

## Deprem Yönetmeliklerinde Verilen Zemin Sınıflarına Göre Yapı Davranışlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi

**R. Livaoğlu A. Doğangün**

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Trabzon 61080, Türkiye*

**ÖZET:** Türk Deprem Yönetmeliği ve Eurocode-8 (EC-8)'de tanımlanan zemin sınıfları ve bunlara ilişkin parametrelerin yapı davranışını ne şekilde ve hangi oranlarda etkilediğini incelemek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Deprem Yönetmeliğinde ve EC-8'de verilen zemin sınıfları dikkate alınarak farklı özelliklere sahip seçilen yapıların deprem davranışları incelenmektedir. Yapıların seçiminde farklı doğal titreşim periyotları elde edebilmek için 3 farklı plana ve 2 farklı kat yüksekliğine sahip toplam 6 farklı yapı seçilmiştir. Seçilen yapıların modellenmesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi ve depreme göre hesabında *Mod Birleştirme Yöntemi* kullanılmaktadır. Yapılar için farklı zemin sınıfları dikkate alınarak gerçekleştirilen deprem hesaplarından elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıların deprem davranışları, zemin sınıflarının etkisi, Türk Deprem Yönetmeliği, Eurocode-8.

**ABSTRACT:** The purpose of this study to investigate effects of local site classes and its parameters given in the Turkish Specification for Structures to be Built in Disaster Areas and Eurocode-8 on the dynamic behavior of structures. For this purpose earthquake behavior of six structures which have different characteristics are investigated using local site classes defined in the two earthquake codes. The structures have three different planes and two different storeys (six and twelve). Finite Element Method is used for model of structures. Mode-Superposition Method is used for the seismic analysis of structures. At the end of this study conclusions drawn from this study are given.

### Giriş

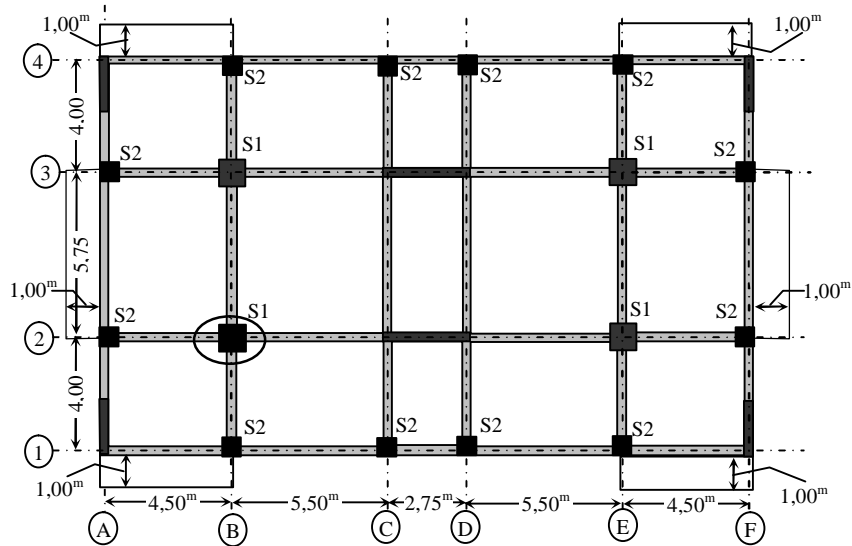
Kısaca Deprem Yönetmeliği [ABYYHY., 1998] olarak da adlandırılan ve Ocak 1998 de yürürlüğe giren "*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*" de dört sınıf zemin tanımlanmakta ve bunlara ilişkin olarak spektrum karakteristik periyotları verilmektedir. Benzer şekilde Eurocode-8 [EC-8., 1998] de ise 3 farklı zemin sınıfı tanımlanmakta ve bunlarla ilgili spektrum karakteristik periyotları ve diğer birçok parametre verilmektedir.

Ülkemizin deprem kuşağında bulunması nedeniyle zaman zaman büyük depremler meydana gelmekte ve bu depremlerde çok sayıda yapı hasar görmekte ya da yıkılmaktadır. Depremlerden sonra bu bölgelerdeki yapılar üzerinde gerçekleştirilen gözlemler, bu durumun oluşmasında zeminin de önemli derecede etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminden sonra yapıların hasar görme yada yıkılma sebepleri arasında zeminin etkisi ön plana çıkmıştır. Hatta, bazen bunda aşırıya gidilerek deprem kayıplarına depreme dayanıksız yapıların neden olduğu unutulurak, tüm dikkat yapıyı fazla ilgilendirmeyen zemin özelliklerine bile yönlendirilmiştir. Oysa, zeminin ne ölçüde yapıların deprem davranışlarını etkiledikleri ortaya konmalı ve yapıların deprem davranışları bu şekilde irdelenmelidir. Bu nedenle, Türk Deprem Yönetmeliği ve Eurocode-8 (EC-8, 1998)'de tanımlanan zemin sınıfları ve bunlara ilişkin parametrelerin yapıların davranışlarını ne şekilde ve hangi oranlarda etkilediğini incelemek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

### Çalışmaya Konu Olan Yapılara Ait Veriler

İki farklı kat sayısına (6 ve 12 katlı) sahip toplam altı yapı dikkate alınmaktadır. Bu yapıları tanımlamak için kat sayısının yanında kısaltıcı semboller kullanılmaktadır. Bu sembollerden S planda simetrik yapıyı, BDS bir doğrultuda simetrik yapıyı, SO ise simetrik olmayan yapıyı temsil etmektedir. Bütün yapılarda döşeme 15 cm kalınlığa, kirişler ise 25x50 cm boyutlara sahiptir.

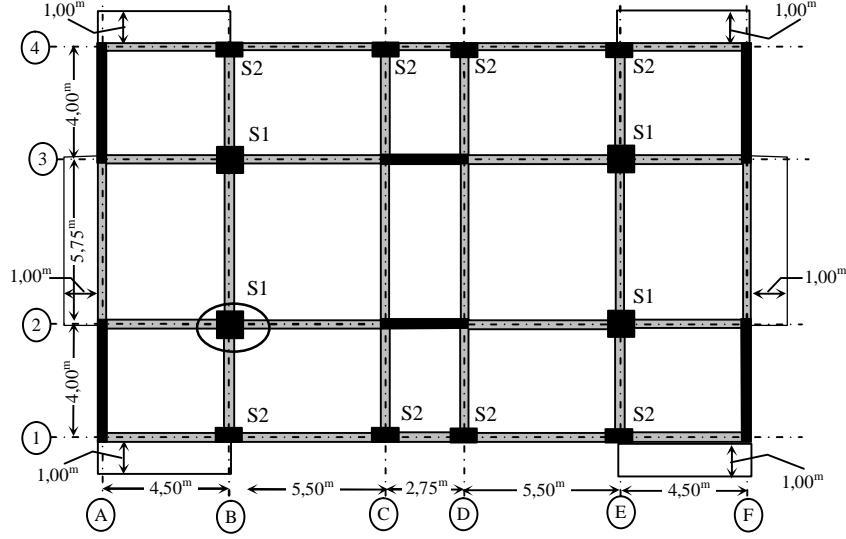
Söz konusu altı katlı simetrik yapının (6S) zemin kat planı Şekil 1 de görülmektedir. Altı katlı diğer yapılardan 6BDS için Şekil 1 deki planda 1A-2A ve 3A-4A arasında yerleştirilen düşey taşıyıcı eleman 1A-1B ve 4A-4B arasında çevrilmiştir. 6SO için ise Şekil 1 deki sadece 1A-2A arasında yerleştirilen düşey taşıyıcı eleman 1A-1B arasında çevrilmiştir. Altı katlı yapılarda kolon boyutları 4. katta değiştirilerek, ilk üç katta 90x90 cm olan S1 kolonu boyutları, 70x70cm ye, 60x60 cm olan S2 kolonu boyutları ise 50x50 cm ye küçültülmüştür.



Şekil 1. Toplam Altı Katlı Simetrik Yapının (6S) Zemin Kat Planı

Çalışmaya konu olan oniki katlı simetrik yapının (12S) zemin kat planı Şekil 2 de görülmektedir. Daha önce 6 katlı yapılara benzer şekilde düşey taşıyıcı elemanların konumları değiştirilerek diğer 12BDS ve 12SO yapıları elde edilmiştir. Bu yapılarda kolon boyutları 5. katta değiştirilerek, ilk dört katta 90x90 cm olan S1 kolonu boyutları,

5-8 katlarında 70x70 cm, son dört katta ise 40x40 cm ye küçültülmüştür. Benzer olarak ilk dört katta 30x90 cm olan S2 kolonu boyutları; 5-8 katlarında 30x70 cm ye, son dört katta ise 30x40 cm ye küçültülmüştür.



Şekil 1. Toplam Oniki Katlı Simetrik Yapının (12S) Zemin Kat Planı

### Zemin Sınıflarına Göre İvme Spektrumları

Türk Deprem Yönetmeliğinde  $T_A$ , ve  $T_B$  yerel zemin sınıflarına bağlı olarak verilen karakteristik periyotları Çizelge 1 de sunulmaktadır. Bu çizelgede adı geçen zemin gruplarına ilişkin bilgiler Deprem Yönetmeliğinde verilmektedir (ABYYHY, 1998). Yapı periyoduna ( $T$ ) ve zemin karakteristik periyotlarına bağlı olarak spektrum katsayıları [ $S(T)$ ] Çizelge 2 yardımıyla belirlenebilir.

Çizelge 1. Zemin Sınıfına Bağlı Karakteristik Periyotlar

Yerel Zemin Sınıfı		$T_A(s)$	$T_B(s)$
Z1	(A) grubu zeminler $h_I \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler	0,10	0,30
Z2	$h_I > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_I \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler	0,15	0,40
Z3	$15$ m $< h_I \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_I \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,15	0,60
Z4	$h_I > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_I > 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,20	0,90

Çizelge 2. Spektrum Katsayısı

Periyot Aralığı	$S(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1 + 1,5T / T_A$
$T_A \leq T \leq T_B$	2,5
$T > T_B$	$2,5(T_B / T)^{0,8}$

EC8'de tanımlanan üç sınıf zemin ve bunların özelliklerine ilişkin bilgiler Çizelge 3'de verilmektedir

Çizelge 3. Eurocode 8’de tanımlanan zemin sınıfları

Zemin Sınıfı	Açıklama
A	Yüzeyde en az 5 m zayıf malzeme içeren ve kayma dalgası hızı en az $V_s > 800$ m/s olan kaya ya da diğer jeolojik formasyon
	Mekanik özellikleri derinlikle artan ve 10 m deki kayma dalgası hızı $V_s \geq 400$ m/s olan onlarca metre kalınlığında sert kum katmanları, çakıl ya da aşırı konsolide kil
B	10 m de kayma dalgası hızının $V_s \geq 200$ m/s, 50 m de $V_s \geq 350$ m/s olduğu ve kalınlığı yüzlerce metreye ulaşan orta sıkı kum katmanları, çakıl, orta katı killer
C	İçerisinde yumuşak kohezyonlu tabakalar bulunan/bulunmayan, en üst 20 m de $V_s < 200$ m/s olan gevşek kohezyonsuz zemin katmanları
	En üst 20 m de $V_s < 200$ m/s olan yumuşaktan orta katı kohezyonlu zeminin hakim olduğu katmanlar

Spektrumların belirlenmesinde kullanılacak olan ve Çizelge 3 de tanımlanan zemin sınıflarına göre Eurocode-8 de verilen değerler Çizelge 4 de sunulmaktadır. Bu çizelgede  $T_B$  ve  $T_C$ , ilgili zemin sınıfına ait karakteristik periyotları,  $T_D$  spektrumun lineer özellik göstermeye başladığı periyodu,  $S$  zemin parametresini,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_{d1}$  ve  $k_{d2}$  belirli aralıklar için şekil katsayılarını,  $b_0$  ise %5 sönüm için spektral ivme yükseltme katsayısını göstermektedir.

Çizelge 4. Eurocode-8’deki spektrumların belirlenmesi için verilen Katsayılar

Zemin Sınıfı	$S$	$b_0$	$k_1$	$k_2$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)	$k_{d1}$	$k_{d2}$
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0	2/3	5/3
B	1,0	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0	2/3	5/3
C	0,9	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0	2/3	5/3

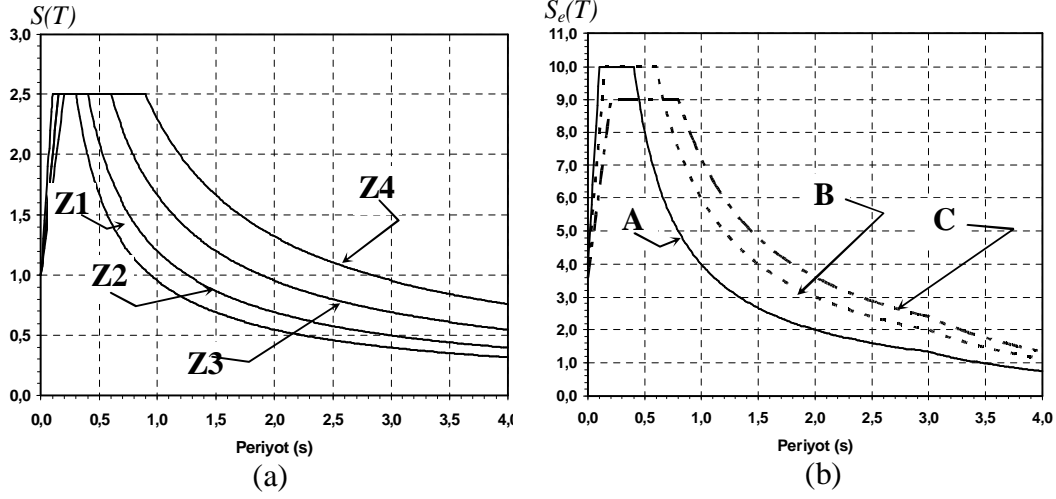
Bu katsayılar dikkate alınarak Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan spektrum katsayısına tam karşılık gelmeyen elastik spektrum değerleri  $S_e(T)$  ve Deprem Yönetmeliğindeki  $S_{pa}(T)$  ye karşılık gelen tasarım spektrum değerleri Çizelge 5 yardımıyla belirlenebilir. Bu çizelgede,  $a_g$  deprem bölgelerine göre değişen hesap yer ivmesini,  $\eta$  ise sönüm oranına bağlı düzeltme değerini (%5 sönüm için  $\eta=1$ ),  $\alpha=a_g/g$  katsayısını,  $q$  yapı süneklik ve düzensizliğine bağlı olarak tanımlanan azaltma katsayısını göstermektedir.

Çizelge 5. EC-8’e Göre Elastik ve Tasarım Spektrumlarının Belirlenmesi

Periyot Aralığı	Elastik Spektrum Değeri $S_e(T)$	Tasarım Spektrum Değeri $S_{pa}(T)$
$0 \leq T \leq T_B$	$a_g S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (hb_0 - 1) \right]$	$a S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \left( \frac{b_0}{q} - 1 \right) \right]$
$T_B \leq T \leq T_C$	$a_g S h b_0$	$a S \frac{b_0}{q}$
$T_C \leq T \leq T_D$	$a_g S h b_0 \left[ \frac{T_C}{T} \right]^{k_1}$	$a S \frac{b_0}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}} \geq 0,20a$
$T \geq T_D$	$a_g S h b_0 \left[ \frac{T_C}{T_D} \right]^{k_1} \left[ \frac{T_D}{T} \right]^{k_2}$	$a S \frac{b_0}{q} \left[ \frac{T_C}{T_D} \right]^{k_{d1}} \left[ \frac{T_D}{T} \right]^{k_{d2}} \geq 0,20a$

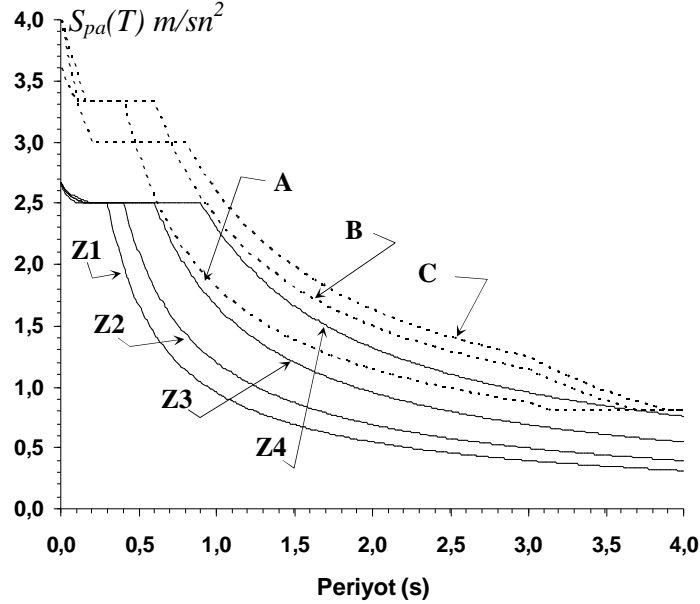
Yukarıda yapılan açıklamalar dikkate alınarak Türk Deprem Yönetmeliğine göre spektrum katsayılarının zemin sınıfına ve yapı periyoduna bağlı olarak değişimleri Şekil

3a da, EC-8 de spektrum katsayısından biraz farklı olarak tanımlanan elastik spektrumun zemin sınıfına ve yapı periyoduna bağlı değişimi ise Şekil 3b de görülmektedir.



Şekil 3. Deprem Yönetmeliğindeki Spektrum Katsayısının ve EC-8 deki Elastik Spektrumun Zemin Sınıfına ve Periyoda Göre değişimi

Çalışmaya konu olan süneklik düzeyi normal, çerçeve-perde taşıyıcı sisteme sahip ve planda düzensizliğin bulunduğu (Livaoğlu, 2001) yapılar için söz konusu iki yönetmeliğe göre belirlenen ivme spektrum değerleri belirlenerek Şekil 4 de verilmektedir.



Şekil 4. Türk Deprem Yönetmeliği ve EC-8 Göre İvme Spektrumları

### Yapıların Modellenmesi ve Yapısal Çözümlemesi

Yapıların modellenmesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Yapısal çözümler ise SAP2000 [SAP200-1997] paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya konu olan 6 farklı yapının temelde bulunan noktalarına ait bütün serbestlikler tutulmuş, diğer noktalara ait serbestlikler ise kısıtlanmayıp serbest bırakılmıştır. Diğer taraftan her kat, kendi içerisinde rijit diyafram olarak çalışacak şekilde modellenmiştir.

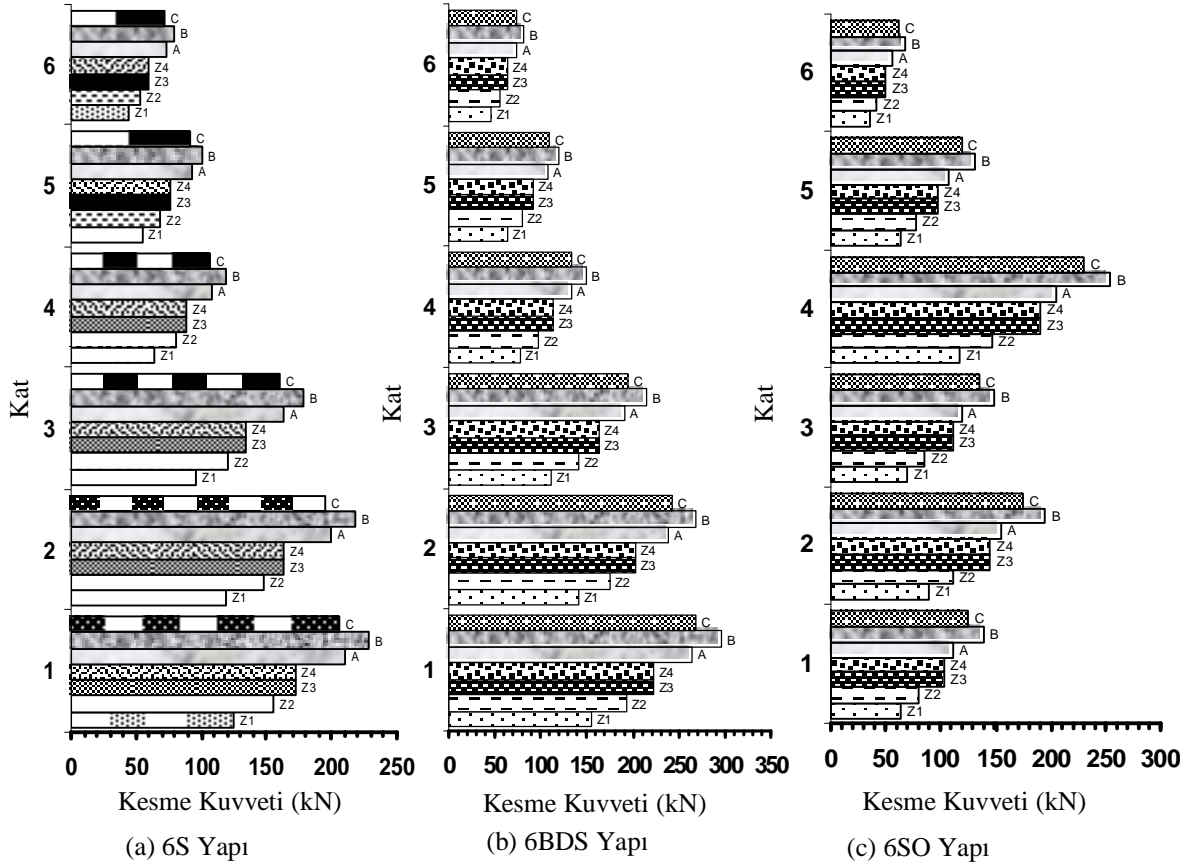
Yapıların Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesabında, altı katlı yapıların ilk 10 modu, oniki katlı yapıların ise ilk 20 modu dikkate alınmaktadır. Malzeme C20-S420 dir.

Bütün yapıların yapılan çözümlerlerden elde edilen ilk 10 mod için titreşim periyotları sırasıyla Çizelge 5’de verilmektedir.

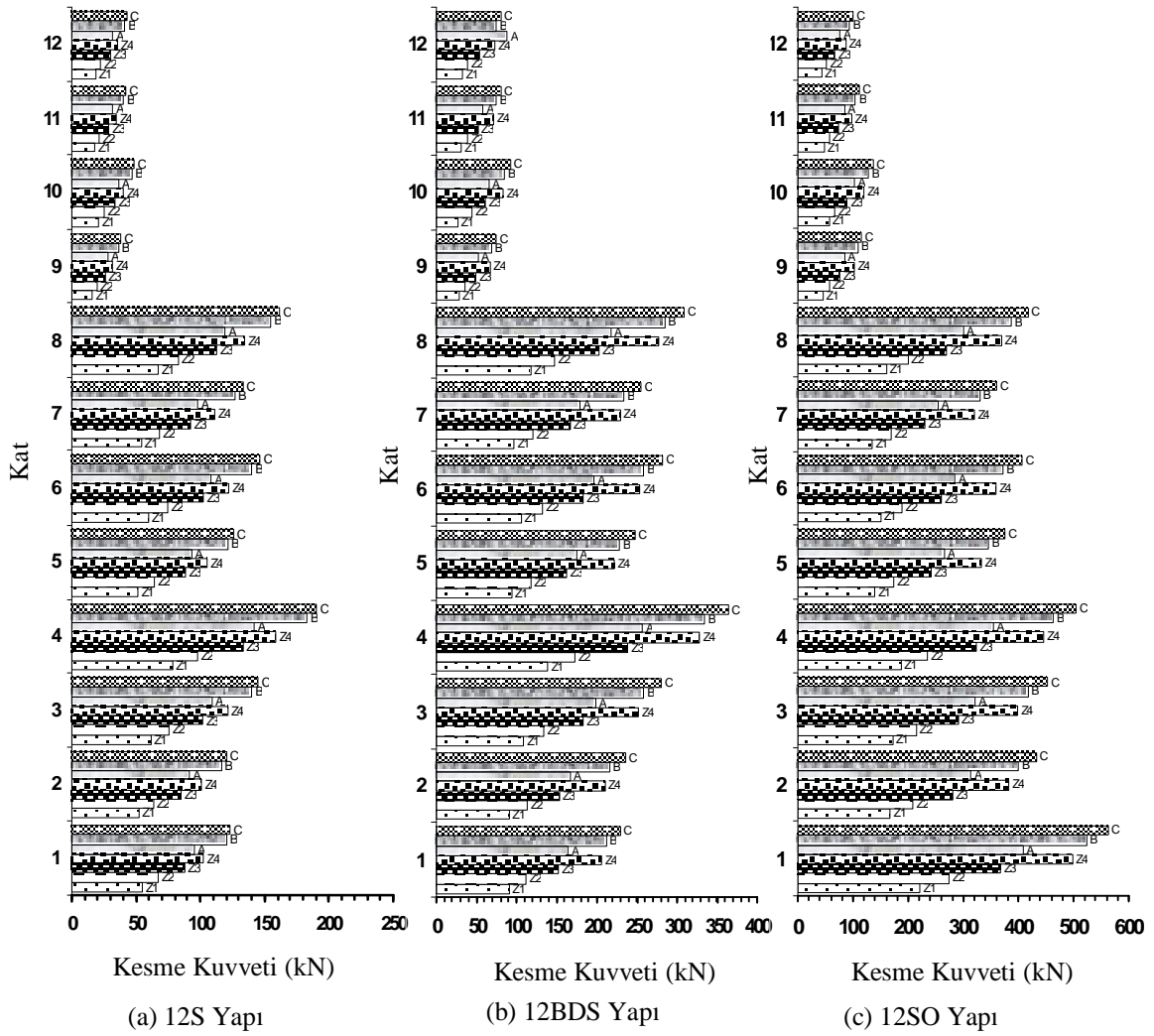
Çizelge 5.Yapıların İlk 10 Mod İçin Titreşim Periyotları

Periyot	6S	6BDS	6SO	12S	12BDS	12SO
$T_1$	0,456	0,481	0,562	0,886	0,897	1,043
$T_2$	0,433	0,424	0,422	0,764	0,818	0,769
$T_3$	0,368	0,377	0,393	0,531	0,535	0,534
$T_4$	0,135	0,145	0,174	0,303	0,274	0,348
$T_5$	0,122	0,120	0,118	0,212	0,249	0,229
$T_6$	0,109	0,112	0,116	0,158	0,158	0,182
$T_7$	0,065	0,072	0,092	0,157	0,132	0,157
$T_8$	0,063	0,064	0,068	0,099	0,115	0,115
$T_9$	0,061	0,062	0,066	0,096	0,093	0,105
$T_{10}$	0,060	0,061	0,062	0,093	0,084	0,094

Çalışmaya konu olan yapıların her iki yönetmelikte tanımlanan toplam 7 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak deprem hesabı gerçekleştirilmiştir. Yapıların 2B kolonunda hesaplanan kesme kuvvetinin zemin sınıfına ve bulunduğu kat numarasına göre değişimleri; 6 katlı yapı için Şekil 5 de, 12 katlı yapı için ise Şekil 6 da görülmektedir.



Şekil 5. Toplam 6 Katlı Yapılar İçin B2 Kolonunda Oluşan Kesme Kuvvetinin Yükseklik Boyunca Değişimi



Şekil 6. Toplam 6 Katlı Yapılar İçin B2 Kolonunda Oluşan Kesme Kuvvetinin Yükseklik Boyunca Değişimi

Son iki şekilde yapılan karşılaştırmalar yapılardaki diğer kolonlar için de yapılmış zemin sınıfına göre değişimin benzer olduğu görülmüş olup sayfa sınırlaması nedeniyle burada verilmemiştir.

## Sonuçlar

1. Kısa periyotlu yapılar ( $T \approx 0,9$  s) için EC8 den elde edilen ivme spektrumu değerleri Türk Deprem Yönetmeliğinden elde edilen değerlere göre daha büyük olmaktadır.
2. Toplam 12 katlı yapıları için C sınıfı zemin dikkate alınarak elde edilen kesme kuvvetleri, diğer tüm zemin sınıfları için elde edilen kesme kuvvetlerinden daha büyüktür. Daha kısa periyoda sahip 6 katlı yapılarda ise B sınıfı zemin dikkate alınarak elde edilen kesme kuvveti değerleri diğer zemin sınıflarından elde edilen kesme kuvvetlerinden daha büyük değerler vermektir. Bu sebeple periyot uzadıkça EC 8 de daha büyük ivme tepkileri elde edildiğinden, uzun periyotlu yapılarda meydana gelen kolon kesme kuvvetleri artmaktadır.

3. Tanımı itibari ile Deprem Yönetmeliğindeki Z1 sınıfı zeminle , EC8 'de tanımlanan A sınıfı zemin daha yakın gözükmektedir de A sınıfı zemin için elde edilen kesme kuvveti değerleri Z3 sınıfı için elde edilen kesme kuvveti değerlerine daha yakındır. Z1 ve Z2 türü zeminler için göre yapılan dinamik analizlerden elde edilen değerler A türü zemin için elde edilen değerlerden sırasıyla %74 ve % 41 daha büyüktür. Bu oranın daha uzun periyotlu yapılar için daha da artabileceği söylenebilir.

4. Kısa periyotlu sistemler için B türü zeminlerin C türü zeminlere göre daha büyük sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışmaya konu olan kısa periyotlu yapılarda (6 katlı) ise B türü zemin için elde edilen sonuçlar C türü zeminlerden %13 daha büyüktür. Bu oranın daha kısa periyotlu yapılar için daha da artabileceği söylenebilir.

5. Tanımı itibariyle birbirine yakın olan Deprem Yönetmeliğinde belirtilen Z3 ve Z4 sınıfı zeminler ile EC-8 deki C sınıfı zemin için yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ise C sınıfı zemin için elde edilen kesme kuvvetlerinin kısa periyotlu sistemler için %56, Z4 için %21 oranında daha büyük sonuçlar vermektedir.

6. Çalışmaya konu olan yapıların Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan Z1 ile Z4 sınıfı zeminler dikkate alınarak gerçekleştirilen deprem hesaplarına göre kesme kuvvetlerinin en az %38 en fazla ise %139 oranında değiştirmektedir. Bundan da zeminin kesit etkilerini % 100 lere varan oranlarda artırabileceği yada azaltabileceği gözükmektedir.

Benzer şekilde EC 8 için tanımlanan 3 farklı zemin türü karşılaştırıldığında ise iç kuvvet değişimlerinin kısa periyotlu sistemlerde A türü zeminle B türü zemin arasında en az % 11 değiştiği en fazla ise %25 değiştiği. Uzun periyotlu sistemlerde ise A türü zemin ile C türü zemin arasında en az %35, en fazla ise %42 oranında değiştiği görülmektedir.

Deprem Yönetmeliğine göre zemin gruplarının tanımlanabilmesi için standart penetrasyon, rölatif sıklı, serbest basınç direnci ve kayma dalgası hızı etkili olmaktadır. Bu zemin gruplarına ve en üst tabaka kalınlığına bağlı olarak da zemin sınıfları tanımlanmaktadır. Diğer taraftan zeminin de sonlu elemanlar modelinde dikkate alınmak istenmesi durumunda, zeminin elastisite modülü, poisson oranı, birim ağırlığı, sönüm oranı parametrelerine gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla yapının yıkılma sebebini zemin olarak gösterebilmek için zeminle ilgili bu özelliklerin bilinip yapının gerçekleştirilecek deprem hesabı sonucunda belirlenen kesit etkilerinin zeminden dolayı artarak elemanların kırılmasına sebep olduğunun gösterilmesi gerekmektedir.

## Referanslar

ABYYHY., 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *İMO İzmir Şubesi Yayını*, No:25.

SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA, 1997.

EC-8., 1998, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structure, Eurocode-8, *European Committee for Standardization*.

Livaoğlu, R., 2001, Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.