

Bu proje, deprem riski altındaki şehirlerde bina bazlı, sürekli ve otonom yapı sağlığı izleme sağlamayı amaçlayan dağıtık bir izleme sistemidir. Sistem, mahalle ölçeğinde konumlandırılmış sensör node'ları aracılığıyla binaların yapısal durumunu zaman içinde takip eder ve deprem anında gerçek zamanlı hasar tespiti yaparak kriz yönetimine doğrudan veri sağlar.

Her binanın taşıyıcı sistemine (kolon veya betonarme perde) mekanik olarak bütünleşmiş bir sensör node yerleştirilir. Bu node, binanın maruz kaldığı mikro titreşimleri (rüzgâr, trafik, insan hareketi gibi) uzun süre boyunca ölçerek yapının dinamik parmak izini çıkarır. Doğal frekans, sönümleme ve elastik davranış gibi fiziksel göstergeler zaman içinde izlenir ve böylece binanın yapısal güvenilirliği nicel olarak değerlendirilir. Bu sayede deprem olmadan önce dahi yapı yorgunluğu ve gizli hasar belirtileri tespit edilebilir.

Node'lar normal koşullarda düşük enerji tüketimiyle çalışır ve elde ettikleri özet verileri merkezi izleme sistemine iletir. Sistem, tekil cihazlara değil mahalle ölçeğinde istatistiksel tutarlılığa dayanır. Binalar birbirleriyle doğrudan iletişim kurmaz; ancak aynı fiziksel olayı farklı noktalardan ölçtükleri için veriler merkezi veya edge analiz katmanında birlikte değerlendirilir.

Sismik bir olay algılandığında node'lar yüksek frekanslı ölçüm moduna geçer ve deprem anındaki maksimum ivme, göreceli kat ötelemesi ve kalıcı deformasyon gibi kritik parametreleri analiz eder. Bu analiz büyük ölçüde cihaz üzerinde gerçekleştirilir (edge computing) ve bina, "güvenli", "hasarlı" veya "ağır hasarlı" gibi net bir durum sınıfına atanır.

Deprem sırasında klasik iletişim altyapısı devre dışı kalsa bile, sistem Turkcell'in NB-IoT (Dar Bant IoT) altyapısı sayesinde veri iletimine devam eder. Gerekli durumlarda DroneCell gibi geçici baz istasyonlarıyla bağlantı kurularak enkaz altında kalan veya bodrum katlardaki node'lardan dahi durum bilgisi alınabilir. Bir node'un susması durumunda, çevredeki binalardan gelen sismik veriler ve eksik sağlık sinyalleri birlikte değerlendirilerek olası yıkım dolaylı olarak teyit edilir.

Bu mimari sayesinde sistem, tekil cihaz kayıplarına karşı dayanıklı, kendi kendini doğrulayabilen ve afet anında mahalle bazında kesintisiz durum farkındalığı sağlayan bir yapıya kavuşur. Proje, bireysel sensörlerden ziyade dağıtık ve rol-adaptif bir bina ağı yaklaşımıyla, afet yönetimi ekiplerine hızlı, güvenilir ve doğrudan operasyonel karar desteği sunmayı hedefler.

Bir node sustuğunda diğerleri bunu nasıl anlıyor?

Cevap: Doğrudan değil, dolaylı sinyaller üzerinden.
Buna sistem içinde şu isim verilir:

Implicit Node Silence Detection (INSD)

1 Temel prensip (çok kritik)

Node'lar “A binası sustu mu?” diye birbirine sormaz.

Bunun yerine:

- Merkez
 - Edge algoritması
- olması gereken davranış ile olan davranış arasındaki farkı yakalar.
-

2 Dolaylı farkındalık nasıl oluşur? (3 ana kanal)

♦ KANAL 1 — Olay korelasyonu (Event Correlation Gap)

Deprem olduğunda:

- Aynı mahalledeki tüm binalar
 - benzer **zaman damgalı**
 - benzer **frekans bandında**
 - benzer **enerji seviyesinde** titreşim görür.

Senaryo:

- Bina A → **hiç rapor yok**
- Bina B, C, D → “şiddetli sarsıntı yaşadım”

➡ Sistem şunu der:

“Bu bölgede fiziksel olarak hissedilen bir olay var ama A node’u yok.”

Bu, **birinci şüphe bayrağıdır**.

♦ KANAL 2 — Heartbeat / Health Ping eksikliği

Her node:

- Normal zamanda
- ve deprem sonrası belirli aralıklarla **çok küçük bir “yaşıyorum” paketi** gönderir.

Bu bir veri akışı değil, **nabız atışıdır**.

Eğer:

- Deprem sonrası X dakika boyunca
- Heartbeat gelmezse

→ Node **“suskun”** olarak işaretlenir.

Ama tek başına karar verilmez.

♦ KANAL 3 — Komşu davranış anomalisi (Neighborhood Anomaly)

Bu en kritik ve “swarm” kısmı.

Örnek:

- Bina B ve C:
 - “Yanımda çok büyük bir kütle aniden yok oldu”
 - İvme ve frekans imzalarında ani bir **yük boşalması** görüyor

Bu ne demek?

- Yan binanın çökmesiyle:
 - Zemin-gerilme dağılımı değişir
 - Komşu binaların titreşim karakteri **anlık olarak farklılaşır**

→ Bu fiziksel olarak ölçülebilir bir fenomendir.

3 Bu üç sinyal nasıl birleşiyor?

Merkez veya edge logic şu kuralı uygular:

IF

(Event detected by $\geq N$ neighbors)

AND

(Node A heartbeat missing)

AND

(Local vibration pattern shows anomaly)

THEN

Node A status = Probable Collapse

Bu **tek node'a dayalı değil**,
çoklu kanıta dayalı bir teyit.

4 “Ama node'lar birbirine bağlı değilse bunu kim görüyor?”

Altın cevap 🙋

- Node'lar **merkeze konuşur**
- Merkez:
 - zaman damgalarını
 - coğrafi konumu
 - olay yoğunluğunu eşleştirir

Ama:

- Eğer merkez geçici olarak yoksa:
 - Bu mantığın **basitleştirilmiş hali**
 - node içinde çalışır
 - ilk bağlantı kurulduğunda raporlanır

Yani:

Merkezi zekâ var, ama **tek noktaya bağımlı değil.**

6 Tek paragrafla sade anlatım (ister sunumda kullan)

Bir node'un susması, sistem tarafından doğrudan değil, çevresindeki fiziksel olayların korelasyonu üzerinden algılanır. Aynı bölgede sarsıntı raporlayan node'lar varken bir node'un hem olay raporu hem de periyodik sağlık sinyali göndermemesi, yapısal bir arıza veya yıkım ihtimalini doğurur. Bu durum, komşu binalarda gözlemlenen titreşim anomalileriyle birlikte değerlendirilerek olası yıkım olarak sınıflandırılır.

SEISMOS

**Yapay Zekâ Destekli Yapısal Sağlık İzleme ve Afet Dijital
Trijaj Platformu**

1. GİRİŞ: SESSİZ RİSK, GÖRÜNMEZ TEHLİKE

Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almaktadır. Buna rağmen mevcut afet yönetimi pratikleri, büyük ölçüde **deprem sonrası insan temelli bildirimlere** ve **zaman alan saha tespitlerine** dayanmaktadır. Depremi hemen ardından yaşanan bilgi kirliliği, iletişim kesintileri ve koordinasyon eksikliği, “altın saatler” olarak adlandırılan ilk 72 saat içerisinde müdahalenin etkinliğini ciddi biçimde düşürmektedir.

Bugün karşı karşıya olduğumuz temel sorun şudur:

Hangi bina yıkıldı? Hangisine girilebilir? Hangisi zaten risk altındaydı?

Bu soruların cevabı çoğu zaman günler sonra netleşmektedir. Oysa can kayıplarının büyük bölümü, bu kritik zaman aralığında yaşanmaktadır.

SEISMOS, bu bilgi körlüğünü ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiş, **binaları yaşayan birer veri kaynağına dönüştüren** yeni nesil bir yapısal izleme ve afet triyaj sistemidir.

2. SEISMOS NEDİR?

SEISMOS, binaların taşıyıcı sistemlerine entegre edilen akıllı IoT sensörleri aracılığıyla, yapıların **titreşim davranışlarını sürekli olarak izleyen**, bu verileri **yapay zekâ ile analiz eden** ve hem **deprem öncesi risk tespiti** hem de **deprem anı otomatik hasar sınıflandırması** yapan bütüncül bir platformdur.

Sistem, klasik afet uygulamalarının aksine insanlardan veri toplamaz; **doğrudan binanın kendisini dinler**. Bu yaklaşım, kullanıcı davranışına, internet bağlantısına veya mobil cihazlara bağımlı olmayan, objektif ve kesintisiz bir veri akışı sağlar.

SEISMOS’un temel felsefesi şudur:

“Afeti insanlardan değil, yapılardan öğrenmek.”

3. PROBLEM TANIMI

3.1 Deprem Sonrası Bilgi Kaosu

Deprem sonrasında hangi binanın yıkıldığına veya ağır hasar aldığına dair bilgi çoğu zaman:

- Vatandaş ihbarlarına,

- Görsel teyitlere,
- Manuel saha taramalarına dayanır.

Bu yöntemler:

- Zaman alıcıdır
- Yanlıştır
- Koordinasyonsuzdur

3.2 Deprem Öncesi Görünmez Risk

Binalar zamanla:

- Beton yorulması,
- Donatı korozyonu,
- Zemin-üst yapı etkileşimi

nedeniyle taşıyıcı kapasitelerini kaybeder. Ancak bu süreç, **gözle görülmez**. Mevcut sistemler, binanın yapısal yorgunluğunu sürekli izleyebilecek düşük maliyetli ve yaygın bir çözüm sunmamaktadır.

4. ÇÖZÜM: BİNALARIN EKG'Sİ

Her binanın, tıpkı insan kalbi gibi, kendine özgü bir **doğal titreşim frekansı** vardır. Yapı sağlıklı olduğunda bu frekans stabildir. Yapı rijitliğini kaybettiğinde, bu frekansta ölçülebilir değişimler meydana gelir.

SEISMOS, bu fiziksel prensibi temel alır.

4.1 Donanım Katmanı

- Binaların bodrum katındaki ana taşıyıcı kolonlara monte edilen,
- Hassas ivmeölçerler içeren,
- Düşük enerji tüketimli,

- Uzun ömürlü IoT modülleri

binanın titreşimlerini 7/24 izler.

Bu cihazlar:

- Ses kaydetmez
- Görüntü almaz
- Kişisel veri toplamaz

Sadece yapının mekanik davranışını ölçer.

5. DEPREM ÖNCESİ: YAPISAL YORGUNLUK TAKİBİ

SEISMOS, binanın titreşim verilerini zaman içinde analiz ederek:

- Doğal periyottaki mikroskobik değişimleri,
- Frekans kaymalarını,
- Sönümleme oranlarını

tespit eder.

Bu veriler, teorik yapı modelleri ve bölgesel referanslarla karşılaştırılır. Eğer binanın davranışında **anormal bir yumuşama** tespit edilirse sistem, henüz bir deprem olmadan:

“Bu bina riskli, güçlendirme gerekli.”

uyarısı üretir.

Bu sayede:

- Önleyici bakım mümkün hale gelir
- Kentsel dönüşüm kararları veriyle desteklenir
- Ani yıkım riski azaltılır

6. DEPREM ANI: DİJİTAL YAPISAL TRİYAJ

Deprem gerçekleştiği anda SEISMOS sistemi devreye girer.

6.1 Gürültü Ayırıştırma

Sistem, yapay zekâ destekli sinyal işleme algoritmalarıyla:

- Kamyon geçişi,
- İnşaat titreşimi,
- Çevresel gürültü

ile gerçek sismik dalgaları ayırt eder.

6.2 Anlık Hasar Analizi

Sarsıntı sona erdiği anda, sistem binanın davranışını analiz eder ve yapıyı otomatik olarak sınıflandırır:

- **Yeşil:** Girilebilir
- **Sarı:** Ağır hasarlı
- **Kırmızı:** Yıkıldı / Girilmez

Bu sınıflandırma, insan müdahalesi olmadan, saniyeler içinde yapılır.

7. İLETİŞİM ALTYAPISI: NB-IoT AVANTAJI

SEISMOS, Turkcell'in **NB-IoT (Dar Bant Nesnelerin İnterneti)** altyapısını kullanır.

Bu tercih kritiktir çünkü NB-IoT:

- Betonarme yapılarda yüksek penetrasyon sağlar
- Enkaz altında dahi veri iletebilir
- GSM ve internet yoğunluğundan etkilenmez

- Çok düşük enerji tüketir

Deprem anında cep telefonları çalışmazken, SEISMOS cihazları **merkeze veri göndermeye devam eder.**

8. AFAD VE KURUMLAR İÇİN OPERASYONEL PANEL

Toplanan veriler, merkezi bir kontrol panelinde görselleştirilir.

Bu panel:

- Mahalle bazlı hasar haritaları,
- Gerçek zamanlı bina durumları,
- Önceliklendirilmiş müdahale listeleri

sunar.

Arama-kurtarma ekipleri:

- Rastgele değil
- Veriye dayalı
- Nokta atışı müdahale yapar

Bu da doğrudan **can kaybının azalması** anlamına gelir.

9. HEDEF KİTLE VE PAYDAŞLAR

- AFAD ve Arama Kurtarma Birimleri
- Belediyeler
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
- Sigorta Şirketleri (DASK)
- Bina yönetimleri ve site sakinleri

10. TOPLUMSAL, EKONOMİK VE PSİKOLOJİK ETKİ

SEISMOS:

- Afet yönetimini reaktif yapıdan proaktif yapıya taşır
- Vatandaşların “evim güvenli mi?” sorusuna veri temelli cevap verir
- Deprem sonrası panik ve belirsizliği azaltır
- Milli yapı stokunun ömrünü uzatır
- Sigorta ve kentsel dönüşüm politikalarına veri sağlar

11. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE VERİ GÜVENLİĞİ

- Cihazlar enerji hasadı prensipleriyle uzun yıllar çalışabilir
- Kişisel veri toplanmaz
- Veriler uçtan uca şifrelenir
- KVKK ve ilgili mevzuata tam uyum sağlanır

12. GELECEK VİZYONU

SEISMOS, yalnızca bir sensör sistemi değil; **dirençli şehirler için dijital bir altyapıdır.**

Gelecekte:

- Şehir direnç endeksleri
- Akıllı bina pasaportları
- Sigorta entegrasyonları

- Uluslararası afet ihracatı

ile ölçeklenebilir bir platforma dönüşmesi hedeflenmektedir.

13. SONUÇ

SEISMOS, deprem gerçeğiyle yaşayan toplumlar için geliştirilmiş, **sessiz ama sürekli çalışan, insandan bağımsız, veriye dayalı** bir erken uyarı ve müdahale sistemidir.

Bu proje:

Depremi beklemez,
Binayı dinler,
Ve zamanı kurtarır.

1. TEKNİK MİMARİ VE SİSTEM YAPISI

SEISMOS projesi, afet öncesi ve afet anında bina davranışını analiz etmek üzere tasarlanmış, üç katmanlı modüler bir sistem mimarisine sahiptir:

1. **Uç Birim (Edge / IoT Sensör Katmanı)**
2. **İletişim ve Veri Aktarım Katmanı**
3. **Merkezi Analitik ve Yapay Zekâ Katmanı**

Bu mimari yapı, sistemin düşük maliyetle yaygınlaştırılabilmesini, afet koşullarında çalışmaya devam etmesini ve şehir ölçeğinde yönetilebilmesini mümkün kılmaktadır.

2. UÇ BİRİM (EDGE) – DONANIM MİMARİSİ

2.1 Donanım Bileşenleri

Her bir SEISMOS sensör düğümü aşağıdaki temel bileşenlerden oluşmaktadır:

- 3 eksenli MEMS tabanlı ivmeölçer sensör
- Düşük güç tüketimli mikrodenetleyici (ARM tabanlı)
- NB-IoT haberleşme modülü

- Uzun ömürlü batarya ve enerji yönetim devresi

Sensörler, binanın bodrum katında bulunan ana taşıyıcı kolonlara monte edilmektedir. Bu yerleşim, binanın genel titreşim karakteristiğini doğru şekilde yakalamayı ve çevresel gürültünün etkisini azaltmayı amaçlamaktadır.

2.2 Sensör Yerleşim Prensibi

Sensörler, binanın rijitlik merkezine en yakın kolonlara sabitlenir. Bu sayede:

- Binanın doğal salınım periyodu doğru ölçülür
- Lokal titreşimler (asansör, iç mekân hareketleri) filtrelenir
- Yapının global davranışı analiz edilir

Cihazlar fiziksel sabotaja karşı epoksi ile sabitlenir ve sökülme durumunda anomali algılama algoritmaları devreye girer.

3. EDGE ÜZERİNDE VERİ İŞLEME (EDGE COMPUTING)

SEISMOS sisteminde ham titreşim verisi sürekli olarak merkeze gönderilmez. Bunun yerine, sensör cihazı üzerinde ön işleme yapılır.

Cihaz üzerinde gerçekleştirilen işlemler şunlardır:

- Zaman alanında gürültü filtreleme
- Titreşim verisinin pencereleme yöntemiyle segmentlere ayrılması
- Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile frekans alanına dönüştürme
- Doğal frekans, genlik ve sönüm oranı gibi yapısal özelliklerin çıkarılması

Bu yaklaşım, veri trafiğini azaltır, batarya ömrünü uzatır ve sistemin afet anında çalışmaya devam etmesini sağlar.

4. YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALTYAPISI

4.1 Yapay Zekâ Kullanım Gerekçesi

Klasik eşik bazlı titreşim sistemleri, çevresel gürültüyü (kamyon geçişi, inşaat çalışmaları vb.) deprem olarak algılayabilmektedir. Bu durum yanlış alarm oranlarını artırmakta ve sistemin güvenilirliğini düşürmektedir.

SEISMOS, bu sorunu yapay zekâ destekli öğrenen modellerle çözmektedir.

4.2 Kullanılan Model Yaklaşımı

Sistem üç temel yapay zekâ yaklaşımı kullanır:

- **Zaman Serisi Sınıflandırma:**

Titreşim sinyallerinin desenleri analiz edilerek deprem, çevresel gürültü ve yapısal anomali ayrımı yapılır.

- **Anomali Tespiti:**

Her bina için “normal davranış profili” oluşturulur. Bu profilden sapmalar otomatik olarak risk sinyali olarak işaretlenir.

- **Bölgesel Mutabakat (Consensus) Algoritması:**

Tek bir binadan gelen veri yeterli görülmez. Aynı mahallede bulunan birden fazla sensörden eş zamanlı veri alınmadan “kesin deprem” kararı üretilmez.

Bu yaklaşım, yanlış alarm oranını ciddi ölçüde düşürmektedir.

5. DEPREM ANI HASAR ANALİZİ VE KARAR MEKANİZMASI

Deprem algılandığında sistem şu analizleri gerçekleştirir:

- Deprem öncesi ve sonrası doğal frekans karşılaştırması
- Enerji sönümleme davranışı analizi
- Yapısal rijitlik değişiminin hesaplanması

Bu analizler sonucunda bina için sayısal bir **Hasar Skoru** üretilir.

Hasar Sınıflandırması:

- 0–30: Güvenli
- 30–60: Riskli
- 60 ve üzeri: Ağır Hasarlı

Bu sınıflandırma, görsel inceleme yapılmadan, saniyeler içinde oluşturulur.

6. İLETİŞİM ALTYAPISI VE NB-İOT KULLANIMI

SEISMOS, veri iletimi için NB-İOT teknolojisini kullanmaktadır. NB-İOT'nin tercih edilme nedenleri şunlardır:

- Betonarme yapılarda yüksek penetrasyon kabiliyeti
- Afet anında GSM şebekesine göre daha dayanıklı yapı
- Düşük enerji tüketimi
- Çok sayıda cihazın eş zamanlı çalışmasına uygunluk

Bu sayede sistem, elektrik ve internet kesintilerinde dahi veri iletimini sürdürebilir.

7. MERKEZİ SİSTEM VE VERİ YÖNETİMİ

Merkezi sistem, mikroservis mimarisiyle tasarlanmıştır. Veri akışı aşağıdaki şekilde ilerler:

Sensör → NB-İOT → Operatör Çekirdeği → Güvenli API → Analitik Motor → Görselleştirme Paneli

Yetkili kurumlar için mahalle ve şehir bazlı hasar haritaları oluşturulur. Bireysel kullanıcılar ise mobil uygulama üzerinden sadeleştirilmiş bina sağlık skorunu görüntüler.

8. GÜVENLİK, KVKK VE VERİ GİZLİLİĞİ

SEISMOS sistemi:

- Kişisel veri (ses, görüntü, kimlik bilgisi) toplamaz
- Sadece yapısal titreşim verisi işler
- Verileri uçtan uca şifreler
- Kimliksizleştirilmiş bina ID'leri kullanır

Bu yönüyle KVKK ve ilgili mevzuata tam uyumludur.

9. TEKNİK UYGULANABİLİRLİK VE GERÇEKÇİLİK

SEISMOS projesi:

- Fizik ve yapı mühendisliği prensiplerine dayanır
- Akademik literatürde karşılığı olan yöntemler kullanır
- Mevcut donanım ve haberleşme teknolojileriyle uygulanabilir durumdadır

Projeyi özgün kılan unsur, bu teknolojilerin ilk kez konut ölçeğinde, afet öncesi ve afet anını birlikte kapsayacak şekilde bütünleşik olarak uygulanmasıdır.

10. SONUÇ

SEISMOS, afet yönetimini reaktif bir yapıdan çıkararak, veriye dayalı ve proaktif bir sisteme dönüştürmeyi amaçlayan, teknik olarak uygulanabilir ve ölçeklenebilir bir çözümdür. Proje, şehirlerin afetlere karşı dirençli hale getirilmesine somut ve ölçülebilir katkı sunmaktadır.