

BAUN Mühendislik Fakültesi binalarının bulunduğu alanın (Çağış, Balıkesir) deprem tehlike analizi, dinamik özellikleri ve standart deprem yer hareketi spektrumları

Şener CERYAN¹, Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN¹, Samet BERBER^{1,*}, Fazlı ÇOBAN¹

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 04.09.2021

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.01.2022

Öz

Bu çalışmada Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binası'nın bulunduğu alanda yüzeyleyen kaya/zemin birimlerinin litolojik, stratigrafik özellikleri ve ayrışma durumları incelenmiş; ayrıca temel zeminin türü, sınıfı, fiziksel özellikleri ile dinamik ve elastik özellikleri belirlenmiştir. İnceleme alanında altta yer alan killi kireçtaşı-kiltası-marn ardaalanmasında enine ve boyuna dalga hızları ortalama sırasıyla 1223 m/sn ve 660 m/sn iken; üstte yer alan kumlu siltli kilde sırasıyla 621 m/sn ve 298 m/sn'dir. Elastisite modülü üst birimde 309-561 MPa arasında değişirken, alttaki birimde 2460-2570 MPa arasında değişmektedir. İnceleme alanında zemin türü ZC sınıfında olup bu zemin türü dikkate alınarak standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2) için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı 1.020; 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı da 0.315 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, mühendislik fakültesi binalarındaki temel zemin türü dikkate alınarak standart tasarım deprem yer hareketi için Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumu elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler, Balıkesir Üniversitesi (BAUN) Mühendislik Fakültesi binaları için yapılmakta olan deprem risk analizine altlık sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Deprem tehlike analizi, elastik özellikler, tasarım spektrumu, Balıkesir.

Şener CERYAN, sceryan@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-1927-6985>

Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN, gokhanb@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-2217-9825>

*Samet BERBER, sametberber@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-8747-9346>

Fazlı ÇOBAN, fcoban@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1253-124X>

Earthquake hazard analysis, dynamic properties and standard earthquake ground motion spectrums of the area (Çağış, Balıkesir) where BAUN Engineering Faculty buildings are located

Abstract

In this study, the lithological, stratigraphic properties and weathering conditions of the rock/soil units outcropping in the area where Balıkesir University Engineering Faculty Main Building and Annex Building are located were examined; in addition, the type, class, physical, dynamic and elastic properties of the foundation soil were determined. In the clayey limestone-claystone-marl alternation at the bottom of the study area, the mean transverse and longitudinal wave velocities are 1223 m/s and 660 m/s, respectively; in sandy silty clay at the top, they are 621 m/s and 298 m/s, respectively. The modulus of elasticity varies between 309-561 MPa in the upper unit, while it varies between 2460-2570 MPa in the lower unit. The soil type in the study area is in ZC class and considering this soil type, the short period design spectral acceleration coefficient for the standard design earthquake ground motion (DD-2) is 1.020; the design spectral acceleration coefficient for the 1.0 second period was also obtained as 0.315. Besides, the Horizontal Elastic Design Spectrum and the Vertical Elastic Design Spectrum were obtained for the standard design earthquake ground motion considering the foundation soil type in the Engineering Faculty Buildings. The data obtained in this study provided the basis for the earthquake risk analysis for Balıkesir University (BAUN) Engineering Faculty buildings.

Keywords: Earthquake hazard analysis, elastic properties, design spectrum, Balıkesir.

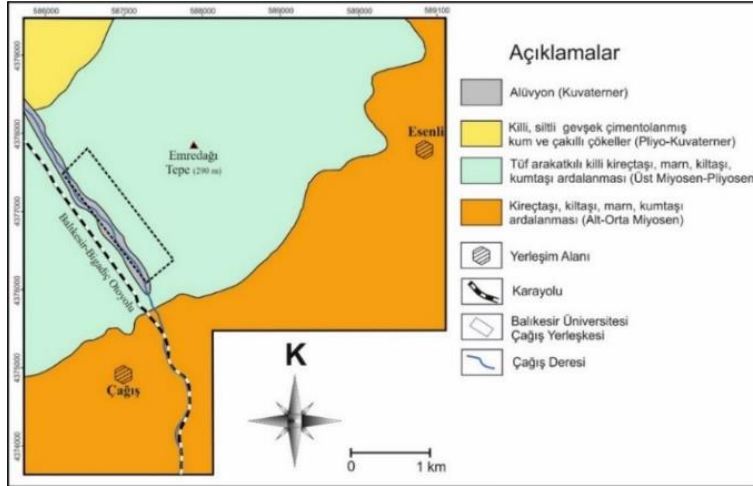
1. Giriş

Mühendislik Fakültesi binalarının yer aldığı BAUN Çağış Yerleşkesi (Şekil 1) Balıkesir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde kalmakta olup, Balıkesir İ20-d - 21-a, Bigadiç İ20-d – 16-d paftalarında ve 10 T1 – T2 – T3 – T4, 10S-3, 9S-2-4, 9T1-T2-T3-T4, 8T1- Mevzi İmar Planı paftalarında yer almaktadır (Şekil 1). BAUN Mühendislik Fakültesi Binalarının bulunduğu alan ve yakın civarında en altta, Alt-Orta Miyosen yaşlı ince taneli kireçtaşı- kiltası-marn-kumtaşı ardalanmasından oluşan birim yer almaktadır [1,2]

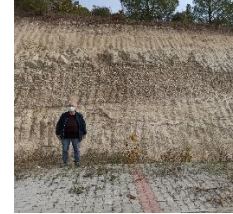


Şekil 1. BAUN Çağış yerleşkesi yerbulduru haritası.

Bu birimin üzerinde Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı tuf ara katkılı ve yer yer gevşek çimentolu çakıllı seviyeler de içeren killi kireçtaşı-kiltaşı-marn-kumtaşı ardalanmasından oluşan birim uyumlu olarak gelmektedir [1,2] (Şekil 2a). Birim içerisinde tabakalı yapı çok iyi gelişmemiş olup tabaka kalınlıkları kısa mesafede bile değişmekte ve fasiyes değişimleri yol şevlerinde izlenebilmektedir (Şekil 2b). Ayrıca, birim içerisinde uzanımı fazla olmayan faylarla ve tortullaşmayla eş zamanlı gelişmiş deformasyonlara rastlanılmıştır (Şekil 2c). Mühendislik Fakültesi Binalarının bulunduğu alanda ve Emredağı Tepe’de izlendiği gibi, eğimin düşük olduğu nispeten düz alanlarda, 4-5 m kalınlığa erişebilen ve söz konusu birimin tamamıyla ayrışmasıyla oluşmuş yer yer çakıllar da içeren kumlu siltli killer yer almaktadır. İnceleme alanının KB’sında Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı birimin üzerinde Pliyo-Kuvaterner karasal çökelleri; killi, siltli, gevşek çimentolanmış kum ve çakıllı çökeller bulunmaktadır. İnceleme alanındaki en genç birim ise Çağış Deresi boyunca dar bir alanda yüzeylenen ve çakıldan kile kadar değişik boyuttaki malzemeden oluşan alüvyondur.



(a)



(b)



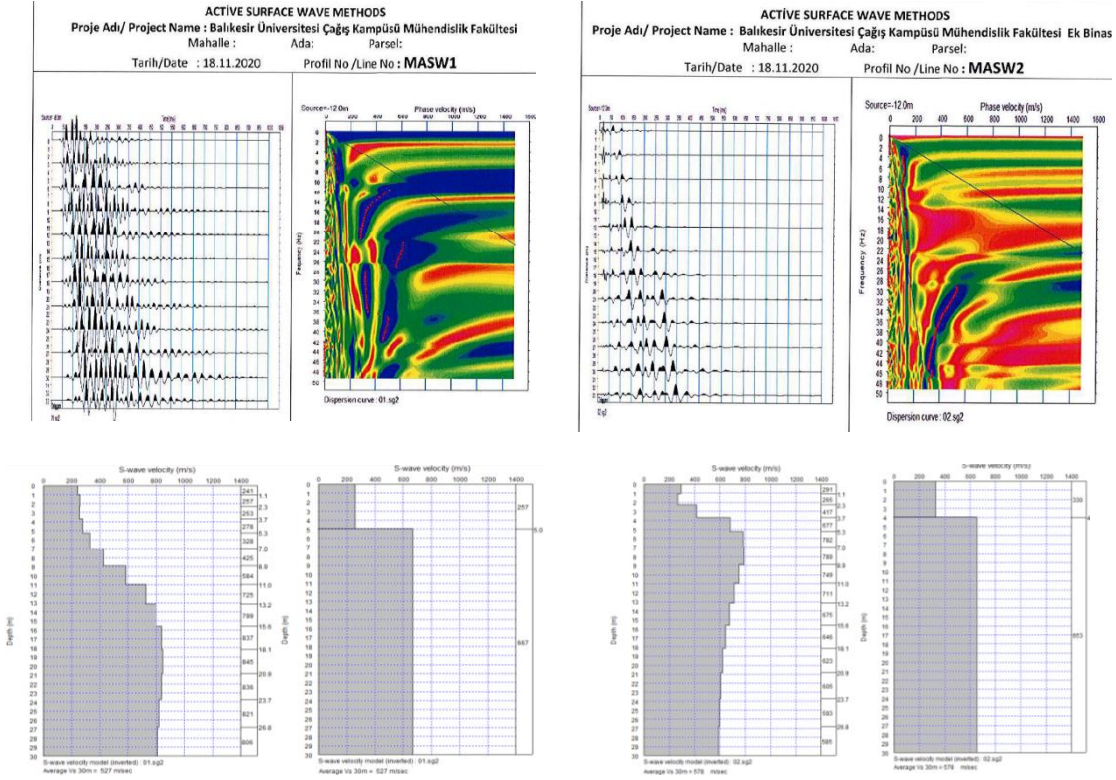
(c)

Şekil 2. (a) BAUN Çağış yerleşkesi ve yakın civarının jeoloji haritası [3] (b) inceleme killi kireçtaşı-kiltaşı-marn-kumtaşı ardalanması ve (c) bu birim içinde gözlenen normal fay.

BAUN Mühendislik Fakültesi Dekanlığı İnşaat Mühendisliği ve Jeoloji Mühendisliği Bölümlerine gönderdiği yazıda “Mühendislik Binalarının Deprem Risk Analizinin Yapılması” istenmiştir. Bu çalışma da bu isteğin karşılanmasına yönelik; “Mühendislik Fakültesi Binalarının Deprem Risk Analizine” temel teşkil etmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, inceleme alanında yer alan kaya/zemin birimlerinin litolojik, stratigrafik ve ayrışma durumuna araştırılmış, ayrıca yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi (MASW) uygulanarak temel zemininin türü, sınıfı, fiziksel özellikleri ve dinamik elastik özellikleri belirlenmiştir. Söz konusu binaların yer aldığı Çağış Yerleşkesi için deterministik ve olasılık deprem tehlike analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (TDTH) verileri [4] baz alınarak standart tasarım Deprem Yer Hareketi için Mühendislik Fakültesi Binaları temel zeminin türüne göre söz konusu binalara gelecek deprem yükünün bulunmasında ve bu binaların olası bir depremdeki performansını tahmin etmede gerekli Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumu da elde edilmiştir.

2. Yöntem

Zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde genellikle jeoteknik sondajla elde edilen veriler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem yalnızca belirli bir noktada yeraltı bilgisi sağlamakta olduğundan olumsuzluk içermektedir. Öte yandan, zemin dinamik parametreleri doğrudan kayma dalgası hızı (V_s) ile ilişkili olması nedeniyle V_s , zemin büyütmesi ve temel periyot ile birlikte dinamik zemin davranışının belirlenmesinde kullanılmaktadır [5,6]. Zemin dinamik parametrelerinin belirlenmesi için yapılan diğer çalışmalar arasında sismik kırılma veya çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemleri öne çıkmaktadır [7,8]. Yüzey dalgasının (VR) frekansa bağlı faz hızını doğru bir şekilde belirleyebilen MASW yönteminde zeminin rijitlik ve elastik özelliklerini değerlendirmek için Rayleigh tipi VR analiz ederek V_s profili oluşturur [8,9]. VR faz hızının ayrıca tek tek zemin katmanlarının kayma dalgası hızı ile güçlü bir ilişkisi vardır. Böylece, kaydedilen VR'nin dağılan faz hızının tersine çevrilmesiyle, Şekil 3'de gösterildiği gibi zemin yüzeyinin V_s profili elde edilebilir [10]. Mühendislik Fakültesi Binalarının temel zemininin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analiz Yöntemi (MASW) uygulanmıştır. Masw+Kırılma çalışması gerçekleştirilirken, veri toplama işleminde Ambrogeo Echo marka 12 kanallı sismik cihaz ile 4, 5 Hz düşey alıcılar (jeofonlar) kullanılmış olup, alıcılar arası 3 m, vuruş mesafesi (offset) 12 m alınarak toplam serim boyu olarak 45 m seçilmiştir. Veriler Geometrics firmasının Seisimager yazılımı içerisindeki 1-D Pickwin / Surface Wave Analysis yazılımları kullanılarak 1B olarak modellenmiştir. Ayrıca Sismik kırılma için RefractTimes yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları grafik olarak Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Mühendislik Fakültesi Binaları temel alanından alınan kırılma seriminin saha kaydı, yüzey dalgasından elde edilen faz-hız eğrisi ve S-dalgı hızının derinlikle değişimi.

Bu çalışmada 30 m derinliğe kadar ortalama P ve S dalgı hızları ((V_P)₃₀, (V_S)₃₀), zemin tabakalarının yoğunluğu (ρ), Dinamik Elastisite modülü (E_d), poisson oranı (ν), Bulk Modülü (K) ve Kesme Modülü (G) değerleri V_P ve V_S değerlerinden yararlanılarak aşağıda verilen bağıntılarla belirlenmiştir (Eşitlikler 1-3) [11]. Eşitliklerde V_P , P-dalgası hızı, V_S S-dalgası hızı, h_i ise i 'inci tabakanın kalınlığıdır.

$$(V_P)_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_{pi}}} \quad \text{ve} \quad (V_S)_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_{si}}} \quad (1)$$

$$\rho = 0.44V_S^{0.25}, \quad G = \rho V_S^2 \quad \text{ve} \quad K = \rho(V_P^2 - \frac{4}{3}V_S^2) \quad (2)$$

$$E_d = \frac{G(3V_P^2 - 4V_S^2)}{(V_P^2 - V_S^2)} \quad \text{ve} \quad \nu = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)} \quad (3)$$

Deprem tehlike analizi için gerekli olan fayların özellikleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editöründen [12], inceleme alanını etkileyen ve 1900-2020 yılları arasında meydana gelen depremlerin verileri ise Boęaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü [13] deprem kayıtlarından alınmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması [14], kullanılarak inceleme alanı için depremsellik verileri elde edilmiştir.

3. Deterministik ve olasılık deprem tehlike analizi

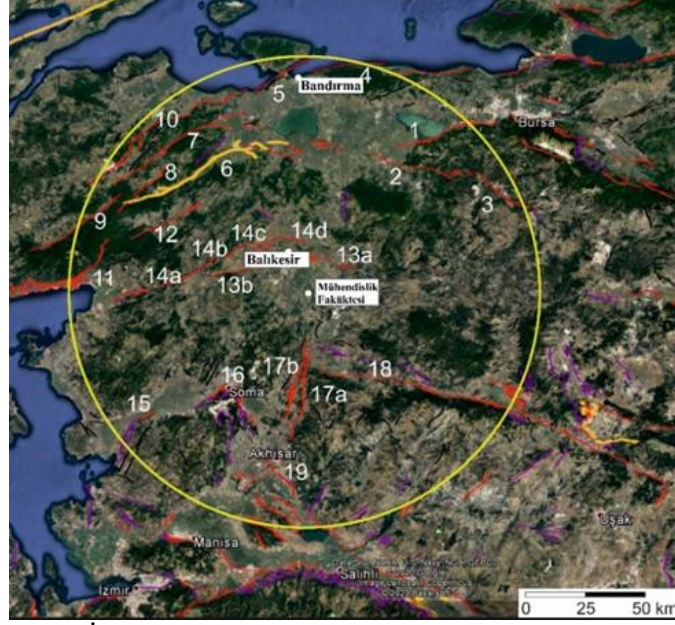
İnceleme alanını etkileyecek fay/fay zonlarını belirlemek için Çağış Yerleşkesindeki Mühendislik Fakültesi'ne en fazla 100 km mesafedeki faylar esas alınmıştır (Şekil 4). Söz konusu aktif fayların/fay zonlarının özellikleri [15, 16, 17] çalışmalarında ayrıntılı olarak verilmektedir. Balıkesir Fayı; yaklaşık 65 km uzunluğa sahip olan ve Holosen fayı olarak sınıflandırılmış bu fay batıdan doğuya doğru; (i) Gökçeyazı ve (ii) Kepsut Segmenti olarak 2 segmente ayrılmıştır [17]. Balıkesir Fayı'na ait Kepsut Segmenti üzerinde açılan Ayşebacı hendeğinde, MS yüzey faylanması ile sonuçlanan üç olay saptanmasına rağmen, Gökçeyazı segmenti üzerinde açılan Güngörmez ve Dede Hendekleri, bu segmentin MÖ yüzey faylanmasıyla sonuçlanmış depremler ürettiğini; fakat MS döneminde henüz kırılmadığını ortaya çıkarmıştır. Kepsut segmenti üzerinde deprem tekrarlanma aralığı son iki deprem göre yaklaşık 1000 yıldır [17]. Gelenbe Fayı; Bigadiç ve Akhisar arasında uzanan faylar Gelenbe Fay Zonu olarak adlandırılmıştır [2, 18]. Emre vd. [2] ve Şaroğlu vd. [18]' e göre; bu fay zonu KKD-GGB genel doğrultusunda ve toplam 45 km uzunlukta olan bu fay zonu, dağlık alanı kat eden birbirine paralel iki ana faydan oluşur. Gelenbe Fay Zonu'nda aletsel dönemde küçük ve orta büyüklükte depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bölgesel ölçekli tektonik yapı içinde bu fay zonu Gediz grabeninin kuzeyinde, doğrultu atımlı bir transfer yapısı olarak değerlendirilebilir [2]. Olası depremlerin Moment büyüklüğü (M_w) değerleri [19]'a göre, senaryo depremlerin oluşturacağı en büyük yatay yer ivmesinin belirlenmesinde ise [20]'de verilen ilişkisi kullanılmıştır (Eşitlik 4 ve 5) (Tablo 1).

$$M_w = a + b \log (SRL) \quad (4)$$

$$a_{max} = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (5)$$

Eşitliklerde verilen SRL beklenen yüzey kırığının uzunluğu (km), a_{max} en büyük yer ivmesi, M_w moment büyüklüğü, R_e depremin merkez üssüne olan uzaklık, S_A ve S_B yerel zemin koşullarını tanımlayan sabitlerdir (Kaya olması durumunda $S_A = S_B = 0$, zemin koşullarında $S_A = 1$ ve $S_B = 0$, yumuşak zemin koşullarında ise $S_A = 0$ ve $S_B = 1$ 'dir. a ve b katsayılar ise sırasıyla 5.08 ve 1.16' ya eşittir.

1: Ulubat Fayı, 2:Mustafakemalpaşa Fayı, 3:Orhaneli Fayı, 4:Bandırma Fayı, 5:Edincik Fayı, 6: Yenice-Gönen Fayı, 7: Sarıköy Fayı, 8:Bekten Fayı, 9: Evciler Fayı, 10: Biga-Çan Fay Zonu, 11: Edremit Fay Zonu Zeytinli segmenti, 12: Pazarköy Fayı, 13: Balıkesir Fayı, 13a: Balıkesir Fayı Gökçeyazı segmenti, 13b: Balıkesir Fayı Kepsut segmenti, 14: Havran-Balya Fay Zonu, 14a. Havran-Balya Fay Zonu Havran segmenti, 14b: Havran-Balya Fay Zonu Osmanlar segmenti, 14c: Havran-Balya Fayı Turplu segmenti, 14d: Havran-Balya Fay Zonu Ovacık segmenti, 15: Bergama Fayı, 16: Soma-Kırkağaç Fay Zonu, 17: Gelenbe Fayı,17a: Gelenbe Fayı Doğu segmenti, 17b: Gelenbe Fayı Batı segmenti, 18: Simav Fay Zonu, 18a: Simav Fay Zonu Sındırgı segmenti.



Şekil 4. İnceleme alanını etkileyen faylar ve fay zonları [12].

Tablo 1. İnceleme alanını etkileyecek fayların iz uzunluğu (SRL), alanına uzaklıkları (R_e) ve oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri (M_w) ve en büyük yer ivmesi (a_{max}).

No	Fay/Fay Zonu	Segment	R_e	SRL (km)	M_w	a_{max}/g
1	Uluabat Fayı		71,7	33,11	6,86	0,066
2	Mustafakemalpaşa Fayı		65,39	36,31	6,91	0,081
3	Orhaneli Fayı		89,91	20,04	6,59	0,036
4	Bandırma Fayı		92,68	32	6,85	0,041
5	Edincik Fayı		87,66	45	7,01	0,052
6	Yenice-Gönen Fayı		68,61	67	7,21	0,090
7	Sarıköy Fayı		85,9	66	7,2	0,062
8	Bekten Fayı		81,53	16,2	6,48	0,040
9	Evciler Fayı		91,94	45,51	7,02	0,047
10	Biga-Çan Fay Zonu	Biga	95,99	15,1	6,45	0,028
		Yuvalar	95,99	13,41	6,39	0,027
		Çan	95,99	19,47	6,58	0,032
11	Edremit Fay Zonu	Zeytinli	93,07	19,02	6,58	0,034
12	Pazarköy Fayı		60,28	33,74	6,85	0,084
13	Havran-Balya Fay Zonu	Balıkesir Fayı	14,1	65	7,19	0,294
Havran		66,33	18	6,57	0,060	
15	Bergama Fayı		81,41	10,28	6,29	0,035
16	Soma-Kırkağaç Fay Zonu		51,05	37,87	6,93	0,118
17	Gelenbe Fay Zonu		19,47	45	7,04	0,234
18	Simav Fay Zonu		32,83	205	7,1	0,183
		Sındırgı Segmenti	31	37	6,92	0,166
19	Gediz Graben Sistemi	Doğu	72,76	25,81	6,72	0,058

Gutenberg ve Richter [21], belli bir zaman aralığındaki depremler için istatistiksel olarak deprem büyüklüğü (M) ile ilgili zaman aralığında M ve daha büyük (kümülatif) deprem sayısı (λ_m) arasında aşağıdaki ilişkinin var olduğunu öne sürmüşlerdir. Burada a ve b ise regresyon sabitleridir. b değeri artarken küçük depremlere kıyasla büyük depremlerin sayısı azalmaktadır (Eşitlik 6).

$$\text{Log}\lambda_m = a - bM \quad (6)$$

Crovello [22] doğada rastgele meydana gelen olayların Poisson olasılık dağılımıyla sürekli zaman modellemesini önermiştir. Bu sürekli zaman modelinde belirli bir zaman

aralığında (t) belirli bir sayıda (n) olayın gerçekleşme olasılığı ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Eşitlik 7).

$$P[N(t) = n] = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad (7)$$

Burada, λ söz konusu olaya ilişkin gerçekleşme olasılığı, n gerçekleşme sayısı olup, t ise zaman aralığıdır.

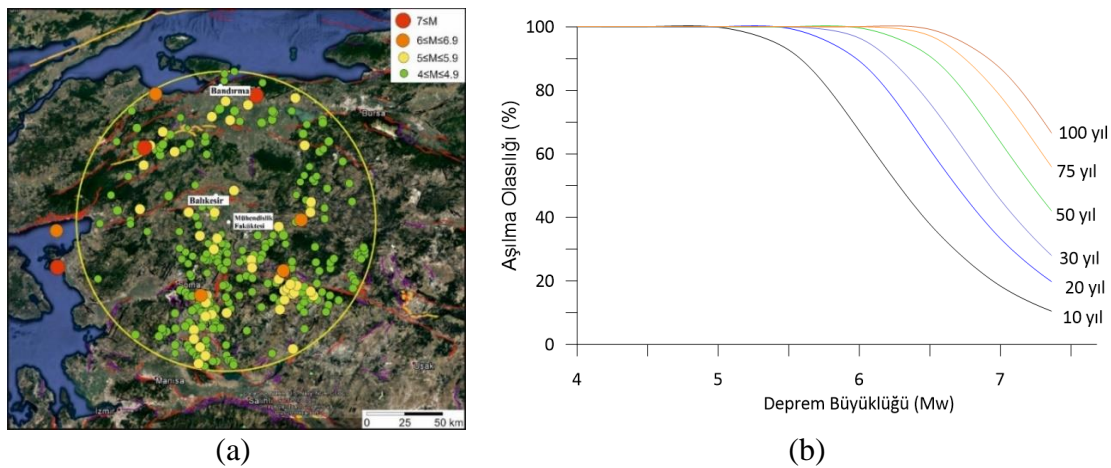
Poisson modeli depremlerin gerek mekân gerekse zaman açısından birbirlerinden bağımsız bir şekilde meydana geldikleri varsayımına dayanır [23]. Poisson modelinin gerektirdiği bağımsızlık koşulunu sağlamak için deprem öbekleşmelerinin belirlenerek öncü ve artçı depremlerin (ikincil depremler) sismik veri tabanından çıkartılması gerekir [23]. Bu çalışmada öncü ve artçı depremlerin elenmesi için [24]'de verilen yöntem (Tablo 2) kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan deprem veri tabanında yer alan değişik magnitüd ölçeklerinin moment magnitudüne çevrilmesi gerekmektedir.

Deniz ve Yüçemen [25] ortogonal regresyon yöntemini ve son yüzyıl içerisinde ülke çapında meydana gelmiş bütün depremlerden oluşan bir veri tabanını kullanarak bir dizi dönüşüm ilişkileri elde etmiştir. Bu çalışmada da bu dönüşüm ilişkileri kullanılmıştır.

Tablo 2. Öncü ve artçı depremlerin ayırt edilmesinde kullanılacak olan uzaklık ve zaman pencerelerinin boyutları [24]

Magnitüd	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Uzaklık (km)	35.5	44.5	52.5	63	79.4	100.0	125.9	151.4
Zaman (gün)	42	83	155	290	510	790	1326	2471

BAUN Çağış yerleşkesi merkezli 100 km yarıçaplı alanda son 120 yıl içinde meydana gelen depremler ile 10 yıl, 50 yıl, 75 yıl ve 100 yıllık zaman aralıklarında meydana gelecek en az bir depremin belirli büyüklüğü aşma olasılıkları da Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. (a) BAUN Çağış Yerleşkesi merkezli 100 km yarıçaplı alanda son 120 yıl içinde meydana gelen deprem episantr noktaları ve (b) 100 km yakın çevresinde belli zaman aralıkları içinde meydana gelebilecek bir depremin belirli büyüklüğü aşma olasılıkları.

4. Temel zeminin sınıflaması ve dinamik mühendislik özellikleri

Mühendislik Fakültesi Ana Binası ve Ek Binası Zeminlerinde ölçülen boyuna ve enine (kayma) dalga hızlarına (P ve S dalgası hızlarına) göre farklı iki zemin tabakası ayırtlanmıştır. Söz konusu alanda üstte kumlu siltli kil (1. tabaka) yer alırken bu birimin altında da üst kısımlarda tuf seviyesi içeren killi kireçtaşı- kıltaşı-marn ardalanması (2. tabaka) bulunmaktadır. Elastik dalgaların hızlarında yüzeyden derine doğru (2. tabakaya doğru) dereceli geçiş vardır. Bu nedenle 1. tabakayı oluşturan kumlu siltli kilin; alttaki killi kireçtaşı- kıltaşı-marn ardalanmasından oluşan birimin ayrışmasıyla oluştuğu söylenebilir. Arazide ölçülen P ve S-dalga hızlarına göre ayırtlanan zemin tabakalarının (ve yüzeyden derine doğru sıralanan), 1. ve 2. tabakanın kalınlıkları ile bu tabakalardaki elastik dalga hızları (V_P ve V_S), elastik dalga hız oranları (V_P/V_S) Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Mühendislik Fakültesi Binaları temel zemininde jeofizik ölçümlerle tanımlanan zemin tabakalarının kalınlığı, türü ve elastik dalga hız değerleri.

Zemin tabakaları	Z	H	V_P	V_S	V_P/V_S	Zemin/ Kaya ürü	
Ana Bina Zemini	1.tabaka	0-5	5	510	257	1,99	Kumlu siltli kil
	2.tabaka	5-30	25	1230	667	1,84	Tuf arakatlı killi kireçtaşı, kıltaşı, marn
	Zemin profili	0-30	30	996	527	1,89	
Ek Bina Zemini	1.tabaka	0-4	4	733	330	2,22	Kumlu siltli kil
	2.tabaka	4-30	26	1215	653	1,86	Tuf arakatlı killi kireçtaşı, kıltaşı, marn
	Zemin profili	0-30	30	1117	578	1,93	

(Z: derinlik (m), H: kalınlık (m), V_P : P-dalgası hızı (m/sn), V_S : S-dalga hızı (m/sn))

Mühendislik Ana Bina ve Ek Bina alanlarında yapılan jeofizik ölçümlerinden elde edilen V_P ve V_S değerlerinden yararlanılarak; söz konusu binaların temel alanında ayırtlanan zemin tabakalarının yoğunluk (ρ , gr/cm³), kayma modülü (G, kPA), Elastisite modülü (E_d , kPA), bulk (sıkışmazlık) modülü (K, kPA) ve poisson oranı (ν) bulunmuştur (Eşitlikler 1-3) [11] (Tablo 4).

Tablo 4. Mühendislik Fakültesi Binaları temel zemininin dinamik elastik özellikleri.

		ρ	E_d	ν	G	K	Zemin/ Kaya Türü
Ana Bina Zemini	1.tabaka	1,762	309,5	0,33	116,36	303,08	Kumlu siltli kil
	2.tabaka	2,236	2570,1	0,29	994,8	2056,54	Tuf arakatlı killi kireçtaşı, kıltaşı, marn
Ek Bina Zemini	1.tabaka	1,875	560,76	0,37	204,23	735,3	Kumlu siltli kil
	2.tabaka	2,224	2460,0	0,29	948,4	2018,88	Tuf arakatlı killi kireçtaşı, kıltaşı, marn

(ρ : Yoğunluk(gr/cm³), E_d : Elastisite Modülü(MPa), ν : Poisson oranı,(GPa): Kesme Modülü (MPa), K: Bulk Modülü (MPa))

5. Standart deprem yer hareketi spektrumları

5.1. Harita spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşılık gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(V_s)_{30} = 760 \text{ m/sn}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır [4]. Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, [4]'te tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için verilmektedir. Bu katsayılar; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s ve 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 'dir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'nda Standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2) seçilerek Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binasının bulunduğu alanlarda yayılım gösteren ZC sınıf zemin için; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s=0.850$ ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı $S_1=0.210$ olarak elde edilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) bulmak için S_s ve S_1 değerleri yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1) ile dönüştürülmüştür (Eşitlik 8).

$$S_{DS}=S_sF_s \text{ ve } S_{D1}=S_1F_1 \quad (8)$$

Yukarda verilen eşitlikler kullanılarak Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binasının bulunduğu alanlar için (zemin sınıfının ZC olduğu dikkate alınarak) tasarım spektral ivme katsayıları; $S_{DS}= 0.850 \times 1.2=1.020$ ve $S_{D1}=0.210 \times 1.5=0.315$ olarak bulunmuştur.

5.2. Yatay elastik tasarım spektrumu ve düşey elastik tasarım spektrumu

Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu elde edilmesinde; yerçekimi ivmesi [g] cinsinden yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin ($S_{ae}(T)$) doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak değişimi esas alınmaktadır (Eşitlik 9a-d, Şekil 6a).

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (9a)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (9b)$$

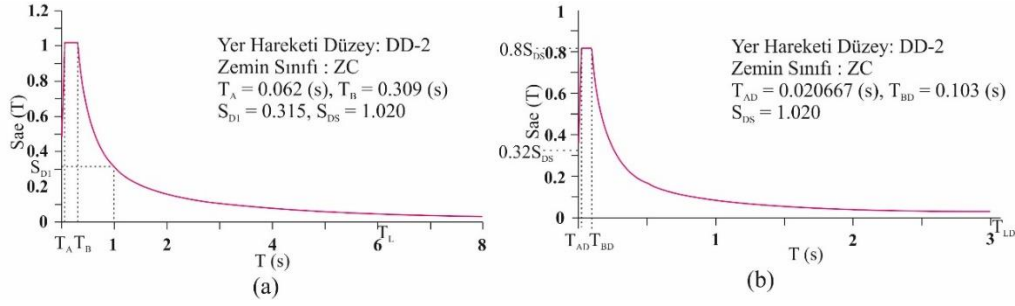
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (9c)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (9d)$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. T_A ve T_B yatay tasarım spektrumu köşe periyotları olup S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak hesaplanır [4] (Eşitlik 10).

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{ve} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (10)$$

Düşey elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden bulunuşu için aşağıdaki bağıntılar verilmiştir (Eşitlik 11a-c, Şekil 6b).



Şekil 6. (a) Mühendislik fakültesi binaları deprem risk analizi için gerekli yatay elastik tasarım spektrumu ve (b) Düşey elastik tasarım spektrumu.

$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (11a)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (11b)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_L) \quad (11c)$$

Burada S_{DS} tasarım spektral ivme katsayısı, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. T_{AD} ve T_{BD} düşey tasarım spektrumu köşe periyotları olup T_A ve T_B 'ye (yatay tasarım spektrumu köşe periyotları değerlerine) bağlı olarak hesaplanır (Eşitlik 12) [4].

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (12)$$

Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binasının bulunduğu her iki alanda da zemin sınıfı ZC olduğundan ve her iki alan için de Standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2)'ye göre bulunan harita spektral ivme katsayıları eşit olduğundan tek bir Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu ve Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu çizilmiştir (Şekil 6). Yatay Elastik Tasarım Spektrumu köşe periyotları $T_A = 0.062$ s ve $T_B = 0.309$ s olarak bulunmuş olup Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu ise $T_L = 6$ (s) olarak alınmıştır. Standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2)'ye göre, ZC sınıfında olan Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binası temel zemini için Düşey Elastik Tasarım Spektrumu köşe periyotları $T_{AD} = 0.020667$ s ve $T_{BD} = 0.103$ s olarak bulunmuş olup, Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu ise $T_{LD} = 3$ s olarak alınmıştır.

6. Sonuçlar ve öneriler

BAUN Çağış Yerleşkesi'nde yer alan Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binalarının "Riskli Yapı Tespiti" için gerekli deprensellik, jeolojik ve jeoteknik verilerinin elde edilmesine yönelik yapılan bu çalışmanın sonuçları ve yapılması gerekli çalışmalarla ilgili öneriler aşağıda sunulmuştur:

1- Mühendislik Fakültesi Binaları temel alanında gözlenen kumlu siltli killler alttaki killi kireçtaşı-kiltaşı-marn ardalanmasının tamamen ayrışması sonucu oluşmuştur. BAUN rektörlüğünce Çağış Yerleşkesi'nde, 2008-2014 yılları arasında, su aramak için biri Mühendislik Fakültesi Ana Binası 30 m GD'sunda, diğerleri Fen Edebiyat Fakültesi ve Özel Öğrenci Yurdu yakınlarında olmak üzere 3 adet su sondajı yapılmıştır. Bu sondajlarda yeraltı su derinliklerinin sırasıyla, 136, 138 ve 132 m olarak ölçülmüştür.

2- Deterministik tehlike analizinde oluşturulan deprem senaryolarına göre; Mühendislik Fakültesi Binalarının da yer aldığı Çağış Yerleşkesi için en büyük yer ivmesine Balıkesir Fayı'nın kaynaklık yapacağı ve bu fayın $M_w=7.2$ büyüklüğünde bir depremi meydana getireceği ve bu depremin de inceleme alanında $0.294g$ seviyesinde bir ivme oluşturacağı öngörülmektedir. Etki büyüklüğü açısından ikinci sıradaki senaryo ise; Gelenbe Fay Zonu'ndan kaynaklanacak $M_w=7.0$ büyüklüğünde bir depremin inceleme alanında $0.234g$ değerinde en büyük yer ivmesi oluşturacağı şeklindedir. Deprem tehlike analizi sonuçlarına göre; Çağış yerleşkesine en fazla 100 km uzaklıkta olan alanları kapsayan bölgede 20, 30, 50, 75 ve 100 yıl içinde en az birinin 6.5'den daha fazla büyüklüğe sahip olma olasılığı sırasıyla, yaklaşık % 61, %76, %91, %97 ve %99'dur. Bu değerler, büyüklüğü 7'den büyük depremler için ise yaklaşık, %33, %45, %63, %78 ve %87'dir.

3- Mühendislik Fakültesi Binaları temel alanında 1. Tabakada (kumlu siltli kilde) V_P ve V_S değerleri ortalama sırasıyla 621 m/sn ve 298 m/sn iken; 2. Tabakada (killi kireçtaşı-kiltaşı-marn ardalanması için) bu değerler sırasıyla, 1223 m/sn ve 660 m/sn'dir. Elastik hız oranı (V_P/V_S) ortalama olarak 1. Tabaka için 2.10; 2. Tabaka için 1.85 olarak bulunmuştur. 30 m derinliğe kadar olan zemin profili için bu oran ortalama 1.91 olarak elde edilmiştir.

4- Mühendislik Fakültesi Ana binası alanında ($(V_S)_{30}$ değeri 527 m/sn, Ek binası alanında da 578 m/sn'dir. Bu değerlere göre Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Bina temel alanındaki zeminler TBDY 2018'e göre "ZC" (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) sınıfında yer almaktadır.

5- Mühendislik Fakültesi Binaları temel alanında en üstte yer alan 1. Tabakanın (kumlu siltli killerin) Elastisite modülü ortalama 435 MPa, poisson oranı 0.35, kayma modülü 160.4 MPa ve bulk (sıkışmazlık) modülü ortalaması 528.1 MPa olarak bulunmuştur. 2. Tabakanın (killi kireçtaşı-kiltaşı-marn ardalanmasından oluşan birimin) Elastisite modülü ortalaması 2515 MPa, poisson oranı 0.30, kayma modülü 971.6 MPa ve bulk modülü 2037.6 MPa olarak elde edilmiştir. Mühendislik Fakültesi binaları temelinde yer alan kumlu siltli killi birim [11, 26] sınıflamaları dikkate alındığında; yoğunluğa göre "Orta yoğunlukta", Elastisite modülüne göre "Zayıf dayanımlı", poisson oranına göre "Gevşek", kayma modülüne göre "Sağlam" ve Bulk modülüne göre "Yüksek sıkışabilir" sınıfına girmektedir. Kumlu siltli killi birimin altında yer alan killi kireçtaşı-kiltaşı-marn ardalanmasından oluşan birim ise yoğunluğa göre "Çok yüksek yoğunlukta" Elastisite modülüne göre "Zayıf dayanımlı", poisson oranına göre "Sıkı katı", kayma modülüne göre "Sağlam" ve Bulk modülüne göre "Orta derecede sıkışabilir" olarak tanımlanmıştır.

6- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'nda Standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2) seçilerek Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binasının bulunduğu alanlarda yayılım gösteren ZC sınıf zemin için; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s=0.850$ ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı $S_1=0.210$ olarak elde edilmiştir. Söz konusu binaların temel alanı için (zemin sınıfının ZC olduğu dikkate alınarak) yerel zemin etki katsayılarından yararlanılarak tasarım spektral ivme katsayıları; $SDS=1.020$ ve $SD1=0.315$ olarak bulunmuştur. Mühendislik Fakültesi Ana Bina ve Ek Binası deprem riski analizi için gerekli Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumu çizilerek metin içerisinde verilmiştir.

7- ağış yerleşkesi için arazi kullanım haritasının üretimine altlık teşkil etmesi amacıyla 1/1000 ölçekli ayrıntılı jeolojik ve mühendislik jeolojisi haritaları acilen yapılmalıdır. Ayrıca BAUN Çağış Yerleşkesini de içine alan ve Bigadiç Sındırgı-Pamukçu-Kepsut-Ayşebacı (Altıeylül) arasında kalan bölgenin deprenselliğinin ortaya konması için jeolojik, jeomorfolojik, tektonik ve sismolojik unsurların ve paleo-sismik kayıtların ayrıntılı bir biçimde ortaya konmasına yönelik çalışmaların yapılması yaşamsal öneme sahiptir.

Kaynaklar

- [1] Emre, Ö., Doęan, A., Duman, T.Y., Özalp, S., 1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Bursa (NK 35-12) quadrangle (Serial number: 9). Ankara: **General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)**, Ankara, Turkey, (2011a).
- [2] Emre, Ö., Doęan, A., Özalp, S., 1:250,000 Scale active fault map series of Turkey Balıkesir (NJ 35-3) quad-rangle (Serial number: 4). Ankara: **General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)**, Ankara, Turkey, (2011b).
- [3] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, BALIKESİR- I 20 paftasına ait 1/100.000 ölçekli Jeoloji haritası, (2012).
- [4] TBDY, **Türkiye Bina Deprem Yönetmelięi**, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (2018).
- [5] Borcherd, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Furnal, T., Gibbs, J., Methodology GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay region. **4th International Conference on Seismic Zonation** ,3, 545-552, (1991).
- [6] Luna, R., Jadi, H., Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods, **Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure**, St. Louis, MO, December (2000).
- [7] Akgün, M., Gönenç, T., Tunçel, A., Pamukçu ,O., A multi-approach geophysical estimation of soil dynamic properties in settlements: a case study in Güzelbahçe-İzmir (Western Anatolia) **Journal of Geophysics and Engineering** 10(4),045001,(2013)
- [8] Hayashi, K., Cakir, R., Walsh, T.J., Lavassar, J., A safety evaluation of dams using the integrated geophysical method: A case study in Washington state. **Symposium Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems**, 224–232 (2014), [10.4133/SAGEEP.27-086](https://doi.org/10.4133/SAGEEP.27-086), (2014)
- [9] Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Multichannel analysis of surface waves (MASW); **Geophysics**, 64, 800-808, (1999)
- [10] Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Ivanov, J., Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), **Leading Edge**, 26, 60-64, [10.1190/1.2431832](https://doi.org/10.1190/1.2431832), (2007),
- [11] Keçeli, A., Uygulamalı Jeofizik (Applied Geophysics), **TMMOB Jeofizik Müh. Odası Eğitim yayınları** No:9, s.479, (2009).
- [12] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü Yenilenmiş Dirî Fay Haritalar, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa>, (2013).
- [13] Boęaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>, (2021).

- [14] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/loginControl.xhtml>, (2021).
- [15] Emre, Ö., Özalp, S., Kond, H., Kürçer, A., Elmacı, H., Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin orta ve doğu bölümünün paleosismolojisi. **MTA Genel Müdürlüğü**, Rapor No: 11569, 66s., Ankara, (2012).
- [16] Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Balıkesir İli'nin Depremselliği, **Balıkesir Kent Sempozyumu 2015 Bildiriler Kitabı** Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Kent Arşivi Yayınları No:11, Balıkesir, 11-36, (2015).
- [17] Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Eski, S., Balıkesir İlinin Deprem Tehlike Kaynakları Ve Alınması Gereken Önlemler. **Balıkesir'in Afet Durumu ve Yönetimi Çalıştayı Bildiriler Kitabı**, Balıkesir 2019, 23-62, (2020).
- [18] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. **MTA Genel Müdürlüğü**, Rapor No: 8174, Ankara, 394s (yayımlanmamış), (1987).
- [19] Wells, D., Coppersmith, K., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area And Surface Displacement. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 84, 974-1002, (1994).
- [20] Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., Gökçeoglu, C., An Attenuation Relationship Based On Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map Of Turkey. **Engineering Geology**, 74, 265- 291, (2004).
- [21] Gutenberg, B., Richter, C.F., Frequency of Earthquakes in California. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 34, 185-188, (1944).
- [22] Crovelli, R.A., Probabilty Models for Estimation of Number Costs of Landslides. **United States Geological Survey Open File Report** 00-249, USA, (2000).
- [23] Yüçemen, M.S., Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış Ve İstatistiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar. **1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı** 11-14 Ekim 2011 – ODTÜ – ANKARA, 1-20, (2011)
- [24] Deniz, A., Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, METU, (2006)
- [25] Deniz, A., Yüçemen, M.S, Magnitude conversion problem for the Turkish earthquake data. **Natural Hazards** 55:2, 333-352, (2010).
- [26] Keçeli, A., Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. **Jeofizik Dergisi**, 4, 9, 55-91, (1990).