

Türkiye Güncellenmiş Kuvvetli Yer Hareketleri Veri Tabanı

AN UPDATED STRONG-MOTION DATABASE OF TÜRKİYE (SMD-TR)

**M Abdullah Sandikkaya¹, Baran Güryuva², Özkan Kale³,
Oğuz Okçu⁴, Sinan Akkar⁵, Abdullah İçen⁶, Emrah Yenier⁷**

ÖZET

Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (SMD-TR), başlangıçta Akkar vd. (2010) tarafından derlenen veri tabanının güncellenmiş halidir. Güncellenen veri seti, 1976 ile Şubat 2023 arasında meydana gelen $3.0 \leq M \leq 7.8$ büyüklüğündeki 9244 depremden oluşmaktadır. Bu veri tabanında, 1,022 istasyonda kaydedilen 95,890 üç bileşenli dalga formları (55,375 filtrelenmiş kayıt) bulunmaktadır. Veri tabanı, ulusal ve uluslararası sismoloji kurumlarından ve literatürden derlenen deprem meta verilerini içermektedir. Deprem tektonik yapılarına göre sınıflandırılmış (aktif kabuk ve dalma - batma) ve artçı şok olan depremleri belirlenmiştir. AFAD tarafından sağlanan istasyon bilgileri kullanılarak, zeminin üst 30 metresindeki zamana dayalı ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) ve anakayaya ($V_{s30} = 1\text{km/s}$) olan derinlik (Z_1) dahil olmak üzere zemin parametrelerini hesaplanmıştır. Ayrıca, kaynak-fay mesafe metriklerini hesaplanmış, tavan ve taban bloğu ve atımlı kayıtları işaretlenmiştir. Kayıtların kalitesini belirlemek, uygun filtrelerle düşük ve yüksek frekanslı gürültüyü kaldırmak ve yer hareketi parametrelerini hesaplamak için otomatik bir işleme algoritması geliştirilmiştir. Otomatik işleme küçük magnituddeki ($M < 5.5$) depremlere uygulanırken, daha büyük depremlerden ($M \geq 5.5$) toplanan kayıtlar için manuel işleme şemasını tercih edilmiştir. Maksimum yer hareketi değerleri, spektral parametreler ve yer hareketi süresi veri tabanında, veri işleme parametreleriyle birlikte sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: kuvvetli yer hareketi veri tabanı, sismik tehlike, yer hareketi işlenmesi, yer hareketi tahmin denklemleri

ABSTRACT

We updated the earthquake strong-motion database of Türkiye (SMD-TR) that is initially compiled by Akkar et al. (2010). The updated dataset is composed of 9244 earthquakes of magnitudes $3.0 \leq M \leq 7.8$ that occurred between 1976 and 2023. It includes 95890 three-component waveforms recorded at 1,022 stations (55375 records are processed). The database includes event metadata compiled from national and international seismological agencies as well as literature. We classified events according to their tectonic environments (i.e., active crustal and subduction) and identified the aftershocks. The station information provided by AFAD was used to compute the main site parameters, including time-based average of shear-wave velocity of uppermost 30 m (V_{s30}) and depth-to-rock horizon at which the shear wave-velocity (V_s) attains 1 km/s (Z_1). We also computed the finite-fault distance metrics and flagged hanging wall effect as well as pulse-like records. We developed an automatic processing scheme to determine the waveform quality, apply appropriate filters to remove low- and high-frequency noise, and compute ground motion parameters. The automatic processing was applied to small magnitude ($M < 5.5$) events whereas manual processing scheme is preferred for waveforms recorded from larger events ($M \geq 5.5$). The peak ground motion values, spectral ordinates, and ground-motion duration are provided along with the key data processing parameters in the flatfile.

¹ Doç. Dr., İnşaat Mühendisliği Departmanı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, abdullahsandikkaya@hacettepe.edu.tr, (Sorumlu yazar)

² YL. Öğrencisi, İnşaat Mühendisliği Departmanı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, baranguryuva@hacettepe.edu.tr

³ Doç. Dr., İnşaat Mühendisliği Departmanı, TED Üniversitesi, Ankara, Türkiye, ozkan.kale@tedu.edu.tr

⁴ Dr. Öğrencisi, İnşaat Mühendisliği Departmanı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, oguzokcu95@gmail.com

⁵ T-Rupt Teknoloji Inc., 34398 İstanbul, Türkiye, sinan.akkar@gmail.com

⁶ Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Departmanı, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye, abdullahicen@gmail.com

⁷ Haley & Aldrich Inc., Seattle, WA, USA, emrah.yenier@gmail.com

Keywords: *ground-motion prediction models, ground-motion processing, seismic hazard, strong-motion database.*

1. GİRİŞ

Kuvvetli yer hareketi veri tabanları, temel olarak (i) yer hareketi tahmin modellerini geliştirmek, (ii) tehlike analizlerinde yer hareketi özelliklerini değerlendirmek ve (iii) yapısal ve jeoteknik analizler için ivme verileri sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Zira bu veri tabanları, yer hareketi modellemesi ve analizleri için önemli bilgileri içermekte olup, dünyanın sismik olarak aktif bölgelerinde birçok sağlam örneği bulunmaktadır.

Türkiye'de ilk kuvvetli yer hareketi kaydı 1976 yılında elde edilmiştir. O zamandan bu yana, kuvvetli yer hareketi ağı giderek yoğunlaşmış ve yıllar boyunca biriken zengin bir ivme veri setine yol açmıştır. Türkiye'nin kuvvetli yer hareketi veri tabanının ilk kapsamlı derlemesi Akkar vd. (2010) tarafından yapılmıştır. Veri tabanı, 1976'dan 2007'ye kadar olan dönemde 4.671 yer hareketi kaydını içermektedir. 2007'den sonra, bazı orta ve büyük büyüklükteki depremler (2010 Mw 6.1 Kovancılar, 2011 Mw 5.8 Simav ve 2011 Mw 7.1 Van depremleri) RESORCE'da derlenmiştir (Akkar vd., 2014). Alipour vd. (2020), ölçülen zemin parametrelerini de içeren 2008-2015 yılları arasında AFAD istasyonlarında kaydedilen 1.189 yer hareketini derlemiştir. 2019 yılında, AFAD hızlı moment tensörü çözümlerinden elde edilen temel deprem bilgileriyle ulusal kuvvetli yer hareketi veri tabanını (TADAS; tadas.afad.gov.tr; son erişim tarihi: 15 Mart 2023) yayınlamaya başlamıştır.

2. VERİ TABANI DERLENMESİ

SMD-TR, 1.022 istasyonda kaydedilen 9.244 depremde elde edilen 95.890 deprem ivme kaydını içeren beş ana bölümden oluşmaktadır: (1) deprem bilgisi, (2) istasyon bilgisi, (3) mesafe ölçütü bilgisi, (4) dalga formu bilgisi, (5) mutlak maksimum genlik (yer ivmesi, hızı ve deplasmanı), kuvvetli yer hareketi süresi ve spektral parametreler. Aşağıda, her bölümdeki bilgilerin nasıl derlendiği özetlenmektedir.

2.1 Deprem Bilgisi:

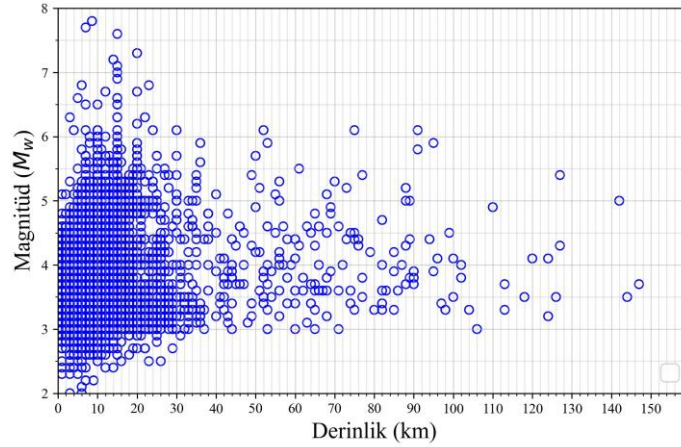
Deprem parametreleri, benzersiz bir deprem kimliği, başlangıç zamanı, hiposantr konumu (enlem, boylam ve odak derinliği), farklı ölçeklerdeki deprem magnitüdü (moment- M_w , yerel- M_l ve süre- M_d), kırılma tipi, fay mekanizması çözümleri, fay boyutları, kırığın üst noktasının derinliği (Z_{tor}), tektonik yapısı (aktif kabuk / dalma - batma) ve artçı şok işaretleri içerir.

Depreme ilişkin bilgiler, literatürden veya sismoloji kuruluşlarından elde edilir. AFAD, moment magnitüd dışındaki deprem başlangıç zamanları ve büyüklük ölçekleri için en yüksek önceliğe sahiptir. Diğer deprem parametreleri (yani, merkezi koordinatlar, odak derinliği, moment büyüklüğü, moment tensör çözümleri) için literatürden ve yerel, bölgesel ve küresel kuruluşlardan sağlanan bilgiler kullanılır.

Deprem parametrelerini belirleme sürecinin ikinci adımı, moment büyüklüğü M_w (ve dolayısıyla moment tensör çözümleri) verilerini sismoloji kuruluşlarından toplamaktır. Deprem parametrelerini derlerken önceki veri tabanı projelerinde toplanan deprem bilgilerini dikkate alınmıştır (T-NSMP, Akkar vd., 2010; SHARE, Yenier vd., 2010; RESORCE, Akkar vd., 2014; EMME, Danciu vd., 2018; TSTHG, Akkar vd., 2018).

Deprem parametrelerini derleme sürecinde üçüncü adım, depreme özel çalışmalardan elde edilen bilgilerin toplanmasıdır. RESORCE'da olduğu gibi depreme özgü literatür taranmıştır. Bu amaçla, veri tabanındaki orta ve yüksek magnitüdü depremler ($M_w \geq 5.5$) için ISC arama motorunu (Di Giacomo vd., 2014) kullandık. Ayrıca, KOERI gibi yerel kuruluşların yayınladığı verileri araştırılmıştır (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/>).

Tüm depremler, episantr konum ve başlangıç zamanı bilgisi içermektedir. Odak derinliği bilgisi 41 deprem için mevcut değildir. 9244 depremin %44'ünde bildirilen M_w değeri vardır. T-NSMP ve RESORCE'da olduğu gibi SMD-TR'de büyüklükleri homojenleştirmek için herhangi bir magnitüd dönüşüm denklemi uygulanmamıştır. Yerel magnitüd (M_l) ve süreye bağlı magnitüd (M_d) değerlerine sahip depremlerin sırasıyla veri tabanının %43'ü ve %13'ünü oluşturmaktadır. $M_w > 6.1$ olan tüm depremlerin fay çözümleri vardır. 129 depremden sekizi hariç, $M_w \geq 5.5$ olan depremlerin tam fay geometrisi bilgileri, literatür veya sismik kuruluşlar tarafından derlenmiştir. Kaydı alınan derin depremlerin ($h > 50$ km) $3.5 \leq M_w \leq 6.0$ arasında yoğunlaşmışlardır (Şekil 1).



Şekil 1. Toplanan depremlerin derinlik ve magnitüd dağılımı

Fay tipi, Boore ve Atkinson (2007) tarafından önerilen kriterlere göre belirlenmiş ve bu yaklaşım RESORCE'ta da kullanılmıştır. Depremlerin sınıflandırılması, Garcia vd. (2012) tarafından tanımlanan bir prosedürle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Gardner ve Knopoff (1974) tarafından önerilen algoritma uygulanarak artçı ve öncü deprem sınıflandırma analizi gerçekleştirildi.

2.2 İstasyon bilgisi:

İstasyon parametreleri (AFAD'dan alınan) ağ adları ve kodları, konum bilgisi (istasyon enlem ve boylamı) ve yükseklik bilgileri ile istasyon adresi, sensör kurulum tarihi (aktif değilse, kaldırma tarihi), sensör tipi ve özellikleri (sensör seri numarası, kayıt cihazı seri numarası, frekans, kazanç ve kalibrasyon parametreleri) içerir.

Zeminin üst 30 metresindeki zamana dayalı ortalama kayma dalgası hızı (V_{S30}) ve anakayaya olan derinliği (Z_1 ; V_s 'nin 1.0 km/s hızına ulaştığı derinlik), temel frekans ve eğim veri tabanı için derlenen zemin parametreleri derlenmiştir.

2.3 Kaynak-saha mesafeleri:

Her kayda yönelik noktasal kaynak ve sonlu kaynak mesafe metrikleri yanı sıra atım periyodu bilgisi de sağlanır. Veri tabanı tüm kayıtların episantr mesafesini (R_{epi}) içerir. Hiposantr derinliği mevcutsa, hiposentrik mesafe (R_{hyp}) de sağlanır (yalnızca 67 kayıt için eksik).

Sonlu kaynak mesafe metrikleri, Akkar vd. (2014) tarafından tanımlanan prosedürü ile uyumlu olarak hesaplanmıştır. Bu metrikler, kırılma düzleminin yüzey projeksiyonunun en yakın mesafesi (R_{JB} ; Joyner-Boore mesafesi) ve kırılma düzlemine olan en yakın mesafeyi (R_{rup}) içerir. Ayrıca, tavan / taban bloğu bayraklarını, R_x ve R_y değerleri de veri tabanında bulunmaktadır. Ancheta vd. (2014), R_x 'i fay kırığının en tepe noktasına dik noktanın siteye uzaklığı, R_y 'i de fay düzleminin yüzey izdüşümünün fay kırığına paralel halinin yatay mesafesi olarak açıklamaktadır.

2.4 Dalga formu meta verileri:

Dalga formlarının kalitesi, işleme türü, düşük ve yüksek filtre kesme değerleri ve kullanılabilir periyod aralıkları dalga formu meta verilerinin bir parçası olarak sağlanmıştır. "Mühendislik açısından önemli" olarak kabul edilen kayıtları (V_{S30} ve fay tipi bilgisi olan $M_w > 5.5$ depremlerinden elde edilen kayıtlar; 3535 kayıt) manuel olarak işlenmiştir. Geri kalan dalga formları (90.261 kayıt), otomatik filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. İşlenen kayıtların kullanılabilir periyotları, Akkar ve Bommer (2006) ile Ancheta vd. (2014) tarafından tarif edildiği şekilde hesaplanmıştır. Bir sonraki bölüm dalga verilerinin işlenmesi hakkında daha ayrıntılı bilgiler sunmaktadır.

2.5 Şiddet Parametreleri:

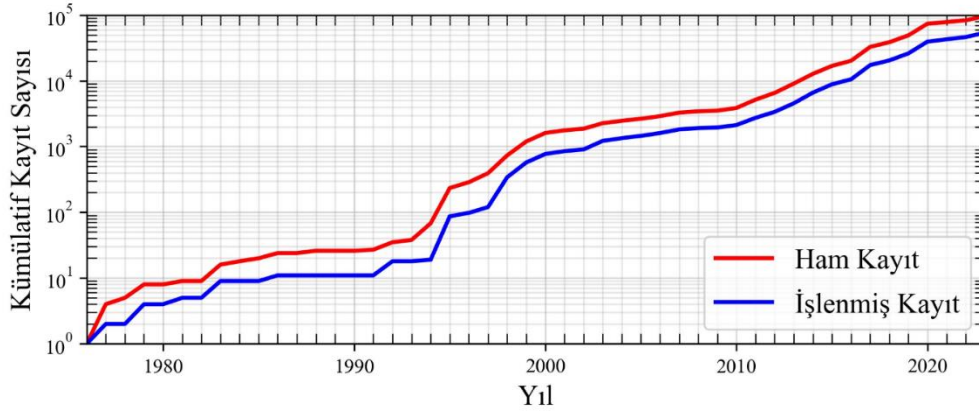
SMD-TR, işlenmiş ivme verilerinden maksimum yer hareketi değerlerini (maksimum yer ivmesi -PGA-, maksimum yer hızı -PGV-, maksimum yer deplasmanı -PGD-), Kümülatif Mutlak Hızı (CAV), ARIAS Şiddeti (AI) ve belirgin süre parametrelerini vermiştir. Kayıtların her bileşeni için $T = 0.01$ s'den $T = 20$ s'ye kadar 111 periyot için %5 sönümlü spektral ivme değerleri de (PSA) sunulmuştur. Ayrıca, yatay bileşenler için %5 sönümlü doğrultudan bağımsız, RotD50 ve RotD100 değerleri (döndürülmüş şiddet ölçülerinin dağılımının %50'si ve %100'ü; Boore, 2010), Wang vd. (2017) tarafından sağlanan RCTC kodu kullanılarak hesaplanmıştır.

3. FİLTRELEME İŞLEMİ

Filtreleme işleminin temel amacı, dalga formlarında yüksek ve düşük frekanslı gürültüleri giderirken ana deprem özelliklerini korumaktır. Önceki çalışmalarda (Akkar vd., 2010; Akkar vd., 2014; Alipour vd., 2020), SMD-TR'deki bazı dalga formları zaten işlenmiştir. Projeler arasında tutarlılık ve sürdürülebilirlik açısından, çalışmamızda onların filtre kesme frekansı değerlerini kullanılmıştır. SMD-TR'de çok sayıda yeni kayıt bulunduğundan, kayıt işleme işleminde manuel ve otomatik işleme kombinasyonu tercih edilmiştir. Bu iki yöntem arasındaki en belirgin fark, ilk yaklaşımda, dalga formlarındaki gürültüyü gidermek için düşük ve yüksek kesme filtre frekans değerlerini (sırasıyla f_{lc} ve f_{hc}) belirlemede uzman görüşünün öncelikli olmasıdır. İkinci yaklaşımda ise, süreç otomatik olarak f_{lc} ve f_{hc} 'yi belirleyen, bazı kısıtlamaları olan bir algoritma ile yapılmıştır. Mühendislik açısından önemli olan dalga formlarına ilk yaklaşımı uygularken, veri tabanının geri kalanını otomatik işleme yöntemiyle filtrelenmiştir.

4. META VERİ DERLENMESİ

SMD-TR, 974 istasyonda kaydedilen 6710 depremden elde edilen 55375 işlenmiş kayıttan oluşmaktadır. Yıllara göre bu kayıtların ve depremlerin kümülatif dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. İşlenmiş kayıtların sismolojik özellikleri, deprem (yani deprem sınıfı, büyüklük, fay tipi, hiposantr derinliği), site (V_{s30} , Z_1) ve kaynak-saha mesafe metrik bilgilerini içermektedir.



Şekil 2. Yıllara göre kümülatif ham ve işlenmiş kayıt sayıları

Veri tabanındaki orta ve büyük magnitüdeki çoğu deprem Türkiye'nin batı kesiminden kaynaklanmaktadır; yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Ege bölgesindeki büyük çaplı bölgeden (normal depremler). SMD-TR'deki Doğu Anadolu Fayı (DAF; yanal atımlı depremler hâkim) kaynaklı yüksek magnitüdeki depremler, son 20 yılda meydana gelen depremlerdir. Veri tabanının %46'sını, Türkiye'nin batı kesimindeki ana depremler ve artçı depremler oluşturur, bunu Doğu Türkiye'deki depremler (%29; DAF sistemi) takip eder. KAF, ivme verilerinin %10'unu oluşturmaktadır. Veri tabanındaki depremlerin yalnızca %1'i Hellenik ve Kıbrıs Kemerlerinden gelmektedir. (Dalma – batma zonu depremleri)

Depremlerin %96.8'inin $M_w < 5.5$ olduğunu ve bunun ivme verilerininin %90.2'sine denk geldiğini göstermektedir. Şu anda işlenmiş kayıtların %6.5'i $5.5 \leq M_w < 6.5$ (depremlerin %2.7'si) arasındadır ve işlenmiş verilerin %3.3'ü M_w değeri 6.5'ten büyüktür, bu da raporlanan M_w değerine sahip verilerin %0.5'ine karşılık gelmektedir. 5.7'den büyük magnitüde sahip moment magnitüd değeri bilinmeyen deprem yoktur ve 5 ile 5.7 arasında yalnızca 5 depremin bu bilgisi yoktur. (Kayıtların %1.3'ü). Sığ kabuk depremleri (hiposantr derinliği <20 km) depremlerin %94'ünü ve kayıtların %95'ini oluşturmaktadır. 6710'dan 5349 depremde (%54.8) fay tipi bilgisi bulunmamaktadır. Fay tipi bilgisi bulunan depremlerin %49'u yanal atımlıdır ve bu pay normal faylar için %41'e düşmektedir. Yanal atımlı ve normal depremler ivme kayıtlarının %94'ünü oluşturur (her biri %47; yani eşit pay). Yalnızca depremlerin %10'u ters fay tipine ve ivme kayıtlarının %6'sı da bu fay tipine aittir. Veri tabanındaki magnitüd ve uzaklığa dayalı dağılım incelendiğinde, magnitüdün 5.5'ten küçük olduğu kayıtların iyi örneklediğini göstermektedir. Büyüklük azaldıkça, mesafe limiti de AFAD kuvvetli yer hareketi ağı tarafından otomatik olarak uygulanan bir büyüklük-mesafe filtresi nedeniyle azalır. $M_w > 5.5$ için, fay tipi ters depremlerde belirgin bir büyüklük boşluğu ($6 \leq M_w < 7$) vardır. Normal ve yanal atımlı depremler için de benzer bir boşluk olduğunu gösteren dağılım grafikleri, fay tipi ters olan depremler kadar belirgin değildir.

5. SONUÇ

Elde ettiğimiz sonuçlar, güncellenmiş ve kapsamlı bir Türkiye Kuvvetli İvme Veri tabanı (SMD-TR) oluşturduğumuzu göstermektedir. Veri tabanı, 1976 yılından 28 Şubat 2023 tarihine kadar olan depremleri içermektedir. Yeni veri tabanı, 1.022 istasyonda kaydedilen 95.892 üç bileşenli kaydı ve 9.244 depremi kapsamaktadır. Deprem konumları, moment büyüklükleri, kırılma fay geometrisi ve magnitüdü gibi meta veriler, güncel teknikler kullanılarak derlenmiştir. Ayrıca, fay tipi, deprem sınıfı ve artçı şok tespiti gibi bilgiler de belirlenmiştir. Saha karakterizasyonu, mevcut olduğunda V_{s30} ve Z_1 değerlerine dayanmaktadır. İvme kayıtları hem manuel hem de otomatik işleme yöntemleri kullanılarak filtrelenmiş ve 55.375 işlenmiş kayıt elde edilmiştir. Veri tabanı, ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ivmeleri, tepki spektrumları ve ivme süresi gibi parametreleri içermektedir. Veri tabanının toplanılma, filtrelenme ve güncellenmesi hakkındaki detaylar Sandikkaya vd. (2023) içeriğinde mevcuttur. Bu veri tabanı, DesignSafe üzerinden 2025 yılına kadar güncellenerek kullanıma sunulacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkar S, Bommer JJ (2006) Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements. *Earthq Eng Struct Dyn* 35:1145–1165
- Akkar S, Çagnan Z, Yenier E, Erdogan Ö, Sandikkaya MA, Gülkan P (2010) The recently compiled Turkish strong-motion database: preliminary investigation for seismological parameters. *J Seismol* 14:457–479
- Akkar, S., M.A., Sandikkaya, M., Şenyurt, A., Azari Sisi, B.Ö., Ay, P., Traversa, J., Douglas, F., Cotton, L., Luzi, B., Hernandez and S., Godey. 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). *Bulletin of earthquake engineering* 12 (1): 311-339.
- Akkar, S., Kale, Ö., Yakut, A. et al. Ground-motion characterization for the probabilistic seismic hazard assessment in Turkey. *Bull Earthquake Eng* 16, 3439–3463 (2018).
- Alipour, N., M.A., Sandikkaya and Z., Gülerce. 2020. Ground motion characterization for vertical ground motions in Turkey—Part 1: V/H ratio ground motion models. *Pure and Applied Geophysics* 177 (5): 2083-2104
- Ancheta, T.D., R.B., Darragh, J.P., Stewart, E., Seyhan, W.J., Silva, B.S.J., Chiou, K.E., Wooddell, R.W., Graves, A.R., Kottke, D.M., Boore and T., Kishida. 2014. NGA-West2 database. *Earthquake Spectra* 30 (3): 989-1005.
- Boore DM, Atkinson GM (2007) Boore–Atkinson NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. In: PEER2007/01, Pacific earthquake engineering research center, University of California, Berkeley, CA
- Boore, D. M. (2010). Orientation-independent, nongeometric-mean measures of seismic intensity from two horizontal components of motion. *Bull. Seism Soc Am*, 100:1830-1835.
- Danciu, L., Kale, Ö. & Akkar, S. The 2014 Earthquake Model of the Middle East: ground motion model and uncertainties. *Bull Earthquake Eng* 16, 3497–3533 (2018).

- Di Giacomo, D., Storchak, D.A., Safronova, N., Ozgo, P., Harris, J., Verney, R. and Bondár, I., 2014. A New ISC Service: The Bibliography of Seismic Events, *Seismol. Res. Lett.*, 85, 2, 354-360,
- Garcia D, Wald DJ and Hearne MG (2012) A global earthquake discrimination scheme to optimize ground-motion prediction equation selection. *Bulletin of the Seismological Society of America* 102(1): 185–203.
- Gardner, J. K., and Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 64 1363-1367.
- Kurtulus C., Sertcelik F., Sertcelik I., Kuru T., Tekin K., Ates E., Apak A., Kokbudak D., Sezer S., Yalcin D., 2020. Determination of site characterization in Turkey strong motion recording stations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35(4), 1829- 1846.
- Sandikkaya MA, Yılmaz MT, Bakır BS, Yılmaz Ö (2010) Site classification of Turkish national strong-motion stations. *J Seismol* 14:543–563
- Sandikkaya et al. (2023) An Updated Strong-Motion Database of Türkiye (SMD-TR). *Earthquake Spectra*, Under review
- Wang, P., Stewart, J. P., Bozorgnia, Y., Boore, D. M., & Kishida, T. (2017). R package for computation of earthquake ground motion response spectra. *Pacific Earthquake Engineering Center, Report 2017/09.*
- Wiemer, S. (2001) A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72, 373-382.
- Yenier E, Sandikkaya MA, Akkar S (2010). Report on the fundamental features of the extended strong motion databank prepared for the SHARE project, pp. 44. Deliverable 4.1 of Seventh Framework Programme Project Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE), 34 pages, Ankara