



Tek serbestlik dereceli sistemlerde maksimum ötelenme talebi üzerinde çevrimsel davranış modellerinin etkisi

The effect of hysteresis behaviour models on maximum displacement demand of SDOF systems

Ali Haydar KAYHAN^{1*}, Ahmet DEMİR¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
hkayhan@pau.edu.tr, ademir@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.07.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 30.12.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.71542

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ivme setleri ve farklı çevrimsel modeller kullanılarak, tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen maksimum ötelenme talepleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, farklı doğal titreşim periyodu, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modeline sahip 144 adet TSD sistem dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan analizler için, Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerin her biri ile uyumlu olacak şekilde iki farklı ivme seti kullanılmıştır. İvme seti içerisindeki kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin, tüm TSD sistemler için dikkate değer bir saçılıma sahip olduğu görülmüştür. Farklı çevrimsel davranış modelleri için farklı ötelenme talepleri elde edilmiştir. Varyans analizi sonuçları, farklı çevrimsel modeller için elde edilen taleplerin aynı ortalamaya sahip ana kitleden rastgele seçilmiş örnekler olduğu hipotezinin %95 güven düzeyi ile geçerli olduğunu göstermiştir. Bu tespitlerin, çalışmada dikkate alınan tüm TSD sistemler için geçerli olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Çevrimsel modeller, Maksimum ötelenme talebi, Tek serbestlik dereceli sistemler, Doğrusal olmayan dinamik analiz

Abstract

In this study, the maximum displacement demands of single degree of freedom (SDOF) systems obtained via nonlinear time history analyses are statistically evaluated using Turkish Earthquake Code compatible acceleration sets and different hysteresis models. For that purpose, 144 single degree of freedom systems with different natural vibration period, lateral strength ratio and hysteresis models are considered. Two different acceleration sets compatible with each of the Z1, Z2 and Z3 soil classes are used for nonlinear analyses. Maximum displacement demands obtained from acceleration records in record sets have been observed to a remarkable dispersion for all the SDOF systems. Different displacement demands are obtained for different hysteresis behavior models. Variance analysis results show that the mean of the displacement demands obtained for the different hysteresis behavior models are accepted as simply random samples selected from the same population at 0.95 confidence level. It is shown that these results are valid for all the considered SDOF systems considered in this study.

Keywords: Hysteresis models, Maximum displacement demand, Single degree of freedom systems, Nonlinear dynamic analysis

1 Giriş

Son yıllarda deprem mühendisliği alanında ön plana çıkmış olan performans dayalı tasarımın temel niteliklerinden birisi, yeni yapıların tasarımı ya da mevcut yapıların değerlendirilmesi amacı ile sismik hasarın daha gerçekçi olarak tanımlanabilmesidir [1]. Performansa dayalı tasarım yaklaşımı ile ilgili temel belgelerden biri olan SEAOC Vision 2000'de [2] tanımlanan tasarım yaklaşımlarından birisi de deplasmana dayalı tasarımdır. Bu yaklaşım geniş ölçüde benimsenmiş ve tasarım için hedef olarak maksimum ötelenme, maksimum görelî kat ötelenmesi, maksimum süneklik talebi gibi kavramlar kullanılmaya başlanmıştır [3]-[5]. Benzer kavramlar mevcut yapıların performans değerlendirmesi için farklı performans seviyelerinin ve limit durumların tanımlanmasında da kullanılmaktadır [6].

Maksimum ötelenme talebi hesabı için kullanılabilecek en genel ve doğru yöntem, yapısal sistemlerin üç boyutlu ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizidir. Ancak bu yöntemin karmaşıklığı ve zorluğu sebebiyle, maksimum ötelenme talebinin tahmini için daha basit ve güvenilir analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu basit yöntemlerden birisi statik itme analizi ile üç boyutlu yapısal sisteme ait kapasite eğrisinin (toplam taban kesme kuvveti ve yatay çatı ötelenmesi ilişkisi) elde edilmesidir [7]. Üç boyutlu yapısal sisteme ait kapasite eğrisi bilgileri kullanılarak bu sistemi

temsil eden eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin yük-deplasman ilişkisi elde edilmektedir. Statik itme analizinin kullanıldığı tüm yaklaşımlarda, üç boyutlu yapının maksimum ötelenme talebinin tahmini için bu yapıyı temsil eden eşdeğer TSD sistemin doğrusal olmayan analizi ile hesaplanan maksimum ötelenme talebi kullanılmaktadır.

Literatürde TSD sistemler için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ile maksimum ötelenme talebinin tahminine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bazzurro ve Luco [8], farklı yatay dayanım oranı (yatay yük taşıma kapasitesinin deprem hesabına esas ağırlığa oranı) ve titreşim periyoduna sahip TSD sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri için ölçeklendirilmemiş ve hedef spektrumla uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiş gerçek ivme kaydı setlerini ayrı ayrı kullanmıştır. D'Ambrisi ve Mezzi [9] ile Ruiz-Garcia ve Miranda [10] TSD sistemlerin maksimum ötelenme talebinin tahmini amacıyla zaman tanım alanında analiz sonuçlarını kullanarak geliştirdikleri olasılıksal bir yaklaşım önermiştir. İnel ve diğ. [11], Türkiye'deki mevcut bina stoğunun bir kısmını temsil eden 2, 4 ve 7 katlı betonarme binaların üç boyutlu analiz modelleri ile bu binaların eşdeğer TSD modelleri için doğrusal olmayan dinamik analiz ile elde edilen çatı seviyesi ötelenme taleplerini kıyaslamıştır. Tekin [12], titreşim periyodu 0.10s-5.00s arasında değişen TSD sistemler için hesaplanan maksimum tepkiye ait olasılık dağılımları önermiştir. Mollaioli ve Bruno

[13], TSD ve düzlem çerçeve sistemlerinin doğrusal olmayan zaman tanım analizlerini gerçekleştirdikleri çalışmalarında, analiz sonuçları üzerinde deprem büyüklüğü, yerel zemin durumu, süneklik vb. parametrelerin etkisini incelemiştir. Lin ve Miranda [14], maksimum ötelenme talebinin tahmini için kullanılan eşdeğer doğrusal yöntemlerin performansının değerlendirilmesi amacı ile yaptıkları çalışmada, periyodu 0.10s-3.00s arasında değişen TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiştir. Riddel ve diğ. [15], TSD sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım analizi için 3 farklı çevrimsel davranış modeli kullanmış ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Özmen [16], Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların genel dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi ve binalarda bulunan yapısal kusurların deprem performansı üzerindeki etkisinin değerlendirmesi amacıyla yaptığı çalışmada, mevcut yapı stoğunu temsil eden üç boyutlu betonarme yapı modellerine ait eşdeğer TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiştir.

Yukarıda örnekleri verilen çalışmalarda, doğrusal olmayan analizler için çalışmanın amacına bağlı olarak farklı kriterler dikkate alınarak seçilen ivme kayıtları kullanılmakta, bununla beraber yine çalışma amacı doğrultusunda TSD sistemler için farklı çevrimsel davranış modelleri dikkate alınmaktadır.

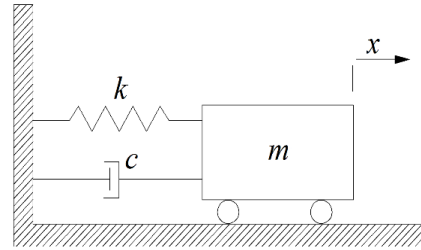
Bilindiği gibi depremin büyüklüğü, faylanma tipi, yerel zemin özellikleri, yer hareketinin süresi, depremin merkez üssü ile kayıt istasyonu arasındaki mesafe gibi özelliklere bağlı olarak yer hareketi kayıtları birbirinden farklı olmaktadır. Analizde kullanılacak yer hareketi kaydı ise analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. O halde, bir yapının bulunduğu bölgenin depremselliği ve yapının üzerinde bulunduğu yerel zemin koşulları ile uyumlu olacak şekilde yer hareketi kayıtlarının seçilmesi, olası bir depremde o yapının göstereceği davranışı daha az hata ile tahmin edebilmek için gereklidir [17]. Deprem Yönetmeliği'nin [18]'de aralarında bulunduğu modern yönetmeliklerde, yeni yapıların tasarımı veya mevcut yapıların performans değerlendirmesi için zaman tanım alanında analiz yönteminin de kullanılabilmesi öngörülmekte ve gerekli tanımlamalar verilmektedir. Deprem Yönetmeliği'ne göre, yapının bulunduğu deprem bölgesi ve yerel zemin koşulları da dikkate alınarak tanımlanan tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olmak koşulu ile sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının zaman tanım alanında analiz için kullanılması mümkündür.

Bu çalışmada, TSD sistemler için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak elde edilen maksimum ötelenme talebi üzerinde çevrimsel davranış modelinin etkisi araştırılmıştır. Analizler için, Deprem Yönetmeliği'nde Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerin her biri için tanımlanan tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ayrı ayrı elde edilen gerçek ivme kaydı setleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak TSD sistemlerin mevcut yapıları da temsil edebilecek şekilde geniş bir titreşim periyodu ve yatay dayanım oranı aralığına sahip olması hedeflenmiştir. Bu amaca uygun olarak çalışmada kullanılan TSD sistemlerin yatay dayanım oranı 0.10-0.40 arasında, doğal titreşim periyodu ise 0.40s-1.20s arasında değişmektedir. Çevrimler esnasında dayanım ve rijitlik değişimlerinin maksimum ötelenme talebi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla 4 farklı çevrimsel davranış modeli dikkate alınmıştır: EMP (Elastik-Mükemmel Plastik), EDP (Elastik Doğrusal Pekleşen), MTK00 (rijitlik azalmasının dikkate alınmadığı Modifiye Takeda) ve MTK04 (rijitlik azalmasının dikkate

alındığı Modifiye Takeda). Çalışmada ele alınan TSD sistemlerin her biri için, ivme kaydı setlerinde yer alan kayıtlar kullanılarak zaman tanım alanında analiz ile maksimum ötelenme talepleri elde edilmiştir. Ayrıca her bir TSD sistem ve set için, sette yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ortalaması hesaplanmıştır. Farklı çevrimsel davranış modelleri için elde edilen ortalama ötelenme talepleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca tek yönlü varyans analizi [19] ile farklı çevrimsel davranış modelleri kullanılarak elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır.

2 Dikkate alınan tek serbestlik dereceli sistemler

TSD sistemlerin hareket halinde bulunduğu konum tek bir parametrenin verilmesi ile belirlenebilmektedir. TSD sistemlerin davranışını mesnet şartları ve hareket denkleminin başlangıç şartları dikkate alınarak elde edilen çözümü belirlemektedir [20]. Şekil 1'de TSD sistemin titreşiminin matematiksel modeli verilmiştir. Şekilde, x yapının zamana bağlı yatay ötelenmesini ifade etmektedir. TSD sistemlerin titreşiminde temel bileşenler rijitlik (k), kütle (m), sönüm katsayısı (c) ve dış kuvvettir (yer hareketi). TSD sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için bu sistemin hareket denkleminde ihtiyaç vardır. Yer hareketi etkisindeki TSD sistemin dinamik davranışı Denklem (1) ile verilmiştir. Denklemde $m\ddot{x}_g(t)$ terimi, yapının kütlelerine etkiyerek titreşime sebep olan dış kuvveti temsil etmektedir.



Şekil 1: TSD sistemin matematiksel modeli.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t) \quad (1)$$

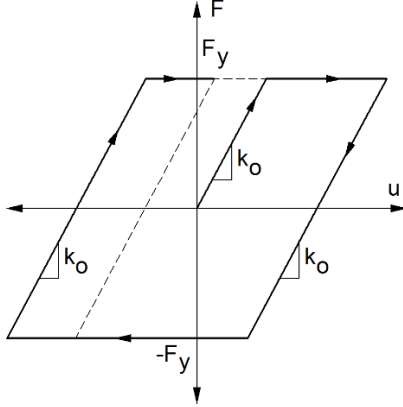
Daha önce de bahsedildiği gibi çalışmada kullanılan TSD sistemlerin doğal titreşim periyodu (T) 0.4s-1.2s arasında (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2) değişmektedir. TSD sistemlerin yatay yük kapasitelerinin (F_y), deprem hesabına esas ağırlığına (W) oranı, yatay dayanım oranı (F_y/W) olarak tanımlanmaktadır. Her bir doğal titreşim periyodu için 0.10 ile 0.40 arasında değişen (0.10, 0.20, 0.30, 0.40) yatay dayanım oranına sahip sistemler dikkate alınmıştır. Özetle, dokuz farklı titreşim periyodu, dört farklı yatay dayanım oranı ve dört farklı çevrimsel davranış modeli dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan analizler için Prism v1.0.2 [21] programı kullanılmış ve analizlerde tüm çevrimsel modeller için sönüm oranı %5 olarak seçilmiştir.

2.1 Çevrimsel davranış modelleri

2.1.1 Elastik-Mükemmel Plastik (EMP) model

EMP, genellikle referans davranış modeli olarak seçilmektedir. Şekil 2'de bu modele ait çevrimsel davranış için yük-deplasman ilişkisi görülmektedir. Elastik davranışın sonunda akma dayanımına (F_y) ulaşılmakta ve akma noktasından sonra

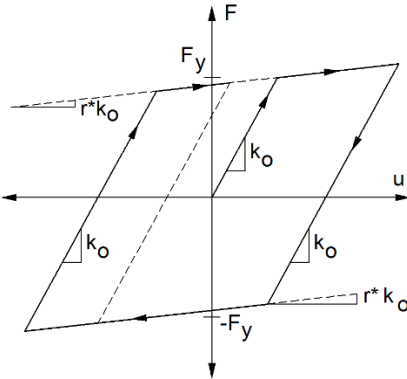
dayanımda bir artış olmaksızın elastik deplasmanlar yanında kalıcı plastik deplasmanlar da meydana gelmektedir. Yük boşalması esnasında ise, elastik şekil değiştirmeler geri dönmektedir. Yükleme ve yük boşalması esnasında rijitlikte (k_0) bir değişme oluşmamaktadır [22].



Şekil 2: Elastik-Mükemmel Plastik çevrimsel model.

2.1.2 Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) model

EDP modele ait çevrimsel davranış Şekil 3'te verilmiştir. Bu davranış başlangıç rijitliği (k_0), akma dayanımı (F_y) ve akma sonrası rijitlik ($r k_0$) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Akma dayanımına ulaşıldıktan sonra, başlangıç rijitliğine oranla daha düşük bir rijitlikle pekleşme ve plastik şekil değiştirmeler başlamaktadır [22],[23]. Boşalma dönüşü elastik yüklenme koluna paralel olarak oluşmaktadır. Akma sonrası rijitliğin başlangıç rijitliğine oranı (r) için 0.01, 0.03 ve 0.05 değerleri kullanılabilir. Bu çalışmada 0.05 alınmıştır.



Şekil 3: Elastik-Doğrusal Pekleşen çevrimsel model.

2.1.3 Modifiye Takeda (MTK) modeli

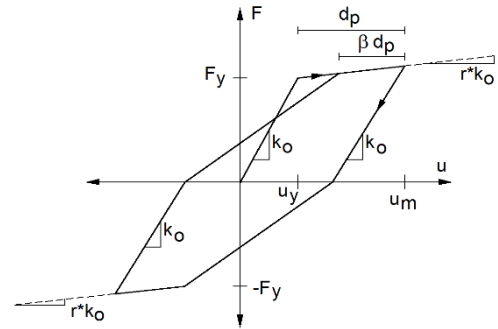
Birçok deneysel çalışmaya dayanarak geliştirilen Takeda çevrimsel modeli, ilk olarak 1970'de ortaya konmuştur ve ağırlıklı olarak eğilme davranışını ifade etmektedir [24]. Model, çatlamamış, çatlamış ve akma sonrası aşamaları gösteren üç doğrusal iskelet eğrisi ile temsil edilir. Böylece, özellikle çatlama sonrası ortaya çıkan rijitlik değişimi de gözönüne alınabilir. Bu çalışmada kullanılan model ise Otani tarafından [25] önerilen ve özgün Takeda modelinin iki doğrusal olarak basitleştirilmiş halidir. Otani tarafından önerilen çevrimsel modeli tanımlayabilmek için kullanılan parametreler; başlangıç rijitliği (k_0), akma dayanımı (F_y), akma deplasmanı (u_y), akma sonrası rijitlik oranı (r), plastik deplasman (d_p), yeniden yüklenme rijitlik katsayısı (β), çevrim esnasında o ana kadar elde edilen maksimum deplasman (d_m)

ve yükün kalkması (boşalması) sonrası rijitlik (k_u) parametreleridir. Yükün kalkması (boşalması) esnasındaki rijitlik azalması Denklem (2) ile ifade edilmektedir.

$$k_u = k_0 \left(\frac{u_y}{u_m} \right)^\alpha \quad (2)$$

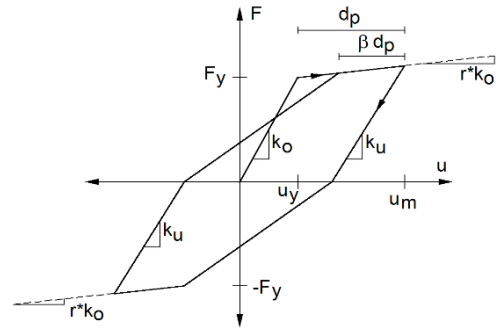
Denklem (2)'de α yükün boşaltmasından sonraki rijitlik azalması ile ilgili parametredir. Bu parametrenin sıfır olması, yüklenme sonrası rijitlik ile başlangıç rijitliğinin eşit olması demektir. Bu parametrenin artması ise, yük boşaldıktan sonraki rijitliğin azalması anlamına gelmektedir. Takeda [24], rijitlik azalması ile ilgili parametre için $\alpha = 0.40$ değerini önermiştir. Otani [25], α için 0.00-0.50 ve β için 0.00-0.60 aralığını önermiştir.

Çalışmada kullanılan iki MTK modelinden birincisinde (MTK00) rijitlik azalması dikkate alınmaz iken, ikinci modelde (MTK04) deprem esnasında ortaya çıkan hasarlar dolayısıyla yapıların rijitliğinde meydana gelen azalma da temsil edilmektedir. Şekil 4'te MTK00 modeline ait çevrim görülmektedir. Bu modelde $\alpha = 0$ ve $\beta = 0$ alınmıştır.



Şekil 4: Modifiye Takeda modeli $\alpha = 0, \beta = 0$ (MTK00).

Şekil 5'te ise MTK04 modeline ait çevrim görülmektedir. Bu modelde $\alpha = 0.4$ ve $\beta = 0$ alınmıştır.



Şekil 5: Modifiye Takeda modeli $\alpha = 0.4, \beta = 0$ (MTK04).

3 Kullanılan ivme kayıtları

Bu çalışmada, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu gerçek ivme kaydı setleri kullanılmıştır. İvme kaydı setleri, Kayhan [26] tarafından önerilen yöntem dikkate alınarak seçilmiştir.

3.1 Zaman tanım alanında analiz koşulları

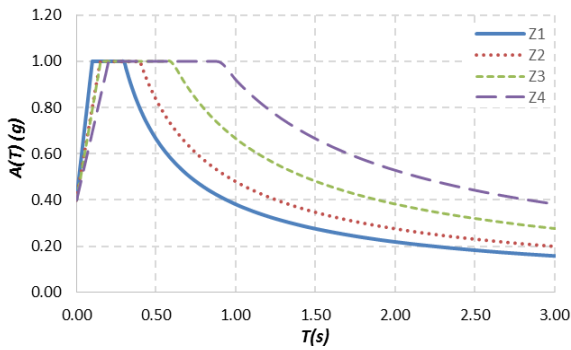
Deprem Yönetmeliği'ne göre zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır.

Analizler için en az üç ivme kaydının kullanılması öngörülmuş ve seçilecek ivme kayıtlarının sağlaması gereken koşullar belirtilmiştir. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalaması esas alınmaktadır.

3.2 Tasarım ivme spektrumları

Deprem Yönetmeliği'ne göre deprem bölgelerinde ve herhangi bir zemin üzerinde yapılacak yeni binalar için tasarım depreminin, bina önem katsayısı $I = 1$ olan binalar için 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10'dur.

Şekil 6'da, birinci derece deprem bölgesinde yer alan ve bina önem katsayısı $I = 1$ olan bir bina için kullanılacak Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ 'nin, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 6: Yerel zemin sınıfları için elastik spektral ivme.

3.3 İvme kaydı seçiminde kullanılan ilave kriterler

İvme kayıtlarının kaydedildiği depremlerin büyüklüğü $M \geq 5.5$ alınmıştır. Depremin kaydedildiği istasyonların faya olan mesafeleri 10-50 km arasındadır. İvme kaydının maksimum yer ivmesi en az 0.1g kabul edilmiştir. Bu koşullara uyan 542 ivme kaydı bileşeni Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'ndan [27] seçilmiştir. Eurocode-8'e [28] göre A zemin sınıfı için 95 yer hareketi kaydına ait 190 yatay bileşen, B zemin sınıfı için 118 yer hareketi kaydına ait 236 yatay bileşen ve C zemin sınıfı için 58 yer hareketi kaydına ait 116 yatay bileşen seçildiği görülmüştür. D ve E sınıfı zemin için kriterleri sağlayan yeterli sayıda kayıt bulunamamış ve bu zemin sınıfına ait kayıtlar kullanılmamıştır.

Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak ayrı ayrı elde edilecek ivme kaydı setleri için sırası ile Eurocode-8'e göre A, B ve C sınıfı zeminlerde kaydedilen kayıtlar arasından seçim yapılmıştır. Bu şekilde, hedef ivme spektrumu ile ivme setinde kullanılan kayıtların zemin özellikleri açısından uyumlu olması sağlanmıştır. Z4 sınıfı zeminler için D ve E sınıfı zeminlerde kaydedilen kayıtlar arasından seçim yapılarak ivme kaydı seçilmesi gerekmektedir. Ancak bu özelliklere sahip yeterli ivme kaydı bulunmadığı için Z4 sınıfı zeminler için ivme kaydı setleri oluşturulmamıştır.

İvme kayıtlarının ölçeklendirilmesi için kullanılan ölçeklendirme katsayısının 0.50-2.00 arasında olması sağlanmıştır.

3.4 İvme kaydı setleri

Dikkate alınan her bir yerel zemin sınıfı için 2 farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Her bir ivme setinde 7 ivme kaydı bulunmaktadır. Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setlerine ait bilgiler sırası ile Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo

3'te verilmiştir. Tablolarda, set içinde yer alan ivme kayıtlarının kodu ve yatay bileşeni ile ölçeklendirme katsayıları yer almaktadır. İvme kayıtlarına ait detaylı bilgiler EK-B'de verilmiştir.

Tablo 1: Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri.

1. SET		2. SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
5270-Y	1.014	646-Y	0.816
410-X	1.782	383-Y	1.449
292-X	1.344	362-X	1.475
362-X	1.554	292-X	0.971
7158-X	0.632	1243-X	0.789
6272-Y	1.224	5272-Y	1.664
6327-Y	0.519	6331-X	1.166

Tablo 1'de, Z1 sınıfı zeminler için elde edilen setler incelendiğinde bazı ivme kayıtlarının farklı ölçeklere sahip olarak birden fazla ivme seti içerisinde yer aldığı görülmektedir. Örneğin 362 kodlu kayıttın X bileşeni hem birinci hem de ikinci sette yer almaktadır. Yine öngörüldüğü gibi, her bir ivme setinde, bir kaydın sadece bir yatay bileşeninin bulunduğu ve ölçek katsayılarının 0.50-2.00 arasında olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde edilen setlerde de görülmektedir.

Tablo 2: Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri.

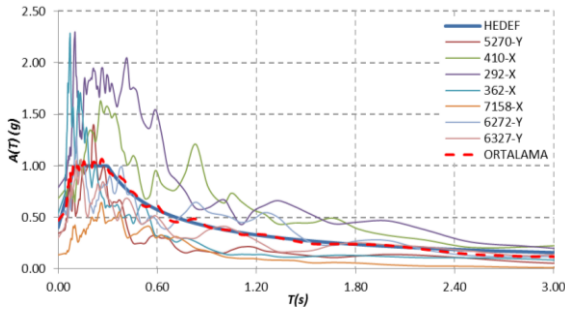
1. SET		2. SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
645-Y	1.394	1859-X	0.992
352-Y	1.275	946-Y	1.786
548-X	0.711	6496-Y	1.803
6422-X	1.600	645-Y	1.182
946-Y	0.903	1720-Y	0.636
760-Y	1.467	595-X	0.819
572-Y	1.747	142-Y	1.501

Deprem Yönetmeliği'nde, seçilen ivme kaydı setlerine ait ortalama ivme spektrumu ile hedef ivme spektrumu oranı için alt sınır 0.90 olarak tanımlanmış, ancak bir üst sınır tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, hedef spektrum ile ivme setine ait ortalama spektrum arasındaki oranın, öngörülen periyot aralığında 0.90-1.10 arasında olması ve böylece hedef spektrumla daha fazla uyum elde edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 3: Z3 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri.

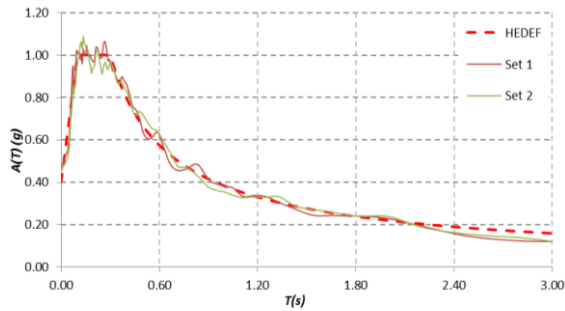
1. SET		2. SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
360-X	0.704	601-Y	1.008
374-Y	0.672	648-Y	0.743
602-X	0.999	360-X	0.831
6962-Y	1.355	6606-Y	1.105
6978-Y	0.622	1230-X	0.548
6606-Y	0.582	6975-Y	1.096
1230-X	0.788	375-Y	0.600

Şekil 7'de, Z1 sınıfı zemin için elde edilen ilk sette yer alan ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının her birine ait ivme spektrumu, sete ait ortalama spektrum ve hedef spektrum örnek olarak verilmiştir. Ortalama spektrum ile hedef spektrum arasında istenen uyumun sağlandığı görülmektedir. Şekil 8'de ise, Z1 sınıfı zemin için elde edilen iki sete ait ortalama spektrumlar ile hedef spektrum verilmiştir.



Şekil 7: Z1 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar.

Z2 ve Z3 zemin sınıfları için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar ve hedef spektrumlar ise EK A'da verilmiştir.



Şekil 8: Z1 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ölçeklenmiş ortalama spektrumlar.

4 Dinamik analiz sonuçları

TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve ivme setlerinde yer alan her bir kayıt için maksimum ötelenme talepleri (Δ_{mak}) elde edilmiştir.

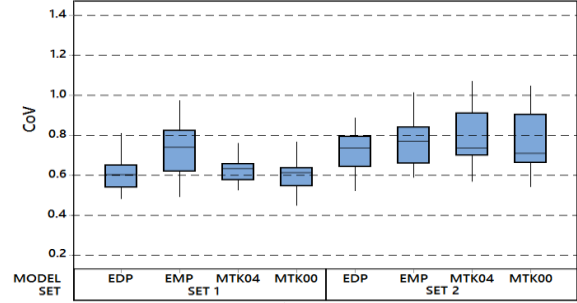
Deprem Yönetmeliği'ne göre zaman tanım alanında analiz için en az yedi ivme kaydı kullanılırsa, yapısal tepkilerin ortalaması dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ivme kaydı setlerinde ise yedi ivme kaydı bulunmaktadır. Bu sebeple, ivme setlerinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme talepleri (Δ_{mak}) kullanılarak sete ait ortalama ötelenme (μ_{Δ}) hesaplanmıştır. Maksimum ötelenme taleplerinin, ilgili sete ait ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılımının değerlendirilebilmesi için de maksimum ötelenme taleplerinin standart sapması (s_{Δ}) hesaplanmıştır. Çalışmada dikkate alınan tüm TSD sistemler, zemin sınıfları ve çevrimsel davranış modelleri için hesaplanan μ_{Δ} ve s_{Δ} değerleri EK-C'de verilmiştir.

EK-C'de verilen sonuçlar incelendiğinde, dikkat çeken ilk husus herhangi bir TSD sistem için ivme setlerine ait standart sapmanın, sete ait ortalamaya oranla yüksek olmasıdır. İstatistiksel olarak ortalama etrafındaki saçılımın bir ölçüsü de, Denklem (3) ile verilen ve standart sapmanın ortalamaya oranını ifade eden varyasyon katsayısıdır (CoV). Varyasyon katsayısının yüksek değerleri, ortalama etrafındaki saçılımın yüksek olduğunu belirtmektedir.

$$CoV = s_{\Delta}/\mu_{\Delta} \quad (3)$$

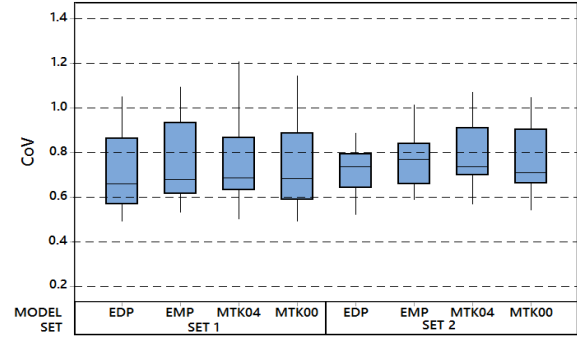
Şekil 9'da, Z1 sınıfı zeminlere ait ivme setleri kullanılarak hesaplanan CoV değerlerine ait kutu grafiği görülmektedir. Kutu grafiklerinde, düşey doğrultuda verilerin en küçük değerinden en büyük değerine uzatılan bir çizgi ile birinci çeyreklikten üçüncü çeyrekliğe uzatılan bir kutu

kullanılmaktadır. Şekil 9'a göre, tüm TSD sistemler düşünüldüğünde CoV değerlerinin 0.40'ın üzerinde olduğu ve bazı TSD sistemler için 1.00'in üzerinde CoV değerleri görüldüğü söylenebilir.



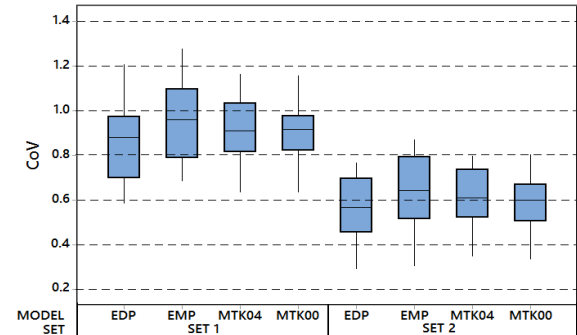
Şekil 9: Z1 için TSD sistemlerde CoV değerlerinin değişimi.

Şekil 10'da ise Z2 sınıfı zeminlere ait ivme setleri için hesaplanan CoV değerlerine ait kutu grafiği verilmiştir. Şekil 10'a göre, tüm TSD sistemler düşünüldüğünde CoV değerleri 0.50'in üzerindedir ve bazı TSD sistemler için yine 1.00'in üzerinde CoV değerleri görülmektedir.



Şekil 10: Z2 için TSD sistemlerde CoV değerlerinin değişimi.

Ortalama etrafındaki saçılım ile ilgili olarak Z1 ve Z2 sınıfı zeminler dikkate alındığında gözlenen durum, Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri kullanılarak hesaplanan ötelenme talepleri için de gözlenmektedir (Şekil 11).



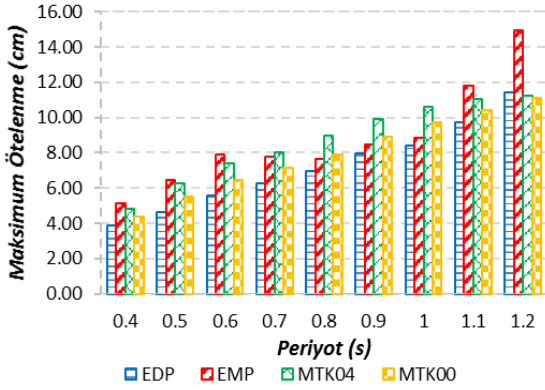
Şekil 11: Z3 için TSD sistemlerde CoV değerlerinin değişimi.

CoV değerleri, ivme setleri içinde yer alan kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin, sete ait ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılımının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, çalışmada ele alınan tüm TSD sistemler, zemin sınıfları ve çevrimsel davranış modelleri için geçerlidir.

EK-C'de verilen analiz sonuçları incelendiğinde, herhangi bir TSD sistem için farklı çevrimsel modeller kullanıldığında birbirine bazen yakın bazen de nispeten uzak olmakla birlikte

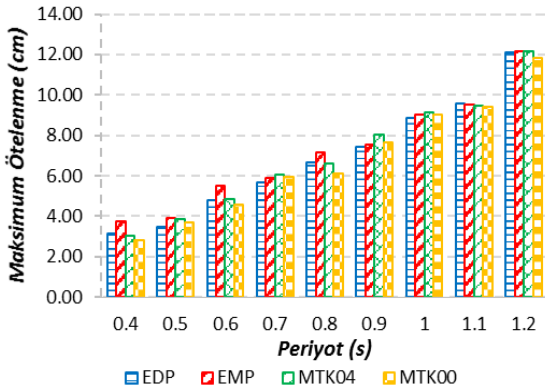
farklı μ_{Δ} değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri kullanılarak hesaplanan ötelenme taleplerinin yer aldığı EK-C1 ve EK-C2'de, ortalama ötelenme talepleri arasındaki farklılığı görmek mümkündür.

Çevrimsel davranış modellerinin sete ait ortalama ötelenme üzerindeki etkisini görsel olarak da değerlendirebilmek için EK-C'de verilen sonuçlar kullanılarak hazırlanan bazı grafikler Şekil 12-Şekil 15'te örnek olarak verilmiştir. Örnek olarak verilen şekillerde yatay eksen TSD sistemlerin periyodunu ifade etmektedir.



Şekil 12: TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerleri (Z1, $F_y/W = 0.10$, birinci ivme seti).

Şekil 12'de, Z1 sınıfı zemin için elde edilen birinci set kullanılarak, yatay dayanım oranı 0.10 (bu çalışmada dikkate alınan en düşük yatay dayanım oranı değeri) olan TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerlerinin çevrimsel davranış modeline göre değişimi görülmektedir. Şekilde, herhangi bir periyot değerine sahip TSD sistem için, dört farklı çevrimsel model kullanıldığında dört farklı μ_{Δ} değeri elde edildiği görülmektedir. Örneğin $T=0.50$ s olan TSD sisteme ait μ_{Δ} değeri EDP için 4.64 cm, EMP için 6.49 cm, MTK04 için 6.25 cm ve MTK00 için 5.39 cm olarak hesaplanmıştır (EK-C1).



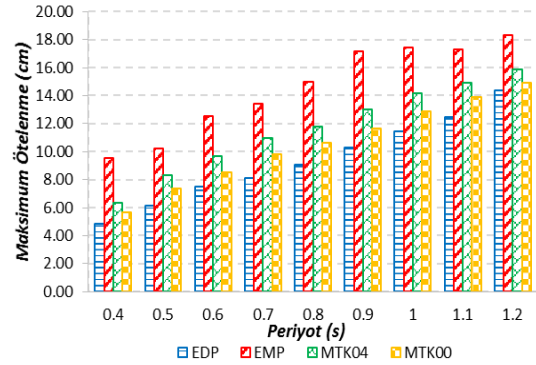
Şekil 13: TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerleri (Z1, $F_y/W = 0.40$, birinci ivme seti).

Şekil 13'te, Z1 sınıfı zemin için birinci set kullanılarak, bu defa yatay dayanım oranı 0.40 (bu çalışmada kullanılan en yüksek yatay dayanım oranı değeri) olan TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerleri görülmektedir. Şekilde, farklı çevrimsel davranış modelleri için farklı (birbirine yakın olsa da) μ_{Δ} değerlerinin elde edildiği gözlenmektedir. Bir örnek vermek gerekirse, $T=0.40$ s olan TSD sisteme ait μ_{Δ} değeri EDP, EMP, MTK04 ve MTK00 çevrimsel modelleri için sırası ile 3.13

cm, 3.77 cm, 3.01 cm ve 2.84 cm olarak hesaplanmıştır (EK-C1).

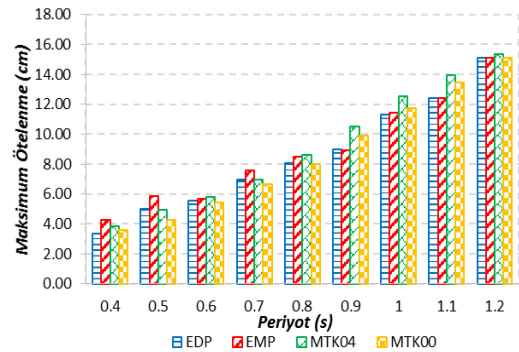
Şekil 12'de, $T=1.20$ s olan TSD sistemde, EMP çevrimsel davranış modeli için diğer modellere göre belirgin olarak yüksek μ_{Δ} değerinin elde edildiği görülmektedir. Ancak diğer periyot değerleri için EMP açısından benzer durum gözlenmemektedir. Şekil 13'te ise herhangi bir çevrimsel model için elde edilen μ_{Δ} değerinin diğerlerinden belirgin olarak yüksek ya da düşük olduğu gözlenmemektedir. Bu durumda herhangi bir çevrimsel model için diğerlerine göre daha düşük ya da daha yüksek μ_{Δ} değeri elde edileceği gibi bir genelleme yapmanın doğru olmayacağı söylenebilir.

Şekil 14'te, Z2 sınıfı zemin için elde edilen ikinci ivme seti kullanılarak, yatay dayanım oranı 0.10 olan TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerlerinin değişimi verilmiştir. Bu kez, EMP model için diğer modellere göre daha yüksek ötelenme talebi elde edildiği, bunun tüm periyot değerleri için geçerli olduğu görülmektedir.



Şekil 14: TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerleri (Z2, $F_y/W = 0.10$, ikinci ivme seti).

Şekil 15'te, Z2 sınıfı zemin için ikinci set kullanılarak, yatay dayanım oranı 0.40 olan TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerlerinin değişimi görülmektedir. $T=0.80$ s ve daha yüksek periyot değerlerine sahip TSD sistemlerde MTK04 modeli için daha yüksek μ_{Δ} değerleri elde edildiği, ancak $T=0.40$ s, $T=0.50$ s ve $T=0.70$ s olan TSD sistemlerde ise EMP model için hesaplanan μ_{Δ} değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. En düşük μ_{Δ} değerlerinin ise bazen EDP bazen de MTK00 modeli için hesapladığı gözlenmektedir.



Şekil 15: TSD sistemler için hesaplanan μ_{Δ} değerleri (Z2, $F_y/W = 0.40$, ikinci ivme seti).

Gerek EK-C'de tüm TSD sistemler ve zemin sınıfları için verilen analiz sonuçları, gerekse Şekil 12-Şekil 15'te örnek olarak verilen grafikler incelendiğinde, farklı çevrimsel davranış modelleri için farklı ötelenme değerleri elde edildiği, bu durumun tüm TSD sistemler ve zemin sınıfları için geçerli

olduğu görülmektedir. Öte yandan aynı TSD sistem ve davranış modeli için, farklı ivme seti kullanıldığında da farklı ötelenme değerleri elde edildiği gözlenmiştir. Dolayısıyla, TSD sistemler için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilecek ve Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarım ya da performans değerlendirmesi amacı ile kullanılacak μ_{Δ} değerlerinin, kullanılan ivme seti ve çevrimsel davranış modeline göre farklılık gösteren rastgele bir değişken olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

5 Varyans analizi

Farklı çevrimsel modeller için elde edilen μ_{Δ} değerleri arasındaki farklılığın düzeyinin belirlenmesi amacı ile Fisher tarafından geliştirilen tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi kullanılmıştır [19].

5.1 Tek yönlü varyans analizi

Analiz için en basit model, gözlemlerin sadece bir değişkenin şıklarına göre sınıflara ayrıldığı ve bu sınıflarla ilgili ana kitle ortalamaların birbirine eşitliğinin test edildiği modeldir. $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_k$ olarak belirlenecek ana kitle ortalamaları ile ilgili olarak test edilecek hipotez k sayıda ana kitle ortalamasının birbirlerine eşit olduğudur (Denklem (4)).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \quad (4)$$

Herhangi bir yapısal model ve zemin sınıfı için dört farklı çevrimsel modelden elde edilen analiz sonuçlarının, dört farklı ana kitleden alınan örnekler olduğu varsayılmıştır. O halde hipotez, çevrimsel modellerden elde edilen örneklerin (ötelenme taleplerinin) temsil ettiği ana kitle ortalamalarının eşit olduğu hipotezidir.

Tablo 4'te, tek yönlü varyans analizi için dört kategorili bir model verilmiştir. $k = 4$ farklı çevrimsel model ve her bir çevrimsel modelde 7 adet ivme kaydı bulunmaktadır. Setlerdeki ivme kayıtlarının her biri için analiz sonucu elde edilen maksimum ötelenme talepleri X_{ij} ile temsil edilmektedir. Burada i indisi çevrimsel modeli, j indisi ise maksimum ötelenme talebinin ait olduğu ivme kaydının numarasını göstermektedir. $T_{1+}, T_{2+}, T_{3+}, T_{4+}$ ile sütunların toplamı yani ilgili sete ait X_{ij} değerlerinin toplamı, T_{++} ile sütunların toplamının toplamı ifade edilmektedir. Her bir sütuna ait ortalama (X_i) ile toplam $N = 28$ veriye ait genel ortalama da (X) tabloda yer almaktadır.

Tablo 4: Tek yönlü varyans analizi için dört kategorili model.

	EDP	EMP	MTK04	MTK00
	X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{41}
	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{42}
	X_{13}	X_{23}	X_{33}	X_{43}
	X_{14}	X_{24}	X_{34}	X_{44}
	X_{15}	X_{25}	X_{35}	X_{45}
	X_{16}	X_{26}	X_{36}	X_{46}
	X_{17}	X_{27}	X_{37}	X_{47}
Toplam	T_{1+}	T_{2+}	T_{3+}	T_{4+}
Ortalama	X_1	X_2	X_3	X_4
				X

Test için örnekler içi varyans s_0^2 (Denklem (5)) ve örnekler arası varyans s_M^2 hesaplanır (Denklem (6)). s_0^2 rastgele nedenlere bağlı olan değişkenliği, s_M^2 ise ortalama farklarından ileri gelen değişkenliği ölçmektedir. Daha sonra F oranı veya istatistiği Denklem (7) ile hesaplanır. Eğer F değeri F_{kr} değerinin altında kalıyor ise sıfır hipotezi kabul edilecektir.

$$s_0^2 = \frac{\sum \sum X_{ij}^2 - \sum (T_{i+}^2/n_i)}{\sum n_i - k} \quad (5)$$

$$s_M^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{T_{i+}^2}{n_i} - \frac{T_{++}^2}{N}}{k - 1} \quad (6)$$

Tek yönlü varyans analizinin uygulanmasına örnek olarak periyodu $T = 0.40s$ ve yatay dayanım oranı $F_y/W = 0.10$ olan TSD sistem için elde edilen maksimum ötelenme talepleri kullanılmıştır (Tablo 5). Analiz sonuçları Z1 sınıfı zemin için elde edilen birinci ivme setindeki kayıtlar kullanılarak elde edilmiştir.

$$F = \frac{s_M^2}{s_0^2} \quad (7)$$

Tablo 5: Örnek tek yönlü varyans analizi verileri.

	EDP	EMP	MTK04	MTK00
	1.55	2.43	2.04	1.87
	8.12	9.08	9.83	8.86
	8.52	14.11	9.40	8.83
	3.03	3.42	2.05	2.13
	1.31	2.01	1.50	1.33
	2.71	2.49	4.97	3.85
	1.73	2.38	4.16	3.61
Toplam	26.97	35.92	33.95	30.48
Ortalama	3.85	5.13	4.85	4.35
				4.50

Tablo 5'te verilen değerlere bağlı olarak $F = 0.17$ bulunmuştur. Örnekler arası ve örnek için varyanslara ait serbestlik dereceleri (sırasıyla 3 ve 24) ve 0.05 hata payı dikkate alınarak F dağılımı tablosundan $F_{kr} = 3.01$ olarak okunur. F değeri F_{kr} değerinden küçük olduğundan Denklem (4) ile verilen sıfır hipotezi kabul edilir.

Örnek olarak gösterilen hesaplar, diğer zemin sınıfları, TSD sistemler ve ivme setleri için de aynı serbestlik dereceleri ve hata payı kullanılarak (yani tüm hesaplar için $F_{kr} = 3.01$ 'dir) yapılmıştır. Tablo 6'da, dikkate alınan 36 adet TSD sistem için hesaplanan F değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Örneğin Z1 sınıfı zemin için elde edilen birinci ivme seti dikkate alındığında, 36 adet TSD sistemin her biri için hesaplanan F değerleri 0.001 ve 0.294 arasında değişmektedir ve ortalaması 0.110'dur.

Tablo 6'da özetlenen sonuçlara göre, farklı çevrimsel modeller için elde edilen μ_{Δ} değerlerinin temsil ettiği ana kitlelerin ortalamalarının eşit olduğu 0.05 hata payı (anlamlılık düzeyi) ile söylenebilir. Bu durum, bu çalışmada dikkate alınan tüm TSD sistemler, zemin sınıfları ve ivme setleri için geçerlidir.

Tablo 6: TSD sistemler için hesaplanan F değerlerine ait istatistiksel bilgiler.

F	Zemin Z1		Zemin Z2		Zemin Z3	
	Set 1	Set 2	Set 1	Set 2	Set 1	Set 2
Min	0.001	0.002	0.007	0.002	0.008	0.023
Mak	0.294	0.148	0.437	1.685	0.130	0.358
Ort	0.110	0.068	0.141	0.332	0.050	0.169

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen maksimum ötelenme talepleri

üzerinde, analizde kullanılan çevrimsel davranış modelinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla periyodu 0.40s-1.20s ve yatay dayanım oranı 0.10-0.40 arasında değişen 36 adet TSD sistemin analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerin her biri için, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olarak elde edilen ve her birinde 7 adet gerçek ivme kaydı bulunan 2 adet ivme kaydı seti kullanılmıştır. TSD sistemler için literatürde sıkça kullanılan dört farklı çevrimsel model (EMP, EDP, MTK00 ve MTK04) dikkate alınmıştır.

Farklı çevrimsel davranış modelleri kullanılarak, ivme kayıtlarının her biri için maksimum ötelenme talepleri (Δ_{mak}) elde edilmiş, ivme setlerine ait ortalama ötelenme talepleri (μ_{Δ}) hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İvme kaydı setinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin, sete ait ortalama etrafındaki saçılıminin değerlendirilmesi amacı ile varyasyon katsayısı (CoV) kullanılmıştır. Farklı çevrimsel modeller için elde edilen μ_{Δ} değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilmesi için tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır.

TSD sistemler için, herhangi bir ivme setinde yer alan kayıtlar kullanılarak elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin, o sete ait ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılıminin yüksek olduğu görülmüştür. Saçılımin yüksekliğinin, çalışmada ele alınan tüm TSD sistemler, zemin sınıfları, ivme setleri ve çevrimsel davranış modelleri için geçerli olduğu görülmüştür.

Herhangi bir TSD sistem ve zemin sınıfı için, kullanılan sete ait μ_{Δ} değerlerinin dikkate alınan çevrimsel modele göre farklılık gösterdiği ve bu farklılığın görece olarak bazen yüksek bazen de düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca μ_{Δ} değerlerinin rastgele olarak değiştiği, dolayısıyla, herhangi bir çevrimsel model için daha yüksek ya da daha düşük μ_{Δ} talebinin elde edildiği gibi bir sonucun çıkarılamayacağı gözlenmiştir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, farklı çevrimsel modeller için elde edilen μ_{Δ} değerlerinin, aynı ana kitleden seçilen rastgele örnekler olduğu hipotezinin 0.95 güvenlik payı ile geçerli olduğu görülmüştür. Bu durum, bu çalışmada ele alınan tüm TSD sistemler ve ivme setleri için geçerlidir.

7 Kaynaklar

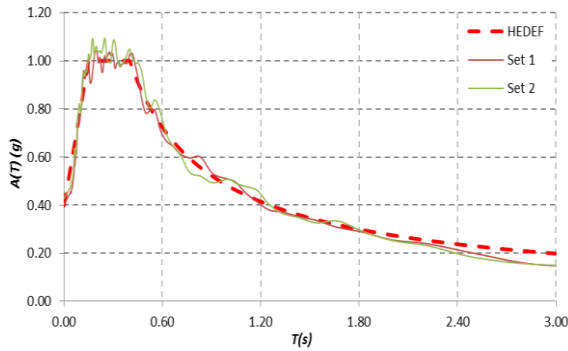
- [1] Ghobarah A. "Performance-based design in earthquake engineering". *State of Development Engineering Structures*, (23), 878-884, 2001.
- [2] SEAOC Vision 2000 Committee. Performance-based seismic engineering, Report Prepared by Structural Engineers Association of California, Sacramento, California, USA, 1995.
- [3] Gupta A, Krawinkler H. "Estimation of seismic drift demands for frame structures". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 1287-1305, 2000.
- [4] Miranda E. "Approximate seismic lateral deformation demand in multistory buildings". *Journal of Structural Engineering*, 125, 417-425, 1999.
- [5] Medina AR, Krawinkler H. "Evaluation of drift demands for the seismic performance assessment of frames". *Journal of Structural Engineering*, 7, 1003-1013, 2005.
- [6] Priestley MJN, Calvi GM, Kowalsky MJ. *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press, Pavia, Italy, 2007.
- [7] ATC-40. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings". Applied Technology Council, Redwood City, California, USA, 1996.
- [8] Bazzurro P, Luco N. "Accounting for uncertainty and correlation in earthquake loss estimation". *9th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR)*, Rome, Italy, 2005.
- [9] D'Ambrisi A, Mezzi M. "A probabilistic approach for estimating the seismic response of EP SDOF systems". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 1737-1753, 2005.
- [10] Garcia RJ, Miranda E. "Probabilistic estimation of maximum inelastic displacement demands for performance-based design". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 9, 1235-1254, 2007.
- [11] İnel M, Meral E, Özmen HB. "Betonarme binalarda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem ve 3-B doğrusal elastik olmayan dinamik analiz deplasman taleplerinin karşılaştırılması". *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, Türkiye, 2013.
- [12] Tekin G. Probabilistic earthquake response analysis of single degree of freedom structures. Ms Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [13] Mollaioli F, Bruno S. "Influence of site effects on inelastic displacement ratios for SDOF and MDOF systems". *Computers and Mathematics with Applications*, 55, 184-207, 2008.
- [14] Lin Y, Miranda E. "Estimation of maximum roof displacement demands in regular multistory buildings". *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, 136, 1-11, 2009.
- [15] Riddell R, Garcia JE, Garces E. "Inelastic deformation response of SDOF systems subjected to earthquakes". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 515-538, 2002.
- [16] Özmen HB. Düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapıların deprem performanslarını etkileyen faktörlerin irdelemesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2011.
- [17] Kayhan AH, Korkmaz KA, İrfanoğlu A. "Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 941-953, 2011.
- [18] DBYBHY-2007. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.
- [19] Gamst G, Meyers LS, Guarino AJ. *Analysis of Variance Designs-A Conceptual and Computational Approach with SPSS and SAS*. 1st ed. Cambridge, USA: Cambridge University Press; Chapter 1, 2008.
- [20] Celep Z, Kumbasar N. *Deprem Mühendisliğine Giriş*. İstanbul, Türkiye, Beta Dağıtım, 2004.
- [21] Jeong SH, Lee KW, Jang WS. "PRISM, A Program for Seismic Response Analysis of SDOF System". Earthquake Engineering Research Group, INHA University, Korea, 2010.
- [22] Celep Z. *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*. 2. baskı. İstanbul, Türkiye, Beta Dağıtım, 2008.
- [23] FEMA 440. "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures". Federal Emergency Management Agency, Washington, USA, 2005.
- [24] Takeda T, Sozen MA, Nielson NN. "Reinforced concrete response to simulated earthquakes". *Journal of the Structural Divisions*, 96(12), 2557-2573, 1970.

- [25] Otani S. "SAKE, A Computer Program for Inelastic Response of R/C Frames to Earthquakes/Report". Civil Engineering Studies, Univ of Illinois At Urbana, Champaign, USA, 1974.
- [26] Kayhan AH. "Armoni araştırması ile ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirme". *İMO Teknik Dergi*, 23, 5751-5775, 2012.
- [27] Ambraseys NN, Douglas J, Rinaldis D, Berge TC, Suhadolc, P, Costa G, Sigbjornsson R, Smit P. "Dissemination of

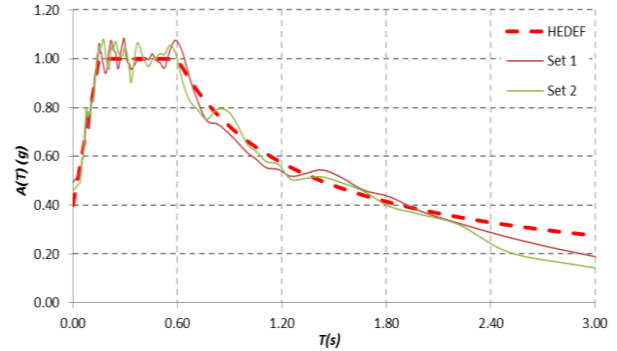
- European strong-motion data volume 2". *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver*, BC, Canada, 1-6 August, 2004.
- [28] EUROCODE-8. "Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings". European Committee for Standardization, Brussels, 2004.

EK A

İvme kayıtlarının ortalama spektrumları.



Ek A1: Z2 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar



Ek A2: Z3 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar.

EK B

Kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler.

Kayıt Kodu	Deprem İsmi	Tarihi	İstasyon Kodu	Zemin Sınıfı	Kayıt Kodu	Deprem İsmi	Tarihi	İstasyon Kodu	Zemin Sınıfı
5270-Y	Mt. Vatnafjoll	25.5.1987	ST2486	A	572-Y	Patras	14.7.1993	ST178	B
410-X	Gölbashi	5.5.1986	ST161	A	1859-X	NW Kefallinia Isl.	27.2.1987	ST1303	B
292-X	Campano Lucano	23.11.1980	ST98	A	6496-Y	Düzce	12.11.1999	ST3135	B
362-X	Umbria	29.4.1984	ST137	A	1720-Y	Dinar	1.10.1995	ST543	B
7158-X	Firuzabad	20.6.1994	ST3293	A	595-X	Umbria Marche	26.9.1997	ST83	B
6272-Y	South Iceland	17.6.2000	ST2568	A	142-Y	Friuli	15.9.1976	ST14	B
6327-Y	South Iceland	21.6.2000	ST2552	A	360-X	Umbria	29.4.1984	ST41	C
646-Y	Umbria Marche	14.10.1997	ST234	A	374-Y	Lazio Abruzzo	7.5.1984	ST148	C
383-Y	Lazio Abruzzo	11.5.1984	ST153	A	602-X	Umbria Marche	26.9.1997	ST224	C
1243-X	İzmit	13.9.1999	ST561	A	6962-Y	İzmir	13.9.1999	ST3271	C
5272-Y	Mt. Vatnafjoll	25.5.1987	ST2487	A	6978-Y	İzmir	13.9.1999	ST3273	C
6331-X	South Iceland	21.6.2000	ST2486	A	6606-Y	İzmit	11.11.1999	ST2571	C
645-Y	Umbria Marche	14.10.1997	ST83	B	1230-X	İzmit	17.8.1999	ST576	C
352-Y	Biga	5.7.1983	ST131	B	601-Y	Umbria Marche	26.9.1997	ST224	C
548-X	İzmir	6.11.1992	ST43	B	648-Y	Umbria Marche	14.10.1997	ST332	C
6422-X	İzmit	13.9.1999	ST3135	B	6975-Y	İzmit	13.9.1999	ST3272	C
946-Y	Potenza	5.5.1990	ST103	B	375-Y	Lazio Abruzzo	7.5.1984	ST149	C
760-Y	Umbria Marche	26.9.1997	ST265	B					

EK-C1

Maksimum ötelenme taleplerinin set için hesaplanan ortalaması ve standart sapması (Zemin Z1).

T	F _y /W	Birinci Setler								İkinci Setler							
		EDP		EMP		MTK04		MTK00		EDP		EMP		MTK04		MTK00	
		μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ
0.4	0.1	3.85	3.12	5.13	4.67	4.85	3.49	4.35	3.20	5.16	4.09	5.63	3.76	5.48	4.99	5.18	4.39
	0.2	3.14	2.21	3.54	2.85	3.74	2.84	3.47	2.66	3.63	2.87	4.37	3.28	3.65	2.56	3.66	2.80
	0.3	3.18	2.15	3.83	3.74	3.18	2.06	2.96	1.84	3.40	1.86	4.07	2.66	3.48	2.62	3.34	2.20
	0.4	3.13	1.90	3.77	3.34	3.01	1.63	2.84	1.73	3.02	1.57	3.35	1.97	3.38	1.92	3.19	1.73
0.5	0.1	4.64	3.66	6.49	6.09	6.25	4.50	5.49	3.90	5.70	5.05	6.68	5.34	6.91	6.50	6.08	5.56
	0.2	3.90	2.48	5.20	4.87	4.67	3.25	4.32	3.22	3.89	2.22	4.67	3.07	4.16	2.88	4.10	2.85
	0.3	3.89	2.32	4.48	3.59	4.16	2.73	3.78	2.14	3.85	2.15	4.39	2.73	4.20	3.00	3.73	2.35
	0.4	3.50	1.86	3.92	2.85	3.86	2.15	3.68	1.86	4.04	2.17	4.49	2.68	4.32	2.97	4.07	2.50
0.6	0.1	5.61	3.98	7.92	7.59	7.38	5.23	6.47	4.62	6.77	5.75	8.53	7.06	8.15	7.51	7.24	6.68
	0.2	4.62	2.58	5.46	4.32	5.38	3.52	5.00	3.18	4.84	2.96	5.63	3.66	5.10	3.65	4.85	3.45
	0.3	4.58	2.34	5.71	4.31	4.97	3.12	4.63	2.61	4.79	3.48	5.55	4.49	4.68	3.56	4.37	3.07
	0.4	4.80	2.70	5.48	4.36	4.83	2.61	4.55	2.05	4.92	3.63	5.42	4.35	4.78	3.54	4.60	3.28
0.7	0.1	6.29	4.63	7.76	6.79	8.04	5.74	7.18	4.89	7.77	6.58	9.67	8.87	10.00	9.22	9.05	8.13
	0.2	5.34	3.37	6.00	4.70	6.14	3.86	5.61	3.47	5.64	3.43	6.26	4.28	6.21	4.70	5.88	4.15
	0.3	5.82	3.79	6.54	5.25	6.09	3.73	5.73	3.53	5.96	4.56	7.17	7.28	5.97	4.23	5.66	3.90
	0.4	5.68	3.27	5.88	3.63	6.08	3.75	5.95	3.55	6.47	4.91	7.41	6.93	5.86	4.09	5.81	4.06
0.8	0.1	6.94	4.94	7.64	5.33	8.96	5.83	7.89	4.99	9.09	7.21	11.02	9.28	11.46	10.71	10.45	9.60
	0.2	6.47	4.01	7.85	6.10	7.09	4.21	6.41	3.58	6.67	4.28	7.05	4.67	7.56	5.98	6.92	5.04
	0.3	6.36	3.38	7.16	4.68	6.47	3.59	6.18	3.18	6.47	4.41	7.40	6.42	6.44	4.34	6.03	3.79
	0.4	6.67	3.79	7.16	4.59	6.63	3.77	6.11	3.07	7.01	5.48	7.38	6.34	6.84	5.02	6.72	4.80
0.9	0.1	7.94	5.00	8.46	5.39	9.90	6.45	8.90	5.68	9.64	7.59	10.65	8.52	12.10	12.13	11.05	10.60
	0.2	6.93	3.69	8.35	6.92	8.30	4.82	7.41	3.93	7.32	5.41	7.60	5.79	9.04	7.53	8.11	6.51
	0.3	7.54	4.02	7.72	4.26	7.67	4.11	7.11	3.39	6.76	4.37	7.15	5.28	7.03	4.47	6.60	3.89
	0.4	7.43	3.92	7.52	4.06	8.01	4.60	7.64	4.15	7.81	5.83	8.47	7.30	7.73	5.48	7.63	5.28
1.0	0.1	8.43	5.27	8.86	5.64	10.62	7.02	9.70	6.31	9.98	8.11	10.88	9.04	12.55	13.42	11.26	11.79
	0.2	7.30	3.72	7.95	4.84	9.88	6.95	8.60	5.50	8.10	6.39	8.34	6.73	9.90	9.00	9.19	8.33
	0.3	8.18	4.77	8.20	4.86	8.43	5.09	8.15	4.71	7.92	4.95	7.96	5.01	8.32	5.56	8.02	5.08
	0.4	8.88	5.29	9.00	5.47	9.16	5.82	9.02	5.60	8.49	5.81	8.52	5.88	8.69	6.07	8.54	5.79
1.1	0.1	9.70	5.96	11.82	8.36	11.02	7.18	10.44	6.63	10.08	8.18	11.34	10.22	13.68	14.29	12.21	12.56
	0.2	9.73	5.41	10.55	6.54	11.11	7.18	10.25	6.27	9.68	7.32	9.84	7.63	11.87	10.36	11.12	9.71
	0.3	8.96	4.32	9.11	4.49	9.51	5.04	9.18	4.61	9.15	5.91	9.19	5.99	9.69	6.82	9.28	6.31
	0.4	9.58	5.11	9.54	5.04	9.48	4.97	9.42	4.90	9.54	6.56	9.49	6.48	9.49	6.25	9.28	5.89
1.2	0.1	11.40	7.76	14.93	13.16	11.24	7.27	11.10	7.01	11.31	9.55	12.22	11.62	14.38	15.12	13.02	13.29
	0.2	11.23	7.28	13.01	10.11	11.66	7.28	10.73	6.18	10.90	8.64	11.31	8.97	13.05	11.89	12.25	11.16
	0.3	11.07	6.29	11.08	6.30	11.48	6.92	11.03	6.28	11.63	7.94	11.70	8.03	12.52	9.14	12.26	8.99
	0.4	12.13	7.74	12.13	7.77	12.19	7.73	11.84	7.32	10.87	7.05	10.88	7.06	11.35	7.48	11.13	7.28

EK-C2

Maksimum ötelenme taleplerinin set için hesaplanan ortalaması ve standart sapması (Zemin Z2)

T	F _y /W	Birinci Setler								İkinci Setler							
		EDP		EMP		MTK04		MTK00		EDP		EMP		MTK04		MTK00	
		μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ	μ _Δ	S _Δ
0.4	0.1	5.96	5.18	10.06	11.00	7.17	5.94	6.50	5.60	4.86	2.67	9.52	5.96	6.37	3.81	5.69	3.42
	0.2	3.99	2.65	5.38	4.36	5.50	3.88	5.07	3.74	3.41	1.62	5.18	3.95	4.60	2.53	4.20	2.32
	0.3	3.37	1.86	3.80	2.15	4.18	2.80	3.86	2.58	3.38	1.27	4.30	2.45	4.02	1.97	3.63	1.61
	0.4	3.38	1.92	3.45	1.98	3.97	2.71	3.59	2.34	3.34	1.07	4.29	2.10	3.82	1.60	3.62	1.43
0.5	0.1	7.46	6.51	12.60	13.69	9.00	7.90	7.96	7.23	6.14	3.77	10.23	7.28	8.35	5.17	7.39	4.70
	0.2	5.10	3.69	6.49	5.14	6.83	4.85	6.36	4.74	4.48	1.70	6.47	3.30	5.96	3.08	5.27	2.69
	0.3	4.26	2.64	4.56	3.02	5.07	3.19	4.82	3.05	4.76	1.67	5.03	1.79	4.92	2.22	4.50	1.80
	0.4	4.29	2.68	4.27	2.63	4.38	2.77	4.17	2.52	5.00	2.03	5.87	2.79	4.92	2.07	4.26	1.52
0.6	0.1	9.33	8.96	15.10	15.60	11.15	10.52	9.95	9.87	7.49	4.25	12.52	8.02	9.65	6.03	8.53	5.58
	0.2	6.52	3.92	8.10	5.45	8.07	5.58	7.70	5.56	5.43	2.47	6.95	4.10	7.31	4.10	6.32	3.33
	0.3	5.97	3.26	7.27	4.75	6.58	3.95	5.90	3.23	5.22	2.09	5.81	2.75	6.18	2.76	5.54	2.22
	0.4	5.69	3.23	6.30	4.06	5.55	2.79	5.17	2.58	5.52	2.26	5.66	2.43	5.79	2.33	5.43	1.88
0.7	0.1	11.07	11.14	17.40	18.26	13.08	13.27	11.86	12.42	8.14	4.93	13.39	9.31	10.95	7.09	9.83	6.25
	0.2	8.50	5.04	10.22	6.89	9.79	6.81	9.13	6.62	6.52	2.98	8.10	4.09	8.57	5.40	7.69	4.58
	0.3	8.11	4.10	9.59	5.19	7.89	5.13	7.24	4.18	6.60	2.66	7.33	3.48	7.83	3.83	6.84	2.77
	0.4	7.39	3.65	8.04	4.31	7.34	4.29	6.52	3.20	6.99	3.01	7.60	3.75	6.96	2.93	6.68	2.61
0.8	0.1	12.61	13.09	18.80	19.84	14.77	15.85	13.47	14.78	9.04	5.72	15.00	10.97	11.77	7.65	10.66	6.81
	0.2	9.66	7.51	12.36	11.51	11.09	7.77	10.24	7.17	7.69	3.62	9.26	4.86	9.82	6.27	8.88	5.71
	0.3	8.53	4.90	8.88	5.13	9.87	6.58	9.01	5.53	7.64	3.21	8.73	4.81	9.32	4.91	8.17	3.97
	0.4	8.67	4.79	9.12	5.27	9.47	5.83	8.87	5.03	8.05	3.80	8.50	4.53	8.61	4.13	8.01	3.45
0.9	0.1	14.11	14.81	20.65	22.05	16.14	18.24	14.94	17.04	10.30	6.72	17.15	14.52	13.04	8.52	11.63	7.46
	0.2	10.71	8.43	13.47	11.97	11.73	8.57	10.92	8.18	9.34	5.17	10.33	6.42	11.36	6.63	10.25	6.16
	0.3	10.01	6.13	10.96	7.01	10.42	6.52	9.30	5.33	9.22	3.78	9.99	4.69	10.84	5.62	9.80	4.57
	0.4	9.92	5.46	10.23	5.70	10.65	6.73	9.97	5.85	8.97	3.62	8.95	3.60	10.52	5.32	9.88	4.53
1.0	0.1	16.09	16.22	22.20	21.69	17.38	20.32	16.32	18.52	11.47	7.74	17.42	13.91	14.15	9.40	12.88	8.19
	0.2	12.18	8.72	15.48	13.10	14.06	10.57	12.92	9.61	11.13	6.02	13.03	8.41	12.32	6.97	11.48	6.78
	0.3	10.16	6.05	10.45	6.56	11.77	7.07	10.48	5.92	10.36	4.78	10.37	4.71	11.99	6.17	10.69	4.84
	0.4	11.18	5.90	11.28	6.01	12.00	7.00	11.02	6.04	11.34	4.65	11.42	4.75	12.53	5.85	11.71	5.14
1.1	0.1	17.93	17.41	23.55	21.96	18.47	22.04	17.35	19.80	12.48	8.31	17.28	13.23	14.92	10.25	13.90	8.98
	0.2	14.61	11.85	17.77	15.84	15.79	13.21	14.77	12.24	12.11	6.70	13.49	8.77	13.89	7.64	12.72	6.76
	0.3	13.15	8.91	13.80	9.91	13.47	8.98	12.90	8.46	12.49	5.70	12.71	5.88	13.94	7.17	13.41	6.56
	0.4	12.95	7.85	13.39	8.34	13.33	8.46	12.78	8.00	12.44	5.41	12.40	5.37	13.97	6.97	13.43	6.39
1.2	0.1	18.89	18.65	24.68	23.59	19.34	23.39	18.31	20.95	14.37	9.31	18.35	13.36	15.88	10.83	14.92	9.46
	0.2	15.65	13.18	19.19	17.71	18.09	16.34	17.04	15.24	12.90	6.17	14.20	7.92	14.89	8.54	13.99	7.61
	0.3	13.51	8.80	14.36	9.69	14.35	9.73	13.89	9.18	13.31	5.66	13.20	5.54	15.35	7.76	14.91	7.16
	0.4	14.08	9.54	14.25	9.80	13.62	8.68	13.50	8.61	15.11	6.87	15.11	6.87	15.36	7.12	15.12	6.81

EK-C3

**Maksimum ötelenme taleplerinin set için hesaplanan ortalaması ve standart sapması
(Zemin Z3)**

T	F _y /W	Birinci Setler								İkinci Setler							
		EDP		EMP		MTK04		MTK00		EDP		EMP		MTK04		MTK00	
		μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ	μ _Δ	s _Δ
0.4	0.1	9.95	12.02	12.53	14.37	11.29	11.74	9.34	8.59	9.36	6.82	11.61	8.39	11.02	7.15	9.46	5.90
	0.2	7.38	8.26	7.99	7.46	8.78	9.42	7.91	8.70	6.10	3.85	8.70	7.46	8.38	4.56	7.50	4.23
	0.3	5.77	5.73	8.06	10.31	7.36	7.53	6.68	6.85	4.50	2.88	5.27	4.22	5.85	3.47	5.48	3.42
	0.4	5.22	4.73	6.11	6.34	6.61	6.07	6.11	5.86	3.89	2.07	4.46	2.75	4.98	2.89	4.47	2.34
0.5	0.1	11.59	13.15	13.99	13.02	13.59	14.26	11.17	9.98	11.35	8.28	12.79	10.40	13.53	9.35	11.46	7.38
	0.2	9.07	10.36	9.34	8.55	11.09	12.90	9.74	11.28	8.12	5.05	11.59	8.90	10.72	6.38	9.50	5.89
	0.3	8.11	7.41	9.60	11.19	9.23	9.31	8.73	8.85	6.30	3.59	7.00	4.27	7.73	4.17	6.85	3.95
	0.4	7.49	5.98	7.84	6.38	8.66	7.63	8.16	7.20	5.95	3.30	6.33	3.90	6.06	3.23	5.89	3.23
0.6	0.1	12.18	13.23	13.86	13.91	14.22	13.39	12.31	10.35	12.44	8.82	13.34	10.13	15.27	11.36	13.20	9.17
	0.2	10.96	12.16	11.71	13.34	12.49	14.47	11.24	12.43	9.64	6.44	13.58	10.75	13.29	8.50	11.37	7.21
	0.3	9.72	9.51	11.19	13.62	11.31	11.99	10.10	10.50	8.16	4.02	9.94	6.13	9.98	5.18	8.74	4.62
	0.4	9.09	6.72	10.63	10.24	10.63	9.12	9.81	8.04	7.36	3.71	8.08	4.56	7.33	3.56	7.17	3.62
0.7	0.1	12.68	12.15	15.20	16.76	14.60	11.82	13.51	12.37	13.29	9.74	12.52	8.82	16.02	12.37	14.26	10.44
	0.2	12.27	13.59	13.66	15.34	14.01	14.80	12.75	12.61	12.01	7.19	16.25	13.17	15.39	10.44	13.64	8.66
	0.3	11.73	10.67	13.20	13.72	13.66	14.97	12.58	12.81	9.28	4.13	10.89	6.75	12.51	6.52	11.20	5.68
	0.4	10.45	7.08	11.31	8.98	12.29	10.37	11.45	9.12	9.45	3.40	10.05	4.11	10.98	4.08	10.11	3.62
0.8	0.1	13.00	11.43	17.03	19.31	16.09	12.34	14.34	14.03	13.65	10.46	14.07	11.28	16.45	13.10	15.28	12.17
	0.2	13.81	13.08	12.92	10.01	15.04	14.75	13.28	12.03	12.83	7.28	16.56	11.99	17.02	11.22	14.95	9.02
	0.3	13.31	11.59	15.20	16.29	15.51	16.29	14.34	14.03	12.05	4.18	14.17	6.51	13.82	6.56	12.37	5.30
	0.4	11.86	8.26	13.00	10.79	13.72	11.55	12.74	9.83	11.11	3.51	11.46	4.31	12.50	4.66	11.63	4.15
0.9	0.1	14.09	12.87	19.09	20.21	17.62	12.99	17.48	16.50	14.01	10.63	15.57	10.14	17.31	13.41	16.47	13.26
	0.2	13.71	12.33	13.86	12.48	15.28	14.16	14.53	13.72	14.33	8.75	17.41	13.57	18.39	12.25	15.97	9.89
	0.3	14.85	13.10	15.99	15.97	16.20	16.34	15.21	14.17	12.22	4.20	14.17	7.25	14.91	7.15	13.58	5.94
	0.4	13.50	7.91	15.30	12.09	15.65	13.19	14.49	10.49	13.24	3.87	13.70	4.20	13.40	4.70	13.01	4.38
1.0	0.1	16.25	14.02	22.01	21.69	19.01	14.27	19.13	17.91	15.64	11.05	18.72	11.86	17.73	13.73	17.60	13.91
	0.2	15.64	10.53	17.42	13.57	16.67	13.51	16.37	14.11	16.87	9.35	21.82	18.98	19.75	14.22	17.16	10.86
	0.3	16.56	13.83	17.55	16.01	17.14	15.81	16.09	13.52	15.09	7.22	17.08	10.64	17.98	10.45	15.88	8.17
	0.4	15.71	11.21	18.22	17.49	17.99	16.75	16.87	13.91	14.86	5.60	15.09	5.78	16.30	7.87	15.05	6.15
1.1	0.1	17.26	15.17	23.04	25.06	20.38	16.96	20.26	19.24	16.37	12.19	18.77	14.95	18.06	14.04	18.40	14.43
	0.2	16.46	10.70	18.37	14.21	17.38	13.44	16.88	14.35	16.67	9.44	21.77	17.82	20.51	15.72	18.25	12.39
	0.3	17.79	11.94	19.50	15.11	18.44	16.13	17.50	14.18	15.73	7.08	16.68	8.93	20.45	12.99	18.36	10.96
	0.4	17.49	11.41	18.52	13.14	20.05	18.07	19.02	15.66	16.88	7.94	17.65	9.00	18.21	9.93	17.70	8.52
1.2	0.1	18.50	16.44	24.65	27.29	22.06	19.15	21.58	20.51	17.47	12.78	21.07	17.04	18.65	14.61	18.71	14.66
	0.2	17.25	12.51	18.43	14.02	18.59	14.41	18.03	14.34	17.33	10.25	20.55	15.52	21.66	16.50	19.38	13.40
	0.3	19.14	11.80	20.74	14.81	20.33	16.26	18.95	13.30	16.89	8.33	17.29	8.60	21.62	13.42	19.32	10.86
	0.4	14.08	9.54	14.25	9.80	13.62	8.68	13.50	8.61	17.71	7.59	17.88	7.86	20.35	11.40	18.74	9.35