

# Akıllı Şehirlerde Afet Riski Azaltılması Uygulamaları

## Disaster Risk Reduction Practices in Smart Cities

### Prof. Dr. Şerif BARIŞ

Kocaeli Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
e-posta: sbaris@kocaeli.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-8888-2295

### Doç. Dr. Abdullah Can ZÜLFİKAR

Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
e-posta: aczulfikar@gtu.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-6610-3334

### Mustafa KORKMAZ

Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
e-posta: mkorkmaz@gtu.edu.tr

### Süleyman TUNÇ

Sentez Yer ve Yapı Mühendisliği, Maltepe, İstanbul, Türkiye  
e-posta: stunc@syy.com.tr

## Öz

Son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi ile Akıllı Şehir kavramı gün geçtikçe daha fazla yerel yönetimlerde uygulama alanı bulmaktadır. Afet risk azaltım planları ve uygulamaları da günümüz Akıllı Şehir teknolojilerine uyarlanarak gerek ulusal gerekse yerel ölçekte desteklenebilmektedir. 2015-2030 Sendai Afet Risklerinin Azaltılması Çerçevesinin 4 önceliğinden 1 tanesi afet riskine karşı şehirlerin sürdürülebilir ve dirençli hale getirilmesi, 7 küresel hedefinden 1 tanesi de çoklu tehlike erken uyarı sistemlerine erişilebilirliğin artırılmasıdır. Ülkemizde de 2015-2030 Sendai Afet Risklerinin Azaltılması Çerçevesi ile uyumlu olarak Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) ve İl Afet Risk Azaltma Planları (İRAP) çalışmaları başlatılmış, birçok kentimizde afet riskinin azaltılması için sürdürülebilirlik, dirençlilik ve farklı türde erken uyarı sistemleri üzerine uygulamalar başlatılmıştır. Bu çalışmada, Akıllı Şehir kavramı ve yerel yönetimlerde kullanımı anlatılacaktır. Afet riski azaltılmasında bazı örnek akıllı şehir uygulamalarına yer verilecektir. Çalışmanın yerel yönetimlerde benzer uygulamaların geliştirilebilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Özellikle çok yoğun nüfuslu afet riskini azaltmak için kurulmuş bulunan bazı iyi meteorolojik erken uyarı sistemleri ile deprem ve tsunami erken uyarı sistemlerine ait örnekler verilmiştir. İstanbul'da yerel yönetimler tarafından yapılan hava tahminleri, buzlanma erken uyarı ve taşkın erken uyarı sistemleri, birçok olayın zararını azaltacak uyarıları sağlamıştır. Halen İstanbul'da kurulu bulunan ve 2023 yılında da Bursa ilinde devreye girecek deprem erken uyarı sistemi ve İGDAŞ ile Bursagaz AŞ tarafından her iki şehirde kurulan doğalgaz acil uyarı sistemleri olası yıkıcı bir deprem sırasında ana gaz regülatörlerini kapatarak ve çelik borulardaki basıncı düşürerek yangın ve patlamaların sayısını azaltarak afetin zararlarını azaltacak akıllı uygulamalardır. Bu tür sistemlerin doğalgaz dağıtım yapılan diğer iller ile deprem riski taşıyan tüm şehirlerimizde kurulmasının önemi vurgulanmıştır. Özellikle denize kıyısı olan illerin de yapılması gereken diğer bir çalışma ise tsunami erken uyarı sistemi ile ilgilidir. İstanbul'da Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilen bir uygulama ile tsunami yaratabilecek depremler için bir tsunami uyarısı oluşturulmaktadır. Kıyı kentlerindeki yerel yönetimler, bölgelerinde tsunami kaçış güzergahlarını belirleme ve bu güzergahlara uyarı tabelaları konumlandırma ve halkı bilinçlendirme eğitimlerini yapmalıdır. Akıllı şehir olmak hedefinde ilerleyen tüm şehirlerin şehir bilgi sistemi kurarak gerek bu makalede küçük bir kısmı verilen afet zararlarının azaltılması uygulamalarını gerekse diğer tüm afet yönetim ve güvenlik uygulamalarını da kendi şehir bilgi sistemlerine entegre etmeleri yapılacak çalışmaların verimini artıracak yegâne yol olarak önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Şehirler, Bilgi Sistemleri, Deprem Erken Uyarı, Tsunami, Dijital İkiz

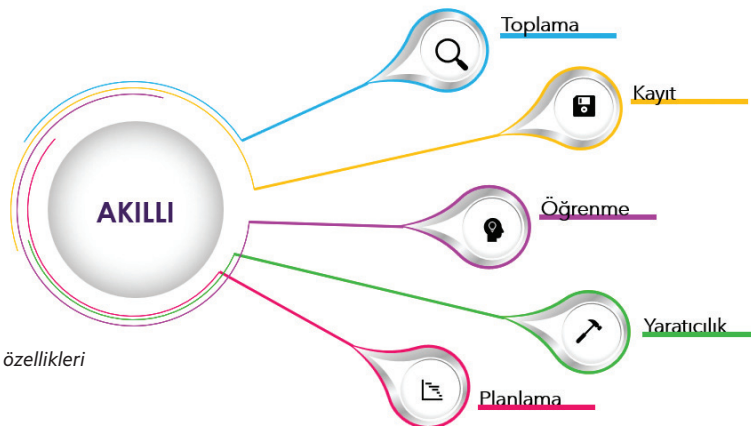
## Abstract

With the development of information and communication technologies in recent years, the concept of a Smart City is increasingly being applied in local governments. By adapting disaster risk reduction plans and practices to today's Smart City technologies, both national and local scales can be supported. One of the 4 priorities of the 2015-2030 Sendai Framework for Disaster Risk Reduction is to make cities sustainable and resilient against disaster risk, and 1 of its 7 global goals is to increase accessibility to multi-hazard early warning systems. Turkey's Disaster Risk Reduction Plan (TARAP) and Provincial Disaster Risk Reduction Plans (IRAP) studies have been initiated in our country in line with the 2015-2030 Sendai Disaster Risk Reduction Framework. In this study, the concept of a Smart City and its use in local governments will be explained. Some sample smart city applications will be included in Disaster Risk Reduction. It is thought that the study will be beneficial in terms of developing similar practices in local administrations. Examples of some good meteorological early warning systems and earthquake and tsunami early warning systems, which have been established especially to reduce the disaster risk of a very dense population, are given. Weather forecasts, icing early warnings, and flood early warning systems made by local governments in Istanbul provided warnings to reduce the damage of many events. The earthquake early warning system, which is still installed in Istanbul and will be activated in Bursa at the beginning of 2023, and the gas emergency warning system installed in both cities by İGDAŞ and Bursagaz AŞ, will prevent fires and explosions by closing the main gas regulators and reducing the pressure in the steel pipes during a potentially devastating earthquake. These are smart applications that will reduce the damage of the disaster by reducing the number of the importance of installing such systems in other provinces where natural gas is distributed and in all cities with earthquake risk was emphasized. Another study that should be done especially by the coastal provinces is the tsunami early warning system. With an application developed by the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute in Istanbul, a tsunami warning is created for earthquakes that may create a tsunami. Local governments in coastal cities should carry out training on determining tsunami escape routes in their regions, erecting warning signs on these routes, and raising public awareness. It is suggested as the only way that will increase the efficiency of the studies is by establishing a city information system for all cities that are advancing towards the goal of being a smart city, and integrating both disaster mitigation practices, a small part of which is given in this article, and all other disaster management and safety practices into their own city information systems.

**Keywords:** Smart Cities, Information Systems, Earthquake Early Warning, Tsunami, Digital Twins

## Giriş

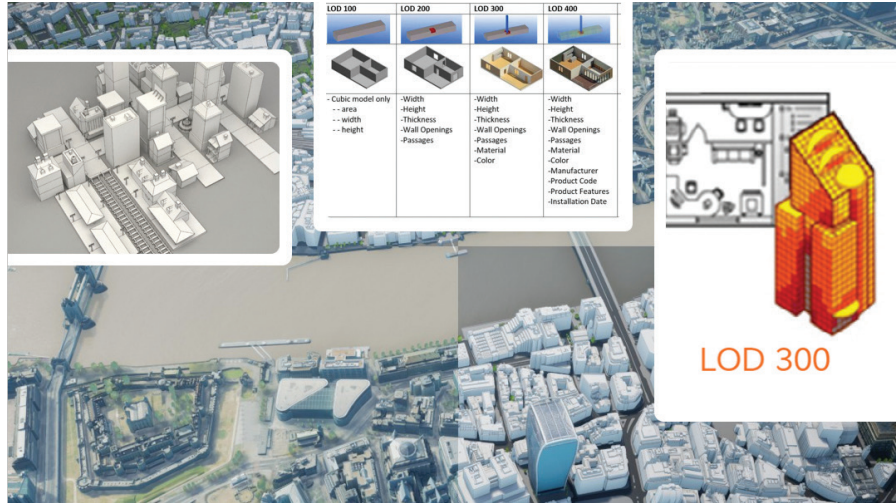
Adını yaşadığımız çağa veren bilgi, canlılar için eylemlerin temelini oluşturmaktadır. Bilgiye dayalı hareket edemeyen canlılar yaşadıkları çevrenin etkilerine en ağır şekilde maruz kalırlar ve kendilerini korumak için gerekli davranış özelliklerini gösteremezler. Bir canlının akıllı olarak tanımlanabilmesi için veri toplaması ve kayıt altına alması, verileri işleyerek bilgiye çevirmesi, bu bilgileri kullanarak yeni yöntem, araç ve gereçler geliştirmesi ve geleceğe dair planlama yapması gerekmektedir (Şekil 1). Şehirler karmaşık yapıları ve paydaşları arasındaki karmaşık dinamikler açısından yaşayan ekosistemler olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Akıllı canlıların ortak özellikleri

Akıllı sistemler, sistemin herhangi bir bileşeninde bir sorun ortaya çıkmadan önce veri analizi ile olası sorunların öngörüldüğü ve gerekli önlemlerin alındığı sistemlerdir. Şehirlerde her paydaşın, ister teknik olsun isterse olmasın, kendisine ait bir sistemi bulunmaktadır. Bu alt sistemlerin kendi içindeki verimi ve birlikte çalışabilme yetkinliği şehir yönetim sisteminin sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Şehirlerin, akıllı şehirler olarak değerlendirilebilmesi için bileşenleri ve alt sistemleri hakkında veri toplaması, veriyi kayıt altına alması, verileri işleyerek faydalı bilgi haline getirmesi, bu bilgilerden yeni şeyler öğrenmesi, yeni araç gereç ve yöntemler geliştirmesi ve gelecek için planlama yapması gerekmektedir (Ahvenniemi, Huovila, Pinto-Seppä, & Airaksinen, 2017; Dameri, 2017; Lombardi, Giordano, Farouh, & Yousef, 2012). Günümüzde hem teknolojik gelişmeler hem de bu gelişmelere erişimin artması, çok çeşitli kaynaklardan çok çeşitli ve görünüşte birbirleri ile bağımsız verilerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu verilerin toplanması, kayıt altına alınması, işlenmesi ve her paydaş tarafından anlaşılır ve kullanılabilir hale getirilmesi zamanımızın en büyük sorunlarından biridir. Bu sorunu çözmek için ağırlıklı olarak mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe kullanılan üç boyutlu (3-B) sayısal modelleme yöntemi kullanılmaktadır. 3-B sayısal modeller üzerine nesnelere ait fiziksel, mekanik, zamansal ve mekânsal özellikler eklenerek “dijital ikiz” diye tabir edilen modeller oluşmaktadır. Dijital ikizler, olası bir senaryo halinde gerçek nesnenin nasıl hareket edeceğini, hangi etkilere nasıl tepki vereceğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şehirler gibi çok sayıda paydaş ve alt sisteme sahip sistemlerde her alt sistemin kendisine ait bir dijital ikizi olması kaçınılmazdır. Şekil 2) (Biljecki, 2017; Xu & Coors, 2012). Çok sayıda dijital ikiz hem birleştirilme sırasında hem de veri aktarımında kendine özgü sorunlar çıkarmaktadır. Ayrıca, bu dijital ikizlerin kullanıcılarının farklı bakış açıları ve öncelikleri nedeniyle, temel girdiler açısından çok fazla fark olmamasına rağmen, çıktı formatlarında büyük farklılıklar vardır.



Şekil 2. Farklı Detay Seviyeli Dijital İkizler

Doğa kaynaklı veya insan kaynaklı bir olayın afet olarak değerlendirilebilmesi için gerçekleştiği çevreye olan etkisinin çok büyük olması gerekmektedir. Bahsedilen etkiler fiziki, sosyal, ekonomik veya çevresel olabilmektedir. Bu da demektir ki, afetlerin etkilerinin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için şehirlerin fiziki, sosyal, ekonomik ve çevresel alt sistemlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğa ve insan kaynaklı afetlerin ve krizlerin artmasıyla birlikte afet yardımı ve insani yardım ihtiyacı da hızla artmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, özellikle sismik riske odaklanarak akıllı şehir kavramları ve afet risk yönetimi alt sistemlerinden olan gerçek zamanlı karar verme mekanizmaları/erken uyarı sistemleri arasında bir çerçeve sunmaktır.

## Akıllı Şehirler Kavramı

İnsan refahını iyileştirmek ve daha kapsayıcı, dayanıklı ve sürdürülebilir toplumlar yaratmak için dijitalleşmeden yararlanan ve paydaşlarla etkileşime geçen şehirler, akıllı şehirler olarak tanımlanmaktadır (OECD, 2020). Bu tanım, yukarıda belirtilen “akıllı” tanımıyla eş güdümlü olarak, dijitalleşme ve dijital inovasyonun kendi başlarına bir son olmadığını, kapsayıcılığı, sürdürülebilirliği ve baş edebilirliği arttırmak suretiyle, insanların yaşam standartlarını arttırmayı öngörüldüğünü vurgulamaktadır. Akıllı şehirlerin yaşam standartlarını iyileştirmek için kullandığı yöntemler dört ana kategoride

toplanabilir. Bunlar veri toplama, analiz, iletişim ve eylemdir (Şekil 3).

Akıllı şehirler ile paydaşları arasındaki etkileşim tek taraflı değildir. Bu demektir ki, paydaş hem şehirden işine yarayacak bilgileri almakta hem de geri besleme vb. şekilde şehre yeni veri setleri sunmaktadır. Paydaşlardan toplanan bu veriler genellikle analiz yapılmadan bir anlam ifade etmezler. Veri setlerinin bilgiye çevrilmesi, bu bilginin de anlaşılır bir şekilde betimlenmesi gerekmektedir. Betimlemenin infografik olması ise bilginin herkes tarafından kolayca anlaşılır hale gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 3. Akıllı şehirler tarafından kullanılan başlıca yöntemler.

## Kent Bilgi Yönetimi

Kent Bilgi Yönetimi Sistemleri (KBYS), kullanıcılarına şehirleri doğru, veri odaklı temsil etmelerini sağlayan, parametrik, 3B model tabanlı ve infografik süreçlerdir. KBYS, bütün kullanıcılar için, veri kayıplarını en aza indirmek, birden fazla kullanıcıya hitap eden analiz araçlarının oluşturulması, kullanıcılar arası iş birliği tanımları ve araçlarının belirlenmesi, kullanıcılar arası risk yönetimi ve paylaşımı gibi konularda yardımcı olan bir takım belirli kurallar önermektedir. Ayrıca hem girdiler hem de çıktılar açısından düzgün bir yapı oluşturduğundan veri tekrarlarını engellemektedir.

KBYS'lerde dijital ikizler, paydaşlara ait veri setleri ile zenginleştirilir. Bu veri setleri grafiksel veya tablolar şeklinde olabilmektedir.

## Envanterler

Afet riskine maruz kalan varlıkların envanteri, risk değerlendirmelerinin ve tehlike karakterizasyonunun ve kırılganlığın önemli bir parçasıdır. Herhangi bir bölge için bir etki senaryosunun değerlendirilmesi, bir dizi modelin ve ilgili bölgesel verilerin, yani tehlike,

kırılganlık ve maruz kalma modelleri ve verilerinin göz önüne alınmasını gerektirir. Maruziyet modelleri, nüfus dağılımı ve maruz kalan varlıkların ekonomik değeri hakkında bilgi veren, yapıların türü ve doluluk ile ilgili bina envanterini dikkate alır. Güvenilir bir bina stoğu envanteri, insanlar ve yapılar üzerinde beklenen etkiye ilişkin sismik risk değerlendirme kararlarını bilimsel olarak desteklemek için de önemli bir araçtır (Cacace, Zuccaro, de Gregorio, & Perelli, 2018). Yapı stoğu envanterleri ayrıca, uygun hasar modeli seçimi için de elzemdir (Calvi et al., 2006). Bir şehir, bölge veya ülke için bir deprem hasarı modeli oluşturmak, diğer şeylerin yanı sıra, bina stoğu ve altyapı maruziyetine ilişkin veri tabanları oluşturmayı içerir. Daha basit kırılganlık modelleri, binaları yanal yüklerle karşı dirençlerine ve sistemin malzemelerine göre sınıflandırır (Grünthal, 1998). Ancak, ilgili bina özellikleri hakkında ek bilgiler, örneğin; inşaat yaşı, kat sayısı veya yatay sistem tipi, dikkate alınır ise kırılganlık modelleri daha zengin hale gelebilmektedir (Lagomarsino & Cattari, 2013; Lagomarsino & Giovinazzi, 2006; Vicente, Parodi, Lagomarsino, Varum, & Silva, 2011). Bu bağlamda, KBYS'lerde şehir paydaşlarına ait tüm bilgilerin ortak bir potada kullanılması ve kırılganlık modelleri seçiminde kullanılması açısından, afet riski değerlendirmelerinde önemli rol oynar.

## Afet Risk Azaltımı

Afet riski formülize edilmesinde, tehlike ( $H_{ah}$ ), maruziyet ( $E_a$ ), kırılma ( $V_{ah}$ ) ve baş edebilirlik ( $R$ ) olmak üzere, dört ana faktör bulunmaktadır.

$$R_{ah} = H_{ah} \times E_a \times V_{ah} \times 1/R \quad (1)$$

Bu denklemde tehlike, potansiyel olarak zararlı olayların büyüklüğü ve sıklığıdır. Tehlike çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Maruziyet, potansiyel tehlike kaynağının, üzerine etkisini göstereceği sistem ve alt sistemlere olan mesafesi ve bu etki alanında bulunan alt ve üst yapılar olarak değerlendirilebilir. Kırılma, toplulukların tehlikelerin etkisine karşı savunmasızlığını artıran fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel faktörlerden kaynaklanan bir dizi koşul ve süreçlerdir. Baş edebilirlik ise potansiyel olarak tehdit altındaki bir sistem, topluluk veya toplumun, kabul edilebilir işleyiş ve yapıyı elde etmek ve sürdürmek için direnç veya değişim yoluyla uyum sağlama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bütün bu tanımlar göz önüne alındığında afet riski azaltılması için ya kırılma azaltılmalı ya da baş edebilirlik artırılmalıdır.

Risk seviyesinin hatasız bir şekilde değerlendirilmesi, büyük ölçüde sahadan elde edilebilen verilerin miktarına ve kalitesine ve insanların risk algısının değişkenliğine bağlıdır. Sahadan elde edilen verilerin doğru bir şekilde işlenmesi ve her paydaşa hitap eder şekilde sayısal hale getirilmesi gerekmektedir.

Akıllı şehirlerde afet risk azaltılmasında yakın gerçek zamanlı karar verme mekanizmaları ve erken uyarı sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu sistemler, bir afet anında KBYS'lerine gerçek zamanlı tehlike veri setini sağlayarak ve aynı zamanda KBYS'de mevcut envanter bilgisini kullanarak, karar vericilere potansiyel riskin azaltılmasına yönelik yol göstereceklerdir. İlerleyen kısımlarda bu sistemler örneklenilerek açıklanacaktır.

## Gerçek Zamanlı Karar Verme Algoritmaları ve Erken Uyarı Uygulamaları

Modern veya Bütünleşik Afet Yönetiminde özellikle afetin iyileştirme evresindeki yapılan çalışmalarından sonra devam etmesi gereken uzun dönem çalışmalar zarar azaltma ve hazırlık evreleri olarak adlandırılmaktadır. Her iki evrede yapılması gereken çalışmaların önemli özelliği olası bir afet öncesi yapılacak çalışmalarla oluşacak can kayıplarını, yaralanmaları, sakat kalmaları ve ekonomik kayıpları azaltacak çalışmalara yoğunlaşmaktır. Bu çalışmaların tümü Risk Yönetimi başlığı altında yapılacak çalışmalar olup, özellikle Birleşmiş Milletler Hyogo Çerçeve Eylem Planında (1995-2005) ve Sendai Çerçeve Eylem Planında (2015-2030) afete maruz kalan tüm ülkelere afetin asıl zararını azaltan çalışmaların mutlaka tüm paydaşların ve yerel halkın birlikte yürütmeleri gerektiğini söylemektedir.

İllerde olası afetlerin zararını azaltmanın en önemli ayağı, akıllı teknolojiler kullanarak bu çalışmada tanımlanan Şehir Bilgi Sistemlerinin oluşturulması ve bu bilgi sistemine özellikle afet zararlarını azaltacak uygulamaların birer bileşen olarak yer almasının sağlanmasıdır. Şehir Bilgi Sisteminde özellikle halen ülkemizde 2021 yılında yürürlüğe giren İl Risk Azaltma Planlarının (İRAP) entegrasyonu ve bu planlarda

yer alan önemli zarar azaltıcı faaliyetlerden birisi olan Erken Uyarı Sistemlerinin neler olduğu, nasıl kurulması gerektiği ve bilgi sisteminde kullanılarak nasıl faydalı olacağı konusu tartışılacak ve bazı iyi uygulama örneklerine değinilerek özellikle akıllı şehir uygulamaları geliştirme çabası içerisinde olan afete maruz şehirler ve belediyeler için bir yol haritası çıkarılmasına çalışılacaktır.

## Akıllı Şehirlerde Erken Uyarı Sistemleri

Erken uyarı sistemleri bir olay, acil durum veya afet olmadan yapılan ölçümler ve akıllı teknolojiler ve büyük veri kullanılarak oluşacak can kayıplarını ve hasarı azaltacak sistemler olarak tanımlanır. Ancak, bu her afet türü için geçerli olmayan bir tanımdır. Akıllı şehirlerde kullanılan erken uyarı sistemleri güvenlik amaçlı, meteorolojik amaçlı, deprem ve tsunami uyarısı amaçlı kullanılmaktadır. Özellikle güvenlik ve meteorolojik uyarı amaçlı kullanılan erken uyarı sistemleri ile deprem ve tsunami erken uyarı amaçlı sistemler birbirinden oldukça farklıdır. İlk grupta olay olmadan yapılan ölçümler ve verilere dayanılarak bir uyarı verilirken; ikinci grupta ise olay olmadan herhangi bir uyarı verilememektedir. Ancak, literatürde ikinci grup içinde yapılan uyarı bu şekilde (early warning) olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada şehirlerde kullanılan güvenlikle ilgili erken uyarı sistemlerine değinilmeyecek olup çok daha fazla insan hayatını etkileyen meteorolojik, deprem ve tsunami erken uyarı sistemlerine değinilecektir.

## Meteorolojik Erken Uyarı Sistemleri

Dünyada son dönemde güncel konulardan birisi iklim değişikliği, küresel ısınma ve bu iki olay sonucu oluşan meteorolojik olayların düzeninin bozulması olmuştur. Özellikle meteorolojik şartlardaki değişkenlik ani yağışlara, doluya, hortumların oluşmasına, aşırı sıcak ve kuru havalarda sürmesine, orman yangınlarının oluşmasına, elbette yağmur ve kar yağışındaki değişimlere sebep olmaktadır. Birçok ülkede kuraklık önemli bir tehdit olarak yer almaktadır. BM, dünyada afetlerin sayılarının ve etkilerinin şehirleşmeye paralel olarak arttığını belirtmiştir. Bu tür ani meteorolojik olayların yapılan uydularla gözlemleri, meteoroloji balonları, çeşitli noktadaki meteorolojik gözlem ve algılayıcılarla tahmin edilerek oluşacak olayların etkisini azaltmak meteorolojik erken uyarı sistemlerinin ana hedefidir. Özellikle gerek bulut gözlemleri gerekse nem, basınç ve rüzgâr gücü ölçümleri yapılan meteorolojik modellemelerle bu olaylar meydana gelmeden tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bu tür çalışmalar meteorolojide oldukça yaygın olan ve sürekli geliştirilmesine çalışılan olay öncesi erken uyarı sistemleridir. Bu çalışmalar sayesinde birçok meteorolojik olay afete dönüşmeden halka bildirilmekte veya erken uyarı sayesinde olası afetin etkileri ve can kayıpları önemli ölçüde azaltılmaktadır. Nitekim bu tür olaylara en önemli örnekler özellikle ABD'de meydana gelen kasırgalar ile Japonya'da meydana gelen tayfunlardır. Bu güçlü rüzgarlar önceden tahmin edilerek olası güzergahları belirlenebilmekte ve bu bölgedeki evler, yapılar güvenli hale getirilmeye çalışılmakta ve büyük bir nüfus güvenli bölge ve yapılara tahliye edilerek olası can kayıpları ve yaralanmaların sayısı oldukça azaltılmaktadır. Ülkemizde yapılan bazı bu tür uygulama örneklerine değinilecektir.

## Bazı İyi Uygulama Örnekleri

Ülkemizde meteorolojik uyarılar Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan ölçümler, yapılan modellemeler ve analizler sonucunda yapılarak halka duyurulmaktadır. Ancak, illerde bu tür hava olayların bir mahalden diğerine büyük değişiklik gösterebileceği için yerel yönetimlerinde bu alanda bazı tedbirler alması ve MGM ile ortakla yapılacak bir protokolle veri toplaması ve vatandaşlarına duyuruda bulunması gerekmektedir. Bu kapsamda illerde kurulması gereken erken uyarı sistemleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Meteorolojik Erken Uyarı Sistemleri
2. Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale Sistemi
3. Tsunami Erken Uyarı Sistemi

Meteorolojik erken uyarı sistemleri, hava hareketleri neticesinde meydana gelen aşırı yağmur, buzlanma, su baskını ve sel gibi yağışlarla ilgili olayların zararını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Aynı şekilde düzensiz şehirleşme, çevre kirliliği, küresel ısınma ve denetimsiz gazların havaya karışması sonucunda sinsi ancak ölümcül olabilecek hava kirliliğinin tespit edildiği iyi uygulama örneklerine değinilecektir:

### 1.1. Hava durumu erken uyarı sistemleri

Bu tür uyarı sistemleri öncelikle MGM tarafından sağlanan bazı veriler ile il ve ilçelerde kurulan uydu sistemleri ile rüzgâr bilgileri, diğer meteorolojik ölçümler ile yapılan hava tahmin modellemelerine dayanmaktadır. Önemli olan bu tür bir anlaşma sağlanarak veri merkezlerinden belirli bir protokolle veri temini, iyi bir bilgisayar ve yazılımla hava tahmin modelleme algoritmalarının çalıştırılması ve tüm bu sonuçları yorumlayacak meteoroloji uzmanlarından oluşan bir ekibin çalıştırılması ile mümkündür. Bu sayede ilde olacak her türlü meteorolojik kökenli olaylar sürekli izlenerek olası bir acil durum veya afet öncesi gerek belediyenin ilgili birimleri teyakkuza geçirilerek, gerekse halka bilgi sağlanarak olası olumsuzlukların önüne geçilmesi planlanmalıdır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) 2000 yılında kurulmuş olup, 2007 tarihinden beri bünyesinde bu çalışmaları sürdürmekte ve halen meteoroloji servisinde 3 uzman hizmet vermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile AKOM arasında yapılan protokol çerçevesinde 2005 yılında 10 adet Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (AWOS) kurulmuştur. Bu istasyonlardan alınan veriler ile mevcut hava koşulları ölçülmekte ve bu bilgiler kullanılarak ileriye dönük hava tahmini yapılmaktadır.

Yapılan gözlemler ile olumsuz hava koşullarının etkili olacağı bölgelerde, ilgili birimler tarafından gerekli tedbirlerin önceden alınması sağlanmaktadır.

Bu istasyonlarda ölçülen meteorolojik parametreler:

- Rüzgâr hızı
- Rüzgâr yönü
- Hava sıcaklığı
- Bağıl nem
- Hâlihazır hava, yağış tipi, yoğunluğu ve görüş mesafesi

- Metrekareye düşen yağış miktarı
- Atmosfer basıncı
- Toprak üstü sıcaklığı
- Toprak üstü nemi
- Toprak Su İçeriği

AKOM'un meteoroloji servisinin sürekli yaptığı takip ve ölçümlerle herhangi bir olumsuzluk belirlendiği anda gerek kısa mesaj (SMS) gerekse e-posta ve elektronik ortamda yetkililer ve vatandaşlara uyarı bilgileri dağıtılmaktadır. Birçok olayda bu servisin sağladığı hizmet sayesinde ani meteorolojik olayların afete dönüşmesi engellenmiş ve olası etkileri önemli derecede azaltılmıştır. Benzer bir şekilde bu bilgiler AKOM tarafından geliştirilmeye devam eden Afet Yönetim Bilgi Sisteminin (AKOMAYS) bir alt modülü olarak Meteoroloji Modülünde yer almakta ve olası bir afet öncesi ve anında ilgili birimler arasında anlık veri ve bilgi paylaşımını sağlamaktadır. Yukarıda ilk bölümde anlatılan Şehir Bilgi Sistemi'nin bir alt bileşeni olarak afetle ilgili tüm çalışmalar AKOMAYS içinde yer almakta ve sistem bu şekilde güncellenmeye devam edilmektedir.

### 1.2. Buzlanma erken uyarı sistemleri

Şehir içi ulaşımda özellikle önemli köprü ve viyadüklerde sonbahar ve kış aylarında oluşan gizli buzlanma şehir içi ulaşımı aksatacak boyutlarda zincirleme trafik kazalarına yol açabilmektedir. Bu tür durumlar özellikle yoğun kar yağışının olduğu durumlar ile henüz meydana gelmese de kışın oluşacak büyük bir deprem sonrasında arama-kurtarma ve yardım faaliyetlerinin önemli ölçüde aksamasına yol açabilecektir. Bu tür durumları engellemek amacıyla özellikle önemli karayollarında yollara kurulan algılayıcılar ile anlık sıcaklık ölçümleri yapılarak alınan değerleri veri merkezine iletilmekte ve akıllı bir yazılım ile bu bölgeler belirlenerek trafik duyuru panoları, online aplikasyon ve farklı ortamlardan ilgililer ve bu yolu kullanan ve kullanacak olan sürücülere uyarılar yapılmaktadır. Buzlanma tespit edilen güzergâh ve noktalar ilgili birimlere iletilerek acilen bu durumu ortadan kaldıracak solüsyon veya tuzlama yapılmakta ve ilgili sesli ve ışıklı uyarı tabelaları buzlanma olmadan önceki bölümlere konulmaktadır. Yağış ve buzlanmanın ulaşım ağı üzerindeki olumsuz etkileri, kritik noktalara kurulan Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS) ile azaltılmaktadır. 2009 yılında AKOM tarafından 25 farklı noktada kurulan BEUS istasyonları, kış çalışmalarında sağladığı faydalar ve İstanbul'un genişleyen ulaşım ağı dikkate alınarak yaygınlaştırılmıştır. Halihazırda İstanbul'un ana ulaşım ağı üzerinde 60 adet BEUS sistemi bulunmaktadır. Sistem;

- Anlık yol ve hava durumu bilgilerinin DMS (Değişken Mesaj Sistemi), SMS ve internet vasıtası ile ilgililere iletilmekte,
- Ana ulaşım ağlarında oluşabilecek yağış ve buzlanmaların olumsuz etkilerini engellemek için, erken buzlanma zamanı ve kalınlığı tahmini ile yağış miktarı tespiti yapılmakta,
- Kar küreme araçlarının, buzlanma tahmin edilen bölgeye daha hızlı yönlendirilmeleri ve erken müdahaleleri sağlanmaktadır.

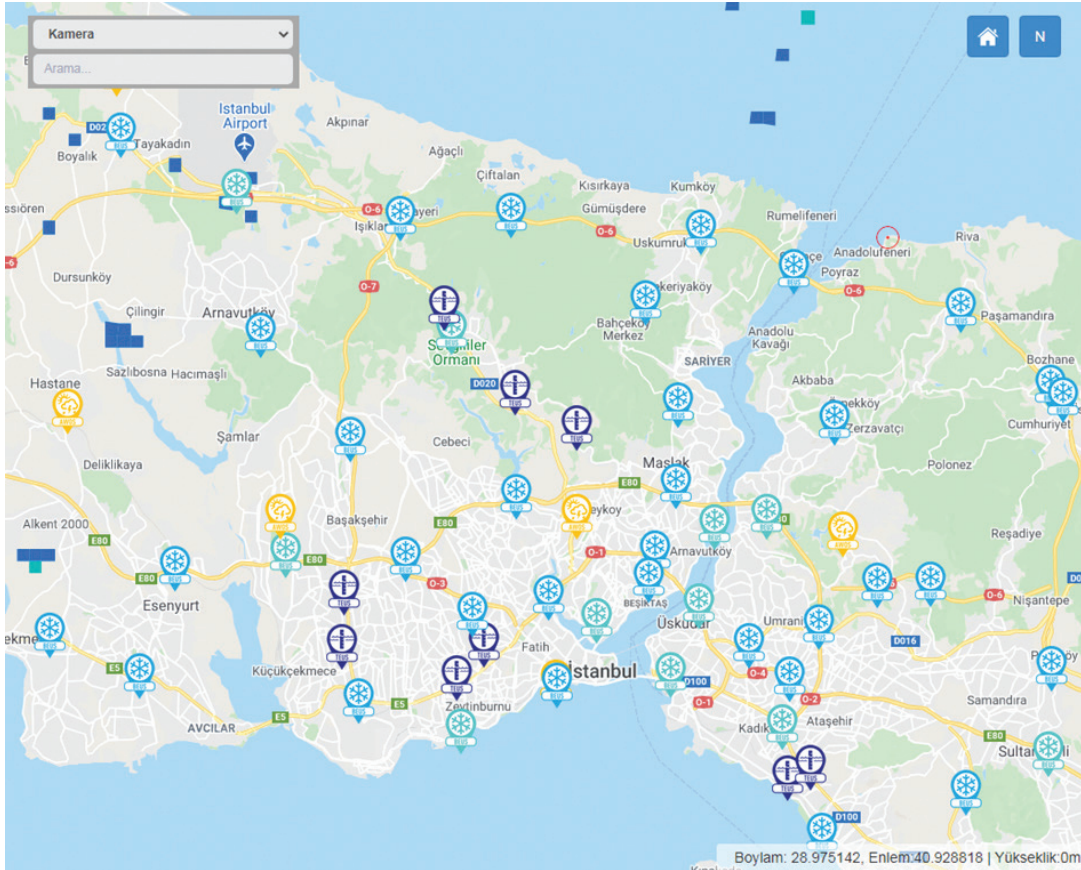
Enerji tasarrufu sağlaması ve örnek teşkil etmesi açısından projede alternatif enerji kaynakları (rüzgâr ve güneş enerjisi) kullanılmaktadır.

### 1.3. Taşkın erken uyarı sistemleri

Son dönemlerde gerek ülkemizde gerekse dünyada ani yağışlar şehirlerde seller oluşturmaya başlamış ve maalesef bu sellerde birçok insan hayatını kaybetmiştir. İstanbul'da yaşanan en son iki selden biri olan Ayamama deresi selinde 31 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 17 Ağustos 2019 yılında yaşanan selde ise 3 kişi boğularak ölmüştür. Selleri uyararak için kullanılan erken uyarı sistemlerden birisi meteorolojik erken uyarı sistemleriyken diğeri ise özellikle İstanbul'da bulunan kuru dereler üzerindeki köprü ve üst geçitlere kurulan taşkın uyarı algılayıcılarıdır. Bu algılayıcılar ile derelerdeki su seviyeleri ölçülerek tehlikeli bir seviyeye gelmeden önce gerekli uyarılar merkeze iletilerek ilgili birimlerin teyakkuza geçirilmesi sağlanmaktadır. Tehlike uyarısı benzer şekilde o güzergahı kullanacak sürücü ve

yayalara da farklı mecralarla duyurulmaktadır. TEUS (Taşkın Erken Uyarı Sistemi), 2009 yılında İstanbul'da yaşanan sel felaketi sonrası İstanbul Büyükşehir Belediyesi AKOM ve İSKİ tarafından kuvvetli yağışlar neticesinde oluşan sel ve taşkınlar sonucunda meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi amacıyla yönelik kurulmuştur. TEUS, meteorolojik uydu ve radar verileri, hava tahmin modelleri, akım gözlem istasyonları verileri vb. birçok veriyi kullanarak taşkın hesabı yaparak olası bir taşkını 1 ila 3 saat öncesinden derenin hangi noktasında taşacağı bilgisi ile birlikte ilgililere iletmektedir.

Şekil 4 ile gösterilen haritada 5 dere üzerine 10 adet akım gözlem istasyonu ile pilot proje olarak kurulan TEUS'un İstanbul genelinde şehir içinde kalmış derelere uygulanması için AKOM ve İSKİ ortak çalışmaları sürdürmektedir.



Şekil 4. İstanbul'da AKOM ve İSKİ iş birliği ile taşkın erken uyarı sisteminin kurulduğu dereler.

### 1.4. Hava Kalitesi Erken Uyarı Sistemleri

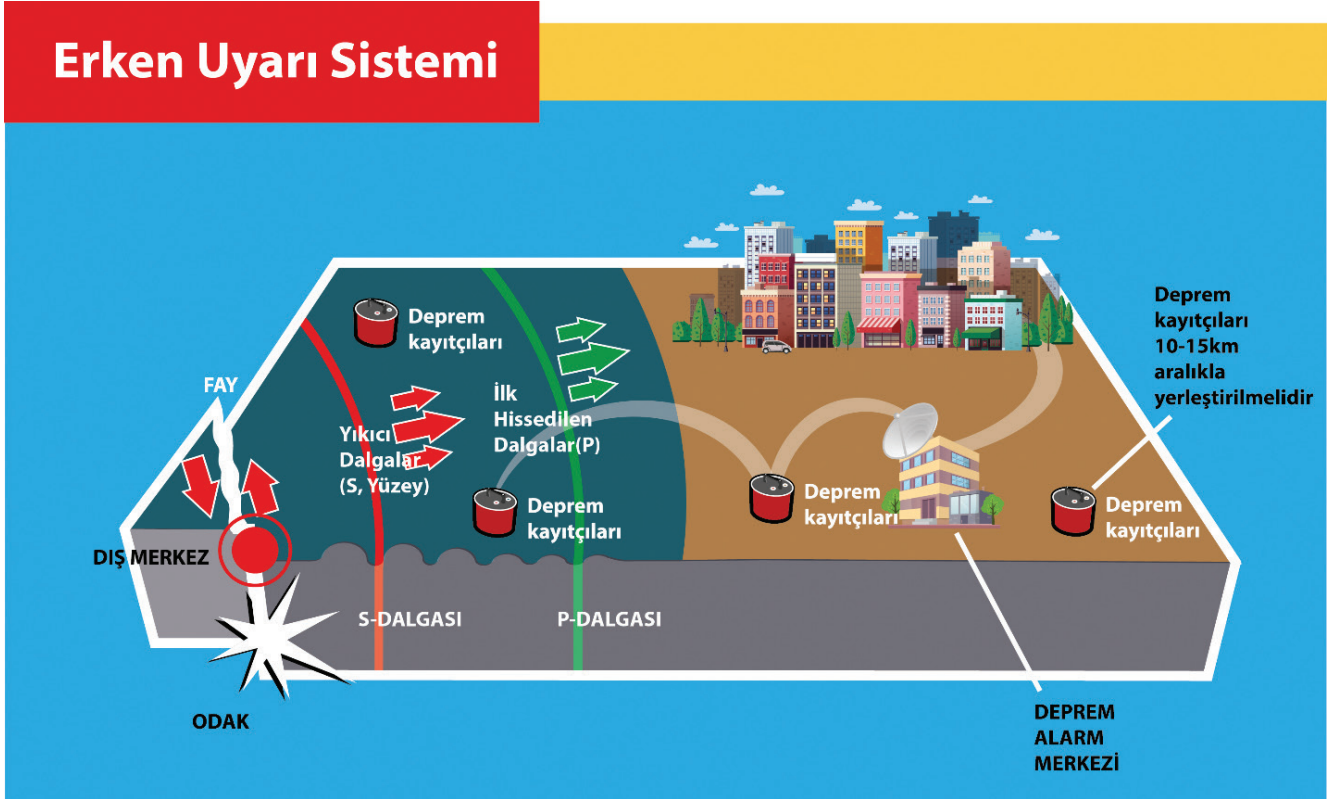
Özellikle şehirlerde yoğun egzoz gazı ve sanayi tesislerinde havaya yayılan kirleticiler şehrin hava kalitesini ölçmektedir. Sonbahar ve bahar aylarında oluşan sis ve pus olaylarında kirli havanın şehirde birikmesini sağlayarak insan sağlığını tehdit eden boyutlara getirebilmektedir. Bu nedenle özellikle şehirlerde mevcut havanın içeriği, oksijen oranı, CO2 ve havadaki zararlı partiküller ile kükürt vb. zehirli bileşenlerin sürekli ölçülerek olası tehlikeli durumlarda uyarılar

verilerek özellikle astım ve üst solunum yollarında problemleri olan vatandaşların ve bebeklerin dışarıya çıkmalarını engelleyecek duyarular yapılması gerekir. İstanbul'da zaman zaman bu ölçümler yapılmakta ama sürekli ve erken uyarı sistemi şeklinde çalışan bir sistem henüz kurulmamıştır. İBB bu konuda çalışmaktadır. Bu tür ölçümlere ait iyi bir uygulama örneği olarak Makedonya'nın Üsküp kentinde yapılan online ölçümler verilebilir. Ayrıca İBB 1985 yılından beri bu tür ölçümleri mobil ölçüm cihazlarıyla yapmaktadır.

## 2. Deprem Erken Uyarı Sistemleri

Ülkemiz son 122 yılda meydana gelen hasar yapıcı depremler açısından dünyanın en tehlikeli dördüncü ülkesidir. Her yıl ortalama 1000'e yakın insanımız depremlerden hayatını kaybetmekte ve milyonlarca lira ekonomik kayıp oluşmaktadır. Depremi önceden tahmin etmek dünyada 1950'li yıllardan beri yoğun olarak sürdürülen çalışmalar olmasına rağmen bu yönde önemli bir ilerleme kaydedilememiştir. Bu çalışmalar halen dünyada araştırma safhasında devam eden çalışmalaradır. Bu çalışmalar sürerken dünyanın belli başlı tektonik kuşaklarında yıkıcı depremler olmaya devam etmekte ve büyük ölçüde maddi kayıp ve can kaybına yol açmaktadır. Örneğin 2011 yılında meydana gelen Tohoku depremi (Mw9,0) ve sonrasında oluşan tsunami 18000'den fazla kişinin hayatını kaybetmesine ve 220 milyar dolarlık bir öz kaynağın kaybına yol açmıştır. Benzer şekilde ülkemizde meydana gelen son deprem Elâzığ depremi olup 53 kişinin ölüme yol açmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde ise 18343 kişi ölmüş, anlık öz kaynak kaybı ise 12 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir (AFAD web sitesi). Ayrıca, aletsel büyüklüğü 7,0 olan bir depremin artçıları en az 2 yıl sürmekte ve hissedilir artçı deprem (Mw4,0 ve daha büyük depremler) sayısı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde 130 kadardır (Kandilli Rasathanesi ve Deprem

Araştırma Enstitüsü web sitesi). Bu deprem ve artçı depremleri bölgede gerek yarattığı can kayıpları gerekse ekonomik kayıp olarak önemli bir milat oluşturmuştur. Depremlerin zararını azaltabilecek çalışmaların en başında deprem erken uyarı sistemi ve acil müdahale sistemleri gelmektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere deprem ve tsunami erken uyarı sistemleri diğer bölümlerde anlatılan meteorolojik erken uyarı sistemleri gibi olay öncesinde bir uyarı sağlamayan; ancak olay olduktan sonra devreye girebilen sistemlerdir. Bu konu toplumda en çok karıştırılan konu olup deprem erken uyarı sistemlerini deprem önceden belirleme sistemi gibi algılanması çok yaygın ve yanlış bir kanıdır. Aşağıda Şekil 5'te verilen grafikte gösterildiği üzere şehrin farklı noktalarına kurulan deprem kayıtçıları ile depremin hız ve ivme bilgisi çevrimiçi kaydedilerek depremde oluşan ilk dalga olan P dalgasından depremin oluş yeri, büyüklüğü ve ivmesi elde edilerek; şehre yıkıcı dalgalar olan S ve yüzey dalgaları gelmeden elektrikleri kesmek, doğalgaz vanalarını kapatmak; tren, metro vb. hareketli sistemleri yavaşlatmak veya durdurmak ile büyük katlı yapılarda asansörleri katlara çekmek, elektronik turnikeleri açarak güvenli tahliyeyi sağlamak ve büyük sanayi işletmelerinde kritik makine ve teçhizatı durdurmak veya park etmek amacıyla sinyal oluşturulmasına denir.



Şekil 5. Deprem erken uyarı sisteminin şematik gösterimi. Deprem iç merkezi odak olarak gösterilmiştir. En hızlı ilerleyen dalgalar ilk dalga (P) olarak, daha düşük hızla ilerleyen ikincil dalgalar (S) ve üçüncül olarak en yavaş dalgalar yüzey dalgası olarak gösterilmiştir (Barış vd., 2022' den alınmıştır).



Deprem erken uyarı sisteminde faya çok yakın ve şehir içi ve civarında yerleştirilen hızölçerler (sismometre) ile ivmeölçerler (kuvvetli hareket kayıtçıları) depremleri anlık olarak izlemektedirler. Herhangi bir sarsıntı kaydettiklerinde veri merkezinde bulunan akıllı bir yazılımla ilk dalgaların en başındaki 3 saniyelik bölümden depremin yeri ve büyüklüğünü belirleyerek, ivme istasyonlarında kaydedilen ivme değerlerine göre otomatik olarak alarm sinyali üretmektedirler. Bu sistemde üretilen alarm seviyesi meydana gelen depremin büyüklüğüne, şehirden olan uzaklığına, depremin derinliğine ve depremin o istasyonlarında ölçülen ivme değerlerine göre farklı seviyelerde alarm sinyali üretmekte ve farklı şekillerde reaksiyonlar veya operasyonlar başlatılmaktadır. Örneğin ivmenin çok yüksek olduğu bölgelerde doğalgaz vanalarını kapatmak ve çelik borulardaki gazı havaya boşaltmak; tren, metro ve hızlı treni durdurmak kararı alınırken; ivmenin orta seviyede olduğu bölgelerde sadece doğalgaz vanasını kapatmak veya trenlerin hızını yavaşlatmak yeterli olabilir. İvmenin düşük olduğu yerlerde herhangi bir doğalgaz kesilmesine gereksinim duyulmayabilir. Bu tür eşik değerler ve seviyeler bu sistemi kullanan her kurum ve işletme için ortaklaşa karar verilerek belirlenmelidir. Özellikle bu tür deprem erken uyarı sistemleri Valilik bünyesinde çalışan İl AFAD müdürlükleri veya AFAD tarafından işletilmesi gereken sistemlerdir. Bu tür sistemlerle elde edilen sinyallerin yanlış bir alarmında şehrin elektriğinin kesilmesi veya doğalgaz vanalarının kapatılması gibi çok büyük sorunlar yaratacak durumlar için yasal bir otoritenin kararı ve sorumluluğu gerekmektedir. Bu nedenle bu tür sistemler AFAD denetiminde işletilmelidir. Ancak, büyük sanayi kuruluşları, tehlikeli madde depolayan veya işleyen fabrikalar, tesisler ise kendi bünyelerinde kuracakları ivmeölçerlerin sinyalini AFAD tarafından işletilen sisteme entegre ederek alarm sinyali oluşturulduğunda kullanıcı olarak bu sistemin bir parçası olmalıdırlar. Benzer şekilde il ve ilçe belediyeleri illerinde kurulacak bir deprem erken uyarı sistemine satın alacakları cihazları belediye hizmet binaları, önemli köprü, viyadük veya üst geçit gibi kritik yapıları konumlandırarak erken uyarı sisteminin güvenilirliğini ve çözüm kalitesini artırma çabalarına ortak ve destek olmaları önerilir. Merkezi hükümet, yerel yönetimler ve büyük işletmelerin ortaklığı ile o il ve ilerde de o bölge veya ülke genelinde kurulacak deprem erken uyarı sistemindeki istasyon sayısı artarak sistemin çok daha güvenli deprem alarmı üretmesi sağlanabilecektir. İlerleyen bölümde anlatılacak olan acil müdahale sistemi artan deprem istasyon sayısı ile çok daha ayrıntılı ve hızlı hasar dağılımının belirlenmesine sağlayacaktır. Dolayısıyla, hasar gören köprü, kapanan yollar veya yıkılan üstgeçit veya köprü bilgisine çok daha hızlı erişilerek alternatif güzergâhların belirlenerek acil müdahalenin çok daha hızlı yapılmasını sağlayarak olası can kayıplarını azaltacaktır. Halen ülkemizde kurulu bulunan iki adet deprem erken uyarı sistemi İstanbul ve Bursa illerinde çalıştırılmaktadır. İlerleyen bölümde bu uygulamalara kısaca değinilecektir.

Deprem acil müdahale sistemi ise erken uyarı sistemi ile entegre çalışan bir sistem olup olası bir depremde şehir içinde meydana gelebilecek hasar dağılımının hızlı ve ayrıntılı bir şekilde elde edilmesini sağlar. Şehir içinde kurulu bulunan ivmeölçerler ile elde edilen

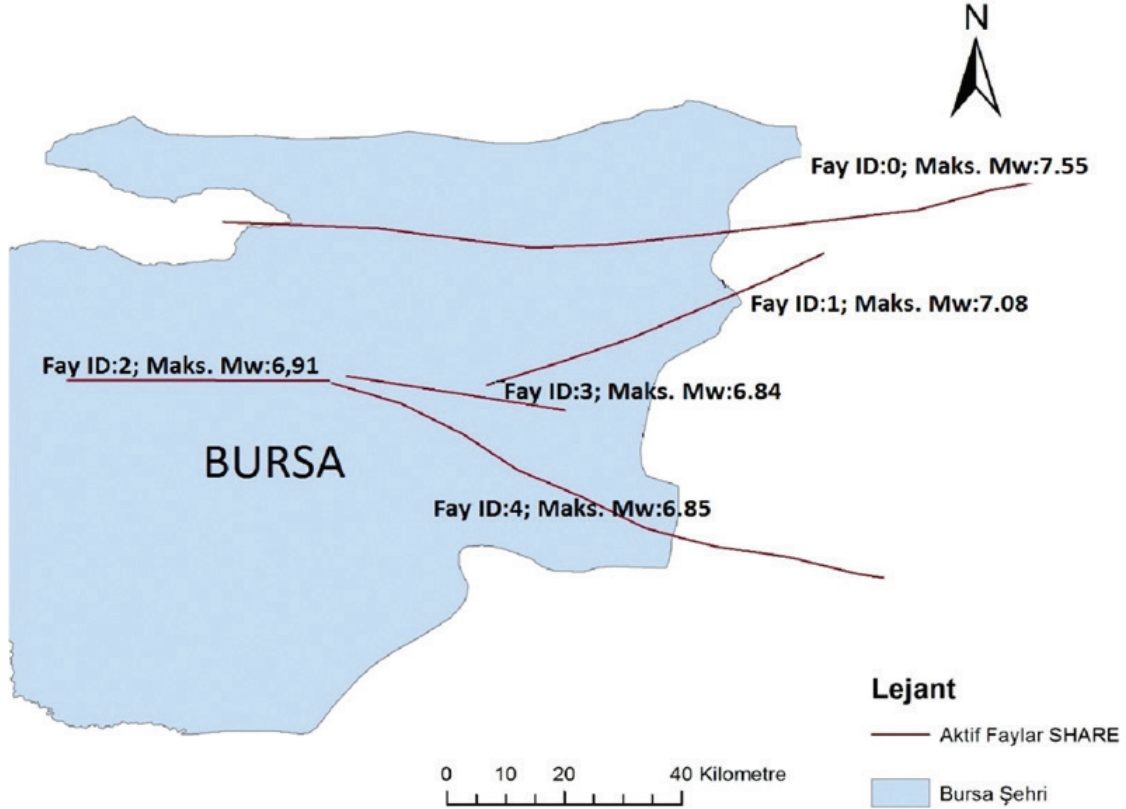
ivme değerleri, zemin bilgisi ve şehrin bina envanteri bir araya getirildiğinde kullanılan bir algoritma ile şehirde oluşabilecek hasar çok hızlı ve ayrıntılı bir şekilde elde edilebilmektedir. Acil Müdahale Sistemi, şehrin tüm ayrıntılı hasar dağılımını afeti yöneten valinin kullanımına sayısal haritalar olarak sunarak ağır hasarlı bölgeleri sokak sokak mahalle mahalle göstermekte; kapanan yollar ve göçen körü ve viyadük bilgisi ile yangınların oluştuğu yapıların bile hızlı bir şekilde belirlenebilmesine olanak sağlayan sistemlerdir. Bu sayede ilk müdahalecilerin hasarın en yoğun olduğu bölgelere alternatif güzergâhlardan sevk ederek acil müdahale sayesinde olası ölümlerin ve ekonomik kayıpların oranı azaltılabilmektedir. Bu konuda AFAD RED depremin şiddetini ve ivme değerini hesaplamaktadır. Deprem erken uyarı sistemimiz, bölge için elde edilecek zemin ve bina envanteri ile entegre edilerek ileriki dönemde Bursa için bir acil müdahale sistemine geçilmesi planlanmaktadır. Bu sistem halen İstanbul için yapılmıştır.

### 2.1. Doğalgaz Kesme Sistemleri

Şehirlerde kurulu bulunan doğalgaz dağıtım şirketleri hasra yapıcı bir deprem anında çelik gaz dağıtım borularında oluşacak bir kırılma veya kopma neticesi meydana gelecek patlama ve yangınlar ile hasarlı yapıların ana bölge regülatörlerine vereceği zararlı oluşabilecek yangınların önüne geçebilmek amacıyla kuvvetli bir deprem sırasında ana regülatörlerdeki vanaları kapatarak, gerektiğinde çelik borulardaki basıncı düşürerek gazı havaya boşaltma neticesinde oluşabilecek patlama ve yangınların önüne geçmeyi hedeflemektedir. Bu tür sistemlerde özellikle ana regülatörler olduğu noktalara kurulan ivmeölçerler vasıtasıyla bu noktaların sürekli sarsıntı durumu izlenmekte ve olası büyük bir deprem sonrası belirlenen eşik seviyelerin aşıldığı ivme durumlarında doğalgaz vanasını kapatmak, gazı havaya boşaltmak veya ivmenin düşük olduğu durumlarda ise herhangi bir güvenlik önlemi almadan gaz verme hizmetini sağlamaya devam edecek bir kara mekanizması oluşturma çabası içindedirler. Temel amaç, olası hasar yapıcı bir deprem sırasında şehrin tamamının doğalgazını kesmek yerine ana bölge regülatörlerine özgü ivme değerlerini belirleyerek eşik ivmelerin aşıldığı yani ağır hasarın beklendiği bölge regülatörlerini kapatarak bu regülatörlerin belirli bir yöresindeki vanaları kapatma, ivmemin düşük olduğu yani hasar veya patlama riskinin az olduğu bölgelerde ise gazı kesmeyerek hattın gaz akışını bozmayacak şekilde devam etmesini sağlamaktır. Bu durum özellikle soğuk ve karlı havalarda büyük önem arz etmektedir. Öte yandan olası bir afet durumunda şehrin tüm doğalgaz vanalarının kesilmesi afet sonrası gazın açılması için gereken teknik kontrollerin tek tek abone abone yapılması gerektirdiğinden çok uzun süren bir iş yükü oluşturacak belki aylarca bu şehre gaz verilemeyecektir. Bu nedenle özellikle bu tür sistemlerde herhangi bir yanlış alarm neticesi oluşacak gaz kesme işleminin mutlaka birden fazla kriterle karar verilmesi ve sistemin algoritmasının çok hassas bir şekilde şirket uzmanları ile birlikte oluşturulması gerekmektedir. Tıpkı deprem erken uyarı sistemi gibi bu tür bir sistemde halen iki farklı şehrimizdeki doğalgaz dağıtım şirketi tarafından hayata geçirilmiştir. Önerimiz, özellikle aktif fay kuşakları üzerinde yaşayan

diğer tüm şehirlerimizdeki doğalgaz dağıtım şirketlerinin de kendi kentlerinde benzer sistemleri devreye alarak abonelerinin can güvenliğini ve şebekelerinin emniyetini ve altyapısını korumaya çaba göstermeleridir. İlerleyen bölümde bu tür bir sistemin iyi uygulama örneği kısaca anlatılacaktır.

Erken Uyarı ve Doğalgaz Kesme Sistemlerine Ait İyi Uygulama Örneği Bursa, deprem riski oldukça yüksek olan ve şehri tehdit eden büyük deprem üretebilecek 5 fayın ortasında ve üzerinde bulunan bir kenttir (Şekil 6).

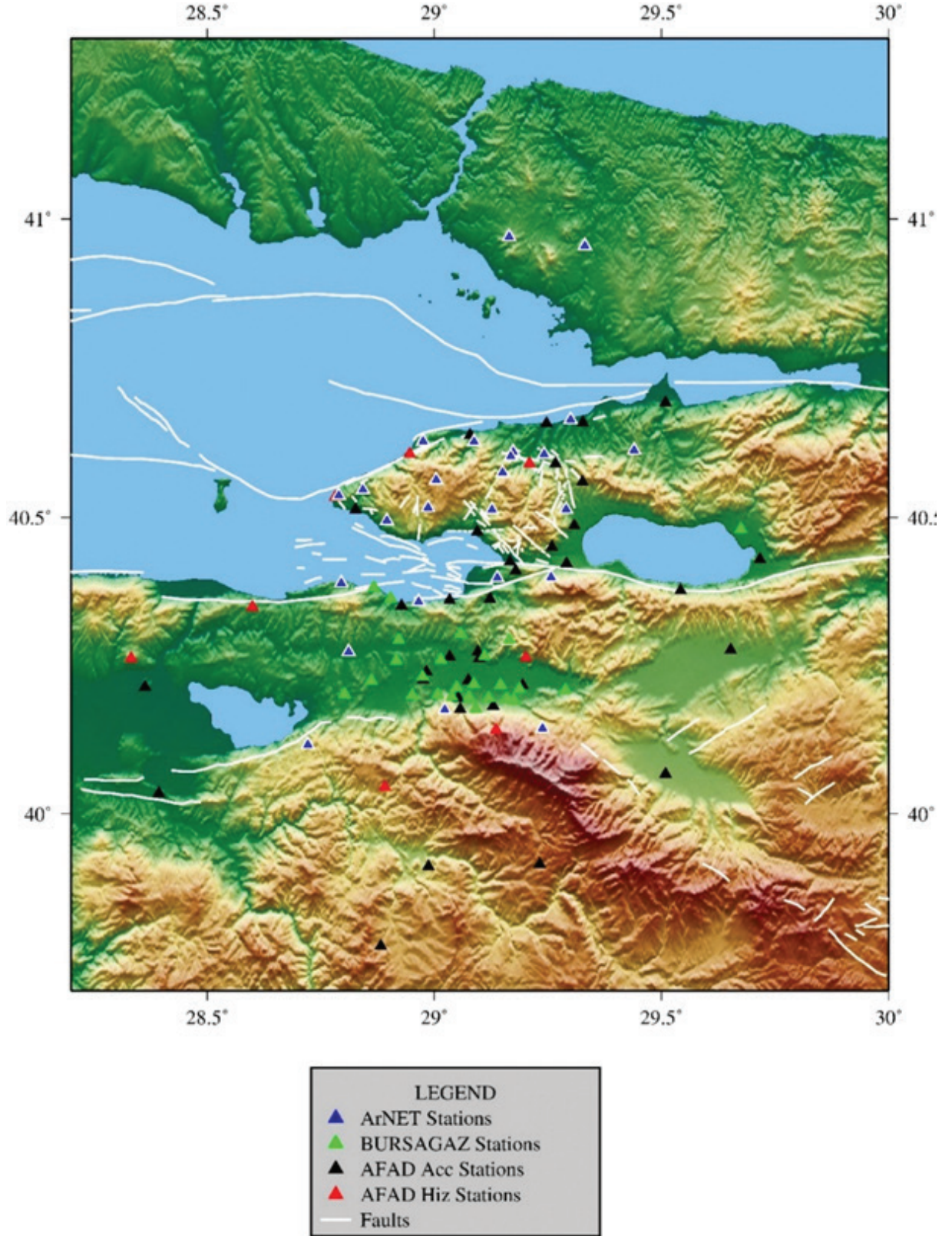


Şekil 6. Bursa aktif fay haritası ve oluşabilecek bir depremde beklenen en büyük aletsel büyüklükler (SHARE Projesi, 2013).

Deprem zararlarını azaltmak amacıyla Bursagaz AŞ, 2013 yılında olası bir hasar yapıcı depremde oluşabilecek patlama ve yangınların önüne geçmek amacıyla bir acil uyarı sistemi kurmayı planlamış ve bu istem için gereken adımları atarak ilk evrede şehir içindeki fayın etrafına 10 adet, daha sonra yine farklı fayların yakın civarındaki bölge regülatörlerine 15 adet ivmeölçer kurduşturmuştur. Acil uyarı sisteminde bölge regülatörlerindeki kurulan ivmeölçerler Bursagaz AŞ merkezine kurulan bir donanım ve algoritmaya bu verileri sürekli olarak göndermektedir. Sistem ayrıca KOÜ YUBAM tarafından Bursa ve civarında işletilen ArNET deprem ağına ait 27 deprem istasyon verisi ve 6 adet ivmeölçer verisi ile bütünlüğe hale getirilerek, Bursa ve 200 km civarında olabilecek her seviyedeki depremi kaydetmeye, depremlerin yerini ve büyüklüğünü otomatik olarak çözecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan algoritma ise kaydedilen her eşik seviyesi ve üzerindeki depremler için alarm sinyalleri üretmek e-posta listesinde bulunan tüm kullanıcılara deprem bilgisini ve alarm sinyalini göndermektedir. Sistem 2014 yılından itibaren çalıştırılmaktadır. Kurulan algoritma 3 farklı eşik ivmeye göre hareket etmektedir

ve düşük ivmelerde ise herhangi bir gaz kesme işlemi yapmamakta, orta ivme değerlerinde sadece o bölge regülatöründeki vana kapatılarak herhangi bir gazı havaya boşaltma işlemi yapılmamaktadır. Üçüncü eşik seviyesinde ise yüksek ivmenin görüldüğü regülatör ile onun 1 km çevresindeki tüm vanalar kapatılarak çelik borulardaki gaz havaya boşaltılmaktadır. Vanaların kapatılma işlemi şirkette kurulu bulunan SCADA sistemi vasıtasıyla yapılmaktadır.

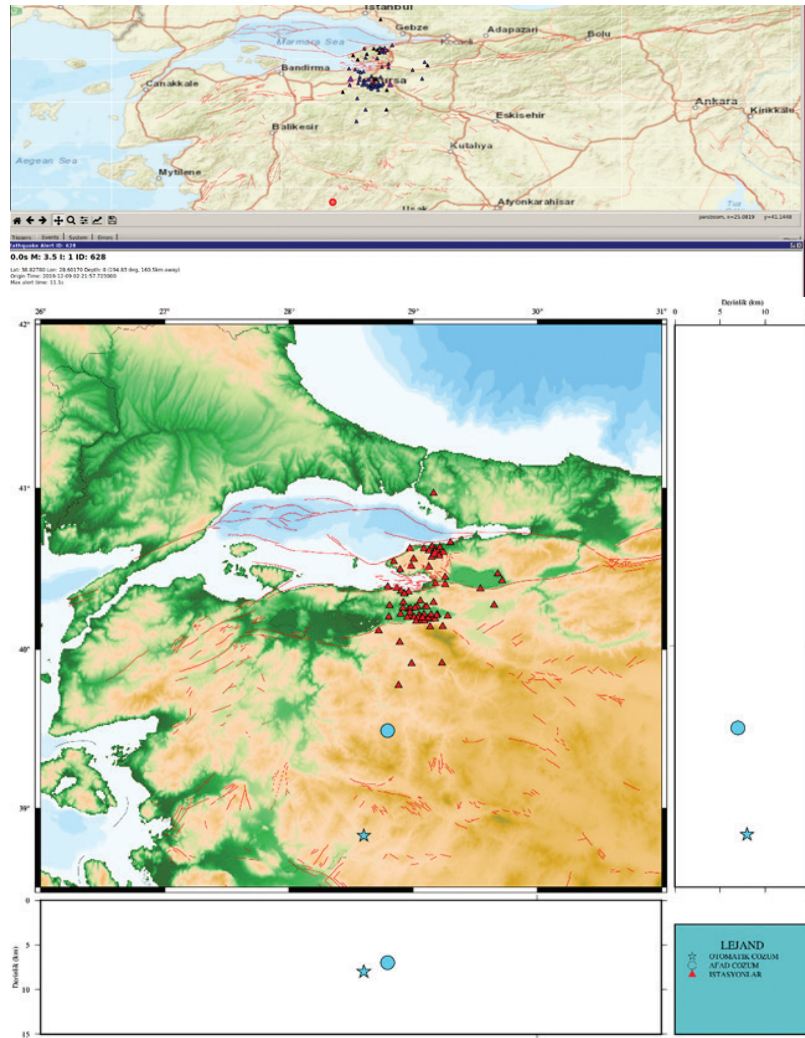
Algoritma aynı zamanda kaydettiği depremin en büyük ivme, en büyük hız ve en büyük yer değiştirme değerlerini tüm istasyonlar için hesaplayarak şehrin tamamı için benzer haritalar ve hasar dağılım haritaları oluşturmaktadır. Ayrıca, sistem her gün 7,0'dan büyük bir depremle test edilerek olası hatalı ve yanlış uyarı ve kapanmaların önüne geçilmektedir. Son iki yıllık dönemde ayrıca eş zamanlı saha testleri yapılarak algoritmanın güvenilirliği test edilmiştir. Şekil 7 ile Bursagaz AŞ ve ArNET'e ait deprem istasyon dağılımı gösterilmektedir. Bu iki sistem aynı zamanda Bursa Deprem Erken Uyarı Sisteminin çekirdeğini oluşturmaktadır.



**Şekil 7.** AFAD, Bursagaz AŞ ve ArNET ağlarına ait birleştirilmiş deprem istasyonların dağılım haritası (2019-2022). Ölçekte deprem istasyonları farklı renkli geometrik şekillerle gösterilmiş, beyaz çizgiler ise bölgedeki aktif fayları göstermektedir (Barış vd. 2022'den alınmıştır).

AFAD tarafından sürdürülen Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) bünyesinde sunduğumuz bir proje önerisi ile Kocaeli Üniversitesi, Gebze Teknik Üniversitesi ve AFAD iş birliği ile Bursa ve civarı için deprem erken uyarı sistemi kurulmuş ve işletilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda 3 farklı deprem ağı tek donanım ve yazılımla birleştirilerek ABD Kaliforniya'da başarı ile kullanılan Elarms Deprem Erken Uyarı algoritması proje ekibimiz tarafından Bursa için kurulmuştur. Yazılımda 2022 yılında yapılan yeni güncellemelerle EPIC adı verilen algoritma test edilmiş ve halen gerekli eğitimler AFAD personeline verilmektedir. Sistem, Ocak 2023 tarihinden itibaren AFAD tarafından devir alınarak kullanımına geçilecektir. Bursagaz AŞ için kurulan doğalgaz vanalarını olası bir yıkıcı deprem sonucunda kapatacak sisteme ait deprem istasyonlarına AFAD ulusal deprem ağına ait önce Bursa ve yakın civarı, daha sonra ise Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi'ndeki tüm hız ve ivmeölçerler entegre edilerek kapsamlı bir deprem ağı oluşturulmuştur. Erken uyarı yazılımı iki paralel

sunucu bilgisayarda eş zamanlı olarak kurulmuş hem sürekli hem de bölgede proje çalışmasından önce meydana gelmiş binden fazla deprem sistem tarafından kaydedilerek bu depremlere ait alarm sinyalleri başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. Sistemin bölgeye özgü parametreleri tarafımızca belirlenmiş ve bölgeye özgü aletsel büyüklük formülü geliştirilmiştir. Kurulan erken uyarı sistemi ulusal ağlardan bağımsız olarak depremin büyüklük ve konum bilgisini otomatik olarak hesaplayarak, her bir deprem için en kısa sürede erken uyarı alarmı oluşturmaktadır. Sistem, gerek Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) gerekse AFAD'ın çözümleri ile büyük bir uyum içinde depremleri çözmektedir. Sistem tarafından oluşturulan her uyarı sinyali ve deprem bilgisi, sistemde kayıtlı bulunan kullanıcılara, kurum temsilcilerine ve listeye eklenecek yeni kullanıcılara e-posta olarak bildirmekte ve depremin dışmerkezine ait harita ile diğer tüm bilgileri göndermektedir. Sistem tarafından kaydedilmiş bir depreme ait örnek Şekil 8 ile aşağıda verilmektedir.



**Şekil 8.** Dursunbey Depremi EPIC ekran görüntüsü (ML3.1). (alt) Dursunbey depreminin EPIC ve AFAD lokasyon haritası. Kırmızı üçgenler sistemde kayıtlı bulunan deprem istasyonlarını, mavi renkli daire AFAD deprem çözümünü, mavi yıldız ise Bursa Deprem Erken Uyarı Sisteminde kullanılan EPIC algoritmasının otomatik deprem çözümünü göstermektedir (Barış vd. 2022'den alınmıştır).

### C) Tsunami Erken Uyarı Sistemi

Deniz tabanında meydana gelen bazı depremler çukurlardaki helyelan ve düşey yer hareketleri neticesinde tsunami dalgaları yaratabilmektedir. Özellikle Marmara'da tarihsel dönemde olmuş bazı depremlerde ve 1999 Kocaeli depremi sırasında tsunami oluşmuştur. KRDAE her aletsel büyüklüğü 5,5 ve daha büyük bir deprem için tsunami analizi yaparak deprem sonrası tsunami potansiyeli bulunan depremler için bir tsunami uyarısı yapmaktadır. İstanbul için de benzer bir modelle çalışması yapılmış ve olası senaryolar İBB web sitesinde ayrıntılı olarak yer almıştır. Benzer çalışmaların denize kıyısı olan tüm şehirler için yapılması önerilir. Tsunami dalgalarının beklenen su seviyesinden daha yüksekli yerlere çıkılması uyarısının halka anons ve kısa mesajlarla duyurulması çok önemlidir. Ayrıca,

halkın tsunami olması durumunda güvenli toplanma alanlarına gidebilmesi için kıyılarda ve yollarda tsunami uyarı levhaları konumlandırma çalışmasının AFAD il müdürlükleri ile birlikte yapılmalıdır. Tüm bu çalışmaların o ilçedeki tüm kamu kuruluşları ve STK'lar ile birlikte yapılması ve o ilçede yaşayan ve geçici olarak o ilçeyi ziyaret edecek kişilere de bilgi verilmesi, ne yapılacağı konusunda da eğitimlerin yapılması gereklidir. Tsunami farkındalığı için gerekli kaçış güzergahlarının oluşturulması, kaçış yollarına yol gösterici tabelalar yerleştirilmesi ve tsunami tahliye tatbikatı gerçekleştirilmesi gibi adımlar Büyükçekmece ilçesinde İBB tarafından yapılmış olup, tsunami riski yüksek diğer ilçelerde de bu çalışmalar devam etmektedir. Yapılan bu çalışmaların yerel halka ve o ilçeyi ziyaret eden kişilere eğitimlerle duyurulma çalışmaları ise planlanmıştır.

## Sonuçlar

Bu çalışmada Akıllı Şehir kavramı tanımlanarak afet risk azaltılmasında Erken Uyarı Sistemleri ve Akıllı Şehir uygulamalarına ait bazı iyi örnek uygulamalara yer verilmiştir. Günümüz Akıllı Şehir teknolojisi ile şehirler sahadan gelen verinin bilgisayar ortamında kurulan şehir modeli üzerine uyarlanması, dijital ikizin sağlanması ile olası bir afet öncesi afet tehlike senaryolarının yapılmasına, olası risklerin belirlenmesine ve risk azaltıcı önlemlerin alınmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca, yine günümüz akıllı şehir teknolojisi olası bir afet tehlikesi anında otomatik karar verme mekanizmasının devreye girmesine, en doğru ve güvenilir kararın verilmesine imkân sağlamaktadır. Kalabalık kentlerde en önemli uygulamalar akıllı teknolojileri kullanarak meteorolojik olayların önceden haber verilmesi ve alınan önlemlerle bu olayların zararlarının azaltılması çabalarıdır. İllerde oluşacak meteorolojik şartların yerel ölçekte ve ilçe bazında da sürekli izlenerek hava olaylarının ani değişimleri öncesi ilgili görevli birimlere ve vatandaşlara uyarı verilmesi, olayın zararlarını azaltan çok önemli uygulamalardır. Bu kapsamda İBB'nin yaptığı yerel hava gözlem çalışmaları, bazı karayolları ve viyadüklerde kurulan buzlanma uyarı sistemleri ile kuru dereler üzerinde İSKİ ile birlikte kurduğu taşkın uyarı sistemleri olayların afete dönüşmemesi için yapılmış bazı önemli çalışmalardır. Bu tür erken uyarı sistemlerinin benzer şekilde afete maruz diğer kentlerde iyi uygulama örneği olarak kullanılması oluşabilecek afetlerin zararını azaltacak önemli adımlardır. Makedonya'nın Üsküp şehrinde yapılan sürekli hava kalitesi ölçümü akıllı uygulaması da özellikle hava kirliliğinin alarm verdiği kentlerde yapılması gereken diğer bir iyi uygulama örneği olarak dikkat çekmektedir.

Olası hasar verici bir deprem anında ikincil afetin önlenmesine yardımcı olacak erken uyarı ve doğalgaz kesme sistemleri çalışma kapsamında örnek uygulama çalışmaları olarak verilmiştir. İstanbul'da İGDAŞ, Bursa'da ise Bursagaz AŞ doğalgaz ana regülatörlerine ivmeölçer sistemleri kurularak hasar yapıcı bir deprem sırasında sistemlerinde kurulu bulunan SCADA altyapısı ve oluşturulan algoritma ile vanaları kapatmakta, oluşan ivmenin yüksek olduğu durumlarda ise çelik borulardaki doğalgazı havaya boşaltmaktadır. Eşik ivme

değerinin orta seviyesinde sadece o bölgedeki vanalar kapatılarak herhangi bir gaz havaya boşaltılmamaktadır. Düşük ivmelerin kaydedildiği bölgelerde ise herhangi bir vana kapatma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Ülkemizdeki tüm şehirlerde bulunan doğalgaz dağıtım şirketlerinin deprem güvenliği ve oluşabilecek yangın, patlama gibi ikincil afetlerin önüne geçebilmeleri için kendi dağıtım şebekelerine de benzer acil uyarı sistemleri kurmaları gerekir. Bu sayede oluşabilecek yangın ve patlamaların sayısı azaltılarak olası can kayıpları ile ekonomik zararların azaltılmasına katkı koymaları hayati öneme sahiptir. 2002 yılında İstanbul'da kurulu bulunan Acil Müdahale ve Erken Uyarı sistemi KRDAE tarafından işletilmektedir. Bu sistem sayesinde şehirde deprem sonrasında oluşacak hasar çok hızlı bir şekilde belirlenerek afeti yöneten valinin önüne hasar dağılım haritası, kapanan yollar vb. bilgiler hızlı bir şekilde görsel olarak sunulmaktadır. Deprem erken uyarı sistemi sayesinde ise tren, metro vb. hızlı sistemlerin yavaşlatılması, durdurulması, elektrik ve doğalgazın binalarda kesilerek olası yangınların ve olumsuz durumların önüne geçilmesi; sanayi tesislerinde çalışan hareketli cihazların durdurulması veya güvenli hale getirilmesi, yüksek katlı binalardaki turnikelerin açılması gibi işlemlerin yapılmasını sağlayacak erken uyarı sinyali üretilmektedir. Benzer bir çalışma Kocaeli Üniversitesi, Gebze Teknik Üniversitesi ve AFAD iş birliği ile Bursa ilinde kurulmuş olup 2023 yılı başında bu sistemin devreye alınması planlanmaktadır. Bu sistem ulusal ağlardan bağımsız olarak deprem çözümü yapmakta ve aynı zamanda doğalgaz acil uyarı hizmetini de eş zamanlı olarak gerçekleştirmektedir. Bursa için kurulan deprem erken uyarı sistemi henüz acil müdahale sistemi olarak çalışmamakta ancak AFAD ile yapılacak ortak çalışmalar sonucunda AFAD RED yazılımı ile entegre edilerek yakın gelecekte Acil Müdahale sistemi olarak ta çalıştırılması planlanmaktadır. Bu tür bir sistem için gerekli olan bina ve nüfus envanter bilgileri ile zemin bilgisi toplanması Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından halen sürdürülen çalışmalar olup tamamlandığında acil müdahale sistemine entegre edilmesi planlanmaktadır.

Yıkıcı depremler kentlerde bina yıkımlarının yanı sıra baraj ve gölet

gövdelerinde oluşacak yıkımlar nedeniyle sellere, yangınlara, heyelanlara; kıyı kentlerinde oluşan depremlerde de zaman zaman tsunamilere yol açmakta ve bu tsunami dalgaları şehirleri basmaktadır. Zaman zaman oluşan tsunami dalgaları ise can kayıplarına yol açmaktadır. Bu tür can kayıplarını engellemek amacıyla KRDAE ülkemiz civarında oluşan her M5,5 ve daha büyük bir depremde tsunami uyarı sinyali oluşturmaktadır. Denize kıyısı olan tüm yerel yönetimlerin illerinde tsunami riskini belirlemek amacıyla tsunami senaryo çalışmaları yaptırmaları, elde edilen su seviyesi yükseklikleri ve su basma uzaklıklarının belirlenerek vatandaşları için tsunami kaçış güzergahlarını belirlemeleri elzemdir. Bu tür bir çalışma İBB tarafından İstanbul için yaptırılmış olup belirlenen tsunami kaçış güzergahlarının bilgilendirme tabelaları dikilme işlemi devam etmektedir. Bu çalışmalar Büyükçekmece ilçesinde tamamlanmış olup kaçış güzergahları belirlenmiş ve bu ilçedeki güvenli alanlara erişim yolları tsunami uyarı tabelaları ile donatılmıştır. Bu çalışma AFAD İl müdürlüğü, İBB ile KRDAE tarafından da bir tsunami tatbikatıyla denenmiştir. Bu çalışmalar diğer ilçelerde de İBB tarafından sürdürülmektedir. Bundan sonra yapılması gereken en önemli

çalışma tsunami riskinin ve yapılması gereken güvenli tahliyenin halka farklı eğitim ve yöntemlerle bilgilendirilmesidir. Benzer çalışmaların kıyası olan tüm kentlerimizde uygulanması deprem risklerini azaltacak diğer önemli çalışmalardır.

Bu çalışma afet risklerini azaltmak amacıyla kullanılan bazı iyi erken uyarı sistemleri ve uygulamalarını özetlemektedir. Gerek burada sunulan iyi uygulama örnekleri gerekse akıllı şehirlerde uygulanan diğer akıllı sistemler ve uygulamalar mutlaka bu çalışmanın başında tanımlanan şehir bilgi sistemleri ile entegre olacak şekilde planlanması gerekmektedir. Bu nedenle akıllı şehir felsefesi ile akıllı sistemleri kurmak isteyen kentlerin mutlaka kendi şehirleri için bilgi sistemleri kurarak yapılan her uygulamayı bu sistemin bir bileşeni olarak planlamaları yapılan çalışmaların verimini ve etkinliğini artıracaktır. Önerimiz tüm akıllı şehir uygulamalarının şehir bilgi sisteminde yer alması ve elbette bu şehir bilgi sistemlerinin dijital ikiz ve benzeri güvenlik sistemleri ile de yedeklenmesi özellikle siber saldırılar, savaş ve afetlerde hayati öneme sahip olacağıdır.

(Bu çalışmanın hazırlanması aşamasında yaptıkları akıllı çalışma uygulamalarını paylaşan İBB AKOM Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.)

## Kaynakça

- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Barış, Ş., Zülfiyar, C., Tunç, B., Çaka, D., Tunç, S., Nof, R.N., Bozkurt, O., Kaman, G., Özsaray, V., Türkoğlu, M., Apak, A., Zünbül, S., Yıldız, H. M., Kırılılar, N., Aytakin, Y., Usta, S., Günel, C., Türkmen, T., Poyraz, M. (2022). Hasar Yapıcı Depremler İçin Acil Uyarı ve Müdahale Sistemi Geliştirilmesi ve Kurulması: Bursa Örnek Çalışması, UADP Proje Raporu, AFAD, Kasım 2022.
- Barış, Ş., Tunç, S., Kaman, G., Bozkurt, O., Çaka, O., Tunç, B., Woith, H., Lühr, B., "Automatic Shutdown System in Gas Regulators for Real-Time Seismic Risk Reduction of a Populated City: Bursa, Turkey", JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Japonya (2017).
- Barış, Ş., Özdemir, N., Ergenç, N., Köse, A., Sert, H. (2020) "Akıllı Şehirlerde Afet ve Acil Durum Yönetimi, Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi, Eğitim Kitapçığı, T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Barış, Ş., Özdemir, N., Ergenç, N., Köse, A., Sert, H. (2021) "Akıllı Afet ve Acil Durum Yönetimi Uygulama Rehberlik Kılavuzu, Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi, T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Biljecki, F. (2017). Level of detail in 3D city models. PhD thesis. Retrieved from <https://doi.org/10.4233/uuid:f-12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248>
- Cacace, F., Zuccaro, G., de Gregorio, D., & Perelli, F.L. (2018). Building Inventory at National scale by evaluation of seismic vulnerability classes distribution based on Census data analysis: BINC procedure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 384-393. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.016>
- Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J.J., Restrepo-Vélez, L. F., & Crowley, H. (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISSET Journal of Earthquake Technology*, 43(3), 75-104.
- Dameri, R. P. (2017). Urban Smart Dashboard. Measuring Smart City Performance. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45766-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45766-6_4)
- Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998. European Center of Geodynamics and ... (Vol. 15).
- Lagomarsino, S., & Cattari, S. (2013). Seismic Vulnerability of Existing Buildings: Observational and Mechanical Approaches for Application in Urban Areas. In *Seismic Vulnerability of Structures* (pp. 1-62). Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781118603925.ch1>
- Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4(4), 415-443. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10518-006-9024-z>
- Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., & Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/13511610.2012.660325>
- OECD. (2020). Do Smart Cities Benefit Everyone. Organisation for Economic Co-Operation and Development: Paris, France.
- SHARE Projesi Aktif Faylar ve Maksimum Deprem Büyüklükleri (SHARE, 2013) - <http://www.share-eu.org/>
- Vicente, R., Parodi, S., Lagomarsino, S., Varum, H., & Silva, J. A. R. M. (2011). Seismic vulnerability and risk assessment: Case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(4), 1067-1096. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9233-3>
- Xu, Z., & Coors, V. (2012). Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development. *Building and Environment*, 47(1), 272-287. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.012>
- AKOM web sayfası, [www.akom.ibb.gov.tr](http://www.akom.ibb.gov.tr), son erişim 5 Kasım 2022.
- AFAD web sayfası, <https://deprem.afad.gov.tr/home-page>, son erişim 11 Ağustos, 2002.
- Kandilli Rasathanesi ve DAE web sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>, son erişim 11 Ağustos, 2002.