



## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

Oğuzhan Bozkurt<sup>1\*</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-0129-291X>,

R. Cüneyt Erenoğlu<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-8212-8379>

<sup>1,2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 17020, Çanakkale, Türkiye.

\*Sorumlu yazar: [bkurtoguzhan@gmail.com](mailto:bkurtoguzhan@gmail.com)

### Özet

Doğal afetler kendi iç dinamiklerinde değerlendirildiğinde bir döngü veya yenilenme olarak düşünülse de insanoğlu ve beşer yapılar üstünde çok büyük felaketselere yol açabilmektedir. Özellikle son yüzyılda insanoğlu doğal afetlerin önüne geçemese de insanoğlu üzerindeki etkilerini azaltmaya çalışmaktadır. Doğal afetlerden hayatımızın her alanında çokça kullandığımız mühendislik yapılarının etkilenmemesi için çaba gösterilmektedir. Özellikle deprem, heyelan gibi doğal afetlerin ardından mühendislik yapıları olan karayolu, demiryolu vb. yapıların etkilenmesi hem mal hem de can kayıplarına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, doğal afetlerin direkt sebep olduğu ya da dolaylı yoldan mühendislik yapılarını etkileyerek meydana gelecek kazaların önüne geçilebilmesi için nesnelerin interneti, bulut bilişimi kullanılarak bir erken uyarı sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem sürekli mesafe ölçmeleri yardımı ile söz konusu mühendislik yapısı olan demiryolunda sürekli üst yapı takibi ile üst yapının deformasyonunu ve kaymaları tespit edebilmek için tasarlanmıştır.

Tasarlanan erken uyarı sistemi nesnelerin interneti olarak Arduino ve bulut bilişimi olarak Google Drive teknolojisini kullanmaktadır. Yaptığı tekrarlı mesafe ölçmelerini kablosuz ağ aracılığı ile Google Bulut sistemine aktarabilmektedir. Tam otomatik olarak veri toplama, depolama ve analiz gerçekleştirebilen sistem, gelecekte tüm çalışmalara baz oluşturacağı gibi birçok mühendislik yapısında erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolları, Erken Uyarı Sistem, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişimi.

### Early Warning System Design with an Earth Science Based Interdisciplinary Approach for the Effects of Natural Disasters on Engineering Structures

#### Abstract

Although natural disasters are considered as a cycle or regeneration when evaluated in their own internal dynamics, they can cause great disasters on human beings and human structures. Especially in the last century, although human beings cannot prevent natural disasters, they try to reduce their effects on human beings. In addition, it strives not to affect the engineering structures that we use a lot in all areas of our lives from natural disasters. Especially after natural disasters such as earthquakes and landslides, both property and life losses are experienced as a result of to be affected of highway, bridge, railway and similar engineering structures.

In this study, an early warning system has been designed by using the internet of things, cloud computing in order to prevent accidents that will occur directly by natural disasters or indirectly by affecting engineering structures. This designed system detect the deformation and slippage of the superstructure by continuous superstructure monitoring on the railway, which is the engineering structure, with the help of continuous distance measurements.

The designed early warning system uses Google Drive technology as the internet of things, as the Arduino sensors and cloud computing. It can transfer the repeated distance measurements it makes to the Google Cloud system via wireless network. The system that can perform data collection, storage and analysis automatically. It can be used as an early warning system in many areas as it will serve as a basis for all future studies.

**Keywords:** Railways, Early Warning System, IoT, Cloud Computing

## Giriş

Teknolojinin hızlı gelişimi sayesinde eskiden mümkün olmayan birçok şey artık mümkün hale gelmektedir. Özellikle veri toplama, depolama ve analiz işlemleri artık çok daha kolay şekilde daha az maliyetle gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle yoğun saha çalışmaları içeren mühendislik disiplinlerinde veri toplama, depolama ve analiz için gereken maliyet ve zaman bu yeni gelişen teknolojik yöntemlerle birlikte ortadan kalkmaktadır. Nesnelerin interneti ve bulut bilişimi sayesinde veri aşamaları çok daha kolay şekillerde gerçekleştirilebiliyor. Nesnelerin interneti ile kısaca fiziksel sensörler kullanılarak elde edilen verilerin farklı veri iletişim protokolleri ile başka bir yere aktarılması ve bulut bilişimi sayesinde de elde edilen bu verilerin fiziksel bir depolama kaynağı olmadan depolanabilmesi mümkündür.

Sadeeq ve ark. (2021) konuyla ilgili düşüncelerini şöyle ifade etmektedir: “Son yıllarda nesnelerin interneti hem akademi hem de ticari şirketlerin ilgisini çekti. Artık hayatımızın önemli bir bileşeni. Dünyamızdaki hemen hemen her şeyi diğer her şeye bağlama potansiyeline sahiptir”. Nesnelerin interneti ve bulut bilişimi sayesinde bugün birçok alanda uzaktan veri toplama, uzaktan izleme, erken uyarı sistemleri gibi çalışmalar başarıyla gerçekleştirilebilmektedir. Nesnelerin internetinin ve bulut bilişiminin kullanıldığı farklı alanlardaki çalışmalar incelendiğinde;

Tarım uygulamalarında özellikle birkaç çalışma dikkat çekmektedir. Dobrescu ve ark. (2019) çalışmalarında nesnelerin interneti kullanılarak bir sulama sisteminin kontrol edilebilmesi. Mekala ve ark. (2017) çalışmalarında nesnelerin interneti kullanılarak tarım ürünlerindeki verimliliği artırılması. Patil ve ark. (2012) nesnelerin interneti ve bulut bilişimi kullanılarak tarımsal üretimin daha hızlı süreçler ile üreticiden direkt tüketiciye daha düşük maliyetlerle ulaştırılması. Khattab ve ark. (2016) farklı hassas tarım uygulamaları için gereken çevresel verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi ve görselleştirilmesini mümkün kılması. Nesnelerin interneti ve bulut bilişimi kullanılarak tarımsal uygulamalarda başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

Nesnelerin interneti tarım uygulamaları ile beraber otomasyon sistemleri, akıllı ulaşım gibi uygulamalarda da kullanılabilir. Liu ve ark. (2013) düşüncelerine göre “Nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanmasıyla, demiryolu gerçek zamanlı ulaşım bilgisi algısı, iletimi ve paylaşımı elde edebilir, demiryolu iş sürecinin akıllı kontrolünü gerçekleştirebilir, otomatik demiryolu taşımacılığı organizasyonu, akıllı sevk komutanlığı, kapasite kaynağı işbirliği, dijital yolcu taşımacılığı yönetimi, nesnelerin interneti yük yönetimi, entegre güvenlik yönetimi, yakın bölge bilgi kontrolü ve nihayetinde demiryolu akıllı ve verimli yönetim ve hizmetini gerçekleştirir”. Bununla beraber birçok alanda daha nesnelerin interneti ve bulut bilişimi hızla hayatımıza dahil olmakta ve bu uygulamalarla başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Nesnelerin interneti ve bulut bilişimi farklı mühendislik uygulamaları içinde kullanılabilir. Birden fazla saha çalışmasına gerek duyulmadan daha düşük maliyetlerle sürekli izleme veri depolama ve analiz işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Örnek olarak doğal afetlerin izlenmesinde kullanılabilen nesnelerin interneti ve bulut bilişimi ilgili çalışmalarda örnek olarak birkaç çalışma incelendiğinde;

Wang ve ark. (2021) nesnelerin interneti kullanarak tayfun olayının gelecekteki erken uyarısı için kullanılabilir, dikkat mekanizmasına ve tayfun tespiti için hızlı Bölgeye Dayalı Evrişimli Sınır Ağları'na (R-CNN) dayalı bir nesne algılama çerçevesi tasarlamıştır. Deneysel sonuçlar, algoritmanın tanıma doğruluğu açısından geleneksel yöntemlerden daha iyi olduğunu göstermektedir. Simatupang ve Naufal (2019) nesnelerin interneti kullanarak sel erken uyarı tespit sistemi için bir uygulama açıklamıştır. Amelia ve ark. (2021) volkanik aktiviteyi izlemek için kullanılacak bir sistem oluşturmuştur. Sensörler tepe ayaklarına yerleştirilerek sensörler tarafından toplanan veriler iletilecek. Nesnelerin interneti sistemi, bu sayede gerçek zamanlı uzaktan ölçüm sistemi haline gelmektedir. Sofwan ve ark. (2017) tarafından nesnelerin interneti kullanarak heyelan felaketine neden olan birçok fiziksel parametreyi ölçebilen bir kablosuz sensör ağı başarıyla geliştirilmiştir.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında nesnelerin internet ve bulut bilişiminin farklı çalışma alanlarındaki başarısı görülmekle beraber insanoğlunun erken uyarı sistemlerine ihtiyacı ciddi manada önemsenmektedir. Glade ve Nadim (2014) bu konunun önemini şu şekilde belirtmektedir; “Doğal

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

tehlikeler toplum için artan bir tehdit oluşturmaktadır. Süreçlerin büyüklüğü ve sıklığı değişir ve maruziyetler, geniş alanlarda kısa süreler içinde değiştirilir. Artan bilgimize rağmen, doğal tehlikelerden kaynaklanan hasar ücretleri arttığı görülmektedir. Bu nedenle afet risklerini azaltmak için kapsamlı bir risk yönetimi stratejisine ihtiyaç vardır. Afet risklerinin sürdürülebilir yönetimi kapsamında, bir erken uyarı sisteminin kurulması genellikle uygun maliyetli bir risk azaltma önlemdir ve bazı durumlarda tek uygun seçenektir”.

Doğal tehlikelerin önüne geçilebilmek için tasarlanan erken uyarı sistemleri için afet türüne göre belirlenenlerde özellikle heyelan afeti için tasarlanan erken uyarı sistemleri önem arz etmektedir. Dinamikleri itibariyle heyelan afeti diğer afetlere nazaran hasar durumu ve kazazede sayısı bakımından daha üst sıralarda yer almaktadır. Devi ve ark. (2014) düşüncelerine göre “Heyelanlar gibi doğal tehlikeler insanların kontrolü dışındadır, ancak meydana gelme zamanları önceden bilinirse kaynakların yok olması ve kaybı en aza indirilebilir. Dünya çapında sayısız araştırmacı, bu tür tehlikeler için erken göstergeler geliştirmek için çok çabalamaktadır”.

Heyelan takibi için genellikle dünya genelinde en çok güvenilen yöntemlerden biri olan GPS/GNSS yöntemi kullanılmaktadır. Fakat Macciotta ve ark. (2016) bu konuda yaptıkları çalışmaların da GPS'in bazı dönemlerde veri kaybı yaşaması, yıllık yer değiştirme döngüsünün tespiti için tutarlı ölçümler ile heyelanın uzun vadeli davranışını ve kısa sürelerde aşırı yer değiştirmeleri izlemek için yeterli olduğuna fakat kısa dönem aşırı olmayan hareketlerin gözlenmesinde yeterli olmadığına karar verilmiştir. Değinen çalışmada da bahsedilen anlık bilgi kaybı kimi zaman büyük kazaların önüne geçmede önemli bir eksiklik oluşturmaktadır. Anlık bilgi kaybı nedeniyle anlık olaylara müdahale mekanizması zafiyete uğramakta ve anlık müdahale kaybı kazalara sebep olabilmektedir.

Gan ve Jin (2018) çalışmaların da heyelan izleme teknolojisinin eksikliği ve kablosuz sensör ağlarının araştırılması ve geliştirilmesi nedeniyle, heyelan izleme ve kablosuz sensör ağına dayalı erken uyarı yöntemi önerilmektedir. Özellikle heyelan takibinde erken uyarı yöntemi olarak nesnelere interneti ve bulut bilişimi gelecek çalışmalar için başarı sağlayabilir. Suleman ve ark.(2016) çalışmalarında kullandıkları heyelan tabanlı mikro denetleyici ile tasarlanan erken uyarı sistemi kullanılan ultrasonik sensör tasarımı ve testinin sonuçlarına dayanarak şu sonuca varılabilir: birincisi, ultrasonik sensörlerin tasarımının sonucu ve ikincil, ortalamanın test sonuçları ivmeölçer sensör okumalarında hata yüzdesi (hata) % 1 ile % 3.84 arasında değişmiştir ve ultrasonik sensördeki hataların yüzdesi hala % 5'in altındadır. Bu düşük hata payı ile Arduino sensörlerin erken uyarı sistemlerinde kullanılmasının başarı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın konusu olan afetlerin mühendislik yapılarına etkileri düşünüldüğünde birçok doğal afetin bir mühendislik yapısı olan demiryollarına etkileri göze çarpmaktadır. Özellikle demiryolları ile ilgili çalışmalar incelendiğinde;

Demiryollarında bu teknolojik gelişmelerin önemini Fraga-Lamas ve ark. (2017) şu düşünceleri ile belirtmektedir; “Demiryolu endüstrisinin geleceğinin, yaşam döngüsü maliyetini düşürmek için büyük bir demiryolu ağı altyapısı üzerinden teknolojilerden yararlanan akıllı ulaşım sistemlerine güvenmesi beklenmektedir. Entegre güvenlik, varlık yönetimi ve tahmini bakım gibi yeni hizmetlerin, güvenlik, zamanlama ve sistem kapasitesi gibi konularda zamanında karar almayı iyileştirmesi beklenmektedir”. Anında müdahale ve güvenlik konularına öncelik verilmiş ve gelecek vizyon belirlemede bu konular önde tutulmaktadır.

Anında müdahale ve güvenlik konularında afet kavramı değerlendirildiğinde dünya literatürü incelendiğinde özellikle deprem konusu göze çarpmaktadır. Odaka ve ark. (2006) çalışmalarında yeni bir bağımsız sismografik sistem geliştirerek depremi tespit edebilmekte ve sistem depremden hemen sonra bir uyarı vermektedir. Sistemde kullanılan yeni algoritma zamanla depreme olan mesafeyi belirler ve ardından büyüklüğü hesaplar. Ye ve Guo (2011) çalışmalarında sentetik sismik veriler, test alanındaki herhangi bir noktada oluşturulabilir. Farklı sensör yerleştirme senaryolarının performansı analiz edilebilir ve karşılaştırılabilir. Erken uyarı aşamasında, deprem parametreleri bir sinir ağı algoritması kullanılarak hızlı ve doğru bir şekilde hesaplanır. Öngörülen yer ivmeleri, bir uyarı haritası şeklinde görüntülenir. Olayın hemen ardından ölçülen yer ivmeleri demiryolu altyapı verileriyle birleştirilerek sarsıntı haritası şeklinde görselleştirilir.

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

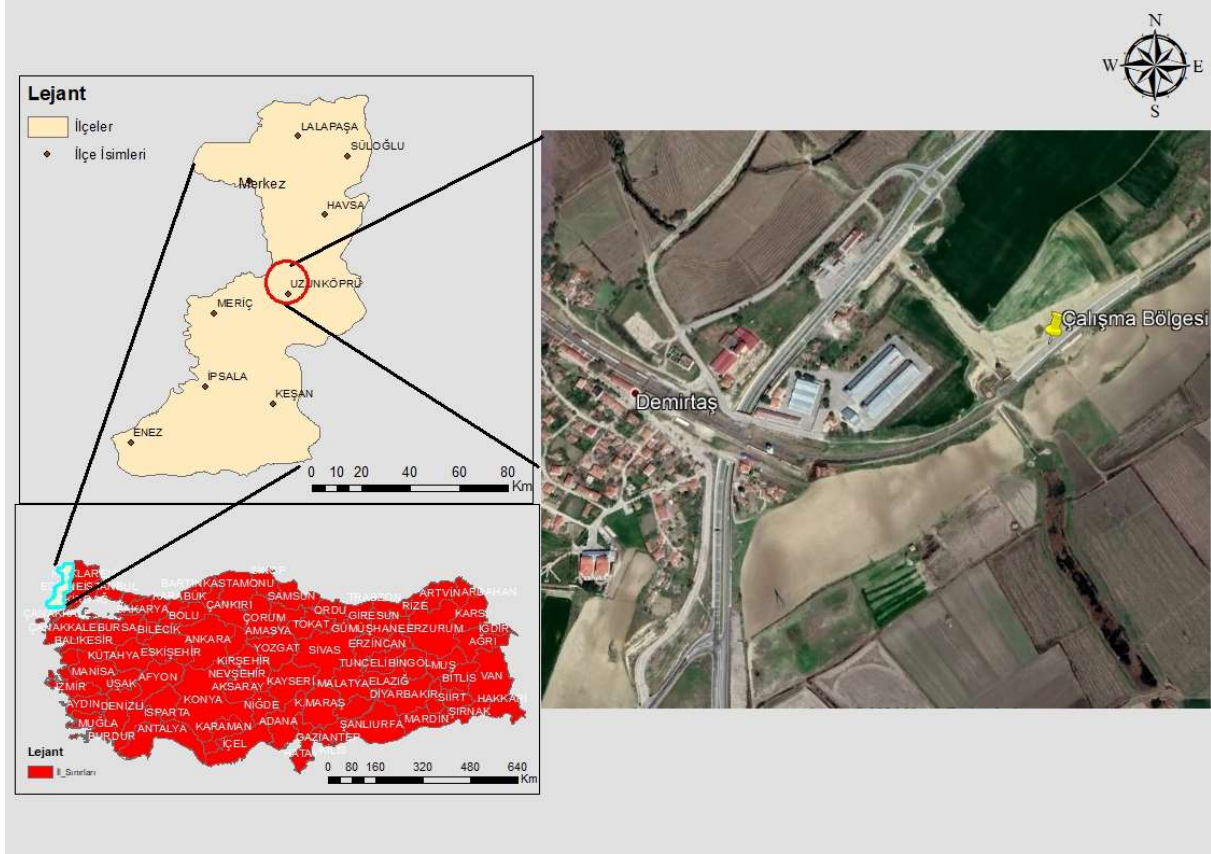
Çalışmalar çoğunlukla deprem afeti baz alınarak gerçekleştirilmiştir bunun dışında Velha ve ark. (2019) çalışmalarında algılama lifleri, potansiyel olarak heyelanlara maruz kalan köprüler, viyadükler ve eğimler gibi kilit altyapılarda her iki ray hattına doğrudan kurulur ve takip edilebilir. Literatür incelendiğinde doğal afetlerin direkt ya da dolaylı etkisinin sürekli izlenebilmesi için erken uyarı sistemlerine ihtiyaç duyulduğu ve bu sistemlerde nesnelerin interneti ve bulut bilişiminin kullanımıyla daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir.

Bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturan bir mühendislik yapısı olan demiryollarında heyelan takibi için nesnelerin interneti ve bulut bilişimi kullanılmıştır. Çalışmanın amacı nesnelerin interneti ve bulut bilişimi kullanılarak heyelan geçmişi olan çalışma alanının da bir dizi sensör aracılığıyla erken uyarı sisteminin kurulması ve bu tip heyelan afet geçmişi olan bölgelerin 7/24 izlenmesi bölgeyle ilgili veri toplama, depolama ve analiz işlemlerinin otomatik şekilde sağlanarak bir erken uyarı sistemi tasarlanması amaçlanmıştır.

### Materyal ve Yöntem

#### 1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Edirne ili Uzunköprü ilçesi Demirtaş Köyü yakınlarında,  $41^{\circ}17'45.0''N$ ,  $26^{\circ}41'53.0''E$  coğrafi koordinatlarında bulunmaktadır.

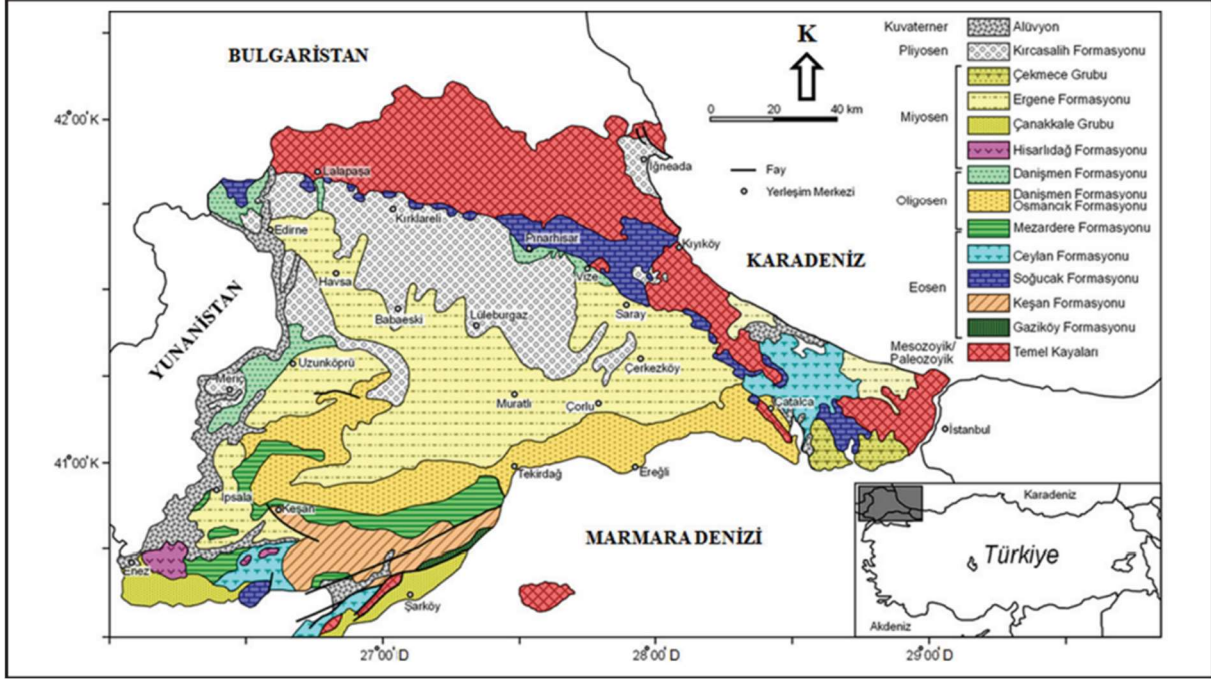


Şekil 1. Çalışma bölgesi lokasyon haritası.

Söz konusu bölge belirlenirken Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları yetkilileri ile karar verilmiş kurulacak sistemin uygulanabileceği en uygun bölgenin burası olduğu düşünülmüştür. Söz konusu bölgenin önceden heyelan geçmişi olduğu bilinmektedir. Bu sebeple Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları yetkilileri bölgede tahkim yapmış ancak bölge yoğun yağış alması ve Ergene nehrine yakınlığı sebebiyle hala heyelan riski taşımaktadır.

## 2. Çalışma Alanı Jeolojisi

Çalışma bölgesi olarak belirlenen bölge ile ilgili Trakya havzası jeoloji haritası incelendiğinde şu bilgiler görülmektedir; Şekil 2’de görülen çalışma alanımızın bulunduğu bölge kumtaşı, kiltası ve silttaşı litolojisine sahip Ergene formasyonudur (Şengüler, 2013).



Şekil 2. Trakya Havzası'nın jeoloji haritası (Perinçek vd., 2015; Kasar vd., 1983; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Siyako, 2006b).

## 3. Erken Uyarı Sistemi Kurulumu

Nesnelerin interneti ve bulut bilişimi kullanılarak yapılacak olan bu sistem için öncelikle hem hassasiyet hem de maliyet düşünülerek planlama yapılmıştır. Nesnelerin interneti olarak kullanılacak sensör serisi olarak Arduino tercih edilmiştir. Arduino interaktif projeler geliştirilebilmesine imkan sağlayan donanım ve yazılım temelli bir geliştirme ortamıdır. Arduino IDE yazılımı ile kodlama yapılarak donanıma aktarılan kodlar aracılığı ile sensörlerden veri toplama imkanı sunar. Arduino kullanılmasının en önemli sebebi açık kaynak kodlu olması, maliyetlerinin düşük olması ve yüksek hassasiyet sağlanmasıdır. Bulut hizmeti olarak Google Drive tercih edilmiştir. Google Drive 15 GB veriye kadar ücretsiz şekilde kullanılabilen bu sayede depolama maliyeti ortadan kalkmaktadır. Google Drive hizmetinde istenilen kişilere verilerin görülebilir hale getirilmesi ile operatör ve diğer yetkili kişilerin kolaylıkla sistem verilerini takip edebilmesi sağlanmaktadır.

### 2.3.1 Kullanılan Sensörler ve Sistem Elemanları

Sistemde kullanılacak ölçüler göz önüne alındığında sürekli mesafe ölçüleri ile deformasyon tespiti yapılacaktır. Bu sebeple sistem ile deformasyon tespiti yapılırken Fukahata ve ark. (2020) tarafından kabuk deformasyonu takibinde kullanılan 1 numaralı eşitlikte görülen gerinim modelinin kullanılmasının doğru olacağı düşünülmektedir.

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (1)$$

$\varepsilon$ =Gerinim(Şekil değiştirme oranı)

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

$L$ =Yük uygulandıktan sonraki uzunluk(mm)

$L_0$ =Başlangıçtaki uzunluk (mm)

Sürekli mesafe ölçümleri ile elde edilecek mesafe verilerinin ilk ölçü ile farklarından gerinim izlenecek bu sayede üst yapıda meydana gelen deformasyon takip edilebilecektir.

Öncelikli olarak kullanılacak mesafe sensörünün yüksek hassasiyette veri toplayabilmesi ve maliyet olarak uygun olması düşünülmüştür. Söz konusu seçilen HC-SR04 mesafe sensörü dalga prensibi ile çalışmakta ve ölçü hassasiyeti +/- 3mm'dir. 2-400 cm arasında ölçüm yapabilen bu sensör proje için en uygun sensör olduğu düşünülmüştür. Yapılan mesafe ölçümlerinin veri haberleşme yolu olarak wifi belirlenmiştir. Bunun sebebi verilerin kablosuz kolay bir şekilde aktarımı ve verilerin bulut sistemine aktarılması amaçlanmıştır. Kullanılacak wifi sensörünün aynı zamanda işlemciye sahip olması gerektiğinden ESP 8266 modeli çalışma için uygun olduğu düşünülmüştür. Kullanılan söz konusu wifi geliştirme kartı Wi-Fi Direct desteği ve 32-bit işlemcisi ile çalışmada ihtiyaç duyulan tüm özellikleri karşılamaktadır. Arduino tabanlı kodlama yapılan söz konusu wifi geliştirme kartı ile Ultrasonik Mesafe Sensörü ile yapılan ölçümleri işleyecek ve bulut sistemine aktaracaktır. Sistem için gerekli enerjiyi arazi şartlarından dolayı harici bir enerji kaynağından kullanılması gerektiğinden ve sisteme enerji sağlayacak olan bu harici enerji kaynağının voltaj değeri sensörlerin ihtiyaç duyduğu voltaj değeri bakımından fazla olduğunda sistem için bir voltaj regülatörü gerekmektedir. Bu ihtiyaca istinaden kullanılacak olan voltaj regülatör kartı ile harici enerji kaynağından gelen voltaj değerinin sistem girişinde önce ayarlanarak sisteme o şekilde enerji bağlantısı yapılmaktadır. Avometre yardımı ile voltaj değerleri takip edilerek sisteme optimum ihtiyaç duyduğu voltaj değeri sağlanarak sağlıklı bir biçimde çalışması sağlanmıştır. Sistemin tüm elemanlarının birbirleri ile uyumlu ve sağlıklı çalışabilmesi gerekmektedir. Bu sebep ile tüm sistem elemanlarının entegresi için en uygun yüzeyin çift taraflı pertinaks olduğu anlaşılmıştır. Sistem elemanlarının üzerine entegre edildiğinde bir bütün olarak durabilmeleri ve aralarındaki bağlantıların rahat bir şekilde yapılabilmesi için çift taraflı pertinaks kullanılmıştır. Sistem elemanları arasında veri alışverişinin sağlanabilmesi için jumper kablolar tercih edilmiştir. Montajı kolay olmakla beraber sorunsuz bir şekilde veri alışverişi sağlanan bu kablolar ile sistem elemanları arasındaki bağlantı kurulmuştur. Kurulacak olan sistemi arazi şartlarında çalışacağı ve arazi bölgesinde bir enerji hattı olmadığından harici enerji olarak 12 V 60 A araba aküsü kullanılmaktadır. Harici enerji kaynağı ve sistem arasındaki enerji akışı sağlanması için 2x1 mm<sup>2</sup> olan TTR kablo tercih edilmiştir. Kullanılacak bu kablo hem kurulacak 60 adet sistem kutusunun çıkışları ve bu çıkışlarla akü arasındaki bağlantıyı sağlamak üzere kullanılmıştır. 100 Metre TTR kablodan bir kısmı Buat'lar ve TTR kablo arasında bağlantı kurulurken, TTR kablunun diğer kısmı daha kolay bağlantı sağlanabilen, tüm buatlara enerji dağıtabilen kablo elde edilmiştir (Bozkurt ve Erenoğlu, 2021).



## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

**Şekil 3.** Kurulumu tamamlanan bir mesafe ölçer.

Şekil 3'te görülen sistem elemanları montajı tamamlandıktan sonra Arduino ve Google Script kodlaması tamamlanarak 60 adet mesafe ölçer barındıran sistem çalışır duruma gelmiştir.

Kurulan sistem tekrarlı mesafe ölçümü yapmakta ve ölçüleri kablosuz ağ üzerinden Google Drive'a aktarabilmektedir. Tarih ve saat otomatik olarak ölçü başladığı anda verilmeye başlanır ve devam eder. Ölçü numarası ve ölçü birimi de otomatik olarak atanmaktadır. Mesafeler sütunu ise mesafe ölçer sensörünün okuduğu veriler bu sütuna aktarılmaktadır. Tablo 1'de bulut sisteminin otomatik olarak aldığı tarih, saat, ölçü numarası ve ölçü birimi verileri bununla beraber mesafe ölçerden aktarılan mesafe verileri görülmektedir.

**Tablo 1.** Mesafe ölçerin verileri gönderdiği bulut sistemindeki tablo.

Gün	Saat	Ölçü Numarası	Mesafe	Ölçü Birimi
2021/02/11	11:37:01	16	50.00	Cm
2021/02/11	11:35:56	15	49.59	Cm
2021/02/11	11:34:51	14	49.61	Cm
2021/02/11	11:33:47	13	50.01	Cm
2021/02/11	11:32:42	12	50.01	Cm
2021/02/11	11:31:38	11	50.01	Cm
2021/02/11	11:30:33	10	50.03	Cm
2021/02/11	11:29:29	9	50.06	Cm
2021/02/11	11:28:24	8	50.06	Cm
2021/02/11	11:27:20	7	49.59	Cm
2021/02/11	11:26:16	6	50.01	Cm
2021/02/11	11:25:11	5	50.01	Cm
2021/02/11	11:24:07	4	50.03	Cm
2021/02/11	11:23:03	3	49.61	Cm
2021/02/11	11:21:58	2	49.61	Cm
2021/02/11	11:20:52	1	50.01	Cm

### **3.1 Erken Uyarı Sisteminin Çalışma Bölgesine Kurulumu**

Erken uyarı sistemi entegrasyonu tamamlandıktan sonra sistemi oluşturan 60 adet mesafe ölçer çalışma bölgesine 11/02/2021 tarihinde götürülerek ilk aşama test gerçekleştirilmiştir.

Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı



Şekil 4. Sistem kablo bağlantılarının yapılması.



Şekil 5. Sisteme enerji verilmesi.



Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı



Şekil 6. Bilgisayar üzerinden sağlanan, sistemin bağlanacağı kablosuz ağ paylaşımı.



Şekil 7. 11/02/2021 tarihli teste mesafe ölçerlerin çalışma bölgesindeki traverslere yerleştirilmesi.

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de görülen sistem ilk test için kurulduğunda iki saat boyunca ölçü alınmıştır. Ölçüler başarılı şekilde alınmış ve kablosuz ağdan bulut sistemine aktarılmıştır fakat ölçüler incelendiğinde ölçülerde çok fazla yansıma tespit edilmiştir. Bu yansımanın sebebinin ultrasonik mesafe ölçerin çalışma prensibi olduğu düşünülmüştür. Ultrasonik mesafe sensörü yapısı itibariyle mesafe ölçümünü dalga prensibi ile gerçekleştirmektedir. Ses dalgaları şeklinde vericiden çıkan dalga herhangi bir yüzeye çarpıp geri döndüğünde ve alıcıya ulaştığında sensör zaman farkından aradaki mesafeyi çıkarmaktadır. Ultrasonik sensörün verici kısmında çıkan dalga muhtemelen trenyolu yüzeyindeki balast taşlarından yansıma yapmakta ve geri dönmektedir. Bu sebeple ölçülerde yansımalar olmaktadır. İlk test günü mesafe ölçerlerden iki tanesinin aldığı ölçüler Tablo 2’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.**11/02/2021 tarihli, sistemin ilk test arazisi ölçü verileri.

Gün	Saat	Ölçü Numarası	Mesafe	Ölçü Birimi	Gün	Saat	Ölçü Numarası	Mesafe	Ölçü Birimi
2021/02/11	12:20:10	16	50.64	Cm	2021/02/11	12:19:56	16	48.99	Cm
2021/02/11	12:19:00	15	47.96	Cm	2021/02/11	12:18:50	15	48.57	Cm
2021/02/11	12:17:50	14	31.86	Cm	2021/02/11	12:17:45	14	49.44	Cm
2021/02/11	12:16:45	13	40.41	Cm	2021/02/11	12:16:40	13	48.59	Cm
2021/02/11	12:15:39	12	34.02	Cm	2021/02/11	12:15:35	12	48.93	Cm
2021/02/11	12:14:34	11	40.83	Cm	2021/02/11	12:14:29	11	49.01	Cm
2021/02/11	12:13:29	10	27.76	Cm	2021/02/11	12:13:24	10	48.57	Cm
2021/02/11	12:12:20	9	35.29	Cm	2021/02/11	12:12:19	9	48.96	Cm
2021/02/11	12:11:13	8	40.00	Cm	2021/02/11	12:11:14	8	48.96	Cm
2021/02/11	12:10:07	7	41.26	Cm	2021/02/11	12:10:08	7	48.59	Cm
2021/02/11	12:09:02	6	39.98	Cm	2021/02/11	12:09:03	6	6.31	Cm
2021/02/11	12:07:57	5	40.00	Cm	2021/02/11	12:07:58	5	6.29	Cm
2021/02/11	12:06:52	4	34.42	Cm	2021/02/11	12:06:50	4	6.29	Cm
2021/02/11	12:05:47	3	28.12	Cm	2021/02/11	12:05:41	3	6.29	Cm
2021/02/11	12:04:41	2	34.02	Cm	2021/02/11	12:04:35	2	6.29	Cm
2021/02/11	12:03:36	1	40.41	Cm	2021/02/11	12:03:18	1	6.29	Cm

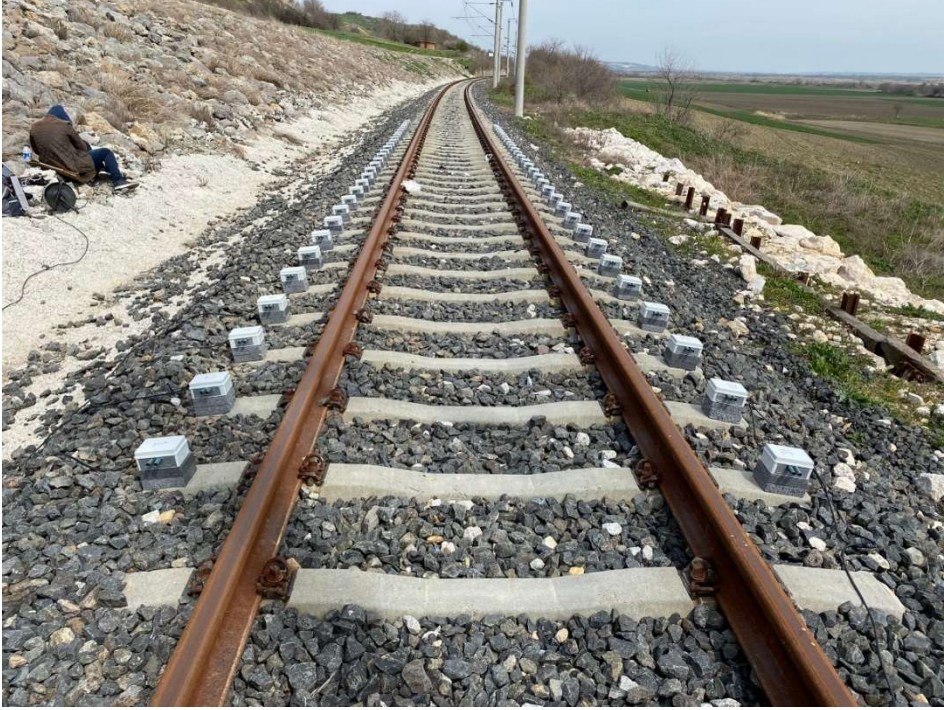
Mesafe ölçerlerin yansımadan dolayı farklı ölçüler alması sistem için büyük sorun teşkil etmektedir. Bunun çözümü için sistem verici-alıcı çıkış yollarının 5 cm uzatılarak dalganın çok fazla yayılım göstermeden hedeflenen nesneyi görmesi düşünülmüştür. Verici ve alıcı çıkışlarına 5’er cm plastik boru eklenmiştir. Ayrıca mesafe ölçerin alt tabanına 8 cm dolgu yapılarak demiryolu zemininden uzaklaştırılmıştır. Plastik borular ve dolgu malzemesi eklendikten sonra sistem ölçerlerden biri çalıştırarak gözlenmiş ve bu çözümün sorunu çözdüğü tespit edilmiştir. Plastik boru ve dolgu malzemesi eklendikten sonra mesafe ölçer Şekil 8’de gösterilmiştir.



## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

**Şekil 8.** Alıcı-Verici uçlarına 5'er cm plastik borular eklenmiş mesafe ölçer.

60 adet mesafe ölçerin alıcı-verici uçlarına 5'er cm'lik plastik borular ve 8 cm dolgu eklenerek sistem iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Sistem ikinci arazi testi için hazır hale getirildikten sonra 02/04/2021 tarihinde ikinci test için çalışma bölgesine götürülmüştür.



**Şekil 9.** 02/04/2021 tarihli ikinci test arazisi mesafe ölçerlerin transverslere yerleştirilmesi (ön plandan görünüm).



**Şekil 10.** 02/04/2021 tarihli ikinci test arazisi mesafe ölçerlerin transverslere yerleştirilmesi (arka plandan görünüm).

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

Şekil 9 ve Şekil 10’da görülen 02/04/2021 tarihli ikinci test arazisinde mesafe ölçerler ile 4 saat boyunca veri toplanmıştır, gerçekleştirilen ölçümlerde yansıma probleminin büyük oranda çözüldüğü görülmektedir. Şekil 8’de görülen Alıcı-Verici uçlarını uzatmak ve mesafe ölçerlerin alt tabanına dolgu malzemesi eklemek yansıma problemini büyük oranda ortadan kaldırmıştır. Tablo 3’te 02/04/2021 tarihli araziden iki adet mesafe ölçerin topladığı veriler görülmektedir.

**Tablo 3.** 02/04/2021 tarihli ikinci test arazisi ölçü verileri.

Gün	Saat	Ölçü Numarası	Mesafe	Ölçü Birimi	Gün	Saat	Ölçü Numarası	Mesafe	Ölçü Birimi
2021/04/02	02:37:02	231	50.01	Cm	2021/04/02	02:36:34	233	50.54	Cm
2021/04/02	02:35:57	230	49.18	Cm	2021/04/02	02:35:27	232	50.93	Cm
2021/04/02	02:34:53	229	49.28	Cm	2021/04/02	02:34:21	231	49.28	Cm
2021/04/02	02:33:32	228	49.62	Cm	2021/04/02	02:33:16	230	53.41	Cm
2021/04/02	02:32:24	227	49.93	Cm	2021/04/02	02:32:09	229	49.62	Cm
2021/04/02	02:31:18	226	49.64	Cm	2021/04/02	02:31:03	228	50.01	Cm
2021/04/02	02:30:12	225	49.64	Cm	2021/04/02	02:29:58	227	49.33	Cm
2021/04/02	02:29:06	224	50.01	Cm	2021/04/02	02:28:52	226	50.52	Cm
2021/04/02	02:27:59	223	49.74	Cm	2021/04/02	02:27:45	225	50.47	Cm
2021/04/02	02:26:54	222	50.06	Cm	2021/04/02	02:26:40	224	50.54	Cm
2021/04/02	02:25:47	221	50.02	Cm	2021/04/02	02:25:34	223	50.64	Cm
2021/04/02	02:24:41	220	49.69	Cm	2021/04/02	02:24:28	222	50.10	Cm
2021/04/02	02:23:35	219	49.74	Cm	2021/04/02	02:23:22	221	50.10	Cm
2021/04/02	02:22:18	218	50.00	Cm	2021/04/02	02:22:16	220	49.64	Cm
2021/04/02	02:21:22	217	49.69	Cm	2021/04/02	02:21:10	219	49.59	Cm
2021/04/02	02:20:16	216	52.21	Cm	2021/04/02	02:20:05	218	50.12	Cm
2021/04/02	02:19:11	215	49.76	Cm	2021/04/02	02:18:58	217	50.05	Cm
2021/04/02	02:18:03	214	49.64	Cm	2021/04/02	02:17:52	216	50.69	Cm
2021/04/02	02:16:57	213	49.16	Cm	2021/04/02	02:16:45	215	49.28	Cm
2021/04/02	02:15:49	212	49.76	Cm	2021/04/02	02:15:40	214	48.04	Cm
2021/04/02	02:14:41	211	49.71	Cm	2021/04/02	02:14:33	213	50.05	Cm
2021/04/02	02:13:33	210	50.01	Cm	2021/04/02	02:13:27	212	49.71	Cm

Tablo 3’te görülen 02/04/2021 tarihli ikinci test arazisinde toplanan verilere bakıldığında hala mm bazında da olsa yansımalar görülmektedir. Bu yansımalara sıcaklığın sebep olduğu düşünülmektedir. Günün farklı saatlerinde çalışan sistem ölçme prensibi dalga yoluyla olduğundan hava sıcaklığının değişmesi ile dalganın havada yol alma hızı değişmektedir. Bu sebeple mesafe ölçerlerin sıcaklığın değiştiği zaman dilimlerinde ölçülerin dalgalanma yaptığı düşünülmektedir.

### **Bulgular ve Tartışma**

Bu çalışmada doğal afetlerin etkilediği mühendislik yapıları için bir erken uyarı sistemi geliştirilmiştir. Nesnelerin interneti ve bulut bilişiminin kullanıldığı sistem konuşlandığı mühendislik yapısı üzerinde otomatik olarak sürekli veri toplama, depolama ve analiz gerçekleştirebilmektedir. Çevresel değişimlerde sadece sıcaklığın etkili olduğu sistem koruyucu buat’lar sayesinde herhangi bir başka çevresel etkenden etkilenmemiştir. Sistem gelecekte mühendislik yapıları için tasarlanacak erken uyarı sistemleri için bir baz çalışma olmakla beraber yapılan test arazilerinde sistem çalışması ile ilgili başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

### **Sonuç ve Öneriler**

Sistemin test arazi verileri göz önüne alındığında veriyi otomatik toplama depolama ve analiz işlemlerini gerçekleştirmekte başarılı sonuçlar vermiştir bununla beraber sistem iyileştirmesinde bir sonraki aşama için önerilenler şu şekildedir;

## Doğal Afetlerin Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Yer Bilimleri Tabanlı Disiplinlerarası Bir Yaklaşımla Erken Uyarı Sistemi Tasarımı

- Sistemin topladığı mesafe veri dalgalanmalarının önüne büyük oranda geçilmiş fakat hala mm düzeyinde dalgalanmalar mevcuttur. Sıcaklığın sebep olduğu düşünülen dalgalanmalar sisteme sürekli sıcaklık değeri ölçen bir sensör eklenmesi ve kodlamaya sıcaklık değerine göre ölçülerde revize işlemi eklenerek önüne geçilebileceği düşünülmektedir.
- Güvenlik sebebiyle sistem sürekli çalışma bölgesinde konuşlandırılmamış, onun yerine kampanya tipi ölçüler toplanmıştır. Sistemin sürekli çalışma bölgesinde konuşlandırılabilmesi ile eksiklikler daha net bir şekilde görülebilir ve sistem çok daha verimli, 7/24 işler hale getirilebilir.
- Sistem eksikleri giderildiğinde sistem 7/24 bölgede bırakılabilir ve üst yapıda herhangi bir hareket tespit edildiğinde erken önlem alınabilir.
- Sistem sürekli ölçüleri ile üst yapıda tren seyrüseferini etkileyecek bir problem olmasa da üst yapının sağlığı sürekli izlenebilir.
- Sistem sayesinde mühendislik yapılarına sürekli bakım, onarım ekipleri tarafından yapılan keşif arazilerine gerek kalmadan üst yapı takip edilebilir.
- Sistem 7/24 anlık veri toplayabildiğinden ve düşük maliyetli olduğundan yöneticilere süreç yönetebilme ve hızlı karar desteği sağlamaktadır.

### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2020-3400

## Kaynakça

- Amaliya, Virginia Fahriza, et al., 2021. "Development of IoT-Based Volcano Early Warning System." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1772. No. 1. IOP Publishing.
- Bozkurt, Oğuzhan and Ramazan Cüneyt Erenoğlu, 2021. "Iot And Cloud Based Early Warning System." *International Congress on Sciences and Engineering for Sustainability*.
- Devi, S. Renuga, et al., 2014. "Daily rainfall forecasting using artificial neural networks for early warning of landslides." *2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. IEEE.
- Dobrescu, Radu, Daniel Merezeanu, and Stefan Mocanu, 2019. "Context-aware control and monitoring system with IoT and cloud support." *Computers and Electronics in Agriculture* 160: 91-99.
- Fraga-Lamas, Paula, Tiago M. Fernández-Caramés, and Luis Castedo, 2017. "Towards the Internet of smart trains: A review on industrial IoT-connected railways." *Sensors* 17.6: 1457.
- Fukahata, Yukitoshi, Angela Meneses-Gutierrez, and Takeshi Sagiya, 2020. "Detection of plastic strain using GNSS data of pre-and post-seismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake." *Earth, Planets and Space* 72.1: 1-10.
- Gan, Bo, and Shan Jin, 2018. "Design of Early Warning System Based on Wireless Sensor Network." *International Journal of Online Engineering* 14.1.
- Glade, Thomas, and Farrokh Nadim, 2014. "Early warning systems for natural hazards and risks." 1669-1671.
- Kasar, S., Bürkan, K., Siyako M., Demir, O. 1983. Tekirdağ- Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. TPAO Arama Grubu Rapor No: 1771, 71 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Khattab, Ahmed, Ahmed Abdelgawad, and Kumar Yelmarthi, 2016. "Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture." *2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM)*. IEEE.
- Liu, Xi, Xi Fu Wang, and Xue Feng, 2013. "Study and Application of the IOT Technology in Railway." *Advanced Materials Research*. Vol. 694. Trans Tech Publications Ltd.
- Macciotta, Renato, Michael Hendry, and C. Derek Martin, 2016. "Developing an early warning system for a very slow landslide based on displacement monitoring." *Natural Hazards* 81.2: 887-907.
- Mekala, Mahammad Shareef, and P. Viswanathan, 2017. "A novel technology for smart agriculture based on IoT with cloud computing." *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I SMAC)*. IEEE.
- Odaka, Toshikazu, et al., 2006. "New stand-alone and advanced earthquake early warning systems designed to protect railways." *Transportation research record* 1943.1: 20-24.
- Patil, V. C., et al., 2012. "Internet of things (Iot) and cloud computing for agriculture: An overview." *Proceedings of agro-informatics and precision agriculture (AIPA 2012)*, India 292-296.
- Perinçek, Doğan, et al., 2015. "Trakya Havzasında, Danişmen Formasyonu İçindeki Linyit Katmanlarının Potansiyelini Kontrol Eden Jeolojik Faktörler." *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 150: 79-110.
- Sadeeq, Mohammed Mohammed, et al., 2021. "IoT and Cloud computing issues, challenges and opportunities: A review." *Qubahan Academic Journal* 1.2: 1-7.
- Simatupang, Joni Welman, and Faiz Naufal, 2019. "Flood Early Warning Detection System Prototype Based on IoT Network." *Internetworking Indonesia Journal* 11: 17-22.
- Siyako, M. 2006 b. Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri (Tersiyer Bölümü). Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-2. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayını. 70 s.
- Sofwan, Aghus, M. Ridho, and Abdul Goni, 2017. "Wireless sensor network design for landslide warning system in IoT architecture." *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*. IEEE.
- Suleman, Fatah, et al., 2016. "Applications of Ultrasonic Sensor Early Warning System Crash Due to landslide On Train." *International Conference on Science and Technology*, Jakarta, 16-17 November.
- Şengüler, İ., 2013. "Ergene (Trakya) Havzası'nın jeolojisi ve kömür potansiyeli." *Maden Tetkik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni* 16: 109-114.

- Türkecan, A., Yurtsever A. 2002. İstanbul Paftası, 1: 500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Velha, Philippe, et al., 2019. "Monitoring Large Railways Infrastructures Using Hybrid Optical Fibers Sensor Systems." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 21.12: 5177-5188.
- Wang, Eric Ke, et al., 2021. "Intelligent monitor for typhoon in IoT system of smart city." The Journal of Supercomputing 77.3: 3024-3043.
- Ye, Ke, and Yong Guo., 2011. "The design and research of an Earthquake Early Warning System for railways." Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Vol. 2. IEEE.