



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

İLERİ DEPREM UYARISI UYGULAMASI

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

İLERİ DEPREM UYARISI UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan "İleri Deprem Uyarısı Uygulaması" yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

1. Uygulamanın Tanımı

Depremler, Dünya'nın içindeki sismik enerjinin serbest bırakılmasıyla meydana gelmektedir. Depremin neden olduğu bu enerji, sismik dalgalar adı verilen titreşimler şeklinde yayılmaktadır. Bu dalgalar arasında "P" dalgaları, "S" dalgalarından daha hızlı hareket etmektedir. Özellikle "S" dalgaları, yer sarsıntısının ciddi hasarına yol açmaktadır. Deprem erken uyarı sistemleri, özellikle "S" dalgaları gelmeden önce uyarı vermek amacıyla bu "P" dalgalarını tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Deprem erken uyarı (DEUS) sistemleri, bu "P" dalgalarını tespit ederek bölgedeki cihazları ve insanları uyararak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda "S" dalgalarının tahmini varış süresini hesaplayarak, halkın bu sarsıntıya hazırlıklı olmasını sağlamaktadır.

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, önceden belirlenmiş senaryoları kullanarak hasar ve kayıp tahmini yapma yeteneğine sahiptir. Aynı zamanda olası depremler sırasında etkilenecek bölgelerin tahliye edilmesi veya bireylerin güvenli bölgelere geçişi için zamanında uyarılar ve alarmlar sunabilmektedir. Bu amaçla İleri Deprem Uyarı Sistemleri, doğru hesaplamalar ve analizler yaparak olası senaryoları öngörmelidir.

Akıllı uyarı sistemleri, deprem öncesinde belirlenen kriterlere dayanarak tahminler ve hesaplamalar gerçekleştirerek olası depremlere karşı önceden önlemler alınmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, insanları afet olmadan önce bilinçlendirerek güvenli alanlara geçmelerini sağlayacak uyarılar vermektedir. Afet eğitimi ile toplumun afetlere karşı bilinçlenmesi sağlanmakta, böylece olası bir afet durumunda ne yapılması gerektiği konusunda bilgi sahibi olunmaktadır. Bu sayede, insanlar deprem olmadan önce alınacak önlemlere ilişkin bilgi sahibi olarak daha güvende hissedecektir.

Bu sistemlerin temel amacı, depreme hazırlıklı olmak suretiyle zarar ve kayıpları en aza indirmek, yaşam kalitesini sürdürülebilir bir şekilde korumaktır. Bu amaç doğrultusunda, tasarlanan sistemler acil durum senaryolarıyla donatılarak afet öncesinde risk azaltma çalışmaları gerçekleştirmektedir. Bu sayede,

tehlike altındaki bölgeler önceden uyarılarak tahliye planları yapılmakta ve gerekli önlemler alınmaktadır. Böylece, ölüm ve kayıpların minimize edilmesinde etkili bir rol üstlenilmektedir.

Deprem Erken Uyarı Sistemi, yüksek depremsellik riskine sahip bölgelerde gelişmiş teknolojiler kullanarak deprem bilgilerini iletmeyi amaçlamaktadır. Bu sistem, deprem sonrası ikincil afetleri engellemek amacıyla kritik yapıların kapanma veya engelleme mekanizmalarını etkinleştirmektedir. Deprem bilgileri Erken Uyarı Sistemi tarafından elde edilmekte ve Afet Müdahale Yönetim Sistemi ile paylaşılmakta, böylece acil müdahale ekiplerine destek sağlanmaktadır. Deprem sonrası yaşanan maddi ve manevi kayıplar, toplumların İleri Deprem Uyarı Sistemlerine yatırım yapmalarını ve afetlerle mücadelede zararını azaltmaya yönelik çabalara odaklanmalarını gerektirmektedir.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- İleri Deprem Uyarısı projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	İleri Deprem Uyarısı Uygulaması Projesi
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi
Proje Süresi	-
Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman www.akillisehirler.gov.tr adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.	

1.2. Proje Teknik Bileşenleri

İleri Deprem Erken Uyarı Sistemleri, sismometreler, yüksek hızlı iletişim sistemleri ve bilgisayarlar gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu sistemler, bir bölgeye dağılmış sismometrelerin konumlandırılmasını içermektedir. Deprem gerçekleştiği anı algıladıktan sonra, yüksek hızlı iletişim sistemleri ve bilgisayarlar devreye girmektedir. Bu aşamada, sismometreler tarafından toplanan veriler toplanarak bilgisayarlar aracılığıyla depremin büyüklüğü ve merkez üssü belirlenir. Eğer büyük bir depreme dair veriler kaydedilirse, bu bilgiler etkilenmesi olası bölgelerdeki alarmları tetikleyebilmektedir. Bu tür kısa

sürekli uyarılar, insanların daha güvenli bölgelere gitmeleri veya saklanmaları için yeterli zaman sağlayabilmektedir. Aynı zamanda, trenlerin, fabrikaların ve asansörlerin güvenli bir şekilde durdurulması gibi önlemler de alınabilmektedir.



Şekil 1. İleri Deprem Uyarı Sisteminin Teknik Bileşenleri

Şekil 1’de görüldüğü üzere İleri Deprem Uyarısına ait 4 teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- Deprem kaynağı
- Sismik İstasyonlar
- Deprem Erken Uyarı Merkezi
- Kitle İletişim Araçları

1.3. Proje Girdileri

Proje faaliyetlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve proje amaçlarına ulaşılması için en temel unsur veri kalitesidir. Verilerin kaliteli ve güvenilir olması, sistemlerde yapılacak analizlerin doğruluğunu ve etkinliğini sağlamaktadır. Bu veriler, farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir. Örneğin belirli kurumlarla işbirliği yaparak web servisleri aracılığıyla toplanabilir veya veri eksikliği durumunda saha operasyonlarıyla toplanabilir. İleri Deprem Uyarı Sistemleri için gelecekte kullanılacak veri setleri zaten mevcuttur. Bu ortak veri setleri aşağıda belirtilmiştir:

- Adres verisi: Şehir yapılarının en ince ayrıntısına kadar, yani il, ilçe, mahalle, cadde, sokak, bulvar, meydan ve bina düzeyinde içerecek şekilde oluşturulmaktadır. Bu veriler, olası bir deprem anında hızlı müdahale veya detaylı analizler için kullanılabilir. Bu kapsamda, nüfus bilgileri ve binalarda yaşayan kişilerin listesi gibi özel bilgiler de adres verileri içerisinde yer alacaktır. Bu sayede, deprem anında etkilenen bölgelerdeki yapılar ve nüfus hakkında detaylı ve güncel bilgilere hızla erişim sağlanabilecektir.
 - Bina verisi
 - Cadde, bulvar, sokak, meydan verisi
 - Kapı numarası verisi

- İl verisi
- İlçe verisi
- Mahalle verisi
- Yapı ruhsatı verisi: Binada veya yapıdaki mülk sahiplerinin bilgisini içermektedir.
 - Bina, cadde ve kapı numarası gibi adres verileri
 - Anlık deprem verisi
 - Fay hatları (aktif ve pasif fay hatları)
 - Deprem servisleri entegrasyonu (anlık deprem bilgileri)
 - Jeolojik zemin bilgileri
 - Bina türü bilgisi (betonarme, kargir, vb.)
 - Kamu binaları bilgisi
 - Toplanma alanları
 - Yeşil alanlar

Türkiye'de mevcut imar planlarına ilişkin verilerin toplanması, işlenmesi ve sunulması yetkisi T.C. İçişleri Bakanlığı, Nüfus ve Vatandaşlık İşleri'ne aittir. MAKS (Mekansal Adres Kayıt Sistemi) projesi aracılığıyla 2015 yılından itibaren Türkiye genelinde mekansal adres verileri toplanmakta ve güncellenmektedir. Bu veriler web servisleri aracılığıyla paylaşılacaktır.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, CBS Genel Müdürlüğü'nün yürüttüğü ortofoto çekimi ve üretimi projesi sonucunda elde edilen altlık verilerini sistemlerinde kullanmayı planlamaktadır.

Gereken diğer veri setleri, aşağıda belirtilenler gibi, ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilecek ya da yoksa saha operasyonları ile toplanacaktır. Bu veri setleri, deprem senaryoları oluşturmak ve deprem yer hareketi modellemesi yapmak için kullanılacaktır. Bu model sayesinde, deprem öncesi hasar tahminleri ve risk analizleri gerçekleştirilebilecektir. Analizler ve haritalar, girdilerle oluşturulacak ve sonuçlar karar vericilerin kullanımına sunulacaktır.

- İleri Deprem Uyarı Sistemleri;
 - Bina envanteri dağılımını,
 - Nüfus envanteri dağılımını,
 - Deprem risk haritalarını,
 - Güncel ulaşım ağı verilerini
 - Güncel yol güzergâh analizlerini ve

- Deprem merkez üssü verilerini kapsamaktadır.

1.4. Beklenen Çıktılar

İleri Deprem Uyarısına ait beklenen çıktılar şu şekildedir:

- İleri Deprem Uyarı Sistemleri ve bu sistemlere entegre çalışan Hasar Kayıp Tahmin Uygulamalarının akıllı şehirlerde etkin bir şekilde kullanılması, deprem anında karar vericilere, şehir planlaması, yönetimi ve altyapısının inşasında yol gösterici bir rol oynayabilecektir. Bu sistemlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda stratejik kararlar alınıp hayata geçirilecektir.
- İleri Deprem Uyarı Sistemleri, önceden belirlenen deprem senaryolarıyla kentsel alanlarda olası deprem zararlarını, hasar ve kayıpları tahmin etme ve belirleme kapasitesine sahip olacaktır.
- İleri Deprem Uyarı Sistemleri, deprem riski önceden tespit edilmesini sağlayarak insanların daha güvenli bölgelere yönlendirilmesini ve risklerin azaltılmasına yardımcı olacaktır.
- Bütüncül bir yaklaşım benimsenerek, üretilen sonuçlar diğer sistemlere entegre edilecektir. Örneğin, İleri Deprem Uyarı Sistemleri tarafından belirlenen risklere göre öncelikli müdahale alanları tespit edilecek ve saha ekiplerine yönlendirilecektir.
- Büyük veri analizi sayesinde oluşturulan deprem senaryolarıyla Hasar Kayıp Tahminleri için kullanılmasıyla kentin daha güvenli ve dayanıklı hale getirilmesi sağlanacaktır.
- Depremler öncesinde tüm olay boyutları anlık olarak takip edilebilecek ve doğru bir durum değerlendirmesi yapılacaktır.
- Olası deprem analizleri sonucunda, hasar alabilecek bölgeler belirlenerek gerekli müdahale planları hazırlanacak ve kentsel dönüşümle daha sağlıklı yaşam alanları oluşturulacaktır.
- Üretilen "Deprem Hasar Haritaları", afet risk planlarının oluşturulmasına yönelik bir temel oluşturacaktır.
- Halkın anlık bilgilendirilmesiyle tehditlere karşı farkındalık oluşturulacaktır.
- Her bir sistemden elde edilen veriler, şehirdeki sorumlu paydaşlar, akademisyenler ve halkla açık bir veri politikası çerçevesinde paylaşılacaktır. Veri erişilebilirliği ve şeffaflığı sağlanarak kurumlar arası iş birlikleri teşvik edilecektir.
- Acil durum ve afetlerde, yetkililerin koordinasyonunda operasyonel işler etkili, hızlı ve doğru bir şekilde yürütülecektir. Mevcut ve tahsis edilen kaynaklar verimli bir şekilde kullanılacaktır.

1.5. Projenin performans göstergeleri

İleri Deprem Uyarısı uygulamasının performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerdir. Bu performans göstergeleri, İleri Deprem Uyarısı projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Bu proje çerçevesinde, uygulanma yönergeleri net bir şekilde belirlenerek bu yönergeler doğrultusunda stratejiler ve amaçlar hedeflenmekte ve aşamalı olarak daha büyük yerleşim bölgelerine yaygınlaştırılarak hayata geçirilmesi planlanacaktır. Aşağıda amaçlar, hedefler ve performans göstergeleri detaylı olarak belirtilmiştir.

Amaç 1: Türkiye’de doğal afet türü olan depremden kaynaklanacak zararı en aza indirmek.

Hedef 1: Olası depremlere hazırlıklı olunması için İleri Deprem Uyarı Sistemi altyapısının oluşturulması

PERFORMANS GÖSTERGELERİ

- İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin oluşturulması için afet türlerine göre gerekli sensör, cihaz ve ekipman gereksinimleri ile kurulacağı uygun bölge ve/veya alanların belirlenmesi
- Projenin sonuna kadar erken uyarı sistemleri ile ilgili sensör, cihaz veya saha ekipmanlarının altyapılarının hazır edilmesi
- Projenin sonuna kadar standardizasyonu ve güncelliği sağlanan acil durum verilerinin sisteme aktarılması

Hedef 2: İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin ve deprem hasar kayıp tahmin yazılım uygulama sistemlerinin oluşturulması ve entegrasyonlarının sağlanması

PERFORMANS GÖSTERGELERİ

- AFAD, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Belediyeler ile entegrasyonun projenin sonuna kadar yapılması
- Deprem etkilerinin değerlendirilmesi ve acil müdahale planlarının oluşturulması kapsamında TAKBİS ve MAKS ile veri entegrasyonunun sağlanması, olası bir acil durumda malik bilgilerine ulaşılması
- Mevcut deprem risk haritalarının sisteme entegrasyonu
- Risk alanları ile ilgili verilerin toplanması

Hedef 3: Deprem olmadan önce hazırlıklı olunması için İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin devreye alınması ve deprem olmadan önce deprem senaryolarına göre deprem için yapı iyileştirmelerinin yapılması.

PERFORMANS GÖSTERGELERİ

- Deprem hasar tahmin sistemi ve İleri Deprem Uyarı Sisteminin gereksinimlerinin belirlenmesi
- İlgili sistemlerin tasarlanması ve geliştirmeye başlanması
- İlgili veri servisi entegrasyonlarının yapılması
- Deprem hasar tahmin sistemi ile deprem senaryolarının oluşturulup çalıştırılması

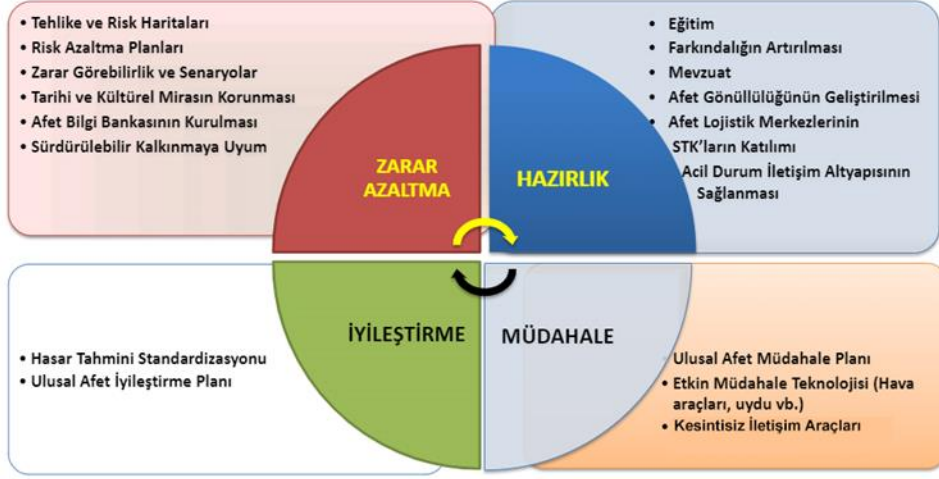
- Senaryolar sonucunda çıkan verilere göre müdahale planları geliştirilmesi
- Proje sonuna kadar saha ve merkez arasında veri iletişim altyapısının oluşturulması
- İlgili kurum ve kuruluşlarla entegrasyon detaylarının belirlenmesi ve gerçekleştirilmesi
- Proje sonunda akıllı erken uyarı sistemlerinin devreye alınması
- Projenin sonunda afet ile ilgili senaryoların çalıştırılıp deprem hasar verilerinin sunumunun sağlanması

2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Deprem erken uyarı sistemleri, bina envanterlerini içeren veri tabanlarını kullanarak deprem kayıp tahmin yazılımları oluşturmayı mümkün kılmaktadır. Bu yazılımlar, farklı deprem senaryolarını simüle edebilme yeteneğine sahiptir. Bu senaryolar, potansiyel deprem anlarında, depreme dayanıklı olmayan yapıların belirlenmesini ve bu yapıların risk düzeylerinin ve olası hasar tahminlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, dünya genelinde birçok ülkede kullanılmaktadır ve depreme karşı daha etkili tedbirler alınabilmesine yardımcı olmaktadır.

Afetlerin önlenmesi ve olası zararların minimize edilmesi için afetlerin farklı aşamalarında gerçekleştirilmesi gereken çalışmaların koordinasyonu ve yönetimi, toplumun tüm kurum ve kaynaklarının doğru bir şekilde kullanılması ile sağlanmaktadır. Bu amaçla, afetlerin neden olduğu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve etkili müdahalelerin zamanında gerçekleştirilmesi için afet ve acil durum yönetim sistemleri geliştirilmektedir. Bu sistemler aracılığıyla, afet yönetimi dört temel evreden oluşan zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarını kapsamaktadır. Bu aşamalar sayesinde afetlerin olumsuz etkileri önceden tahmin edilerek önlenmeye çalışılmakta, hazırlık çalışmaları ile toplumun afetlere karşı bilinçlenmesi sağlanmakta, müdahale aşamasında hızlı ve etkili eylemler gerçekleştirilmekte ve son olarak iyileştirme süreçleriyle zararların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 2. Acil Durum/Afet Yönetimi Yaşam Evreleri [1]

Akıllı şehirler için özelleştirilen "Afet ve Acil Durum Yönetim Sistemleri", birden fazla alt sistemden oluşan bir bütünsel yaklaşımla tasarlanmaktadır. Bu sistemler, belirli tehlikelerin veya tehditlerin algılanması, değerlendirilmesi ve ilgililere iletilmesi yoluyla halka zamanında bilgi aktararak kayıpları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Erken uyarı sistemleri, "Acil Durum/Afet Yönetimi Yaşam Evresi"nin başlangıcını oluşturmaktadır. Afetler öncesinde, risk ve zarar azaltma aşamasında ise akıllı erken uyarı sistemleri, riskleri tanımlamakta ve etkilenen bölgeleri belirleyerek risk azaltma faaliyetlerinin planlanması için kullanılmaktadır. İleri Deprem Uyarı Sistemleri de bu bağlamda çalışmaktadır. Bu sistemler, muhtemel deprem senaryolarını önceden tahmin ederek depremden etkilenecek vatandaşları en kısa sürede uyararak kayıpları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda, gelecekteki depremleri doğru ve etkili bir şekilde modelleyerek can ve mal kaybını en aza indirme hedefini taşımaktadır.

İleri Deprem Uyarı Sistemleri tasarlanırken, tahminlerin ve senaryoların kullanışlı olmasına, sonuçların anlaşılır olmasına, depremin gerçekleşme zamanını bildirmesine ve güvenilirlik derecesinin yüksek olmasına özen gösterilmelidir. Etkin ve başarılı bir deprem uyarı sistemi, dört temel aşamayı sırasıyla gerçekleştirmelidir: (1) risk tespiti, (2) izleme ve uyarı, (3) bilgilendirmeyi sağlama ve (4) tepki kapasitesi geliştirme.

İleri Deprem Uyarısı: Depremlere ilişkin verilerin önceden analiz edilmesiyle, potansiyel bir deprem durumu öncesinde uyarı sağlayan sistemdir.

- Deprem Hasar Tespiti,** depremin etkilediği bölgelerde tahmini hasarlı binalar, ölü ve yaralı sayıları, acil barınma ve beslenme ihtiyaçları gibi verileri analiz ederek haritalar ve bilgiler üretmektedir. Bu bilgiler, afet sonrasında ilgili makamlara iletilerek hızlı müdahale imkânı sağlamaktadır. Bu servisler, deprem servisleriyle entegre bir şekilde çalışacaktır.

- b. **Deprem Erken Uyarı Sistemi**, yüksek depremsellik riskine sahip bölgelerde gelişmiş teknolojiler kullanarak meydana gelebilecek bir depremin bilgisini ileterek kritik yapıların ikincil afetlerden korunması için kapama veya engelleme mekanizmalarının devreye girmesini sağlamaktadır. Erken Uyarı Sistemi, elde edilen deprem bilgilerini Afet Müdahale Yönetim Sistemine ileterek acil müdahale çalışmalarında ilgili kuruluşlara destek olmaktadır.

2.2. Proje Gerekçesi

Günümüzde, depremlerin yol açabileceği tehlikelerin insan hayatı, mal-mülk ve çevre açısından büyük boyutlarda olabileceği açık bir gerçektir. Teknolojinin son 20 yılda hızla ilerlemesi, depremlerin hızla tespit edilmesi ve değerlendirilmesi için yapılan çalışmalara önemli bir ivme kazandırmıştır. Özellikle elektronik, haberleşme ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi, deprem erken uyarı sistemleri için yer hareketi gözlemlerine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Bu çalışmaların sonuçları, depremin önceden tahmin edilebilmesinin mümkün olduğunu ve bu sayede can kayıplarının ve maddi zararların azaltılabileceğini göstermektedir.

Türkiye’de de deprem tahmin ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine yönelik birçok yazılım ve uygulama çalışması yürütülmektedir. Bu çabalar, depremlere karşı daha iyi bir hazırlık ve tepki sağlamayı amaçlamaktadır. Geliştirilen yazılımlar ve uygulamalar sayesinde depremlerin etkileri önceden belirlenebilmekte ve toplumsal zararlar minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede gelecekte depremlerin yol açabileceği riskler daha etkili bir şekilde yönetilebilecektir.

Deprem erken uyarı sistemleri, deprem tahmininden ziyade, depremin oluşma mekanizması ve yayılan dalgaların analizleri sonucunda elde edilen verilere dayanarak 4 ila 60 saniye arasında değişen bir süre içerisinde erken uyarı ve zaman kazanma sağlayan sistemlerdir. İleri Deprem Uyarı Sistemleri ise, olası bir hasara neden olabilecek düzeyde bir depremin kaynağının en yakın noktalarda gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi ve hızlıca uyarı sinyali üretilmesi anlamına gelmektedir. Temel olarak, deprem erken uyarı sistemlerinin ana amacı, beklenen ilk hareketin ve tahmin edilen sismik şiddetin erken uyarısı sağlayarak akıllı şehir sistemlerine entegre edilmesi ve olası deprem durumuna karşı hazırlıklı olunması, böylece potansiyel zararların en aza indirilmesidir.

Depremle etkin bir şekilde başa çıkabilmek için deprem öncesinde gerekli tedbirlerin alınması ve depremlerin tahmin edilmesi son derece kritiktir. Bu bağlamda, Deprem Erken Uyarı Sistemleri ile entegre çalışan Deprem Hasar ve Kayıp Yazılımı, deprem öncesinde farklı senaryoların oluşturulması ve bu senaryoların sonuçlarının hesaplanarak hasar tespiti ve tahmini yapılmasını sağlamaktadır. Bu yazılım, olası depremlerin neden olabileceği zararları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Afet sonrasında oluşabilecek bina hasarları, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için gerekli önlemlerin ve stratejilerin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Deprem Hasar ve Kayıp Yazılımı, olası depremlerin etkilerini azaltmayı ve afet sonrası toparlanma sürecini hızlandırmayı hedeflemektedir. Bu yazılımın kullanılması, deprem riskine karşı daha hazırlıklı olunmasını sağlayarak afet öncesinde gereken müdahaleleri gerçekleştirme imkânı sunmaktadır. Ayrıca, yüksek katma değere sahip İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması sayesinde, deprem öncesinde gerekli önlemler alınabilir ve potansiyel zararlar en aza indirilebilir. Bu çaba, afetlerin etkilerini minimize etmek ve daha iyi bir afet yönetimi yaklaşımı geliştirmek amacıyla gerçekleştirilen önemli bir adımdır.

İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin amaçları ve gerekçeleri aşağıda belirtilmiştir:

- Ulusal ölçekte, son teknolojilerinin kullanılmasıyla Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin akıllı şehirlerde oluşturulması
- AYDES, GAMER, 112, ATLAS ve MEVBİS gibi ulusal ölçekteki projeler ile entegrasyon sağlanması
- Depremler yüzünden oluşan can ve mal kayıplarının düşürülmesi, afet zararlarının azaltılması, sosyal ve çalışma hayatının güvenli bir şekilde devamının sağlanması
- Deprem senaryoları için veri tabanı oluşturularak deprem sonra hasar kayıp tahmininin yapılabilmesi
- Olası deprem anında ilgili kurumlara uyarı sinyalinin verilerek yüksek gerilim hatlarındaki akımın kesilmesi, kritik kimyasal üretim yapan fabrika, nükleer santral ve rafinerilerin tehlike yaratabilecek faaliyetlerin durdurulması
- Olası deprem anında metro, hızlı tren ve banliyö trenleri gibi toplu taşıma araçlarının ve köprü ve tünel trafiğinin durdurulması ve güvenlik önlemlerinin alınması
- Deprem öncesinde üretilen deprem risk haritaları ile hasar görecekt alanların belirlenmesi
- Toplumun doğal afet türlerinden biri olan deprem bilincini yükseltmeye yönelik çalışmalar yapılması, vatandaşların bilgilendirilmesi
- Acil durum erken uyarı sistemlerinden gelen çağrılar ile zamanında müdahale sağlanması
- Sistem paydaşlarının doğru ve güncel bilgiye en son teknoloji ile en kısa sürede erişiminin sağlanması
- Kurumlar arası koordinenin sağlanabilmesi ve idari ve teknik birlikte çalışabilirliğin tasarlanması
- Türkiye'nin Bilgi Toplumu'na dönüşüm hedefine katkıda bulunması
- Donanım ve yazılım altyapısı sayesinde sağlıklı veri toplanması ve işlenmesi, bu verilerin karar alma mekanizmalarında işlenerek daha iyi ve az maliyetli hizmet sunması

2.3. Mevcut Durum

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti

- İleri Deprem Uyarısına yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trendlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti

- Türkiye’deki mevcut İleri Deprem Uyarısına yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alış verişi yapılır.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

Literatür Araştırması

Literatür araştırması kısmı, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Deprem erken uyarı sistemleri, önceden harekete geçmeleri için insanları ve sistemleri uyararak can ve mal kaybını önlemeyi amaçlamaktadır. Deprem mühendisliği, güçlü sarsıntıları gerçekleşmeden önce saniyeler öncesinde tahmin etmek için sensör ve izleme teknolojisi kullanmaktadır. Bilim insanlarının geliştirdiği algoritmalar, sismik dalgaların tepe genlikleri gibi erken dönem dalga formlarını kullanarak sonraki sarsıntıları tahmin etmeye yöneliktir. P dalgaları ve S dalgaları arasındaki farklı hızlar sayesinde, yıkıcı sismik dalgalar gelmeden önce, ilk gelen P dalgaları ile devam eden bir sismik olay hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Uyarı süresi, merkez üssünden uzaklığa, dalgaların yolculuğu ve saha koşullarına, algoritmaların hesaplama süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu duruma bağlı olarak, uyarı verilemeyen bölgelerde "kör bölgeler" oluşabilmektedir.

İleri Deprem Uyarı Sistemleriyle ilgili tarihsel gelişme Tablo 1’de özetlenmiştir. Türkiye, dünya genelinde deprem riski yüksek olan ülkelerden biridir. Ülkenin topraklarının %96’sı deprem riski taşıırken nüfusun %98’i de bu risk altında yaşamaktadır. Tarih boyunca yaşanan depremlere dair kayıtlara bakıldığında M.Ö. 2000 yılından itibaren hasar yaratan büyük depremlerin yaşandığı görülmektedir.

Tablo 1. İleri Deprem Uyarı Sistemleri Tarihsel Süreç [5][8][9]

YILLAR

AÇIKLAMA

1960	1960'lı yıllarda Japon Demiryolları, hızlı tren hatları boyunca her 20 km'de bir mekanik alarm özelliğine sahip sismograflar, yani alarm sismometreleri, yerleştirmiştir.
1968	Hayward Fayı'nda meydana gelen 7.0 büyüklüğündeki depremin ardından, San Francisco Şehri'nin dışındaki bölgelerde, 10-100 km uzaklıklarda, sismik detektörlerin yerleştirilmesi önerilmiş ve büyük bir sarsıntı bu ağı tetiklediğinde telgraf aracılığıyla çanın çalması düşünülmüştür.
1985	Tayvan, 1992 yılında, sismoloji ve deprem mühendisliği çalışmalarına yardımcı olmak amacıyla TSMIP adını taşıyan bir sismik cihaz kurulum projesini başlatmıştır. Bu proje, deprem kayıtlarını içeren bir veritabanı oluşturmayı hedeflemiştir.
1986	Güney Kaliforniya Eyaleti, genişbantlı kayıtçılardan oluşan SCAN (Seismic Computerized Alert Network, Türkçe çevirisi ile Sismik Bilgisayarlı Uyarı Ağı) adlı bir sismik ağı önermiştir. Bu öneriler, tarih içinde öncü fikirler olarak yerini almıştır.
1989	1989'daki Loma Prieta Depremi (Mw:6.9), Oakland Şehri'nde hasar gören karayollarında çalışan işçileri artçı sarsıntılardan haberdar etmek amacıyla Bakun ve arkadaşları [8] tarafından geliştirilen basit ve pratik bir EU sistemi kullanılarak yaklaşık 20 saniyelik bir uyarı süresi sağlamıştır. Bu sistem, dört sensörden oluşmuştur.
1991	1991 yılında Meksika'da, halka yönelik ilk uyarı yapabilen EU sistemi, "Guerrero" kıyısı boyunca toplam 12 ivmeölçerden oluşacak şekilde kurulmuş, ortalama 25 km aralıklarla yerleştirilmiştir.
1995	1995'te Kyoto'da meydana gelen ve 6.434 ölüme neden olan 7.4 büyüklüğündeki depremin ardından Japonya hükümeti, sismik erken uyarı sistemlerine yönelik vatandaşlar için ek güvenlik önlemleri hazırlamıştır.
2001	İstanbul'da, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (B.Ü.-K.R.D.A.E) tarafından yürütülen İstanbul Deprem Erken Uyarı

ve Acil Müdahale Projesi çerçevesinde "EU" ayağı olarak 10 adet kuvvetli yer hareketi istasyonu kurulmuştur [9].

2003

Son 50 yıldır Amerika Birleşik Devletleri'nde devam eden afet zararlarını azaltma çabaları, hem uzun dönem risk tespiti ve değerlendirilmesini, hem de afet sonrası bilgilendirme çalışmalarını kapsamaktadır. Uzun dönemde deprem riskini ve zararlarını azaltma çalışmaları, özellikle yapısal yönetmeliklerin geliştirilmesinde kullanılmış ve risk haritalarıyla desteklenmiştir [5].

2003

2003 yılında ABD, afet zararlarını azaltma amacıyla üçüncü bir yaklaşımı önermiştir. Bu yaklaşımda, özellikle Güney Kaliforniya bölgesinde TriNet altyapısının kullanımıyla ElarmS (Earthquake Alarm System=Deprem Alarm Sistemi) adlı sistem aracılığıyla, deprem öncesinden birkaç saniye ile onlarca saniye öncesine kadar erken uyarı mesajları verilebileceği belirtilmiştir [5].

Söz konusu ülkelerde kurulan sistemler, alt yapıları ve kullanılan algoritmalar açısından çeşitlilik gösterse de temel amaçları aynıdır: Deprem kaynaklı zararları en aza indirmeyi amaçlamaktadırlar.

Dünya'daki Mevcut Durum

Dünya genelinde yaşanan deneyimlerden elde edilen sonuçlar, birçok akıllı uyarı sistemini geliştirmeye yönelik ilham kaynağı olmuştur. Bu sistemler, önceden var olan sorunların tespit edilmesi ve gelecekte olabilecek olaylara karşı hazırlıklı olunması amacıyla çeşitli amaçlar doğrultusunda tasarlanmıştır. Deprem konusunda özellikle başarılı sonuçlar elde eden ülkeler, "İleri Deprem Uyarı Sistemleri" adı altında farklı çalışmalar yürütmektedirler. Bu ülkeler arasında Meksika, Japonya, Türkiye, Romanya, Çin, İtalya ve Tayvan bulunmaktadır. Tüm bu ülkelerde geliştirilen sistemler, depremleri hızlı bir şekilde algılamak ve olası yer sarsıntılılarıyla ilgili uyarıları iletmek amacıyla sürekli olarak ilerlemektedir. Bu sistemler, yerel koşullara ve spesifik yer hareketi verilerine dayalı olarak çalışarak sisteme güç sağlamaktadır [9].

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, ilk kez gazeteci J.D. Cooper tarafından düşünce olarak sunulmuştur [10]. Cooper'ın fikrine göre, Hayward Fayı'nda meydana gelen 7.0 büyüklüğündeki depremin ardından, San Francisco Şehri'nin dışına, depremden 10-100 km uzaklıkta sismik dedektörler yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu dedektörler büyük bir sarsıntıyı algılasa, bir sinyal ile şehre telgraf aracılığıyla

bildirim gönderilerek çanların çalmasının sağlanması önerilmiştir. Bu, İleri Deprem Uyarı Sistemi'nin ilk fikir ve düşünce örneklerinden birisidir [9].

İleri Deprem Uyarı Sistemlerine Örnekler

Mexico City

Ülkenin kıyı bölgelerinde meydana gelen büyük depremleri önceden tespit edebilen etkili bir Deprem Erken Uyarı (EEW) sistemi kullanmaktadır. Bu sistem, büyük bir deprem sonucu oluşan şiddetli sarsıntıları hızla algılamak için sahil boyunca yerleştirilmiş sensörlerden oluşmaktadır. Sensörler, depremin konumunu ve büyüklüğünü en hızlı şekilde belirleyerek bilgi sağlamaktadır. Mexico City, ana levha sınırından birkaç yüz mil uzakta bulunduğu için, yaklaşmakta olan bir depreme dair bir dakikadan daha uzun bir sürede uyarı alabilmektedir. Ancak şehre daha yakın bölgelerde meydana gelen depremlerde uyarı süreleri daha kısadır.

Japonya

Dünya çapında, 9 ülkenin deprem erken uyarı sistemlerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu ülkeler arasında Japonya da yer almaktadır ve günümüzde en gelişmiş erken uyarı sistemlerine sahip ülkelerden biridir. Japonya'nın erken uyarı sistemi, uzun bir geliştirme süreci sonucunda bugünkü halini almıştır [11].

1960'ların sonlarına doğru, Japon demiryolu ağı üzerinde, demiryolu hatları boyunca yer sarsıntılarının eşik değerini belirlemek amacıyla sismometreler kurulmuştur. Bu sistem, trenlerin enerjisinin yer sarsıntısı şiddetine göre yavaşlatılması veya durdurulması için kullanılmıştır. Sismometreler, deprem öncesi alarm ve gerekli önlemlerin alınması için önemlidir. Bu sistemden sonra, Japonya Demiryolları 1980'lerde daha gelişmiş bir deprem uyarı sistemine geçiş yapmıştır. Bu sistem, Demiryolu Teknik Araştırma Enstitüsü tarafından tasarlanan ve Acil Deprem Algılama ve Alarm Sistemi (Urgent Earthquake Detection and Alarm System - UrEDAS) olarak adlandırılan bir sistemdir. Bu dönemden itibaren geliştirilen diğer sistemler de genellikle UrEDAS sistemi temel alınarak geliştirilmiştir. Bu sistem, deprem kaynağına yakın alanlara P dalgaları göndererek depremin konumunu ve şiddetini hızla tahmin etmektedir. Bu bilgiye dayanarak S dalgaları gelmeden önce trenleri durdurmaktadır. Bu sistem ilk olarak Tokyo Metropolitan alanında kullanılmaya başlamıştır [11].

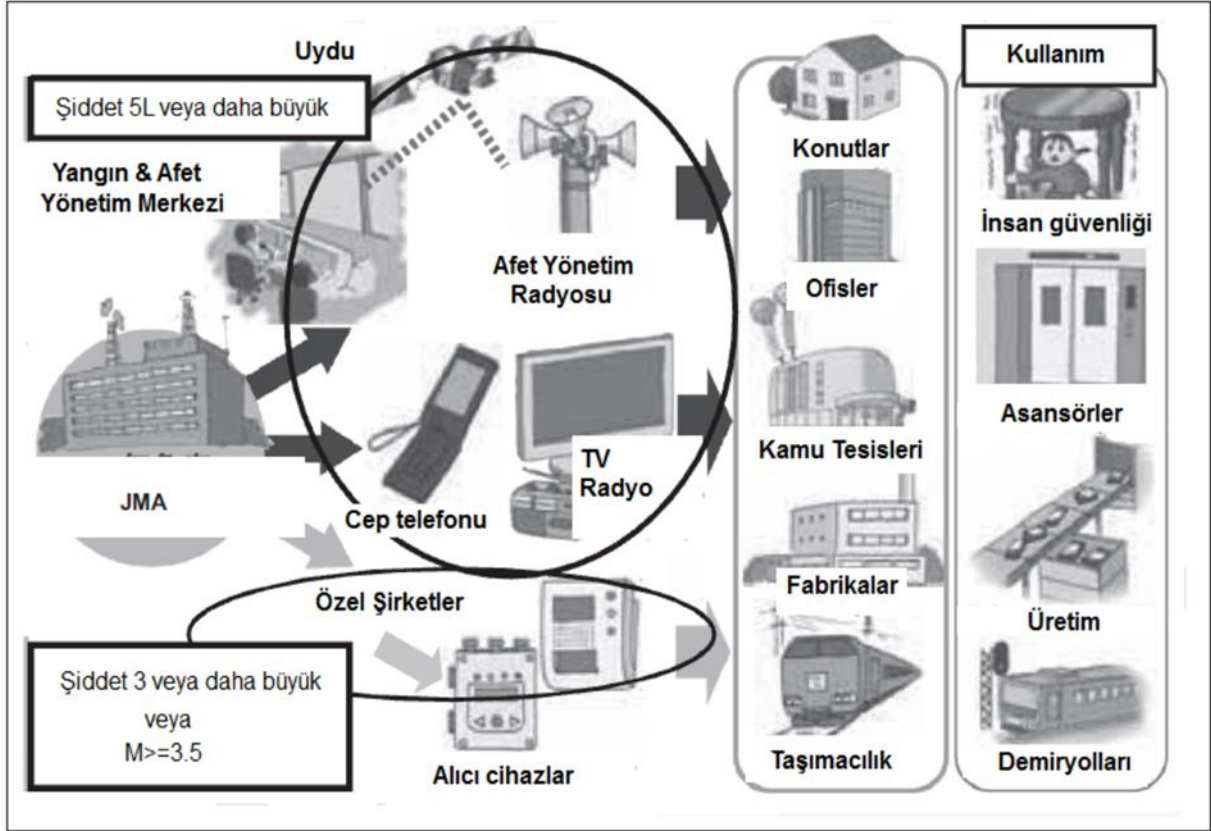
Hızlı demiryolu sistemleri için ilk UrEDAS ağı, 1992 yılında Tokaido Shinkansen'de 14 ölçüm cihazıyla devreye alınmıştır. 1995 Kobe Depremi'nin ardından Japonya genelindeki demiryolu hatları boyunca genişletilmiştir. Ayrıca, Kobe depremi sonrasında, raylı ve yeraltı tren sistemleri için daha hızlı bir versiyon olan "Kompakt UrEDAS" adıyla anılan sistem de geliştirilmiştir. Japonya'da acil durum yönetimi için erken hasar tespiti ve değerlendirme sistemi 1994 yılında geliştirilmiştir [11].

1995 yılında meydana gelen büyük Kobe Depremi, ülkede binlerce insanın ölümüne ve milyonlarca dolarlık ekonomik kayba neden olmuştur. Bu olayın ardından, ülke genelinde erken uyarı sistemlerinin gelişimi önem kazanmıştır. Japonya'da sismik ağlar ve kalıcı istasyonlar kurulmuştur. Bu sismik ağların yaklaşık 800 tanesi yüksek hassasiyetli cihazlardan oluşurken 650 tanesi yer altına yerleştirilmiş güçlü yer hareketi cihazlarından oluşmaktadır. Ülkenin çeşitli bölgelerinde yaklaşık 200 adet güçlü yer hareketi cihazı içeren bir sismometre ağı yenilenmiştir. Bu sismik ağların kurulumunun ardından JMA (Japan Meteorological Agency), Şubat 2004'te deprem erken uyarı yöntemlerini test etmeye başlamıştır [2].

16 Ağustos 2005 tarihinde Miyagi bölgesinde meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki depremde, ilk P dalgasının algılanmasından sadece 4,5 saniye sonra ve S dalgasının varışından 16 saniye önce JMA tarafından geliştirilen bu sistem sayesinde bir uyarı verilmiştir [2].

JMA, 2006 yılında sınırlı sayıda kullanıcıya erken uyarı verme yeteneğine sahipken, 2007 yılında bu hizmeti tüm halka yönelik olarak genişletmiştir. Bu süreç boyunca, erken uyarı sistemi hakkında bilgilendirici seminerler, afişler, radyo ve televizyon ağları yoluyla kısa bilgi içeren eğitimler düzenlenmiştir. 2009 yılı itibarıyla, JMA sistemi 800 adet Hi-net istasyonu ve 200 adet JMA yer hareketi istasyonundan oluşmaktadır. Bu sistemde veriler, ülke genelinde 20 km sabit aralıklarla yerleştirilen istasyon ağından sağlanmaktadır. Uyarılar, maksimum 5 veya daha yüksek şiddetle beklenen depremler için yayınlanmaktadır. Bu kriterlere uyan 11 deprem, 2007-2009 yılları arasında meydana gelmiştir. A2007-2010 yılları arasında ise sistem toplamda 21 kez uyarı yayınlamıştır [2].

Eylül 2008'den itibaren, uyarıların iletilmesi için 127 televizyon istasyonundan 124'ü, 35 FM radyo istasyonu ve 41 AM radyo istasyonu kullanılmaktadır. "J-Alert" adı verilen Çoklu Tehlike Sistemi, belediyelere uyarılar sağlamaktadır. Mart 2009'dan sonra, 1851 belediyeden 226'sı J-Alert alıcılarını kullanmış ve bu 226 belediyenin 102'si uyarıların halka duyurulması için Hoparlör sistemini kullanmıştır. Japonya'daki üç cep telefonu şirketi (AU, Docomo ve Softbank), kullanıcılarına ücretsiz uyarı mesajları göndermektedir. Şu an itibarıyla, yaklaşık 52 milyon kişi bu uyarı mesajlarını cep telefonları aracılığıyla alabilmektedir [2].



Şekil 3. Japonya'da EU Sisteminin Kullanımına Örnekler ve Uyarının İletim Yollarının Şematik Görünümü [12]

JMA, halka uyarıları televizyon ve radyo kanalları aracılığıyla iletmektedir. En etkili iletişim yöntemi olarak NHK'nın yanı sıra 122 televizyon, 25 FM radyo ve 34 AM radyo şirketi, 2008 yılından itibaren destek ve hizmet sunmaktadır. Ayrıca, iki GSM şebekesi de yaklaşık 21 milyon kullanıcıya ücretsiz destek sağlamaktadır [3].

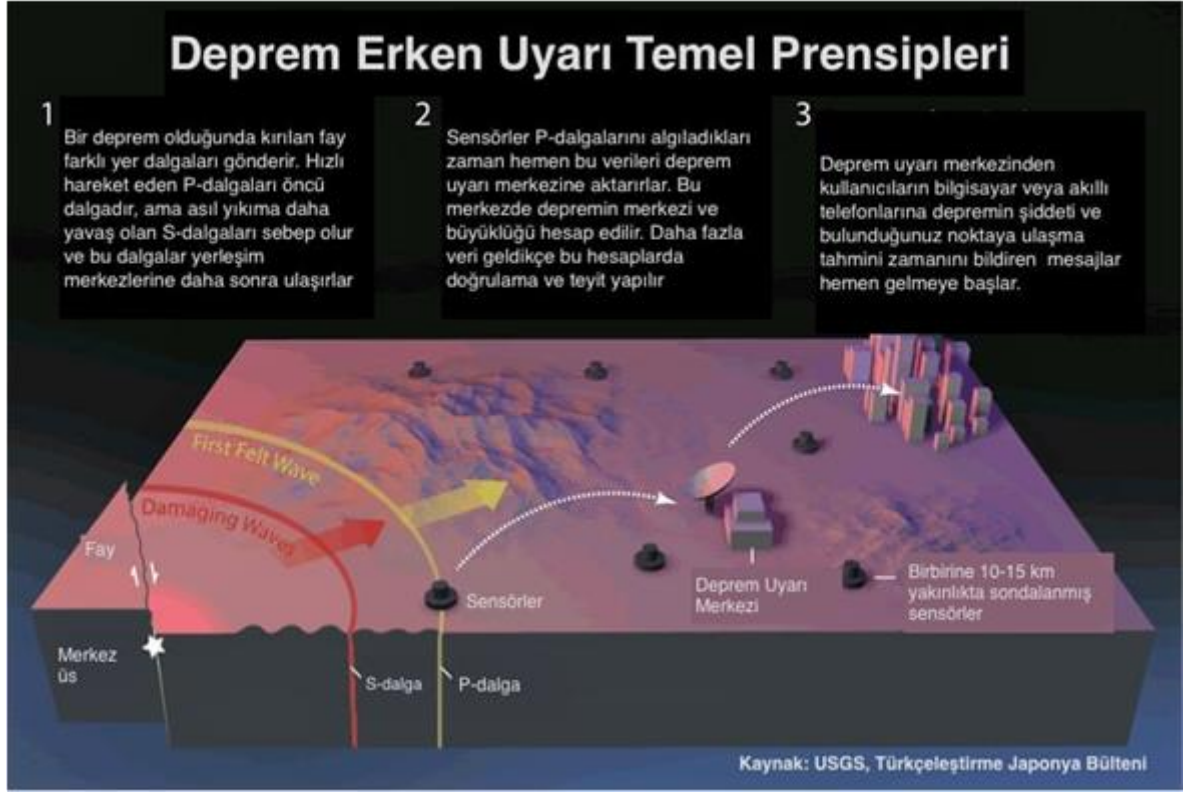
Japonya, sık sık depremlere ve volkanik faaliyetlere maruz kaldığından sürekli olarak tektonik aktiviteler incelenmektedir. Bu amaçla, JMA deprem sonrası hızla merkez üssünü tespit etmek ve deprem şiddetini tahmin etmek amacıyla ülke genelinde her 60 km'de bir olmak üzere yaklaşık 180 sismometre istasyonu kurmuştur [2].

Bir deprem meydana geldiğinde, sismometrelerden gelen veriler kullanılarak sistem hızla depremin merkez üssünü ve büyüklüğünü belirler ve 3 ve üzeri büyüklükteki depremler için 2 dakika içinde sismik bilgi raporu oluşturur. Bu raporlar, afet yönetimi yetkilileri tarafından referans olarak kullanılabilir [2].

Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kıyısındaki deprem erken uyarı sistemi, yer sarsıntısı başlamadan önce onlarca saniye önceden uyarı sağlayabilmektedir. Bir depremin tespit edilmesi ve uyarının verilmesi için geçen süre, çeşitli faktörlere bağlıdır:

1. Deprem merkezi ile en yakın sismik istasyon arasındaki mesafe, ilk sismik dalgaların kaynağından istasyona ulaşmasına harcanan zamanı belirleyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, bir istasyonun deprem merkezine yakınlığı, depremin daha hızlı tespit edilmesini sağlamaktadır. Doğru tespitler genellikle birden fazla istasyondan alınan çoklu yer hareketi ölçümlerine dayanmaktadır. Bu yüzden, arızanın yakınındaki istasyon sayısının artırılması, tespit sürelerini iyileştirebilmektedir.
2. Bölgesel sismik ağlar, birden fazla istasyondan gelen verileri toplamakta ve analiz emektedir. Bu nedenle, istasyonlardan gelen yer hareketi bilgileri işlem merkezine iletilmektedir. Bu iletim için sağlam bir altyapı gereklidir ve farklı yöntemler kullanılmaktadır, örneğin radyo bağlantıları, telefon hatları, genel/özel internet ve uydu bağlantıları gibi. Bu çeşitlilik, sistem sağlamlığını artırmak amacıyla kullanılmaktadır.
3. İstasyonlardan anlık olarak alınan yer hareketi kayıtları, bir depremin tespiti ve olayın ilk konumunu ile büyüklüğünü hızla belirlemek için kullanılmaktadır. Depremin bilgisini en hızlı şekilde tahmin etmek için çeşitli algoritmalar geliştirilmektedir.
4. Uyarılar, beklenen yer sarsıntısı yoğunluğunun belirli bir eşiğin üzerine çıktığı durumlarda verilmektedir. Düşük sarsıntı eşikleri, uyarıların daha hızlı verilmesini sağlamaktadır çünkü sistemin deprem büyüklüğünün büyümesini beklemesi gerekmez [13].



Şekil 4. Deprem Erken Uyarı Temel Prensipleri [13]

Türkiye'deki Mevcut Durum

Türkiye, coğrafi ve jeolojik yapısı ile iklim özelliklerinin etkisi altında, doğal afetlerin sıkça görüldüğü bir ülke konumundadır. Son 60 yıl boyunca yaşanan doğal afetlere bakıldığında, ülkede meydana gelen yapısal hasarların büyük bir kısmının (%66) deprem kaynaklı olduğu gözlenmektedir. Tarihsel kayıtlar incelendiğinde, geçmiş yüzyıl içinde ülkemizde 5.5 ve daha büyük büyüklükte 118 depremin neden olduğu hasarlarla karşılaşıldığı görülmektedir. Ülkemizin yüzölçümünün %96'sı, farklı derecelerde deprem tehlikesi taşıyan bölgeler içerisinde yer almaktadır. Ülkemizin nüfusunun %98'i bu potansiyel tehlike bölgelerinde yaşamaktadır. Ayrıca, nüfusumuzun %70'i de 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yer almaktadır.

1999 Marmara depremi, Türkiye'nin afet yönetimi anlayışında önemli bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Bu depremden önce, afetlere kriz yönetimi perspektifiyle yaklaşılmaktaydı. Ancak 1999 Marmara depremi sonrasında alınan yasal düzenlemeler ve yönetmelikler sayesinde afet yönetimi risk odaklı bir anlayışa dönüşmüştür. Afet mevzuatı incelendiğinde, her afetin ardından o afet türüne özgü iyileştirme ve düzenlemeleri içeren yasa ve yönetmeliklerin yayımlandığı görülmektedir. Cumhuriyet döneminde afetlere müdahale politikalarının 1939 Erzincan Depremi sonrasında geliştirilmeye başladığı gözlemlenmektedir. Ancak 1999 Marmara depremi öncesi dönemde, afetlere yönelik tedbirler genellikle afet sonrası acil yardım, geçici barınma ve yeniden yapılanma çalışmalarını

içermekteydi. Sonraki yıllarda meydana gelen afetler, acil müdahale politikalarının önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda yapılan yasal düzenlemelerle afet bölgelerindeki kaymakam ve valiler acil müdahale eşgüdümünü sağlama yetkisi kazanmıştır. Ülke genelini kapsayan bu yasa ile merkezi hükümet ilk defa deprem öncesinde belirli görevler üstlenmiştir. Deprem bölgelerinin tanımlanması, yeni yapılar için özel gereksinimlerin yönetmelikle zorunlu hale getirilmesi, acil durumlar için yardım ve kurtarma planlarının il ve ilçelerde önceden hazırlanması, belediyelerin zemin etütlerini tamamlanmamış alanları imarla açmaması gibi çeşitli önlemler uygulanmaya başlamıştır. Bu çerçevede "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" oluşturulmuş ve 1945'te "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" adıyla yürürlüğe giren "Türkiye Yer Sarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği" yayınlanmıştır. 1953 yılında Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisliği bünyesinde bir deprem bürosu kurulmuştur. Daha sonra 1955'te bu büro DE-SE-YA (Deprem, Seylap, Yangın) şubesine dönüştürülmüşü ve afet zararlarının azaltılması çalışmaları bu şube tarafından yürütülmeye başlanmıştır.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

2001 yılının Nisan ayında T.C. Bakanlar Kurulu'nun kararıyla, İstanbul Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale Projesi'nin "EU" ayağı kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından 10 adet kuvvetli yer hareketi istasyonu kurulmuştur. İstasyon yerleri, Adalar, Tuzla, Yalova, Gebze, Marmara Ereğlisi gibi yerler olmak üzere istasyon güvenliği, veri iletim güvenliği ve fay hattına yakınlık gibi kriterlere göre belirlenmiştir [6]. Bu istasyonlardan sürekli veriler uydu aracılığıyla ana merkeze iletilmekte ve otomatik olarak değerlendirilmektedir. Belli bir zaman dilimi içinde en az 3 istasyon tarafından eşik seviyesinin aşılmış olması sürekli kontrol edilmektedir. Eşik seviyesi aşıldığında "deprem" kararı verilmekte ve yazılım tarafından otomatik olarak alarm mesajı üretilmektedir [6].

Türkiye Afet Müdahale Planı, afet risklerini azaltma hedeflerini belirleyen kapsamlı bir stratejik belge olarak önemlidir. Ayrıca Türkiye'nin İklim Değişikliği ile ilgili Uyum Stratejisi Eylem Planı (2011-2023) hazırlanmış ve destek talep eden ülkelerde afet yönetim sistemlerinin geliştirilmesi, afete hazırlık ve risk azaltma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gibi konulara da yer verilmiştir. Ancak, bu çalışmalar afet riskleri konusunda toplumsal farkındalığı ve her düzeyde idari işbirliğini yeterince içermemiştir. Bu nedenle, afetlere hazırlık noktasında toplumun idareye olan güveni yerine belirli bir tedirginlik hissi yaygın olabilmektedir. İdari kapasitenin güçlendirilmesi konusunda gönüllü çalışmalar, aslında idare ve toplum arasında güven oluşturmak için önemli bir katkı sağlayıcı rol oynamaktadır [Kaynak verilmeli].

7TP Deprem Erken Uyarı Uygulaması

Dr. Alper Gökner'in liderliğinde, beklenen büyük Marmara Depremi sırasında milyonlarca yaşamın, merkez üssünden uzaklıklarına göre 5-25 saniye önce verilen uyarılarla kurtarılabileceği ihtimali üzerine, sahada 6 adet P-Dalgası istasyonunu kurmuştur. 26 Eylül 2019'daki 5,8 büyüklüğündeki depremde bu istasyonlar sayesinde Marmara Bölgesi için son kullanıcılara yönelik erken uyarının gerçekten mümkün olduğunu kanıtlamıştır. Bu çabaların sonucunda Android ve iOS işletim sistemlerinde çalışan uygulamalar oluşturulmuştur. Ayrıca evler, okullar, hastaneler, fabrikalar gibi yapılar için özel çözümler geliştirilmektedir [13].

Kocaeli İli Erken Uyarı ve Acil Müdahale Sistemi

Deprem Erken Uyarı Sistemi projesi, yüksek depremsellik riskine sahip bölgelerde ileri teknoloji kullanarak olası bir depremin bilgisini hızla ileterek kritik yapılar ve altyapılar için önemli olan ikincil afetleri engellemeyi amaçlamaktadır. Bu sistem, deprem bilgilerini anında yakalayarak Afet Müdahale Yönetim Sistemine ileterek acil müdahale çalışmalarını desteklemektedir. Aynı zamanda Kocaeli İl sınırlarında deprem tehlikesini ve riskini belirlemek amacıyla kurulan Yerel Deprem Kayıt Ağı Sismolojik İzleme ve Deprem Eğitim Merkezi, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ile işbirliği içinde faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu işbirliği protokolü çerçevesinde deprem verileri paylaşımı, deprem verilerinin analizi, deprem istasyonlarının kurulumu ve yer seçimi gibi çalışmalar yürütülmektedir [13].

Deprem Gözlem İstasyonları ve Erken Uyarı Sistemleri

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Türkiye'deki deprem gözlem istasyonlarının büyük bir bölümünü işletmekte ve yönetmektedir. Toplamda 700'ün üzerinde istasyonu bulunan bu kuruluş, sürekli olarak Türkiye ve çevresindeki deprem aktivitesini takip ederek vatandaşlarımızı bilgilendirme misyonunu üstlenmektedir.

Deprem Gözlem İstasyonları, şu hedefleri amaçlamaktadır:

- Türkiye ve yakın çevresindeki deprem faaliyetlerinin kesintisiz olarak gözlemlemek
- Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemini yönetmek
- Deprem parametrelerini (zaman, konum, büyüklük, derinlik) hızlı ve doğru bir şekilde hesaplamak
- Acil durum yönetim merkezini ve ilgili yetkilileri derhal bilgilendirmek
- Deprem kaynak parametrelerini (örneğin fay mekanizma çözümleri) belirlemek
- Hasar yaratıcı bir ana depremi takiben artçı deprem çalışmaları ile bölgedeki depremsel aktiviteyi yakından izlemek



Şekil 5. Deprem Erken Uyarı Sistemi [14]



Şekil 6. Sahada Deprem Erken Uyarı P-Dalgası Algoritması [14]

MTA Diri Fay Haritasının Yenilenmesi

1992 yılında Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından ilk kez yayımlanan Türkiye Diri Fay Haritası, ülkemiz ve yakın bölgelerin güncel tektonik yapısı ve depremselliği hakkında sağlam bir temel sunmuştur. Bu harita, birçok bilimsel araştırma ve deprem tehlikesi analizi için temel referans kaynağı olarak kabul edilmiştir. Ancak, deprem afetlerinin etkilerini azaltmaya yönelik çalışmalar sırasında daha detaylı fay bilgilerine olan ihtiyaç artmış ve bu nedenle haritanın güncellenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır [13].

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, olası bir hasar yaratabilecek büyüklükteki depremlerin kaynağının en yakın noktalarda gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi ve buna bağlı olarak otomatik bir uyarı sinyali üretilmesini hedeflemektedir. Bu sinyal, ilgili kurumların hızla haberdar edilmesini sağlamak ve ardından bir dizi önemli tedbir alınmaktadır. Bu tedbirler arasında yüksek gerilim hatlarının kesilmesi, fabrikaların, nükleer santrallerin ve rafinerilerin faaliyetlerinin durdurulması, toplu taşıma araçlarının (metro, tramvay, tren vb.) seferlerinin durdurulması gibi önlemler bulunmaktadır.

Projenin bağlantılı olduğu alanlar

Proje içeriği, doğrudan şehir ve bölge planlaması, sivil savunma ve ekonomi alanlarıyla yakından ilişkilidir. Deprem öncesi hazırlık ve zarar azaltma, afet sırasında müdahale ve afet sonrası iyileştirme çabalarının yönetimi ve koordinasyonu, iş birliği temelinde etkili bir süreci gerektirmektedir. Her ilde valiye bağlı İl Afet ve Acil Durum Müdürlükleri faaliyet gösterirken bazı illerde ise Sivil Savunma Arama ve Kurtarma Birlik Müdürlükleri, deprem anında destek sağlamalıdır.

Afet acil durumunun giderilmesinin ardından öncelik, zarar gören bireylerin ve toplulukların desteklenmesi kadar yerel ekonominin yeniden canlandırılması, altyapının iyileştirilmesi, sanayi ve ticaretin desteklenmesi, toplum eğitimi ve sosyal-psikolojik destek hizmetlerinin sağlanarak toplumun olası yeni bir afete karşı daha dayanıklı hale getirilmesidir.

Genel anlamda, hava tahminleri için erken uyarı, meteoroloji istasyonları ve iletişim araçları gibi konularda kamu idarelerinin temel aktörler olduğu bir süreçtir. Türkiye'de kamu yönetimlerinin erken uyarı konusunda hazırlıklı oluşu, yerel halkın bu çabaların farkındalığı, idareden beklentileri ve toplumun üstlenmesi gereken sorumluluklar konuları, proje ile yakından ilişkili başlıklardır.

Deprem potansiyel ekonomik ve sosyal kayıplarının en aza indirilmesi ve toplumun yaralarının hızla sarılması amaçlanmaktadır. Afetten etkilenen topluluklar için güvenli ve gelişmiş yeni yaşam alanları oluşturulması da hedeflenen faaliyetlerdendir.

Sivil savunma ise, afet durumunda halkın zamanında gerekli tedbirleri alması için ikaz ve alarm sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için haber alma, yayma, ikaz ve alarm sistemleri kurulmakta ve ülke genelinde can ve mal kayıplarını minimize etmek için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu bağlamda sivil savunma, projenin odak noktasıyla güçlü bir bağ içerisindedir.

Depremler, projeyi doğrudan etkileyen fiziksel, sosyolojik ve ekonomik boyutlarıyla üç şekilde etki etmektedir. Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD), depremin etkilerini dört ana grupta kategorize etmiştir [4]:

- a. Ölenler, yaralananlar ve zarar görenler (fiziksel etki)

- b. Konut, altyapı, tarım ve yaşam hattı sistemleri gibi fiziksel hasarlar (fiziksel etki),
- c. Mali ve ekonomik sonuçlar (ekonomik etki),
- d. Parçalanmış aileler, yetimler, elden kaçan eğitim fırsatları, borçluluk, hayatta kalanların yaşadıkları travma gibi sosyal sonuçlar (sosyolojik etki)

Depremlerin olumsuz etkilerinden biri, kamu bütçeleri ve borçları üzerinde görülmektedir. Bu durum genellikle ekonomik faaliyetlerde olduğu gibi kamu gelirlerinin düşmesiyle birlikte acil yardım ve yeniden yapılanma ihtiyaçları nedeniyle kamu harcamalarının artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda, afetlerin ulusal ekonomiye göre göreceli olarak küçük olduğu durumlarda vergi oranlarının artırılmasıyla vergi gelirleri artabilmektedir. Ancak, afetler ulusal ekonomiyi daha fazla etkilediğinde vergi gelirlerindeki artış daha sınırlı kalabilmekte ve hükümetler dış borçlanma yöntemlerine başvurabilmektedir. Bununla birlikte, afetlerin mali etkileri kamu bankalarının zararları, yerel yönetim harcamaları ve sosyal fonlardan aktarılan kaynaklar gibi faktörleri de içermektedir [4].

Projenin hedef kitlesi

Proje hayata geçirildiğinde, birçok kamu kurumu ve kuruluş bu sistemlerden yararlanarak bu tür durumlarda karar alma ve yönetim rollerini üstlenecektir. Aşağıda, kamu sektöründe yer alan paydaş kamu kurumlarının bir listesi bulunmaktadır:

- İçişleri Bakanlığı
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
- Tarım ve Orman Bakanlığı
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
- Sağlık Bakanlığı
- Devlet Su İşleri (DSİ)
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- AFAD
- Yerel Yönetimler
- Valilikler
- Üniversiteler
- Vatandaşlar

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Depremler, büyüklükleri ve etkiledikleri bölgeler itibarıyla toplumu etkileyen ciddi doğal afetlerdir. Türkiye, coğrafi, jeolojik ve iklimsel özellikleri sebebiyle doğal afetlerin sıkça yaşandığı bir ülkedir. 1950'lerden sonra hızlı göç, düzensiz kentleşme, yapılaşma, sanayi gelişimi gibi faktörlerle birlikte ülkenin direncinin düşmesi sonucunda ve savunmasız kentler ortaya çıkmıştır. Özellikle 1999 yılında Kocaeli ve Düzce depremleri, ciddi can ve mal kayıplarına, ekonomik, sosyal ve çevresel zararlara yol açmıştır.

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, afetlere hazırlık çalışmalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Temel amaç, tehlikeler konusunda hızla ve etkili bir şekilde insanları bilgilendirerek can ve mal kayıplarını minimize etmek ve ekonomik zararları azaltmaktır. Bu kapsamda, havaalanlarında uçuş trafiğinin durdurulması, metro gibi toplu taşıma sistemlerinin yavaşlatılması, metrobüs ve köprü geçişlerinde trafiğin düzenlenmesi gibi tedbirler alınabilir. Aynı şekilde doğal gaz ve elektrik kesintileri, olası yangın riskini azaltma amacıyla önemlidir.

Depremlerin yerleşim alanlarındaki etkileri, genellikle yapıların yıkılması veya hasar görmesi şeklinde görülmektedir. Bu yapısal çevre kayıpları, konutlar, işyerleri, fabrikalar, okullar, hastaneler ve tarihi yapılar gibi çeşitli yapı türlerini içermektedir. Bu tür yıkıcı depremler sonrasında, yapısal kayıpların düzeltilmesi ve iyileştirilmesi uzun bir zaman alabilir. Ayrıca, toplum açısından hayati önemi olan yollar, demiryolları, iletişim altyapısı, su ve doğal gaz hatları gibi alt yapı unsurları da zarar görebilir. Bu durumlar neticesinde can ve mal kaybının en aza indirilmesi ve gelecekte olası hasar ve kayıpların tahmin edilebilmesi amacıyla İleri Deprem Uyarı Sistemleri ve deprem hasar tahmin uygulamalarına olan gereksinim artmaktadır.

Bu tür sistemler, olası deprem senaryolarını önceden tahmin ederek hasarların ve kayıpların önüne geçmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca, geçmişte yaşanan depremlerden çıkarılan derslerle, gelecekteki etkileri azaltabilmek için toplumun deprem konusunda eğitilmesi, yapı ve yerleşimlerde deprem risklerinin azaltılması ve yeni düzenlemelerin alınması gerekmektedir. Zarar ve kayıpların en aza indirilmesi veya önlenmesi, insan yaşamının, ekonomik gelişmenin, kültürel mirasın, sağlık ve çevrenin korunmasının yanı sıra, yaşam kalitesinin de sürdürülebilirliği için İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin kurulmasına büyük bir ihtiyaç bulunmaktadır.

Depremden yaklaşık 5-10 saniye öncesinden haberdar olunması, olumsuz etkilerin minimize edilmesinde büyük bir önem taşımaktadır. İleri Deprem Uyarısı, önceden tespit edilen deprem senaryolarının uygulanmasıyla, can ve mal güvenliğinin korunması için gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlayacaktır. Birçok ülke, İleri Deprem Uyarısı için bilimsel yöntemlere dayalı sistemler geliştirmiş ve önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Zamanında, doğru ve güvenilir tahminlerin ve erken uyarıların risk altındaki bölgelere iletilmesi büyük bir öncelik taşımaktadır.

İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin etkili olabilmesi için tüm kurumların işbirliği içinde çalışması ve halkın bilinçlendirilmesi gereklidir. Aynı zamanda afet ve acil durumlar sonrası meydana gelen can ve mal kayıplarının azaltılması için teknolojinin erken uyarı mekanizmalarına entegre edilmesi büyük öneme sahiptir. Afetlerin coğrafi boyutlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile analiz edilmesi, Türkiye'nin Bilgi Toplumu dönüşümüne ve e-Devlet stratejilerine uyum sağlayarak mekânsal verilerin etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır.

Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti

İleri Deprem Uyarısı projesindeki bazı temel beklenti ve faydalar şunlardır:

- Depremi önceden tahmin edilmesi ve sismik dalgaların algılanması sayesinde insanların güvenli bölgelere yönlendirilmesini sağlayarak can kaybını azaltması
- Deprem öncesi alınacak tedbirler ve uygun uyarılarla ve binaların daha dirençli inşa edilmesi gibi önlemlerle maddi kayıpların en aza indirilmesi
- Depremi hemen ardından acil müdahale ekiplerinin doğru ve hızlı bir şekilde harekete geçmesini sağlayarak kurtarma ve yardım faaliyetlerini daha etkili bir şekilde yürütülmesini sağlaması
- Deprem riskleri ve alınması gereken önlemler konusunda toplumda farkındalık yaratması
- Şehir planlaması ve bina inşaat standartlarının iyileştirilmesini teşvik etmesi
- Deprem sonucu meydana gelen maddi kayıpların azaltılması, ekonomik yükü hafifletmesi ve toparlanma sürecini hızlandırması
- Topladığı verilerle deprem risklerini daha iyi anlamayı, deprem davranışlarını incelemeyi ve gelecekteki depremleri tahmin etme konusunda araştırmalar yapılmasına olanak tanımayı sağlaması
- Ülkenin teknolojik altyapısını ve kabiliyetini geliştirmesi, aynı zamanda uzmanlık ve bilgi birikimi oluşturması
- Halkın yönetim ve kurumların acil durum yönetimi konusunda yeterli donanıma sahip olduğuna dair güvenini artırması
- Farklı ülkeler arasında deprem risk yönetimi ve teknoloji paylaşımını teşvik etmesi, böylece uluslararası işbirliği ve dayanışma sağlanması

İleri Deprem Uyarısı projesinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, projenin çözüm getirdiği problem ve sıkıntılar da bulunmaktadır.

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, depremin önceden tahmin edilmesi ve sismik dalgaların algılanması sayesinde can ve mal kaybını azaltmayı hedeflemektedir. Bu proje, deprem sonrası acil müdahale

ekiplerinin hızını artırarak kurtarma ve yardım faaliyetlerinin daha etkili bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Toplumun deprem risklerini ve alınması gereken önlemleri daha iyi anlamasını sağlayarak toplum bilincini artırmaktadır. Şehir planlamasını ve bina inşaat standartlarını iyileştirerek gelecekteki depremlere karşı daha dirençli yapılara sahip olunmasını sağlamaktadır.

Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti

● **Güçlü Yönler**

- Afet anında müdahale edilmesi için gerekli ekipman ve sistemlerin varlığı
- Hızlı ve doğru müdahale edilmesi sonucu can ve mal kayıplarının azalmasının sağlanması
- Oluşan hasar durumuna göre ekiplerin en kısa zamanda koordine edilmesi
- Coğrafi Bilgi Sistemlerinin aktif olarak kullanılması
- Donanımsal ve yazılımsal altyapı yeterliliği
- AYDES, GAMER, 112 gibi ulusal ölçekte projeler ile uyumlu çalışmaların bulunması
- AFAD tarafından afetler için oluşturulmuş erken uyarı sistemleri projelerinin bulunması
- Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin oluşturulması
- Oluşturulan yeni sistemler sayesinde can ve mal kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi

● **Zayıf Yönler**

- Acil durumlarda oluşan karışıklık sonucu koordinasyon sorunlarının yaşanması
- Afet konusunda halkın bilinçsiz olması
- Erken uyarı sistemlerinin kullanılmaması
- Verilerin anlık olarak oluşturulmaması
- Sahada oluşabilecek gerekli bakımların çok yüksek maliyetlerde olması
- Çevresel ve doğal faktörlerin zarar görmesi
- Bilinçsiz yapılaşma sonucu sağlıksız yapılaşmaların oluşturulması
- Afet sonrasında bakım ve bütçe konusunda yaşanan sıkıntılar
- Altyapı sisteminin afet anında zarar görmesi

2.5. Talep Analizi

Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti

- Nüfus ve yerleşim alanları, deprem jeolojisi ve sismoloji, deprem kaynakları, jeofiziksel gözlemler dikkate alınarak talep belirlenir.

Depremi diğer doğal afetlere kıyasla daha geniş bir etki alanına sahip olması nedeniyle, can ve mal kayıplarının büyük boyutlara ulaşabileceği açıktır. Türkiye tarihinde birçok yıkıcı deprem yaşanmış olup gelecekte de bu tür depremlerin sık sık meydana gelmesi beklenerek ciddi can ve mal kayıplarının yaşanması olasıdır. Depremi neden olduğu zararların en aza indirilmesi amacıyla, İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin yanı sıra farkındalık çalışmaları ve bilinçlendirme eğitimleri büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, 2021 yılı Türkiye Afet Eğitim Yılı olarak ilan edilmiş ve farkındalık oluşturma ve bilinçlendirme çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmalar, valilikler ve kaymakamlıkların liderliğinde, kamu kurumları, meslek odaları, sendikalar, sivil toplum kuruluşları, özel sektör ve üniversitelerin iş birliğiyle gerçekleştirilmektedir ve 51 milyon kişiye ulaşmayı hedeflemektedir.

Deprem riskini azaltmak ve depreme başa çıkma konusunda, hazırlıklı ve dirençli bir toplum oluşturmanın yanı sıra, bu amaçla gerekli altyapının kurulması ve konuya dair Ar-Ge faaliyetlerinin önceliklendirilmesi amacıyla "Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı" hazırlanmıştır. Bu planın temel hedefi, depremlerin olası fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel ve politik zararlarını engellemek veya azaltmak, aynı zamanda depreme dayanıklı, güvenli, hazırlıklı ve sürdürülebilir yaşam alanları yaratmaktır.

Türkiye'de, akıllı şehir konseptinin bütüncül ve üst düzey politikaları ilk olarak Onuncu Kalkınma Planı'nda tanımlanmıştır. Bu planın etkisiyle, farklı sektörler ve konu alanlarına odaklanan stratejilerde ve kurumsal stratejik planlarda akıllı şehir ve bileşenleri ile ilgili politikalara yer verilmiştir. 2019-2022 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanmış olup yerel yönetimlerin insanların yaşam kalitesini artırmak amacıyla akıllı şehir konusunda çalışmalar ve politikalar geliştirmesini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, acil ve afet durum yönetimi için planlama çalışmaları ile yerel yönetimlerin akıllı şehir çözümleri ile afet mücadelesi alanında faaliyetler yürütmeleri hedeflenmektedir. "15.9 Afet ve Acil Durum Yönetimi Bileşeninin Olgunluğu Artırılacaktır." eylemi kapsamında akıllı şehir yaklaşımıyla afet ve acil durum yönetimi konusundaki planlama çalışmaları desteklenmektedir.

Bu çerçevede, özellikle Büyükşehirler olmak üzere birçok il, akıllı şehir uygulamalarını geliştirmeye ve hayata geçirmeye başlamıştır. Bu uygulamalar, afet ve acil durum yönetimi gibi kritik alanlarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır. "Akıllı Yönetişim" başlığı altında ele alınan afet ve acil durum yönetimi, akıllı şehirlerin bu alandaki yol haritasını çizmektedir. Bu çerçevede, akıllı şehirlerde afetlere karşı etkili

bir mücadele için gerekli sistemlerin kurulmasına yönelik talebi belirleyen temel etkenler ve göstergeler aşağıda sıralanmaktadır:

- Afet riski
- Acil durumların sıklığı
- Bölgenin arazi yapısı ve yağış rejimi
- Nüfus yoğunluğu ve yoğun şehirleşme
- Can ve mal kayıplarını indirmek
- Afetlerin ekonomik ve fiziksel etkilerini en aza indirmek

Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Fiziki/Mekânsal Büyüklük

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, kent, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.
- En az bir ve en fazla yirmi adet slave direğin, her bir master direğe bağlanabileceği bir sistem tasarlanması ve slave direklerin master direklere iletişim kurabilmesi için izin verilen maksimum mesafenin 150 metre olarak belirlenmesi uygundur.

Kapasitenin Belirlenmesi

- Veri toplama ve iletişim hızı
- Teknolojik altyapı
- Veri analizi kapasitesi
- Uyarı süresi
- İstasyon sayısı ve dağılımı
- Veri güvenliği
- Algoritma ve model performansı
- Toplumun farkındalığı ve reaksiyon hızı
- Veri entegrasyonu
- Saha operasyon kapasitesi

Yapısal Proje Gereksinimleri

İleri Deprem Uyarısı uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

- Deprem istasyonlarının projelendirilmesi
- Sensör kurulumlarının projelendirilmesi

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

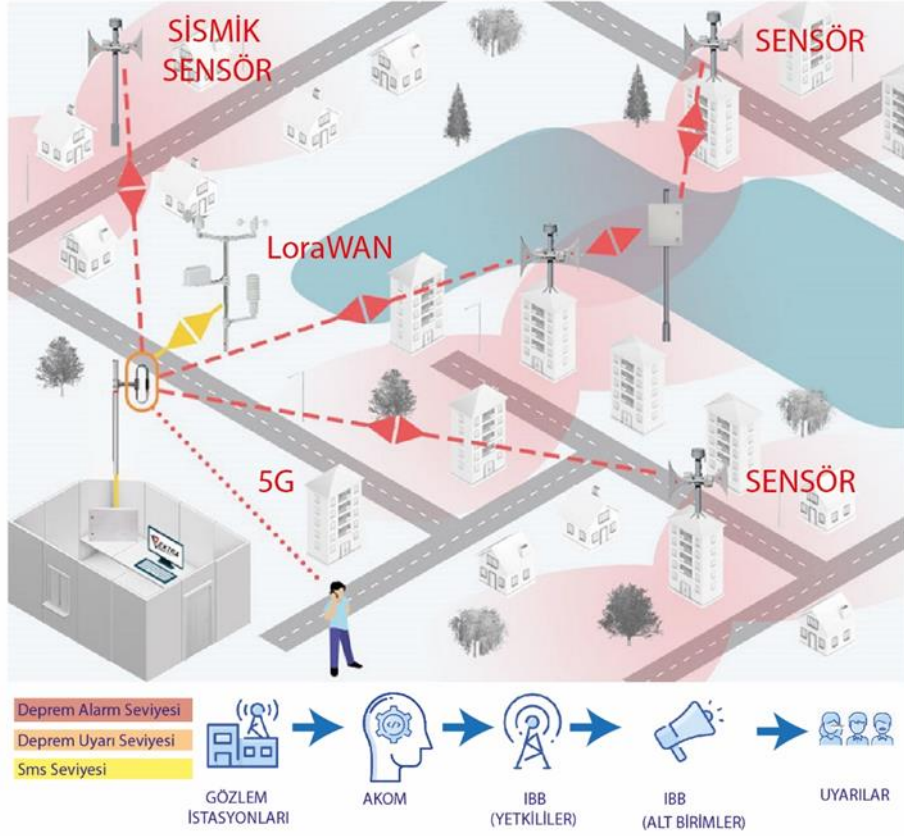
Proje kapsamında ihtiyaca göre kurulacak çeşitli sistemlerin yazılım ve donanım gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Deprem Uyarı Sistemleri (DEUS)
- Sismometreler
- Coğrafi bilgi sistemleri
- Veritabanları
- Sensörler
- Deprem haritaları
 - Sarsıntı haritaları
 - Yer hareketi haritaları
- ELLER yazılımı
- Bulut tabanlı sunucu-istemci mimarisi
- Arayüz ve uygulamalar

Tarihsel olarak depremler, birçok insanın hayatını kaybetmesine yol açmıştır. Ancak, teknolojinin gelişimi ile birlikte, erken uyarı sistemleri oluşturularak bu durumun önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bu sistemler, saha operasyonlarına dahil olduğundan, dayanıklı, yüksek performanslı ve uzun ömürlü saha ekipmanları tercih edilmelidir.

M2M operatörlerinin kullanımı, yatırım maliyetlerini düşürebilmektedir. Bu yaklaşım, kablo kesilmeleri veya zarar görme gibi sorunları en aza indirgeyerek daha düşük maliyetlerle güvenilir bir iletişim sağlamaktadır.

Ayrıca, LoRaWAN altyapısının kullanımı, yatırım maliyetlerini düşük tutmanın yanı sıra kablosuz iletişim sayesinde çevresel faktörlerden daha az etkilenme avantajı sunmaktadır. Esnek ve kolay kurulum imkânı sayesinde sistem yer değiştirebilmekte ve ek sensörler eklemek daha kolay hale gelmektedir. Şekil 7 ile İleri Deprem Uyarı Sisteminin bir örnek mimarisi sunulmuştur.



Şekil 7. İleri Deprem Uyarı Sistemi

Geliştirilecek İleri Deprem Uyarı Sistemi, altı önemli aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar Sensör Verileri, Gözlem İstasyonları, AKOM (Afet ve Acil Durum Yönetimi Merkezi), Yetkililer, Alt Birimler ve Uyarılar şeklinde sıralanmaktadır. Uyarı sistemi, hem sismik sensörlerden hem de bina sensörlerinden gelen verileri toplayarak gözlem istasyonlarına aktarır ve yetkililer ile yetkili kurumlar aracılığıyla insanlara uyarıları ileterek deprem anında gereken önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu sistemin amacı, deprem sismik dalgalarının önceden tespit edilmesi ve bu sayede gerekli tedbirlerin zamanında alınarak insanlara zaman kazandırılmasına yardımcı olmaktır.

Bu proje kapsamında geliştirilen deprem kayıp tahmin yazılımları sayesinde belirlenen bölgelerde olası deprem durumlarında yaşanabilecek kayıp ve zararların önceden tahmin edilmesi hedeflenmektedir. Bu özel yazılım, deprem durumunda sarsıntı ve hasar tahminlerinin hızlı bir şekilde yapılmasına yardımcı olacak şekilde geliştirilmelidir. Sistem, aşağıdaki verileri kullanmaktadır:

- Deprem
- Fay
- Zemin
- Yapı
- Nüfus

Yukarıda sıralanan beş ayrı veriden meydana gelen sistemde, verilerin toplamı ile ilgili bölgede meydana gelebilecek hasar ve kayıpların önceden tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Sistem, çevrimiçi olarak hem ulusal hem de uluslararası deprem servislerinden deprem bilgilerini alacaktır. Deprem gerçekleştiikten sonra, sistem otomatik olarak çalışmaya başlayacaktır. Gerçekleştirilen analiz çalışmalarının sonuçları harita üzerinde görselleştirilecektir. Bu sonuçlar, hasarın derecesine göre sınıflandırılan alanları ve ilgili bölgeleri içerecektir. Müdahalede öncelikli bölgeler, öncelik derecelerine bağlı olarak tespit edilecek ve ilgili haritalar oluşturulacaktır.

Senaryo sonuçlarına göre, hasarlı ve hasarsız bölgeler harita üzerinde görüntülenecektir. Hasar tespitine ek olarak, depremden etkilenen binaların hasar miktarı, ekonomik kayıp ve potansiyel can kaybı gibi faktörler de hesaplanacaktır. Senaryo, bina taramasını gerçekleştirerek oluşturulan senaryo doğrultusunda hasar haritasında etkilenen binaların seçilip gösterilmesini sağlamaktadır. Hasarlı bina sorgulaması tamamlandıktan sonra, risk haritası üzerinde öncelikli olarak müdahale edilmesi gereken bölgeler tespit edilecektir. Bu elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sistem analiz raporunu oluşturacaktır.

Bu sistem sayesinde gerçek zamanlı veya senaryo bazlı depremlerin hemen sonrasında;

- Depremin büyüklüğü ve lokasyon bilgisine dayanarak yer hareketi parametreleri,
- Hasarlı binaların sayıları ve dereceleri ile o bölgede yaşayan insanların can ve mal kayıpları,
- Hasarlı binalar sonucu ekonomik kayıpları hızlı bir şekilde hesaplanma

işlemleri yapılacaktır.

Bu çerçevede, deprem riski taşıyan bölgelerde çalışma alanlarının tespiti amaçlanmalıdır. Bu alanlarda yaşayan insanlar için bilinçlendirme kampanyaları düzenlenerek farkındalık oluşturulmalıdır. Önceden gerçekleştirilen hasar tespiti ve potansiyel can kaybının belirlenmesi sonucunda, bu bölgelerde gereken tedbirler alınmalıdır. Kentsel deprem hareketi ve tahmini kayıp dağılımının acil müdahale koordinasyonu için ilgili kurumlar arasında hızlı bir şekilde paylaşılması hedeflenmelidir. Aynı zamanda, projede oluşturulan senaryo tabanlı deprem kayıp tahminleri, simülasyonlar ve deprem sigorta uygulamalarında da kullanılabilir.

Proje kapsamında geliştirilen deprem kayıp tahmin sistemi, analiz sonuçlarına dayalı olarak en fazla zarar göreceği tahmin edilen bölgelere sensör verileri yerleştirilmelidir. Bu sensör grupları, en küçük sismik belirtilerde dahi veri toplayarak izleme sensörlerine iletecektir. Bu sayede, deprem öncesi halkın bilinçlendirilmesi için gerekli bilgiler sağlanacaktır.

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

- Akıllı Telefon Uygulamaları

- Sosyal Medya ve Mesajlaşma Platformları
- Kablosuz Acil Durum Sistemleri
- Çeşitli Sensörler ve Algılayıcılar
- Nesnelerin İnterneti (IoT)
- Hızlı Veri İletişimi Altyapısı
- Yapay Zekâ ve Veri Analitiği

Diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında, fiber alt yapının yatırım maliyeti yüksek olsa da daha geniş veri trafiği sağlayabilmesi, kamera, anons, sensör verileri okuma gibi işlemleri gerçekleştirebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Ancak, deprem ve sel gibi doğal afetlerde fiber alt yapısı zarar görebilmektedir. Başlangıç yatırım maliyetinin ardından bakım dışında ek bir maliyeti bulunmamaktadır. Sensörlerin sahada uygulanabilmesi için teknik tasarımların ve fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Sistem tasarımı süreci, akış diyagramı ve kullanılacak altyapıya göre şekillendirilmelidir. Bu aşamada saha ölçümleri yapılmalı ve bu verilere dayalı ölçüm planlamaları yapılmalıdır. Kullanılacak ekipman ve cihazlar endüstriyel ortamlara uygun olmalıdır ve dayanıklılık testlerini başarıyla geçmiş cihazlar tercih edilmelidir, çünkü darbe, su, titreşim ve manyetik alanlardan etkilenmemelidir.

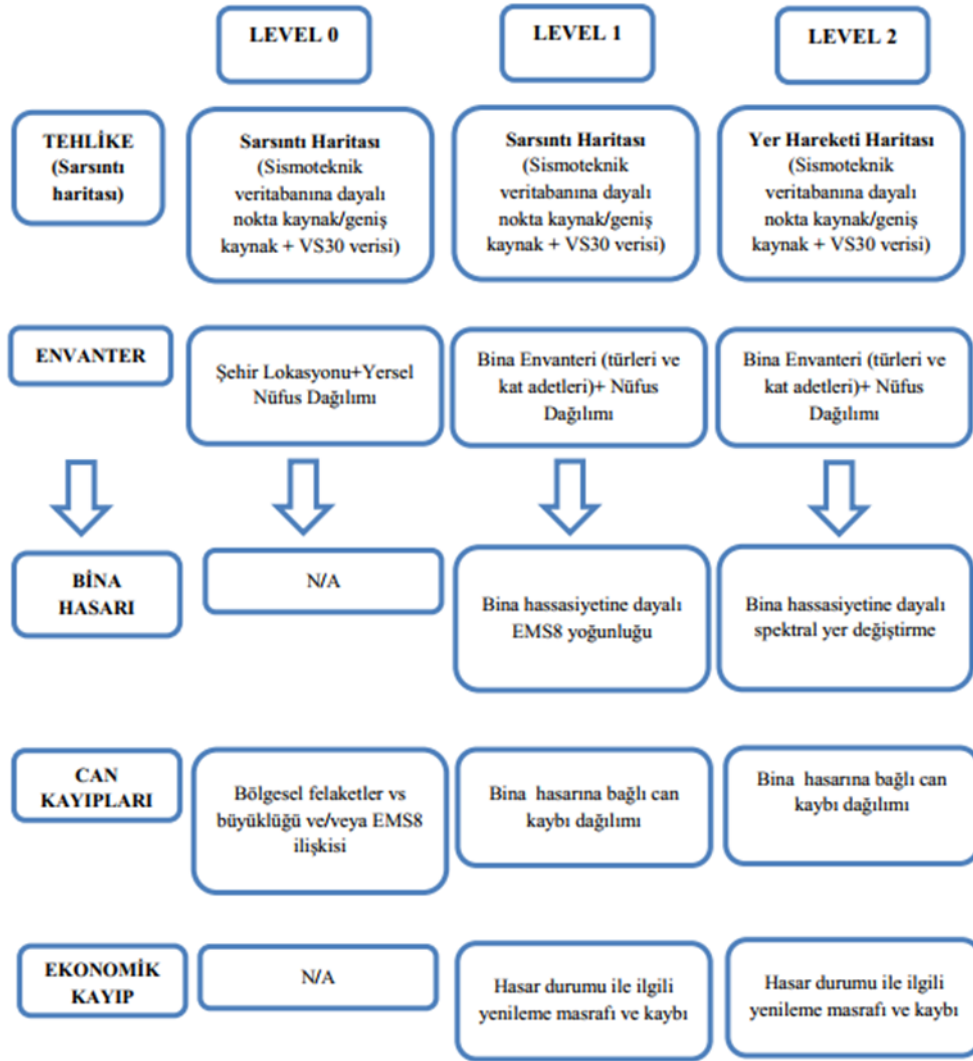
Acil durumlar ve yöneticilerin karar mekanizmalarında yardımcı olan CBS, İnternet, kablosuz ağlar gibi teknolojilerin birleşimi, LBS'yi oluşturmaktadır. Bu nedenle, LBS, mevcut sistemlerin bir bileşeni olarak değerlendirilebilir. Konum bilgileri, uydu teknolojileri gibi farklı yöntemlerle elde edilebilir ve herhangi bir afet durumunda hala konum tespiti ve iletişim için kullanılabilir.

Sensörlerin sahada uygulanabilmesi için teknik tasarım ve fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Sistem tasarımı sürecinde akış diyagramı ve kullanılacak altyapıya uygun şekilde saha ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçümler, elektrik altyapısı, trafik yoğunluğu, zemin koşulları, çevresel faktörler gibi unsurları içermelidir. Sensörler, asfalt kesicilerle uygun şekilde yerleştirilmeli ve IP68 anti-statik kablolar kullanılarak korunmalıdır. Haberleşme direkleri betonarme alt yapı ile monte edilmeli ve çevresel faktörlere dayanıklılığı artırılmalıdır.

Olası afetlerin neden olabileceği risklerin ve acil durum yönetimi operasyonlarına yönelik veri üretiminin sağlanması amacıyla, erken uyarı sistemleri adı altında bir sistem mimarisi oluşturulmalıdır. İleri Deprem Uyarı Sistemleri, içerisinde barındırdığı yazılım, veri tabanı ve sunucularıyla, merkezi sistem ve servisler aracılığıyla iletişim kurarak kendi içinde tasarlanmalı ve hayata geçirilmelidir. Bu sistemler birbirleriyle veri paylaşımını ve hizmet sunumunu sağlamak amacıyla entegre olacak, girdi ve çıktı veri yollarını kullanarak birbirlerini destekleyecektir.

Servisler, sistem içinde kritik bir rol oynadığından, veri paylaşımı ve servis sunumu için belirlenen standartlara uygun web servisleri geliştirilmelidir. Projenin sürdürülebilirliği için diğer kurumlar ve hizmetlerden gelen verilerin kesintisiz bir şekilde paylaşılabilmesi için web servisler (WMS, WFS, WCS, WMTS gibi) kullanılmalıdır. Open GIS Consortium (OGC) tarafından belirlenen OWS (OGC Web Services) servisleri aracılığıyla veri alışverişi gerçekleştirilmesi uygundur. Bu servisler sayesinde her paydaş kurum sistemi entegre edebilecektir.

Deprem kayıp tahmin sistemi için tasarlanan aşamalar aşağıdaki gibidir:



Şekil 8. Deprem Kayıp Tahmin Sistemi için Tasarlanan Aşamalar

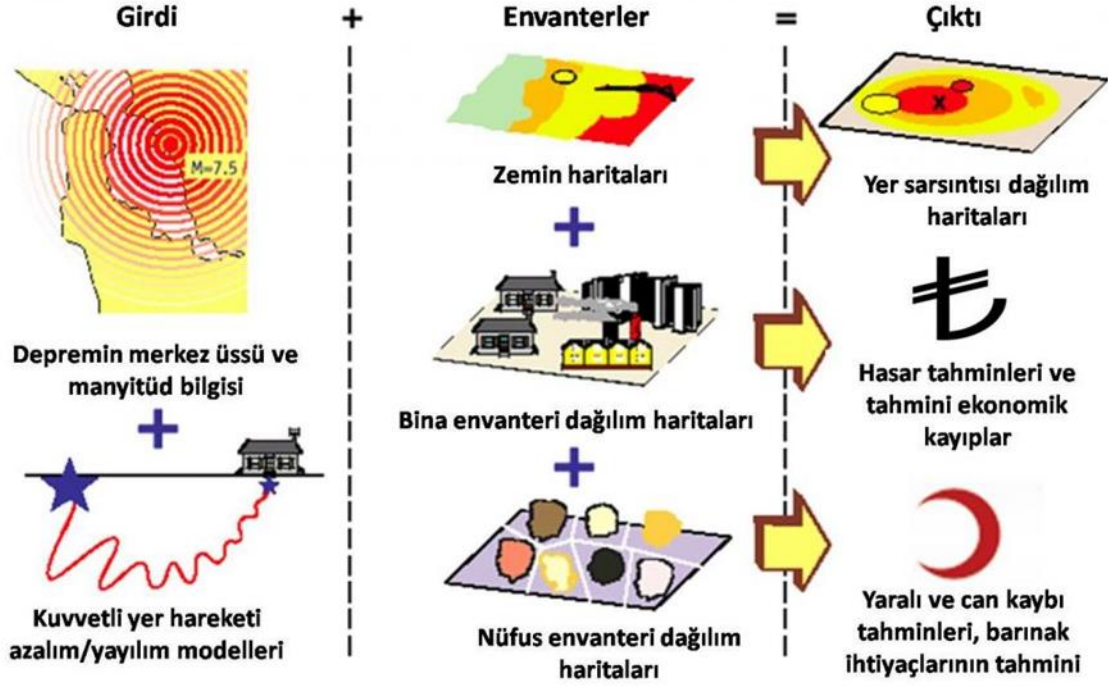
Kentsel deprem yer hareketi ve olası kayıp dağılımının tahmin edilmesi, deprem sonrası acil müdahale koordinasyonunu sağlamak adına ilgili kurumlarla zamanında veri paylaşımı amaçlanmaktadır. Bunun yanı sıra ELER V3.1-TR yazılımı, senaryo bazlı deprem kayıp tahmini, Monte-Carlo tipi simülasyonlar ve deprem sigorta uygulamaları için de kullanılabilir.

Deprem kayıp tahmin sisteminin işlevsel hale getirilmesi için belirli verilere ihtiyaç vardır. Bu sistemlerde, deprem sonrası hasar tespiti ve risk analizlerini gerçekleştirebilmek için genellikle kullanılan veriler aşağıdaki gibidir:

- Deprem verileri
- Fay verileri
- Nüfus verileri
- Bina verileri
- Referans grid verileri
- Zemin grid verileri

Depremi önceden algılanması ve değerlendirilmesi için temel bilgi kaynağı deprem verileridir. Bu veriler, erken uyarı sistemlerinin temelini oluşturmakta ve bu verilere dayalı tahminler ve hizmetler AFAD tarafından sağlanacaktır. Oluşturulacak simülasyon sistemi sayesinde, bir afet meydana gelmeden önce potansiyel zararlar ve olası can kayıpları tespit edilebilecektir. Bu simülasyon, işlenen verileri kullanarak hangi bölgelerin afetten etkileneceğini tahmin edecek ve analiz haritaları oluşturacaktır.

Bu süreçte deprem riski taşıyan bölgeler belirlenerek halka uyarılar yapılabilecektir. Sistem, kapsamlı bir şekilde tasarlanmış CBS destekli yazılımlar kullanacak şekilde kurulacaktır. Bu yapı, mekânsal veri girişini, güncellemesini ve analizini de kapsayacaktır. Ayrıca, ihtiyaç duyulan durumlarda, 3D modeller kullanılarak hacim ve akış simülasyonları ve hesaplamaları gerçekleştirilebilecektir. Saha ekiplerine merkezden iletilen görevler sayesinde, mahsur kalan veya afetten etkilenen kişilerin kurtarılması sağlanabilecektir. Deprem kayıp tahmin sisteminin akış diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 9. Deprem Kayıp Tahmin Sistemi Akış Diyagramı

Deprem Kayıp Tahmin Yazılımı deprem tehlike ve kayıp değerlendirmesine yönelik hazırlanmış ELER V3.1-TR dört modülden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Deprem Tehlike Analizi
2. Seviye 0
3. Seviye 1
4. Seviye 2

Sistem, basitleştirilmiş yöntemleri ile aşağıdaki adımları içermektedir:

1. Deprem Tehlike Analizi Modülü: Bu aşamada, belirli bir depremin büyüklüğü ve merkez üssü bilgisi temel alınarak yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak hücrelerdeki kayma dalgası hızı, şiddeti ve yer hareketi parametreleri olan PGA, PGV, Sa, Sd değerlerinin tahmini gerçekleştirilmektedir.
2. Seviye 0 Modülü: Bu adımda, nüfus bilgileriyle uyumlu olarak bölgesel Uydu Arazi Gözlemi kullanılarak can kaybı ve yaralanma tahminleri yapılmaktadır. Bölgeye özgü şiddet-can kaybı veya büyüklük-can kaybı ilişkileri kullanılarak sonuçlar elde edilmektedir.
3. Seviye 1 Modülü: Bu aşamada, hasarlı binalar ve bunun sonucunda potansiyel can kaybı sayıları hesaplanmaktadır. Hasar görülebilirlik ilişkileri kullanılarak şiddet temel alınarak hasar görebilecek bina sayısı belirlenmektedir. Hasarlı bina sayısı kullanılarak can kaybı tahmini yapılmaktadır.

4. Seviye 2 Modülü: Bu adımda, hasarlı binaların durumuna ve buna bağlı olarak olası can kaybı sayıları hesaplanmaktadır. Bina hasar tahmini, spektral ivme-yer değiştirmeye dayalı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

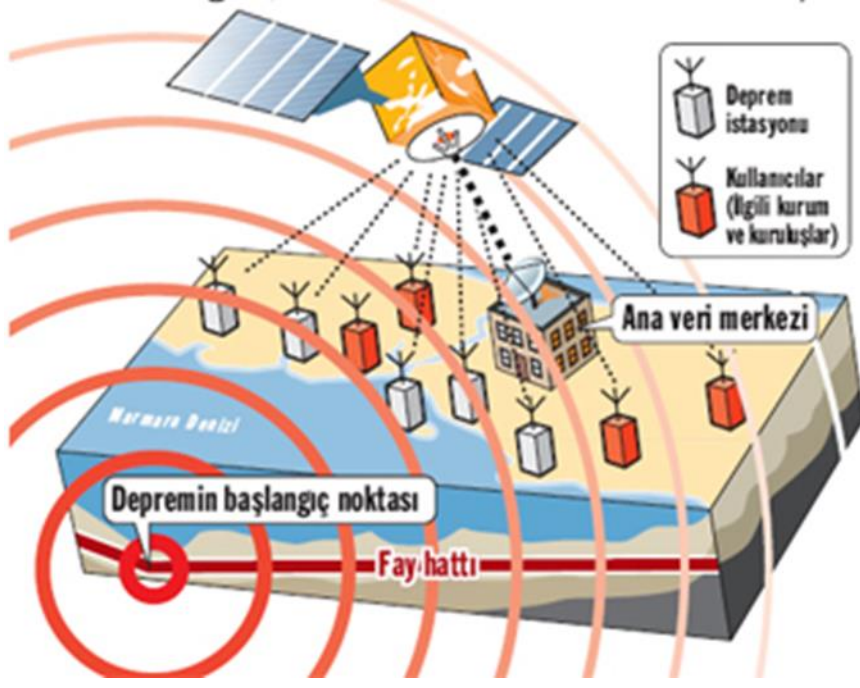
Sistem, bu adımların sırasıyla uygulanmasıyla deprem öncesi ve sonrası durumlar hakkında fikir sağlamaktadır. Her bir adım, yerel özelliklere göre uyarlanmış verilere dayalı olarak tahminlerde bulunmaktadır.

ELER programı için gerekli katmanlar ve veriler hazırlandıktan sonra, bir senaryo oluşturulacak ve bu senaryo ELER programı içinde uygulanarak risk analizi gerçekleştirilecektir. Bu risk analizi, potansiyel bir tehlike veya afet anında hasar görmüş bölgeleri ve müdahale gereken alanları belirlemede kullanılacaktır.

ELER programı için toplanacak verilerin güncel ve doğru olması büyük önem taşımaktadır. Risk analizi çalışmalarında kullanılacak verilerin düzenli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Verilerin güncelliği, servislerin sürekli takibi, veritabanı düzenlemeleri ve gerektiğinde elle güncelleme yoluyla sağlanacaktır.

Deprem kayıp tahmin yazılımından elde edilen veriler, çevrimiçi bir uydu haritalama yazılımı üzerinde analiz edilmektedir. Senaryoya göre hasarlı ve hasarsız bölgeler belirlenmektedir. Hasar tespiti sonrasında, depremden etkilenen binaların hasar kaybı, ekonomik kayıp ve olası can kaybı hesaplamaları yapılmaktadır. Senaryoya dayalı olarak, hasar kaybı haritasında hasar gören binalar seçilip harita üzerinde gösterilmektedir. Hasarlı bina sorgulamasından sonra, risk haritası üzerinde ilk müdahale gereken alanlar belirlenebilir.

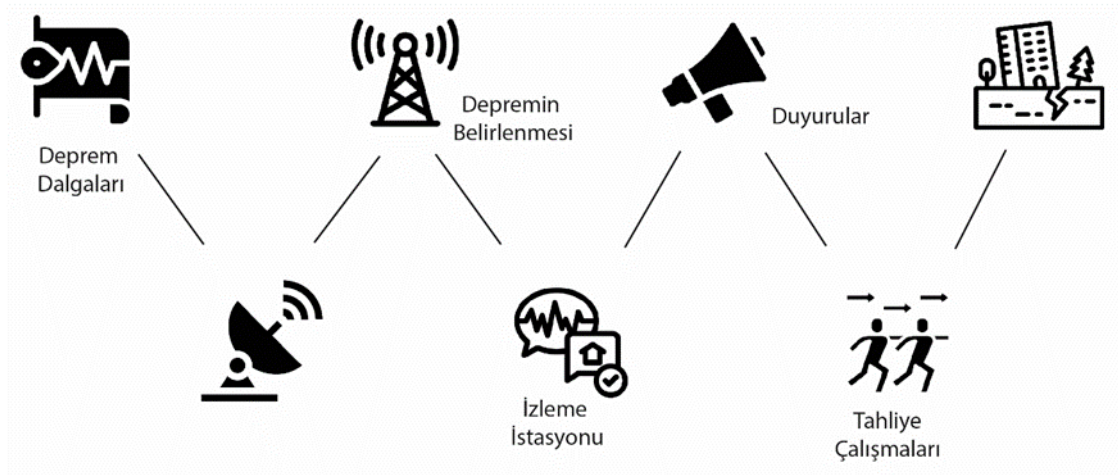
Bu sayede ELER programı, güncel ve kesin verilere dayalı olarak afet anında etkilenen bölgeleri ve müdahale önceliğini belirlemede etkili bir araç olarak kullanılacaktır.



Şekil 10. İleri Deprem Uyarı Sistemi

Hasar ve can kaybı verileriyle yürütülen analiz çalışmalarının sonuçlarına dayanarak beklenen hasar bölgelerinde İleri Deprem Uyarı Sistemi uygulamaları hayata geçirilmelidir. Bu uygulama, uydu aracılığıyla istasyonlardan gelen sürekli verileri ana merkezde otomatik olarak değerlendirecektir. Belirlenen bir zaman aralığı içerisinde en az 3 istasyonun eşik değerini aşıp aşmadığı sistem tarafından sürekli olarak izlenmelidir. Eşik değeri aşıldığında "deprem" kararı otomatik olarak verilmekte ve alarm mesajı üretilmektedir. Bu şekilde deprem önceden tespit edilerek gerekli önlemler alınabilecektir.

İleri Deprem Uyarı Sistemi için tasarlanan aşamalar aşağıdaki gibi olacaktır:



Şekil 11. İleri Deprem Uyarı Sistemi Aşamaları

Bu öncü sistem, hem sismik sensörler hem de bina sensörlerinin yardımıyla en ufak dalgalanma hareketini bile tespit ederek gözlem merkezine uyarı gönderme yeteneğine sahiptir. İleri Deprem Uyarı

Sistemi sayesinde, depremden 10-15 saniye önce insanlar bilgilendirilir ve gerekli tedbirleri almak için zaman kazanırlar, böylece güvende olduklarını hissederler. Bu uyarılar, yerel kanallar, alarm sesleri veya cep telefonlarından gönderilecek mesajlar gibi kanallar aracılığıyla bölgedeki insanlara iletilir. Uyarı süresinin kısıtlı olması nedeniyle, öncelikli olarak sesli uyarılar veya telefon mesajları gibi hızlı iletim yöntemleri tercih edilir. Riskli bölgelerde sesli uyarı sistemi kurulumu gibi çalışmalar öncelikli olarak gerçekleştirilir.

İleri Deprem Uyarı Sisteminin akış diyagramı Şekil 12 ile gösterilmektedir.



Şekil 12. İleri Deprem Uyarı Sistemleri Akış Şeması

Bir deprem meydana geldiğinde, depremin merkezine en yakın istasyon hızla harekete geçmekte ve P dalgalarını algıladıktan sonra bu veriler anlık olarak izleme istasyonuna iletilmektedir. S dalgaları gibi daha yıkıcı etkilere yol açan dalgalar gelmeden önce, bu veriler hızla çözümlenmekte ve halka zamanında uyarılar iletilmektedir. Bu erken uyarılar televizyon, radyo, cep telefonu gibi çeşitli iletişim araçları aracılığıyla geniş kitlelere duyurulmaktadır. Ayrıca, depremin merkezine yakın olan daha fazla istasyon tarafından algılanan sismik dalgalar, depremin şiddetini daha doğru bir şekilde belirlemek için kullanılmaktadır.

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.

- 1) Teknoloji yeni mi?
- 2) Teknoloji yerli mi?
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi?
- 4) Maliyet
- 5) Kesintisiz servis

- 6) Kurulum kolaylığı
- 7) Entegrasyon kolaylığı
- 8) Dayanıklılık (Afet durumunda hasar almama)
- 9) Yüksek veri trafiğı kapasitesi
- 10) Yüksek sinyal seviyesi kapasitesi

Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.

1. İlk Deprem Uyarı Sistemlerinin Kurulması
2. Analiz
3. Tasarım
4. Saha Ekipmanlarının Kurulması
5. Yazılım Geliştirme
6. Test
7. Kurulum-Entegrasyon

4. Finansal Analiz

Finansal analiz kapsamında yatırım bütçesi, işletim maliyetleri ve gelirler belirlenerek yatırımın geri dönüş süresi tespit edilmelidir.

Yatırım bütçesinin planlanmasında aşağıdaki maliyet kalemleri göz önüne alınmalıdır:

- Sensörler
 - Atmosfer Basıncı Sensör
 - Mikron Titreşim Sensörü
 - Sıcaklık ve Nem Sensörü
 - Karbondioksit Sensörü
 - Sismik Algılama Sensörü Digitizer
 - Gürültü Sensörü
 - Rüzgâr Yön Sensörü
 - Rüzgâr Hız Sensörü
- Yüksek Hassas İvme Ölçer
- Veri tabanı yazılım ve donanımları

- Coğrafi bilgi sistemleri
- Lisans ücretleri
- Haberleşme modülü
- Sondaj sarf malzeme
- Montaj pono direk

İşletim maliyetlerinin hesaplanmasında aşağıdaki temel parametreler göz önüne alınmalıdır.

- Yetkin Çalışan Maliyeti
- Donanım Bakım-Onarım Maliyetleri

Örnek Vaka

200.000 kişinin yaşayacağı 1.000 hektarlık proje alanı için oluşturulan maliyet hesapları aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Tablo 2. İlk Yatırım Maliyeti

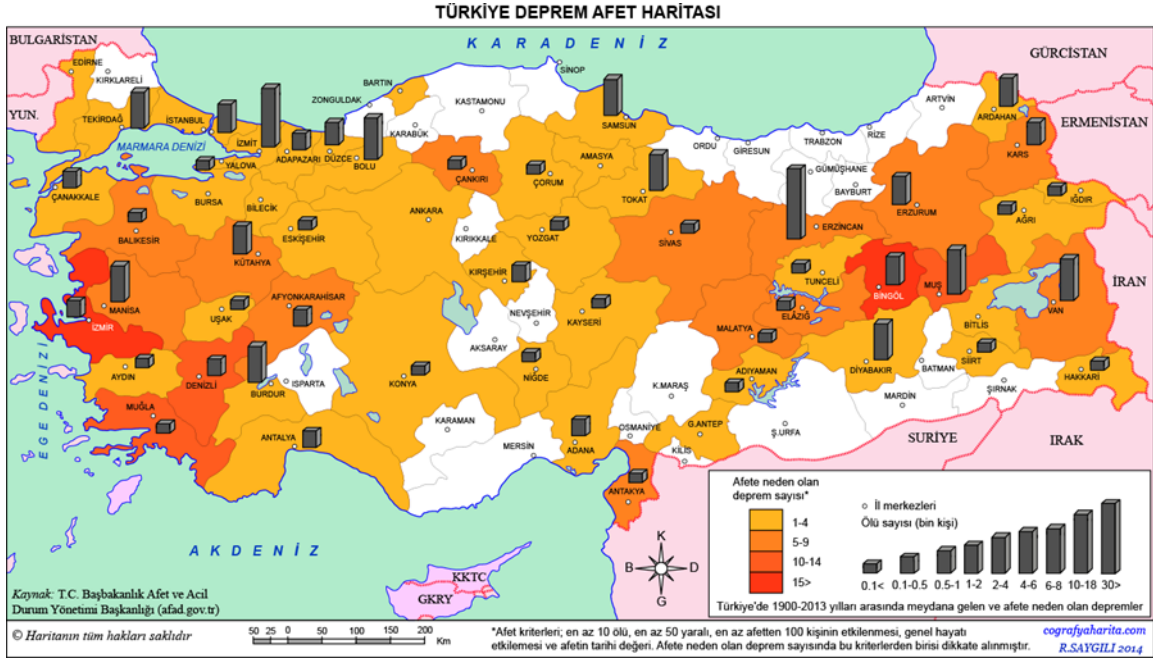
Personel Maliyeti	İlk Kurulum	11.479,59 \$
	Yıllık Bakım	940,23 \$
Lisans Maliyetleri (Yazılım Maliyeti)	İlk Kurulum	77.346,93 \$
	Yıllık Bakım	9.281,63 \$
Donanım ve Demirbaş Maliyetleri	İlk Kurulum	335.949,12 \$
	Yıllık Bakım	50.397,36 \$
Danışmanlık Hizmetleri	İlk Kurulum	1.676,38 \$
	Yıllık Bakım	437,31 \$
TOPLAM		487.508,55 \$

Tablo 3. Ekipman Maliyetleri

ÜRÜN ADI	ADET	FİYAT	TOPLAM
Atmosfer Basıncı Sensör	6	5.467,80 \$	32.806,80 \$
Mikron Titreşim Sensörü	6	10.749,99 \$	64.499,94 \$
Sıcaklık ve Nem Sensörü	6	2.458,28 \$	14.749,68 \$
Karbondiyoksit Sensörü	6	4.218,02 \$	25.308,12 \$
Sismik Algılama Sensörü	6	4.917,83 \$	29.506,98 \$
Digitizer			
Gürültü Sensörü	6	3.889,62 \$	23.337,72 \$
Yüksek Hassas İvme Ölçer	6	6.710,81 \$	40.264,86 \$
Haberleşme Modülü	6	8.080,55 \$	48.483,30 \$
Sondaj Sarf Malzeme	6	5.235,72 \$	31.414,32 \$
Montaj Pono Direk	6	551,64 \$	3.309,84 \$
Rüzgar Yön Sensörü	6	2.246,38 \$	13.478,28 \$
Rüzgar Hız Sensörü	6	1.464,88 \$	8.789,28 \$
		TOPLAM	335.949,12 \$

5. Ekonomik Analiz

Türkiye, aktif deprem kuşağının içinde konumlanmış bir ülkedir. Ülkenin toplam yüzölçümünün %42'si birinci derece deprem kuşağına denk gelmektedir. Afetlerin etkisi açısından dünya sıralamasında, can kaybı bakımından üçüncü sırada ve etkilenen insan sayısı bakımından sekizinci sırada yer almaktadır. Yıllık olarak, Türkiye'de büyüklüğü 5.0 ile 6.0 arasında değişen depremler meydana gelmektedir [1]. Türkiye'nin 81 ilinden 55'i Birinci Derece Deprem Bölgesi içerisinde bulunmaktadır. Bu coğrafyada, Deprem Şurası ve Ulusal Deprem Konseyi gibi girişimlerin etkisiz hale getirildiği bir durumda, deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası alınan tedbirlerin koordineli bir şekilde uygulanması oldukça büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 13. Türkiye Deprem Afet Haritası

Afetler, hem dünya genelinde hem de Türkiye'de fiziksel, sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Türkiye, deprem kuşakları üzerinde bulunan fay hatlarının kırılması sonucu özellikle can ve mal kaybına yüksek düzeyde maruz kalmaktadır. Afetlerin etkisi altında, psikolojik sorunlar, eğitim, sağlık, ticaret, çevre ve altyapı hasarları gibi sorunlar ortaya çıkmakta ve ayrıca ülkenin tarihsel ve kültürel mirası da tehlike altına girebilmektedir. Bu tür olaylar sonucunda, ulusal ekonomi ciddi mali kayıplarla karşılaşabilmektedir [7].

Türkiye'de meydana gelen depremler genellikle büyük ölçekli can kayıpları ve yıkıcı etkiler ile karakterizedir. 1990 ile 2020 yılları arasında yaşanan belirgin depremler incelendiğinde, bu depremlerin binalarda meydana gelen hasarlar ve can kayıpları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4. 1990-2020 Yılları Arasında Türkiye’de Meydana Gelen Büyük Çaplı Yıkıcı Depremler [13]

YER	TARİH	TOPLAM ETKİLENEN KİŞİ SAYISI	AĞIR HASARLI BİNA SAYISI	CAN KAYBI SAYISI	EKONOMİK KAYIP AMERİKAN DOLARI (\$)
Erzincan	13.03.1992	348	500	653	750
Dinar, Evciler	1.10.1995	16.024	10	94	205,8
Çorum-Amasya	14.08.1996	26.006	3	2	30
İzmit, Kocaeli, Yalova, Gölcük, Zonguldak, Sakarya, Tekirdağ, İstanbul, Bursa, Eskişehir, Bolu	17.08.1999	1.358.953	1200	17,127	20.000.000
Orta-Çankırı	6.06.2000		2106		
Bolvadin-Afyon	15.12.2000	252.327	250	6	95
Sultandağı-Afyon	3.02.2002		4401	42	
Pülümür-Tunceli	27.01.2003		67	1	
Merkez-Bingöl	1.05.2003	521	625	184	135
Aşkale-Erzurum	25.03.2004		1212	10	
Doğubayazıt-Ağrı	2.07.2004	50	531	17	
Merkez-Hakkâri	25.01.2005		82	3	
Karlıova-Bingöl	12.03.2005		760		
Urla-İzmir	17.10.2005		96		
Seferihisar-İzmir	20.10.2005		100		
Erciş-Van	23.10.2011	33.043		644	
Van Merkez	9.11.2011		17005	40	185250
Gökçeada	24.05.2014	324			
Elazığ	24.01.2020	3.600		51	
Seferihisar-İzmir	30.10.2020	1053		119	
Kahramanmaraş-Pazarcık	06.02.2023		205534 [15]	50783 [15]	

Tablo 4’deki veriler doğrultusunda, 1990-2020 yılları arasında Türkiye’de kayda değer ölçüde 19 büyük deprem yaşanmıştır. Bu depremler sonucunda resmi verilere göre 1.692.249 kişi etkilenmiş, 18.993 kişi

hayatını kaybetmiş ve 28.948 ağır hasarlı konut tespit edilmiştir. 11 deprem hakkında can kaybı ve ağır hasarlı bina verisi bulunmamaktadır. 5 depremde ise can kaybı yaşanmamış ancak bina hasarı meydana gelmiştir. 1990-2014 döneminde meydana gelen depremler sonrası 115.792 insan evsiz kalmış ve ülke ekonomisine doğrudan veya dolaylı yoldan 20.186.465,8 dolarlık zarar vermiştir [4].

Türkiye'nin en büyük kayıp yaşadığı ve bir dönüm noktası olarak kabul edilen afetlerden biri 1999 Marmara depremidir. Bu afetin etkisi, özellikle bölgenin stratejik konumu ve ekonomik canlılığı ile bağlantılıdır. Bu tür felaketler sonrasında ortaya çıkan kayıpların geri kazanılması, ekonomik açıdan genellikle zorlayıcıdır. Bu nedenle, deprem gibi afetlere karşı gerekli önlemlerin alınması ve bireylerin farkındalığının artırılması, yaşanan depremlerin ülke ekonomisine olan etkisini minimize etmeye yardımcı olabilir [4].

Marmara Depremi, Türkiye'nin hem nüfus yoğunluğu hem de üretim hareketlilikleri açısından son derece önemli bir bölgesinde meydana gelmiştir. Bu deprem, Yalova, Kocaeli, Sakarya, İstanbul, Düzce, Bolu, Bursa ve Eskişehir illerini içine alarak Türkiye nüfusunun yaklaşık %23'ünü içermektedir. Bu iller aynı zamanda ülkenin Gayri Safi Milli Hasılasının (GSMH) %35'ini oluşturmaktadır. Depremin en ağır tahribata uğrattığı Kocaeli, Sakarya ve Yalova illerinin GSMH içindeki payı ise %7 seviyesindedir [13].

Marmara Depreminin ekonomi üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla yapılan çalışmalar, doğrudan maliyetler, dolaylı maliyetler ve ikincil maliyetler olmak üzere üç ana kategoride incelenmiştir. Doğrudan maliyetler, sermaye malları ve stoklara verdiği zararları içerirken dolaylı maliyetler üretim ve gelir kaybı yanı sıra acil yardım harcamalarını içermektedir. İkincil etkiler ise depremin ekonominin genelini etkileyen yönlerini yansıtmaktadır, örneğin mali politikalar, ödemeler bilançosu, enflasyon, işsizlik gibi göstergeler.

Farklı kaynaklardan hazırlanan çalışmalarda, Marmara Depreminin ekonomik sonuçlarına dair benzer rakamlar sunulmaktadır. Örneğin, TÜSSAD'a göre toplam maliyet 17 milyar dolar, DPT'ye göre 15–19 milyar dolar ve Dünya Bankası'na göre 12–17 milyar dolar arasında değişmektedir [13]. Bu çeşitli çalışmalar, depremin ekonomik etkilerinin önemini vurgulamaktadır.

6. Sosyal Etkinin Analizi

Afetler genellikle ciddi sonuçlara yol açabilmektedir ve etkilenen insan sayısı genellikle oldukça yüksektir. Afetlerin sonucunda fiziksel hasarlar, can kayıpları ve yaralanmalar gibi etkiler sıkça görülmektedir. İleri Deprem Uyarı Sistemleri sayesinde, afet meydana gelmeden önce halkın bilinçlendirilmesi ve korunma önlemlerinin alınması için kısa bir zaman dilimi sağlanabilmektedir. Bu tür sistemler, afet anında can kaybını minimize etme açısından büyük önem taşımaktadır. Genellikle

insanlar deprem anında nasıl hareket etmeleri gerektiğini bilmediklerinden ciddi zararlarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle toplumun bilinçlendirilmesi ve acil durumlarda nasıl davranılması gerektiğine dair bilgilerin yaygınlaştırılması önemlidir.

İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin uygulandığı durumlarda, sosyal etki analizi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

- Erken uyarı sisteminin kurulması ve işletilmesi
- Zarar ve kayıp analizlerinin yapılması
- Zarar azaltma ve iyileştirme faaliyetlerinin hızlandırılması
- Afet konusunun hassasiyeti nedeniyle toplumu bilgilendirme çalışmalarının güçlendirilmesi
- Uyarıların ciddiyetle ele alınarak erken ve etkili müdahalelerin sağlanması
- Bilgi iletişim teknolojilerinin kullanımıyla hizmetlerin kalitesinin artırılması, dijital altyapının geliştirilmesi ve acil durum tahliyelerinde daha güvenli seçeneklerin sunulması
- Halkın katılımıyla gerçekleştirilen tatbikatlar ve egzersizlerle planların, bilgi ve yetenek seviyelerinin artırılması

Bu önlemler, İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin toplum ve ekonomi üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Deprem Kayıp Tahmin Sistemi, eklenen alan verilerini kullanarak depremin etkilediği bölgelerin analiz haritalarına dönüştürülmesini sağlamaktadır. Bu sayede, depremin etkilediği kentsel alanlarda oluşabilecek hasarlar önceden tespit edilebilmektedir. Bu sistemin amacı, hasara neden olan faktörleri önceden belirleyerek can ve mal kayıplarını minimize etmektir. Analiz sonuçlarına göre, en yüksek risk taşıyan bölgelerde İleri Deprem Uyarı sensörleri kurularak bu bölgelerde olası depremlerin önceden tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Afetlere hazırlıksız yakalanmak, büyük can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, insanların bilinçlenmesi ve deprem uyarı sistemlerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu sistem sayesinde, depremin zamanı ve etkileyeceği bölgeler sismik dalgalarla tespit edilebilmektedir.

Önerilen İleri Deprem Uyarı Sistemi, deprem meydana gelmeden önce 10-15 saniye öncesinde sismik dalgaların veri merkezine iletilmesini sağlayarak deprem verileri oluşturur. Bu veriler sayesinde halk zamanında bilgilendirilir ve acil durumlar veya afetlerde can kayıpları en aza indirilir. Bu çözüm sistemi sayesinde toplum, afetlere karşı daha bilinçli hale gelecektir. Acil durumda, insanlar ne yapmaları

gerektiğini bilerek erken uyarı aldıklarında kendilerini güvende hissedecekleri yerlere yöneleceklerdir. Bu sistem, afetlerle mücadelede önemli bir adım olarak toplumun güvenliğini artırmaktadır.

Afet ve Acil Durum Yönetim Sistemleri, toplumla birlikte çevresel etkileri gözeterek önerilen çözümler sunmaktadır. Bu sistemlerin devreye alınması, potansiyel afet ve acil durumların neden olduğu mal ve hasar kayıplarını en aza indirecektir. Bu bağlamda, afete duyarlı bölgelerde yeşil alanların ve toplanma alanlarının öncelik kazandığı planlama anlayışı benimsenecektir. İleri Deprem Uyarı Sistemleri ile birlikte can, mal ve hasar kayıplarının önlenmesi hedeflenmektedir. Depreme dayanıksız yapıların yer aldığı bölgelerin boşaltılması, hem çevre hem de insan hayatının korunmasına yönelik önemli bir adımdır.

Afet ve acil durum yönetim sistemleri, toplumun afetlere karşı farkındalığını artırarak adaptasyonunu sağlayacaktır. Eğitim ve bilgilendirmeler aracılığıyla, afetlerle birlikte yaşama becerileri kazandırılacaktır. Aynı zamanda, mal ve hasar kayıplarının azaltılması amacıyla kentsel dönüşüm faaliyetleri ile çevreye uyumlu ve afetlere dirençli yerleşim alanları oluşturulacaktır.

Kurulan sistemlerin enerji tüketimi, çevresel etkilere dikkat edilmesi gereken bir konudur. Sistemlerin kurulumunda, "yeşil bilişim teknolojileri" politikalarının benimsenmesi ile doğaya verilen zarar en aza indirilecektir. Bu sayede çevre koruma amaçları gözetilerek sistemlerin enerji verimliliği sağlanacaktır.

8. Risk Analizi

Risk analizi, projenin gerçekleştirileceği çalışmalar için özel olarak belirlenecek yöntemlerle uygulanacak ve projenin farklı aşamalarında değişiklik gösterebilecektir. Bu analizler, olası etkileri ve riskleri önceden tespit ederek istenmeyen durumları öngörmeyi, engellemeyi ve sorumlulukları belirlemeyi amaçlayarak her an hazırlıklı olunmasını sağlayacaktır. Bu proje bağlamında, donanım temini, yer seçimi ve kurulum aşamalarında ortaya çıkabilecek sorunlar öngörülmektedir. Bununla birlikte, donanımlar arasındaki sağlıklı iletişimi sağlamak için gerekli yazılım entegrasyonlarının zamanında tamamlanması da önem taşımaktadır. Afet sonrası ekipler ile merkez arasındaki iletişimin sorunsuz bir şekilde gerçekleşebilmesi için aşağıda belirtilen riskler göz önünde bulundurulmuş ve buna yönelik müdahale yöntemleri planlanmıştır.

Tablo 5. Olası Riskler

No	Risk Tanımı	Olasılık	Şiddet	Öncelik
1.	Kurum Riskleri			

1.1	Kurum üst yönetiminde oluşabilecek değişiklikler nedeniyle projenin daha az sahiplenilmesi	Düşük	Orta	Düşük
1.2	İdari karar süreçlerinin öngörülenden uzun sürmesi	Orta	Yüksek	Orta
1.3	Çok paydaşlı sistemin yönetiminde meydana gelebilecek düzensizlikler	Orta	Yüksek	Orta
2. Teknik Riskler/Ürün Riskleri				
2.1	Kaynaklarda kesintilerin olması veya kaynakların yeterli olmaması	Düşük	Orta	Orta
2.2	Kurulacak donanımların belirlenen bölgelere kurulduğunda gerekli izinlerin alınmasında gecikme	Düşük	Orta	Orta
2.3	Kurulacak donanımların belirlenen zaman içerisinde kurulamaması	Orta	Yüksek	Yüksek
2.4	Veri üretimi sırasında beklenmedik yeni durumlar ortaya çıkması	Orta	Yüksek	Yüksek
2.5	Kabul aşamasının zamanında yapılamaması	Orta	Yüksek	Yüksek
2.6	Entegrasyon sırasında çıkabilecek sorunlar	Yüksek	Yüksek	Yüksek
2.7	Proje gereksinimlerinin değişimi	Orta	Yüksek	Orta
2.8	Mevzuat, standart, teknik veya teknoloji değişiklikleri	Orta	Orta	Orta
2.9	Mükerrer veri üretimi	Orta	Yüksek	Yüksek
3. İş Riskleri/Finansal Riskler				
3.1	İşin zamanında tamamlanmaması	Orta	Yüksek	Yüksek
3.2	Gerekli donanımların maliyetlerinde gerçekleşen fiyat değişiklikleri	Orta	Yüksek	Yüksek
4. Diğer Riskler				
4.1	Çalışma bölgesinde doğal afet meydana gelmesi	Düşük	Yüksek	Orta

4.2	Salgın hastalık nedeniyle yerinde çalışamama	Yüksek	Orta	Yüksek
4.3	Donanım kurulacak alanlarda olası afetlerin gerçekleşmesi	Düşük	Yüksek	Orta
5. Proje Riskleri				
5.1	Geliştirme cihazlarında yaşanabilecek arızalar, çalınmalar	Orta	Orta	Yüksek
5.2	Saha ekipmanlarının temini, montesi sırasında çıkabilecek olumsuzluklar	Orta	Orta	Yüksek
5.3	Veri entegrasyonu esnasında yaşanacak olumsuzluklar	Orta	Orta	Orta
5.4	Kullanılabilirlik ile ilgili oluşabilecek problemler	Orta	Orta	Orta
5.5	Veri aktarımları ile ilgili yaşanabilecek problemler	Düşük	Düşük	Düşük
5.6	Yazılımların birbiri ile haberleşmesini sağlayacak yazılımlarda geciken entegrasyonlar	Orta	Orta	Orta
5.7	Kabul aşamasında ortaya çıkabilecek sorunlar	Orta	Yüksek	Yüksek

Risk müdahale planı aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Tablo 6. Risk Müdahale Planı

No	Risk Tanımı	Risk Müdahalesi/Eylemi
1. Kurum Riskleri		
1.1	Kurum üst yönetiminde oluşabilecek değişiklikler nedeniyle projenin daha az sahiplenilmesi	Kurumdaki yeni yöneticilere projenin detaylarının etkin ve verimli şekilde anlatılması
1.2	Kurum karar süreçlerinin öngörülenden uzun sürmesi	Gecikme öngörüldüğünde üst yönetimi bilgilendirerek, karar süreçlerinin hızlandırılması
1.3	Çok paydaşlı sistemin yönetiminde meydana gelebilecek düzensizlikler	Afet ve acil durumlar ile ilgili koordinasyonun iyi bir şekilde kurgulanması için yayınlanacak genelge ve

No	Risk Tanımı	Risk Müdahalesi/Eylemi
		tebliğler ile mevcut yönetmelikler ile destelenecektir.
2. Teknik Riskler/Ürün Riskleri		
2.1	Kurulacak donanımların belirlenen bölgelere kurulumunda gerekli izinlerin alınmasında gecikme	Kaynakların durumu hakkında hemen Kurum bilgilendirilecektir. Kaynak sağlanamadığı durumda ortak kararla başka kaynakların kullanılması değerlendirilecektir.
2.2	Kurulacak donanımların belirlenen zaman içerisinde kurulamaması	Kullanılıp kullanılmayacağı konusunda İdare bilgilendirilecek ve ona göre aksiyon alınacaktır.
2.3	Veri üretimi sırasında beklenmedik yeni durumlar ortaya çıkması	Ortaya çıkan yeni durumun niteliğine göre gereken düzeltici faaliyetin ilgili teknik ve yönetim birimlerince ivedilikle gerçekleştirilmesi için gerekli süreçlerin yürütülmesi
2.4	Kabul aşamasının zamanında yapılamaması	Süreçlerin zamanında tamamlanmasının sağlanması
2.5	Entegrasyon sırasında çıkabilecek sorunlar	Kurum projedeki entegrasyonun sağlanması için her bir entegrasyondaki sorumlu kişilerin paydaşlara bildirilmesi, web servisten sorumlu kişi ile telefon ya da yüz yüze gibi hızlı iletişim yöntemlerinin kullanılması
2.6	Proje gereksinimlerinin değişimi	Analiz toplantılarının sık ve çok katılımlı yapılması, toplantı tutanakları ve gereksinim raporlarının Kurumdaki ilgili sorumluya onaylatılması
2.7	Mevzuat, standart, teknik veya teknoloji değişiklikleri	Projenin içerdiği mevzuat, standart, teknik ve teknolojiler sürekli olarak takip edilerek, olası değişikliklerin / güncellemelerin projeye erken aşamada entegre edilmesi

No	Risk Tanımı	Risk Müdahalesi/Eylemi
2.8	Mükerrer veri üretimi	Mevzuat değişiklikleri yapılarak hangi kurumun hangi verinin üretiminden sorumlu olacağı mevzuat değişiklikleri ile belirlenmelidir.
2.9	Kurulacak donanımların belirlenen bölgelere kurulumunda gerekli izinlerin alınmasında gecikme	Gerekli izinler ve protokollerin imzalanması, alınacak izinlerin önceliklendirilmesi
3. İş Riskleri/Finansal Riskler		
3.1	İşin zamanında tamamlanmaması	İş Planlaması, ek kaynak eklenmesi
3.2	Belirlenen bütçenin proje maliyetlerini karşılamaması	İş Planlaması, kaynak yönetimi
4. Diğer Riskler		
4.1	Çalışma bölgesinde doğal afet meydana gelmesi	İş Planlamasının yeniden gözden geçirilmesi
4.2	Salgın hastalık nedeniyle yerinde çalışamama	Uzaktan çalışma yöntemine geçilmesi
4.3	Donanım kurulacak alanlarda olası afetlerin gerçekleşmesi	İş planı gözden geçirilerek, yeniden planlanama yapılması
5. Proje Riskleri		
5.1	Geliştirme cihazlarında yaşanabilecek arızalar, çalınmalar	Yedek cihazlar bulundurulması ve veri yedekleme sağlanması
5.2	Saha ekipmanlarının temini, montesi sırasında çıkabilecek olumsuzluklar	Saha ekipmanlarının özellikleri belirlenerek olası gecikmelere karşı önlem alınması
5.3	Veri entegrasyonu esnasında yaşanacak olumsuzluklar	Paydaşlar protokollerin imzalanması ve protokol ve veri yayınlanma kurgusunun oluşturulması
5.4	Kullanılabilirlik ile ilgili oluşabilecek problemler	Uzman ekiplerden alınacak öneriler ışığında ve paydaşların katılımıyla gerçekleştirilecek ortak gözden geçirmelerin yapılması

No	Risk Tanımı	Risk Müdahalesi/Eylemi
5.5	Veri aktarımları ile ilgili yaşanabilecek problemler	Veri aktarım süreçlerinin bölge bazında ilerlemesi ve her bölgenin veri aktarımı ile ilgili yapılan işlerin İdare ile yapılması, aksaklıklara bu aşamada müdahalelerde bulunularak gerekli önlemin zamanında alınması
5.6	Yazılımların birbiri ile haberleşmesini sağlayacak yazılımlarda geciken entegrasyonlar	Öncelikli entegrasyonların yapılarak, çıkarılacak yeni versiyonlarda testlerin yapılması
5.7	Kabul aşamasında ortaya çıkabilecek sorunlar	Kabul süreci öncesinde hazırlıkların eksiksiz yapılması

- Proje maliyetlerindeki beklenmedik artışlar: Teknolojideki değişiklikler veya yeni gereksinimler nedeniyle fiyatların tahmin edilenden daha fazla artması riski bulunmaktadır. Bu nedenle projenin başlangıcında, maliyetleri etkileyebilecek bileşenlerin alternatif tasarımları göz önünde bulundurularak seçilmeli ve yüksek maliyetli, bakımı zor olan unsurlardan kaçınılmalıdır.
- Küresel ekonomik riskler: Hesaplanan faiz ve döviz kurlarındaki beklenmedik artışlar, projenin maliyetlerini etkileyebilir. Bu riskleri minimize etmek için toplam maliyet hesaplamalarına ek olarak dalgalanmalara karşı bir marj ayrılmalıdır.
- Projenin öngörülen süreden uzun sürmesi: Projede kullanılacak finansal kaynaklar ve harcamalar dikkatli bir şekilde planlanmalıdır. Ayrıca, sistem geliştirme sürecinde çalışacak personelin istihdamı doğru bir şekilde yapılmalıdır.
- Sistem kapasitesinin beklentilerin üzerinde olması: Nihai sistem tasarımı sırasında olası yük artışları göz önünde bulundurulmalı ve farklı sistem yükü senaryoları alternatifler halinde değerlendirilerek fiyat ve performans açısından en uygun seçenek belirlenmelidir.

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Türkiye, coğrafi konumu ve önemli fay hatları nedeniyle deprem riski taşıyan bir ülkedir. Depremler, sadece can ve mal kayıplarına değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal sonuçlara da yol açmaktadır. Dolayısıyla, deprem riskini azaltmak ve dirençli şehirler tasarlamak için afet riskinin önceden belirlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır.

Günümüzde ilerleyen teknolojiler sayesinde depremler öncesinde tahmin edilebilmekte ve bu sayede yerleşim yerlerine erken uyarılar sağlanabilmektedir. Bu proje çerçevesinde, iki farklı sistemin önerildiği görülmektedir. İlk olarak, "Deprem Hasar Tahmin Sistemi" ile deprem öncesi risklerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sistem sayesinde riskli alanlar belirlenerek gerektiğinde bu alanların boşaltılması veya kentsel dönüşüm projelerinin hayata geçirilmesi ile önlemler alınabilecektir. İkinci olarak ise "İleri Deprem Uyarı Sistemi" ile depremin olası etkilerine dair erken uyarılar üretilmesi hedeflenmektedir. Bu sistem, depremin kaynağına en yakın bölgeleri içine alacak şekilde etkilenen alanlar için uyarı sinyalleri üreterek ilgili kurumların gerekli önlemleri (yüksek gerilim hatlarındaki akımın kesilmesi, fabrika, nükleer santral ve rafinerilerin faaliyetlerinin durdurulması, metro, tramvay ve tren gibi toplu taşıma araçlarının durdurulması, doğalgaz gibi altyapı sistemlerini içeren sistemlerin kesilmesi vb.) almasını sağlayacaktır. Örneğin, enerji hatlarının kesilmesi, endüstriyel tesislerin durdurulması ve altyapı sistemlerinin kapatılması gibi adımlar, olası büyük afetlerin etkilerini minimize etmeye yardımcı olacaktır.

İleri Deprem Uyarı Sistemleri, gelebilecek depremlerin etkilerini minimize etmek amacıyla çalışmaktadır. Bu sistem, sismik sensörler vasıtasıyla P-S deprem dalgaları arasındaki zaman farkını hesaplayarak depremden hemen önce uyarılar göndererek insanlara zaman kazandırmaktadır. Bu sayede, afetin etkisi altında kalma riski taşıyan insanlar, güvenli alanlara sığınma fırsatı bulabilmektedir.

Projede önemli bir hedef, depremin yarattığı psikolojik etkileri azaltmak ve afet bilincini artırmaktır. Bu amaçla, vatandaşlar afetlere karşı eğitilerek ve hazırlıklı hale getirilerek, afet öncesinde ve sonrasında doğru hareket etme ve güvenliği sağlama konusunda bilinçlenmektedir. Deprem öncesi hazırlıklı bir toplum oluşturmanın yanı sıra, hasar kayıp tahmin sistemleri de projenin ayrı bir boyutunu oluşturmaktadır. Bu sistem, bina envanterlerini içeren bir veri tabanı oluşturarak, olası depremlerin etkilerini ve hasarlarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Senaryo depremleri oluşturarak riskli yapıların belirlenmesi, deprem anında hasar ve kayıp tahminlerinin yapılması ve müdahale planlarının hazırlanması gibi adımlar, afet sonrası etkileri minimize etmek için büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, gerçekleştirilecek bu proje ile deprem risklerinin önceden belirlenmesi, hızlı uyarılar ile insanların güvenli bölgelere yönlendirilmesi, afet bilincinin artırılması ve hasar kayıp tahmin sistemleri aracılığıyla etkilerin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu proje, deprem gibi büyük ölçekli afetlerin yarattığı etkileri en aza indirerek daha güvenli ve dirençli bir toplum oluşturmayı amaçlamaktadır.

10. Yol Haritası

Stratejik Hedef: Ülkemizde doğal afet türü olan depremden kaynaklanacak zararı en aza indirmek.

- İleri Deprem Uyarı Sistemlerinin oluşturulması için afet türlerine göre gerekli sensör, cihaz ve ekipman gereksinimleri ile kurulacağı uygun bölge ve/veya alanların belirlenmesi.
- Projenin sonuna kadar erken uyarı sistemleri ile ilgili sensör, cihaz veya saha ekipmanlarının altyapılarının hazır edilmesi
- Projenin sonuna kadar standardizasyonu ve güncelliği sağlanan acil durum verilerinin sisteme aktarılması
- AFAD, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Belediyeler ile entegrasyonun projenin sonuna kadar yapılması
- Deprem etkilerinin değerlendirilmesi ve acil müdahale planlarının oluşturulması kapsamında TAKBİS ve MAKS ile veri entegrasyonunun sağlanması, olası bir acil durumda malik bilgilerine ulaşılması
- Mevcut deprem risk haritalarının sisteme entegrasyonu
- Risk Alanları ile ilgili verilerin toplanması
- Deprem hasar tahmin sistemi ve İleri Deprem Uyarı Sisteminin gereksinimlerinin belirlenmesi.
- İlgili sistemlerin tasarlanması ve geliştirmeye başlanması
- İlgili veri servisi entegrasyonlarının yapılması
- Deprem hasar tahmin sistemi ile deprem senaryolarının oluşturulup, çalıştırılması.
- Senaryolar sonucunda çıkan verilere göre müdahale planları geliştirilmesi
- Proje sonuna kadar saha ve merkez arasında veri iletişim altyapısının oluşturulması
- İlgili kurum ve kuruluşlarla entegrasyon detaylarının belirlenmesi ve gerçekleştirilmesi
- Proje sonunda akıllı erken uyarı sistemlerinin devreye alınması
- Projenin sonunda afet ile ilgili senaryoların çalıştırılıp, deprem hasar verilerinin sunumunun sağlanması

11. Kaynakça

- [1] AFAD. (2014). Müdahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından Van Deprem. AFAD Yayınları, s. 14.
- [2] Yenilmez, G. (2014). Japonya' daki Deprem ve Tsunami Erken Uyarı Sistemleri ve 11 Mart 2011 "Büyük Doğu Japonya Afeti"ndeki Performansları. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Ankara.
- [3] Kamigaichi, O. (2009). JMA Earthquake early warning. Journal of Japan Association for Earthquake Engineering , 134-137.

- [4] Aktürk, İ. & Albeni, M. (2002). Doğal Afetlerin Ekonomik Performans Üzerine Etkileri 1999 Yılında Türkiye'de Meydana Gelen Depremler ve Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi İdari ve İktisadi Bilimler Dergisi, 1-18.
- [5] Allen, R. M & Kanamori H. (2003). The Potential for Earthquake Early Warning in Southern California. Science 300, 786-789 DOI: 10.1126/science.1080912
- [6] Erdik, M. & Aydinoglu, Mehmet Nuray & Fahjan, Y. & Sesetyan, Karin & Demircioglu, Mine & Siyahi, Bilge & Cakti, Eser & Ozbey, C. & Biro, Yesim & Akman, H. & Yuzugullu, O. (2003). Earthquake Risk Assessment for the Istanbul Metropolitan Area Final Report. Earthquake Engineering and Engineering Vibration - EARTHQ ENG ENG VIB. 2. 1-23. 10.1007/BF02857534.
- [7] Yavaş, H. (2005). Doğal Afetler Yönüyle Türkiye'de Belediyelerde Kriz Yönetimi, Orion Yayınevi, Ankara.
- [8] Bakun, W.H., Fischer, F.G., Jensen, E.G., VanSchaack, J. (1994). Early warning system for aftershocks, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 359-365.
- [9] Alçık, H., (2013). İstanbul'da Kurulu Deprem Erken Uyarı Ve Yapısal Alarm Sistemleri. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 26(2), 65-72.
- [10] Cooper, J.D., (1868). Earthquake indicator, San Francisco Bulletin, November 3.
- [11] Alçık, H., (2011). Deprem Erken Uyarı Sistemleri, Jeofizik Bülteni, Van Depremi ve Deprem Özel Sayısı, 22, 50-66.
- [12] Doi, K., (2011). The operation and performance of Earthquake Early Warnings by the Japan Meteorological Agency, Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Volume 31, Issue 2, Pages 119-126, ISSN 0267-7261, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.06.009>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726110001429>) Erişim tarihi: 21.12.2023
- [13] TÜBİTAK- TÜSSİDE. (Nisan 2021). Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. İleri Deprem Uyarısı Ön Fizibilite Raporu.
- [14] Matris. (2021, 03 25). Deprem Erken Uyarı Sistemi. Matris: <https://www.matris.com/tr/hizmetler/deprem-erken-uyari-sistemi> Erişim tarihi: 21.12.2023
- [15] AFAD. (2 Haziran 2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw: 7.7 – Mw: 7.6) Depremleri Raporu. 140 s. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf Erişim tarihi: 21.12.2023