

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRONİK İZLEME SİSTEMİNİN PLANLANMASINDA YENİ BİR  
HİBRİT TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

FERHAT ELÇİ

TEZ DANIŞMANI  
PROF. DR. MEHMET KURBAN

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. EMRAH DOKUR

BİLECİK, 2023

10586616

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRONİK İZLEME SİSTEMİNİN PLANLANMASINDA YENİ BİR  
HİBRİT TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

FERHAT ELÇİ

TEZ DANIŞMANI  
PROF. DR. MEHMET KURBAN

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. EMRAH DOKUR

BİLECİK, 2023

10586616

## BEYAN

“Elektronik İzleme Sisteminin Planlanmasında Yeni Bir Hibrit Tahmin Modelinin Geliştirilmesi Ve Uygulaması” adlı doktora tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>	<input type="checkbox"/>	<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
Destek alındı ise;			
<b>Destekleyen Kurum:</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		<b>Proje Numarası</b>	
<b>1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>2- TÜBİTAK</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>3- Diğer:</b> .....	<input type="checkbox"/>		
ETİK KURUL Onayı <input type="checkbox"/>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı</b>			

**Ferhat ELÇİ**

..... /...../ 2023

İmza

## ÖN SÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince yardımlarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, her daim yol gösterici olan danışman hocam Prof. Dr. Mehmet KURBAN'a, tez çalışmamın her aşamasında deneyimlerini paylaşarak, bilgi ve birikimleriyle doktora sürecime büyük katkılarda bulunan izleme komitesi üyesi hocalarım Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ ve Prof. Dr. Serpil TÜRKYILMAZ'a, bu süreç boyunca deneyimlerini sabırla paylaşan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bu yolculuğun her anında büyük bir motivasyon kaynağı olan ikinci danışman hocam Doç. Dr. Emrah DOKUR'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

İş hayatım boyunca bana yol gösteren, en sıkıntılı zamanlarımda dahi desteklerini esirgemeyen Genel Müdürüm İsmail UZELLİ'ye ve Direktörüm İrfan DURSUN'a doktora sürecinde bana verdikleri desteklerden dolayı minnettarım.

Son olarak, hayatımın her aşamasında yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, çok kıymetli eşim, meslektaşım, Gülseçen KÖK ELÇİ'ye, dualarını esirgemeyen anneme, babama ve bu hayattaki en büyük şansım olan kızım Ezgi ELÇİ ve oğlum Berke ELÇİ'ye teşekkür ederim.

Çalışmamın verilen bütün emeklere yaraşır olması ümidiyle...

**Ferhat ELÇİ**

## ÖZET

### **ELEKTRONİK İZLEME SİSTEMİNİN PLANLANMASINDA YENİ BİR HİBRİT TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULAMASI**

Şüpheli, sanık ve hükümlülerin elektronik haberleşme yöntemleri ile toplum içinde izlenmesini, gözetim ve denetim altında tutulmasını, mağdurun ve toplumun korunmasını destekleyen elektronik izleme sistemleri, gelişmiş ülkelerde ortaya konulan ve gittikçe yaygınlaşan cezaların infazlarında kullanılan bir teknolojidir. Elektronik izleme sistemleri ile hükümlülerin toplum içinde cezalarının infazı gerçekleştirilirken aynı zamanda denetimli serbestliğinde etkili şekilde uygulanmasına da katkıda bulunur.

Günümüzde, gelişmiş ülkelerin yanında gelişmekte olan ülkelerde de suç oranları giderek artmakta olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, bazı ülkelerin bu sistemi cezanın daha etkin bir şekilde infaz edilmesi için kullanmakta olduğu, bazı ülkelerin ise ekonomik açıdan hapis cezasına alternatif bir sistem olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu teknolojinin gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de de kullanımı ve önemi gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu sistemler, cezaların infazı ve suçla mücadelede önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışması, güncel bir çalışma alanı olan elektronik izleme sistemlerinin planlaması ve sistem alt yapısının öngörüsü için hassas bir tahmin modelinin geçmiş yükümlü verisine göre analizini oluşturmaktır. Bu kapsamda Türkiye Cumhuriyeti Adalet Bakanlığı'na bağlı Ceza ve Tevkifevleri Genel Müdürlüğü bünyesinde yer alan Denetimli Serbestlik Daire Başkanlığı'na bağlı Elektronik İzleme Şube Müdürlüğü tarafından 2013-2021 yılları arasında izlenen 56.611 kişiden elde edilen veriler kullanılarak elektronik izleme sistemlerindeki aktif yükümlü sayısını kısa dönemli olarak tahmin için hibrit model oluşturulmuştur. Bu model sayesinde Türkiye'deki elektronik izleme sistemlerinin gelişimi gözlenerek ihtiyaç duyulacak ekipmanların planlanması ve optimal sistem yönetiminin sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Tez çalışması kapsamında yenilikçi bir tahmin modeli olarak CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM hibrit modeli önerilmiş ve elde edilen veriler bu model kullanılarak uygulanmıştır. Önerilen modelin performansı güncel derin öğrenme metotlarının yanı sıra geleneksel metotlar ve hibrit metot ile de karşılaştırılarak sunulmuştur. Gerçeklenen modellerin ilk aşamada öncelikle geçmiş verilerle olan ilişkisi ortaya konulmuştur. İkinci aşamada ise CEEMDAN ayrıştırma

metodu ile alt bileşenlerine ayrılan veriler ile tahmin modeli performansı iyileştirilmiştir. Her bir alt bileşen Kernel tabanlı Meta-ELM tahmin modeline uygulanmıştır. Tüm modellerin performansı Matlab yazılım ortamında kodlanmış olup, hata performans metrikleri ve Taylor diyagramı ile istatistiksel olarak tablolar ve grafikler halinde sunulmuş ve karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit Method, Ayırıştırma, Tahmin, Elektronik İzleme, Makine Öğrenmesi.

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF A NOVEL HYBRID FORECASTING MODEL FOR ELECTRONIC MONITORING SYSTEM PLANNING AND APPLICATION**

The electronic monitoring systems that support the surveillance and supervision of suspects, defendants, and convicts through electronic communication methods, while ensuring the protection of victims and society, are a technology increasingly employed in the execution of sentences in advanced countries. Electronic monitoring systems contribute to the effective implementation of probation at the same time as the execution of convicts' sentences in the community.

Nowadays, it is observed that crime rates are steadily increasing not only in advanced countries but also in developing nations. In line with the findings, it has been observed that some countries use this system for a more effective execution of the sentence, while some countries use it as an economic alternative to imprisonment. The use and importance of this technology is increasing day by day in Türkiye, which is among the developing countries. These systems play an important role in the execution of sentences and the fight against crime.

This thesis study aims to develop a sensitive prediction model for the planning of electronic monitoring systems, an area of current focus. The model is designed to predict the infrastructure requirements of these systems based on historical data of individuals under electronic monitoring. In this context, a hybrid model was created to estimate the number of active offenders in electronic monitoring systems in the short term by using the data obtained from 56.611 people monitored between 2013-2021 by the Electronic Monitoring Branch under Directorate of the Probation Department of the Directorate General For Prisons and Detention Houses of the Ministry of Justice of the Republic of Türkiye.

The primary objective of this model is to facilitate efficient planning of the necessary equipment and to ensure the optimal management of electronic monitoring systems in Turkey. Within the scope of the thesis study, the CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM hybrid model was proposed as an innovative prediction model and the obtained data was applied using this model. In this thesis evaluate the performance of the proposed model by comparing it with contemporary deep learning methods, traditional

methodologies, and other hybrid models. We follow a two-stage approach. In the first stage, we establish the relationships of the implemented models with historical data. In the second stage, we enhance the prediction model's performance by decomposing the data into subcomponents using the CEEMDAN decomposition method. Each subcomponent is subsequently incorporated into the Kernel-based Meta-ELM prediction model. All models are implemented by using the Matlab software environment and present their performance statistically in tables and graphs, using error performance metrics and a Taylor diagram. We engage in a comprehensive comparative discussion of the results to highlight the model's effectiveness and contributions to the field.

**Keywords:** Hybrid Method, Decomposition, Forecast, Electroning Monitoring, Machine learning.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ELEKTRONİK İZLEME SİSTEMLERİ</b> .....	<b>12</b>
2.1. Türkiye’de ve Dünyada Elektronik İzleme Sistemleri .....	<b>12</b>
2.1.1. Hüküm Öncesi Aşama .....	<b>23</b>
2.1.2. Hüküm Sonrası Aşama .....	<b>23</b>
2.1.3. Salıverme Sonrası Aşama .....	<b>24</b>
2.2. Elektronik İzleme Teknolojileri ve Uygulamaları.....	<b>25</b>
2.2.1. Elektronik Kelepçe (Electronic Bracelet) .....	<b>29</b>
2.2.2. Ev Hapsi Ünitesi (RF Home Curfew System).....	<b>31</b>
2.2.3. GPS Uydu Takip Ünitesi (GPS Tracking System) .....	<b>33</b>
2.2.4. Aile İçi Şiddet Üniteleri (Domestic Violence).....	<b>35</b>
2.2.5. Uzaktan Alkol İzleme Ünitesi (Remote Alcohol Monitoring) .....	<b>36</b>
2.2.6. Teknoloji Altyapı Analizi .....	<b>37</b>
<b>3. METODOLOJİ</b> .....	<b>40</b>
3.1. Çok Katmanlı Ağlar (Multi-Layer Perceptron Model - MLP) .....	<b>40</b>
3.2. Uyarlanabilir Gürültü ile Komple Topluluk Görgül Kip Ayırıştırması (CEEMDAN).....	<b>41</b>
3.3. Sürü Ayırıştırma Tekniği (Swarm Decomposition-SWD) .....	<b>45</b>
3.4. Kernel Tabanlı Meta Aşırı Öğrenme Makinesi (Kernel-Meta-ELM) .....	<b>48</b>

<b>4. UYGULAMA .....</b>	<b>52</b>
4.1. Elektronik İzleme Veri Seti Tanımlaması .....	54
4.2. Verilerin Ayrıştırılması ve Sonuçlarının Analizi.....	58
4.3. Önerilen CEEMDAN-Kernel Meta-ELM Algoritmasının Karşılaştırmalı Uygulama Sonuçları .....	63
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>72</b>

## TABLULAR LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1.</b> Avrupa ülkelerinde kullanılan EM teknolojileri, üretici firmaları ve izleme merkezinin olduğu yerler.....	<b>5</b>
<b>Tablo 1.2.</b> Avrupa ülkelerinde kullanılan EM teknolojileri, üretici firmaları ve izleme servislerinin olduğu yerler.....	<b>6</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Türkiye'de elektronik izleme yöntemleriyle izlenen karar türleri ve kullanılan cihazlar .....	<b>14</b>
<b>Tablo 2.2.</b> Elektronik izlemede model uygulamaların bölgesel ve ulusal olarak karşılaştırılması.....	<b>21</b>
<b>Tablo 2.3.</b> Bazı Avrupa kıtası ülkelerde kullanılan elektronik izleme teknolojileri .....	<b>24</b>
<b>Tablo 2.4.</b> Bazı Amerika kıtası ülkelerinde kullanılan elektronik izleme teknolojileri.	<b>25</b>
<b>Tablo 2.5.</b> Türkiye'de GPS ünitesi kullanılarak denetim ve takip gerçekleştirilen karar türleri ve kullanılan cihaz .....	<b>34</b>
<b>Tablo 4.1.</b> Farklı MLP giriş çıkışlarına göre hata performans kriterlerinin değişimleri.	<b>57</b>
<b>Tablo 4.2.</b> Karşılaştırmalı hata performans metrik sonuçları.....	<b>65</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Elektronik izleme üniteleri.....	26
Şekil 2.2. Elektronik kelepçe ve aparatları.....	30
Şekil 2.3. Ev hapsi ünitesi çalışma prensibi .....	32
Şekil 2.4. GPS takip ünitesi, dış ve iç sahada çalışma prensibi .....	34
Şekil 2.5. Aile içi şiddet üniteleri ve çalışma prensibi .....	36
Şekil 2.6. Uzaktan alkol izleme ünitesi ve çalışma prensibi .....	37
Şekil 2.7. Sistemin genel ağ yapısı.....	39
Şekil 2.8. GPS ve RF teknolojilerinin iletişim topolojisi .....	39
Şekil 3.1. Çok katmanlı ağların yapısı - MLP .....	40
Şekil 3.2. CEEMDAN akış şeması.....	44
Şekil 3.3. Meta-ELM mimarisinin akışı.....	50
Şekil 4.1. Tez kapsamında önerilen modelin genel akış şeması .....	52
Şekil 4.2. Elektronik izleme veri sisteminden elde edilen yükümlü sayısına ilişkin zaman serisi .....	54
Şekil 4.3. Kaydırmalı pencereleme tekniği yapısı.....	55
Şekil 4.4. Verilerin CEEMDAN algoritma ile ayrıştırılması .....	59
Şekil 4.5. Yüksek frekanslı örnek bir alt bileşende (IMF2) model performansının tahmini.....	60
Şekil 4.6. Orijinal verinin SWD tekniği ile ayrıştırılmış alt bileşenleri .....	61
Şekil 4.7. Orijinal ve alt bileşenlerden elde edilen toplam verilerin frekans ve zaman domaindeki değişimleri .....	62
Şekil 4.8. Uygulanan modellerin test verilerine ilişkin karşılaştırmalı tahmin sonuçları	64
Şekil 4.9. Eğitim aşamasında LSTM modelinin hata histogram sonuçları .....	67
Şekil 4.10. Modellerin Taylor Diyagramı ile istatistiksel karşılaştırılması.....	68

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AES</b>	: Advance Encryption Standart (Gelişmiş Şifreleme Standardı)
<b>APN</b>	: Access Point Name (Erişim Noktası Adı)
<b>CEEMD</b>	: Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition (Tamamlayıcı Topluluk Ampirik Mod Ayrıştırma)
<b>CEEMDAN</b>	: Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with (Adaptive Noise – Uyarlanabilir Gürültü ile Tam Görgül Kip Ayrıştırma)
<b>CEP</b>	: Confederation of European Probation (Avrupa Denetimli Serbestlik Konfederasyonu)
<b>CTE</b>	: Ceza ve Tevkifevleri Genel Müdürlüğü
<b>DS</b>	: Denetimli Serbestlik
<b>DCC</b>	: Data Communication Computer (Veri İletişim Bilgisayarı)
<b>ELM</b>	: Extreme Learning Machine (Aşırı Öğrenme Makinesi)
<b>EM</b>	: Electronic Monitoring (Elektronik İzleme)
<b>EMD</b>	: Empirical Mode Decomposition (Deneysel Mod Ayrıştırma)
<b>EEMD</b>	: Ensemble Empirical Mode Decomposition (Toplu Ampirik Mod Ayrıştırma)
<b>GAMER</b>	: Güvenlik ve Acil Durumlar Koordinasyon Merkezi Başkanlığı
<b>GPRS</b>	: General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Hizmeti)
<b>GPS</b>	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim için Küresel Sistem)
<b>IMF</b>	: Intrinsic Mode Function (İçsel Mod Fonksiyonu)
<b>ISPRS</b>	: International Society Journal of Photogrammetry and Remote Sensing(Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği)

<b>LBS</b>	: Location-Based Service (Konum Bazlı Hizmetler)
<b>MAE</b>	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
<b>Meta-ELM</b>	: Meta-Extreme Learning Machine (Meta Aşırı Öğrenme Makinesi)
<b>Meta-Kernel ELM</b>	: Meta Kernel Extreme Learning Machine (Meta Kernel Aşırı Öğrenme Makinesi)
<b>MLP</b>	: Multi-Layer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı)
<b>MRD</b>	: Manuel Reset Device (Elektronik Anahtar)
<b>MSE</b>	: Mean Squared Error (Ortalama Kare Hata)
<b>RF</b>	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
<b>RMSD</b>	: Root Mean Square Deviation (Kare Kök Ortalama Sapma)
<b>RMSE</b>	: Root Mean Square Error (Karekök Ortalama Kare Hata)
<b>SLFN</b>	: Single-Layer Feedforward Neural Network (Tek Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağı)
<b>SSL VPN</b>	: Secure Sockets Layer Virtual Private Network (Güvenli Yuva Katmanı Tabanlı Sanal Özel Ağ)
<b>SMF</b>	: Sliding Window Filtering (Kayan Pencere Filtreleme)
<b>SWD</b>	: Swarm Decomposition (Sürü Ayrışması)

## SİMGELER LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\varepsilon_0$	: The Noise Coefficient (Gürültü Katsayısı)
$\varepsilon$	: A Non-Zero Training Error (Sıfır Olmayan Eğitim Hatası)
$w_j$	: The Input Connection Weights (Giriş Bağlantı Ağırlıkları)
$b_j$	: Biases (Ön Gerilimler-Eğilimler)
$\theta_j$	: Connection Weights (Bağlantı Ağırlıkları)
$N_h$	: The Number of Hidden Layers (Gizli Katmanların Sayısı)
$K(x_i, x_j)$	: The Kernel based Meta Extreme Learning Machine
$\beta$	: Output Vector (Çıkış Vektörü)
$y_i$	: Actual Value (Gerçek Değer)
$y^i$	: Predicted Value (Tahmin Değer)
$w_{ij}^H x_i$	: Gizli katmanı ağırlığı
$w_{jp}^0$	: Çıktı katmanı ağırlığı
$\phi_H$	: Gizli katman için aktivasyon fonksiyonu
$\phi_0$	: Çıktı katmanları için aktivasyon fonksiyonu
$f(t)$	: Orijinal veri
$\overline{IMF}_k(t)$	: EEMDAN yöntemi ile elde edilen k'nıncı IMF
$\omega^i(t)$	: Gauss beyaz gürültüsü
$F_{dH}(n, i)$	: i ve n sırasıyla üye sayısı ve adım sayısı olmak üzere itici kuvvet
$Y_{\delta, M}[k], S[k]$	: Orijinal serinin ayırık Fourier dönüşümünün genlikleri
$\hat{\omega}$	: Normalize frekansı

## 1. GİRİŞ

Denetimli Serbestlik (DS) Hizmetleri Yönetmeliği'ne göre; Türk hukuk sisteminde, denetimli serbestlik; kişinin suç işlemesi nedeniyle tutuklanması veya mahkeme tarafından hakkında mahkûmiyet kararı verilmesi durumunda cezaevine girmesi yerine, cezasını toplum içinde gözetim ve denetim altında çekmesini ifade eder. Bu sistem, yükümlülükleri içeren bir alternatif infaz biçimini temsil eder. Şüpheli, sanık veya mahkûmlar için hapis cezasının yerine geçen bu sistemde, yükümlüler belirli şartlara tabi olarak serbest bırakılır ve kendilerine bazı yükümlülükler getirilir.

Ceza ve Tevkifevleri Genel Müdürlüğü'ne (CTE) bağlı Denetimli Serbestlik Daire Başkanlığının tanımına göre; elektronik izleme, şüpheli, sanık veya mahkûmların toplum içinde elektronik yöntemler ve araçlarla izlenmesini, gözetim altında tutulmasını sağlayan ve mağdurların ve toplumun korunmasını destekleyen kararların uygulanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bir başka ifade ile mahkemeler tarafından denetimli serbestlik tedbirine tabi tutulan ve toplum içinde izlenmeleri gereken bireylerin etkin ve sürekli bir şekilde gözetlenmesine olanak tanıyan elektronik cihazlar, suç tekrarının önlenmesine, suç ortamından uzaklaştırılmasına, topluma yeniden kazandırılmasına ve kişiye yönelik iyileştirme ve ıslah çalışmalarının verimli bir şekilde yürütülmesine katkı sağlar (Denetimli Serbestlik Hizmetleri Kanunu, 2013: 1).

Elektronik kelepçe, suçun niteliğine göre şüphelilere, sanıklara veya mahkûmlara takılmaktadır. Denetimli serbestlik kararları çerçevesinde, yükümlünün konutunu terk etmemesi veya mahkeme kararı ile belli zamanlarda konutunu terk edebilmesi, belirlenen bölgelere girmemesi veya belirlenen bölgelerden ayrılmaması, konutuna alkollü gelmemesi veya konutunda alkol kullanmamasının yanı sıra mağdur olan kişilere yaklaşmaması gerekliliği gibi durumlarda elektronik izleme cihazları kullanılmaktadır. Elektronik izleme; hükümlülere uygulanan tutuklama ve gözlem altında tutma cezalarının cezaevleri dışında da infaz edilmesine olanak sağlayan araç ve ekipmanlar bütünü olarak da tarif edilebilir. Elektronik izleme sistemi, suçluların belirli kısıtlamalara uymaları ve toplum içinde infazları devam ederken daha hassas ve sağlıklı bir şekilde yükümlülerin elektronik ortamda anlık olarak kontrol edilmesini sağlayarak toplumun güvende olmasına katkıda bulunur. Zaman içinde teknolojik gelişmeler, elektronik izleme yöntemini daha da etkili hale getirmiştir. GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi)

teknolojisinin iyileştirilmesi ve diğer izleme araçlarının geliştirilmesi, suçluların izlenmesini daha hassas hale getirmiştir.

Elektronik izleme sistemleri, dünya genelinde birçok ülkede kullanılmakta olduğu görülmektedir. Elektronik izleme ile yükümlülerin belirli kurallara uymaları sağlanırken aynı zamanda toplumun güvenliğinin de korunmasına katkıda bulunmaktadır Elektronik izleme, suçlu ve mahkumların toplum içinde rahatlıkla denetlenmesine ve izlenmesine olanak sağlamanın yanında cezaevlerinin aşırı kalabalıklaşması sorununa da çözüm sunmuş olur.

Günümüzde, ülkelerde ceza infaz kurumlarında aşırı kalabalıklaşma sorunu birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar, hükümlülerin ve tutukluların barındırılması, iye ve sağlık problemleri, iyileştirme programlarının aksaması, yeni ceza infaz kurumlarına olan ihtiyaç, yeni personel gereksinimi gibi önemli konuları içermektedir. Her ülke, kendi elektronik izleme sistemini oluştururken kendi ihtiyaçları ve yasal çerçevesi doğrultusunda bir model geliştirmiştir. Diğer ülkelerde uzun süredir uygulanan elektronik izleme sistemleri, tutuklama ve hapis cezasının maliyetlerini düşürdüğü hesaplanmıştır. Bu uygulama sayesinde mahkumlar toplum içinde infazı gerçekleştirilirken aynı zamanda cezaevlerindeki aşırı kalabalıklaşma sorununa da çözüm sağlanmaktadır. Alternatif bir seçenek olarak öne çıkan elektronik izleme yapılan araştırmalarla yararlarını açıkça ortaya koyduğu gibi ceza infaz sistemimizdeki sorunlara alternatif bir çözüm sunar ve yükümlülerin toplum içinde izlenmesini ve denetlenmesini kolaylaştırır. Aynı zamanda elektronik izleme, daha az fiziksel alanın ve kaynağın kullanılmasını gerektirir ve bu nedenle ceza infaz sisteminin maliyetlerini azaltmış olur. Bu yöntemin, ceza infaz politikalarının gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesi için önemli bir araç olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte; elektronik izleme programları, hükümlülerin sosyal rehabilitasyonunu desteklemek amacıyla da tasarlanabilir. Bu programlar, hükümlülere iş bulma, eğitim alma veya bağımlılık problemleriyle başa çıkma konusunda yardımcı olabilir. Bu sayede, suçluların yeniden topluma entegrasyonu kolaylaşır. Elektronik izlemenin hapis cezasına göre avantajlarını ve sosyal etkilerini şu şekilde sıralanabilir.

Avantajları;

- Hapis cezasına alternatif: Elektronik izleme, hapis cezasının yerine geçebilen bir alternatif sunar. Suçluların cezaevinde değil, toplum içinde izlenmesine olanak tanır.
- Mahkûm sayısını yönetme ve esneklik: Elektronik izleme, mahkûm sayısını daha etkin bir şekilde yönetme ve ihtiyaca göre düzenleme esnekliği sağlar. Cezaevlerindeki aşırı kalabalığı azaltabilir.
- Rehabilitasyon imkânları: Elektronik izleme, hükümlülere daha fazla rehabilitasyon aktivitesi uygulama fırsatı sunar. Eğitim, iş bulma, bağımlılık tedavisi gibi programlar bu şekilde daha iyi bir şekilde organize edilebilir.
- Tekrar suç işleme oranlarını düşürme: Elektronik izleme, suçluların yeniden suç işleme olasılığını azaltabilir. İzleme altındaki bireylerin davranışları daha yakından takip edilebilir ve müdahale edilebilir.
- Kaynak kullanımının azaltılması: Elektronik izleme, cezaevi kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmayı mümkün kılar. Bu da diğer önemli yatırımların yapılmasına ve geliştirilmesine olanak tanır.
- Risk azaltma: Elektronik izleme, hükümlülerin toplum içindeki riskini azaltır. Toplumun güvenliğini artırır ve daha iyi bir risk yönetimi sağlar.
- Maliyet azaltma: Hapis cezasına göre elektronik izleme, genellikle daha ekonomik bir alternatiftir. Cezaevlerinin işletilmesi ve sürdürülmesine göre daha düşük maliyetlerle işler.

Griffiths, (2009) sosyal etkileri üzerine yaptığı çalışmada;

- Suçtan uzak kalmaya yardımcı olur: Elektronik izleme, suçtan uzak kalmak isteyen mahkûmlar için büyük bir etki sağlayabilir. İzleme ile suçlu davranışlarını kontrol altında tutar.
- Alışkanlıkları değiştirme: Elektronik izleme, mahkûmlara alışkanlıklarını değiştirme fırsatı sunar. Suçlu davranışlarından vazgeçmelerine yardımcı olabilir.
- Alternatif hayat tarzlarını gözden geçirme: İzleme, suçlu bireylere alternatif bir hayat tarzını düşünme ve tercih etme şansı verir.
- İşe gidebilme: Elektronik izleme, suçluların işe gitmelerini ve toplumda üretken bir şekilde yer almalarını kolaylaştırır.

- İlişkilerin sürdürülmesine imkân tanır: Aile ve sosyal ilişkilerin devamını sağlar, topluma yeniden entegrasyonu kolaylaştırır.
- Toplum düzenini kuvvetlendirme: Elektronik izleme, suçluların toplum içinde düzenli ve sorumlu bir şekilde davranmalarına katkıda bulunarak toplum düzenini kuvvetlendirir.

1990'ların başında elektronik izleme, Avrupa suç politikasının önemli bir yönü olarak ortaya çıktı. Birleşik Krallık, Galler, İsveç ve Hollanda, elektronik izlemeyi birincil cezai tedbir olarak benimseyen ve bunu mahkûmiyet sonrası hapsedme, hapisshaneden erken tahliye ve hatta hüküm vermeden önce bir alternatif olarak sunan öncüler olmuştur (Elçi, 2017: 8). 2000'li yılların başında Fransa, İtalya, Portekiz, İskoçya ve Belçika dahil olmak üzere birçok ülke elektronik izlemeyi benimsediği gözlemlenmiştir. Danimarka, Avusturya ve çeşitli Doğu Avrupa ülkelerinde elektronik izlemeye ilişkin mevzuat çıkarmışlardır. İspanya ve İsviçre elektronik izlemeyle yerleştirilmiş deneyler yaptığı görülmektedir. Almanya'da Hessen eyaleti 2000 yılında elektronik izleme için bir pilot program başlattı ve bu program sonunda ülkedeki tüm eyaletleri kapsayacak şekilde genişletmişlerdir. Günümüzde ise birçok kıtada ve ülkede EM'nin yaygınlaştığı görülmektedir.

Elektronik izleme sistemlerine ilişkin mevcut literatür, sosyal-kültürel analizlerden mühendislik odaklı araştırmalara kadar farklı bakış açılarını inceleyen çok sayıda çalışmayı kapsamaktadır.

Finlandiya'nın başkenti Helsinki'de 2022 yapılan Avrupa Denetimli Serbestlik Konfederasyonu tarafından düzenlenen konferansın sonuç bildirgesinde teknoloji kullanımında karşılaşılan zorluklar ele alınmış olup, teknolojik yeniliklerin sınırlı eğitime sahip ve/veya teknolojilere erişimi olmayan kişileri dışlayarak dijital uçurumu genişletebileceği öne sürülmüştür (CEP, 2022: 6). Konferansta ayrıca elektronik izleme kavramı ile birlikte günümüzde hızla gelişmekte olan yapay zekâ konusu vurgulanmış, Finlandiya, Norveç ve İsveç'teki elektronik izleme sistemlerinin kullanımı ele alınarak, ceza adalet sistemi, denetimli serbestlikte teknolojilerin kullanımı ve ortak değerlerin elektronik izleme (EM) üzerindeki etkileri vurgulanmıştır. Her üç ülkenin de benzer teknolojilerden RF (Radyo Frekansı) ve GPS teknolojilerinin kullanıldığını, ancak

Finlandiya ve Norveç'te ayrıca alkol izleme için biyometrik teknolojilerin kullanıldığına da yer verilmiştir.

Hırvatistan'ın başkenti Zagreb'de yapılan 2018 yılına ait aynı konferansta elektronik izleme ile ilgili genel bölümde; EM (Electronic Monitoring-Elektronik İzleme) sürecinin farklı aşamalarından en sık hüküm verme aşamasında kullanıldığını, cezai sayısını üzerinde doğrudan etkileri olduğunu ve Fransa'nın en yüksek kullanıma sahip ülke olarak öne çıktığı görülmektedir. Tablo 1.1'de gösterilen detayda, konferansta paylaşılan bazı ülkelerdeki elektronik izleme teknolojilerinin türleri, kullanılan cihaz teknolojisi, üretici firma ve izleme servisine ait detay aktarılmıştır (CEP, 2018: 3).

**Tablo 1.1.** Avrupa ülkelerinde kullanılan EM teknolojileri, üretici firmaları ve izleme merkezinin olduğu yerler

Ülkeler	Teknoloji	Üretici	İzleme Merkezi
Avusturya	RF / GPS	3M***	Hapishane
Belçika	RF / GPS	3M	Denetimli Serbestlik
Çek Cumhuriyeti	**	Supercom	Denetimli Serbestlik
Finlandiya	RF / GPS	3M	DS / Hapishane
Fransa	RF / GPS	G4S	Hapsihane
Yunanistan	RF / GPS	G4S	Özel
İrlanda	RF / GPS	Other*	Özel
Letonya	RF	Supercom	Denetimli Serbestlik
Litvanya	GPS	Geosatis	Denetimli Serbestlik
Hollanda	**	3M	**
Norveç	RF / GPS	G4S	Denetimli Serbestlik/ Polis
Portekiz	RF / GPS	3M	Denetimli Serbestlik
İsveç	RF	3M	Denetimli Serbestlik
İsviçre/ Basel	RF / GPS	3M	Denetimli Serbestlik

**Kaynak :** (11.CEP Raporu, 2018)

- \* Hangi özel şirket olduğu hakkında bilgi verilmedi
- \*\* Cevaplanmadı
- \*\*\* Eskiden 3M, şimdi Attenti

Letonya'nın başkenti Riga'da 2016 yılında yapılan konferansta (CEP, 2016: 5) "Avrupa'da Elektronik İzleme Araştırması Analiz bölümünde"; EM programının yoğunluğu, kararın süresi ve günlük izleme süreleri bakımından, yargı sistemleri arasında farklılık gösterdiğini, Almanya'nın, iki yıl sonra mahkeme tarafından zorunlu olarak gözden geçirildikten sonra tahliye sonrası programın süresini en fazla beş yıl olarak tanımlandığını, İskoçya'da tahliye sonrası için azami bir süre bulunmadığı, Portekiz'in, mahkeme kararıyla denetimli serbestlik programı ile 24 aya kadar mümkün olan en uzun süreyi bildirildiğine yer verilmiştir. Tablo 1.2'de bazı ülkelerdeki elektronik izleme teknolojilerin türleri, kullanılan cihaz teknolojisi, üretici firma ve izleme servisine ait detay aktarılmıştır.

**Tablo 1.2.** Avrupa ülkelerinde kullanılan EM teknolojileri, üretici firmaları ve izleme servislerinin olduğu yerler

Ülkeler	Teknoloji	Üretici	İzleme Servisi
Avusturya	RF (97%), GPS, Alkol	3M	Hapishane
Çek Cumhuriyeti	RF	*	Proje Çalışanları
Estonya	RF	3M	DS / İzleme Merkezi
Almanya (all)	GPS (100%)	3M	İzleme Merkezi (Yerel)
Almanya-BadenWürttemberg	GPS (100%)	*	Ulusal
Almanya Hesse	RF, Alcohol	3M	İzleme Merkezi (Yerel)
Lüksemburg	RF	3M-G4S	Hapishane
Kuzey İrlanda	RF	G4S	G4S
Hollanda	RF (41%), GPS	3M	Tyco
Norveç	RF	G4S	DS / İzleme Merkezi
Portekiz	RF (50%), GPS	3M	DS / İzleme Merkezi
İskoçya	RF	G4S	G4S
İsveç	RF, GPS-pilot in 2016	3M	DS // Hapishane
İsviçre/ Basel	RF (99%), GPS	*	*
İsviçre/ Basel	RF	3M	Securitas
İsviçre/ Geneva	RF	3M	Securitas

**Kaynak :** (10.CEP Konferansı, 2016)

\* Hangi özel şirket olduğu hakkında bilgi verilmedi.

Bıçakçı ve arkadaşları tarafından geliştirilen mekânsal çerçevenin suç örüntüleri veya suç çekici konumlar gibi çevresel kriminoloji kavramlarını desteklediği elektronik izleme sistemi kullanılarak şartlı tahliye edilenlerin mekânsal-zamansal örüntüsünü analiz ederek, şartlı tahliye edilenlerin mekânsal-zamansal analizleri için ızgara tabanlı bir çözüm sunulmuştur. Bu çözümle şartlı tahliye edilenlerin daha iyi izlenmesi ve gözetimin faydalarının gerekçelendirilmesi için karar vericilere yardımcı olmayı amaçlandığı görülmüştür (Bıçakçı vd., 2020: 12).

Öztürk tarafından yapılan çalışmada elektronik izlemenin doğuşu, maliyet konusu, türleri, avantaj ve dezavantajları ele alınarak özellikle alkol izlemede yapılan hatalar üzerine vurgu yapılmış, yükümlünün fizyolojik verilerinin, suçlunun cep telefonu veya EM sunucuları ile eşleştirilerek suçlunun kullanımına açıksa, suçlu verileri davranış değişikliği için kullanılabilceğini sonucuna ulaşmıştır. Özetle bu alanda yapılan çalışmadaki vurgu suçlunun uyku düzenleri, huzursuzluk, kalp atış hızı, anksiyete ve kan basıncı gibi fizyolojik verilerin EM üzerinde temini ile birlikte yükümlü üzerinde oluşabilecek acil durumlara yanıt aranabileceğidir. Aynı makalede elektronik izleme programındaki suçluların rehabilitasyonu için potansiyel araçlar olarak biofeedback ve veri analitiğini önerdiğini, kendi kaderini tayin teorisini kullanabiliyorsak, bu teknolojinin suçluların rehabilitasyonundaki potansiyeline kuvvetle inandığını, ayrıca ciddi suçluların rehabilitasyonu için elektronik izlemenin tam potansiyelini araştırabilmek için hem veri analizinde hem de neurofeedback'te çok fazla araştırmacının gerekli olduğu sonucuna vardığı yorumu yapılmıştır (Öztürk, 2015: 219).

Nilay Yıldırım çalışmasında, Türkiye ve Dünya genelinde elektronik izleme yöntemleri üzerine yapmış olduğu çalışmasında, Alan İzleme, Konum İzleme, Alkol Testi İzleme ile dünya genelinde kullanılan cihazları detaylıca incelemiş olup, elektronik takip cihazlarının ülkelere göre üretimini kıyasladığında, Amerika özelinde geliştirildiğini belirterek ülkeler bazında yerli güvenli sistemlerin üretilmesi ve kullanılmasının elektronik izleme maliyetini daha fazla düşüreceği yorumu yapıldığı görülmüştür (Yıldırım ve Varol, 2015: 200).

Zafer Güler, ülkelere göre karşılaştırmalı olarak yapmış olduğu çalışmada ülkelerin daha çok cezaevlerindeki aşırı yoğunluğunu azaltmak ve ceza infaz kurumlarındaki maliyetlerinin azaltılmasının amaçlanmakta olduğunu belirterek, geliştirilen yöntemlere göre her ülkenin kendi ihtiyaçlarına göre farklı türlerde elektronik

izleme yöntemlerini kullanılmakta olduğu sonucuna ulaşmıştır. EM'lerin ilk olarak ABD'de kullanımının yaygınlaşmasından sonra batı Avrupa'dan başlayarak hızlı bir şekilde Avrupa'nın ve dünyanın birçok ülkesinde başarılı bir şekilde kullanılmakta olduğunu gözlemlemiştir (Güler, 2015: 206).

Nilay Pekel Uludağlı yapmış olduğu çalışmada elektronik izlemenin yararlarını, dünyadaki kullanımını, kimlerin bu programdan faydalanması gerektiğini, yükümlüler açısından elektronik izlemeye bakış açısını incelemiştir. Hükümlülerin topluma kazandırılması sürecindeki avantajları için elektronik izleme altına alınacak hükümlülerin doğru tespit edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Kullanılan elektronik izleme sisteminin toplumsallaşmaya izin vermesi, iyileştirme çalışmalarına destek olması, mağdurun korunmasına yardımcı olması gibi yararları açısından bakıldığında önemli bir araç olacağı sonucuna varmıştır (Uludağlı, 2012: 1).

Bıçakçı ve Şeker ise yapmış olduğu çalışmalarda elektronik izlemenin çoğunlukla iktisadi avantaj sağlamasının yanı sıra insanların yaşamlarına denetimli serbestlik süreci ile sosyal olarak sürdürebilmeleri, çalışma ile birlikte ve sonrasında beşeri uyum ve etkileşim süresince yarar sağlayacağı yorumunu yapmıştır (Bıçakçı ve Şeker, 2015: 214).

Erez vd., (2012) yaptıkları çalışmalarda; elektronik izleme teknolojilerinden aktif sistem, pasif sistem ve GPS sistemleri ile Avustralya'daki uygulamaları (tutukluluk hali, hapis sonrası gibi), avantajları ve dezavantajları, maliyet konusu, yükümlülerin rehabilitasyonu incelediği görülmüş olup, her ne kadar son teknolojiler geçmişe göre daha verimli olsa da, gözetim potansiyeli aşırı düzenleme ve insan haklarının ihlali endişeleri yarattığı, etik dışı veya yasa dışı uygulamalarla başa çıkmak için etkili prosedürler oluşturulması gerektiği yorumunu yapmışlardır.

The National Institute of Justice of USA, (1999) yayınlanan bir makalede; elektronik izleme uygulamalarından biri olan aile içi şiddet olaylarında mağdurun korunmasında oldukça yararlı olduğu gözlemlenmektedir. Saldırganın yakınlık derecesini görmesi için mağdura benzer bir cihaz verilir. Mağdur ve operatör yetkilileri bu cihaz ile saldırganın tanımlanan bölgeden daha yakın bir yere geldiğinde, bölgeyi ihlal ettiğinde bir uyarı ile hem mağdura hem de izleme yetkilerini bilgilendirir. Merkez yetkilileri hem mağdur hem de saldırgan ile iletişime geçer. Bu durum mağdurun korunması yönünden oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır.

Padgett ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, elektronik izleme uygulamalarının cezaevinden kaçma isteğini azaltmada etkili olduğunu ve ayrıca hükümlülerin toplum içinde yaşamalarının kamu güvenliği açısından bakıldığında önemli bir şekilde azalma sağladığını göstermişlerdir. Bu tür izleme yöntemleri, mahkûmların hareketlerini daha yakından takip etmeyi ve böylece kaçma girişimlerini önlemeyi amaçlar. Sonuçta toplum içindeki varlıklarını sürdüren hükümlüler, topluma yeniden entegre olma fırsatı bulurken, iş ve aile bağlantılarını sürdürme olasılıkları da artacağı vurgulanmıştır. Bu nedenle, elektronik izleme hem cezalandırıcı bir unsur olarak hükümlülere bir ders verirken, hem de kamu güvenliği açısından olumlu sonuçlar doğurabileceği sonucuna ulaşmışlardır (Padgett vd., 2006: 61).

Tüm bu çalışmaların yanı sıra daha uzun süre cezaevinde bulunmanın, kişinin yeniden suç işleme eğilimini artırabileceği literatürde ortaya koyulmuştur (Gainey ve Payne, 2001: 84). Öte yandan, daha uzun bir süre boyunca elektronik izleme altında bulunmanın ise yeniden suç işleme eğilimini azaltabileceğini gösteren bulgular da mevcuttur (Black ve Smith, 2003: 3).

Aile içi şiddet vakalarında koruma emirlerinin uygulanmasında GPS kullanımı üzerine yaptıkları ulusal bir araştırmada programların hedeflerini, sanıkların EM deneyimini nasıl gördüklerini, mağdurların bu yeni teknolojinin sağladığı güvenlik seviyesi hakkında nasıl hissettiğini ve neler yapabileceğini ve yapamayacağını deneyimlerden öğrendikçe GPS kullanımının genişletildiğini yorumlamışlardır (Erez vd., 2012: 1).

Bottos, (2007) çalışmasında, EM'nin ortaya çıkışı, kullanılan ekipman türleri ve bunların uygulamadaki avantaj ve dezavantajlarını incelemiştir. EM programlarını uygulamakla ilgilenen kurumlar için bir dizi öneri ve gelecekteki araştırmalar için önerileri ve bu süreçte daha fazla disiplinler arası iş birliği ihtiyacının altını çizmiştir. Aktif ve pasif teknoloji arasındaki ekonomik farklılıkların, bilginin işlenme şekliyle daha fazla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. EM'nin suçluların riskini yönetme, yeniden suç oranlarını azaltma ve olumlu davranış değişikliğini etkileme gibi istenen hedeflere ulaşma yeteneği ile ilgili kesin sonuçlar çıkarmanın zor olduğu sonucuna varmıştır.

Bales vd., (2010), yaptıkları çalışmalarda, deneysel bir tasarım etkisini taklit etmek için eğilim puanı tekniklerini kullanarak, elektronik kelepçe (EM) takılan suçlular ile daha az müdahaleci toplum denetimi ve gözetimi biçimleriyle denetlenen suçlular

arasında bir karşılaştırma yapıldığı, ters eğilim puanı ağırlıklarını kullanarak, EM grubundaki değişkenlerle EM olmayan karşılaştırma grubundaki değişkenler arasında mükemmel bir denge sağlanabildiği gösterilebildiği ancak cinsel suçlular arasında standartlaştırılmış ortalama farklarında istisnai bir denge sağlanamadığı sonucuna ulaştığı görülmüştür. Ayrıca makalede, Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan bir dizi düzeltici stratejiyle uyumlu olarak, Florida'da EM kullanımı, 22 yıllık varoluşu boyunca çeşitli süreçler geçirdiğini, EM kullanımı, toplum denetimindeki suçluların sayısının düşük olduğu ve sadece suçluların akşam sokağa çıkma saatlerinde evlerinde olup olmadığını belirleyebilen oldukça basit RF teknolojisi ile başlamış, daha sonra 2.800'den fazla GPS cihazının 2.400'den fazla suçluyu GPS teknolojisi aracılığıyla izlediği bir noktaya geldiğini belirtmiştir.

Tüm açık literatür incelediğinde yapılan çalışmaların sosyo-kültürel alanda ve hukuk düzleminde yaygın olarak analiz edildiği görülmesine karşın EM alanındaki mühendislik çalışmalarında güncel yapay zekâ tekniklerinin sınırlı sayıda kullanıldığı ve kullanılan modellerinde genellikle suç tahmini alanında son dönemdeki yayınlarda incelendiği gözlemlenmektedir. Tahmin yaklaşımlarının kullanıldığı yapay zekâ modelleri, geçmiş suç verilerine dayalı tahmin ve sınıflandırma analizleri üzerine olmaktadır (Kshatri ve Christin, 2021: 608), (Kshatri vd., 2021), (Stalidis vd., 2021: 741), (Farjami ve Abdi, 2021: 7), (Baek vd., 2021).

Elektronik izleme kapsamındaki değişen sayıdaki kişiyi analiz eden veriye dayalı modeller mevcut olsa da gelecekteki sistem planlamasına öncelik veren spesifik model ve çalışmalar bu alanda eksik olduğu gözlemlenmiştir. Elektronik ortamda izlenen yükümlülerin, planlaması ve buna göre oluşturulacak sistem altyapısının en uygun şekilde kurgulanarak olası sorunları öncesinden öngörüp gerekli önlemlerin alınmasının sağlanması, insan odaklı bir sistemde hayati önem taşımaktadır. Tez çalışması literatürdeki belirtilen bu boşluğu doldurmaya odaklanmaktadır.

Bu tez çalışmasının ana motivasyonu günümüzde güncel çalışma alanı olan elektronik izleme sistemlerinin planlaması ve sistem alt yapısının öngörüsü için hassas bir tahmin modelinin geçmiş yükümlü verisine göre analizini oluşturmaktır. Bu kapsamda Türkiye Cumhuriyeti Adalet Bakanlığı'na ait 2013-2021 yılları arasında izlenen 56.611 kişiden elde edilen veriler kullanılmış olup elektronik izleme sistemlerindeki aktif suçlu sayısını kısa dönemli olarak tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde

Türkiye'deki elektronik izleme sistemlerinin gelişimi gözlenerek ihtiyaç duyulacak ekipmanların planlanması ve optimal sistem yönetiminin sağlanabilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması kapsamında yenilikçi bir tahmin modeli olarak CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM hibrit modeli önerilmiş ve bu alandaki verilere uygulanmıştır. Önerilen modelin performansı güncel derin öğrenme metotlarının yanı sıra geleneksel metotlar ile de karşılaştırılarak sunulmuştur. Bu kapsamda oluşturulan modellerin öncelikle geçmiş verilerle olan ilişkisi ortaya konulmuştur. Daha sonra ise CEEMDAN (Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition - Tamamlayıcı Topluluk Ampirik Mod Ayırıştırma) metodu ile alt bileşenlerine ayrılan veriler ile tahmin modeli performansı iyileştirilmiştir. Her bir alt bileşen Kernel tabanlı Meta-ELM tahmin modeline uygulanmıştır. Tüm modellerin performansı hata performans metrikleri ve Taylor diyagramı ile istatistiksel olarak sunulmuştur.

Tez çalışmasının diğer bölümlerinde; Türkiye ve Dünyadaki elektronik izleme sistemlerinin durumu ve sistem altyapısı incelenmiştir. Üçüncü bölümde ayırıştırma metodu ve tahmin modellerini içeren metodoloji sunulmuş olup dördüncü bölümde verilerin temini, bulgular ve tahmin sonuçları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Son bölümde ise gelecek çalışma önerilerini de içeren sonuç kısmı sunulmuştur.

## **2. ELEKTRONİK İZLEME SİSTEMLERİ**

Bu bölümde elektronik izleme sistemlerine ilişkin tarihten günümüze olan durum ve sistem altyapı bileşenleri ayrı ayrı sunulacaktır. Bu kapsamda Türkiye ve Dünyadaki yapı elektronik izleme açısından detaylı olarak verilecek olup sonrasında sistem bileşenleri ev hapsi, GPS takip, aile içi şiddet ve alkol izleme üniteleri olarak ayrı ayrı sunulmaktadır.

### **2.1. Türkiye’de ve Dünyada Elektronik İzleme Sistemleri**

Elektronik izleme sistemi, Andorra, Arjantin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Brezilya, Bosna, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Güney Afrika, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Kolombiya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Meksika, Norveç, Polonya, Portekiz, Sırbistan, Singapur, Türkiye, Uruguay, Yeni Zelanda, Yunanistan gibi birçok ülkede kullanılan bir sistemdir. Elektronik izleme sistemlerinde kullanılan cihazlar ve yazılımların özellikleri önemli bir çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik, her ülkenin kendi tercih ettiği izleme sistemi ve gereksinimlerine dayanmaktadır. Bu nedenle, izleme cihazları ülkelerin tercihlerine uygun olarak temin edilmekte ve yazılımları da bu bağlamda özelleştirilmektedir. Ayrıca, cihazların temini de ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Bazı ülkeler bu cihazları satın almayı tercih ederken, diğerleri kiralama yoluna gitmektedirler.

Türkiye’de elektronik cihazların kullanılması suretiyle denetim ve takip, 20/7/2005 tarih ve 25881 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Denetimli Serbestlik Hizmetleri Kanunu’nun 15/A maddesine dayanılarak uygulanmaktadır.

Denetimli Serbestlik Hizmetleri Yönetmeliği’nin Elektronik Cihaz ile Takip Edilecek Yükümlülerin Belirlenmesi, Elektronik Cihazların Takılması ve Sökülmesi başlıklı bölümünde yer alan 101 ilâ 106’ncı maddeleri ile de elektronik izleme, elektronik izleme merkezi, elektronik izleme müdahale ekibi, elektronik cihaz ile takip edilecek yükümlülerin belirlenmesi, elektronik cihazların kurulması ve kelepçe takılması ile sökülmesi hususlarına ilişkin genel esaslar belirlenmiştir. Elektronik izleme yöntemleri ile infazı yapılabilecek kararlar mevcut mevzuatta yer alan dört karar türünün elektronik izleme yöntemleriyle denetlenmesi mümkündür. Bunlar;

- Konutun terk edilmesinin yasaklanmasına ilişkin tedbir veya cezalar,
- Belirlenen yer veya bölgelere gitmeme şeklinde verilen tedbir veya cezalar,
- Belirli bir yerleşim bölgesinin terk edilmesinin yasaklanmasına ilişkin tedbir veya cezalar ile,
- Alkol kullanımının yasaklanmasına ilişkin tedbir veya cezalardır.

Elektronik izleme sistemine geçişte ilk önce diğer ülke uygulamaları incelenerek cihazların çeşitleri ve kullanım alanları gözlemlenmiş ve belirli yerlere gitmekten yasaklanmanın ve cezanın konutta infaz edilmesinin denetiminde elektronik cihazların kullanımının pilot uygulamalarla test edilebileceği görülmüştür. Bu amaçla; 18 Kasım 2011 tarihinde “Denetimli Serbestlik Altındaki Kişilerle Yürütülecek Elektronik İzleme Pilot Uygulaması Hakkında İşbirliği Protokolü” imzalanmıştır. Pilot uygulama kapsamında oluşturulan elektronik izleme merkezinde 25 Şubat 2012 tarihinde hükümlülerin elektronik kelepçe ile izlenmesine başlanılmıştır. Pilot uygulamanın sona erdiği 07 Aralık 2012 tarihine kadar yaklaşık 10 ay süre ile 81 kişi elektronik yöntem ve araçlar ile toplum içinde izlenerek ve denetlenerek haklarındaki kararlar infaz edilmiştir. Elektronik izlemenin pilot uygulaması ile;

- Elektronik izleme teknolojisi tanınmıştır.
- Cihazların kapasiteleri ve etkinliği gözlenmiştir.
- Hükümlü davranışları ve tepkileri kontrol edilmiştir.
- Görevlilerin sorumlulukları ve yetkileri belirlenmiştir.
- Toplumun ve medyanın etkisi değerlendirilmiştir.
- Fayda/zarar analizi yapılmıştır.
- Hukuki ve teknik altyapının oluşturulması hız kazanmıştır

(CTE, Ulusal Elektronik İzleme Konferansı 2017: 1).

Tablo 2.1’de Türkiye’de uygulamada olan elektronik izleme yöntemi ile izlenen karar türleri, içerik ve kullanılan cihazlar gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Türkiye'de elektronik izleme yöntemleriyle izlenen karar türleri ve kullanılan cihazlar

S.N.	Karar Türü	İçerik	Elektronik İzleme Ünite Türü
1	Adli Kontrol	Yurt dışına çıkamamak	GPS
		Konutunu terk etmemek	Ev Ünitesi (GSM Ünitesi)
		Belirli bir yerleşim bölgesini terk etmemek	GPS
		Belirlenen yer veya bölgelere gitmemek	GPS/Mağdur Ünitesi
2	Kısa Süreli Hapis Cezasına Seçenek Yaptırım	Belirli yerlere gitmekten yasaklanma	GPS
		Belirli etkinlikleri yapmaktan yasaklanma (alkollü iken eve gelmeme/evde alkol kullanmama vb.)	Alkol Ünitesi
3	Hükmün Açıklanmasının Geri Bırakılması	Belli yerlere gitmekten yasaklanma, belli yerlere devam etmek hususunda yükümlü kılınma ya da takdir edilecek başka yükümlülüğü yerine getirme	GPS/Alkol Ünitesi
4	Özel İnfaz Usulleri	Hapis cezasının konutta çektirilmesi kararı	Ev Ünitesi (GSM Ünitesi)
5	Denetimli Serbestlik Tedbiri Uygulanarak Cezaların İnfazı (Şarta Bağlı Erken Tahliye)	Bir konutta denetim ve gözetim altında bulundurulma	Ev Ünitesi (GSM Ünitesi)
		Belirlenen yer veya bölgelere gitmeme	GPS/Mağdur Ünitesi
6	Mükerrerlere ve Bazı Suç Faillerine Özgü İnfaz Rejimi ve Denetimli Serbestlik	Suçun mağdurunun oturduğu ve çalıştığı yerleşim bölgesinde ikamet etmekten yasaklanmak	GPS/ Mağdur Ünitesi
		Mağdurun bulunduğu yerlere yaklaşmaktan yasaklanmak	Mağdur Ünitesi
7	Ailenin Korunması ve Kadına Karşı Şiddetin Önlenmesine Dair Kanun Kapsamında Koruyucu ve Önleyici Tedbir Kararı	Mağdura ve mağdurun bulunduğu belirli bölgeye yaklaşmama	Mağdur Ünitesi

**Kaynak :** (CTE, Ulusal Elektronik İzleme Konferansı, 2017)

Avrupa'da elektronik izleme sisteminin benimsenmesi ve ceza yaptırımları sistemine entegre edilmesi, oldukça köklü bir tarihe dayanmaktadır. Elektronik izleme, 1990'ların başlarına kadar uzanan bir geçmişe sahiptir ve Avrupa ceza politikasının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Bu teknolojiyi ceza infazında kullanarak, hükümlülerin hüküm sonrası serbest bırakılmasını veya hüküm öncesinde tutuklamaya alternatif bir çözüm sunmayı ilk kabul eden ülkeler İngiltere/Galler, İsveç ve Hollanda olmuştur. Portekiz, İtalya, Fransa, Belçika ve İskoçya gibi ülkeler ise 2000'lerin başlarında elektronik izleme uygulamalarını hayata geçirmişlerdir. Avusturya, Danimarka ve Doğu Avrupa ülkeleri ise elektronik izleme ile ilgili yasal düzenlemeleri daha yakın bir tarihte yapmışlardır. Diğer yandan, İsviçre ve İspanya, hala elektronik izleme yöntemleriyle ilgili yerel denemeler gerçekleştirmektedirler. Bu çeşitlilik, Avrupa'da elektronik izleme uygulamalarının gelişimini ve yayılmasını yansıtmaktadır, bu da bu alandaki sürekli değişimin bir göstergesidir (Albrecht, 2010; Wennerberg ve Pinto, 2009).

Özellikle Hollanda, İsveç, İngiltere ve Galler gibi ülkeler, elektronik izleme uygulamalarını çeşitli senaryolarda kullanmaktadır. Bu ülkelerde hükümlülerin cezaevinde kalma süresinin bir kısmını evde veya toplumda elektronik izleme altında geçirmelerine izin verilmektedir. Ayrıca, suçun türüne ve hükümlünün risk seviyesine bağlı olarak elektronik izleme uygulamaları farklılaşabilmektedir.

Wennerberg ve Pinto, (2009) yaptıkları çalışmalarda, Norveç'de elektronik izlemeye ait pilot uygulama 2008 yılı eylül ayında başladığını iki yıl sürdüğünü, uygulamanın ulusal bazda yapıldığı göstermişlerdir.

Yine Wennerberg ve Pinto, (2009) çalışmasında, Portekiz'de 2009 yılında elektronik izleme uygulamasına hüküm öncesinde aile içi şiddet kapsamında pilot uygulamanın 16 yaşından büyük olan yükümlülerle başlatıldığını aktarmışlardır.

Whitfield, (2001) çalışmasında, Fransa'da, 2000 yılında başlayan pilot proje sonrası Fransa Adalet Bakanlığı'nın 9 aylık pilot çalışmasının değerlendirmesinde alınan karar ile 4 bölgede daha pilot uygulama yapılması kararlaştırılmıştır. Her bölgenin cezaevi güvenliğinin düşük veya orta seviyeli mahkumlar olduğunu bölgeler arasında uygulama farklılıklarının olduğunu belirtmiştir.

Than, (2006) ve Whitfield, (2001) çalışmalarında, İtalya'da elektronik izleme uygulaması 2001 yılında pilot bir proje olarak başladığını, bu pilot uygulama ülkenin

kuzey, merkez ve güney bölgelerinde ayrı ayrı başlatılmış olduğunu, elektronik izlemenin özellikle tutukluluk süresinin evde geçirilmesi amacıyla kullanıldığını vurgulanmışlardır.

Wennerberg ve Pinto, (2009) çalışmalarında, Avusturya'da elektronik izleme sistemi uygulamasın öncelikle ülkede bölgesel olarak 2008 yılı ocak ayında hayata geçirildiğini, ülkenin en büyük iki ili olan Graz ve Viyana'da elektronik izleme pilot uygulama ile başladığını ve 15 Ekim 2008'de pilot uygulama sona erdirilmiş olduğunu belirtmişlerdir.

Than, (2006) çalışmasında, avrupa ülkelerinden bir olan Almanya'da ilk pilot uygulama 2000 yılında başlatılmış olup 2002 yılında bu uygulama yaygınlaştırılmıştır. Her ülkede farklı tipte uygulanmakta olan bu sistem Almanya'da soruşturma ve kovuşturma aşamalarında kullanılmakta olduğu anlaşılmıştır.

Whitfield, (2001) çalışmasında, İspanya'da, alternatif bir ceza yöntemi olarak ev hapsi uygulaması 2001 yılında 3.000 hükümlü üzerinde pilot bir uygulama başlatma kararı alındığını, bu uygulamanın ayrıca bağımsız özerk bir bölge olan Katalonya'da sadece 25 kişiyle sınırlı bir pilot uygulama başlatıldığını, bu pilot uygulamanın oldukça küçük ölçekte olmasına rağmen, cihazların güvenilir bir şekilde çalıştığını, hükümlülerin sistemin gereksinimlerine uyum sağladığını ve personelin etkin bir şekilde çalıştığına dair olumlu geri bildirimlerin alındığını belirtmiştir.

İsveç'te elektronik kelepçe uygulaması, Suçlu Bakım Merkezi Genel Müdürlüğü (Kriminalvarden) tarafından yürütülmektedir. Bu kurum, hapis cezasına alternatif cezaların infazı ile açık ceza infaz kurumları ve tutukevlerinin yönetiminden sorumludur. Genel Müdürlük, Adalet Bakanlığı'ndan bağımsız olarak çalışır ve Genel Müdür, hükümet tarafından atanırken bütçesi Adalet Bakanlığı tarafından sağlanır. İsveç'te, mahkemeler hükümlüler hakkında karar verdikten sonra cezaların infazı ile ilgili süreçlere müdahil olmazlar. Cezaların infazı, idari bir iş olarak kabul edilir. Örneğin, 6 aydan kısa hapis cezası alan bir hükümlüye hapis yerine elektronik kelepçe önerisi Suçlu Bakım Merkezi Genel Müdürlüğü tarafından yapılır. Hükümlülerin tahliyeleri, şartlı tahliye işlemleri vb. tüm işlemler ilgili idari birimler tarafından yürütülür. İsveç'te konutta infaz uygulaması da elektronik izleme ile birlikte kullanılmaktadır ve hükümlünün onayı ve yetişkin hükümlülerde aile üyelerinin onayı gereklidir. Hapis cezasının yerine elektronik izleme ile konutta infazın uygulanıp uygulanmayacağına ve süresine karar

verme yetkisi cezaevi yönetimine aittir (Albrecht, 2010; JHSA, 2001; Wennerberg ve Pinto, 2009).

Whitfield, (2001) çalışmasında, İsviçre’de elektronik izleme ile ilgili oldukça başarılı bir deneyime sahiptir. 1999 yılı Ekim ayında altıdan fazla bölgede pilot bir proje başlatılmıştır. Bir yıl içinde bu pilot projenin bir parçası olarak 234 kişiye elektronik izleme kararı verilmiştir. Pilot proje 2001 yılı mart ayında tamamlanmış ve sonuçlar oldukça başarılı bulunmuştur. Elektronik izleme ile ilgili mahkeme kararlarının %82’si başarıyla uygulandığını aktarmıştır.

2003 yılında düzenlenen “Avrupa’da Elektronik İzleme” başlıklı seminerde, ülkelerin elektronik izleme uygulamalarının üç aşamalı olduğunu belirtilmiş, bu aşamaların ise pilot uygulamalar, ulusal projeler ve çeşitlilik olarak sıralanmıştır. Hollanda, İsveç ve İngiltere bu süreçte üçüncü aşamada olduğu belirtilmektedir. (Zee, 2003).

Boelens vd., (1998), çalışmalarında, ülkeler arasındaki bu aşama farklılıkları incelendiklerinde, öne çıkan ülkelerin İsveç, Hollanda ve İngiltere olduğu görülmektedir. İngiltere’de elektronik izleme gelişmiş bir programa sahip olup, hüküm öncesi, hüküm sonrası ve salıverilme sonrası aşamalarda uygulanmakta olduğu vurgulanmıştır. İngiltere’de diğer Avrupa ülkelerinden farklı olarak 1995 yılında başlayan uygulama sonrası elektronik izleme sisteminin kapasitesinin 15.000 kişiyi anlık olarak izleyebilme kapasitesine sahip olduğu ayrıca ev hapsi ile GPS uydu takip teknolojilerinin birlikte kullanıldığı belirtilmiştir.

Albrecht (2010), 2004 yılında Avrupa Komisyonu tarafından sunulan Avrupa Birliği ülkelerindeki cezai yaptırımların uygulanması, yaklaşım ve ortak kabulü üzerine yazılan green paper’da elektronik izleme de ayrıca ele alınmış olup bu kapsamda elektronik izleme sisteminin Avrupa standartlarında bir cezai yaptırım olduğunun kabul edildiği bildirilmiştir.

Whitfield, (2001) çalışmasında; ABD’nin Teksas eyaletinde elektronik izleme, belirli suçlar ve suç tipleri için uygulanmakta olduğunu bu kapsamda izlenen grupların aşağıda şekildeki gibi maddeleştirmiştir.

- Aile içi şiddet hükümlüleri: Aile içi şiddet suçu işleyenler, toplum güvenliği açısından risk taşıdıkları için izlenebileceği,

- Pedofililer ve diğer cinsel suçlular: Cinsel suçlar, toplumda büyük bir endişeye yol açar, bu nedenle bu suçları işleyenlerin izlenebileceği,
- Yüksek risk profiline sahip olanlar: Özellikle yüksek risk taşıyan suçlular, elektronik izleme ile denetlenebileceği,
- Hüküm öncesi serbest bırakma: Mahkemeler, hükümlülerin elektronik izleme ile toplum içinde belirli bir süre boyunca serbest bırakılmasına karar verebileceği,
- Hapis cezasının son döneminde çalışma koşuluyla erken salıverilenler: Hükümlülerin cezalarının son döneminde elektronik izleme ile toplumda çalışma şartıyla erken salıverilmeleri mümkün olabileceği,
- Koşullu salıverilme (parole) kapsamında ağır suç geçmişi olanlar: Özellikle ağır suçluların koşullu salıverilme şartlarına uymalarını sağlamak amacıyla elektronik izleme kullanılabilineceğini belirtmiştir.

Yine Whitfield, (2001) aynı çalışmasında, ABD'de Los Angeles şehrinde de elektronik izlemenin kullanıldığını, bu kapsamda izlenen grupların detayını aşağıdaki gibi maddeleştirdiği görülmektedir.

- Yoğun denetimli serbestlik: Hükümlülerin serbest bırakıldıktan sonra yoğun bir şekilde denetim altında tutulduğu bir uygulamanın olduğunu,
- Çocuklar için kamusal tutukluluk: Çocuk hükümlülerin kamu kuruluşları tarafından izlenmesi ve korunması için elektronik izlemenin kullanıldığını,
- Madde ile ilgili ağır suçlar: Madde bağımlısı suçluları, toplum için risk oluşturdukları için yine elektronik izleme ile takip edildiklerini belirtmiştir.

Whitfield, (2001) yaptığı diğer bir çalışmada, Elektronik izlemenin ABD'nin farklı eyaletlerinde ve şehirlerinde nasıl kullanıldığına dair genel bir bakış sunulduğunu, elektronik izleme, suçluların topluma yeniden entegrasyonunu desteklemek ve toplum güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli suç profilleri için bir alternatif ceza yöntemi olarak kullanıldığını, izleme kriterleri ve uygulama şartları eyalet veya şehirler arasında farklılık gösterdiği makalede vurgulanmıştır.

Griffiths, (2009); NLECTC, (1999), Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 1994 yılında hapis cezasının yerine daha fazla alternatif uygulanmasına yönelik bir değişiklik yapılması sonucu, hüküm öncesi aşamada elektronik izleme kullanımını önemli ölçüde artmıştır. Bu dönemde denetimli serbestlik, koşullu salıverme (parole) ve çocuk

hükümlülerin tutuklanması kapsamında elektronik izleme sıkça kullanılmaya başlanmış olup her eyalette bu tip uygulamaların uygulandığı vurgulanmıştır

1986 yılında ABD Tahliye Komisyonu tarafından gerçekleştirilen deneysel bir ev hapsi programı, elektronik izleme örneği olarak kabul edilir. Bu program, mahkumların erken tahliye edilmelerini desteklemek amacıyla geliştirilmiş ve bu süreçte mahkumlar, belirli zamanlarda telefon aramalarıyla denetlenmiştir (Varol ve Yıldırım, 2015: 195).

Elektronik izleme sistemlerinin hem denetimli serbestlik hemde sosyo-kültürel açıdan farklı alanlarda çalışmalara yer verildiği açıklanmıştır (Renzema, vd., 2013: 247; Padgett, vd., 2006: 70; Bonta, vd., 2000: 61; Black ve Smith, 2004).

Whitfield, (2001) Güney Afrika'da ise elektronik izleme, cezaevindeki kalabalıklaşma sorununu azaltmak amacıyla 2000'lerin başında geçildiğini ve bu ülkede oldukça geniş kapsamlı bir uygulama başlatıldığı anlaşılmıştır.

Her ülkenin elektronik izleme sistemini kullanma şekli ve kriterleri farklılık gösterebilmektedir. Bu sistemlerin temel amacı, toplum güvenliğini sağlamak, suçluları rehabilitasyon süreçlerine dahil etmek ve cezaevindeki kalabalıklaşma sorunlarına çözüm bulmaktır. Bu bağlamda, her ülkenin kendi yasal düzenlemeleri ve uygulama yönergeleri bulunmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde elektronik izleme, hapisaneyeye alternatif bir yargılama öncesi gözetim, bazı suçlular için hapis cezasına alternatif ve hapisaneden tahliye edilen bazı suçlular için zorunlu bir gözetim gereksinimi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle suçluların toplum gözetimi altına alınmasını sağlamak amacıyla birçok eyalet elektronik izlemeyi benimsemektedir. Hapishane cezalarının yüksek maliyeti, elektronik izlemenin daha ekonomik bir alternatif olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, elektronik izleme uygulamalarının Amerika Birleşik Devletleri'nde zaman içinde daha da artması öngörülmektedir.

Avustralya'da 1982 sayılı Kefalet Kanunu kapsamında, 17 yaşından büyük olan sanıklar için elektronik izleme uygulaması hüküm öncesi aşamada da kullanılabilir (Black ve Smith, 2003: 3). Bu uygulama, tutukluluk süresinin konutlarda geçirilmesi anlamına gelir ve özellikle periyodik (hafta sonları gibi) tutukluluk kararlarının ihlal edilmesi durumunda devreye girebilir. Şartlı Tahliye Kurulu, bu kişilere yönelik periyodik tutukluluk kararlarını kaldırarak, kişilerin kendi konutlarında tutuklu kalmalarına izin verebilir.

Whitfield, (2001) Kanada, 1987 yılında elektronik izleme ile ilgili ilk pilot programını İngiliz Kolombiya'sında başlatıldığını, bu pilot programın bir yıl içinde 92 mahkûmun izlendiğini, değerlendirme sonucunda elektronik izlemenin etkili sonuçların olduğunu, ekonomik faydalarının yanı sıra mahkûmlar için önemli avantajları sunulduğunu vurgulamıştır.

Whitfield, (2001) Singapur'da elektronik izleme uygulaması, 2000 yılı mayıs ayı ile cezaevi sonrası dönemde de kullanılmaya başlandığını, ancak bu uygulama madde bağımlısı ve yüksek riskli olan suçlular için geçerli olmadığını aktarmıştır. Ayrıca bu kapsamda yer alan yükümlülerden infazının tamamlanmasına son 6 aya kadar olanların faydalanacağını belirtmiştir.

Elektronik izleme, hükümlülerin cezaevinde geçirdikleri süreyi azaltmak, toplum gözetimini sağlamak ve hapisane cezalarının maliyetini düşürmek gibi amaçlarla birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Ancak her ülkenin uygulama yönergeleri ve kriterleri farklı olabilir ve bu nedenle her ülkenin elektronik izleme uygulaması kendine özgüdür.

Tablo 2.2'de görüldüğü gibi, Belçika, İngiltere, Fransa, Danimarka, Hollanda, Norveç, Portekiz, İskoçya ve İsveç gibi ülkeler elektronik izlemeyi ulusal bazda kullanmaktadır. Avusturya, İrlanda ve İspanya'nın Madrid ve Katalonya bölgeleri gibi bazı ülkeler ve bölgeler bölgesel bazda elektronik izleme uygulamalarını benimsemiştir.

Whitfield, (2001) Yeni Zelanda'da elektronik izleme sistemi 1993 yılında mevzuatla tanıtılmış, ancak evde tutukluluk kararlarına ilişkin pilot uygulama 1991 yılında başlamıştır. Pilot uygulama sonuçları çok umut verici olmamıştır. Daha sonra, elektronik izleme cezaevinden erken salıverilme kapsamında da kullanılmıştır.

Pilot uygulama sonrası 1999 yılı Ekim ayında gerçek uygulamaya geçilmiştir. Bu uygulama ile ceza infaz kurumunda bulunan ve iki yıldan daha fazla ceza almamış yükümlülere yönelik erken salıverme süreci kapsama alınmış olup yüksek riskli suçlulardan ceza infaz kurumunda bulunan yükümlüler programdan çıkarıldığı belirtilmiştir (Black ve Russell 2003: 1).

**Tablo 2.2.** Elektronik izlemede model uygulamaların bölgesel ve ulusal olarak karşılaştırılması

Ülkeler	Ulusal	Yerel
Avusturya		X
Belçika	X	
Danimarka	X	
İngiltere-Galler	X	
Fransa	X	
İrlanda		X
Madrid (İspanya)		X
Hollanda	X	
Norveç	X	
Portekiz	X	
Katalonya (İspanya)		X
İsveç	X	
Bern (İsviçre)		X
Basel (İsviçre)		X
Vaud (İsviçre)		X

**Kaynak :** (Wennerberg ve Pinto, 2009; 6th CEP Konferansı, 2009)

ABD'de elektronik kelepçe ve elektronik izleme uygulamaları, eyaletler arasında farklılık gösteren yasal düzenlemelere tabi olup merkezi bir federal kanun olmaması nedeniyle her eyalet kendi elektronik izleme yasalarını ve süreçlerini kendileri geliştirdiği anlaşılmıştır. Elektronik izlemenin maliyeti genellikle izlenen suçlu tarafından karşılanmakta olduğu ve ABD'deki birçok eyalet, elektronik izlemeyi ceza sisteminin bir parçası olarak kullandığı aktarılmıştır (Öztürk, 2015: 220; Satterfield, 2010). Yayınlanan makalede; ABD'nin Florida eyaletinde elektronik izleme uygulamaları aşağıdaki gibi kullanılmakta olduğu belirtilmiştir.

- Kamusal Kontrol: Bazı eyaletlerde, elektronik izleme kamusal kontrolün bir parçası olarak kullanılmaktadır. Bu, hükümlülerin belirli saatlerde ev hapsinde tutulmalarını veya belirli yerlere belirli mesafeden uzak durmalarını gerektirebilir.

Örneğin, bir hükümlü sabah işe gitmek için serbest bırakılabilir, ancak akşam ev hapsine tabi olabilir. Bu tür kamusal kontrol, suçlunun izlenmesini ve toplumun güvende olmasını sağlamayı amaçlar.

- Cezaevinden Salıverilme: Elektronik izleme, cezaevinden salıverilen hükümlülere gözetim sağlamak için kullanılır. Hükümlülerin serbest bırakıldıktan sonra belirli koşullara uymaları gerekebilir. Bu koşullar, hükümlünün davranışlarına ve suç türüne bağlı olarak değişebilir.

- Denetimli Serbestlik: Mahkeme tarafından belirli bir zaman dilimi için belirli koşullar altında uygulanan bir tür kamusal gözetimdir. Hükümlü, mahkeme kararındaki tüm koşullara uymak zorundadır. Elektronik izleme, denetimli serbestlik altındaki kişinin izlenmesini sağlamaktadır.

- Cinsel Suçlular için Denetimli Serbestlik: ABD'de bazı eyaletler, özellikle saldırgan tabiatlı cinsel suçlar gibi cinsel suçlar işleyen suçluların ömür boyu elektronik izleme altına alınmasını gerektiren yasal düzenlemelere sahiptir. Bu tür suçluların toplumun korunmasını sağlamak amacıyla sıkı bir şekilde izlenmesi amaçlanmaktadır. Florida eyaletindeki yükümlülerin büyük çoğunluğu cinsel suçtan hüküm giymiş yükümlülerdir.

- Madde Bağımlılarına Yönelik Denetimli Serbestlik: Bazı eyaletlerde, madde bağımlılarına yönelik denetimli serbestlik programları bulunmaktadır. Bu programlar, bireyselleştirilmiş iyileştirme planları ve madde testlerini içerebilir. Hükümlülerin, madde kullanımını bırakmayı taahhüt etmeleri gerekebilir (Öztürk, 2015: 221; Satterfield, 2010).

Elektronik izleme, ABD'de suçluların gözetim altında tutulmasını ve toplumun güvenliğinin sağlanmasını amaçlayan birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Bu uygulamaların her biri, suç türüne, mahkeme kararlarına ve hükümlünün davranışına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ayrıca, hangi eyaletin hangi tür elektronik izleme yöntemini benimsediği de farklılık gösterdiği ele alınmıştır (Öztürk, 2010: 222; Satterfield, 2010).

Elektronik izleme sistemlerinin kullanım aşamalarına bakıldığında dünyada çeşitli hükümlü ve sanık gruplarında ve çeşitli durumlarda kullanılabilir. Bu kapsamda elektronik izlemenin ceza adalet sürecinde üç farklı aşamada kullanılabildiği görülmektedir (Gainey vd., 2000: 733). Bunlar;

### **2.1.1. Hüküm Öncesi Aşama**

JHSA, (2001) Suç isnadına maruz kalan ancak henüz mahkûmiyet kararı alınmamış bireyler, dava süreci boyunca elektronik izleme yöntemleriyle takip edilebilirler. Hüküm verilmeden önceki dönemde, bu izleme yöntemleri, kişilerin cezaevinde uzun süreler boyunca beklemek yerine, dava süreci boyunca evlerine dönmelerine olanak tanır. Bu uygulama, hükümetlerin hukuki süreçleri hızlandırmak ve cezaevi nüfusunu azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Hüküm öncesi aşamada, bireylerin belirli bir alanı terk etmemelerini ve belirli kısıtlamalara uymalarını sağlamak amacıyla elektronik izleme yöntemleri kullanılmaktadır. Örneğin, ev hapsi uygulamalarında tutuklular, belirli saatlerde ikamet ettikleri adresi terk edemezler. En yaygın elektronik izleme uygulamasının ev hapsi uygulaması olduğu tespit edilmiştir.

### **2.1.2. Hüküm Sonrası Aşama**

JHSA, (2001) Hüküm sonrası aşamada, elektronik izleme uygulaması, mahkeme tarafından belirlenir. Bu uygulama, ceza alternatiflerinin bir parçası olarak kullanılabilir. Bununla birlikte elektronik izleme tek başına uygulanabilirken, bazen iyileştirme programları gibi diğer ceza ve rehabilitasyon yaklaşımlarıyla birlikte de kullanılabilir.

Ertelenmiş hapis cezasının yanı sıra ek bir şart olarak ev hapsi veya yükümlünün bireysel ihtiyaçlarına özel olarak uyarlanmış kamu hizmetlerini yerine getirme amacıyla elektronik izleme yöntemi kullanılabilir. Bu yaklaşım, özellikle aileleri ve çocukları olan kadınların ev hapsi uygulamasının benimsenmesiyle daha da önem kazanmıştır. Bu uygulama, aileyi dağıtmadan cezanın uygulanmasına imkân tanırken hem mali hem de sosyal açıdan katkı sağlar. Bu sayede, yükümlü kadınlar ailelerine destek olma sorumluluğunu sürdürebilirlerken adalet sistemi tarafından belirlenen cezalarını da yerine getirirler. Bu, kadınların rehabilitasyon ve topluma yeniden entegrasyon süreçlerini destekleyen önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Albrecht, 2010; NLECTC, 1999; Öztürk, 2015: 222). Tablo 2.3'de görüleceği gibi Avrupa ülkeleri arasında en fazla elektronik izleme teknolojilerini kullanan ülkenin Türkiye olduğunu göstermektedir.

**Tablo 2.3.** Bazı Avrupa kıtası ülkelerde kullanılan elektronik izleme teknolojileri

Ülkeler	RF Ev Hapsi	Ses Doğrulama	GPS	Alkol İzleme	Aile İçi Şiddet
Andora	X				
Avusturya	X			X	
Belçika	X	X	X		
Danimarka	X		X		
Estonya	X				
Finlandiya	X		X		
Almanya	X		X		
İsrail	X				
İtalya	X				
Lüksemburg	X				
Portekiz	X	X	X		X
Sırbistan	X	X			
İspanya	X	X	X		X
İsveç	X		X		
İsviçre	X		X		
Hollanda	X		X		
Türkiye	X	X	X	X	X
Bosna Hersek	X				

**Kaynak :** (TOBB, Elektronik İzleme Semineri, 2011)

### 2.1.3. Salıverme Sonrası Aşama

ABD'nin Florida Eyaleti'nde bir hükümlünün erken salıverilmesi için aldığı cezasının %85'ini ceza infaz kurumunda tamamlamış olması gerekmektedir. Eğer hükümlü toplum içerisinde infazı gerçekleştirilirken, gözetim altındayken gözetim şartlarını ihlal ederse, şartlı salıverilme kararı iptal edilir ve mahkûm yeniden ceza infaz kurumuna gönderilebilir (Öztürk, 2015: 220).

**Tablo 2.4.** Bazı Amerika kıtası ülkelerinde kullanılan elektronik izleme teknolojileri

Ülkeler	RF Ev Hapsi	Ses Doğrulama	GPS	Alkol İzleme	Aile İçi Şiddet
Arjantin	X		X		
Meksika	X		X	X	
Kurakoa	X				
Brezilya			X		
Kolombiya	X				
ABD	X	X	X	X	X
Uruguay			X		
Avustralya	X		X		
Polenezya	X				
Yeni Kaledonya	X				
Yeni Zelanda	X	X			
Singapur	X				

**Kaynak :** (TOBB, Elektronik İzleme Semineri 2011)

Elde edilen sonuçlara göre, elektronik izleme teknolojilerini kullanan dünya ülkeleri arasında tüm izleme ünitelerini aynı anda kullanan ülkelerin Türkiye ve ABD olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Tablo 2.4.'de yer alan devletler incelendiğinde görüleceği gibi dünya genelindeki müslüman devletlerden elektronik izleme sistemleri yalnızca Türkiye'de kullanıldığı dikkati çekmiştir.

## **2.2. Elektronik İzleme Teknolojileri ve Uygulamaları**

Elektronik izleme teknolojileri üç temel kategoride sınıflandırılır, ilk kategori pasif elektronik izleme yöntemlerini içermektedir. Bu yöntemde, elektronik izleme programı çerçevesinde izlenen kişiyi düzensiz aralıklarla telefonla arayarak kişinin bulunduğu konumu ve sesini sistem tarafından doğrulamayı amaçlamaktadır. Bu şekilde kişinin belirli bir alanda kalıp kalmadığı kontrol edilir. Bu sistem için sadece bir telefon hattı ve bir telefon gereklidir. Bu yöntem, izleme maliyetini düşük tutar, ancak kişinin yerini belirleme sıklığı düşük olabilir ve bu nedenle gerçek zamanlı izleme sağlama açısından diğer teknolojilere göre daha az etkilidir.

İkinci kategoride, yaygın olarak kullanılan ve etkili bir biçimde çalışan aktif elektronik izleme yöntemleri, radyo frekansı iletişim teknolojilerini kullanmaktadır. Bu tür teknolojilerde, yükümlünün ayak bileğine takılan bir radyo frekans vericisi (elektronik kelepçe) düzenli aralıklarla alıcı ünitesine sinyal gönderir (Şekil 2.1a). Bu sinyal, ev veya işyerlerine sabitlenmiş ve taşınmaya veya hareket ettirilmeye karşı duyarlı ev hapsi cihazı, GPS alıcı cihazı ve alkol alıcıları tarafından algılanarak izleme merkezine iletilir (Şekil 2.1b). Elektronik kelepçe, suç türüne bağlı olmaksızın, verilen kararın türüne göre şüpheliler, sanıklar ve mahkumlar için ayak bileklerine takılabilen bir cihazdır. Elektronik kelepçe, tutuklama yerine bazı adli kontrol önlemlerinin uygulanmasında, hapis cezasının yerine bazı cezaların infazında ve salıverme sonrası toplum içinde denetim ve gözlem için kullanılan bir cihazdır. Radyo frekansı tabanlı sistemler, sinyal şiddetinin mesafe ile ters orantılı olduğu temel prensibe dayanır. Bu nedenle, RF teknolojilerine dayalı çözümler, izleme vericilerinin ve alıcılarının yerleştirilmesi ve konumlandırılması açısından dikkatli bir planlama gerektirir. Bu sayede izlenen kişinin konumu daha hassas bir şekilde belirlenebilir, izleme merkezi tarafından gerçek zamanlı izleme sağlanabilir.



**Şekil 2.1.** Elektronik izleme üniteleri, **(a)** Elektronik kelepçe, **(b)** Alıcı üniteler

Yükümlülerin konut veya işyerlerine yerleştirilen alıcı üniteler hem mekanik olarak sabitlenebilir hem de elektronik olarak taşınma hareketini algılayabilen çözümler sunabilir. Haberleşme sistemine bağlanan radyo frekansı alıcısı, izlenen kişinin taşıdığı kelepçeden yani vericiden gelen sinyali alamazsa, kişinin sinyal alanının dışına çıktığı varsayımıyla hareket eder ve mahkeme tarafından belirlenen işletim kurallarına uygun olarak yükümlülerin izlendiği merkeze sinyal kesintisi uyarısı gönderir. İzleme

merkezindeki ilgili personel, mahkeme tarafından onaylanmış işlem süreçlerini izler ve yükümlü ile hızlı bir şekilde iletişim kurabilir ardından gerektiğinde polis, jandarma ve sahil güvenlik kuvvetlerine ilgili bilgileri iletebilir.

Bu şekilde elektronik izleme, güvenli ve etkili bir şekilde yönetilebilir ve izlenen kişinin konumunu, hareketlerini kontrol altında tutulmasını sağlanabilir. Yükümlünün kelepçesi ile infaz koruma memurunun elinde bulunan mobil ünite arasında radyo dalgaları üzerinden bağlantı kurulabilir. Gözlem altındaki kişi tarafından yayılan sinyaller, kişinin denetim altında tutulduğu bölgeden geçen bir infaz koruma ekibi tarafından mobil ünite yardımıyla tespit edilir.

Bu uygulama türünde gözetim, merkezin yanında hareketli ekiplerde kullandıkları cihaz ile yükümlüyü lokalde kontrol edebilir. Eğer ekip izleme sinyalini alamazsa, kişinin gözetim altında bulunması gereken yeri terk ettiği veya teknik bir sorun olduğu kanaatiyle kişinin bulunduğu mekâna ziyarette bulunarak gerekli kontrolleri sağlar.

Radyo frekansına dayalı aktif çözümler, diğer teknolojilere göre daha ucuz ve çok yaygın kullanılan çözüm olarak özellikle ev hapsi veya sınırlı hareket serbestliği istenen durumlarda oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, kablosuz haberleşme ağlarına dayalı yer belirleme sistemleri de bu kategoriye dahil edilebilir. Radyo frekansına bağlı çözümlerin zaman içinde yerini GPS çözümlerine veya hibrid teknolojilere (her iki sistemin bir arada kullanılması) bırakabileceği söylenebilir. Bu gelişmelerle birlikte izleme teknolojileri daha hassas ve etkin hale gelmekte ve izlenen kişilerin hareketleri daha iyi kontrol edilebilmektedir.

Üçüncü grupta ise; GPS aktif izleme yöntemlerinden biri olarak sınıflandırılabilir. Bu sistem, birden fazla uydu tarafından eşzamanlı olarak gönderilen sinyalleri kullanarak yer belirleme işlemini (enlem ve boylam olarak) gerçekleştirir ve bu konum bilgisini GPRS (Genel Paket Radyo Hizmeti) veya benzeri bir haberleşme teknolojisi kullanarak merkezi bir sunucuya ileterek çalışır. Elde edilen yer ve zaman bilgileri, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak takip edilen kişinin harita üzerinde enlem ve boylam olarak gösterilmesine olanak tanır. Günümüzde GPS teknolojisi, çok hassas ölçüm yaparak yer belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Ancak, GPS iç mekânlarda zayıf sinyal alımı nedeniyle doğru çalışmayabilir. Bu nedenle, iç mekânlarda veya bina içlerinde yer belirleme için GPS dışında farklı yer belirleme teknolojileri de mevcuttur. Bunlar; LBS (Konum Bazlı

Hizmetler) ve Wi-Fi tabanlı yer belirleme teknolojileridir. Bu teknolojiler kullanılarak takip edilen kişinin konumu doğru olarak sürekli izlenebilir. Bu teknolojiler hem iç hem de dış mekânlarda kişilerin yerini belirlemek için kullanılır ve elektronik izleme sistemlerine büyük bir esneklik sağlar.

GPS tabanlı elektronik izleme cihazları, aktif ve pasif izleme olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir:

1.Aktif GPS İzleme Çözümleri: Bu tür izlemede, yetkililer izlenen yükümlünün anlık konumunu gerçek zamanlı olarak takip edebilirler. Yükümlünün hareket ettiği her bir anı, bir izleme ekranında harita üzerinde sürekli olarak görülür. Eğer yükümlü daha önce ilgili izleme operatörü tarafından sisteme tanımlanan bölgelerden, girmemesi gereken bir bölgeye girerse veya çıkmaması gereken bölgeden çıkarsa operatör yazılım üzerinden bu durumu anlık olarak tespit eder ve yükümlünün konumuna göre yakın olan ilgili kolluk kuvvetlerini arayarak uyarır. Bu tür sistemler, izlenen kişinin anlık hareketlerini kontrol etmek ve gerektiğinde hızlı bir şekilde müdahale etmek için etkilidir.

2.Pasif GPS İzleme Çözümleri: Bu tür çözümlerde, izlenen kişinin hareketleri kaydedilir ancak bu hareketler anlık olarak sunucuya aktarılmaz. Yükümlünün elinde bulunan cihaz, içindeki hafızasında bulunan verilerini gün sonunda toplu olarak cihaz üzerinde bulunan bir modem aracılığıyla sunucuya aktarır. Bu veriler daha sonra değerlendirilmek üzere merkeze iletilir. Pasif izleme sistemleri, izlenen kişinin hareketlerini daha sonra incelemek ve analiz etmek amacıyla kullanılır.

GPS tabanlı izleme çözümleri, dünyada özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin özellikle cinsel şiddet suçlularının ömür boyu takibinde kullanılması, suçlu izleme ve toplum güvenliği açısından önemli bir uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde cinsel suçlarla ilgili yasalar ve düzenlemeler, suçlu izleme ve izleme teknolojilerinin geliştirilmesi konusunda ileri düzeyde çalışmalara yol açmıştır. Bu nedenle GPS tabanlı izleme, cinsel şiddet suçlularının takibi için etkili bir araç olarak benimsenmiştir. Bu tür izleme çözümlerinin kullanımı, suçlu izleme ve toplum güvenliği açısından önemli avantajlar sunar. GPS tabanlı sistemler, yükümlüye verilen bir haberleşme ünitesi ile ayak bileğine takılan elektronik kelepçeden oluşmaktadır.

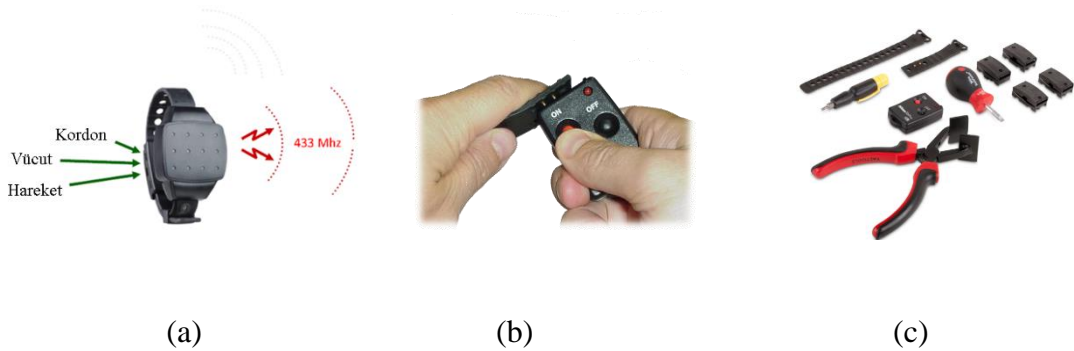
### 2.2.1. Elektronik Kelepçe (Electronic Bracelet)

Elektronik kelepçe, radyo dalgaları üzerinden ev hapsi ünitesi, GPS takip ünitesi, aile içi şiddet ünitesi ve uzaktan alkol izleme ünitesi gibi alıcı ünitelere veriyi ileten cihazlardır (Şekil 2.2a). Kelepçe üzerinde 3 farklı sensör bulunur. Bu sensörler sayesinde yükümlü ile ilgili veriler alıcı üniteleri üzerinden merkeze bilgi gönderilir. Eğer yükümlü kelepçeyi vücuttan uzaklaştırırsa vücudu algılayan vücut sensörü, kelepçeyi kestiğinde kayış sensörü, enerji tüketimi minimum düzeyde tutmak ve pilin çok daha uzun bir süre kullanılmasını sağlayan hareket sensörü aktif hale gelir. Kelepçelerin her biri benzersiz bir tanımlayıcı numaraya sahiptir. Elektronik kelepçe 300 ila 900 Mhz arasında her 20 saniyede bir radyo dalgaları üzerinden daha önce tanımlanmış alıcı ünitesine bilgi gönderir. Bu bilginin içeriğinde, kelepçenin, kalibrasyon durumu, pil durumu, hangi MRD (Manuel Reset Device - Elektronik Anahtar) ile kelepçenin aktif edildiği, yükümlünün vücuduna doğru bağlanıp bağlanmadığı ve diğer bazı bilgiler bulunur. Kelepçe, darbelere, titreşimlere, 5mt derinlikte 30 dakika boyunca su basıncına dayanıklı olup IP68 standardına sahiptir. Kelepçenin arka yüzünde sabotaj önleyici özel vidalar yer almaktadır. Bu vidalar kelepçenin kordonundan kolay bir şekilde açılmaması için tasarlanmıştır. Kelepçeyi MRD cihazı ile aktif edildikten sonra 3 yıl boyunca ayrıca bir enerji ihtiyacı olmadan çalışır ve raf ömrü ise 5 yıldır (Şekil 2.2b).

Kelepçe aktif edildikten sonra pilinin tamamen tükenmeden 7 ile 10 gün öncesinden bağlı olduğu alıcı cihaz üzerinden GPRS teknolojisini kullanarak izleme merkezi operatörü bilgilendirir. Elektronik kelepçe kol saatine benzer bir yapıya sahip olup kayış, kayış yüzüğü ve kordonları kilitleme klipslerini içeren bir mekanizmaya sahiptir. Yükümlüler tarafından kelepçe kullanıldıktan sonra özel olarak üretilmiş yılan gözlü bir tornavida ile gerektiğinde saha sorumlusu tarafından kolaylıkla kordon değiştirilebilir. Bu kordonların kullanım süresi yaklaşık 18 aydır.

Kelepçenin kısa ve uzun kenarı olan kordonun yükümlünün kullanımından dolayı aşınması, yıpranması veya kasıtlı olarak zarar verilmesi durumlarında yetkili saha sorumlusu tarafından değiştirilir. Yükümlü klipsi kurcalarsa veya kırarsa oluşacak ihlal bilgisi GPRS üzerinden izleme merkezine anlık olarak bağlı olduğu alıcı cihaz üzerinden otomatik olarak gönderir. Kelepçenin aktif edilmesi, kordonu, klipsi, yılan gözlü tornavidası, klips pensesini içeren genel görünümü (Şekil 2.2c) gösterildiği gibidir.

Kelepçe ilk aşamada pasiftir. Yükümlünün ayağına takılmadan önce mutlaka MRD cihazı ile aktif edilmesi gerekir. Yükümlünün infaz süreci bittiğinde infaz koruma memurları tarafından yükümlünün vücudundan çıkartılarak yine MRD cihazı kullanılarak pasif edilir. MRD kullanılmasının diğer bir şekliyle, yükümlü tarafından kelepçenin kordonu kesmeden klipsini çıkartıp tekrar takarsa oluşacak ihlalin resetlenmesinde de kullanılır. Kelepçenin aktif edilmesi için öncelikle kordonda bulunan iki metal pin MRD'nin iki metal yüzeyine değdirerek birkaç saniye kadar pinlerden ayırmadan basılı olarak tutulur (Şekil 2.2b). Bu sürede MRD üzerinde bulunan kırmızı ışık yanıp söner sonrasında kelepçe manyetik ortamdan uzak ve metal yüzey olmayan farklı bir yüzeye bırakılır. Referans dielektrik ve vücudun dielektrik katsayısı arasındaki farkı algılayabilmesi için yaklaşık yirmi saniye kadar bekletilir. Kelepçe yükümlünün genellikle ayağına takılması tercih edilmelidir. Çünkü ayağa takılan kelepçenin çıkartılması için mutlaka klipsinin veya kordonunun kesilmesi gerekir. Ancak el bileğine takılan kelepçe vücudunun sonradan zayıflığı veya başka tekniklerle klipsinin ve kordonunun kesilmeden çıkartılma riski bulunur. Bu durumda sadece vücut sabotaj gelir kayış sabotaj gelmez. Bu durumu engellemek için yükümlünün ayağına takılması önem arz etmektedir. Yükümlüye takılacak olan kelepçe vücuduna çok sıkı olarak bağlanmamalı. Vücut ile kelepçe arasında 2-3cm kadar boşluk olmasına dikkat edilmeli. Kelepçe ile RF dalgalar ile bağlı olduğu alıcı üniteler arasında en uzun mesafe ortama bağlı olarak maximum 100 mt civarındadır.



**Şekil 2.2.** Elektronik kelepçe ve aparatları, **a)** Kelepçe, **b)** MRD (Elektronik anahtar), **c)** Elektronik kelepçe kurulum aparatları

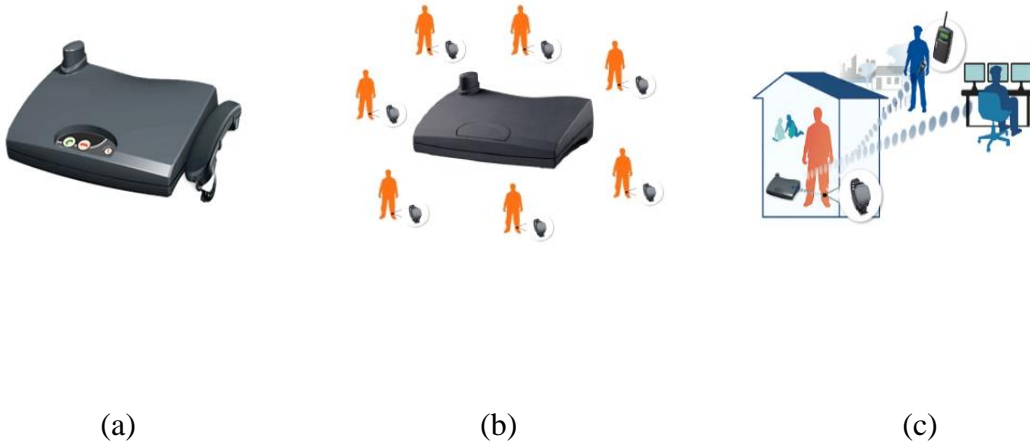
### 2.2.2. Ev Hapsi Ünitesi (RF Home Curfew System)

Elektronik izleme ünitelerinden biri olan ev hapsi ünitesi kendisine yazılım üzerinden tanımlanmış olan elektronik kelepçeden aldığı her türlü veriyi izleme merkezi ile iletişimini sağlar (Şekil 2.3a). Ev hapsi cihazı içinde yer alan GSM (Mobil İletişim için Küresel Sistem) modem üzerinden merkez ile haberleşir. Bu iletişimde sorun yaşansa dahi normal olarak çalışmasına devam eder. Cihazın ana kartı üzerinde bulunan hafıza ile 30 güne kadar yükümlü ve cihazın tüm bilgilerini daha önce cihaza yüklenen program doğrultusunda kaydeder. Ancak merkez ile ilk haberleşmesinde kayıt altına aldığı tüm bilgileri sunucuya aktarır. Elektrik sorunları yaşanır ve elektrik kesintilerinde içindeki pil sayesinde iki gün boyunca cihazın aktif olmasını sağlar. Bu durumda elektrik kesintisi olduğuna dair cihaz kendi üzerindeki programa göre izleme merkezine enerjinin kesik olduğuna dair ihlal uyarı mesajını anlık olarak operatöre gönderir.

Elektronik kelepçe 433 Mhz üzerinden ev hapsi ünitesi ile iletişime geçer. Daha önce operatörler tarafından gerekli ayarlar yazılım üzerinden yapılarak cihaza yüklenir. Ev hapsi ile kelepçe arasında çekim alanı yine yazılım üzerinden ayarlanabilir. Çekim alanları birkaç seviyede ayarlanabilir. Bunlar kısa, orta, uzun ve maximum olarak tanımlanabilir. Her bir yükümlü için bu çekim alanları operatör tarafından ayrı ayrı oluşturulabilir. Güvenlik açısından ev hapsi ile kelepçe arasında AES (Advance Encryption Standart - Gelişmiş Şifreleme Standardı) tanımlıdır. Yükümlü tarafından sabotaj girişimleri ile cihazın tanımlanan ve ortaya çıkan tüm olaylar raporlanarak sunucuya database (veri tabanı)'na kaydedilir. Yükümlünün konutunda bırakılan ev hapsi ünitesini kısa süreli de olsa bulunduğu yerden hareket ettirilmesi, güç kablosunun çıkartılması sabotaj ihlaline neden olur. Yükümlü konutuna bırakılan cihazı yerinden hareket ettirmemesi gerekir. Bir ev hapsi cihazı, farklı farklı tanımlanan programlar ile toplamda 50 yükümlünün izleme işlemi yapılabilir (Şekil 2.3b). Yükümlülerin yaptığı alarm ve ihlal mesajları anlık olarak izleme merkezinde olan operatörlerin ekranlarına düşer (Şekil 2.3c).

Ev hapsi ünitesi ayrıca çevresinde bulunan kelepçeleri de algılar ve bu durumu izleme merkezindeki ilgili personelin ekranına uyarı mesajı olarak gönderir. Ev hapsi ünitesi, diğer elektronik izleme üniteleri gibi uzaktan yazılım üzerinden kolaylıkla firmware güncellemesi yapılabilir. Bu işlem esnasında herhangi bir bilgi kaybı yaşanmaz.

Saha sorumluları ev hapsi ünitesini yükümlünün konutuna kurduğunda kelepçe ile iletişimini test etmek amacıyla menzil testini izleme merkezi ile birlikte yapar. Bu test yapılacağı zaman saha sorumlusu hazır olduğunda izleme merkezindeki görevli personel sistem yazılımı üzerinden test sinyali gönderir. Test sinyali sonrası ev hapsi cihazı kelepçeyi algıladığına dair ses çıkartır. Bu kelepçeyi gördüğü anlamına gelir. Saha sorumlusu yükümlü ile birlikte evin en uç yerlerine gidip en az 1 dakikada cihazdan 3 sinyal almasını sağlamalıdır. Eğer bu sürede 3 sinyal almaz ise ev hapsi cihazının yerini daha uygun bir yere taşıması gerekir. Bu süre en uygun yer belirlenene kadar devam eder. Ünitenin yeri belirlenirken bir başka önemli husus etrafında olabilecek elektromanyetik gürültü yayan cihazlardan uzak bir olmalı. Evde kullanılan bilgisayar, buzdolabı, bulaşık ve çamaşır makinası, televizyon, mikrodalga elektromanyetik gürültü yayan cihazlardır. Ev hapsi ünitesi bu cihazlardan uzak bir yerde konumlandırılmalı. Elektromanyetik gürültü olan yerde radyo dalgaları etkileneceği için kelepçe ve ev hapsi cihazı arasındaki iletişimi olumsuz yönde etkilenecektir. İzleme merkezi elektromanyetik dalga yayan cihazların yanına konulan ev hapsi ünitesinden uyarı mesajını alarak sahadaki personeli doğru yönde yönlendirebilir.



**Şekil 2.3.** (a) Ev hapsi ünitesi, (b) Tek cihaz ile birden çok yükümlü izleme, (c) Ev hapsi ünitesi çalışma prensibi

### 2.2.3. GPS Uydu Takip Ünitesi (GPS Tracking System)

Küresel Yer Belirleme Sistemi (GPS), uzaydaki uydular aracılığıyla konum, hız ve zaman verilerini senkronize eden ve dünya genelinde ortak kullanılan bir navigasyon sistemidir. Mahkemece yükümlü için belirlenen yasaklı bölgelere yükümlünün girmesini engellemek veya belirlenen bir bölgeden ayrılmamasını sağlamak amacıyla GPS uydu takip cihazı kullanılır (Şekil 2.4a). İzleme programı başlamadan önce, yükümlü ve mahkeme kararlarına ait tüm bilgiler operatör tarafından izleme yazılımına tanımlanır. Yükümlü için tanımlanan tüm veriler cihaza GPRS üzerinden yüklenir. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra yükümlünün hangi bölgelerde bulunup hangi bölgelerde bulunmaması gerektiği kuralları cihaza tanımlanmış olur. Bu cihaz izleme merkezi ile hem yazılı hem de sesli iletişim imkanını sağlar. Cihaz üzerinde bulunan tuşlar yardımıyla, yükümlü ve izleme merkezi arasında telefon görüşmesi gerçekleştirilebilir. Yükümlü, cihazı düzenli olarak şarj etmek zorundadır. Şarj etme işlemi ihmal edildiğinde, izleme merkezi cihazın şarj edilmesi gerektiği konusunda yükümlüyü sesli veya kısa mesaj yoluyla uyarır. Cihazın merkez ile iletişimi kesilse bile, içindeki kayıtlı programın belirlediği şekilde çalışmasına devam eder. Eğer enerji ile ilgili bir sorun olmaz ise cihazın içinde bulunan hafıza üzerinde yaklaşık 30 gün süresince 67.000 GPS koordinat noktası kaydedilir ve cihaz merkez ile ilk iletişime geçtiğinde bu bilgileri kayıpsız bir şekilde sunucuların veri tabanına aktarır. Ancak bu süreç içinde izleme merkezinde görevli operatör cihaz ile iletişimin koptuğunu anlık görebilir. İletişim devre dışı kaldığında operatör gerekli önemleri bu süreç içinde almış olur. Cihazın LCD ekranı, hassas dokunmatik butonları ve titreşim motoru bulunur. Cihaz dış sahada kullanıldığında, uydulardan aldığı konum bilgisini anlık olarak izleme merkezine gönderir. Operatör hem konum hem de kelepçeden gelen anlık bilgileri yazılım ve harita üzerinde takip eder. İç saha koşullarında ise GPS erişimi olmayacağı için, son konum bilgisi harita üzerinde görüntülenir. Bu durum bir ihlal olarak kabul edilmez; sadece alarm durumunu oluşturur. Eğer GPS sinyali olmadan cihaz sürekli bir hareket algılsa, yazılım şüpheli bir durum olduğuna dair operatörü uyarır (Şekil 2.4b).

Ülkemizde yükümlülerin anlık takibi için kullanılan GPS ünitesinin kullanımını gerektiren durumlar 5 Mart 2013 tarihli Resmî Gazetede yayınlanan Denetimli Serbestlik Hizmetleri Yönetmeliğinde belirtilen kararların türü ve içeriği tablo 2.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.4. (a) GPS takip ünitesi ve kelepçe, (b) İç ve dış sahada kullanımı**

**Tablo 2.5. Türkiye’de GPS ünitesi kullanılarak denetim ve takip gerçekleştirilen karar türleri ve kullanılan cihaz**

S.N	Karar Türü	İçerik	Elektronik İzleme Ünitesi
1	Adli Kontrol	Yurt dışına çıkamamak	GPS
		Belirli bir yerleşim bölgesini terk etmemek	GPS
		Belirlenen yer veya bölgelere gitmemek	GPS
2	Kısa Süreli Hapis Cezasına Seçenek Yaptırım	Belirli yerlere gitmekten yasaklanma	GPS
3	Hükmün Açıklanmasının Geri Bırakılması	Belli yerlere gitmekten yasaklanma, belli yerlere devam etmek hususunda yükümlü kılınma ya da takdir edilecek başka yükümlülüğü yerine getirme	GPS
4	Denetimli Serbestlik Tedbiri Uygulanarak Cezaların İnfazı (Şarta Bağlı Erken Tahliye)	Belirlenen yer veya bölgelere gitmeme	GPS
5	Mükerrerlere ve Bazı Suç Faillerine Özgü İnfaz Rejimi ve Denetimli Serbestlik	Suçun mağdurunun oturduğu ve çalıştığı yerleşim bölgesinde ikamet etmekten yasaklanmak	GPS

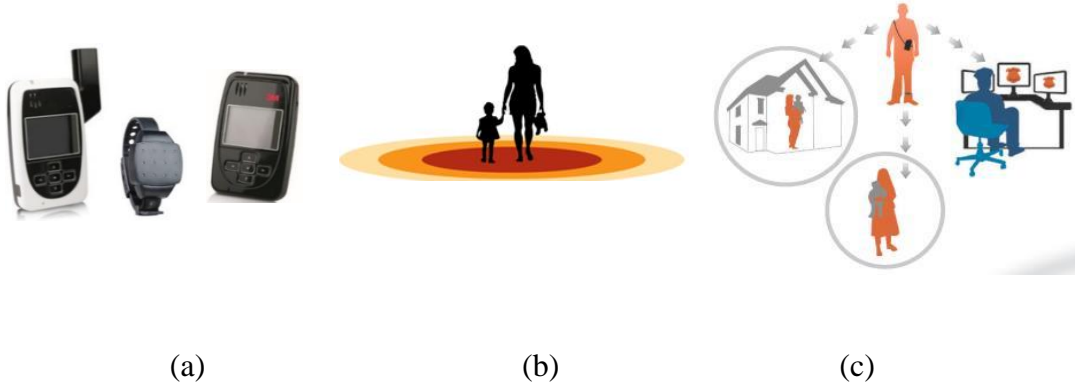
**Kaynak :** (CTE, Ulusal Elektronik İzleme Konferansı, 2017)

#### 2.2.4. Aile İçi Şiddet Üniteleri (Domestic Violence)

Ülkemizde kullanılan elektronik izleme sistemlerinden biri olan aile içi şiddet ünitesi mağdurların korunmasını amaçlanmaktadır. Sistem, kesintisiz olarak yükümlü ile mağdur arasında belirlenen güvenli mesafeyi kontrol eder. Eğer yükümlü belirlenen yasaklı alana / alanlara yaklaşırsa sistem derhal izleme operatörlerine uyarı sinyali gönderir. Sistem RF ve GPS teknolojilerini birlikte kullanır Şekil 2.5 (a). Saldırganda bulunan GPS ünitesi üzerinden yükümlünün gerçek zamanlı izlemesi yapılır. Eğer saldırgan sisteme tanıtilen mesafeden daha yakın mağdura yaklaşırsa hem saldırgan hem mağdur hem de izleme merkezi sesli, görsel (ekran mesajı) ve titreşim yoluyla uyarı alır. Mağdura verilen cihaz ile yükümlüye verilen cihaz aynı özelliklere sahiptir. Mağdur, yükümlü gibi izleme merkezi ile iki yönlü iletişim kurma imkânı vardır. Mağdur acil bir durumda iken saldırgandan farklı olarak cihazın üzerinde bulunan tuşları daha önce saha sorumlusu tarafından nasıl kullanıldığını anlatılarak ihtiyaç halinde yardım çağrısında bulunabilir veya panik alarmını aktif edebilir. Saldırganda ise GPS cihazı bulunur ve ayağına kelepçe takılır. Kelepçe ile GPS cihazı radyo dalgaları üzerinden şifreli olarak haberleşir. Yükümlü ve mağdura verilen cihazlar mutlaka kişilerin yanında bulunmalı. Yükümlü cihazı yanına almayıp uzaklaştığında izleme merkezi ihlal mesajını alır ve gerekli prosedürü işletir. Mağdur mutlaka kendi can güvenliğinin sağlanması için ünitesini yanından hiç ayırmamalı. Mağdur cihazı yanına almaz ise takibi yapılamaz.

İzleme merkezi tarafından mağdura ve saldırgana bu cihazlar kendilerine verilmeden önce mahkemenin veya hâkimin kararı dikkate alınarak, aralarında olması gereken minimum mesafe yazılıma girilerek kaydedilir. Kolluk kuvvetleri, yükümlünün ihlal bölgesine girmeden önceden müdahale edebilmek ve zaman kazanmak amacıyla izleme operatörü tarafından mağdura tampon bölge için mesafe tanımlaması yapılır (Şekil 2.5b). Tampon bölgeye giren saldırgan bölgeyi terk etmesi gerektiğini yazılı, sesli ve titreşimli olarak alır. Saldırganın tampon bölgeye girdiğini, izleme merkezi operatörleri yazılım üzerinden, mağdur ise mağdura verilen cihaz üzerinden saldırganı bölgeye girdiği bilgisini alır. İzleme merkezi yetkilileri, kuş bakışı yükümlü ile mağdur arasındaki mesafe, rakım, hız bilgileri ile saldırgan üzerinde bulunan kelepçeye ait çok detaylı bilgilere ulaşabilir (Şekil 2.5c). Kapalı alanlarda GPS sinyalinin olmadığı zamanlarda mağdurun güvenliğini sağlamak üzere mağdura verilen cihaz bir başka güvenlik katmanını çalıştırır ve bu cihaz saldırganın ayağındaki kelepçeyi kendisinden minimum

150 mt'lik bir uzaklıkta algılar. Bu esnada sadece mağdur ve izleme merkezi operatörleri saldırganı görebilir ancak mesafe çok düşük olduğu için saldırganı bilgi gitmez.



**Şekil 2.5. (a) Aile içi şiddet mağdur ve saldırgan üniteleri, (b) Tampon bölge, (c) Çalışma prensibi**

### **2.2.5. Uzaktan Alkol İzleme Ünitesi (Remote Alcohol Monitoring)**

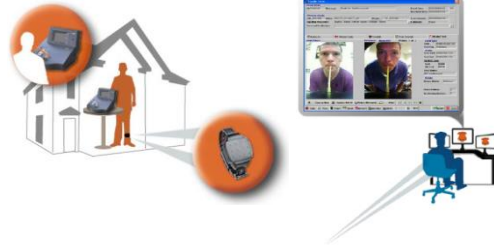
Toplum içinde infaz edilen bazı yükümlülerin alkol kullanımını denetlemek amacıyla uzaktan alkol izleme sistemi kullanılmaktadır (Şekil 2.6a). Mahkeme veya hâkim tarafından yükümlü için verilen kararlarda, yükümlünün konutunda alkol kullanmaması veya konutuna alkollü gelmemesi yönünde olduğu görülmektedir. İzleme merkezindeki operatörler programa giriş yapmadan önce mahkemenin verdiği karar detayını dikkate alarak programın uygulanacağı yükümlüye ait tüm şahsi bilgilerini, yükümlünün hangi saatler arası kaç kez cihaza üfleceğini ve kullanılacak cihaza ait diğer bilgilerde sisteme girerek izleme öncesi yazılım üzerinden çalışmalarını tamamlar.

Sahada ise denetimli serbestlik ekiplerince yükümlünün konutunda uzaktan alkol izleme cihazı kurulur. İzleme merkezinden cihaza alkol üfleme test sinyali gönderilerek yükümlüden üfleme çubuğu kullanarak cihaza üfleme istenir (Şekil 2.6b). Yükümlü cihaz üzerinde bulunan başlat düğmesine basarak süreci başlatmış olur. Yükümlü cihaza üfleme sonrası cihaz içinde bulunan alkol sensörü tarafından çok kısa bir süre içinde alınan alkol miktarını ölçer. Bu süre esansında cihaz üzerinde bulunan kamera da yükümlünün renkli fotoğrafı otomatik olarak çekmiş olur. Yükümlünün fotoğrafı ve alkol test sonuçları GPRS üzerinden izleme merkezine gönderilir. İzleme merkezi operatörü,

gelen bu verileri inceleyerek yükümlünün alkol tüketip tüketmediğini, tüketmişse alkol seviyesini ve yükümlünün fotoğrafını rahatlıkla görebilmektedir. Operatör, ilk olarak yükümlüden gelen referans fotoğrafını sisteme kaydeder. Sistem ise program üzerinde mahkemece belirlenmiş olan üfleme saat aralığına göre rast gele bu işlemleri yükümlünün infazı sonlanana kadar otomatik olarak yürütür. Yükümlü kendisi için belirlenen zaman aralığında testin ne zaman başlayacağını bilemez. Bu sistem, insan kaynağı ihtiyacını azaltmanın yanı sıra yükümlülerin yüksek erişilebilirlik ve doğrulukla izlenmesine olanak sağlamış olur. Bununla birlikte, alkol kullanmama yükümlülüğüne ek olarak hâkim kararıyla konutunu terk etmeme yasağı da getirildiğinde, tek bir cihaz üzerinden izleme işlemi kolaylıkla uygulanabilir. Yükümlüye takılan bir kelepçe ile hem alkol tüketimini hem de konutunu terk etmeme yasağını tek cihaz üzerinden takip etmek mümkündür.



(a)



(b)

**Şekil 2.6. (a) Alkol izleme ünitesi, (b) Çalışma prensibi**

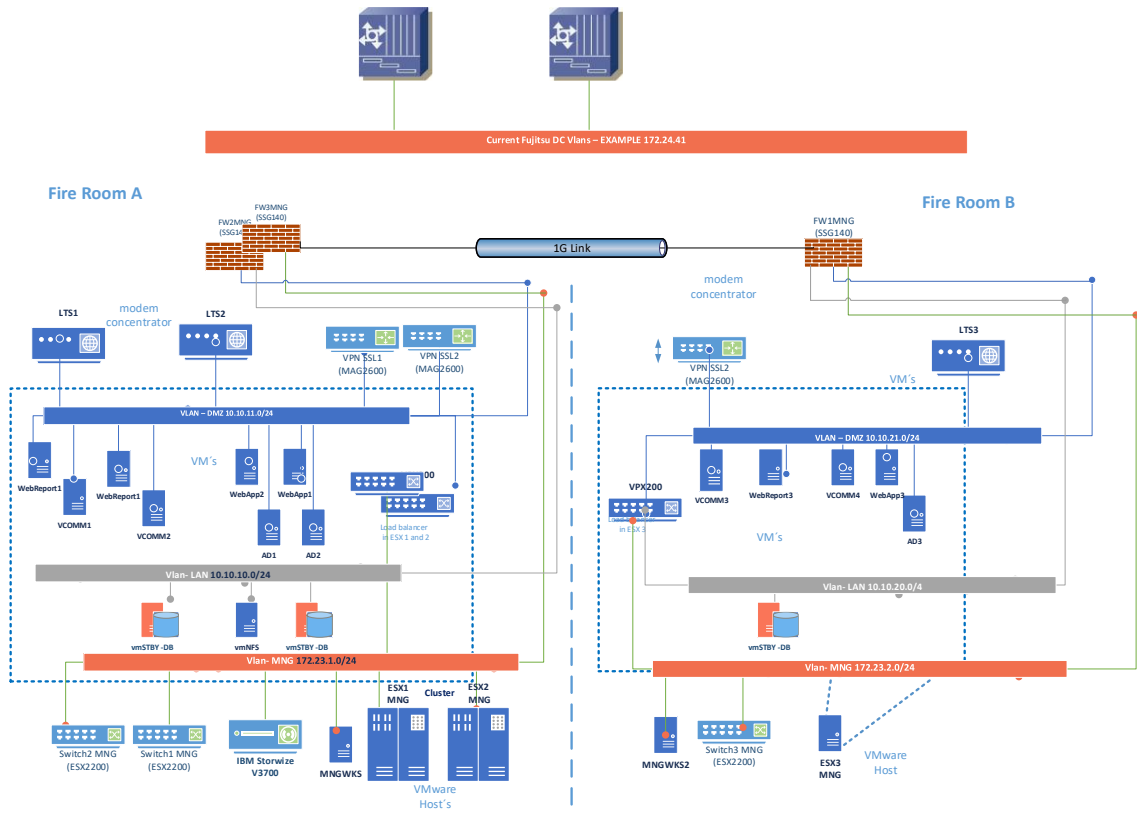
### 2.2.6. Teknoloji Altyapı Analizi

Türkiye’de elektronik izleme sistemi hem Adalet Bakanlığı hem de İçişleri Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Adalet Bakanlığı’na bağlı CTE Genel Müdürlüğü’nde 20 Ocak 2013 yılı itibariyle 5402 sayılı Denetimli Serbestlik Hizmetleri Kanunu’nun 15/A maddesi hükmü kapsamındaki yükümlüler elektronik olarak izlemesine başlanmıştır. Denetimli Serbestlik Daire Başkanlığı sorumluluğunda olan elektronik izleme bir mahkeme veya hâkim kararı sonrası şüpheli, sanık ve hükümlülerin toplum içinde izlenmesi, gözetimi ve denetimi elektronik cihazların kullanılması suretiyle de yerine getirilmektedir. Adalet Bakanlığı’nda 4 ayrı elektronik sistem kullanılmakta. Bunlar Ev hapsi ünitesi, GPS uydu takip ünitesi, aile içi şiddet ünitesi ve alkol izleme ünitesidir.

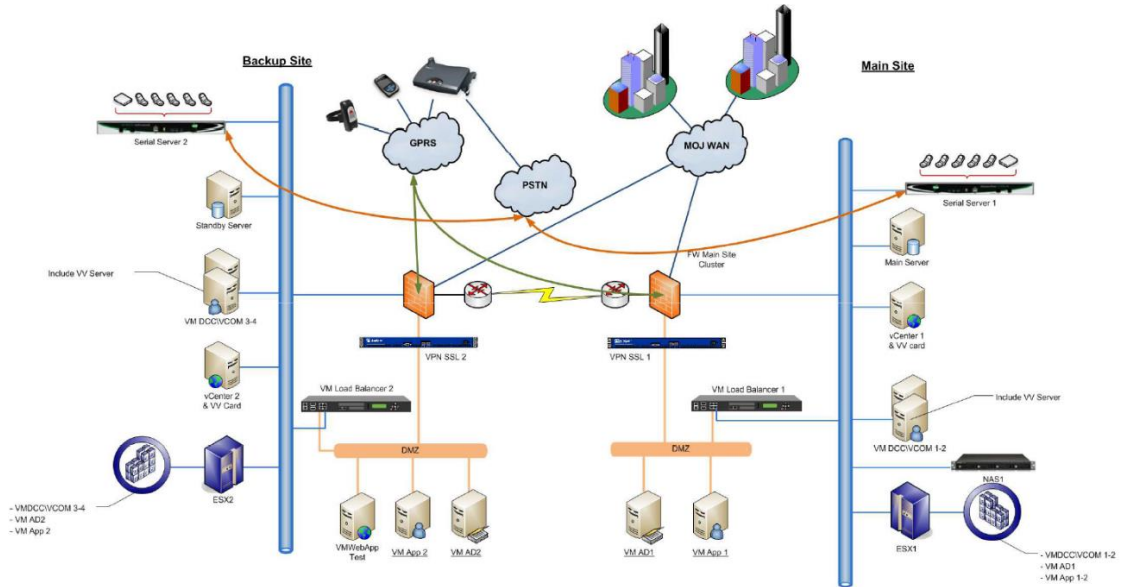
Diğer taraftan İçişleri Bakanlığı'nın 6284 sayılı Ailenin Koruması ve Kadına Karşı Şiddetin önlenmesine dair kanun maddesi hükmü kapsamında; GAMER'de (Güvenlik ve Acil Durumlar Koordinasyon Merkezi Başkanlığı) elektronik izleme merkezi bulunmaktadır. Bu merkezde koruyucu önleyici politikalar gereği sadece aile içi şiddet üniteleri kullanılmaktadır.

Adalet Bakanlığı'nda kullanılan elektronik izleme sistemine ait cihazlar ile sunucular arasında güvenli bir ortamda iletişimi sağlamak üzere tamamen kapalı bir devre üzerinden gerçekleşir. Bakanlığın anlaştığı GSM servis sağlayıcısının ana toplama merkezi ile özel olarak tanımlanmış APN (Access Point Name - Erişim Noktası Adı) üzerinden sunucuların bulunduğu Bilgi İşlem Genel Müdürlüğü arasında bu hat yer almaktadır. Sistemde bulunan dört ayrı izleme ünitesi için farklı sunucular yer almaktadır. Ev hapsi üniteleri ile alkol izleme üniteleri DCC (Data Communication Computer - Veri İletişim Bilgisayarı) sunucuları üzerinden çalışmasını sürdürmekte iken GPS uydu takip ve aile içi şiddet izleme üniteleri ise VCOMM sunucuları üzerinden çalışmalarını sürdürür. Sahada bulunan üniteler ile sunucular arasında GSM modemler üzerinden veri akışı sağlanmaktadır.

Kabinette bulunan tüm cihazların ağ iletişimini ise LTS switchler üzerinden yönetilir. Load balancer'da gelen ağ trafiğini sunucular arasında paylaştırır. Böylelikle iş yükünü birden fazla sunucuya dağıtarak uygulamaların ve diğer hizmetlerin daha performanslı çalışmasını sağlamaktadır. SSL VPN (Güvenli Yuva Katmanı Tabanlı Sanal Özel Ağ) ise istemci ve sunucu arasında ağ üzerinden güvenli bir bağlantı sağlamak için taşıma katmanında kullanılan bir ağ protokolüdür. Sistemin genel ağ yapısı Şekil 2.7'de, sistemin genel ağ yapısı ise Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Sistemin genel ağ yapısı



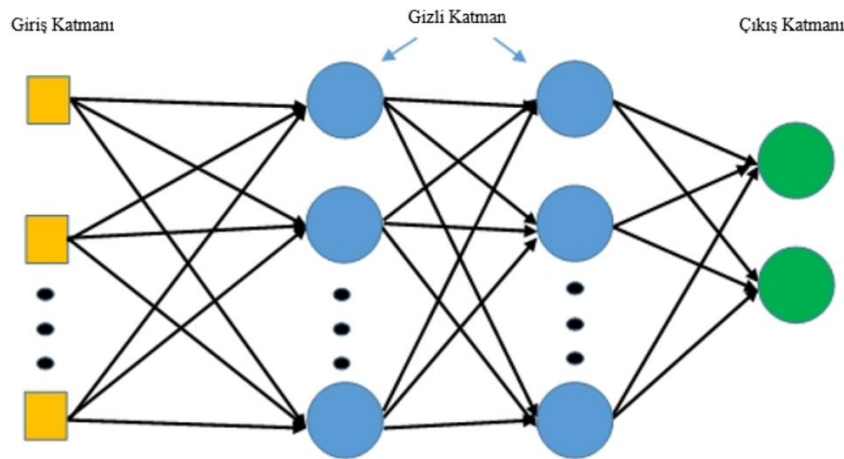
Şekil 2.8. GPS ve RF teknolojilerinin iletişim topolojisi

### 3. METODOLOJİ

Tez çalışmasının bu bölümünde uygulanan MLP (Çok Katmanlı Algılayıcı) tabanlı geleneksel metodun yanı sıra CEEMDAN ayrıştırma algoritması tanımlanacak olup bu yaklaşımdan elde edilen alt bileşenlerin ayrı ayrı giriş olarak uygulanacağı Kernel tabanlı Meta-ELM (Meta-Extreme Learning Machine - Meta Aşırı Öğrenme Makinesi) hibrit tahmin metodolojisi açıklanacaktır. Bu kapsamda ele alınan MLP tabanlı analizlerin amacı geçmiş veriler ile gelecek veriler arasındaki en optimal düzeyde tutabilecek ilişkiyi ortaya koyabilmek olacaktır. İkinci aşamadaki metodolojide ele alınan CEEMDAN ve Kernel-Meta-ELM modelleri ise bu tez çalışmasından önerilen yapının mimarisini ortaya koymaktadır.

#### 3.1. Çok Katmanlı Ağlar (Multi-Layer Perceptron Model - MLP)

Raza ve Khosravi (2015), Hong ve Fan (2016), sinir ağı mimarileri, iyi tanımlanmış uygulamalara uyacak şekilde farklı tasarımlara sahip birçok algoritma türünü içerebilmektedir. He vd., (2009), bu algoritmalar arasındaki fark çoğunlukla benimsenen bilgi işleme teknikleriyle ilgilidir. MLP modeli tahmin sistemleri için sıklıkla kullanılan bir sinir ağı modeli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu veriye dayalı teknik, bir sonraki adımların anlamlı bir tanımını üretmek için özellik modellerini analiz etmektedir. MLP mimarisi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi üç katmandan oluşmaktadır. Öğrenme süreci, gradyan iniş araştırma yaklaşımı kullanılarak hatanın geriye yayılmasından elde edilebilir.



Şekil 3.1. Çok katmanlı ağların yapısı - MLP

MLP yapısında tahmin edilen sonucun sembolik fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\hat{y} = \phi_0 \left\{ \sum_{i=1}^F w_{jp}^0 \left[ \phi_H \left( \sum_{i=0}^n w_{ij}^H x_i \right) \right] \right\} \quad (3.1)$$

Burada  $w_{ij}^H x_i$  ve  $w_{jp}^0$  sırasıyla gizli ve çıktı katmanı ağırlıklarını temsil eder.  $\phi_H$  ve  $\phi_0$  sırasıyla gizli katmanlar ve çıktı katmanları için aktivasyon fonksiyonunu belirtir.  $x_i$ , belirli bir örnek zaman diliminde ki t'de fonksiyon özelliklerinin girişini belirtir. Gradyan tabanlı fonksiyon optimizasyon algoritması kullanılarak hata fonksiyonu en aza indirilebilmektedir. Bu mimarinin, daha fazla sayıda gizli katman ve nöron ile iyi doğruluk dahil olmak üzere sayısız avantajına rağmen, tek yönlü öğrenme mekanizması durumunda yüksek boyutlu uzayda verimsizlik gösterebilir ve dolayısıyla modelin aşırı uyumuna yol açabilir. Ayrıca öğrenme oranı, yığın boyutu, aktivasyon fonksiyonu vb. dahil olmak üzere hiper parametrelerin sayısı nispeten yüksektir. Bu parametrelerin optimizasyonu yüksek düzeyde uzmanlık ve bilgi işlem performansı gerektirir. Ayrıca eğitim süreci, ağırlıkların yavaş yakınsaması ile yüksek bir hesaplama yükünün işlenmesine neden olur.

### 3.2. Uyarlanabilir Gürültü ile Komple Topluluk Görgül Kip Ayırıştırması (CEEMDAN)

Uyarlanabilir Gürültü ile Komple Topluluk Görgül Kip Ayırıştırması CEEMDAN, EMD (Deneyisel Mod Ayırıştırma), EEMD (Toplu Ampirik Mod Ayırıştırma) ve CEEMD'dan geliştirilen güncel bir ayırıştırma metodudur. EMD (Görgül Kip Ayırıştırması) tabanlı yöntemlerde, orijinal verilere uyarlanabilir bir şekilde çeşitli özgül kip fonksiyonlarına (IMF - İçsel Mod Fonksiyonu) farklı frekans ve ölçeklere sahip bir kalıntıya ayırıştırabilmektedir. Doğrusal ve durağan olmayan zaman serisi verileri için uygun olan bu sistemler, uydu sinyalleri analizi, konuşma tanıma, ekonomik veri tahmini, görüntü işleme gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kısacası EMD durağan ve doğrusal olmayan serileri işlemek için uygun uyarlanabilir bir zaman-uzay analiz yöntem olup, orijinal verileri uyarlanabilir bir şekilde çeşitli özgül kip fonksiyonlarına (IMF) ve farklı frekans ve ölçeklere sahip bir kalıntıya ayırıştırabilmektedir. Fourier Dönüşümleri ve dalgacık ayırıştırma gibi diğer zaman-uzay

analiz yöntemleriyle karşılaştırılabilir. Bu yöntemler gibi EMD de fiziğe dayalı değildir. Bununla birlikte, modlar verilerin içerdiği çeşitli sinyaller hakkında bilgi sağlayabilir. Yöntem özellikle, çoğunlukla doğrusal olmayan ve durağan olmayan doğal sinyalleri analiz etmek için kullanışlıdır.

EMD yöntemi, aralıklı sinyaller, darbe girişimi veya gürültü gibi anormal olayların neden olduğu kesiklik olgusuna sahip veri kümesinde modal örtüşme sorununa sahip olduğundan orijinal verilere beyaz gürültü eklenen EEMD yöntemi önerilmiştir (Wang vd., 2021, Wu ve Huang, 2009: 1). Standart beyaz gürültü frekans dağılımının tekdüzeliği, orijinal verileri sürekli ve daha durağan hale getirir; dolayısıyla orijinal verinin sinyal-gürültü oranı (SNR) belirli bir ölçüde azaltılır dolayısıyla mod örtüşme sorunu etkili bir şekilde çözülür. Şüphesiz, EEMD, EMD'nin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır ancak yine de eklenen beyaz gürültünün ortadan kaldırılamaması gibi bir eksikliği vardır ve bu da özellik çıkarma bilgilerini etkilemektedir.

EEMD gürültü destekli bir veri analizi yöntemidir. EEMD, beyaz gürültü eklenmiş bir sinyal topluluğunun elenmesinden oluşur. EEMD, orijinal EMD algoritması için aralıklılık testinde olduğu gibi herhangi bir önsel öznel kriter seçimi olmadan ölçekleri doğal olarak ayırabilir. Wu ve Huang (2005), beyaz gürültü ile topluluğu eleme sürecinde tüm olası çözümleri tüketmeye zorlamak için gerekliliğini belirtmiş, böylece farklı ölçekli sinyallerin ikili filtre bankaları tarafından dikte edilen uygun öz kip fonksiyonlarına harmanlanmasını sağlamıştır. EMD bir zaman uzayı analiz yöntemi olduğundan, beyaz gürültünün ortalaması yeterli sayıda deneme ile alınır; ortalama alma işleminden kurtulan tek kalıcı kısım sinyaldir ve bu da daha sonra gerçek ve daha fiziksel anlamlı cevap olarak ele alınır Wu ve Huang, (2005: 107). CEEMDAN orijinal sinyalin tam olarak yeniden yapılandırılmasını ve IMF'lerin daha iyi bir spektral ayrımını sağlayan EEMD algoritmasının bir varyasyonudur. Diğer bir ifadeyle CEEMDAN doğrusal olmayan ve durağan olmayan verilerden öz kip fonksiyonlarını çıkarmak için kullanılan güçlü bir sinyal işleme tekniğidir.

Ayrıştırma sürecini geliştirmek için uyarlanabilir bir gürültü terimi ekleyerek geleneksel EMD sınırlamalarını ele alır. CEEMDAN'ı incelemeye önce, üzerine inşa edildiği temel olan Ampirik Mod Ayrıştırma'yı (EMD) anlamak yukarıda da ifade edildiği gibi önemlidir. EMD, belirli bir sinyali sonlu bir IMF kümesine ayırıştırır, değişen frekanslara ve genliklere sahip salınım modlarını temsil eden veri odaklı bir tekniktir.

EMD birçok uygulama için etkili olsa da mod karıştırma sorunundan mustarıdır. Mod karışımı, farklı zaman ölçeklerine sahip IMF'ler üst üste geldiğinde ortaya çıkar ve bunları doğru bir şekilde ayırmayı zorlaştırır. Uç etkiler, analiz edilen verilerin sınırlarına yakın IMF'lerin bozulmasını ifade eder. CEEMDAN, topluluk tabanlı teknikler ve uyarlanabilir gürültü sunarak bu sınırlamaların üstesinden gelir.

2010 yılında Yeh ve arkadaşları, aynı genliğe sahip bir çift pozitif ve negatif standart beyaz gürültü ekleyerek, eklenen beyaz gürültüyü etkili bir şekilde ortadan kaldıracak ve topluluk ortalaması sırasında yeniden yapılandırılan verilerin neden olduğu hatayı azaltabilen yeni bir tamamlayıcı EEMD (CEEMD) yöntemini önermiştir (Yeh vd., 2010: 56).

Toress vd., (2011), CEEMD'nin hesaplama verimliliğini artırmak ve topluluk ortalamasındaki hataları azaltmak için Torres ve arkadaşları ayrıştırma işleminden ve beyaz gürültünün eklenmesiyle CEEMD'yi geliştirdiler ve CEEMDAN yöntemini önerdiler.

CEEMDAN'ın aşağıdaki belirtildiği avantajları vardır:

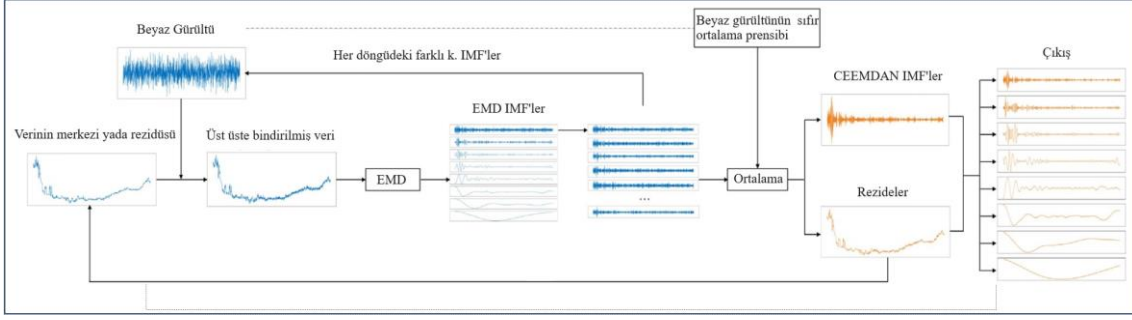
(1) Her ayrıştırma işlemi sırasında gürültü seviyesini kontrol etmek için ek bir SNR (Sinyal-Gürültü Oranı) tanımlanır.

(2) CEEMDAN'ın bileşenleri tamamen orijinal veriyi yeniden oluşturulabilir ve neredeyse hiç gürültü bulunmaz.

(3) EMD, EEMD ve CEEMD ile karşılaştırıldığında daha az test gerektirir ve en yüksek ayrıştırma verimliliğine sahiptir.

CEEMDAN yöntemi, uyarlanabilir gürültü ekleyerek EMD'deki modal örtüşmeyi ortadan kaldıracak ve orijinal verileri farklı frekanslardaki IMF'lere ayrıştırarak doğrusal ve durağan olmayan sorunu çözebilir. Şekil 3.2.'de CEEMDAN işleyişine ilişkin akış sunulmaktadır.

$f(t)$  orijinal veriyi temsil ederken,  $\overline{IMF}_k(t)$  CEEMDAN yöntemi ile elde edilen  $k$ 'inci IMF'yi ifade eder.  $EMD_j(\cdot)$  ise EMD ayrıştırması ile elde edilen  $j$ 'inci IMF'yi temsil eder.  $\varepsilon_k$ , her aşamanın Sinyal-Gürültü oranını yani SNR'yi belirlemek için kullanılır ve beyaz gürültünün standart sapmasını belirler.  $\omega^i(t)$ , standart normal dağılıma uyan Gauss beyaz gürültüsünü ifade eder. Bu bölümün hesaplamalarında,  $\varepsilon_k$  dışında, diğer tüm değişkenler bir dizi veya uzun vektörü temsil eder. Bu değişkenler arasında  $f(t)$ ,  $\overline{IMF}_k(t)$ ,  $\omega(t)$ ,  $r(t)$  gibi değişkenler bulunur.  $\varepsilon_k$  ise bir skalar katsayısıdır.



**Şekil 3.2.** CEEMDAN akış şeması

CEEMDAN'ın işlem algoritmasındaki genel adımları aşağıda verilmiştir:

1. Orijinal zaman serisi verisi  $f(t)$  üzerine  $\varepsilon_0$  SNR'li beyaz gürültü  $\omega^i(t)$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) ekleyin ve denklem (3.2)'de gösterildiği gibi ilk aşamada ayrıştırmak için kullanılan  $f^i(t)$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) verisi elde edilir. Burada  $t$  farklı bir zaman noktasını temsil eder,  $i$ ,  $i$ 'nci eklenen beyaz gürültüyü temsil eder,  $n$  ise eklenen beyaz gürültü toplam sayısını gösterir. Elektronik izleme sistemlerinin zaman serisi, genliği öngörülemeyen ancak belirli istatistiksel özelliklere uyan bir rasgele sinyal olarak bu çalışmada kabul edilmektedir.

$$f^i(t), = f(t) + \varepsilon_0 \omega^i(t), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.2)$$

2.  $f^i(t)$ , verisini  $n$  kez EMD kullanarak ayrıştırılır ve  $n$  adet birinci IMF sonucunu elde edilir, bunlara  $IMF_1^i(t)$ , ( $i=1,2,\dots,n$ ) adı verilir. Ardından, denklem (3.3) kullanılarak ilk  $IMF_1(t)$ , elde etmek için ortalama değeri hesaplamak için CEEMDAN'ın ilk IMF'i olan  $\overline{IMF_1}(t)$ 'yi elde edilir ve denklem (3.4) kullanarak ilk artığı  $r_1(t)$  bulunur. Burada  $EMD_1(\cdot)$  EMD ile elde edilen ilk IMF'i temsil eder. Teorik olarak beyaz gürültünün ortalama değeri sıfır olduğundan ortalama değer hesaplanarak beyaz gürültünün etkisi ortadan kaldırılabilir.

$$\overline{IMF_1}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n IMF_1^i(t) = \frac{1}{n} IMD_1 \left( f^i(t) \right) \quad (3.3)$$

$$r_1(t) = f(t) - \overline{IMF_1}(t) \quad (3.4)$$

3. İlk kalıntı  $r_1(t)$  adaptif bir gürültü ögesi eklenir ve yeni bir zaman serisi elde edilir. Adaptif gürültü ögesi, SNR  $\varepsilon_1$  ile beyaz gürültü  $\omega^i(t)$  'nin ilk EMD IMF'idir. Daha sonra EMD ayrıştırmasını gerçekleştirmek için yenisini taşıyıcı olarak kullanılır, böylece CEEMDAN'ın ikinci IMF'si olan  $\overline{IMF}_2(t)$  denklem (3.5)'teki gibi elde edilebilir ve ikinci kalıntı  $r_2(t)$  denklem (3.6)'daki gibi elde edilebilir.  $EMD_1(\cdot)$  EMD tarafından elde edilen ilk IMF'yi temsil eder.

$$\overline{IMF}_2(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EMD_1(r_1(t) + \varepsilon_1 EMD_1(\omega^i(t))) \quad (3.5)$$

$$r_2(t) = r_1(t) - \overline{IMF}_2(t) \quad (3.6)$$

4. Adım (3) gibi, yeni artıklara yani rezidülere beyaz gürültü  $\omega^i(t)$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) ve SNR  $\varepsilon_k$  ( $k = 2, 3, \dots, K$ ) ile yeni adaptif gürültü ögeleri eklenir, burada  $K$  CEEMDAN işlemi tamamlandıktan sonraki toplam IMF sayısını temsil eder. Ardından, CEEMDAN'ın  $k$ 'ıncı IMF'si,  $\overline{IMF}_k(t)$ , denklem (3.7)'deki gibi elde edilebilir ve  $k$ 'ıncı kalıntı  $r_k(t)$ , denklem (3.8)'deki gibi elde edilebilir; burada  $EMD_k$ , EMD ile elde edilen  $k$ 'ıncı IMF'yi temsil eder.

$$\overline{IMF}_k(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EMD_1(r_{k-1}(t) + \varepsilon_{k-1} EMD_{k-1}(\omega^i(t))), \quad k=2,3,4,..K, \quad (3.7)$$

$$r_k(t) = r_{k-1}(t) - \overline{IMF}_k(t) \quad (3.8)$$

Son olarak, kalıntı ikiden fazla uç noktaya sahip olmadığına ve ayrıştırılmaya devam edilemediğinde, CEEMDAN algoritması sonlandırılır. Bu zamanda kalıntının belirgin ve düz bir eğilimi vardır ve toplam  $K$  IMF elde edilir. Son kalıntı  $R(t)$ 'dir ve orijinal sinyal  $f(t)$ , denklem (3.9)'da gösterilen ilişkiye sahiptir.

$$f(t) = \sum_{i=1}^K IMF_k(t) + R(t) \quad (3.9)$$

### 3.3. Sürü Ayrıştırma Tekniği (Swarm Decomposition-SWD)

(Apostolidis ve Hadjileontiadis, 2017: 40) tarafından sürü ayrıştırma olarak isimlendirilen durağan olmayan sinyallerin analizi için akıllı bir yaklaşım önerilmiştir. Swarm-prey hunting yaklaşımıyla çalışan ve bir eleman giriş verisinden salınımlı bileşenler (OC'ler) üreten sürü filtreleme (SWF) bu yöntemin temel yapısını

oluşturmaktadır. OC'lerin her biri, orijinal sinyalin gerçek bir bileşeni olarak kabul edilebilir. Swarm-prey hunting başarılı olması için itici ve birleştirici güç olmak üzere iki etkileşim kuvveti içerir.  $i$  ve  $n$  sırasıyla üye sayısı ve adım sayısı olmak üzere itici kuvvet  $F_{dr}(n,i)$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$F_{dr}(n,i) = P_{prey}(n) - P_i(n-1) \quad (3.10)$$

Burada av(preylar)'in konum bilgisi  $P_{prey}$  olarak temsil edilmektedir. Sürünün tüm bireyleri için indüklenmiş bir kohezyon kuvveti  $F_{coh}(n,i)$  olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_{Coh,i}^n = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^M f(P_i[n-1] - P_j(n-1)) \quad (3.11)$$

$$f(d) = -sgn(d) \cdot \ln\left(\frac{|d|}{d_{cr}}\right) \quad (3.12)$$

Burada işaret ve logaritmik fonksiyon  $sgn(\cdot)$  ve  $\ln(\cdot)$  olarak sırasıyla gösterilmiştir. Üyeler arasındaki mesafe ve kritik mesafe sırasıyla  $d$  ve  $d_c$  ile belirtilmiştir.  $M$  sürü sayısını ifade eder. Sürü avını izlemek için her seferinde konum ve hız bilgisini aşağıdaki gibi günceller:

$$V_i[n] = V_i(n-1) + \delta \cdot (F_{Dr,i}^n + F_{Coh,i}^n) \quad (3.13)$$

$$P_i[n] = P_i(n-1) + \delta \cdot (V_i[n]) \quad (3.14)$$

SW (Sürü Ayrışması)'da en önemli adımlardan biri sürülerin esnekliğini kontrol eden  $\delta$  parametresidir. SWF'nin çıktısı denklem (3.15)'de sunulmuştur.

$$y[n] = \beta \sum_{i=1}^M P_i \quad (3.15)$$

Burada  $\beta$  sürü sayısını etkileyen ölçek parametresidir.  $\beta = 0.005$  en küçük makul değer olarak belirlenebilir. Farklı sinyal tiplerine göre bu parametrelerin uygun değerlerini belirlemek için aşağıdaki kriter izlenmelidir:

$$arg_{\delta,M} \min \sum_k \{|Y_{\delta,M}[k] - |S[k]||\}^2 \quad (3.16)$$

Burada  $Y_{\delta,M}[n]$  ve  $S[n]$  için orjinal serinin ayırık Fourier dönüşümünün genlikleri  $Y_{\delta,M}[k]$  ve  $S[k]$  ile gösterilmektedir.  $\delta$  ve  $M$  parametrelerine sahip SWF çıktısı  $Y_{\delta,M}[n]$  ile temsil edilmektedir.  $S[n]$  durağan olmayan tek bileşenli sinyali içerir. Bu sürecin temel amacı  $\delta$  ve  $M$  parametrelerini optimal düzeyde bulabilmektedir. SWF, bu parametreleri kullanarak onları durağan olmayan sinyalle karşılaştırarak salınımlı bileşenlerdeki benzerliği tanır. Sürü parametrelerinin her bir frekansla ilişkisi (Apostolidis and Hadjileontiadis, 2017: 45) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$M(\hat{\omega}) = [33.46\hat{\omega}^{-0.735} - 29.1] \quad (3.17)$$

$$\delta(\hat{\omega}) = -1.5\hat{\omega}^2 + 3.454\hat{\omega} - 0.01 \quad (3.18)$$

Burada  $\hat{\omega}$  normalize frekansı gösterir.  $M$  ise rounding operation ile belirlenir. SWF yinelemeli olarak sürdürülür ve artık giriş sinyali yeterli enerjiye sahip herhangi bir salınım moduna sahip olmadığına algoritma sonlandırılır. SWD (Swarm Decomposition - Sürü Ayırışması) adımında Savitzky–Golay (SG) filtresi ayırıştırma adımında uygulanması avantaj sağlamaktadır. Bu adımdaki proses ile ilgili detaylı bilgiye (Apostolidis and Hadjileontiadis, 2017: 47)'den ulaşılabilir.

Sonuç olarak orijinal sinyalden elde edilen bileşenler ve kalıntı sinyali farklı modlara göre akıllı bir yaklaşım olan SWD tekniği ile elde edilmektedir.

### 3.4. Kernel Tabanlı Meta Aşırı Öğrenme Makinesi (Kernel-Meta-ELM)

Aşırı Öğrenme Makinesi (ELM) mimarisi, Geri Yayılım Sinir Ağı ve radyal tabanlı sinir ağı da dahil olmak üzere diğer iyi bilinen sinir ağlarına çok benzeyen bir topolojik yapı sergiler. Çeşitli sinir ağı mimarileri arasında ELM, güçlü ve etkili bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. ELM, öğrenme hızı, kolay uygulama ve iyi genelleme performansı gibi benzersiz özellikleriyle bilinir. Bu bölümde ELM mimarisine, temel bileşenlerine genel bir bakış sunarak kernel tabanlı meta-aşırı öğrenme (Kernel-Meta-ELM) yapısı aktarılmaktadır.

ELM'nin temel yapısı, üç katmandan oluşan tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağından (SLFN) oluşur: Giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı. Giriş ve gizli katmanları birbirine bağlayan ağırlıkların geri yayılım yoluyla yinelemeli olarak ayarlandığı geleneksel sinir ağlarının aksine, ELM farklı bir strateji benimser. ELM'de giriş ve gizli katmanları birbirine bağlayan ağırlıklar rastgele atanır ve sabitlenir, bu da öğrenme sürecini son derece hızlı hale getirir. Tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağının (SLFN) çıkışı, giriş ve bağlantılara göre aşağıdaki denklem (3.19)'daki şekilde belirlenir:

$$f(x) = \sum_{j=1}^{N_h} \theta_j \varphi(xw_j + b_j) \quad (3.19)$$

Burada giriş bağlantı ağırlıkları  $\omega_j$ , ön gerilimler  $b_j$  ve bağlantı ağırlıkları  $\theta_j$  olarak gösterilmektedir. Gizli katmanların sayısı  $N_h$  ile önyargı ve giriş bağlantısı ağırlıkları rastgele belirlenir.  $\theta_k$ 'nın analitik hesaplaması aşağıda özetlenen adımlar izlenerek gerçekleştirilir. Burada, giriş verisi  $x \in R^n$  bu yazıdaki kayan pencere tekniği ile oluşturulmuştur.  $n$  giriş sayısıdır. Bu çalışmada, bir adım ilerisi tahmin, önceki üç veri ve anlık veri seti ile incelenmiştir.

Denklem (3.19)'un  $N$  eğitim örneklerini kapsadığı göz önüne alındığında,  $N$  denklemleri ile üretmek mümkündür. Bu denklemler, matris  $H$  olarak temsil edilen matris-vektör gösterimi kullanılarak denklem (3.20)'deki gibi uygun şekilde ifade edilebilir.

$$H = \begin{bmatrix} \varphi(x_1\omega_1 + b_1) & \cdots & \varphi(x_1\omega_{N_h} + b_{N_h}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi(x_N\omega_1 + b_1) & \cdots & \varphi(x_N\omega_{N_h} + b_{N_h}) \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$N_x N_h$

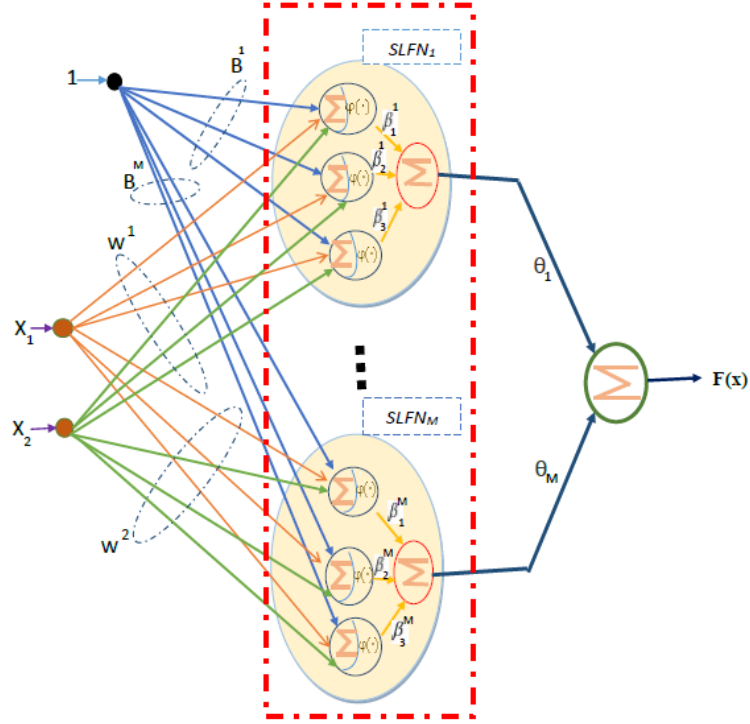
Her bir çıktı için çıktı ağırlıkları ve karşılık gelen hedef değerler ise denklem (3.21) aşağıda gösterildiği gibidir.

$$T = H\gamma, \gamma = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_{N_h} \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_1 \\ \vdots \\ t_N \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Çıkış bağlantı ağırlıklarının hesaplanması ise denklem (3.22)'de açıklandığı gibi Moore-Penrose matrisinin  $H$  tersinin hesaplanmasını içerir.

$$\hat{\gamma} = H^+T \quad (3.22)$$

Meta-ELM (Meta Aşırı Öğrenme Makinesi) ağı, her bir ELM'nin veri kümesinin belirli bir alt kümesi kullanılarak eğitildiği birden fazla ELM kullanır. Şekil 3.3 bireysel ELM'lerin varlığını vurgulayarak Meta-ELM ağının mimarisini göstermektedir. Toplanan ELM'lerin çıkış bağlantı ağırlıkları, tüm veri kümesi kullanılarak ELM öğrenme kuralı aracılığıyla belirlenir.



**Şekil 3.3.** Meta-ELM mimarisinin akışı

Çekirdek işlevlerini ELM'ye dahil ederek gelişmiş kararlılık ve genelleştirme elde edilebilir. ELM'nin Kernel-Meta-ELM olarak adlandırılan bu geliştirilmiş versiyonu, yeniliği yakalama yeteneğine sahiptir. Böylece çekirdek teoremi denklem (3.23) ve (3.24)'deki gibi formüle edilir:

$$K_{ELM} = HH^T, \quad ve \quad K_{ELM} = (x_i, x_j) = h(x_i)h(x_j) \quad (3.23)$$

$$f(x) = h(x)H^t \left( K_{ELM} + \frac{1}{C} \right)^{-1} T \quad (3.24)$$

burada, C düzenleme parametresidir. Önceki çalışmalar dikkate alınarak, bu yazıda C değeri 50 olarak kabul edilmiştir.

Çekirdek fonksiyonları Mercer koşulunu yerine getirerek pratik kullanıma uygun hale getirir. Polinom çekirdeği, Gauss çekirdeği, Hiperbolik tanjant çekirdeği (Sigmoid

çekirdeği) ve Wavelet çekirdeği dahil olmak üzere çeşitli Çekirdek fonksiyonları dikkate alınabilir. Bu tez çalışmasında analiz etmek için radyal temel fonksiyon (RBF) çekirdeği kullanılmıştır. Çekirdek fonksiyonunun  $K(x_i, x_j)$  kullanıldığı Çekirdek Tabanlı Meta Extreme Öğrenme Makinesi durumunda, denklem (3.25)'de gösterildiği aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\|K_{NxL}\beta - T\|^2 < \varepsilon \quad (3.25)$$

Burada  $\varepsilon$  sıfır olmayan bir eğitim hatasını temsil eder,  $L$  gizli katman örneklerinin sayısını gösterir ve  $N$  sürekli olarak  $L$ 'den büyüktür. Hatayı en aza indirmek için norm minimizasyonu ve numune sayısı kısıtlaması uygulanarak optimizasyon probleminin aşağıdaki şekilde formüle edilmesi sağlanır:

$$\text{Minimize } \frac{1}{2} \|\beta\|^2 + \frac{1}{2} C \|(K_{NxL}\beta - T)\|^2 \quad (3.26)$$

Dolayısıyla çıkış vektörü denklem (3.27)'deki şekilde gösterildiği şekilde ifade edilebilir:

$$\beta = \left[ \frac{1}{C} + K_{N \times L}^T K_{N \times L} \right]^{-1} K_{NxL} T \quad (3.27)$$

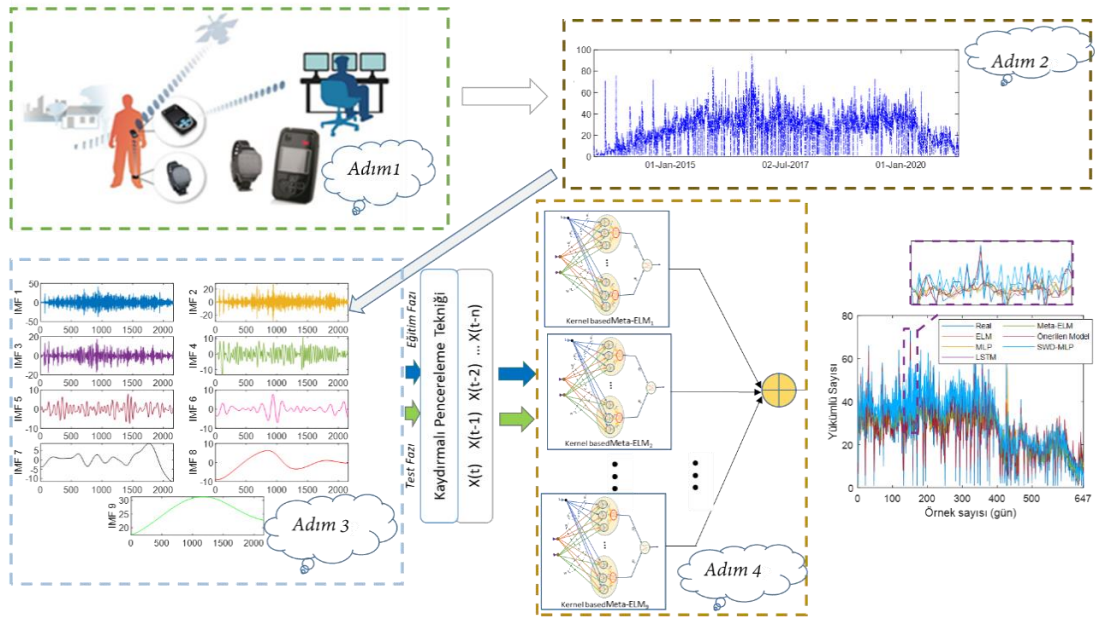
Bu nedenle tahmin edilen çıktı ise denklem (3.28)'de gösterildiği gibi elde edilir:

$$f(x) = K(x, x_2) \begin{bmatrix} K(x, x_1) \\ K(x, x_2) \\ \vdots \\ K(x, x_L) \end{bmatrix} \left[ \frac{1}{C} + K_{N \times L}^T K_{N \times L} \right]^{-1} K_{NxL} T \quad (3.28)$$

#### 4. UYGULAMA

Bu bölümünde elektronik izleme sisteminden elde edilen veri setinin özellikleri ve niteliklerinin tanımlanması ile birlikte uygulanan yenilikçi ve güncel hibrit tahmin modeli sonuçları karşılaştırmalı olarak paylaşılmaktadır. Bu kapsamda yapılan analizlerin ilk aşamasında MLP gibi geleneksel bir tahmin modeli kullanılarak geçmiş veriler ile gelecek veriler arasındaki ilişki kaydırmalı pencereleme tekniğinde birkaç adım öncesi verileri de içerecek şekilde düzenlenmiş ve en uygun adım sayısı belirlenmiştir. Tez çalışmasının ikinci adımında ise birinci adımda kullanılan geçmiş veri ötelemesi dikkate alınarak modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada yenilikçi ve güncel bir metodolojiye sahip önerilen CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM modeli hibrit, tekil ve derin öğrenme tabanlı modeller ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Tez çalışmasında önerilen çok adımlı yapıya sahip CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM hibrit yapısına ilişkin akış diyagramı Şekil 4.1’de sunulmaktadır. Sonraki bölümlerde detaylıca ele alınacak olan model sonuçlarından önce genel olarak önerilen modeli şekilden de görülebileceği üzere verilerin toplanması, ayrıştırma, tahmin ve birleştirme olarak üç ayrı aşama ile açıklamak mümkündür.



Şekil 4.1. Tez kapsamında önerilen modelin genel akış şeması

İlk aşamada orijinal verilerin elde edilmesi ile birlikte veriler normalize edilerek ikinci aşamadaki ön işleme adımına geçilir ve orijinal sinyali daha durağan ve kararlı hale getirmek için alt bileşenlerine ayırma işlemi CEEMDAN yaklaşımı ile birlikte ortaya koyulmaktadır. Elde edilen öz kip fonksiyonu olarak nitelendirilen ve orijinal sinyalin farklı frekanslı alt bileşenlerini içeren ayrıştırılmış sinyaller için ayrı ayrı Kernel tabanlı Meta-ELM tahmin modelleri oluşturulmuş ve bu modeller sonucunda elde edilen tahmin sonuçları son adımda ise toplanmıştır. Toplanan normalize veriler tekrar denormalize edilerek model karşılaştırmalı yapılmaktadır. Tez çalışmasında önerilen modele ilişkin genel yapıya ait akışa ilişkin sistematik aşamalar aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

#### 1. Aşama,

İlk adımda, elektronik izleme verilerinden elde edilen zaman serisi oluşturulur ve verilerini ayrıştırmak için bir sonraki adımda uygulanacak olan CEEMDAN algoritması gerçekleştirilir. CEEMDAN algoritmasının uygulama süreci bölüm 3'de sunulmaktadır.

#### 2. Aşama,

Ön işleme adımında CEEMDAN, orijinal zaman serilerini farklı frekanslara sahip bir dizi IMF'ye ayrıştırmak için kullanılırken IMF<sub>1</sub>, yüksek sıklığa sahip, IMF'lerin en sistematik olmayan ve kaotik bileşenidir. Yüksek frekanslı bileşenler daha rastgeledir (durağan değildir) ve düşük frekanslı bileşenlerle karşılaştırıldığında tahmin edilmesi daha zordur. Tüm alt bileşenlerin toplamı orijinal veriyi temin edeceği için burada herhangi bir veri kaybı söz konusu değildir. Kısacası, bir sonraki adımda tahmin modeline girdi olarak yer alacak alt bileşenler bu aşamada oluşturulur.

#### 3. Aşama,

Her bir alt ayrıştırılmış bileşen, bağımsız olarak Kernel-Meta-ELM ve tüm kıyaslama modellerine (MLP, LSTM, ELM) girdi olarak kullanılır. Burada sadece kıyaslama modeli olarak güncel bir metodoloji olan SWD algoritması ile oluşturulan hibrit model de ayrı alt bileşenler kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma modeli için ise SWD ile elde edilen alt bileşenler tahmin modeline girdi verisi olarak kullanılmıştır. Tüm modellerde verilerin %70'i eğitim %30'u test aşamasında kullanılmıştır.

#### 4. Aşama,

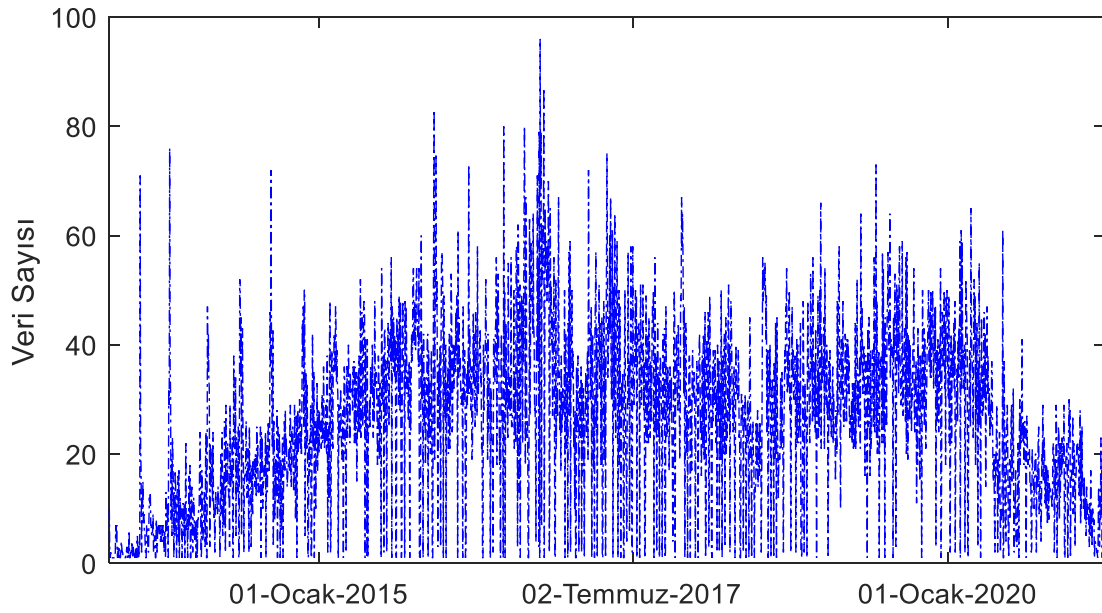
Son olarak, ayrıştırılmış sinyallerin test ve eğitim sonuçlarının toplanması, hibrit model sonuçlarını verir. Tüm nihai sonuçlar, ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE),

ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi performans ölçümleri kullanılarak karşılaştırılır. Bu performans metriklerine ek olarak bu tez çalışmasında Taylor Diyagramı da kullanılarak model performansları istatistiksel olarak paylaşılmıştır.

Tez çalışmasının bu genel şeması akışında ilk adım olan veri setinin tanımlanması bir sonraki bölümde sunulmuştur.

#### 4.1. Elektronik İzleme Veri Seti Tanımlaması

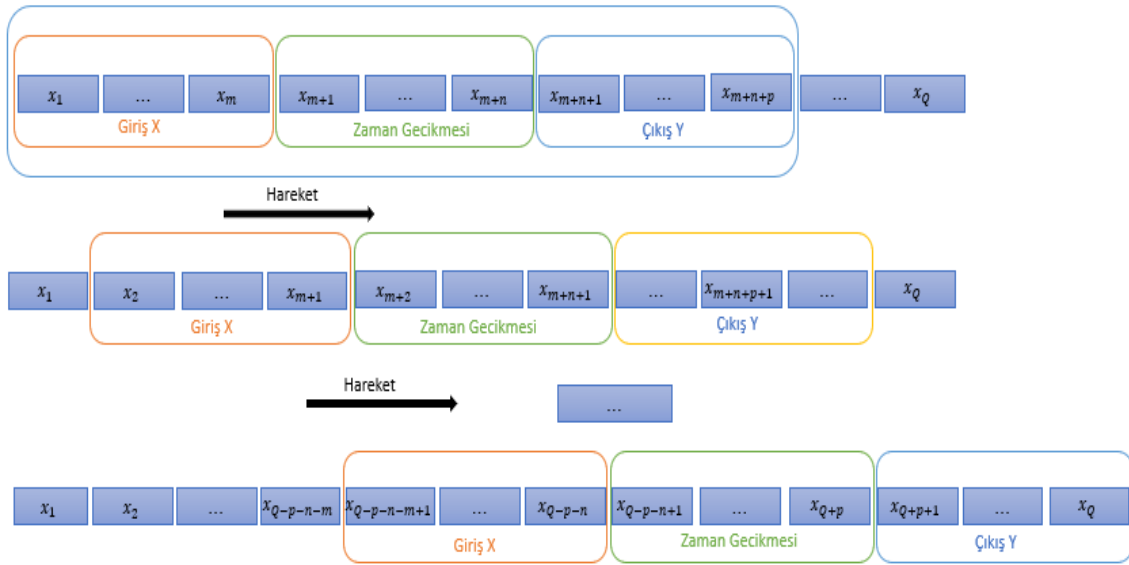
Adalet Bakanlığı CTE Genel Müdürlüğü Denetimli Serbestlik Daire Başkanlığı Elektronik İzleme Şube Müdürlüğünde; 2013 ve 2021 yılları arasında 3.736'sı kadın, 52.875'i erkek yükümlü olmak üzere toplam 56.611 yükümlü arasında izlenmiştir. Bu dönem boyunca, elektronik izleme sisteminde 51.729 yükümlü ev hapsi cihazı ile 141 yükümlü uzaktan alkol izleme cihazı ile, 3.501 yükümlü GPS uydu takip cihazı ve 1.240 yükümlü ise aile içi şiddet birimi olmak üzere toplamda 56.611 aktif yükümlü izlenmiştir. Şekil 4.2 izlenen tüm yükümlülerin yıllar boyunca günlük izlenen aktif yükümlülere ait değişimini göstermektedir.



**Şekil 4.2.** Elektronik izleme veri sisteminden elde edilen yükümlü sayısına ilişkin zaman serisi

Yaklaşık 9 yıllık geçmişe ait verilerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve modellenmesi sistem planlaması ve özellikle yönetimi için çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışma, 2013-2021 dönemine ait verileri kullanarak bir tahmin modeli oluşturmaya odaklanılmaktadır. Orijinal zaman serisi verileri, herhangi bir eksik değer olmadan kullanılmıştır. Verilerin doğal yapısını korumak için hiçbir gürültü azaltma veya yumuşatma işlemi uygulanmadı. Analiz yalnızca yükümlülerin tarihsel verileri kullanarak tek değişkenli yaklaşımlara dayanmaktadır. Başka bir deyişle, sabit sayıda geçmiş değer, model mimarileri için yapılandırılabilir girişler olarak hizmet etmektedir. Modelin çıktıları, zaman serisindeki gelecekteki veri noktaları için tahminleri içerir. Bu öğrenme aşamasında Şekil (4.3)'te sunulan hareketli bir zaman penceresi kullanan kayan pencere tekniği (SMF) kullanılmıştır. Optimum ağ yapısının belirlenmesi, girdi veri kümesinin genişliğinin önemli bir faktör olarak dikkate alınmasını gerektiği açıktır.

### Kaydırmalı Pencere



Şekil 4.3. Kaydırmalı pencereleme tekniği yapısı

Kaynak : (Jiang vd., 2022)

Sonuç olarak araştırmada model girdileri, mevcut ve geçmiş seri değerleri arasındaki ilişkinin ölçümlerini içermektedir. Burada verilerin hangi zaman gecikmesi ile öteleneceği modellerin performansında önem teşkil etmektedir. Bu kapsamda geleneksel bir model ile yapılan analizlerde zaman gecikmesi için en uygun yapıyı veren modellerde bu tez çalışması kapsamında ele alınmıştır. Elde edilen modellerin hata performansları eşitlik (4.1), (4.2) ve (4.3)'de verilen RMSE, MSE ve MAE hata performans metrikleri ile sunulmuştur.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \tilde{x}_i)^2}{N}} \quad (4.1)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \tilde{x}_i)^2}{N} \quad (4.2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \tilde{x}_i| \quad (4.3)$$

Burada  $x_i$  ve  $\tilde{x}_i$  sırasıyla gerçek ve tahmin değerlerini göstermektedir. N ise performans karşılaştırması için kullanılan toplam veri sayısını göstermektedir. MAE, tahmin sonuçlarının ortalama mutlak tahmin hatası konusunda yorumlama yapmamızı sağlarken, RMSE/MAE kullanmanın fiziksel temeli ise tüm test seti için elektronik izleme sistemindeki tahmininin genel hatasını ifade etmektedir.

Tablo 4.1'de zaman gecikmesi için modellenen farklı geçmiş değerlere ait oluşturulan geleneksel modelin tahmin başarımının karşılaştırmalı sonuçları gösterilmektedir. Bu kapsamda verinin birkaç adım öncesi ve birkaç adım sonrası değerleri ele alınmıştır.

**Tablo 4.1.** Farklı MLP giriş çıkışlarına göre hata performans kriterlerinin değişimleri

MLP					
Model	Girişler	Çıkış	RMSE	MSE	MAE
MLP1	x(t), x(t-1)	x(t+1)	1.28e-01	1.63e-02	9.65e-02
MLP2	x(t), x(t-1)	x(t+2)	1.28e-01	1.65e-02	9.70e-02
MLP3	x(t), x(t-1)	x(t+3)	1.32e-01	1.74e-02	1.02e-01
MLP4	x(t), x(t-1), x(t-2)	x(t+1)	1.26e-01	1.58e-02	9.46e-02
MLP5	x(t), x(t-1), x(t-2)	x(t+2)	1.26e-01	1.59e-02	9.56e-02
MLP6	x(t), x(t-1), x(t-2)	x(t+3)	1.28e-01	1.63e-02	9.80e-02
MLP7	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3)	x(t+1)	1.24e-01	1.54e-02	9.39e-02
MLP8	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3)	x(t+2)	1.24e-01	1.55e-02	9.36e-02
MLP9	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3)	x(t+3)	1.24e-01	1.53e-02	9.42e-02
MLP10	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4)	x(t+1)	1.23e-01	1.51e-02	9.24e-02
MLP11	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4)	x(t+2)	1.22e-01	1.49e-02	9.14e-02
MLP12	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4)	x(t+3)	1.23e-01	1.52e-02	9.34e-02
<b>MLP13</b>	<b>x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5)</b>	<b>x(t+1)</b>	<b>1.20e-01</b>	<b>1.45e-02</b>	<b>8.96e-02</b>
MLP14	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5)	x(t+2)	1.22e-01	1.49e-02	9.13e-02
MLP15	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5)	x(t+3)	1.23e-01	1.51e-02	9.27e-02
MLP16	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5), x(t-6)	x(t+1)	1.20e-01	1.45e-02	9.02e-02
MLP17	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5), x(t-6)	x(t+2)	1.22e-01	1.48e-02	9.12e-02
MLP18	x(t), x(t-1), x(t-2), x(t-3), x(t-4), x(t-5), x(t-6)	x(t+3)	1.24e-01	1.54e-02	9.43e-02

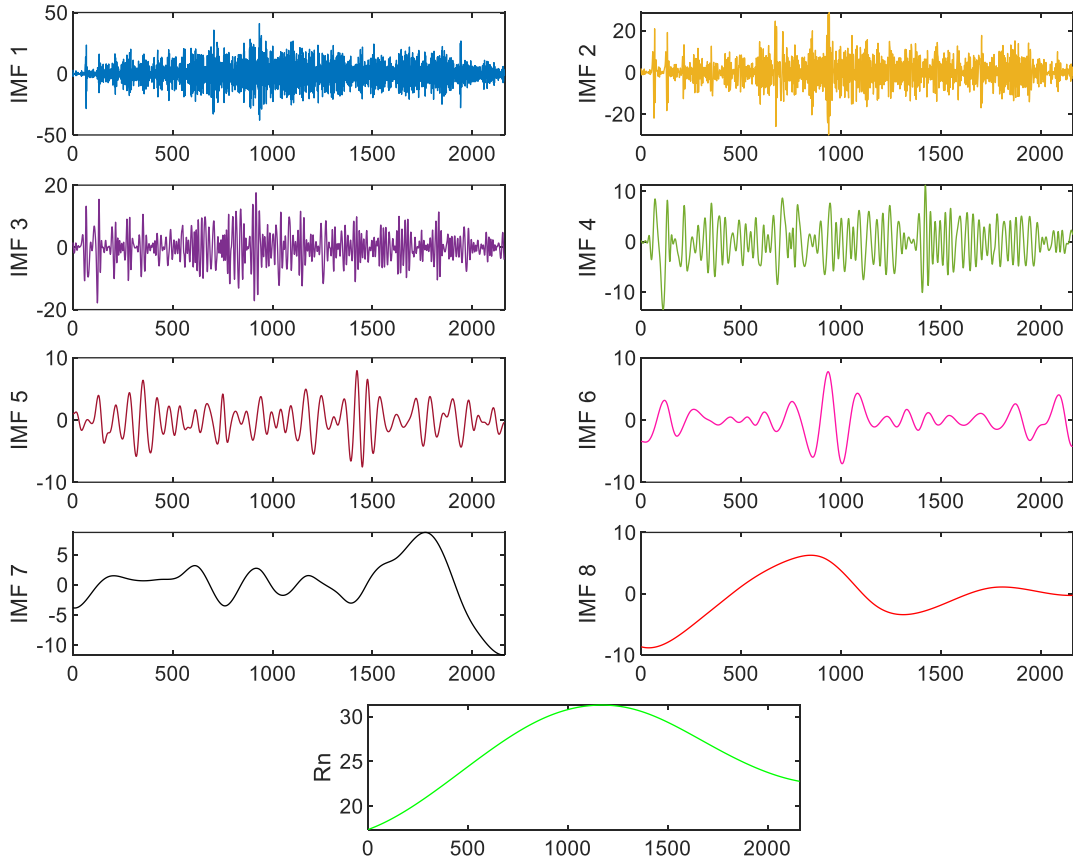
Tablo 4.1.'den elde edilen sonuçlara göre MLP<sub>13</sub> olarak isimlendirilen senaryoda RMSE, MSE, MAE hata performans metrikleri sırasıyla 1.20e-01, 1.45e-02, 8.96e-02 olarak en düşük olarak bulunmuştur. Sonuçlar bize bir sonraki hibrit modelde kullanılacak olan giriş çıkış veri yapısının detaylı analizini sunmaktadır. Buradaki amaç geçmiş verilerin kaç adım geriye gidilerek kaç adım sonrasının tahmin edilebileceğine ilişkin öngörü modeli ortaya koyabilmektir. Verilerin zaman serisi olarak elde edilmesi ve geçmiş değerlerle olan en optimal ilişkisinin belirlenmesi sonrası bir sonraki bölümde sonuçları paylaşılacak olan ayrıştırma adımlarına ilişkin elde edilen bulgular sunulacaktır.

## 4.2. Verilerin Ayrıştırılması ve Sonuçlarının Analizi

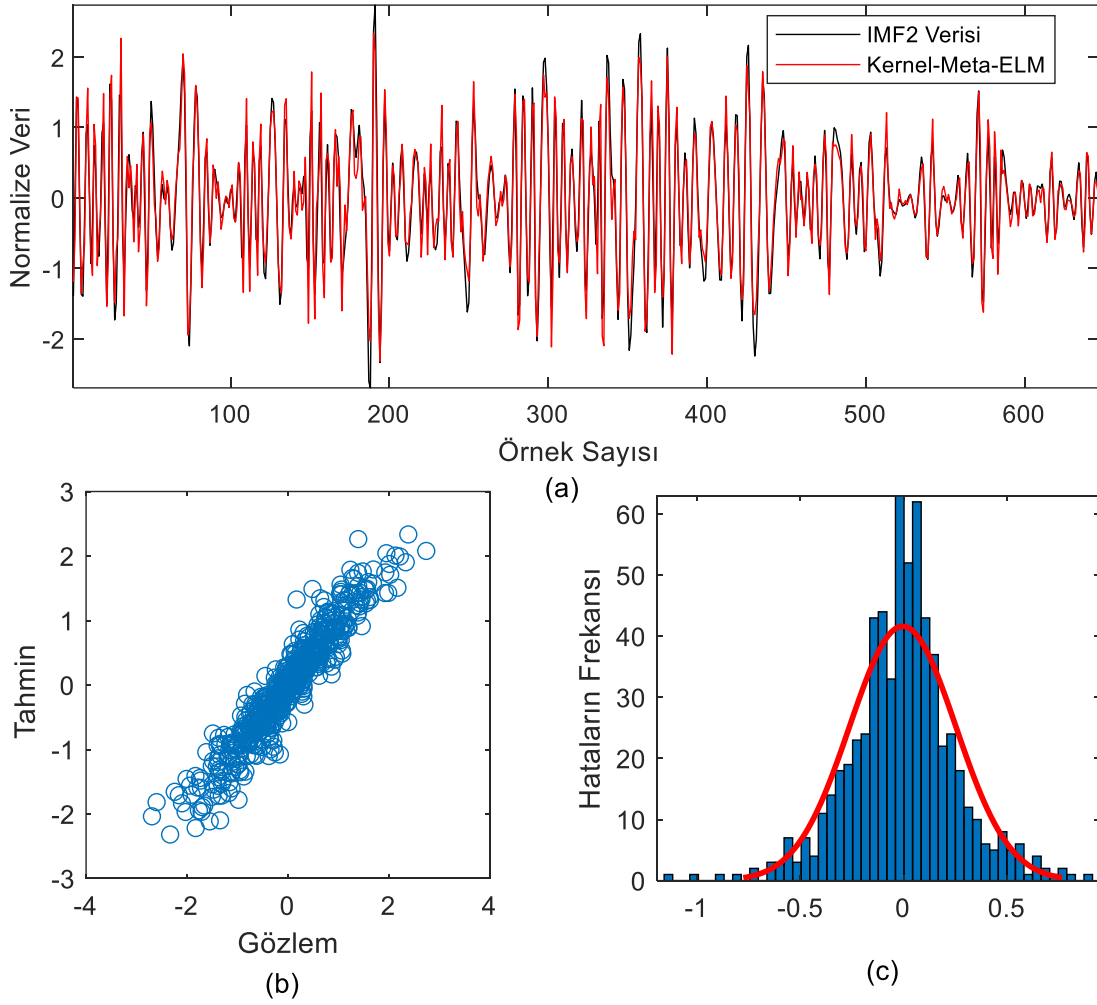
CEEMDAN yaklaşımı, orijinal sinyalin doğrusal olmayan özelliklerini azaltmak ve modelin performansını artırmak için bu tez çalışmasında kullanılmaktadır. Şekil (4.4.)'de yüksek frekanslardan düşük frekanslara kadar bir aralığı kapsayan toplam sekiz öz kip fonksiyonunu (IMF) ve bir artık sinyali (Rn) göstermektedir. En yüksek frekanslı bileşeni ifade eden  $IMF_1$ , orijinal seri hakkında detaylı bilgi içermektedir. Bazı literatür uygulamalarında bu bileşenin filtrelenmesi mümkün iken bu çalışmada verinin niteliğini etkileyen önemli bileşeni içerisinde barındırması sebebiyle filtrelenmeden doğrudan tahmin modellerine uygulanmıştır. Ayrıştırılan sinyalden elde edilen sonuçta veri değişimindeki eğilim ortaya çıkartılabilmektedir. Ayrıştırılan tüm IMF sinyallerini tahmin etmek için kestirim mimarileri kullanılabilir. Bu da her bileşenin ayrı tahmin modeline girdi olarak verilmesi ile beraber orijinal veri içerisindeki niteliklerin alt bileşen tahminleriyle çok daha hassas bir doğrulukta tahmin edilebilmesi olanağı bizlere tanımaktadır.

Ayrıştırma temelli tahmin adımının asıl zorluğu, yüksek frekanslı alt bileşenlerin oluşturduğu  $IMF_1$  ve  $IMF_2$ 'nin tahminidir. Fakat bu bileşenleri tahmin edebilecek en optimal modelin seçilmesi toplam tahmin doğruluğunda büyük öneme sahiptir. Bunu bir sonraki bölümde test verilerindeki toplam hata metrikleri ve grafikleri ile detaylı olarak sunulacak Kernel-Meta-ELM mimarisi ile en yüksek frekans bileşenlerinden biri olan  $IMF_2$ 'ye uygulanmış test sonuçları ile Şekil (4.5.)'de elde edilen analiz sonucu üzerinden ilk aşamada sunulmuştur. Şekilde görülebileceği üzere literatürde en yüksek hatalara ulaşabilen yüksek frekanslı bileşenlerden biri olan  $IMF_2$ 'nin tahmin sonucunda gerçek değere yakın bir trende tahmin eğiliminin olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Yine benzer şekilde tahmin ve gerçek değer arasındaki regresyonun lineer bir yapıda olduğu

görülebilmektedir. Sonuç olarak tahmin doğruluğu en yüksek frekans bileşeninden önemli ölçüde etkilenirken, Kernel tabanlı Meta-ELM modeli ile birlikte şekilden de görüldüğü gibi gerçek verilere yakın performans sonucu elde edilmektedir.

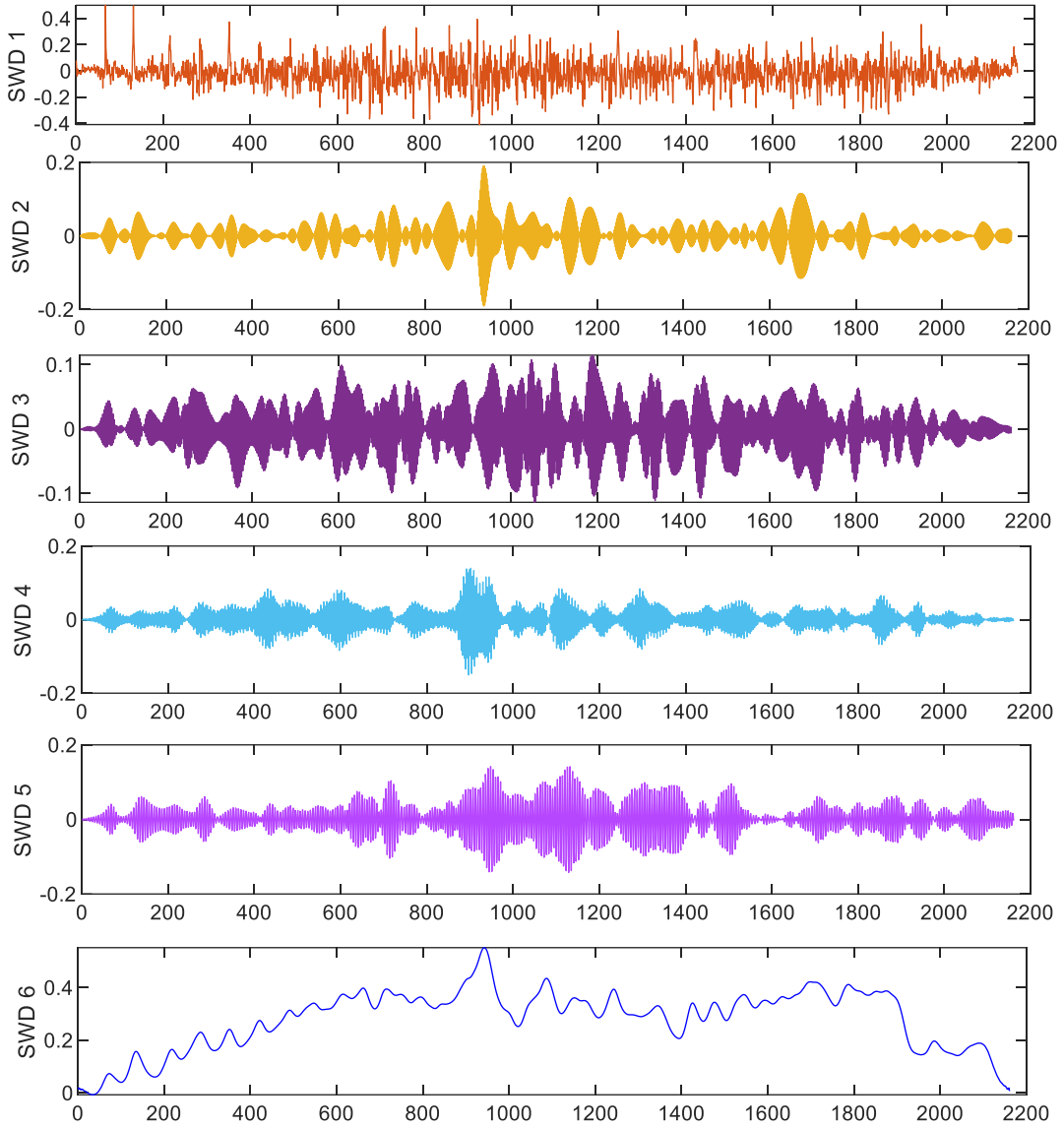


**Şekil 4.4.** Verilerin CEEMDAN algoritma ile ayrıştırılması



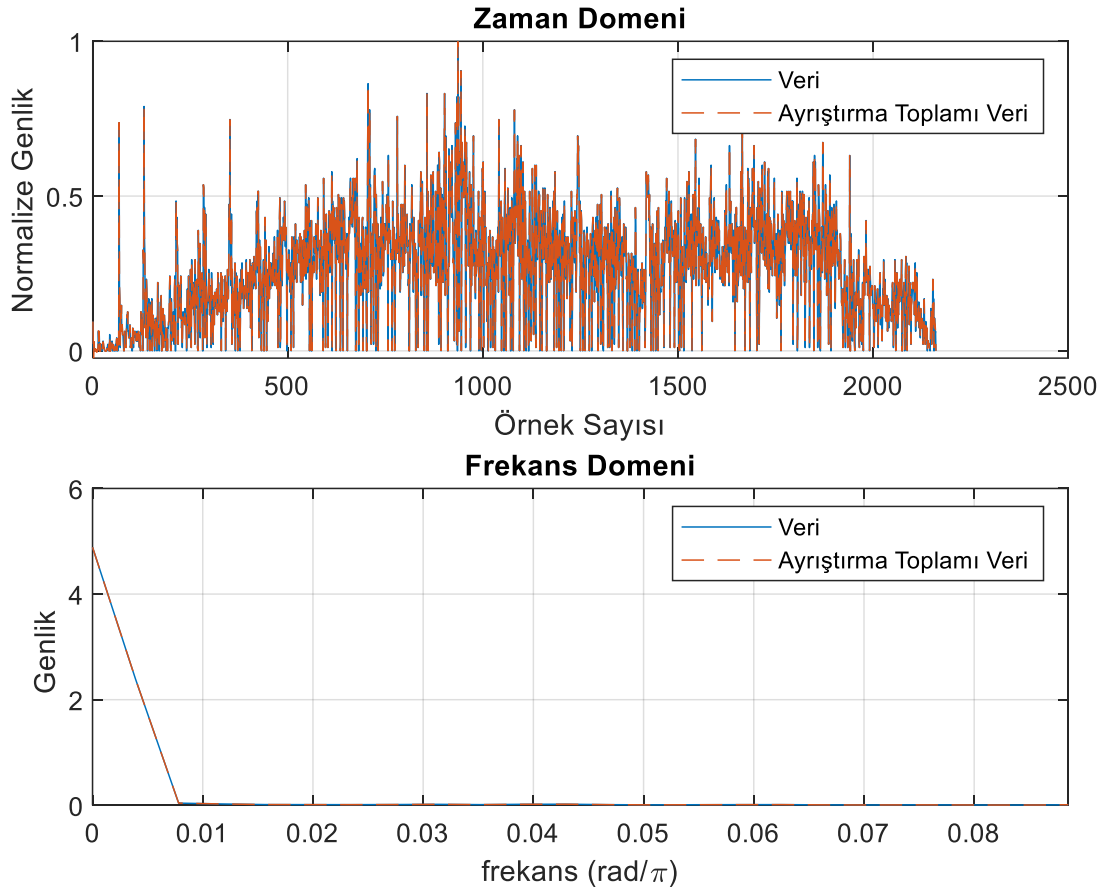
**Şekil 4.5.** Yüksek frekanslı örnek bir alt bileşende (IMF2) model performansının tahmini, (a) test sonuçları, (b) regresyon grafiği, (c) hata histogramı

Bu tez çalışması kapsamında; önerilen modelin performansını karşılaştırmak için güncel bir metodoloji olan sürü ayrıştırma tekniğiyle (SWD) de orijinal veriler alt bileşenlerine ayrıştırılmıştır. 2017 yılında Apostosdalidis tarafından önerilen akıllı bir yaklaşım olan SWD tekniğinin bu alanda kullanımı bu tez çalışması kapsamında ilk kez ele alınmıştır. Şekil (4.6.)’da orijinal sinyalin SWD tekniği ile ayrıştırılmış alt bileşenleri sunulmuştur. CEEMDAN da olduğu gibi orijinal verinin içerdiği farklı frekanstaki alt bileşen nitelikleri şekilden de görülmektedir. Yine en düşük frekanslı alt bileşen en son elde edilen alt sinyalde gözlemlenmektedir.



**Şekil 4.6.** Orijinal verinin SWD tekniği ile ayrıştırılmış alt bileşenleri

Burada ele alınması ve değerlendirilmesi gereken bir başka durum ise ayrıştırılan sinyallerin toplamının tekrar orijinal sinyali verip vermeyeceğidir. Kısacası ayrıştırma adımı içerisinde herhangi bir veri kaybı olup olmadığı analiz edilmesi gereken bir diğer noktadır. Bu kapsamda bunun ele alınması için Şekil (4.7.)’de gösterilen frekans ve zaman domaininde ayrıştırılmış sinyallerin toplamı ve orijinal sinyale ilişkin değişimler sunulmuştur.



**Şekil 4.7.** Orijinal ve alt bileşenlerden elde edilen toplam verilerin frekans ve zaman domainindeki değişimleri

Şekil (4.7.)’de görülebileceği üzere gerek zaman domaininde gerekse frekans domaininde yüksek doğrulukta bir örtüşme söz konusudur. Bu da bizlere ayrıştırma adımında herhangi bir veri kaybının olmadığını göstermektedir.

Bir sonraki bölümde ayrıştırılan sinyallerle oluşturulan tahmin modeli sonuçları ve tekil modellere ilişkin hata performans metrikleriyle karşılaştırmalı analizler sunulmuştur.

### 4.3. Önerilen CEEMDAN-Kernel Meta-ELM Algoritmasının Karşılaştırmalı Uygulama Sonuçları

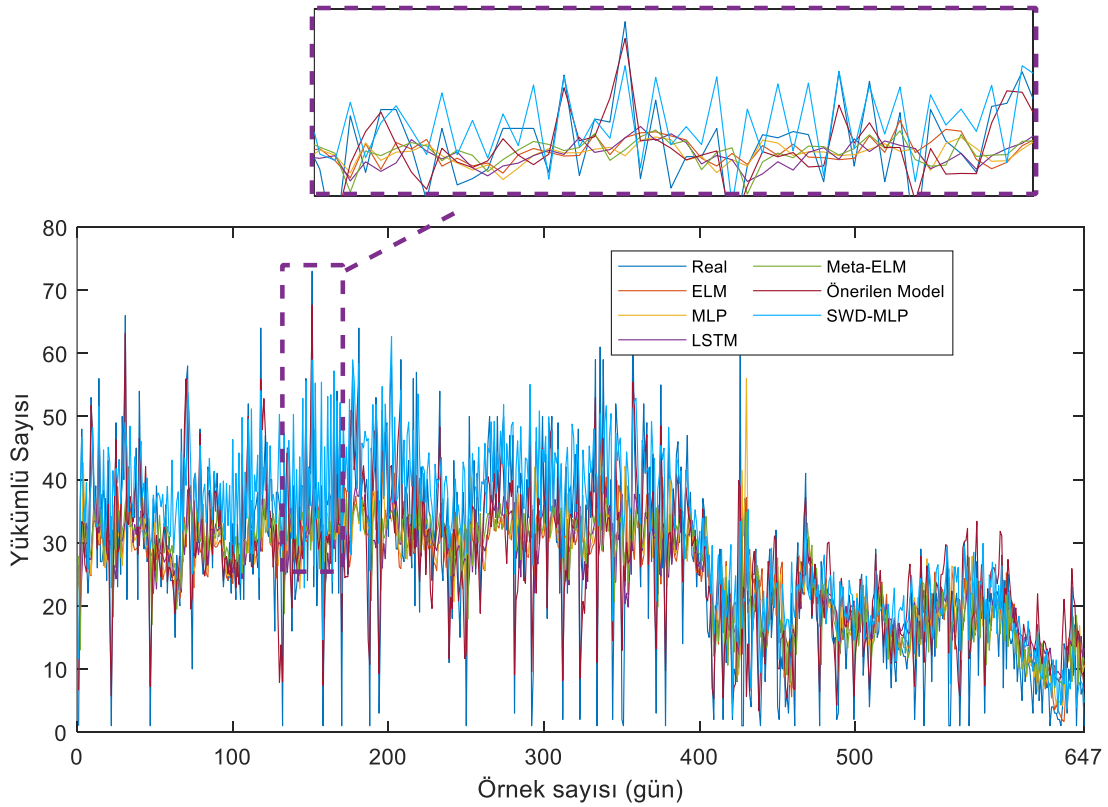
Abbasimehr vd., (2020), Tahmin çalışmalarında farklı teknikler ve modeller kullanılmasına karşın her bir veri setine uygun genel bir geçerli model literatürde yer almamaktadır. Burada verilerin öznitelikleri ve değişkenlikleri model performansına etkileyen birincil faktörlerdir. Kısacası önceki araştırmalar çeşitli tahmin teknikleri kullanmış olsa da zaman serisi tahmini için geçerli bir model yoktur. Bu sebeple bu alanda önerilebilecek yeni tahmin modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bölümde tez çalışması kapsamında önerilen CEEMDAN-Meta-ELM hibrit mimarinin sonuçları karşılaştırmalı modeller ile (ELM, MLP, SWD-MLP, LSTM ve Meta-ELM) detaylı olarak tartışılmaktadır. Karşılaştırma modellerinin seçilme kriterleri dikkate alındığında hem tekil modellerin kullanımının araştırılması hem de hibrit ve derin öğrenme tabanlı modellere olan üstünlüklerinin tartışılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda önerilen modelin temelinde yer alan tekil ELM'e göre model başarımı tartışılmış olup yine geliştirilmiş Meta-ELM'e olan üstünlüğü de ortaya koyulmuştur. SWD gibi güncel bir ayırıştırma tekniğiyle oluşturulan hibrit modele göre de model başarımı araştırılmıştır. Yine derin öğrenme tekniklerinden biri olan zaman serilerinde yaygın kullanım alanı bulmuş LSTM modeliyle de karşılaştırma bu çalışma kapsamında yapılmaktadır. Şüphesiz ki karşılaştırılabilecek model sayısını artırmak mümkün olsa da ampirik olarak yapılan çalışmalar neticesinde model performansları en başarılı ve geleneksel modellerin seçilerek sunumu bu çalışmada seçim kriteri olarak belirlenmiştir. Bu sayede modelin performansının daha sade bir şekilde karşılaştırılmasının sunumu hedeflenmiştir.

Bu araştırma, elektronik izleme sistemlerinde planlamaya yönelik tahmin araştırması üzerine yapılan ilk çalışmadır. Önerilen modelin etkinliğini değerlendirmek amacıyla derin öğrenme ve klasik tahmin yöntemleriyle kapsamlı bir karşılaştırma bir önceki bölümde de verilen farklı hata performans metrikleri ile birlikte yapılmıştır. Tüm modellerin performansı, tahmin edilen değerler ile test veri setindeki hedef değerler arasındaki fark ölçülerek ortaya koyulmuştur.

Tüm uygulanan tahmin modellerin (ELM, MLP, LSTM, SWD-MLP, Meta-ELM, CEEMDAN-Kernel-Meta-ELM) test sonuçları Şekil (4.8)'de gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere en genel değerlendirmede, kırmızı ile vurgulanmış önerilen model koyu mavi ile belirtilen gerçek verilerle en yakın uyumu sergilediği

gözlemlenirken, buna karşın mor renk ile gösterilen LSTM model sonuçlarının en yüksek düzeyde uyumsuzluğa sahip olduğu görülmektedir. Özellikle açık mavi ile belirtilen SWD-MLP algoritması çıkışının çok fazla salınıma sahip olması model uyumsuzluğuna neden olan en büyük etken olarak görülmüştür. Bu da bizlere SWD algoritmasının ayrıştırma adımında salınımların doğru tahmine sahip olmadığı sonucunu bizlere göstermektedir. Verinin niteliği içerisindeki alt bileşenlerdeki farklı salınımların tahmin modeli başarımları SWD ile oluşturulan hibrit modelde beklenenden düşük olduğu için farklı tahmin modelleri bu uygulama kapsamında ele alınmadan doğrudan geleneksel bir tahmin modeliyle tez çalışmasında yer almıştır. Bu bölümün ilerleyen aşamalarında model performansı düşük elde edilen modellere ilişkin genel çıkarımlar ve yorumlamalarda yapılmasına karşın bu aşamada önerilen modelin performansının üstünlüğü ilk aşamada sunulması hedeflenmiştir.



**Şekil 4.8.** Uygulanan modellerin test verilerine ilişkin karşılaştırmalı tahmin sonuçları

Şüphesiz ki tahmin sonuçlarının model başarımlarının zaman serisi üzerinden tek başına yorumlanması yeterli değildir. Maksimum, minimum veya genel trenddeki tahmin başarımları zaman serisi üzerinden gözlemlenebilirken genel model performansı hata performans metrikleri ile ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda Tablo 4.2’de uygulanan modellere ilişkin karşılaştırmalı hata performans metrik sonuçları paylaşılmaktadır. Burada paylaşılan veriler test sonuçlarına ilişkin denormalizasyon sonrası elde edilen karşılaştırma sonuçlarını içermektedir.

**Tablo 4.2.** Karşılaştırmalı hata performans metrik sonuçları

<b>Modeller</b>	<b>RMSE</b>	<b>MSE</b>	<b>MAE</b>
ELM	11.8025	139.2992	8.7960
MLP	11.8422	140.2369	8.8192
LSTM	11.9457	142.6997	9.0301
Meta-ELM	11.6030	134.6287	8.7501
SWD-MLP	9.6673	93.4568	7.4379
<b>Önerilen Model</b>	<b>7.1955</b>	<b>51.7759</b>	<b>5.7906</b>

Tablo 4.2.’den de görülebileceği üzere hata performans metrikleri açısından, önerilen model sırasıyla 7.1955, 51.7759 ve 5.7906 RMSE, MSE (Ortalama Kare Hata) ve MAE değerleriyle diğer tüm modellerden daha iyi performans göstermektedir. Hata performans sonuçlarındaki doğruluk düzeyleri dikkate alındığında modellerin başarımları azalan sırada şu şekilde sıralanabilir: Önerilen (CEEMDAN-Meta-Kernel-ELM), SWD-MLP, Meta-ELM, ELM, MLP ve LSTM dir.

Tekil model sonuçları hibrit modellere göre çok daha düşük olarak gözlemlenmiştir. Tekil modeller kendi içlerinde değerlendirildiğinde birbirleriyle rekabetçi sonuç vermesine karşın hibrit modeller başarımları artırmıştır. Örneğin MLP ve SWD-MLP sonuçları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, MLP tekil modeli sırasıyla 11.8422, 140.2369 ve 8.8192 RMSE, MSE ve MAE sonucuna sahipken, SWD-MLP’de bu değerler sırasıyla 9.667, 93.4568 ve 7.4379 olarak bulunmuştur. RMSE (Karekök

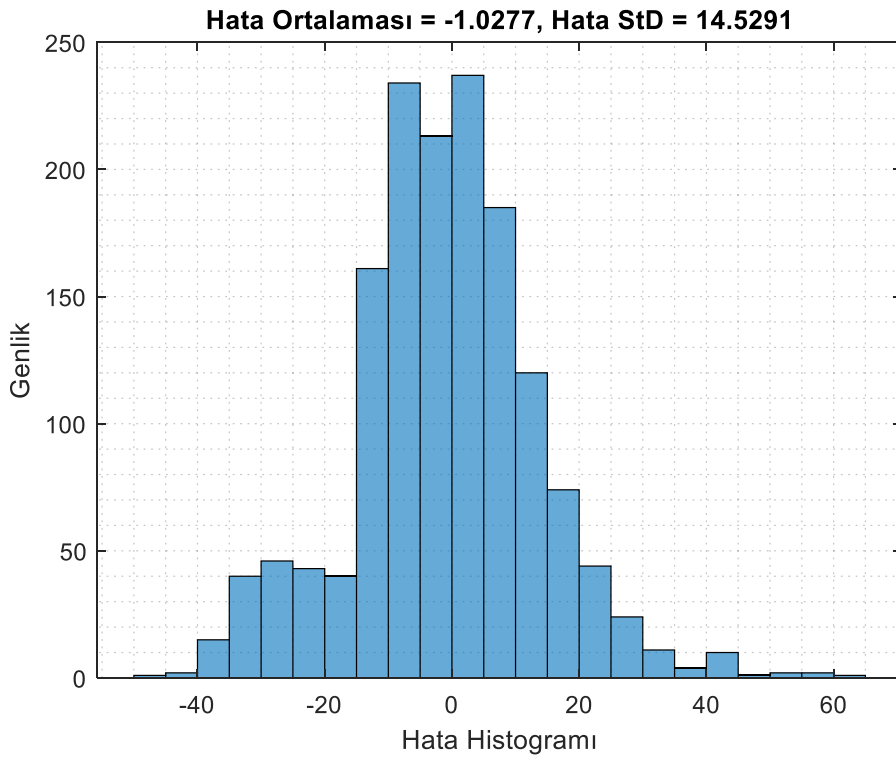
Ortalama Kare Hata) hata performans metriği dikkate alındığında yaklaşık %18 düzeyinde ayrıştırmanın model üzerinde başarımı arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde önerilen modeldeki hibrit yapıyla tekil Meta-ELM modeli karşılaştırıldığında, Meta-ELM modelinin sırasıyla 11.6030, 134.6287 ve 8.7501 RMSE, MSE ve MAE hata performans metriğine sahip olduğu gözlemlenirken önerilen modelde MSE değeri dikkate alındığında tekil Meta-ELM modeline göre yaklaşık %61 oranında ayrıştırmanın model performansına etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu da bizlere CEEMDAN ve SWD gibi ayrıştırma algoritmalarının model performansı üzerinde başarıma sahip olduğunu göstermektedir.

CEEMDAN ve SWD tabanlı hibrit modeller kendi içerisinde değerlendirildiğinde SWD tahmininde Şekil (4.8)'de gösterildiği gibi salınımların fazla olması ve CEEMDAN'da çok daha fazla alt bileşene ayrıştırma işleminin yapılarak orijinal sinyalin özelliklerini çok daha iyi temsil edebilmesi tahmin doğruluğuna etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda CEEMDAN algoritması MAE değerleri dikkate alındığında SWD tabanlı hibrit yaklaşıma göre %22'lik bir model performans artışı göstermektedir. Bu da bizlere elde edilen elektronik izleme sistem verileri özelinde CEEMDAN yaklaşımının güncel bir akıllı tekniğe göre de üstünlüğünü sunmaktadır. SWD'nin farklı tahmin modellerine ilişkin de analizleri tez çalışması döneminde ampirik olarak analiz edilmiş olmasına karşın benzer hata performans tahminleri içermesi sebebi ile karşılaştırmalardaki karmaşıklığın önüne geçmek adına tek bir geleneksel tahmin modeli üzerinden sunulmuştur.

Geliştirilmiş Meta-ELM tekil ELM modeline göre rekabetçi bir sonuç verse de literatürdeki diğer benzer çalışmalardaki (Dokur, 2021: 390, Dokur, 2022: 248) başarımları gibi elektronik izleme verileri içinde benzer düzeyde hata performansı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda MSE değerleri dikkate alındığında geliştirilmiş model olan Meta-ELM mimarisi ELM modeli üzerinde %3'lük bir performans artışı sağlamıştır.

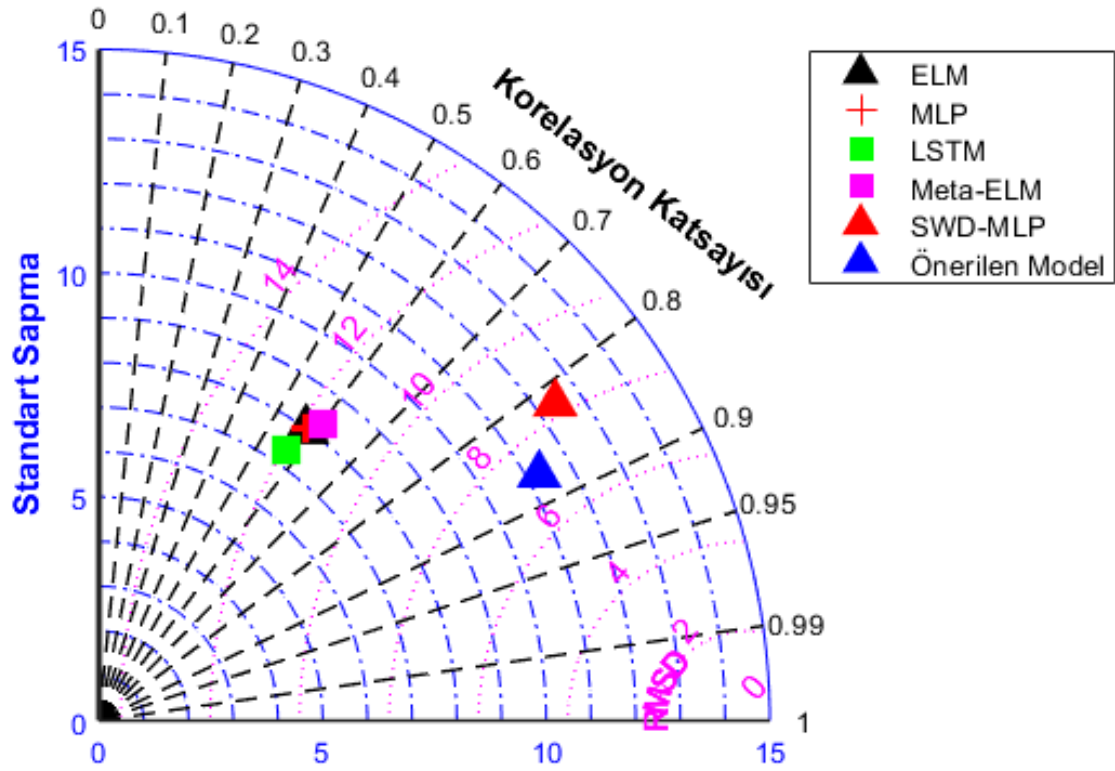
Günümüzde zaman serisi uygulamalarında oldukça fazla çalışma alanında yer bulmuş popüler derin öğrenme tekniklerinden biri olan LSTM sonuçları ele alındığında genel olarak beklenenden çok daha düşük model performansı gözlemlenmiştir. Özellikle verinin aşım noktaları olan lokal maksimum değerlerinde model başarımlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yine LSTM modeli tekil mimari yapısına sahip ELM ve önerilen modelle karşılaştırıldığında RMSE değeri özelinde sırasıyla %1.2 ve % 39.76'lık bir hata

performans düşüklüğüne sahiptir. Burada LSTM modelinin hiperparametrelerinin optimal şekilde seçilmesi model performansına etki edeceği şüphesizdir. Bu çalışmada farklı parametreler denenmiş olsa da en düşük hata performansı gözlemlenmiş olan parametre sonuçları bu çalışmada sunulmuştur. Burada ilk katmandan son katmana kadar sırasıyla LSTM birimlerinin sayısı 100, 100, 75 ve 70 olarak seçilmişken, LSTM'deki her eğitimdeki epoch için maksimum 100 olarak belirlenmiştir. Yine batch boyutu farklı değerler içinde denenmiş olsa da en düşük hata performans metriği 16 için gözlemlenmiştir. Adam algoritması öğrenme adımında kullanılmıştır. Genel başarımdaki düşüklüğün yanı sıra LSTM'in eğitim aşamasındaki başarımının düşüklüğünü istatistiksel olarak göstermek için Şekil (4.9)'da hataların eğitimdeki değişimine ilişkin histogram dağılımı sunulmuştur. Buradan da görülebileceği üzere eğitim aşamasında da LSTM'deki model başarımları oldukça düşük olup elektronik izleme veri seti için hibrit yapılarda da kullanımı uygun değildir. Bu sebeple ELM tabanlı bir modelin üzerinde geliştirme bu çalışmada tercih edilmiştir. Şüphesiz ki burada sadece ELM'in model performansındaki başarımı değil buna ek olarak model eğitim sürelerindeki hızı da dikkate değer bir avantaj olarak görülmesi bu alanda hibrit yapıların oluşturulması konusunda teşvik edici olmuştur.



**Şekil 4.9.** Eğitim aşamasında LSTM modelinin hata histogram sonuçları

Bu çalışmada ayrıca uygulanan modeller arasındaki performansların farklarını daha detaylı olarak istatistiksel şekilde görsel olarak göstermek için Şekil 4.10'da sunulduğu gibi Taylor diyagramı üzerinden de analizler yapılmıştır. Burada hesaplanan diyagram korelasyon katsayısı, ortalama kare sapmanın kökü (RMSD) ve standart sapma arasındaki ilişkiyi etkili bir şekilde göstermektedir. Sonuç olarak modeller, hedef verilere yönelik tahmin yeteneklerine göre karşılaştırılması diyagram üzerinden sunulması hedeflenmiştir.



**Şekil 4.10.** Modellerin Taylor Diyagramı ile istatistiksel karşılaştırılması

Taylor diyagramından da görülebileceği gibi mavi üçgen sembolle ile gösterilen önerilen yöntem daha yüksek korelasyon katsayısına ve daha düşük bir standart sapmaya sahiptir. Buna ek olarak önerilen yöntemin daha düşük RMSD (Kare Kök Ortalama Sapma) değerine sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu diyagramda özellikle korelasyon katsayısı 1'e ne kadar yakın ve sembol x eksenine ne kadar yakınsama gösterirse model performansı da o denli artış gösterdiği şeklinde yorumlanabilir. Toplu olarak bu analizler, elektronik izleme verilerini tahmin etmek için önerilen modelin

güvenilirliğini ve etkinliğini doğrulamaktadır. Simüle edilen sonuçlar, CEEMDAN ayrıştırma adımı içeren ve Kernel tabanlı Meta-ELM algoritmasının kombinasyonunun, tekli ayrıştırma yöntemlerine kıyasla hem öğrenme hem de tahmin yeteneklerini geliştirdiğini göstermektedir. Buna ek olarak hibrit modele göre de tahmin başarımı daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. ELM, LSTM, Meta-ELM ve MLP modelleri kendi içerisinde rekabetçi tahmin performansı sergilerken, CEEMDAN-Meta-Kernel-ELM modeli ise yüksek doğruluğuyla ön plana çıkmaktadır.

Kapsamlı performans analizleri, önerilen ayrıştırma ve Kernel tabanlı algoritma tarafından elde edilen önemli doğruluk artışını tartışmasız bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bulgular ışığında, önerilen tahmin metodolojisinin Adalet Bakanlığı'nın elektronik izleme sistemlerinin planlamasını ve yönetimini daha yüksek hassasiyetle yürütmesine olanak sağlayacağı öngörülmektedir.

## 5. SONUÇ

Yükümlülerin elektronik olarak izlenmesi, ceza adaleti sisteminde giderek daha popüler hale gelen bir yöntemdir. Dünya çapında bu sistemler, cezalarını toplum içinde çekerken denetimli serbestliğe tabi olan bireyleri izlemek için etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye'de elektronik izleme sistemlerinin kullanımı ve önemi de her geçen gün artmaktadır.

Bu tez çalışması CEEMDAN-Meta-Kernel-ELM adında yeni bir hibrit tahmin modelinin elektronik izleme sistemleri için uygulanmasını ele almaktadır. Önerilen metodoloji, performansını artırmak için bir sinyal işleme modülü olan CEEMDAN'ı tahmin modeline entegre etmektedir. Sinyal ayrıştırması için CEEMDAN'ın uygulanmasıyla, orijinal verilerde bulunan doğrusal olmama ve durağan olmama durumu etkili bir şekilde azaltılmıştır. Ayrıca, Kernel fonksiyonun Meta-ELM tahmin modeline dahil edilmesi, modelin istikrarına ve daha da geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bu çalışmada, araştırma hedeflerine ulaşmak için 2013'ten 2021'e kadar Türkiye'deki aktif yükümlü sayısına ilişkin günlük izleme verileri kullanılmıştır. Önerilen modeli doğrulamak için derin öğrenme (LSTM), klasik modeller (MLP, ELM), hibrit model (SWD-MLP) ve yakın zamanda geliştirilmiş bir model (Meta-ELM) dahil olmak üzere çeşitli yaklaşımlara karşı kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır.

Önerilen yöntem, performans hatası ölçümlerini (örn. RMSE), uygulanan modeller Meta-ELM ve LSTM ile karşılaştırıldığında sırasıyla %37,98-%39,76 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Karşılaştırmalı analiz, diğer performans ölçümlerindeki sonuçlar arasında tutarlılık olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısının değerlendirilmesi üzerine, ayrıştırma içeren önerilen hibrit modelin, bağımsız Meta-ELM modeline kıyasla %31,81 oranında dikkat çekici bir artış sergilediği gözlemlendi. Önerilen hibrit CEEMDAN-Meta-Kernel-ELM yaklaşımı, elektronik izleme veri tahmininin güvenilirliği açısından dikkate değer bir sonuca ulaştığı görülmektedir. Sonuç olarak, bu yaklaşım hem bağımsız Meta-ELM hem de diğer hibrit model yaklaşımlarından daha iyi performans göstererek doğruluk ve etkililik konusundaki üstünlüğünü vurgulamıştır.

Böylece bulgulara dayanarak elektronik izleme sistemlerinin yönetim ve planlamasının veri odaklı yaklaşımlar kullanılarak artırılmış hassasiyet ve yüksek doğrulukta gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Bu model suç tahmini gibi diğer adalet sistemi problemlerine de uygulanabilir. Ayrıca önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği açısından; yenilenebilir enerji tahmin problemleri, yük tahmini, ekonometrik tahmin ve diğer ilgili araştırmalar gibi çeşitli alanlarda kullanımları da araştırılabilir. Veri tahminiyle ilgili gelecekteki çalışmalarda, performanstaki potansiyel gelişmeleri araştırmak için yapay zekâ yöntemleriyle birlikte meta-sezgisel yaklaşımların kullanımı da diğer bir gelecek çalışma önerisi içerisinde yer alabilir.

## KAYNAKÇA

**Albrecht, H. J.**, (2010). Sanction policies and alternative measures to incarceration: European experiences with intermediate and alternative criminal penalties. 142nd International Training Course Visiting Experts' Papers.

**Apostolidis, G. K., & Hadjileontiadis, L. J.**, (2017). Swarm decomposition: A novel signal analysis using swarm intelligence. *Signal Processing*, (132), 40-50.

**Bales W., Mann K., Blomberg T., Gaes G., Barrick K., Shungana K., MaManus B.**, (2010). A Quantitative and Qualitative Assessment of Electronic Monitoring, 2007-IJ-CX-0017.

**Bıçakçı, Y. S., & Seker, D. Z.**, (2015). Elektronik İzleme Teknolojisi ve Türkiye'de Uygulanması, *Türkiye'de Denetimli Serbestlik 10. Yıl Uluslararası Sempozyumu*, 214-218 (2015).

**Bıçakçı, Y. S., & Seker, D. Z., & Demirel, H.**, (2020). Location-based analyses for electronic monitoring of parolees, *ISPRS International Journal of Geo-Information* (9) 296.

**Black, M. & Smith, R. G.**, (2003). Electronic Monitoring in the Criminal Justice System *Australian Institute of Criminology*. <http://www.aic.gov.au>

**Boelens, R., Jonsson, U. and Whitfield, D.**, (1998). Electronic Monitoring in Europe. 15-17 October, *CEP Workshop*, Hollanda.

**Bonta, J., Suzanne W., C. and Jennifer, R.**, (2000). *Crime & Delinquency*, 46(1):61-75.

**Bottos S.**, (2007). An Overview of Electronic Monitoring in Corrections: The Issues and Implications, Research Branch.

**CEP**, (2016). 10th Confederation of European Probation, Survey of Electronic Monitoring in Europe: Analysis of Questionnaires, <https://www.cep-probation.org/knowledgebases/electronic-monitoring-latvia-2016/> (p. 1-12).

**CEP**, (2018). 11th Confederation of European Probation, Survey of Electronic Monitoring in Europe: Analysis of questionnaires, <https://www.cep-probation.org/wp-content/uploads/2018/10/Report-EM-2018-final-1.pdf> (p. 1-8).

**CEP**, (2022). Report of the 12th European electronic monitoring conference <https://www.cep-probation.org/wp-content/uploads/2022/09/Conference-report-EM-Helsinki-2022.pdf> (p. 1-12).

**CTE, Ulusal Elektronik İzleme Konferansı** (2017). Elektronik İzleme Sistemine Geçişte Denetimli Serbestlik Hizmetleri Kurumsal Kapasitesinin Güçlendirilmesi Projesi, Elektronik İzleme Ulusal Konferansı, <https://cte-ds.adalet.gov.tr/elektronik-izleme-ulusal-konferansi>, İzmir.

**Denetimli Serbestlik Hizmetleri Yönetmeliği**, Adalet Bakanlığı, (2013). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130305-7.htm>

**Dokur, E., Karakuzu, C., Yüzgeç, U., & Kurban, M.,** (2021). Using optimal choice of parameters for meta-extreme learning machine method in wind energy application. *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 40(3), 390-401.

**Dokur, E., Erdogan, N., Salari, M. E., Karakuzu, C., & Murphy, J.,** (2022). Offshore wind speed short-term forecasting based on a hybrid method: Swarm decomposition and meta-extreme learning machine. *Energy*, 248, 123595.

**Elçi, F.,** (2017). Elektronik izleme sistemlerinin Türkiye’de kullanımı ve enerji analizi, Master’s thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

**Erez, E., & Ibarra, P.R., & Gur, O. M.,** (2012). Using GPS in Domestic Violence Cases: Lessons from a Study of Pretrial Programs. <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/fedpro68&div=6&id=&page=>

**Gainey, R. R., & Payne, B. K., & O’Toole, M.,** (2000). The relationships between time in jail, time on electronic monitoring, and recidivism: An event history analysis of a jail-based program, *Justice Quarterly* 733–752.

**Gainey, R. R., and Payne, B. K.,** (2001). A qualitative and quantitative consideration of offenders’ experiences on electronic monitoring, *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, 44: 84-96.

**Griffiths, M.,** Suçlu Elektronik İzleme G4S Adalet Hizmetleri, (2009).

**Güler, Z.,** (2015). Elektronik İzleme sistemlerinin farklı Ülkelere göre İncelenmesi, *Türkiye’de Denetimli Serbestlik 10. Yıl Uluslararası Sempozyumu*. pp. 206–213.

**H. Abbasimehr, M. Shabani, M. Yousefi,** (2020). An optimized model using lstm network for demand forecasting, *Computers & Industrial Engineering* (143) 106435.

**He T, Dong Z, Meng K, Wang H, Oh Y.,** (2009). Accelerating multi-layer perceptron based short term demand forecasting using graphics processing units. In: 2009 transmission & distribution conference & exposition: Asia and Pacific.IEEE; 2009.p. 1e4.

**Hong T, Fan S.,** (2016). Probabilistic electric load forecasting: a tutorial review. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011>.

**JHSA.**, John Howard Society of Alberta Electronic Monitoring, *JHSA Yayınları*, (2000-2001).

**M.-S. Baek, W. Park, J. Park, K.-H. Jang, Y.-T. Lee,** (2021). Smart policing technique with crime type and risk score prediction based on machine learning for early awareness of risk situation, *IEEE* 131906–131915.

**NLECTC.**, National Law Enforcement and Corrections Technology Center Bulletin: Keeping Track of Electronic Monitoring., *A Program of the National Institute of Justice*, (1999).

**Öztürk Y.,** (2015). Electronic Monitoring Technologies and Rehabilitative Potential *Türkiye'de Denetimli Serbestlik 10. Yıl Uluslararası Sempozyumu* (s. 219-222).

**Stalidis P., Semertzidis T., Daras P.,** Examining deep learning architectures for crime classification and prediction, *Forecasting* 3 (2021) 741–762.

**Padgett, K. G. & Bales, W. D. & Blomberg, T. G.,** (2006). Under surveillance: An empirical test of the effectiveness and consequences of electronic monitoring, *Criminology & Public Policy* (5) 61–91.

**Raza MQ, Khosravi A.,** (2015). A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings. ISSN 18790690 *Renew Sustain Energy Rev* 2015;50:1352e72. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.065>.

**Renzema, M.,** (2013). Evaluative research on electronic monitoring. In *Electronically monitored punishment: International and critical perspectives*; Routledge: London, UK, 2013; pp. 247–270.

**S. Kshatri, A. Christin,** (2021). Technologies of crime prediction: The reception of algorithms in policing and criminal courts, *Social problems* (68) 608–624.

**S. S. Kshatri, D. Singh, B. Narain, S. Bhatia, M. T. Quasim, G. R.Sinha,** (2021). An empirical analysis of machine learning algorithms for crime prediction using stacked generalization: An ensemble approach, *IEEE* 67488–67500.

**Than, A.,** (2006). House Arrest and Electronic Monitoring. II International Summer School on European Peripheries, Spain.

**The National Institute of Justice of USA.,** (1999). Keeping track of electronic monitoring. Bulletin of National Law Enforcement and Corrections Technology Center in a program of The National Institute of Justice.

**TOBB,** (2011). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Elektronik İzleme Semineri, 27 Ekim, Ankara (s.13-16).

**Torres ME, Colominas MA, Schlotthauer G, Flandrin P.,** (2011). A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise. In: 2011 IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing (ICASSP).IEEE; 2011, p.4144–7.

**Uludağlı, N.,** (2012). “Yükümlülerin Denetiminde ve Topluma Kazandırılmasında Yeni Bir Yöntem Olarak Elektronik İzleme”. [https://doi.org/10.1501/Hukfak\\_0000001692](https://doi.org/10.1501/Hukfak_0000001692)

**Wang J, Sun X, Cheng Q, Cui Q.,** (2021). An innovative random forest-based non-linear ensemble paradigm of improved feature extraction and deep learning for carbon price forecasting. *Sci Total Environ* 2021;762:143099.

**Wennerberg I, S. Pinto S.,** (2009). 6th european electronic monitoring conference. analysis of questionnaires, in: *The 6th CEP Electronic Monitoring Conference*, vol. 7.

**Whitfield, D.,** (2001). *The Magic Bracelet: Technology and offender supervision*, UK: Waterside Press.

**Wu, Z., & Huang, N. E.** (2005). Statistical significance test of intrinsic mode functions. In *Hilbert-Huang Transform and its applications* (pp. 107-127).

**Wu Z, Huang NE.,** (2009). Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method. *Adv Adapt Data Anal* 2009;1(01):1–41.

**Farjami Y., Abdi K.,** (2021). A genetic-fuzzy algorithm for spatio-temporal crime prediction, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 1–13.

**Yeh J.R, Shieh J.S, Huang N.E.,** (2010). Complementary ensemble empirical mode decomposition: A novel noise enhanced data analysis method. *Adv Adapt Data Anal* 2010;2(02):135–56.

**Yıldırım, N. ve Varol, A.,** (2015). "Türkiye ve Dünya’da Elektronik İzleme Yöntemleri ve Elektronik İzlemede Kullanılan Cihazlar Üzerine Bir Araştırma", *Türkiye’de Denetimli Serbestlik 10. Yıl Uluslararası Sempozyumu* (s. 195-205).

**Zee, E.** (2003). *Electronic Monitoring in Europe. The third CEP Workshop on Electronic Monitoring in Europe*, May 8-10, Netherlands.