gezgin robot bulunmaktadır. Cayley-Menger determinant yöntemleriyle yaklaşımlar üretilmiş ancak lokalizasyon olarak net sonuçlar bu çalışmada verilmemiştir [22]. Ayrıca bu determinant yöntemi mikrodenetleyicilerin performans limitinin çok üstünde olup elde edilen sonuçlar bellek değerinin üstünde olabilir. Bu durumda uygulamalar için tercih edilebilecek bir nitelikte değildir.

Wu, Tian ve Huang 2008 yılında yaptıkları çalışmada lokalizasyon için KDA ile partikül filtre (PF) sistemini kıyaslamışlardır [24]. KDA yapısında trilaterasyon tekniği kullanılmıştır. Teorik olan çalışmada 15-35 duyarga olduğu farz edilmiş ancak lokalizasyon hataları metrik sistemde değil yüzdelik sistemde gösterilmiştir. Bu yönüyle lokalizasyon hataları tam netlikte gösterilmemektedir. Burada kullanılan duyargalar gezgin değil sabit konumlandırılmıştır.

Ye ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada yine RSSI yöntemi ile lokalizasyona başvurmuşlardır [24]. Çalışmamızda olduğu gibi XBee modüllerin kullanıldığı makalede gezgin düğüm haricindeki tüm düğümler kapalı ortamda sabit konumlandırılmıştır. Maksimum benzerlik tahmin veya en küçük kareler yönteminin kullanıldığı uygulamada koordinatör düğüm gezgin araç değil verilerin aktarıldığı ana bilgisayar olmaktadır. Kapalı

ortam uygulamalarında genel olarak kullanılan engellerle çarpışmama özelliği uygulamayı ayıran bir diğer husustur. Ancak lokalizasyon tahminlerine dair herhangi bir rakamsal değer çalışmada verilmemiştir. Bir diğer çalışmada ise insansız araçlar için Kalman filtresi tabanlı iç mekan konumlaması yapılmıştır [25]. Kullanılan sistemde lazer mesafe ölçme ve Kalman Filtre ile kullanılan konumlama sistemi beraber kullanılmaktadır. Kalman filtre yöntemi trilaterasyon ve RSSI tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Doğal olarak bu çalışmada iç ortam olduğu için çapa düğümler sabit konumlandırılmışlardır. Çalışma uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Misra ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ise çalışmamıza benzeri bir sistemde olup, kullanmış olduğumuz yöntemlerden biri olan en küçük kareler yönteminin trilaterasyonla uygulanmasıdır [26]. Bu çalışmada uzaklık bulma tekniği olarak RSSI kullanılmıştır. Çalışmamızdan farklı olduğu yönlerde vardır. Bu makalede çalışmamızdan farklı olarak duyurga düğüm olarak TelosB kullanılmıştır. Ancak TelosB bir Arduino, Raspberry Pi vb. mikrodenetleyicilerle kolay entegre olan bir yapıya sahip değildir. Bu yönüyle gezgin veya yürüyen bir aksama uyum ve aktivasyon sağlaması pratik olarak tercih edilmeyen bir yoldur. Doğal olarak, sistem bu çalışmada kendine deneme mekanı olarak konferans odası veya teras katında yer bulmuştur. Sistemi çalışmamızdan ayıran bir diğer fark ise konumlandırma algoritmasını icra edecek bilgisayara ihtiyaç duymasıdır.

## 1.2. Kablosuz Duyurga Ağlarının Birimleri

Kablosuz duyurga ağlarında kullanılan düğümler genel olarak 4 ana kısımdan meydana gelir; duyurga (algılama) birimi, işlemci birimi, alıcı–gönderici (Telsiz) birimi ve güç birimi. Duyurga düğümleri ayrıca görev tanımına bağlı olarak, *konum bulma sistemi*, *güç üretici*, *mobil sistem* de ihtiva edebilir. Duyurgalar tarafından elde edilen analog bilgi ADC ile sayısala çevrilir ve bu bilgi işlem birimine gönderilir. İşlem birimi gerekli veri işleme işlevini yerine getirerek iletilecek veriyi küçük bir hafıza ortamında saklar. Alıcı-verici (transmisyon) birimi düğümü ağa bağlar.

En önemli birimlerden birisi de hiç kuşkusuz güç birimidir. Duyrganın yaşam ömrünü ve ağıın kararlı çalışmasını birinci derecede etkiler. Güç biriminin kalitesi kadar, düğümde çalışan gömülü işletim sisteminin de düğümün yaşam ömrüne önemli etkisi vardır. Yönlendirme ve algılama görevi, yüksek doğruluk oranına sahip konum bilgisine gereksinim duyabilir. Ayrıca bazı duyurgaların hareket edebilme ihtimallerine karşın,

taşınabilir olma esnekliği sağlayan Mobil sisteme ihtiyaç duyabilir. Enerji açısından yaklaşıldığında, en uygun bellek çeşitleri mikro denetleyici çipi üzerindeki bellek (Dahili Bellek) ve FLASH belleklerdir. Çip dışı RAM'ler seyrek veya hiç kullanılmamaktadır. FLASH bellekler, maliyeti ve depolama kapasitesi nedeniyle kullanılmaktadır. Bellek gereksinimleri yüksek oranda uygulama bağımlıdır. Aşağıda KDA yapılarına ait bazı tanımlar gösterilmektedir.

Tablo 1. Kablosuz duyarga ağ tanımları

TANIM	AÇIKLAMA
Mote=Node=Sensör=Duyarga	Bir duyargaya zaman zaman Sensör, zaman zaman Mote, zaman zamanda ağ yapısı içinde bulunduğu için Node denmektedir.
Komşu duyargalar (Neighbour Nodes)	Bir duyarganın direkt bağlı olduğu duyargalar.
Sekme (Hop)	Verinin bir duyargadan diğer duyargaya geçme işlemi.
Çok Sekmeli Yol (Multi-Hop Path)	Komşu olmayan duyargalar arası, diğer duyargalar üzerinden atlayarak gidilen yol.
Çapa Duyarga (Anchor Sensor) = Nirengi Duyarga (Beacon Sensor)	Konumu bilinen (bilindiği varsayılan) duyarga. Diğer duyargalar ve merkez (baz istasyonu) için referans noktası oluşturur.
Yeri bilinmeyen duyarga= Blind Sensor	Konumu bilinmeyen duyarga. Ya çapa duyargalar ya da diğer duyargalar aracılığıyla yeri tahmin edilir.
RSSI (Received Signal Strength Indicator)	Duyargadan gelen işaretin gücünün desibel cinsinden ölçümüdür. Çeşitli duyargalar için farklı değerler alır. İki duyarganın arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

### 1.3. KDA Yapılarının Karşılaştığı Zorluklar

Çok sayıda algılama düğümünden gelen veriler ağın verimini düşürebilir. Bu problemi çözmek için, bazı düğümler küme başları yapılırlar. Küme başları, veriyi toparlayıp, gerekli hesaplamalar yaparak (ortalama, toplam, en yüksek, vb.) elde ettiği özetleri yayınlara. Duyarga ağların dizaynı yapılırken, etkilendiği bazı faktörleri hesaba katmak gerekir. Bu faktörlerin en önemlileri; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, işletme ortamı, duyarga ağ topolojisi, donanım kısıtlamaları, iletim medyası ve güç tüketimidir. Hata toleransı, herhangi bir duyarganın arızası durumunda ağın fonksiyonlarını yerine

getirebilme yeteneğidir. Bazı duyargalar güç azlığından dolayı veya çevresel şartlardan arızalanabilir. Bu şekilde hata veren duyargalar ağına sağlıklı şekilde çalışmasını engellememelidir.

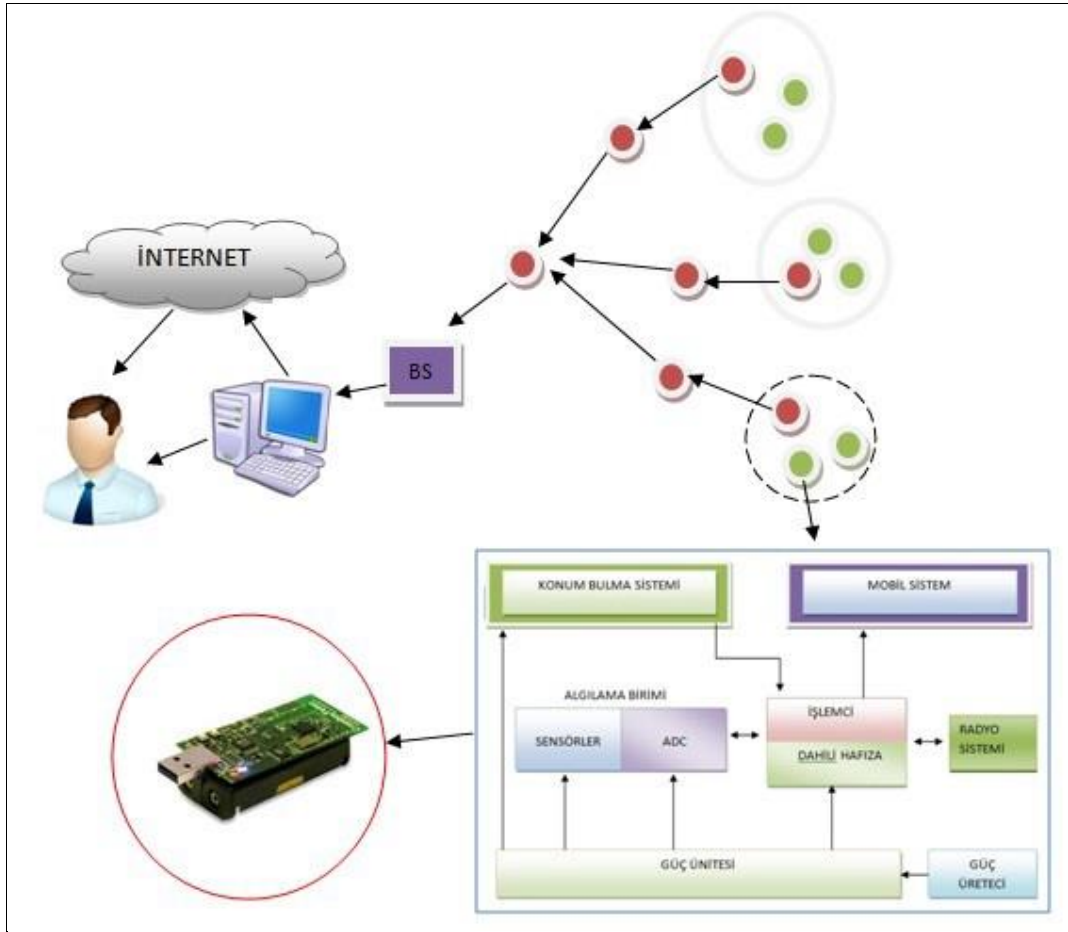
Duyarga sayısı milyonlar ile ifade edilebileceğinden, duyarga ağlarını belirli bir alandaki yoğunluğu çok fazla olabilir. Duyarga ağları, sisteme yeni duyargaların dahil olmasını veya bazı duyargaların sistemden çıkmasını algılayabilmeli ve her iki durumda gerekli ölçeklendirmeyi yapabilecek yeteneğe sahip olmalıdır. Duyarga başına düşen üretim maliyetinin düşük olması çok önemlidir. Sayısı binlere hatta milyonlara varabilen duyarga düğümlerinin olabileceği düşünüldüğünde, sistemin genel maliyetinin düşük olması için düğüm başına düşen parasal değere dikkat etmek gerekir. Bu kadar yüksek duyarga yoğunluğuna sahip olma ihtimalinden dolayı topoloji çok dikkatli bir biçimde seçilmelidir. İletişim kablosuz medya ile sağlanmalıdır. Bu da radyo sinyalleri, infrared veya optik şeklinde olacaktır. Ancak genel kullanım radyo sinyalleri ile iletişimidir. Radyo sinyalleri genelde ISM bandındadır (2.4 GHz, 915MHz gibi).

Güç kaynağı, duyarga düğümünün en önemli parçalarının başında gelir ifadesi kısmen doğrudur. Çünkü güç kaynağı duyarganın yaşam ömrünü belirlediğinden, batarya cinsi önemlidir. Ayrıca çok sıçramalı KDA'de, bazı düğümler yeniden paket yönlendirme, yeniden organize olma gibi özelliklere sahip olacağından bazı duyargaların güç ihtiyaçları diğerlerinden fazla olabilir. Güç tüketiminin bu kadar önemli olduğu bir durumda, güç tasarrufu ve güç yönetimi büyük önem arz eder. Son zamanlarda güç tüketimi farkındalığına sahip protokol ve algoritmalar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Güç tüketimi, algılama, iletişim ve data işlemi ayrı olarak incelenmektedir. Bir duyarga düğümünde komut başına düşen enerji sarfiyatı bir kriterdir. Örneğin, 1 KB veriyi 100 metrelik bir uzaklığa iletmek için gereken enerji, yaklaşık olarak saniyede 100 milyon komut işleyen bir işlemcide 3 milyon komut işlemek için gereken enerjiye eşittir.

Duyarga ağ teknolojilerini gerçekleştirmede; donanım tasarımı, iletişim protokolleri ve uygulama tasarımı zorluklar çıkmaktadır. Duyarga ağının yaşam ömrünü uzatmak ve zeki veri toplama sistemleri kurmak bu zorluklardan ikisidir. Diğer zorluklar şu şekilde listenebilir:

- Duyarga ağlarının topolojisi çok sık değişir.
- Duyargalar noktadan noktaya iletişime dayanan ağlarda yaygın iletişim paradigmasını kullanır.
- Duyargalar çok kısıtlı güç, hesaplama yeteneği ve hafızaya sahiptir

- Duyargalar bozulmaya yatkındır.
- Duyargalar çok fazla yükten dolayı genel kimlik (ID) sahibi olmayabilir
- Duyargalar çok fazla sayılarda kurulur, bu nedenle kalabalıktan kaynaklanan tıkanma ve çarpışmalar olabilir. Önlemek için birbirine yakın duyargalar eşzamanlı iletişim yapmamalıdır.
- Ad-hoc yerleştirilmiş sistemin, sonuç dağıtım ve düğümlerin bağlantısallığını (connectivity) tanımlaması ve sağlaması gerekir.
- Devingen ortam durumları, sistemin zamanla bağlantılılık ve sistem uyarlamasını gerekli kılar. Aşağıdaki şekilde KDA yapısının genel şekli görülmektedir.



Şekil 1. Kablosuz duyarga ağı ve duyarga düğümün genel yapısı

#### 1.4. Kablosuz Duyurga Ağların Uygulama Alanları

Kablosuz Duyurga Ağlar, problem çözümlerine getirdiği esneklik ve hayata getirdikleri yeniliklerle popülerlik kazanmıştır. Kablosuz duyurga ağlar aşağıdaki alanlara başarılı şekilde uygulanmıştır:

**Askeri Uygulamalar:** Kablosuz duyurga ağlar askeri kumanda, kontrol, iletişim, hesaplama, istihbarat, muharebe alanı keşfi ve hedefleme işlemlerinde kullanılmaktadır.

**Arazi Görüntüleme:** Bu tip uygulamalarda, duyurgalar inceleme altındaki araziye döşenir. Basınç, sıcaklık vb. algılanacak olan parametreler alınıp baz istasyona gönderilir. İstendiği takdirde daha sonraki aşamada ortamdaki şartlara aktivatörler yoluyla müdahale edilir.

**Ulaşım:** Gerçek zamanlı trafik bilgileri KDA tarafından toplanarak çeşitli ulaşım modelleri oluşturulur ve trafik sıkışıklığı, kaza bilgileri uyarıları sürücülere iletilebilir.

**Sağlık:** KDA'lar sağlık alanında ise engelli insanlara destek, hastanın verilerinin görüntülenmesi, tanı, hastanelerdeki ilaç yönetimi, insana ait fizyolojik verilerin takibi ve hastane içindeki hastaların takibi vb. uygulamalarda kullanılmaktadır.

**Çevresel Algılama:** Volkanlar, ormanlar, buzullar, okyanuslar vb. alanlarda bilimsel araştırma yapmak amacıyla kullanılır. Bazı kullanım örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Hava kirliliği takibi
- Orman yangını tespiti
- Doğalgaz tüketimi
- Toprak kayması tespiti

**Yapısal takip:** Köprüler, gökdelenler, tüneller, tarihi vb. yapıların yakınında bulunmadan ve maliyetli ziyaretler gerçekleştirilmeden uzak mesafe kontrol ve takibi KDA'lar vasıtasıyla gerçekleştirilebilir.

**Endüstriyel takip:** KDA yapıları makine koşul-tabanlı onarım sistemleri için KDA yapıları kablolu yapılardan daha ekonomiktir.

**Zirai Kullanım:** Kablolu takip geniş ve zorlu ekim arazilerinde mümkün olmamaktadır. KDA yapıları bu noktada avantajlıdır. Toprak nem takibi, verimli su kullanımının KDA ile otomasyonu gibi uygulamalar bu alanda yapılmaktadır.

### 1.5. KDA Yapısı İçin Gereksinimler

Duyarga ağı gereksinimleri aşağıdakileri içerir:

Fazla sayıda duyarga: Ucuz, küçük boyutlu duyargalar kullanılarak duyarga ağları binlerce duyarga düğümü içerebilir. Ölçeklenebilirlik ve bu yüksek sayıdaki duyargayı yönetmek önemli bir sorundur. Kümeleme (clustering) bu probleme çözümlerden biridir.

Kümelemede, komşu düğümler bir küme oluşturmak üzere birleştirilir ve bir küme başı, bu kümeyi yönetmek için seçilir.

Düşük enerji kullanımı: Çoğu uygulamada, duyarga düğümleri çok uzak bir yere kurulmaktadır. Bu yüzden, düğümlerin bakımının oldukça zor olduğu durumlar ortaya çıkmaktadır. Düğümün ömrü, üzerindeki pilin ömrüyle belirleniyor, böylece minimal düzeyde enerji tüketilerek pilin en verimli şekilde kullanılması gerekiyor. Çok sayıda duyarga pilini doldurmak pahalı ve zaman alan bir görev olabilir.

Düşük belleğin verimli kullanımı: Duyarga ağları kurulurken yönlendirme tablosu, veri yineleme (data replication) , güvenlik ve benzeri konular duyarga düğümündeki düşük belleğe sığacak şekilde değerlendirilir.

Veri toplama: Çok sayıda algılama düğümü ağı bilgiyle şişirebilir. Bu problemi çözmek için, bazı düğümler (küme başları gibi) veriyi toparlayarak, bazı hesaplamalar yaparak (ortalama, toplam, en yüksek, vb.) elde ettiği özetleri yayımlayabilir.

Ağ özörgütlenmesi: Çok sayıda düğüm ve bu düğümlerin erişimi zor (vahşi-hostile) ortamlarda yerleştirilmesi gibi durumlarda, ağın kendini örgütleyebilmesi olmazsa olmazdır. Ağın yaşamı süresince düğümler çökebilir, yeni düğümler ağı katılabilir. Bu yüzden, ağ belirli aralıklarla kendini yeniden yapılandırabilmelidir. Böylece işlevini sürdürebilecektir. Bireysel düğümlerin ağdan ayrılma, bağlanma gibi durumlarında da tüm ağın bağlantısalılığının korunması önemlidir.

İşbirlikçi sinyal işleme: Bu ağları mobil ad-hoc ağlardan ayıran önemli bir etken, ağların amacının sadece iletişim değil, ilgi duyulan bir olayın belirlenmesi/tahmininin yapılmasıdır. Belirleme başarımını arttırmak için birden fazla duyargadan gelen veriyi birleştirmek (fusion) önemlidir. Bu veri birleştirmesi, veri ve kontrol mesajlarının aktarımını gerektirir. Bu gereksinim ağ mimarisinde kısıtlar yaratabilir.

Sorgulama yeteneği: Duyarga ağı için Intanagonwimat vb. veri merkezli ve adres merkezli olmak üzere iki tip adresleme olduğunu belirtmiştir. Veri merkezli adreslemede



sorgu ağın belirli bir bölgesine gönderilirken, adres merkezli adreslemede sorgu doğrudan belli bir düğüme gönderilmektedir.

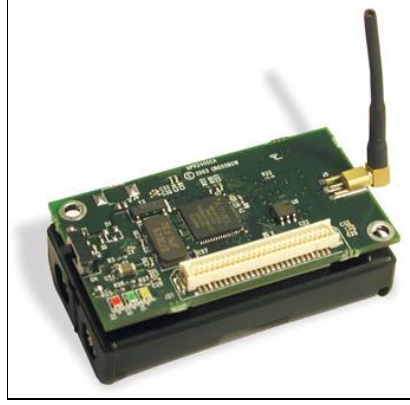
Düşük Maliyet: Ağlarda binlerce düğüm kullanılacağı için duyarga düğümlerinin maliyetinin düşük olması gereklidir. Aşağıdaki şekilde KDA terminolojisinde kullanılan terimler detaylıca gösterilmektedir.

### **1.6. Duyarga Düğüm Platformları**

KDA yapıları çeşitli duyargalar yoluyla çevresiyle etkileşim yapabilen, lokal bilgileri işleyebilen ve bu bilgileri komşularına kablosuz iletişimle gönderebilen gömülü sistemlerin birleştirilmiş halidir. Bir duyarga nod esas olarak üç bileşen kısım içerir.

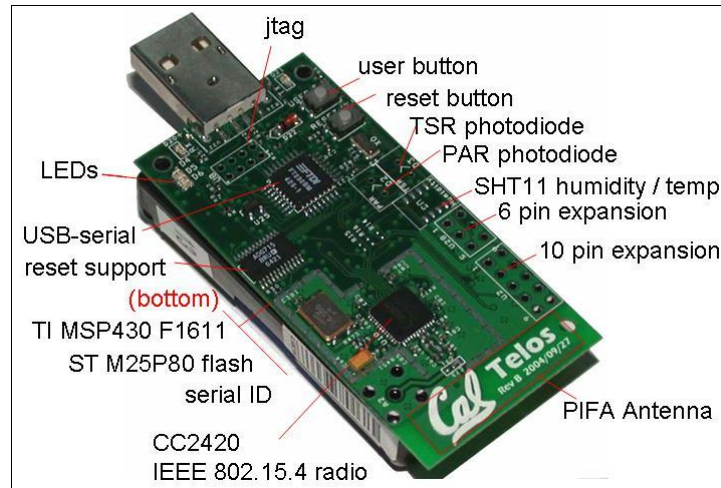
Kablosuz Modüller: Bu elemanlar duyarga ağların anahtar elemanlarıdır. Bu niteliklerini, iletişim yetenekleri ve uygulama kodlarının bulunduğu programlanabilir hafızaların mevcut olmasına borçludurlar. Bir nod genel olarak mikrokontrolör, alıcı-verici, güç kaynağı hafıza ünitesi ve birkaç duyargadan oluşur. Mica2, Cricket, MicaZ, Iris, Telos, SunSPOT, and Imote2 örnek platformlar olarak gösterilebilir.

MicaZ: IEEE 802.15.4 iletişim protokolünü kullanan bir düğümdür. 2.4 GHz bandını kullanmaktadır. 250 kbps veri oranı ile haberleşebilmektedir. Mikrodenetleyici olarak Atmega128L kullanılmaktadır. Atmega128L mikrodenetleyicisi flash belleğindeki Moteworks platformunu işletir. Bu flash belleğin boyutu 128K byte'tır. Düğüme entegre halde herhangi bir duyarga yoktur. Ancak 51 pinlik bağlantı konnektörleriyle ışık, sıcaklık, basınç, manyetik vb. duyargalar ile bağlantı kurabilmektedir. Açık havada 75-100 metre çapında bir alanda iletişim sağlayabilirken, kapalı bir mekanda ise söz konusu uzaklık 20-30 metre seviyelerine düşmektedir. Bu düğüm bina içi güvenlik ve izleme vb. alanlarında kullanılırken, uygulamaya göre yüzlerce adet gibi yüksek sayılara kullanılabilir. TinyOs yazılımı ile kontrol edilebilmektedir. Aşağıdaki şekilde MicaZ düğümü gösterilmektedir.



Şekil 2. MicaZ düğümü

TelosB: UC Berkeley üniversitesindeki bir araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir. MicaZ platformuna benzer bir yapıdır. IEEE 802.15.4 iletişim protokolünü kullanmaktadır. 2.4 GHz bandını kullanmaktadır. 250 kbps veri oranı ile haberleşebilmektedir. Alıcı verici kısmı aynı şekilde muhafaza edilmiştir. Ancak 8 MHz TI MSP430 mikrokontrolör 10kB RAM gibi daha büyük hafızaya sahiptir. Ayrıca sıcaklık, nem ve ışık duyargaları entegre haldedir. USB bağlantısı sayesinde hem platorom programlanabilir hem de diğer duyargalarla bağlantılanabilir. Bu ek duyargalar için 6 ve 10 pinlik konnektörler mevcuttur. TinyOs yazılımı ile programlanabilmektedir. Aşağıdaki şekilde TelosB düğümünün bağlantıları ve diğer detayları gösterilmektedir.



Şekil 3. TelosB düğümü

EYES: TelosB'ye yakın mimarisi vardır. 60 kB program hafızası ve 2 kB veri hafızasına sahip 16 –bit mikrokontrolör mevcuttur. Pusula, ivmeölçer, basınç, sıcaklık ve ışık duyarları entegredir. TR1001 alıcı vericisi 115.2 kbps iletim oranına imkan tanır. Sırasıyla alıcı, verici ve uyku durumlarında 14.4mW, 16.0mW, ve 15.0  $\mu$ W güç tüketimi yapar. Programlanma RS232 seri ara yüzü ile gerçekleştirilir.

Yazılım: Donanım kısmına ek olarak KDA yapıları için çeşitli yazılım platformları geliştirilmiştir. Bunların arasında özel bir yeri olan ve kendini kabul ettiren TinyOS yazılımıdır. TinyOS açık kaynaklı bir yazılımdır.Söz konusu yazılım bileşen tabanlı mimari olmasından dolayı kodlar kısaltılmış ve yeni iletişim protokolleri uygulanabilmiştir. Yazılımın bileşen kütüphanesi protokoller, dağıtım servisleri, duyarga sürücüleri, veri birleştirme cihazlarını içermektedir. Çoğu iletişim protokolleri TinyOS platformu için yazılmış durumdadır. Ayrıca TinyOS ile birlikte TinyOS nod simülatörü olan TOSSIM vasıtasıyla ağ protokollerinin ve uygulamalarının simülasyonu yapılabilmektedir. TOSSIM ölçeklenebilir bir simülasyon ortamı sağlamasının yanında TinyOS kodlarını derleyebilir. Ayrıca bit düzeyindeki ağ küme ortamı en düşük seviyedeki protokolllerden, en yüksek seviyeli uygulamalara imkan tanır. TOSSIM'de yine TinyViz adıyla sunulan kullanıcı ara yüzü ile yapılan simülasyonların etkileşimle görselleştirilmesi sağlanmaktadır. TinyOS haricinde çeşitli yazılımsal platformlar mevcuttur. LiteOS isimindeki platform sayesinde Unix çıkarımları yapılabilmektedir. TinyOS sistemine kıyasla LiteOS çok işlevli olarak kullanılabilmekte, dinamik hafıza yönetimi ve komut hattı kabuk desteği sağlayabilmektedir. Bu sayede programlanan nodla komut satırı sayesinde PC üzerinden işlem yapılabilmektedir. Contiki ise Telos, Mica gibi nodlarda bulunan TI MSP430 ve Atmel AVR gibi çeşitli mikrokontrolörlerin kullanımını gerçekleştirebilen çok işlevli işletim sistemidir. Contiki olay güdümlü olup, belli bazı programlar için çoklu işlevli olarak kullanılırken, bazı programlar için ise dinamik yükleme ve değişim yapabilmektedir. TinyOS derleme zamanında statik bağlantı sağlarken, Contiki bağlantı olmaksızın derleme esnasında program ve sürücülerde değişiklik yapabilmektedir. Ayrıca TCP/IP desteği sağlayabilmektedir.

SunSPOT isimli platform işletim sistemi kullanmayıp Java sanal makinesi kullanmaktadır. Buradaki sanal makine flash bellek dışında çalışmaktadır. Birçok işletimi sistemlerinin öne çıkan farklı özellikleri olsada TinyOS hala KDA araştırmalarında fazlaca yer alan işletim sistemidir. Bu kullanılrlığın en önemli sebeplerinden biri KDA ile ilgili çözümlerin gelişiminden kaynaklanan çok sayıda kodun bulunmasıdır. Enteresandır ki,

daha yeni işletim sistemleri var olan uygulamalar ve protokollere kolayca uyarlanamayabilir. Halihazırda bulunan kod uzayı kullanıcılara ek esneklik ve yetenekler kazandırmaktadır.

### 1.7. KDA Ağ Yapıları

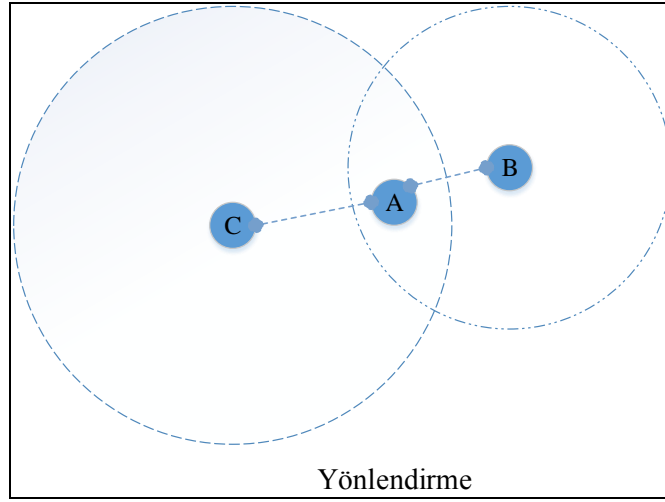
KDA yapıları radyo iletişimi için geliştirilen çeşitli topolojileri kapsar. Aşağıda topoloji çeşitleri kısaca anlatılmıştır.

**Yıldız Haberleşme Ağı:** Yıldız ağ sisteminde bir baz istasyon bulunup çok sayıda uzaktan erişilebilen noda mesaj veya mesajlar iletilir. Bu topoloji çeşidinde baz istasyonu niteliği taşımayan diğer (uzak) nodlar kendi aralarında haberleşemezler. Sistemin avantajı basit olması ve uzak nodların enerji tüketiminin minimum seviyede olmasıdır. Dezavantajları ise uzak nodların hepsinin radyo iletim mesafesi içerisinde bulunması gerekliliği ve tek baz istasyonunun tüm haberleşme ağını yönetme zorluğudur.

**Örgü Haberleşme Ağı:** Bu yapıda radyo iletim mesafesi ve ağ içinde bulunan noddan birinden diğerine direkt olarak veri iletimi sağlanır. Çok basamaklı iletme izin veren bu yapı sayesinde, eğer bir nod ağ dışında bir noda veri göndermek isterse basamaklı iletme izin veren bu yapı sayesinde, eğer bir nod ağ dışında bir noda veri göndermek isterse iletmek için iletim sahası içindeki bir diğer noda yönlendirme yapabilir. Bu topoloji sayesinde diğer veri iletimleri için ihtiyaç fazlası nodlar ortaya çıkabilir ve ağın ölçeklenmesi yapılabilir. Ayrıca eğer bir nod arızalanırsa iletim mesafesi içindeki diğer bir nod üzerinden hedefle iletişim sağlanabilir. Bir diğer durumda ise sisteme yeni nodlar eklenerek ağın ve haberleşme mesafesinin genişlemesi sağlanabilir. Sistemin dezavantajı ise çok basamaklı iletişim durumunda, kısıtlı pil durumu dolayısıyla enerji tüketim durumudur. Bir diğer olumsuz nokta ise mesafe vb. şartlara bağlı olarak değişen basamak sayısı arttığında mesajın iletim zamanı artmaktadır.

**Hibrid Yıldız Haberleşme Ağı:** Bu hibrid yapı hem güçlü hemde değişken olabilirken, aynı zamanda düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. Bu topolojide en düşük seviyedeki nodlar veri iletimi yapmamaktadırlar. Bu sayede minimum enerjinin muhafazası sağlanmaktadır. Bununla beraber çoklu basamak haberleşmesi yapabilen ağ içindeki diğer nodlar, verileri düşük enerjili noddan diğer nodlara iletirler. Genellikle çok basamaklı iletişim yapan nodlar yüksek enerji harcadığı için elektrik şebekesine bağlı bulunurlar. Bu topoloji çeşidi yaygın olarak bilinen ismiyle zigbee yapısında kullanılır.

Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme: Duyarga ağlarda yer alan düğümler düşük enerjiyle kablosuz iletişim sağladıkları için kapsama alanları dardır. Bilindiği üzere bir düğüm komşu düğümlerin kapsama alanı içindeyse onlarla iletişime geçebilir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi C ve B düğümlerinin iletişimde olabilmesi için A düğümünün yönlendirme işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu yüzden ağ yapısında yönlendirilmeye ihtiyaç vardır.



Şekil 4. Algılayıcı ağlarında yönlendirme

Ağ yapısındaki düğümler birbirleriyle kesintisiz olarak haberleşmezler. Algılayabildikleri fiziksel büyüklükleri çapa düğümlere iletilmektedir. Çok sayıda düğümün bir çapa düğüme bağlı olduğu düşünülürse  $N$ 'den  $1$ 'e yönlendirme yapılmaktadır. Diğer bir ifadeyle ağ yapısında  $N$  adet algılayıcı düğüm ve  $1$  adet çapa düğüm bulunmaktadır. Bu durum klasik yönlendirme teknikleri veya protokollerinden daha farklı protokoller olduğu anlaşılmaktadır.

Klasik protokoller ağ içinde tüm düğümlerin haberleştiği varsayılarak inşa edilmişlerdir. Duyarga ağlarında düğümler periyodik olarak ölçtükleri verileri aktarmaktadırlar. Özellikle saha ölçümleri vb. algılanan değerler belli bir eşik değerin üzerindeyse düğümler tarafından komşu düğümlere gönderilmektedir. Bir düğüm tarafından ölçülen toprak nem değerinin belli bir eşik altında olması yani toprağın kuraklığını göstermesi, yine belli bir ışık değerine göre çeşitli motorların çalıştırılması bu konuya verilecek örneklerden biridir. Periyodik sistemlerde bu düğümler ilgili ölçümleri periyodik olarak ölçüp diğer düğümlere iletmektedir.

### 1.8. Zigbee Altyapısıyla Konumlandırma

Zigbee’de bulunan link kalite belirleme (LQI) özelliği fazladan hiçbir donanımsal ek gerektirmeden RSSI yöntemini kullanarak düğümün konumunu bulmaya yardımcı olur. Kullanılan yöntem göre konumu biline alıcı üç tane düğümün kesişim noktasında bulunan bir verici düğümün olması gerekir. Bu üç düğümün RSSI sayesinde öğrenilen verici düğümüne olan uzaklıkları ölçülür. Bu uzaklıklar çember yarıçapı olarak alınır ve oluşturulan çemberlerin kesişim noktası tahmini konum olarak bulunur. RSS verici işaret ve verici cihazın alıcı cihaz ve alıcı işaret yoluyla etkilemesi prensibiyle çalışır.

$$P_{RX} = P_{TX} * G_{TX} * G_{RX} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

$P_{RX}$ =Alıcı tarafından alınan işaretin gücü

$P_{TX}$ =Göndericinin transmisyon gücü

$G_{TX}$ =Vericinin kazancı

$G_{RX}$ =Alıcının kazancı

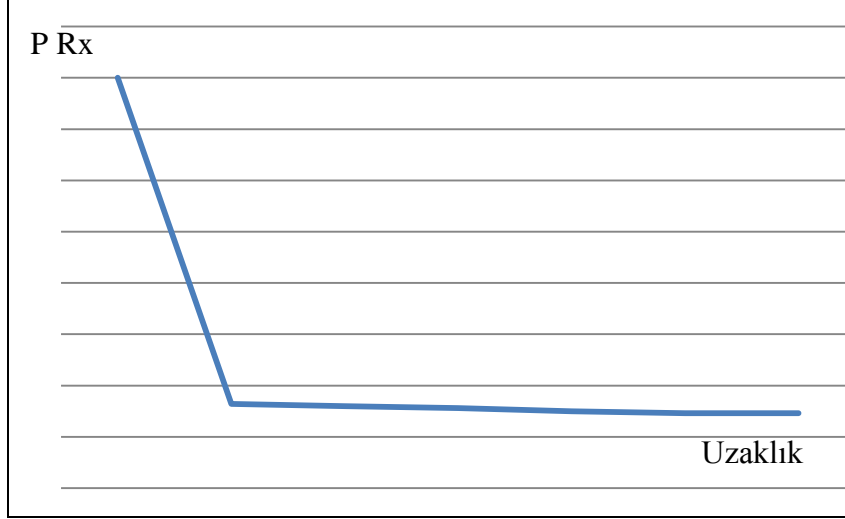
$\lambda$ =Dalga boyu

$d$ =Alıcı ve verici arasındaki mesafe

Gömülü sistemlerde, alınan işaretin gücü (RSS) ,referans gücün alınan işaretin gücüne olan oranı vasıtasıyla alınan işaretin güç belirtecine (RSSI) değerine çevrilir. Aşağıda RSSI formülü verilmektedir.

$$RSSI = 10 * \log\left(\frac{P_{RX}}{P_{ref}}\right) \text{ dBm} \quad (2)$$

Burada alınan işaretin gücü RSSI değerini de artırır. Uzaklığın (d) ise sonuç üzerinde doğrudan olmayan bir etkiye sahiptir. Pratik durumlarda çeşitli etkilerin karışmasıyla beraber  $P_{RX}$  değerini doğru şekilde ölçmek zorlaşır. ZigBee ağında PHY katmanı RSSI değerini gösterir.



Şekil 5. Xbee modüller için alınan işaretin gücünün uzaklıkla değişim karakteristiği

Kablosuz ağlarda ve özellikle ZigBee yapılarında RSSI değerini etkileyen ve azaltan çeşitli faktörler vardır. Bunlardan bazıları şunlardır:

Bazı faktörler kablosuz ağlar ve ZigBee yapısı içindeki RSSI değerini düşürür. Bunlar;

- Metalik nesnelere yansımalar.
- Elektromanyetik alanın süperpozisyonu.
- Kenar kırılmaları.
- Farklı propagasyon hızlarından ötürü olan kırılmalar.
- Elektromanyetik alan polarizasyonu.
- MAC protokolleri adaptasyonsuzlukları.

Verici çeşitliliği: Farklı vericiler aynı doğrultuda ve yakın çıkış gücüyle yayın yaptıklarında RSSI konumlandırmasında hataya sebep olabilmektedir.

Alıcı çeşitliliği: Farklı radyoların alıcı hassasiyetleri de farklıdır.

Anten uyumluluğu: Bazen alıcı ve verici arasındaki ilişki yayılım yolundan dolayı değişebilmektedir. RSSI değeri bundan dolayı değişebilir.

Atmosferik şartlar: Az da olsa hava şartlarının olumsuz olması konumlandırmayı etkilemektedir. Ancak GPS'li düğümlerde bu durum daha fazla etkisini göstermektedir. MDSMAP [4], Yarıkesin programlama [5], merkezi algoritma yaklaşımı [6], Gradyan tabanlı multilaterasyon [7] gibi çeşitli multilaterasyon teknikleri kullanılmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Esas olarak bu çalışma kablosuz duyurga ve aktivatör duyurgalar vasıtasıyla farklı durumlarda peş peşe birbirini takip edebilen araçları amaçlamıştır. Tezin amacı genel olarak lider aracı takip olsa da bunu detaylandırmamız gerekmiştir. Ön ve arkaya gidiş ve hız bilgileri mesafenin korunması ve doğrultunun aynı kalması amacıyla diğer araçlara doğru şekilde ulaştırılmalıdır. Bunun için kablosuz duyurgalardan alınan verilerin doğru iletilmesi gerekmektedir. Enerji, uzaklık, işlemci, maliyet vb. fiziksel sınırlamalar duyurga düğümlerin sınırlarını belirler [27,28]. Bu tip kısıtlamalar genellikle gezgin duyurga ağları için geçerlidir. Lokalizasyon veya gezgin düğümün konum tespiti Kablosuz Duyurga Ağlarda (KDA) önemli konulardan biridir. Yukarıda bahsedilmiş olan kısıtlamalar konum tahmini ve verimli hesaplama süreçlerini olumsuz olarak etkiler[29,30]. Bu çalışmada, sadece ilk araçta sürücünün bulunduğu gezgin bir araç filosunda, izleyen diğer insansız araçların kontrolünün kablosuz duyurga ağlarla sağlanması amaçlanmıştır. Yapılması düşünülen çalışma ile kablosuz duyurgaları ve oluşturdukları ağ yapısını kullanarak pratikte birbirini aynı doğrultu ve yönde takip eden bir filo yapısı oluşturulmak istenmektedir. Bu yapı vasıtasıyla gelecekte insansız kullanıma hazır kara araçlarının tek tek değil de birlikte ve uygun şekilde hareketleri amaçlanmaktadır.

Tezde düşünülen hareket eden cihazlar uzaktan kumandalı arabalar olmaktadır. Duyurgaların birbirleri arasında haberleşmesi sağlanıp, elde edilmesi amaçlanan çeşitli veriler için haberleşme ortamı sağlanacaktır. Sistemde duyurga düğümlerin önceden programlanarak kullanım esnasında bilgisayara bağlanmaksızın yaptıkları iletişim temel esastır. Düğümler üzerinde bulunan ya da düğümlere bağlanmış olan çeşitli duyurgalar tarafından araçlarda takip edilip görülmesi gereken değerlerin izlenilip kontrol edilmesi ve filo içindeki diğer araçlara iletilmesi, bu değerlere göre araçların hareketlerine karar vermesi sağlanacaktır. Yani öndeki aracın ilerleme, gerileme yön değiştirme durumlarının takip eden araçlara iletimi, aynı yön ve doğrultuda takip için aktivatör birimlerin kumanda edilmesi amaçlanmaktadır. Kablosuz duyurga ağlar çeşitli uygulamalarda kullanılan, belirli bir alandan bilgi toplayabilen düşük güçlü ve düşük maliyetli düğümlerin kullanıldığı ağlardır. Konum tahmini bu ağların kullanıldığı alanlardan biridir.

Bu çalışmada, sadece en öndeki araçta sürücünün olduğu gezgin bir araç filosunda, gerideki insansız araçların kontrolünün kablosuz duyurga ağlarla sağlanması

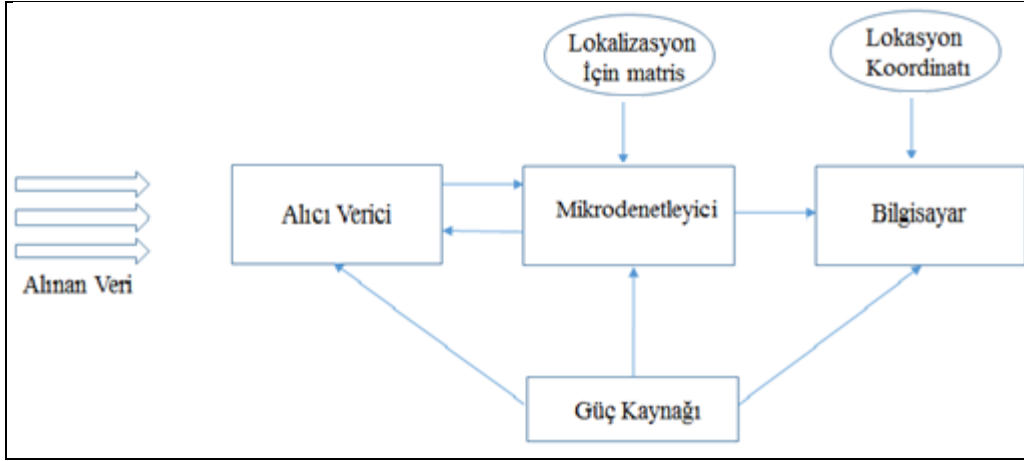


amaçlanmıştır. Simulasyon bazında filo içindeki bazı araçların konumu GPS ile belirlenirken diğer araçların konumları RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival) ve TDOA (Time Difference of Arrival) lokalizasyon yöntemleriyle belirlenecektir. Simulasyonlarda MATLAB platformu kullanılmış olup, GPS ile konumlandırılan (çapa) düğüm sayısı, düğümler arası mesafe vb. faktörlerin etkileri analiz edilmiştir.

Filonun dünya üzerindeki konumu ve daha doğru yer tahmini yapılması amacıyla bazı düğümlere GPS (çapa düğümler) entegre edilmiştir. Diğer düğümlerin çapa düğümlerle irtibatlı olarak konum tahminleri de yukarıda adı geçen lokalizasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Çalışmalar, çapa düğüm sayısının ve yine bu düğümlerin gezgin düğümlere olan uzaklıklarının gezgin düğümlerin konum tahmin hatalarını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Gezgin kablosuz duyurga ağlar üzerine literatürde çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Geçmişte yapılmış çalışmaların aksine, bu çalışmada filo araçları bir doğru üzerinde olsa bile, yani gezgin ve çapa düğümler aynı doğrultuda olması durumunda da gezgin düğümlerin konumu hesaplanabilmektedir. Çalışmamızın bölümleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir. İkinci bölümde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Sistemin genel yapısı ve algoritmalar üçüncü bölümde incelenmiştir. Son bölümde çalışma sonuçları sunulmuştur.

Lokalizasyon için gerekli kısımlar: Temel olarak bir kablosuz lokalizasyon sisteminin iki donanım parçası vardır. Sistemle ilgili ölçülebilen bilgiyi taşıyan kısım ve bir işaret alıcı-vericisi olmaktadır. Burada bir verici en basit olarak çapa düğüm durumundadır. Aşağıdaki şekilde bir konumlandırma sisteminin donanımsal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 6. Kablosuz konumlandırma sisteminin donanımsal yapısı

Öncelikle konumlandırma sistemleri radyo algılama teknolojileri sayesinde işaretleri algılayıp referans noktalarına göre değerlendirir. Algılama tekniği işaret seviyesi temelli olup alınan işaretin RSS (Alınan işaret gücü) seviyesine çevrilmesidir. Belirlenen çoklu referans noktalarına göre RSS karakteristiği mobil düğümün göreceli konumunu verir. Konuma göre elde edilen karakteristikler sadece o konuma aittir. Son olarak da mikrokontrolör konumlandırma algoritmalarını devreye alıp yaklaşık konumu tahmin eder.

Uydu tabanlı Global konumlama sistemi (GPS) GIS sistemlerinin yanı sıra bilgisayar tarafından sunulacak şekilde konumsal bilgiyi haritadaki gerçek konuma uyarlar. GPS en az dört uydu tarafından direkt görüş sağlanma şartının sağlanmasıyla beraber her türlü hava koşulunda her zaman güvenilir konum ve zaman bilgisi veren bir uzay bazlı küresel navigasyon uydu sistemidir. Eğer bir konumlama sistemi GPS alıcısı kullanırsa altyapı maliyeti yükselir, alıcıyı çalıştırmak için gerekli gücün artmasına sebep olur ve ilgili port sayısının artışından dolayı ticari imalat zorlaşır. KDA sistemleri özellikle ZigBee yapıları ekstra maliyet çıkarmadan yukarıdaki görevleri yerine getirerek düğüm konumlandırma işlemini yerine getirmektedir.

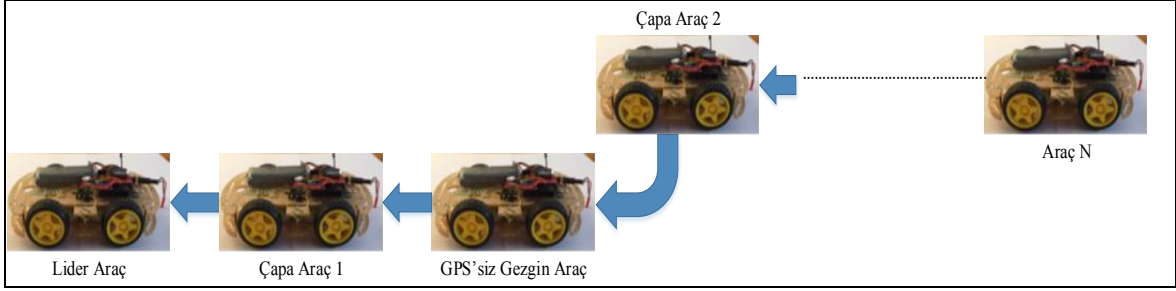
Geniş alana yayılmış bir KDA yapısında az sayıda düğümün GPS ile konumlandırılması üç senaryo ile mümkündür. İlk durumda diğer düğümler en azından üç GPS'li düğüm ile iletişim kurabilmektedir. İkinci durumda bir veya iki GPS'li düğüm ile irtibat kurulabilmektedir. Son durumda ise herhangi bir GPS'li düğüm ile temas yoktur. İkinci ve üçüncü senaryo konumlandırma ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu yüzden geniş alana yayılmış duyurga ağları için atomik ve iteratif multilaterasyon teknikleri geliştirilmiştir[27]. Atomik multilaterasyon aşağıdaki şekildeki gibi direkt olarak üç veya

daha fazla referans düğümle konumlandırma yapabilmektedir. Ancak atomik multilaterasyonda düğümler GPS düğümlerden çok uzaksa sistem yeterli değildir. İteratif multilaterasyon sayesinde ağ içindeki diğer düğümlerle konumlandırılabilen bu da büyük ölçekli duyarga ağlarda iyi konumlandırma yapabilmektedir[28,29]. Bu yapıda GPS lokalizasyonu ile konumlandırılan düğümler artık referans düğüm olarak kabul edilirler [30,31]. Bu durum ağ içindeki tüm düğümler konumlandırılana kadar devam etmektedir. Kolloberatif sistemle ikinci ve üçüncü durumlar çözülebilir. Bu sistem sayesinde iki yakın sade düğüm birbirleriyle irtibat halinde olmakta ve konum bilgilerini birbirlerine iletmektedir. Bu sayede 2 GPS düğümün olduğu bir durumda bile sade bir düğüm için konumlandırma yapılabilir.

Mevcut lokalizasyon algoritmaları esas olarak uzaklığa bağlı [32] ve uzaklıktan bağımsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [33]. TOA, TDOA, AOA ve RSSI yöntemleri mesafe bulma için kullanılan tekniklerdir [34,35,36].

## 2.1. Sistem Modeli

Çalışmamızdaki teorik amaç filo olarak tarif edilen yapı içerisinde üç, dört veya beş çapa aracın sayesinde RSSI, TOA ve TDOA yöntemleriyle gezgin düğüm veya düğümlerin yaklaşık olarak konumlarının tahmin edilip lider çapa düğümün takibinin sağlanmasıdır. Bu durumda lider araçta bir sürücü olduğu varsayılabilir. Pratik olarak ise çalışmamızda amacımız radyo kontrolüyle yönettiğimiz lider araca ek olarak en az iki çapa yani GPS modül entegreli düğümün ve bu üç araçtan kablosuz olarak alınan işaretler yardımıyla elde edilen RSSI işaretleriyle kendini yine yaklaşık konumlandırılan aracın lider aracı doğru olarak takip etmesidir. Pratik çalışmada RSSI (Received Signal Strength Indication) yöntemleriyle düz yol ve viraj senaryolarında konumlandırma uygulanmıştır. RSSI ile trilaterasyon yaparken çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla Cramer Rao, Least Mean Square (LMS) ve Tulip algoritmalarıdır. Aşağıda sırasıyla simülasyon ve pratik çalışmada kullanılan yöntemler anlatılmıştır.



Şekil 7. Sistem modeli

## 2.2. Simülasyonda Uygulanan Konumlama Teknikleri

Simülasyonda kullanılan konum tahmin teknikler sırasıyla RSSI, TOA ve TDOA yöntemleridir.

### 2.2.1. RSSI

RSSI metodu uygulamalar için daha az karmaşıktır [37]. İletişim için donanım ihtiyacının az olması diğer bir avantajdır. Çoğu düğümün alınan işaret gücünü tahmin edebilmesi bu yöntemi ekonomik hale getirir. Düğümler arası uzaklık, alınan işaretin gücü ve gönderilen işaretin gücü arasındaki ilişki RSSI yöntemini tanımlamaktadır. Aşağıdaki (1) ve (2) denklemlerinde verilen bu ilişkide,  $d$  alıcı verici düğümler arasındaki uzaklık,  $P_t$  gönderilen işaretin gücünü,  $P_r$  alınan işaretin gücünü,  $n$  ortama bağlı olarak değişen iletim faktörünü ve  $A$  sabiti ise  $-42$  değerini ifade etmektedir.

$$10 \lg P_r = 10 \lg P_t - 10n \lg d \quad (3)$$

$$P_r(\text{dBm}) = A - 10n \lg d \quad (4)$$

### 2.2.2. TOA (Time of Arrival)

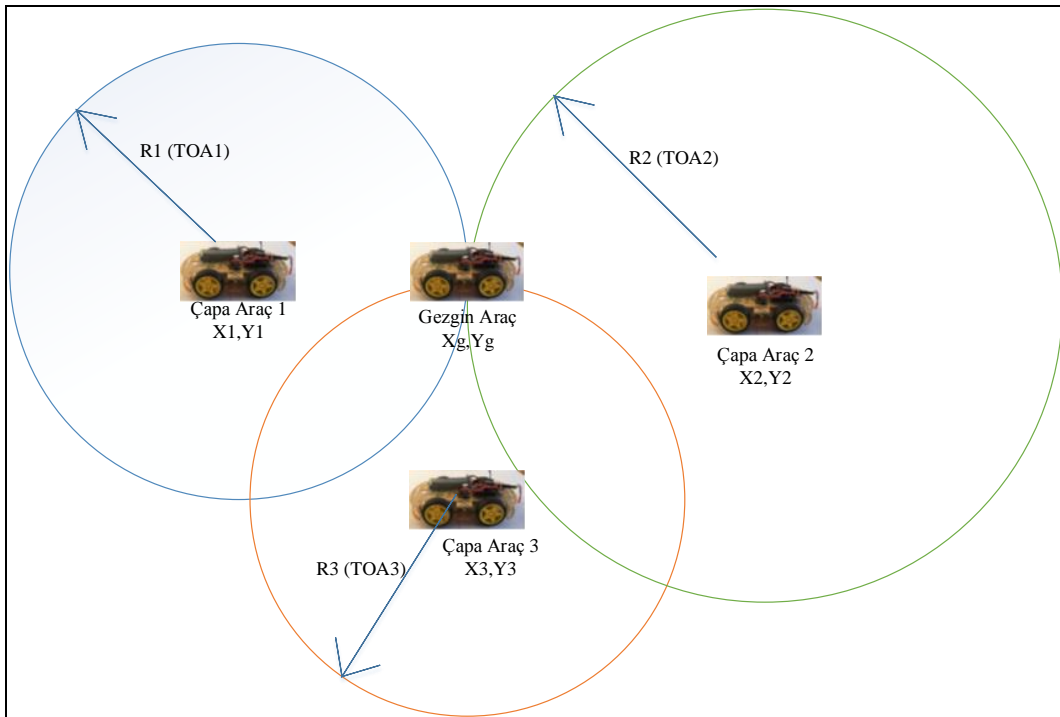
Bu yöntem iki düğüm arasında işaretlerin alış ve veriş zamanlarının hassas bir şekilde ölçülmesine dayanır. Bu uzaklık ölçümleri, işaretlerin propagasyon zamanlarına ve hızına dayalı olarak yapılır. Bu yöntem için zamanlama ve zamandaşlama çok önemlidir.

Sistem donanımı, işaretlerin alınma zamanını doğru ölçme açısından önemli olduğundan dolayı bu yöntemin donanım bağımlılığı RSSI' ya göre daha fazladır.

$$d_{toa} = c * t_{toa} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde  $d_{toa}$  işaretin varış uzaklığını ,  $c$  ışık hızını ve  $t_{toa}$  işaretin varış zamanını ifade etmektedir. Yine bu yöntemde ölçülen ve tahmin edilen uzaklık arasındaki fark aşağıdaki ifadedeki gibi bulunabilmektedir. Burada  $v$  işaretin hızı,  $(x_i, y_i)$  ise  $i$  indeksli çapa düğümünün konumu olmaktadır. Aşağıdaki şekilde TOA kablosuz konumlama sistemi detaylıca gösterilmektedir.

$$f_i(x, y, v) = vt_{i,x} - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$



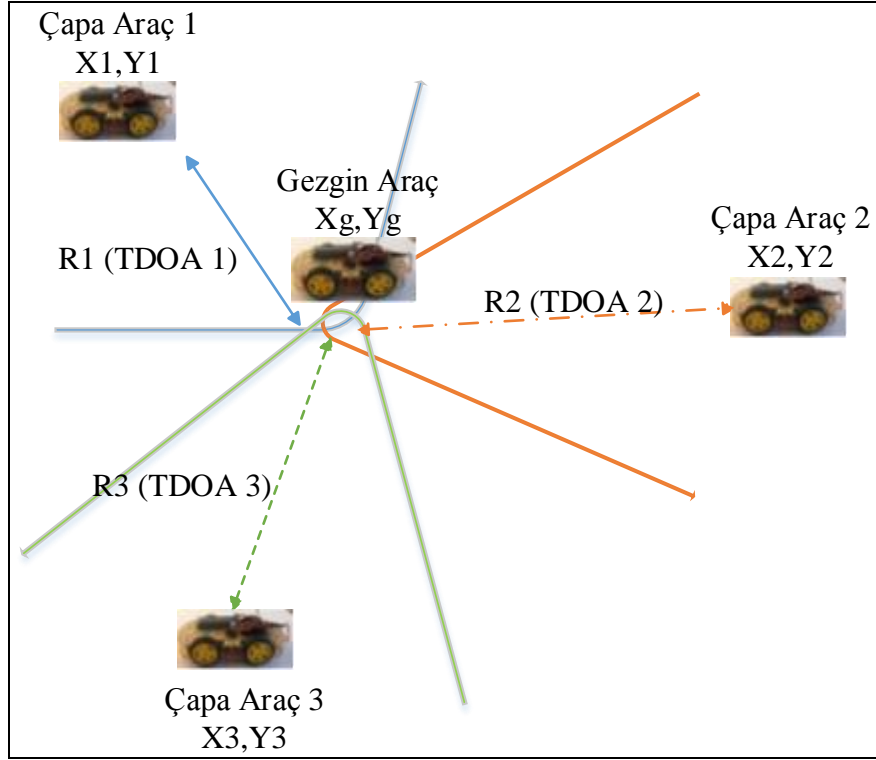
Şekil 8. TOA kablosuz konumlama yöntemi

### 2.2.3. TDOA (Time Difference of Arrival)

TDOA (Varış Zaman Farkı) bir kablosuz pozisyon bulma yöntemidir. Pasif radar yöntemlerinden biridir. Düşük enerji tüketimi vardır. Hiperbolik denklem üzerine kurulu matematiksel bir konum tespit yöntemidir. Tek işarete dayalı zaman ölçümü için yukarıda bahsedilen donanım gereksinimi ortadayken, TDOA yöntemi sayesinde iki işaretin alışı zamanına dair fark yer tespitini daha kolay hale getirmektedir. İlgili yöntemde en az iki düğüm kullanılmalıdır. Ölçüm doğruluğunun artırılması adına daha fazla sayıda düğüm kullanılabilir. Aşağıda  $r_{em}$  referans düğümün konumunu,  $r_x$  ve  $r_y$  ise x ve y düğümlerinin konumlarını temsil etmektedir.

$$\Delta t_{xy} = t_x - t_y = \frac{\|r_x - r_{em}\|}{c} - \frac{\|r_y - r_{em}\|}{c}, \forall x \neq y \quad (6)$$

Referans alıcısı ile diğer alıcılar arasında hesaplanan her TDOA bir hiperbol oluşturmaktadır. Bu hiperbollere, zaman farkının sabit olduğu noktaları karakterize ettikleri için izokron denilmektedir. Elde edilen izokronlar kesiştirilerek tahmini verici konumu bulunur. Ancak gerçek hayat sistemlerinde vericinin kesin konumu elde edilemez, çünkü ölçümler gürültüye maruzdur. Bu gürültüden dolayı, izokronlar tek bir noktada kesişmez. Kestirim yöntemleri, bu durumdan kaynaklanan belirsizliği çözmeye çalışmaktadır.



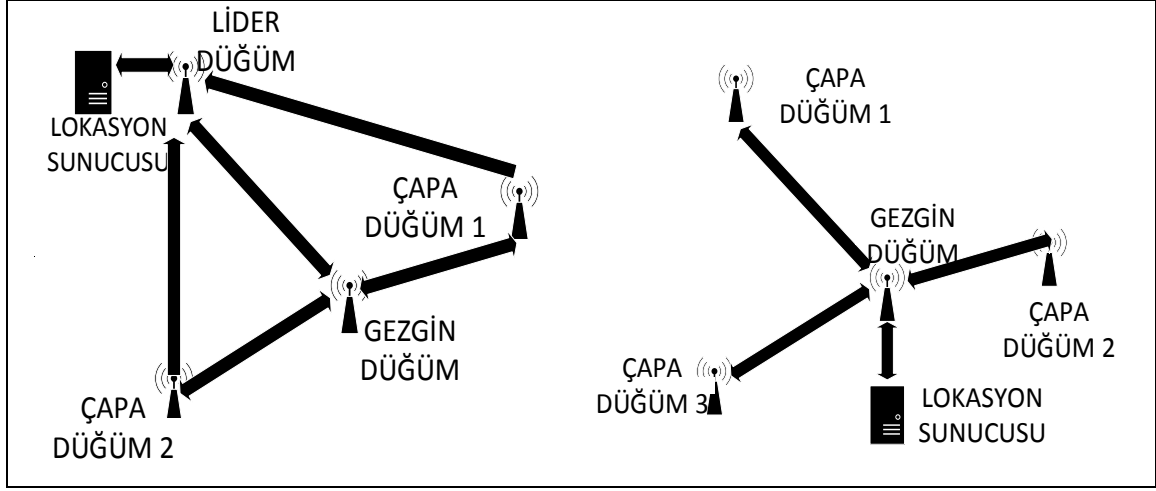
Şekil 9. TDOA kablosuz konumlama yöntemi

### 2.3. Önerilen Algoritma

Bu bölümde, kullanılan yöntemlere ait bazı işlemsel detaylar ve çalışmalarda kullanılan algoritmaya dair bilgiler verilmektedir. Çalışmada söz konusu çapa düğümlerin sayısı iki ve beş arasında değişmektedir. Göz önüne alınan bir diğer parametre ise düğümler arası uzaklıktır. Bu iki durum, gezgin düğümün konum tahmin hatasını etkileyen faktörlerdir. Buna karşın ilgili sahanın boyutları çalışma sonuçlarını etkilememektedir. Şekil 10’da sistemdeki çapa düğüm ve gezgin düğümlerin hangi haberleşme seçeneklerine sahip oldukları gösterilmektedir. Bahsedilen ölçüm yöntemleriyle gezgin düğümler ve çapa düğümler arasındaki uzaklıklar bulunmaktadır. Söz konusu uzaklıklar RSSI tekniğinde işaret gücü (dBm), TOA ve TDOA tekniklerinde zaman (sn) üzerinden hesaplanmaktadır. Söz konusu sistem, KDA vasıtasıyla yol boyunca filonun lider aracı takip etmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu takip yapılırken esas olarak filonun iki çeşit hareket kabiliyeti olduğu varsayılmıştır. Bu hareketler düz yolda ilerleme ve virajlarda dönme hareketleridir.

Algoritma bu iki farklı duruma göre filo kontrolünü sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Hangi durumun seçilecek olması aşağıdaki denkleme bağlıdır.

$$\frac{G_2(y_2)-G_1(y_1)}{G_2(x_2)-G_1(x_1)} = \frac{G_3(y_3)-G_2(y_2)}{G_2(y_2)-G_1(y_1)} \quad (7)$$



Şekil 10. Gezgin ve çapa düğümler için temel iletişim durumları

Burada  $G_n$  çapa düğümleri,  $x_n$  ve  $y_n$  ise bu düğümlerin bulunduğu koordinatları göstermektedir. Algoritmada ilk olarak GPS takılı olan düğümlerin periyodik olarak konum bilgisi almasından ötürü takip sistemindeki konum tespit ve tahmini, periyodik olarak güncellenmektedir. Tüm durumlar için aynı matematiksel yöntemler kullanılsa da, yine aynı durumlar için bu yöntemler farklı şekilde uygulanmaktadır. Filodaki GPS vasıtasıyla konumlandırılmış olan çapa düğümlerinin bir hizada olması durumunda önerilen Düz Yol Tekniği kullanılmaktadır, çapa düğümlerinin bir doğru üzerinde olmaması durumunda (yani viraj durumunda) trilaterasyon ve multilaterasyon teknikleri uygulanıp üç veya daha fazla çapa düğümü arasındaki gezgin düğümlerin konumu tespit edilmektedir [38,39,40,41].

### 2.3.1. Düz Yol Tekniği

Çapa düğümlerin aynı hizada olma durumu işlem kolaylığı getirir. Konum hata tespitini bu durum için basit bir teknikle belirleyebiliriz. Sırasıyla  $G_2 - G_1, G_3 - G_2, \dots, G_{n+1} - G_n$  olan çapa düğümler arası uzaklıklar, GPS yardımıyla en doğru şekilde bulunur. RSSI yönteminde başlangıç konumu itibariyle aynı hizada olan gezgin düğümler  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , aralarında buldukları çapa düğümlere işaret göndererek, çapa



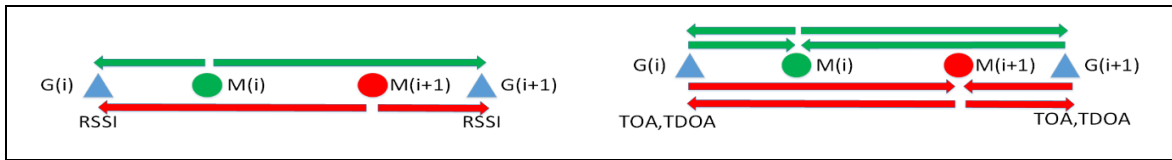
düğümler işaret seviyesini ölçer. TOA ve TDOA yöntemlerinde ise işaretleşme trafiği tam ters yönde olur. Yani zamandaşlama işaretleri çapa düğümlerden, gezgin düğümlere gönderilip geri alınmaktadır. Çapa düğümlerde alınan işaretler, RSSI, TOA veya TDOA yöntemlerinden biri ile değerlendirilir. Yöntemler yardımıyla gezgin düğümlerin, aralarında bulunduğu çapa düğümlere olan uzaklıkları bulunur.

$$d_i = M_i - G_i, d_{i+1} = G_{i+1} - M_i \quad (8)$$

Gezgin düğümlere ait bulunan iki uzaklık değerinin toplamı çapa düğümler arasındaki uzaklığa eşit olması gerekirken gürültü, bozulma, zamandaşlama hatası vb. sebeplerden dolayı, hesaplanan konum, daha önce ölçülen GPS konumundan farklı olursa, aradaki bu fark diğer bir ifadeyle konum tahmin hatası aşağıdaki gibidir.

$$Hata_i = (d_i + d_{i+1}) - (G_{i+1} - G_i) \quad (9)$$

Aşağıdaki şekillerde düz yol tekniklerine ait yapılar gösterilmektedir.



Şekil 11. Düz yol tekniklerine ait yapılar

### 2.3.2. Virajlar İçin Trilaterasyon ve Multilaterasyon Teknikleri

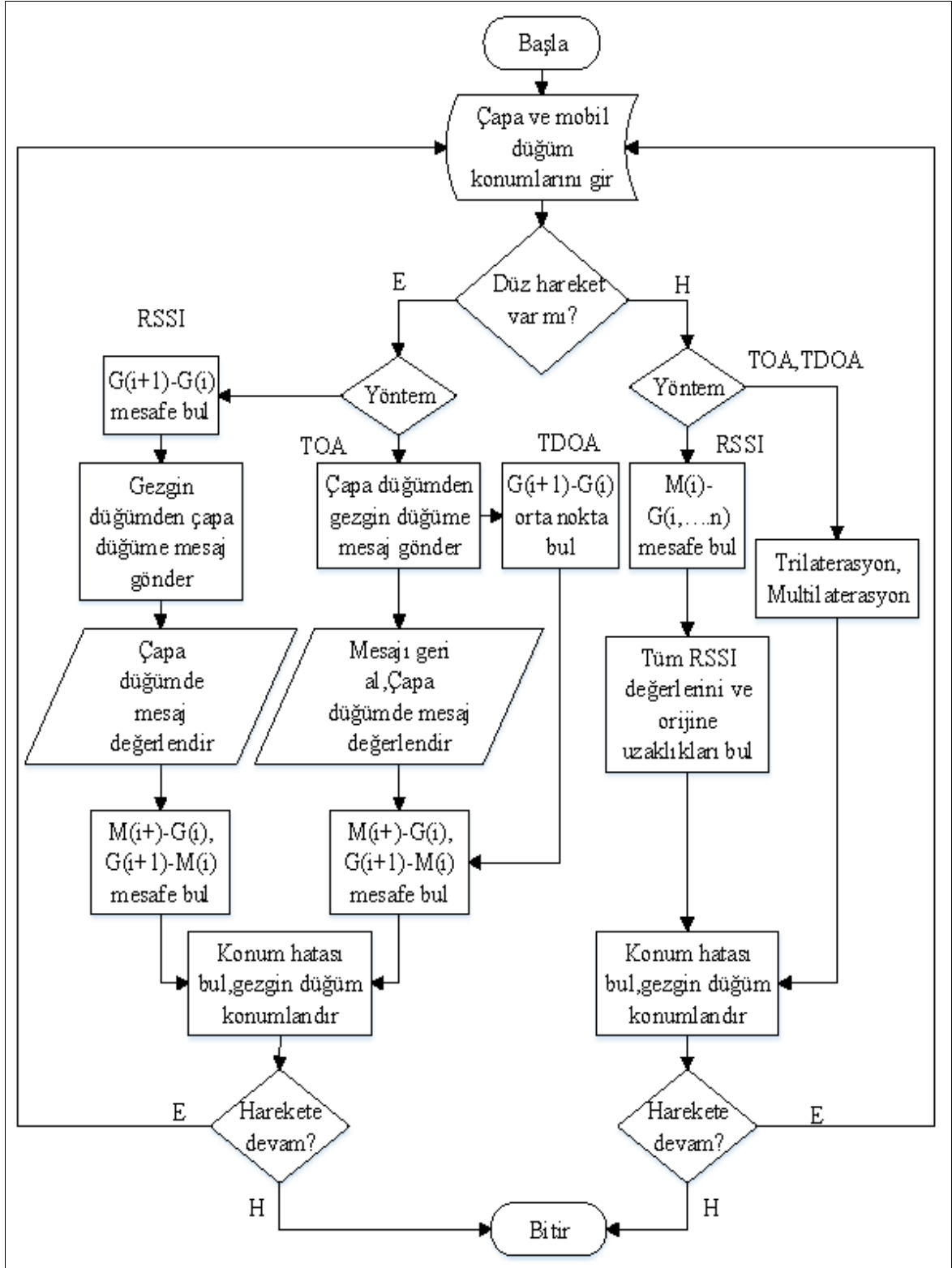
Bu yöntemlerin uygulanması için çapa düğümlerin aynı hizada olmaması yeterli olmaktadır. Bu teknikte en az üç çapa düğüm gerekli olup daha fazla çapa düğüm ile konum tahmin hatası azaltılabilmektedir. Her bir çapa düğümün gezgin düğüme olan uzaklığı, bir çemberin yarıçapı olarak tanımlanır. Ancak bu çemberler tek başına yeterli değildir ve tam olarak doğru konumu vermezler. İşte bu üç çapa düğüme ait doğrusal olmayan uzaklıklar ile oluşturulmuş çemberlerin kesişim noktası idealde gezgin düğümün konumu olarak tanımlanmaktadır. Ancak pratikte uzaklığa dair hatalar oluşabileceğinden üçten fazla çapa düğüme ihtiyaç duyulabilmektedir. Son aşamada konum hata ve tahmini

en küçük kareler yöntemi ile aşağıdaki gibi sağlanmaktadır. Bu yöntemle aşağıda gösterildiği gibi  $i$  indeksli çapa düğümlerin konumları sayesinde  $(x_i, y_i)$  gezgin düğümün tahmini konumu bulunur.  $H_i$  ve  $b$  aşağıda tanımlanan matrislerdir.  $H'$  ise  $H$  matrisinin hermitian halidir. Denklemler sonucunda  $E$  yani gezgin düğümün tahmini konumu bulunur.

$$H_i = [2 * (x_i - x_1), 2 * (y_i - y_1)] \quad (10)$$

$$b_i = [Z_1^2 - Z_i^2 + x_i - x_1] \quad (11)$$

$$E = ((H' * H)^{-1} * H' * b) \quad (12)$$



Şekil 12. Önerilen algoritmanın akış diyagramı

Yukarıda çalışmada önerilen algoritmaya dair akış diyagramı görülmektedir.

Multilaterasyon tekniğini veya en az dört çapa düğüm kullanımını öne çıkaran durumlardan birisi budur. Çalışmalarda dönüş hareketinde olan fazladan en az bir çapa düğümün, gezgin düğümün tahmin edilen konumunun daha doğru olmasını sağlamıştır. Aşağıdaki benzetim sonuçlarında dönüş esnasında ve düz yolda seyir haline dair örnekler görülmektedir. Çalışma boyunca kullanılan diğer tekniklerden bazıları da aşağıda verilmiştir.

Duyargalar arası uzaklıklar bulunduktan sonra aşağıdaki RSSI trilaterasyon yöntemleriyle bu duyargaların yerleri tespiti dilmeye çalışılır. Alınan işaretin gücü ile uzaklık tespiti yine işaret gücü ve uzaklık arasındaki elektromanyetik dalgaların ters kare ilişkisi ile sağlanmaktadır [42]. Pr alınan işaretin gücü d ise denklemde uzaklığı ifade etmektedir. Denklem sayesinde uzaklığa bağlı işaret gücü azalışı veya “yol kaybı” gözükmemektedir. Farklı çevrelerdeki durumlar yol kaybının farklı karakteristiklerde olmasını sağlar. Aşağıdaki denklemde bu gösterilmektedir. P(d0) d0 uzaklığında ölçülen işaret gücüdür. Yol kayıp katsayısı çevresel karakterizasyon için en önemli parametrelerden biridir.

$$P_r \propto \frac{1}{d^2} \quad P_r = \frac{P(d_0)}{(d/d_0)^n} \quad (13)$$

Trilaterasyon nesnelerin göreceli konumunu üçgenleme yöntemine benzer şekilde üçgen geometriyi yardımıyla bulan bir yöntemdir. Üçgenleme yönteminde kullanılan açı ölçümlerinin yerine trilaterasyon yönteminde nesnenin konumunu bulmak için en az iki referans noktası gereklidir [43]. Nesne ile referans noktaları arasındaki ölçülen uzaklıklar kullanılan diğer bir rakamsal değerdir. İki boyutlu konumlandırma için en az üç referans noktası gerekirken, üç boyutlu konumlandırma için en az dört referans noktası gerekmektedir.

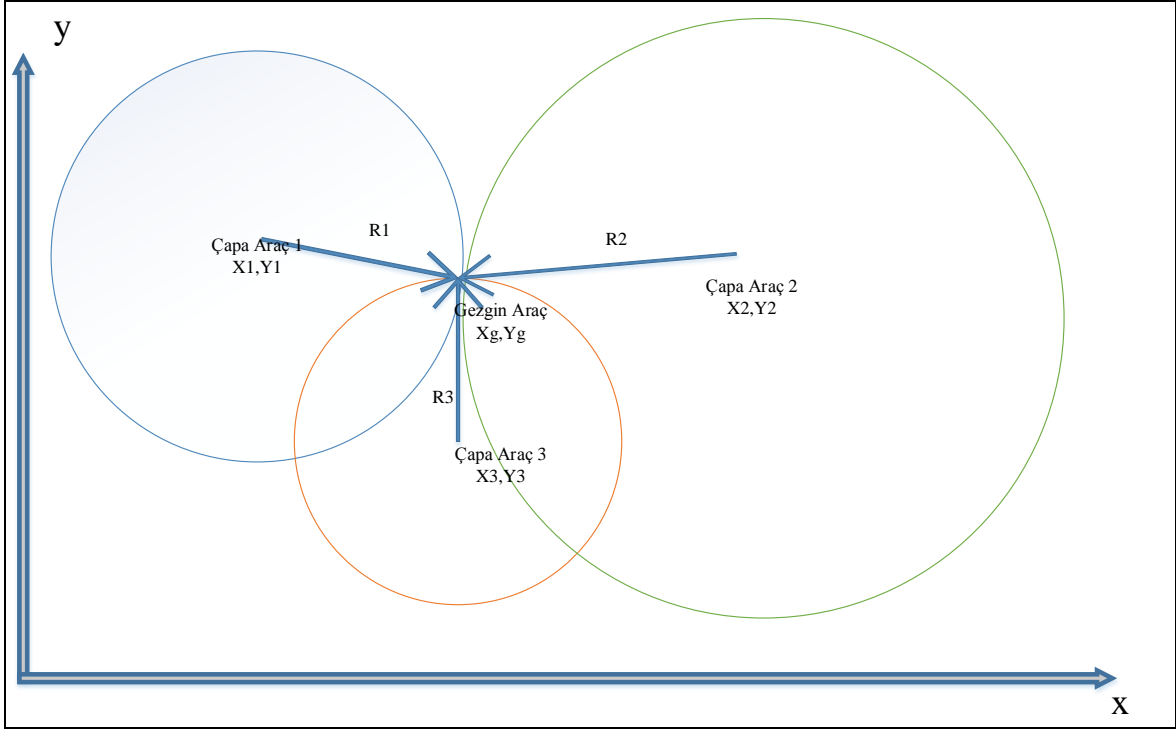
Küre için aşağıdaki formülü kullanırız.

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (14)$$

Bir  $x_a, y_a, z_a$  konumuna sahip bir küre için formül şu hale gelir.

$$d^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2 \quad (15)$$

Üç referans duyarganın ( $a, b$  ve  $c$ ) aynı alanda olduğunu varsayarsak, bu duyargaların mobil duyarga veya hedefe uzaklıkları ( $d_a, d_b, d_c$ ) aşağıda gösterildiği gibidir. Uygulama olarak trilaterasyon veya multilaterasyon tekniklerinde konumlama için üç yöntem kullanılmıştır. Bunlar En küçük ortalama kareler (Least mean square), Tulip ve Cramer Cao yöntemleridir. Aşağıda ilgili trilaterasyon modellemesi gösterilmektedir.



Şekil 13. Trilaterasyon modellemesi

İlgili sahada tüm çemberler için işlemler şöyledir.

$$\text{Çember A; } d_a^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \quad (16)$$

$$\text{Çember B; } d_b^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 \quad (17)$$

$$\text{Çember C; } d_c^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \quad (18)$$

Gezgin düğümle çapa düğümler arasındaki uzaklıkları bulmak amacıyla yukarıdaki işlemleri şöyle yayabiliriz;

$$d_a^2 = x^2 - 2x \cdot x_a + x_a^2 + y^2 - 2y \cdot y_a + y_a^2 \quad (19)$$

$$d_b^2 = x^2 - 2x \cdot x_b + x_b^2 + y^2 - 2y \cdot y_b + y_b^2 \quad (20)$$

$$d_c^2 = x^2 - 2x \cdot x_c + x_c^2 + y^2 - 2y \cdot y_c + y_c^2 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} (x - x_1)(x_2 - x_1) + (y - y_1)(y_2 - y_1) + (z - z_1)(z_2 - z_1) &= \frac{1}{2} [r_1^2 - r_2^2 + d_{21}^2] \\ &= b_{21} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (x - x_1)(x_3 - x_1) + (y - y_1)(y_3 - y_1) + (z - z_1)(z_3 - z_1) &= \frac{1}{2} [r_1^2 - r_3^2 + d_{31}^2] \\ &= b_{31} \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} (x - x_1)(x_n - x_1) + (y - y_1)(y_n - y_1) + (z - z_1)(z_n - z_1) &= \frac{1}{2} [r_1^2 - r_n^2 + \\ d_{n1}^2] &= b_{n1} \end{aligned} \quad (22)$$

### 2.3.2.1. En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi

Trilaterasyon yöntemlerinden uyguladığımız ve literatürde çokça kullanılan yöntemlerden birisi En küçük ortalama kareler (LMS=Least Mean Square) yöntemidir. Bu yöntemle göre lineer sistem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Ax = b \quad (23)$$

$$A = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$x = \begin{pmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \end{pmatrix} \quad (25)$$

$$b = \begin{pmatrix} b_{21} \\ b_{31} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{pmatrix} \quad (26)$$

Doğrusal en küçük kareler yönteminin doğrusal denklemler sistemine uygulanması, doğrusal denklem sistemlerinin çözümüne göre daha kesin konumlandırma sağlamaktadır [44].

$r_i$  mesafelerinin sadece yaklaşıklık olduğundan ötürü,  $Ax \approx b$  sisteminin çözümü gerekir. Karelerin toplamı sayesinde,

$$S = r^t r = (b - Ax)^t (b - Ax) \quad (27)$$

normal denkleme ulaşılır.

$$A^t Ax = A^t b \quad (28)$$

$X$ 'i çözmek çeşitli birçok formül mevcuttur. Fakat uygulanabilecek en iyi çözüm şu şekildedir.

$$x = (A^t Ax)^{-1} A^t b \quad (29)$$

Yukarıdaki denklemler doğrusal olmayan bağımsız denklemlerdir ve çözülemezler. Çözüm için Dixon tarafından önerilen iki çember kesişiminin bulunması yukarıdaki denklemlerin birbirinden çıkarılması sonucunda elde edilen denklem yoluyla bulunur.

$$d_b^2 - d_c^2 = 2x(x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y(y_c + y_b) + y_b^2 - y_c^2 \quad (30)$$

Diğer ikili denklemden ise aşağıdaki denklem elde edilir.

$$d_b^2 - d_a^2 = 2x(x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y(y_a + y_b) + y_b^2 - y_a^2 \quad (31)$$

Yukarıdaki denklemlerin tekrar düzenlenmesi sonucu  $V_a, V_b$  değişkenleri elde edilir.

$$Va=x(x_b - x_c) - y(y_b - y_c) = \frac{(x_c^2-x_b^2)+(y_c^2-y_b^2)+(d_b^2-d_c^2)}{2} \quad (32)$$

$$Vb=x(x_b - x_a) - y(y_b - y_a) = \frac{(x_a^2-x_b^2)+(y_a^2-y_b^2)+(d_b^2-d_a^2)}{2} \quad (33)$$

Yukarıdaki denklemler yardımıyla çemberlerin kesişme noktaları olan x ve y noktaları aşağıdaki gibi bulunur.

$$y = \frac{V_b(x_b-x_c)-V_a(x_b-x_a)}{(y_a-y_b)(x_b-x_c)-(y_c-y_b)(x_b-x_c)} \quad (34)$$

$$x = \frac{y(y_a-y_b)-V_b}{(x_b-x_c)} \quad (35)$$

Burada denklemler gerçel sonuçlar üretmiyorlarsa, söz konusu çemberlerin kesişim noktaları bulunmamakta olduğu sonucu çıkar. Diğer bir deyişle çemberler birbirlerine temas etmeyecek uzaklıklarda bulunmaktadır.  $V_a$ ,  $V_b$  değişkenleri aynı olmak suretiyle Anideu ve Okolibe çalışmalarında x ve y noktalarının bulunması için son denklemleri değiştirmişlerdir. Bu denklemler aşağıda gösterilmektedir.

$$y = \frac{V_b(x_c-x_b)-V_a(x_a-x_b)}{(y_a-y_b)(x_c-x_b)-(y_c-y_b)(x_a-x_b)} \quad (36)$$

$$x = \frac{V_a-y(y_c-y_b)}{(x_b-x_c)} \quad (37)$$

### 2.3.2.2. Tulip Yöntemi

Kullanılan diğer bir algoritma Tulip yöntemi olup, bu yöntem Stanford Üniversitesi tarafından ortaya çıkarılmıştır. Başarılı bir yöntem olduğu 16 ülkede 87 test sonucunda görülmüştür [45]. Bu teknikte elde edilen denklemler ise aşağıda gösterilmiştir.

$$x = \left\{ \frac{[(da^2-db^2)+(xb^2-xa^2)+(yb^2-ya^2)]*(2yc-2yb)-[(db^2-dc^2)+(xc^2-xb^2)+(yc^2-yb^2)]*(2yb-2ya)}{[(2xb-2xc)(2yb-2ya)-(2xa-2xb)(2yc-2yb]} \right\} \quad (38)$$



$$y = [(da^2 - db^2) + (xb^2 - xa^2) + (yb^2 - ya^2) + x * (2xa - 2xb)] / (2yb - 2ya) \quad (39)$$

### 2.3.2.3. Cramer-Rao Kuralı

Cramer kuralı çeşitli lokalizasyon uygulamalarında kullanılan bir yöntemdir. Denklem sayısının değişken sayısına eşit olduğu durumlarda kullanılan bir konsepttir [46]. Doğrusal denklemler matris formuna dönüştürülür.

$$\det(A) = \begin{vmatrix} (x_3 - x_1) * 2 & (y_3 - y_1) * 2 \\ (x_3 - x_2) * 2 & (y_3 - y_2) * 2 \end{vmatrix} \quad (40)$$

$$\det(A_1) = \begin{vmatrix} (R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) & (y_3 - y_1) * 2 \\ (R_2^2 - R_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) & (y_3 - y_2) * 2 \end{vmatrix} \quad (41)$$

$$\det(A_2) = \begin{vmatrix} (x_3 - x_1) * 2 & (R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (x_3 - x_2) * 2 & (R_2^2 - R_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{vmatrix} \quad (42)$$

$$x = \frac{\det(A_1)}{\det(A)} \quad (43)$$

$$y = \frac{\det(A_2)}{\det(A)} \quad (44)$$

### 2.4. Enlem Boylam-Metrik Çevrim

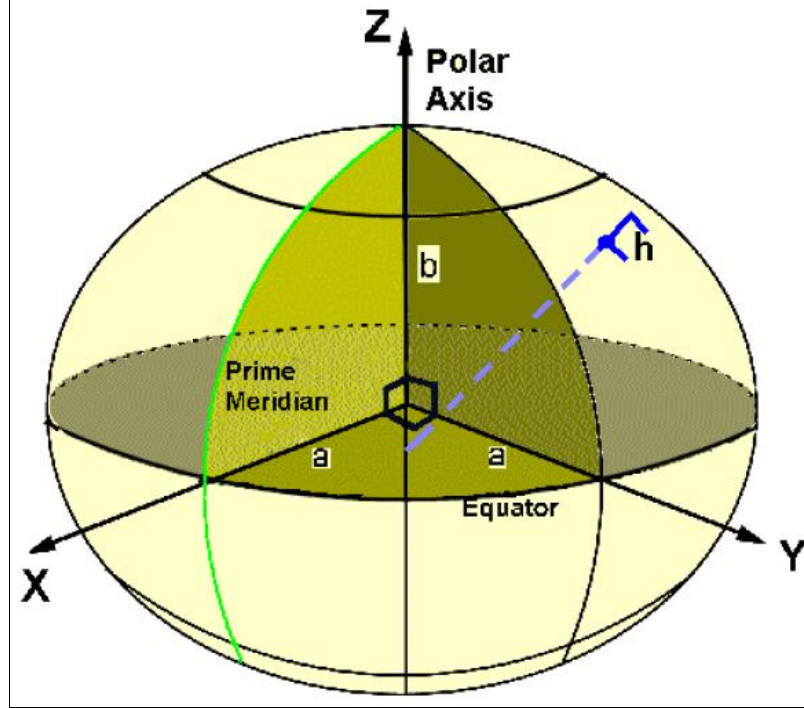
Uyguladığımız tüm lokalizasyon yollarında GPS yoluyla elde ettiğimiz enlem ve boylam bilgilerini metrik lokalizasyon bilgilerine, yani x ve y koordinatlarına çevirmemiz gerekmektedir. Bu sayede değerler istendiği gibi hesaplanmaktadır. Aşağıda çevrim görülmektedir.

$$x = (R_N + h) \cos\varphi \cos\lambda \quad (45)$$

$$y = (R_N + h) \cos\varphi \sin\lambda \quad (46)$$

$$z = ([1 - e^2]R_N + h)\sin\varphi \quad (47)$$

Burada  $\varphi$  enlem,  $\lambda$  boylam,  $R_N$  Dünya'nın yarıçapı olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 14. ECEF koordinat sistemi

Bu çevrimde bizim istediğimiz enlem değeri çevrimdeki Z değeri, boylam Y değeri olarak bulunmaktadır.

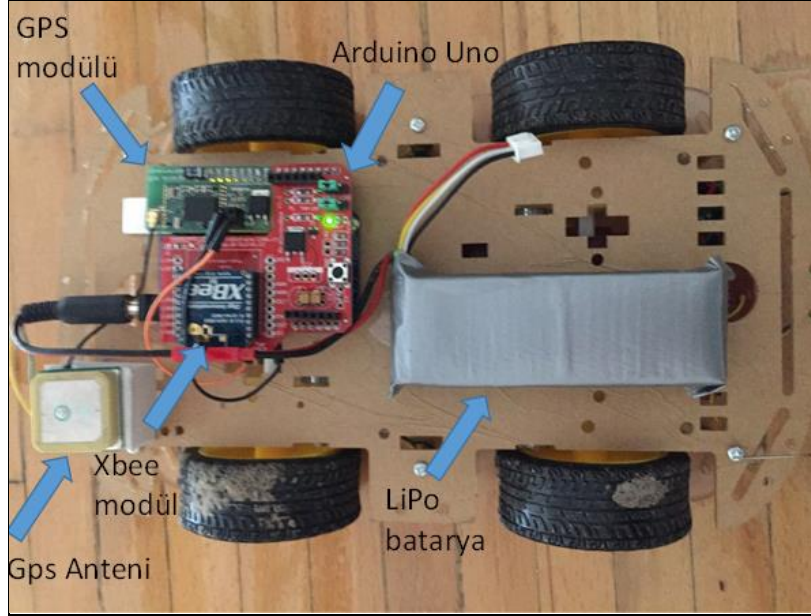
## 2.5. Araçların Tasarımı

Daha önce anlatıldığı gibi araçların tasarımı niteliklere göre değişmektedir. Tasarımına göre araçlar şöyledir:

### 2.5.1. Lider Araç Tasarımı

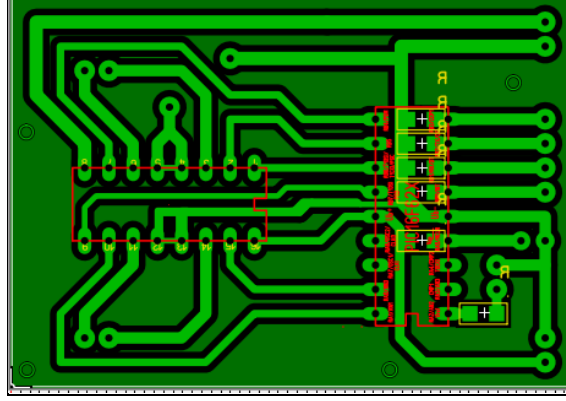
Lider araçta aktivasyon kısmı olmayıp, takip edilen araç niteliğinde olmasından dolayı radyo kontrollü bir şekilde kontrol edilmektedir. Ancak fonksiyonu gereği,

konumunu kablosuz olarak aktarılmasından dolayı bu araç üzerinde Arduino mikrodenetleyici, GPS modül, RF modül taşımaktadır. Söz konusu aracın radyo kontrol mekanizması sıradan bir oyuncak araçtan alınmıştır.



Şekil 15. Geliştirilen lider aracın görünümü

Alıcı modülden alınan yönlendirme bilgileri (İleri, geri, sağ, sol) PIC16F628 mikrodenetleyicisine iletilir. Bu mikrodenetleyicinin nasıl programlandığı eklerde gösterilmiştir. Basit olarak mikro denetleyici şu şekilde çalışır. Öncelikle herhangi bir işaretin olup olmadığına bakılır. Gerilim regülatörü bataryadan alınan gerilimi mikrodenetleyici ve motorlar arasında kararlı bir şekilde dağıtır. Eğer bir giriş varsa motor sürücü aktive edilir. Dört ana yön ve dört ara yön sinyallerine göre mikrodenetleyici bacakları sekiz ayrı şekilde motor sürücü devresini çalıştırır. Aşağıda bu iki entegrenin lider araçta nasıl birleştirildiği ve devre yapısı ve baskı devresi gösterilmektedir.



Şekil 16. Lider araç için sürücü baskı devresi

Ayrıca lider araçta daha önce bahsedilen konum bilgisi aktarma fonksiyonunun gerçekleştirilebilmesi için GPS, Arduino Uno ve Xbee Shield taşınması gerekmektedir. Bu sistemler araç yapısının üzerine monte edilmiştir. Araçların hareketi ve konumlandırma işlemi için LiPo piller kullanılmış olup bu piller sayesinde sistemin uzun zamanda yüksek akım çekmesi sağlanmaktadır. Aşağıda kullanılan devrelerle ilgili olarak detaylı bilgiler verilmektedir.



Şekil 17. Çalışmada kullanılan lipo bataryalar

### 2.5.1.1. Arduino Uno Mikrodenetleyicisi

Tezimizde kullanılan işlemci kart Arduino Uno olup, bu kartınbeynii durumundaki mikrodenetleyici Atmel firmasına ait Atmega 328p'dir. Bu mikrodenetleyici kart

üzerindeki programların yüklendiği ve tüm işlemlerin yapıldığı bölümdür. Kart üzerinde sayısal girişi, çıkış işlemleri için bulunan bacakları, gerilim bağlantıları, analog işlemler için analog giriş bacakları, seri iletişim bacakları vb. çeşitli girişler bulunmaktadır. Arduino Unonun üzerinde USB bağlantı portu, güç regülatörü, 16 MHz kristal gibi elemanlar bulunmaktadır. Üzerindeki USB-seri dönüştürücüyle hem bilgisayarla iletişim kurabilmekte hem de tasarlanan programlar yüklenebilmektedir. Aşağıdaki şekilde Arduino Uno kartı görülmektedir.

### 2.5.1.2. Libelium GPS Modülü

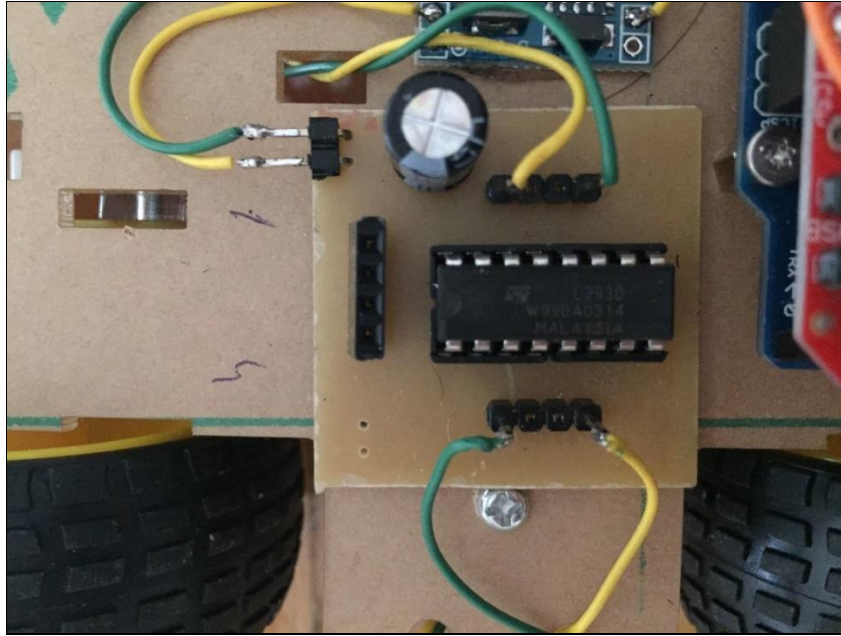
Libelium GPS modülün çalışması için gerekli gerilim 5V olup bu enerjiyi ve toprak bağlantısını Arduino Uno'nun ilgili bacağından alabilmektedir. Yazılımımızda tanımlandığımız gibi Arduino Uno'nun 8-9 nolu bacaklardan GPS ile konum alışverişi yapılabilmektedir. Konum hata payı 2.5 metre olabilen GPS modül ile enlem ve boylam bilgileri anlık olarak alınabilmektedir. SMC harici anten bağlantısına sahiptir. Verilerin standart olarak alınabilmesi için modülde NMEA protokolü kullanılmıştır. Aşağıda GPS modülün ve kullanılan SMC uçlu anten görülmektedir.



Şekil 18. Libelium GPS modül

### 2.5.1.3. L293D Motor Sürücü Devresi

Kullanılan motor sürücü L293D entegresidir. Dört kanallı bir Push Pull sürücüdür. Bu sürücü sayesinde motorlara 600 mA-1 A arasında akım verilebilmekte ve motorların ihtiyaç duyduğu akım sağlanabilmektedir. Bu sürücüde yükseltilemiş işaretler dört tekerleğe hareket yönüne göre iletilir. Aşağıda bu sürücü ve mikrodenetleyici için oluşturulan yapının baskı devresi ve entegre hali görülmektedir. Lider araçta radyo kontrolle alınan işaretler direkt olarak motor sürücüsüne aktarıldığından dolayı regülatör devresine ihtiyaç duyulmamıştır.



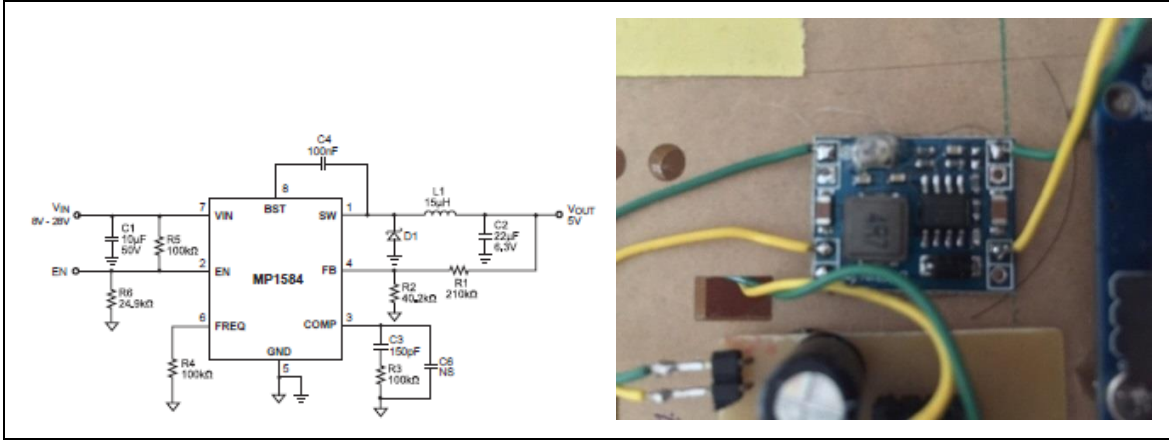
Şekil 19. Takipçi araçlara ait sürücü devre

### 2.1.5.4. MP1584 Gerilim Regülatörü

Lider araç haricinde kullanmış olduğumuz gerilim MP1584 dahili güç Mosfetiyle birleşmiş anahtarlama regülatörüdür. Kompanzasyon ve hızlı cevap verebilmesi nedeniyle tezimizde tercih edilmiştir. 3A çıkış akımı verebilmektedir. 4.5V-28V aralığındaki girişlerde çalışmaktadır. Tasarımımızda regülatör girişi doğal olarak 8.4V LiPo piller tarafından beslenmekte, elde edilen çıkışlar motor sürücü devreyi sürekli ve düzenli bir



gerilimle (6V) beslemektedir. Bu özelliğide bu regülatörü tercih sebeplerimizden biridir. Aşağıda bu entegreye ait genel devre yapısı gözükmektedir.



Şekil 20. Gerilim regülatör devresi ve görünümü

### 2.5.2. Çapa Araç Tasarımı

İkinci ve üçüncü araçlar bu niteliktedir. Bu araçların temel olarak iki fonksiyonu vardır. Birinci fonksiyonu lider araçtan kablosuz olarak konum bilgisini alıp takip yeteneğine sahip olmaktır. İkinci fonksiyonu ise üzerinde bulunan GPS ve RF modüller sayesinde gezgin araca kendi konumunu kablosuz olarak iletmektir. Anlaşılacağı üzere takipçi araçlarda RF modül hem veri gönderme hem de veri alma işlemini gerçekleştirir. Alınan ve gönderilen verilerin ve kontrol mekanizmasının mikrodenetleyici üzerindeki yükü ve döngü zamanı doğal olarak lider araçtan daha fazla ve döngü zamanı daha uzundur. Her aracın senkron olarak gezgin araca veri gönderebilmesi için bu takipçi araçlarda bekleme zamanı daha düşük tutulmuştur. Bu durumla ilgili bilgiler sistemin ağ yapısı kısmında anlatılmaktadır. Yazılımsal olarak da bu durum desteklenmekte olup ayrıca takip için kontrol mekanizması geliştirilmiştir. Bu yönleriyle lider araçtan farklıdır. Ayrıca Arduino mikrodenetleyici ve motor hareket kısmı beraber düşünüldüğünde donanımsal olarak fazladan herhangi bir fazlalığı yoktur. Aşağıda takipçi aracın fonksiyonları özetlenmektedir.

```

INPUT Konum Bilgi=
    Boylam A, Enlem A,

OUTPUT:  $X_b, Y_b$  //
    IF ( Kablosuz seri haberleşme = TRUE )
        FOR düğüm A;
            GPS_Modülden_Al (Boylam B, Enlem B)
            Seri_Porttan_Al (Boylam A, Enlem A)
            Parse (Boylam A, Enlem A)
            // Koordinatları ECEF Sistemine Cevir
            Boylam A, Enlem A  $\rightarrow X_a, Y_a$ 
            // B aracını A(lider) Araca Doğru Yönlendir
            Yönlendir  $X_b, Y_b$ 'yi  $X_a, Y_a$ 'ya
            Gönder  $X_b, Y_b$ 'yi Arac C'ye
        END FOR
    END IF

```

### 2.5.3. GPS'siz Gezgin Araç Tasarımı

Gezgin araç filonun son aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Gezgin araç tasarımı itibariyle GPS modüle sahip olmayan ancak daha önce anlatılmış olan yöntemler üzerinden kendi konumunu belirleyebilen bir yapıdır. Kablosuz olarak tüm araçlardan konum bilgilerini alabilmekte ve senkron şekilde üç araçtan gelen verileri değerlendirip, kontrol mekanizmasını lokalizasyon işlemlerinden elde ettiği konum bilgisine dayanarak harekete geçirmekte ve lider aracı takip etmektedir. Gezgin araç üzerinde daha önceki bölümlerde gösterilmiş matematiksel işlemler ve denklemler test edilmiştir. Gezgin aracın diğer araçlarla olan kablosuz ağ ilişkisi ayrıca aşağıdaki sistem ağ yapısı bölümünde anlatılmaktadır. Donanımsal olarak GPS'li takipçi araçlarda bulunan GPS modül ve harici SMC antene sahip değildir. Kalan donanım yapısı GPS'li takipçi araçla aynıdır.

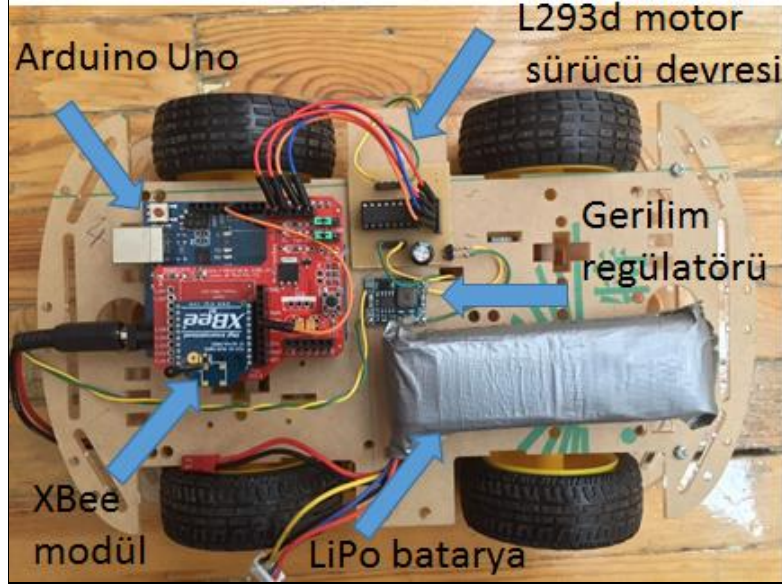


```

INPUT Konum Bilgi=
    Boylam A,Enlem A,
    Boylam B,Enlem B,
    Boylam C,Enlem C,
    da,db,dc:Gezgin düğüm için RSSI değerleri
OUTPUT: Xg,Yg
IF ( Kablosuz seri haberleşme = TRUE )
    FOR düğüm A, B, C;
        Seri_Porttan_A1 (Boylam A, Enlem A),
                        (Boylam B, Enlem B),
                        (Boylam C, Enlem C)
        Parse (Boylam A, Enlem A)
        // Koordinatları ECEF Sistemine Cevir
        Boylam A, Enlem A →  $X_a, Y_a$ 
        Boylam B, Enlem B →  $X_b, Y_b$ 
        Boylam C, Enlem C →  $X_c, Y_c$ 
        Trilaterasyon_Bul( $X_g, Y_g$ )
        Yönlendir  $X_g, Y_g$ 'yi  $X_a, Y_a$ 'ya
    END FOR
END IF

```

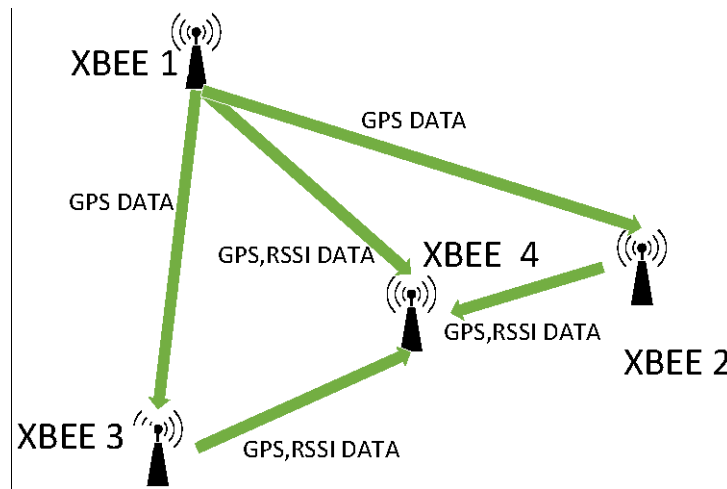
Gezgin araç sırasıyla üç araçtan enlem ve boylam bilgilerini alır. Veri karışıklığına engel olmak için düğümlerden birlikte iletilen enlem ve boylam bilgileri , gezgin düğümde ayrıştırılır. Daha yalın hale gelen enlem ve boylam bilgileri metrik iki boyutlu koordinat sisteminde kullanılacak şekilde çevirilir. Trilaterasyon yöntemlerinden sonra tahmin edilen konuma göre gezgin aracın lider araca yönlendirmesi yapılır. Yukarıdaki yapıda bu sistem anlatılmaktadır.



Şekil 21. Geliştirilen GPS'siz gezgin aracın görünümü

## 2.6. Sistem Ağ Yapısı

Yapıda kullanılan modül XBee Seri 1 tipinde olup, bu tip modüllerle ilgili önemli özellikler şunlardır. Seri 1 modüller ZigBee/802.15.4 protokolünü kullanırlar. 802.15.4 protokolü modülü noktadan noktaya, makineden makineye ve yıldız topolojileri için uygun hale getirir. XBee Seri 1 kullanıcılara ağdaki düğümleri maksimum şekilde kontrol edebilme ve minimum gecikme imkanı sağlar. Aşağıda sistemde düğümlerin birbirlerine aktardığı veriler gösterilmiştir.



Şekil 22. Sistemde kablosuz aktarılan veriler

Lider aracın konumunun diğer üç araca ve GPS modüle sahip diğer araçların gezgin araca kablosuz şekilde Xbee modüllerle konum iletimi durumunda veri akışının doğru amaç ve hedeflere yönelik gerçekleştirilmesi için Xbee modüller XCTU yazılımıyla kalibre edilmiştir.

Modülleri kalibre ederken kullanmış olduğumuz donanım Xbee dongle ve modülle irtibatı aşağıda gösterilmiştir. Tüm modüller kalibre edilirken öncelikle bağlı bulunan port Xbee ile doğru iletişimi gerçekleştirmek için aşağıdaki gibi ayarlanır.

### 2.6.1. Adresleme

İki modülün birbiriyle iletişim kurması için gerekli bir çok parametre mevcuttur. Öncelikle aynı ağda olmak zorundadırlar. ID parametresi ile bu sağlanmaktadır. Ayrıca modüller aynı kanal içinde bulunmalıdır. CH parametresinin tüm modüllerde aynı değere alınmasıyla bu gerçekleşir. Gönderilen bilginin doğru modüle aktarılması ise hedef adresinin DH ve DL parametrelerinin doğru girilmesiyle sağlanmaktadır. Çeşitli yöntemlerle bu durum gerçekleştirilebilir:

- Eğer gönderici modülün DH parametresi sıfırsa ve DL 0xFFFF değerinden küçük bir değer ise, ağ içindeki 16 bit MY adres parametresi gönderici modülün DL parametresine eşit olan bir modül göndericiyle iletişim kurar.
- Eğer gönderici modülün DH parametresi 0 ve DL parametresi 0xFFFF ise ağ içindeki tüm modüllere yayın yapılmaktadır.
- Eğer gönderici modülün DH parametresi sıfırdan farklıysa ve DL parametresi 0xffff değerinden büyükse alıcı modülün seri numarası veya diğer deyişle SH (Source High) ve SL (Source Low) adresleri gönderici modülün DH ve DL parametrelerine eşitse sadece verici modülden ilgili alıcı modüle veri iletimi gerçekleşir.

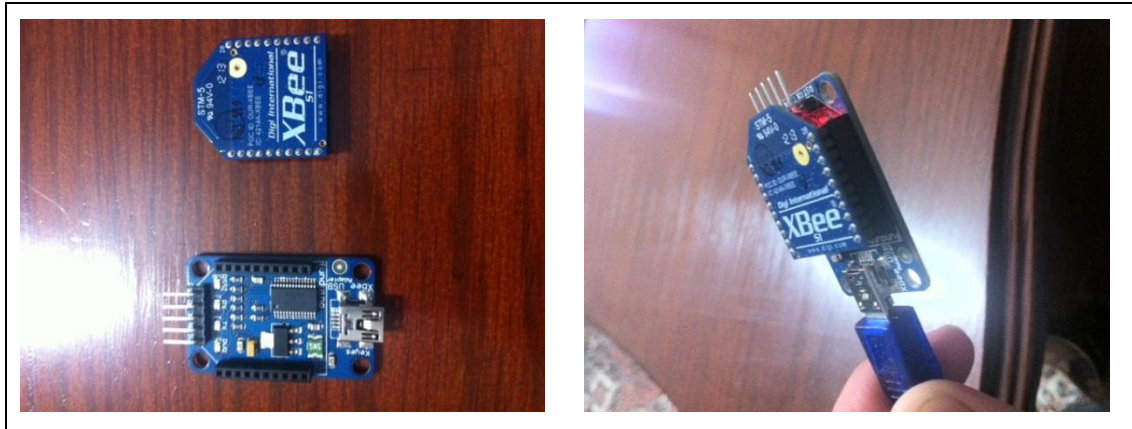
Yukarıdaki şartlar aynı ağ ve aynı kanallar içindeki modüller tarafından sağlanır. Farklı ağ ve farklı kanaldaki modüllerin iletişim yapması imkansızdır.

### 2.6.2. Konfigürasyon

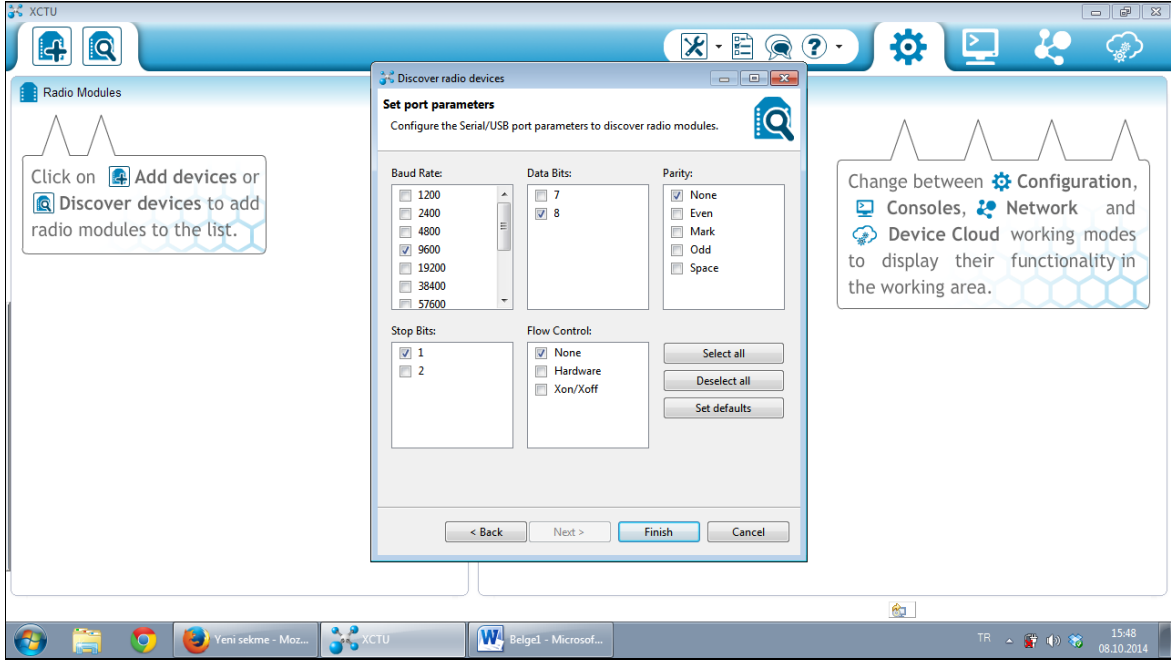
Aşağıda tabloda konfigürasyon için bazı parametreler ve olması gereken özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. XBee konfigürasyonu için parametreler ve özellikleri

<i>Komut</i>	<i>Tanım</i>	<i>Geçerli Değer</i>	<i>Kurulum Değeri</i>
ID	Xbee modülün ağ ID değeri.	0 - 0xFFFF	3332
CH	Xbee modülün kanalı.	0x0B -0x1A	0X0C
SH VE SL	Xbee modülün seri numarası (SH yüksek 32 bit değerini, SL ise düşük 32 bit değerini verir). Sadece okunabilir bir parametredir. Değiştirilemez.	0-0xFFFFFFFF (SH ve SL değerleri için)	Her modül için farklıdır.
MY	M.	0 - 0xFFFF	0
DH ve DL	Kablosuz iletişim için hedef adresi (DH yüksek 32 bit değerini, DL ise düşük 32 bit değerinin verir).	0 - 0xFFFFFFFF (DH ve DL değerleri için)	0 ( DH ve DL değerleri için)
BD	Arduino mikrodenetleyici veya bilgisayarla kurulan seri iletişimin baud oranı.	0 (1200 bps) 1 (2400 bps) 2 (4800 bps) 3 (9600 bps) 4 (19200 bps) 5 (38400 bps) 6 (57600 bps) 7 (115200 bps)	3 (9600 baud)
RE	Fabrika değerlerine ve parametrelerine geri döndürür. Üzerinde güncelleme yapılabilir ve parametreler değiştirilebilir.		
WR	Parametreleri güncelleyen komuttur. Enerji kesildiği zaman bir önceki paramaterlere dönüş olur.		
CN	Komut modundan çıkar.		

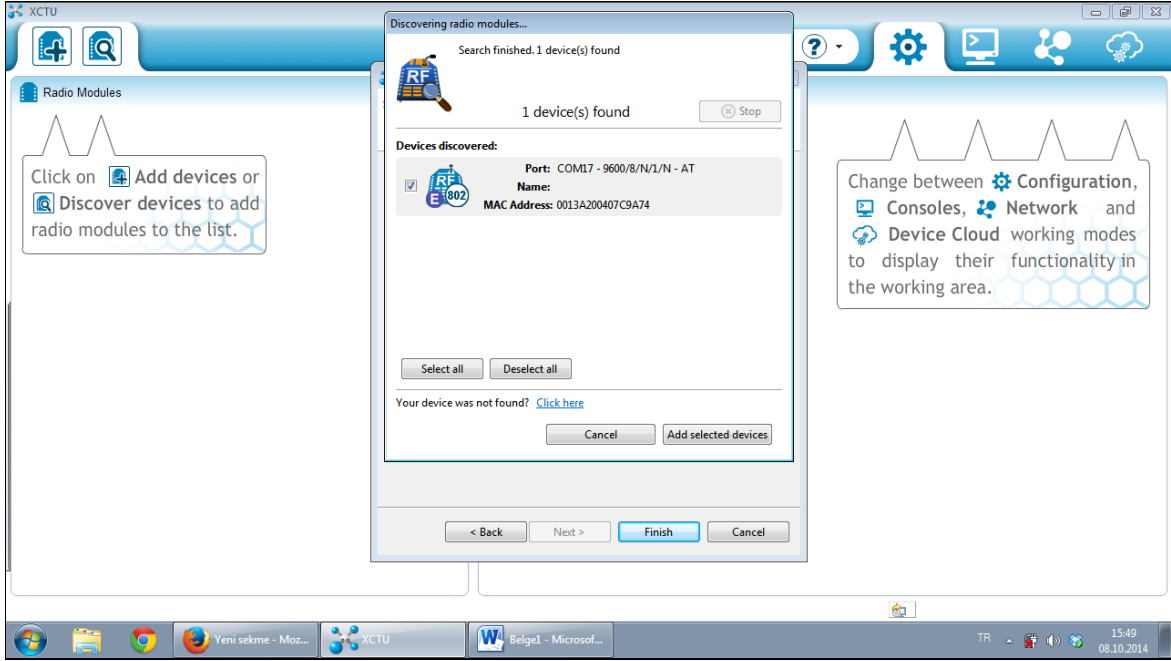


Şekil 23. XBee modül ve dongle

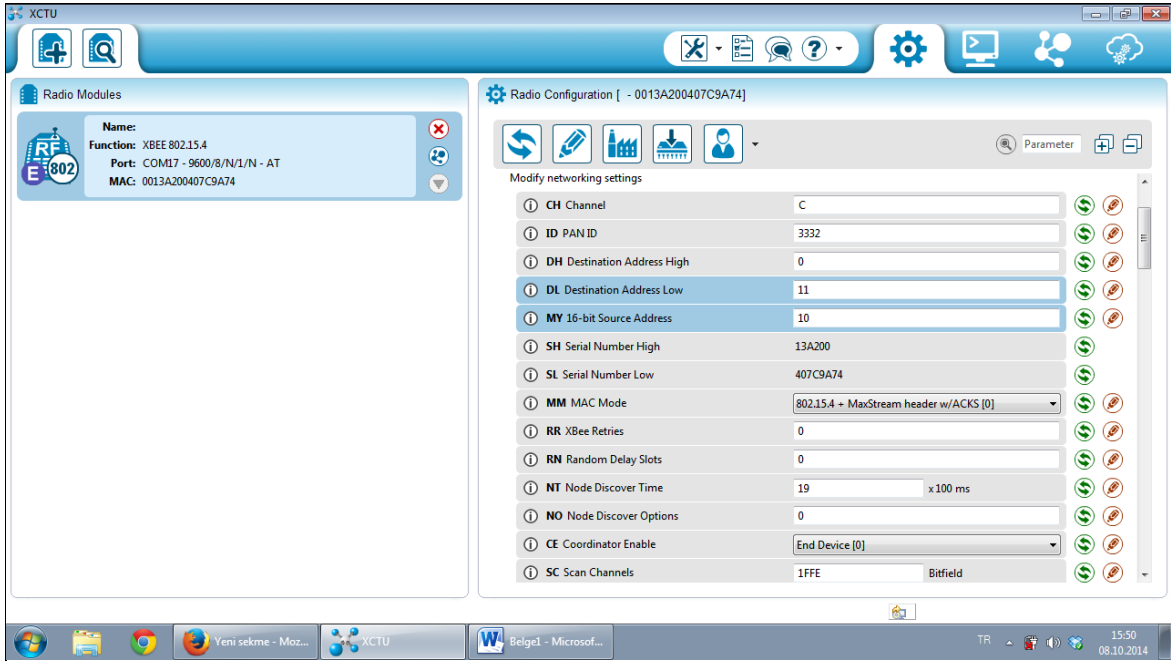


Şekil 24. XBee modüle bağlanması için ilgili parametrelerin seçimi

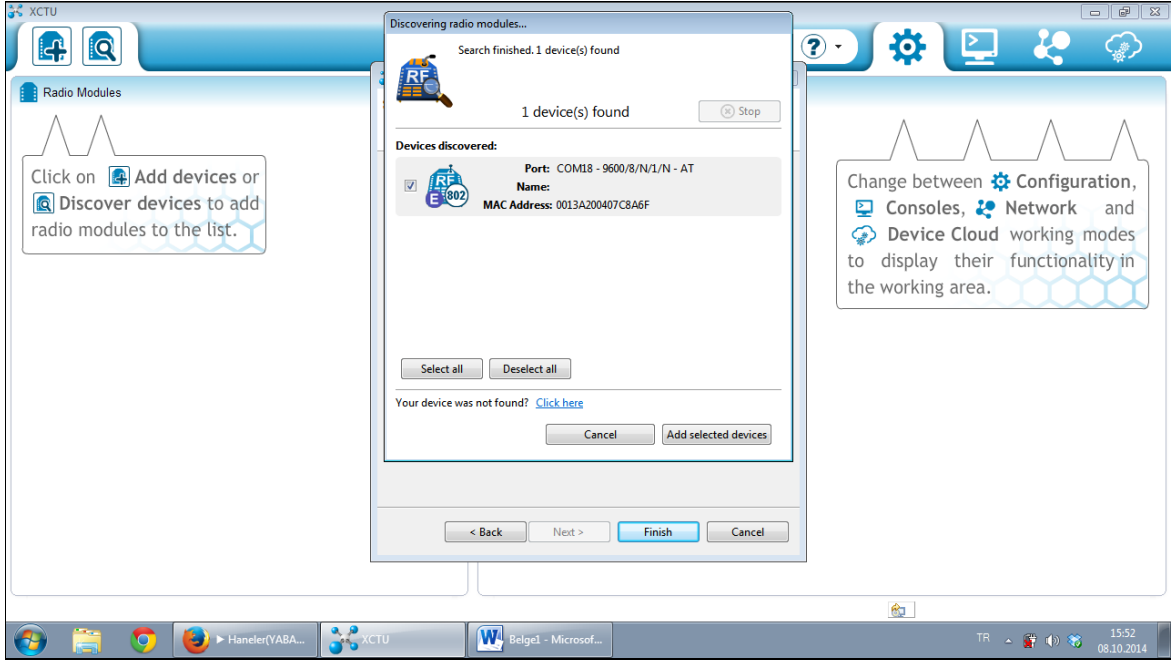
Yukarıda istenen ağ yapısını oluşturmak için modüllerin bazı parametrelerini değiştirmemiz gerekir. Öncelikle ağı oluşturabilmek için tüm modüllerin aynı kanal tipi ve PAN ID'lere sahip olması gerekmektedir. Sistemimizde kanal tipi olarak C tipi tercih edilmiş, PAN ID parametresi 3332 olarak ayarlanmıştır. Lider aracın kendi konum bilgisini tüm araçlara iletebilmesi için hedef üst adresi veya Destination High bölümü lider araca bağlı modülde sıfıra ayarlanır. Diğer Gps monte edilmiş araçların kendi konumlarını sadece gezgin araca göndermesi gerektiğinden bu modüllerin hedef alt ve üst adreslerine yani Destination High ve Destination Low kısımlarına gezgin araca bağlı modülün kaynak alt ve üst adresleri girilir. Bu sayede bu modüllerden gönderilen bilgi sadece gezgin araç tarafından alınıp kullanılabilir. Diğer taraftan modüllerin altı numaralı bacağındaki RSSI değerinin alınma fonksiyonu yine XCTU yazılımı ile aktif hale getirilmiştir. Söz konusu fonksiyon sayesinde en fazla 200 milisaniyelik periyodlarla bu değer alınmaktadır. Bu süre sayesinde alınan RSSI bilgisi sistemde arzu edilen şekilde eşzamanlı olarak kullanılabilir. Ayrıca bu yapı sayesinde istenmeyen herhangi bir konum bilgisi herhangi bir modüle iletilmemiş olup, gerekli konum bilgileri ilgili düğümlere iletilmiştir. Lider araçtan diğer araçlara konum iletilirken yıldız topolojisi kullanılmış olup, gps entegreli takipçi araçların gps entegresiz takipçi araca konum bilgisi aktarması sırasında ise noktadan noktaya iletişim devreye girmiştir.



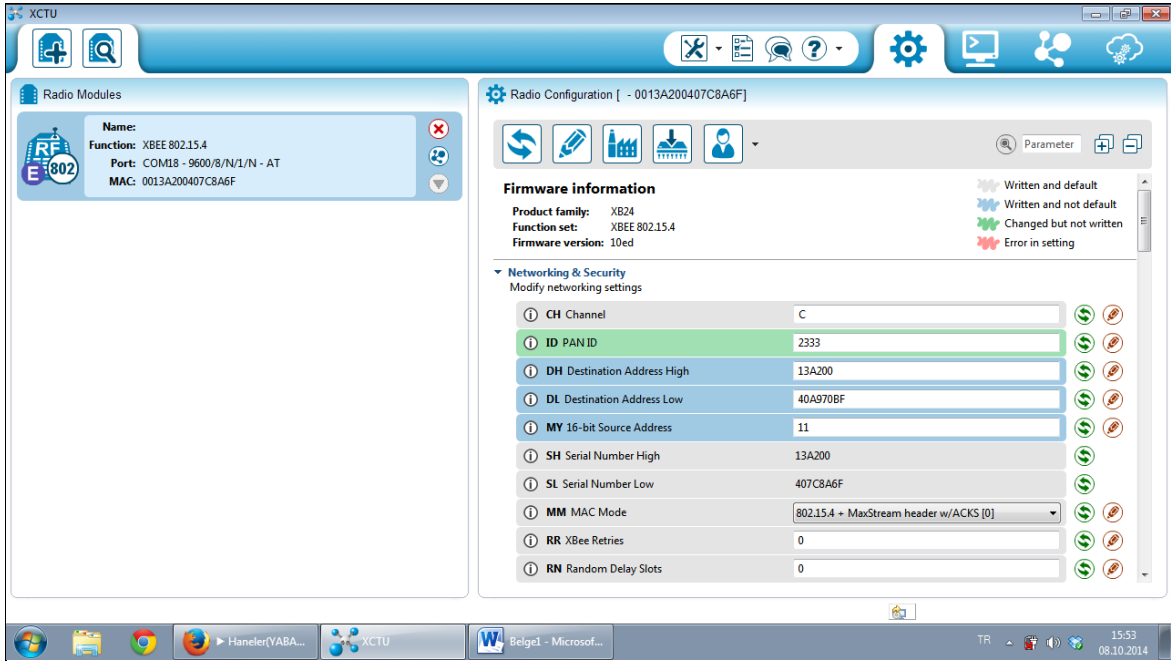
Şekil 25. XCTU yazılımı tarafından lider aracın XBee modülünün tanınması



Şekil 26. Lider aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve ayarlanması



Şekil 27. XCTU yazılımı tarafından GPS'li takipçi aracın XBee modülünün tanınması



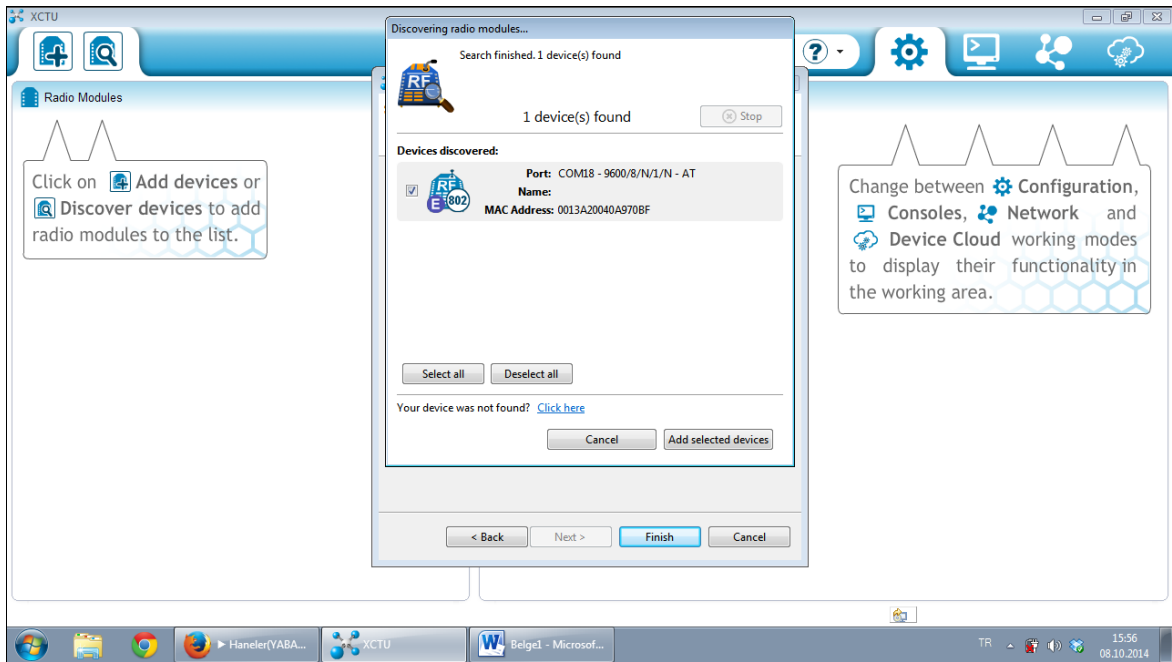
Şekil 28. GPS'li takipçi aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve parametrelerin ayarlanması

Ağ yapısını tasarlarken bir diğer önemli nokta ise modül durumudur. Bu süreçte UART üzerinden alınan veriye modülün nasıl cevap vereceği belirlenir. İki durum söz konusudur. Şeffaf ve API (Application Programming Interface) durumları. API durumunda

ise iki alt durum mevcuttur. Bu alt durumların birinde veri ikili olarak gönderilirken, diğesinde ise belirli karakterlerle iletilir. XCTU yazılımındaki AP komutu bu durumu seçmek içindir. AP sıfır olarak seçildiğinde şeffaf durum, bir olarak seçildiğinde API durumunun aktive edilmesi, iki olarak seçildiğinde ise kontrol karakterleriyle API durumu aktive edilmesi sağlanır.

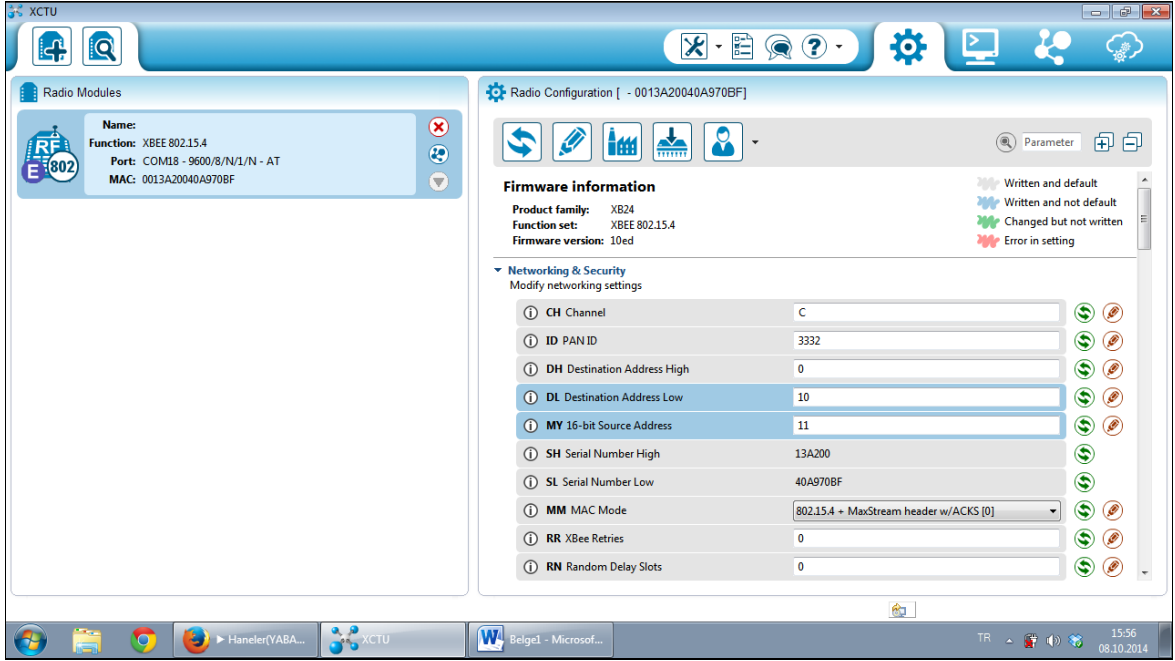
Bu durumlar hakkında biraz daha bilgi vermemiz mümkündür. Şeffaf durum modülde mevcut haliyle bulunan durumdur. UART üzerinden alınan her bilgi, üzerinde hiçbir işlem yapılmaksızın kablosuz yolla iletilir. Bu durumda tampon (buffer) boyutu yüz byte olup, büyük ölçekli veri aktarımlarında kontrollü akış sağlanmalıdır. R0 komutu paketleme zaman aşımını belirlemektedir. Bu komutun değerleri 0-0xFF arasında değişmekte olup son alınan karakter ve yine bu alınan paketin gönderimi arasındaki bekleme süresinin karakter geçiş zamanı olarak ne kadar olacağını ayarlar. Eğer sıfır değeri verilmişse alınan veriler beklenmeksizin iletilir. Hazır değeri ise üç olarak ayarlanmıştır.

API durumunda ise modüle giren ve modülden çıkan tüm veriler çerçeve taşırlar ve modül içinde çeşitli işlemlere tabi tutulurlar. Pin 3 vasıtasıyla alınan çerçeveler gönderiler veri çerçeveleri, pin 2 ile gönderilen çerçeveler alınan veri çerçeveleri olarak adlandırılırlar.



Şekil 29. XCTU yazılımı tarafından GPS'siz takipçi aracın XBee modülünün tanınması





Şekil 30. GPS'siz takipçi aracın XBee modül parametrelerinin okunması ve parametrelerin ayarlanması

### 3. BULGULAR

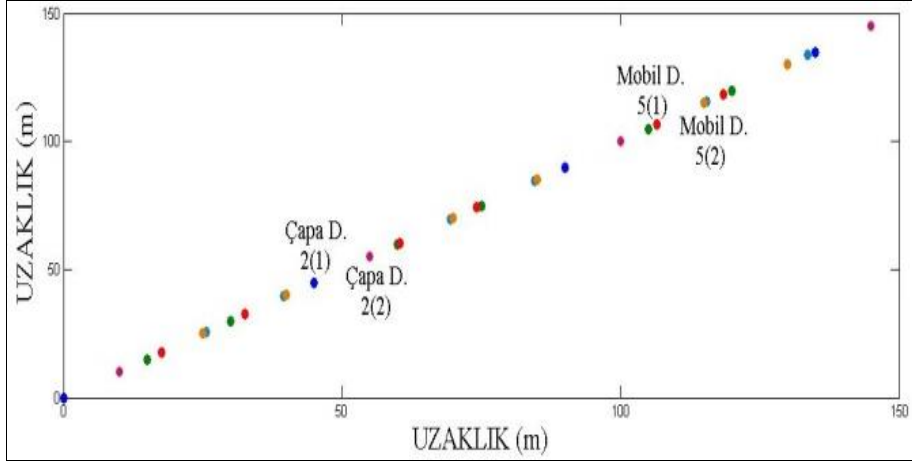
Çalışmanın simülasyon kısmında geliştirilen algoritmanın MATLAB R2012a platformunda benzetimi yapılmıştır. Simülasyonlar merkeze uzaklığı değişen çapa düğümlerle gerçekleştirilmiştir. Her durumda daha kesin sonuçlara ulaşmak amacıyla 60 kez tekrarlanıp ve bu sonuçların ortalaması alınmıştır. Simülasyon ortamı aynı doğrultuda hareket eden filo yapısında çapa düğümlerin anlık konum bilgileri ve buradan hareketle elde edilen gezgin düğümlerin tahmini ve varsayılan gerçek konumları bulunabilmektedir. Sonuçlar, gezgin hareketin iki unsuru olan düz ve viraj halinde takibe göre değerlendirilmiştir. Düz yol takibi esnasında en yakın iki komşu çapa düğüm vasıtasıyla RSSI, TOA ve TDOA teknikleriyle konum hataları hesaplanmıştır. Çapa düğümlerin gezgin düğümlere olan uzaklıkları 15, 25 ve 35 metre olarak ayarlanmıştır. Düz yol için en düşük konum hataları yukarıdaki uzaklıklara göre sırasıyla 0.853, 1.5702 ve 1.9671 metre olarak TOA yöntemi yardımıyla belirlenmiştir. TDOA yönteminde ise elde edilen en düşük konum hataları ise yine aynı uzaklıklar için 0,9309, 1.6374 ve 2.1641 metre olarak belirlenmiştir. RSSI tekniğinde ise bu değerler 1.638,2.4821 ve 3.3550 metre olarak tespit edilmiş ve söz konusu yöntemler içinde en başarısız olarak karşımıza çıkarmıştır. Tablo 1’de kullanılan yöntemler ile ortaya çıkan konum hataları gösterilmiştir. Şekillerde düz yol simülasyonlarına ait bazı ölçümler görülmektedir.

Tablo 3. Simülasyonlarda GPS’siz gezgin düğümün çeşitli yöntemlerle elde edilmiş ortalama konum hataları

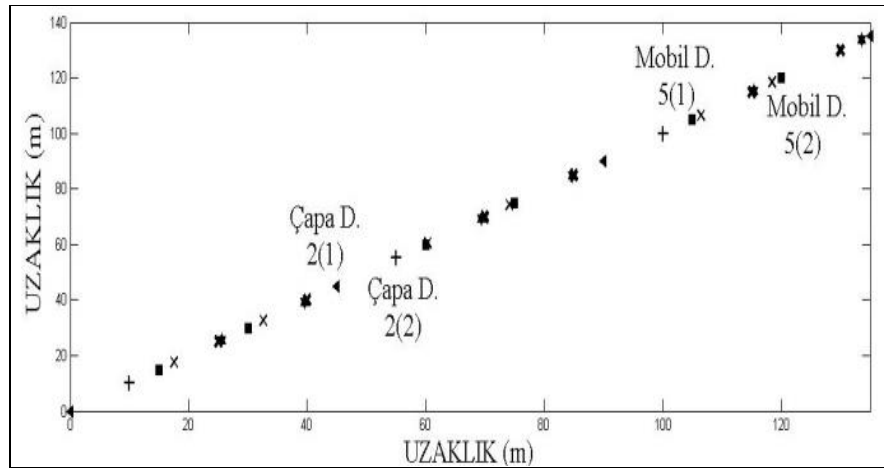
TOA			
	15 m	25 m	35 m
2 çapa d. (Düz yol)	0.8530m	1.5702m	1.9671m
3 çapa d.	2,2887m	1.8991m	2.2350m
4 çapa d.	2.1115m	2.0512m	2.3470m
5 çapa d.	2.2750m	1.9519m	1.6788m
TDOA			
2 çapa d. (Düz yol)	0.9309m	1.6374m	2.1641m
3 çapa d.	5.1483m	5.2478m	6.3844m
4 çapa d.	4.8435m	5.5900m	8,8330m
5 çapa d.	4,5426m	6,1169m	7,3964m

Tablo 3'ün devamı

RSSI			
2 çapa d. (Düz yol)	1.6380m	2.4821m	3.3550m
3 çapa d.	7.6060m	13.707m	19.9263m
4 çapa d.	6,7691m	7.1659m	9,9249m
5 çapa d.	3,4274m	5,9698m	6,4846m



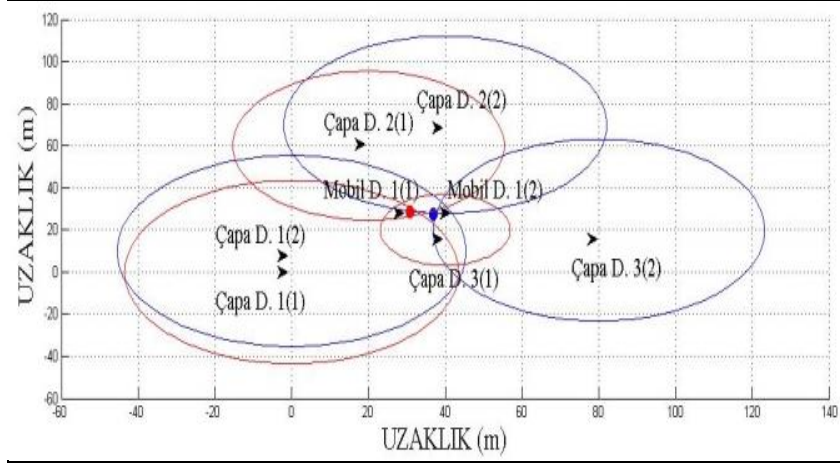
Şekil 31. Düz seyir esnasında RSSI yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini



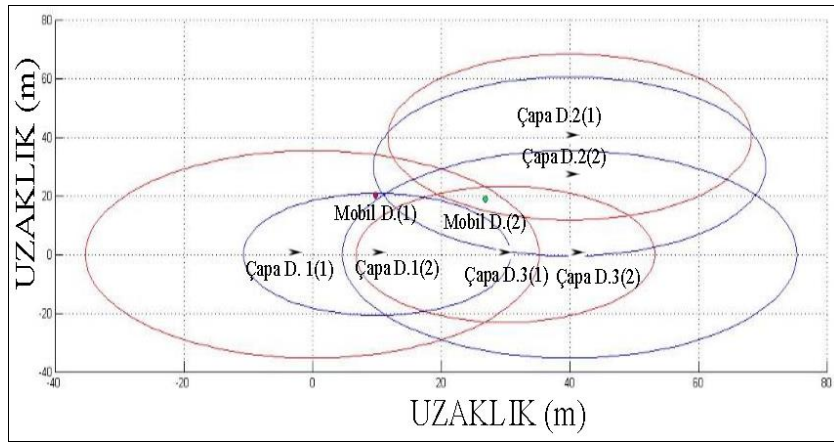
Şekil 32. Düz seyir esnasında TOA yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini

Virajlı yollarda ise gezgin yine aracın konum tahmini durumunda en başarılı yöntem TOA olarak ortaya çıkmıştır. Doğal olarak 5 çapa düğüme sahip simülasyonlarda bu yöntem içerisinde en başarılı sonuçları vermiştir. Bu durum için ise 15, 25 ve 35 metre uzaklıklarda 2.275,1.9519 ve 1.6788 metrelik konum tahmin hatalarına ulaşılmıştır. Ayrıca sırasıyla TDOA ve RSSI teknikleri başarı açısından bu yöntemi takip etmektedir. Aşağıda

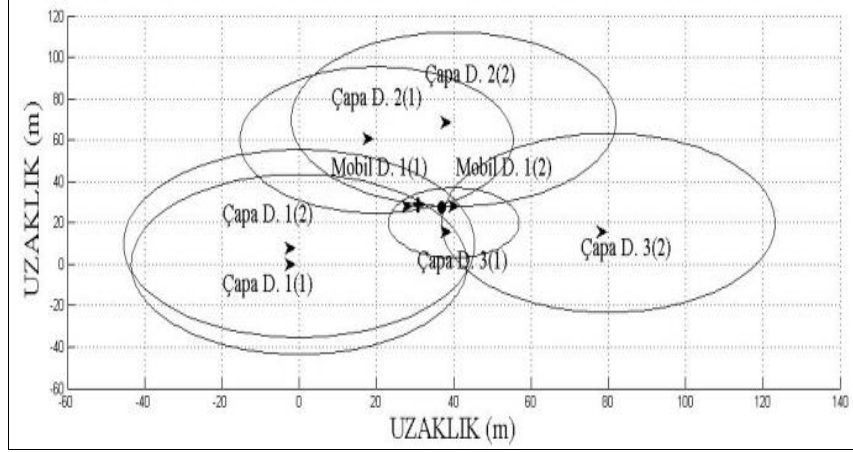
bu durumlara ait simülasyonlar gösterilmiştir. Ayrıca aşağıdaki diğer şekil 35’de bu üç yöntemden elde edilen sonuçların toplamıyla 3 çapa düğüm, 4 çapa düğüm ve 5 çapa düğümüne sahip sistemlerin konum tahmin hataları gösterilmektedir.



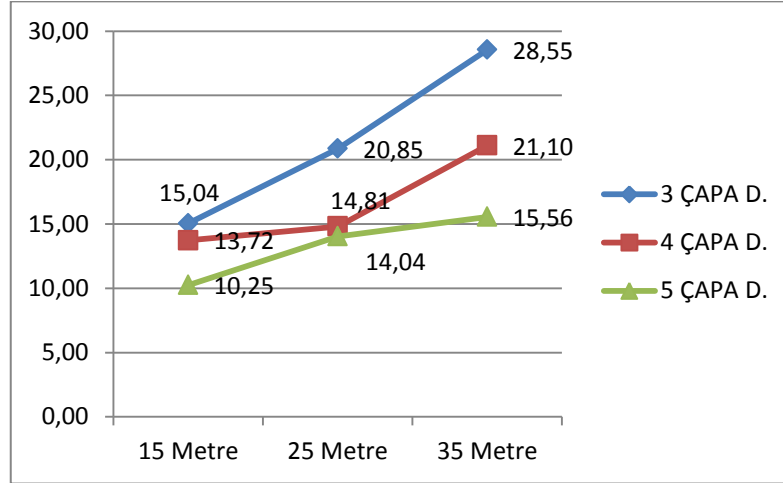
Şekil 33. Viraj seyri esnasında TOA yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini



Şekil 34. Viraj seyri esnasında TDOA yöntemiyle gezgin nod konum tahmini



Şekil 35. Viraj seyri esnasında RSSI yöntemiyle gezgin düğüm konum tahmini



Şekil 36. 3, 4 ve 5 çapa düğümüne sahip sistemlerin düğümler arası uzaklıklara (15, 25, 35 m.) göre toplam (RSSI+TOA+TDOA) konum tahmin hataları

Pratik olarak yapılan çalışmalarda ise düz yol tekniğinde araçlar 2 metrelik aralıklar koyulmuş ve yaklaşık olarak 0.45 metrelik konum tahmin hataları elde edilmiştir. RSSI tekniğine uygulanan yöntemlerde ise CRAMER-RAO yöntemi en başarılı yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemde gezgin GPS'siz araca 1 metre uzaklıkla yerleştirilen filo yapısında ortalama olarak 0.70 metrelik hata payı bulunmuştur. Bu yöntemi sırasıyla Tulip ve EKK yöntemleri izlemektedir. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere uzaklık faktörü yöntemlerde konum hata tahminlerini artırmıştır.

Tablo 4. Uygulamada GPS'siz gezgin düğümün çeşitli yöntemlerle elde edilmiş ortalama konum hataları

	CRAMER-RAO	TULİP	EN KÜÇÜK KARELER
1 m	0.70m	0.90m	0.85m
2 m	1.05m	1.15m	1.15m
4 m	1.55m	1,70m	1.90m
6 m	2.10m	2,35m	2.75m
8 m	3.05m	3.50m	4.25m
10 m	3.55m	4.05m	6.10m

#### 4. İRDELEME

TDOA tekniği TOA tekniğine yaklaşık sonuçlar verirken, en yüksek konum tahmin hataları RSSI tekniği ile bulunmuştur. Fakat alışmamızda virajlı yollarda takip esnasında anlık durumların ölçülmesi sırasında GDOP (Geometric Dilution of Precision) sayesinde yukarıdaki mesafe - konum hatasında doğrusallığın sağlanamadığı durumlar olmuştur [18]. Takip sistemindeki virajlı yollarda ortaya çıkan diğer durumlar ise şöyle ifade edilebilir.

Trilaterasyon yönteminde herhangi iki çapa düğüm yaklaşık olarak aynı konumdaysa gezgin düğümün konumunun tahmini imkansızlaşır. Diğer bir dikkat edilmesi gereken durum, yöntemler gereği orijin noktasına konan çapa düğümün hareket boyunca algoritmanın periyodik yenilenmelerinin hepsinde kendi değişen konumunu orijin olarak güncellemesi gerekliliğidir. Bağıl olarak diğer düğümlerin konumu bulunabilmektedir. Takip sisteminde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta filonun bir kısmının dönüşlere girmiş olup kalan düğümlerin hala düz yolda seyre devam ediyor olmasıdır. Konumu bulunacak olan gezgin düğüm ve arasında buldukları çapa düğümler bir çizgide bulunurken, lider yada takipçi çapa düğüm farklı doğrultuda hareket ederse, Trilaterasyon tekniğiyle gezgin düğümün konum tahmininde hata olasılığı artmaktadır.

Multilaterasyon tekniğini veya en az dört çapa düğüm kullanımını ne çıkaran durumlardan birisi budur. Simülasyonlarda dönüş hareketinde olan fazladan en az bir çapa düğümün, gezgin düğümün tahmin edilen konumunun daha doğru olmasını sağlamıştır.

Ayrıca simülasyon sonuçlarına göre gezgin düğüm iki çapa düğüm arasındaki en kısa uzaklığa yakın olursa konum tahmin hatası azalmaktadır. Yine sonuçlara göre birden fazla çapa düğümün kümeler halinde yakın mesafelere konumlanması daha az kesinlikte konum tahmini yapılmasını sağlamıştır. Dörtlü ve beşli çapa düğümlü sistemlerde konum tahmini benzer karakteristiğe sahiptir. Bu yapılar  düğüme sahip sistemlerden bu anlamda farklıdır. Diğer taraftan dört veya beş çapa düğümlü sistemlerde çapa düğümün bir tanesi gezgin düğüme uzak mesafede olsa bile diğer çapa düğümler sayesinde gezgin düğüm konum tahminine dair tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Pratik alışmalar için ise daha farklı bir durum söz konusudur. Düz yol tekniği uygulanabilmiş ancak simülasyona oranla daha az hassas deneyler yapılabilmiştir. Çünkü GPS'li lider araçta ve GPS'li takipçi araçların GPS vasıtasıyla elde edilen konumlarının hata paylarıyla beraber araçlar gerçekte çizgi halinde olmasına rağmen, hatalardan dolayı

trilaterasyon işlemi geçerli olabilmektedir. Bu noktada yapılan çalışmada yaklaşık çizgi hareketi elde edilmeye çalışılmıştır. Düz harekette görülen önemli bir diğer husus ise simülasyonlardaki gibi araçların takip mesafesinin artmasıyla gezgin aracın konum tahmin hatası artmaktadır. Ancak elde edilen konum hataları simülasyonlara oranla 0.5-2.0 metre arasında değişiklik göstermektedir.

Pratik çalışma içinde trilaterasyon ve multilaterasyon teknikleriyle konum tahminleri çok önemli bir yer tutmaktadır. Cramer-Rao, Tulip ve En küçük kareler yöntemlerinin kullanıldığı sistemde farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Cramer-Rao yöntemi bu teknikler arasında en doğru sonuçları veren yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle araçların 1 metrelik uzaklıklarla yakın seyrinde başarılı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada elde edilen yaklaşık olarak 0.7-3.5 metrelik konum hataları başarılı bir sonuç olarak görülebilir. Ortalama olarak bulunan konum hataları da başarılı nitelikte görülebilir. Son konum tahmin işlemlerinde  $x$  ve  $y$ 'nin hesaplanmasında aşırı uzun olmayan formüllerde Arduino mikrodenetleyicisinin performansında düşüş oluşturmamıştır. Ancak bu yöntemin de kendine göre eksikleri ve dezavantajları mevcuttur. Araçlar arasındaki takip mesafesi arttıkça doğru orantılı olarak yaklaşık konum tahmin hataları da artmaktadır.

Tulip yöntemi ise trilaterasyon yoluyla sisteme uygulanan bir diğer yöntemdir. Genellikle uzak mesafe konum hesaplanmasında kullanılan bu yöntem uygulamamızda bazen başarılı bazen de daha başarısız olan konum tahmin hataları vermiştir. Elde edilen 0.90-4.0 metrelik konum tahmin hataları bu durumun göstergesidir. Bu istikrarsız sonuçların sebebi şudur. Tulip sistemi çapa düğümlerin konumlarının doğruluğunun ve gezgin duyarganın bu çapa düğümlere uzaklığının doğruluğunun kesinliğinin olması gerektiği bir sistemdir. Yakın mesafeli kullandığımız araçlarımızda GPS'li araçların konum kesinliğinin 2 metreye yakın olduğu durumlarda Tulip algoritması nispeten konum tahmin hatası yüksek sonuçlar üretebilmektedir. Bu noktada yakın mesafede kullanılacak sistemler için kullanılıp kullanılmayacağı yakın gelecekte 10 cm ve altı hassasiyetlere sahip GPS sistemlerinin tasarlanıp tasarlanmayacağına bağlı olabilmektedir. Diğer taraftan uygulamada Tulip yönteminde gezgin aracın konumlandırması için gereken formüllerin uzunluğu Arduino mikrodenetleyicisinin performansını ve cevap süresini artırdığı da dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır.

En küçük kareler yöntemi uygulamada kullanılan yöntemler arasında literatürde en çok bulunan ve elde edilen sonuçların en fazla karşılaştırma yapılabildiği yöntemdir.



Bununla beraber uygulanan yöntemlerde gezgin aracın konum tahmin hatasının en yüksek olduğu yöntem olduğu gözlenmiştir. Yaklaşık olarak değişen uzaklıklara göre 0.85-6.10 metrelik konum tahmin hatalarının olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde en küçük kareler tekniğinin RSSI yöntemine uygulandığı simülasyonlara göre de 2-5 metre aralığında daha yanlış konumlandırma yapıldığı gözlenmektedir. Bununla beraber GPS'li araçların konumunun düşük hatalı olmasından ziyade gezgin aracın konum tahmininde başarısız bir yöntem olduğu görülmüştür. Simülasyonlardan farklı radyo modüllerden faydalanılabilmesi adına yapılan uygulamalarda araçlar arası uzaklık 5-10 metre aralığında olacak şekilde uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada üç yöntemin hepsinde gözlenen durumlar ise şunlardır. Tüm araçların filo içinde lider araç ve gezgin araca yaklaşık olarak aynı uzaklığa sahip olması durumunda iletişim daha verimli olabilmektedir. Bu sayede konum bilgileri ilgili mikrodenetleyiciye anlık olarak ulaşmaktadır. Tam tersi bir durum söz konusu olduğunda alıcı düğümüne ait mikrodenetleyicinin seri portunda gönderici düğümüne ait konum bilgisi değişime kolaylıkla uğramamaktadır. Alıcı ve verici düğümün arasındaki uzaklık kısaldıkça konum değişiklikleri daha hızlı ve anlık olarak gözlenebilmektedir. Bu durumda tepkime süresi ve sistemin hızına olumlu şekilde yansımaktadır. GPS'li araçların hatalı konum aldığı hallerde GPS'li takipçi araçların doğru takip yapamaması durumunda gezgin takipçi araçta kendini doğru şekilde konumlayamamakta ve lideri verimli şekilde takip edememektedir.

Eğer gezgin araç dönüş esnasında GPS entegreli araçların oluşturduğu üçgenin dışında ve uzağındaysa hem kablosuz olarak verileri daha zor almakta, hem de ölçülen RSSI değerinin yanlışlık potansiyeli artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı filoyu takip zorlaşabilmektedir. Yapılan çalışmada önemli olan bir diğer nokta ise olumlu hava şartlarıdır. Çok bulutlu bir hava ortamında GPS'li araçların konumlarında hata potansiyeli artmakta ve oluşan sistemin parametrelerine göre gezgin GPS'siz aracın konumu daha büyük hatayla tahmin edilmektedir.

Çalışmada ortaya çıkan ve performansı etkileyen bir diğer durumda senkronizasyon olmuştur. Tüm takipçi araçların lider araçtan aldıkları ve GPS'li takipçi araçların GPS'siz takipçi araca gönderdikleri konum bilgilerinin elde edildikten sonra gönderimi ve araçların kontrol sistemleriyle beraber oluşan döngü zamanlarının yaklaşık olarak aynı olması ve bu amaçla yapılan düzeltmeler faydalı olmuştur. Aksi durumda belirtilen ve hesaplanan konumlar tam olarak doğru olsa bile bunlar istenen süreden geç veya erken

gönderildiğinden dolayı takipçi araçların istenmeyen veya beklenmeyen hareketleri olacaktır.

Çalışmalarda elde edilen bir başka sonuç ise radyo modüllerle aynı frekansta çalışan kablosuz modemlerin etkilerinin hissedilebileceği bir ortamda radyo modüllerin işaretlerinin bastırıldığı ve alıcı araçların ilgili konum bilgilerini alamaması olmuştur. Bu yönüyle yapılan çalışma bu tür etkilerden uzak daha doğal ortamlarda gerçekleştirilmiştir.

Son olarak vurgulanması gereken bir diğer nokta ise lider aracın konumudur. Lider konumunu takipçi araçlardan çok uzak tutmamak durumundadır. Bazen lider araç ilk takipçi araca konum bilgisini rahatça iletebilmekte ancak kendisine uzak veya en uzak olan takipçi araçlara aynı kolaylıkla veri iletememektedir. Bu bakımdan bütün filonun lider aracın kablosuz iletim mesafesinin içinde kalması gerektiği çalışmalarda görülmüştür. Aynı durum tüm araçlardan konum bilgisi alan GPS'siz takipçi araç içinde geçerlidir. Doğal olarak kablosuz iletişim yapılabileceği maksimum uzaklıktan daha uzağa konumlanmış ve en az bir GPS'li araçla haberleşme yapamayan GPS'siz takipçi araç trilaterasyon yöntemini gerçekleştiremediğinden dolayı kendi konumunu tahmin edip takip hareketini gerçekleştirmez. Aşağıda test esnasında filo yapısı gözükmemektedir.



Şekil 37. Test esnasında filo yapısı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın simülasyon kısmında filo yapısı içerisinde gezgin düğümlerin yine gezgin çapa düğümler vasıtasıyla periyodik olarak konumunun mukayeseli teknikler ile yaklaşık olarak bulunması ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Düşük konum tahmin hatasını sağlayan faktörler çapa düğüm sayısı seçimi, uzaklık ve doğru strateji seçimi olarak öne çıkmıştır. Durum ve teknik farklılıklarına göre ortalama konum tahmin hataları 0.853 – 19.9263 metre arasında değişmiştir. Önerilen algoritmayla ulaşılabilen en küçük konum tahmin hatası ise 0.137 metre olmuştur. Simülasyon kısmındaki en başarılı yöntem TOA tekniği olmuştur. Başarı yönüyle TDOA ve RSSI tekniği bu yöntemi izlemiştir. Aynı durum hem düz yol tekniği, hem de trilaterasyon ve multilaterasyon teknikleri için de geçerlidir.

Çalışmanın pratik kısmında ise yürüyen bir filo yapısı oluşturulmuştur. Yukarıdaki simülasyon çalışmasının temel amaçları yine mukayeseli tekniklerle gerçekleştirilmiş ve GPS'siz gezgin aracın konum tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu yönde konum tahmin hatasını en düşük şekilde sağlayacak şartlar arasında doğru takip uzaklığı, uygun algoritma seçimi ve verimli, kablosuz haberleşme olarak öne çıkmaktadır. Haberleşmenin kesintisiz ve verimli şekilde sağlanması ile filo yapısının doğru ve seri ilerlemesinin gerçekleştiği görülmüştür. Çeşitli yöntemler sayesinde ortalama konum tahmin hataları 0.70-6.10 metre arasında değişmiştir. Uygulama kısmında trilaterasyon tekniklerinden en başarılı olan Cramer-Rao yöntemidir. Sırasıyla Tulip ve En küçük ortalama kareler yöntemleri başarı olarak bu yöntemi takip etmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Pratik çalışmalarda gelecekte yeni ve daha kesin konumlama yapabilen GPS alıcılarının daha ekonomik hale gelmesi, farklı mikrodenetleyicilerin kullanılmasıyla daha fazla işlem yapılabilmesi ve Kalman Filtreleme vb. daha fazla kontrol kabiliyeti sağlayan yöntemlerin aynı döngü içine katılabilmesi gibi fonksiyonların eklenebilmesiyle bu tür sistemler geliştirilebilir. Bir başka öneri ise daha farklı lokalizasyon yöntemlerinin tek başlarına veya hibrit şekilde kullanılarak benzer bir uygulamanın gerçekleştirilmesi yönündedir. Ayrıca filodaki GPS entegreli araç sayısı artırılarak daha geniş çerçeveli bir uygulama gerçekleştirilebilir. Aynı durum GPS'siz takipçi araç sayısının artırılmasıyla da sağlanabilir. Bunun yanında ileri düzeydeki benzer sistemler gelecekte gerçek araçlara monte edilip askeri, sivil vb. amaçlarla kullanılabilir. Yine gelecekte yapılacak araştırmalarda, filo hareketi ultrasonik vb. algılayıcılarla filo içindeki araçların hem birbirleriyle hem de trafikte bulunan diğer araçlarla çarpışma olasılığını minimize ederek gerçekleştirilebilir. Bu şekilde çalışan filolara navigasyon entegre edilerek hem uzaktan izlenmesi, hem de olumsuz durumlarda uzaktan müdahale edilmesi yapılabilecek öneriler arasındadır. Bu yönde gelecek çalışmalarda ise farklı tahmin yöntemleri kullanarak daha iyi sonuçlara ulaşılması planlanmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E., Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks (Elsevier) Journal, 38, 4 (2002) 393-422.
2. Boukerche, A., Algorithms and Protocols For Wireless and Mobile Ad Hoc Networks, Wiley-IEEE Press, 2008.
3. Akyıldız, I.F. ve Vuran, M.C., Wireless Sensor Networks, Wiley, USA, August 2010.
4. Matin, M.A., Wireless Sensor Networks – Technology And Protocols, InTech Publications, Croatia, September 2012.
5. Faludi, R., Building Wireless Sensor Networks, First Edition, O'Really Media, USA, 2010.
6. Karl, H. ve Willig, A., Protocols And Architectures For Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons, West Sussex England, 2005.
7. Srbinovska, M., Gavrovski, C. ve Dimcey, V., Localization Estimation System Using Measurement Of Rssi Based On Zigbee Standard, Electronics 2008 Congress, September 2008, Sozopol Bulgaria, Proceedings.
8. Savarese, C., Rabaey, J. M. ve Beutel, J. ,Locationing in Distributed Ad -Hoc Wireless Sensor Networks, Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2001, Salt Lake City, UT, USA, 2037-2040.
9. Savarese, C., Rabaey, J. M. ve Langendoen, K., Robust Positioning Algorithms for Distributed Ad-Hoc Wireless Sensor Networks, Proceedings of the General Track: 2002 USENIX Annual Technical Conference, 317–327.
10. Girod, L. ve Estrin, D., Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing, Intelligent Robots and Systems, 2001 IEEE/RSJ International Conference on, 2001, 3, 1312-1320.
11. Doherty, L., Pister, K. S. J. ve Ghaoui, L. E. , Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks. Proceedings of Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2001, April 2001, Anchorage USA, 3. 1655-1663.
12. Whitehouse, K. ve Culler, D., Calibration as Parameter Estimation in Sensor Networks, WSNA'02: Proc. 1st ACM Int'l. Wksp. Wireless Sensor Networks and Apps., September 2002, Atlanta GA USA, Proceedings, 59–67.

13. Awad, A., Frunzke, T. ve Dressler, F., Adaptive distance estimation and localization in wsn using rssi measures, *Digital System Design Architectures, Methods and Tools*, 2007, August 2007, Lübeck Germany, Proceedings, 471-478.
14. Barsocchi, P., Lenzi, S., Chessa, S. ve Giunta, G., Virtual calibration for rssi-based indoor localization with ieee 802.15.4., In *Communications*, 2009. ICC '09, June 2009, Dresden Germany, 1-5.
15. Hyo-Sung, A. ve Wonpil, Y., Environmental-Adaptive RSSI-Based Indoor Localization, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* , 6, 4, (2009) 626-633.
16. Paul, A. S. ve Wan, E. A., Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods, *Position, Location and Navigation Symposium*, (2008) IEEE/ION , May 2008, Monterey CA USA, Proceedings, 646-659.
17. Xiao, Q., Range-free and range-based localization of wireless sensor networks *Wireless sensor networks, Detectors Location. Doctoral Thesis*, Hong Kong Polytechnic University Dissertations, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2011.
18. Beakcheol, J. ve Sichertiu, M.L., IEEE 802.11 Saturation Throughput Analysis in the Presence of Hidden Terminals, *IEEE/ACM Transactions on Networking* , 20, 2, (2012) 557-570.
19. Huircán, J. , Munoz, C., Young, H., Von Dossow, L., Bustos, J., Vivallo, G. ve Toneatti. M., ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields , *Computers and Electronics in Agriculture*, 74 (2010) 258–264.
20. Kukshya, V., Krishnan, H. ve Kellum, C., Design of a system solution for relative positioning of vehicles using vehicle-to-vehicle radio communications during GPS outages, *Vehicular Technology Conference VTC-2005-Fall*, September 2005, Dallas TX USA, vol.2 1313-1317.
21. Boukerche, A., Oliveira, H.A.B., Nakamura, E.F. ve Loureiro, A.A.F., Localization systems for wireless sensor networks, *IEEE Wireless Communications*, 14, 6, (2007) 6-12.
22. Thomas, F. ve Ros, L., Revisiting trilateration for robot localization, *IEEE Transactions on Robotics* , 21, 1 (2005) 93-101.
23. Hao, W., Guohui, T. ve Bin, H., Multi-robot collaborative localization methods based on Wireless Sensor Network, *Automation and Logistics*, 2008. ICAL 2008, August 2008, Qingdao China, 2053-2058.
24. Chen, J., Wu, X.J., Wen, P.Z., Ye, F. ve Liu, J.W., A new distributed localization algorithm for ZigBee wireless networks, *CCDC '09.*, 2009, China , Proceedings, 4451-4456.

25. Tuna, G., Altun, Y., Mumcu, T.V. ve Gulez, K., WSN Aided Indoor Localization for Unmanned Vehicles, Intelligent Computing Theories and Applications Lecture Notes in Computer Science, volume 7390, (2012) 526-533.
26. Misra, R., Shukla, S. ve Chandel, V., Lightweight Software Model for Target Localization in Wireless Sensor Networks, Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), May 2013, Cambridge Massachusetts USA, Proceedings, 301-303.
27. Akyildiz, I.F., Weilian, S., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E., A survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine, vol.40, no.8, 102-114.
28. Vieira, M.A.M., Coelho, C.N., da Silva, D.C., Jr. ve da Mata, J.M., Survey on wireless sensor network devices, Emerging Technologies and Factory Automation, 2003. Proceedings. ETFA '03, September 2003, Lisbon Portugal, Proceedings vol.1 537-544.
29. Jang-Ping, S., Pei-Chun, C. ve Chih-Shun, H., A Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Networks with Improved Grid-Scan and Vector-Based Refinement, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol.7, no.9, (2008) 1110-1123.
30. Hai, D., Zhang, H., Xiao, J. ve Zheng, Z., Cooperate localization of a Wireless Sensor Network (WSN) aided by a mobile robot, Safety Security and Rescue Robotics (SSRR), July 2010, Bremen Germany, Proceedings, 1-6.
31. Chao, P., Meng, M.Q.-H. ve Huawei, L., An experimental system of mobile robot's self-localization based on WSN, Automation and Logistics, 2009. ICAL '09, August 2009, Shenyang China, Proceedings, 1029-1034.
32. Chia-Hung, C. ve Wanjin, L., Revisiting Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks, Communications, 2009. ICC '09, June 2009, Dresden Germany, Proceedings, 1-5.
33. Perkins, M., Correal, N. ve O'Dea, B., Emergent wireless sensor network limitations: a plea for advancement in core technologies, Sensors, 2002, June 2002, Orlando FL USA, Proceedings of IEEE vol.2, 1505-1509.
34. Kegen, Y. ve Guo, Y.J., Non-line-of-sight detection based on TOA and signal strength, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. August 2008, Cannes France, Proceedings, 1-5.
35. Kim, J. I., Lee, J. G. ve Park, C. G. A Mitigation of Line-of-Sight by TDOA Error Modeling in Wireless Communication System, International Conference on Control, Automation and Systems, October 2008, Seoul Korea, 1601-1605.
36. Niculescu, D. ve Nath, B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA, INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications, April 2003, San Fransisco CAL USA, Proceedings vol.3 1734-1743.

37. Yunchun, Z., Zhiyi, F., Ruixue, L. ve Wenpeng, H., The Design and Implementation of a RSSI-Based Localization System, *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2009. WiCom '09, September 2009, Beijing China, Proceedings, 1-4.
38. Jie, L., Zhi, L. ve Wantian, S., A new three-dimensional localization method for WSN, *Cloud Computing and Intelligent Systems (CCIS)*, October 2012, Hangzhou China, Proceedings, 1005-1008.
39. Wang, L., Yuntao L., Xiaohui, X. ve Xiaopeng W., WSN Multilateration algorithm based on landweber iteration, *Electronic Measurement & Instruments*, 2009. ICEMI '09, 2009, China , Proceedings, 250-254.
40. Yifeng, Z., Jun, L. ve Lamont, L., Multilateration localization in the presence of anchor location uncertainties, *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012 IEEE , December 2012, Anaheim CAL USA, Proceedings, 309-314.
41. Lee, C. H. ve Yu, C. J., An intelligent handoff algorithm for wireless communication systems using grey prediction and fuzzy decision system, In *proceedings of IEEE Networking, Sensing and Control Conference*, March 2004, Taipei Taiwan, Proceedings vol.1 541 – 546.
42. Luo, R.C., Chen, O. ve Pan, S.H., Mobile user localization in wireless sensor network using grey prediction method, *Industrial Electronics Society*, 2005. IECON 2005, November 2005, Raleigh NC USA, Proceedings, 6-10.
43. Zoghi, M. ve Kahaei, M.H., Adaptive sensor selection in wireless sensor networks for target tracking, *Signal Processing, IET* , vol.4, no.5, (2010) 530-536.
44. Gunay, F.B. ve Cavdar, T., Mobile fleet localization model via RSSI, TOA and TDOA in wireless sensor networks, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014 22nd , April 2014, Trabzon Turkey, Proceedings, 1431-1434.
45. Larsson, E.G., Cramer-Rao bound analysis of distributed positioning in sensor networks, *Signal Processing Letters, IEEE* , vol.11, no.3, (2004) 334-337.
46. <https://confluence.slac.stanford.edu/display/IEPM/TULIP+Algorithm+Alternative+Trilateration+Method> Tulip Algoritması. 25.12.2014.



## 8. EKLER

### Ek 1. Birinci Ekler Listesi

```
// Derleyici Hi TECH PICC
// Pic 16F88 PORTB 0...3 pin Kumanda Giriş
// RA2 LED Bağlı
// RA0,RA1,RB4,RB5 Motor Output(L293D INPUT)
// RB6,RB7 Motor Enable

#include <htc.h>
#include <delay.c>
#include <delay.h>

__CONFIG(WDTDIS&INTCLK&BOREN&LVPDIS&MCLRDIS);

unsigned char Say,i;
unsigned int Sayac;

/*****
*****/
void Delay(unsigned int Wait)
{
    unsigned int Say;

    for(Say=0;Say<Wait;Say++)
        DelayMs(1);
}

/*****
*****/
void main()
{
    OSCCON=0x60;
    TRISB=15;
    TRISA=0;
    ANSEL=0;
    PORTA=0;
    PORTB=0;

    for(i=0;i<5;i++)
```

Ek 1'in devamı

```

{
    RA2=0;
    Delay(200);
    RA2=1;
    Delay(300);
}
RA2=0;
while(1)
{
    // PORTB Girişler Kontrol Ediliyor
    while((PORTB&15)>0)
    {
        //PORTB Giriş Var ise Motor ENABLE
        RB6=1;
        RB7=1;

        while((PORTB&15)==1)
        {
            //İleri
            RA0=1;
            RA1=0;
            RB4=0;
            RB5=1;
            //Led Blink
            RA2=1;
            Delay(50);
            RA2=0;
            Delay(50);
        }
        while((PORTB&15)==2)
        {
            //Geri
            RA0=0;
            RA1=1;
            RB4=1;
            RB5=0;
            //Led Blink
            RA2=1;
            Delay(50);
            RA2=0;
            Delay(50);
        }
        while((PORTB&15)==4)
        {
            //Sağ
            RA0=0;

```

Ek 1'in devamı

```

        RA1=1;
        RB4=0;
        RB5=1;
        //Led Blink
        RA2=1;
        Delay(50);
        RA2=0;
        Delay(50);
    }

while((PORTB&15)==8)
{
    //Sol
    RA0=1;
    RA1=0;
    RB4=1;
    RB5=0;
    //Led Blink
    RA2=1;
    Delay(50);
    RA2=0;
    Delay(50);
}

while((PORTB&15)==9)
{
    //İleri Sağ
    RA0=1;
    RA1=0;
    RB4=0;
    RB5=0;
    Delay(100);
    RB4=0;
    RB5=1;
    //Led Blink
    RA2=1;
    Delay(50);
    RA2=0;
    Delay(50);
}

while((PORTB&15)==5)
{
    //İleri Sol
    RA0=0;
    RA1=0;
    RB4=0;

```

Ek 1'in devamı

```

        RB5=1;
        Delay(100);
        RA0=1;
        RA1=0;
        //Led Blink
        RA2=1;
        Delay(50);
        RA2=0;
        Delay(50);
    }
    while((PORTB&15)==10)
    {
        //Geri Sol
        RA0=0;
        RA1=1;
        RB4=0;
        RB5=0;
        Delay(100);
        RB4=1;
        RB5=0;
        //Led Blink
        RA2=1;
        Delay(50);
        RA2=0;
        Delay(50);
    }
    while((PORTB&15)==6)
    {
        //Geri Sağ
        RA0=0;
        RA1=0;
        RB4=1;
        RB5=0;
        Delay(100);
        RA0=0;
        RA1=1;
        //Led Blink
        RA2=1;
        Delay(50);
        RA2=0;
        Delay(50);
    }
}
//MOTOR DISABLE
PORTB=0;
RA0=0;

```

Ek 1'in devamı

```
RA1=0;  
RA2=0;  
    }  
}
```

## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da sırasıyla Atatürk İlkokulu, Anadolu Lisesi ve Özel Aziziye Erkek Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olup aynı yıl Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine ve Türk Telekom Erzurum İl Müdürlüğünde Transmisyon Bölümünde mühendis olarak çalışmaya başladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Bilgisayar mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev aldı. Aynı bölümde hala çalışmalarını sürdürmektedir.