



Deprem Mühendisliği Uygulamalarında Kullanılmak Üzere Açık Kaynaklı Bir Yazılım Geliştirilmesi: DARLA (Versiyon 1.0)

Development of Open Source Software for Use in Earthquake Engineering Applications: DARLA (Version 1.0)

Ülgen Mert Tuğsal^{1*}, Ahu Kömeç Mutlu²

¹ Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, umtuğsal@gtu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7304-4432>

² Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ahumutlu@gtu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2243-7302>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 3 Şubat 2023
Revizyon 10 Mart 2023
Kabul 14 Mart 2023
Online 23 Mart 2023

Anahtar Kelimeler:

Tepki Spektrumları, Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları, Python, Deprem Mühendisliği

ÖZ

Günümüz teknolojisindeki ivmelenmeler neticesinde deprem mühendisliğindeki uygulamalarda kullanılmak üzere deprem karakteristik özellikleri ve mühendislik şiddet parametreleri hızlı ve pratik bir şekilde belirlenebilir olmuştur. Bu gelişme çerçevesinde yazılımsal olarak parametrelerin pratik hesaplamalarını amaçlayan uygulamalarda artış gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Python yazılım dili kullanılarak, belli bir depreme ait, kuvvetli yer hareketi kayıtları zaman serisi kayıtlarından, maksimum ivme (*Peak Ground Acceleration (PGA)*), maksimum hız (*Peak Ground Velocity (PGV)*) ve maksimum yerdeğiştirme (*Peak Ground Displacement (PGD)*) değerleri hesaplanmış; kayıtlara ait hız-ivme-yerdeğiştirme zaman serileri üretilmiş; tepki spektrumları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) tanımlanmakta olan tasarım spektrumları ile karşılaştırılarak görselleştirilmiştir. Deprem sinyallerinin frekans içerikleri de ayrıca elde edilmiştir (Fourier Amplitude – Frequency grafikleri). Elde edilen çıktılar görselleştirilerek, yorum kolaylığı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen açık kaynaklı yazılım (*Depremlerin kARakteristik özeLliklerini Ayırıştırma: DARLA v1.0*) yardımıyla, deprem meydana geldiği andan itibaren bölge özelinde deprem mühendisliği anlamında yarı-otomatik üretilen bilimsel veriler ışığında hızlı değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 February 2023
Received in revised form 10 March 2023
Accepted 14 March 2023
Available online 23 March 2023

Keywords:

Response Spectra, Strong Ground Motion Records, Python, Earthquake Engineering

ABSTRACT

It is an important issue that earthquake characteristics and engineering intensity parameters can be determined quickly and practically to be used in earthquake engineering applications in the light of new developing technologies. Within this context, an increase is observed in software integration of engineering parameters. In this study, using Python software language, maximum acceleration (*PGA*), maximum velocity (*PGV*), and maximum displacement (*PGD*) values were calculated from time series records of strong ground motions of a certain earthquake; velocity-acceleration-displacement time series of records were produced; response spectra were visualized by comparing them with the design spectra defined in the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018). Frequency contents of earthquake signals were also obtained (Fourier Amplitude – Frequency plots). It is aimed to provide ease of interpretation by visualizing the outputs obtained. With the help of the open-source software DARLA (ver1.0), which was developed within the scope of this study, it is intended to make a rapid assessment in the light of semi-automatically produced scientific data, in terms of earthquake engineering, specific to the region, from the moment the earthquake occurred.

Doi: 10.24012/dumf.1247285

* Sorumlu Yazar

Giriş

Türkiye tektonik açıdan karmaşık ve sismik olarak aktif bir coğrafyaya sahiptir. Bu açıdan bakıldığında, deprem-zemin-yapı kapsamında üretilen bilimsel çalışmaların literatür katkısı önem kazanmaktadır. Meydana gelen orta ve büyük ölçekli depremlerde yalnızca depreme ait sismolojik parametrelerin (yeri, büyüklüğü, zamanı, derinliği vb.) değil depremin yapı ve zemini maruz bıraktığı etkiyi, yapı ve zeminin deprem sinyaline verdiği tepkiyi tespit etmek de mühendislik çalışmaları açısından önemlidir.

Deprem mühendisliği ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; depremlerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin türetilmesi konularında literatürde çok sayıda yayın mevcuttur. Örnek çalışmalardan bir tanesinde Yunanistan için mühendislik yer hareketi parametrelerinin ampirik bağıntılarla hesaplanarak, yer hareketi kaydının genliği, frekans içeriği, süresi ve enerjisinin etkilerini araştırarak sönüm ilişkisi denklemlerine dahil edilmiştir [1]. Benzer şekilde, mühendislik parametrelerini hesaplamak için, kuvvetli yer hareketi verilerini işlemek üzere yazılmış açık kaynaklı yazılım örneği olarak OpenSeismoMatlab yazılımı gösterilebilir [2]. OpenSeismoMatlab, çeşitli zaman serilerini ve tepe değerlerini, Arias yoğunluğunu, önemli süreyi, çeşitli lineer elastik tepki spektrumlarını, Fourier genlik spektrumunu ve ortalama periyodu hesaplayabilen bir yazılım algoritmasına sahiptir.

Günümüz teknolojisindeki ivmelenmeler neticesinde deprem mühendisliğindeki uygulamalarda kullanılmak üzere deprem karakteristik özellikleri ve mühendislik şiddet parametreleri hızlı ve pratik bir şekilde belirlenebilir olmuştur. Bu gelişme çerçevesinde yazılımsal olarak parametrelerin pratik hesaplamalarını amaçlayan uygulamalarda artış gözlemlenmektedir.

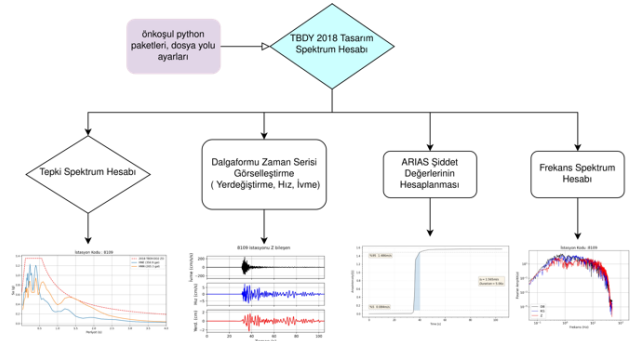
Tasarım spektrumu, mühendislerin bir yapının sismik tasarım aşamasında maruz kalacağı sismik kuvvetleri tahmin etmesine olanak sağlayan önemli bir araçtır. Tasarım spektrumu, belirli bir bölgede beklenen maksimum yer hareketinin periyot ve spektral ivme büyüklüğüne bağlı olarak ifade edilen grafiksel bir temsili olup, o bölgede meydana gelecek belirli bir yer hareketi seviyesinin olasılığı olan sismik tehlike kavramına dayanmaktadır. Sismik tehlike, yerel jeolojinin özelliklerine, depremin büyüklüğüne ve mesafesine ve sahadaki zemin tipine göre belirlenir. Deprem davranış (tepki) spektrumu ise, bir yapının belirli bir sönüm oranı için göz önüne alınan bir depreme maksimum tepkisinin belirli bir periyot aralığı için grafiksel bir gösterimdir. Tepki spektrumu, bir yapının deprem nedeniyle maksimum yer değiştirmesini, hızını ve ivmesini belirlemek ve bu sayede depremlerin etkilerine dayanacak yapılar tasarlamak için kullanılır.

Kuvvetli yer hareketi ölçümleri, deprem sırasında oluşan yer ivmesini zamanın veya frekansın fonksiyonu olarak vermekte ve deprem mühendisliği uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. İlgili depreme ait hız-ivme-yerdeğiştirme zaman serileri ve bu ivme serilerine ait tepki

spektrumları üretilmektedir. Bu çalışma kapsamında, elde edilen tepki spektrumları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) [3] tanımlanmakta olan tasarım spektrumları ile karşılaştırılarak görsel çıktılar üretilmiştir. Tepki spektrumu hesabında literatürde sıklıkla kullanılan bir sayısal hesaplama yöntemi olan Newmark metodu [4] kullanılmıştır. Bu yöntem aracılığıyla belirli bir zaman adımına ait dinamik denge denklemleri çözülerek çözüm bölgesine ait ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmektedir [5]. Her bir deprem yer hareketi için maksimum yer ivmesi (*PGA*), Maksimum Yer Hızı (*PGV*) ve Maksimum Yerdeğiştirme (*PGD*) değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın ana çerçevesi, deprem mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere deprem kayıtlarının kuvvetli yer hareketi parametrelerini hesaplayacak, kullanıcı ara yüzüne sahip açık kaynaklı bir yazılımın geliştirilmesidir. Yazılım dili olarak Python [6] açık kaynaklı kütüphaneleri kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım eğitim ve araştırmalara katkı sağlamak üzere <https://github.com/SeismoStructure/DARLA> sayfasından erişime açıktır.

Geliştirilen DARLA (v1.0) (Depremlerin kARakteristik özELLiklerini Ayırıştırma) yazılımına ait iş akışı Şekil 1 ile gösterilmiş ve detayları metin içinde açıklanmıştır.



Şekil 1. DARLA (v1.0) İş Akışı Şeması

Ön Koşullar

Python açık kaynaklı yazılımı, dünya genelinde araştırmacı ve yazılımcıların kendi amaçları doğrultusunda hazırlayarak, ortak kullanıma sunduğu zengin bir kütüphaneye sahiptir. DARLA (v1.0) çalıştırılmadan önce aşağıda listelenmiş yazılım paketlerinin yüklenmesi gerekmektedir.

- Matplotlib (versiyon 3.2.0) [7]
- openquake.engine [8]
- gmpe-smtk-master [9]

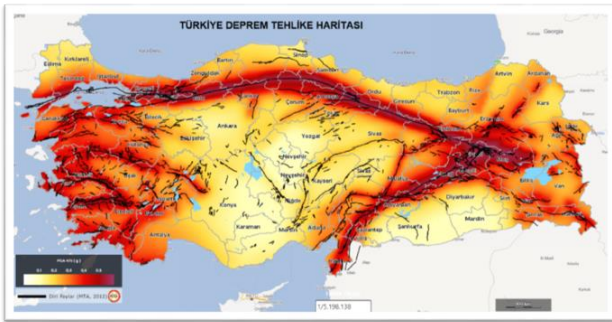
Python kütüphanesinden çağırılması gereken modüller DARLA (v1.0) içerisine yerleştirilmiştir.

Deprem verilerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılmak üzere tespit edilen depreme ait, kuvvetli yer hareketi kayıtları zaman serisi üç bileşen olarak ilgili yerel ve/veya uluslararası veri ağlarından Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BUKRAE-BDTİM) (<https://doi.org/10.7914/SN/KO>) [10]; T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (AFAD-TADAS), (<https://doi.org/10.7914/SN/TK>) [11]; The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) [12]; Center for Engineering Strong Motion Data (CESMD) [13] temin edildikten sonra, deprem sinyal kayıtlarının bilgisayar üzerindeki dosya yapısına uygun olarak buldurulması ve ilgili dosyaların uzantılarına göre yazılım içinde gerek dosya yeri yolu (ör: /home/user/database/) gerek ise dosya adı uzantısı (ör: *.asc, *.ASC, *.txt) güncellenmelidir.

Giriş parametrelerinin tanımlanması

Bina tipi yapıların deprem etkisi altında tasarımında esas alınacak deprem yer hareketlerine ilişkin veriler, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (Şekil 2) ile tanımlanmıştır (<https://tdth.afad.gov.tr/>) [14]. Giriş parametrelerinin tanımlanması aşamasında ilk olarak, çalışılacak depremin merkezüstü koordinatları kullanılarak Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_s) ve 1.0 saniye periyot için spektral ivme katsayısı (S_1) değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, seçilen bu spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Tasarım spektrumunu elde etmek üzere farklı periyot değerleri de yazılım içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası
(<https://tdth.afad.gov.tr/>)

Tasarım spektrumu hesabı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [3] yapıların sismik kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmasına yönelik hükümleri içermektedir. Bu bağlamda tanımlanmış olan tasarım spektrumu, o bölgeye ait tehlike haritası verileri (deprem büyüklüğü, faya uzaklık, faylanma mekanizması, jeolojik özellikler ve yerel zemin koşulları v.b.), bölgeye ait geçmişte meydana gelmiş

depremleri temsil etmektedir. Davranış spektrumlarının istatistiksel olarak çözümlenmesine dayanmaktadır.

TBDY-2018 [3]'de ifade edildiği üzere, çalışma bölgesinin noktasal koordinatları kullanılarak Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen S_s ve S_1 değerleri ile yerel zemin sınıfına bağlı olarak tanımlanan yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1) bilgisi yazılıma girdi verisi olarak verilmektedir. İlgili yönetmelikte tanımlandığı şekli ile S_s , S_1 ve yerel zemin etki katsayılarına ait tablolar yazılımda mevcuttur. Tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) kullanılarak yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları hesaplamaları yazılım tarafından yapılmaktadır.

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

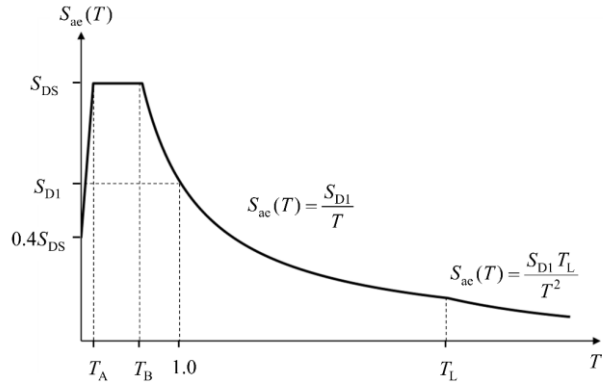
Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun (Şekil 3) ordinatları olan yatay elastik spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (1)'de tanımlanmıştır:

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} (T_A \leq T \leq T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} (T_B \leq T \leq T_L) \quad (1)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} (T_L \leq T)$$



Şekil 3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Burada S_{DS} ve S_{D1} Tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denklem (2) ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanmaktadır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2)$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6s$ alınmaktadır.

Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun (Şekil 4) ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem hareketi için tanımlanan kısa periyot

tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (3)'te tanımlanmaktadır:

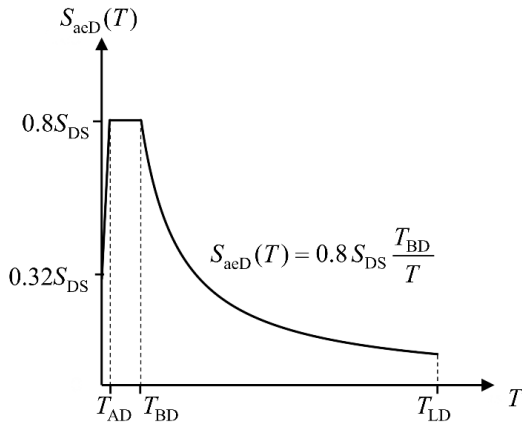
$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD})$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD})$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})$$

Denklem (3)'te yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum köşe periyotları ile T_{LD} periyodu Denklem (4)'te verilmiştir:

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}; T_{BD} = \frac{T_B}{3}; T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (4)$$

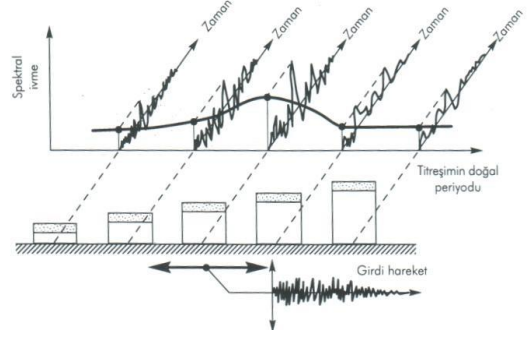


Şekil 4. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Bu çalışma kapsamında geliştirilen açık kaynaklı kod aracılığıyla, TBDY-2018 [3] yönetmeliğinde tanımlanmakta olan ve deprem mühendisliğinde temel öneme sahip tasarım spektrumu hızlı bir şekilde hesaplanmakta ve görselleştirilmektedir.

Davranış (Tepki) spektrumu hesabı

Deprem sırasında açığa çıkan yer ivmesinin, yapısal sistemde oluşturacağı şekil değişimini, kütlemin zemine görel hareketliliği olarak ifade etmek mümkündür. Kütlemin mutlak yerdeğiştirmesi, yapı mühendisliği açısından ele alınması gereken en önemli tepkidir. Bu tepkiyi ifade eden davranış spektrumu, deprem mühendisliği pratiğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Davranış tepki spektrumu, tek serbestlik dereceli bir sistemin belirli bir yer hareketi altındaki davranışının, sistemin sönüm oranı ve doğal periyodunun bir fonksiyonu olarak gösterimdir. Davranış spektrumu, yer hareketinin farklı doğal periyotlardaki yapılar üzerindeki etkisini yansıtır [15] (Şekil 5). Başka bir deyişle, çok sayıda farklı yapının maksimum davranışını göstermektedir.



Şekil 5. Davranış Spektrumunun elde Edilmesi [15]

Bu çalışma kapsamında davranış spektrumlarının elde edilmesi aşamasında ilk olarak çalışılacak depreme ait ivme kayıtları ilgili yerel ve/veya uluslararası veri ağlarından çekilerek hazır edilmektedir. Doğal titreşim periyodu aralığı ve sönüm oranı seçilmektedir. Bu seçimin mühendislik uygulamalarındaki tüm yapıları kapsayabilmesi açısından geniş bir periyot aralığı kullanılmıştır (0.01sn – 4.sn) ve %5 sönüm değerleri için uygulanmıştır.

Tepki spektrumu hesabında literatürde sıklıkla kullanılan bir sayısal hesaplama yöntemi olan Newmark metodu [4] kullanılmıştır. Bu yöntem aracılığıyla belirli bir zaman adımına ait dinamik denge denklemleri çözülerek çözüm bölgesine ait ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmektedir [5]. Her bir deprem yer hareketi için maksimum yer ivmesi (PGA), Maksimum Yer Hızı (PGV) ve Maksimum Yerdeğiştirme (PGD) değerleri hesaplanmıştır.

Fourier spektrumu hesabı

Fourier dönüşümü yöntemi, lineer sistemlerin karakterize edilmesinde ve sinyalin frekans içeriğini tanımlamada uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Sinyalin farklı genlik ve fazlardaki dalga serileri ile ifade edilmesi, dolayısı ile sinyalin frekans içeriği bilgisinin edinilmesinde önemli bir matematiksel araçtır. Kuvvetli yer hareketi verilerinin Fourier Spektrumu, bir deprem sırasında kaydedilen sismik dalgaların frekans içeriğini ifade etmektedir ve yer hareketinin özelliklerini anlamak için önemli bir araçtır. Fourier spektrumu, her frekansta sinyaldeki toplam enerjinin grafiksel bir temsildir ve yapısal tasarım için önemli olabilecek sinyalin frekans bileşenlerini belirlemek için kullanılabilir. Fourier spektrumu, yer hareketi kayıtlarındaki yüksek frekans bileşenlerinin görel gücünü belirlemek ve ölçmek için de kullanılabilir. Bu, daha yüksek frekanslı titreşimlerden kaynaklanan yapısal hasar potansiyelini değerlendirmek için önemli bir araçtır.

Bu amaçla DARLA (v1.0) yazılım basamaklarından biri olarak ilgili deprem ait Fourier spektrumları hesaplanmış ve görselleştirilmiştir.

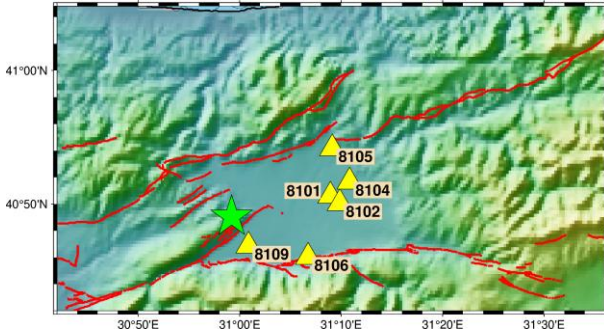
Arias şiddeti hesabı

Arias Şiddet Hesaplaması (AIC), kuvvetli yer hareketi verilerinin yoğunluğunu hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Bir deprem tarafından salınan enerjinin bir ölçüsü olan Arias Yoğunluğu (AI) denklemine dayanmakta olan önemli bir mühendislik parametresidir. AIC yöntemi, AI'yi hesaplamak için yer hareketi verilerinin en yüksek

yer ivmesi (PGA) ve en yüksek yer hızı (PGV) değerlerini kullanır. Yer hareketi verilerinin maksimum genliği alınarak aynı verilerin tepe yer ivmesine (PGA) bölünmesiyle hesaplanır. Arias Yoğunluğu daha sonra PGA'nın yüzdesi olarak ifade edilir. Bu parametre, bir depremin şiddetini değerlendirmek ve farklı depremlerin yoğunluğunu karşılaştırmak için kullanılabilir. Sismik aktiviteye dayanacak şekilde tasarlanan yapıların tasarım parametrelerini belirlemek için göz önüne alınan önemli bir büyüklüktür [16] (Arias, 1970). Bu amaçla DARLA (v1.0) yazılım basamaklarından biri olarak ilgili deprem ait Arias yoğunlukları hesaplanmış ve görselleştirilmiştir.

Uygulama Örneği: 23 Kasım 2022 Gölyaka - Düzce Depremi ($M_w=5.9$)

23 Kasım 2022 günü yerel saat ile 04:08'de merkez üssü Gölyaka (Düzce) olan M_w 5.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve çevresindeki birçok il ve yerleşim yerinde hissedilmiştir. Depremin ardından, AFAD-TADAS [11] tarafından sağlanan ivme kayıtlarına ulaşarak 6 adet sismik kayıta (Şekil 6) ait sayısal veri ASCII (*.asc) formatında web sayfası üzerinden yerel bilgisayara aktararak DARLA v1.0 yazılımı çalıştırılmıştır. Şekil 6'da yeşil yıldız imgesi 23.11.2022 Gölyaka-Düzce depremi merkezüstünü, sarı üçgen sembolleri ADAF-TADAS [11] tarafından işletilen ve çalışma kapsamında verisi değerlendirilen sismik kayıtların konumlarını temsil etmektedir.



Şekil 6. Sismik kayıtçı haritası AFAD-TADAS [11].

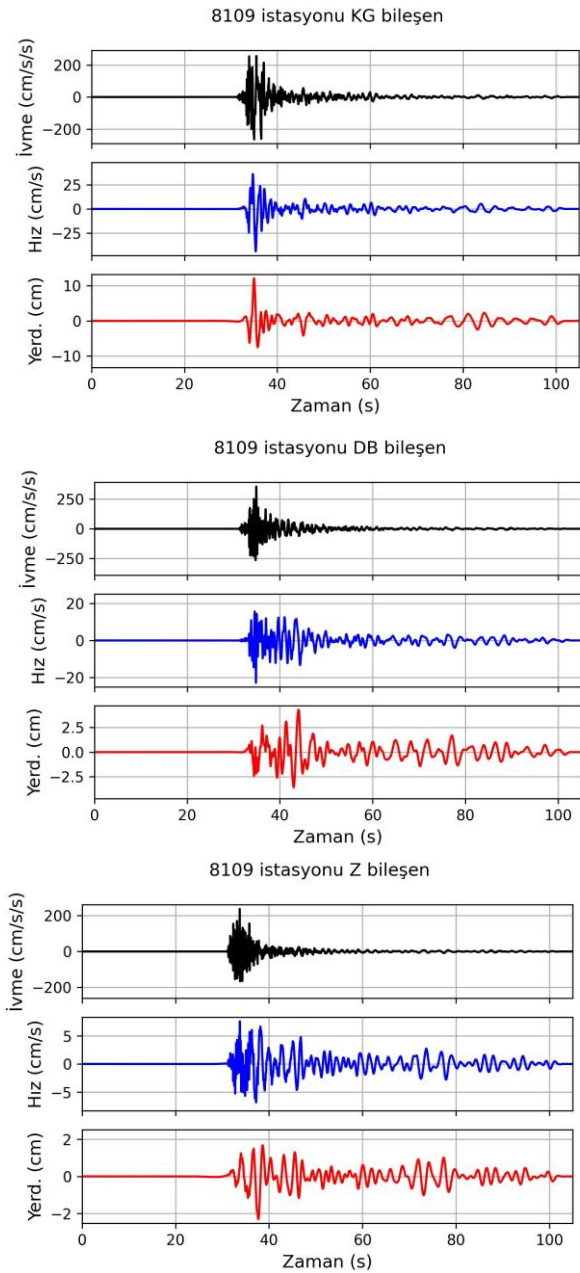
Dosya isim ve uzantılarında yapılan güncellemeler ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınan S_0 ve S_1 spektral ivme katsayılarının yazılımda güncellenmesinin ardından DARLA (v1.0) sorunsuz olarak çıktı üretmiş ve elde edilen bulgular araştırmacıların yorumuna sunulmuştur.

DARLA (v1.0) çıktılarının AFAD-TADAS [11] web sayfası üzerinden yayınlanan ilgili mühendislik parametreleri ile uyumlu olduğu, elde edilen spektrumların ve spektral değerlerin birbiri ile örtüştüğü gözlenmiştir. AFAD-TADAS spektrum tablosu üzerinden alınan PGA değerleri ile ilgili web sayfasından alınan, işlenmiş ivme verileri kullanılarak elde edilen DARLA (v1.0) çıktısı olan PGA değerleri arasında çok küçük sayısal farklılıklar gözlenmektedir. İlgili çıktılar Şekil 7, 8, 9 ve Şekil 10 ile Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kuvvetli yer ivmesi değerleri (K-G bileşeni için, gal cinsinden listelenmiştir)

İstasyon Kodu	PGA (gal) (AFAD-TADAS)	PGA (gal) (DARLA v1.0)	R_{epi}
8101	246.4	265.3	10.67
8102	213.4	214.5	11.79
8104	353.2	353.2	13.74
8105	581.9	581.9	13.88
8106	336.0	337.7	9.63
8109	265.3	265.3	4.75

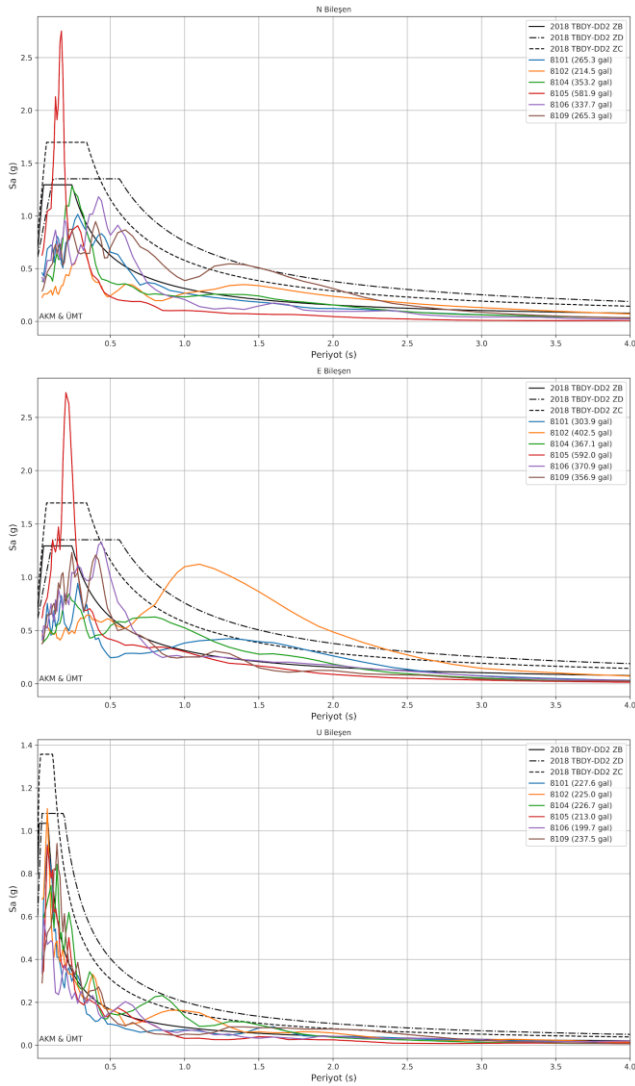
DARLA (v.10) yazılımı aracılığıyla her bir istasyondan alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait ivme-hız-yerdeğiştirme zaman grafikleri elde edilmiş olup, Şekil 7'de 8109 no'lu istasyon için örnek verilmiştir.



Şekil 7. 8109 no'lu istasyondan alınan kuvvetli yer hareketi kaydına ait ivme-hız-yerdeğiştirme zaman grafikleri

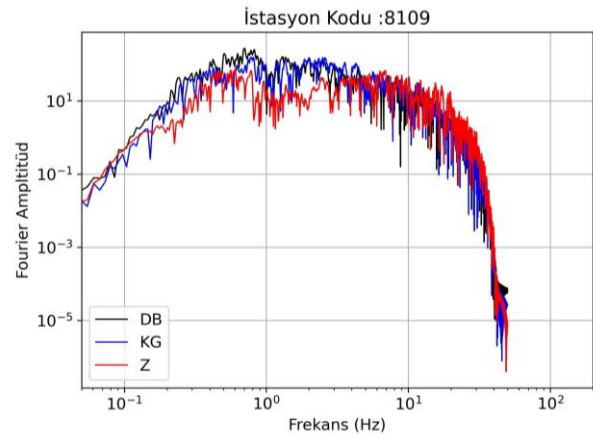
Her bir istasyondan alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait davranış spektrumları elde edilmiş ve TBDY-2018

[3]'de tanımlanmakta olan tasarım spektrumları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de görselleştirilmiştir.



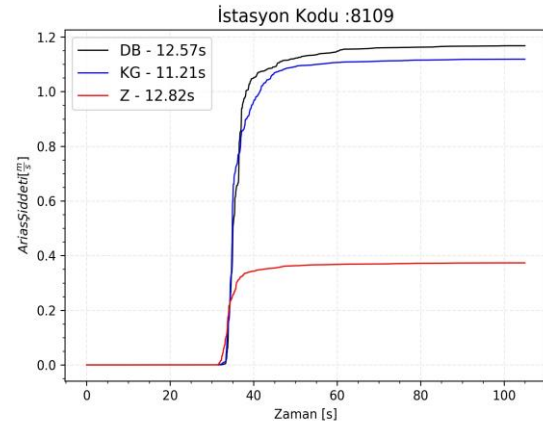
Şekil 8. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait davranış spektrumları ve TBDY-2018 tasarım spektrumları karşılaştırması

Çalışma kapsamında kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait Fourier Spektrumları elde edilmiş ve 8109 no'lu istasyona ait her üç ivme bileşeni için elde edilmiş olan spektrum örnek olarak Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. 8109 no'lu istasyona ait kuvvetli yer hareketi kayıtlarının her üç bileşenine ait Fourier spektrumları

Son aşamada çalışmada yer verilen 8109 no'lu istasyona ait kuvvetli yer hareketi kayıtlarının her üç bileşenine ait Arias şiddeti hesaplamaları yapılmış ve Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. 8109 no'lu istasyona ait kuvvetli yer hareketi kayıtlarının her üç bileşenine ait Arias şiddeti hesaplamaları

Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, meydana gelen orta ve yıkıcı büyüklüğe sahip bir depremin ardından deprem karakteristik özelliklerinin araştırılması ve ilgili mühendislik parametrelerinin hesaplanması/görselleştirilmesi amacıyla açık kaynaklı bir yazılım hazırlanarak ortak kullanıma sunulmuştur. Kuvvetli yer hareketi kayıtları zaman serileri 3 bileşen (KG, DB, Z) olarak ilgili yerel ve/veya uluslararası veri ağlarından temin edilerek ilgili ara yüze aktarılmıştır. Kayıtlara ait ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman serileri elde edilmiştir. Her bir istasyondan alınan kayıtların üç bileşeni için davranış spektrumları elde edilmiş ve TBDY-2018'de verilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. İlgili depremlere ait Fourier spektrumları ve Arias şiddetleri hesaplanmış ve yazılımda görselleştirilmiştir. Hesaplanan mühendislik şiddet parametreleri için literatürde tanımlı ve geçerli olan ampirik bağıntı ve formüller kullanılmıştır.

Yazılım dili olarak Python açık kaynaklı kütüphaneler kullanılmış olup DARLA (v1.0) Github sayfası üzerinden paylaşımına açılmıştır. Planlanan çalışmalar kapsamında,

yazılım üzerinde yapılacak güncellemelerle, deprem meydana geldiği andan itibaren bölge özelinde gerek sismolojik gerek deprem mühendisliği çıktıları üretilecektir. Geliştirilmesi planlanan kullanıcı dostu arayüzü ile DARLA (v1.0) kullanılarak raporlanacak olan bu şiddet parametrelerini içeren bilimsel veriler ışığında hızlı değerlendirme yapılması imkânı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada AFAD (<https://doi.org/10.7914/SN/TK>) sismik verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verileri araştırmacıların kullanımına açtıkları için kuruma teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Danciu, L. & Tselentis, A. (2007). Engineering Ground-Motion Parameters Attenuation Relationships for Greece. Bulletin of The Seismological Society of America - BULL SEISMOL SOC AMER. 97. 162-183. 10.1785/0120050087.
- [2] Papazafeiropoulos, G. & Plevris, V. (2018). OpenSeismoMatlab: A new open-source software for strong ground motion data processing. Heliyon. 4. e00784. 10.1016/j.heliyon.2018.e00784.
- [3] TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [4] Newmark, N. M. (1959), A method of computation for structural mechanics , Journal of Eng. Mechanics, ASCE, 85(EM3), 67-94.
- [5] Bathe, K.-J. (1996), Finite Element Procedures, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [6] Van Rossum, G. and Drake, F.L. (2006) Python Reference Manual. <http://docs.python.org/ref/ref.htm>
- [7] Matplotlib Development Team. Matplotlib: A comprehensive library for creating static, animated, and interactive visualizations in Python. Comput. Sci. Eng., 21(3):22-30, 2019.
- [8] Quake.engine (2020). Quake.engine. Retrieved May 26, 2020, from <https://quake.engine.org/>
- [9] Kumar, S., & Kijko, A. (2019). Python and OpenQuake-based Toolkit for Analysis of Strong Motions and Interpretation of GMPEs. Seismological Research Letters, 90(4), 1245-1257. doi:10.1785/0220180114 <https://github.com/GEMScienceTools/gmpe-smtk> (Erişim tarihi :03.02.2023)
- [10]Boğaziçi Ün. Kandilli Rast. Ve Deprem Araşt. Enst. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (<https://doi.org/10.7914/SN/KO>) (BUKRDAE-BDTİM) <http://www.koeri.boun.edu.tr/new/> (Last access : 17.02.2022)
- [11]T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistem (<https://doi.org/10.7914/SN/TK>), (AFAD-TADAS) <https://tadas.afad.gov.tr/> (Last access : 17.02.2022)
- [12]The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) <https://peer.berkeley.edu/research/data-sciences> (Last access : 17.02.2022)
- [13]Center for Engineering Strong Motion Data (CESMD) <https://www.strongmotioncenter.org/> (Last access : 17.02.2022)
- [14]Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, AFAD (2018) (<https://tdth.afad.gov.tr/>)
- [15]Kramer, S.L. (2003) Geoteknik Deprem Mühendisliği, Çeviren: Doç. Dr. Kamil Kayabalı, Gazi Kitabevi.
- [16]A. Arias A., "A measure of earthquake intensity. In: Hansen RJ (ed) Seismic design for nuclear power plants. MIT Press, Cambridge MA, pp 438-483. (1970).