

# Yakın Gelecek Deprem Tespit Teknolojisi; Elektriksel Değişimlerin Gözlemlenmesi ile Depremlerin Önceden Tespit Edilmesi

Alper SARIKAN\*, Mahmut Altuğ Yardımcı\*\*

\*KAREL Electronics Cyberpark Cyber Plaza, B Blok 3. Kat, Bilkent 06800 Ankara / Turkey

\*alper.sarikan@karel.com.tr

\*\*altug.yardimci@karel.com.tr

**Öz** — Bu yazıda, Cosmetecor çatısı altında sunulmuş olan akademik çalışmaları ve bu akademik çalışmalar sonucunda gerçekleştirilen teknolojinin temel bilimsel ilkeleri ve mimari yapısı özetlenmiştir. Ayrıca Türkiye özelinde depremlerin günler öncesinden tespit edilebilme olasılığı yine Cosmetecor çalışmalarına referansla özetlenmiştir. İncelenen bu çalışmada, depremlerin küresel bir süreç olduğunu ve sadece fay hatlarından ibaret olmadığını ortaya koyulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, İstanbul, Önceden Tahmin, Sensör

## I. GİRİŞ

Depremler, hem ölü sayısı hem de ekonomik kayıp açısından diğer afetler arasında en yıkıcı doğal afet olmuştur. Aylık ortalama olarak meydana gelen yıkıcı depremler, dünya genelinde sosyal ve ekonomik hayatın yıkımına ve aksamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, 1900'lerden başlayarak, depremlerin 5 milyondan fazla ölüme ve benzeri görülmemiş miktarda ekonomik kayba neden olduğu açıklanmaktadır. Ancak durumun ciddiyetine rağmen hala algılayıcılar vasıtası ile önceden tespit yönünde bir çözüm getirilmemiş vaziyettedir. Bilim adamları, “ Bir sonraki deprem ne zaman olacak? ” sorusuna “belki bugün veya on bin yıl sonra” şeklinde ucu açık cevap verebilmektedirler. Bu durum, deprem tespiti için sadece sismolojik yaklaşımın işe yaramadığını ve bunun ötesine geçilmesi gerektiğini göstermektedir. Depremi anlamaya yönelik hâkim yaklaşımın yetersizliğinden yola çıkarak, depreme hazırlık fiziksel sürecini küresel bir süreç olarak algılayan daha ileri bir bilimsel bakış açısı gerekmektedir. Bu yönde gerçekleştirilen çalışmalardan bir tanesi dünyanın çekirdeğinden güneş sistemine kadar meydana gelen bir elektriksel faaliyetler sisteminin sürekli olarak takip edilmesi teorisine dayanılarak yürütülmektedir. Bu makalede yerkürede oluşan elektriksel değişimin analiz edilmesi ile deprem olma olasılığının analiz edilebilirliği yönünde gerçekleştirilen çalışmalar derlenmiştir. Bu araştırmanın üç ana kısmı vardır;

1) İlkel hidrojenin dünyanın çekirdeğinde nasıl biriktiğini ve hidrojenin dünyanın çekirdeğinden dünyanın tüm

katmanlarından manyetosfere nasıl kaçtığını analiz eden jeokimyacı V.I Vernadsk,

2) Deprem başlangıcının ardındaki küresel etkiler nelerdir sorusunu analiz eden sismologlar Gutenberg ve Båth

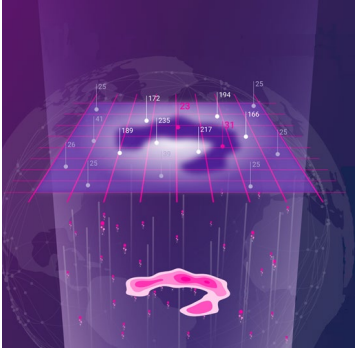
3) Protonların (hidrojen atomunun çekirdekleri) dünyadaki tüm tektonik aktiviteyi nasıl başlattığını araştıran jeologlar Larin ve Kuznetsov, ve elektrik akımının Güneş'i nasıl birbirine bağladığını analiz eden kozmo-fizikçi Alfven (Nobel ödüllü).

Farklı disiplinler arası bilimsel bilginin veri etiketlemesi ve analizi ile birleştirilmesi ile depremlerin öncesinde ve oluşma anında oluşturduğu elektriksel değişimler takip edilerek depremlerin nedenleri anlaşılabilmesi için kuvvetli dayanaklar elde edilebilmektedir. Bu amaçla elektriksel değişimlerin izlenebilmesi amacıyla gerekli enstrümantasyonun geliştirilmesi ve sensörler vasıtası ile verilerin kaydedilerek gözlemlenmesi 30 yılı aşkın süredir çalışılmaktadır (Cosmetecor). Dünyada yaklaşan her büyük depremin verileri bu sensörler kullanılarak kayıt altına alınmış ve veri analizi ile akademik düzeyde araştırma ve deneyler yapılmıştır. Elde edilen tarihsel veri serilerinden yararlanarak, kurulan istasyonların kurulan bölgelerde yaklaşan depremleri hassas bir şekilde tespit edilmesini sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çalışma ile yaklaşmakta olan depremin konumunu (merkez üssü), büyüklüğünü ve belirli zaman penceresini (3 saate kadar) 23 gün önceye kadar tespit edilebilmektedir.

## II. NASIL ÇALIŞIR?

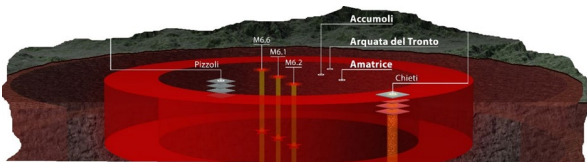
Sismik olay yaklaşırken kasırga uyarısına benzer şekilde yakın gelecekte deprem uyarısı sağlanabilmektedir, sismik olayın meydana gelmesinden iki gün ila 23 gün önce oluşan sismik olay için hazırlık süresi ve konumu dâhil olmak üzere güçlü depremler için uyarı üretilebilmektedir. Bu yakın gelecek deprem uyarısı, manyetosferde sona eren dünyanın çekirdeğinden kaçan protonların (hidrojen atomunun çekirdekleri) fiziksel sürecinin bir ürünüdür. Her yıl yavaş hareket eden tektonik plakaların veya kullanıcı

lokasyonlarında sismometreler tarafından saniyeler içinde algılanan ses elastik dalgalarının aksine, fiziksel süreç, 30 günlük bir aralıkta dürtüsel bir şekilde kendini gösteren küresel bir oluşuma sahiptir. Yakın gelecekteki deprem odak merkezinin çevresinin nasıl görüldüğünün şematik bir temsili Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1: Yakın gelecekteki deprem merkezinin çevresinin temsili gösterimi

Özellikle deprem kırılmasından sonra gelecek sarsıntının nerede, ne zaman ve ne kadar şiddetli olacağı konusunda yakın gelecek deprem uyarısını anlamak için gözlem ve ölçüm kısmı ile yorumlama modelinden oluşmaktadır. Deprem yakın gelecek uyarısı, çok elektrotlu istasyonlarını, yaklaşan bir deprem kırılma modelini algılamak (gül toroidi, Şekil 1), bölgesel bilgileri (yeraltı elektromotor kuvvetleri, mV, kırmızı renkli sayılar, Şekil 1) işlemek ve dinamiklerini yakalamak için bilgilerle (yeraltı elektromotor kuvvetleri, mV, beyaz renkli sayılar, Şekil 1) sağlanan yorumlama modelini kullanarak yaklaşan bir depremin parametrelerini – yani merkez üssü, zaman aralığı ve büyüklüğünü tespit etmek şeffaf dünyanın içi küresel proton gücüdür (kırmızı baloncuklar). Orta İtalya'daki 2016 deprem kullanım durumunun şematik bir temsili Şekil 2'de özetlenmiştir. Yerel ve bölgesel sistem kurulumları için, güvenli sınır (silindir kabuğunun kalınlığı, kırmızı renk, Şekil 2) en yüksek hidrojen şeffaflığında tespit edilir. Hidrojen şeffaflığı arasındaki fark, beklenen bir bölgenin maksimum boyutunu ve kullanıcı konumundaki sarsıntı yoğunluğunu tanımlar (silindir kabuğunun iç yarıçapı, Şekil 2). Daha az hidrojen şeffaflığı, yakın gelecekteki merkez üssüne/merkezlerine en yakın kurulu istasyonlar tarafından tespit edilir. Tahminler Cosmetecor çalışmasında modellenen algoritma kullanılarak doğrulanır, doğrulama süreci tamamlandıktan sonra, acil durum yönetim planında ve iş sürekliliği planında yakın gelecekteki deprem uyarısı oluşturulur ve farklı tarafların yaklaşmakta olan depreme karşı koordineli çabalar geliştirmesine yardımcı olur.



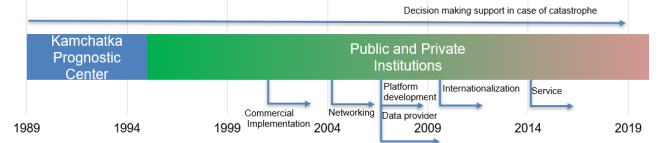
Şekil 2: Bölgesel yakın gelecek deprem algılama sisteminin temsili gösterimi, 2016 depremlerinin Orta İtalya'daki kullanım durumu.

*Kırmızı yıldızlar 2016 depremlerinin merkez üsleridir: 24 Ağustos 2016 (M6.2), 26 Ekim 2016 (M6.1) ve 30 Ekim 2016 (M6.6). Pizzoli ve Chieti istasyonları, deprem merkez üslerinden 30–50 km ve 90–110 km uzaklıktadır. Temel uyarı bilgileri, beklenen bir bölgenin maksimum boyutu ve kullanıcı konumundaki (silindir kabuğunun iç yarıçapı) sarsıntı yoğunluğudur, Bobrovskiy et.al. (2017).*

Araştırma konusu sistem, V.I.Vernadski, B.Gutenberg, M.Báth, V.I. 1912'den itibaren jeokimya, jeoloji ve sismolojiyi kapsayan Larin. Kuznetsov ve arkadaşları (1978), tektonosfer-atmosfer arayüzündeki elektrik sinyallerinin ölçülmesi yoluyla dünya sistemi ile arayüz oluşturmak için bir yorumlama modeli ve gözlem tekniği önerisi ile başlamıştır;

Gelişen teknolojilerden, verilerden ve hesaplama gücünden yararlanan Dr. Kuznetsov, 1990 yılından bu yana, aslında bir deprem kırılması oluşturacak kaynağın, meydana gelmeden önce tespit edilmesinin mümkün olduğunu bilimsel olarak kanıtlama yönünde somut gelişmeler elde etmiştir.

Bu fikirler, Bobrovskiy'nin Dr. Kuznetsov'un gözetiminde proje üzerinde çalışmaya başladığı 1997 yılından itibaren test edilmektedir. Daha sonra 2001'de Bobrovskiy, bu teknolojiyi piyasada tanıtmak ve yakın gelecekteki deprem tespitini farklı ülkelerde de sürdürmek için "Operasyonel Deprem Tahmini için Yeraltı Elektrik Teknolojileri İnovasyon Fonu"nu ve "Cosmetecor Uzaktan Eğitim Okulu"nu kurdu. Bu istasyonları Kamçatka, Altay, Kırım, İtalya, Fiji'deki 12 lokasyonda konuşlandırılması sağlanarak çeşitli üniversiteler ve şirketlerle yapılan ortaklıklar sayesinde depremlerin önceden tespit edilmesi konusunda başarılı tahminler elde edildi. Geliştirme ve operasyonların tarihsel açıklaması Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3: Geliştirme ve Cosmetecor operasyonlarının tarihsel açıklaması

Rusya, İtalya ve Fiji'deki Üniversitelerle ortaklaşa ve yerel makamlar aracılığıyla sağlanan finansmanla bu sistemlerin yer aldığı istasyonlardan oluşan küresel bir ağ oluşturulmuştur. Bu sistem, Kamçatka Cosmetecor ağındaki mevcut istasyonlar yanı sıra, veri merkezinde hizmet etmekte olan sunucuda konuşmakta olan veri işleme yazılımında tüm elde edilen verileri birleştirmektedir. Şekil 4'te tümleşik sistemden fayda sağlayan paydaşlar bilimsel ortaklar ile gösterilmektedir.



Şekil 4: Paydaşlar

Cosmetecor projesi, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanlarla çakışan yakın gelecekteki depremi tespit etmek için

çalışan hava-uzay sistemlerinin yeteneğini tahmin etmek için Bilimsel Yer İzleme Merkezi (Roscosmos, Rusya) ve GeoCosmo'ya (NASA'nın Ames Araştırma Merkezi, ABD) tarafından da kullanılmaktadır. Mevcut durumda bu altyapı hayata geçirilmiştir ve kullanıcılar küresel ağda [https://cosmetecor.org/day\\_se\\_table](https://cosmetecor.org/day_se_table) kaydedilen grafik ve metinsel ham verilere erişebilmektedirler. Önümüzdeki 23 gün içinde olası deprem riski olduğu bilgisi global tedarik zinciri şirketleri ve sigorta dahil üzere bir grup kullanıcıya uçtan uca bu sistem sunulmakta ve uyarı gönderilmektedir. Şekil 5, sistemin altyapısını ve gelecekteki uygulama stratejisini özetlemektedir.



Şekil 5: Küresel Yakın gelecek deprem algılama sisteminin temsili çizimi

### III. DEPREM UYARISININ TÜRÜ VE TARİHÇESİ

Yakın gelecekte hem bölgesel hem de küresel deprem tespitinde en önemli unsura, yani zamana odaklanılmaktadır. İncelenen bu teknolojiye gelişmeler, yakın gelecekteki depremin diğer iki parametresinin - konum ve büyüklük - tanımlanmasına olanak sağlayabilmektedir.

- geniş (kısa vadeli, 3-4 ay önceden) ve dar (operasyonel 2 gün ve 3 saat aralığı) zaman penceresi ile belirli bir şehir ve belediyeye (60-100 km yarıçap) yerleştirme ve

- enlem ve boylam aralığı potansiyeline sahip dar (30 gün önceden operasyonel) zaman penceresiyle belirli bir tektonik plakaya küresel odaklanma.

Kamçatka bölgesindeki başkent ve ana sanayi ve nüfus bölgesi olan Petropavlovsk-Kamçatski şehri, 1989'dan bu yana M6.9+ dört deprem vakasının yeridir. Şehrin etrafındaki 100 km yarıçapı içinde varış zamanı ve beklenen yer konusunda %99 un üzerinde tahminleme başarısı ile hareket edilmekte ve buna göre planlama yapılmaktadır. 1989'dan 2019'a kadar Petropavlovsk-Kamçatski şehri çevresinde 100 km menzil içinde M6.9+ büyüklüğünde dört deprem meydana gelmiştir. Petropavlovsk-Kamçatski şehrinin yaklaşık 1000 km kuzeydoğusundaki mesafe Olyutorsky (Koryakia) depremi olarak adlandırılan bu deprem, tarihi deprensellik açısından beklenmedikti, 55 milyon ABD doları olarak tahmin edilen hasarla aletli gözlemlerin başlangıcından bu yana Koryak bölgesindeki en büyük depremdi.

Tablo 1 ve 2, deprem verilerini ve yayınlanan uyarı türlerini özetlemektedir.

Tablo 1: Kamçatka Prognostik Merkezi (Dr. Kuznetsov) ve Cosmetecor (Kuznetsov-Bobrovskiy) tarafından yayınlanan Petropavlovsk-Kamçatski şehri depremi yakın gelecek uyarıları. Deprem veri araması: Sismolojik veri bilgi sistemi GS RAS'ın Kamçatka şubesi ve NEIC USGS katalogu

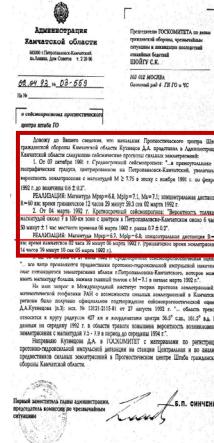
	Data, Time (UTC)	Latitude N	Longitude E	Depth, km	R from PK, km	M	I in PK, 12 scale	Forecast timing	Any other forecasts (2 days, 30 days, 3 months) sources
1.	1992/03/02 12:29:38	52.76	160.20	20	60	7.1	5...6	ST	NO
2.	1992/03/05 14:39:10	52.77	159.95	31	90	6.8	5...6	OPd	NO
3.	1999/03/08 12:25:42	51.93	159.72	7	105	7	4...5	ST	NO
4.	2016/01/30 03:25:12	53.97	158.54	177	90	7.2	4...5	ST	NO

Not. ST – bir aydan 12 aya kadar kısa vadeli uyarı zamanlaması; OPd – operasyonel günlük uyarı zamanlaması

Tablo 2: Cosmetecor (Kuznetsov-Bobrovskiy) tarafından yayınlanan bölgesel deprem tahmini. Deprem veri araması: Sismolojik veri bilgi sistemi GS RAS'ın Kamçatka şubesi ve NEIC USGS katalogu

	Data, Time (UTC)	Latitude N	Longitude E	Depth, km	R from PK, km	M	I in PK, 12 scale	Forecast scale	Any other forecasts
1.	2006/04/20 23:25:02	60.95	167.09	22	1018	7.6	NO	ST	NO

1992 depremleri Petropavlovsk-Kamchatski şehrinde lokalize olmuştur (Tablo 1). 1992 depremleri, personel sayısını artırmak ve acil durum protokolünü ve operasyonlarını başlatmak gibi yakın gelecekte deprem tespitine dayalı olarak planlama yapmak ve harekete geçmek için geniş (4 ay önceden) ve dar (2 gün önceden) zaman pencerelerinin vitrinydi. Kamçatka bölgesi vali yardımcısı tarafından Sivil Savunma, Acil Durumlar ve Doğal Afetlerin Sonuçlarının Ortadan Kaldırılması İşlerinden Sorumlu Devlet Komitesi Başkanı S.K. Shoigu, Şekil 6a ve 6b'de özetlenmiştir.



Şekil 6: Sivil Savunma, Acil Durumlar ve Doğal Afetlerin Sonuçlarının Ortadan Kaldırılmasından Sorumlu Devlet Komitesi Başkanı adına Kamçatka bölgesi vali yardımcısı tarafından imzalanan 1992 deprem davalarının tam metni ve İngilizce tercümesi S.K. Shoigu

1. 07 Ekim 1991. Kısa vadeli sismik tahmin: " Petropavlovsk-Kamçatka merkezli 4\*4 coğrafi dairesel bir karede, M büyüklüğünde bir deprem olasılığının 0.6±0.2'ye kadar arttığı gözlemlendi. Kasım 1991 ile Şubat 1992 arasında bir aralıkta 7,75".  
Kantit: Büyüklük M<sub>sp</sub>=6.8, M<sub>plp</sub>=7.1, M<sub>e</sub>=7.1; merkez: icsii mesafesi R=60 km; 02 Mart 1992 12:29-59.3UT.

2. 04 Mart 1992. Operatif sismik tahmin: "06 Mart 1992'de 06.50±01 (Kamçatka yerel saati) tarihinde Petropavlovsk-Kamçatka'dan 100 km yarıçaplı bir alanda M' büyüklüğünde deprem olma olasılığı 0.7±0.2'dir. Kantit: Büyüklük M<sub>sp</sub>=6.7, M<sub>plp</sub>=6.8; merkez: icsii mesafesi R=80 km; 06 Mart 1992 02:39 Kamçatka yerel saati (05 Mart 1992 14:39-10UT).

D.A.Kisnetov, "Merkez" istasyonundaki proton-hidroksit iyonlarının impuls geçişinin sonuçları ve Prognostik Merkezdaki güçlü depremlerin öncüllerinin analizi ile Devlet Komitesine gelecektir.

### Şekil 7: 1992 deprem vakalarının Türkçe'ye çevirisi.

1992 deprem vakaları, Sivil Koruma tarafından hafifletme eylemleri gerçekleştirmek için buldukları yere beklenen varış zamanı ve sarsıntı yoğunluğuna ilişkin bilgilere atıfta bulunarak, yüksek nüfus yoğunluğu ve beklenen zaman pencereleriyle çakışan yerleşimlerin güvenilirliğini haklı çıkardı. 1992 deprem vakaları, depremin güçlü artçı şokunu, yıkıcı bir sismik olay durumunda planlanmış bir acil durum görevinin kesintiye uğramayacağına dair güveni artıran, operasyonel günlük zaman penceresinde tespit etmenin güvenilirliğini gösterdi. Ayrıca, gerçekleşen sismik olayın gerçek varış zamanı ve yoğunluğuna kıyasla yakın gelecek uyarılarının doğruluğunu belirleyen göstergeler geliştirilmiştir. Mercalli ölçeğinde minimum sallama yoğunluğu eşği V (Orta) olarak ayarlanmıştır. Sivil koruma ve Kamçatka bölgesi valisinin ihtiyaçlarını kabul eden Kamçatka Prognostik Merkezi, bir sismik olay meydana geldikten sonra önceden belirlenmiş süreler boyunca (örneğin 1, 3 gün) hiçbir sismik olayın meydana gelmeyeceğini garanti eden "deprem YOK" beyanları yayınladı. Kamçatka Prognostik Merkezi, olağan faaliyet sırasında, "V (Orta) Mercalli ölçeğinde öngörülen sismik olayın 3 günlük zaman penceresinden daha erken olmaması bekleniyor, planlanan operasyonlar üzerinde herhangi bir etkisi yok, personel artışına gerek yok" şeklinde başka açıklamalarda bulundu.

1999 depremi ve 2016 deprem vakaları, aynı yaklaşımı Petropavlovsk-Kamçatka şehrinde yerel olarak sergiledi. Beklenen depremler, geniş (kısa vadeli, 3-4 ay önceden) zaman pencerelerine bağlanmıştır. "Beklenen sismik olayın Mercalli ölçeğinde VI'yı (Güçlü) geçemeyeceği ve beklenen varış ve sarsıntı yoğunluğunun 2 aylık (kısa vadeli) tahmin zaman penceresinden önce olmayacağı ve varlıklar üzerinde herhangi bir etki olmayacağı kabul edildi, planlanmış operasyonlar güncellenerek, personel sayıları optimize edildi.. Her iki yakın geleceğe ilişkin deprem uyarı metni de bölge vali yardımcısı (B. Sinchenko) ve bölge ve eyalet düzeyinde Sivil koruma tarafından alındı, 2016 depremi yakın geleceğe ilişkin uyarı da Rusya Deprem Tahmini Uzman Konseyi (A.V. Nikolaev) tarafından alındı.

2006 deprem vakası, bölgesel yerleştirme ve tahmin zaman penceresinin güvenilirliğini haklı çıkardı. Kurulu sistem işletmenleri, Petropavlovsk-Kamçatka şehri üzerinde potansiyel bir etki olmayacağından emin olmak için Kamçatka bölgesi valisi (M. Mashkovtsev) ve Bölgesel Sivil Koruma şefi (A. Plevako) ile haftalık ve aylık olarak iletişim kurdu. 2006 deprem vakası, kullanıcıların dinamik bilgilerle çalışmaktan ve potansiyel olarak etkilenen alanları depremin

beklenen gelişinden önce anlama becerilerinden yararlanabileceklerini haklı çıkardı. 2006 Koryak depreminin seyrek nüfuslu bir bölgede meydana gelmesine rağmen, kullanıcılar hangi lokasyonun şiddetli sarsıntının gelmesini beklediğine dair farkındalığı arttırmak için tahmin edilen deprem gelişimi boyunca kurulu istasyonların sayısının hızla genişletilmesi ihtiyacını belirlediler.

### IV. TÜRKİYE'DE YAKIN GELECEK (30 GÜN ÖNCE) DEPREM TESPİTİ

Türkiye çapında tam kapsama sahip olmak için yaklaşık 200 farklı noktaya algılayıcı sensörler içeren istasyon kurulumuna ihtiyaç vardır, bu nedenle mevcut altyapıdan yararlanmak sismik uyarının dayanıklılığını ve güvenilirliğini artıracaktır.

Tablo 3: Deprem gerçekleştiğinde [deprem verileri arama NEIC USGS kataloğu] karşılaştırmalı olarak yaklaşan deprem uyarı sınırının ne kadar önceden yapıldığı

	Date, Time (UTC)	Latitude	Longitude	Depth, km	M	In advance warning statement before the earthquake (in days)	Location
1.	2001/06/23 20:33:14	16.265S	73.641W	33	8.4	11.25	near the coast of southern Peru
2.	2003/09/25T 19:50:06	41.815N	143.91E	27	8.1	9	Hokkaido, Japan region
3.	2004/12/23 14:59:04	49.312S	161.345E	10	8.1	10	north of Macquarie Island
4.	2004/12/26 00:58:53	3.295N	95.982E	30	9.1	11	2004 Sumatra - Andaman Islands Earthquake
5.	2005/03/28 16:09:36	2.085N	97.108E	30	8.6	11.25	Sumatra, Indonesia
6.	2006/05/03 15:26:40	20.187S	174.123W	55	8	13.5	Tonga
7.	2006/11/15 11:44:13	46.592N	153.266E	10	8.3	12.25	Kuril Islands
8.	2007/01/13 04:23:21	46.243N	154.524E	10	8.1	22.6	east of the Kuril Islands
9.	2007/04/01 20:59:28	8.466S	157.043E	24	8.1	18.5	Solomon Islands
10.	2007/08/15 23:40:57	13.386S	76.603W	39	8	13.8	near the coast of central Peru
11.	2007/09/12 11:10:26	4.438S	101.367E	34	8.4	10.5	southern Sumatra, Indonesia
12.	2009/09/29 17:48:10	15.489S	172.095W	18	8.1	12	Samoa Islands region offshore Bio-Bio, Chile
13.	2010/02/27 06:34:11	36.122S	72.898W	22	8.8	11.6	2011 Great Tohoku Earthquake, Japan
14.	2011/05/11 05:46:24	38.297N	142.373E	29	9.1	13	off the west coast of northern Sumatra
15.	2012/04/11 08:38:36	2.327N	93.063E	20	8.6	13.2	off the west coast of northern Sumatra
16.	2012/04/11 10:43:10	0.802N	92.463E	25	8.2	13.2	off the west coast of northern Sumatra
17.	2013/02/06 01:12:25	10.799S	165.114E	24	8	14.3	76km W of Lata, Solomon Islands
18.	2013-05-24T05:44:48	54.892N	153.221E	598	8.3	14.3	Sea of Okhotsk
19.	2014/04/01 23:46:47	19.609S	70.7691W	25	8.2	12.8	94km NW of Iquique, Chile
20.	2015/09/16 22:54:32	31.5729S	71.6744W	22	8.3	13.5	48km W of Illapel, Chile
21.	2017/09/08 04:49:19	15.0222N	93.8993W	47	8.2	13.7	101km SSW of Tres Picos, Mexico
22.	2018-08-19 09:19:40	18.1125S	178.153W	600	8.2	13.4	286km NNE of Ndoi Island, Fiji
23.	2019/05-26 07:41:15	5.8119S	75.2697W	122	8	13	78km SE of Lagunas, Peru

İncelenen araştırmada yer alan sistemin son uyarı portföyü, uzun yıllar boyunca geliştirilmiş olan algoritmaları ve modelleme araçları kullanılarak Akdeniz Bölgesi için özel bir çalışma yapılmıştır. 2019-2020 yılları arasında yaşanmış sismik olaylar ile incelenen araştırmanın elde ettiği sonuçlar arası ilişki korelasyon göstermektedir.





Şekil 8: Yakın dönem deprem tahminleme performans grafiği

İncelenen sistem tarafından üretilen 2020 yılına ait global ölçekli uyarılar ve bu uyarıların kaç gün önce üretildiği Tablo 4'te, Akdeniz bölgesine ait uyarılar ise Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 4: Global uyarıları (Mart-Eylül 2020)

First Date of issue, 2020	Time window of warning	Region	Expected Magnitude	NERC USGS Actual seismic activity, Global
22 March	45 days	Kamchatka-Kuril	M7+	2020-03-25 M 7.5 - Kuriles
22 April	5th May +/- 3 days	Pacific	M7	2020-05-06 M 6.8 - Banda sea
03 June	18 days	Pacific	M7.5	2020-06-18 M 7.4 - Kermadec 2020-06-23 M 7.4 - Mexico
11 July	21 days	Solomon-Kermadec	M6.6-M7.2	2020-07-17 M 7 - Papua N.G.
17 July	25 July +/- 3/4 days	Pacific	M6.7-M7.4	2020-07-22 M 7.8 - Alaska
17 August	14 days	- California/Mexico 50% - India/Nepal/Indonesia 50%	M7.1	2020-08-19 M 6.9 - Katabu, Indonesia 2020-08-21 M 6.9 - Bengukulu, Indonesia
28 August	7 days	- Peru/Chile 75% - India/Nepal 5% - Caribbean/Mexico 20%	M7	2020-09-01 M 6.8 - Chile 2020-09-01 M 6.3 - Chile 2020-09-01 M 6.5 - Chile 2020-09-06 M 6.3 - Chile
8 September	7 days	- Kamchatka-Aleutian 60% - Central America/Peru/Chile 35% - Indonesia/PNG 5%	M6.3-M7.2	2020-09-11 M 6.3 - Chile 2020-09-15 M 6.4 - Kamchatka

Tablo 5: Mediterranean uyarıları (Mart-Eylül 2020)

First Date of issue, 2020	Time window of warning	Region	Expected Magnitude	NERC USGS Actual seismic activity, Mediterranean
22 April	5th May +/- 3 days	Mediterranean region (sea and coastline)	M5.9-M6.2	2020-05-02 M 6.5 - Nea Anatolia, Greece
06 June	18 days	Greece-Turkey	M6	2020-06-14 M 5.9 - Yedisu, Turkey
04 August	04 days	South of Turkey	M6	2020-08-04

28 August	21 days	Mediterranean region: sea area south of Greece and sea area South of Italy	M5.7-M6.3	M 5.6 - Sincik, Turkey 2020-09-18 M 5.9 - Pyrgos, Greece
-----------	---------	--	-----------	--

## V. TÜRKİYE SEKTÖRÜ YAKIN GELECEK DEPREM ALGILAMA SİSTEMİ

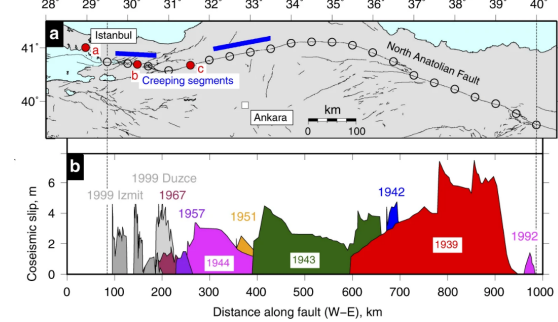
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde jeofizik ağ düzenlemek için jeofizik enstrümantasyonun öncelikle yerleşimleri için analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analize göre öncelikli olarak;

- İstanbul
- Sakarya
- Bolu

şehirleri kurulum için seçilen ilk şehirlerdir. Türkiye çapında tam kapsama sahip olmak için yaklaşık 200 istasyonuna ihtiyaç vardır, bu nedenle mevcut altyapıdan yararlanmak sismik uyarının dayanıklılığını ve güvenilirliğini artıracaktır.

## ANA KARA TÜRKİYE'DE AKTİF FAY

İstanbul (a), Sakarya (b) ve Bolu (c) şehirleri, Türkiye'nin doğusunda Karlıova'dan yaklaşık 1500 km boyunca uzanan sismik olarak aktif bir sağ yönlü doğrultu atımlı fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer almaktadır. Ege Denizi'ndeki Saroz Körfezi, Kuzey Orta Anadolu bölgesinin aktif tektoniği, Arap, Afrika ve Avrasya levhalarının karmaşık çarpışması ve bunun sonucunda Anadolu Levhasının sağ-yanal KAFZ ile sol-yanal Doğu Anadolu Fay Zonu arasında batıya doğru ekstrüzyonu tarafından yönetilir. Fay, en batı segmenti boyunca kuzey ve güney kolları ayrılır, kuzey kol İzmit Körfezi'ni takip eder ve İstanbul'un güneydoğusundaki Marmara Denizi'ne girer (Şekil 7a). Yirminci yüzyılda, KAFZ zonunda en son büyük deprem, birlikte fayın > 160km'lik bir bölümü kırıldı ve bu depremin büyüklüğü Mw = 7.4/7.2 idi (İzmit/Düzce deprem çifti).

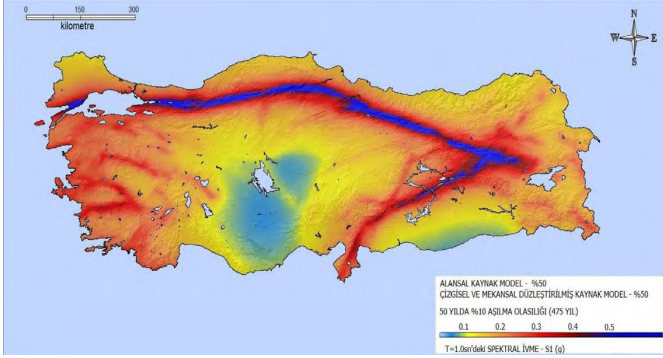


Şekil 9: Hussain, E., Wright, T.J., Walters, R.J.'den alınmıştır. et al. Kuzey Anadolu Fayı üzerindeki büyük depremler arasında sabit gerinim birikme oranı. Nat Komün 9, 1392 (2018)

## TÜRKİYE'DE DEPREM TEHLİKESİ

Sismotektonik özelliklerin jeolojik, jeofizik, sismolojik ve jeodezik bilgiler açısından yorumlanması (Duman vd. 2016) ve deprem kataloglarını (Kadirioğlu vd. 2016) içeren aktif fay

veri tabanı (Emre vd. 2013, 2016), ulusal olasılıklı sismik tehlike haritalarının geliştirilmesinde sismik kaynakların tanımlanması için ana girdilerdir. Tehlike haritası, PGA (en yüksek yer ivmesi), PGV (en yüksek yer hızı) ve ayrıca  $T = 0,2$  s ve  $T$ 'deki sözde spektral ivmenin (PSA) referans kaya ( $VS30 = 760$  m/s) sismik tehlike kontur haritalarını içerir. = 43-, 72-, 475- ve 2475 yıllık dönüş periyotları (TR) için 1,0 s (Şekil 8).



Şekil 10: 1.0s'de spektral ivme – 475 yıl (50 yılda %10). Akkar, S., Azak, T., Çan, T. ve ark. Türkiye'de sismik tehlike haritalarının gelişimi. Bull Earthquake Müh 16, 3197–3228 (2018).

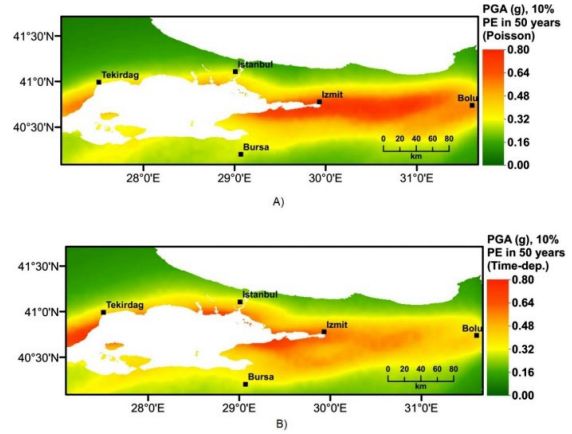
Ulusal olasılıksal sismik tehlike haritaları en büyük yer ivmesi değerlerini gösterir. Risk haritasının çıkarılabilmesi için depremin ekonomik zararı ve etkilerinin hesaplanarak bölgedeki yapı sektörünün, nüfusun ve iş faaliyetlerinin deprem öncesi maruz kalma durumunun bilinmesi gerekmektedir.

Örnek olarak, KAF'nin Marmara Denizi segmentleri 20. yüzyıldaki büyük depremlerde kırılmayan yegâne kesimdir. Gelecekteki depremlerin tahminleri,  $M \geq 7.2$  ile yakın olayların olma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir [Ergintav et al., 2014]. Marmara segmentleri, 13 milyondan fazla hızla artan nüfusu (ülke nüfusunun  $>18\%$ ) ve Türkiye'nin kültürel, finansal ve endüstriyel kalbi olan İstanbul mega kentine yakın konumdadır.

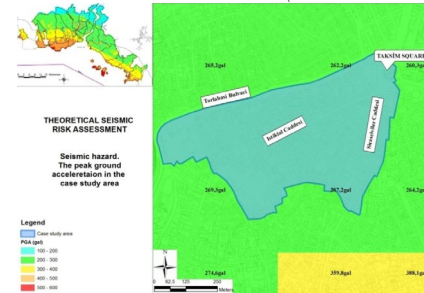
### İSTANBUL için Deprem Analizi

PGA tehlike haritaları (sismik tehlike haritaları) iki model kullanılarak elde edilir: Poisson modeli ve zamana bağlı model. Sismik tehlike haritaları, 43 yıllık (%69/50 yıl), 72 yıllık (%50/50 yıl), 475 yıllık (%10/50) dönüş periyotları için spektral koordinatlar (PGA, SA at  $T = 0.2$ s ve 1.0s) sağlar. Özellikle, PGA, rezonans frekanslarına göre bina hesaplamasında (anında doluluk, can güvenliği ve çökme önleme performanslarına bağlı olarak) kullanılan normatif bir veridir ve gerçek bir doğal depremsellik ölçüsü değildir. Ek olarak, bu haritalar sadece katı kaya alt tabaka üzerindeki ivmeyi dikkate alır ve özellikle sıvılaşmaya eğilimli alanda yerel bir saha amplifikasyonu 2,5'a kadar olabilir. Zamana bağlı modellerle (50 yılda %10 olasılık) hesaplanan yıllık oranlar, Poisson modeliyle hesaplanandan yaklaşık üçte biri kadardır.

Bu nedenle zamana bağlı model ile Sakarya ve Bolu illeri de dahil olmak üzere Marmara bölgesinin doğu kesiminde daha düşük risk seviyeleri elde edilmektedir. Bunun yerine, Marmara bölgesinin batısı aynı risk seviyesini korumaktadır veya daha yüksek bir seviyeyi üstlenmektedir. Her iki model de nüfus yoğunluğu göz önüne alındığında yüksek risk oluşturan İstanbul şehri için 475 yıllık bir geri dönüş süresi için 0,30 g ile 0,45 g arasında PGA seviyeleri öngörmektedir. Zamana bağlı modelde İstanbul şehrinin tehlike düzeyi Poisson modelinden daha yüksektir, çünkü Marmara Denizi'ndeki bazı kırılmamış KAF segmentlerinin (sismik boşluk)  $M > 7$  ile karakteristik olaylar oluşturma olasılığı daha yüksektir (bkz. Şekil 9). (daha fazla referans için Sianko ve diğerleri 2020).



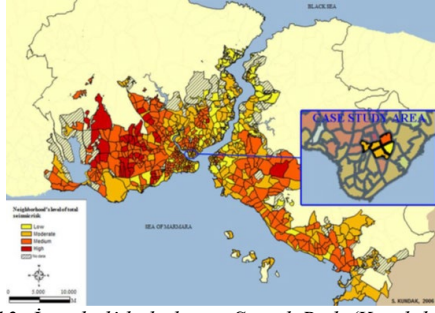
Şekil 11: 50 yıllık Poisson Modeli (A) ve Zamana bağlı model (B) için %10 aşılma olasılığı dikkate alınarak PGA (g) için Marmara bölgesinin sismik tehlike haritası, (Sianko vd. 2020).



Şekil 12: CSA'da ve İstanbul'da PGA dağılımı (De Marchi, 2014).

Şekil 10, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na 18 ila 20 kilometre mesafedeki riskin, İstanbul'un sismik açıdan en tehlikeli bölgelerinden biri olmadığını göstermektedir. Üzerine düştüğü dört hücrenin tümü, orta-düşük bir Tepe Yer İvmesi (PGA) değeri ile karakterize edilir. Sismik risk, genel formül (1) kullanılarak değerlendirilmiştir.

$$\text{Risk (R)} = \text{Hazard (H)} \times \text{Vulnerability (V)} \times \text{Exposure (E)} \quad (1)$$



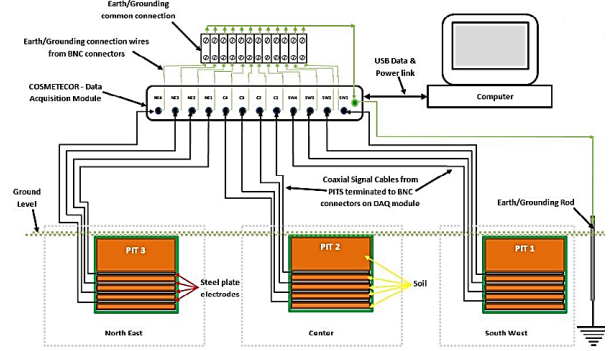
Şekil 13: İstanbul'da bulunan Sismik Risk (Kundak, 2006).

Risk azaltma, geri dönüş süresini ve kaynakları büyük ölçüde aşan uzun zaman ve muazzam ekonomik ve sosyal çaba gerektirir. Bu nedenle, ana şok ve ikincil afetlerden kaynaklanan insan kayıplarını en aza indirmek ve operasyon ekiplerini ve acil durum malzemelerini verimli bir şekilde koordine etmek ve düzenlemek için bir acil durum tahliye sisteminin geliştirilmesi önemlidir. Alarm derecesi, acil durumun üstesinden gelmek için birincil tahliye alanları, çadır köy alanlarının hazırlanması, kurtarıcılar ve kaynak toplama alanları sağlayabilir.

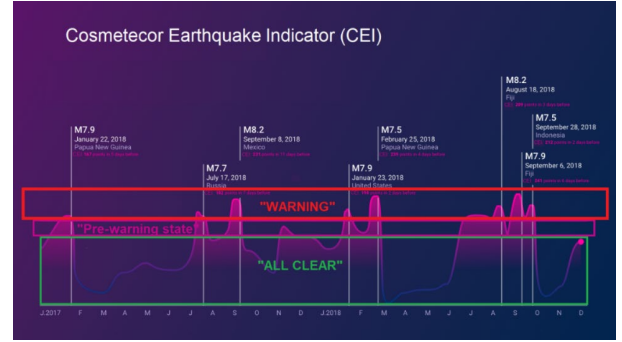
Yeraltı elektrik verileri, çok kanallı voltmetre kaydedici ile kaydedilen veriler tarafından otomatik olarak işlenecektir. Bölgedeki mekansal elektrik ofsetlerinin özel yazılımlar ile belirlenerek analiz edilmesi gerekmektedir. Yorumlama modeli, zamansal olarak ilişkili örüntüleri hesaba katmak için durağan olmayan yeraltı elektrik verileriyle birleştirilmiş jeolojik Vernadski ve Larin modelleri hakkında bir genelleme sağlar. Ardından, deprem kaynağının tam bir matematiksel modelini - yani merkez üssü, zaman aralığı ve büyüklüğü - oluşturmak için analitik ve sayısal modelleme kullanılır. Bu nedenle, önerilen deprem yakın gelecek uyarı sisteminin yetenekleri büyük ölçüde şunlara bağlıdır.

- bir bölgede kurulu istasyon sayısı;
- gerilim oluşturma sürecinde verileri gerçek zamanlı olarak yorumlamak için kullanılan birikmiş bilgi.

Önerilen metot üzerinde günümüze gelinceye değin yaklaşık 30 yıllık veri depolanarak etiketlenmiştir, bu veriler kullanılarak çalışmalar yürütülmüştür. Güçlü depremlerin özelliklerini tespit etmek için koordineli yeraltı elektrik gözlemleri çok önemlidir. İstanbul, Sakarya ve Bolu illerindeki sismik tehlike değerlendirmesi göz önüne alındığında, proje uygulamasındaki ilk adım, fay hatları boyunca, nehirler gibi büyük drenaj sistemlerinin taşkın yatağında biriken en zayıf zemin malzemesi ve bu ana drenaj sistemlerinin alt dallarının yataklarıdır. Önerilen mimariye uygun olarak, yüksek sismik risklere maruz kalan aktif faylarda doğrudan ve sürekli yeraltı elektrik gözlemleri yapılması ile tahminleme doğruluğu artırılabilir. Bu nedenle, İstanbul bölgesinde (yarıçap 50 km) yaklaşan yıkıcı depremi tespit etmek için en az altı istasyon, Sarakaya'da üç istasyon ve Bolu'da üç istasyona ihtiyaç vardır.



Şekil 14: Cosmetecor yakın gelecek deprem algılama sistemi uygulaması.



Şekil 15: Cosmetecor deprem göstergesinin üst düzeyi ve uyarı durumu, birbirini izleyen iki 2017-2018 yılı tarihsel depremlerin özeti

Cosmetecor teknik grafikleri (Şekil 13), coğrafi bölgenin bir haritasını ve açıklama özellikleri içerir. Bu göstergenin dinamik birikimini, beklenen varış zaman penceresini ve yoğunluk sallamanın lokalizasyonunu göstermeyi amaçlayan kodlamayla gri, mor veya kırmızı olarak renkle belirlenmiş kullanıcılar için bir bilgi içermektedir.

Bu yazıda İncelenen çözüm, depremden 10-30 saniye önce sadece kritik altyapı elemanlarını (elektrik, gaz, nükleer santral vb.) devre dışı bırakmak için kullanılan deprem erken uyarı sistemlerine kıyasla ölümlerin veya ölümlerin önlenmesi gibi insanlara ve ekonomiye eşsiz faydalar sağlayabilir.

Depremler, diğerlerine göre en ölümcül ve yıkıcı doğal afetlerden biridir. Türkiye'ye bakıldığında, depremlerin ülke için diğer dışallıklara kıyasla en büyük tehdit olduğu söylenebilir. İstanbul örneğinde, 7.7 büyüklüğünde bir depremin şehri vurması durumunda, insan kaybı, 40 Milyar USD ekonomik kayıp ve 2 milyondan fazla insan için kurtarma faaliyetine ihtiyaç olabileceği öngörülmektedir. Türkiye'nin GSYİH'sının %40'ını İstanbul'un üretmesi de dikkat çekicidir. Dolayısıyla ülkenin sosyal hayatını,

ekonomisini ve geleceğini etkileyecek, ülke için kapsamlı bir aksama olacaktır. Buna göre incelenen teknoloji, depremi 23 gün önceden bildirebilme potansiyeline sahiptir ve bu doğal afetin ekonomiye ve sosyal hayata olan etkisini önemli ölçüde azaltabilecek potansiyele sahiptir. Buna göre incelenen sistem, yıkıcı bir doğal afeti, daha sosyal ve acil durum altyapısı ile daha dirençli bir şekilde yeniden inşa edilebilecek bir şehir için bir yenilenme fırsatına dönüştürebilir. Ayrıca, deprem sonrası toparlanma süresi de önemli ölçüde azalacaktır.

#### REFERANSLAR

- [1] Vernadski V.I. (1912) Gas exchange in earth's crust. Proc Acad Sci 6:141–162
- [2] Vernadski V.I. (1933) History of minerals of earth crust. Vol.2. History of natural waters. Ch.1. Issue 1. – Leningrad: Goshimtehizdat [In Russian]
- [3] Gutenberg, B. (1927) Grundlagen der Erdbebenkunde. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- [4] Båth M. (1966) Earthquake prediction. Scientia. An. LX. C1. N. Ser.YII. P.1.
- [5] Larin VN (1970) Hypothesis of primordially hydride earth. Nedra, Moscow (in Russian)
- [6] Larin VN (1993) Hydridic earth: the new geology of our primordially hydrogen-rich planet. Polar Publishing, Calgary ISBN 0-9694506-2-1.
- [7] Akkar, S., Azak, T., Çan, T. et al. Evolution of seismic hazard maps in Turkey. Bull Earthquake Eng 16, 3197–3228 (2018).
- [8] Bobrovskiy V.S, Kuznetsov D.A (2016) Seismic global conception on the example of strongest earthquakes with  $M \geq 8$  occurred in 2001–2015 ya. Scientific world, Moscow ISBN: 978-5-91522-426-0 [in Russian]
- [9] Lyubushin AA, Bobrovskiy VS, Shopin SA (2016) Experience of complexation of global geophysical observations. Geodynamics & Tectonophysics 7(1):1–21. doi:10.5800/GT-2016-7-1-0194
- [10] Bobrovskiy, V.S., F.Stoppa, L.Nicoli, and Y.Losyeva (2017), Nonstationary electrical activity in the tectonosphere-atmosphere interface retrieving by multielectrode sensors: case study of three major earthquakes in Central Italy with  $M6+$ , Journal Earth Science Informatics, 10(2), 269-285, DOI 10.1007/s12145-017- 0296-4.
- [11] Duman TY, Çan T, Emre Ö, Kadirioglu FT, Başarır Baştürk N, Kılıç T, Arslan S, Özalp S, Kartal RF, Kalafat D, Karakaya F, Eroğlu Azak T, Özel NM, Ergintav S, Akkar S, Altınok Y, Tekin S, Cingöz A, Kurt Al (2016) Seismotectonics database of Turkey. Bull Earthq Eng.
- [12] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F (2013) Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1.250.000 scale. General directorate of mineral research and exploration, Special Publication Series 30, p 89
- [13] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Olgun Ş, Elmacı H, Şaroğlu F, Çan T (2016) Active fault database of Turkey. Bull Earthq Eng.
- [14] Ergintav, S., R. E. Reilinger, et.al. (2014). Istanbul's earthquake hot spots: Geodetic constraints on strain accumulation along faults in the Marmara seismic gap, Geophys. Res. Lett., 41, 5783–5788.
- [15] Hussain, E., Wright, T.J., Walters, R.J. et al. Constant strain accumulation rate between major earthquakes on the North Anatolian Fault. Nat Commun 9, 1392 (2018).
- [16] Kadirioglu FT, Kartal RF (2016) The new empirical magnitude conversion relations using an improved earthquake catalogue for Turkey and its near vicinity (1900–2012). Turk J Earth Sci 25:303–310
- [17] Kundak, S. (2006), Istanbul'da Deprem Risk Parametrelerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi (A Model on the Evaluation of Earthquake Risk Parameters in Istanbul). Thesis in Urban and Regional Planning (Advisor: Prof. Dr. Handan Turkoglu), Istanbul Technical University, Institute of Science, Istanbul.
- [18] Minson S. E., M.-A. Meier, A. S. Baltay, T. C. Hanks, E. S. Cochran (2018). The limits of earthquake early warning: Timeliness of ground motion estimates. Sci. Adv. 4, eaaq0504.
- [19] Sianko, I., Ozdemir, Z., Khoshkholghi, S. et al. (2020). A practical probabilistic earthquake hazard analysis tool: case study Marmara region. Bull Earthquake Eng 18, 2523–2555.