

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMLERİ VE OPTİK  
WDM AĞLARININ ENTEGRASYON TEKNİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Melike OĞUZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemil ÖZ**

**Haziran 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMLERİ VE OPTİK  
WDM AĞLARININ ENTEGRASYON TEKNİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Melike OĞUZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 25.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

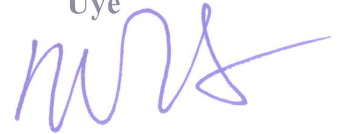
**Prof. Dr.  
Cemil ÖZ  
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.  
Cüneyt BAYILMIŞ  
Üye**



**Prof. Dr.  
Mübariz EMİNLİ  
Üye**



## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Melike OĞUZ  
25.06.2018

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde tavsiye ve desteklerinden dolayı danıőmanım Prof. Dr. Cemil Öz'e, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli ve değerli hocalarıma, yoğun çalıőmalarım sırasında sabır gösteren aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Depremler.....	2
2.1.1. Cisim dalgaları ve özellikleri.....	2
2.1.2. Yüzey dalgaları ve özellikleri.....	4
2.2. Erken Uyarı Sistemleri.....	5
2.3. Deprem Erken Uyarı Sistemleri.....	6
2.4. Dünya’da Kurulu Erken Uyarı Sistemleri.....	9
2.4.1. Japonya.....	9
2.4.2. Meksika.....	10
2.4.3. Tayvan.....	11

2.4.4. Romanya.....	12
2.4.5. Türkiye.....	13
2.4.6. Amerika Birleşik Devletleri.....	14
2.5. Fiber Optik ve Özellikleri.....	15
2.5.1. Tekil modlu fiberler.....	16
2.5.2. Çoklu modlu fiberler.....	17
2.6. Fiber Optik Ağlar.....	17
2.7. Fiber Optik Ağların Gelişimi.....	18
2.8. Optik WDM Ağlar.....	19
2.9. Literatür.....	19
BÖLÜM 3.	
UYGULAMA.....	23
3.1. EEWS ve Optik WDM Ağlarının Entegrasyonu.....	23
3.2. Deprem Hazırlık Stratejileri.....	25
3.2.1. Extreme yaklaşım.....	26
3.2.2. Relax yaklaşım.....	28
3.2.3. Careful yaklaşım.....	29
3.3. Uygulamaya Ait Veriler .....	33
3.3.1. Extreme algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri.....	35
3.3.2. Relax algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri.....	39
3.3.3. Careful algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri.....	42
BÖLÜM 4.	
TEST VE ANALİZ.....	45
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49

KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	55

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

EEW	: Deprem Erken Uyarı
EEWS	: Deprem Erken Uyarı Sistemleri
EMS	: Deprem İzleme İstasyonu
ESC	: Deprem Araştırma Merkezi
EW	: Erken Uyarı
EWS	: Erken Uyarı Sistemleri
PCE	: Yol Hesaplama Elemanı
SAS	: Sismik Uyarı Sistemi
TREIRS	: Tayvan Hızlı Deprem Bilgilendirme Sistemi
TSMIP	: Tayvan Güçlü Hareket Enstrüasyon Programı
UrEDAS	: Acil Deprem Algılama ve Alarm Sistemi
WDM	: Dalga Boyu Bölmeli Çoklama



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. P dalgası .....	3
Şekil 2.2. S dalgası .....	3
Şekil 2.3. Rayleigh dalgası .....	4
Şekil 2.4. Love dalgası .....	5
Şekil 2.5. Dalga genliği ve zaman grafiği .....	7
Şekil 2.6. Deprem erken uyarı sistemini kullanan ülkeler .....	9
Şekil 2.7. Japonya’da hızlı tren sistemlerinde kurulu UrEDAS ve Compact UrEDAS’ın dağılımı .....	10
Şekil 2.8. SAS ağı .....	11
Şekil 2.9. TSMIP ağı .....	12
Şekil 2.10. Romanya’daki sismometreler .....	13
Şekil 2.11. Türkiye’deki sismik istasyonlar .....	14
Şekil 2.12. ElarmS sistemine ait sismik istasyonlar .....	15
Şekil 2.13. Fiberin yapısı.....	16
Şekil 2.14. Fiber optik ağ omurgası .....	17
Şekil 3.1. EEWS ve optik WDM ağları arasındaki entegrasyon mimarisinin diyagramı .....	24
Şekil 3.2. İtalya’daki deprem istasyonu dağılımı .....	25
Şekil 3.3. Her bir ağ elemanı için farklı alarm seviyelerinin üretildiği optik ağ.....	30
Şekil 3.4. Azaltılmış graf $G_r^1(V_r^1, E_r^1)$ .....	30
Şekil 3.5. Azaltılmış graf $G_r^2(V_r^2, E_r^2)$ .....	31
Şekil 3.6. Azaltılmış graf $G_r^3(V_r^3, E_r^3)$ .....	31
Şekil 3.7. Vaka çalışması: Roma, L’aquila, Pescara şehirleri için deprem erken uyarısı.....	34
Şekil 4.1. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0.999 ve üzeri).....	46
Şekil 4.2. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,9995 ve üzeri).....	46

Şekil 4.3. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,999 ve üzeri olan bağlantılar için artırılmış başarısızlık olasılığı).....	47
Şekil 4.4. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,9995 ve üzeri olan bağlantılar için artırılmış başarısızlık olasılığı).....	48

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Extreme algoritması.....	27
Tablo 3.2. Relax algoritması .....	28
Tablo 3.3. Careful algoritması.....	32
Tablo 3.4. Extreme algoritması için girdi verileri .....	36
Tablo 3.5. Extreme algoritması için çıktı verileri.....	37
Tablo 3.6. Relax algoritması için girdi verileri .....	39
Tablo 3.7. Relax algoritması için çıktı verileri.....	40
Tablo 3.8. Careful algoritması için girdi verileri.....	42
Tablo 3.9. Careful algoritması için çıktı verileri .....	43

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Depremler, bant genişliği, fiber optik ağlar, WDM ağlar, telekomünikasyon

Veri taşıyıcısı olarak ışığın kullanıldığı iletişim teknolojileri son yıllarda hızla yaygınlaşmaktadır. Bu gelişme ile birlikte telekom altyapısında fiber optik ağların kullanılması artmıştır.

İletişimin bu denli önemli olduğu günümüzde, herhangi bir doğal afette iletişimin sağlanabilmesi için verinin güvenli ve hızlı bir şekilde karşı tarafa ulaştırılması gerekmektedir. Telekom altyapısında fiber optik ağların kullanılmasıyla iletişimin hızlı bir şekilde sağlanması amaçlanmıştır.

Sarsıntılar omurga telekom altyapısını vurduğunda depremler büyük veri kaybına yol açar. Bununla birlikte eğer Erken Uyarı Sistemleri (EWS) Optik Dalga Boyu Bölmeli Çoklama (WDM) ağlar ile entegre edilirse gerekli önlemler alınabilir. EWS demir yolu ulaşımında, nükleer enerji santralinde ya da yarı iletken fabrikalarda kullanılırken telekom ağlarını uyarmak için kullanılmamıştır. Büyük bir deprem meydana gelmeden uyarı sağlanabilirse veri kaybını önlemek için birçok bağlantı yeniden sağlanabilir.

Bu çalışmada, bu amaçla Deprem Erken Uyarı Sistemleri (EEWS) ile optik WDM ağlarının entegrasyonu için teknikler geliştirilmiştir. Optik ağ üzerinde birbirine bağlı olan düğümlerin oluşturduğu örnek bir ağ topolojisinde olası bir felaket sırasında iletişimin tekrar sürdürülebilmesi için bağlantılar yeniden sağlanmıştır. Teknikler birbiri ile karşılaştırılarak en iyi sonucu veren yaklaşım bulunmuştur.

# **INTEGRATION TECHNIQUES OF EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEMS AND OPTIC WDM NETWORKS**

## **SUMMARY**

Keywords: Earthquakes, bandwidth, fiber optic networks, WDM networks, telecommunication

Communication technologies in which light is used as a data carrier have been rapidly spreading in recent years. With this development, the use of fiber optic networks has increased in telecom infrastructure.

Communication is so important nowadays that in order to ensure communication in disaster, the data must be delivered to the other side safely and quickly. It is aimed to provide communication in a fast way by using fiber optic networks in telecom infrastructure.

Earthquakes can cause massive data loss when shakes hit the backbone telecom infrastructure. However, if Early Warning Systems (EWS) are integrated with optical WDM networks, necessary preventions can be taken. EWS are not used to warn telecom networks that are used in railway transport, in nuclear power plants or in semiconductor factories.

In this study, techniques have been developed for the integration of Earthquake Early Warning Systems (EEWS) and optical wavelength division multiplexing (WDM) networks for this purpose. An example of a network topology created by interconnected nodes on the optical network is reestablished so that communication can resume during a catastrophic event. Techniques were compared with each other to find the best result.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda büyük şehirler şiddetli depremlerle mücadele etmektedir. Bu yüzden insanlar depremlerin önceden tahmin edilmesi ve koruyucu tedbirlerin alınması üzerine çalışmaya başlamışlardır. Bu koruyucu tedbirlerden biri de depremlerin kısa sürede tahmin edilmesini sağlayan Deprem Erken Uyarı Sistemleri (EEWS)'dir. Bu sistemler nüfusun deprem riskine maruz kalmasını azaltmak, koruyucu tedbirlerin uygulanması için etkili, yararlı ve uygulanabilir bir yöntemdir. Bu çalışmalarını bir adım öteye taşımak için sadece uyarı almak değil bu uyarılara karşı hayatın devam etmesini sağlamak gerekir. Hayatın devam etmesi için insanların birbirleri ile iletişimde kalmaları gerekmektedir. Bu yüzden iletişim ağlarının da sürdürülebilir olması gerekir.

İletişim ağının sürekli olarak genişlemesi sonucunda da bant genişliği talebi artmıştır. Bunun sonucunda da yüksek kapasiteli optik omurga ağlarının kurulumu ihtiyacı doğmuştur. Optik ağlar artan bant genişliği problemini ortadan kaldıran Dalga Boyu Bölmeli Çoklama (WDM), optik ağlarda sıkça kullanılan bir teknolojidir. WDM sayesinde uçtan uca iletişim sağlanır.

Ağ hizmetleri iletişim için günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Ağ üzerinden gönderilen ve alınan verileri saklamak ve işlemek için kullanılan veri merkezleri yüksek kapasiteli bant genişliğine ihtiyaç duyar. Optik ağlar giderek artan bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan bir teknolojidir. Optik omurga ağlarının karmaşıklığı ve kullanılan servislerin ağa bağımlılığı göz önüne alındığında herhangi bir felaket durumunda iletişim ağları kesintiye uğrayarak veri kaybına yol açabilir. Optik ağların zayıflıklarını anlamak ve buna karşı önlem almak önemlidir.

Bu çalışmada, depremin önceden tahmin edilmesini sağlayan ve uyarı veren Deprem Erken Uyarı Sistemleri (EEWS) ile optik WDM ağlar birleştirilmiştir.

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Depremler**

Son yıllarda, doğal felaketlerden kaynaklanan ekonomik krizler dünya genelinde hızla artmış ve doğal felaketlerde meydana gelen can kayıplarını önlemede yeterince ilerleme kaydedilmemiştir. Doğal felaketlerden biri olan ve ülkece sıkça yaşadığımız depremde meydana gelen kayıpların çoğu, nüfus ve endüstriyel yoğunluğun daha fazla olduğu depreme meyilli olan tehlikeli bölgelerden kaynaklanmaktadır.

Yer kabuğunda oluşan deprem sırasında büyük miktarda enerji ortaya çıkar. Enerji bir kısmı kayaçların kırılması ve yer değiştirmesi için harcanırken kalan enerji de dalgalar biçiminde yayılır. Dalga biçiminde yayılan enerji sismik dalgalar olarak bilinir. Bu dalgalar olduğu yerden uzaklaşarak farklı yönlere farklı şekillerde yayılır. Enerjinin dalga şeklinde yayılmasıyla oluşan iki temel dalga türü vardır [1].

- Cisim dalgaları
- Yüzey dalgaları

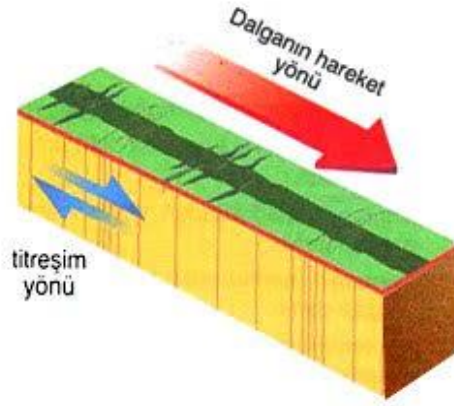
#### **2.1.1. Cisim dalgaları ve özellikleri**

Depremin meydana geldiği yer kabuğunda enerjinin çıktığı merkez bölgesinden her yöne yayılan dalgalar Cisim dalgaları olarak adlandırılır.

İki tür Cisim dalgası vardır:

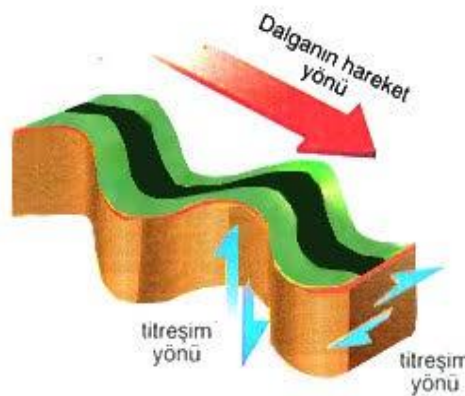
- P dalgası
- S dalgası

Deprem merkezinden diğer bölgelere yayılan boyuna dalgalara P dalgaları denir. Şekil 2.1.'de dalganın hareket yönü gösterilmektedir. P dalgaları depremin şiddetini ölçen cihaz olan sismografa ilk ulaşan, yıkım etkisi düşük olan ve her ortamda boyuna yayılan deprem dalgalarıdır.



Şekil 2.1. P dalgası [2]

S Dalgası, deprem merkezinden diğer bölgelere yayılan enine dalgalarıdır. Şekil 2.2.'de dalganın hareket yönü gösterilmektedir. Bu dalgalar sismografa ikinci ulaşan, sadece katı kütlelerde enine yayılan deprem dalgalarıdır.



Şekil 2.2. S dalgası [2]



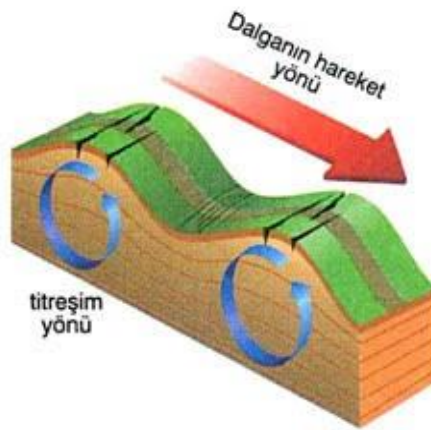
### 2.1.2. Yüzey dalgaları ve özellikleri

Depremın odak noktası olan merkez üssü bölgesinden yayılan dalgalara Yüzey dalgaları denir. Cisim dalgalarından sonra sismografa ulaştığından deprem dalgalarının içinde en yavaş yayılan dalgalardır. Yüzey dalgaları yeryüzünün yüzeyi boyunca yayılır. Bu dalgalarının oluşumunda yer hareket ettiği için etkisi büyüktür.

İki tür yüzey dalgası vardır:

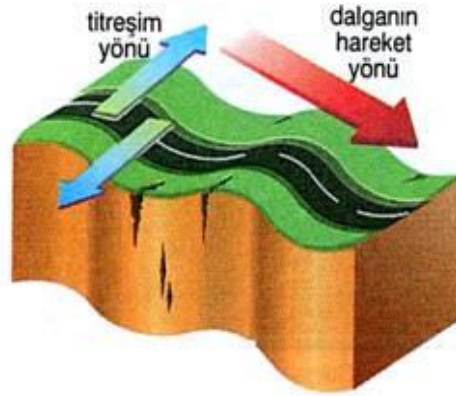
- Rayleigh dalgası
- Love dalgası

Okyanus üzerinde su dalgası şeklinde ilerleyen dalgalara Rayleigh dalgaları denir. Şekil 2.3.'de dalganın hareket yönü gösterilmektedir. Rayleigh dalgası çok büyük enerji taşıdığından deprem anında hissedilen sarsıntıların çoğunluğunu oluşturur.



Şekil 2.3. Rayleigh dalgası [2]

Yer yüzeyini yatay düzlemde hareket ettiren yüzey dalgalarına Love dalgaları denir. Şekil 2.4.'de dalganın hareket yönü gösterilmektedir. Yüzey dalgalarının en hızlısı olan yer yüzeyinde yarılmalara neden olan dalgalardır.



Şekil 2.4. Love dalgası [2]

## 2.2. Erken Uyarı Sistemleri

EWS bireylerin, kurumların, devletin ve diğerlerinin tehlikeli olaylar meydana gelmeden önce tehlikeyi öngörmek, tahmin etmek ve izlemek, riskin değerlendirilmesi, iletişim süreci, faaliyet sistemlerinin hazırlanması ve afet risklerini en aza indirmek için hızlı bir şekilde harekete geçmelerini sağlayan bir sistemdir.

EWS birbiri ile alakalı olan aşağıdaki temel unsurları içerir:

- Sistemli bir şekilde verinin toplanması ve riskin değerlendirilmesi,
- Tehlikenin ve olası sonuçlarının tahmini, izlenmesi ve analizi,
- Risk oluşturan faktörlerin uyarı şeklinde ilgili kaynaklar tarafından kritik altyapı sahiplerine iletilmesi ve dağıtılması,
- Uyarılara karşı tehlikeyi minimuma indirmek için hazırlanılması.

Birbirleri ile alakalı olan bu dört temel unsurun planlı bir şekilde kurum içinde ve kurumlar arasında çalışması için birden çok seviye barındıran geribildirim mekanizmasının geliştirilmesi gereklidir. Bir unsorda meydana gelen hatalar tüm sistemi etkileyebilir.

EWS'nin genel özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Tam Otomatik: Erken uyarıya karar vermede zaman kısıtlı olduğundan sistem otomatik olarak kontrol edilmelidir.
- Hızlı ve Güvenilir: Sistemi yıkıcı ve hayati olan bir uyarıya karar verdiğinden yine sürenin kısıtlı olmasından hızlı ve güvenilir olmalıdır.
- Küçük ve Ucuz: Sistemin kurulumunun kolay olması için küçük ve ucuz olmalıdır.
- Bağımsızlık: Güvenli alarmlar vermek için diğer sistemlerden bağımsız olmalıdır [3].

### 2.3. Deprem Erken Uyarı Sistemleri

Bilim insanları depremin yıkıcı ve insanlara kalıcı etkilerini zamanla görmüş ve 1990'lü yıllarda deprem üzerine yoğun çalışmalara başlamışlardır. Son 25 yıl içerisinde de teknolojik gelişmelerden faydalanarak depremin gözlemlenmesi konusundaki çalışmalara hız vermişlerdir [4]. Depremin tahmin edilmesini gerçek zamanlı olarak sağlayan çalışmalar, depremin yıkıcı ve kalıcı etkisinin azaltılmasını sağlayacak yeni çalışmaları da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmalara verilebilecek örneklerden bazıları; Deprem Acil Müdahale [5], [6], [7], [8], [9], [10] ve Deprem Erken Uyarı (EEW) [6], [11], [12], [13], [14], [15] konusundaki çalışmalardır.

Nüfusun fazla olduğu yerleşim alanlarına sismograflar yerleştirilerek olası bir deprem sırasında ve sonrasında bilgiler toplanarak ve analiz edilerek acil müdahale bilgisi elde edilir. Amaç depremin etki edeceği yeri tespit ederek bilginin en hızlı şekilde ilgili yerlere dağıtılmasıdır. Bilginin otomatik bir şekilde ilgili yerlere dağıtılması ile tren, metro, tramvay gibi yolcu taşıma araçlarının durdurulması, yüksek gerilim hatlarındaki elektriğin kesilmesi, nükleer santral ve fabrikadaki faaliyetlerin durdurulması gibi önlemler alınabilir.

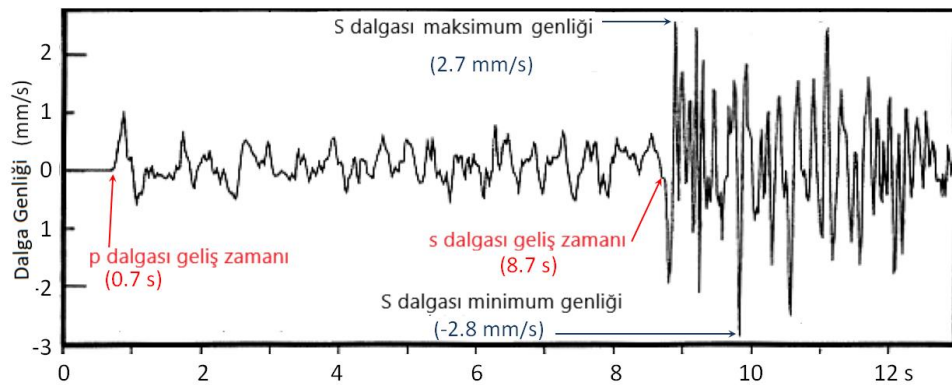
EWS'nin doğal afetlere karşı kullanılmasıyla depremin olumsuz etkilerine karşı önlem alınmasında önemli araç haline gelmiştir. EEW, kritik altyapıya sahip kurumlarda tehlikeye maruz kalan kişilerin risklerini önlemek veya azaltmak ve etkili müdahale

in hazırlanmak için harekete geçmelerine izin vererek, zamanında ve etkili bilgi sağlar.

Çin, Kaliforniya, Japonya gibi depreme eğilimli ülkelerdeki yaşam alanlarının artması ve bunun beraberinde altyapılarının karmaşıklaşması nedeniyle geçmişte meydana gelmiş depremlerden yola çıkarak oluşacak depremlere ilişkin deprem büyüklüğünün tahmini ve hızlı bir şekilde uyarının yapılması önem kazanmaktadır.

EEWS, yaklaşmakta olan yer sarsıntıları için birkaç saniye ile onlarca saniye arasında değişen uyarıyı verir. Depremi tespit eden en basit sistemlerde bile aynı yerde birden fazla deprem meydana gelirse alarm verme mekanizması çalışmaktadır. Depremin meydana geldiği bölge nüfusun yoğun olduğu yere yakınsa kaynak ve hedef arasında depremin büyüklüğünü tespit eden sismograf konularak yer hareketinden önce uyarı iletilmesi sağlanabilir. Yaygın olarak kullanılan EWS'inde, depremin büyüklüğünü tahmin etmek için en doğru yöntem olan maksimum genlikli yer hareketi gözlemleri kullanılmaktadır. Fakat bu yaklaşım hızlı bir şekilde depremin büyüklüğünü tahmin edememektedir.

Bir depremde meydana gelen ilk sismik hareket, düşük genlikli, az hasara neden olan ve S dalgasına göre toprak ortamında iki kat daha hızlı hareket eden P dalgasıdır. İkinci sismik hareket ise maksimum genliği içeren depremde binaların çoğunda hasara neden olan S dalgasıdır (Şekil 2.5.) [11].



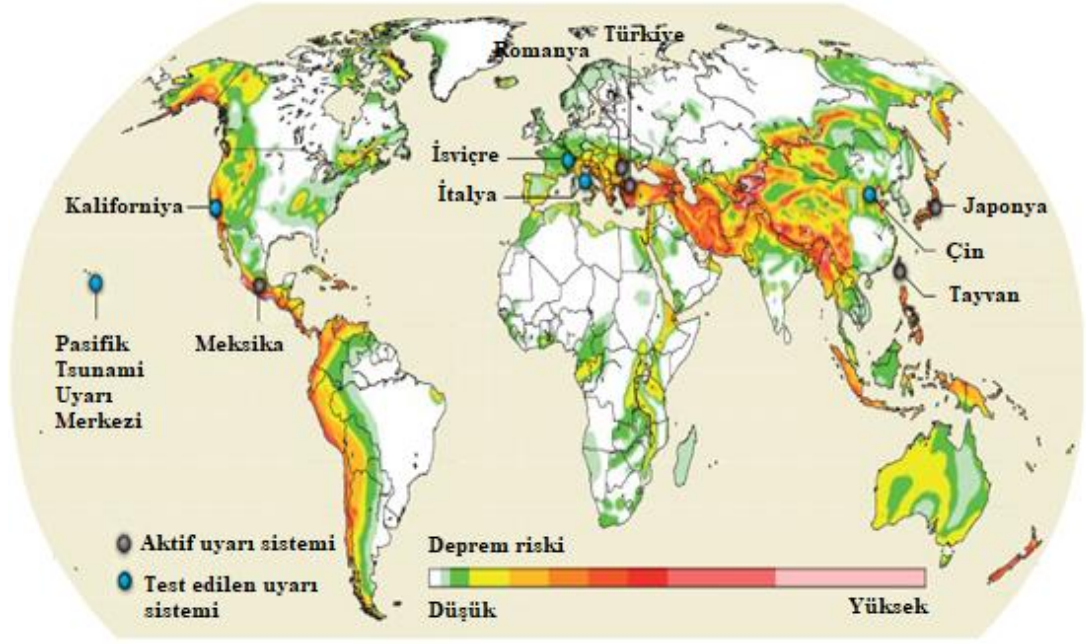
Şekil 2.5. Dalga genliği ve zaman grafiği [16]

Deprem büyüklüğünü belirlemek için P dalgası verileri kullanılabilir; çünkü P dalgaları, sismik istasyonlara, binalarda daha çok hasara neden olan S ve Yüzey dalgalarından birkaç saniye öncesinde ulaşır. Elde edilen uyarılar doğrultusunda, nükleer enerji santralleri, elektrik şebekeleri, ulaşım sistemleri, boru hatları, trenler vb. kritik altyapı sahipleri sistemlerini otomatik olarak kapatılması için kullanılabilir; böylece hasar ve kayıplarını azaltabilir.

Bir EEWS aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Sismograf/Sensör
- Haberleşme Ağı
- Veri Merkezi
- Veri İşlem
- Uyarı
- Uyarının İletilmesi
- Kullanım Alanları [17].

EWS her ne kadar günümüzde daha yaygın olsa da bu alanda atılan ilk adım 1868 yıllarında olmuştur [18]. San Fransisko şehri Hayward fayında 7.0 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Deprem sonrasında şehrin dışına 10 ile 100 km arasında değişen uzaklıklarla sismograflar yerleştirilmesi ve herhangi bir sarsıntıda uyarının telgraf yoluyla yerleşim merkezine gönderilerek çanın çalınması önerilmiştir. Güney Kaliforniya için geniş bantlı ve yüksek dinamiğe sahip sismometrelerden oluşan SCAN (Sismik Bilgisayarlandırılmış Uyarı Ağı) adı verilen bir proje önerilmiştir [19]. EWS'nin ilk uygulaması Japon Demiryolları tarafından yapılan trenlerin yavaşlatılması ve durdurulmasına yönelik mekanik alarmlı sismograflardan oluşan sistemdir [20]. 1989 yılında meydana gelen Kaliforniya Depremi sonrasında devam eden sarsıntılardan dolayı hasara uğrayan karayollarında çalışan işçilere uyarı vermek amacıyla basit bir EWS kurulmuştur. EEWS üzerine çalışmaları yürüten başlıca ülkeler; Japonya, Romanya, Türkiye, ABD, İtalya, İsviçre ve Çin'dir (Şekil 2.6.).



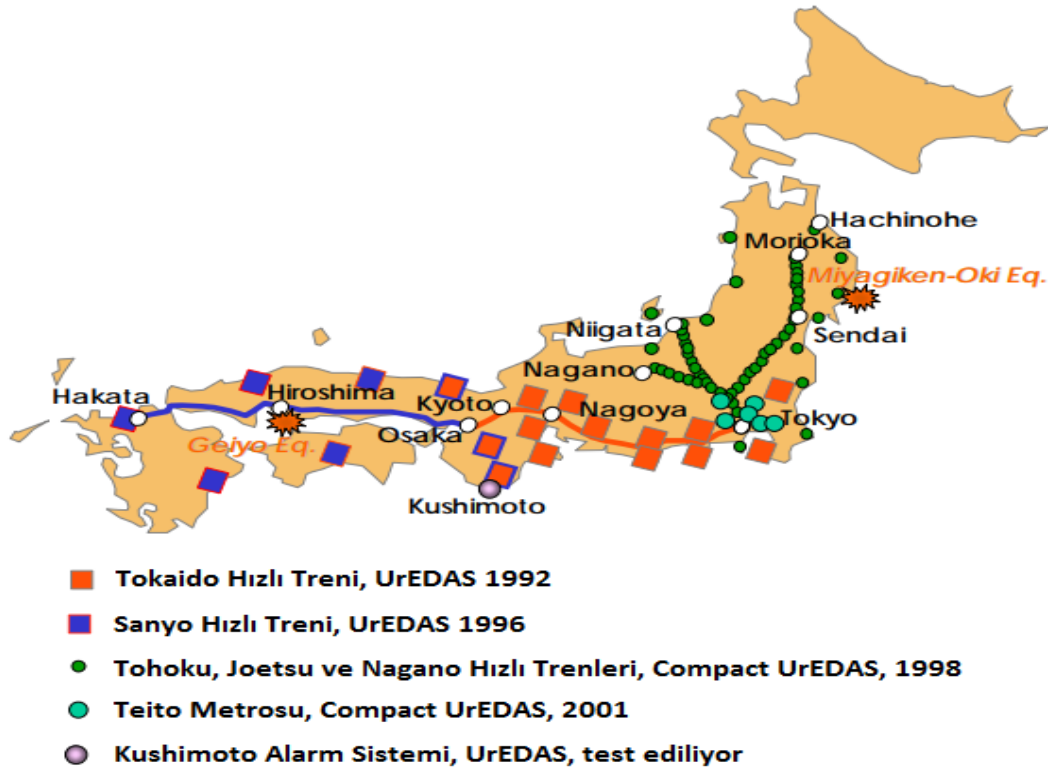
Şekil 2.6. Deprem erken uyarı sistemini kullanan ülkeler [21]

## 2.4. Dünya’da Kurulu Erken Uyarı Sistemleri

### 2.4.1. Japonya

1960’lı yıllarda Japonya tarafından hızlı trenlerde erken uyarı için tren hattına 20 km ara ile mekanik alarmlı sismometreler yerleştirilmiştir. Yine 1970’li yıllarda benzer sistem Pasifik Okyanusu kıyasına yerleştirilip Tohoku Hızlı trenini uyarmak için kullanılmıştır.

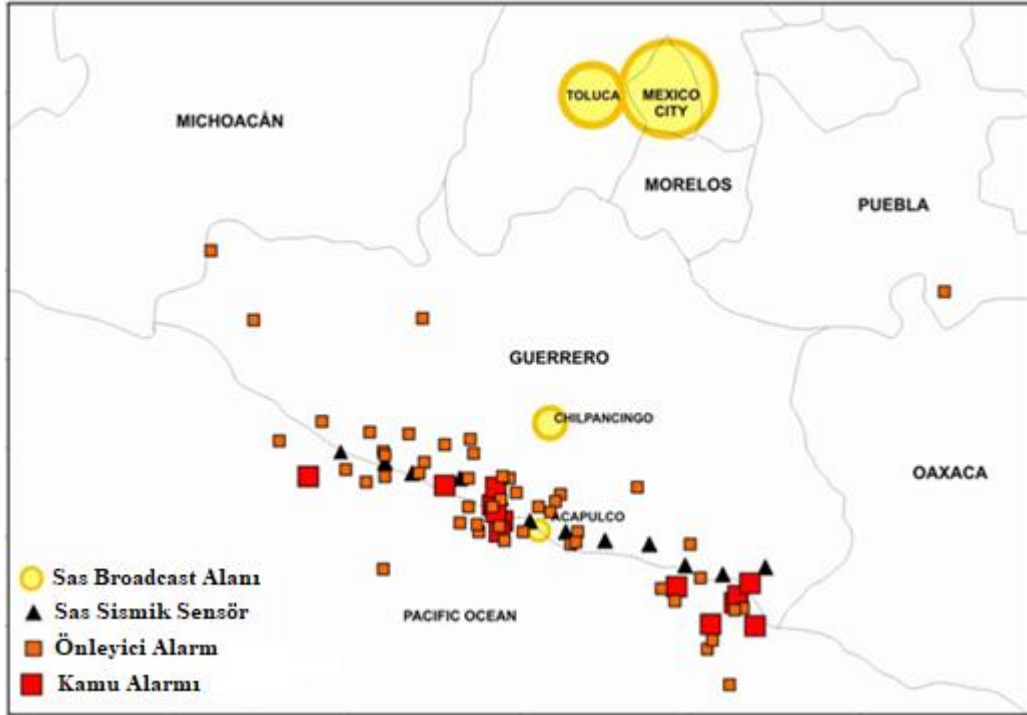
UrEDAS (Acil Deprem Algılama ve Alarm Sistemi), veriyi saklamadan adım adım işleyen ilk gerçek zamanlı P dalgası alarm sistemidir. Prototip UrEDAS 1985 yılında kurulmuştur ve 20 km’lik alan içinde yaklaşık 3 sn’de alarm vermiştir. Gelişmiş versiyonu olan Compact UrEDAS 1998 yılında 200 km’lik alanı kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Şekil 2.7.’de Japonya’da hızlı tren sistemlerinde kurulu UrEDAS dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Japonya’da hızlı tren sistemlerinde kurulu UrEDAS ve Compact UrEDAS’ın dağılımı [20]

#### 2.4.2. Meksika

1985 yılında Michoacan Depremi sonucunda Meksika’da dünyada ilk defa halkı uyarıcı bir EWS kurulması planlanmıştır. Sistem 1991 yılında yaklaşık 300 km’ye 25 km aralıklı olarak sismograf yerleştirilerek kurulmuştur [22]. SAS (Sismik Uyarı Sistemi) olarak adlandırılan bu sistem olası bir depremde Meksika halkını 60 saniye önceden uarmaktadır [23]. Sistem deprem dalgalarını (P ve S dalgaları) otomatik olarak tespit eder. Elde edilen verilerle depremin büyüklüğü belirlenir ve belirli bir büyüklükteki deprem için halk uyarılır [24]. Sistem sayesinde acil durum organizasyonları, kamu binaları, enstitülere de uyarı verilmektedir. SAS ağı Şekil 2.8.’de verilmiştir.

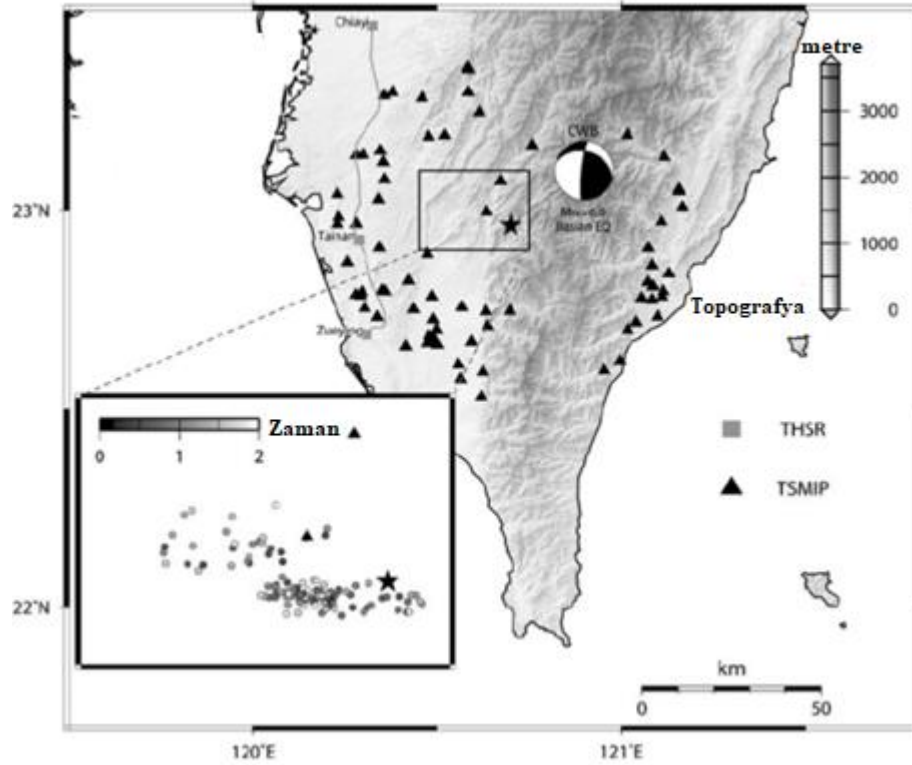


Şekil 2.8. SAS ağı [25]

### 2.4.3. Tayvan

1986 yılında Tayvan'da meydana gelen depremde başkent Taipei çok büyük zarar görmüştür [26], [15]. Deprem sonrasında deprem üzerine çalışmalara başlanmış deprem verilerinin tutulacağı bir sistem TSMIP (Tayvan Güçlü Hareket Enstrümasyon Programı) tarafından kurulmuştur. Ülke geneline yerleştirilen 650 modern sayısal sismometreler sayesinde veriler kaydedilmiştir [10]. Kaydedilen çalışmalar sayesinde TREIRS (Tayvan Hızlı Deprem Bilgilendirme Sistemi) kurulmuştur. Depreme ait merkez, büyüklük haritasını hızlı bir şekilde çıkartmaktadır [27]. 82 sismometre içeren istasyonlar zamanla arttırarak 109 adede çıkartmıştır [26]. TSMIP ağına ait istasyon dağılımları Şekil 2.9.'da verilmiştir.





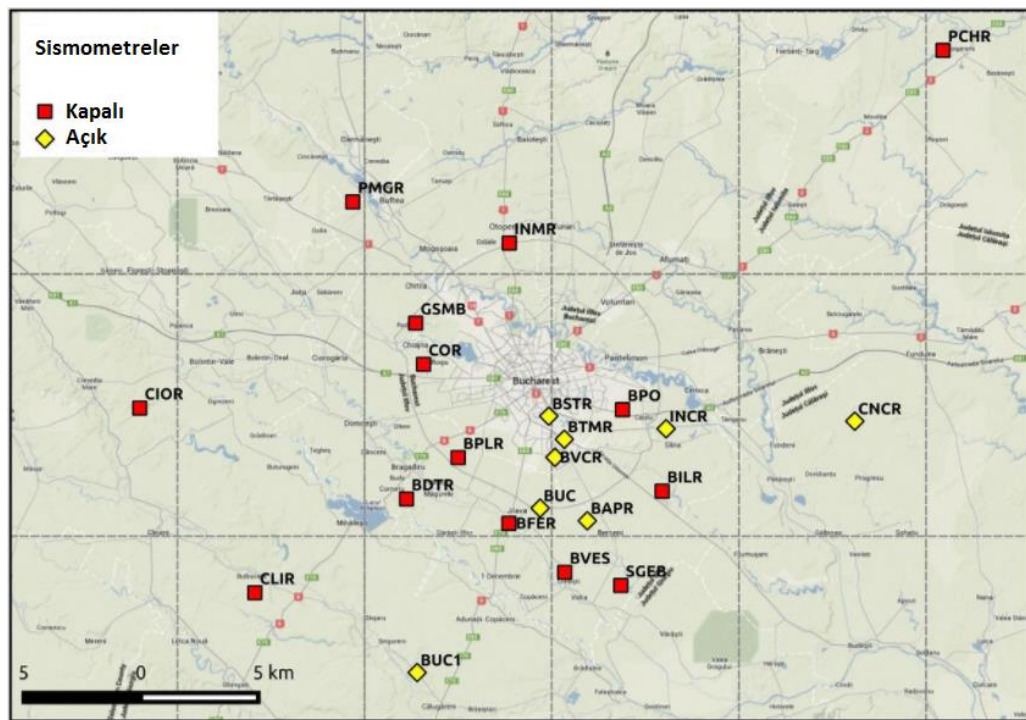
Şekil 2.9. TSMIP ağı [28]

TSMIP ağı'nın kurulumundan sonra Hualien Bölgesi'ne de bir EWS kurulması önerilmiştir [26]. TREIRS'in istasyonları kullanan sisteme 100x300 km<sup>2</sup> lik alana 16 adet sismograf yerleştirilerek alt-ağ yaklaşımı ile test edilmiştir. Bu sayede 20 saniyelik erken uyarı zamanı elde edilmiştir [29]. Alt ağ kullanarak geliştirilen Virtual Sub-Network (VSN-Sanal Alt Ağ) yaklaşımı bu sistemde kullanılmıştır. Bu yaklaşım otomatik olarak çalışan bir sistemdir. Deprem meydana geldiğinde depremin merkezinden 60 km çembersel uzağındaki yerler hesaplamının dışında bırakılır [26], [29]. Tayvan'da EWS sadece demiryolları, hastane ve afet işlerini uarmaktadır [30].

#### 2.4.4. Romanya

Bükreş'te meydana gelen depremlerin çoğunluğu Vrancea Bölgesi'nde toplanmıştır. Depremin bu bölgede meydana gelmesi Romanya'ya büyük avantaj sağlar. Belirli yıllarda meydana gelen depremler üzerine yapılan çalışmalarda depremin odak derinliğinin 150 km civarında sabit kaldığı görülmüştür [31], [32]. Mesafenin derinliği bu kadarla sınırlı kalması EWS için avantaj sağlar. Bu bölgede kontrol merkezine

kablo ile bağı 3 adet sismograf kullanılmıştır. Deprem tespiti belli bir eşik seviyesine bağı olarak yapılmaktadır. İkinci bir cihaz ile de eşik seviyesinin aşılp aşılmadığı kontrol edilerek uyarı sinyali üretilmektedir. Bölgenin yapı olarak uygun olması sebebi ile uyarı sinyali UHF radyo dalgalarıyla yapılmaktadır. Bu sayede deprem ilgili yerlere ulaşmadan 25 saniyelik deprem erken uyarı sinyali verilebilir [32], [33]. Romanya'daki erken uyarı sinyali Ulusal Fizik ve Nükleer Mühendisliği Enstitüsü'nde bulunan santralin güvenliği için iletilmektedir [30]. Romanya'da bulunan sismometrelerin konumu Şekil 2.10.'da verilmiştir.

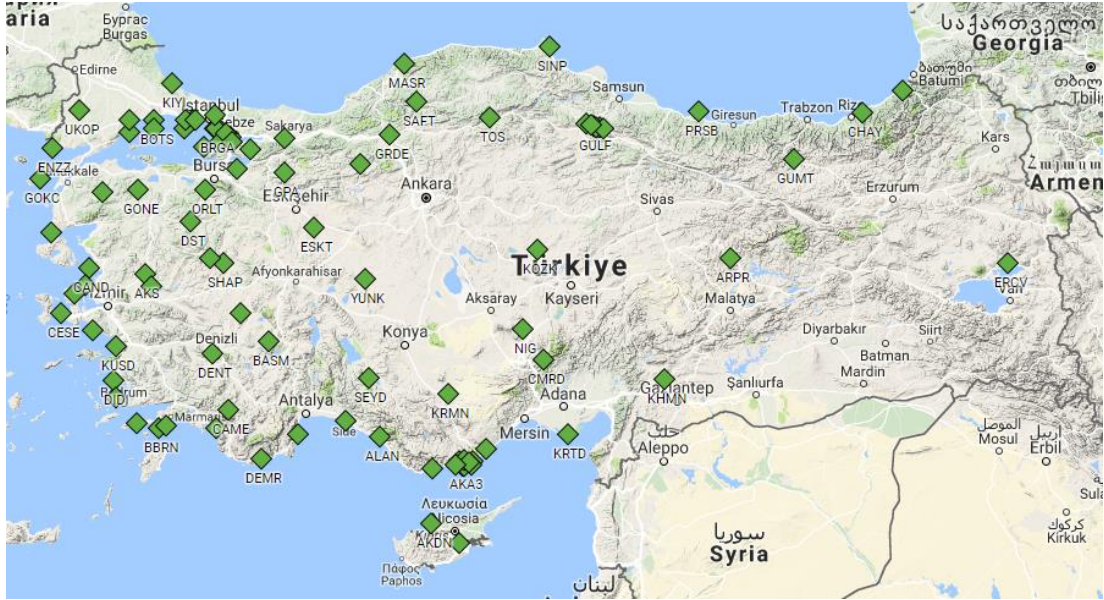


Şekil 2.10. Romanya'daki sismometreler [34]

#### 2.4.5. Türkiye

Türkiye'de Marmara bölgesinde deprem hareketlerini izlemek için fay hattına yakın yerlere 10 adet istasyon kurulmuştur. Veriler istasyonlardan ana merkeze uydu vasıtasıyla iletilerek ve otomatik işlenmiştir. Sistemin erken uyarı alarmını üretebilmesi için en az 3 istasyonun eşik seviyesinin aşılpması gerekmektedir. Yıkıcı bir depremin geleceğini haber verecek olan uyarı sinyali, depremin meydana geldiği

konuma bağı olarak 8 saniye öncesinde iletilebilecektir [6]. Şekil 2.11.'de Türkiye'deki sismik istasyonların dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.11. Türkiye'deki sismik istasyonlar [35]

#### 2.4.6. Amerika Birleşik Devletleri

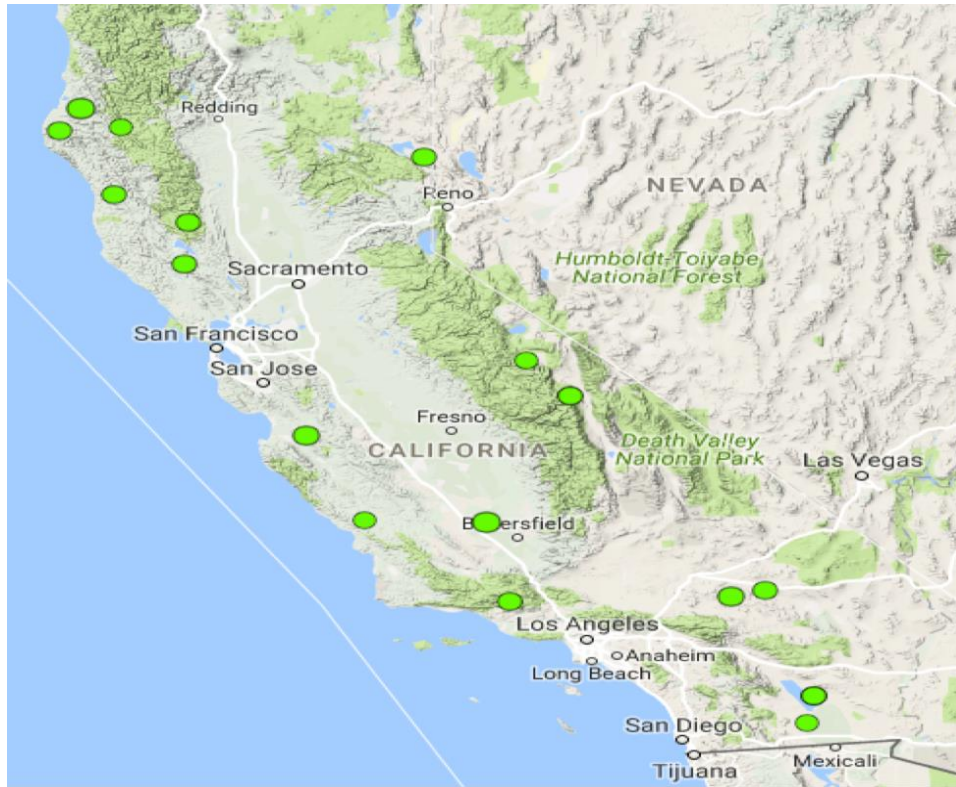
Amerika Birleşik Devletleri'nde afetlerden sonra meydana gelen zararları azaltma üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar deprem riskini tespit etme ve sonucu değerlendirme ile deprem sonrası bilgilendirme üzerinedir. Deprem risk ve zarar azaltma çalışmaları risk haritaları ile gerçekleştirilmiştir [11].

Bilgilendirme çalışmaları bazı önemli sistemler:

- ANSS (Gelişmiş Ulusal Sismik Sistemi) [5],
- REDI (Hızlı Deprem Veri Bütünleşmesi) [7],
- CUBE (Depremlerin Caltech ve USGS tarafından yayını) [9],
- TriNet [8],

2003 yılında afet zararının azaltılması için Güney Kaliforniya da TriNet sismik istasyonları kurularak ElarmS (Deprem Alarm Sistemi) sistemiyle birkaç saniyeden onlarca saniye öncesine kadar uyarı sinyali iletilmesi mümkündür [11].

ElarmS sistemi, Japonya'da kullanılan UrEDAS sistemine benzer sistemi kullanır. UrEDAS'tan farklı olarak sismik ağ kullanmasıdır. Şekil 2.12.'de ElarmS sistemine ait sismik istasyonlar bulunmaktadır. Romanya'daki EWS gibi A.B.D'de halkı uarmaya yönelik bir sistem mevcut değildir. Kaliforniya'da hızlı trenlerde kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır [30].



Şekil 2.12. ElarmS sistemine ait sismik istasyonlar [36]

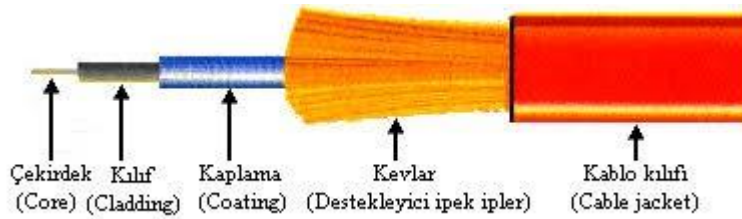
## 2.5. Fiber Optik ve Özellikleri

Fiber optik, çok hassas saf cam üzerinden ışığın iletilmesini sağlayan bir sistemdir. Fiber optik kablolar sayesinde veri iletimi 200 bin km/sn ile gerçekleşir. Bu özelliği nedeniyle uzak mesafeler için kullanılması tercih edilen bir teknolojidir. Ayrıca fiber

optik kablolar çevresel faktörlerden (nem, gürültü, ısı gibi) az etkilendiğinden diğer kablolarla göre daha çok tercih edilir. Son teknolojiler ile bir fiberdeki ışık 1 Tbps (1000 Gbps) kapasiteye sahiptir. Her fiber 160 farklı dalga boyunda aynı anda veri gönderebilir. Bir fiber kabloda 400 tane fiber bulunabilir. Böylece bir fiber kabloyla 160x400 Tbps'den 64 Pbps kapasite elde edilebilir.

Fiberin yapısı üç bölgeden oluşmaktadır:

- Core (Çekirdek): Işığın hareket ettiği ince cam tabakadır.
- Cladding (Kılıf): Optik malzemeden üretilmiş çekirdeğin dışını saran, merkezden yansıyan ışığı tekrar merkeze geri gönderen kısımdır.
- Coating (Kaplama): Dış katman olan kaplama kabloyu neme ve darbeye karşı korur.



Şekil 2.13. Fiberin yapısı

Şekil 2.13.'te gösterilen optik fiber kablolar, yüz ve yüze aşkın kablodan oluşurlar. Bu kablolar yapıldıkları malzemeye, merkez çaplarına ve ışığın kırılmasına göre iki çeşide sahiptir.

### 2.5.1. Tekil modlu fiberler

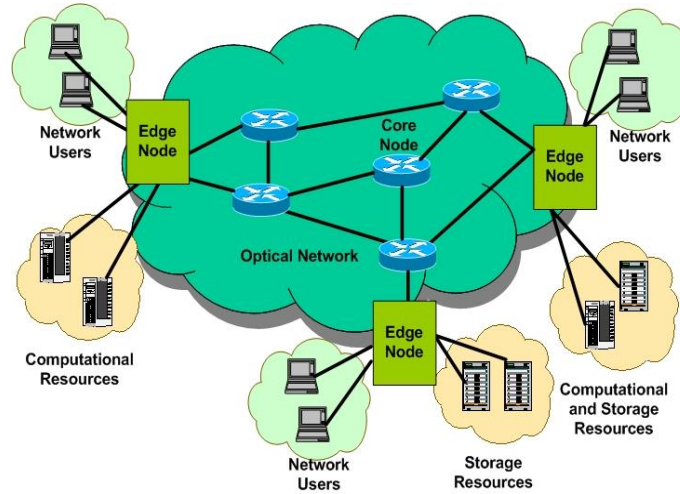
Tekil modlu fiberler, ince merkezli yaklaşık 9 mikronluk çaplı kablolardır. Dalga boyu değeri 1300 ile 1550 nanometre arasında olan kızılötesi lazer ışığını iletirler. Tekil modlu fiberler veri kaybının az olması istenildiği durumlarda kullanılır.

### 2.5.2. ođul modlu fiberler

ođul modlu fiberler, yaklaşık 62.5 mikronluk çapa sahip olan kablolardır. Dalga boyu değeri 850 ile 1300 nanometre arasında olan kızılötesi lazer ışığını iletirler. Tekil modlu fibere göre veri kaybı daha fazladır. Üretim maliyeti daha az olduğundan daha çok tercih edilir.

### 2.6. Fiber Optik Ağlar

Bir telekomünikasyon ağında bulunan ađ kullanıcıları arasında verinin iletimi için sinyalleri ışığa kodlayan bir araçtır [37]. Şekil 2.14.'te gösterilen fiber optik ağda yerel alan ağından okyanusötesi mesafeye kadar geniş alan ağı üzerinde çalışmalar yapılabilir.



Şekil 2.14. Fiber optik ađ omurgası [38]

Optik erişim ağları üç çeşittir:

- Noktadan Noktaya Bağlantılı Ağlar
- Aktif Yıldız Bağlantılı Ağlar
- Pasif Yıldız Bağlantılı Ağlar (PON)
  - APON – BPON

- GPON
- EPON – GEAPON – 10G EPON
- NGPON [37].

GPON teknolojisi ülkemizdeki telekom şirketlerinin kullandığı pasif elemanlarla çalışan iletişimin yüksek hızlı ve yüksek kapasitede olduğu bir teknolojidir.

CISCO'nun yaptığı araştırmaya göre 2021 yılında internette akan verinin 3,3 zettabayt olacağı tahmin edilmiştir. İnternet ortamında bu kadar verinin iletilmesini fiber optik ağlar sağlamaktadır.

## 2.7. Fiber Optik Ağların Gelişimi

Fiber optik, telekomünikasyon altyapısının temel yapıtaşı haline gelmiştir. Yüksek bant genişliği, hızlı veri aktarımı ve uzak mesafelere kadar iletişim sağladığı için en fazla tercih edilen iletim araçlarından birisi olmuştur.

Fiber optik bir ağ, optik fiberler üzerinden verileri aktarmak için optik fiberlerle bağlanan düğümlerden oluşur. Fiber optik ağlar, birinci nesil ve ikinci nesil ağlar olarak gelişimlerine göre sınıflandırılabilir.

Bağlantı darboğazı, iletişim hızlarının yavaş olmasına ve bir ağdaki kullanıcı verimliliğini sınırladığından birinci nesil fiber optik ağlar, bağlantı darboğazı problemini çözmeye odaklanmış ve bu nedenle iletim ortamı olarak optik fiber kullanmıştır.

Birinci nesil ağlarda, bir düğüm yalnızca o düğüm için belirlenmiş verileri değil, aynı zamanda diğer düğümlere yönlendirilen verileri de ele almalıdır. Diğer ağ düğümlerine yönlendirilen veriler optik alan üzerinden yönlendirilebilirse düğümdeki yük önemli ölçüde azalacaktır. Bu, ikinci nesil fiber optik ağların geliştirilmesi için anahtar konulardan biridir. Dalga boyu bölmeli çoklama (WDM) bu tür ağlarda kullanılan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmıştır.

## 2.8. Optik WDM Ağlar

Telekomünikasyon ağlarının hızlı gelişimi, yeni uygulamalar için sürekli artan kullanıcı talepleri kadar teknolojiye sürekli gelişmelere de bağlıdır. İnternet trafiğinin büyümesiyle bant genişliği problemi ortaya çıkmıştır. Artan bant genişliği problemini çözmek için telekomünikasyon ağlarında fiber optik kullanımı başlamıştır.

Fiber optik, geniş bant genişliği kapasitesi sağlayarak kullanılan diğer kablo teknolojilere göre kullanıcılara daha iyi fiziksel iletim ortamı oluşturur. Fiber optik, geniş bant genişliği kapasitesinin yanı sıra yüksek hız, düşük zayıflama, düşük sinyal bozulması, düşük bit hata oranı, ucuzluk gibi karakteristiklere de sahiptir. Fakat işlem hızı kapasitesinin sınırlı olmasından tek bir yüksek kapasiteli optik kanal veya dalga boyu kullanılmasıyla tüm bant genişliğinden yararlanılması mümkün değildir. Bu sebeple fiber optiklerde daha yüksek kapasiteli bant genişliği elde etmek için efektif teknolojiler ortaya çıkmıştır. Dalga boyu bölmeli çoklama (WDM) teknolojisi bu soruna mantıksal bir çözüm getirmiştir. WDM, bir fiber üzerinde farklı sinyallerin farklı dalga boyu üzerinde taşınmasıdır. İfadeyi genişletirsek; WDM teknolojisi birden fazla optik sinyalin, sıralı ve bağımsız bir şekilde, kullanılabilir bant genişliğini önemli ölçüde arttıran her birinin hız oranı saniyede birkaç gigabit olan tek bir fiber üzerinde farklı optik kanallarda taşınmasıdır. WDM yüksek bant genişliğinin yanı sıra işlem maliyeti ve etkili arıza giderme gibi avantajlarıyla da tercih sebebidir.

## 2.9. Literatür

Telekomünikasyon sistemlerinin temelini oluşturan WDM ağları büyük depremlerden etkilenen kritik altyapılardan biridir. Nükleer enerji santrali, ulaşım sistemleri gibi bazı kritik altyapılara depremi önceden haber veren EEWS entegre edilmiştir. Fakat optik WDM ağlara bu entegrasyon yapılmamıştır. Son zamanlarda meydana gelen depremlerin telekom ağlarına verdiği zarar göz önünde bulundurulursa oluşacak felakete karşı tedbirlerin alınmasıyla sonuçlanacaktır [37].



Bu çalışmada, deprem uyarı sistemleri ile optik WDM şebekeleri arasındaki entegrasyonu göz önüne alarak, telekom omurga ağları için depreme hazırlık için üç strateji önerilmiştir.

EEWS, fay hatlarında meydana gelen kırılmalardan oluşan titreşimleri tespit ederek daha sonra meydana gelecek yer sarsıntısını tahmin eder. [38]'deki çalışmada depremin yerini tespit eden grafik arayüzüne sahip EEWS geliştirilmiştir. Bu çalışmaya ile EEWS tarafından depremin meydana geleceği yer tespit edilen bölgelere iletilen uyarı sayesinde sarsıntının etkisini azaltılabilir.

EEWS'in arayüzü genel olarak depremin büyüklüğünü, yerini, sismik yoğunluk dağılımını ve deprem meydana gelmeden önceki süreyi içerir [39]. Uyarı zamanı, depremin merkezinden uyarı alan kritik altyapının uzaklığına göre birkaç saniyeden bir dakikaya kadar değişir. P dalgalarının S dalgalarına göre toprak ortamında daha hızlı hareket etmesinden dolayı P dalgasına göre depremin büyüklüğü ve yeri tespit edilir. Bu özellik sayesinde her saniyede 3,5 kilometrelik erken uyarı imkanı sağlanır. Depremin merkezinden 100 kmlik uzaklıkta meydana gelen sarsıntıdan önce 24 saniyelik uyarı zamanı olabilir. Bu uyarı zamanı deprem istasyonlarının yoğunluğuna bağlı da olarak değişir [40].

EEW algoritmaları dünya çapında giderek yaygınlaşmaktadır. Japonya Meteoroloji Ajansı / Yer Bilimi ve Afet Önleme Ulusal Araştırma Enstitüsü (JMA / NIED) EEWS ve Kaliforniya Entegre Sismik Ağ (CISN) ShakeAlert EEWS bunlardan ikisidir [41]. Bu çalışmada demiryolu taşımacılığı hakkında bilgi verilerek Kaliforniya ve Tohoku Depremindeki veriler taklit edilerek test edilmiştir ve 60 saniye önceden bir trenin otomatik olarak durdurulmasının mümkün olduğunu kanıtlanmıştır.

Napa depreminde EEWS'ye GPS entegre edilerek gerçek zamanlı veriler elde edilmiştir [42]. Benzer şekilde Tohoku depremleri gibi son zamanlardaki büyük depremlerde de etkili bir şekilde uygulanmaktadır [43]. EEWS, tehlikeli kimyasal fabrikalar, ulaşım, okul, hastane gibi kritik tesisler için kullanılırsa yalnızca insan

kaybı ya da yaralanma ve tesislerde oluşan zararı değil aynı zamanda çıkan hasardan dolayı imalattaki gecikme maliyetinin engellenmesini sağlayabilir.

Miyagi Oki Electric, Meteoroloji Ajansı tarafından Acil Deprem Bülteni kullanılarak REIC (Gerçek Zamanlı Deprem Bilgisi Konsorsiyumu) ile birlikte bir afet önleme sistemini geliştirmiş ve uygulamıştır [44]. Hassas üretimin yapıldığı yarı iletken fabrikalara sahip kurumlar EEWS kullanmışlardır. Sendai, Japonya'daki en büyük yarı iletken şirketlerinden biri ve Kaliforniya'daki Bay Area Rapid Transportation (BART), deprem öncesi önlem almak için EEWS seçmişlerdir [45].

Emolo ve ark. devlet okul binaları için bir EEW sistemi geliştirmiştir [46].

Doğu Karayipler bölgesi için, depremle ilgili 475 yıl öncesi veriler kullanılarak ve senaryo depremleri oluşturularak bir EEWS yapılmıştır [47]. Bu çalışmada deprem riski yüksek olan alanlara sismograf yerleştirilerek olacak depremlerden veya gerçek zamanlı depremlerden veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerle deprem tehlike haritaları üretilmiştir. Deprem riskine maruz kalan doğalgaz hasarını tahmin ederek İstanbul Doğal Gaz Dağıtım Şebekesi Sismik Risk Azaltma Projesi (IGRAS) nin stratejileri geliştirilmiştir [48].

Diğer bir çalışmada ise Erken Uyarı kullanılarak veri merkezleri ağları için düşük maliyetli veri yedekleme sistemi kurulmuştur [49].

Depremin olacağını haber veren EWS sayesinde felaket meydana gelmeden alınması gereken önlemler kritik altyapı sahibi birinden diğerine göre değişir. Örnek verecek olursak ulaşım sistemlerinde kullanılan trenin durdurmanın maliyeti ile enerji üretimi için kullanılan nükleer santrali durdurmanın maliyeti birbirinden farklı olacaktır. Benzer şekilde, demiryolu taşımacılığının durdurulması veya yavaşlatılması, bir yarı iletken şirkette üretimin durdurulmasından çok daha düşüktür. Bu sebeple, deprem meydana gelmeden önce alınabilecek önlemler uyarı süresine bağlı olarak değişir. Hatalı bir uyarı ulaşımın aksamasında yolcuların rahatsızlığı ile sonuçlanırken üretim yapan bir fabrika için kabul edilemez olabilir. Bu çalışmada fiber optik ağların EEWS

den uyarı aldığı düşünülerek farklı deprem hazırlığı stratejileri geliştirilmiştir. Üç farklı strateji geliştirilmiştir. Sırası ile bunlar: Extreme Yaklaşım, Relax Yaklaşım ve Careful Yaklaşım'dır. Bu çalışma EEWS tarafından tahmin edilen deprem uyarılarını göz önüne alarak deprem için strateji geliştiren ilk çalışmadır. Bu çalışma sayesinde EEWS geliştiricileri ve optik ağ operatörleri arasında bir bağlantı oluşturacaktır. Bu çalışma aynı zamanda deprem haricindeki diğer doğal felaketlerde de kullanılabilir.

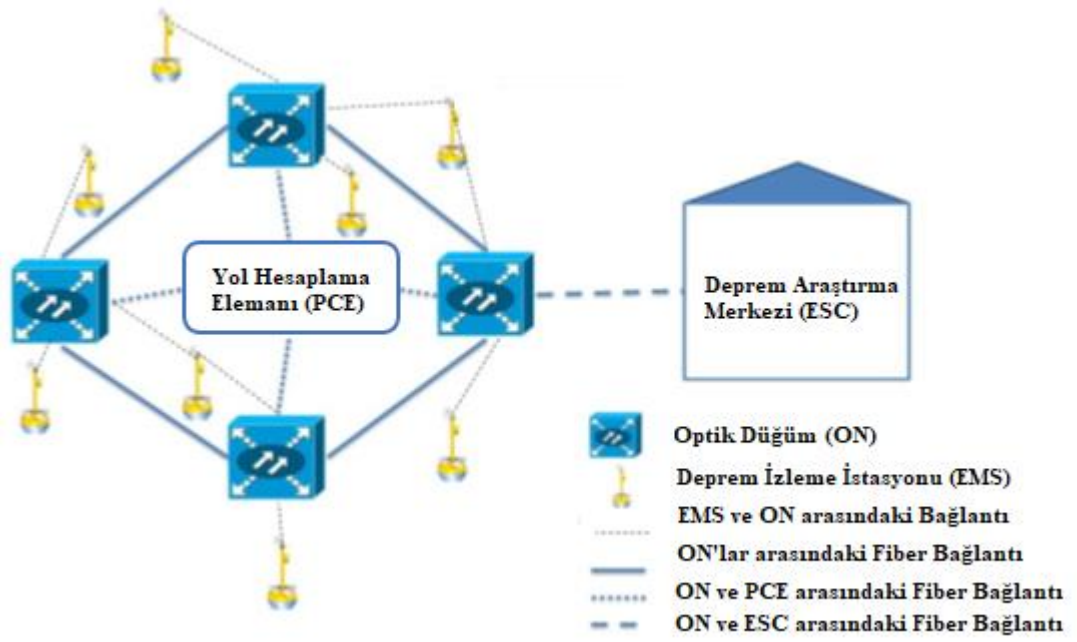
## **BÖLÜM 3. UYGULAMA**

### **3.1. EEWS ve Optik WDM Ağlarının Entegrasyonu**

Deprem izleme istasyonlarından (EMS) elde edilen bilgiler EEWS aracılığıyla deprem istasyonları olarak da adlandırılan Deprem Çalışma Merkezi'ne (ESC) gönderilir. ESC'ye gelen gerçek zamanlı veriler işlenerek oluşacak depremin alarm seviyesi belirlenebilir. Bu sayede elde edilen bilgilerle kritik altyapı sahiplerine uyarılar gönderilebilir. EMS'ler ve ESC arasındaki iletişim IP ağları kullanarak sağlanır.

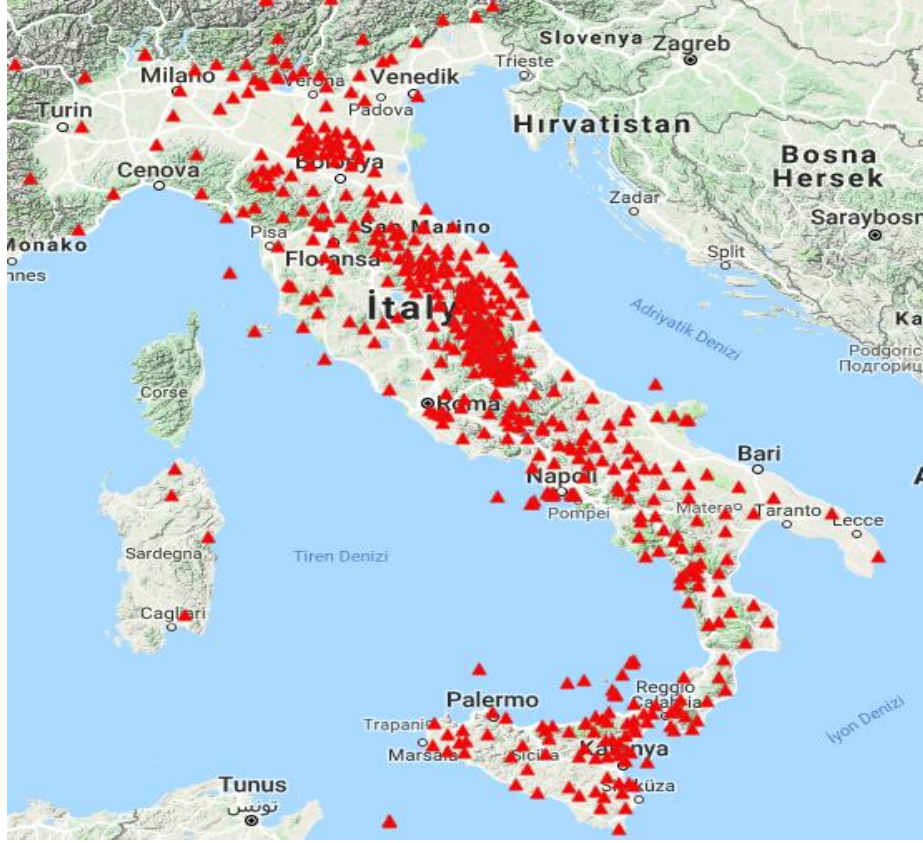
Uyarılan altyapı optik ağlar olduğundan, optik ağ operatörlerini uyarı için ESC atlanarak yol hesaplama elemanında (PCE) karar verilebilir. PCE'ler güçlü işlem yapan bilgisayarları içeren ve ağlar hakkında genel bilgiye sahip olan elemanlardır.

Şekil 3.1.'te EEWS ve optik WDM arasındaki entegrasyon gösterilmektedir. Şekildeki bağlantılar fiber optik bağlantı kullanarak yapılmıştır. EMS'ler bir veya iki optik düğüme bağlanarak depremle ilgili sismik verileri iletmek için kullanılabilir. PCE'ye doğrudan veriler gönderilebilir. Aynı zamanda bu veriler WDM ağları tarafından ESC'ye de gönderilebilir. ESC, kritik altyapıya sahiplerini uyarabilir. PCE deprem riski bulunan bölgelerin alarm düzeylerini ve yerini bulabilir. Bunun sonucunda alarm seviyesine bağlı olarak da tedbirler alınabilir.



Şekil 3.1. EEWS ve optik WDM ağları arasındaki entegrasyon mimarisinin diyagramı [50]

EMS'ler deprem riski taşıyan bölgelere konular. Araştırma amacıyla daha büyük alanlarda da kullanılabilirler. Şekil 3.2., İtalya'daki sismik istasyon dağılımını göstermektedir. 536 istasyon vardır. Bazı noktalarda araştırma amaçlı iki istasyon bulunmaktadır.



Şekil 3.2. İtalya'daki deprem istasyonu dağılımı [51]

Bu entegrasyon ile optik WDM ağlarının hızlı olmasından faydalanarak deprem riski taşıyan bölgelerin verileri çok hızlı bir şekilde ESC'ye ile paylaşılmış olunur. Optik WDM ağlarının IP ağlarına göre daha hızlı ve daha güvenilir olduğu düşünülürse bu tür önemli bilgiyi taşınması daha uygundur. Bu yüzden veriler ESC'ye gönderilirken optik WDM ağları tercih edilmiştir.

### 3.2. Deprem Hazırlık Stratejileri

EEWS kullanan kritik altyapı sahipleri deprem riski olduğu durumlarda dört alarm seviyesi (A0, A1, A2, A3) ile uyarılır. Uyarıyı alan kritik altyapı sahipleri alarm seviyesine göre harekete geçer. [41]'deki çalışmada harekete geçmeden önce (üretimin durdurulması, trenin durdurulması gibi) alarm sıfırı (A0) önermişlerdir. Bu yüzden yanlış alarmla sebebiyet vermeden önce ön eylemler alınarak kritik altyapıdaki sorumlu kişinin uyarılması sağlanır.

PCE'nin ağ elemanlarının koordinatlarını (optik düğüm, fiber kablo vs.) tutarsa deprem erken uyarı algoritmaları [39] kullanarak depremin olacağı yerleri hesaplayarak yeniden yapılandırma sağlayabilir.

Ağdaki düğümler genel olarak farklı bant genişliği isteğinden dolayı farklı önem seviyelerine sahiptir. Ayrıca ağdaki düğümler kritik altyapısından dolayı da (fabrika, okul, hastane gibi) önem seviyesi farklı olabilir. Uygulanacak çalışmada bu bağlantıların önem düzeyleri dikkate alınmalıdır. Önerdiğimiz üç algortmada deprem riski taşıyan bir bağlantının hedef ve kaynak düğümü yeniden yapılandırılmamıştır. Aşağıda bu çalışmada geliştirdiğimiz algoritmalar için parametreler verilmiştir.

Verilenler:

- $G(V, E)$ :  $V$ 'nin düğüm kümesi ve  $E$ 'nin bağlantı kümesi olduğu topoloji.
- $T = \{t \mid t = \langle s_t, d_t, \beta_t, \delta_t \rangle\}$ : Bağlantı setinde  $s_t$ ,  $d_t$ ,  $\beta_t$  ve  $\delta_t$  sırasıyla kaynak düğüm, hedef düğüm, istenen bant genişliği ve  $t$  bağlantısının azaltılmış bant genişliği olarak verilmiştir.  $\delta_t$  felaket anında tolere edilebilen minimum bant genişliğidir.
- $F(e)$  ve  $C(e)$ : kullanılabilir bant genişliği ve  $e \in E$  fiber linkinin ağırlığı.
- $\gamma$ : Herhangi bir bağlantıya verilebilecek minimum bant genişliği ( $\gamma = \min_{t \in T} \delta_t$ ).
- $U_t$ : Sınırlı kaynaklardan ötürü sağlanamayan bağlantıların listesi.

### 3.2.1. Extreme yaklaşım

[52]'deki çalışmada kasırga felaketi için tüm bağlantıları güvenli ağ elemanları ile yeniden yapılandırılması gerektiği üzerine çalışılmıştır. Bu yaklaşımda, felaket durumunda bağlantı isteklerinin azaltılmış bant genişliği kullanarak yeniden yapılandırılması gerçekleştirilmiştir. Extreme yaklaşım, en kötü durum senaryosunu ele alır ve tüm bağlantıları azaltılmış bant genişliği ile güvenli bölgeler üzerinden geçerek yeniden oluşturmaya çalışır. Bir bağlantı, azaltılmış bant genişliği ile yeniden yapılandırılmazsa, herhangi bir bağlantının sağlayabileceği minimum bant genişliği ile yeniden yapılandırmaya çalışır ( $\gamma$ ). Bir ağ elemanı için alarm seviyesi düşükse (ör. A1), o elemanın başarısızlık olasılığı daha düşük olur. Bu durumda bu yaklaşım,

birçok bağlantıyı gereksiz yere düşürebilir ve yeniden yapılandırılabilir. Eğer alarm seviyesi zamanla artarsa Extreme yaklaşımda bağlantıların çoğu kaybolacaktır. Tablo 3.1., Extreme yaklaşım algoritmasını göstermektedir [50].

Tablo 3.1. Extreme algoritması

---

Algoritma 1: Extreme yaklaşım

---

```

1: Alarmı (A1, A2 ya da A3) alan düğümlerin ve bağlantıların kümesini hesapla
   ( $V_A$  ve  $N_A$  sırasıyla).
2:  $V_r = V - V_A$  ve  $E_r = E - E_A$  olduğu  $G_r(V_r, E_r)$  azaltılmış grafını oluştur.
3: T'deki tüm bağlantıları, önem seviyelerine göre azalan düzende sırala.
4: for  $t \in T$  Her bir bağlantı do
5:   if  $s_t \notin V_i$  ve  $d_t \notin V_i$  then
6:     for Her bir link  $e \in E_r^i$  do
7:       Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
8:          $C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \delta_t \\ 1 & \text{aksi takdirde.} \end{cases}$ 
9:       end
10:      end
11:       $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
12:      if yol bulundu then
13:         $\delta_t$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
14:      end
15:    else
16:      for Her bir link  $e \in E_r^i$  do
17:        Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
18:           $C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \gamma \\ 1 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$ 
19:        end
20:      end
21:       $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
22:      if yol bulunmadı then
23:         $t$ 'yi  $U_t$ 'ye ekle.
24:      end

```

---



Tablo 3.1. (Devamı)

---

Algoritma 1: Extreme yaklaşım

---

```

25:         else
26:             y bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
27:         end
28:         F(e) değerlerini güncelle.
29:     end
30: end

```

---

### 3.2.2. Relax yaklaşım

Relax yaklaşımında, felaket anında yalnızca en önemli bağlantıları yeniden yapılandırılır. Yeniden yapılandırmaya ilişkin sınırlı sayıda bağlantıya sahip olduğu için Relax yaklaşımı, ilk önce bir bağlantıyı tam bant genişliği gereksinimi ile yeniden oluşturmaya çalışır. Bir yol bulunamazsa, azaltılmış bant genişliği ile dener. Relax yaklaşımı, başarısızlık olasılığı çok düşük olduğunda çok yararlıdır. Bununla birlikte, alarm seviyesi çok hızlı artarsa, birçok bağlantı kaybolacaktır. Tablo 3.2., Relax yaklaşımının adımlarını göstermektedir [50].

Tablo 3.2. Relax algoritması

---

Algoritma 2: Relax yaklaşım

---

```

1: Alarmı (A1, A2 ya da A3) alan düğümlerin ve bağlantıların kümesini hesapla
   ( $V_A$  ve  $N_A$  sırasıyla).
2:  $V_r = V - V_A$  ve  $E_r = E - E_A$  olduğu  $G_r(V_r, E_r)$  azaltılmış grafını oluştur.
3:  $T_a$ 'daki önemli olan bağlantıları, önem seviyelerine göre azalan düzende sırala.
4: for  $t \in T_a$  Her bir bağlantı do
5:     if  $s_t \notin V_A$  ve  $d_t \notin V_A$  then
6:         for Her bir link  $e \in E_r$  do
7:             Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.

```

---

Tablo 3.2. (Devamı)

---

Algoritma 2: Relax yaklaşım

---

```

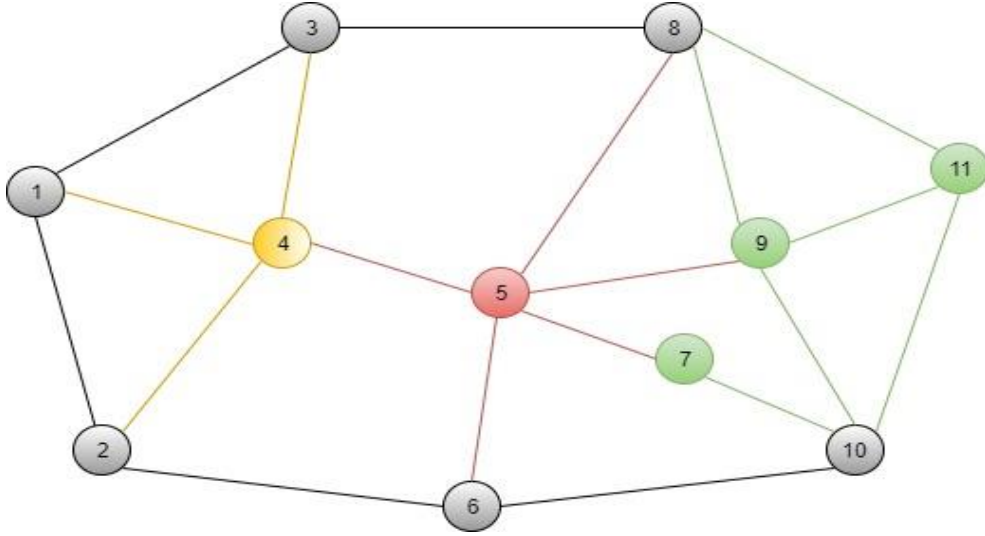
8:           $C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \beta_t \\ 1 & \text{aksi takdirde.} \end{cases}$ 
9:
10:        end
11:         $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
12:        if yol bulundu then
13:             $\beta_t$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
14:        end
15:        else
16:            for Her bir link  $e \in E_r$  do
17:                Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
18:                 $C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \delta_t \\ 1 & \text{aksi takdirde.} \end{cases}$ 
19:            end
20:        end
21:         $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
22:        if yol bulunmadı then
23:             $t$ 'yi  $U_t$ 'ye ekle.
24:        end
25:        else
26:             $\delta_t$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
27:        end
28:    end
29:    F(e) değerlerini güncelle.
30: end
31: end

```

---

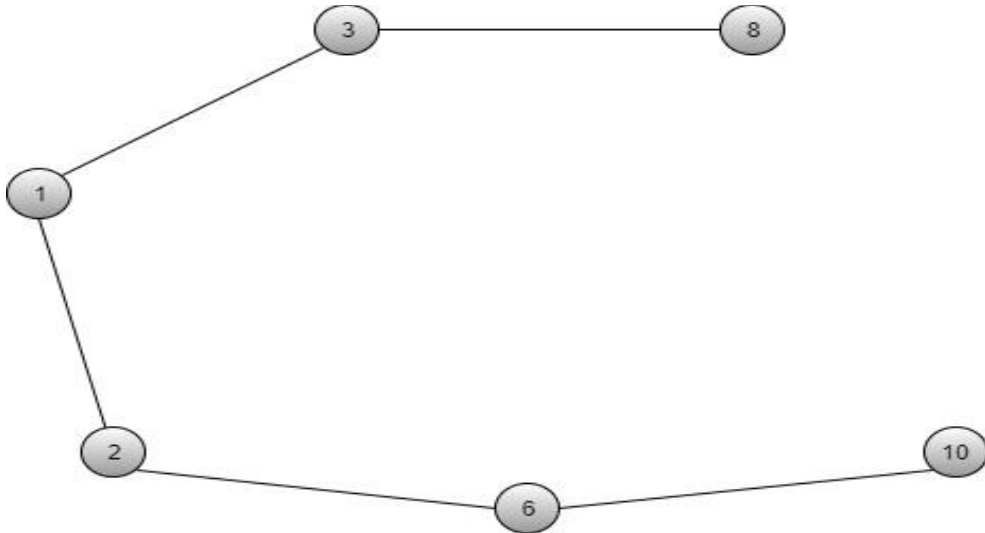
### 3.2.3. Careful yaklaşım

Careful yaklaşım, farklı alarm seviyelerine göre farklı seviyelerin azaltılmış graflarını oluşturur. Şekil 3.3.'te, her ağ elemanı için farklı alarm seviyelerinin (kırmızı = A3, turuncu = A2, yeşil = A1, gri/siyah = güvenli) ürettiği optik bir ağ gösterilmektedir. Şekil 3.4.'te Careful Yaklaşım ile azaltılmış graf oluşturulmuştur.



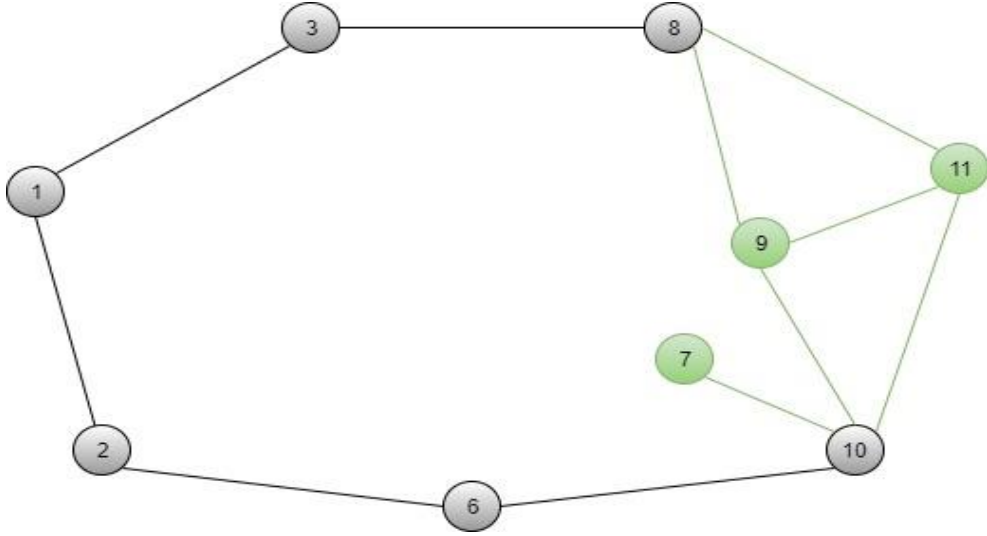
Şekil 3.3. Her bir ağ elemanı için farklı alarm seviyelerinin üretildiği optik ağ ( kırmızı=A3, turuncu=A2, yeşil=A1, gri/siyah=güvenli)

Careful Yaklaşım, en önemli bağlantıdan başlayarak bağlantıları güvenli bölgelerde yeniden oluşturmaya çalışmaktadır (tam bant genişliği ile Şekil 3.5.'te gösterilen  $G_r^1$ 'de). Yeniden yapılandırma, başarılı değilse azaltılmış bant genişliği ve minimum bant genişliği ile yeniden yapılandırmayı dener.



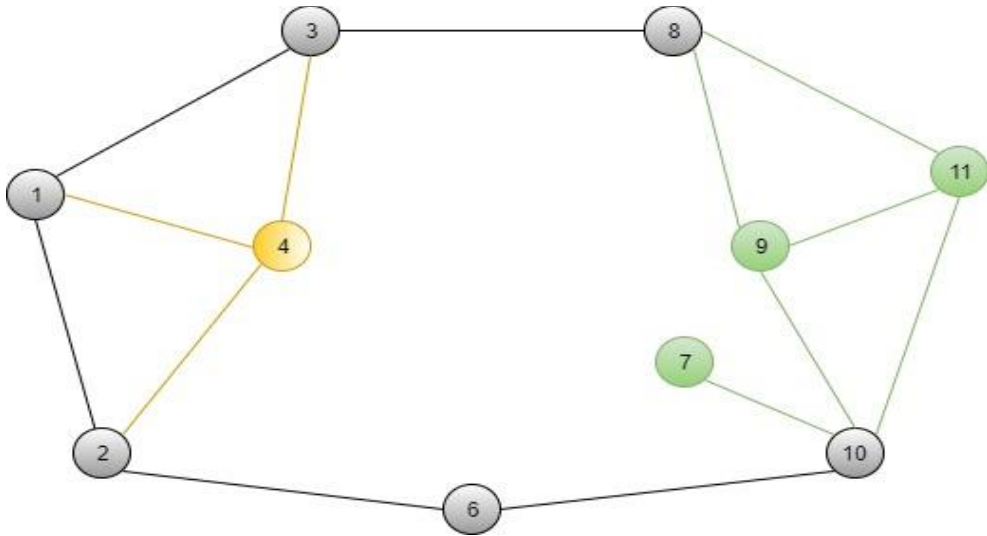
Şekil 3.4. Azaltılmış graf  $G_r^1(V_r^1, E_r^1)$

Güvenli bölgedeki bir bağlantıya (minimum bant genişliği ile) bir yol sağlamak mümkün değilse Careful Yaklaşım, A1 alarmının üretildiği elemanlardan oluşan bir grafa ( $G_r^2$ ) bağlantıyı yeniden oluşturmaya çalışır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Azaltılmış graf  $G_r^2(V_r^2, E_r^2)$

Yeniden yapılandırma hala başarısız olursa, bunu A2 alarm seviyesinin üretildiği elemanları da içeren Graf  $G_r^3$ 'de dener (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Azaltılmış graf  $G_r^3(V_r^3, E_r^3)$

Careful yaklaşımının ayrıntıları Tablo 3.3.'te gösterilmiştir [50].

Tablo 3.3. Careful algoritması

## Algoritma 3: Careful yaklaşım

- 
- 1: Alarmı (A1, A2 ya da A3) alan düğümlerin ve bağlantıların kümesini hesapla ( $V_1, N_1, V_2, N_2$  ve  $V_3, N_3$  sırasıyla).
  - 2:  $V_r^1 = V - (V_1 \cup V_2 \cup V_3)$  ve  $E_r^1 = E - (E_1 \cup E_2 \cup E_3)$  olduğu  $G_r^1(V_r^1, E_r^1)$  azaltılmış grafını oluştur.
  - 3:  $V_r^2 = V - (V_2 \cup V_3)$  ve  $E_r^2 = E - (E_2 \cup E_3)$  olduğu  $G_r^2(V_r^2, E_r^2)$  azaltılmış grafını oluştur.
  - 4:  $V_r^3 = V - V_3$  ve  $E_r^3 = E - E_3$  olduğu  $G_r^3(V_r^3, E_r^3)$  azaltılmış grafını oluştur.
  - 5: T'deki tüm bağlantıları, önem seviyelerine göre azalan düzende sırala.
  - 6: for  $t \in T$  Her bir bağlantı do
  - 7:     for  $i=1$  den 3'e do
  - 8:         if  $s_t \notin V_i$  ve  $d_t \notin V_i$  then
  - 9:             for Her bir link  $e \in E_r^i$  do
  - 10:                 Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
  - 11:                     
$$C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \beta_t \\ 1 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$
  - 12:
  - 13:             end
  - 14:          $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
  - 15:         if *yol bulundu* then
  - 16:              $\beta_t$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
  - 17:         end
  - 18:         else
  - 19:             for Her bir link  $e \in E_r^i$  do
  - 20:                 Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
  - 21:                     
$$C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \delta_t \\ 1 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$
  - 22:
  - 23:             end
  - 24:          $s_t$  den  $d_t$ 'ye en kısa yolu bul.
  - 25:         if *yol bulundu* then
  - 26:              $\delta_t$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı yapılandır.
  - 27:         end
-

Tablo 3.3. (Devamı)

---

 Algoritma 3: Careful yaklaşım
 

---

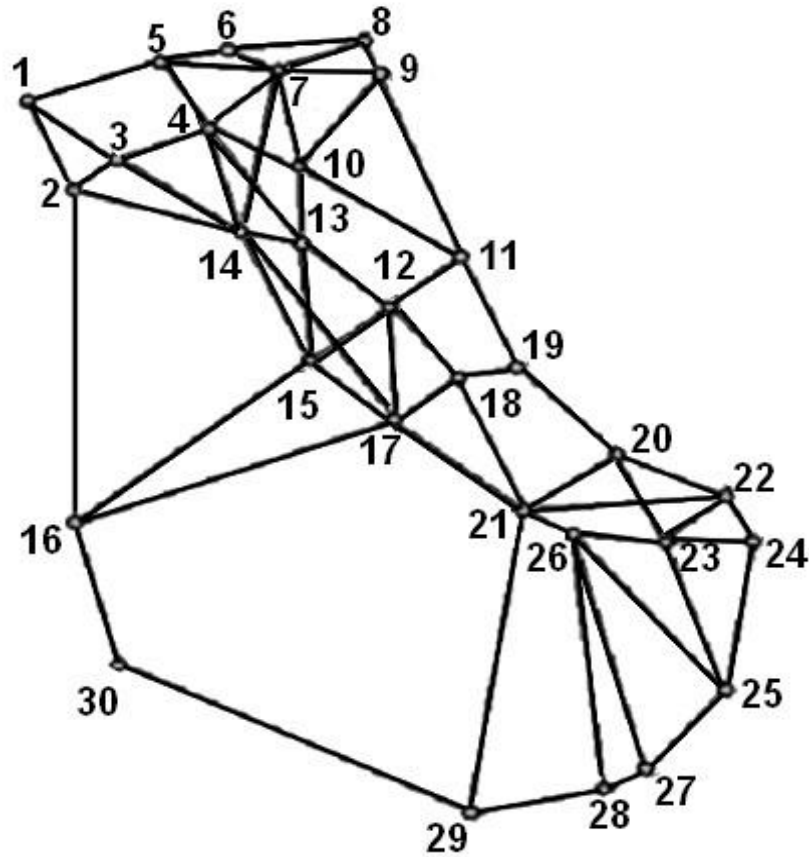
```

28:         else
29:             for Her bir link  $e \in E_r^i$  do
30:                 Linki aşağıdaki eşitliğe göre güncelle.
31:                  $C(e) = \begin{cases} \infty & \text{eğer } F(e) < \gamma \\ 1 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$ 
32:             end
33:         end
34:          $s_r$  den  $d_r$ 'ye en kısa yolu bul.
35:         if yol bulundu then
36:              $\gamma$  bant genişliği ile bulunan yol üzerindeki bağlantıyı
37:             yapılandır.
38:         end
39:     end
40: end
41: end
42:     F(e) değerlerini güncelle.
43: end
44: end
  
```

---

### 3.3. Uygulamaya Ait Veriler

İtalya'da yürütülen bir projeden alınan gerçek bir topolojide Roma, L'aquila ve Pescara şehirlerinde (Şekil 3.7.'de Roma 17 nolu düğüm, L'aquila 18 nolu düğüm, Pescara 19 nolu düğüm olarak gösterilmiştir.) bir deprem olduğu varsayılarak bir vaka çalışması üzerinde sayısal örnekler yürütülmüştür. Sayısal örnekler, 30 düğümlü bir topoloji üzerinde incelenmiştir. Şekil 4.1., düğüm 17 için A2 alarmı, düğüm 18 için bir A1 alarmı ve düğüm 19 için bir A3 alarmı tetiklenerek erken uyarı verildiğini göstermektedir.



Şekil 3.7. Vaka çalışması: Roma, L'aquila, Pescara şehirleri için deprem erken uyarısı

Her bir fiber linkte her yönde 32 dalga boyu vardır ve her dalga boyu 10 Gbps kapasiteye sahiptir. Farklı bant genişliği gereksinimleri için bağlantı istekleri STS-192c: STS-96c: STS-48c: STS-21c: STS-12c: STS-3c = 1: 2: 4: 10: 10: 20 şeklindedir. Yapılandırma ve tekrar yapılandırma için trafik büyümesine izin verilmiştir. Bağlantıların kullanılabilirlik gereksinimleri şu şekilde dağılır: 0.9999: 0.9995: 0.999: 0.99: 0.95 = 1: 5: 15: 30: 50. Tüm yaklaşımlar için bir bağlantının önemi, bant genişliği gereksinimi ve kullanılabilirlik gereksiniminin çarpımına eşit olduğunu varsayılır. Her bir bağlantının, istenen bant genişliğinin % 75, %50 ya da %25'i azaltılarak azaltılmış bant genişliği hesaplanmıştır.

Bu üç yaklaşımın beklenen ceza değerleri aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.1) kullanılarak karşılaştırılmıştır:

$$\text{Ceza} = \sum_{t \in T} L_t \times A_t \times p_t \quad (3.1)$$

$L_t$  = t bağlantısının kaybedilen bant genişliği

$A_t$  = t bağlantısının kullanılabilirliği

$p_t$  = t bağlantısının başarısızlık olasılığı

$p_t$ , her iki yöndeki t bağlantısının ağ elemanlarının maksimum başarısızlık olasılığıdır. Ağ elemanlarının başarısızlık olasılığı, kendileri için oluşturulan alarm düzeyine bağlıdır. Bu başarısızlık olasılığı sırasıyla A1, A2 ve A3 alarm seviyeleri için %10, %40 ve %80'e eşittir. Bu yaklaşımları karşılaştırmak için makul sayılar seçilmiştir, ancak her ağ elemanının sarsma direnci üzerinde deney yaparak daha deneysel değerler seçilebilir. Bir bağlantının tüm bant genişliği, deprem riski altında olmayan alanlarda kaynak yetersizliğinden dolayı kaybolabilir veya azaltılmış bant genişliği veya minimum bant genişliği ile yeniden yapılandırma nedeniyle kısmi bant genişliği kaybı meydana gelebilir.

Bu çalışma 12 GB RAM'e, Intel Core i5 işlemcisine ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayarda Java platformu kullanılarak kodlanmıştır. Veriler oluşturulurken her bir algoritma için 10 senaryo üretilmiştir. Çalıştırmanın ortalama süresi yaklaşık olarak 10 dakika 30 saniyedir. Bu bölümde uygulamanın bir bölümüne ait Extreme, Relax ve Careful Algoritmalarının girdi ve çıktı verileri verilecektir.

### 3.3.1. Extreme algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri

Extreme Algoritmasına ait girdi verileri Tablo 3.4.'te verilmiştir. Düzümlerin önem seviyesi, kaynak düğümün kullanılabilirlik gereksinimi ile tam bant genişliği çarpılarak bulunur. Önem seviyesine göre bağlantı istekleri sıralanarak ilgili düğüm çiftine belirlenen bant genişliği ile yol bulunmaya çalışılır.



Tablo 3.4. Extreme algoritması için girdi verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi
12	18	10	7,5	0,999	9,99
12	9	10	7,5	0,999	9,99
12	1	10	7,5	0,999	9,99
30	1	10	7,5	0,99	9,9
11	27	10	7,5	0,99	9,9
7	13	10	7,5	0,95	9,5
18	30	10	7,5	0,95	9,5
29	4	10	7,5	0,95	9,5
3	7	10	7,5	0,95	9,5
7	20	10	7,5	0,95	9,5
8	26	10	7,5	0,95	9,5
15	27	5	3,75	0,9995	4,9975
28	19	5	3,75	0,999	4,995
14	24	5	3,75	0,999	4,995
10	7	5	3,75	0,999	4,995
28	28	5	3,75	0,999	4,995
12	8	5	3,75	0,999	4,995
11	5	5	3,75	0,99	4,95
30	22	5	3,75	0,99	4,95
27	30	5	3,75	0,99	4,95

Extreme algoritmasına ait çıktı verileri Tablo 3.5.'te verilmiştir. Extreme algoritması kaynaktan hedefe yol bulurken önce azaltılmış bant genişliği ile yol aradığından dolayı her bir düğüm çifti için ceza değerleri hesaplanmıştır. Herhangi bir düğüm çifti için yol bulunamadıysa deprem bölgesinde yer aldığından dolayı bulunamamıştır.

Tablo 3.5. Extreme algoritması için çıktı verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
12	18	10	7,5	0,999	9,99	[12, 18]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,796
12	9	10	7,5	0,999	9,99	[12, 11, 9]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,796
12	1	10	7,5	0,999	9,99	[12, 13, 4, 3, 1]	Minimum	0,0375	0,99625	0,4	0,398
30	1	10	7,5	0,99	9,9	[30, 16, 2, 1]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,099
11	27	10	7,5	0,99	9,9	[11, 12, 15, 16, 30, 29, 28, 27]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,789
7	13	10	7,5	0,95	9,5	[7, 10, 13]	Azaltılmış	7,5	0,25	0,1	0,024
18	30	10	7,5	0,95	9,5	-	-	-	-	-	0,000
29	4	10	7,5	0,95	9,5	[29, 30, 16, 2, 3, 4]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,095
3	7	10	7,5	0,95	9,5	[3, 4, 7]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,095
7	20	10	7,5	0,95	9,5	[7, 14, 2, 16, 30, 29, 21, 20]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,757

Tablo 3.5. (Devamı)

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
8	26	10	7,5	0,95	9,5	[8, 7, 14, 2, 16, 30, 29, 21, 26]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,095
15	27	5	3,75	0,9995	4,9975	[15, 16, 30, 29, 28, 27]	Minimum	0,0375	0,9925	0,1	0,099
28	19	5	3,75	0,999	4,995	[28, 27, 25, 23, 20, 19]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,200
14	24	5	3,75	0,999	4,995	[14, 2, 16, 30, 29, 21, 22, 24]	Minimum	0,0375	0,9925	0,4	0,397
10	7	5	3,75	0,999	4,995	[10, 7]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025
28	28	5	3,75	0,999	4,995	-	-	-	-	-	0,000
12	8	5	3,75	0,999	4,995	[12, 11, 9, 8]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,200
11	5	5	3,75	0,99	4,95	[11, 9, 7, 5]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025
30	22	5	3,75	0,99	4,95	[30, 29, 21, 22]	Minimum	0,0375	0,9925	0,4	0,393
27	30	5	3,75	0,99	4,95	[27, 26, 21, 29, 30]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025

### 3.3.2. Relax algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri

Relax Algoritmasına ait girdi verileri Tablo 3.6.'da verilmiştir. Düzgümlerin önem seviyesi, kaynak düğümün kullanılabilirlik gereksinimi ile tam bant genişliği çarpılarak bulunur. Önem seviyesine göre bağlantı istekleri sıralanarak ilgili düğüm çiftine belirlenen bant genişliği ile yol bulunmaya çalışılır.

Tablo 3.6. Relax algoritması için girdi verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi
26	5	5	3,75	0,9995	4,9975
24	13	5	3,75	0,9995	4,9975
26	15	5	3,75	0,9995	4,9975
24	10	5	3,75	0,9995	4,9975
26	12	5	3,75	0,9995	4,9975
26	14	5	3,75	0,9995	4,9975
24	16	5	3,75	0,9995	4,9975
21	7	5	3,75	0,9995	4,9975
21	6	5	3,75	0,9995	4,9975
15	20	5	3,75	0,9995	4,9975
21	14	5	3,75	0,9995	4,9975
25	28	2,5	1,25	0,9999	2,4998
5	8	2,5	1,25	0,9999	2,4998
1	5	2,5	1,25	0,9999	2,4998
26	16	5	3,75	0,9995	4,9975
24	3	5	3,75	0,9995	4,9975
24	19	5	3,75	0,9995	4,9975
21	23	5	3,75	0,9995	4,9975
24	5	5	3,75	0,9995	4,9975

Relax algoritmasına ait çıktı verileri Tablo 3.7.'de verilmiştir. Relax algoritması kaynaktan hedefe yol bulurken kullanılabilirlik gereksinimi 0,9995 ve üzeri olan düğümler için önce tam bant genişliği ile yol bulmaya çalışır. Bu algorithmada sadece kullanılabilirlik gereksinimi yüksek olan düğümler için yol bulunduğundan ceza değerleri düşük çıkmıştır. Herhangi bir düğüm çifti için yol bulunamadıysa deprem bölgesinde yer aldığından dolayı bulunamamıştır.

Tablo 3.7. Relax algoritması için çıktı verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
26	5	5	3,75	0,9995	4,9975	[26, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 7, 5]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
24	13	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 21, 29, 30, 16, 15, 13]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
26	15	5	3,75	0,9995	4,9975	[26, 21, 29, 30, 16, 15]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025
24	10	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 10]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
26	12	5	3,75	0,9995	4,9975	[26, 21, 29, 30, 16, 15, 12]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
26	14	5	3,75	0,9995	4,9975	[26, 21, 29, 30, 16, 15, 14]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,4	0,099
24	16	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 21, 29, 30, 16]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
21	7	5	3,75	0,9995	4,9975	[21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 7]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199

Tablo 3.7. (Devamı)

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
21	6	5	3,75	0,9995	4,9975	[21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 8, 6]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
15	20	5	3,75	0,9995	4,9975	-	-	-	-	-	0,000
21	14	5	3,75	0,9995	4,9975	[21, 29, 30, 16, 15, 14]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,4	0,099
25	28	2,5	1,25	0,9999	2,4998	[25, 26, 28]	Tam	2,5	0	0,1	0,000
5	8	2,5	1,25	0,9999	2,4998	[5, 6, 8]	Tam	2,5	0	0,1	0,000
1	5	2,5	1,25	0,9999	2,4998	[1, 3, 4, 10, 7, 5]	Tam	2,5	0	0,1	0,000
26	16	5	3,75	0,9995	4,9975	[26, 21, 29, 30, 16]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025
24	3	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 21, 29, 30, 16, 15, 14, 4, 3]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
24	19	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 19]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
21	23	5	3,75	0,9995	4,9975	[21, 26, 23]	Tam	5	0	0,1	0,000
24	5	5	3,75	0,9995	4,9975	[24, 22, 20, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 7, 5]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199

### 3.3.3. Careful algoritmasına ait girdi ve çıktı verileri

Careful Algoritmasına ait girdi verileri Tablo 3.8.'de verilmiştir. Düzgünlerin önem seviyesi, kaynak düğümün kullanılabilirlik gereksinimi ile tam bant genişliği çarpılarak bulunur. Önem seviyesine göre bağlantı istekleri sıralanarak ilgili düğüm çiftine belirlenen bant genişliği ile yol bulunmaya çalışılır.

Tablo 3.8. Careful algoritması için girdi verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi
12	13	10	7,5	0,999	9,99
10	6	10	7,5	0,999	9,99
12	9	10	7,5	0,999	9,99
14	9	10	7,5	0,999	9,99
10	24	5	3,75	0,999	4,995
28	7	5	3,75	0,999	4,995
28	22	5	3,75	0,999	4,995
10	13	5	3,75	0,999	4,995
14	10	5	3,75	0,999	4,995
10	11	10	7,5	0,999	9,99
12	22	10	7,5	0,999	9,99
14	27	10	7,5	0,999	9,99
17	3	10	7,5	0,999	9,99
29	21	5	3,75	0,95	4,75
7	21	10	7,5	0,95	9,5
29	21	5	3,75	0,95	4,75
12	20	5	3,75	0,999	4,995
28	8	5	3,75	0,999	4,995
28	10	5	3,75	0,999	4,995
3	22	10	7,5	0,95	9,5

Careful algoritmasına ait çıktı verileri Tablo 3.9.'da verilmiştir. Careful algoritması kaynaktan hedefe yol bulurken önce tam bant genişliği ile yol aradığından dolayı her bir düğüm çifti için ceza değerleri hesaplanmıştır. Bu algoritma alarm seviyelerini de dikkate aldığından güvenli bölgelerde bağlantı isteğini sağlayamazsa deprem bölgelerinden yol bularak bağlantı isteğini karşılamaya çalışır.

Tablo 3.9. Careful algoritması için çıktı verileri

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
12	13	10	7,5	0,999	9,99	[12, 13]	Minimum	0,0375	0,99625	0,4	0,398
10	6	10	7,5	0,999	9,99	[10, 9, 7, 5, 6]	Azaltılmış	7,5	0,25	0,1	0,025
12	9	10	7,5	0,999	9,99	[12, 11, 9]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,796
14	9	10	7,5	0,999	9,99	[14, 7, 9]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,099
10	24	5	3,75	0,999	4,995	[10, 13, 15, 16, 30, 29, 21, 22, 24]	Minimum	0,0375	0,9925	0,4	0,396
28	7	5	3,75	0,999	4,995	[28, 27, 26, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 7]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
28	22	5	3,75	0,999	4,995	[28, 27, 25, 23, 22]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,1	0,025
10	13	5	3,75	0,999	4,995	[10, 13]	Tam	5	0,00000	0,1	0,000
14	10	5	3,75	0,999	4,995	[14, 4, 10]	Tam	5	0,00000	0,1	0,000
10	11	10	7,5	0,999	9,99	[10, 9, 11]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,099
12	22	10	7,5	0,999	9,99	[12, 15, 16, 30, 29, 21, 22]	Minimum	0,0375	0,99625	0,8	0,796



Tablo 3.9. (Devamı)

Kaynak	Hedef	Tam Bant Genişliği	Azaltılmış Bant Genişliği	Kullanılabilirlik Gereksinimi	Önem Seviyesi	Yol	Bulunan Bant Genişliği Türü	Bulunan Bant Genişliği	Kayıp Bant Genişliği	Pt	Ceza Değeri
14	27	10	7,5	0,999	9,99	[14, 2, 16, 30, 29, 28, 27]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,099
17	3	10	7,5	0,999	9,99	-	-	-	-	-	0,000
29	21	5	3,75	0,95	4,75	[29, 21]	Minimum	0,0375	0,9925	0,1	0,094
7	21	10	7,5	0,95	9,5	[7, 14, 2, 16, 30, 29, 21]	Minimum	0,0375	0,99625	0,1	0,094
29	21	5	3,75	0,95	4,75	[29, 21]	Minimum	0,0375	0,9925	0,1	0,094
12	20	5	3,75	0,999	4,995	[12, 15, 16, 30, 29, 21, 20]	Minimum	0,0375	0,9925	0,8	0,793
28	8	5	3,75	0,999	4,995	[28, 27, 26, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 9, 8]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
28	10	5	3,75	0,999	4,995	[28, 27, 26, 21, 29, 30, 16, 15, 12, 11, 10]	Azaltılmış	3,75	0,25	0,8	0,199
3	22	10	7,5	0,95	9,5	[3, 2, 16, 30, 29, 21, 22]	Minimum	0,0375	0,99625	0,4	0,378

## BÖLÜM 4. TEST VE ANALİZ

Bu bölümde uygulamaya ait üç algoritma analiz edilmiştir. Şekil 4.1.'de, üç yaklaşımın sonuçları verilmiştir. Ceza değerleri aşağıdaki eşitliğe (Denklem 4.1) göre normalize edilmiştir.

$$x' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4.1)$$

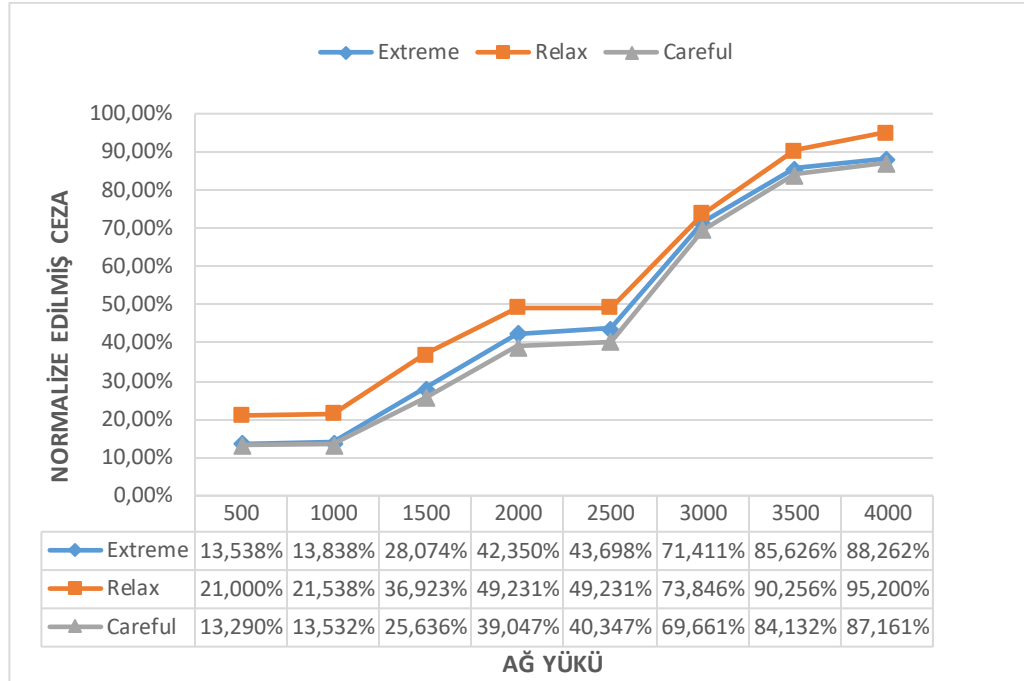
$x'$  = Normalize edilmiş veri

$x_i$  = Girdi değeri

$x_{\min}$  = Girdi seti içerisinde yer alan en küçük veri

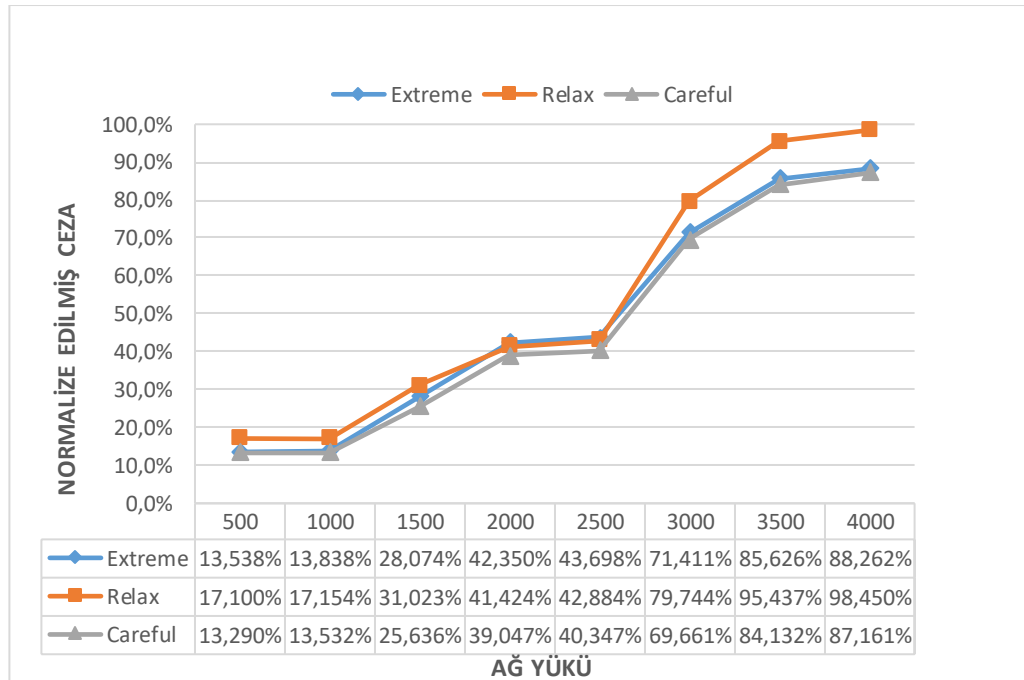
$x_{\max}$  = Girdi seti içerisinde yer alan en büyük veriyi ifade etmektedir.

Şekil 4.1.'de x eksenini ağ yükünü (bağlantı istekleri sayısı), y eksenini ise normalize edilmiş ceza değerlerini göstermektedir. Şekil 4.1.'deki sonuçlara göre Relax yaklaşımı, bağlantıların çok küçük bir bölümünü yalnızca yeniden oluşturduğu göz önüne alındığında, düşük ağ yükleri için düşük bir ceza gösterir. Ancak, ağ yükü arttıkça, Relax yaklaşımı için ceza hızla artar. Geliştirdiğimiz üç yaklaşımı karşılaştıracak olursak; Careful, Relax ve Extreme yaklaşıma göre her zaman en düşük cezayı gösterir. Çünkü Careful yaklaşım her zaman önce tam bant genişliği ile bağlantı isteklerini yapılandırmaya çalışır.



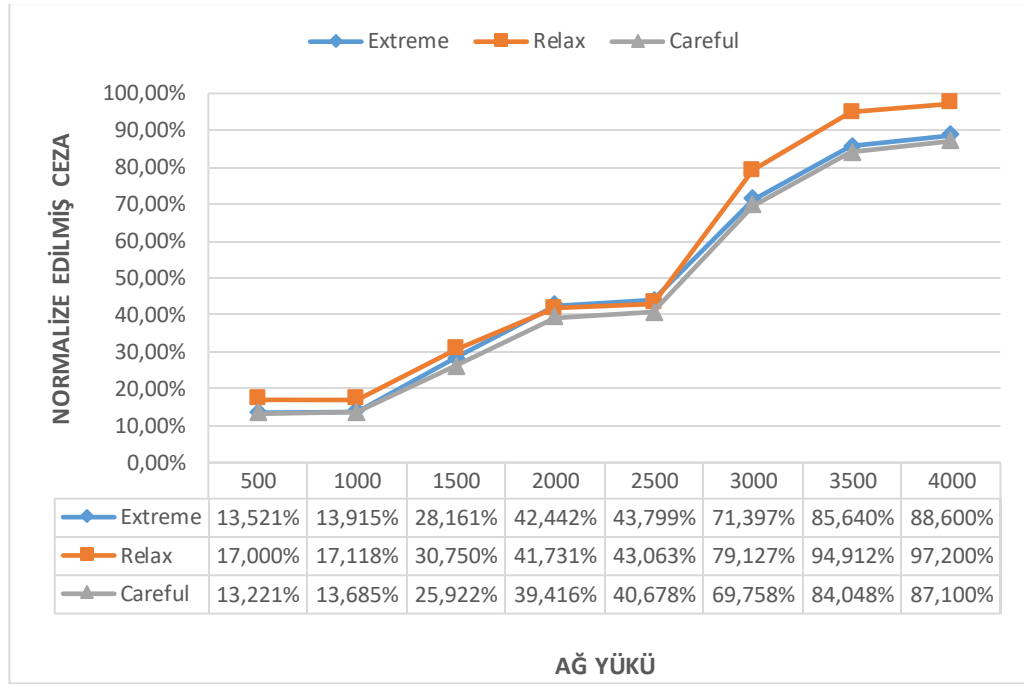
Şekil 4.1. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0.999 ve üzeri)

Şekil 4.2.'de önemli bağlantılar 0.9995'e eşit veya daha fazla olan bağlantılar olduğundan Relax yaklaşımı, Şekil 4.1.'deki normalize edilmiş değerlerine göre daha iyi sonuç gösterir.



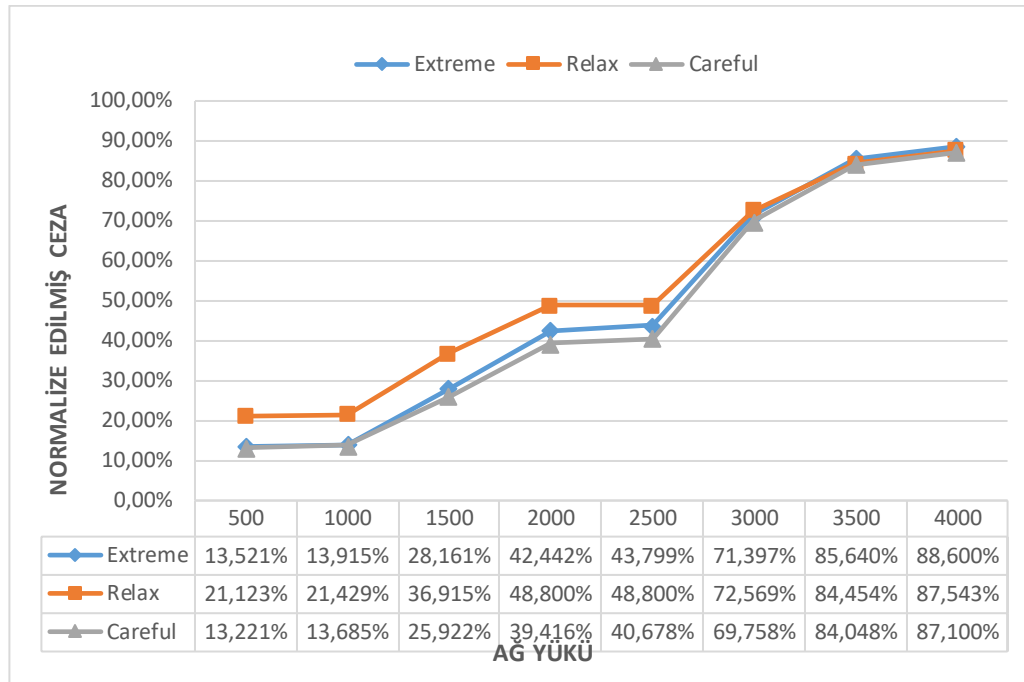
Şekil 4.2. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,9995 ve üzeri)

Ayrıca, bu üç yaklaşımı, başarısızlık olasılıkları arttığında da karşılaştırabilir. Şekil 4.3., sırasıyla A1, A2 ve A3 alarm seviyeleri için bir ağ elemanının başarısızlık olasılıklarının sırasıyla % 20, % 60 ve % 99 olduğu sonuçları göstermektedir. Sonuçlar, ağ yükü arttıkça, her üç yaklaşımın da cezasının hızla arttığını gösterir. Bununla birlikte, Careful yaklaşım diğer iki yaklaşıma göre daha düşük ceza göstermiştir.



Şekil 4.3. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,999 ve üzeri olan bağlantılar için artırılmış başarısızlık olasılığı)

Şekil 4.4., başarısızlık olasılığı artırıldığında ve önem seviyesi 0,9995 ve üzeri olan bağlantıların sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar, Şekil 4.3. göre ağ yükü arttıkça, her üç yaklaşımın da cezasının daha fazla arttığını gösterir. Bununla birlikte, yine Careful yaklaşım diğer iki yaklaşıma göre daha düşük ceza gösterir.



Şekil 4.4. Normalize edilmiş ceza (önem seviyesi: 0,9995 ve üzeri olan bağlantılar için artırılmış başarısızlık olasılığı)

## BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, deprem erken uyarı sistemleri ile optik dalga boyu bölmeli çoklayıcı ağlar arasında bir entegrasyon olasılığı olduğu düşünülerek omurga telekom ağları için farklı deprem hazırlığı stratejileri araştırılmıştır. Bu sistemin genel mimarisini ele alınmıştır ve yol hesaplama elemanlarının, hangi alarm seviyelerinin hangi ağ unsuru için tetiklenmesi gerektiğini belirlemek için bir karar verici olarak hareket edebileceği ifade edilmiştir. Sonra, felâket sebebiyle kaybın azaltılması ve gerekli önlemleri almak için üç yaklaşım geliştirilmiştir.

- Extreme yaklaşım alarm seviyesinden bağımsız olarak azaltılmış bant genişliği ile tüm bağlantıları yeniden yapılandırır,
- Relax yaklaşım sadece önemli bağlantıları yeniden yapılandırır ve
- Careful yaklaşım farklı alarm seviyelerini göz önünde bulundurarak tüm bağlantıları yeniden yapılandırır.

İtalya’da olası bir deprem olduğu varsayılarak 30 düğümlü bir topoloji üzerinde sayısal örnekler yürütülmüştür. Sonuçlar, Careful yaklaşımının her zaman en düşük cezayı verdiğini göstermiştir. Ayrıca Relax yaklaşımın düşük ağ yükleri için, Extreme ve Careful yaklaşımının da ağır ağ yükleri için kullanımının uygun olduğunu ortaya koymuştur.

İleriki çalışmalarda, algoritmalarda kullanılan 10 senaryo yerine daha fazla senaryo kullanılarak gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Üç algoritma birlikte kullanılarak yeni algoritmalar geliştirilebilir. Kapasite ve ağ yükleri artırılarak farklı durum senaryoları üretilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Soyuluk, K., Volcanoes and Igneous Activity Earth, <http://w3.gazi.edu.tr/~ksoyluk/resimler/Earthquake%20Engineering-2.pdf>, Erişim Tarihi: 11.02.2018.
- [2] <http://www.fizik.net.tr/site/wp-content/uploads/2014/11/deprem2.png>, Erişim Tarihi: 12.02.2018.
- [3] Nakamura, Y., Saita, J., UrEDAS, the Earthquake Warning System: Today and Tomorrow, <http://www.sdr.co.jp/papers/13.pdf>, Erişim Tarihi:13.02.2018.
- [4] Kanamori, H., Hauksson, E., Heaton, T., Real-time seismology and earthquake hazard mitigation, *Nature*. 390, 461-464, 1997.
- [5] Benz, H., Buland, R., Filson, J., Frankel, A., Shedlock, K. ,The Advanced National Seismic System, *Seismological Research Letters*. 72, 70-75, 2001.
- [6] Erdik, M., Fahjan, Y., Ozel, O., Alcik, H., Mert, A., Gul, M., Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System, *Bulletin of Earthquake Engineering*. 1, 157-163,2003
- [7] Gee, L.S., Neuhauser, D.S., Dreger, D.S., Pasyanos, M.E., Uhrhammer, R.A., Romanowicz, B., Realtime seismolgy at UC Berkeley: the rapid earthquake data integration Project. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 86, 936-945, 1996.
- [8] Hauksson, E., Small, P., Hafner, K., Busby, R., Clayton, R., Goltz, J., Heaton, T., Hutton, K., Kanamori, H., Polet, J., Given, D., Jones, L.M., Wald, D. 2001. Southern California Seismic Network: Caltech/USGS Element of Trinet., *Seismological Research Letters*. 72(6), 690-704, 1997.
- [9] Kanamori, H., Hauksson , E., Heaton, T., TERRScope and CUBE project, *EOS Transactions American Geophysical Union*. 72 (50), 564, 1991.

- [10] Wu, Y.M., Hsiao, N.C., Teng, T.L., Shin, T.C., Near Real-Time Seismic Damage Assessment of the Rapid Reporting System, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 13(3), 313-324, 2002.
- [11] Allen, R.M., Kanamori, H., The potential for earthquake early warning in southern California. 300, 786-789, 2003.
- [12] Espinosa-Aranda, J.M., Jimenez, A., Ibarrola, G., Alcantar, F., Aguilar, A., Inostroza, M., Maldonado, S., Mexico city seismic alert system, *Seismological Research Letters*. 66, 42-53, 1995.
- [13] Wu, Y.M., Kanamori, H., Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 95(1), 347-353, 2005.
- [14] Wenzel, F., Oncescu, M.C., Baur, M., Fiedrich, F., An Early Warning System for Bucharest, *Seismological Research Letters*. 70(2), 161-169, 1999.
- [15] Wu, Y.M., Chung, J.K., Shin, T.C., Hsiao, N.C., Tsai, Y.B., Lee W.H.K., Teng, T.L., Development of an integrated earthquake early warning system in Taiwan-case for the Hualien area earthquakes, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 10(4), 719-736, 1999.
- [16] <https://opentextbc.ca/geology/chapter/11-3-measuring-earthquakes/>, Erişim Tarihi:13.02.2018.
- [17] Ramaswami, R., Sivarajan, K., Sasaki, G., *Optical Networks 3rd and Fiber Optic Networks*. 928, 2010.
- [18] Cooper, J.D., *Earthquake indicator*, San Francisco, 1868.
- [19] Heaton, T.H., A model for a seismic computerized alert network. 987-990, 1985.
- [20] Ashiya, K., Earthquake alarm systems in Japan railways, *Journal of Japan Association Earthquake Engineering*. 4(3), 112-117, 2004.
- [21] Allen, R.M., Seconds the big one, Earthquake detection systems can sound the alarm in the moments before a big tremor strikes-time enough to save lives, *Scientific American Magazine*. 75-79, 2011.



- [22] Espinosa-Aranda, J.M., Cuellar, A., Rodriguez, F.H., Frontana, B., Ibarrola G., Islas, R., Garcia, A., The Seismic Alert System of Mexico (SASMEX): Progress and its current applications, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 31, 154-162, 2011.
- [23] Iglesias, A., Singh, S.K., Ordaz, M., Santoyo, M.A., Pacheco, J., 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, 2007.
- [24] Suarez, G., Novelo, D., Mansilla E., Performance Evaluation of the Seismic Alert System in Mexico City: A Seismological and a Social Perspective, *Seismological Research Letters*. 80(5), 707-716, 2009.
- [25] Armando Cuéllar, M., Gerardo Ibarrola Álvarez, Samuel Maldonado C. y J. M. Espinosa Aranda, Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México, <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num1/art03/int03.htm>, Erişim Tarihi: 16.02.2018.
- [26] Hsiao, N.C., Wu, Y.M., Shin, T.C., Zhao, L., Teng T.L., Development of earthquake early warning system in Taiwan, *Geophysical Research Letters*. 36, 2009.
- [27] Wu, Y.M., Chung, J.K., Chen, C.C., Hsiao, N.C., Shin, T.C., Tsai, Y.B., Kuo, K.W., Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction. 461-464, 2003.
- [28] Wu, Y.M., Lin, T., Chao, W., Huang, H., Hsiao, N.C., Chang, C., Faster Short-Distance Earthquake Early Warning Using Continued Monitoring of Filtered Vertical Displacement: A Case Study for the 2010 Jiasian, Taiwan, Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 701-709, 2011.
- [29] Wu, Y.M., Teng, T.L., A virtual subnetwork approach to earthquake early warning, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 92(5), 2008-2018, 2002.
- [30] Allen, R. M., Gasparini, P., Kamigaichi, O., Böse, M., The Status of Earthquake Early Warning around the World: An Introductory Overview, *Seismological Research Letters*. 80(5), 682-693, 2009.
- [31] Oncescu, M.C., Bonjer, K.P., A note on the depth recurrence and strain release of large Vrancea earthquakes, *Tectonophysics*. 272, 291-302, 1997.

- [32] Wenzel, F., Baur, M., Fiedrich, F., Ionescu, C., Oncescu, M.C., Potential of earthquake early warning systems, *Natural Hazards*. 23, 407-416, 2001.
- [33] Wenzel, F., Oncescu, M.C., Baur, M., Fiedrich, F., Ionescu, C., Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction. 471-477, 2003.
- [34] [http://www.infp.ro/en/seismic-monitoring/#ch\\_5](http://www.infp.ro/en/seismic-monitoring/#ch_5), Erişim Tarihi:18.02.2018.
- [35] <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/sismik-ag/sismik-ag-haritalari/sismik-ag-haritalari>, Erişim Tarihi: 18.02.2018.
- [36] [http://seismo.berkeley.edu/research/ew\\_alarms.html](http://seismo.berkeley.edu/research/ew_alarms.html), Erişim Tarihi:19.02.2018.
- [37] Habib, M. F., Tornatore, M., Dikbiyik, F., Mukherjee, B., Disaster survivability in optical communication networks, *Computer Communications*. 630–644, 2013.
- [38] Böse, M., Allen, R. M., Brown, H., Gua, G., Fischer, M., Hauksson, E., Heaton, T., Hellweg, M., Liukis, M., Neuhauser, D., Cism shakealert: An earthquake early warning demonstration system for california, in *Early Warning for Geological Disasters*. 49–69, 2014
- [39] Kuyuk, H. S., Allen, R. M., A global approach to provide magnitude estimates for earthquake early warning alerts, *Geophysical Research Letters*. 6329–6333, 2013.
- [40] Kuyuk, H. S., Allen, R. M., Optimal seismic network density for earthquake early warning: A case study from california, *Seismological Research Letters*. 946–954, 2013.
- [41] Kuyuk, H. S., Allen, R. M., Quake wave vibration report: A threshold based earthquake early warning system, in *European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. 2014.
- [42] Grapenthin, R., Johanson, I., Allen, R. M. The 2014 mw 6.0 napa earthquake, california: Observations from real time gps-enhanced earthquake early warning, *Geophysical Research Letters*. 8269–8276, 2014.

- [43] Announcement situation of tsunami warning and advisory, Japan Meteorological Agency, Tech. Rep., <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/11b/kaisetsu201103111600.pdf>, Erişim Tarihi: 20.02.2018.
- [44] Earthquake early warning (eew) disaster mitigation system protecting semiconductor plant, Miyagi Oki Electric Co., Ltd., Tech. Rep., [https://www.oki.com/en/csr/report/2006/pdf/OKI\\_CSR2006e67.pdf](https://www.oki.com/en/csr/report/2006/pdf/OKI_CSR2006e67.pdf), Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- [45] Cauzzi, C., Behr, Y., Le Guenan, T., Douglas, J., Auclair, S., Woessner, J., Clinton, J., Wiemer, S., Earthquake early warning and operational earthquake forecasting as real-time hazard information to mitigate seismic risk at nuclear facilities, *Bulletin of Earthquake Engineering*. 1–18, 2016.
- [46] Emolo, A., Picozzi, M., Festa, G., Martino, C., Colombelli, S., Caruso, A., Elia, L., Zollo, A., Brondi, P., Miranda, N. Earthquake early warning feasibility in the campania region (southern italy) and demonstration system for public school buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*. 1–17, 2016.
- [47] Zuccolo, E., Gibbs, T., Lai, C. G., Latchman, J. L., Salazar, W., Di Sarno, L., Farrell, A., Lynch, L., Workman, A., Earthquake early warning scenarios at critical facilities in the eastern caribbean, *Bulletin of Earthquake Engineering*. 1–27, 2016.
- [48] Zulfikar, C., Erdik, M., Safak, E., Biyikoglu, H., Kariptas, C., Istanbul natural gas network rapid response and risk mitigation system, *Bulletin of Earthquake Engineering*. 1–14, 2016.
- [49] Ma, L., Jiang, X., Wu, B., Taleb, T., Cost-efficient data backup for data center networks against  $\phi$ -time early warning disaster. 2015.
- [50] Oğuz, M., Dikbiyik, F., Kuyuk, H. S., Earthquake Preparedness Strategies for Telecom Backbone with Integration of Early Warning Systems and Optical WDM Networks. 181-188, 2016.
- [51] <https://www.fdsn.org/networks/detail/IV/>, Erişim Tarihi:05.02.2018
- [52] Dikbiyik, F., Tornatore, M., Mukherjee, B., Minimizing the risk from disaster failures in optical backbone networks, *Journal of Lightwave Technology*. 3175–3183, 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

Melike Oğuz, 10.10.1989'da Nevşehir'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında Üsküdar Lisesi (YDA)'nden mezun oldu ve 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2014 yılında mezun oldu. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Çift Anadala başladı. 2013-2014 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Kısmi zamanlı öğrenci asistan olarak çalıştı. 2015 yılında Haliç Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği'nde Araştırma Görevliliğini kazandı. Burada halen görevine devam etmektedir.