



## ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ FARKLI YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE EDİRNE İLİ ÖZELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Erdiñç KESKİN<sup>1</sup>, Kanat Burak BOZDOĞAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kırklareli University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 39100, Kırklareli, Türkiye

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 17100, Çanakkale, Türkiye

**Özet:** Yapı tasarımı sürecinde zemin sınıfının doğru olarak tespit edilmesi oldukça önemlidir. Yapı-zemin etkileşiminde binalara etkiyen deprem yüklerini belirleyen en önemli parametrelerden birisi zemin hakim periyodudur. Zemin hakim periyodu ise ortalama kayma dalgası hızı ile ilişkilidir. Birçok deprem yönetmeliğinde zemin sınıflarının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden birisinin ortalama kayma dalgası hızı olduğu görülmektedir. Ortalama kayma dalgası hızı ve buradan hareketle zemin hakim periyodunun belirlenmesi ile ilgili literatürde ve farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen birçok bağıntı bulunmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak literatürde hali hazırda kullanılan yaklaşık bağıntılar irdelenmiş ve kesin çözüm olarak nitelendirilebilecek çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışmada kesin çözüm olarak zemin hakim periyodu esas alınmıştır. Kesin çözüm için literatürde yer alan değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu yöntemi doğrulamak için Transfer Function Tool programı kullanılarak transfer fonksiyonları elde edilerek zemin hakim periyotları bulunmuştur. İki yöntemle elde edilen kesin periyot değerlerinin birbirine aynı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda zemin hakim periyodunun hesaplanması için biri kesin çözüm olmak üzere 6 farklı yöntem belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Edirne ili sınırlarında bulunan 10 farklı sahadan alınan zemin etütleri incelenmiştir. İncelenen zemin etüt sonuçlarından faydalanılarak bu sahalara ait zemin profilleri belirlenmiştir. Ardından belirlenen zemin profilleri kullanılarak literatürde önerilen bağıntıların performansları irdelenmiştir. Çalışma sonucunda deprem yönetmelikleri arasında kesin çözüme en yakın sonucun Japon Deprem Yönetmeliğinin önerdiği bağıntıda gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kayma dalgası hızı, Zemin hakim periyodu, Edirne, Deprem yönetmelikleri, Transfer fonksiyonları


### Determination of the Average Shear Velocity with Different Methods and Evaluation of Edirne Province


**Abstract:** It is very important to determine the soil class correctly in the building design process. One of the most important parameters determining the earthquake loads acting on the buildings in the soil -structure interaction is the fundamental soil period. The fundamental soil period is related to the average shear wave velocity. It is seen that one of the important parameters used in the determination of soil classes in many earthquake codes is the average shear wave velocity. There are many correlations proposed in the literature and different earthquake codes for the determination of average shear wave velocity and fundamental soil period. Within the scope of the study, firstly, the approximate relations currently used in the literature were examined and compared with the solution that can be described as the exact solution. In the study, the fundamental soil period was taken as an exact solution. For the exact solution, the modified finite element transfer matrix method in the literature was used. In addition, to verify this method, transfer functions were obtained using the Transfer Function Tool program, and fundamental soil periods were found. It has been observed that the exact period values obtained by the two methods are exactly the same. In this context, 6 different methods, one of which is the exact solution, have been determined for the calculation of the fundamental soil period. In the second stage of the study, soil surveys taken from 10 different site within the borders of Edirne province were examined. Soil profiles of these sites were determined by using the soil survey results. Then, using the determined soil profiles, the performances of the relations suggested in the literature were examined. As a result of the study, it was concluded that the closest result to the final solution among earthquake regulations was realized in the correlation suggested by the Japanese Earthquake Code.

**Keywords:** Average shear velocity, Fundamental soil period, Edirne, Earthquake codes, Transfer function

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 17100, Çanakkale, Türkiye

E mail: kbbozdogan@comu.edu.tr (K. B. Bozdoğan)

Erdiñç KESKİN  <https://orcid.org/0000-0002-8728-2906>

Kanat Burak BOZDOĞAN  <https://orcid.org/0000-0001-7528-2418>

**Gönderi:** 14 Mart 2023

**Kabul:** 10 Nisan 2023

**Yayınlanma:** 01 Temmuz 2023

**Received:** March 14, 2023

**Accepted:** April 10, 2023

**Published:** July 01, 2023

**Cite as:** Keskin E, Bozdoğan KB. 2023. Determination of the average shear velocity with different methods and evaluation of Edirne province. BSJ Eng Sci, 6(3): 155-164.

### 1. Giriş

Zeminlerin yer hareketi etkisinde davranışlarının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi zemin hakim periyodudur. Zemin hakim periyodu yalnızca zeminlerin davranışını etkilemeyip aynı zamanda yapılara etkiyen deprem yüklerinin

büyükliğini belirleyen önemli bir karakteristiktir. Şili gibi bazı deprem yönetmeliklerinde zemin sınıfları zemin hakim periyotlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Diğer bir çok deprem yönetmeliğinde ise zemin sınıflandırılmasında zemin hakim periyodu ile doğrudan ilişkili olan ortalama kayma dalgası hızı kullanılmaktadır.



Zemin hakim periyodunu etkileyen faktörler kayma dalgası hızları ve tabaka kalınlıklarıdır. Ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s,30}$ ) National Earthquake Hazard Reduction Programme (NEHRP), Building Seismic Safety Council (BSSC), Eurocode 8 (EC8), Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) vb. bir çok deprem yönetmeliğinde zeminin sınıflandırılması ve zemin hakim periyodunun belirlenmesi açısından oldukça önemli bir parametredir. Ayrıca kayma dalgası hızı, kayma modülü, elastisite modülü, sıvılaşma potansiyeli, mikro bölgeleme çalışmaları, zemin büyütmesi, zemin hakim periyodunun belirlenmesi vb konularda Deprem mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Sil ve Sitharam, 2014; Babayev ve Telesca, 2016; Wang ve ark., 2018; Zhang ve Zhao, 2018; Verdugo, 2019; Sadek ve ark., 2020; Yaghmaei-Sabegh ve Rupakhety, 2020; Raddatz ve ark., 2021; Zhang ve Zhao, 2021; Diaz Segura, 2021; Holtrigter ve Thorp, 2021).

Literatürde ortalama kayma dalgası hızı ve zemin hakim periyodunun bulunması için yapılan bazı çalışmalar özet olarak aşağıda sunulmuştur. Dobry ve ark. (1976), zemin hakim periyodunu tahmin etmek için doğrusal veya eşdeğer doğrusal modeli kullanarak basitleştirilmiş çözümler ortaya koymuşlardır. Bu amaçla 76 farklı zemin profilinin periyotları 7 farklı yöntemle belirlenmiş ve bu değerler kesin değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mariano ve ark. (2005), EC8 ile Japon Deprem Yönetmeliğini karşılaştırmışlardır. Zemin sınıflandırması için EC8'de  $V_{s,30}$  parametresi kullanılırken, Japon Deprem Yönetmeliği'nde ise zemin hakim periyodu kullanılmaktadır. Japon Deprem Yönetmeliğinde kullanılan zemin periyodu ile  $V_{s,30}$  arasındaki ilişkiyi kullanarak her iki yönetmelikte kullanılan zemin sınıflandırma sistemleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda her iki yönetmeliğin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tena-Colunga ve ark. (2009), Meksika Deprem Yönetmeliği ve dünyada yaygın olarak kullanılan diğer deprem yönetmeliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarından da görüldüğü üzere Meksika Deprem Yönetmeliğinin önerdiği periyot hesabı ile EC8'de önerilen periyot hesabı arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Lee ve Trifunac (2010), birçok deprem yönetmeliğinde ortalama kayma dalgası hızının tasarım parametrelerinin bulunmasında kullanıldığını belirtmişlerdir. Ortalama kayma dalgası hızının zemin yüzeyinden itibaren 30 m'lik kısmı temsil etmesinden dolayı kısıtlarının olduğunu savunmuşlardır. Bu nedenle daha derinleri de kapsayan bir parametre kullanmanın daha doğru olacağını örneklerle açıklamışlardır.

Luzi ve ark. (2011), NEHRP, BSSC, EC 8 ve Italian code "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC) yönetmeliklerinin zemin sınıflandırmasında benzer teknikler kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu yönetmeliklerin tamamının  $V_{s,30}$  parametresini kullanarak zeminleri sınıflandırdığını ve bu sınıflandırmanın yetersiz kaldığını savunmuşlardır. Bu

nedenle  $V_{s,30}$  ile birlikte zemin frekansının ( $f_0$ ) bir arada kullanılmasını önermişlerdir. Her iki parametrenin bir arada kullanılması ile birlikte gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2018), zemin hakim periyodunun tahmini için kayma dalgası hızı kullanılan 8 farklı yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntemler hem analitik çözümleri hem de ampirik formüller kullanılarak elde edilen çözümleri kapsamaktadır. Sonuç olarak doğrusal hız modelinin zemin hakim periyodunun hesabında en uygun sonucu verdiği gözlenmiştir.

Miao ve Wang (2018), zeminin doğal periyodu ile ilgili çalışmalarında Kik-net'ten Ocak 2009 ile Haziran 2014 arasında alınan yer hareketi verilerini kullanmışlardır. Zemin hakim periyodu ile yüzey rijitliği arasında bir korelasyon olduğunu ve bu korelasyonun  $V_{s,30}$  ile sınırlandırıldığını belirtmişlerdir.

Kim (2019), çalışmasında ortalama kayma dalgası hızını, çok tabakalı zemin profillerinde transfer fonksiyonu kullanarak belirlemiştir. Transfer fonksiyonu ile bulmuş oldukları sonuçları, sonlu elemanlar yöntemi ve özdeğer analizi ile doğrulamıştır. Ayrıca çalışmada Japon yönetmeliğinde kullanılan ortalama kayma dalgası hızı bağıntısının Meksika yönetmeliğinde kullanılan ortalama kayma dalgası bağıntısına oranla daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise literatürde kullanılan ortalama kayma dalgası hızı bağıntıları ele alınarak Edirne ili özelinde değerlendirilmiştir. Değerlendirmenin yapılabilmesi amacıyla Edirne ili sınırlarında bulunan ve 10 farklı sahadan alınan sismik zemin etütleri kullanılmıştır. Bu zemin etütleri kullanılarak kayma dalgası hızının derinlikle değişimleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında literatürde bulunan 5 farklı bağıntı kullanılarak öncelikle bu profillere ait ortalama kayma dalga hızları belirlenmiştir. Daha sonra literatürden bilinen bağıntı yardımıyla hakim periyotlar elde edilmiştir. Elde edilen zemin hakim periyodu değerleri, tek boyutlu analizle analitik olarak elde edilen zemin hakim periyodu değerleri ile karşılaştırılarak yakınsaklıkları belirlenmiştir. Çalışmada zeminin doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiş olup modelleme için tek boyutlu zemin davranışı esas alınmıştır.

## 2. Literatürde Ortalama Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi için Yaygın Kullanılan Bağıntılar

Literatürde ortalama kayma dalgasının bulunması ile ilgili yaygın olarak kullanılan bağıntılara bu bölümde yer verilmiştir. Eşitlik 1'de NEHRP, BSSC, EC 8 ve TBDY'de ortalama kayma dalgası hızının ( $v_{sa}$ ) bulunması ile ilgili önerilen bağıntı verilmiştir (TBDY,2018).

$$v_{sa} = \frac{H}{\sum_i^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (1)$$

Burada H zemin profilinin toplam kalınlığını,  $d_i$  i. tabakanın kalınlığını ve  $v_{si}$  ise i. tabakanın ortalama kayma hızını göstermektedir.

Eşitlik 2 ve eşitlik 3’de ise literatürde sıklıkla kullanılan iki bağıntı verilmiştir (Takabatake ve ark., 2019). Bu bağıntılarda  $d_i$  i. tabakanın kalınlığını göstermektedir.

$$v_{sa} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i * v_{si})}{H} \quad (2)$$

$$v_{sa} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}^2}{H}} \quad (3)$$

Japon Deprem Yönetmeliğine göre yapılan periyot hesabında kullanılan bağıntı eşitlik 4’de verilmiştir (Mariano ve ark., 2005). Burada  $T_g$  zemin hakim periyodunu,  $L$ , anakaya ile temel arasındaki zemin tabaka sayısını,  $h_i$ ,  $H_i$  ve  $V_i$  ise sırasıyla i. tabakadaki kalınlığı, derinliği ve kayma dalgası hızını temsil etmektedir.

$$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^L \frac{h_i \left( \frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right)}{v_i^2}} \quad (4)$$

Meksika Deprem Yönetmeliğine göre periyot hesabı ise eşitlik 5 ve 6’da verilen bağıntılar kullanılarak yapılmaktadır (Tena-Colunga ve ark., 2009).

**Tablo 1.** Zemin sınıflandırılmasında kullanılan bağıntılar

Yöntem No	Tanımlama	Bağıntı	Referans
Yöntem 1 (Y1)		$v_{sa} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}^2}{H}}$	
Yöntem 2 (Y2)	Tabakaların kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması	$v_{sa} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}}{H}$	Takabatake vd., 2019
Yöntem 3 (Y3)	Meksika Deprem Yönetmeliği	$T_s = 4 \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{G_n} \sum_{n=1}^N \rho_n h_n (w_n^2 + w_n w_{n-1} + w_{n-1}^2)}$	Tena-Colunga vd., 2009
Yöntem 4 (Y4)	Japon Deprem Yönetmeliği	$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^L \frac{h_i \left( \frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right)}{v_i^2}}$	Mariano vd., 2005
Yöntem 5 (Y5)	TBDY	$v_{sa} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2019

Çalışmada ortalama kayma dalgası hızları belirlendikten sonra 7 nolu bağıntıyla zemin hakim periyotları hesaplanmıştır. Kesin hakim periyodunun belirlenmesi için literatürde (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) ayrıntıları

$$T_s = 4 \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{G_n} \sum_{n=1}^N \rho_n h_n (w_n^2 + w_n w_{n-1} + w_{n-1}^2)} \quad (5)$$

Burada  $T_s$  zemin hakim periyodunu,  $w$  ‘ler ağırlık fonksiyonlarını ve  $\rho$  ise zeminin birim kütesini göstermektedir.  $w$  fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w_n = \frac{\sum_{i=1}^n h_i / G_i}{\sum_{i=1}^N h_i / G_i}; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Bu bağıntılarda  $G_i$  i. tabakanın kayma rijitliğini göstermektedir. Periyotla ortalama kayma dalgası arasındaki ilişki ise eşitlik 7 de verilmiştir.

$$v_{sa} = \frac{4H}{T} \quad (7)$$

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde kısaca çalışmada kullanılan yöntem ve sayısal örnekler özet olarak verilmiştir.

#### 3.1. Yöntem

Çalışma kapsamında zemin sınıflandırılması için 5 farklı bağıntı kullanılmıştır. Kullanılan bağıntılar ve yöntemlere ait isimlendirmeler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü üzere bazı bağıntılar doğrudan ortalama kayma dalgası hızının bulunmasını içerirken bazılarında zemin hakim periyodu hesabını içermektedir.

verilen yöntem kullanılmıştır. Zemin dinamiğinde bilindiği üzere deprem dalgalarının zemin tabakaları arasında yayılmasını temsil etmek için kullanılan en basit model zemini izotropik ,homojen ve elastik, dalgaları ise

düşey yayılan kayma dalgası olarak kabul eden modeldir. Bu kabuller altında zemin hareketi tek boyutlu olarak idealize edilmektedir. (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) tabakaların serbest titreşim hareketini temsil eden tek boyutlu kısmi diferansiyel denklemin çözümünden yararlanarak her tabaka için taşıma matrislerini sonlu elemanlar yöntemini ve Ricatti dönüşümünü kullanarak elde etmişlerdir. Ardışık işlemler sonucunda tüm zemin profili için sistem matrisi skaler olarak elde edilmiş ve elde edilen frekans denkleminin çözümünden açılal frekans ve oradan da zemin hakim periyodu bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca Transfer tool program kullanılarak transfer fonksiyonları yardımıyla da zemin hakim periyotları elde edilmiş olup böylece literatürden (Öztürk ve Bozdoğan,2017) elde edilmiş sonuçlarda kontrol edilmiştir. Literatürden ve Transfer tool programından transfer fonksiyonlarından elde edilen zemin hakim periyotlarının birebir aynı olduğu görülmüştür.

### 3.2. Sayısal Örnekler

Çalışmada kullanılan zemin profilleri bu bölümde sunulmuştur. Çalışma alanı olarak Edirne ili seçilmiştir. Edirne'nin farklı bölgelerinden alınan 10 farklı zemin etüdü incelenmiş ve derinlikle kayma dalgası hızları bu zemin etütleri incelenerek elde edilmiştir. Tabaka kalınlıkları ve bu tabakalara ait kayma dalgası hızları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere tüm zemin profilleri 50 m derinlik için oluşturulmuştur. Bunun nedeni temin edilen zemin etütlerinin 50 m derinliğe kadar yapılmış olmasıdır. Zemin profilleri incelendiğinde en düşük kayma dalgası hızınının 144 m/s ile 9 nolu zemin profilinde en yüksek kayma dalgası hızının ise 595 m/s ile 4 nolu zemin profilinde de elde edildiği görülmektedir. Şekil 1'de ise derinlikle kayma dalgası hızındaki değişim 10 farklı zemin profili için grafik olarak gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde derinliğin artmasıyla paralel bir şekilde kayma dalgası hızlarının da arttığı görülmektedir.

**Tablo 2.** Edirne ilinden seçilen 10 farklı zemin profilinin tabaka kalınlıkları ve kayma dalgası hızları

Zemin Profili 1		Zemin Profili 2		Zemin Profili 3		Zemin Profili 4		Zemin Profili 5	
Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)
2,5	152	2,1	197	2,5	186	2,5	269	2,1	218
3,5	191	2,9	267	4,5	236	3,5	329	2,9	249
4,5	265	3,6	387	4,5	369	4,5	465	3,6	329
5,5	295	4,3	438	5,5	409	5,5	541	4,3	356
6,5	300	5,0	448	6,5	417	6,5	577	5,0	363
27,5	301	5,7	449	27,5	416	27,5	595	5,7	364
		26,4	447					26,4	363
Zemin Profili 6		Zemin Profili 7		Zemin Profili 8		Zemin Profili 9		Zemin Profili 10	
Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)
3,0	209	2,5	198	2,5	196	2,5	144	3,0	210
4,5	244	3,5	236	3,5	220	3,5	201	4,5	274
6,0	332	4,5	335	4,5	325	4,5	293	6,0	446
7,5	417	5,5	391	5,5	378	5,5	359	7,5	544
29,0	449	6,5	405	6,5	390	6,5	388	29,0	565
		27,5	414	27,5	399	27,5	397		

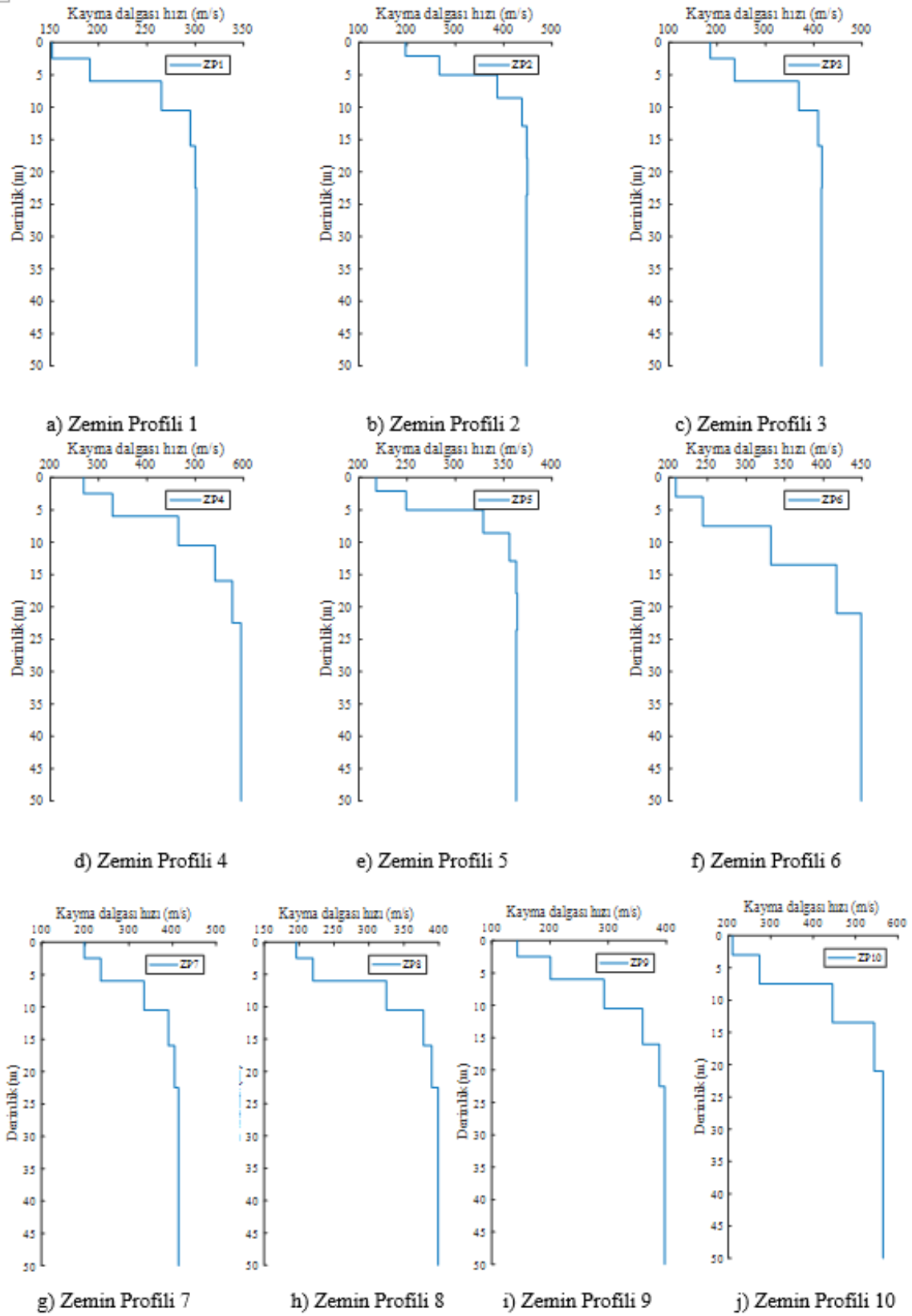
### 4. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1'de gösterilen 5 yöntem 10 farklı zemin profiline uygulanmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Zemin hakim periyotlarının kesin hesabı için Transfer fonksiyonları ve değiştirilmiş sonlu elemanlar transfer matrisi yöntemi (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) kullanılmıştır. 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle hesaplanan zemin hakim periyodu değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de verilen periyot değerlerinin kesin periyot değerine yakınsamasını incelemek amacıyla periyot değerleri eşitlik 8 kullanılarak her yöntem için ayrı ayrı normalize

edilmiştir.

$$Y(n)_{nor} = \frac{T_{M(n)}}{T_{kesin}} - 1 \quad (8)$$

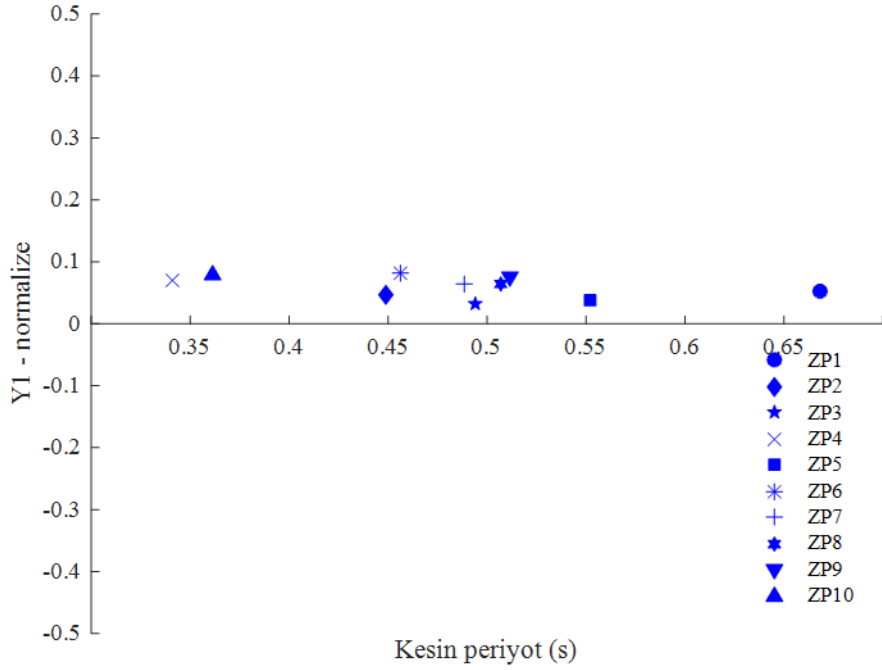
Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanan normalize edilmiş periyot değerleri Y1, Y2, Y3, Y4 ve Y5 yöntemleri için sırasıyla Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde Y1 yöntemi ile hesaplanan zemin hakim periyot değerlerinin tüm zemin profilleri için hesaplanan kesin periyot değerinden daha büyük çıktığı görülmektedir. Kesin periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 3 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde elde edilmiştir.



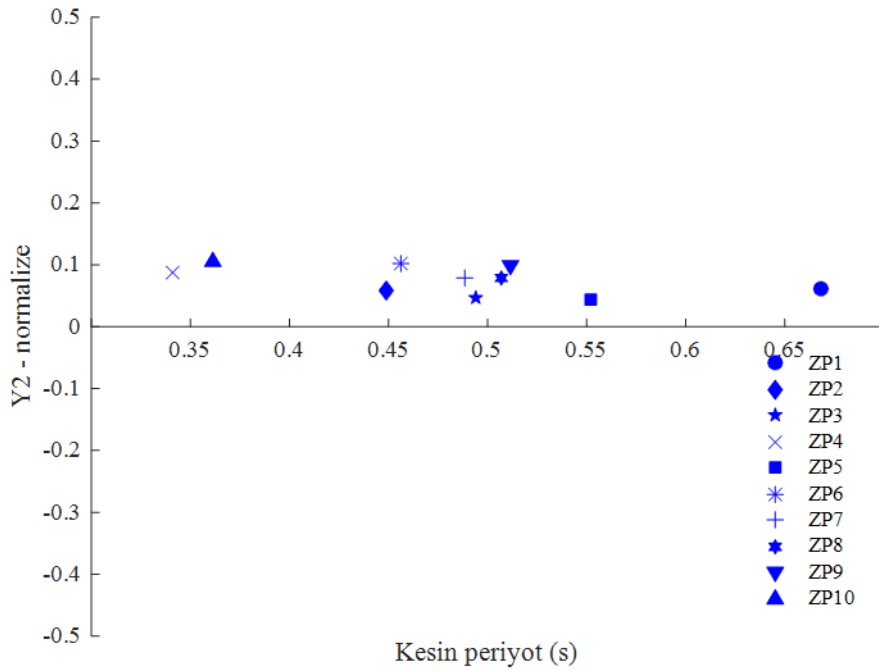
Şekil 1. Edirne ili sınırlarında bulunan 10 farklı zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı grafikleri.

**Tablo 3.** 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle hesaplanan zemin hakim periyodu değerleri

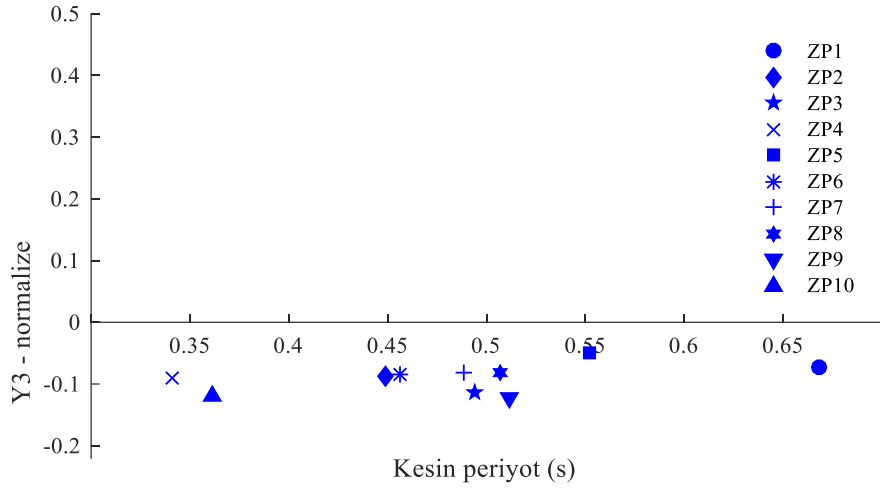
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Kesin Periyot
ZP 1	0,7022	0,7097	0,6190	0,6765	0,7337	0,6680
ZP 2	0,4693	0,4747	0,4093	0,4539	0,4942	0,4490
ZP 3	0,5095	0,5168	0,4381	0,4914	0,5424	0,4939
ZP 4	0,3646	0,3703	0,3106	0,3484	0,3890	0,3409
ZP 5	0,5723	0,5758	0,5254	0,5558	0,5858	0,5520
ZP 6	0,4935	0,5034	0,4186	0,4706	0,5338	0,4565
ZP 7	0,5192	0,5264	0,4478	0,4975	0,5497	0,4882
ZP 8	0,5386	0,5462	0,4653	0,5164	0,5706	0,5066
ZP 9	0,5504	0,5619	0,4499	0,5268	0,6059	0,5119
ZP 10	0,3901	0,3999	0,3186	0,3750	0,4371	0,3616



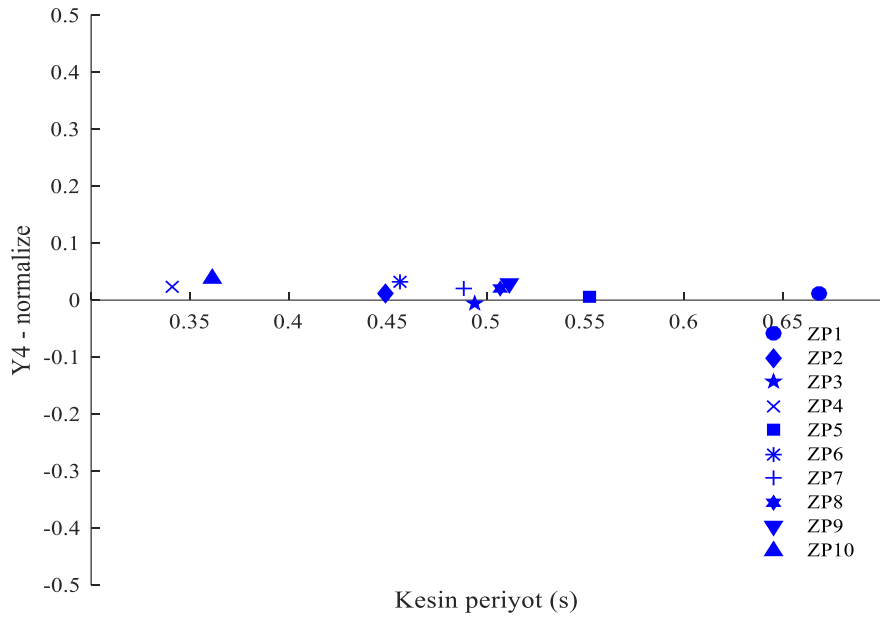
**Şekil 2.** Farklı zemin profilleri için Y1 yönteminin normalize hata değerleri.



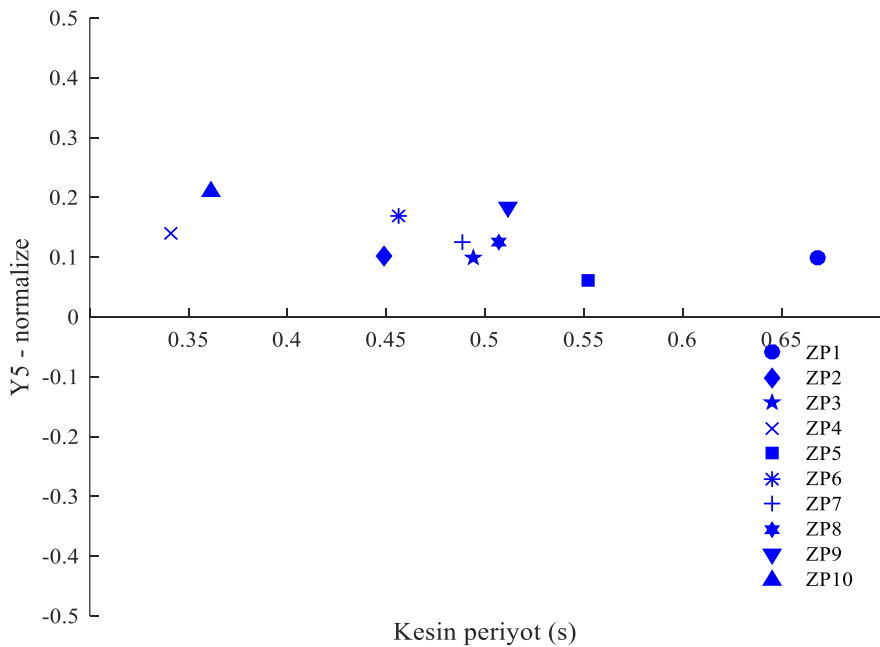
**Şekil 3.** Farklı zemin profilleri için Y2 yönteminin normalize hata değerleri.



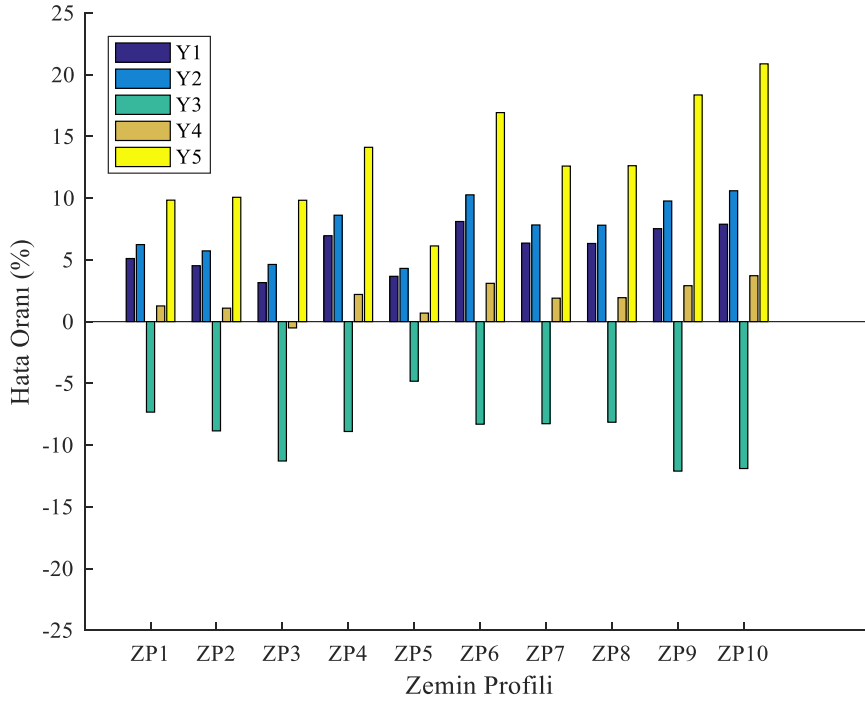
Şekil 4. Farklı zemin profilleri için Y3 yönteminin normalize hata değerleri.



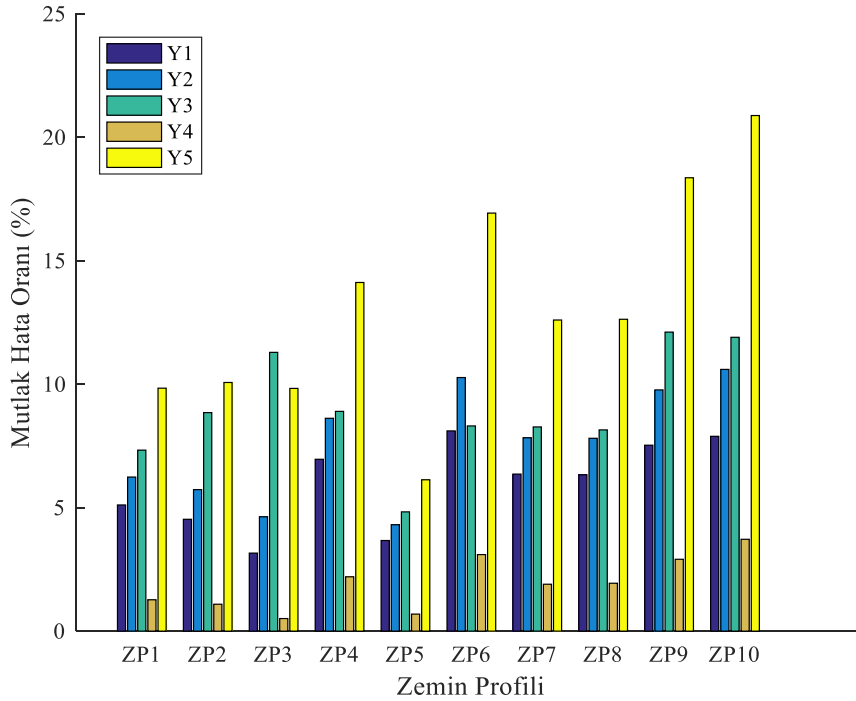
Şekil 5. Farklı zemin profilleri için Y4 yönteminin normalize hata değerleri.



Şekil 6. Farklı zemin profilleri için Y5 yönteminin normalize hata değerleri.



Şekil 7. Hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre hata oranları.



Şekil 8. Hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre mutlak hata oranları.

Y2 yöntemi ile hesaplanan ve Şekil 3'de sunulan periyot değerlerinden de görüldüğü üzere bu yöntem kullanılarak hesaplanan periyot değerleri de Y1 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinde olduğu gibi kesin periyot değerlerinden daha büyük olarak hesaplanmıştır. Kesin periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 5 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde elde edilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde Y3 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinin Y1 ve Y2 yöntemlerinin aksine kesin periyot

değerlerinden daha küçük çıktığı görülmektedir. Y3 yöntemine göre gerçek periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 5 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde gerçekleşmiştir. Y4 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinin ZP 3 profili hariç kesin periyot değerinden daha büyüktür. Kullanılan diğer yöntemlere nazaran Y4 yönteminin kesin periyot değerlerine daha fazla yakınsadığı görülmektedir.

Şekil 6'da Y5 yöntemi ile hesaplanan normalize hata değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm



zemin profilleri için hesaplanan zemin hakim periyodu değerlerinin kesin periyot değerlerinden büyük olduğu açık olarak görülmektedir. Tablo 4'de 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle bulunan periyotların hata

oranları verilmiştir. Ayrıca bu tablodaki veriler kullanılarak hata oranlarını daha anlaşılır bir şekilde göstermek için hazırlanan grafik Şekil 7'de sunulmuştur.

**Tablo 4.** 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntem ile hesaplanan zemin hakim periyotlarının % hata oranları

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
ZP 1	5,11	6,24	-7,33	1,27	9,84
ZP 2	4,53	5,73	-8,85	1,09	10,07
ZP 3	3,16	4,63	-11,29	-0,51	9,83
ZP 4	6,96	8,62	-8,90	2,20	14,12
ZP 5	3,67	4,31	-4,83	0,69	6,13
ZP 6	8,11	10,27	-8,31	3,10	16,93
ZP 7	6,36	7,83	-8,27	1,90	12,60
ZP 8	6,33	7,81	-8,15	1,94	12,63
ZP 9	7,53	9,77	-12,11	2,91	18,36
ZP 10	7,89	10,60	-11,90	3,72	20,88

Farklı yöntemlerle elde edilen periyot değerlerinin kesin periyot değerlerinden düşük veya yüksek olup olmadığını görmek için farklı yöntemlerle hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre hata oranları Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'den de görüleceği üzere Y1, Y2, Y3 ve Y5 yöntemleri ile elde edilen periyot değerlerinin kesin periyot değerlerine oranla daha yüksek olduğu Y4 yöntemi ile elde edilen periyot değerinin ise kesin periyot değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 8'de ise yöntemlerin performanslarını daha net görebilmek amacıyla hata oranlarının mutlak değerleri alınmıştır. Grafikten de görüldüğü üzere Y4 yöntemi diğer yöntemlere oranla en iyi sonucu verirken Y5 yöntemi ise kesin değere en uzak değerleri vermiştir. Y4 yöntemindeki hata oranları % 0.51 ile % 3.72 aralığında değişirken Y5 yöntemindeki hata oranları % 6.13 ile % 20.88 arasında değişmiştir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ortalama kayma dalgası hızının belirlenmesinde literatürde kullanılan yaklaşık denklemlerin uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ortalama kayma dalgası hızları kullanılarak 10 farklı zemin profili için zemin hakim periyotları 5 farklı yöntemle hesaplanmıştır.

Zemin hakim periyodunu belirlemek için kullanılan yöntemlerin 3'ü çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerinde kullanılan yöntemlerdir. Y3, Y4 ve Y5 yöntemleri sırasıyla Meksika Deprem Yönetmeliği, Japon Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerini temsil etmektedir. Bu açıdan bakıldığında kesin periyota en yakın zemin hakim periyodunun Japon Deprem Yönetmeliğinde verilen bağıntı ile elde edildiği görülmüştür. Elde edilen bu sonucun literatürde yapılmış olan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

## Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.K.	K.B.B.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	20	80

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

## Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

## Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

## Kaynaklar

- Babayev G, Telesca L. 2016. Site specific ground motion modeling and seismic response analysis for microzonation of Baku, Azerbaijan. *Acta Geophys*, 64: 2151-2170. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0105>.
- BSSC (Building Seismic Safety Council). 2003. 2003 edition NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 1: provisions, FEMA, New York, USA, pp: 450.

- Diaz-Segura EG. 2021. Evolution of seismic site classification according to the criteria in Chilean design codes. *Appl Sci*, 11: 10754. <https://doi.org/10.3390/app112210754>.
- Dobry R, Oweis I, Urzua A. 1976. Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile. *Bullet Seismol Soc America*, 66: 1293–1321. <https://doi.org/10.1785/BSSA0660041293>.
- European Committee for Standardization (CEN). 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. EN, Brussels, Belgium, pp: 1998–2004.
- Holtrigter M, Thorp A. 2021. The use of spt and hvsr for site period and subsoil class estimation. *NZGS Symposium*, 24 – 26 March, Dunedin, New Zealand, pp: 21.
- Kim DK. 2019. Evaluation of average shear-wave velocity estimation methods of multi-layered strata considering site period. *J Earthquake Engin Soc Korea* 23: 191-199. <https://doi.org/10.5000/eesk.2019.23.3.191>.
- Lee VW, Trifunac MD. 2010. Should average shear-wave velocity in the top 30 m of soil be used to describe seismic amplification. *Soil Dynam Earthquake Engin*, 30: 1250-1258. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.05.007>.
- Luzi L, Puglia R, Pacor E, Gallipoli MR, Bindi D, Mucciarelli. 2011. Proposal for a soil classification based on parameters alternative or complementary to  $V_{s,30}$ . *Bullet Earthquake Engin*, 9: 1877-1898. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9274-2>.
- Mariano EM, Nakashima M, Mosalam KM. 2005. Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures. *Engin Struct*, 27(6): 827-840. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.01.004>.
- Miao Y, Wang SY. 2018. A study on the natural periods of soil site based on ground motion data from kik-net in Japan. *Adv Soil Dynamics Foundation Engin*, 36-43. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0131-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0131-5_4).
- Ozturk D, Bozdogan KB. 2017. A method for determination of the fundamental period of layered soil profiles. *J Appl Computat Mechan*, 3(4): 267-273. <https://doi.org/10.22055/jacm.2017.21810.1116>.
- Raddatz D, Aguirre G, Taiba O. 2021. Seismic soil classification using a new standard proposal and comparison with the current standard for sites located in Reñaca and Concón. *Obras y Proyectos*, 30: 30-38.
- Sadek M, Hussein M, Hage CF, Arab A. 2020. Influence of soil-structure interaction on the fundamental frequency of shear wall structures. *Arabian J Geosci*, 13: 877. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05872-z>.
- Sil A, Sitharam TG. 2014. Dynamic site characterization and correlation of shear wave velocity with standard penetration test 'N' values for the city of Agartala, Tripura State, India. *Pure Appl Geophys*, 171: 1859–1876. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0754-y>.
- Takabatake H, Kitada Y, Takewaki I, Kishida A. 2019. Simplified dynamic analysis of high-rise buildings. Springer, Nature Singapore Pte Ltd., London, UK, pp: 277. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7185-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7185-1_1).
- Tena-Colunga A, Mena-Hernandez U, Perez-Rocha LE, Javier A, Ordaz M, Vilar JL. 2009. Updated seismic design guidelines for model building code of Mexico. *Earthquake Spect*, 25(4): 869-898. <https://doi.org/10.1193/1.3240413>
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 2018. Afet ve acil durum daire başkanlığı. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf> (Erişim tarihi: 23 Mart 2022).
- Verdugo R. 2019. Seismic site classification. *Soil Dynam Earthquake Engin*, 124(2019): 317-329. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.04.045>.
- Wang S, Shi Y, Jiang W, Yao E, Miao Y. 2018. Estimating site fundamental period from shear-wave velocity profile. *Bullet Seismol Soc America*. 108(6): 3431-3445. <https://doi.org/10.1785/0120180103>.
- Yaghmaei-Sabegh S, Rupakhety R. 2020. A new method of seismic site classification using HVSR curves: A case study of the 12 November 2017 Mw 7.3 Ezgeleh earthquake in Iran. *Engin Geology*, 270: 105574. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105574>.
- Zhang H, Zhao Y. 2018. A simple approach for estimating the first resonance peak of layered soil profiles. *J Earthquake Tsunami*, 12(1): 1850005 (2018). <https://doi.org/10.1142/S1793431118500057>.
- Zhang H, Zhao Y. 2021. Effect of radiation damping on the fundamental period of linear soil profiles. *J Earthquake Engin*, 26(12): 6082-6101. <https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1911884>.