



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK HIZLI TRENLERDE DEPREM
ERKEN UYARI SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Hakan YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hakan YILDIZ tarafından hazırlanan ‘‘Yüksek Hızlı Trenlerde Deprem Erken Uyarı Sisteminin Geliştirilmesi’’ adlı tez çalışması 01/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / oy çokluğı ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

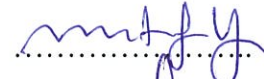
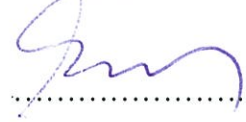
Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YAĞCI

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Bayram AKDEMİR

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Hakan YILDIZ

Tarih: 28.08.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK HIZLI TRENLERDE DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hakan YILDIZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

2018, 76 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI
Doç. Dr. Muciz ÖZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Bayram AKDEMİR

Yüksek Hızlı Tren ağları ülkemizde gün geçtikçe daha da yayılmakta ve insanların ulaşımında ilk tercihlerinden biri olmaktadır. Ancak, ülkemizin bulunduğu coğrafi koşullar nedeniyle demiryolları, yıkıcı etkisi yüksek olan depremlere karşı savunmasızdır. Türkiye’de oluşabilecek yıkıcı güçteki bir deprem hızlı trenleri raydan çıkararak bir faciaya sebep olabilir. Yapılacak çalışmalarla depremin önceden tespit edilmesi ve trenin kontrollü bir şekilde durdurulması, olması muhtemel bir kazanın önüne geçmiş olacaktır.

Dünyada kullanılan deprem erken uyarı sistemlerinde, deprem anında trafo merkezinden yüksek hızlı trenlerin enerjisi kesilip sistemin koruma moduna alınarak durması sağlanmaktadır. Enerjisi kesilen trenler harici bir sisteme gerek kalmaksızın acil frenleme modunda durmaktadırlar. Acil frenleme ile duruşa geçen tren ya yoldan çıkmakta ya da tekerleğin bir bölgesinde düzleşme oluşmaktadır. Bu durum tren teker ömrünü kısaltarak raylarda da hasara neden olmaktadır. Türkiye’de Marmaray projesinde yapılan deprem erken uyarı sisteminde ise manuel olarak elektrik enerjisinin kesilmesiyle tren, acil fren uygulamadan kendiliğinden durmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, dünyada ve Türkiye’de yapılan uygulamalardan farklı olarak deprem erken uyarı sistemleri, yüksek hızlı trenlerin sinyalizasyon sistemini kullanmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri vasıtasıyla trenin acil fren durumuna geçmeden kontrollü olarak yavaşlatılıp durdurulması sağlanarak elektrik enerjisi kesilmektedir. Bu durum trenlerin yoldan çıkmasının ve tren tekerleğin bir bölgesinde düzleşme olarak hasar görmesinin önüne geçmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem algılama, Deprem bölgeleri, Deprem Erken Uyarı Sistemi, Demiryolu hatları, Elektrifikasyon, Sinyalizasyon, Titreşim Bölgeleri, Yüksek Hızlı Tren

ABSTRACT

MS THESIS

DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM IN HIGH SPEED TRAINS

Hakan YILDIZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL - ELECTRONICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI

2018, 76 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI
Assoc. Prof. Dr. Muciz ÖZCAN
Asst. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR**

High Speed Train networks are spreading day by day in our country and become one of the first choices of people in transportation. However, due to the geographical conditions in which our country is located, the railways are vulnerable to earthquakes with high destructive effects. the destructive power of an earthquake may occur in the high-speed train in Turkey may cause a disaster by removing the rails. Preliminary detection of the earthquake and stopping the train in a controlled manner will lead to a possible accident.

In earthquake early warning systems used in the world, high-speed trains are disconnected from the transformer center at the time of earthquake and the system is taken into protection mode and stopped. Trains with energies stop in emergency braking mode without the need for an external system. Emergency braking stops the train either from the road, or there is a flattening of the wheel. This shortens the life of the train wheel and causes damage on the rails. In the earthquake early-warning system made in the Marmaray project in Turkey train manually by cutting off the electricity, emergency brake stops the application itself.

In this thesis study, the earthquake early warning system in the world and different from the practices in Turkey, the use of high-speed rail signaling system. Through the signaling system, the electricity is cut off by slowing and stopping the control in a controlled manner before the train goes into emergency braking condition. This prevents trains from getting out of the way and being damaged as a flattened area of the train wheel.

Keywords: Earthquake detection, Earthquake Early Warning System, Earthquake zones, Electrification, High Speed Train, Railway lines, Signalization, Vibration zones

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında fikirleriyle her daim desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca her türlü desteği ile her daim yanımda yer alan aileme ve iş arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Hakan YILDIZ
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	1
2. AFET.....	5
2.1. Doğal Afetler.....	5
2.1.1. Deprem:.....	6
2.1.2. Tsunami:.....	7
2.2. Beşeri Afetler	9
3. AFETLERE KARŞI ALINAN ÖNELEMLER.....	10
3.1. Sel	10
3.1.1. Selden Korunmak için yapılması gerekenler	10
3.2. Çığ.....	10
3.2.1. Çığın oluşmasını engellemek ve zararlarından korunmak için.....	10
3.3. Heyelan (Toprak Kayması)	11
3.3.1. Heyelanın Nedenleri	11
3.3.2. Toprak kaymasında zararı en aza indirebilmek için.....	11
3.4. Erozyon (Toprak Aşınması)	11
3.4.1. Erozyonu artıran nedenler.....	11
3.4.2. Erozyonu önlemek ve zararlarından korunmak için.....	12
3.5. Deprem.....	12
3.5.1. Deprem Etkileri	12
3.5.2. Deprem Zararlarını Azaltmak için	12
4. DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMLERİ	14
4.1. Deprem Erken Uyarı Sistemini Kullanan Ülkeler.....	14
4.1.1. Türkiye	15
4.1.2. Japonya.....	16
4.1.3. Meksika	18
4.1.4. Tayvan.....	20
4.1.5. Romanya	23
4.1.6. Amerika Birleşik Devletleri.....	24

4.1.7. İsviçre.....	26
4.1.8. İtalya.....	26
4.1.9. Çin.....	27
5. MATERYAL VE YÖNTEM	28
5.1. Genel Sistem Mimarisi.....	28
5.2. Sistemin Topolojisi	29
5.3. YHT Deprem Erken Uyarı Sisteminin Geliştirme Uygulaması	30
5.3.1. Titreşim ve Eğim (Tilt) Sensör Modülü.....	31
5.3.2. Rüzgâr Hız Sensörü (Anemometre) Modülü	34
5.3.3. PC Haberleşme modülü	37
5.3.4. LCD tren modülü.....	38
5.3.5. Sinyalizasyon modülü.....	39
5.4 Deprem Erken Uyarı Sistemi için Arayüz Uygulaması	40
5.4.1. Arayüz Programının Çalışması	40
5.5 Deprem Erken Uyarı Sisteminin Prototip bir tren üzerinde Uygulaması	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
6.1 Sonuçlar	49
6.2 Öneriler	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	56
EK-1 Arduino NANO Modülü.....	56
EK-2 FS1000A 433MHZ RF Alıcı-Verici	57
EK-3 Arduino UNO Modülü.....	58
EK-4 Arayüz Programı Kodları.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	66

KISALTMALAR

- AB:** Avrupa Birliği
- CCTMP:** Comisi3n para la Coordinaci3n del Transporte de Mercancías Peligrosas
- CSCMP:** Supply Chain Management Professionals (Tedarik Zinciri Y3netimi Profesyonelleri)
- DDGM:** Demiryolu D3zenleme Genel M3d3rl3đ3
- Dİ:** Demiryolu İşletmecileri
- ERA:** European Railway Agency (Avrupa Demiryolu Ajansı)
- ERTMS:** The European Railway Traffic Management System (Avrupa Demiryolu Trafik Y3netim Sistemi)
- EYS:** Emniyet Y3netim Sistemi
- GMY:** Genel M3d3r Yardımcısı
- RENFE:** Red Nacional de Ferrocarriles Espanoles
- RID:** Tehlikeli Y3klerin Uluslararası Demiryolları Nakliyesi ile İlgili Y3netmelik
- TBMM:** T3rkiye B3y3k Millet Meclisi
- TCDD:** T3rkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
- TSI:** Karşılıklı İşletilebilirlik Teknik Őartnamesi
- UGM:** Ulusal G3zlem Merkezi
- UIC:** International Union of Railways (Uluslararası Demiryolu Birliği)
- UNECE:** United Nations Economic Commission for Europe (Birleřmiř Milletler Avrupa Ekonomik Konseyi)
- UNESCO:** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleřmiř Milletler Eğitim, Bilim ve K3lt3r 3rg3t3)
- YHT:** Y3ksek Hızlı Tren
- DEU:** Deprem Erken Uyarı Sistemi
- EEW:** Earthquake Early Warning (Deprem Erken Uyarı)
- EEWs:** Earthquake Early Warning System (Deprem Erken Uyarı Sistemi)
- SAS:** Seismic Alert System (Sismik Uyarı Sistemi)
- JMA:** Japonya Meteoroloji Ajansı
- PEER:** Pacific Deprem M3hendisliđi Araştırma Merkezi
- PGA :** Peak Ground Acceleration
- CAV:** Cumulative Absolute Velocity
- UrEDAS:** Urgent Earthquake Detection and Alarm System

FREQL: Fast Response Equipment against Quake Load
EQAS: Earthquake Quick Alarm System
CIRES: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico
ARVM: Asociación de Radiodifusores del Valle de Mexico
SASO: Sistema de Alerta Sismica de Oaxaca
SASMEX: Sistema de Alerta Sísmica Mexicano
TSMIP: Tayvan Güçlü Hareket Enstrümantasyon Programı
CWB: Merkezi Hava Durumu Bürosu
TREIRS: Tayvan Hızlı Deprem Bilgi Serbest Bırakma Sistemi
VSN: Sanal Alt Ağ
ANSS: Advanced National Seismic System
REDI: Rapid Earthquake Data Integration
CUBE: Caltech and USGS Broadcast of Earthquakes
ElarmS: Earthquake Alarm System
ABD: Amerika Birleşik Devleti
VS: The Virtual Seismologist
SED: Swiss Seismological Service
SAMS: Seismic Alert Management System

1. GİRİŞ

Deprem, yer tabakaları katmanları içinde biriken enerjinin aniden boşalması olayıdır. Hareket eden yer tabakaları birbirlerine etki etmesiyle kuvvet uygularlar. Yer tabakasında bulunan kayaçların yapılan bu kuvvete direnç göstermesi ile belirli alanlarda enerji birikir. Biriken enerji kayaçların dayanım sınırlarını geçerse kırılma (faylanma) meydana gelir. Yer tabakasında oluşan kırılmalar biriken enerjinin ortaya çıkmasına neden olur (Alçık, 2011).

Deprem erken uyarı sistemleri, deprem anında oluşacak hasarı en aza indirebilmek için deprem oluşmadan önce kaynağına en yakın konumlarda tespit edilip bir uyarının verilmesidir. Depremin oluşturacağı yıkıcı etkinin büyüklüğünün tespit edilmesi ile kurum ve kuruluşlara eş zamanlı olarak bilgilendirme mesajları gönderilerek; enerji santrallerinin, rafinerilerin ve fabrikaların durdurulması, yüksek gerilim hatlarının enerjilerinin kesilmesi, toplu taşımada önemli yeri olan metro, tramvay ve yüksek hızlı trenlerin durdurulması gibi birçok önemli tedbirlerin alınmasını sağlanabilir.

Yer tabakalarında biriken enerjinin boşalması anında oluşan sismik dalgalar farklı hızlarından dolayı kayıt istasyonlarına da farklı sürelerde ulaşırlar. Öncelikle P dalgası (5.0 ila 7.4 km/sn) ardından da S dalgası 3.0 ila 4.0 km/sn gelir (Clark 1971). P ve S dalgaları sismik istasyona ulaştığı zaman farkı, depremin merkezinden uzaklaştıkça daha da artış gösterir. Zaman farkının artışı deprem erken uyarı sistemi için zaman kazanmak anlamına gelmektedir. Ayrıca, veri iletim hızının çok yüksek olması (300.000 km/sn) deprem istasyonları ile veri merkezi arasında iletimi hızlandıracağından erken uyarı sisteminde önemli yer tutar (Alçık, 2011).

1.1. Kaynak Araştırması

Küyük ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda depremin oluşturduğu dalga süreleri arasındaki farkı inceleyerek ve erken uyarı sisteminin depremin merkez uzaklığına göre 70 saniye kadar önce tespit edilebileceğini göstermişlerdir (Küyük, 2008).

Wu ve Kanamori çalışmalarında Niigata Chuetsu depreminde algılanan ilk dalgaya (P dalgasına) yüksek geçiren Butterworth filtresi uygulayarak hız, ivme ve yer değiştirme grafiklerini çıkarmışlardır. Erken uyarıda ilk 3 saniyede gözlemlenen P

dalgasının tespiti ile deprem öncesi kısa bir zamanın kazanılabileceği sonucuna varmışlardır (Wu ve Kanamori, 2008).

Alçık yaptığı çalışmasında erken uyarı sistemleri kullanılarak oluşturulan sensör ağlarının dünyadaki örneklerini incelemiştir. Ülkemizin deprem bölgesi olması nedeniyle deprem erken uyarı sistemin kullanımının ülkemiz için gerekli olduğunu vurgulamışlardır (Alçık, 2011).

Lin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma depremde öncül dalganın algılanması için gerekli erken uyarı sistemi ve depremin yapısal özelliklerinin bulunmasıyla hasar tespit çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Sensör verileri ve diğer veriler yapay sinir ağları kullanarak analiz edilmiş, depremin yapısal özelliklerinin tespitinde bu analizlerden faydalanılabileceğini işaret etmişlerdir (Lin, 2012).

Böbrek ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada deprem sırasında meydana gelen P dalgasını algılamada kullanılmak üzere, tek başına çalışabilen, düşük maliyetli mikrodenetleyicili deprem erken uyarı cihazı geliştirilmiştir. Yerleşim merkezlerinde birçok noktaya yerleştirilen erken uyarı cihazlarından elde edilen verilerin kullanılması ile kurtarma ve enkaz kaldırma ekipleri yönlendirilebileceğinden bahsedilmiştir. Sistemin düşük maliyetli olması, temin edilmesini kolaylaştırıcı bir unsur olup evlerde kullanılabilecek bir şekilde tasarlanmasının mümkün olduğu vurgulamışlardır (Böbrek, 2015).

Nagao ve diğerlerinin Kobe depremi için deprem ve elektromanyetik alan ilişkisini incelediklerinde deprem öncesinde elektromanyetik ölçümlerin deprem öncesi bir sapma verdiği vurgulamışlardır (Nagao, 2002).

Küyük ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda sismik dalgaların genliklerinden faydalanılarak deprem sırasında oluşan kuvvetli yer hareketinin algılanması temeline dayalı bir erken uyarı sistemi tasarlamış ve bu uygulamadan kamu ve özel sektöründe faydalanabileceğini işaret etmişlerdir (Küyük ve Yaman, 2015).

Cooper yaptığı çalışmada Hayward Fayı'nda 7 büyüklükteki depremden sonra San Francisco kentinin dışında sismik detektörlerin kurulması gerektiğini ve büyük bir

deprem dalgasının bu ağı tetiklediğinde bir telgrafla sinyal göndererek çanın çalınacağını ileri sürmüştür (Cooper, 1868).

Heaton yaptığı çalışmada Güney Kaliforniya Eyaleti için büyük bir deprem meydana gelirken, dış merkez mesafe bölgesi için kısa süreli uyarı (on saniye) sağlayacak olan sismik bilgisayarlı bir uyarı ağı modeli ile sismik algılamanın geniş bantlı kayıtlardan oluşabileceğini önermiştir (Heaton, 1985).

Japon Demiryolları yapılan çalışmada 1960'lı yıllarda devreye alınan mekanik alarm özellikli sismograflardan oluşan sistemin yüksek hızlı trenlerin yavaşlatılması ve durdurulması amacıyla kurulduğu belirtilerek bu sistemin hayata geçirilen ilk erken uyarı sistemi olduğu belirtilmiştir (Ashiya, 2004).

1989 yılındaki Loma Prieta depremi sonrasında uzun süre devam eden artçı sarsıntılar, dışmerkezden 100 km uzaklıktaki Oakland şehrinde hasar gören karayollarında çalışan işçileri haberdar etmek amacıyla bir erken uyarı tasarlanmıştır. Uyarı için dört sensörle kurulan basit ve pratik sistem yaklaşık 20 saniyelik bir uyarı zamanı kazandırmıştır (Bakun ve diğ., 1994).

1991'de Meksika için, sismik bir uyarı sistemi (SAS) uygulanmış olup, bu hasarlar, başkentten yaklaşık 300 km uzaklıkta, Pasifik kıyısında meydana gelen büyük depremler tarafından üretilmektedir. Deprem dedektör sistemi, Pasifik'e paralel olarak 58 ila 74 saniyelik bir uyarı süresine izin verecek şekilde hizalandığı belirtilmiştir. Uyarı okulları, devlet kurumlarını ve bazı endüstrileri uyarmak için kullanılmıştır (Espinosa Aranda ve diğ., 1995, 2011).

Kobe depreminden sonra Japon Hükümeti ulusal bir EEW sisteminin geliştirilmesini başlatmıştır. Japonya'nın her yerinde sabit yoğunlukta 2.000'den fazla sismik ve güçlü hareket istasyonu kuruldu. Japonya Meteoroloji Ajansı (JMA) 2004 yılında EEW yöntemlerini kapsamlı bir şekilde test etmeye başladı. JMA, Ağustos 2006'da ve 2007 yılının Ekim ayında kamuoyuna EEW ulusal hizmetine başladı. EEWS, birçok durumda genel kamu, sanayi ve demiryolları için verimli bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Hoshiba ve ark., 2008; Kamigaichi ve ark., 2009, Doi, 2011).

Wu, Teng, Hsiao ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda Tayvan'da, yaklaşık 100 ivmeölçerden oluşan bir ağ, Japonya'ninkine benzer bir yoğunluğa sahip adanın üzerinde (her 20 km'de bir 1 sensör) olduğunu belirterek depremlerin yerlerini tespit edip P ve S dalgası enerjisini kullanarak büyüklüklerini hesaplamak için sanal bir alt ağ algoritması geliştirildiğini belirtmektedirler. Sistemin hala deneysel bir aşamada olduğu ve 2013 ile 2016 arasında uygulamaya yönelik bir tanıtım planı geliştirildiği belirtilmiştir (Wu ve Teng, 2002; Hsiao ve ark., 2009).

Iervoline ve arkadaşları yaptıkları deprem erken uyarının güvenilirliği ile ilgili çalışmada yer hareketi tahmin denklemlerinin, bölgesel deprem erken uyarıya ilişkin olarak, deprem büyüklüğü ve lokasyonu hakkındaki gerçek zamanlı tahminlerden daha kritik bir rol oynaması gerektiğine işaret etmiştir (Iervoline ve diğ., 2009).

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PEER (Pacific Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) yer hareketi veri tabanından elde edilen verilerle, birden fazla öncünün kullanılmasının deprem tepe hareketlerini daha doğru tahmin edebildiğini ve daha sonra yerinde bir sistemin güvenilirliğini artırabileceğini düşünmüştür (Wang ve ark. 2013).

Böse ve arkadaşları yaptıkları çalışmada deprem erken uyarının güvenilirliği ile ilgili yanlış tetikleyicilerin hesaplamalarda çoklu öncüleri kullanarak büyük ölçüde azaltılabileceğine işaret etmişlerdir (Böse ve ark. 2009).

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı tahminlerin doğruluğunu iyileştirmeye odaklanmak yerine, risk azaltma perspektifinden EEW'nin karar verme güvenilirliğini iyileştirme girişimi için farklı bir yaklaşımı benimsemiştir ve sadece yanlış alarm ve cevapsız alarm olasılıklarını değil, aynı zamanda iki hatanın sonuçlarını da dikkate alınması gerektiği işaret etmişlerdir (Wang ve ark. 2012).

2. AFET

Afet büyüklükleri can kaybı miktarları, maddi kayıplar ve kültürel miras kayıplarıyla ölçülür. İnsan yaşamının varlığından beri afetler toplum üstünde yaşamları büyük ölçüde etkilemiştir. Günümüzde gelişen teknolojiye rağmen toplumlar hala etkilenmeye devam etmektedir. Afetler, acil durumlardan ziyade daha büyük müdahale gerektirir. Oluşan bir durumun afet olarak tanımlanabilmesi için etkilediği kişi sayısı ve etkilediği bölge kabul edilemeyecek bir oranda olmalıdır (Şengün, 2007).

Yıkım olayları depremlerin, toprak kaymalarının, kaya düşmelerinin, sel baskınlarının veya çığ gibi doğaya bağlı olan yıkımlardır. Ayrıca doğaya bağlı olmaksızın oluşan yıkımlarda vardır. Bunlar; yangınlar, trafik kazaları, endüstri kazaları, çevre kirlenmesi, yapı çökmeleri gibi (Yavuz ve ark.,1978).

Ülkemizde coğrafi ve iklimsel özellikleri nedeni ile doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Bulduğumuz coğrafyada farklı afet türleri görülmekte olup, bunların başında oluşturduğu hasar durumlarına göre; % 64'ünü depremler, % 16'sını heyelanlar, % 15'ini su baskınları, % 4'ünü yangınlar ve % 1'i oranında çığ, fırtına, yeraltı suyu yükselmeleri gibi diğer afetler gözlenmektedir (Taymaz, 2001).

2.1. Doğal Afetler

İnsanlara en geniş anlamda zarar veren olaylara Doğal Afet denir. Başka bir deyişle, hayat ve mülk kaybına neden olan doğal olaylardır. Afetin ilk özelliği doğaldır, ikincisi yaşam ve mülk kaybıdır, diğeri ise çok kısa sürelidir ve son olarak, başladıktan sonra engellenememesidir. Yeryüzünün nerelerinde hangi afetin daha fazla olduğu biliniyor. Örneğin depremler, heyelanlar, çığlar, seller, buzlanmalar ve bazı felaketlerin sonuçları doğrudan ve hemen deprem gibi görünür. Ancak kuraklık durumunda olduğu gibi, bazılarının sonuçları uzun bir süre sonra ve dolaylı olarak görülür (URL-10).

Jeolojik Kökenli Afetler: Bunlar, doğrudan kaynağını yer kabuğundan veya yeryüzü derinliklerinden alan doğal afetlerdir. Jeolojik felaketler en yaygın olanları; depremler, tsunamiler, volkanlar, toprak kaymaları ve kaya düşmeleri.

Klimatik Afetler: Atmosferik olaylar sonucu meydana gelen felaketlerdir. Bunlar, atmosferik olaylarının (sıcaklık, yağış, basınç ve rüzgâr) insanlar için yararlı olan sınırları aştığında ortaya çıkar. Meteorolojik felaketlerin oluşumunu oluşturan ana faktörlerin atmosfer kökenli olmasına rağmen, afetin meydana geldiği yerin nitelikleri

de etkilidir. Sel, çığ ve sis örnek olarak verilebilir. En sık görülen meteorolojik afetler; aşırı yağış, don ve buz, asit yağmuru, al nino, iklim değişiklikleri ve küresel ısınma, aşırı sıcak ve soğuk, kuraklık, kasırgalar, tayfunlar, siklonlar, tornadolar, hortumların başlıca nedenleridir.

Hydrografik Afetler: Nehirler, göller ve denizlerin sebep olduğu felaketler. Nehir taşkınları ve yıkımları, göl sularının aşırı kirlenmesi ve buna bağlı kitlesel ölümler.

Biyolojik Afetler: Toprak, bitki örtüsü ve doğal hayvanların neden olduğu afetlerdir. Erozyon, orman yangınları, doğal hayvan türlerinin yok oluşu ve insanlar üzerindeki olumsuz etkiler sayılabilir (Özey, 2006).

2.1.1. Deprem:

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle aniden ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayıldığı ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapıların da hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır.

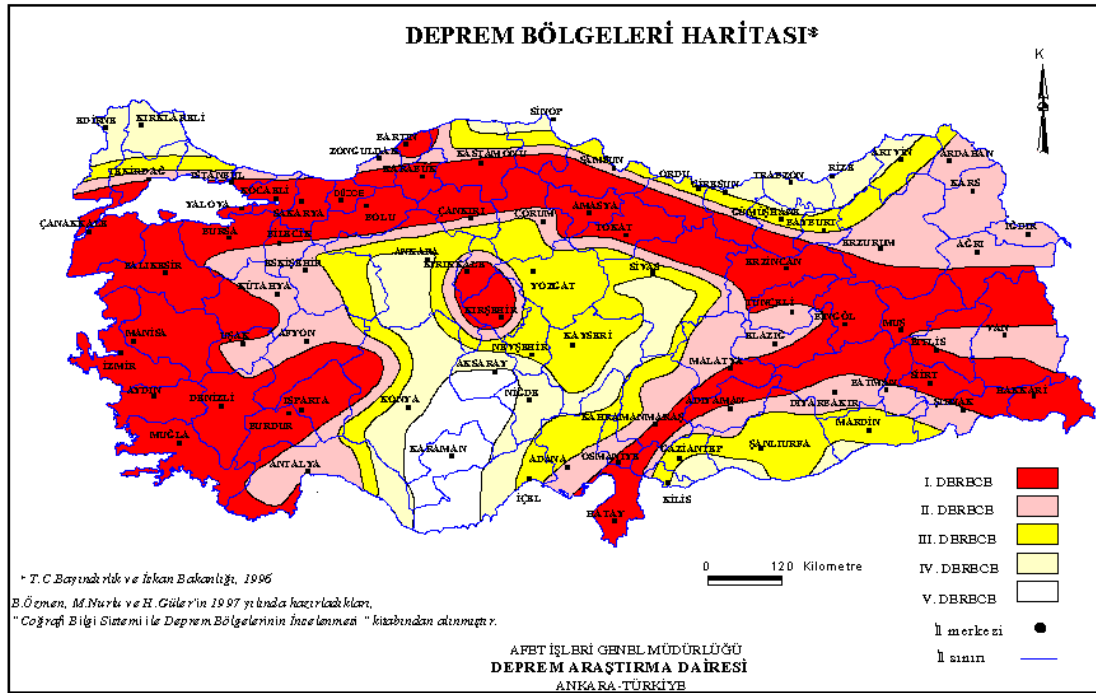
Sismoloji, depremlerin nasıl meydana geldiğini, deprem dalgalarının yer kabuğunda nasıl yayıldığını, ölçüm araç ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve depremlerle ilgili diğer konuları inceleyen bilimdir (URL-13).

Türkiye'nin deprem tehlikesi bakımından her bölgesinin durumunu göstermek üzere Şekil 1.1.'de yer alan Deprem Bölgeleri Haritası hazırlanmıştır. Bu haritanın hazırlanmasında tarihi depremler, her bir bölgenin deprem kuşaklarına olan uzaklığı, jeolojik durumu vb. faktörler yararlanılmıştır. Harita ile Türkiye deprem tehlikesi bakımından beş bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan I ve II'nci bölgeler en tehlikeli deprem bölgeleridir. Buralarda çok şiddetli depremler olması bekleniyor. III ve IV'ncü bölgelerde beklenen depremlerin daha küçük olduğu düşünülmektedir ve bu bölgelerin I ve II'nci derece bölgelerde oluşan şiddetli depremlerden etkileneyeceği varsayılmaktadır. Tehlikeli olmayan V'nci bölgede, depremler olmamakta ya da depremlerin büyüklüğü onlara zarar vermeyecek kadar küçüktür ve diğer bölgelerdeki depremlerin bu bölgeleri etkileyemeyeceği kabul edilmektedir.

Türkiye'nin alan ve nüfus olarak çeşitli derecede deprem tehlikesine maruz kalan yerleri şu şekilde dağılmaktadır (Bayülke, 1978).

	Alan olarak %	Nüfus olarak %
I'nci Derece Deprem Bölgeleri	15	22
II'nci Derece Deprem Bölgeleri	28	29
III'ncü Derece Deprem Bölgeleri	29	24
IV'ncü Derece Deprem Bölgeleri	19	20
Tehlikesiz Bölgeler	9	5

Ülkemizin deprem bölgeleri Şekil 1.1.'deki gibidir.



Şekil 1.1. Deprem Bölgeleri Haritası (URL-11)

Ülkemizin %66'sı I'inci ve II'inci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bir milyonun üzerinde nüfusu bulunan 11 büyük kentimiz de dahil olmak üzere, ülke nüfusunun %70'inin ve büyük sanayi tesislerinin %75'inin kurulmuş bulunduğu bölgelerde, büyük deprem olma olasılığı yüksektir.

2.1.2. Tsunami:

Tsunami, tarih boyunca can ve mal kaybı üzerinde önemli etkileri olan doğal bir felakettir. Nüfus kıyı bölgelerinde arttığı için dünyada tsunamilerden kaynaklanan

yaşam kaybı artmaktadır. Anadolu'da denizlerde tarih boyunca tsunamilerin oluşması bilinmektedir.

Japonca " Liman Dalgası " terimi "tsunami" anlamına gelir. Deprem, volkanik patlama, çökme, yer kayması ve benzeri gibi tsunaminin neden olduğu uzun sallanan deniz dalgasına tsunami denir. 1896'da Japonya'da 21.000 kişinin ölümüne yol açan Büyük Melji Tsunami'den sonra dünyaya yardım çağrısında bulunan Tsunami sözcüğü, o zamandan beri dünya dilleri literatürüne girmiştir.

Tsunami, Pasifik Okyanusunda çok sık diğer okyanus ve denizlerde seyrek görülür. Tsunami diğer gel-gitler veya dalgalardan farklıdır, su parçacıklarının sürüklenmesi hareketin sonucudur. Tsunamilerin aksine, kapalı havzalarda, körfezlerde, göllerde, rüzgâr veya depremlerde meydana gelen küçük periyodik dalgalar "salınımlar" olarak adlandırılır.

Salınımın tsunamiden farkı;

Tsunami; 4-5 dalgadan hemen oluşur ve kısa sürede etkisini kaybeder.

Salınım ise daha geç ve daha fazla dalgadan oluşur daha sonra uzun süre etkilidir.

Deprem sonrası deniz kıyısında tsunami olasılığı her zaman vardır. Deniz suyunun yavaşça yükselip bir metre düştüğü tsunaminin belirgin ilk etkisidir. Yıkıcı dalgalardan önce, okyanus veya denizden gelen bir fırtına ya da bir uçak sesine benzeyen bir uğultu sesi duyulabilir (URL-12).

Tablo 1: Ölü Sayısı ve Etkilenen Kişi Sayısına Göre Tsunamiden En Çok Etkilenen 10 Ülke

Ülke	Tarih	Ölü Sayılı
Endonezya	26.12.2004	165.708
Sri Lanka	26.12.2004	35.399
Hindistan	26.12.2004	16.389
Thailand	26.12.2004	8.345
Japonya	03.03.1933	3.000
Sovyetler Birliği	04.11.1952	2.300
Papua New Guinea	17.07.1998	2.182
Japonya	01.09.1923	2.144
Japonya	07.03.1927	1.100
Endonezya	18.07.1979	539

Ülke	Tarih	Etkilenen Kişi Sayısı
Sri Lanka	26.12.2004	1.019.306
Hindistan	26.12.2004	654.512
Endonezya	26.12.2004	532.898
Somalia	26.12.2004	105.083
Thailand	26.12.2004	67.007
Kuzey Kore	21.08.1997	29.000
Maldives	26.12.2004	27.214
Myanmar	26.12.2004	12.500
Bangladeş	30.08.2000	12.010
Papua New Guinea	17.07.1998	9.867

Tablo 1'den de anlaşılacağı üzere yakın zamanlarda tsunaminin neden olduğu can kayıpları ve etkilediği kişi sayısı da nüfus artışına paralel olarak artmıştır.

2.2. Beşeri Afetler

Oluşumları daha çok beşeri etkinliklerle ilişkili olarak ortaya çıkan, canlı ve cansız çevreye büyük zarar veren, tehlikeli olaylarda vardır. Bu olaylar bazı araştırmacılar tarafından beşeri tehlikeler olarak kabul edilirken, bazıları tarafından doğal tehlikeler arasında değerlendirilmektedir. Bunlar bugün çoğunlukla küçük boyutta görülmekte ve sınırlı ölçüde mal ve can kaybına neden olmaktadır. Ancak önlem alınmadığı takdirde bu olayların gelecekte büyük afetlere neden olabileceği de herkes tarafından bilinen bir gerçektir (Şahin ve Sipahioğlu, 2003).

3. AFETLERE KARŞI ALINAN ÖNELEMLER

3.1. Sel

Aşırı yağışlar meydana geldiğinde, nehirler, çaylar ve dereler taşıdığında, denizler kıyı şeridini sular altında bıraktığında, barajlar veya setler tahrip olduğu zaman meydana gelen yıkıcı sulara sel denir (URL-10, URL-15, 2018).

3.1.1. Selden Korunmak için yapılması gerekenler

- Evlerin zemini yükseltip ve güçlendirilmedikçe dere yataklarına bina yapılmasından kaçınılmalıdır.
- Çevredeki yeşil alanlar korunarak ve Ormanlık alanların artırılması sağlanmalıdır bu sayede erozyon ve selin önüne geçilebilir.
- Eğimli yamaçlarda teraslama yapılarak ve ağaç dikilmelidir.
- Çukur yerlerde yapıların bodrum katlarını su basma tehlikesine karşı bu tür yerlerde bodrum yapılmamalı, su basman kotu yüksek tutulmalıdır.

3.2. Çığ

Dağların yüksek yerinde biriken kar taneleri yuvarlanarak oluşan devasa kar taneleri çığ olarak adlandırılır.

Çığ, genellikle bitki örtüsüyle kaplanmayan eğimli dağlarda ve çok karlı arazilerde görülür. Bu nedenle çığ, Doğu Anadolu'daki dağlık bölgelerde yaygın olarak görünür (URL-10, URL-15, 2018).

3.2.1. Çığ oluşmasını engellemek ve zararlarından korunmak için

- Yamaçlardaki orman ve bitki örtüsünün korunması ile çığ düşmesini azaltır.
- Yerleşim yerleri Çığ riski olan yerlere yapılmalıdır,
- Çığ riskinin olduğu yerlerde set duvarları yapılarak yerleşim yerlerine zarar vermesi engellenmelidir.

3.3. Heyelan (Toprak Kayması)

Heyelan, taşların, büyük kayaların ve toprakların eğimli arazilerde kayarak yer değiştirmesi olayına denilir. Ülkemizde Karadeniz Bölgesi'nde daha çok görülmektedir (URL-10, URL-15, 2018).

3.3.1. Heyelanın Nedenleri

- Şiddetli yağışların oluşturduğu toprak kaymaları,
- Eğimli arazilerde taş, kaya ve toprağın daha kolay yer değiştirmesi,
- Yol yapım çalışmalarında zeminin yerinden oynatılması,
- Ormanlık alanların yok edilmesi,
- Şiddetli depremler ve yarattığı etkiler

3.3.2. Toprak kaymasında zararı en aza indirebilmek için

- Yerleşim yerlerinin riskli yerlerde seçilmemesi,
- Arazilerin ağaçlandırılarak eğimli alanlarda kaymaların engellenmesi,
- Destek set duvarlarının yapılması gibi önlemler alınabilir.

3.4. Erozyon (Toprak Aşınması)

Toprağın aşınmasını engelleyen bitki örtüsünün yok edilmesi sonucu su ve rüzgâr etkisiyle koruyucu örtü içermeyen toprağın aşınması ve taşınması olayıdır (URL-10, URL-15, 2018).

3.4.1. Erozyonu artıran nedenler

- Bitki örtüsünün bilinçsizce yok edilmesi,
- Toprağın bilinçsizce işlenmesi,
- Toprağın eğim yönünde sürülmesi,
- Şiddetli ve aşırı yağış,

- Güçlü rüzgârlar,
- Doğal bitki örtüsüne yapılan müdahaleler.

3.4.2. Erozyonu önlemek ve zararlarından korunmak için

- Ağaçlandırma yapılmalı,
- Eğimli arazilere sekiler yapılmalı,
- Tarlalar eğim doğrultusunda sürülmeli,
- Baraj gölü yamaçları ağaçlandırılmalı,
- Bitki örtüsü korunmalı,

3.5. Deprem

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle aniden ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayıldığı ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir (URL-10, URL-15, 2018).

3.5.1. Deprem Etkileri

- Can ve mal kayıplarına neden olur,
- İnsanlarda uzun yıllar sürecektir ruh ve beden sağlığı üzerinde etkiler bırakır.
- İnsanların uzuvlarını kaybetmelerine neden olur.
- Ülkenin ekonomisine büyük zararlar verir.

3.5.2. Deprem Zararlarını Azaltmak için

- Yapılar fay hatları ve yumuşak zeminler üzerine yapılmamalıdır.
- Bina yapımında seçilen malzemeler şiddetli depremlere dayanıklı olarak seçilmelidir.
- Doğalgaz kazanları, akü odaları gibi yerlerde kullanılan elektrik malzemeleri exproof malzemelerden seçilmelidir.
- Tatbikatları sıkça yapılarak halk deprem konusunda bilinçlendirilmelidir.

- Evlerimizde kullanılan ve devrildiğinde insanlara zarar verecek eşyalar sabitlenmelidir.
- Yapılar devlet kontrolünden geçerek depreme dayanıksız yapılar yıkılmalı ya da güçlendirilmelidir.
- Deprem bölgelerinde çok katlı binalar yapılmamalıdır.
- Deprem erken uyarı sistemleri yaygınlaştırılmalıdır.



4. DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

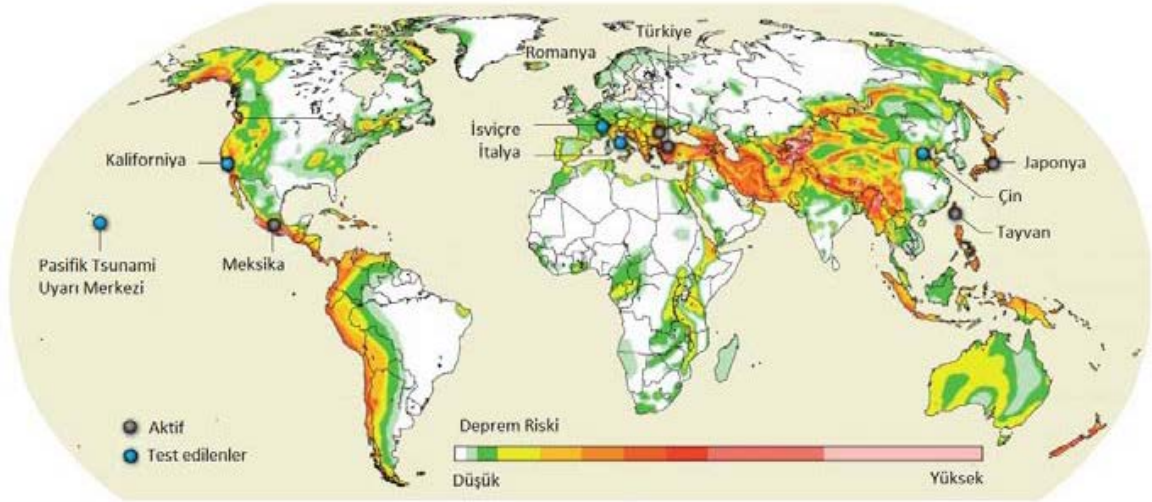
Deprem bilimcileri deprem mekanizmalarını araştırırken, deprem hasarlarını azaltmanın yollarını araştırıyorlar. Bu arayışlar, son yıllarda teknolojiye gelişmelerle birlikte deprembilimi için yeni gelişmeler ortaya çıkardı. Bu yeni gelişme gerçek zaman yaklaşımı olarak ortaya çıkmış ve verilerin derlenip uygulamaya konulmasında kullanılmaktadır. Yani depremlerin enerji boşalması sürerken deprem erken uyarı sistemleriyle saptanıp önlemlerin alınarak gerekli yerlere bilgi akışının sağlanması işidir.

Geçmişte dünyada farklı zamanlarda farklı yerlerde meydana gelmiş depremler gerçek zaman yaklaşımı gibi sistemlere duyulan ihtiyacı açıkça göstermiştir. Japonya'da 1995 Kobe depreminin ardından yaşanan belirsizliklerin üzerine yapılan çalışmalar sonucunda gerçek zaman verilerini daha etkin kullanma yöntemleri geliştirilerek 1000 istasyonu ve biri ana diğeri ikisi yardımcı olmak üzere üç kontrol merkezini kapsayan bilgi akışı sistemi devre alındı.

Gerçek zaman deprem bilgi akışı sistemleri depremi izleyen ilk bir dakikada sunmakta olup gelecekte daha kısa sürelerde incelenmesi yapılacaktır.

4.1. Deprem Erken Uyarı Sistemini Kullanan Ülkeler

Erken Uyarı sistemi yöntemleri üzerine çalışmalar yapan ülkelerin başında Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi Japonya (Ashiya, 2004), Meksika (Espinosa-Aranda ve diğ., 2011; Iglesias ve diğ., 2007), Tayvan (Wu ve Kanamori, 2005; 2008), Romanya (Wenzel ve diğ., 2001), Türkiye (Alcik ve diğ., 2009; Erdik ve ark., 2003), Amerika Birleşik Devletleri (Allen ve Kanamori 2003; Wurman ve diğ., 2007), İtalya (Satriano ve diğ., 2011; Zollo ve diğ., 2009), İsviçre (Allen ve diğ., 2009) ve Çin (Peng ve diğ., 2011) gelir.



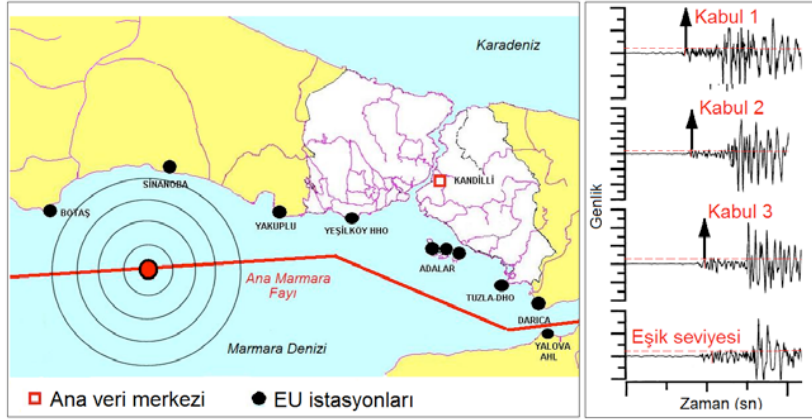
Şekil 2.1. Deprem Eu Sistemine Sahip Ülkeler (Allen 2011)

4.1.1. Türkiye

İstanbul Deprem Erken Uyarı ve Acil Durum Müdahale Projesi kapsamında Bakanlar Kurulu kararı ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından 10 adet yer hareketi istasyonları kurulmuştur. İstasyonların yerleri; istasyon güvenliği, veri iletim güvenliği ve fay hattına yakınlık gibi kriterleri dikkate alarak Şekil 2.2.'de belirtildiği gibi Adalarda, Tuzlada, Yalova'da, Gebze'de ve Marmara Ereğlisi vb. mahallerde belirlenmiştir (Erdik ve diğ., 2003). İstasyonlardan uydu üzerinden gelen sürekli veriler merkezde otomatik olarak değerlendirilir. Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi sistem, en az 3 istasyon tarafından ayarlanan eşik seviyesini sürekli olarak kontrol ederek aşılmış aşılımadığı denetlenir. Eşik seviyesinin aşılmasından sonra bir deprem kararı verilerek yazılım otomatik olarak bir alarm mesajı oluşturur.

Her farklı eşik seviyesi için alarm üretilir. Depremin tetiklenmesinde PGA (Peak Ground Acceleration) ile CAV (Cumulative Absolute Velocity) seviyelerinden faydalanılır. PGA'ye ait seviye değerleri sırasıyla 5, 10 ve 20 mg, CAV'ye ait seviye değerleri ise 20 mg*sn, 40 mg*sn ve 70 mg*sn olarak belirlenmiştir (Alcik ve diğ., 2009, 2011). Depreme sebep olabilecek deprem kaynak parametrelerine ve koordinatlarına bağlı olarak depreme zarar verebilecek uyarı sinyali 8 saniyeye kadar verilebilir (Erdik ve ark., 2003). Marmaray Tüp Geçidinin tamamlanmasıyla beraber

Marmaray otomasyon sistemi ile bağlantısı yapılacağı belirtilmektedir (Alçık ve diğ., 2009).

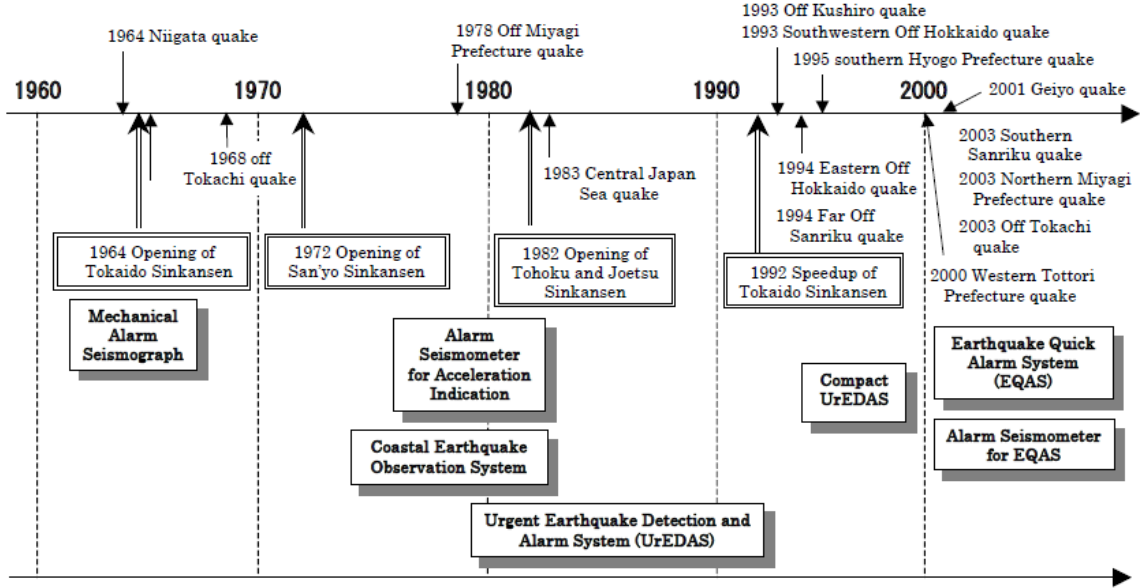


Şekil 2.2. İstanbul Erken Uyarı İstasyonları Konumları ve Kullanılan Eşik Seviyesi Yönteminin Grafikselleştirilmesi (Alçık, 2011)

4.1.2. Japonya

Şekil 2.3.'de yer alan tarihte Japonya Demiryollarındaki deprem afet önleme sistemleri ile ilgili araştırma ve geliştirmeyi göstermektedir. İlk ana sistem, Tokaido Shinkansen'in çalışmaya başladığında geliştirilen otomatik bir tren kontrol sistemidir. Yeni geliştirilen bu sistemde, mekanik alarm sismografları, Tohoku Shinkansen boyunca trafo merkezlerinde (yaklaşık 20 km aralıklarla) kurulmuştur. Sismografin hızlanma değeri standart bir değeri aştığında (40 Gal), trafodan çıkan elektrik enerjisini keser ve trenlerin acil frenlemesini devreye sokar.

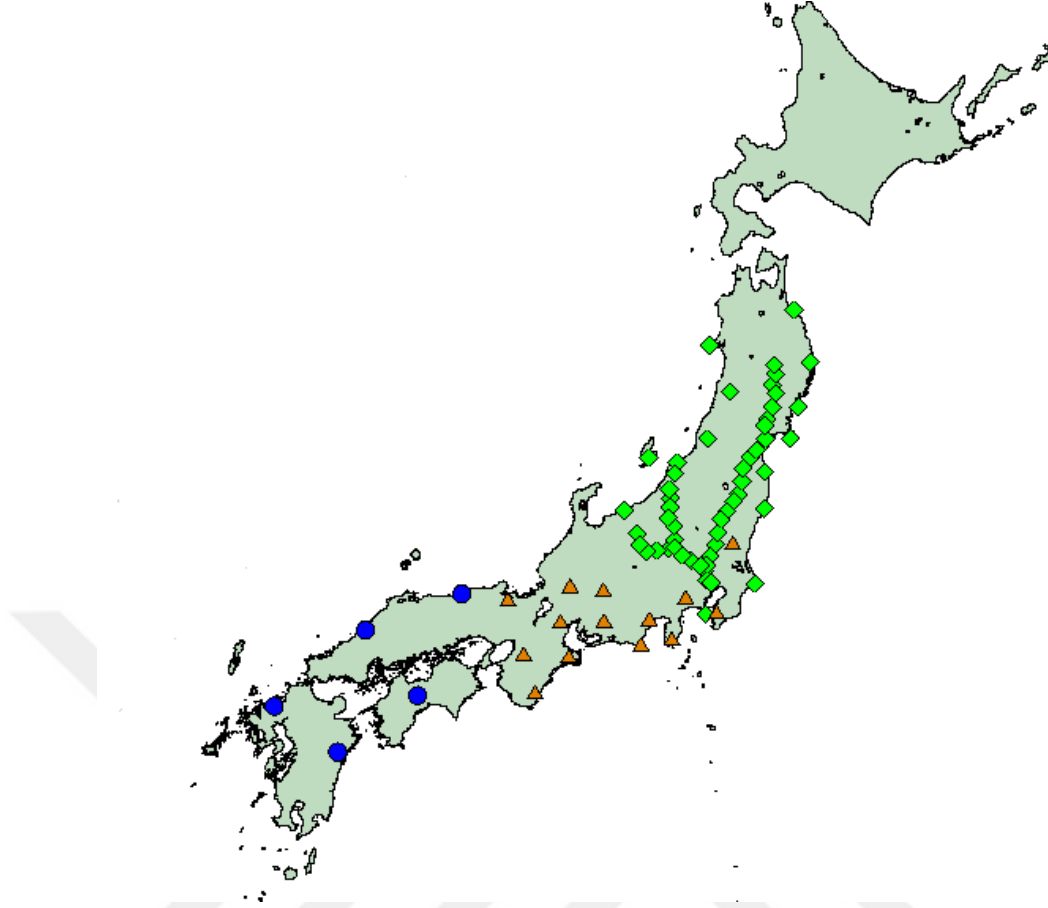
Tohoku bölgesinde, Pasifik Okyanusu kıyılarında sıkça meydana gelen büyük depremlere karşı bir önlem olarak, 1970'lerin ikinci yarısında Tohoku Shinkansen için yeni bir deprem alarm sistemi talep edildi. Bu sistemde, sismograflar hedeflenen depremlerin dış merkez bölgesine yakın kıyı şeridi boyunca kurulmuştur. Kıyı şeridindeki sismograflar bir depremi algıladığında, sistem iç kısımda Tohoku Shinkansen'e hemen uyarı veriyor ve trenin kontrolü, depremin baskın hareketi Tohoku Shinkansen'e ulaşmadan sağlanmış olur. Bu sistem ilk "Deprem erken uyarı sistemi" dir ve "Kıyı deprem gözlem sistemi" olarak adlandırılmıştır. Ancak, bu sistemde, uyarı kararı hâlâ S dalgasının genliği (baskın hareket) ile yapılmaktadır. Bir deprem sonrası maksimum ivme değerlerini gösteren yeni sismik ivmeölçerler, Shinkansen hatları boyunca yer alan trafo merkezlerinde bir araya getirildi.



Şekil 2.3. Deprem afet önleme sistemleri ile ilgili araştırma ve geliştirme tarihi (Ashiya 2004)

Demiryolları boyunca maksimum ivme değerlerinin birleştirilmesi ile trenin kontrolü sağlanarak durdurma kararı daha da hızlandırıldı. Shinkansen hatlarının hızlandırılması ihtiyacı nedeniyle hızlı uyarı kararı talep edildi ve acil deprem tespit ve alarm sistemi (UrEDAS) geliştirildi. 1985 yılında depremin P dalgası verilerini kullanarak dışmerkez ve büyüklük tahmini yapan, yaklaşık 3 sn boyunca da alarm veren prototip UrEDAS (Urgent Earthquake Detection and Alarm System) kurulmuştur (Nakamura 1988). 1995 yılında Güney Hyogo Eyaleti depreminden sonra "Compact UrEDAS" geliştirildi ve bu durum, UrEDAS'ın işlevini sadeleştirerek uyarının denetlenmesi için gereken süreyi kısalttı. UrEDAS ve Compact UrEDAS, başta Shinkansen hatları boyunca olmak üzere Şekil 2.4.'te yer aldığı gibi yaklaşık 90 yerde faaliyet göstermektedir (Ashiya, 2004).

Yeni nesil UrEDAS'lar; FREQL (Fast Response Equipment against Quake Load) ve FREQL-Light modelleri kullanıma sunulmuştur (Saita ve diğ., 2008). Nakamura tarafından geliştirilen yöntem de P dalgasının genliğinden büyüklük tayini, büyüklük-genlik ilişkisi kullanılarak da dışmerkez mesafesi tayini ise yapılmaktadır. Ayrıca, Japon Demiryolları EQAS (Earthquake Quick Alarm System) olarak adlandırılan hızlı büyüklük ve dışmerkez mesafesi hesaplayan sistemi 2000 yılından sonra devreye almıştır (Ashiya, 2004).



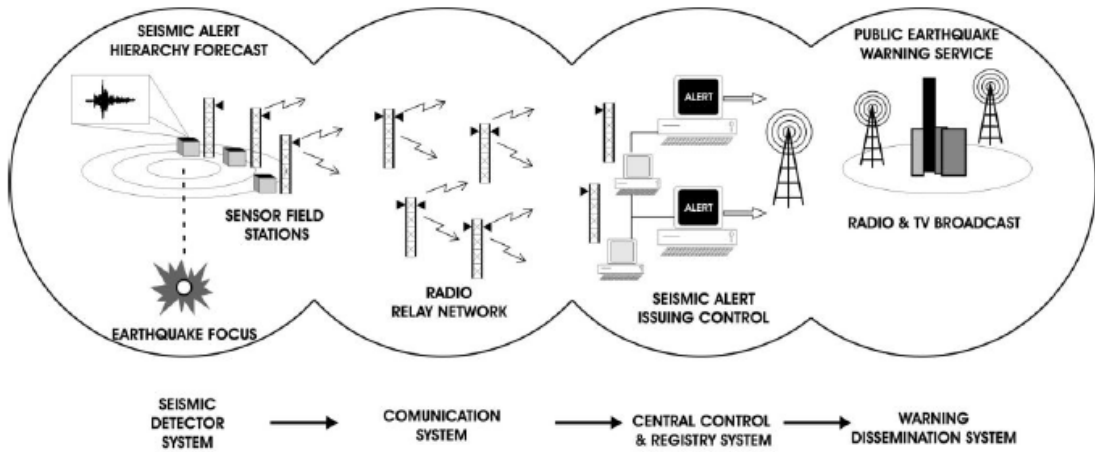
Şekil 2.4. Japonya’da Kurulu Uredas ve Compact Uredas Cihazlarının Dağılımı (Ashiya 2004)

Birden fazla istasyon tarafından P dalgasının tetiklenmesiyle “deprem bölgesi” belirlenir. Yer hareketinin başlangıcının daha çok sayıda istasyon tarafından tetiklenmesiyle de gözlemsel geliş zamanlarından yararlanılarak lokasyon verilir. Büyüklük tahmini ise P dalga genliği-büyüklük cetvelinden faydalanılarak yapılır. Sürekli değerlendirilen üç dalga formunun bileşenlerinin vektörel toplamındaki genlik artışıyla büyüklük hesaplaması sürekli güncellenir (Allen ve diğ., 2009; Kamigaichi, 2004).

4.1.3. Meksika

1985 yılında “Caleta de Campos” Michoacán depreminin yarattığı ciddi deprem felaketini yaşadktan sonra, Mexico City yetkilileri, “Guerrero Gap” gizli sismik tehlikesi gibi olası gelecekteki deprem hasarını hafifletmek için 1989’dan beri Şekil 2.5.’te yer alan Sistema de Alerta Sísmica’nın (SAS) tasarım ve evrimini desteklemektedir (Espinosa-Aranda ve diğ., 1992).

Orijinal SAS fikri Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) Sivil Kuruluşu tarafından geliştirilmiştir. Bu teknolojik kaynak, Ağustos 1991'de deneysel faaliyetine başlamış ve 1993'ten bu yana kamu hizmeti olarak değerlendirilip değerlendirilmiştir. Bugüne kadar, kentsel ve özel sektörde, sismik riske eğilimli kentsel bölgelerde bulunan 80'den fazla ilköğretim okulunda uygulanmakta ve değerlendirilmektedir. Son zamanlarda Mexico City'nin ilk devlet okulları için 40.000'den fazla NWR-SAME-SARMEX alıcılarının kurulumunu başlattı. SAS, Mexico City'nin yaklaşık 50 km Kuzey Batısında bulunan Meksika ve Toluca vadilerinde sismik alarmını yayıyor. Ayrıca, okullar, kamu binaları ve acil durum örgütlerini kapsayan 280'den fazla çeşitli kurumlara uyarı vermektedir.



Şekil 2.5. Meksika Sismik Alarm Sistemi Diagramı

SAS'ın Meksika Vadisi'nde uygulanması, S-dalgalarının etkilerinin ortalama 60 saniye ile gerçekleşmesini tahmin etmeyi mümkün kılmıştır, bu da ekipmanların veya Enerji santralleri, bilgisayar sistemleri ve telekomünikasyon ağları gibi sistemlerin hassas bir şekilde korunmasına yönelik sistemler için otomatik sistem prosedürlerinin güvenliğini sağlamak için yeterli süreye sahiptir (Kanamori, 2003).

14 Mayıs 1993'te, SAS bir deprem tespit edip, Mexico City'deki etkisinin 65 saniye içinde beklenmesinin ardından, yerel yetkililer erken uyarı bildirimlerini kamuya açıklamaya karar verdiler. Ağustos 1993'ten beri seyircileri için bir sosyal hizmet olarak katkıda bulunmayı kabul eden Asociación de Radiodifusores del Valle de Mexico (ARVM), Sivil Kuruluşlarla gruplandırılmış ticari radyo ve televizyon ağlarının çoğunun desteği sayesinde uyarı sinyali yayını gerçekleşmiştir. SAS, dört temel alt

sisteminin kullanılabilirliği ve güvenilirliği konusunda en iyi hedef olarak gelişmiştir: Sismik Tespit, Haberleşme, Uyarı Yaygınlaştırma ve Merkezi Kontrol ve Kayıt, etkili deprem alarmı kamu hizmetini garanti altına almak için (Espinosa-Aranda ve diğ.,1995).

14 Eylül 1995 tarihinde, Mexico City'de, 8:04 AM'de, 1985'teki trajik depremden yaklaşık on yıl sonra Copala kasabası yakınlarında 3 deprem meydana geldi (Espinosa-Aranda ve diğ.,1995), SAS, depremin etkisini 72 saniyesini bekledi.

Nüfusun erken uyarılarının alındığı okulların müdahale ve tahliye süreçlerinin yeterliliği, nüfus bu faaliyetleri başarıyla gerçekleştirdiği için (Goltz ve Flores, 1997).

15 Haziran 1999 tarihindeki 6.7 büyüklüğündeki Oaxaca'yı etkileyen deprem sonrasında Oaxaca Sivil Savunma Bölümü CIRES (Centro de Instrumentacion y Registro Sismico A.C) bölümünden Oaxaca için bir EU sistem tasarımı ve kurulumu istemiştir. SASO (Sistema de Alerta Sismica de Oaxaca) sistemi 2003 yılında tamamlanmıştır. SASO tarafından şüana kadar 3 adet uyarı, 5 adet orta büyüklükteki deprem için de önleyici amaçlı uyarı sinyali yayınlanmıştır.

Bu uygulama SASO uyarılarının sismik aralığını tanımlamak için daha iyi bir zaman etkinliği kriterleri, istenen gereksinimleri karşılamak için 1989'da (Espinosa-Aranda ve diğ., 1992) tasarlanan SAS'ın kullandığı orijinal algorithmadan teknolojik bir evrimin sonucudur.

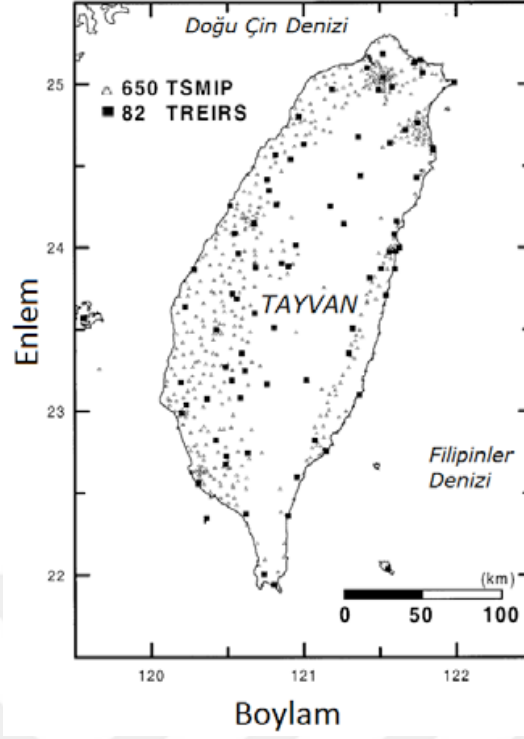
Oaxaca Yetkilileri girişimi sayesinde, Meksiko Belediye Başkanı, İçişleri Meksika Sekreterliğinin katılımıyla, bir SASO ve SAS fonksiyon entegrasyonu olarak kabul edildi ve Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) olarak adlandırılan tek bir varlık olarak kabul edildi. Son zamanlarda, hassas şehirlerde sismik alarm bildirimlerinin yayılmasını sağlayan bölgesel sismik riskin etkili bir şekilde uyarılması için sismik sensörlerin sayısının gerektiği kadar artırılmasına karar verilmiştir. Her hassas bölgedeki EASAS sistemleri tarafından sunulan hizmetle, sahadaki sismik etkilerin önceden önlenmesi ve her bir özel risk durumu için en uygun uyarı uyarısının belirlenmesi ve bu faktörlerin sistematik olarak gözden geçirilmesi mümkün olacaktır (Espinosa-Aranda ve diğ., 2009).

4.1.4. Tayvan

Tayvan, Pasifik deprem kuşağının bir parçası olan Avrasya ve Filipin Denizi Levhalarının birleşme noktasında bulunuyor. Bu nedenle, Tayvan'da her yıl 4000'den

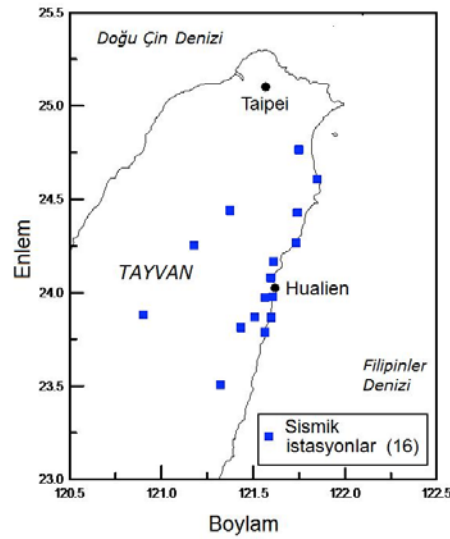
fazla deprem olayıyla birlikte sismik faaliyetler sıklaşmakta, bunların arasında 200'den fazla deprem hissedilmektedir. Tarihin en erken sismik oluşum raporu eski Ming Hanedanlığı'nın Wanlı dönemine kadar uzanabilir. Geçtiğimiz yüz yıl boyunca, Tayvan'da ciddi sayıda deprem meydana geldi. 1935'te büyük bir deprem Hsinchu ve Taichung bölgesinde 3.276 kişinin ölümüne neden oldu; 12.000 'den fazla kişi yaralandı, 17.000 'den fazla bina çöktü ve 36.000 'den fazla bina ciddi şekilde hasar gördü. 1940'da Chiayi'de 1946'da Tainan'da, 1964'te Tainan'da ve Chiayi'de yıkıcı depremler meydana geldi. 1999 Chi-Chi Depremi, 2.434 kişinin ölümüne ve yaklaşık 11.000 binanın yıkılmasına neden oldu. Bu depremlerin her biri ağır kayıplara ve maddi kayıplara yol açsa da, modern teknolojiler depremleri tahmin edememekte ve tahliye planları yapamamaktadır. Potansiyel olarak tehlikeli alanları belirlemek ve deprem kurtarma planlarını yapmak için sismolojik izleme ağları, tarihi deprem verileri ve yerel jeolojik şartlar gereklidir.

Tayvan'ın doğusundaki Hualien Bölgesi'nde 15 Kasım 1986 'da oluşan deprem, 120 km uzaklıktaki başkent Taipei de meydana gelen büyük bir hasara neden oldu (Hsaio ve ark., 2009; Wu ve ark., 1999). Bu depremden sonra Tayvan'daki depremlere odaklanma çabaları verilmeye başlandı. Tayvan Güçlü Hareket Enstrümantasyon Programı (TSMIP), 1992 yılında Merkezi Hava Durumu Bürosu (CWB) tarafından deprem mühendisliği ve sismoloji araştırmalarına yardımcı olacak yüksek kaliteli deprem kayıtları oluşturmak amacıyla kurulmuştur. Sismik cihaz montaj çalışmaları başladı. Bu programda ülke çapında yaklaşık 650 modern dijital ivmeölçer bulunmaktadır (Wu et al., 2002). TREIRS (Tayvan Hızlı Deprem Bilgi Serbest Bırakma Sistemi) veya RTD sistemi, 3 Mart 1996 tarihinde CWB tarafından depremi derhal bilgilendirmek amacıyla kurulmuştur. Büyüklük 4.0'dan büyük depremlerin odağı, 1 dakika içinde büyüklük ve yoğunluk bilgisi vermektedir (Wu ve ark., 2003). Oluşturulan bu sistem, 82 ivmeölçer istasyonunu içeren gerçek zamanlı bir sismik ağdan oluşmaktadır (Wu ve diğ., 2002). Tayvanda kurulu sismik ağlar Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Tayvan'da Kurulan Sismik Ağlar (Wu ve diğ., 2004)

15 Kasım 1986 depreminden çıkan önemli bir sonuçta Hualien Bölgesi'ne bir erken uyarı sisteminin kurulması gerekliliği Hsaio ve diğ. (2009) tarafından belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak, Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi Hualien Bölgesi'nde 16 adet ivmeölçerin dâhil edildiği bir ağ oluşturulmuştur.



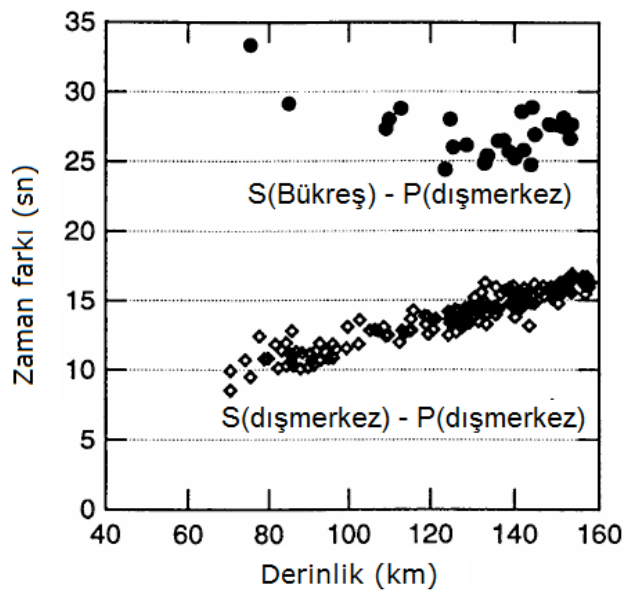
Şekil 2.7. Alt Ağ İstasyonları (Wu et al., 2004)

Alt-ağ yaklaşımı olarak adlandırılan bu sistemin test edilmesi sonucunda yaklaşık 20 saniyelik bir uyarı süresi hesaplanmıştır (Wu ve Teng, 2002). 2001 yılında kurularak ve CWB tarafından işletilmesi yapılan erken uyarı sistemi, 100x300 km² alana kurulu TREIRS deprem istasyonlarını kullanmaktadır. Erken Uyarı sisteminde, alt ağdan geliştirilen VSN (Sanal Alt Ağ) yaklaşımının kullanılması kabul edilmiştir. VSN, otomatik olarak çalışan, olaya bağlı ve yapılandırma zamanla değişebilen bir sistemdir. RTD sistemi, VSN yöntemine göre tetiklendiğinde, RTD sistemi tarafından tetiklenen ilk istasyondan 60 km uzaklıkta olan istasyonlar, odak ve manyitüd hesabı dışında bırakılır (Hsaio ve ark., 2009; Wu ve Teng, 2002). Tayvan'ın doğusundaki doğu bölgesinde Hualien bölgesinde meydana gelen depremden sonra, şehir merkezine 70 km uzaklıkta bulunan tüm yerleşim yerlerinden 120 km uzaklıktaki Taipei Şehri'nden yaklaşık 20 saniye önce uyarı verilebileceği ortaya çıkmıştır. (Hsaio ve ark., 2009; Wu ve Kanamori, 2005). 1999'daki 7.6 büyüklüğündeki depremin merkez üssü Tayvan'ın merkezi bölgesinde yer aldığından, Hualien bölgesinden çok uzakta farklı bir ağ ve yaklaşım arayışına girildi. Wu ve Kanamori (2005), depresyonun büyüklüğünü yansıtan bir ilkeyi (TauC), ilk 3 saniyelik kullanım oranından yararlanarak sundu. Ayrıca, Wu ve Kanamori (2008) tarafından Bu lokasyonda kaydedilecek PGV'nin, P dalgasının başlangıcından belli bir süre boyunca kaydedilen dikey bileşen yer değiştirmesinin maksimum genliğinden elde edilen Pd parametresi kullanılarak tahmin edilebileceği belirtilmektedir. Tayvan'da, deprem erken uyarı sinyali yalnızca Afet İşlerine, demiryolları ve hastanelere gönderilmektedir. Vatandaşlara ayrıca uyarı yapılmamaktadır (Allen ve ark., 2009).

4.1.5. Romanya

Bükreş'i etkileyen büyük depremlerin kaynaklarının büyük çoğunluğunun güneydoğu Karpatlardaki Vrancea Bölgesi'nde yoğunlaştığı gerçeği, Bükreş'in erken uyarı sistemine büyük bir avantaj sağlıyor. 1940 ve 1990 yılları arasında 6,9 ila 7,7 arasında değişen dört büyük depremin odak derinliklerinin 100 ile 150 km arasında olduğu ve merkezlerine göre mesafelerinin yaklaşık 150 km'de sabitlendiği gözlenmiştir (Oncescu ve Bonjer, 1997; Wenzel ve diğ., 2001). Bu mesafe erken uyarı sistemi için uygun bir zamandır. Bükreş depremi erken uyarı sistemi için, Vrancea Bölgesi'nde, ikisi yüzeyde ve kuyuda olmak üzere toplam üç ivme kayıt sistemi bulunmaktadır. İvme kayıt sistemleri kontrol merkezine kablo ile bağlanır. Deprem tespiti, bir istasyonun

dikey bileşenin hızlanma değerinin önceden belirlenmiş eşik seviyesini aşması durumunda gerçekleştirilir. Sistem, ikinci bir cihazın eşik seviyesinin aşılmadığını kontrol ederek otomatik olarak bir sinyal üretir. Topografik tasarım mevcut olduğu için uyarı sinyalinin iletimi doğrudan UHF radyo dalgaları ile yapılır. Şekil 2.8.'de yer aldığı gibi depremleri tespit edilmesiyle Bükreş'e 20-25 saniye önce deprem erken uyarı sinyali verilebilir (Buzel ve ark. 2001, 2003). Erken uyarı sinyali, yalnızca tesisin güvenli çalışması için Horai Hulubei Ulusal Fizik Enstitüsü ve Nükleer Mühendislik Enstitüsü'ne iletilmiştir (Allen ve diğ., 2009).

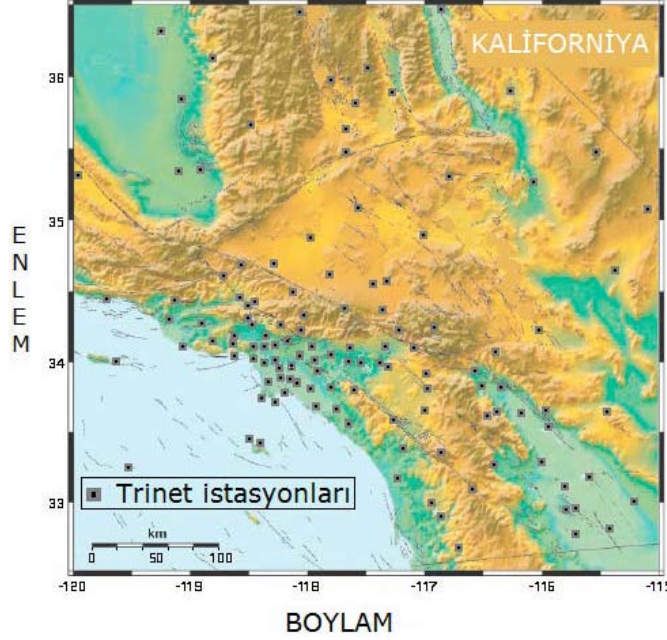


Şekil 2.8. Bükreş ile Vrancea Bölgesi'nde İzlenen Depremlere Ait P ve S Dalgaları Varış Zaman Farklılıkları (Wenzel et al., 2003)

4.1.6. Amerika Birleşik Devletleri

ABD'de son 50 yıldaki felaket kayıplarını azaltma çabaları arasında hem uzun vadeli risk değerlendirmesi hem de değerlendirmenin yanı sıra deprem sonrası bilgi çalışmaları yer almaktadır. Yapısal düzenlemelerde kullanılmasına rağmen uzun süreli deprem riski ve kayıp azaltma çalışmaları risk değerlendirme haritaları ile yapılmıştır (Allen ve Kanamori, 2003). Deprem sonrası bilgilendirmeler farklı programlar kapsamında yapıldı. Bunlardan en önemlisi; ANSS (Advanced National Seismic System) (Benz ve ark., 2001), REDI (Rapid Earthquake Data Integration) (Gee ve diğ., 1996), CUBE (Caltech and USGS Broadcast of Earthquakes) (Kanamori ve diğ., 1991)

ve TriNet'dir. (Hauksson ve diğ., 2001). Afet zararlarını azaltmak için 2003 yılında üçüncü olarak bir yaklaşım başlatıldı. Bu yaklaşımda, Güney Kaliforniya'nın Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi TriNet'in altyapısını kullanan ElarmS (Earthquake Alarm System) sistemi kullanılarak birkaç saniyeden daha önceye kadar erken uyarı mesajlarının gönderilmesinin mümkün olduğu belirtilmektedir (Allen ve Kanamori, 2003).



Şekil 2.9. Güney Kaliforniya'da TriNet Tarafından Yürütülen Sismik İstasyonlar (Allen ve Kanamori, 2003)

ElarmS, 2 veya 3 istasyonu tetikleyerek 1-2 saniye içinde merkez algılama gerçekleştirir. Deprem şiddeti belirlenirken, Japonya'da kullanılan UrEDAS uyarı sisteminde olduğu gibi, depremin başlangıçtaki birkaç saniyesinde (<4 sn) frekans içeriğinden çıkarılan büyüklük-hakim periyod ilişkisi kullanılır (Allen, 2004, 2007; Allen ve Kanamori, 2003; Lockman ve Allen, 2005). UrEDAS yapısına çok benzeyen bu sistem, bir "ağ" kullandığı için UrEDAS'tan farklıdır. Bölgelere bağlı sismik ağları kullanarak, Kaliforniya için erken uyarı süresinin yaklaşık 1 dakika olabileceği belirtilmiştir (URL-14).

ABD'de deprem erken uyarı sistemi ve yöntemleri konusunda çalışmalar olmasına rağmen, halkı uyarmak için halihazırda bir uyarı sistemi bulunmamaktadır (Allen ve ark., 2009). Erken uyarı zamanını artırmak ve böylece sistem ve yöntem

güvenilirliğini sağlamak için Güney Kaliforniya (Cua ve ark. 2009) ve Kuzey Kaliforniya (Wurman ve ark. 2007) için özel olarak çalışmalar yapılmış ve yürütülmüştür. Kaliforniya'da, özellikle yüksek hızlı trenlerde erken uyarı sinyallerinin kullanımı için gerekli mevzuat, hazırlığa rağmen halen beklemede bulunmaktadır (Allen ve ark., 2009).

4.1.7. İsviçre

VS (The Virtual Seismologist) yöntemi bölgesel ağ tabanlı erken uyarı sistemine uyumlu bir Bayesian yaklaşımdır (Allen ve ark., 2009, Cua ve Heaton, 2007). Bu yöntem deprem büyüklüğünü, yerini, oluşma süresini, maksimum genlik dağılımını tahmin etmesi için kullanılır. Bu tahminleri yaparken gözlemlenen faz varış zamanları, yer hareketinin oluşturduğu genlikler, eski bilgiler (ağ topolojisi veya istasyon sağlık durumu, bölgesel risk haritaları, deprem öncesi tahminler, Gutenberg-Richter manyetit-frekans ilişkisi vb.) ve dış kabuk sönümlenme ilişkilerinden faydalanılır (Caprio ve ark. 2008; Cua ve Heaton, 2007). Erken uyarı tahminleri her saniye güncellenir. VS algoritmasının benimsenmesi, kısaca SED olarak adlandırılan İsviçre Sismoloji Hizmetinin (Swiss Seismological Service-ETH Zürih) çabalarıyla oluşmuştur (Cua ve ark., 2009). Geliştirilen yazılım, İsviçre Dijital Sismik Ağı (Swiss Digital Seismic Network) kullanılarak test edilmiştir (Allen ve ark., 2009). İsviçre'de gerçek zamanlı testler halen sürmektedir (Allen, 2011).

4.1.8. İtalya

İtalya'nın güneydeki Apennines Bölgesi için planlanan ve kurulmaya başlayan erken uyarı sisteminde ivmeölçer ve hızölçer cihazları kullanılmaktadır. Campanian Erken Uyarı Sistemi veya SAMS (Seismic Alert Management System) olarak da adlandırılan bu sistem, Campania-Lucania Bölgesi'ndeki istasyonlardan oluşmaktadır. 100x80 km²'lik bir yüzey alanına hakim olan bu alan sismik olarak oldukça aktiftir. Simüle edilmiş senaryolar sonucunda, tespit edilecek bir depremden sonra, yaklaşık 110 km mesafede, Napoli'ye ortalama 30 saniyelik hazırlık süresinin verilebileceği belirtilmektedir (Iervolino ve diğ., 2006). Son zamanlarda sanal istasyonların eklenmesiyle yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçlara göre, 8-16 saniye arasında

etkin uyarı süresi değişebilir (Zollo ve ark., 2009). Ayrıca farklı metodolojik çalışmalar devam etmektedir (Satriano ve ark., 2011; Zollo ve ark., 2010).

4.1.9. Çin

2007'den bu yana Çin Deprem Yönetimi Jeofizik Enstitüsü ve Tayvan Ulusal Üniversitesi arasında ortak bir proje bu bölgede Tau-C ve Pd yönteminin uygulanması üzerinde çalışmaya başlanmıştır. Pekin Bölgesi'ndeki mevcut sismik 130 cihazdan 16'sı ile başlayan çalışma, 2010'dan bu yana gerçek zamanlı bir sistemle devam etmektedir. Sistem, 162 dijital telemetrik istasyondan 68'ini kısa peryotlu ve 94'ünü geniş bandlı olmak üzere kullanmaktadır (Peng ve ark., 2011).



5. MATERYAL VE YÖNTEM

Dünyada kullanılan deprem erken uyarı sistemlerinde, deprem anında trafo merkezinden yüksek hızlı trenlerin enerjisi kesilip sistemin koruma moduna alınmasıyla trenlerin durması sağlanmaktadır. Enerjisi kesilen trenler harici bir sisteme gerek kalmaksızın acil frenleme modunda durmaktadırlar. Türkiye’de Marmaray projesinde uygulanan deprem erken uyarı sisteminde ise trenin, manuel olarak elektrik enerjisinin kesilmesiyle acil fren uygulamadan kendiliğinden durması sağlanmaktadır.

Trenlerin acil frenleme ile duruşa geçmesiyle tren ya yoldan çıkmakta ya da tekerleğin bir bölgesinde düzleşme oluşmaktadır. Bu durum tren teker ömrünü kısaltarak raylarda da hasara neden olmaktadır.

Bu çalışmada, Arduino, Processing/Wiring dili kullanılarak uygulamalar gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformu kullanılmıştır. Dünyada ve Türkiye’deki uygulamalardan farklı olarak yapılan deprem erken uyarı sistemi yüksek hızlı trenlerin sinyalizasyon sistemini kullanmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri vasıtasıyla trenin acil fren durumuna geçmeden kontrollü olarak yavaşlatılıp durdurulması sağlanarak elektrik enerjisi kesilmektedir. Bu durum trenlerin yoldan çıkmasının ve tren tekerleğin bir bölgesinde düzleşme olarak hasar görmesinin önüne geçmektedir.

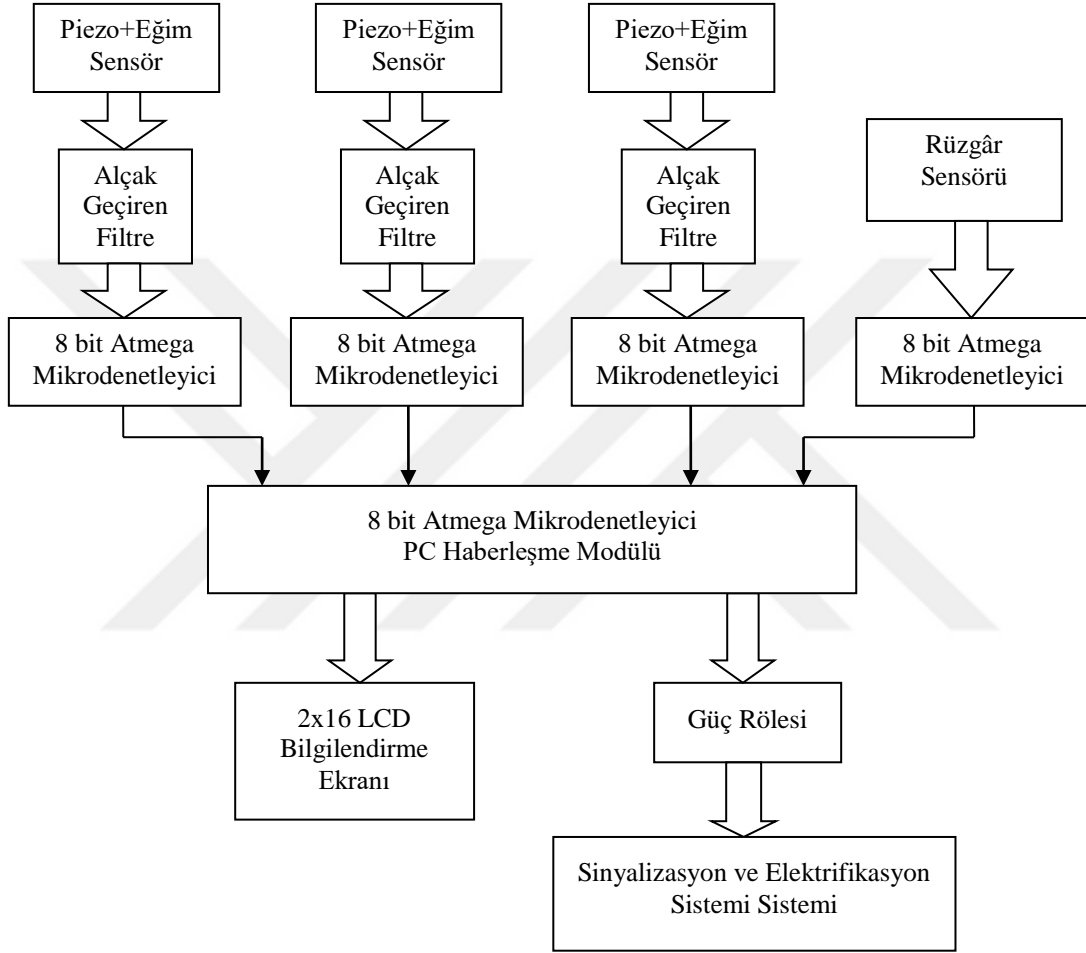
Bu tez çalışmasında yapılan deprem erken uyarı sisteminde hızlı tren hattı üzerinde titreşim, yer kayması ve rüzgâr hızını ölçmek farklı konumlara yerleştirilen üç farklı sensör kullanılmaktadır.

1. Piezoelektrik sismik algılayıcı ve mikrodenetleyici ile deprem dalgaları tespit edilerek deprem erken uyarı sisteminin gerçekleştirilmesi
2. Visual Studio programı ile arayüz programının oluşturulması
3. Deprem erken uyarı sisteminin prototip bir tren üzerinde uygulanması

5.1. Genel Sistem Mimarisi

Geniş bir alan üzerine kurulacak olan sistemde birden çok denetleyici kullanılarak sistem oluşturulmuştur. Titreşim algılayıcı, eğim algılayıcı ve rüzgâr algılayıcı sensörler tarafından algılanan fiziksel hareketler, elektrik enerjisine çevrilmektedir. Atmega mikrodenetleyici, sensörler tarafından algılanan fiziksel

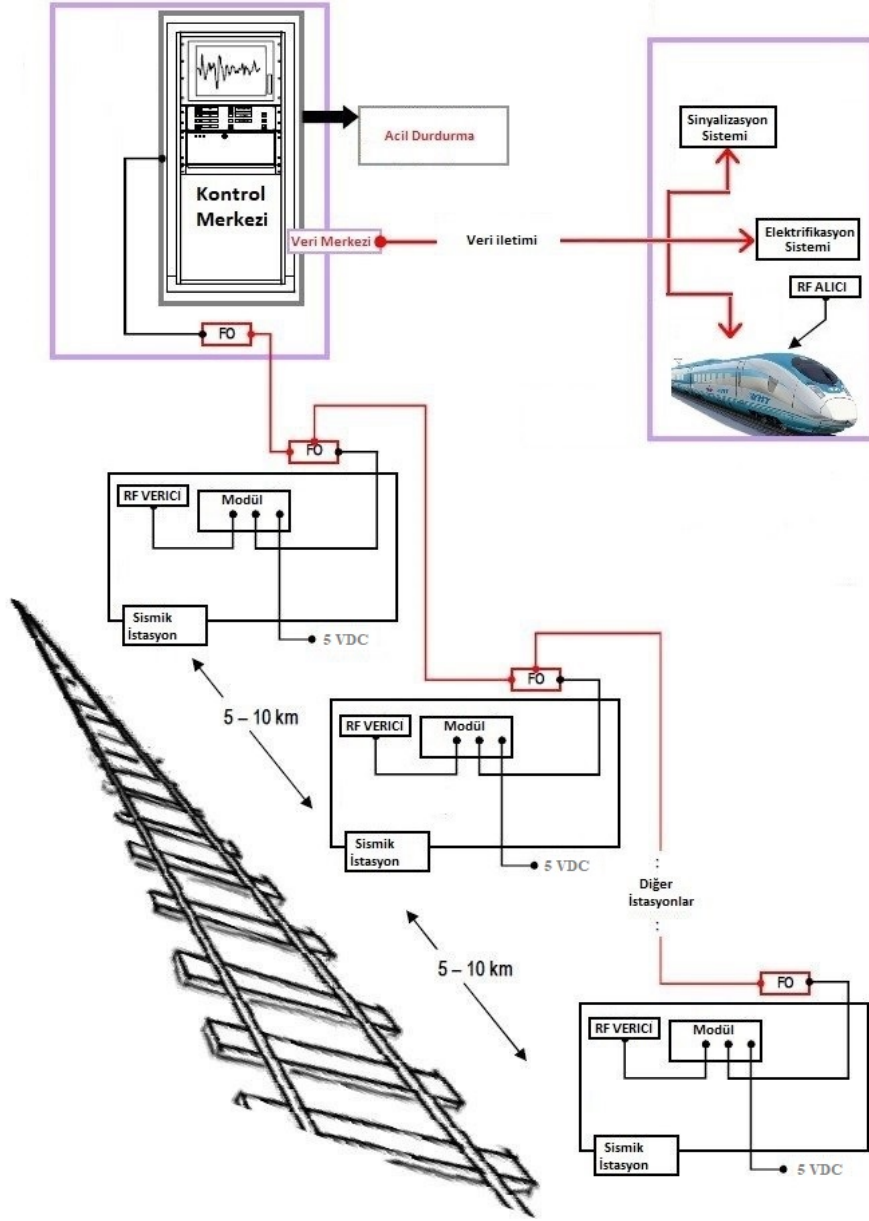
hareketleri potansiyel fark olarak ölçer. Denetleyici, algılanan değerleri eşik değerleri ile karşılaştırıp eşik değerinin geçilip geçilmediğine bakarak karar alır. PC haberleşme modülünün çıkışında kullanılan röle vasıtasıyla tren hattı üzerinde bulunan sinyal sisteminin ve elektrik hattının kontrolü sağlanmaktadır. Sistemin blok şeması Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Geliştirilen Yüksek Hızlı Tren Deprem Erken Algılama Sistemi blok diagramı

5.2. Sistemin Topolojisi

Şekil 3.2.'de yer alan sistem topolojisinde görüldüğü gibi hat üzerinde 5-10 km aralıklarla sismik istasyonlar konumlandırılmıştır. Sismik istasyonlarda, deprem anında oluşan sismik bir dalgayı algılayıcı modül bulunmaktadır. Algılanan sismik veriler fiber optik kablo ile kontrol merkezine RF yardımı ile de makiniste iletilmektedir. İletilen veriler belirlenen şartları sağladığında sinyalizasyon ve elektrifikasyon sistemine kumanda edilerek trenin kontrollü bir şekilde durdurulması sağlanmaktadır.

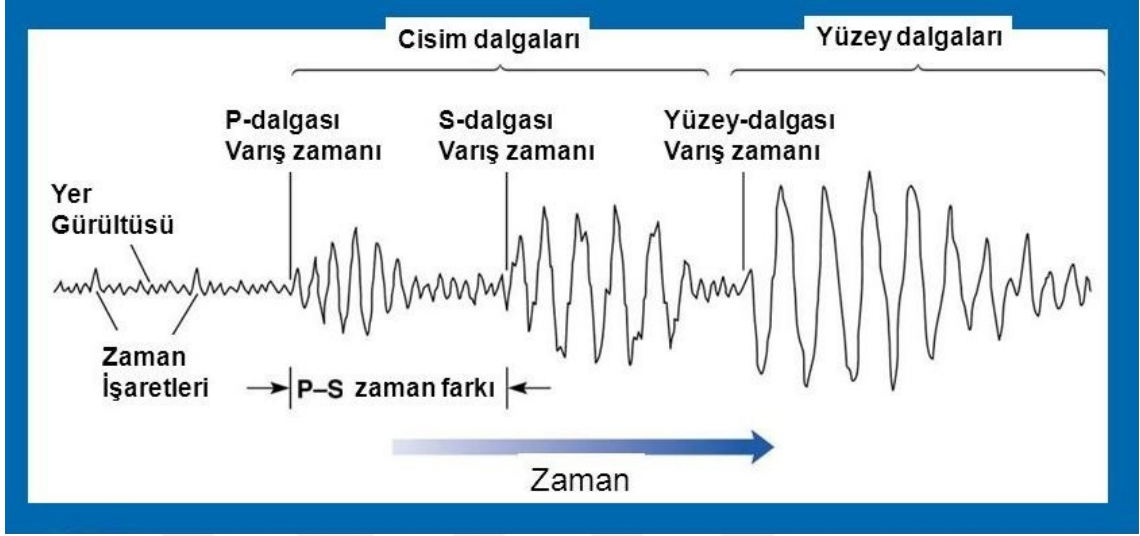


Şekil 3.2. Sistemin Topolojisi

5.3. YHT Deprem Erken Uyarı Sisteminin Geliştirme Uygulaması

Deprem Erken Uyarı Sisteminde deprem anında yer tabakaları arasındaki kırılmalardan dolayı meydana gelen P ve S sismik dalgaları kullanılmaktadır. P dalgası S dalgasına göre daha hızlı ve daha az yıkıcı etki göstermektedir (Böbrek, 2015). Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi P dalgasının S dalgasına göre daha hızlı olmasından dolayı aralarında bir zaman farkı bulunmaktadır.

Bu çalışmada yüksek hızda hareket eden bir trenin, P ve S sismik dalgaları kullanılarak Atmega mikrodenetleyici ile mevcut sinyalizasyon sistemine kumanda edilerek trenin kontrollü bir şekilde durdurulması sağlanmaktadır.



Şekil 3.3. Yüksek hızları nedeniyle P dalgaları önce varır, daha yavaş S dalgaları arkadan gelir (Thomas R. N. Jansson, 2008).

5.3.1. Titreşim ve Eğim (Tilt) Sensör Modülü

Yer yüzeyinde oluşan herhangi bir titreşim ve yer kayma hareketi, bu çalışmada piezoelektrik sensör ve eğim sensörleri ile algılanmaktadır.

Piezoelektrik sensör, ivme, basınç veya kuvvetin ölçülmesi için elektrik sinyaline dönüştüren bir elektrik cihazıdır. Bu sensörler genellikle çeşitli sektörlerde proses kontrolü, kalite güvence, araştırma ve geliştirme için kullanılmaktadır (URL-3, 2018). Eğim sensörleri, yönlendirmeyi veya eğimi algılamaya izin vererek, nesnenin yönelimine göre tetiklenen bir sensördür (URL-5, 2017; URL-6, 2018).

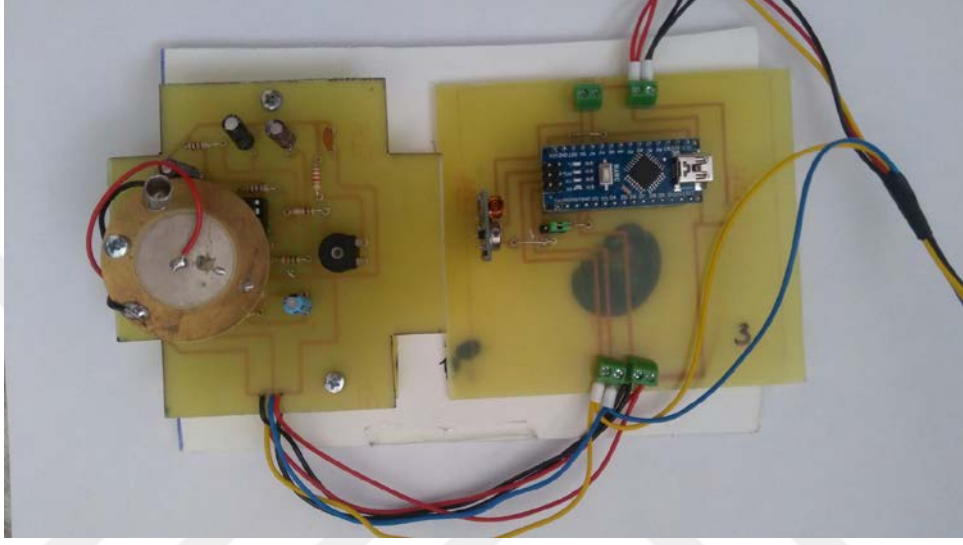
Sensörler vasıtası ile algılanan titreşim ve yer kayması Atmega mikrodenetleyici olarak kullanılan Aurdino nano modülü aracılığıyla ile PC haberleşme modülüne aktarılmaktadır. Aurdino nano modülü özellikleri EK-1'de yer almaktadır.

Sensörler için kullanılan denetleyici modül ile PC haberleşme modülü arasındaki bağlantı fiber optik kablo ile sağlanmaktadır. Ayrıca sensörlerin, tren içerisindeki makiniste bilgi vermesi amacıyla kullanılan ve üzerinde 2x16 LCD ekran bulunan modülle haberleşmenin sağlanabilmesi için RF alıcı ve vericileri kullanılmaktadır.

Kullanılan RF alıcı ve verici 433 MHz 'de, birbirleri ile kablosuz olarak bilgi alışverişi sağlamaktadır (URL-4, 2018). RF alıcı-verici özellikleri EK-2'de yer almaktadır.

Şekil 3.4.'te titreşim ve eğim sensör modülü ile Şekil 3.8.'de açık devre şeması görülmektedir.

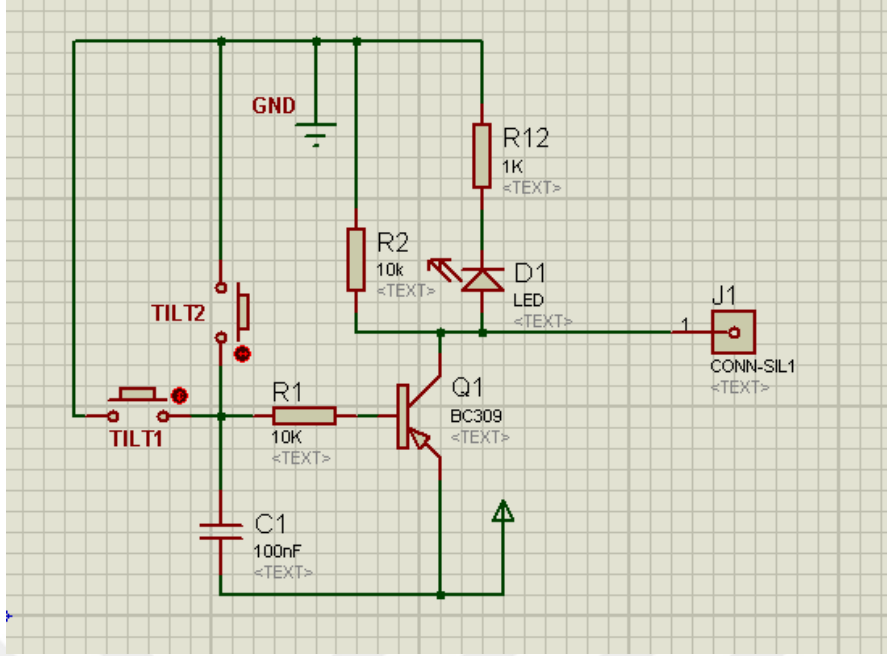
Şekil 3.5.'te piezoelektrik ve eğim sensörü devresi ile Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de açık devre şemaları görülmektedir.



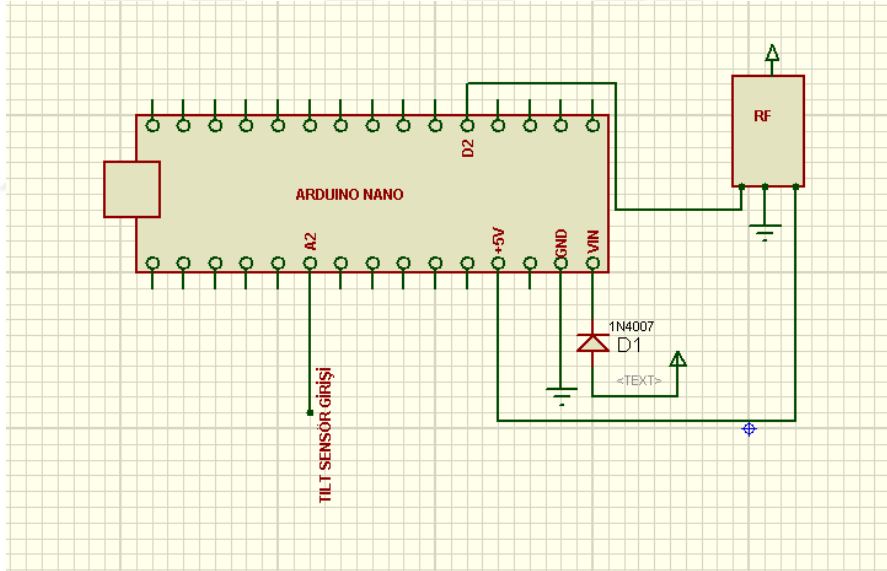
Şekil 3.4. Piezoelektrik sensör ve Eğim sensör modülü

Piezoelektrik titreşim sensörü 0-5V aralığında gerilim seviyesini, eğim sensörü ise içerisinde bulunan bilyelerin hareketini kullanarak tren içerisindeki LCD ekrana ve kumanda merkezindeki bilgisayara deprem dalgasının hangi seviyede olduğu bilgisini aktarmaktadır. Sensör üzerinde meydana gelen sismik şiddetin oluşturduğu gerilim seviyesine göre P dalgası ve S dalgası uyarıları kumanda merkezine gönderilmektedir.

Sensörler kapalı bir kutu içerisine konularak hızlı tren hatları boyunca belirli aralıklarla sabitlenmektedir. Sahada yerleştirilen sensörlerin beslemesi hızlı tren hatları boyunca bulunan yaklaşık olarak 9 kilometrede bir mevcut bulunan sinyalizasyon teknik merkezlerinden kablo ile sağlanmaktadır. Ayrıca herhangi bir enerji kesintisinde veya kablonun zarar görmesi durumunda enerji devamlılığını sağlamak için sensör kutularının içerisinde lipo piller yerleştirilerek sensörlerin canlı kalması sağlanmaktadır.



Şekil 3.7. Eğim sensör açık şeması



Şekil 3.8. Piezoelektrik sensör ve Eğim sensör modülü açık şeması

5.3.2. Rüzgâr Hız Sensörü (Anemometre) Modülü

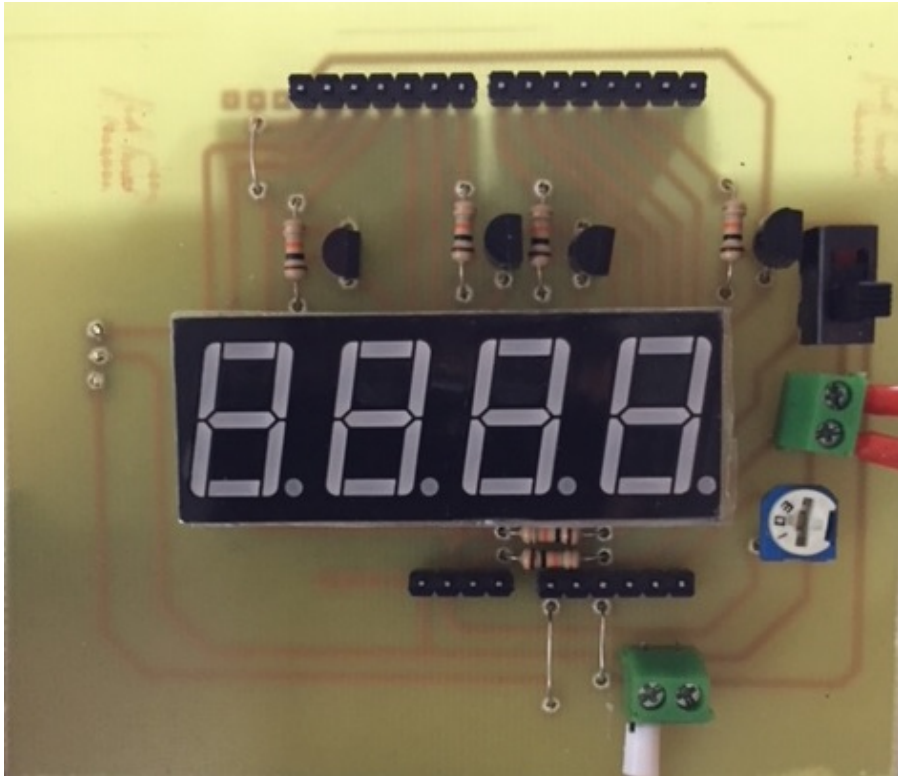
Rüzgâr şiddetine göre, ağaç, çatı, vinç gibi demiryolu kenarında bulunan yabancı cisimleri sürükleyerek demiryolu hattına getirebilir. Aynı rüzgâr denizde büyük dalgalar oluşturarak deniz kenarından geçen demiryolu hatlarına zarar verebilir. Rüzgârın YHT işletmesine yapabileceği bir diğer etki ise hızlı tren setine vereceği zarar ile uyguladığı yanal rüzgârların sebep olacağı dinamik kuvvetlerdir.

Türkiye’de Devlet Demiryolları YHT Trafik Talimatınının 15/53. Maddesine göre rüzgâr hızına bağlı olarak tren hızının ayarlanması sağlanmaktadır. Rüzgârın hızı 70 km/h geçtiğinde trenlerin hızı 200 km/h, 90 km/h geçtiğinde 160 km/h, 100 km/h geçtiğinde Makinistin belirleyeceği 160 km/h altında bir hıza düşürülecektir. 108 Km/h geçtiğinde trenlerin hızı ve alınacak ilave tedbirlerin Bölge Müdürlüğünce belirlenmesi emri uygulanacaktır (TCDD Talimatlar, 2016).

Bu çalışmada, Yüksek Hızlı Tren viyadüklerinde, tünel giriş çıkışlarında ve hat boyunca belirli aralıklarda, oluşacak olan rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştüren kepçe anemometreler kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan anemometreler kepçe anemometrelerdir (Durak, 2008).

Şekil 3.10.’da yer alan rüzgâr hız sensöründen alınan veriler Atmega mikrodenetleyici olarak kullanılan Aurdino uno modülü aracılığı ile kumanda merkezine gönderilmektedir. Aurdino uno modülü özellikleri EK-3’de yer almaktadır.

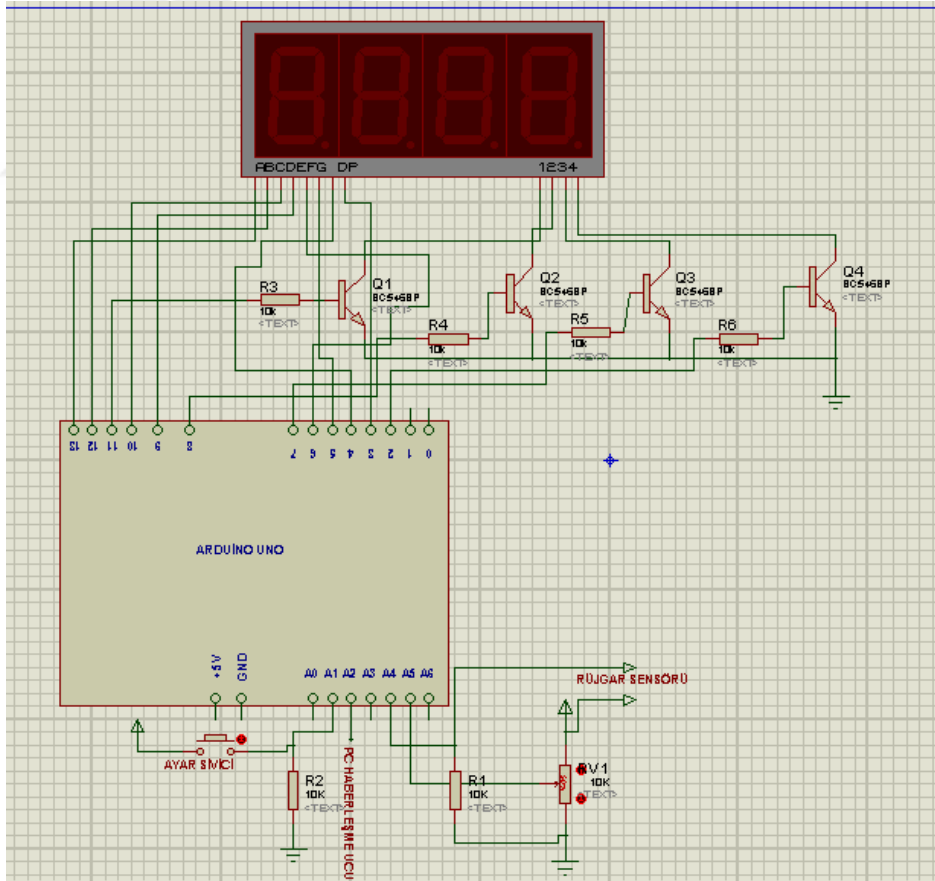
Sensör tarafından gönderilen veriler Şekil 3.9.’daki rüzgâr hız göstergesi üzerinden ayarlanan eşik değerini geçtiğinde kumanda merkezi ekranında rüzgâr durumu yüksek hız uyarısı vererek trenin kontrollü olarak yavaşlatılmasına olanak sağlamaktadır. Rüzgâr hız göstergesi açık şeması Şekil 3.11.’de gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Rüzgâr hız göstergesi



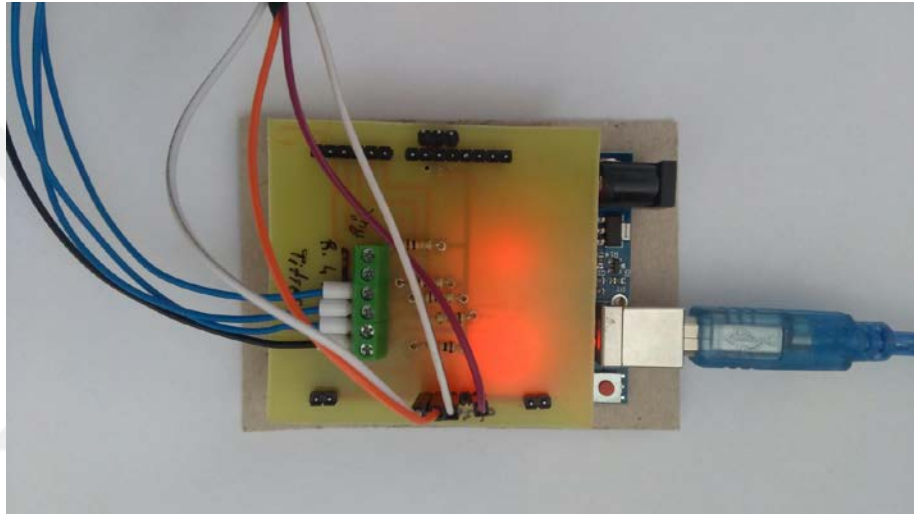
Şekil 3.10. Rüzgâr hız sensörü



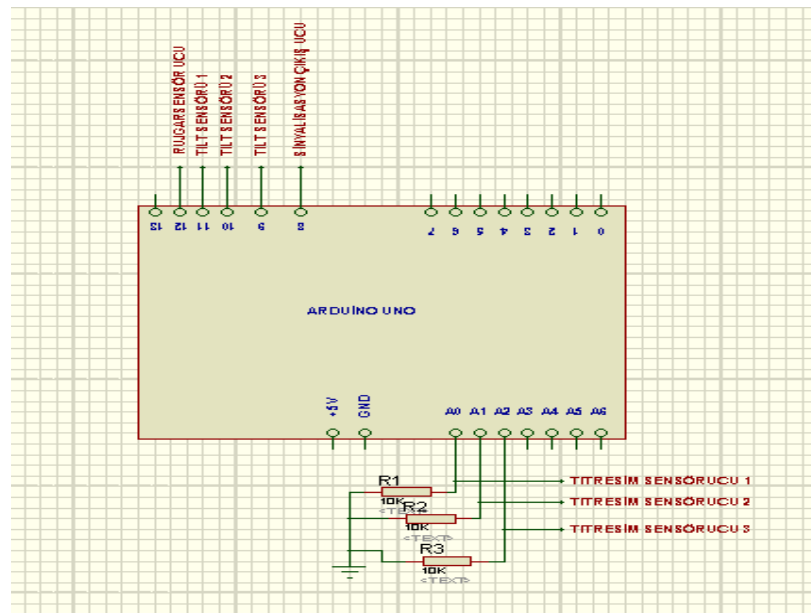
Şekil 3.11. Rüzgâr hız sensörü açık şeması

5.3.3. PC Haberleşme modülü

PC haberleşme modülü, piezoelektrik ile eğim sensörleri ve rüzgâr sensöründen gelen durum verilerini Aurdino uno modülü vasıtasıyla kumanda merkezindeki bilgisayar ekranına ve sinyalizasyon modülüne aktarmaktadır. Kumanda merkezine gönderilen veriler arayüz programına aktarılarak daha önceden belirlenen eşik değerlerine göre sismik dalgaların ve rüzgâr şiddetinin durumu gözlenerek uyarı verilmektedir. Şekil 3.12.'de PC haberleşme modülü ve Şekil 3.13.'te açık devres şeması görülmektedir.



Şekil 3.12. PC haberleşme modülü



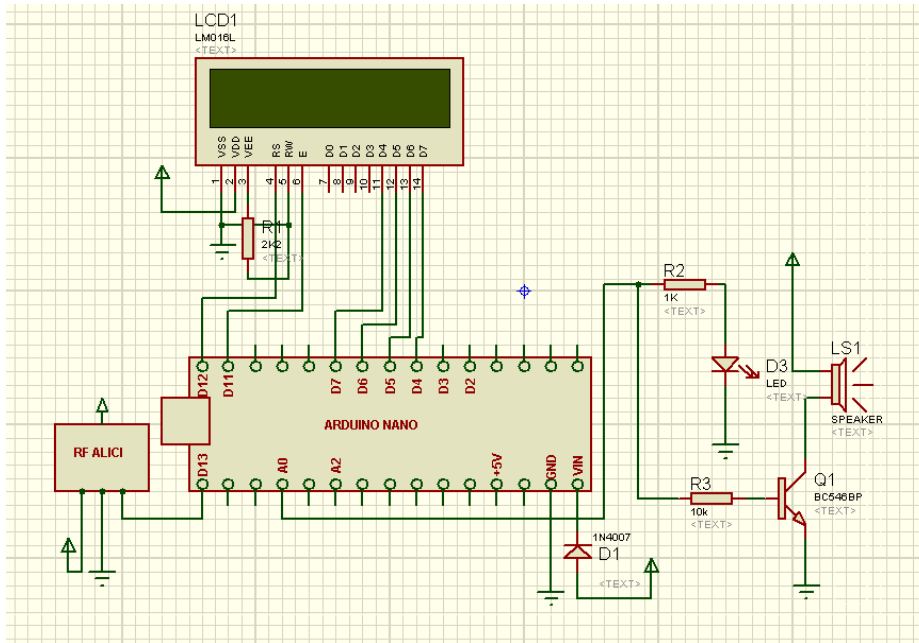
Şekil 3.13. PC haberleşme modülü açık şeması

5.3.4. LCD tren modülü

Herhangi bir deprem anında veya şiddetli rüzgâr durumunda sensörlerden gelen veriler RF yoluyla tren içerisine aktarılarak makinistin led ve buzzer vasıtasıyla uyarılıp bilgilendirilmesi sağlanmaktadır. LCD tren modülünde mikrodenetleyici olarak Aurdino nano modülü kullanılmaktadır. Şekil 3.14.'de titreşim, eğim ve rüzgâr sensörlerinden gelen verileri aktaran LCD tren modülü ile Şekil 3.15.'de açık devre şeması yer almaktadır.



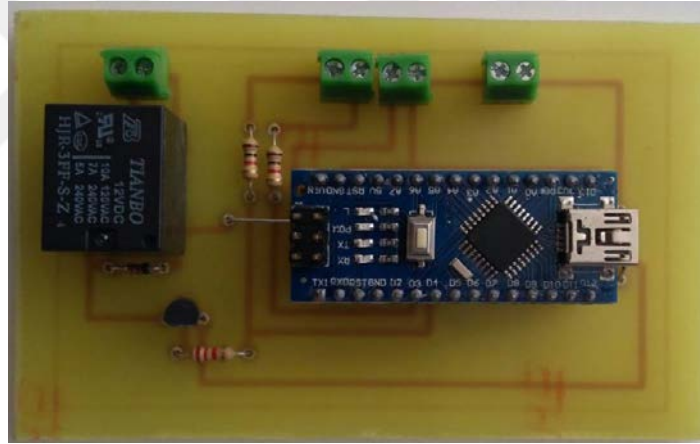
Şekil 3.14. LCD tren modülü



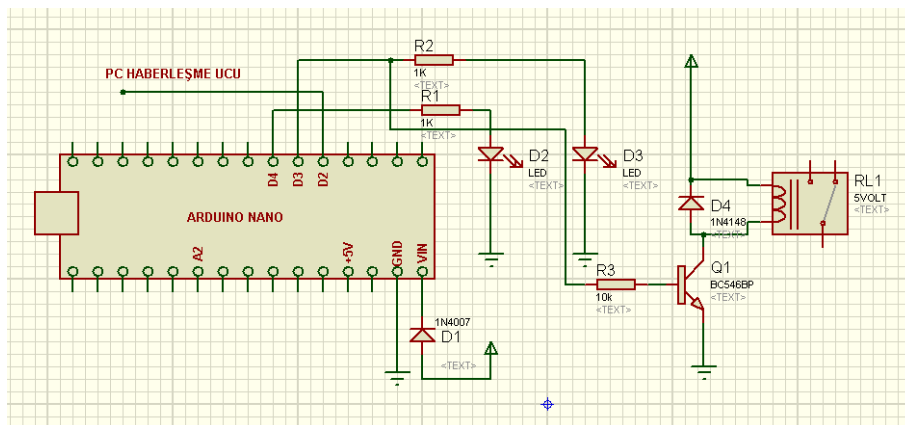
Şekil 3.15. LCD tren modülü açık şeması

5.3.5. Sinyalizasyon modülü

Şekil 3.16.'da yer alan sinyalizasyon modülü, titreşim sensörleri ve rüzgâr sensöründen gelen durum verilerinin PC haberleşme modülünde işlenmesiyle güç rölesinden trenin sinyal sistemini ve elektrik sisteminin kumanda edilebilmesini sağlamak için istenilen çıkışın alındığı Aurdino uno modülüdür. Herhangi bir deprem anında tren içerisindeki ERTMS/ETCS sinyal ve verilerini işleyen bilgisayar kontrol sisteminde sinyalizasyon modülünden gönderilen veriler işlenmektedir. Sensörlerden gelen veriler önceden belirlenen eşik değerlerini geçtiğinde mevcut sinyalizasyon sistemi devreye girerek trenin kontrollü olarak yavaşlatılıp durdurulması sağlanmaktadır. Ayrıca kontrollü duruşa geçen trenin elektrik enerjisinin de kesilmesi sağlanarak oluşabilecek herhangi bir elektrik kaçağının önüne geçilmiş olmaktadır. Sinyalizasyon modülü açık devre şeması Şekil 3.17.'de görülmektedir.



Şekil 3.16. Sinyalizasyon modülü



Şekil 3.17. Sinyalizasyon modülü açık devre şeması

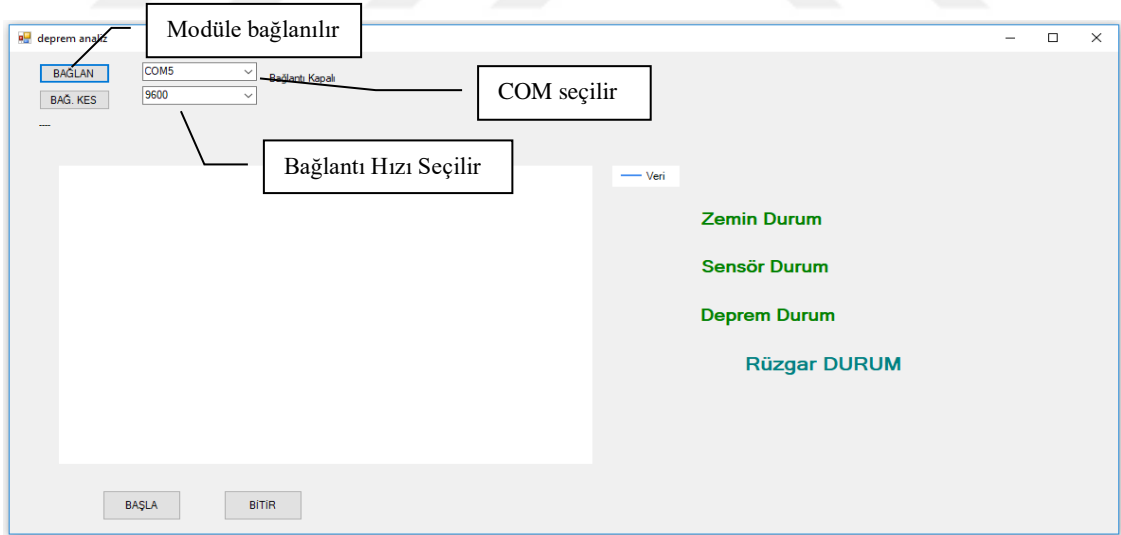
5.4 Deprem Erken Uyarı Sistemi için Arayüz Uygulaması

Deprem erken uyarı sistemi ve rüzgâr sensörlerinin kumanda merkezinden takibinin yapılabilmesi için Visual Studio ile yapılan bir arayüz programı kullanılmaktadır.

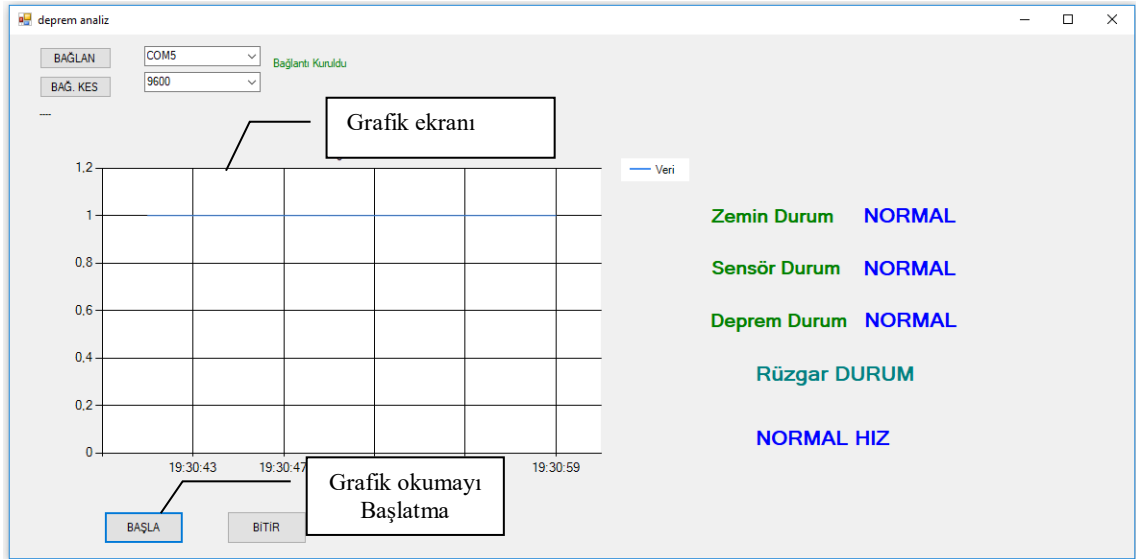
5.4.1. Arayüz Programının Çalışması

Visual Studio programı ile oluşturulan arayüz programında, deprem dalgalarının ve rüzgâr hızının durumuna bağlı olarak belirlenen eşik değerleri geçildiğinde uyarıların görüldüğü bir ekran bulunmaktadır.

Program ilk açıldığında Şekil 3.18.'deki gibi bir ekran görülmektedir. Açılan ekrandan PC haberleşme modülüne bağlantının sağlanabilmesi için bilgisayarın bağlı olduğu veri yolu seçilerek BAĞLAN düğmesine basılır. Bağlantı sağlandığında “Bağlantı Kapalı” uyarısı “Bağlantı Kuruldu” uyarısına dönüşür ve modülün bilgisayarla bağlantısı sağlanmış olur. Bağlantının tekrar kesilmesi için BAĞ. KES düğmesine basılarak modülle bağlantının kesilmesi sağlanır.

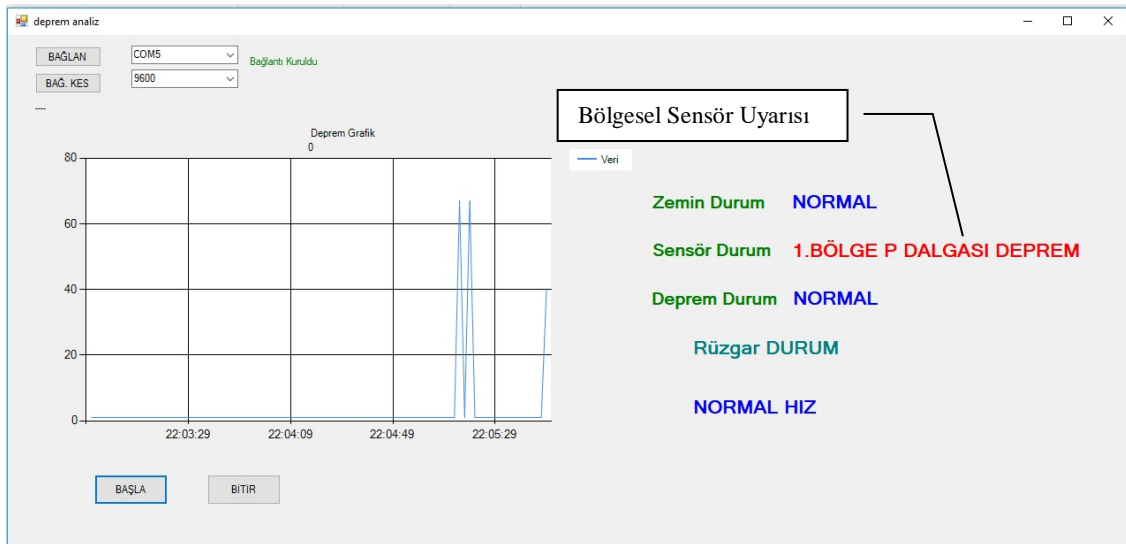


Şekil 3.18. Deprem Erken Uyarı Arayüz Programı açılış ekranı



Şekil 3.19. Deprem Erken Uyarı Arayüz Programı Bağlantı Ekranı

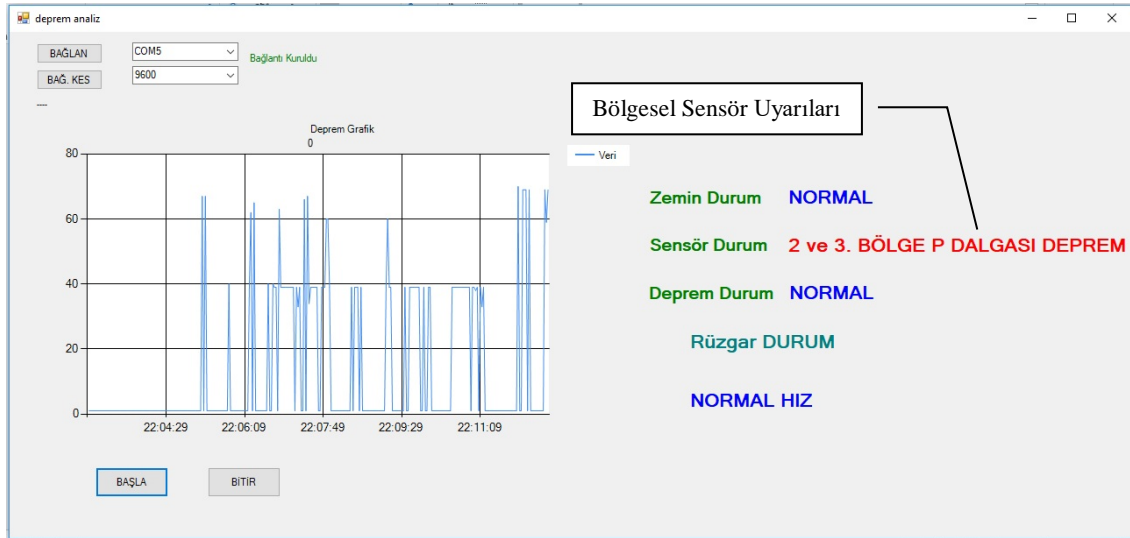
Programda modüle bağlantı sağlanmasından sonra BAŞLA düğmesine basılarak sensörlerden gelen sinyallerin anlık olarak grafik ekranında görülmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.19.'da yer alan grafik ekranında, sensörlerden aldığı verilerle zaman skalasında süre bilgisini yazarak sinyaller oluşmaya başlar.



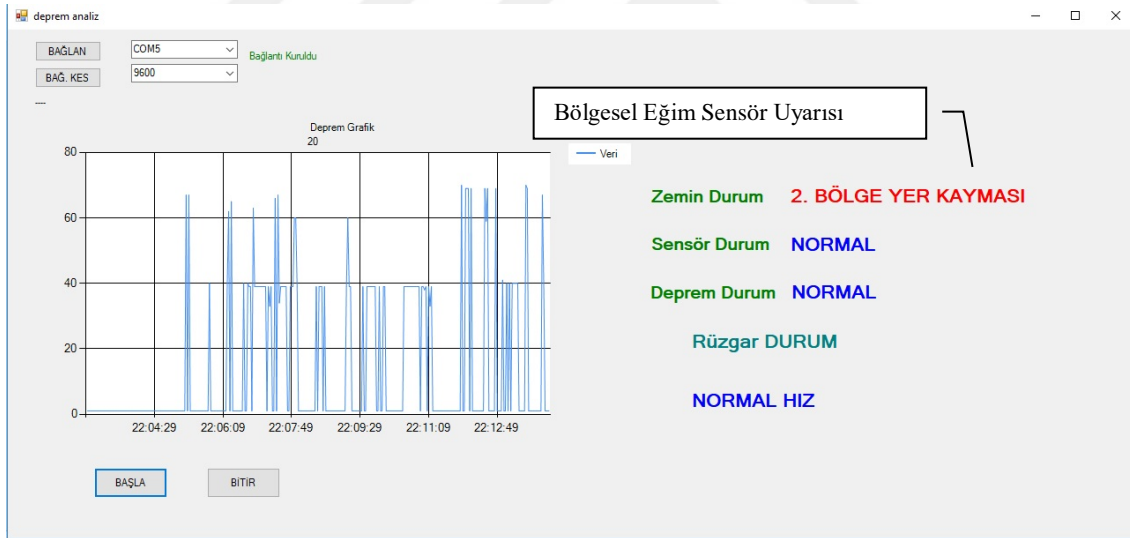
Şekil 3.20. Tek bölgeden titreşim sensör uyarısı gelen arayüz ekranı

Tren hatları üzerinde belirli mesafelerde yerleştirilen titreşim sensörlerinin bölgesel olarak veri akışı takip edilebilmekte ve sensörlerin buldukları bölgelere göre anlık eşik değerini aşan sismik durum uyarıları görülebilmektedir. Sadece 1. Bölgeden

gelen P Dalga Deprem uyarısı Şekil 3.20.'de, aynı anda 2. ve 3. Bölgeden gelen P Dalga Deprem uyarısı ise Şekil 3.21.'de görülmektedir.

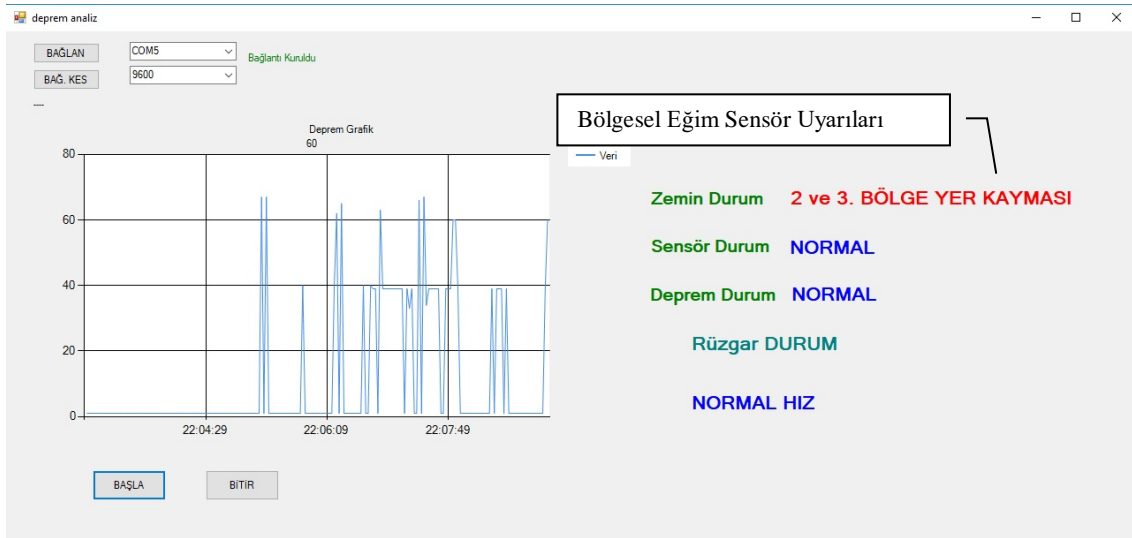


Şekil 3.21. İki bölgeden aynı anda titreşim sensör uyarısı gelen arayüz ekranı

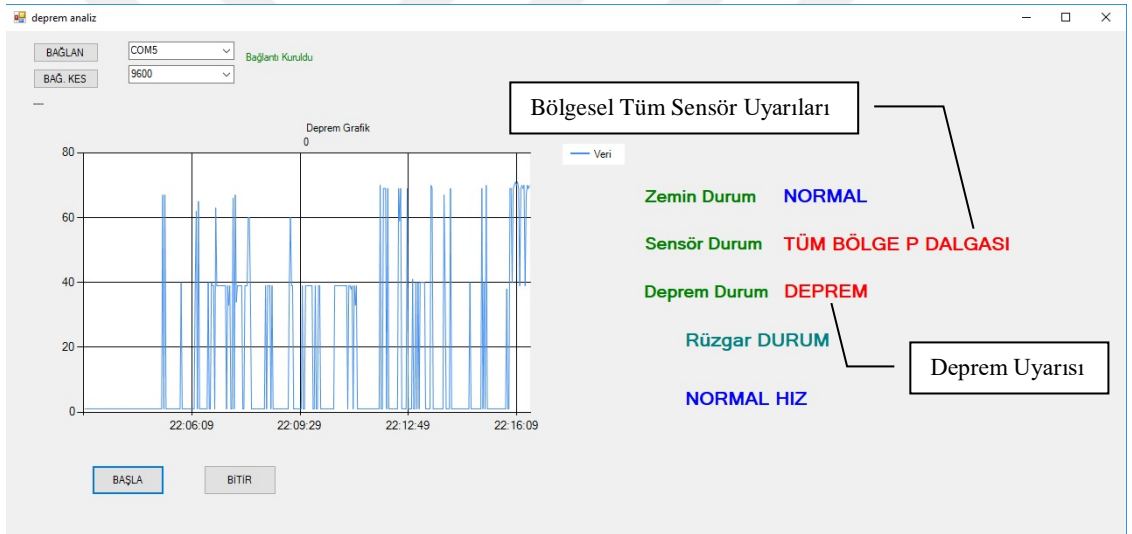


Şekil 3.22. Tek bölgeden yer kayma uyarısı gelen arayüz ekranı

Tren hatları üzerinde belirli mesafelerde yerleştirilen titreşim sensörleri ile birlikte yerleştirilen eğim sensörlerinden gelen yer kayma uyarılarına göre bölgesel olarak veri akışı takip edilebilmekte ve sensörlerin buldukları bölgelere göre anlık yer kayma uyarıları görülmektedir. Sadece 2. Bölgeden gelen Yer Kayma uyarısı Şekil 3.22.'de, aynı anda 2. ve 3. Bölgeden gelen Yer Kayma uyarısı ise Şekil 3.23.'te görülmektedir.

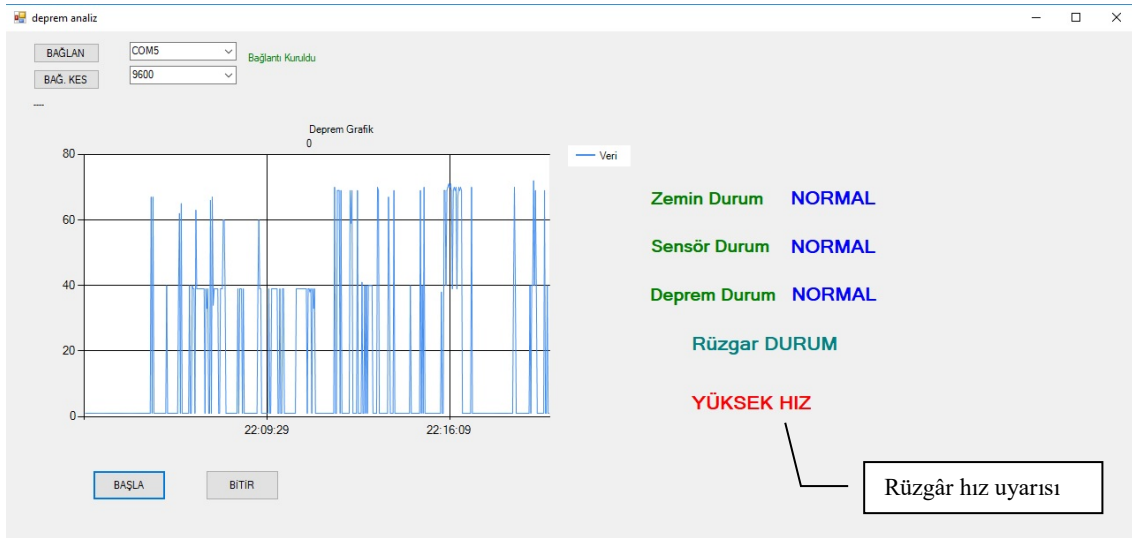


Şekil 3.23. İki bölgeden aynı anda yer kayma uyarısı gelen arayüz ekranı



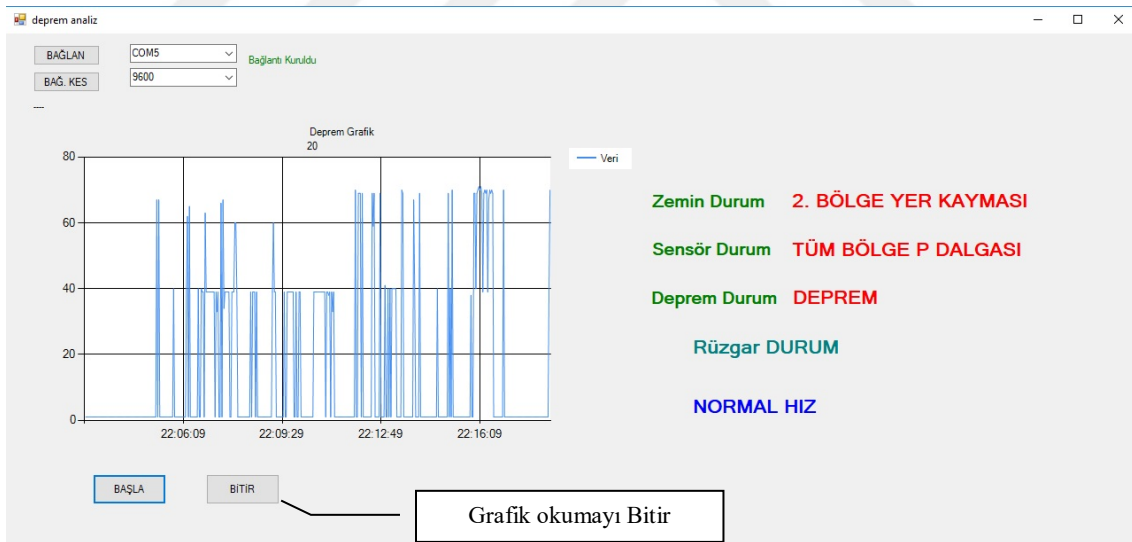
Şekil 3.24. Deprem uyarı ekranı

Tren hattı üzerindeki üç titreşim sensöründen gelen verilerin eşik değerini aşması durumunda Şekil 3.24.'de görülen arayüz ekranında TÜM BÖLGE P DALGASI uyarısı görüntülenerek NORMAL olan Deprem durumu yazısı DEPREM uyarısına dönüşmektedir.



Şekil 3.25. Rüzgâr hızı uyarı ekranı

Rüzgâr hızının belirlenen rüzgâr eşik değerini geçmesi durumunda Şekil 3.25.'de görülen ekranda Normal Hız uyarı yazısı Yüksek Hız uyarısına dönüşerek uyarı verilmektedir.



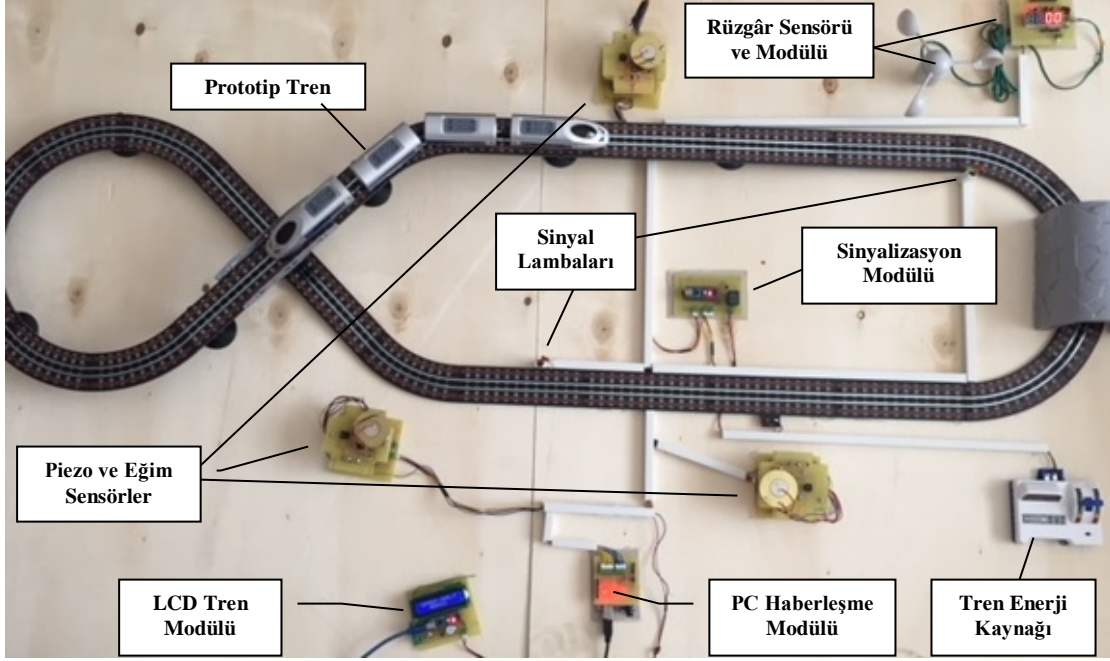
Şekil 3.26. Grafik okumayı bitirme Ekranı

Grafik okuması programı kapatmadan durdurulmak istenildiğinde Şekil 3.26.'da yer alan ekranda **BITİR** düğmesine basılarak sensörlerden gelen veri alma işleminin durdurulması sağlanmaktadır.

Visual Studio programı ile yapılan arayüz program kodları Ek-4'de yer almaktadır.

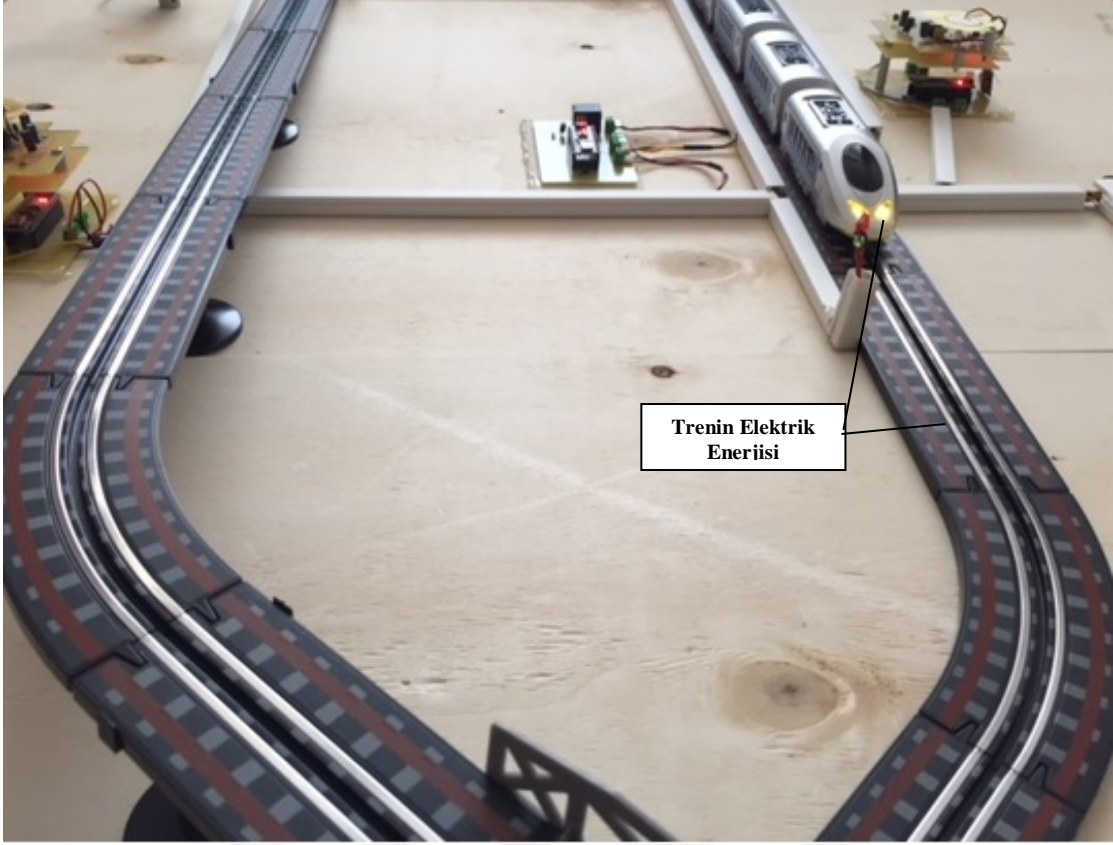
5.5 Deprem Erken Uyarı Sisteminin Prototip bir tren üzerinde Uygulaması

Bu çalışmada deprem erken uyarı sistemi ve rüzgâr hızı ölçümü için piezoelektrik, eğim ve rüzgâr sensörleri kullanılarak Şekil 3.27.'de yer alan prototip bir tren uygulaması yapılmıştır. Şekil 3.27.'de sensör yerleşimleri ve bilgisayar bağlantı modülleri gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Deprem Erken Uyarı Prototip tren uygulaması

Yapılan prototip tren uygulaması için 360 derece dönme hareketi sağlayan 12 adet teker montajı yapılan 200 X 84 cm ebatlarında ahşap plaka kullanılmıştır. Plaka üzerine rayların montajı ile sinyal lambaları montajı yapılarak tren hattı boyunca piezoelektrik ve eğim sensör modülü, rüzgâr sensör modülü, sinyalizasyon modülü ile PC haberleşme modülü yerleştirilmiştir. Ayrıca makinist bilgilendirme ekranı olan LCD tren modülü de plaka üzerine yerleştirilmiştir.

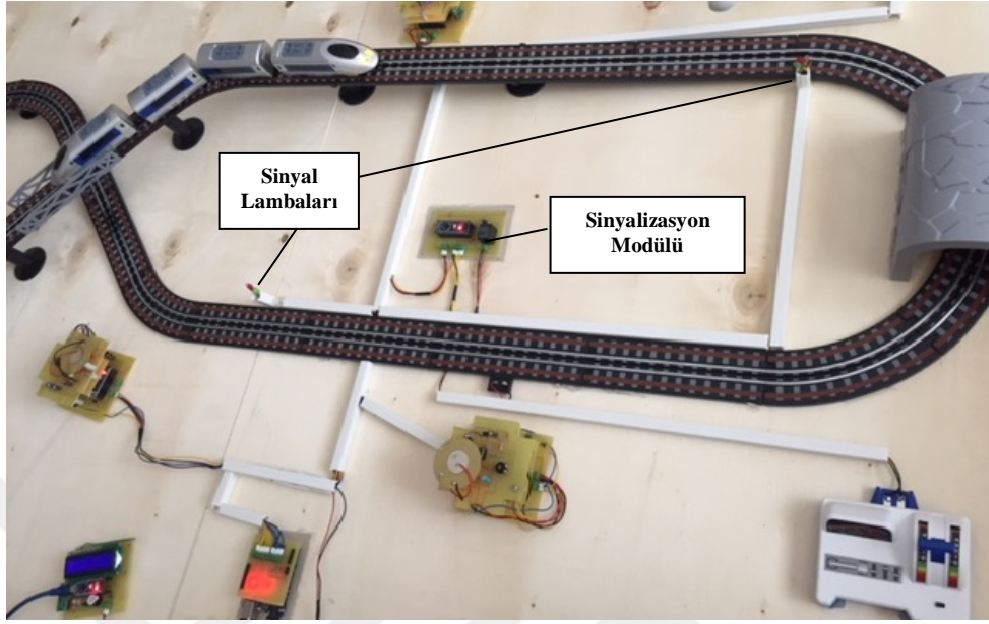


Şekil 3.28. Prototip tren elektrik enerjisi

Trenin elektrik enerjisi, Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi prototip trenin altında bulunan fırçalar yardımıyla raylarda bulunan iletken metallere sağlanmaktadır. İletken metallere elektrik enerjisi plaka üzerine yerleştirilen enerji kaynağından sağlanmaktadır.

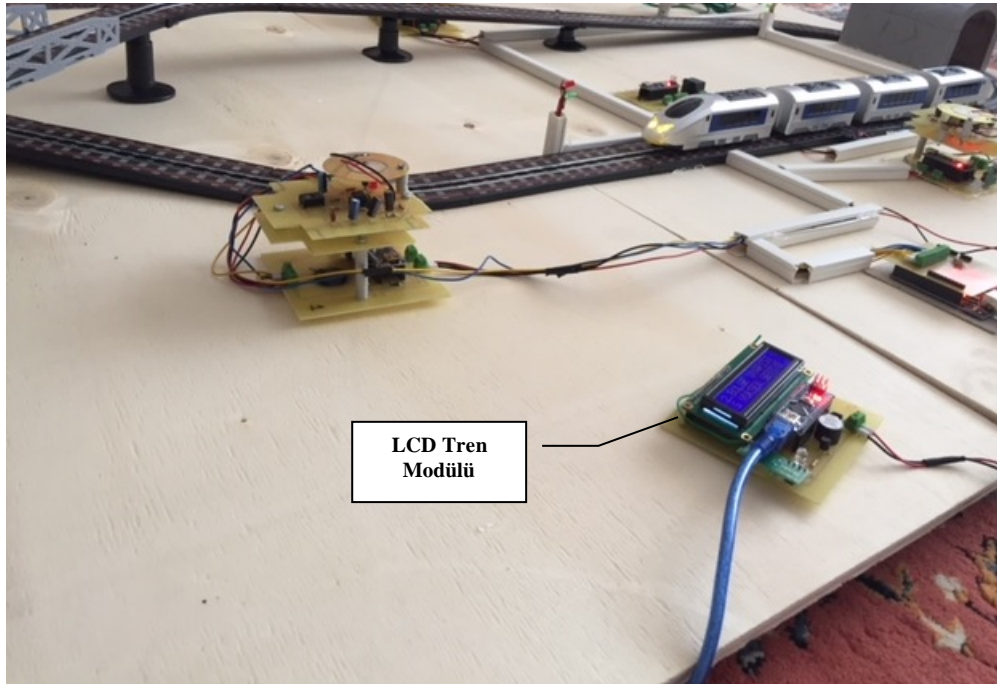
Tren hareket ettiğinde plaka üzerinde yer alan piezoelektrik sensörler tek tek manuel olarak titreştirildiğinde bilgisayar arayüz ekranında bölgesine bağlı olarak P dalgası düşük seviye uyarısı verilmektedir. Her iki piezoelektrik sensör aynı anda titreştirildiğinde ekranda yine bölgelerine bağlı olarak iki bölge için P dalgası düşük seviye uyarısı verilmektedir. Ancak üç sensörde aynı anda titreştirildiğinde ve ayarlanan eşik seviyesini geçtiğinde Tüm Bölge P dalgası uyarısı vererek arayüz programındaki normal olan uyarı yazısı Deprem uyarısına dönüşmektedir. Üç sensöründe aynı anda devreye girip eşik değerini geçmesiyle yeşil yanan sinyal ışığı kırmızıya dönüşerek trenin kontrollü olarak yavaşlaması sağlanmaktadır. Şekil 3.29.'da yer alan sinyalizasyon sistemi ile yavaşlayan trenin elektrik enerjisi de herhangi bir elektrik kaçağına karşı otomatik olarak kesilmektedir. Ayrıca her eğim sensörleri, prototip trenin bulunduğu plakanın altına yerleştirilen tekerler vasıtasıyla manuel olarak belirli açılarda

hareket ettirildiğinde bilgisayar arayüz programındaki normal olan uyarı yazısı yer kayma uyarısına dönüşerek trenin kontrollü olarak durması sağlanmaktadır.



Şekil 3.29. Prototip tren Sinyalizasyon sistemi

Ayrıca tüm bölgelerden aynı anda yer kayma uyarısı geldiğinde bilgisayar ekranında tüm bölgelerde yer kayma uyarısı verilerek trenin durması sağlanmaktadır.

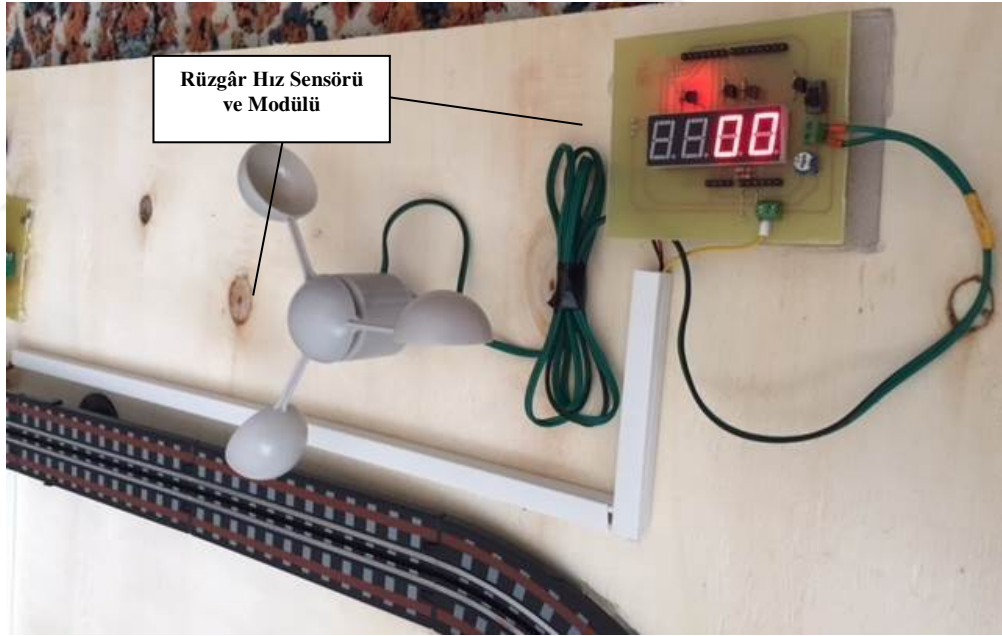


Şekil 3.30. Makinist LCD Tren modül ekranı

Şekil 3.30.'da yer alan plaka üzerine yerleştirilen LCD tren modülü, piezoelektrik, eğim ve rüzgâr sensör modüllerinden RF vericileri yardımıyla gönderilen veriler doğrultusunda Şekil 3.31.'de görüldüğü gibi bölgesel olarak makinist ekranına deprem durum bilgisi ve yer kayma durum bilgisi aktarılmaktadır.



Şekil 3.31. Makinist LCD ekranı



Şekil 3.32. Rüzgâr sensörü ve modülü

Rüzgâr hız sensöründen gelen rüzgâr hızı modül üzerinde bulunan ve Şekil 3.32.'de yer alan display ekranında anlık olarak görülebilmektedir. Rüzgâr hızı belirlenen rüzgâr eşik değerini geçerse bilgisayar ekranında normal hız uyarı yazısı yüksek hız uyarısına dönüşmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Dünyada ve Türkiye’de örnekleri incelenen Demiryolu Deprem Erken Uyarı sistemlerinde, deprem anında trafo merkezlerinden yüksek hızlı trenlerin enerjisi kesilerek sistemi koruma moduna almakta ve durmaları sağlanmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, sinyalizasyon sistemi yardımıyla trenlerin kontrollü olarak yavaşlatılıp daha sonra elektrik enerjisinin kesilmesi incelenmiştir. Deprem erken uyarının uygulanabilmesi için öncelikle belirli aralıklarla üç ayrı noktaya piezoelektrik sismik sensör ve eğim sensörü yerleştirilmiştir. Her bir sensörün bağlı olduğu modüller kablo aracılığıyla ana kumanda merkezindeki modüle bilgi akışı sağlamaktadır. Ayrıca her bir sensör modülü RF yardımıyla tren içerisinde bulunan makinist ekranına da bilgi aktarımı yapmaktadır. Farklı noktalarda bulunan sensörlerden alınan veriler kumanda merkezindeki modül aracılığıyla sürekli denetlenerek sensörlerden gelen verileri oluşturulan arayüz ekranına aktarmaktadır. Üç sismik sensörden de gelen veri ayarlanan eşik seviyesini geçtiğinde kontrol merkezindeki arayüz ekranında ve makinist ekranında uyarı vererek sinyal sisteminin devreye girmesini sağlamaktadır. Ayrıca sisteme entegre edilen rüzgar hız sensörü de oluşacak herhangi bir olumsuz hava koşulunda kablo yardımıyla kumanda merkezine veri aktarımı yaparak arayüz ekranında uyarı verilmesini sağlamaktadır. Verilen uyarıya göre kumanda merkezi makinistle iletişime geçerek hız sınırını düşürmesini sağlamaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, dünyada ve Türkiye’de yapılan uygulamalardan farklı olarak deprem erken uyarı sistemleri, yüksek hızlı trenlerin sinyalizasyon sistemini kullanmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri vasıtasıyla trenin acil fren durumuna geçmeden kontrollü olarak yavaşlatılıp durdurulması sağlanarak elektrik enerjisi kesilmektedir. Bu durum trenlerin yoldan çıkmasının ve tren tekerleğinin bir bölgesinde düzleşme olarak hasar görmesinin önüne geçerek olası can kayıplarını engellemiş olacaktır.

6.2 Öneriler

Deprem Erken Uyarı Sistemi ile yapılan uygulamalar her geçen gün artmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan materyal ve metot değiştirilerek yeni bir deprem erken uyarı sistemi geliştirilebilir.

Sensörlerin birbirleriyle haberleşmesi sağlanarak belirli zaman aralıklarında birbirlerini doğruluk kontrolü yaparak kumanda merkezine aktarabilirler.

Arayüz programı geliştirilerek belirli aralıklarla sensörlerden gelen verileri eşik seviye grafikleriyle karşılaştırılması sağlanabilir.

Yüksek Hızlı Tren hatlarında uygulanan bu sistem mevcut konvansiyonel hatlarda da uygulanabilir.

Deprem erken uyarının Kandilli rasathanesi ile haberleşmesi sağlanarak mevcut sismik sensörlerle anlık karşılaştırmalar yapılabilir.

Deprem erken uyarı ile tren içerisindeki yolculara toplu SMS atılması sağlanabilir.

Rüzgâr hız ölçümü geliştirilerek kumanda merkezinden önce makinistin uyarılması sağlanarak trenin hızına müdahale etmesi sağlanabilir.

Kullanılacak olan eşik seviyelerinin tespitinde bölgenin tektonik yapısı ve muhtemel deprem şekillerine göre bilimsel deneyler yapılarak hareket edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akdağ, S. E., 2002. Mali Yapı ve Denetim Boyutlarıyla Afet Yönetimi, Sayıştay Başkanlığı, Ankara.
- Alcık, H., Ozel, O., Apaydın, N. and Erdik, M., 2009. A study on warning algorithms for Istanbul earthquake early warning system, *Geophysical Research Letters* 36, L00B05.
- Alçık, H. A., 2011. Deprem Erken Uyarı Sistemleri, *Türkiye Jeofizik Bülteni*, Vol.68, 50-66
- Allen, R.M., Kanamori, H., 2003. The potential for earthquake early warning in southern California, *Science* 300, 786-789.
- Allen, R.M., Gasparini, P., Kamigaichi, O., Böse, M., 2009. The Status of Earthquake Early Warning around the World: An Introductory Overview, *Seismological Research Letters* 80(5), 682-693.
- Ashiya, K., 2004. Earthquake alarm systems in Japan railways, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, 43, 112-117.
- Bakun, W.H., Fischer, E.G., Jensen, E.G., Van- Schaack, J., 1994. Early warning system for aftershocks, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 359-365
- Bayülke, N., 1978. Depremler ve Depreme Dayanıklı Yapılar. Ankara: T.C İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü
- Böbrek, A., Kırbaş, İ., Güngör, T., 2015. Mikrodenetleyici tabanlı P dalgası esaslı deprem erken uyarı sisteminin geliştirmesi, *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, Burdur-2015, 94-103.
- Böse M, Hauksson E, Solanki K, Kanamori H, Wu YM, Heaton TH., 2009. A new trigger criterion for improved real-time performance of onsite earthquake early warning in Southern California. *Bull Seismol Soc Am* 2009;99(2A):897-905.
- Clark, S. P. Jr., 1971. *Structure of the Earth*, Prentice-Hall, p88.
- Cooper, J.D., 1868. Earthquake indicator, *San Francisco Bulletin*, November 3.
- Durak M., Özer S., 2008. Rüzgâr enerjisi: teori ve uygulama, *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını*, 543s. Ankara.
- Doi K., 2011. The operation and performance of Earthquake Early Warnings by the Japan Meteorological Agency, *Soil Dyn.Earth.Eng.*, 31, 119-126 doi:10.1016/j.soildyn.2010.04.012.

- Erdik, M., Fahjan, Y., Ozel, O., Alcik, H., Mert, A. and Gul, M., 2003. Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System, *Bulletin of Earthquake Engineering* 1, 157-163.
- Espinosa-Aranda J. M., Jimenez, A., Contreras, O., Ibarrola, G. and Ortega, R., 1992. Mexico City Seismic Alert System, *International Symposium on Earthquake Disaster Prevention, Proceedings CENAPRED-JICA, Vol. I*, pag. 315-324, Mexico.
- Espinosa-Aranda J.M., Jimenez A., Ibarrola G., Alcantar F., Aguilar A., Inostroza M., Maldonado S., 1995. Mexico City Seismic Alert System. *Seismological Research Letters*, 66: 42-52.
- Espinosa-Aranda J.M., Cuellar A., Rodriguez F.H., Frontana B., Ibarrola G., Isals R., Garcia A., 2011. The seismic alert System of Mexico (SASMEX): Progress and its current applications, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 31, Issue 2 Pages 154-162.
- Goltz, J. D. and Flores, P. J., 1997. Real-Time Earthquake Early Warning and Public Policy: A Report on Mexico City's Sistema de Alerta Sismica, *Seismological Research Letters*, Vol. 68 Num. 5 September-October.
- Heaton, T.H., 1985. A model for a seismic computerized alert network, *Science*, 228, 987-990.
- Hoshiba M., Kamigaichi O., Saito M., Tsukada S., Hamada N., 2008. Earthquake early warning starts nationwide in Japan. *EOS*, 89, 73-80.
- Hsiao NC, Wu YM, Shin TC, Teng TL., 2009. Development of earthquake early warning system in Taiwan. *Geophys Res Lett* 2009:36. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036596>.
- Iervolino I, Giorgio M, Galasso C, Manfredi G., 2009. Uncertainty in early warning predictions of engineering ground motion parameters: what really matters?. *Geophys Res Lett* 2009:36. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036644>.
- Iglesias, A., Singh, S.K., Ordaz, M., Santoyo, M.A. and Pacheco, J., 2007. The seismic alert system for Mexico City: an evaluation of its performance and a strategy for its improvement, *Bulletin of the Seismological Society of America* 97(5), 1718-1729.
- Kamigaichi, O., 2004. JMA-Earthquake Early Warning, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering* 4(3), 134-137.
- Kamigaichi O., Saito M., Doi K., Matsumori T., Takeda K., Shimoyama T., Nakamura K., Kiyokoto M., Watanabe Y., 2009. Earthquake early warning in Japan: warning the general public and future prospects, *Seismological Research Letters*, 80: 717-726.

- Kanamori H., 2003. Earthquake Prediction: An Overview, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Vol. 81B Int'l. Assoc. Seismol. & Phys. Earth's Interior, Committee on Education.
- Küyük, H. S., Motosaka, M., 2008. Available warning time for emergency response in Sendai City, Japan against Miyagi-Oki subduction earthquakes based on national and regional earthquake early warning system, China. 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Küyük, H. S., Yaman, Z.D., 2015. Eşik Seviyesine Bağlı Prototip Bir Deprem Erken Uyarı Sistemi. 8th Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.
- Lin, C. J., Lin P., Chang, T., Lin, T., Weng Y., Chang, K., Tsai, K., 2012. Development of On-Site Earthquake Early Warning System for Taiwan Earthquake Research and Analysis, 329-358.
- Nagaoa, T., Enomotob, Y., Fujinawac, Y., Hatad, M., Hayakawae, M., Huang, Q., Izutsuf, J., Kushidag, Y., Maedah, K., Oikef, K., Uyedaa, S., Yoshino1, T., 2002. "Electromagnetic Anomalies Associated With 1995 Kobe Earthquake", Journal Of Geodynamics 33 (2002) 401-411
- Nakamura, Y., 1988. "On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS)." Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Japan, Vol. VII, 673-678.
- Özey, R., (2006). Afetler Coğrafyası. İstanbul: Aktif Yayınevi
- Peng, H., Wu, Z., Wu, Y.M., Yu, S., Zhang, D. and Huang, W. 2011. Developing a prototype earthquake early warning system in the Beijing Capital Region, Seismological Research Letters, 82, 394-403.
- Saita, J., Sato, T. and Nakamura, Y., 2008. What is the useful application of the earthquake early warning system?, 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China.
- Satriano, C., Elia, L., Martino, C., Lancieri, M., Zollo, A. and Iannaccone, G. 2011. PRESTo, the earthquake early warning system for Southern Italy: Concepts, capabilities and future perspectives, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 31, 137-153.
- Şahin, C., Sipahioğlu, Ş., 2003. Doğal Afetler ve Türkiye. (2.Baskı) Ankara: Gündüz Yayıncılık.
- Şengün, H., 2007. Afet Yönetimi Sistemi ve Marmara Depremi Sonrasında Yaşanan Sorunlar, Ankara, 2007, s. 20
- Talimatlar, 2016. E.561154 sayılı talimat, Trafik Mevzuatı Şube Müdürlüğü, TCDD Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Taymaz, M., 2001. "Doğal Afet Zarlarını Azaltma Çalışmaları", Afet ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü, S.2, 2001, s.4.
- Thomas R. N. Jansson, "Receiver function modeling Modeling local subsurface velocity structures using multiple diverse algorithms" Niels Bohr Institute, University of Copenhagen. Master thesis in geophysics 2008, December 15, 2008
- URL-1, 2018. Arduino Donanım Özellikleri. [Online], <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-2, 2018. Arduino Donanım Özellikleri. [Online], <https://store.arduino.cc/arduino-nano> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-3, 2018. Piezoelektrik Sensör Donanım Özellikleri. [Online], http://www.farnell.com/datasheets/1838544.pdf?_ga=2.53214241.827954757.1530101483-2004518544.1528706685 [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-4, 2018. RF Alıcı-Verici Özellikleri. [Online], http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz_RF-TX&RX.pdf [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-5, 2017. Eğim (Tilt) Sensör Özellikleri [Online], <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/tilt-sensor.pdf> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-6, 2018. Eğim (Tilt) Sensör Özellikleri [Online], https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Tilt%20Sensor%20Datasheet.pdf [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-7, 2005. LM358 Özellikleri [Online], <https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2008/11/lm358.pdf> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-8, 2008. 2x16 Display Özellikleri [Online], <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-9, 2007, 7 Segment Display Özellikleri [Online], <http://docs-urop.electrocomponents.com/webdocs/12fb/0900766b812fb993.pdf> [Ziyaret Tarihi: 27.06.2018]
- URL-10, AFAD, 2018. Doğal Afetler [Online], T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, <http://www.icisleriafad.gov.tr/dogal-afet-nedir-ve-afetlerin-ozellikleri> [Ziyaret Tarihi: 10.07.2018]
- URL-11, AFAD, 2018. Doğal Afetler [Online], T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, (<http://www.icisleriafad.gov.tr/lkemizin-deprem-riski-haritasi>) [Ziyaret Tarihi: 10.07.2018]

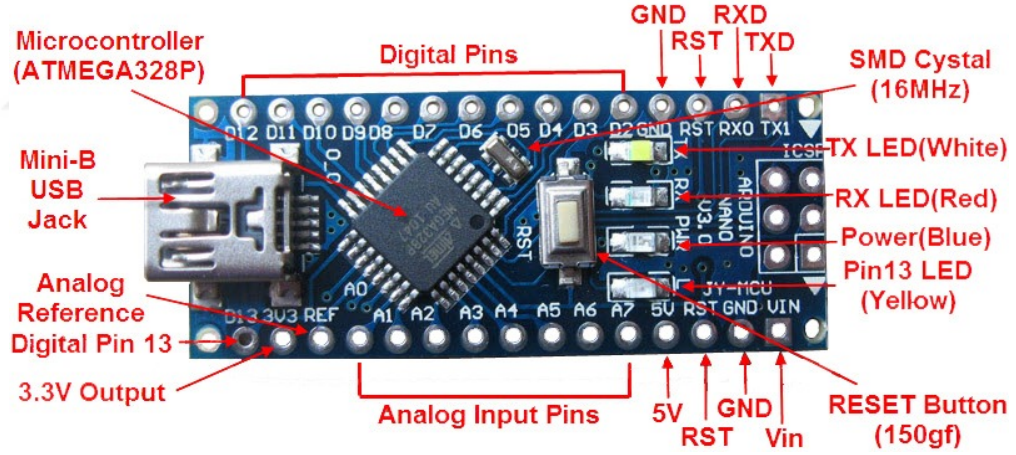
- URL-12, AFAD, 2018. Doğal Afetler [Online], T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, (<http://www.icisleriafad.gov.tr/tsunami>) [Ziyaret Tarihi: 10.07.2018]
- URL-13, AFAD, 2018. Doğal Afetler [Online], T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, <http://www.icisleriafad.gov.tr/dprem-nedir> [Ziyaret Tarihi: 10.07.2018]
- URL-14, Berkeley, Seismological Laboratory Department, <http://rallen.berkeley.edu/research/eew/elarms.php> [Ziyaret Tarihi: 12.07.2018]
- URL-15, AFAD, 2018. Doğal Afetler [Online], T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, <https://afadem.afad.gov.tr/tr/3856/Afetlere-Karsi-Alinacak-Onlemler> [Ziyaret Tarihi: 10.07.2018]
- Wang JP, Wu YM, Lin TL, Brant L., 2012. The uncertainties of a Pd3-PGV onsite earthquake early warning system. *Soil Dyn Earthq Eng* 2012;36:32–7.
- Wang JP, Huang D, Chang SC, Brant L., 2013. On-site earthquake early warning with multiple regression analysis: featuring two user-friendly applications for Excel. *Comput Geos* 2013;58:1–7.
- Wenzel, F., Baur, M., Fiedrich, F., Ionescu, C. and Oncescu, M.C., 2001. Potential of earthquake early warning systems, *Natural Hazards* 23, 407-416.
- Wu YM., Teng TL., 2002. A VSN approach to earthquake early warning. *Bull. Seism. Soc.Am.*,92,2008-18.
- Wu, Y.M. and Kanamori, H., 2005. Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system, *Bulletin of the Seismological Society of America* 95(1), 347-353.
- Wu, Yih-Min. and Kanamori, H., 2008. Development of an earthquake early warning system using realtime strong motion signals. *Sensors*, Vol.8, 1-9.
- Wurman, G., Allen, R.M. and Lombard, P., 2007. Toward earthquake early warning in northern California, *Journal of Geophysical Research* 112, B08311.
- Yavuz, F., Geray, C., Keleş, R., 1978. *Şehircilik, “Toplum Olaylarını etkileyen Yıkım (Afet) Olayları”*, Ankara, 1978, s.2.
- Zollo, A., Iannaccone, G., Lancieri, M., Cantore, L., Convertito, V., Emolo, A., Festa, G., Gallovic, F., Vassallo, M., Martino, C., Satriano, C. and Gasparini, P., 2009. Earthquake early warning system in southern Italy: Methodologies and performance evaluation, *Geophysical Research Letters* 36, L00B07.

EKLER

EK-1 Arduino NANO Modülü

Teknik Özellikler:

- Mikrodenetleyeci: ATmega328,
- Çalışma Gerilimi: 5V,
- Giriş Gerilimi (Önerilen): 7V - 12V,
- Dijital I/O Pinleri: 14 (6 tanesi PWM çıkışı),
- Analog Giriş Pinleri: 8,
- Her I/O için Akım: 40mA,
- Flash Hafıza: 32KB(2KB bootloader tarafından kullanılmaktadır.),
- SRAM: 1 KB,
- Çalışma Frekansı: 16 MHz, (URL-2, 2018).



Arduino NANO modülü

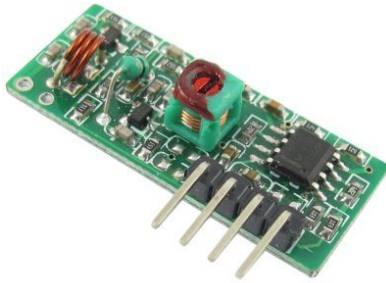
EK-2 FS1000A 433MHZ RF Alıcı-Verici

Alıcının Özellikleri:

- Çalışma Gerilimi: DC5V,
- Çalışma Akımı: 4mA,
- Çalışma sıcaklığı: -20°C ~ +70°C,
- Frekans: 433.92MHz,
- Hassasiyet: -103dBm,
- Anten: 32cm tek çekirdekli tel, helezon şeklinde,
- Modülasyon metodu: Genlik modülasyonu (ASK or OOK), (URL-4, 2018).

Vericinin Özellikleri:

- Gerilim: 3.5V - 12V,
- Çalışma modu: AM,
- Verici hızı: 4 KB / S,
- Verici gücü: 10mW,
- Frekans: 433M, (URL-4, 2018).



RF alıcı

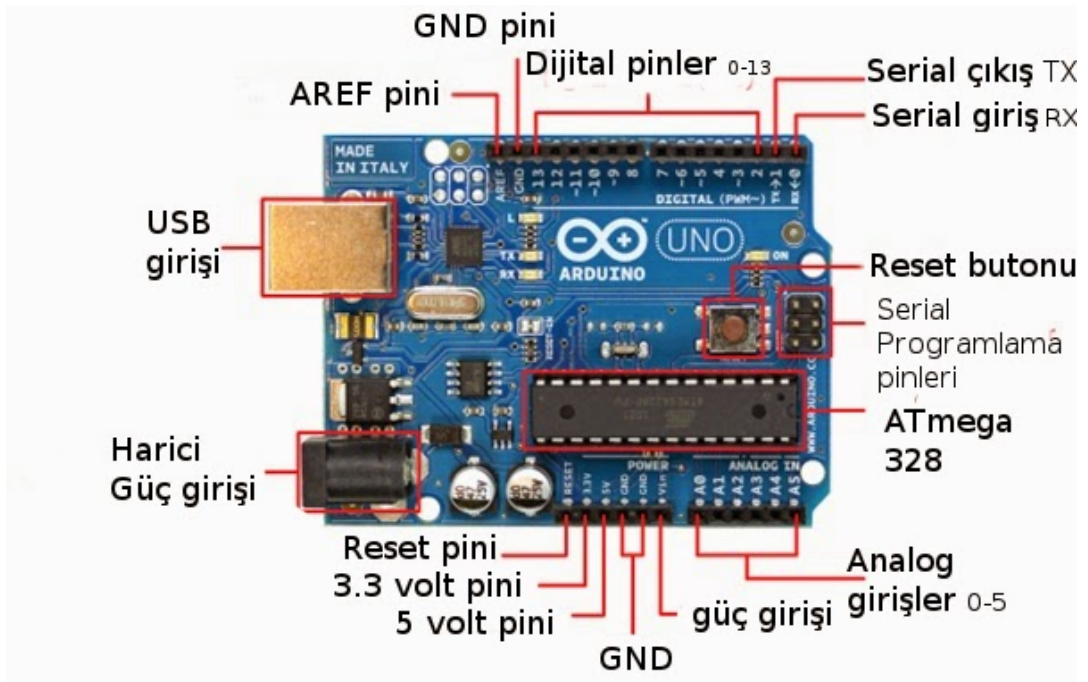


RF verici

EK-3 Arduino UNO Modülü

Teknik Özellikler:

- Mikrodenetleyici: ATmega328,
- Çalışma Gerilimi: 5V,
- Giriş Gerilimi (Önerilen): 7V - 12V,
- Giriş Gerilimi (Limit): 6V- 20V,
- Dijital I/O Pinleri: 14 (6 tanesi PWM çıkışı),
- Analog Giriş Pinleri: 6,
- Her I/O için Akım: 40mA,
- 3.3V Çıkış için Akım: 50mA,
- Flash Hafıza: 32 KB (ATmega328) 0.5KB kadarı bootloader,
- SRAM: 2 KB (ATmega328),
- EEPROM: 1 KB (ATmega328),
- Çalışma Frekansı: 16 MHz, (URL-1, 2018).



Arduino UNO modülü

EK-4 Arayüz Programı Kodları

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;

namespace Bluetooth_Nem
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        string[] portlar = SerialPort.GetPortNames();
        string yer kayması = "0";
        string ruzgar = "0";
        string titreme = "0";
        string titreme_bir = "0";
        string titreme_iki = "0";
        string titreme_uc = "0";
        string deprem = "0";
        DateTime zaman = DateTime.Now;
        int satir = 1;
        int satirNo = 1;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            foreach (string port in portlar)
            {
                comboBox1.Items.Add(port);
                comboBox1.SelectedIndex = 0;
            }
            comboBox2.Items.Add("4800");
        }
    }
}
```

```
        comboBox2.Items.Add("9600");
        comboBox2.SelectedIndex = 1;
        label2.Text = "Bağlantı Kapalı";
        this.chart1.Titles.Add("Deprem Grafik");
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (serialPort1.IsOpen == false)
        {
            if (comboBox1.Text == "")
                return;
            serialPort1.PortName = comboBox1.Text;
            serialPort1.BaudRate = Convert.ToInt16(comboBox2.Text);
            try
            {
                serialPort1.Open();
                label2.ForeColor = Color.Green;
                label2.Text = "Bağlantı Açık";
            }
            catch (Exception hata)
            {
                MessageBox.Show("Hata:" + hata.Message);
            }
        }
        else
        {
            label2.ForeColor = Color.Blue;
            label2.Text = "Bağlantı Kuruldu";
        }
    }

    private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        timer1.Stop();
        if (serialPort1.IsOpen == true)
        {
            serialPort1.Close();
            label2.ForeColor = Color.Red;
            label2.Text = "Bağlantı Kapalı";
        }
    }

    private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
```

```

{
    timer1.Enabled = true;
    timer1.Start();
}

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{

    serialPort1.DiscardInBuffer();

    string sonuc = serialPort1.ReadLine();
    string[] gelen = sonuc.Split('*');
    titreme = gelen[0];
    yer kaymasi = gelen[1];
    ruzgar = gelen[2];
    titreme_bir = gelen[3];
    titreme_iki = gelen[4];
    titreme_uc = gelen[5];
    deprem = gelen[6];
    label1.Text = yer kaymasi;
    zaman = DateTime.Now;

this.chart1.Series["Veri"].Points.AddXY(zaman.ToLongTimeString(), titreme);
    satir++;
    satirNo++;
    int tit = Convert.ToInt32(titreme);
    int yer = Convert.ToInt32(yer kaymasi);
    int ruz = Convert.ToInt32(ruzgar);
    int tit_bir = Convert.ToInt32(titreme_bir);
    int tit_iki = Convert.ToInt32(titreme_iki);
    int tit_uc = Convert.ToInt32(titreme_uc);
    int dep = Convert.ToInt32(depremi);

    if (yer == 0)
    {

        label5.ForeColor = Color.Blue;
        label5.Text = "NORMAL";
    }
    if (yer == 10)
    {

```

```
        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "1. BÖLGE YER KAYMASI";
    }

    if (yer == 20)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "2. BÖLGE YER KAYMASI";
    }
    if (yer == 30)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "3. BÖLGE YER KAYMASI";
    }
    if (yer == 40)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "1 ve 2. BÖLGE YER KAYMASI";
    }
    if (yer == 50)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "1 ve 3. BÖLGE YER KAYMASI";
    }
    if (yer == 60)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "2 ve 3. BÖLGE YER KAYMASI";
    }
    if (yer == 70)
    {

        label15.ForeColor = Color.Red;
        label15.Text = "TÜM BÖLGE YER KAYMASI";
    }
}
```



```
if (dep >= 50 )
{

    label19.ForeColor = Color.Red;
    label19.Text = "DEPREM";

}
if (dep < 50)
{

    label17.ForeColor = Color.Blue;
    label17.Text = "NORMAL";

}
if (tit_uc >= 20 && tit_iki >= 20 && tit_bir >= 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "TÜM BÖLGE P DALGASI";
    label19.ForeColor = Color.Red;
    label19.Text = "DEPREM";

}

if (tit_bir >= 20 && tit_iki < 20 && tit_uc < 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "1.BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";

}

if (tit_bir >= 20 && tit_iki >= 20 && tit_uc < 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "1 ve 2. BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";

}

if (tit_bir >= 20 && tit_iki < 20 && tit_uc >= 20)
```

```
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "1 ve 3. BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";
}

if (tit_bir < 20 && tit_iki >= 20 && tit_uc >= 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "2 ve 3. BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";
}

if (tit_iki >= 20 && tit_uc < 20 && tit_bir < 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "2.BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";
}

if (tit_uc >= 20 && tit_iki < 20 && tit_bir < 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Red;
    label17.Text = "3.BÖLGE P DALGASI DEPREM";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";
}

if (tit_uc < 20 && tit_iki < 20 && tit_bir < 20)
{

    label17.ForeColor = Color.Blue;
    label17.Text = "NORMAL";
    label19.ForeColor = Color.Blue;
    label19.Text = "NORMAL";
}
```

```
    }

    if (ruz <= 50)
    {

        label3.ForeColor = Color.Blue;
        label3.Text = "NORMAL HIZ";
    }
    if (ruz > 50)
    {

        label3.ForeColor = Color.Red;
        label3.Text = "YÜKSEK HIZ";
    }

}

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    timer1.Enabled = false;
    timer1.Stop();
    satir = 1;
    satirNo = 1;
}

private void chart1_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label4_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label14_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hakan YILDIZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kadınhanı / Konya – 01.07.1985
Telefon : 555 612 22 69
Faks :
e-mail : hakanyildiz141@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Endüstri Meslek Lisesi, Selçuklu, Konya	2002
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2010
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniv., Meram, Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
06/2010-08/2011	Alfa Telekom ve Gün-Yapı İnşaat	Proje Mühendisi
08/2012-09/2014	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.	Röle Mühendisi
10/2014-.../...	TCDD Genel Müdürlüğü	Elek.-Elektro. Müh.