

SPEKTRAL EŞLEME VE ÖLÇEKLENDİRME İLE OLUŞTURULMUŞ DEPREM KAYITLARININ YER TEPKİ ANALİZİ YÜZEY SPEKTRUMUNA ETKİLERİ

EFFECTS OF EARTHQUAKE RECORDS CREATED BY SPECTRAL MATCHING AND SCALING ON THE SURFACE SPECTRUM OF GROUND RESPONSE ANALYSIS

**Engin NACAROĞLU¹, Berk YAĞCIOĞLU², Selçuk TOPRAK³,
Muhammet CEYLAN⁴**

ÖZET

Deprem sonucu oluşan dalgaların zemin içindeki yayılımına bağlı değişimler azalım ilişkileri veya yer tepki analizleri (YTA) gibi yöntemler ile araştırılmaktadır. Sismik dalgaların anakayadan yüzeye doğru büyümesi veya sönümlenmesi sadece zemin ile değil, aynı zamanda bölgesel yer hareketi kaynaklarına göre seçilen anakaya depremlerinin özelliklerine de bağlıdır. Tasarım sürecinde referans kaya için olasılıksal tehlike haritaları ile elde edilen deprem spektral ivmelerine uyumlu kayıtlar kullanılarak yüzeydeki spektral ivmeler elde edilmektedir. Uyumlu kayıtların elde edilmesinde genel olarak 2 farklı yöntem tercih edilmektedir. Yöntemlerden birincisi, daha önce gerçekleşmiş farklı deprem kayıtlarının ayrı ayrı bölgede beklenen depremin spektral davranışına benzer olarak dönüştürülmesidir. Diğer yöntemde ise seçilen kayıtların genlikleri ölçeklendirilir ve ölçekli depremlerin ivme spektrumu ortalamalarının referans kaya spektrumu ile uyumlu olması hedeflenir. Deprem senaryoları ile ilgili olarak harita spektral ivmelerinin farklılık gösterdiği 4 farklı şehir seçilmiş ve bu şehirlerde YTA gerçekleştirilmiştir. İki bina hâkim titreşim periyodu, 4 farklı harita spektral ivme bölgesi kullanılarak 8 senaryo oluşturulmuştur. YTA tüm senaryo verileri için eşlenmiş ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. YTA'dan hesaplanan ve TBDY-2018'de zemin sınıfları için verilen spektral tepki ivmesi parametreleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer tepki analizi, deprem kaydı seçimi, deprem kaydı işlenmesi

ABSTRACT

Changes due to the propagation of waves resulting from earthquakes in the ground are investigated by methods such as attenuation relations or ground response analysis (GRA). The amplification or damping of seismic waves from the bedrock to the surface depends not only on the soil but also on the characteristics of the bedrock earthquakes selected according to the regional ground motion sources. During the design process, spectral accelerations on the surface are obtained by using records compatible with earthquake spectral accelerations obtained with probabilistic hazard maps for the reference bedrock. Two different methods are generally preferred in obtaining compatible records. The first of the methods is to transform the different earthquake records that have occurred before in a different region, similar to the spectral behavior of the expected earthquake. In the other method, the amplitudes of the selected records are scaled and it is aimed that the acceleration spectrum averages of scaled earthquakes are compatible with the reference

¹ Dr. Öğr. Üyesi., Pamukkale Üniversitesi, enacaroglu@pau.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Doktora Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, byagcioglu13@posta.pau.edu.tr

³ Prof. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, stoprak@gtu.edu.tr

⁴ Öğr. Gör., İstanbul Gelişim Üniversitesi, muceylan@gelisim.edu.tr

bedrock spectrum. Regarding earthquake scenarios, 4 different cities with different map spectral accelerations were selected and GRA were carried out in these cities. Eight scenarios were created using two building first-mode periods and 4 different map spectral acceleration regions. GRA were performed using matched and scaled earthquake records for all scenario data. Obtained spectral response acceleration parameters were compared with the spectral response acceleration parameters given for soil classes in TBDY-2018. The spectral response acceleration parameters calculated from GRA and given for the soil classes in TBDY-2018 were compared and examined.

Keywords: *Ground response analysis, ground motion selection, ground motion modification*

1. GİRİŞ

Deprem sonucu oluşan dalgaların yayılımı genel olarak olasılıksal, deterministik sismik tehlike analizi ve yer tepki analizleri ile incelenen bir kavramdır (Kramer, 1996). Yapıya etkileyen deprem dalgalarının belirlenmesi sürecinde anakayada oluşabilecek depremin sismik tehlike analizi ile belirlenmesi sonucunda, anakayadaki spektrumlar bölgesel zemin özelliklerine bağlı azalım ilişkileri (zemin etki katsayıları) ile veya yer tepki analizleri ile yüzeye taşınabilmektedir. Zemin etki katsayıları genellikle sağlam kabul edilebilecek zeminlerde tercih edilirken problemlili olarak nitelenebilecek (sıvılaşabilir, yüksek plastisiteli veya çok yumuşak) zeminlerde ise yer tepki analizleri tercih edilmektedir. Sismik tehlike analizinde sismik kaynaklar (çoğunlukla çizgisel ve alansal kaynakların belirli ağırlıklarda hesaba katılmasıyla) kullanılarak frekans tanım alanı için kısa periyot 0.2 s bölgesinde ve 1 s periyot bölgesinde spektral ivmeler belirlenir ve doğrudan spektrum üzerinden tasarım gerçekleştirilir. Yer tepki analizlerinde ise zaman tanım alanındaki deprem ivme kayıtları ile tasarım gerçekleştirilir. Analizlerde kullanılacak zaman tanım alanındaki kayıtlar ise mevcut depremler arasından seçilir, ölçeklendirilir veya eşlenir. Eşleme ve ölçeklendirme işlemi sismik tehlike analizi ile belirlenmiş olasılıksal spektruma göre yapılmaktadır. Eşleme ve ölçeklendirme arasındaki en büyük fark, eşleme tüm periyot bölgeleri için yapılmakta iken, ölçeklendirme depremden etkilenecek yapının hâkim titreşim periyoduna bağlı olarak yapılmaktadır.

2. YAPIYA ETKİYEN SPEKTRAL PERİYOTLARIN BELİRLENMESİ

Çalışma kapsamında 2 farklı yerel zemin durumu, Türkiye üzerinde bulunan 4 farklı şehir için olasılıksal sismik tehlike analizi sonrası TBDY-2018’de önerilmiş azalım ilişkileri, ölçekli depremler ile gerçekleştirilmiş yer tepki analizleri ve eşlenmiş depremler ile gerçekleştirilmiş yer tepki analizleri kullanılarak 2 farklı referans bina hâkim titreşim periyodu için belirlenmiştir. Şekil 1’de gerçekleştirilen adımlar gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Akışı

2.1. Harita spektral ivmeleri ve TBDY-2018 spektrumları

İlk adım olarak deprem tehlikeleri Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ile olasılıksal deprem tehlikesi belirlenecek 4 farklı bölge seçilmiştir. Bölge seçiminde DD-2 deprem senaryosu için farklı harita spektral ivmelerine sahip bölgeler tercih edilmiştir. Her iki yerel zemin koşulları için de sonuçların karşılaştırılmasında tutarlılık sağlanması amacıyla mühendislik anakayasası ZB olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda harita spektral ivmeleri ZB sınıfı zeminler için oluşturulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. (V_s)₃₀ = 720 m/s için Seçilen Bölgelerde Harita Spektral İvmeleri

Konum	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
Sakarya	1.531	0.420
Kahramanmaraş	1.048	0.278
Afyon	0.804	0.181
Karaman	0.234	0.058

2.2. Depremlerin eşlenmesi ve ölçeklendirilmesi

Belirlenen harita spektral ivme spektrumu ile uyumlu zaman tanım alanındaki ivme kayıtları ilk olarak spektral eşleme yöntemi ile belirlenmiştir. Spektral eşleme için Tablo 2’de verilen 11 adet kayıt eşlenmiştir (Atik vd., 2010). Tablo 3 ve 4’te verilmiş 8 farklı senaryo (2 farklı bina hakim titreşim periyodu ve 4 farklı yerel zemin koşulu) için 11’er adet kayıt armonik araştırma algoritması ile ölçeklendirilmiştir (Kayhan vd., 2022). Eşleme yönteminde, bazı durumlarda deplasman ve hız spektrumlarında bozulmalar oluşmaktadır. Bu tür davranışların ön plana çıkması durumunda yöntem yanlış yönlendirmelere neden olabilmektedir. Ölçeklendirme ise hedef periyot bölgesi için yapılmaktadır. Fakat yapılar hakim titreşim periyodu haricindeki modlar için de farklı deprem tepkileri gösterebilmektedir. Tasarım için belirlenmiş mod haricindeki periyotların aşırı sapsmalara sahip olmamasına dikkat edilmelidir. Algoritmada ölçeklendirme için hedef bölge bina hakim titreşim periyodunun 0.2 katı ile 1.5 katı arasında olarak seçilmiştir.

Tablo 2. Spektral eşlenmiş kayıtlar

Kayıt No	(V_s) ₃₀ (m/s)	Mag	R _{jb} (km)
63	634	6.61	13
231	537	6.06	14
285	639	6.9	26
459	663	6.19	27
763	730	6.93	36
1012	706	6.69	7
1111	609	6.9	8
1126	468	6.4	8
1137	665	6.4	9
1161	792	7.51	10
1206	665	7.62	10

Tablo 3. Bina hakim titreşim periyodu 0.2 s için ölçeklenmiş kayıtlar

Sakarya		Kahramanmaraş		Afyon		Karaman	
Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek
455	9.178	455	9.024	455	9.996	1352	7.280
1352	8.848	795	3.436	797	2.629	3094	6.991
1440	3.527	879	2.235	1161	2.472	3324	9.646
1613	7.977	1352	6.384	1446	9.305	3718	4.625
3895	3.168	3479	6.236	1587	6.209	5084	4.980
3925	5.852	3718	3.933	2759	8.974	6428	8.563
4167	8.767	5618	5.510	4248	9.584	6526	5.638
5618	2.850	5641	6.449	5670	8.404	6702	5.009

5993	3.764	6212	5.727	6009	8.350	6861	2.546
8165	3.284	6372	8.383	6372	7.317	9014	9.341
9014	9.218	9095	7.258	9014	9.875	9291	7.157

Tablo 4. Bina hakim titreşim periyodu 1 s için ölçeklenmiş kayıtlar

Sakarya		Kahramanmaraş		Afyon		Karaman	
Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek	Deprem Kodu	Ölçek
80	9.748	80	7.148	455	4.963	455	1.868
788	7.916	1319	4.254	703	9.820	2687	4.415
1613	1.778	2989	2.842	1518	4.963	3053	7.584
2929	8.538	3954	5.018	1613	9.326	5232	7.371
3893	6.475	5646	8.645	2929	6.430	5419	7.744
4167	7.311	5655	7.111	3324	5.586	5670	5.073
4312	6.057	5670	6.248	5680	5.458	5965	3.853
5618	6.670	5965	5.095	6274	4.597	6812	4.336
5655	8.650	6051	7.577	6287	3.584	8791	6.383
6212	9.384	8574	1.478	8775	6.300	8845	9.839
6688	8.960	8791	6.270	9014	9.161	9014	5.656

Çalışmanın daha geniş ölçekte değerlendirilebilmesi için bölge depremselliği ile yüksek uyumlu bir katalog oluşturulmamış ve Kayhan vd. (2022) kataloğu kullanılmıştır. Sadece aynı depremin farklı kayıtlarının 3 defadan fazla kullanılmaması için algoritmada güncelleme yapılmıştır. Özellikle faya yakın bölgelerde (en az 15 km yakınında 7'den büyük deprem üretebilecek veya en az 10 km yakınında 6-7 büyüklükleri arası deprem üretebilecek fay bulunan konumlar) ölçeklendirmesi yapılan işlenmemiş kayıtlar bölgenin depremselliğine uyumlu olmalıdır (ASCE 7-22). Ölçeklendirme ve eşleme arasındaki geniş yelpazenin gözlenebilmesi amacıyla yakın fay düzeltmeleri bu çalışmada yapılmamıştır. Gerçek bir tasarım durumunda deprem kataloğundaki kayıtların olabildiğince bölgenin zeminine, tektonik yapısına ve deprem spektral davranışına uyumlu olması gerekmektedir.

2.3. Yerel zemin koşullarının yer tepki analizine hazırlanması

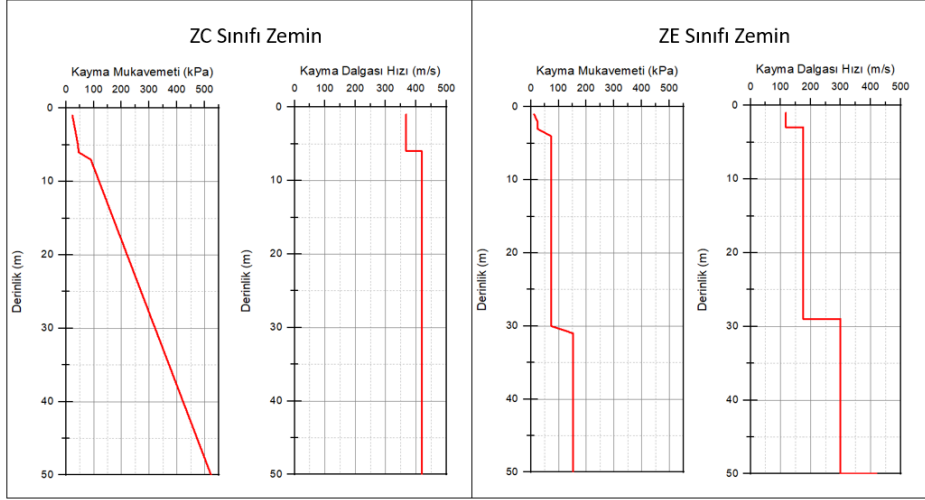
Deprem kayıtlarının oluşturulması sonucunda 2 farklı yerel zemin koşulu belirlenmiştir. Belirlenen yerel zemin koşulları daha önce gerekli zemin deneylerinin gerçekleştirildiği 2 farklı bölgeden alınmıştır. ZC olarak sınıflandırılan birinci yerel zemin durumu çakıl ve kum ağırlıklı bir zeminden seçilmiştir. ZE olarak sınıflandırılan ikinci yerel zemin durumu ise havzalarda sıklıkla karşılaşılan killi bir zemin olarak seçilmiştir. Şekil 2'de analizlerde kullanılan zemin özellikleri gösterilmiştir.

ZC sınıfı zeminde ince dane içeriği ilk 6 metre için %30 seviyesinde iken 6 metre derinlik sonrası %10'un altındadır buna bağlı olarak ayrıca zemin plastik özellik göstermemektedir. ZE sınıfı için ise ince dane içeriği genel olarak %70'in üstündedir ve plastisite indisi %15-%25 arasında değişmektedir.

Nacaroğlu vd. (2023)'de elde edilen bulgulara göre özellikle kumlu zeminlerde Darendeli (2001) ve Roblee ve Chiou (2004), killi zeminlerde ise Roblee ve Chiou (2004) en uygun sonuçları vermektedir. Bu nedenle çalışmada zeminlerin dinamik davranış eğrileri Roblee ve Chiou (2004) tarafından geliştirilmiş ampirik yaklaşım ile elde edilmiştir. İnce dane içerikleri, plastisite indisleri ve derinliklere bağlı olarak 3 metre derinlikte tabakalara ayrılan zemin için dinamik davranış eğrileri elde edilmiştir. Analizler 1 boyutlu olarak Deepsoil (Hashash vd., 2020) programı ile gerçekleştirilmiştir. Profiller analizin zaman tanım alanında gerçekleştirilecek olması nedeniyle her tabakanın ilk mod titreşim frekansının 30 Hz'i geçmeyeceği şekilde küçük tabakalara ayrılmıştır. Analizler farklı bölgelerdeki harita spektral ivme spektrumlarına göre eşlenerek ve ölçeklenerek oluşturulmuş zaman tanım alanındaki kayıtlar kullanılarak tekrarlanmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Harita ivme spektrumuna göre 44 adet tüm periyotlar için eşlenmiş, 44 adet 0.2 s periyot bölgesi için ölçeklendirilmiş ve 44 adet 1 s periyot bölgesi için ölçeklendirilmiş deprem kaydı kullanılarak yer tepki analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'te referans yapı periyodu bölgesinde elde edilen zemin etki katsayıları (F_s , kısa periyot yerel zemin katsayısı, F_1 , 1 saniye periyodu yerel zemin katsayısı) analiz sonuçlarına ve TBDY-2018 azalım ilişkisine bağlı olarak sunulmuştur. Yerel zemin ivme katsayıları ASCE 7-22'ye göre oluşturulmuştur.



Şekil 2. Yerel zemin koşulları

Tablo 4. Analiz sonucu belirlenmiş yerel zemin katsayıları

Zemin Sınıfı ve İvme Kaydı Türü	Sakarya		Kahramanmaraş		Afyon		Karaman	
	F_s	F_1	F_s	F_1	F_s	F_1	F_s	F_1
ZC-Ölçekli	1.03	1.48	1.03	1.39	1.27	1.31	1.2	1.31
ZC-Eşlenmiş	1.15	1.51	1.15	1.44	1.13	1.37	1.26	1.31
ZC-TBDY-2018	1.20	1.50	1.20	1.50	1.2	1.50	1.3	1.50
ZE-Ölçekli	1.25	2.28	1.34	2.03	1.24	2.48	1.65	2.91
ZE- Eşlenmiş	0.70	1.40	0.97	2.00	1.13	2.55	1.76	3.48
ZE- TBDY-2018	0.80	2.36	1.06	2.91	1.26	3.47	2.40	4.20

Yerel zemin ivme katsayıları için ASCE 7-22'de belirtilen şekilde, S_{D5} tüm periyotlar arasındaki maksimum spektral ivmenin %90'ı olarak seçilmiştir. S_{D1} ise 1 ve 5 saniye periyotları arasındaki maksimum spektral ivmenin %90'nının ve 1 saniye periyodunun büyük olanı olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak TBDY-2018'de tanımlanan F_1 , S_{D1} / F_1 ve F_s ise S_{D5} / F_s olarak hesaplanmıştır. ZC sınıfı zeminlerde büyük faylara yaklaşıldıkça (deprensellik arttıkça), S_{D1} (1 saniye periyodundaki spektral ivmeye bağlı spektrum pik platosunun genişliği) için tüm sonuçlar birbirine yakındır. Aynı durum S_{D5} (spektrum pik platosunun yüksekliği) için de geçerlidir. Yakın sonuçlar arasında güvenli bölgede kalan spektrumlar ise TBDY-2018'dir. Spektrum belirlenme sürecindeki deprem kaydı işleme yöntemleri, ZE sınıfı zeminler için ZC sınıfı zeminlere göre daha etkilidir. ZE zemin sınıfında spektrum pik platosunun genişliği değerlendirildiğinde tüm durumlarda TBDY-2018 en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Pik platosu genişliği üzerindeki kayıt seçimi etkisi değerlendirildiğinde, yüksek deprensellik (Sakarya) bölgesinde ölçekli kayıtlar eşlenmiş kayıtların %63 üzerindedir. Düşük deprensellik (Karaman) bölgesinde ise ölçekli kayıtlar eşlenmiş kayıtların %16 altındadır. Plato yüksekliği için kayıt seçiminin etkisi plato genişliğinde bahsedilen davranışa benzerdir. Yüksek deprensellik (Sakarya) bölgesinde ölçekli kayıtlar eşlenmiş kayıtların %78 üzerindedir. Düşük deprensellik (Karaman) bölgesinde ise ölçekli kayıtlar eşlenmiş kayıtların %6 altındadır. Fakat TBDY-2018 ZE sınıfı zeminlerde plato yüksekliği açısından Karaman haricindeki bölgelerde ölçekli kayıtlar ile gerçekleştirilen analizlere göre daha düşük değerlere sahiptir.

Görüldüğü üzere kötü olarak nitelendirilebilecek zeminlerde, bölge deprenselliği kayıt işleme yöntemi açısından önem arz etmektedir. Özellikle yakın fay bölgelerinde görülen dalga atımları da dikkate alınmalıdır

ve kayıt işlemi yöntemi bu bölgelerde daha detaylı yapılmalıdır (Somerville vd., 1997). Spektral eşleme yönteminin dezavantajlarından, kayıt işleme sürecindeki hız ve deplasman spektrum davranışlarının bozulması nedeniyle, elde edilen spektrumlar gerçek durumdan uzaklaşabilmektedir. Ölçeklendirme ile deprem kaydı seçimi, yakın fay bölgelerinde eşleme yöntemine kıyasla daha kritik sonuçlar vermektedir. Bu nedenle mevcut fay ile ilgili yeterli çalışmanın yapılamadığı tasarımlarda ölçeklendirme yöntemi güvenli tarafta kalmaktadır. Bulgular ile paralel olarak NIST 2011'de de benzer şekilde yakın fay bölgelerinde spektral eşleme yöntemi yerine deprem kaydı ölçeklendirme yöntemi önerilmektedir.

4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Faya yakın bölgelerde genel bir katalog kullanılarak rastgele seçilen kayıtların yerine bölge ile uyumlu kayıtların kullanılması yapılan yer tepki analizlerinde tercih edilmelidir. Depremselliği değerlendirilen yapının farklı yönler için modal davranışına bağlı olarak fay atım yönlerine, deprem kataloğu oluşturulması sürecinde dikkat edilmeli ve bu tarz bölgelerde doğrudan fay karakteristiğine uygun analizler yapılmalıdır. Deprem dalgası atımları olasılıksal olarak belirlendikten sonra (Shahi vd., 2011) analizde kullanılacak kayıtlara olasılık ağırlığına bağlı olarak dağıtılmalıdır.

Yakın fay bölgelerinde spektral eşleme yöntemi sadece eşleme sonrası deprem dalgası atım davranışının korunması şartıyla kullanılmalıdır. Ayrıca yakın fay durumunda, fay yönüne göre yapılan sahaya özel tasarımlarda belirli bir yönde yakın faya ait deprem tehlikesi az olabilir. Değerlendirilmeyen bölgedeki yakın fay kategorisinde değerlendirilmeyen başka fayların da zayıf fay yönündeki etkileri değerlendirilmelidir.

Özellikle fay hattına yakın bölgede gerçekleştirilecek yer tepki analizlerinde aynı fay hattında gerçekleşmiş depremlerin karakteristiklerine uyumlu kayıt seçimi oldukça önemlidir. Çalışmada kayıt seçiminin değerlendirilmesi amacıyla uyumsuz olarak seçilmiş deprem kayıtlarının yapı tasarımında kullanılacak spektral ivmeler üzerinde $\pm 80\%$ 'lere varan etkisi olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (2022FEBE016) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Al Atik, L., Abrahamson, N. (2010). "An improved method for nonstationary spectral matching. Earthquake spectra", 26(3), 601-617.
- ASCE/SEI 7-22 Standard: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (American Society of Civil Engineers (ASCE)).
- Darendeli, M. B. (2001), "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves." Texas University, Doktora Tezi, 362s, Austin, Texas.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., Park, D. (2020), "DEEPSOIL 7.0, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Kayhan, A. H., Demir, A., Palanci, M. (2022), "Multi-functional solution model for spectrum compatible ground motion record selection using stochastic harmony search algorithm", Bulletin of Earthquake Engineering, 20(12), 6407-6440.
- Kramer, S. L. (1996), "Geotechnical earthquake engineering". Pearson Education India.
- Nacaroglu, E., Yağcıoğlu, B., Toprak, S. (2023), "Yer tepki analizlerinde farklı dinamik kayma modülü yaklaşımları kullanılarak belirlenen tepki spektrumlarının karşılaştırılması" DEUFMD, 25(75), 597-609.
- NIST, G. (2011), "Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses", GCR 11-917-15.
- Roblee, C., Chiou, B. (2004), "A proposed geindex model for design selection of non-linear properties for site response analysis", In International workshop on uncertainties in nonlinear soil properties and their impact on modeling dynamic soil response. PEER Headquarters, UC Berkeley (pp. 18-19).

- Shahi, S. K., Baker, J. W. (2011), "An empirically calibrated framework for including the effects of near-fault directivity in probabilistic seismic hazard analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, 101(2), 742-755.
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., Abrahamson, N. A. (1997), "Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity". Seismological research letters, 68(1), 199-222.
- Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.