



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GSM SİNYAL BAZLI KONUM BELİRLEME**

**ERCAN DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2020  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ercan DEMİR tarafından hazırlanan 'GSM Sinyal Bazlı Konum Belirleme" adlı tez çalışması 08/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Cafer BUDAK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Emrullah ACAR



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Şahmaz TIGREK  
EBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ercan DEMİR

Tarih: 08/07/2020

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### GSM SİNYAL BAZLI KONUM BELİRLEME

Ercan DEMİR

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN

2020, 78 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN  
Dr. Öğr. Üyesi Emrullah ACAR  
Dr. Öğr. Üyesi Cafer BUDAK

Günümüz dünyasında mobil haberleşme sistemlerine duyulan ihtiyaç ve kullanıcı sayısındaki yüksek artış beraberinde yeni nesil mobil uygulamaların geliştirilmesini de vazgeçilmez kılmıştır. Konum bilgisinin elde edilmesi en çok ilgi çeken ve önemli ölçüde gelişim gösteren alanlardan birisi olmuştur. Konum belirlemeye yönelik kullanılan servislerin amacı genel olarak kullanıcıların yaklaşık konum, hız ve zaman gibi bilgilerinin elde edilmesidir. GPS sistemi, küresel konumlandırma sistemleri arasında en fazla tercih edilen ve yüksek bir doğrulukla çalışan bir konum belirleme sistemidir. Ancak bu sistemin yüksek bir kurulum maliyeti gerektirmesinin yanı sıra, galaktik ve meteorolojik etkenler, yüksek binalar ve diğer fiziksel engellerin bulunduğu yoğun yerleşim yerlerinde ve özellikle kapalı alanlarda ciddi sinyal zayıflamaları ve kayıpları nedeniyle servis dışı kalabilmesi en büyük kısıtlarından birisidir. Bu hususlar dikkate alındığında, küresel konumlandırma sistemlerine alternatif ve tamamlayıcı olacak konumlandırma sistemlerine acil gereksinim duyulduğu görülmektedir. Bu noktada, neredeyse herkesin yaygın bir şekilde kullanmakta olduğu ve kapsama alanı gün geçtikçe artan GSM ağına altyapısından faydalanılarak konum tahmini yapılması son derece önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kapalı alanlarda ve kötü hava şartlarında, elde edilebilecek sinyal seviyeleri açısından kıyaslandığında hücresel ağların küresel konumlandırma sistemlerinden daha avantajlı olacağı düşünülmektedir. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışma kapsamında, mobil telefon için Android Studio ortamında geliştirdiğimiz bir mobil uygulama vasıtasıyla kapalı ve açık alanlarda ölçümlenen GSM sinyal gücü, GSM baz istasyonu ve kullanıcı konum bilgileri kaydedilerek veri setleri oluşturulmuştur. Bu verinin bir kısmı ile Matlab simülasyon ortamında oluşturulacak ağı yapay sinir ağları (YSA) metotlarından aşırı makine öğrenmesi (ELM), genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN) ve k-en yakın komşuluk algoritması (k-NN) kullanılarak eğitilmesi ve verinin diğer kısmıyla da test yapılarak yaklaşık konum tahmini gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bina içi, bina dışı ve harmanlanmış veri setleri ile yapılan testlerde, önerilen GSM sinyal bazlı konum belirleme sisteminin asgaride bir metrenin altında ve ortalamada ise 76-216 metre aralığında hata oranlarıyla gerçek konum bilgisi elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı makine öğrenmesi, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı, GPS, GSM, k-en yakın komşuluk algoritması, konum belirleme, yapay sinir ağları.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

#### **GSM SIGNAL BASED LOCALIZATION**

**Ercan DEMİR**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN ELECTRICAL-ELECTRONICS ENGINEERING**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Abdulkerim ÖZTEKİN**

**2020, 78 Pages**

#### **Jury**

**Asst. Prof. Dr. Abdulkerim ÖZTEKİN**

**Asst. Prof. Dr. Emrullah ACAR**

**Asst. Prof. Dr. Cafer BUDAK**

In today's world, the need for mobile communication systems and the high increase in the number of users have also made the development of new generation mobile applications indispensable. Obtaining location information has been one of the most interesting and significant areas of improvement. The purpose of the services used to determine the location is generally to obtain the information of the users such as approximate location, speed and time. The GPS system is the most preferred and globally accurate positioning system among global positioning systems. However, in addition to requiring a high installation cost of this system, it is one of the biggest constraints that galactic and meteorological factors, high buildings and other physical obstacles, and especially closed areas can lead to serious signal weaknesses and losses which may cause the system to be out of service. Considering these issues, it is seen that there is an urgent need for positioning systems that will be alternative and complementary to global positioning systems. At this point, it is an extremely important alternative to make location estimation by making use of the infrastructure of the GSM network, which is widely used by almost everyone and whose coverage area is increasing day by day.

It is thought that cellular networks will be more advantageous than global positioning systems when compared to the signal levels that can be obtained in closed areas and in bad weather conditions. Within the scope of this study we have carried out, data sets were created by recording the GSM signal strength, GSM base station and user location information measured in indoor and outdoor areas through a mobile application we developed in the Android Studio environment for mobile phones. The network to be created in the Matlab simulation environment will be trained with some part of this data, using some artificial neural networks (ANN) methods, namely extreme machine learning (ELM), generalized regression neural network (GRNN) and k-nearest neighborhood algorithm (k-NN), and by testing with the other part of the data it is aimed to perform approximate location estimation. In the tests conducted with indoor, outdoor and blended data sets, it has been observed that the proposed GSM signal-based positioning system can obtain real location information with error rates below a meter at the minimum, and between 76-216 meters on average.

**Keywords:** Extreme machine learning, generalized regression neural network, GPS, GSM, k nearest neighbours algorithm, positioning, artificial neural networks.

## ÖNSÖZ

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen bu aşamaya gelmemi sağlayan kıymetli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim. Çalışma tasarımı esnasında geliştirdiğimiz mobil uygulama kapsamında verdiği destek ve sağladığı kolaylıklardan dolayı değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Süleyman KARDAŞ 'a ve deneysel çalışma sürecindeki katkılarından dolayı değerli dostum Murat OKTAY 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmasının tüm aşamalarında yoğun programı içinde her daim benim için kıymetli vakitlerini ayırıp, çalışmalarımın ilgisini eksik etmeyen, yol gösteren, önerilerini sunan, çok değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Abdulkerim ÖZTEKİN 'e sabırlı yol göstericiliği için canı gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana destek olan bu güzide insanlara teşekkür etmekle beraber her birine ayrı ayrı saygılarımdan bir demet sunarım.

Ercan DEMİR  
BATMAN-2020

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>4</b>
<b>3. KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ</b> .....	<b>7</b>
3.1. Konum Nedir? .....	7
3.1.1. Bağıl konum belirleme.....	7
3.1.2. Mutlak konum belirleme.....	8
3.2. Küresel Konum Belirleme Sistemleri .....	9
3.2.1. GPS (Küresel konum belirleme sistemi) .....	9
3.2.1.1. Uzay bölümü (Uydular).....	10
3.2.1.2. Kontrol bölümü (Yer istasyonları) .....	10
3.2.1.3. Kullanıcı bölümü (GPS alıcısı) .....	11
3.2.1.4. GPS sisteminin çalışma prensibi .....	11
3.2.2. GLONASS (Küresel uydu navigasyon sistemi) .....	12
<b>4. GSM TEKNOLOJİSİ</b> .....	<b>13</b>
4.1. Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (GSM).....	13
4.2. GSM Baz İstasyonları .....	14
4.2.1. Baz istasyonun yapısı.....	15
4.3. Mobil İletişim Nesilleri .....	16
4.3.1. Mobil iletişim ikinci nesil - 2G.....	18
4.3.2. Mobil iletişim üçüncü nesil - 3G .....	18
4.3.3. Mobil iletişim dördüncü nesil - 4G.....	19
<b>5. GSM BAZLI KONUM BELİRLEME TEKNİKLERİ</b> .....	<b>20</b>
5.1. Hücre Kimliği Yöntemi (Cell-ID).....	20
5.2. TA (Timing Advance - Zamanlama İlerlemesi) Yöntemi.....	21

5.3.	Alınan Sinyal Seviyesi ile Yerelleştirme Tekniği .....	21
5.4.	AoA (Varış Açısı) Yöntemi .....	22
5.5.	ToA (Varış Zamanlaması) Yöntemi.....	22
5.6.	GSM Pozisyon Ölçme Yöntemleri.....	23
<b>6.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>25</b>
6.1.	Veri Kümesi (Dataset).....	25
6.2.	Yapay Sinir Ağları .....	27
6.2.1.	Aşırı öğrenme makineleri (ELM-extreme learning machine) .....	28
6.2.2.	Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN-generalized regression neural network).....	30
6.2.3.	k-En yakın komşuluk (kNN-k nearest neighbours) .....	31
6.2.3.1.	Minkowski uzaklığı .....	32
6.2.3.2.	Öklid uzaklığı .....	33
6.2.3.3.	Manhattan uzaklığı .....	33
<b>7.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>34</b>
7.1.	Bina İçi Konum Belirleme .....	35
7.2.	Bina Dışı Konum Belirleme.....	42
7.3.	Tüm Alanlarda Konum Belirleme.....	49
<b>8.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>62</b>	



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$b_i$	: Yapay sinir ağı modelinde eşik değeri
$D$	: Gauss İşlevi
$d$	: Km cinsinden uzaklık
$d_M$	: Minkowski uzaklığı
$d_{Mt}$	: Manhattan uzaklığı
$d_ö$	: Öklid uzaklığı
$g()$	: Yapay sinir ağı modelindeki aktivasyon fonksiyonu
$H$	: Yapay sinir ağı modeli çıkış katmanının giriş matrisi
$Lat1$	: Gerçek konum enlemi
$Lat2$	: Tahmin edilen konum enlemi
$Lon1$	: Gerçek konum boylamı
$Lon2$	: Tahmin edilen konum boylamı
$n$	: Yapay sinir ağı modeli eğitim modeli sayısı
$m$	: Yapay sinir ağı modeli giriş vektörü element sayısı
$r$	: Yerküre yarıçapı
$y$	: Yapay sinir ağı modeli için çıkış denklemi
$Y(p)$	: Yapay sinir ağının çıkışı
$Y_i$	: Nöronlar arasındaki bağlantı denklemi
$y_i$	: Çıkış vektörü
$x_i$	: ELM giriş vektörü
$x$	: GRNN giriş vektörü
$W_{i,j}$	: ELM girdi ağırlıkları
$\beta_i$	: ELM çıkış katman ağırlıkları
$\sigma$	: Yayılım parametresi
$x_R$	: Birinci baz istasyonu sinyalinin varış açısı
$x_T$	: İkinci baz istasyonu sinyalinin varış açısı

## Kısaltmalar

1G	: Birinci Nesil İletişim (1 <sup>st</sup> Generation)
2G	: İkinci Nesil İletişim (2 <sup>st</sup> Generation)
3G	: Üçüncü Nesil İletişim (3 <sup>st</sup> Generation)
4G	: Dördüncü Nesil İletişim (4 <sup>st</sup> Generation)
3GPP	: 3. Nesil Ortaklık Projesi (3 <sup>st</sup> Generation Partnership Project)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ARFCN	: Mutlak Radyo Frekansı Kanal Numarası (Absolute Radio-Frequency Channel Number)
AoA	: Varış Açısı (Angle of Arrival)
BTS	: Baz Alıcı-Verici İstasyonları (Base Transceiver Stations)
BS	: Baz İstasyonu (Base Station)
BSC	: Baz İstasyon Kontrolörü (Base Station Controller)
BCCH	: Yayın Kontrol Kanalı (Broadcast Control Channel)
C	: Işık hızı
CELL-id	: Hücre Kimlik Numarası
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access)
dBm	: Desibel Miliwatt
DORİS	: Uydu ile Entegre Doppler Orbitografi ve Radyo Konumlandırma (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)
EDGE	: GSM Evrimi İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (Enhanced Data Rates for Global Evolution)
ELM	: Aşırı Öğrenme Makinesi (Extreme Learning Machine)
ERS-I	: Avrupa Uzaktan Algılama
F	: Frekans
FFNN	: İleri Beslemeli Sinir Ağı (Feedforward Neural Network)
FDMA	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency-Division Multiple Access)
GLONASS	: Uydusu Global Uydu Navigasyonu Sistemi (Global Orbiting Navigation Satellite System)
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)
GPS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GPRS	: Genel Paket Radyo Hizmeti (General Packet Radio Service)

GRNN	: Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (General Regression Neural Network)
GSM	: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
HSPA	: Yüksek Hızlı Paket Erişimi (High Speed Packet Access)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
IP	: İnternet Protokolü (Internet Protocol)
kNN	: k-En Yakın Komşuluk Algoritması (k-Nearest Neighbors Algorithm)
Km	: Kilometre
LAC	: Konum Alan Kodu (Location Area Code)
LMU	: Konum Ölçüm Birimi (Location Measurement Unit)
LTE	: Uzun Süreli Evrim (Long Term Evolution)
M	: Metre
MCC	: Mobil Ülke Kodu (Mobile Country Code)
MNC	: Mobil Şebeke Kodu (Mobile Network Code)
MS	: Mobil İstasyon (Mobile Station)
MSC	: Mobil Anahtarlama Merkezi (Mobile Switching Centre)
mWPE	: Ağırlıklı Konum Tahmini
NTT	: Nippon Telgraf ve Telefon (Nippon Telegraph and Telephone)
NAVSTAR	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Navigation Satellite Timing And Ranging)
NMEA	: Ulusal Deniz Elektronik Derneği (National Marine Electronic Association)
PRARE	: Hassas Aralığı ve Aralık Oranı Ekipmanları (Precise Range and Range Rate Equipment)
RAC	: Yönlendirme Alan Kodu (Routing Area Code)
RF	: Radyo Frekansı
RSS	: Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength)
RSSI	: Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indicator)
RMS	: Kök Ortalama Kare (Root Mean Square)
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error)
RxLev	: Alınan Sinyal Seviyesi
OFDM	: Dik Frekans Bölmeli Çoğul lama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
SIM	: Abone Kimlik Modülü (Subscriber Identity Module)
TA	: Zamanlama ilerlemesi (Timing Advanced)
TD <sub>o</sub> A	: Varış Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival)
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time-Division Multiple Access)
ToA	: Varış Zamanı (Time of Arrival)

- UMTS : Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (Universal Mobile Telecommunication System)
- U-TDoA : Yukarı Bağlantı Varış Zamanı Farkı (Uplink Time Difference of Arrival)
- YSA : Yapay Sinir Ağları
- WCDMA : Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wideband Code division multiple access)
- WEP : İnternet Ağı
- WIFI : Kablosuz Bağlantı Alanı
- WI-MAX : Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik
- WkNN : Ağırlıklı En Yakın k Komşu



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Konum belirleme sistemeleri şeması.....	7
Şekil 3.2. Bağlı konum belirleme .....	8
Şekil 3.3. Mutlak konum belirleme .....	9
Şekil 3.4. GPS sistemi bölümleri .....	10
Şekil 3.5. a) Yörünge de yer alan GPS uyduları: b) Uydu, yer istasyonu ve GPS alıcısı bağlantı şeması.....	11
Şekil 3.6. GPS alıcısı ile konum belirlenmesi .....	12
Şekil 4.1. GSM baz istasyonu mimarisi.....	13
Şekil 4.2. Hücresel ağ yapısı.....	14
Şekil 4.3. Baz istasyonları.....	15
Şekil 4.4. GSM şebekesi genel yapısı.....	15
Şekil 4.5. Mobil iletişim nesilleri.....	16
Şekil 5.1. GSM Bazlı konum belirleme.....	20
Şekil 5.2. GSM Mimarisi.....	23
Şekil 6.1. Veri toplama işleminin gerçekleştiği alana ilişkin Google Earth çıkışı .....	25
Şekil 6.2. Sinir hücresi ve yapay sinir ağı (Maltarollo, 2013). .....	27
Şekil 6.3. İleri beslemeli bir gizli katmana sahip yapay sinir ağı modeli .....	28
Şekil 6.4. k-En Yakın Komşuluk Örnek Çizim (Muhajir, 2001). .....	32
Şekil 7.1. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafeleri (m) .....	36
Şekil 7.2. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafeleri (m).....	37
Şekil 7.3. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon grafiği.....	38
Şekil 7.4. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	39
Şekil 7.5. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m) .....	40
Şekil 7.6. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	41
Şekil 7.7. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m) .....	41

Şekil 7.8. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafe miktarları (m).....	43
Şekil 7.9. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m) .....	44
Şekil 7.10. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon grafiği.....	45
Şekil 7.11. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	46
Şekil 7.12. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m).....	47
Şekil 7.13. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	48
Şekil 7.14. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m).....	48
Şekil 7.15. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafeleri (m) .....	50
Şekil 7.16. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafeleri (m).....	51
Şekil 7.17. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon çıkış grafiği .....	51
Şekil 7.18. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	52
Şekil 7.19. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m).....	53
Şekil 7.20. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m).....	54
Şekil 7.21. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m).....	54

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Mobil iletişim nesillerine ait teknik özellikler.....	17
Tablo 6.1. Veri setinin içeriği .....	26
Tablo 6.2. Kullanılan veri setinin örnek bir bölümü.....	26
Tablo 7.1. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri .....	35
Tablo 7.2. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait minimum mesafe hata miktarları (m) .....	36
Tablo 7.3. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m) .....	37
Tablo 7.4. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	38
Tablo 7.5. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	40
Tablo 7.6. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri .....	42
Tablo 7.7. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafe miktarları (m).....	42
Tablo 7.8. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m) .....	44
Tablo 7.9. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	45
Tablo 7.10. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	47
Tablo 7.11. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri .....	49
Tablo 7.12. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait minimum mesafe hata miktarları (m) .....	49
Tablo 7.13. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait ortalama mesafe hata miktarları (m).....	50
Tablo 7.14. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	52

Tablo 7.15. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri .....	53
Tablo 8.1. Konum belirleme tahmininin minimum ve ortalama hata miktarları sonuç bilgileri.....	56





## 1. GİRİŞ

Günümüzde mobil haberleşme sistemlerine olan yoğun ilginin artması, yeni teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesini tetiklemektedir. Konum belirleme teknikleri bu alandaki önemli gelişmelerden biridir. Konumlandırma teknikleri, insanların, mobil cihazların veya ekipmanların konum tahminini mümkün kılmaktadır. Küresel konum belirleme sistemleri günümüz teknolojisinde en yaygın olarak kullanılan ve birçok alanda kullanılan konum belirleme sistemleridir. Küresel konum belirleme sistemleri ağırlıklı olarak askeri alanlarda (savaş uçakları, akıllı silah ve bombalar, askeriye tarafından kullanılan her türlü araç ve askeri ekipmanların konumlandırılmasında vb.) ve bilimsel çalışmalarda (jeoloji çalışmalarında, uzaktan algılama araştırmalarında, jeofizik ölçümlerinde, haritacılık çalışmalarında vb.) birçok farklı konum belirleme sistemlerinden yararlanılmaktadır. Öte yandan bakıldığında birçok ulaşım sistemlerinde, madencilik faaliyetlerinde, her türlü güvenlik uygulamalarında, özellikle arama kurtarma çalışmalarında, tarımsal faaliyetlerinde ve ayrıca sportif aktivitelerinde bu tür konum belirleme sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Sevindi, 2005).

Günümüzde konum belirleme amaçlı kurulmuş olup ve kullanılmakta olan birçok sistem bulunmaktadır. Başlıca bu küresel sistemleri GPS, GLONASS, DORIS, PRARE, TOPEX/Poseidon vb. küresel konum belirleme sistemleri oluşturmaktadır. Bu sistemlerden olan uydu ile entegre doppler orbitografi ve radyo konumlandırma (DORIS-Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) sistemi Fransızlar tarafından geliştirilmiş konumlandırma sistemleridir. DORIS konum belirleme sistemi bir özelliği de birkaç farklı uydu sistemiyle koordineli olarak çalışabilmektedir. DORIS küresel konum belirleme sisteminin yeryüzü ağını oluşturan 54 adet istasyon bulunmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Bir diğer küresel konum belirleme sistemi olan hassas aralığı ve aralık oranı ekipmanları (PRARE-Precise Range and Range Rate Equipment) projesi Almanlar tarafından geliştirilmiştir. PRARE küresel konum belirleme sistemi ilk uzaktan algılama uydusu olarak kabul edilen ERS-I (Avrupa uzaktan algılama uydusu) sistemi için hazırlanan bir modüldür. PRARE modülü tarafından yerküreyle ilgili yaptığı ölçümler kontrol istasyonlarına aktarma işlemini gerçekleştirmektedir.

Bir diğer küresel konum belirleme sistemi olan TOPEX/Poseidon ABD ve Fransa'nın birlikte geliştirmiş oldukları bir konumlandırma sistemidir. TOPEX/Poseidon

küresel konum belirleme sistemi gel-git hareketlerinin izleniminde, iklim araştırma ve çalışmalarında kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir diğer küresel konum belirleme sistemi olan global uydu navigasyonu sistemi (GLONASS-Global Navigation Satellite System) ABD tarafından geliştirilen GPS sistemine karşılık olarak Ruslar tarafından geliştirilmiş bir küresel konum belirleme sistemidir. GLONASS küresel konum belirleme sistemi 21 asıl ve 3 yedek uydudan oluşmakla beraber, en son fırlatılan yeni uydusuyla, 2004 yılından itibaren toplam 10 uydu üzerinden hizmet sağlamaktadır (Montenbruck ve ark., 2017).

Küresel konum belirleme amaçlı kullanılan uydu sistemleri arasından en yaygın olarak kullanılan küresel konum belirleme sistemi (GPS- Global Positioning System) ve en geniş kullanıcı kitlesine sahip konumlandırma sistemidir. ABD tarafından geliştirilen bu sistem ilk zamanlarında askeri amaçla kullanılmaktaydı. GPS küresel konumlandırma sistemi iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, dünya yörüngesinde konumlandırılmış uyduların yanı sıra, uyduların kontrolünü sağlayan yer istasyonlarıdır.

Bu tür küresel konum belirleme sistemlerinin kurulumu yüksek maliyetlidir. Bununla beraber bu sistemler, engeller tarafından oluşturulan kör noktaların yanı sıra tünel, köprü altı, bina içi gibi kapalı alanlarda yeterli sinyal seviyesi oluşmadığından çalışmamaktadır. Günümüz modern yerleşim yerlerinde karmaşık, çok katlı ve geniş alanlara yayılmış binaların sayısının fazla olmasının yanında bu sayı her geçen gün artış göstermektedir. Binaların onlarca kat, yüzlerce oda ve koridorlardan oluşmasına bağlı olarak hem karmaşık olmalarının yanı sıra hem de barındırdıkları nüfus sayısının fazla oluşu birer küçük şehir görünümü kazandırmaktadır. Küresel konum belirleme sistemlerinin bu tür kapalı alanlarda çalışmama gibi yetersizliği kapalı alanlarda da çalışabilecek etkin konum belirleme sistemlerine de ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Tüm bu bilgilere bakıldığında Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM-Global System for Mobile Communications) mobil kullanıcının konumunu belirlemede iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan, iletişim için kullanılan mobil cihazlar (cep telefonları vb.) artık günümüz teknolojisinde en popüler cihazları durumuna gelmiş, günlük kullanım ihtiyacının artmasının yanında popülerliği de gün geçtikçe artış göstermiştir. GSM baz istasyonları metropollerde daha sık ve fazla olmanın yanı sıra, tamamen tüm bölgelerde hizmet sağlamaktadır. GSM baz istasyonları aracılığıyla mobil kullanıcıların konum tespitleri diğer konum belirleme sistemleri bakımından önemli bir rakip ve destekçi haline gelmiştir. Bununla birlikte kapalı alanlarda ve daha kötü

koşullarda dahi GSM baz istasyonlarından sinyallerin alınabilmesi mobil kullanıcının konumunun belirlenmesi için GSM bazlı konum belirleme sistemini bir adım daha öne çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, GSM baz istasyonları üzerinden yaklaşık konum bilgilerinin elde edilebilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Android Studio ortamında geliştirdiğimiz bir mobil uygulama vasıtasıyla belirli bir bölgede bina içinde ve bina dışında olmak üzere, bölgenin farklı noktalarından farklı GSM baz istasyonlarından elde edilen yeterli sayıdaki gerçek GSM sinyal ölçüm değerleri ile birlikte, bu GSM baz istasyonlarının konum bilgilerinin de yer aldığı bir veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen bu veri seti ile Matlab simülasyonu ortamında yapay sinir ağları (YSA) metotları kullanılarak ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Çalışmada aşırı öğrenme makinesi (ELM- Extreme Learning Machine), k-En yakın komşuluk algoritması (k-NN- k-Nearest Neighbors Algorithm) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN- Generalized Regression Neural Network) yöntemleri kullanılmıştır. Böylece eğitilmiş ağ test verisindeki sinyal ölçümlerini kullanarak gerçek konum bilgisinin yaklaşık olarak elde edilebilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde konum belirlemeye yönelik daha önce gerçekleştirilmiş farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Jin ve ark. yaptıkları bir çalışmada yakınlık ve üçgen yöntemlerini kullanarak daha verimli bir çözüm önerisi sunmuşlardır (Jin ve ark., 2006). Çalışmalarında kNN algoritması ile konum tahmin edilmeye çalışılmıştır. Referans olarak seçilen taşıyıcıların konumları üçgen yöntemi ile hesaplanarak hedefin gerçek konumları göz önüne alınarak tahmini hata değerleri hesaplanmıştır. Yakınlık yöntemini ise ortalama RMS hata değerlerinin hesaplanması için kullanmışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada  $48 m^2$  alanda 4 adet okuyucu ve 20 referans taşıyıcı kullanılmış ve 0,7 m hata ile doğruluk değeri elde etmişlerdir.

Magro ve ark. yaptıkları bir çalışmada, 3G ağlarında kullanıcı konum tahminine yenilikçi bir çözüm önerisi sunmuşlardır (Magro ve ark., 2007). Önerilen bu çözüm, mevcut 3G mobil cihazları tarafından erişilebilen hücre kimliği ve iletilen sinyal gücü gibi ağ bilgilerini kullanmışlardır. Bu ağ bilgilerini, en olası çıkış noktası için tüm şebeke kapsama alanını araştıran bir konum algılama algoritmasına giriş olarak kullanılmıştır. Algoritma yarı gerçek zamanlı olarak kullanıcının konumu bir tahmin sağlamak için bir genetik algoritma uygulaması ile optimize edilmiştir. Bu çalışmanın simülasyon sonuçları göz önüne alındığında ortalama 450 metre hata payıyla konum tahmini sağlamışlardır.

Hücresel ağlarda konum belirleme ile ilgili Türkyılmaz yaptığı çalışmada, hücresel ağlar için ortam-bilinçli sinyal gücü ölçümlerine dayalı bir konum belirleme yöntemi önermiştir (Türkyılmaz, 2007). Önerilen yöntemde GSM ağından alınan gerçek ölçümler kullanılarak testler gerçekleştirilmiş, konumlama başarımının ortalama hata ve standart sapma gibi birçok yönden iyileştiği belirtilmiştir. Toplamda, ortalama hatanın 642 m'den 573 m'ye (%10,75 iyileştirme), standart sapmanın 689 m'den 481 m'ye (%30,19 iyileştirme) ve maksimum hatanın 4762 m'den 2638 m'ye (%44,6 iyileştirme) kadar azaltıldığı rapor edilmiştir.

Thong ve ark. yaptıkları çalışmada (Thong ve ark., 2007), WEB tabanlı bir filo yönetim sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemde, konum bilgilerinin yanında GSM baz istasyonuna ait bilgileri de kullanmışlardır. Oluşabilecek herhangi bir GPS bilgi kesintisi durumunda baz istasyonuna ait bilgilerinden faydalanılmıştır. Konumun izlenmesini, internet aracılığıyla Google haritaları uygulaması vasıtasıyla sağlamışlardır.

Jain ve ark. yaptıkları çalışmada (Jain ve ark., 2008), yaban hayatının takibi amacıyla, yapılan radyo frekansı üzerinden GPS bilgilerini aktaran bir takip cihazı ile

belirli bir bölgede kablosuz 3 network (wireless sensor network) kurulmuş ve verilerin bir terminalden diğerine aktarılması sağlanmıştır. Sistemde GPS konum bilgilerinin yanı sıra sıcaklık, nem, titreşim gibi çevresel verilerin de aktarılması sağlanmıştır. Sistem, ATmega1281V mikrodenetleyici kullanılarak geliştirilmiştir.

Huang ve ark., tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (Huang ve ark., 2008), Bayes tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Geliştirilen Bayes algoritması hedef noktayı belirleyebilmek amacıyla bir olasılık modeli kullanmışlardır. Fakat uzaklık ölçümlerinde ortaya çıkan hataların artışı konum belirlemedeki doğruluğun azalmasına neden olmuştur. Bu tip bir olumsuzluk ve çevresel değişikliklerin neden olabileceği RSSI ölçüm değerlerindeki değişimleri engellenebilmesi için ayrıca ilaveten bir algoritma dahil etmişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan iki algoritmanın simülasyon sonuçları konum tahmininde 0,5 m ile 1 m hata aralığında doğruluk ile sonuç elde etmişlerdir.

Kurt tarafından yapılan tez çalışmasında, parmak izi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bir konum belirleme sistemi önerilmiştir (Kurt, 2009). Bu konum belirleme yöntemi için İstanbul ve İzmir şehirlerinin farklı bölgelerindeki mobil istasyonlardan RSS (Alınan sinyal gücü) sinyal ölçümleri toplanmış ve bu ölçümler bir veri tabanına kaydedilmiştir. Daha sonra sinyal ölçümleri sinyal izi filtreleme ve sinyal izi eşleştirmede kullanılmıştır. Burada sistem mobil kullanıcının sinyal ölçüm değerlerini ve hücresel ağ vasıtasıyla yapılan ölçümleri kullanmasıyla kullanıcının yerini belirlemeye çalışmaktadır. Yaptıkları çalışma sonucunda İstanbul şehri için ortalama 435.0209 m ve İzmir şehri için ise 404.8652 m ortalama hata mesafesi kadar kullanıcı konumu tahmini gerçekleştirmişlerdir.

Fritsche ve ark. GPS bilgilerinin kesintiye uğraması durumunda GSM şebekesi üzerinden yaklaşık konum bilgilerinin elde edilebilmesine yönelik çalışma yapmışlardır (Fritsche ve ark, 2009). GSM şebekesinden alınan ölçüm bilgilerini “Kalman filtresi” kullanarak konum belirleme algoritması geliştirmişlerdir. Böylece yaptıkları sistemde hem GPS uyduları hem de GSM şebekesinden alınan ölçüm bilgileri yardımıyla konum bilgisi elde etmişlerdir.

Galvan ve ark. yaptıkları çalışmada, uygun bir yayılma modeli elde edilebilmesine yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir (Galvan ve ark., 2012). Daha doğru bir konum bilgisi için bluetooth ve bir kullanıcıyı iç mekânda konumlandırmak için wi-fi ile birleştirme algoritması gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle bir yayılma modeli elde etmek için bluetooth’tan elde edilen alınan sinyal gücü göstergesi (Received Signal Strength Indicator-RSSI) anlamına gelen sinyal değerleri ile ilgili mesafe ölçümleri alınmış, wi-

fi'den bilinen yayılma modeli kullanılarak bir mesafe hesaplaması yapılmıştır. Böylece alıcının konumunu bluetooth ve wi-fi ile birleştiren bir algoritma sunulmuştur.

GSM şebekesi kullanarak kablosuz konumlama ile ilgili Tosun yaptığı tez çalışmasında (Tosun, 2013), hücre kimlik numarası ve alınan sinyal gücü yöntemini kullanmıştır. GSM radyo frekansı (RF) sinyalini ölçmek, alınan sinyal gücünü ve hücre numarasının verisine ulaşılabilmesinin kolaylığı nedeniyle Android işletim sistemi yüklü bir telefon tercih etmiştir. Daha hassas ve doğru pozisyon elde etmek için Kalman filtresi ile verileri işlemiş ve ölçüm bilgileri yardımıyla konum bilgisi elde etmiştir.

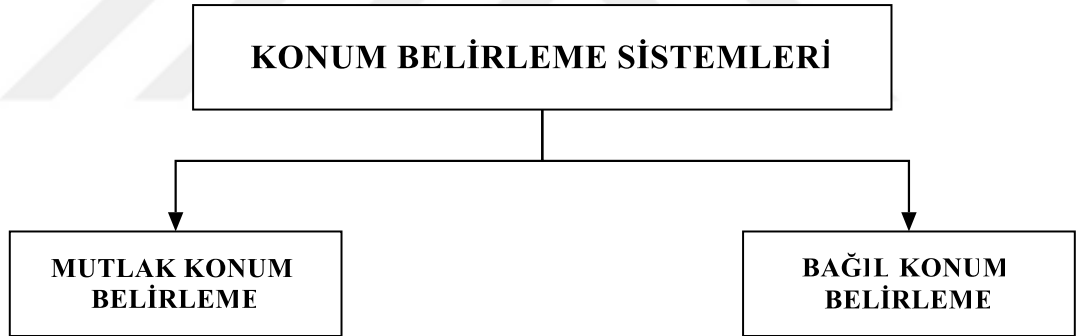
Kapalı alanda konum belirleme ile ilgili Doughangi yaptığı tez çalışmasında, wi-fi tabanlı konum belirleme sistemini elde etmek üzere toplamda üç çeşit yöntem test etmiştir (Doughangi, 2014). İki erişim noktalı konum belirleme sistemi tabanlı wi-fi simülasyonu; üç erişim noktalı konum belirleme sistemi tabanlı wi-fi simülasyonu ve son olarak hedefin hassas konum tahmini ile iyi bir öğrenme zamanını elde etmek için kümeleme algoritması uygulayarak büyük test alanlarında simüle edilmiş konumlandırma sistemi tabanlı wi-fi simülasyonunu içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Kalaycı ve ark. yaptıkları bir çalışmada, bina içinde bulunan elektronik cihazların konumunu radyo frekansı (RF) parmak izi tabanlı konum belirleme yöntemleriyle tahmin etmeye çalışmışlardır (Kalaycı ve ark., 2018). Elektronik cihazların bulunduğu konumlardan alınan sinyal gücü (RSS) değerlerini içeren, güç seviyelerine ait birden fazla harita ve test kayıtları alınarak bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra kNN (En Yakın k Komsu), WkNN (Ağırlıklı En Yakın k Komşu) ve mWPE (Ağırlıklı Konum Tahmini) algoritmaları kullanılarak elektronik cihazların konumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Haritaların birden fazla olmasının getirdiği bir avantajla tahmin başarımının arttırdığı gözlemlenmiştir. Testler elektronik aletlerin çok sayıda bulunduğu kapalı bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada kNN, WkNN, mWPE algoritmalarıyla ve farklı k değerine (14,24) göre RMS hata değerleri sırasıyla 7,04 ile 10,85 m, 6,99 ile 10,97 m ve 6,89 ile 11,45 m hata payı ile konum tahmini gerçekleştirmişlerdir.

### 3. KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ

#### 3.1. Konum Nedir?

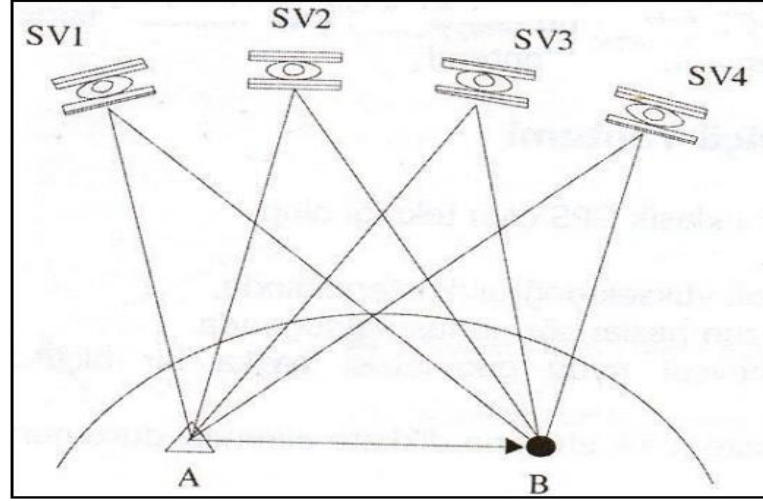
Dünya üzerinde herhangi bir noktanın yerinin saptanması için yerküre üzerinde mevcut olduğu varsayılan ve birbirlerini dik bir şekilde kesen hayali çizgiler yer almaktadır. Bu çizgiler, enlem (paralel) ve boylam (meridyen) olarak adlandırılmakta olup ve dünyanın geoit şeklinden dolayı çemberler halindedir (Kuşçu, 2011). Yeryüzünde bulunan herhangi bir yerleşmenin, bir bölgenin veya bir nesnenin yer bilgisinin enlem ve boylam bilgileri ile ifade edilmesine konum denilmektedir. Konum belirleme yöntemleri iki bölüme ayrılmaktadır. Bunlar mutlak konum belirleme ve bağıl konum belirleme yöntemleridir. Bir noktanın konumunu diğer bir noktaya göre belirleme olarak nitelendirmeye bağıl konum, konumun tam belirlenmesi işlemi için bir koordinat sisteminin kullanılmasına mutlak konum denilmektedir. Konum belirleme sistemlerine ait şema gösterimi aşağıdaki Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Konum belirleme sistemleri şeması

#### 3.1.1. Bağıl konum belirleme

Bağıl konum belirleme koordinatları belirlenmiş noktanın diğer nokta veya noktaların koordinatlarının belirlenmesi işlemidir. Koordinat bilgisi bilinen sabit A noktası ve koordinatı belirlenecek olan B noktası aşağıdaki Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bağlı konum belirleme

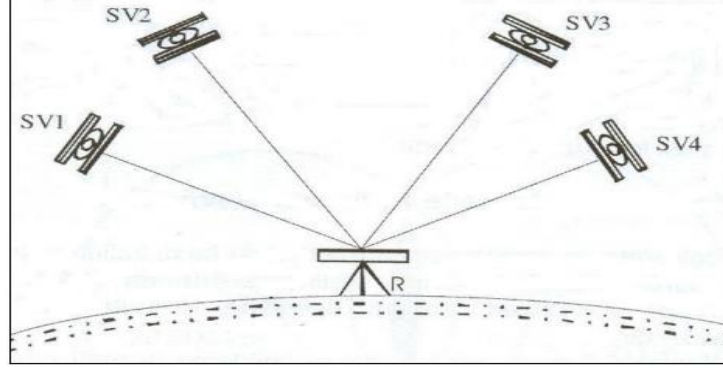
Griepentrog ve ark. yaptıkları çalışmada (Griepentrog ve ark., 2006), bağlı konum belirleme için iki farklı noktada kurulumu sağlanan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemleri yöntemleri kullanılmaktadır. Konum belirleme işlemi için, kod gözlemleri yöntemi ile hızlı ve yeterli düzeyde doğruluk ile konum bilgisi sağlanmaktadır. Fakat kod gözlemleri yöntemi çok daha hassas konum bilgisine ihtiyaç duyan mühendislik gibi alanlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle bu tür alanlarda faz gözlemleri yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Bağlı konum belirleme işleminde 5 yöntem bulunmaktadır ve faz gözlemleri yöntemi kullanarak konum belirleme işlemini gerçekleştirmektedirler. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Statik ölçme yöntemi
- Hızlı statik ölçme yöntemi
- Tekrarlı ölçme yöntemi
- Dur-git ölçme yöntemi
- Kinematik ölçme yöntemi

### 3.1.2. Mutlak konum belirleme

Üç boyutlu koordinatlarının, sadece tek alıcı kullanılarak uydulardan kod gözlemleri yapılması ile direk olarak hesaplanması yöntemine mutlak konum belirleme denir (Şekil 3.3).





Şekil 3.3. Mutlak konum belirleme

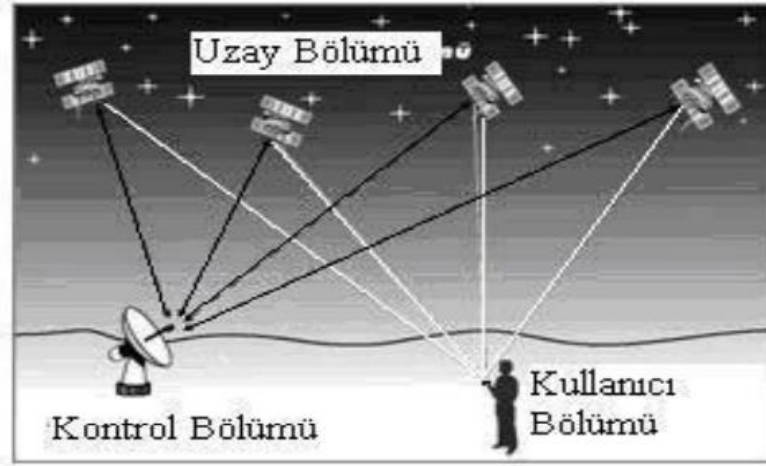
Griepentrog ve ark. yaptıkları çalışmada (Griepentrog ve ark., 2006), bu yöntemin en geniş kullanımına sahip şekli, uzay tabanlı mikrodalga konum belirleme sistemi olan küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS - Global Navigation Satellite System)'dir. GNSS dünyanın yörüngesinde bulunan uyduların buldukları konumlarının birbirleri arasındaki mesafeleri kullanarak konum belirleme işlemini gerçekleştirmektedir. GNSS sistemi yeryüzündeki herhangi bir noktada bulunan bir kullanıcıya sürekli konum, zaman ve hız gibi bilgiler sağlamaktadır. Günümüz teknolojisinde kullanımı bakımından en çok tercih edilen ve geniş bir kullanıcı kitlesine sahip iki sistem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi GPS ve ikincisi ise GLONASS sistemleridir.

## 3.2. Küresel Konum Belirleme Sistemleri

### 3.2.1. GPS (Küresel konum belirleme sistemi)

GPS, dünya üzerinde herhangi bir noktada yer alan herhangi bir kullanıcıya daimî bir şekilde konum hizmeti vermek amacıyla geliştirilen bir konum belirleme sistemidir. Konum belirleme için herhangi bir ücret veya abonelik gerektirmemektedir. Konum bilgileri uydu sistemleri tarafından elde edilmektedir. Konum belirleme amacıyla günümüzde kullanımı devam eden iki uydu sistemi bulunmaktadır. Bunlar ABD tarafından geliştirilen GPS, bir diğeri Rusya'nın geliştirmiş olduğu GLONASS küresel konum belirleme sistemleridir. GLONASS gizli bir sisteme sahip olmasının yanı sıra, sisteme dair çok az bilgi bilindiği için oldukça düşük sayıda kullanıcı tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle dünyanın birçok bölgesinde GPS konum belirleme sistemi kullanılmaktadır (Engene, 2003). ABD tarafından geliştirilen bu sistem, çeşitli hava şartlarında, kullanıcının hızını ve konumunu belirlenmesine imkân sağlayan bir küresel

sistemdir. GPS sistemi; genel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümleridir ve bu bölümlere ait görsel gösterim Şekil 3.4’gösterilmiştir.



Şekil 3.4. GPS sistemi bölümleri

### 3.2.1.1. Uzay bölümü (Uydular)

GPS uzay bölüm başlangıçta 24 uydü için tasarlanmış olmasına rağmen, şu anda 30'dan fazla uydudan oluşmaktadır. Dünya yörüngesinde, bu dünya yüzeyinin yaklaşık 20000 km yükseklikte yörüngede dönmektedir. Hem siviller hem de askeri kullanıcılar için kodlanmış sinyalleri kesintisiz olarak iletmektedirler. Uydular saatte 10.000 km hızla dönmekte ve 11 saat 58 dakikada dünya çevresinde bir tur atmaktadırlar. Bu, dünya etrafında iki kez döndükleri anlamına gelmektedir. Yörüngede, en az altı uydü her zaman dünya yüzeyindeki her yerden görüş alanı içinde olacak şekilde düzenlenmiştir. Genel olarak, her yörüngedeki uydular arasındaki açı farkı  $30^\circ$ ,  $105^\circ$ ,  $120^\circ$  ve  $105^\circ$  olmakta, bu da toplamda  $360^\circ$  ye eşit olmaktadır. (İçen, 2018).

### 3.2.1.2. Kontrol bölümü (Yer istasyonları)

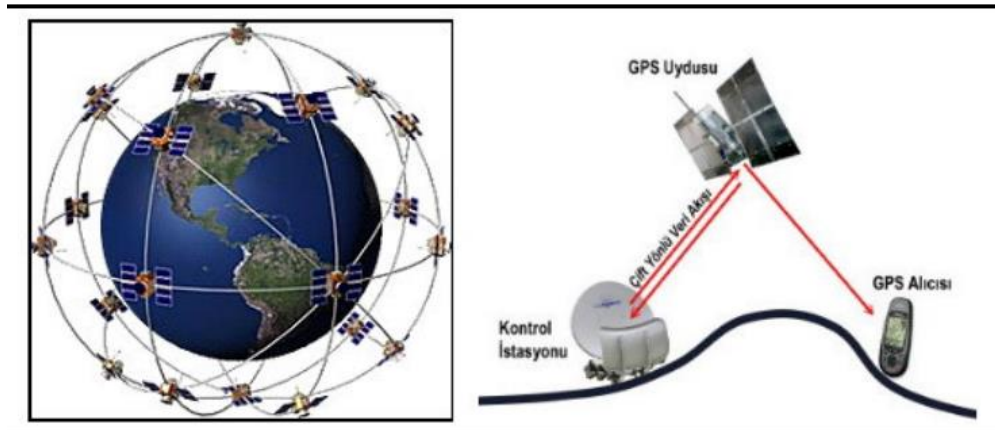
GPS uydularının düzenli bir şekilde çalışmasının sürekli kontrolünü sağlayan yer istasyonlarından oluşmaktadır. Kontrol bölümü bir ana kontrol istasyonu ve 5 adet takip istasyonundan (Ascencion, Hawaii, Colorado Springs, Kwajalein, Diego Garcia) oluşmaktadır. Genel olarak ana kontrol istasyonu, takip istasyonlarından alınan izleme verilerini karşılaştırarak, uyduların yörüngeleri ve saat parametrelerini hesaplamakta ve diğer uydulara mesaj olarak göndermektedir (İçen, 2018).

### 3.2.1.3. Kullanıcı bölümü (GPS alıcısı)

GPS kullanıcı bölümü, bulunduğu konum bilgisini belirlemek isteyen herhangi bir kişi olabilmektedir. GPS alıcılardan oluşmakta, bu alıcılar tasarımına ve uygulamasına bağlı olarak maliyet ve karmaşıklık bakımından büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. GPS alıcıları, yalnızca temel konumlandırma bilgileri sağlayan, görünümdeki tüm uyduları izleyebilen ve çeşitli fonksiyonları gerçekleştiren cihazlardır. Çoğu GPS alıcısı üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, sinyali alan ve bazı durumlarda anti-parazit özelliklerine sahip bir antenler, radyo sinyalinin kullanılabilir bir navigasyon çözümüne dönüştüren bir alıcı-işlemci birimi ve konumlandırma bilgilerini görüntüleyen ve alıcı kontrolü için bir ara yüz sağlayan bir kontrol görüntüleme ünitesidir (İçen, 2018).

### 3.2.1.4. GPS sisteminin çalışma prensibi

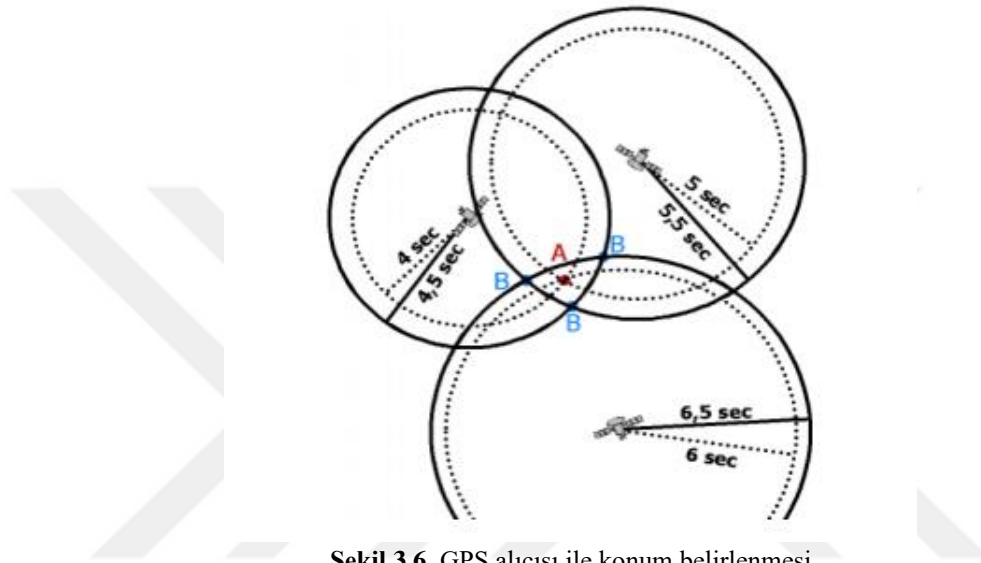
GPS alıcısı ve uydu arasındaki mesafenin hesaplanması sinyallerin geliş süresi ile ışık hızının çarpımıyla elde edilmektedir. Sinyallerin geliş süresinin belirlenmesi işlemi ise uydulardan alınan mesafe bilgileri ile sağlanmaktadır. GPS uydularının yörüngedeki görünüşleri ve bağlantı ilişkilerine ait görsel gösterimi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. a) Yörünge de yer alan GPS uyduları: b) Uydu, yer istasyonu ve GPS alıcısı bağlantı şeması

GPS koordinatın üç boyutlu olarak hesaplanması için en az üç uydudan alınan sinyallerle sağlanmaktadır. En az üç uydudan elde edilen ölçümler ile sinyalin geliş süreleri hesaplanır ve bu hesaplara göre oluşturulan çemberlerin kesişimi kullanıcı konum belirlenir. Ölçümler esnasında oluşabilecek en küçük hata, konum hesaplanmasında

büyük hata mesafelerine sebep olabilmektedir. Örnek olarak sinyalin geliş süresinde 1ms'lik ölçüm hatası, konumda 300 km kadar mesafe hatasına sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple ekstra ölçümlerin yapılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. GPS alıcısı ile ne kadar fazla sayıda uydudan sinyal alınırsa hesaplanacak koordinat bilgisinin önemli ölçüde doğruluğu ve hassasiyeti tutarlı olacaktır (Balcılar, 2010). En az üç uydudan elde edilen ölçümlerle oluşturulan çemberlerin kesişimi ile konum hesaplama işlemi Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. GPS alıcısı ile konum belirlenmesi

### 3.2.2. GLONASS (Küresel uydu navigasyon sistemi)

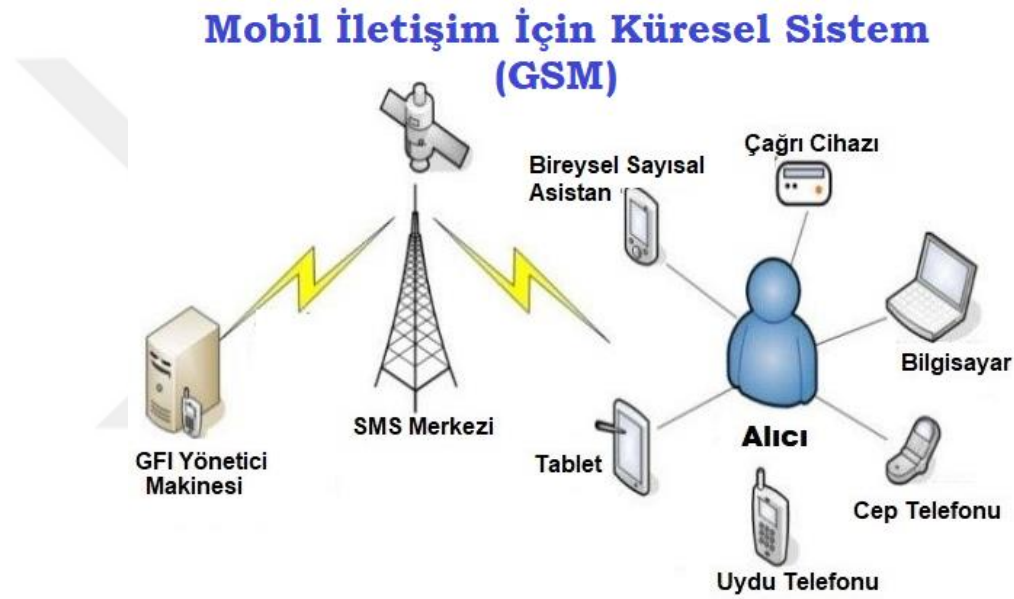
Küresel uydu navigasyonu sistemi anlamına gelen GLONASS, Rusya'nın uzay savunma güçleri komutanlığı tarafından geliştirilen bir sistemdir. Bu sistemin amacı, jet uçakları, roketler vs. gibi yüksek hızlı araçların konum bilgisini sağlamaktır. 1970'li yıllarda başlayan geliştirme çabaları sonunda sistem devreye girmiş ancak 90'lı yıllarda Sovyetler Birliği'nin çöküşü ile bütçe sorunları ortaya çıkmıştır.

GLONASS sistemi üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, dünyanın etrafında eşit mesafelerle yerleştirilmiş uydulardan oluşan uydu ağı, uyduların yörüngelerde doğru noktada durmasını ve uyduların yönetimini sağlayan yer istasyonları ve son olarak yer bilgisini uydulara iletimini sağlayan ve uydulardan geri bildirim olarak kullanıcılara konum belirleme hizmetini ulaştıran alıcı verici sistemleridir. (Şancı, 2015).

## 4. GSM TEKNOLOJİSİ

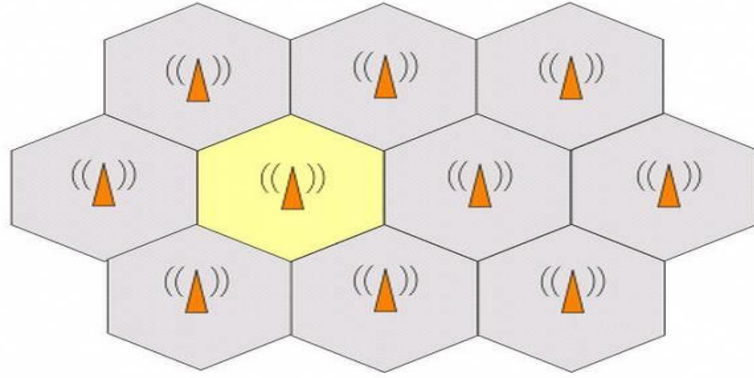
### 4.1. Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (GSM)

Cep telefonu teknolojisinin gelişim sürecinde eski dönemlerde Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi'ne bağlı olarak faaliyet gösteren mobil iletişim özel grubu (Groupe Speciale Mobile) adlı firmanın ismi ile ifade edilen GSM, sonraki dönemde cep telefonlarının dünya geneline yayılması ile mobil iletişim için küresel sistem (GSM-Global System for Mobile Communications) anlamına gelen GSM isimi ile anılmaya başlanmıştır (Can, 2006).



Şekil 4.1. GSM baz istasyonu mimarisi

Hücreli ağ olarak da bilinen bir tür kablosuz iletişim ağı GSM, radyo sinyallerine nazaran çok daha hızlı, oldukça bir geniş alana yayılım göstermiş ve daha düşük güç tüketen cihazlar ile çalışabilen bir cep telefonu iletişim protokolüdür. Geniş bir alanda tek verici ve alıcı kullanarak cep telefonları ile iletişim sağlanması durumunda iletişimi sağlayan cihazın antenine yakın vaziyette bulunanlar, daha uzak durumda olanlara göre daha fazla avantajlı olmaktadır. Bundan dolayı kapsama alanı daha az olan birçok antenin alan genelinde yayılım göstererek kullanılması ile mobil iletişimin sağlanması çok daha verimli olacaktır. GSM ağı da aynı şekilde hücreli ağ modellemesini esas alan baz istasyonları aracılığı ile mobil cihazların iletişiminin kurulmasını sağlamaktadır (Garg ve ark, 2006). Hücreli ağ yapısına ait temsili sistem Şekil 4.2'de yer verilmiştir.



Şekil 4.2. Hücresel ağ yapısı

Dünya geneline bakıldığında kullanılmakta olunan bütün GSM protokolleri hücresel ağ prensibine dayalı bir şekilde çalışmakta ve hareket halinde dahi mobil iletişimin hücreler arasında geçiş yapılması durumunda da iletişimin devam etmesini sağlamaktadır. Böylece GSM teknolojisini kullanarak mobil iletişim gerçekleştiren bir kişi, yalnızca istasyonların kapsama alanı dışına çıkmaması durumunda dünya etrafında dolaşması halinde dahi mobil cihazı ile kesintisiz olarak iletişim kurmaya devam edebilmektedir (Özkuş, 2000).

#### 4.2. GSM Baz İstasyonları

GSM baz istasyonları temel olarak mobil cihazların haberleşmesi için elektromanyetik sinyaller yayan veya alan bir anten ile bir radyo vericisi veya alıcısından oluşmaktadır. Kullanılan bütün mobil cihazlar (cep telefonları vb.) mutlaka bir verici ile iletişim durumunda olmak zorundadır. Vericiler günümüzde teknolojik isim olarak baz istasyonu şeklinde de adlandırılmaktadırlar.

GSM baz istasyonları hücre sistemi şeklinde bal peteği gibi bütün alanlarda dağılmış bir şekilde bulunmaktadırlar (Çetintaş ve ark. 2019). Bir binanın çatısında yer alan GSM baz istasyonlarına ait görsel resim Şekil 4.3’de sunulmuştur.



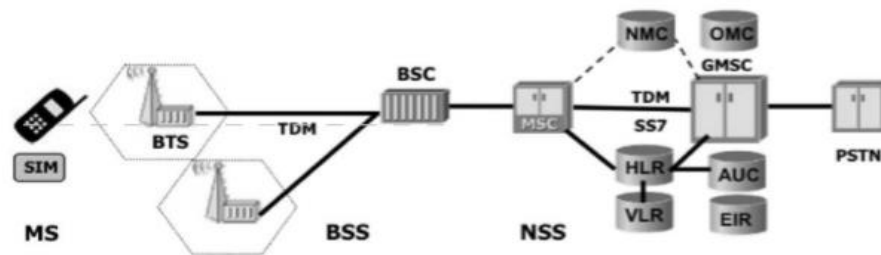


Şekil 4.3. Baz istasyonları

#### 4.2.1. Baz istasyonunun yapısı

GSM ağ sistemi temel olarak 3 temel parçadan oluşmaktadır. Mobil kullanıcılar tarafından kullanılan mobil telefonlar (MS-Mobile Station), mobil telefonlarla sürekli haberleşen, radyo arabirimini kontrol eden ve santral arasındaki bağlantıyı kuran birim olarak adlandırılan baz istasyonları (BS-Base Station) ve mobil telefon ile bir diğer mobil telefona arası bağlantıyı sağlamak amacıyla bağlantının kurulduğu ana birim olan mobil anahtarlama merkezi (MSC-Mobile Switching Centre) birimlerinden oluşmaktadır (Büyüklü, 2006).

Baz istasyonu alt sistemi baz istasyonu kontrolörü (BSC-Base Station Controller) ve baz alıcı-verici istasyonları (BTS-Base Transceiver Stations) olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Bir baz istasyonu birden fazla hücreye servis verebilmektedir. BTS'ler, radyo arabirimini kontrolünü sağlamaktadır. BTS ekipmanları, bir alıcı-verici ünite (transceiver) ve bir antenden oluşmaktadır ve her bir hücreye servis verebilmektedir. BTS'ler BSC'ler tarafından kontrol edilmektedir. BSC'ler, baz istasyonların denetimini sağlamakta, mobil telefonunun görüşme başlatması esnasında süreç kontrolünü gerçekleştirmekte ve sinyalleşme kanallarını denetleme görevini sağlamaktadır (Kayacan ve ark, 2006). Aşağıdaki Şekil 4.4'de hücrel olarak çalışan bir GSM şebekesinin temel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.4. GSM şebekesi genel yapısı

GSM baz istasyonları, sahip olduğu anten yapısının yanı sıra, hizmet ettiği bölge ve konuma göre farklı trafik kapasitelerine, farklı sinyal güçlerine ve farklı üretimlere sahiptirler. Bu durum her baz istasyonunun farklı elektromanyetik sinyal seviyesine sahip olmasına neden olur. Elektromanyetik sinyal seviyesi ölçümünde en önemli olan nokta baz istasyonunun hangi hücrel haberleşme sistemlerini (GSM, CDMA, WCDMA, LTE vb. gibi hücrel teknolojileri) bünyesinde bulundurduğunun frekans seçici olarak tespit edilebilmesidir. Hücrel iletişim sistemleri aynı zamanda kullanılan teknolojinin neslini yani jenerasyonunu (Generation-G) ifade edecek şekilde 2G (GSM, GPRS, EDGE), 3G (CDMA, WCDMA, UMTS, HSPA) ve 4G (LTE, WI-MAX) olarak da adlandırılır.

### 4.3. Mobil İletişim Nesilleri

İlk nesil yani 1G (1<sup>st</sup> Generation), Nippon Telgraf ve Telefon (NTT – Nippon Telegraph and Telephone) tarafından 1980 yılında Tokyo’da ortaya çıkmıştır. 1G, daha az kapasiteye ve analog bir teknolojiye sahip olmalarının sağladığı dezavantajlar sebebiyle, 1990 yıllarında Finlandiya’da GSM teknolojisine dayanan ikinci nesil yani 2G ortaya çıkarak piyasaya sürümü gerçekleşmiştir. 2G’deki radyo sinyalleri dijital olması nedeniyle, 1G’ye göre daha iyi güvenilirlik sunmuş, spektrumun daha iyi ve verimli kullanılmasını sağlamış ve ayrıca metin hizmetlerini de kapsayan birçok avantajı bünyesinde bulundurmıştır. Geliştirilmiş versiyonları arasında, internet erişimine izin veren genel paket radyo servisi (GPRS-General Packet Radio Service) ve GSM evrimi için geliştirilmiş veri hızları (EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution) gibi servisler bulunmaktadır (Ezhilarasan ve ark., 2017).



Şekil 4.5. Mobil iletişim nesilleri



Cep telefon kullanımının artmasıyla ve buna paralel olarak artış gösteren daha fazla kullanıcının internete erişim sağlayabilmeleri için daha hızlı ve daha sağlam internet bağlantısı gerekmektedir. Bu tür ihtiyaçlar doğrultusunda üçüncü nesil yani 3G teknolojisi ortaya çıkmıştır. 3G teknolojisinde, kod bölmeli çoklu erişim (CDMA-Code Division Multiple Access) ve geniş bant kod bölmeli çoklu erişim (WCDMA-Wideband Code division multiple access) gibi hücrel teknolojiler bulunmaktaydı. 3G teknolojisinin 2G sistemleriyle geriye dönük olarak uyumlu olması da 3G sistemine ayrı bir avantaj sağlamaktaydı.

Dördüncü nesil yani 4G iletişim sistemi ilk kez 2010 yılında Finlandiya'da tanıtıma çıkmıştır. 4G sisteminde dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) teknolojisi kullanılmaktadır. Çevrimiçi oyun, yüksek tanımlı video akışı ve interaktif TV gibi çok yüksek hız gerektiren uygulamaların kullanılması için 4G iletişim sistemi internet hızı 100 Mbps'ye kadar ulaşabilmektedir. Mobil iletişim nesillerine ait teknik özellikleri içeren bilgiler aşağıda Tablo 4.1'de sunulmuştur.

**Tablo 4.1.** Mobil iletişim nesillerine ait teknik özellikler

Nesil	Teknoloji	Çalışma Frekansı (MHz)	Band Genişliği (KHz)
1G	TACS	450, 800, 900	25-30
2G	GSM	450, 800, 900, 1800,1900	200-1250
	GPRS		
	EDGE		
3G	CDMA	1800-2000	1250-5000
	WCDMA		
	HSPA		
4G	LTE	2000-8000	5000-20000
	WI-MAX		

#### 4.3.1. Mobil iletişim ikinci nesil - 2G

İkinci nesil yani 2G teknolojisi, GSM teknolojisine dayanmaktadır. 2G sisteminde TDMA (Time Division Multiple Access - Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) sistemlerinin kombinasyonu kullanılmıştır. Bu nedenle, daha fazla kullanıcının belirli bir frekans bandında aynı anda bağlantı kurabilmesi sağlanmaktaydı. Belirli bir frekans aralığı zaman aralıklarına bölünmektedir ve böylece birden fazla kullanıcı belirli bir frekans aralığı kullanabilmektedir. GSM sistemi 900MHz bandında 25 MHz frekans spektrumu kullanmaktadır. Temel 2G ağında 14.4 Kbps civarında bir hız elde edilmektedir (Kumaravel, 2011).

Hava ara yüzü üzerinden veri gönderme ihtiyacı artması ile GPRS sistemi mevcut GSM şebekesi ile birlikte kullanılmaya başlandı. Bu durum optimum hızı 150 Kbps seviyesine kadar artırmıştır. Veri hızını arttırmaya ihtiyaç duyulduğunda, veri hız miktarını dört kat arttıran EDGE sistemi piyasaya sürülmüştür. EDGE ayrıca 2.5G olarak da kabul edilmektedir.

#### 4.3.2. Mobil iletişim üçüncü nesil - 3G

3G sistemi CDMA ve WCDMA gibi hücreli teknolojileri kullanmaktadır. CDMA, iletişim esnasında kanalı kullanan her kullanıcıya benzersiz özel bir kod atanmasını sağlayan bir tekniğe sahip bir sistemdir. Benzersiz özel bir kod atandıktan sonra, içinde tamamen mevcut olan bant genişliği verimli bir şekilde kullanılır. Bu nedenle çok sayıda kullanıcı kanalı TDMA ve FDMA sistemine kıyasla aynı anda kullanılması mümkün olmaktadır.

3G, 15 MHz ila 20 MHz frekans spektrumunu kullanmaktadır ve 3G için frekans bandı 1800 MHz ila 2500 MHz arasındadır. Temel bir 3G sisteminde maksimum 2 Mbps hıza ulaşabilmektedir. WCDMA, evrensel mobil telekomünikasyon sistemi (UMTS-Universal Mobile Telecommunication System) olarak da bilinmektedir ve CDMA sistemine kıyasla daha fazla sayıda kullanıcının yerleştirilebileceği daha büyük hız frekansı kullanmaktadır. 3G sistemlerinde kullanılan çekirdek ağ, devre anahtarlama ve paket anahtarlamanın bir kombinasyonu konumundadır (Shukla ve ark., 2013).

Veri hızını daha da artırmak için yüksek hızlı paket erişimi (HSPA-High Speed Packet Access) ve HSPA + sistemi ortaya çıkmıştır. HSPA + ağları geniş bant hızlarında çalışacak şekilde yükseltilebilir. Böylece veri hızları 42 Mbps seviyesine kadar çıkarılabilmektedir. HSPA ve HSPA +, sırasıyla 3.5G ve 3.75G olarak da kabul edilebilir (Sauter, 2009).

#### **4.3.3. Mobil iletişim dördüncü nesil - 4G**

Dördüncü nesil yani 4G sistemi uzun süreli evrim (LTE - Long Term Evolution) teknolojisi olarak adlandırılmaktadır. LTE, GSM / EDGE ve UMTS / HSPA teknolojilerine dayanan 4G mobil iletişim standardıdır. LTE, çok bölmeli CDMA veya OFDM teknolojilerini kullanmaktadır. OFDM sisteminde, yüksek veri hızının modülasyon akışı bölünmekte ve sonra yavaş yavaş modülasyonu sağlanmış dar bant kapalı aralıklı alt taşıyıcılara yerleştirilmektedir (Romero, 2013).

4G'de kullanılan frekans bandı 2000 MHz ila 8000 MHz arasındadır ve 5 MHz ila 20 MHz frekans spektrumunu kullanmaktadır. LTE sistemlerinde maksimum 100 Mbps aşağı bağlantı hızı ve 50 Mbps civarında yukarı bağlantı hızı elde edilmektedir. LTE sistemlerinde kullanılan bu kadar yüksek bir veri hızı nedeniyle, çevrimiçi oyun, yüksek çözünürlüklü video canlı akışı, IP üzerinden ses gibi yüksek bant genişliğini gerektiren uygulamaları destekleyebilmektedirler. 4G'de kullanılan çekirdek ağ türü internet protokolü (IP-Internet Protocol) tabanlı bir sistemdir. 4G ağı çok düşük gecikmelere sahip olmasının yanı sıra, daha geniş bir kanala da sahiptir. 4G sistemler için, LTE'de desteklenen bant genişliklerinden çok daha fazlasına ihtiyaç duyulduğunda ve tanımlanan gereksinimleri karşılayabilmesi açısından taşıyıcı frekansların toplanarak 100 MHz seviyesine kadar taşıyıcı toplaması gibi özelliklerine de sahiptir (Sauter, 2009).

## 5. GSM BAZLI KONUM BELİRLEME TEKNİKLERİ

GSM lokalizasyonu için bazı çözüm önerileri bulunmaktadır. Bu çözümler, radyo sinyallerinin farklı özelliklerini kullanmaktadır. Radyo dalgası zayıflaması ilkelerini kullanan RSSI (Receiver Signal Strength Indicator - Alınan Sinyal Gücü Göstergesi), sinyal yayılımını kullanan ToA (Time of Arrival - Varış Zamanı) ve TDoA (Time Difference of Arrival - Varış Zamanı Farkı) veya sinyal alma açısı özelliğini kullanan AoA (Angle of Arrival - Varış Açısı) gibi çözüm önerileri örnek olarak gösterilir. (Gezici ve Poor, 2009). Mobil cihaz, baz istasyonu ve yardımcı ekipmanlar arasındaki bağlantı görüntüsü Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. GSM Bazlı konum belirleme

GSM bazlı konum lokalizasyonu için evrensel bir standart bulunmamasına rağmen, varış zamanı, zaman farkı ve konum tespiti için yardımcı GPS yaklaşımları standartlaştırmaya dâhil edilmiştir (Rappaport, 2002). U-TDoA (Up-Link Time Difference of Arrival – Yukarı Bağlantı Varış Zaman Farkı) yöntemi, GSM ve UMTS Şebekesinin resmi geliştirme ve standartlaştırma girişimi olan üçüncü nesil ortaklık projesi (3GPP- 3<sup>st</sup> Generation Partnership Project) tarafından resmi olarak standartlaştırılmıştır. Bu bölümde konum belirleme teknikleri incelenmiştir.

### 5.1. Hücre Kimliği Yöntemi (Cell-ID)

Mobil istasyon, abone donanım verisi olan terminal ekipmanı ve SIM karttan oluşmaktadır. Hücre kimliği, bir GSM şebekesi için en temel konumlandırma mekanizmasıdır (Seybold, 2005).

Uluslararası telekomünikasyon birliği (ITU- International Telecommunication Union)'ne göre, tüm GSM şebekelerinin hücre kimlik numarası (Cell-id), konum alan kodu (LAC-Location Area Code), mobil şebeke kodu (MNC-Mobile Network Code) ve mobil ülke kodu (MCC-Mobile Country Code) gibi bilgilere sahip olması gerekmektedir. ITU, her ülkeye bir MCC ve her ülke için bir MNC atamaktadır. MNC, her bir hücresel şebeke operatörüne benzersiz bir şekilde atanmaktadır. Ek olarak, her cep telefonu operatörü, ağları için LAC tasarlamalı ve her sektör hücresine sayısal bir cell-id tanımlamadan sorumlu olmalıdır. (Meneses ve Moreira, 2006). Herhangi bir zamanda herhangi bir mobil terminal ağa bağlandığında, bu sektör hücrelerinden biri ile ilişkilendirilmektedir. Bu konumlandırma bilgisi, hücre tanımlamasına dayanmaktadır. GSM operatörleri, hücre kimliği numaralarını bir haritadaki mutlak konum belirleme noktalarına çevirebilir. Hücre merkezi ve yarıçapı koordinatları dikkate alınarak, lokalizasyon gerçekleştirilebilmektedir.

### **5.2. TA (Timing Advance - Zamanlama İlerlemesi) Yöntemi**

BCCH tarafından iletilen zamanlama ilerlemesi (TA) bilgileri, iletilen bir sinyalin yayılma gecikmesine karşılık gelmektedir (Bajada, 2003). TA yöntemi, mobil istasyon, terminal ekipmanı ve abone verilerinin bir kombinasyonudur. TA, zaman tarafına yalnızca taşıyıcılardan erişim nedeniyle ağ tarafına dayalı artırılmamış bir ölçüm verisidir. TA verileri, aşağı bağlantı çerçevesinin başlangıcındaki alım zamanının karşılık gelen yukarı bağlantı çerçevesinin başlangıcındaki alım zamanından çıkarılmasıyla ölçülebilir (Küpper, 2005). Böylece, 0'dan 63'e kadar ifade edilen TA değerleri elde edilmiştir. Her bir değer, 550 metrelik adımlarla BTS'den 35 km'ye kadar olan mesafeyi belirlemektedir. Mobil istasyondan gelen verilerler tam zamanında BTS'ye ulaşmaktadır.

### **5.3. Alınan Sinyal Seviyesi ile Yerelleştirme Tekniği**

Mobil istasyon, terminal ekipmanı ve abone verilerinin bir kombinasyonudur. RxLev (Alınan Sinyal Seviyesi), bir ağdan mobil istasyon tarafından alınan yayın kontrol kanalının (BCCH-Broadcast Control Channel) gücünü göstermektedir. (Gezici ve Poor, 2009) (Klozar, 2011). RxLev, bir dBm değer aralığına karşılık gelen 0 ila 63 arasında bir sayıdır. 0, en zayıf sinyali ve 63 en güçlü sinyali temsil etmektedir. RxLev

değeri, uzunluk ve yayılma yoluna bağlıdır. Serbest uzay yolu kaybı ( $L_{fs}$ ) aşağıda verilen denklem 5.1’ de gösterilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$Pl_{fs} = \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad (5.1.)$$

Burada  $d$  [m] yayılma mesafesini,  $f$  [Hz] sinyal frekansını,  $c$  de ışığın hızını ifade etmektedir ( $3 \cdot 10^8$  m/s). Yayılma ortamının karakteri yol kayıplarını etkilemektedir. Bu nedenle uygulanabilir bir yayılma modeli kullanmak zorunlu hale gelmektedir (Parsons, 2000).

#### 5.4. AoA (Varış Açısı) Yöntemi

Bu yöntem açılı ölçümleri ile ilgili olan açılanmaların tekniğinde kullanılmaktadır. (Rappaport, 2002). Bu yerleştirme yönteminin bir avantajı, şehir dışında yararlı olabilecek bir kavşak bulmak için en az iki BTS gerektirmektedir. Başlıca dezavantaj, AoA yönteminin, her bölgeye gelen sinyal açısını ölçmek için aktif antenlerin açılmasını gerektirmesidir. Her BTS, özel donanımlı akıllı antenler içeren bir dizi antenle geliştirilmelidir. Ancak, akıllı antenler fiyatları nedeniyle piyasada yaygın olarak kullanılmamaktadır. AoA denklemi:

$$AOA_{TR} = \tan^{-1} \frac{(x_T - x_R)_E}{(x_T - x_R)_N} \quad (5.2.)$$

Burada verilen  $x_T$  birinci baz istasyonu sinyalinin varış açısını ve  $x_R$  ise ikinci baz istasyonu sinyalinin varış açısını ifade etmektedir.

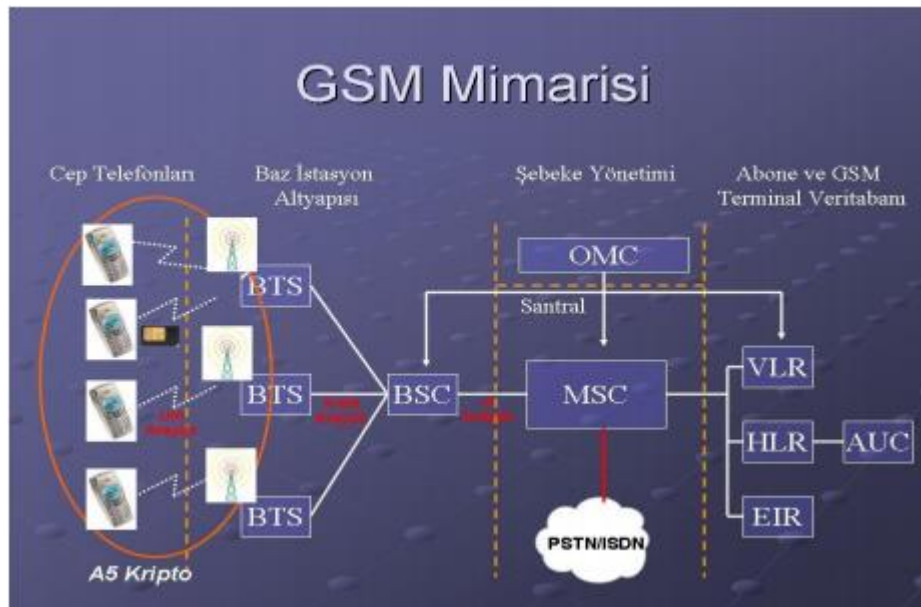
#### 5.5. ToA (Varış Zamanlaması) Yöntemi

ToA tekniği, vericiden alıcıya sinyal hareket süresini kullanmaktadır. En az üç BTS bilgisi sahip olması gerekmektedir (Klozar, 2011). Üç farklı BTS’den gelen mesafeler bilindiğinde, konum üç dairenin kesişme noktasında bulunabilmektedir. Çevrelerin yarıçapları hesaplanan mesafe olarak oluşturulmaktadır.

Sinyalin MS ile BTS arasındaki zaman harcadığı zaman konum ölçüm birimi (LMU-Location Measurement Unit) tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemde en önemli şey LMU'larda saatin kesinlik bilgisidir. Bir mikrosaniye zamanlama hatası, pozisyonda 300 m hataya neden olmaktadır. Tüm LMU'lar, saatleri senkronize etmek için atomik GPS zamanına sahiptirler. Bu yerleştirme yönteminin ağda kapsamlı değişikliklere ihtiyacı bulunmaktadır. Zamanı ölçmek için her bir BTS'nin GPS donanımlı LMU olması gerekmektedir (ETSI spec, 2012).

### 5.6. GSM Pozisyon Ölçme Yöntemleri

GSM sinyal kanalındaki bazı parametreler konum güncellemesi hücre değişikliği veya çağrı sırasında, sürekli olarak çift yönlü mobil cihazı operatöre aktarmaktadır. Ölçüm raporuna göre, cep telefonu etrafındaki en güçlü hücreyi seçmekte ve hücre seçme parametresi sürekli olarak değişmektedir. Bu test aşaması ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number – Mutlak Radyo Frekansı Kanal Numarası), RAC (Routing Area Code – Yönlendirme Alan Kodu), LAC, MNC, MCC, RSSI, BAND, Rx-Duyarlılığı ve bit hata oranı (BER-Bit Error Rate) gibi parametreleri içermektedir. GSM mimarisinin genel gösterim şemasına Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. GSM Mimarisi

Konum belirleme işlemi için gerekli bilgiler mobil donanım ve mobil ağ sinyalleri gibi verilerden oluşmaktadır. Bu işlemler şu adımlarla devam etmektedir. Cep telefonu ilk açıldığında, şebekeye kayıt olmakta ve ağ sisteminin bir parçası haline

gelmektedir. Ağıdaki her cep telefonu yayın kontrol kanallarına (BCCH) bağlıdır. Her bir BTS bu temel bilgileri yayınlamaktadır. BCCH sürekli olarak BTS'den mobil ekipmana bilgi göndermektedir. Bir bekleme modunda bir mobil ekipman ilk önce ağıda en güçlü hücreyi alan kanalı aramakta, ardından en güçlü hücre ile bağlantı kurmakta ve yakındaki olası başka bir hücre ile eşzamanlı bir hale gelmektedir. (Aatique, 1997).

Mobil ekipman, güçlü bir güç ölçümü varsa diğer yayın kanallarını izlemeye devam etmektedir; daha sonra, diğer BTS BCCH kanalına bağlanacaktır. Bu süreç düzenli devir işleminin bir parçasıdır. Mobil ekipman devir işlemi sırasında düzenli olarak güç raporu testine devam etmektedir. Böylece, her mobil cihaz böyle bir bilgiye sahip olacaktır. Sonuç olarak, lokasyon mobil olarak hesaplanabilir duruma gelecektir.

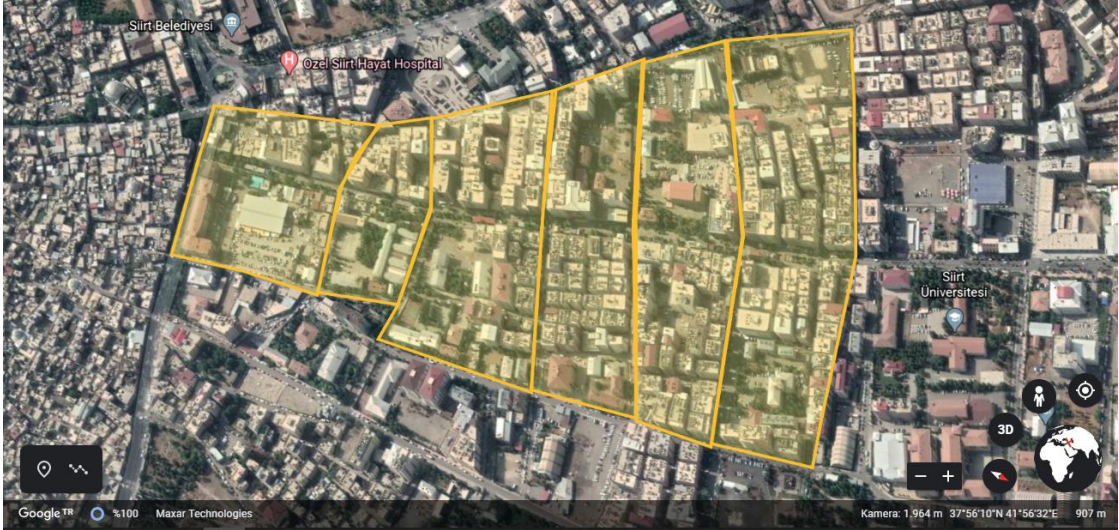


## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu çalışmada elde ettiğimiz verilerin Matlab simülasyon ortamında oluşturulan ağırlıklı yapay sinir ağları (YSA) metotlarından aşırı öğrenme makinesi (ELM), genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN) ve k-en yakın komşuluk algoritması (kNN) ile eğitilmesi sağlanarak sadece anlık GSM sinyal ölçümleri kullanarak gerçek konum tahmini yapması sağlanmıştır. Konum belirleme için kullanılan veri kümesinin oluşturulması, ELM, GRNN ve kNN yöntemlerinin uygulanmasına ilişkin bilgiler alt bölümlerde açıklanmıştır.

### 6.1. Veri Kümesi (Dataset)

Bu çalışmada kullanılan veriler Siirt il merkezinde yer alan belirli bir bölgedeki açık alanlardan ve kapalı alanlardan (okullar, camiler, avm'ler, binalar, işletmeler vb.) Android Studio ortamında geliştirdiğimiz kullanıcı ve erişimi kolay mobil bir uygulama vasıtasıyla elde edilen sinyal ölçüm kayıt verilerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan verilerin toplanması işleminin gerçekleştirildiği açık alanlara ve kapalı alanlara ilişkin Google Earth uygulamasındaki çizimi aşağıdaki Şekil 6.1'de yer verilmiştir.



Şekil 6.1. Veri toplama işleminin gerçekleştiği alana ilişkin Google Earth çıkışı

Bu veri setinde Tablo 6.1'de verilen, kullanılan GSM şebekesine ait ölçümlenebilen farklı GSM baz istasyonları gerçek sinyal seviyeleri (RSSI1, RSSI2, RSSI3), bağlı olunan (yani o anda hizmet veren) GSM baz istasyonu enlem ve boylam bilgileri (serving cell lat. & long.) ve mobil kullanıcının GPS ile edilen gerçek konumuna

ait enlem ve boylam bilgileri (user location's lat. & long.) anlık olarak belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir. Yeterli sayıdaki lokasyondan elde edilen ölçümler uygun bir formda düzenlenmiş ve böylece veri seti simülasyon ortamında kullanılabilir bir hale getirilmiştir. Tablo 6.1'de veri setinin içeriğinde bulundurduğu bilgiler yer almaktadır.

**Tablo 6.1.** Veri setinin içeriği

RSSI1	1. baz istasyonu sinyal gücü
RSSI2	2. baz istasyonu sinyal gücü
RSSI3	3. baz istasyonu sinyal gücü
Serving cell latitude	Baz istasyonu enlem bilgisi
Serving cell longitude	Baz istasyonu boylam bilgisi
User location's latitude	Mobil kullanıcı enlem bilgisi
User location's longitude	Mobil kullanıcı boylam bilgisi

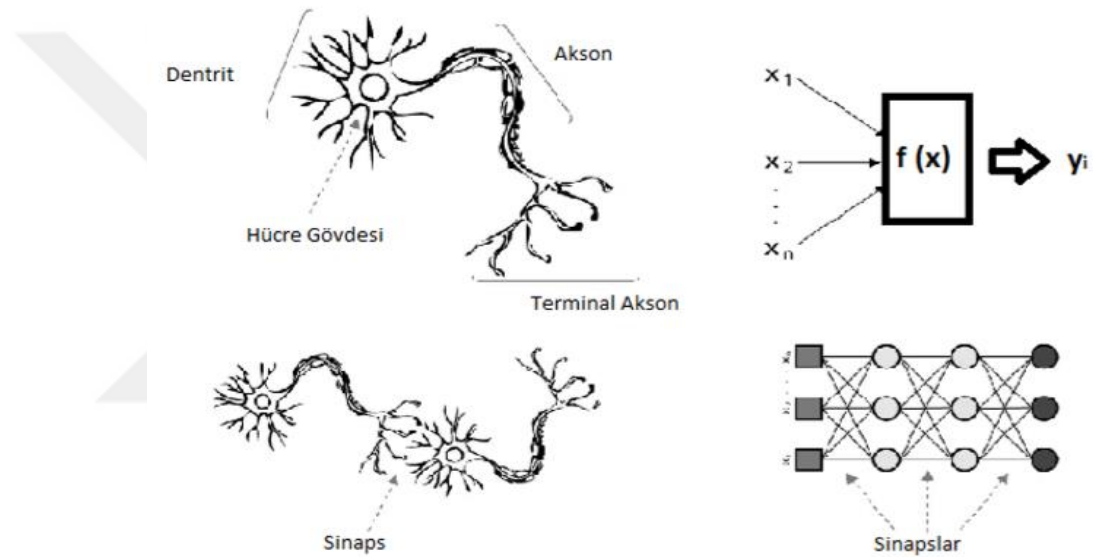
Bölgenin farklı noktalarından elde edilen verilerle bina içi ve bina dışı olmak üzere iki temel veri setinin yanı sıra, bu iki veri setinin harmanlanarak birleştirilmesi ve tek bir parça haline getirilmesiyle üçüncü bir veri seti oluşturulmuştur. Bina içi veri seti için toplamda 4 gün ve bina dışı veri seti için ise toplamda 2 gün veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bina içi veri seti 1203 veriden, bina dışı veri seti 837 veriden ve tüm alanlar veri seti ise 2040 veriden oluşmaktadır. Önerilen algoritmanın giriş verisi olarak GSM baz istasyonları sinyal değerleri ile baz istasyon kulelerinin koordinatları ve çıkış verisi olarak mobil kullanıcının gerçek konum koordinatları kullanılmıştır. Tablo 6.2'de kullanılan veri setinin örnek bir bölümü yer almaktadır.

**Tablo 6.2.** Kullanılan veri setinin örnek bir bölümü

Veri Sayısı	RSSI1	RSSI2	RSSI3	Serving Cell Latitude	Serving Cell Longitude	User Location's Latitude	User Location's Longitude
1	-94	-102	-102	37.9362619	41.9339838	37.93444416	41.94037064
2	-90	-103	-104	37.9362619	41.9339838	37.93438009	41.94037293
3	-92	-101	-102	37.9333024	41.9348472	37.93426857	41.94035169
4	-94	-99	-103	37.9333024	41.9348472	37.93428212	41.94035159
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
2038	-102	-98	-105	37.9324745	41.9422683	37.93430771	41.94339912
2039	-70	-83	-84	37.9351614	41.9419484	37.93448996	41.94061816
2040	-72	-81	-83	37.9351614	41.9419484	37.93437705	41.94047073

## 6.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA- Artificial neural networks), insan beyninin öğrenme yolunu taklit ederek beynin öğrenme ile topladığı verilerden yeni veri oluşturma gibi işlemlerin gerçekleştirildiği bilgisayar yazılımlarıdır (Şekil 6.2). Yapay sinir ağları, veri setinde bulunan örüntüleri ortaya çıkarabilmekte ve başarılı bir genelleştirme yapabilmektedir. Giriş ve çıkış değerleri arasındaki bağlantıların sahip olduğu eşik ve ağırlık değerlerini değiştirmesiyle, veri setindeki örüntüyü ortaya çıkarabilmektedir (Huang ve ark., 2008).



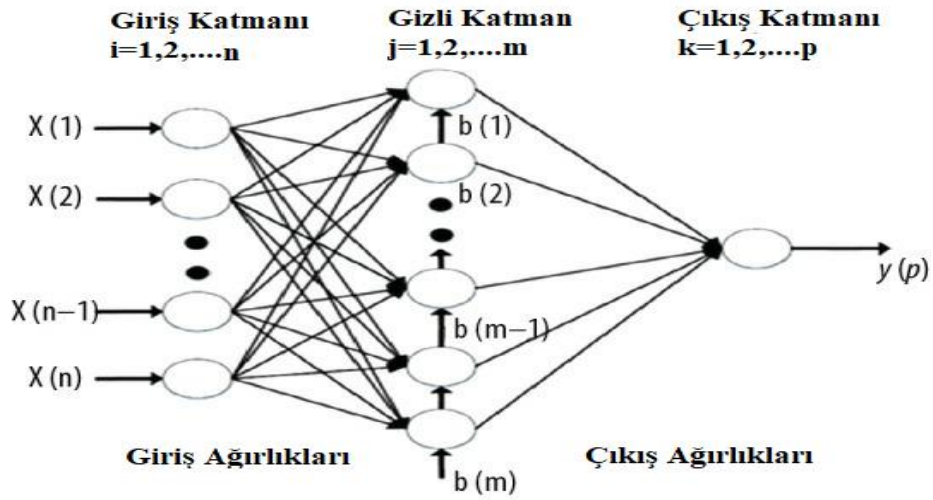
Şekil 6.2. Sinir hücresi ve yapay sinir ağı (Matarollo, 2013).

YSA modeli, giriş katmanı, çıkış katmanı ve gizli katman olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. YSA modelinde birden fazla gizli katman kullanılabilir. YSA modelinde, giriş katmanında kullanılan değişken sayısı kadar nöron ve çıkış katmanında kullanılan çıkış sayısı kadar nöron yer almaktadır. Ancak gizli katmanda bulunması gereken nöron sayısına ilişkin belirlenmiş herhangi bir kural bulunmamaktadır. Katmalardaki her nöron kendinden önceki katmandaki nöronların çıkış değerini giriş değeri olarak kullanmaktadır. Böylece ara katmanda ve çıktı katmanda bulunan nöronlar kullanılan bir aktivasyon fonksiyonuna göre gelen sinyalleri işlemesini gerçekleştirip ve bir sonraki katmana iletilmesini sağlamaktadır. Kullanılan ara katmanı ve ara katmanında yeterli sayıda nöron bulunduran bir YSA modeli her çeşit doğrusal olmayan fonksiyonu modellemesini gerçekleştirebilmektedir (Fausett, 1994).

Aktivasyon fonksiyonları YSA modellenin çıkışını şekillendirmek üzere kullanılan fonksiyonlardır (Haykin, 2005). Herhangi bir problemin çözümü için en uygun aktivasyon fonksiyonunun seçilmesi gerekmektedir.

### 6.2.1. Aşırı öğrenme makineleri (ELM-extreme learning machine)

ELM sadece tek gizli katmanı bulunan ileri beslemeli YSA'ların eğitiminde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir (Huang ve ark, 2006). Yapay sinir ağının ileri beslemeli tek gizli katmanlı genel şeması Şekil 6.3'de yer verilmiştir.



Şekil 6.3. İleri beslemeli bir gizli katmana sahip yapay sinir ağı modeli

Şekil 6.3'de verilen yapay sinir ağına ait çıkış denklemi:

$$Y(p) = \sum_{j=1}^m \beta_{j,k} g\left(\sum_{i=1}^n w_{i,j} x_i + b_j\right) \quad (6.1)$$

ile hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Burada  $x_{1...n}$  giriş vektörlerini,  $y_{1...p}$  çıkış vektörlerini,  $\beta_{1...m}$  çıkış katmanı ağırlıklarını,  $W_{1...n,1...m}$  giriş katmanı ve gizli katman arasındaki bağlantı ağırlık değerini,  $b_{1...m}$  eşik değişkenlerini ve  $g(.)$  aktivasyonunu belirtmektedir (Ertuğrul ve ark, 2014).

YSA'nın başarılı bir şekilde öğrenimini gerçekleştirebilmesi için verilecek ağırlıkların, transfer fonksiyonu ve eşik değerleri modellenecek sistemin yapısına en

uygun parametrelerin seçiminin yapılması ile gerçekleştirilir. Gradyan temelli yaklaşımlarda eğitim esnasında oluşacak hatayı en düşük seviyeye indirmek için verilen ağırlık değerleri ve eşik değerlerinin en uygun değerlerini sağlayan parametre elde edilinceye kadar değiştirilme işlemi devam eder. Buda eğitimin hata oranının yüksek değerlere çıkmasına sebep olmaktadır.

ELM yönteminde giriş katmanındaki ağırlıklar ile eşik değerleri rastgele verilmekte, buna bağlı olarak çıkıştaki ağırlık değerleri hesaplanmaktadır (Kaya, 2013).  $n$  adet girdi nöronu,  $m$  adet gizli katman nöronu bulunan bir yapay sinir ağı giriş katmanı ağırlık değerleri  $(W_{i,j})$  ve eşik değerleri  $(b_j)$  rastgele belirleme işlemi gerçekleştiğinde, atanmış olup türevlenemeyen ya da kesikli aktivasyon fonksiyonları da ek olarak rastgele bir transfer fonksiyonu  $(g(\cdot))$  için çıkış katmanının giriş denklemi:

$$H = \begin{bmatrix} g(w_{1,1}x_1 + b_1) \dots g(w_{1,m}x_m + b_m) \\ g(w_{n,1}x_1 + b_1) \dots g(w_{n,m}x_m + b_m) \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

olarak bulunur. Böylelikle elde edilen çıkış denklemi:

$$y = H\beta \quad (6.3)$$

olmaktadır.  $H$  Matrisinin ters matrisinin hesaplanma işlemi genelleştirilmiş Moore-Penrose matrisi ile gerçekleştirilir. Bunun sebebi olarak, eğitim kümesi gözlem sayısı ile özellik sayısı düşük seviyede bir olasılıkla birbirine eşit olması kabul edilebilir. Böylece çıkış ağırlıkları  $(\beta)$ :

$$\beta = H^\dagger y \quad (6.4)$$

olarak hesaplanır. Denklem 6.4'de yer alan  $H^\dagger$ , genelleştirilmiş ters Moore-Penrose matrisi ile hesaplanmış  $H$  matrisini ve  $\beta$  çıkış katmanı ağırlıklarını belirtmektedir (Huang ve ark, 2012).

### 6.2.2. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN-generalized regression neural network)

Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN) denetimli bir ileri beslemeli sinir ağı (FFNN-Feedforward Neural Network) türüdür ve en popüler sinir ağlarından biridir. Donald F. Specht tarafından ilk olarak 1991’de tanıtılmıştır. GRNN ağlarının eğitimleri çok hızlıdır, çünkü verilerin çoğu kabul edilebilir bir hata bulununcaya kadar birçok kez ileri ve geri yayılabilen diğer ağların aksine, verilerin yalnızca bir kez ileriye doğru ilerlemesi gerekmektedir (Çelikoğlu ve ark, 2007). GRNN ağı, bir serideki eksik verilerin hesaplanabilmesi için geliştirilen bir matematiksel yöntem olan enterpolasyon problemleri üzerinde iyi çalışmaktadırlar. GRNN ağı, standart regresyon tekniklerinde olduğu gibi sürekli değişkenlerin tahmininde kullanılırlar. Fonksiyon tahminini doğrudan eğitim verilerinden alarak, giriş ve çıkış vektörleri arasındaki herhangi fonksiyona yaklaşmaktadır. Buna ek olarak eğitim seti büyüklüğü arttıkça, tahmin hatasının sıfıra yaklaştığı, ancak fonksiyon üzerinde yalnızca hafif kısıtlamalar bulunduğu için tutar göstermektedir (Cıgızoğlu ve ark, 2005).

Bir GRNN giriş katmanı, desen (pattern) katmanı, toplama katmanı ve çıkış katmanı olmak üzere dört katmandan oluşur. Giriş katındaki giriş birimlerinin sayısı, gözlem parametrelerinin toplam sayısına bağlıdır. İlk katman, desen katmanına bağlanır ve bu katmandaki her bir nöron, bir eğitim deseni ve çıktısı sunar. Desen katmanı toplama katmanına bağlanır. Toplama katmanı, tek bir bölme birimi ve toplama birimi olan iki farklı toplama türüne sahiptir. Toplama ve çıktı katmanı birlikte çıktı kümesinin normalleşmesini gerçekleştirir.

Ağın eğitiminde gizli ve çıktı katmanlarında radyal bazlı ve doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılır (Kim ve ark, 2004). Her bir desen katmanı birimi, toplama katmanındaki iki nörona, S ve D toplama nöronuna bağlanır. S toplamı nöronu, desen katmanının ağırlıklı tepkilerinin toplamını hesaplar. Öte yandan, D toplamı nöronu, desenin nöronlarının ağırlıklı olmayan çıktılarını hesaplamak için kullanılır. Çıkış katmanı, sadece her bir S toplama nöronunun çıkışını, her bir D toplama nöronunun çıkışına bölerek,  $y_{0i}$  için öngörülen değeri olarak bilinmeyen bir giriş vektörü olan  $x$ 'i vermektedir;

$$Y'_i = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \exp - D(x, x_i)}{\sum_{i=1}^n \exp - D(x, x_i)} \quad (6.5)$$

$$D(x, x_i) = \sum_{k=1}^m \left( \frac{x_i - x_{ik}}{\sigma} \right)^2 \quad (6.6)$$

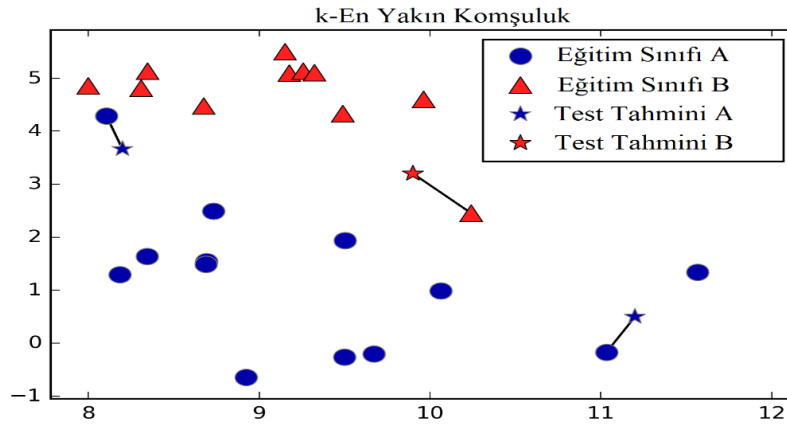
$Y'_i$ , desen katmanındaki nöron ile S toplamı nöronu arasındaki ağırlık bağlantısıdır.  $n$ , eğitim modellerinin sayısıdır,  $D$ , Gauss fonksiyonudur,  $m$ , bir giriş vektörünün elementlerinin sayısıdır,  $x_k$  ve  $x_{ik}$ , sırasıyla  $x$  ve  $x_i$  değerinin  $i$ 'ninci elemanıdır ve  $\sigma$ , en uygun değeri deneysel olarak belirlenen yayılım parametresidir (Jang ve ark, 1997).

### 6.2.3. k-En yakın komşuluk (kNN-k nearest neighbours)

kNN yöntemi, örnek tabanlı öğrenme algoritmasıdır. Bu tip algoritmalar, eğitim setinde yer alan verilere göre öğrenme işlemini gerçekleştirir. Yeni bir verinin sınıflandırılması, eğitim setinde bulunan veriler arasındaki benzerliğe göre yapılmaktadır (Mitchell, 1997). kNN yönteminde, eğitim setindeki veriler sayısal özelliklerle kaydedilmektedir. Her bir veri  $m$  boyutlu alanda bir noktayı ifade etmekte ve eğitim setinde bulunan verilerin tamamı  $m$  boyutlu bir veri alanında yer almaktadır. Yeni bir veri ile karşılaştırılması durumunda, eğitim setindeki verilerden yeni veri ile benzerlik gösteren  $k$  adet verinin belirlenmesiyle yeni verinin sınıfının belirlenme işlemi gerçekleştirilir. (Han ve ark, 2006).

kNN yönteminin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi veriler arası mesafenin ne şekilde hesaplanacağıdır. Hesaplama işlemi, Öklid uzaklığı veya diğer bir mesafe ölçme yöntemleri ile hesaplama işlemi gerçekleştirilebilir. kNN yönteminde sınıf belirleme işlemi gerçekleştirilirken, simetrik olarak yayılmamış sınıflarla çoğunlukla karşılaştırılması sebebiyle, yeni verilerin sınıflarının belirlenmesinde bu tür sınıflar daha baskın olmaktadır. Bu yüzden, kNN yönteminin mesafe ölçümünü etkileyen değerlere farklı biçimlerde ağırlık değeri veren yöntemler kullanılmaktadır (Coomans ve ark, 1982).





Şekil 6.4. k-En Yakın Komşuluk Örnek Çizim (Muhajir, 2001)

kNN yöntemi, yüksek sayıda verilerin yer aldığı eğitim setlerinde, son derecede etkili olmakla birlikte, önemli ölçüde başarılı sonuçlar elde edilmektedir. kNN yöntemi, eğitim setinde yer alan verilerle benzerliği olmayan verilerin olması durumunda dahi sınıflandırma modeli oluşturabilmektedir. Bu tür verilerin varlığı, veri setinin eğitimi için gereken süreyi arttırmaktadır (Aha ve ark, 1991). kNN yöntemi yapıcı basit olmasına rağmen yüksek bir hesaplama maliyetine sahiptir. Sınıfı belirlenecek verinin, veri setinde bulunan veriler ile arasındaki mesafenin hesaplanması, yüksek sayıda verilerin bulunduğu eğitim setlerinde oldukça yüksek hesaplama maliyeti gerektirmektedir.

Böyle yüksek bir maliyeti en aza indirebilmek için, kNN yöntemi ile birlikte kullanılacak yöntemler tercih edilebilir. Örneğin yapıcı güçlü olan arama ağaçları veya veri boyutunu düşürebilen temel bileşenler yöntemleri kullanılabilir. (Shmueli ve ark, 2010). kNN yöntemi, yüksek boyutlara sahip setlerde fazla başarılı olmamaktadır. Ayrıca kNN yöntemi, komşuluk sayısı ve mesafe ölçümü gibi etkenlere oldukça duyarlılık göstermekte ve yüksek belleklere gereksinim duymaktadır. (Duda ve ark, 2000).

### 6.2.3.1. Minkowski uzaklığı

Minkowski uzaklığı, Öklid uzayında tanımlı bir mesafe hesaplama yöntemidir. Makine öğrenmesinde yer alan sınıflandırma ve kümeleme işlemlerinde, çoğu zaman tercih edilen Öklid veya Manhattan uzaklığı gibi uzaklık mesafelerinin genele yayılmış hallerinden bir tanesidir. Minkowski uzaklığı hesaplama işlemi,  $P$  ve  $Q$  noktaları arasında  $P = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  ve  $Q = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  olmak üzere, denklem (6.7) ile belirlenir:



$$d_M = \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (6.7)$$

Minkowski denkleminde  $p = 2$ , Öklid denkleminde  $p = 1$  ve Manhattan denkleminde  $n \rightarrow \infty$  olması gibi özel durumlarda, Chebyshev uzaklığını vermektedir (Kresse ve ark, 2012).

### 6.2.3.2. Öklid uzaklığı

Öklid uzaklığı, sınıflandırma ve kümeleme yöntemlerinde en çok tercih edilen mesafe ölçüm yöntemidir. Öklid uzaklığı, iki nokta arasındaki doğrusal mesafe olmaktadır (Kresse ve ark, 2012). Öklid uzaklığı hesaplama işlemi,  $P$  ve  $Q$  noktaları arasında  $P = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  ve  $Q = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  olmak üzere, denklem (6.8) ile belirlenir:

$$d_{\text{Ö}} = \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \right) \quad (6.8)$$

Öklid uzaklığı, bir kümeleme algoritması olan kNN yöntemi gibi sınıflandırma ve kümeleme işlemlerinde yakınlığın hesaplanması için tercih edilen ölçüm yöntemidir.

### 6.2.3.3. Manhattan uzaklığı

Manhattan uzaklığı,  $m$  boyutlarına sahip iki nokta arasında bulunan mesafe farklarının kesin değerlerinin toplamına eşittir (Kresse ve ark, 2012). Manhattan uzaklığı hesaplama işlemi,  $P$  ve  $Q$  noktaları arasındaki  $P = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  ve  $Q = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  olmak üzere, denklem (6.9) ile belirlenir:

$$d_{Mt} = \left( \sum_{i=1}^m |x_i - y_i| \right) \quad (6.9)$$

## 7. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmamızda, Android Studio ortamında geliştirdiğimiz bir mobil uygulama vasıtasıyla elde ettiğimiz veri setlerinden faydalanılarak konum tahmini gerçekleştirilmiştir. Hem bina içi hem de bina dışı ölçümlerle oluşturulan iki temel veri setinin yanı sıra, bu iki veri setinin harmanlanarak birleştirilmesi ile açık ve kapalı alanların bulunduğu bölgelerin tek bir parça haline getirilmesiyle üçüncü bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen konum tahmini başarımının doğrulanması amacıyla bina içi, bina dışı ve birleştirilmiş veri seti olmak üzere her bir veri seti için ELM, GRNN ve kNN yöntemleri ile test işlemleri Matlab simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan her bir veri setinin rastgele dağılımı sağlandıktan sonra, 10-kat çapraz doğrulama yapılarak eğitim ve testler gerçekleştirilmiş böylece uygulamada sonuçların daha tutarlı olması sağlanmıştır.

ELM'nin performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan aktivasyon fonksiyonunun seçimi için 14 farklı aktivasyon fonksiyonu test edilmiş ve bunlardan en iyi başarıma sahip 6 tanesi (symmetric hard-limit, symmetric saturating linear, tangent sigmoid, pure linear, hyperbolic tangent ve multiquadratic) belirlenmiştir. Performansı etkileyen diğer önemli parametre de gizli katmandaki nöron sayısı olup, farklı sayılardaki nöron sayıları (5, 10, 25, 50, 75, 100, 125) için testler gerçekleştirilerek böylece en iyi doğrulukta çalışacak ağ parametreleri (giriş ve çıkış ağırlıkları ile eşik değerleri) her bir veri seti için ayrı ayrı belirlenmiştir. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağında en önemli parametre olan toplamda 10 adet yayılım değerleri (0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4) için simülasyon ortamında denemeler yapılarak her bir veri seti için optimum değerler belirlenmiştir. k en yakın komşuluk metodunda en önemli parametre olan komşuluk değeri simülasyon ortamında farklı sayılardaki komşuluk değerleri için (1, 3, 5, 10, 25, 50) test edilerek her bir veri seti için optimum olacak en küçük k değeri belirlenmiştir.

Ayrıca kullanılan metotlara ve önemli parametre sayılarına bağlı olarak, tahmin edilen konum (enlem&boylam) ile gerçek konum arasındaki uzaklık aşağıda verilen *haversine* formülü;

$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{lat2 - lat1}{2} \right) + \cos(lat1) \cos(lat2) \sin^2 \left( \frac{lon2 - lon1}{2} \right)} \right) \quad (7.1)$$

kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $d$  km cinsinden uzaklığı,  $r$  parametresi yer kürenin yarıçapını ifade etmekte olup,  $r = 6371$  km olarak alınmıştır. Diğer parametreler,  $lat1$  ve  $lon1$  sırasıyla gerçek konumun enlem ve boylamını,  $lat2$  ve  $lon2$  ise sırasıyla tahmin edilen konumun enlem ve boylamını radyan (rad.) cinsinden ifade etmektedir. Bu uzaklık gerçek konumdan sapma miktarını, yani hata miktarını ifade etmektedir.

## 7.1. Bina İçi Konum Belirleme

Bina içi veri seti ile konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde elde edilen başarımlar ortalama hata kareleri kökü (RMSE) yöntemi ile hesaplanarak Tablo 7.1’de verilmiştir.

**Tablo 7.1.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	0,00167	0,00167	0,00165	0,00165	0,00162	0,00160	0,00159
<b>Sym. Sat. Linear</b>	0,00167	0,00166	0,00165	0,00161	0,00161	0,00160	0,00159
<b>Tangent Sigmoid</b>	0,00167	0,00166	0,00167	0,00163	0,00161	0,00159	0,00157
<b>Pure Linear</b>	0,00202	0,00145	0,00145	0,00145	0,00145	0,00145	0,00145
<b>Hyp. Tangent</b>	0,00167	0,00166	0,00164	0,00161	0,00160	0,00158	0,00158
<b>Multiquadratic</b>	0,14574	0,01929	0,00162	0,00110	0,00104	0,00099	0,00099

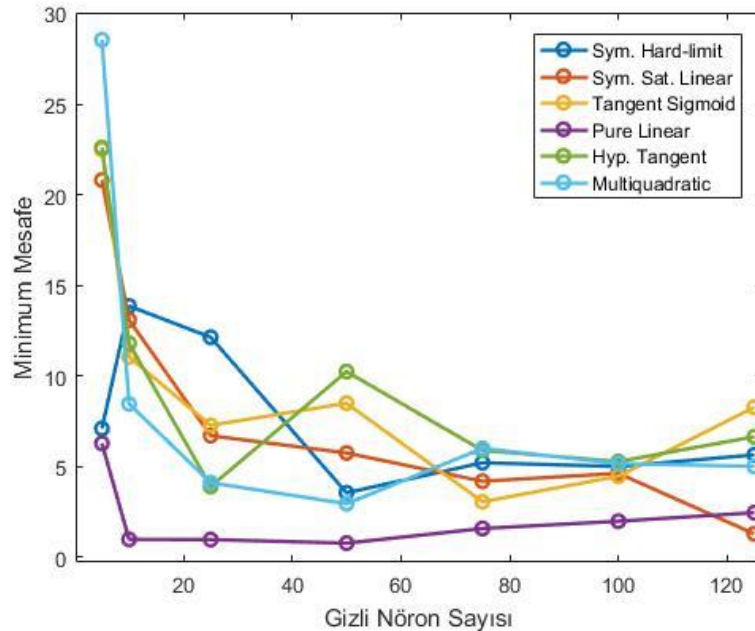
Kullanılan aktivasyon fonksiyonları içerisinde en iyi ortalama RMSE değerleri, symmetric hard-limit, symmetric saturating linear, tangent sigmoid, pure linear ve hyperbolic tangent aktivasyon fonksiyonları ile sağlanmıştır. Tüm aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayıları birlikte incelendiğinde, en iyi başarımları 0,00099 RMSE değeri ve 100 ile 125 gizli nöron sayısı ile multiquadratic aktivasyon fonksiyonu vermekle birlikte, en iyi başarımların (ortalama 0,00153 RMSE değeri) çoğunlukla pure linear fonksiyonuyla sağlandığı görülmektedir.

Bina içi konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve nöron sayısına bağlı olarak elde edilen minimum hata miktarları metre (m) cinsinden Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 7.2.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait minimum mesafe hata miktarları (m)

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	7,08	13,84	12,12	3,53	5,19	4,98	5,62
<b>Sym. Sat. Linear</b>	20,80	13,07	6,68	5,73	4,17	4,61	1,26
<b>Tangent Sigmoid</b>	22,49	11,03	7,25	8,48	3,03	4,45	8,25
<b>Pure Linear</b>	6,26	0,96	0,95	0,75	1,56	1,96	2,43
<b>Hyp. Tangent</b>	22,60	11,78	3,87	10,22	5,87	5,26	6,63
<b>Multiquadratic</b>	28,54	8,44	4,09	2,93	5,98	5,14	4,99

Tablo 7.2’de verilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, her aktivasyon fonksiyonu yaklaşık olarak birkaç metreye kadar minimum hata ile konum tahmini gerçekleştirmişlerdir. Minimum hata olarak ise en iyi sonucun 0,75 m hata ile pure linear aktivasyon fonksiyonu ve 50 nöron sayısı ile elde edildiği görülmektedir. Gizli katmandaki nöron sayısına bağlı olarak kullanılan her bir aktivasyon fonksiyonu için elde edilen konum hata mesafesi ayrı ayrı çizdirilerek Şekil 7.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilden en iyi sonuçların çoğunlukla pure linear aktivasyon fonksiyonu ile elde edildiği görülmektedir.



**Şekil 7.1.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafeleri (m)

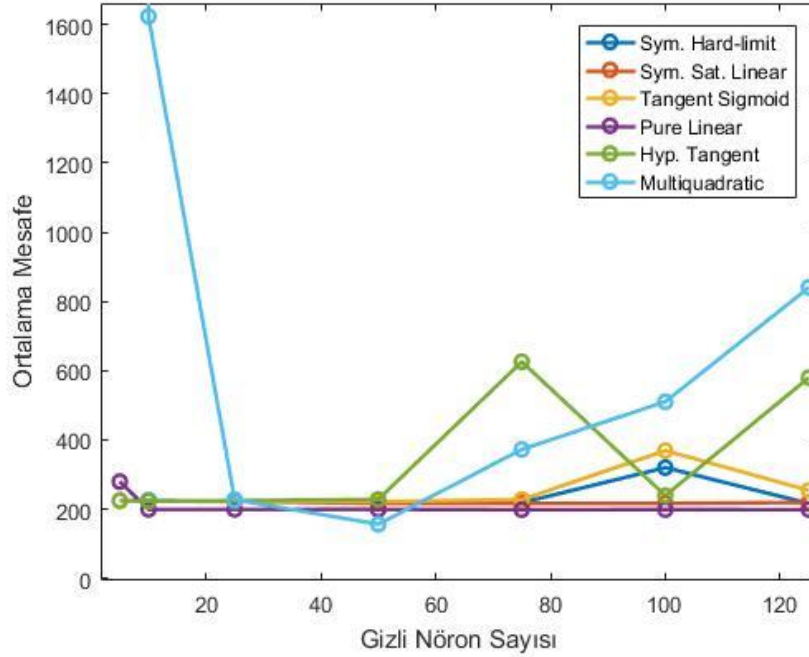
ELM metoduyla, farklı aktivasyon fonksiyonları ve nöron sayıları kullanılarak çapraz doğrulamayla elde edilen testler sonucunda, tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri arasındaki ortalama hata mesafeleri Tablo 7.3’de verilmiştir. Sonuçlar

incelendiğinde en iyi ortalama hata mesafesinin 156 m ile multiquadratic aktivasyon fonksiyonu ve 50 nöron kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Bina içi konum belirleme tahmini test sonuçlarının bulunduğu Tablo 7.3'e yönelik genel bir değerlendirme yapıldığında kullanılan fonksiyonların neredeyse hepsinin ortalama 200 ila 250 m hata oranı ile çalıştığı görülmektedir. Ortalama hata mesafesinin en iyi sonuçları ise çoğunlukla yine pure linear aktivasyon fonksiyonuyla elde edilmiştir.

**Tablo 7.3.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m)

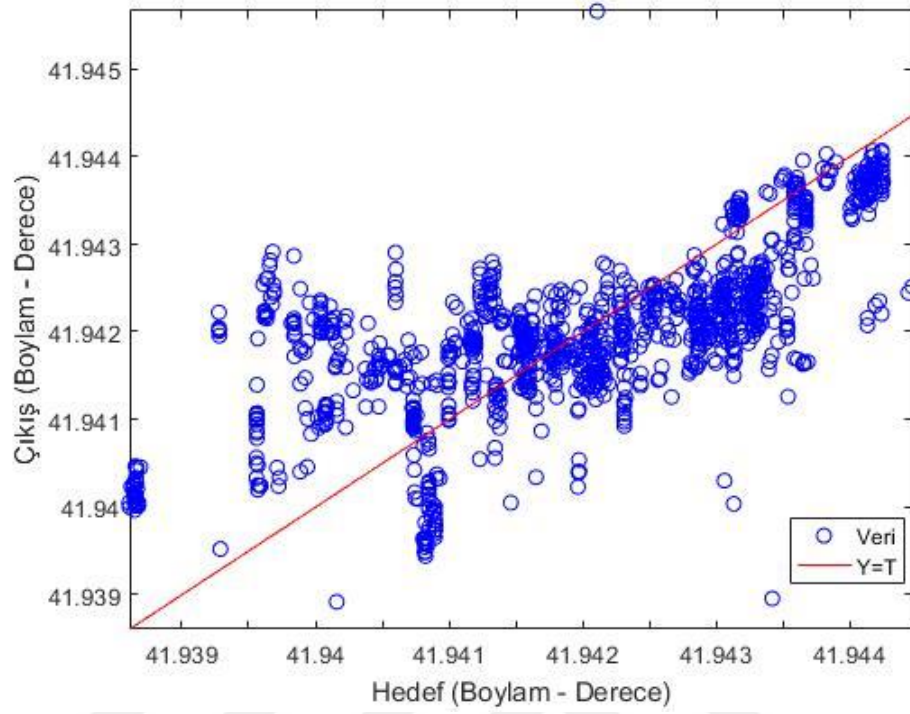
Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	224	225	222	222	218	320	216
<b>Sym. Sat. Linear</b>	225	223	222	216	216	216	219
<b>Tangent Sigmoid</b>	224	223	223	221	227	369	254
<b>Pure Linear</b>	279	199	199	199	198	199	198
<b>Hyp. Tangent</b>	224	223	224	228	625	239	580
<b>Multiquadratic</b>	3683	1623	227	156	372	510	840

Ayrıca gizli katmandaki nöron sayısına bağlı olarak kullanılan her bir aktivasyon fonksiyonu için elde edilen konum tahmini ortalama hata mesafesi ayrı ayrı çizdirilerek Şekil 7.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 7.2.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafeleri (m)

Hedeflenen boylam derecesi ve testler sonucunda elde edilen çıkış derecelerinin lineer regresyon grafiği Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



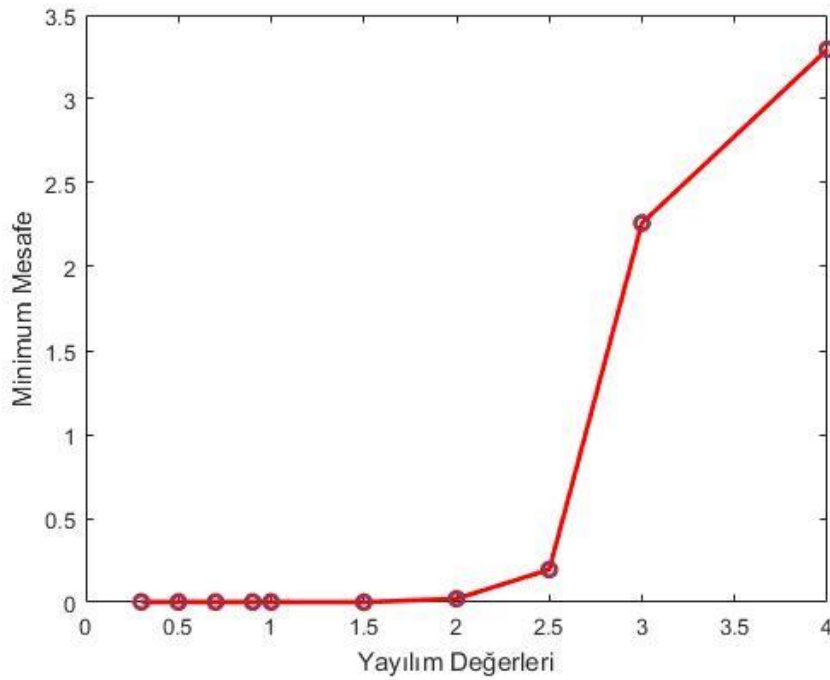
Şekil 7.3. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon grafiği

Bina içi veri seti ile konum belirlemeye yönelik GRNN metoduyla gerçekleştirilen testlerde yayılım değerlerine (0,3-4) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

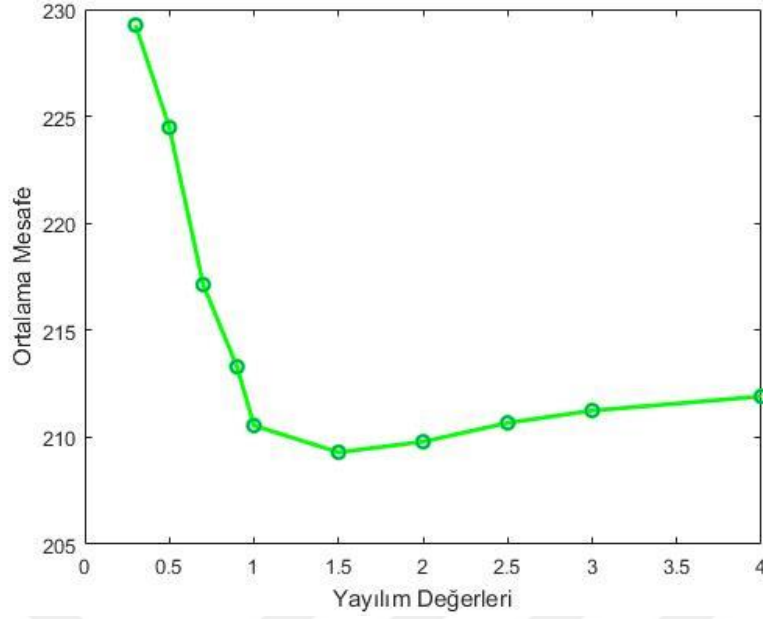
Yayılım Değerleri	Minimum Mesafe (m)	Ortalama Mesafe (m)	RMSE Değerleri
0,3	0,0014	229	0,0019
0,5	0,0014	224	0,0018
0,7	0,0014	217	0,0017
0,9	0,0014	213	0,0017
1	0,0013	211	0,0016
1,5	0,0001	209	0,0016
2	0,0210	210	0,0016
2,5	0,1945	211	0,0016
3	2,2601	211	0,0016
4	3,2950	212	0,0016

Bu bilgiler, minimum mesafe hata miktarları, ortalama mesafe hata miktarları ve başarımların ortalama hata kareleri kökü (RMSE) yöntemi ile hesaplanarak bulunan değerlerden oluşmaktadır. Tablo 7.4’de verilen yayılım değerlerine bağlı olarak bulunan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, GRNN metodu ile RMSE değerleri bakımından en iyi başarımlar 0,0016 olarak elde edilmiştir. Minimum mesafe hata miktarı olarak ise en iyi sonucun 0,0001 m hata ve 1,5 yayılım değeri ile elde edildiği görülmektedir. Yayılım değerlerine bağlı olarak ortalama mesafe hata miktarı için en iyi sonucun da 1,5 yayılım değeri ile 209 m olarak elde edildiği görülmektedir.



**Şekil 7.4.** Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)

Yukarıdaki Şekil 7.4’de yayılım değerine bağlı olarak GRNN metoduyla gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen minimum mesafe hata miktarı grafiği gösterilmiştir. Aynı durumlar için geçerli ortalama mesafe hata miktarlarına ait grafik aşağıdaki Şekil 7.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Yayılm değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)

Bina içi veri seti ile konum belirlemeye yönelik k-NN metoduyla gerçekleştirilen testlerde k komşuluk sayısına (1-50) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.5’de verilmiştir.

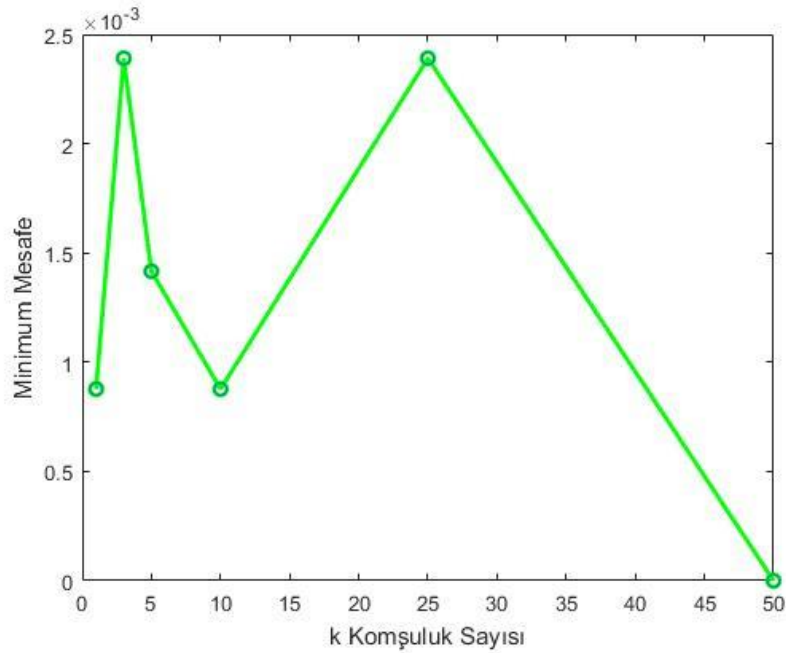
Tablo 7.5. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

k komşuluk Sayısı	Minimum Mesafe (m)	Ortalama Mesafe (m)	RMSE Değerleri
1	0,001	79	0,0009
3	0,002	105	0,0011
5	0,001	133	0,0013
10	0,001	169	0,0015
25	0,002	201	0,0018
50	0,000	254	0,0022

Tablo 7.5’de verilen k komşuluk sayısına bağlı olarak bulunan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, k-NN metodu ile RMSE değerleri bakımından en iyi başarıım 0,0009 olarak elde edilmiştir. Minimum mesafe hata miktarı olarak ise en iyi sonucun 0 yani tam olarak konum tahmini 50 k komşuluk sayıları ile elde edildiği görülmektedir. K komşuluk sayısına bağlı olarak ortalama mesafe hata miktarı için en iyi sonucun ise 1 k

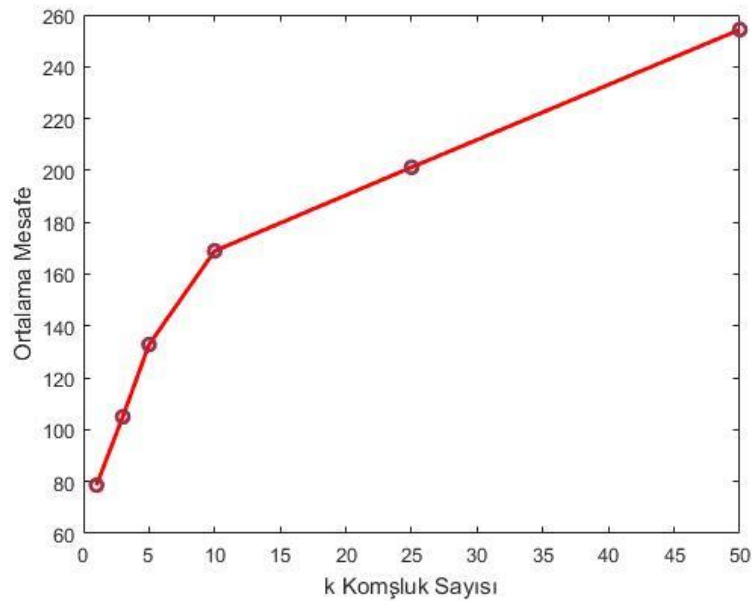


komşuluk sayısı ile 79 m hata olarak elde edilerek yaklaşık konum tahmini için son derece önemli sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7.6. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)

Yukarıda verilen Şekil 7.6'da k komşuluk sayısına bağlı olarak k-NN metoduyla gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen minimum mesafe hata miktarı grafiği gösterilmiştir. Aynı durumlar için geçerli ortalama mesafe hata miktarlarına ait grafik aşağıdaki Şekil 7.7' de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)

## 7.2. Bina Dışı Konum Belirleme

Bina dışı veri seti ile konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde elde edilen başarımlar RMSE cinsinden hesaplanarak Tablo 7.6'de verilmiştir.

**Tablo 7.6.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	0,00177	0,00178	0,00176	0,00174	0,00173	0,00168	0,00168
<b>Sym. Sat. Linear</b>	0,00178	0,00178	0,00174	0,00172	0,00170	0,00169	0,00165
<b>Tangent Sigmoid</b>	0,00177	0,00177	0,00176	0,00180	0,00178	0,00167	0,00164
<b>Pure Linear</b>	0,00220	0,00157	0,00157	0,00157	0,00157	0,00157	0,00157
<b>Hyp. Tangent</b>	0,00178	0,00177	0,00178	0,00173	0,00172	0,00168	0,00165
<b>Multiquadratic</b>	0,18250	0,01951	0,00168	0,00123	0,00115	0,00111	0,00111

Kullanılan aktivasyon fonksiyonları içerisinde en iyi ortalama RMSE değerleri, symmetric hard-limit, symmetric saturating linear, tangent sigmoid, pure linear ve hyperbolic tangent aktivasyon fonksiyonları ile sağlanmıştır. Tüm aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayıları birlikte incelendiğinde, en iyi başarımları 0,00111 RMSE değeri ile 100-125 gizli nöron sayısı ile multiquadratic aktivasyon fonksiyonu vermekle birlikte, en iyi başarımların (ortalama 0,00166) RMSE değerinin çoğunlukla pure linear aktivasyon fonksiyonuyla sağlandığı görülmektedir.

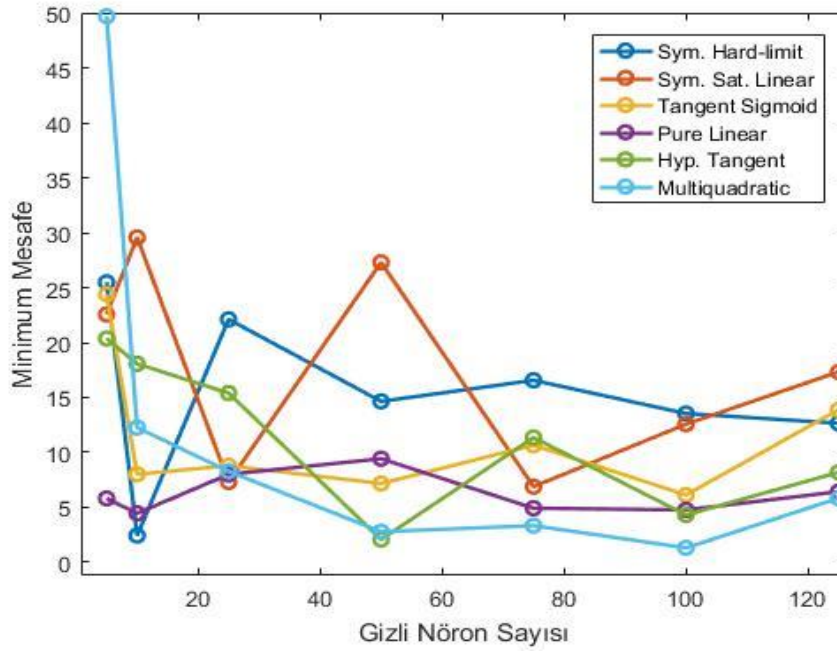
Bina dışı konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve nöron sayısına bağlı olarak elde edilen minimum hata miktarları metre (m.) cinsinden Tablo 7.7'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.7.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafe miktarları (m)

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	25,49	2,41	22,12	14,64	16,57	13,53	12,65
<b>Sym. Sat. Linear</b>	22,58	29,59	7,29	27,32	6,87	12,57	17,33
<b>Tangent Sigmoid</b>	24,42	7,99	8,78	7,15	10,64	6,11	13,87
<b>Pure Linear</b>	5,79	4,44	7,99	9,41	4,90	4,75	6,41
<b>Hyp. Tangent</b>	20,37	18,07	15,40	2,04	11,34	4,29	8,17
<b>Multiquadratic</b>	49,76	12,25	8,27	2,76	3,31	1,28	5,81

Tablo 7.7'de verilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, her aktivasyon fonksiyonu bina dışında asgari mesafede hata ile konum tahmini gerçekleştirmiştir.

Minimum hata olarak ise en iyi sonucun 1,28 m hata ile multiquadratic aktivasyon fonksiyonu ve 100 gizli nöron sayısı ile elde edildiği görülmektedir. Gizli katmandaki nöron sayısına bağlı olarak kullanılan her bir aktivasyon fonksiyonu için elde edilen konum hata mesafesi ayrı ayrı çizdirilerek Şekil 7.8’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilden en iyi sonuçların tüm gizli nöron sayısında 10 metrenin altında başarımla pure linear aktivasyon fonksiyonu ile elde edildiği görülmektedir.



**Şekil 7.8.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafe miktarları (m)

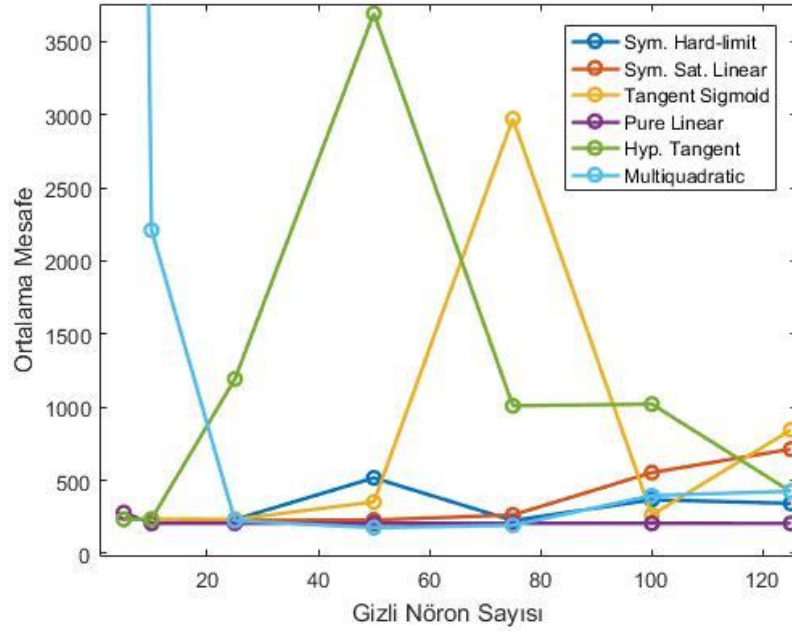
ELM metoduyla, farklı aktivasyon fonksiyonları ve nöron sayıları kullanılarak yapılan testler sonucunda, tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri arasındaki ortalama hata mesafeleri Tablo 7.8’da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en iyi ortalama hata mesafesinin 177 m ile multiquadratic aktivasyon fonksiyonu ve 50 gizli nöron kullanılarak elde edildiği görülmektedir.

Bina dışı konum belirleme tahmini test sonuçlarının bulunduğu Tablo 7.8’ya yönelik genel bir değerlendirilme yapıldığında kullanılan fonksiyonların çoğunun ortalama 200 ila 300 m hatayla sonuca ulaştığı görülmektedir. Ortalama hata mesafesinin en iyi sonuçları (ortalama 217 m) ise çoğunlukla pure linear aktivasyon fonksiyonuyla elde edilmiştir.

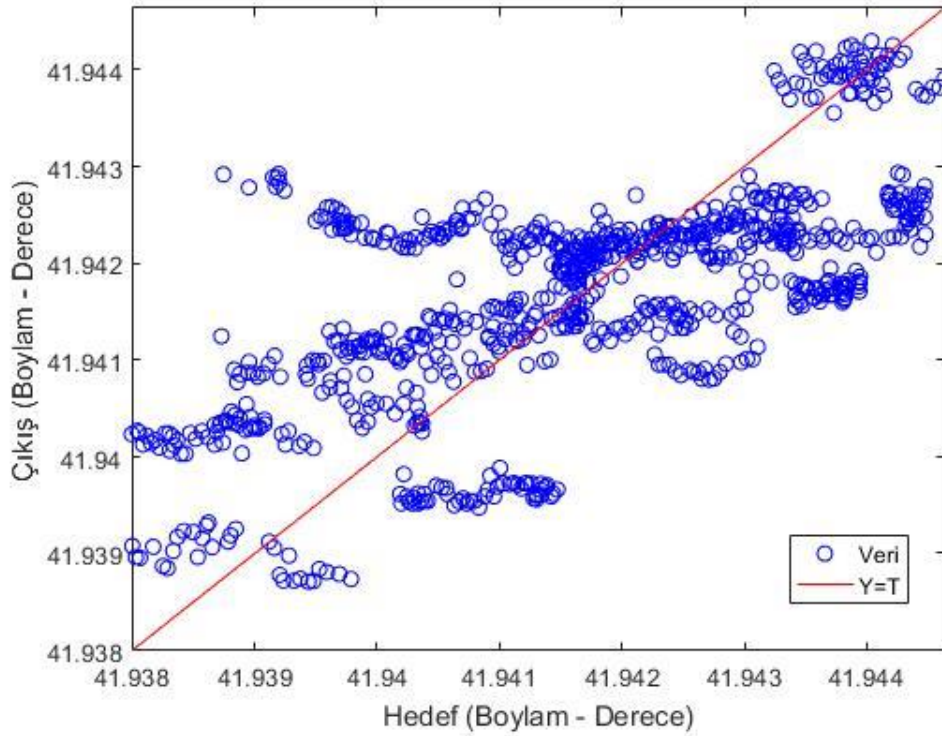
**Tablo 7.8.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m)

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	234	236	233	518	226	368	343
<b>Sym. Sat. Linear</b>	235	236	228	230	264	554	714
<b>Tangent Sigmoid</b>	236	237	235	353	2973	264	846
<b>Pure Linear</b>	280	207	208	207	207	207	206
<b>Hyp. Tangent</b>	236	236	1194	3693	1010	1022	424
<b>Multiquadratic</b>	17001	2211	226	177	194	397	426

Yukarıdaki Tablo 7.8’ da verilen gizli nöron sayısına bağlı olarak kullanılan her bir aktivasyon fonksiyonu için elde edilen bina dışı konum tahmini ortalama hata mesafesi Şekil 7.9’de ve hedef boylam derecesi ile çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon çıkışları Şekil 7.10’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 7.9.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafe miktarları (m)



Şekil 7.10. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon grafiği

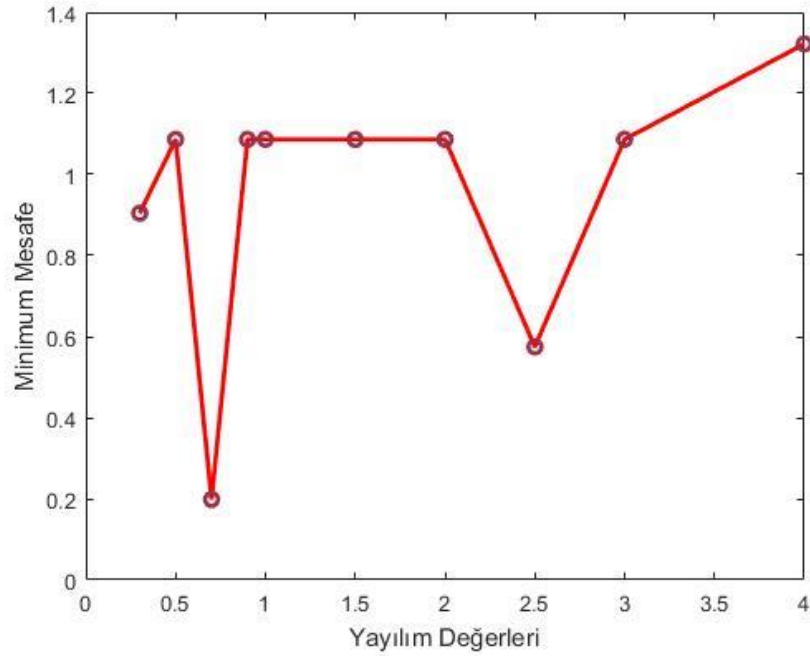
GRNN metoduyla bina dışı veri seti ile yaklaşık konum belirlemeye yönelik gerçekleştirilen testlerde yayılım değerlerine (0,3-4) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.9'de gösterilmiştir.

Tablo 7.9. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

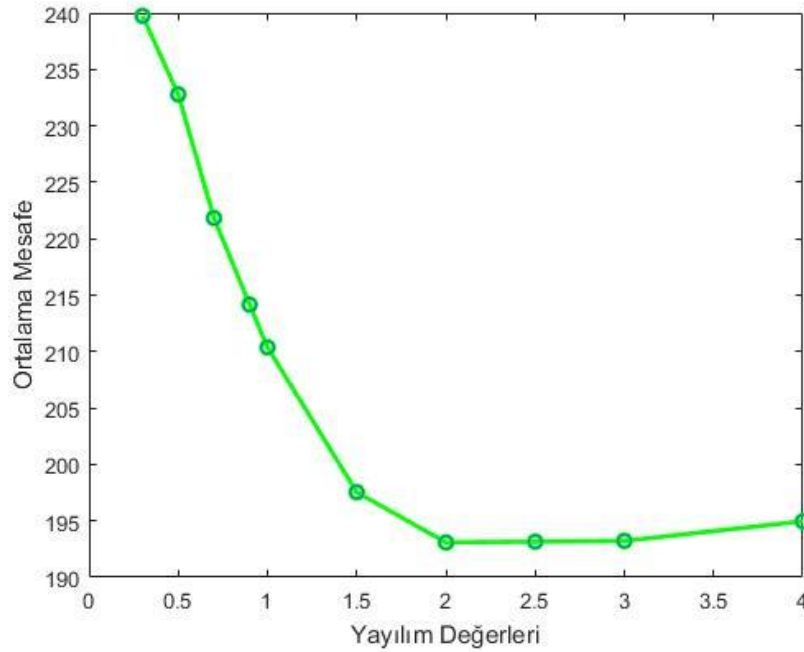
Yayılım Değerleri	Minimum Mesafe (m)	Ortalama Mesafe (m)	RMSE Değerleri
0,3	0,9043	240	0,0021
0,5	1,0865	233	0,0020
0,7	0,1984	222	0,0019
0,9	1,0865	214	0,0018
1	1,0865	210	0,0018
1,5	1,0863	198	0,0016
2	1,0865	193	0,0016
2,5	0,5748	193	0,0016
3	1,0867	193	0,0016
4	1,3217	195	0,0016

GRNN metoduyla, farklı yayılım değerleri kullanılarak yapılan testler sonucunda, tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri arasındaki minimum ve ortalama mesafe hata miktarlarına ve RMSE değerlerine Tablo 7.9’da yer verilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en iyi minimum hata mesafesinin 0,5748 m ile 2,5 yayılım değeri, ortalama hata mesafesinin 193 m ile 2-3 yayılım değerleri kullanılarak elde edildiği görülmektedir. RMSE değeri bakımından en iyi sonuç ise 0,0016 ile 1,5-4 yayılım değerleri tarafından elde edilmiştir.

GRNN metoduyla gerçekleştirilen bu çalışmada yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı ve ortalama mesafe hata miktarına ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 7.11’de ve Şekil 7.12’de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)



Şekil 7.12. Yayılm değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)

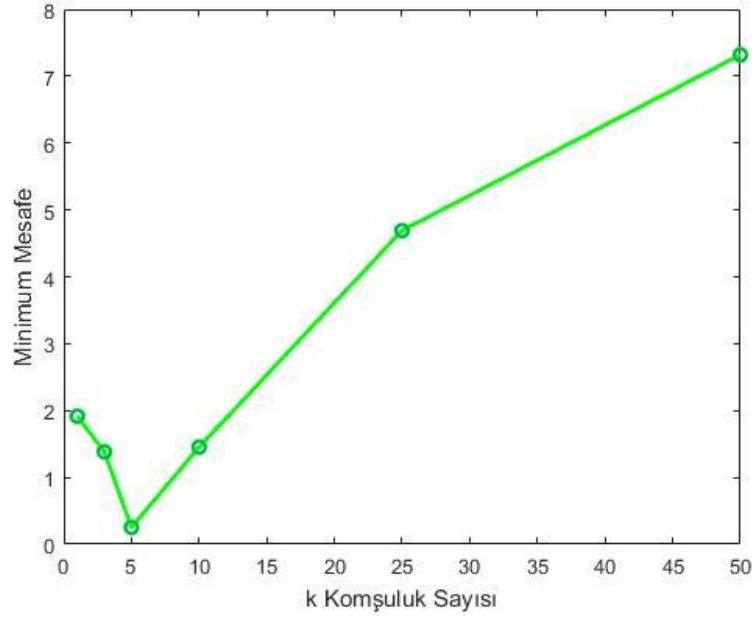
k-NN metoduyla bina dışı veri seti ile yaklaşık konum belirlemeye yönelik gerçekleştirilen testlerde ve k komşuluk sayılarına (1-50) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.10'de gösterilmiştir.

Tablo 7.10. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

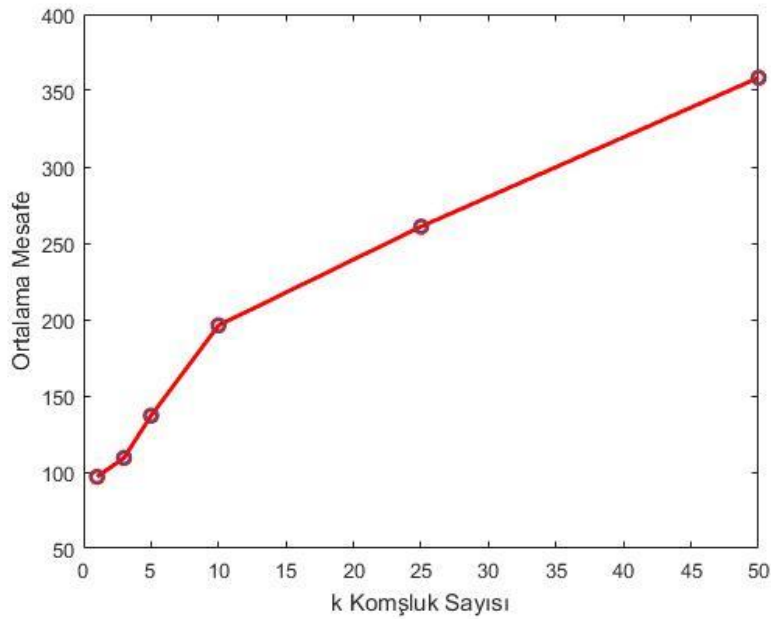
<b>k komşuluk Sayısı</b>	<b>Minimum Mesafe (m)</b>	<b>Ortalama Mesafe (m)</b>	<b>RMSE Değerleri</b>
<b>1</b>	1,91	97	0,0011
<b>3</b>	1,38	109	0,0012
<b>5</b>	0,25	137	0,0014
<b>10</b>	1,45	196	0,0018
<b>25</b>	4,69	261	0,0022
<b>50</b>	7,32	358	0,0029

kNN metoduyla, farklı k komşuluk sayıları kullanılarak yapılan testler sonucunda, tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri arasındaki minimum mesafe hata miktarları, ortalama hata mesafeleri ve RMSE değerleri Tablo 7.10'da yer verilmiştir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en iyi minimum hata mesafesinin 0,25 m ile 5 k komşuluk sayısı ve ortalama hata mesafesinin 97 m ile 1 k komşuluk sayısı kullanılarak elde edildiği görülmektedir. RMSE değeri bakımından en iyi sonuç ise 0,0011 ile 1 k komşuluk sayıları tarafından elde edilmiştir. k-NN metoduyla gerçekleştirilen bu çalışmada k komşuluk değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı ve ortalama mesafe hata miktarına ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 7.13’de ve Şekil 7.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.13. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)



Şekil 7.14. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)



### 7.3. Tüm Alanlarda Konum Belirleme

Bina dışı ve bina içi veri setlerinin harmanlanarak hazırlanan veri seti ile konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde elde edilen başarımlar RMSE değerleri hesaplanarak Tablo 7.11’de verilmiştir.

**Tablo 7.11.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre ortalama RMSE değerleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	0,00173	0,00172	0,00172	0,00171	0,00170	0,00168	0,00169
<b>Sym. Sat. Linear</b>	0,00173	0,00172	0,00172	0,00170	0,00169	0,00169	0,00168
<b>Tangent Sigmoid</b>	0,00173	0,00173	0,00172	0,00171	0,00169	0,00168	0,00169
<b>Pure Linear</b>	0,04999	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154
<b>Hyp. Tangent</b>	0,00173	0,00172	0,00172	0,00170	0,00169	0,00169	0,00166
<b>Multiquadratic</b>	2,36056	0,00173	0,00170	0,00169	0,00168	0,00165	0,00164

Kullanılan aktivasyon fonksiyonları içerisinde en iyi ortalama RMSE değerleri, symmetric hard-limit, symmetric saturating linear, tangent sigmoid ve hyperbolic tangent aktivasyon fonksiyonları ile sağlanmıştır. Tüm aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına göre yapılan değerlendirmede, en iyi başarımları 0,00154 RMSE değeri ile 10-125 gizli nöron sayısı ile pure linear aktivasyon fonksiyonuyla sağlandığı görülmektedir.

Hazırlanan yeni veri seti ile konum belirlemeye yönelik ELM metoduyla gerçekleştirilen testlerde kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve nöron sayısına bağlı olarak elde edilen minimum hata miktarları ve ortalama hata miktarları metre (m.) cinsinden sırasıyla Tablo 7.12 ve Tablo 7.13’de gösterilmiştir.

**Tablo 7.12.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait minimum mesafe hata miktarları (m)

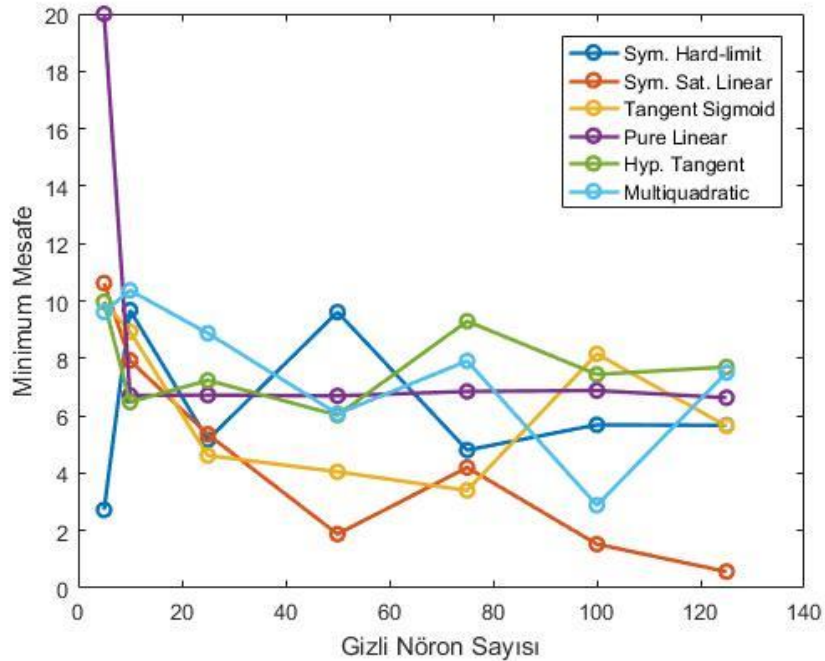
Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	2,72	9,67	5,16	9,61	4,80	5,69	5,67
<b>Sym. Sat. Linear</b>	10,62	7,92	5,35	1,88	4,20	1,53	0,57
<b>Tangent Sigmoid</b>	9,97	8,93	4,62	4,05	3,40	8,15	5,64
<b>Pure Linear</b>	20,00	6,71	6,72	6,69	6,85	6,88	6,63
<b>Hyp. Tangent</b>	9,97	6,48	7,23	6,02	9,29	7,44	7,70
<b>Multiquadratic</b>	9,61	10,37	8,87	6,07	7,91	2,88	7,50

**Tablo 7.13.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen konum bilgilerine ait ortalama mesafe hata miktarları (m)

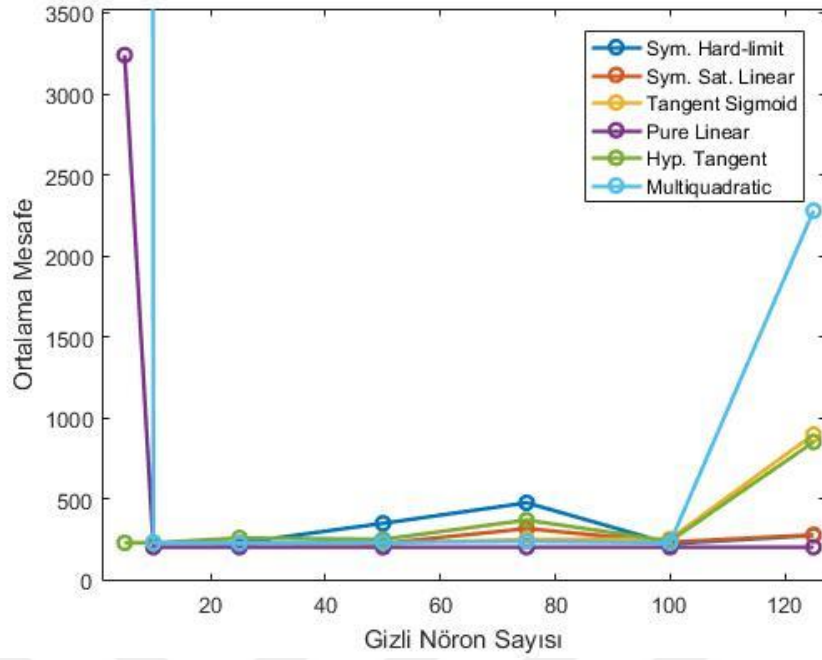
Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Nöron Sayısı						
	5	10	25	50	75	100	125
<b>Sym. Hard-limit</b>	232	231	231	352	478	226	277
<b>Sym. Sat. Linear</b>	231	231	231	228	319	236	281
<b>Tangent Sigmoid</b>	231	236	231	228	252	255	900
<b>Pure Linear</b>	3240	205	205	205	205	204	205
<b>Hyp. Tangent</b>	231	231	262	253	372	242	854
<b>Multiquadratic</b>	241924	231	229	234	240	232	2280

Tablo 7.12’de verilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, minimum hata olarak en iyi sonucun 0,57 m hata ile symmetric saturating linear aktivasyon fonksiyonu ve 125 gizli nöron sayısı ile elde edildiği görülmektedir. Tablo 7.13’de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise ortalama hata olarak en iyi sonucun 204 m hata ile pure linear aktivasyon fonksiyonu ve 100 gizli nöron sayısı ile elde edildiği görülmektedir.

Gizli katmandaki nöron sayısına bağlı olarak kullanılan her bir aktivasyon fonksiyonu için elde edilen konum hata mesafesi minimum ve ortalama hata değerleri ayrı ayrı çizdirilerek sırasıyla Şekil 7.15 ve Şekil 7.16’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilden en iyi sonuçların çoğunlukla symmetric saturating linear aktivasyon fonksiyonu ile elde edildiği görülmektedir.

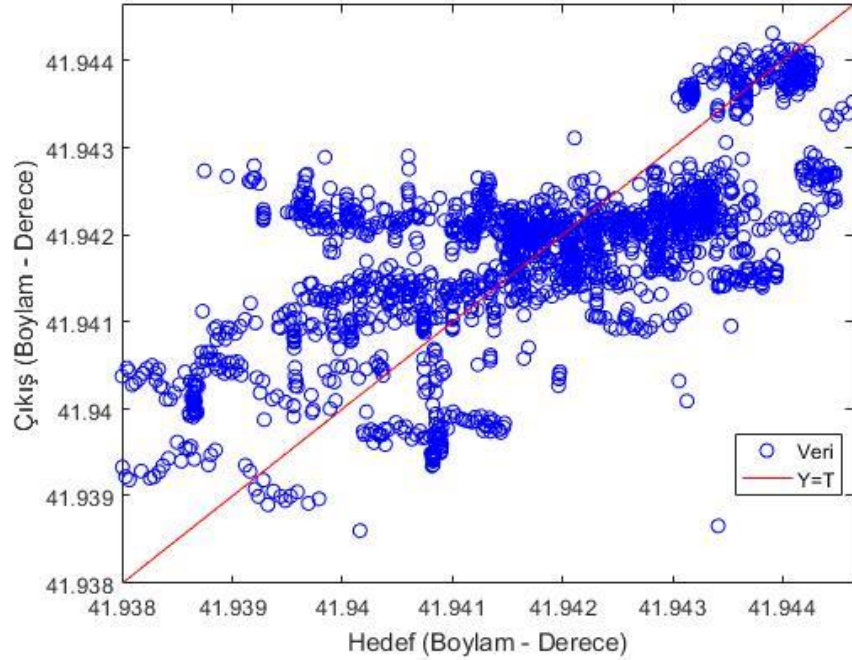


**Şekil 7.15.** Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen minimum hata mesafeleri (m)



Şekil 7.16. Farklı aktivasyon fonksiyonları ve gizli nöron sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama hata mesafeleri (m)

Ayrıca gerçek konumun boylam dereceleri ile tahmin edilen konumun boylam derecelerine yönelik lineer regresyon çiziminin grafiği Şekil 7.17' de verilmiştir.



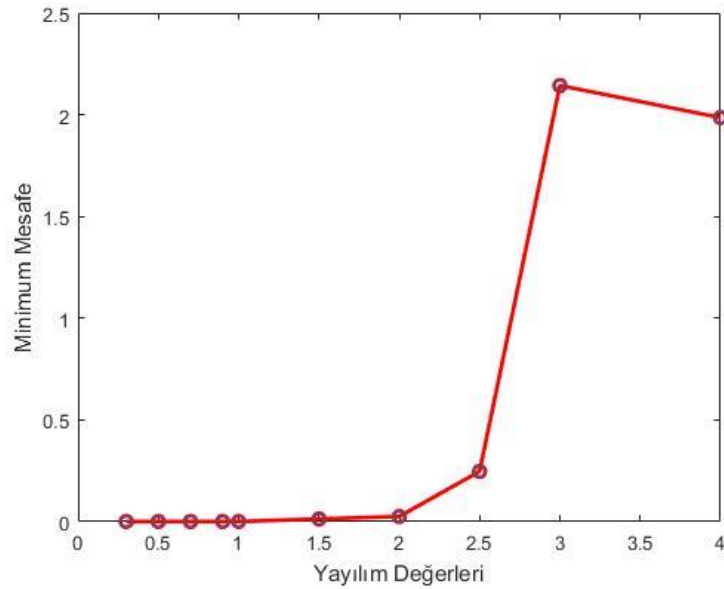
Şekil 7.17. Hedef ve çıkış boylam derecelerinin lineer regresyon çıkış grafiği

Harmanlanarak hazırlanan yeni veri seti ile konum belirlemeye yönelik GRNN metoduyla gerçekleştirilen testlerde yayılım değerlerine (0,3-4) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.7'de verilmiştir.

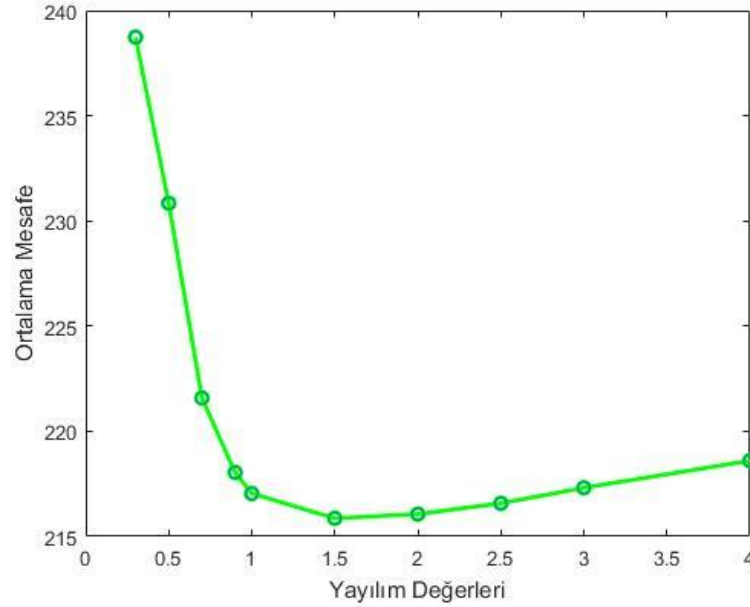
**Tablo 7.14.** Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

Yayılım Değerleri	Minimum Mesafe (m)	Ortalama Mesafe (m)	RMSE Değerleri
0,3	0,0014	239	0,0020
0,5	0,0014	231	0,0019
0,7	0,0014	222	0,0018
0,9	0,0014	218	0,0017
1	0,0013	217	0,0017
1,5	0,0137	216	0,0017
2	0,0260	216	0,0017
2,5	0,2475	217	0,0016
3	2,1433	217	0,0017
4	1,9855	219	0,0017

Tablo 7.14’de yer alan bilgiler incelendiğinde, GRNN metodu ile RMSE değerleri bakımından en iyi başarıyı 0,0016, minimum mesafe hata miktarı olarak en iyi sonucun 1 yayılım değeri ile 0,0013 m ve ortalama mesafe hata miktarı için ise en iyi sonucun da 1,5 ve 2 yayılım değeri ile 216 m hata olarak yaklaşık konum tahmini için son derece önemli sonuçlar elde edilmiştir. Yayılım değerlerine göre minimum mesafe ve ortalama mesafe hata miktarına ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 7.18 ve Şekil 7.19’ de gösterilmiştir.



**Şekil 7.18.** Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)



Şekil 7.19. Yayılım değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)

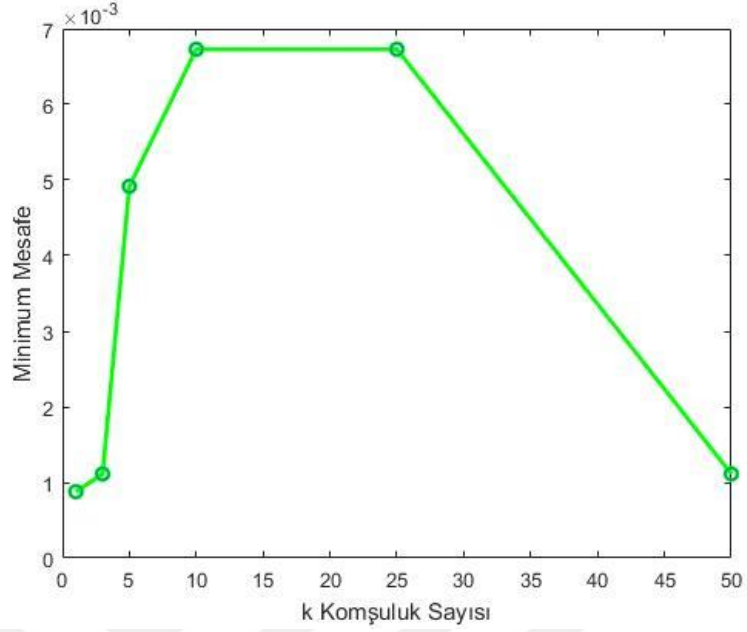
Hazırlanan yeni veri seti ile konum belirlemeye yönelik k-NN metoduyla gerçekleştirilen testlerde k komşuluk sayısına (1-50) bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin bilgiler Tablo 7.15’de verilmiştir.

Tablo 7.15. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum ve ortalama mesafe hata miktarları (m) ve RMSE değerleri

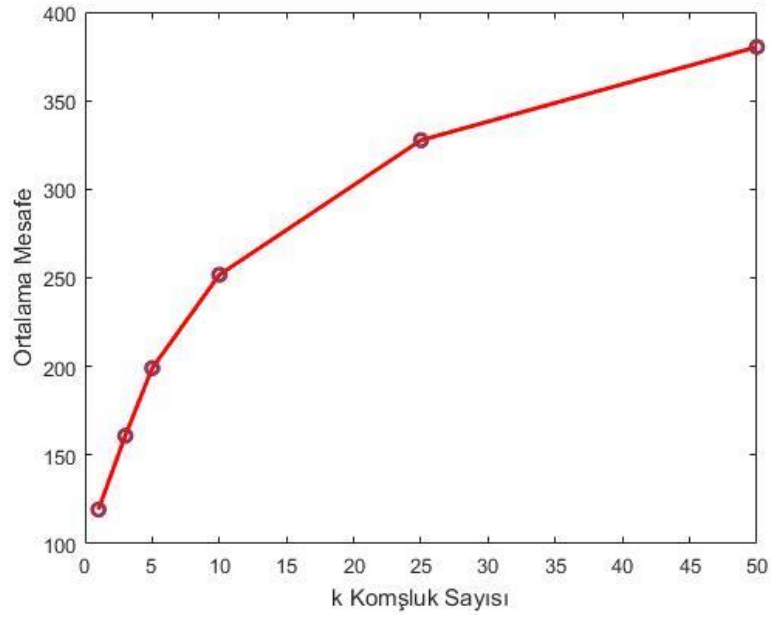
<b>k komşuluk Sayısı</b>	<b>Minimum Mesafe (m)</b>	<b>Ortalama Mesafe (m)</b>	<b>RMSE Değerleri</b>
<b>1</b>	0,001	119	0,0013
<b>3</b>	0,001	161	0,0016
<b>5</b>	0,005	199	0,0018
<b>10</b>	0,007	252	0,0021
<b>25</b>	0,007	328	0,0026
<b>50</b>	0,001	380	0,0030

Tablo 7.15’e göre, k-NN yöntemiyle en iyi RMSE değeri 0,0013 olarak elde edilmiştir. Minimum mesafe hata miktarı olarak ise en iyi sonucun 0,001 m ile 1,3 ve 50 k komşuluk değeri ile elde edildiği görülmektedir. Komşuluk değerlerine göre ortalama mesafe, 1 k komşuluk değerine karşılık gelen 119 m hata olarak elde edilerek yaklaşık konum tahmini gerçekleştirilmiştir. k komşuluk değerlerine bağlı olarak elde edilen

minimum ve ortalama mesafe hata miktarına ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 7.20’de ve Şekil 7.21’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.20. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen minimum mesafe hata miktarı (m)



Şekil 7.21. k komşuluk sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama mesafe hata miktarı (m)

## 8. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnsanların veya cihazların konumlandırılması gereksinimi, özellikle kapalı alanlarda olmak üzere, teknolojinin sürekli gelişmesi ile beraber her geçen gün artmaktadır. Konumlandırma ihtiyacı kişisel, bilimsel, adli veya ticari kullanımlar gibi farklı amaçlar doğrultusunda küresel, hücresel veya wi-fi gibi farklı sistem ve uygulamalar yardımıyla karşılanabilmektedir. Teknolojiyle paralel şekilde geliştirilen yardımcı ve tamamlayıcı sistemler ve uygulamalar vasıtasıyla konum belirleme sistemleri, özellikle kapalı ortamlarda olmak üzere, büyük bir gelişim göstermektedir.

Mobil cihazlar vasıtasıyla GSM, CDMA, WCDMA veya LTE gibi hücresel iletişim ağlarından elde edilebilecek sinyallerin özelliklerinden faydalanılarak konum belirleme sistemlerinin gelişmesini sürdürmesi beklenmektedir. Konum tahmini için gerçekleştirilen çalışmalarda, uygulanacak tahmin yöntemi ve veri setinin materyal bakımından analiz işleminin yapılması gerekmektedir. Konum belirleme çalışmalarında kullanılacak veri setinde bulunan parametrelerin özellikleri bakımından daha uygun metodun seçiminin yapılması da ayrı bir önem arz etmektedir. Konumlandırmaya yönelik yapılan literatür araştırmasında, güçlü bir materyal olan yapay sinir ağlarından çokça faydalandığı görülmektedir.

Bu doğrultuda daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, Jin ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada yakınlık ve üçgen yöntemlerini kullanılarak k-NN algoritması ile  $48 m^2$  alanda 4 adet okuyucu ve 20 referans taşıyıcı kullanılmış ve 0,7 m hatayla yaklaşık konum tahmini gerçekleştirilmiştir (Jin ve ark., 2006). Magro ve ark. yaptıkları bir çalışmada, 3G mobil cihazları vasıtasıyla erişilebilen sinyal gücü bilgilerini bir konum algılama algoritmasının giriş verileri olarak kullanarak ortalama 450 metre hata payıyla konum tahmini sağlamışlardır (Magro ve ark., 2007). Türkyılmaz yaptığı çalışmada GSM ağından alınan gerçek ölçümler kullanarak testler gerçekleştirmiş, ortalama hata miktarında 642 m'den 573 m'ye kadar iyileştirme gerçekleştirecek bir konum tahmini sağlamıştır (Türkyılmaz, 2007).

Kurt tarafından gerçekleştirilen çalışmada parmak izi yöntemi kullanılarak İstanbul ve İzmir şehirlerinin farklı bölgelerindeki mobil istasyonlardan sinyal ölçümleri elde edilmiş, bu ölçümler sinyal izi filtreleme ve sinyal izi eşleştirmede kullanılarak İstanbul için ortalama 435 m ve İzmir için de 404 m hata mesafesiyle kullanıcı konumu tahmini gerçekleştirilmiştir (Kurt, 2009). Kalaycı ve ark. bina içi konum belirlemeye yönelik gerçekleştirdikleri bir çalışmada, bina içinde bulunan elektronik cihazların bulunduğu konumlardan alınan sinyal gücü (RSS) değerlerini içeren bir veri seti

oluşturmuş, bu veri setini k-NN, WkNN ve mWPE algoritmaları kullanarak elektronik cihazların sırasıyla 7,04-10,85 m, 6,99-10,97 m ve 6,89-11,45 m hata paylarıyla konum tahminini gerçekleştirmişlerdir (Kalaycı ve ark., 2018).

Bu çalışmada uygulama sahası olarak belirli bir bölgedeki açık alanlar ve kapalı alanlar (okullar, camiler, avm'ler, binalar, işletmeler vb.) seçilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Android Studio ortamında geliştirdiğimiz kullanıcı ve erişimi kolay mobil bir uygulama vasıtasıyla GSM baz istasyonlarından elde edilen sinyal ölçüm kayıt verilerinden oluşmaktadır. GSM operatörleri tarafından sunulan sınırlı sayıdaki şebeke verilerine erişmek, kaydetmek ve düzenlemek önemli ve zaman alıcı bir süreç gerektirdiğinden, geliştirdiğimiz mobil uygulamanın yazılımı bu çalışmanın en kritik ve en önemli kısımlarından birini oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında elde ettiğimiz verilerin Matlab simülasyon ortamında oluşturulan ağı yapay sinir ağları (YSA) metotlarından ELM, GRNN ve k-NN ile eğitilmesi sağlanarak, mobil kullanıcının sadece anlık GSM sinyal ölçümleri kullanarak gerçek konum tahmini yapması sağlanmıştır. Deneysel uygulamanın yapıldığı Bölüm 7'de elde edilen sonuçlar ve hata miktarları kullanılan yöntem ve veri seti tipine göre özet halinde Tablo 8.1'de verilmiştir.

**Tablo 8.1.** Konum belirleme tahmininin minimum ve ortalama hata miktarları sonuç bilgileri

Alan	ELM		k-NN		GRNN	
	Minimum (m)	Ortalama (m)	Minimum (m)	Ortalama (m)	Minimum (m)	Ortalama (m)
<b>Bina içi</b>	0,75	156	0	79	0,0001	209
<b>Bina dışı</b>	1,28	177	0,25	97	0,5748	193
<b>Tüm alan</b>	0,57	204	0,001	119	0,0013	216

Verilen bu sonuçlar göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede, bina içi veri seti ile yapılan testlerde, Tablo 8.1'de görüleceği üzere ELM yöntemiyle minimum 0,75 m ve ortalama 156 m hata oranıyla, k-NN yöntemiyle minimum 0 m ve ortalama 79 m hata oranıyla ve GRNN yöntemiyle de 0,0001 m ve ortalama 209 m hata oranıyla yaklaşık konum bilgisi elde edildiği görülmektedir.

Bina dışı veri seti ile yapılan testlerde, ELM, k-NN ve GRNN yöntemleriyle sırasıyla minimumda 1,28 m, 0,25 m ve 0,5748 m ve ortalama 177 m, 97 m ve 193 m hata oranlarıyla konum bilgisi elde edilmiştir. Bina içi ve bina dışı veri setinin birleştirilip harmanlanmasıyla tüm alanları ifade eden genelleştirilmiş bir veri seti elde edilmiştir. Bu



veri setinde yapılan testlerde ise ELM, k-NN ve GRNN yöntemleriyle sırasıyla minimumda 0,5775 m, 0,001 m ve 0,0013 m ve ortalama 204 m, 119 m ve 216 m hata oranlarıyla konum bilgisi elde edilmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, daha kritik bir öneme sahip olan bina içi verilerinde daha iyi sonuçların elde edildiği, k-NN yönteminin diğer yöntemlerle kıyaslandığında tüm veri setlerinde en yüksek doğrulukla çalıştığı görülmektedir. Elde edilen minimum ve ortalama hata miktarlarındaki farkın yüksek çıkmasının nedeninin oluşturulan veri setindeki uyumsuz verilerden kaynaklandığı ve bunun büyük sapmalara neden olduğu düşünülmektedir. Şöyle ki; bazı durumlarda kullanılan operatöre ait baz istasyonlarının doluluk oranı, bağlantı hızı ve diğer optimizasyon önceliklerine bağlı olarak mobil kullanıcıyı daha uzak mesafede yer alan başka bir baz istasyona yönlendirerek servis sağlaması (camping) ve önerilen algoritmanın giriş verisi olarak servis sağlayıcı baz istasyonu konum bilgilerini kullanmasından dolayı doğal olarak daha büyük hata miktarı ile konum tahminine yol açmıştır. Bina içinde çoğunlukla daha yüksek doğrulukta konum bilgisinin elde edilmesi bu düşüncemizi desteklemektedir. Bina içindeki sinyal zayıflamaları nedeniyle operatör tarafından az önce bahsedilen önceliklerden dolayı yönlendirilebilecek olası uzak baz istasyonlarının önüne geçilmiş olacaktır. Böylece önerdiğimiz algoritmayla, mobil kullanıcı sinyal seviyesi daha yüksek yakın mesafedeki istasyonlara “camp” edilerek bu istasyonlardan gelen verileri kullanarak daha yüksek doğrulukta bir konumlandırma yapabilecektir.

Çalışmamızın literatürde hücresele ağ verileri kullanılarak yapılan benzer konum tahminleme yöntemleriyle kıyaslandığında, kullanılan her üç yöntemle de çok daha yüksek doğrulukta konumlandırma yapabildiği görülmektedir. Önerilen yöntemin, GPS sinyallerinin çok zayıf olduğu veya hiç alınmadığı kapalı ortamlarda iyi bir doğrulukla konum tahmini yapılabileceği, bunun dışında GPS 'in farklı sebeplerden dolayı devre dışı bırakıldığı durumlarda bina dışında da iyi bir alternatif konum belirleme sistemi olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Bununla beraber, bina içi konumlandırmada başarılı sonuçlar veren wi-fi tabanlı teknolojileri hücresele ve/veya küresel konumlandırma sistemlerine entegre ederek her yerde kullanılabilecek hibrit bir konumlandırma sisteminin tasarlanması ileri bir çalışma olarak düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aatique, M., 1997, Evaluation of TDOA Techniques for Position Location in CDMA Systems, 10-11.
- Aha, D.W., Kibler, D., and Goldstone, R.L., 1991, Instance-based learning algorithms, *Machine Learning*, 37-66.
- Bajada, J., 2003, Mobile positioning for location dependent services in GSM networks, *Computer science annual research workshop*, University of Malta, 21-22.
- Balcılar, M., 2010, GSM Üzerinden PC Tabanlı Araç İzleme Sistemi Tasarımı ve Yapımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 27-45.
- Büyüklü, Y, Y., 2006, Üçüncü Nesil (3n) Sistemler İçin Eko İstatistikleri ve Ads ile Bir Sistem Benzetimi, Samsun, 28-79.
- Can, E., 2006, Mobil Cihazların Çalışma Sistemleri ve Çevre Üzerindeki Etkileri, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 45-72.
- Cigizoglu, H, K., and Alp, M., 2005, Generalized regression neural network in modelling river sediment yield, *Adv Eng Software*, 37-63.
- Coomans, D, Massart, D.L., 1982, "Alternative k-nearest neighbour rules in supervised pattern recognition: Part 1. Knearest neighbour classification by using alternative voting rules, *Analytica Chimica Acta*, 15-27.
- Çelikoğlu, H, B., and Cigizoglu, H, K., 2007, Public transportation trip flow modeling with generalized regression neural networks, *Adv Eng Software*, 38-71.
- Çetintaş, M., and Tektaş, C, B., 2019, GSM, UMTS ve LTE Baz İstasyonu Sinyallerinin Oluşturduğu Maruziyetin Frekans Seçici Ölçümleri ve Analizi, *TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü*, *EMO bilimsel dergi*, 20-27.
- Doughangı, H., 2017, Kapalı alanda konum belirleme sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2.
- Duda, R.O., Hart, P.E., and Stork, D.G., 2000, Pattern Classification, *John Wiley & Sons*, New Jersey, 78-92.
- Ertuğrul, Ö. F., and Kaya Y., 2014, A detailed analysis on extreme learning machine and novel approaches based on ELM, *American Journal of Computer Science and Engineering*, 43-50.
- Enge, P., 2003, GPS Modernization: Capabilities of the New Civil Signals. *Australian International Aerospace Congress*, 29
- ETSI Technical Specification Paper 2012, TS 25.111-Release 11, Location measurement unit performance specification, *3GPP Standard*.

- Ezhilarasan, E., and Dinakaran, M., 2017, A review on mobile technologies: 3G, 4G and 5G, *Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models*, ISBN: 978-5090.
- Fausett, L., 1994, Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications, *Englewood Cliffs: Prentice-Hall*, 8-15.
- Fritsche, C., Klein, A., Wurtz, D., 2009, Hybrid GPS/GSM localization of mobile terminals using the extended Kalman filter, *6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, Proceedings*, Darmstadt, 189-194.
- Galvan, C. E., Issac G. T., Sandovalc E. I., and Brena R., 2012, Wifi bluetooth based combined positioning algorithm, *Procedia Technology*, 7.
- Garg, V. K., and Wilkes, J. E., 1999, Principles And Applications Of Gsm, *Prentice Hall Ptr*, 23-74.
- Gezici, S., and Poor, V. H., 2009, Position estimation via ultra wide-band signals, *Proceedings of the IEEE* 97(2).
- Han, J., Kamber, M., 2006, Data mining: concepts and techniques, *Morgan Kaufmann Publishers*, Burlington.
- Haykin, S., 2005, Neural Networks – A Comprehensive Foundation, *India: Pearson Education*, 34-79.
- Huang, C. J., D. X., and Yang, Y. T., 2008, Application of Wrapper Approach and Composite Classifier to the Stock Trend Prediction, *Expert Systems with Applications*, Chuang, 34.
- Huang, G. B., Zhu Q. Y., and Siew C. K., 2006, Extreme learning machine: Theory and applications, *Neurocomputing*, 489–501.
- Huang, G. B., Wang, D. H., and Lan, Y., 2011, Extreme learning machines: a survey, *Int. J. Mach. Learn. & Cyber.*, 107–122.
- Huang, Y., Lui, Z., and Ling, G., 2008, An improved Bayesian-based RFID indoor location algorithm, *International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSSE 2008)*, IEEE, 511–514.
- Jain, V. R., Bagree, R., Kumar, A., and Ranjan, P., 2008, WildSENCE:GPS based animal tracking system, *Drirubhai Ambani Institute of Inf., and Comm. Tech.*, 8 (1): 617-622.
- İçen, E., 1998, Küresel ve Bölgesel Konumlama sistemleri, teknolojileri ve uygulamaları, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 26-59.

- Jang, J, S, R., Sun, C, T., and Mizutani, E., 1997, Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence, *Prentice Hall, Upper Saddle River*, New Jersey, USA, 9-10.
- Jin, G., Lu, X., and Park, M., 2006, An indoor localization mechanism using active RFID tag, *IEEE International Conference on Sensor Networks*, 40–43.
- Kahveci, M., and Yıldız, F., 2001, Global konum Belirleme Sistemi (Teori-Uygulama), *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 7-25.
- Kalaycı, a. O., and Akdemir, E., 2018, İş Birliksiz Hedefler İçin RF Parmak İzi Tabanlı Bina İç Konum Belirleme, *ASELSAN A. Ş.*, 1-4.
- Kayacan, S., 2007, GSM de Frekans Planlama Yöntemleri ve Hücrelere Frekans Ataması Yapacak Planlama Yazılımı Gerçekleştirimi, *İzmir*, 78-99.
- Kim, B, Lee, D, W., Parka, K, Y., Choi, S, R., and Choi, S., 2004, Prediction of plasma etching using a randomized generalized regression neural network, *Vacuum*, 37–43.
- Klozar, L., 2011, Localization System in GSM and GPS Networks, *Unpublished Press*.
- Kresse, W., and Danko, D.M., 2012, Springer Handbook of Geographic Information, *Springer-Verlag*, Berlin, 18-23.
- Kumaravel, K., 2011, Comparative Study of 3G and 4G in Mobile Technology”, *International Journal of Computer Science Issues*, September, ISSN 1694-0814.
- Küpper, A., 2005, *Location Based services Fundamentals & Operation*, John Wiley Press.
- Kurt, Ö. F., 2009, Parmak izi yöntemi ile hücresel ağlarda konum belirleme, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2.
- Kuşçu, Ö., 2011, Sosyal Bilgiler Öğretiminde Öğrencilerin Konum ve Koordinat Belirleme Becerilerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-26.
- Maltarollo, V, G., Honório, K, M., and Da Silva, A, B, F., 2013, Applications of Artificial Neural Networks in Chemical Problems, *London: Intechopen*. 17-65.
- Mcclure, R. W., 1992, A Conceptual Model for Map Skills Curriculum Development Based Upon A Cognitive Field Theory Philosophy, Master of Science, *Oklahoma State University Social Sciences Institute*, Oklahoma, 119-122.
- Meneses, F., and Moreira, A., 2006, Using GSM CellId Positioning for Place Discovering, *Pervasive Health Conference and Workshops*, 1-8.
- Mitchell, T., 1997 Machine Learning, *McGraw Hill*, New York, 14-17.

- Montenbruck, O., and Teunissen, 2017, Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, *Cham: Springer International Publishing AG*, 217-221.
- Muhajir, I., 2001, Algoritma k-Nearest Neighbors (KNN), Medium, Physics Student of IPB University, LinkedIn, [https://medium.com/@muhajir\\_29/algoritma-k-nearest-neighbors-knn-785d328bf110](https://medium.com/@muhajir_29/algoritma-k-nearest-neighbors-knn-785d328bf110) [Ziyaret Tarihi: 23 Mart 2020].
- Özkuş, M., S., 2008, GSM Baz İstasyonlarından Elde Edilen Konum Bilgisinin Havacılıkta Uçakların İniş Sürecinde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 44-58.
- Parsons, J. D., 2000, The Mobile Radio Propagation Channel (2nd Edition), *John Wiley and Son*, 18-30.
- Rappaport, S. T., 2002, Wireless Communications: Principles and Practices (2nd Edition), *Prentice-Hall PTR.C*.
- Romero. C., 2013, LTE mobil ağlarının gelişimi Latin Amerika'da 4G teknolojisini genişletiyor, Haziran, <https://www.gsma.com/latinamerica/evolution-lte-mobile-networks-4g-technology-latin-america/> [Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2020].
- Sauter, M., LTE, WiMAX, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0. *A John Wiley and Sons, Ltd, Publication*, 2009, 13-70.
- Sevindi, C., 2005, Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Coğrafya Araştırmalarında Kullanımı, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 101-112.
- Seybold, S. J., 2005, Introduction to RF propagation (2nd edition), *Wiley & Sons*.
- Shmueli, G., Patel, N.R, and Bruce, P.C., 2010, Data mining: for Business Intelligence, *John Wiley & Sons*, New Jersey, 80-111.
- Shukla, S., Khare, V., Garg, S., and Sharma, P., 2013, Comparative Study of 1G, 2G, 3G, 4G. 2013. *Journal of Engineering Computers and Applied Science*, April, 2319-5606.
- Şancı, C., 2015, GPS sisteminin bir alternatifi var: GLONASS, Chip Online, [https://www.chip.com.tr/haber/gps-sisteminin-alternatifi-var-glonass\\_51874.html](https://www.chip.com.tr/haber/gps-sisteminin-alternatifi-var-glonass_51874.html) [Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2019].
- Thong, S. T. S., Han, C. T., and Rahman, T. A., 2007, Intelligent fleet management system with concurrent GPS&GSM real-time positioning technology, *IEEE*, 12 (7): 1178-1184.
- Tosun, C., 2013, GSM şebekesi kullanarak kablosuz konumlama, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-2.
- Türkyılmaz, O., 2007, Hüresel ağlarda ortam-bilinçli konum belirleme, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : ERCAN DEMİR  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : SİİRT/10.02.1996  
**Telefon** : 544 407 26 78  
**Faks** :  
**e-mail** : ercandemir23.ed@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Siirt Lisesi, Merkez, SİİRT	2014
Üniversite	: Siirt Üniversitesi, Merkez, SİİRT	2018
Yüksek Lisans:	Batman Üniversitesi, Merkez, BATMAN	2020

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019-2020	SAGTEK Biyomedikal Bilişim Güvenlik Yenilenebilir Enerji Eğitim Pazarlama Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Elektrik-Elektronik Mühendisi
2019-2019	Özel Siirt OSB Bilim Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	Elektrik-Elektronik Öğretmeni

### UZMANLIK ALANI

Makine Öğrenmesi, Android Studio, Sinyal İşleme

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR:

Demir, E., Öztekin, A., 2020, Aşırı Öğrenme Makinesiyle GSM Sinyal Bazlı Konum Belirleme, *3rd International Conference on Data Science and Applications, ICONDATA '20*, İstanbul.

Demir, E., Öztekin, A., Kardeş, S., 2020, GSM Baz İstasyonu Sinyal Verilerinin Erişimine Yönelik Bir Android Mobil Uygulama Geliştirilmesi, *3rd International Conference on Data Science and Applications, ICONDATA '20*, İstanbul.